

Reihe 22

**Mensch-Maschine-
Systeme**

Nr. 38

Dipl.-Ing. Florian Mohr,
Eckersweiler

Methode zur Interaktions- modellierung heterogener Teilnehmer in Produktionsnetzwerken



**Werkzeugmaschinen
und Steuerungen
TU KAISERSLAUTERN**

DISSERTATION

**Methode zur Interaktionsmodellierung
heterogener Teilnehmer
in Produktionsnetzwerken**

Dem Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik
der Technischen Universität Kaiserslautern
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

vorgelegte

Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur Florian Mohr

aus Eckersweiler

Betreuer der Dissertation: Prof. Dr.-Ing. Martin Ruskowski

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 22

Mensch-Maschine-
Systeme

Dipl.-Ing. Florian Mohr,
Eckersweiler

Nr. 38

Methode zur Interaktions-
modellierung heterogener
Teilnehmer in
Produktionsnetzwerken



Werkzeugmaschinen
und Steuerungen
TU KAISERSLAUTERN

Mohr, Florian

Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in Produktionsnetzwerken

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 22 Nr. 38. Düsseldorf: VDI Verlag 2020.

234 Seiten, 126 Bilder, 0 Tabellen.

ISBN 978-3-18-303822-0, ISSN 1439-958X,

€ 81,00/VDI-Mitgliederpreis € 72,00.

Für die Dokumentation: Industrie 4.0 – Internet of Things, Services & People – heterogene Teilnehmer – Interaktionsmodellierung – Methodenentwicklung – Autonome Produktion – Wertschöpfungsnetzwerke – Produktionsnetzwerke – Mensch-Maschine Interaktion – Prozessentwicklung

Die vorliegende Arbeit wendet sich an Ingenieure und Wissenschaftler im Bereich der industriellen Produktion. Sie befasst sich mit der Entwicklung einer adäquaten Methode, um die Interaktionen von heterogenen Teilnehmern – Maschinen, Menschen und IT-Services – innerhalb eines autonomen Produktionsnetzwerk entwickeln und modellieren zu können. Die Methode bietet ein ganzheitliches Verständnis der komplexen Problemstellung. Sie adressiert in der sukzessiven Entwicklung sowohl die Anwender in den Phasen der Produktionsentwicklung als auch – durch die Verschiebung der Arbeitsinhalte – die Anwender direkt auf dem Shopfloor. Das übergeordnete Ziel der Methodenentwicklung stellen die adäquate Interaktionsmodellierung und -zuordnung in Anbetracht der Heterogenität der Teilnehmer und der Anforderungen des Zukunftsszenarios autonome, agile Fertigung dar.

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek

(German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at <http://dnb.ddb.de>.

Dissertation Technische Universität Kaiserslautern

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISSN 1439-958X

ISBN 978-3-18-303822-0

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Menschen danken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Ich möchte meinen Doktorvater Prof. Dr. Ruskowski für die Betreuung und die Begutachtung meiner Arbeit sowie der Bereitstellungen der Möglichkeiten in der *SmartFactory^{KL}* und dem verbundenen Forschungsbereich *Innovative Fabrikssysteme* am *DFKI* danken. Ebenso gebührt mein Dank Herrn Prof. Dr. Zühlke, der mir erst den Einstieg in die *SmartFactory^{KL}* ermöglicht und mir von Beginn an interessante und fordernde Aufgaben anvertraut hat.

Weiteren Dank möchte ich an Herrn Prof. Dr. Seewig für den Vorsitz der Prüfungskommission und Herrn Prof. Dr. Göbel für die Begutachtung meiner Arbeit aussprechen.

All meinen aktuellen und ehemaligen Kollegen am Forschungsbereich *IFS*, am Lehrstuhl *WSKL* sowie aus der *SmartFactory^{KL}* möchte ich für die großartige und oft freundschaftliche Zusammenarbeit innerhalb und außerhalb der unterschiedlichsten Projekte danken. Besonderer Dank gebührt dabei Jesko, Max und Patrick, die mir immer wieder andere Sichtweisen auf die Fragestellungen der Arbeit ermöglichten und aktiv für die Motivation in unserem Team sorgten.

Ebenfalls möchte ich meinen Freunden für die Unterstützung danken – gerade zum Ende der Erstellung und bei der Korrektur der Arbeit.

In besonderem Maße danke ich meiner Familie – meinen Eltern, Schwiegereltern, meiner Schwester und Schwägerin – für die direkte und indirekte Hilfe und vor allem für das Verständnis, welches ihr zu jeder Zeit für mich hattet.

Meinen Kindern – Marlene, Charlotte, Henrietta, Julius und Carlo – danke ich für das Akzeptieren aller Schwierigkeiten, die stetige Aufmunterung und die Freiheiten, die ihr mir gewährt habt.

Mein größter Dank gilt meiner Ehefrau Rafaela, die zu jeder Zeit hinter mir gestanden und mir den Rücken freigehalten hat. Ohne die Zugeständnisse, die du eingegangen bist und ohne deine Unterstützung auf allen Ebenen hätte ich diese Arbeit unter den bestehenden Gegebenheiten wohl nicht erstellen können. Danke!

Florian Mohr

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	IX
Abstract	X
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	2
1.2 Zielsetzung	4
1.3 Vorgehensweise der Arbeit	5
2 Grundlagen	8
2.1 Entwicklungstendenzen der Produktion der Zukunft	8
2.1.1 Architektur der modularen Fabrik	8
2.1.2 Referenzarchitekturen	12
2.1.3 Industrial Internet of Things, Services und People	13
2.1.4 Ausgewählte Kommunikationsprotokolle	14
2.1.5 Repräsentationskonzepte für Industrie 4.0	18
2.1.6 Digitale Fabrik	20
2.1.7 Rollen und Bedarfe in der Produktion	22
2.1.8 Zwischenfazit	24
2.2 Interaktionen	25
2.2.1 Maschine-zu-Maschine-Interaktion	25
2.2.2 Mensch-Maschine-Interaktion	29
2.2.3 Interaktion außerhalb des Produktionsumfelds	31
2.2.4 Zwischenfazit und Definition des Interaktionsbegriffs	35
2.3 Prozessmodellierung im Produktionsumfeld	36
2.3.1 Ereignisgesteuerte Prozesskette	37
2.3.2 UML	38
2.3.3 SysML	39
2.3.4 BPMN 2.0	40
2.3.5 Intentionsorientierte Modelle am Beispiel des i*-Frameworks	41

2.3.6	Zwischenfazit	43
2.4	Entwicklungsmethoden	44
2.4.1	Methoden zur Produkt- und Prozessentwicklung	45
2.4.2	Methoden zur Geschäftsmodellentwicklung	50
2.4.3	Kreativmethoden	53
2.4.4	Zwischenfazit	54
3	Methode zur Interaktionsmodellierung	55
3.1	Referenzmodell zur Methodenentwicklung	55
3.2	Beschreibung der Ausgangssituation	58
3.3	Analyse der späteren Methodenanwendung	60
3.3.1	Analyse der Prozessnahtstellen	60
3.3.2	Analyse wesentlicher Komplexitätsursachen	64
3.3.3	Definition der operativen Gesamtaufgabenstellung	67
3.4	Definition der passiven und aktiven Informationsakquise	68
3.4.1	Entwurf eines initialen Prozessmodells	68
3.4.2	Festlegung von akquisitionsorientierten Aufbereitungsschritten	69
3.4.3	Festlegung von Akquisitionsschritten	71
3.5	Entwurf von synthesebezogenen Vorgehensweisen und des nutzwertorientierten Interaktionscanvas	72
3.5.1	Festlegung von syntheseorientierten Aufbereitungsschritten	73
3.5.2	Festlegung von Syntheseschritten	81
3.6	Aufbereitung der Methodenausgangsinformationen	85
3.6.1	Detailanalyse der Prozessnahtstellen der Folgeprozesse	86
3.6.2	Festlegung von Aufbereitungsschritten	87
3.7	Finalisierung der Methodenentwicklung durch Strukturierung der entworfenen Methodenelemente	89
3.7.1	Entwurf eines tätigkeitsorientierten Prozessmodells	90
3.7.2	Informationsflussorientierte Strukturierung	93
4	Interaktionsmodellierung in der autonomen Produktion	97
4.1	Analyse der angepassten Anwendungsbedingungen	98
4.1.1	Analyse des Anwendungsszenarios	99

4.1.2	Ziel der Methodenanpassung und operativen Aufgabenstellung	100
4.1.3	Anforderung an die Methodenanpassung	101
4.1.4	Definition globaler Anforderungen	102
4.2	Entwicklung von Vorgehensweisen und Repräsentations-systemen zur adäquaten Informationsbereitstellung	106
4.2.1	Strukturierte Beschreibung des Produktionsprozesses	108
4.2.2	Teilnehmermodell der heterogenen Teilnehmer	113
4.2.3	Strukturierte Beschreibung der Interaktionen	119
4.3	Aufbereitung informationeller Inhalte sowie Weiterentwicklung derer Repräsentationssysteme	123
4.3.1	Erstellung eines Interaktionsmusterkatalogs	128
4.3.2	Erweiterung der Prozessinformationen durch semantische Informationsbeschreibung des Nutzwerts einer Interaktion	130
4.3.3	Informationsrepräsentation im elektronischen Interaktionscanvas	132
4.4	Entwicklung der Richtlinien zur automatisierten Interaktionsmusteranalyse	135
4.5	Entwicklung von Ablaufstrukturen zur automatisierten Methodenanwendung ..	138
4.5.1	Aufbereitung der Ausgangsinformationen	138
4.5.2	Tätigkeitsorientierte Strukturierung	139
4.5.3	Ressourcenorientierte Ablaufstrukturierung	142
4.6	Entwicklung der funktionsorientierten Systemstruktur	149
5	Prototypische Implementierung	156
5.1	Demonstrator	156
5.2	Interaktions-Match-Maker	158
5.3	Interaktionskonnektor	161
5.4	Modellierung des Interaktionscanvas	163
5.5	Darstellung der Systemfunktionen	165
5.5.1	Anwendungsfall 1: mehrwertorientierte Ad-hoc-Maschinendatenakquise	165
5.5.2	Anwendungsfall 2: Ad-hoc-Wechsel der Interaktionsteilnehmer	169
5.5.3	Anwendungsfall 3: Vorgehensweise zur proaktiven Hemmnisumgehung	171
5.5.4	Anwendungsfall 4: Interaktionsmusterzuordnung ohne menschliche Teilnehmer	174

6	Evaluation	177
6.1	Evaluation der technischen Systemelemente	180
6.1.1	Interaktions-Match-Maker	180
6.1.2	Interaktionskonnektor	182
6.1.3	Interaktionscanvas-Modeler	183
6.1.4	Informationsrepräsentationssysteme	183
6.2	Evaluation des Gesamtsystems	188
6.3	Evaluation der Methodenanpassung	190
6.4	Evaluation der Methodenentwicklung	193
7	Zusammenfassung	196
7.1	Ausblick	198
7.2	Abschließende Bewertung	199
	Literaturverzeichnis	201

Kurzfassung

Der aktuelle digitale Wandel innerhalb der Produktion ist als Antwort auf die veränderten Anforderungen durch neue Kundenbedürfnisse und Umweltbedingungen zu sehen. Die flächendeckende Verbreitung intelligenter und vernetzter Produktionsanlagen ermöglicht hierbei eine komplementäre Vernetzung und flexible Anpassbarkeit auf der operativen Produktionsebene. Der Wandel in der Produktion wird von einem sich verändernden Rollenprofil und Aufgabenspektrum der Mitarbeiter begleitet. Die Beschäftigten bilden mit den involvierten Maschinen und unterstützenden IT-Services ein wandelbares Produktionsnetzwerk, welches somit aus heterogenen Teilnehmern besteht. Zur Bewältigung der Produktionsaufgaben und Sicherstellung der effektiven Aufgabenverteilung in den agilen Produktionsprozessanpassungen wird in dieser Arbeit eine *Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer im Produktionsnetzwerk* entwickelt. Die Methode bietet ein ganzheitliches Verständnis der komplexen Problemstellung. Sie adressiert in der sukzessiven Entwicklung sowohl die Anwender in den Phasen der Produktionsentwicklung als auch – durch die Verschiebung der Arbeitsinhalte – die Anwender direkt auf dem Shopfloor. Das übergeordnete Ziel der Methodenentwicklung stellen die adäquate Interaktionsmodellierung und -zuordnung in Anbetracht der Heterogenität der Teilnehmer dar. Das Zukunftsszenario der autonomen, agilen Fertigung erfordert eine automatisierte Interaktionsmusterzuordnung, welche durch ein in dieser Arbeit neu entwickeltes IT-Tool unterstützt wird. In der abschließenden prototypischen Implementierung der automatisierten Methodenanwendung werden neben dem funktionalen Gesamtsystem die notwendigen semantischen Informationsrepräsentationssysteme, ein übergreifendes Teilnehmermodell sowie eine semantisch erweiterte Methode zur Prozessbeschreibung entworfen.

Abstract

The current digital change within production can be perceived as the answer to the changed customer needs and environmental conditions. The comprehensive expansion of intelligent and networked production facilities enables complementary networking and agile adaptability at the operative production level. The change in production is accompanied by a changing role profile and task spectrum of the employees. The staff together with the involved machines and supporting IT services create a changeable production network, which thus is composed of heterogeneous participants. In order to master the production tasks and to ensure the effective work distribution within the agile production process modifications, a method for *interaction modelling of heterogeneous participants in the production network* is developed in this thesis. The method offers a holistic understanding of the complex problem: In its successive development, it addresses both the users in the engineering phases as well as – after the transfer of the work items – the users directly on the shop floor. The main goal of the method development is the adequate interaction modelling and allocation in the light of the heterogeneity of the participants. The future scenario of autonomous agile manufacturing demands an automated interaction pattern assignment which is supported by an IT tool newly designed in this study. Finally, the automated method application is prototypically implemented: In addition to the functional overall system structure, the required semantic information representation frameworks, a generic participant model and a semantically extended method for process description are presented.

1 Einleitung

Automatisierung, Digitalisierung und Industrie 4.0 sind aktuelle Innovationstreiber und bieten für Forschung, Wirtschaft und die Gesellschaft allgemein neue Chancen und Herausforderungen. [KWH13, BM17]. Megatrends wie kürzere Produktlebenszyklen und eine höhere Variantenvielfalt bis hin zu kundenindividuellen Einzelprodukten stellen an die Produktion der Zukunft neue Anforderungen. Die Produktnachfrage durch die Verbraucher wird hierdurch dynamischer und komplexer, vornehmlich im Hinblick auf die Art und die produzierte Menge der einzelnen Produkte [Ny08, Wi07, We15, Bi19]. Für die Produktion bedeutet dies, dass sie schneller auf sich verändernde Marktanforderungen reagieren und wandelbarer sein muss. Nicht nur der Aufwand für die Rekonfiguration einer Fertigungslinie ist zu minimieren, auch die Integration neuer oder die Veränderung bestehender Arbeitsstationen und Betriebsmittel sollten schnell und mit geringem Aufwand vorstattengehen. Diese dynamischen Veränderungen innerhalb des Gesamtproduktionskontextes implizieren den Bedarf nach einer adäquaten Orchestrierung der Produktionsprozesse [Ny08]. Diesen vielfältigen Anforderungen muss die Wandlungsfähigkeit der Produktionsanlagen sowie darüber hinaus die Wandlungsfähigkeit der gesamten Wertschöpfungskette Rechnung tragen.

Auf technischer Seite beschreibt Industrie 4.0 den vermehrten Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT), um den zukünftigen Marktanforderungen und dem dadurch entstehenden Bedarf nach Wandelbarkeit in der Produktion gerecht zu werden. Als Kerntechnologie wurden sogenannte Cyber-Physische Systeme (CPS) identifiziert [KWH13]. Durch die hohe Leistungsfähigkeit und die implizierten Interaktionsmöglichkeiten mit der Umgebung ist die CPS-basierte Produktion ein Schlüsselement auf dem Weg zu autonom agierenden, intelligenten Produktionsökosystemen [Ra10, Br10b]. Aus der starren Fabrik wird eine wandelbare Smart Factory [Zu16]. Neben CPS finden auch andere, neuartige digitale Technologien wie mobile Endgeräte, Datenbrillen mit Augmented Reality und künstliche Intelligenz Einzug in die Produktion, welche den übergreifenden Möglichkeitsraum und damit einhergehend die Komplexität in der Produktion erhöhen [BHV14, Sp13]. In Zusammenhang mit dem Wandel zu Industrie 4.0 sind die großen Potentiale nicht in der Optimierung der einzelnen Domänen, sondern im domänenübergreifenden Verständnis zu finden [TF17, ES13, KWH13].

Ein weiterer Megatrend und Schlüssel für die Zukunft ist das Paradigma des Internets der Dinge (*engl. Internet of Things – IoT*), welches das Rückgrat zur Verbindung der technischen Geräte darstellt. Das industrielle Pendant, das Industrial Internet of Things (*IIoT*), steht in Wechselwirkung mit der oben beschriebenen Entwicklung zu einer CPS-basierten

Produktionssteuerung. Das Internet der Dinge steht hierbei für eine rein technische Betrachtungsweise. Eine umfassendere Ansicht bietet das Internet der Dinge, Services und Menschen (*engl. Internet of Things, Services and People - IoTSP*) [Sc16] durch die Integration des Internets der Services (*IoS*) und der Menschen (*IoP*). Laut einer Statista-Studie werden im Jahr 2025 mehr als 75 Mrd. Teilnehmer innerhalb des IoTSP erwartet [St17]. Der Trend zur ganzheitlichen Betrachtung und Integration der Dinge, Services und Menschen in einem Netzwerk ist analog auf die Industrie zu übertragen: IIoTSP (Industrial Internet of Things, Services and People).

Die Besonderheit des IoTSP und des IIoTSP ist das Aufspannen eines Netzwerks heterogener Teilnehmer mit differenzierten Informationsanforderungen und -angeboten. Die Heterogenität bezieht sich entsprechend der Perspektiven des IoTSP auf die Gruppen der Menschen, Maschinen und Dienste. Hierbei entstehen neuartige Informations- und Kommunikationsmöglichkeiten mit komplexen Wechselwirkungen und Wirkmechanismen.

Parallel zur Vernetzung im IIoTSP ist die übergeordnete Entwicklung zu Wertschöpfungsnetzwerken zu sehen, die durch die Verknüpfung mehrerer wertschöpfender und nicht-wertschöpfender Prozesse entstehen. Die Betrachtungsweise ist zunächst unabhängig davon, ob ein Wertschöpfungsnetzwerk innerhalb einer einzelnen Fabrik oder unternehmensübergreifend bzw. ortsunabhängig zwischen unterschiedlichen Produktionsdienstleistern aufgebaut wird. Das Ziel dieser Entwicklung führt zu einem Produktionsumfeld der *Shared Production* [D'15].

Die Verbindung der verschiedenen, komplexen Produktionsanlagen und das Zusammenspiel aus Organisation, Technik und dem Menschen führen in Zukunft zu einem Produktionsnetzwerk mit zunehmend komplexen Wechselwirkungen [BZ15]. Dies wird neue Anforderungen an die Mitarbeiter stellen und deren Rollen verändern. Hierfür wird es notwendig die Mitarbeiter in einer veränderten Art und Weise zu unterstützen, denn die prozessgetriebenen Veränderungen rund um Industrie 4.0 lassen die Mitarbeiter auf dem Shopfloor bisher weitestgehend außen vor [Ac16]. Gerade die gewonnene Flexibilität stellt allerdings auch erhöhte Ansprüche an die Mitarbeiter. Diese werden eine zusätzliche Unterstützung erhalten müssen, um die Nachvollziehbarkeit von Prozessen gewährleisten zu können [Sp13].

1.1 Problemstellung

Ein wesentlicher Aspekt von Industrie 4.0 wird durch die Vernetzung der gesamten Wertschöpfungskette beschrieben. Oftmals steht hierbei die technische Sichtweise im Fokus. Die Vernetzung findet allerdings auf vielen Ebenen statt und besitzt vielfältige Einflüsse. Der Wandel zu Industrie 4.0 stellt einen facettenreichen Change-Prozess voller sozialer Fragestellungen, veränderter Anforderungen und individueller Bedürfnisse der Mitarbeiter dar. Aktuell mangelt es allerdings an einer übergreifenden und ganzheitlichen Betrachtung,

die die Anforderungen auf technischer Seite sowie die Anforderungen durch den Menschen miteinbezieht [We13, Sp13]. Im industriellen Umfeld werden schon heute eine zunehmende Menge an Daten und Informationen auf Shopfloor-Ebene gesammelt und gespeichert, was durch den Einzug des IIoTSP noch verstärkt werden wird. Trotz dieses Trends werden die Informationsbedarfe der Mitarbeiter nur unzureichend erfüllt. Gerade Mitarbeiter mit überwiegend operativen Tätigkeiten sind hiervon betroffen und bemängeln die Verfügbarkeit, Verwertbarkeit und Zuverlässigkeit der erhobenen Daten. Der Aufwand zur Informationsbeschaffung wird als hoch und zu zeitintensiv eingeschätzt sowie die Flexibilität der Analysemöglichkeiten als zu gering angesehen [Br16, KKL11]. Dieser Missstand ist bidirektional zu betrachten: Die Mitarbeiter in der Produktion haben zusätzlich auch nur unzureichende Möglichkeiten, ihr Wissen und ihre Expertise einzubringen [KKL11]. Um die Veränderung der Produktionswelt hinreichend gestalten zu können, fehlen Methoden, die den Einzug digitaler Werkzeuge in die Produktion bestmöglich begleiten [KI15].

Die Herausforderung liegt darin, aus der zunehmenden Datenfülle nutzbare hochqualitative Informationen und Wissen zu generieren, welche gewinnbringend eingesetzt werden kann [BH15, Ar18]. Gerade bei operativen Tätigkeiten liegt neben der Datenqualität ein weiterer Einflussfaktor in der adäquaten individuellen Informationsrepräsentation [BZ15], d.h. die Gesamtleistung eines Produktionssystems – auf welche ein Mitarbeiter Einfluss nimmt – hängt von einem mehrdimensionalen und komplexen Wirkungsfeld ab.

Parallel zur Entwicklung in der Produktion durch Industrie 4.0 ist eine zunehmende Vernetzung von Privatpersonen und Firmen durch soziale Netzwerke wie beispielsweise *Facebook*, *Xing* oder *LinkedIn* zu beobachten. Die Nutzung dieser Medien geht mit einer neuen Form der Mensch-Technik-Interaktion einher, welche die Art und Weise verändert, wie Kunden und Mitarbeiter untereinander und mit technischen Systemen interagieren [DJ16, MB18]. Auch die Industrie wird zunehmend von diesem dynamischen Wandel beeinflusst. Die Herausforderung besteht darin, skalierbare Systeme zu schaffen, die an die individuellen Bedürfnisse der Unternehmen und ihrer Mitarbeiter anpassbar sind und der Usability privater sozialer Medien folgen [MB18, Bi19].

Diese Anforderung entsteht erst durch einen Paradigmenwechsel der kognitiv einschränkenden Komponenten. Computergestützte Systeme zur Produktionsunterstützung und -planung basieren oftmals auf historisch gewachsenen Strukturen. Während in vergangenen Epochen die technischen Möglichkeiten der IT-Systeme die größten limitierenden Faktoren im Vergleich zu den Mitarbeitern darstellten, bietet die moderne IKT stark verbesserte Möglichkeiten hinsichtlich der kognitiven und datenverarbeitenden Fähigkeiten. In der Datenfülle des zukünftigen Produktionsnetzwerks wird die kognitive Fähigkeit des Menschen zum beschränkenden Faktor. Dieser Paradigmenwechsel unterstützt die Chance, IT-Systeme direkt auf den Menschen auszurichten, um diesen zu befähigen, seine neue Rolle mit veränderten Aufgaben in der Produktion adäquat ausführen zu können [DW14].

Die Bildung von Wertschöpfungsnetzwerken zur Produktion sowie die Integration von Menschen, Dingen und Services zum IoTSP zeigen den Trend, Netzwerke mit heterogenen Teilnehmern zu schaffen. Diese heterogenen Teilnehmer besitzen allerdings individuelle Fähigkeiten, Anforderungen und Bedürfnisse, welche besondere Relevanz in der Modellierung der Interaktionen zwischen den Teilnehmern aufweisen [Bi19]. Interaktionen innerhalb einzelner Teilnehmergruppen sind aus Sicht der einzelnen Domänen (Informatik, Elektrotechnik, Sozialwissenschaften, u.a.) Gegenstand zahlreicher Untersuchungen und Modellierungsansätze. Beispielsweise adressieren die aktuellen Bemühungen der Plattform Industrie 4.0 ebenfalls die Modellierung und Realisierung von Interaktionsmustern zwischen Industrie 4.0-Komponenten, beschränken sich hierbei allerdings auf Interaktionen zwischen Verwaltungsschalen und somit Teilnehmern einer homogenen Ebene [BBE17, BDH16]. Zur ganzheitlichen Modellierung zukünftiger Wertschöpfungsnetzwerke fehlt allerdings eine übergreifende Methode zur Modellierung von Interaktionen zwischen heterogenen Teilnehmern [He19].

Im Sinne der heterogenen Fähigkeiten besteht eine direkte heterogene Anforderung an die Informationsrepräsentationen innerhalb der Produktion. Informationstechnische Systeme haben die Anforderung, möglichst gleichförmige Repräsentationsformen zu verwenden. Der Mensch hingegen nutzt verschiedenste Arten der Informationsrepräsentation, wodurch sich die ganzheitliche Interpretation von interaktionsbezogenen Informationen komplex gestaltet. Semantische Technologien werden als zentrales Element eingesetzt, um eine übergreifende Informationsinterpretation aller heterogenen Teilnehmer zu ermöglichen [KTS13, BQR17].

Die Bemühungen rund um die Digitalisierung der Produktion und die Integration heterogener Teilnehmer in ein Internet der Dinge, Services und Menschen sowie die Erfahrungen der Mitarbeiter aus dem privaten Bereich führen zu einer notwendigen Neubetrachtung des Aufbaus und der Wirkmechanismen der Systeme zur Produktionsprozessmodellierung, insbesondere der Interaktionsmodellierung zwischen den verschiedenartigen Produktionsteilnehmern.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist, eine nachvollziehbare Methode zur Interaktionsmodellierung zu entwickeln, welche den Anforderungen und Bedürfnissen der heterogenen Teilnehmer (Menschen, Dinge und Services) innerhalb eines Produktionsnetzwerks gerecht wird.

Der digitale Wandel geht in vielerlei Hinsicht an den produktionsbeteiligten Mitarbeitern vorbei. Sowohl für die Entwicklungstätigkeiten innerhalb der Produktionsprozessentwicklung wie auch für die operativen Tätigkeiten direkt auf dem Shopfloor fehlen Vorgehensmodelle, um die zunehmende Komplexität des heterogenen Produktionsnetzwerks beherrschen zu können.

Mit der Wandlung zur autonomen Produktion wird eine übergeordnete Vision dargestellt, die eine Wandlungsfähigkeit der Produktionsanlagen und der Prozessorchestrierung impliziert. In diesem Wandel werden Tätigkeiten aus dem Engineering in das operative Tätigkeitsfeld übertragen. Die adäquate Unterstützung der Mitarbeiter der operativen Produktionsebene wird mit Hilfe eines nutzerzentrierten und interaktiven informationstechnischen Systems sichergestellt, welches eine automatisierte Interaktionsmodellierung als zentrales Element enthält. In dieser Arbeit soll hierfür eine ganzheitliche *Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer* geschaffen werden, welche durch die Gestaltung einer Systemarchitektur in einen funktionalen Prototyp zur automatisierten Interaktionsmodellierung realisiert wird.

Die Methodendurchführung wird unter dem Einfluss der Teilnehmerfähigkeiten bzw. -bedürfnisse und des Produktionskontexts gestaltet und adressiert das ganzheitliche Informationsverständnis durch die Verwendung semantischer Technologien sowie Akzeptanzförderung der operativen Methodenanwendung durch einen operativen Mehrwertbezug der Interaktionsmodellierung.

Folgende wissenschaftliche Forschungsfragen werden in dieser Arbeit beantwortet:

- Wie können die unterschiedlichen Bedürfnisse und Anforderungen an die Interaktionen gemeinsam und ganzheitlich semantisch modelliert werden?
- Wie können Interaktionen heterogener Teilnehmer mehrwertorientiert modelliert werden?
- Wie sieht die Systemarchitektur zur informationstechnischen Integration und Interaktion aller Produktionsteilnehmerklassen in einem System aus?
- Wie kann eine automatisierte Interaktionszuordnung zwischen heterogenen Teilnehmern zu ermöglicht werden?
- Wie kann die Methodenausführung automatisiert werden?

Die Ergebnisse dieser Arbeit leisten durch die innovative Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer im Produktionsnetzwerk einen direkten Beitrag zur Gestaltung einer wandelbaren autonom handelnden Produktion.

1.3 Vorgehensweise der Arbeit

Die folgende Arbeit zur *Entwicklung einer Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in Produktionsnetzwerken* wird zur Beantwortung der Forschungsfragen und Erreichung der Teilergebnisse in drei übergeordnete Strukturbereiche aufgeteilt (*Abbildung 1*).

Die zu entwickelnde Methode besitzt einen ganzheitlichen und übergreifenden Charakter, weshalb im ersten Teil der Arbeit die *Grundlagen* der unterschiedlichen Themenfelder erarbeitet werden (*siehe Kapitel 2*). Die bestehenden Vorarbeiten zur Digitalisierung in der Produktion und die Entwicklungstendenzen der Produktion der Zukunft werden in *Kapitel 2.1*

aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet. Im Detail umfasst dies die Paradigmen von Industrie 4.0, bestehende Konzepte und Architekturen zur Produktionsdigitalisierung, informationstechnische Schnittstellen und bestehende Informationsmodelle in der Produktion. Ergänzt werden die Erkenntnisse durch die Analyse des Einflusses vom Internet of Things und den zunehmend in Veränderung befindlichen Rollenmodellen, der an der Produktion beteiligten Mitarbeiter. Im folgenden *Kapitel 2.2* wird der Interaktionsbegriff in produktionsbezogener Sichtweise sowie aus Perspektive anderer Domänen und den Entwicklungen im privaten Umfeld analysiert. Die Grundlagenanalyse wird mit der Untersuchung etablierter Vorgehensweisen zur Prozessmodellierung als Grundlage der Interaktionsverankerung im Produktionsprozess (in *Kapitel 2.3*) sowie der Analyse bestehender Entwicklungsmethoden als Grundlage der Methodenentwicklung in dieser Arbeit in *Kapitel 2.4* abgeschlossen.

Im zweiten übergeordneten Bereich wird die *Entwicklungsmethodik* – mit dem Ziel die *Methode zur Interaktionsmodellierung* zu entwickeln – ausgeführt. Die Ergebnisse der Grundlagenanalyse beeinflussen direkt die Auswahl und Definition einer geeigneten wissenschaftlichen Methode in *Kapitel 3.1*. Gemäß der definierten Meta-Methode zur Methodenentwicklung wird die Entwicklung in zwei Schritten durchgeführt, welche die initiale Methodenentwicklung in *Kapitel 3* und die Methodenanpassung in *Kapitel 4* umfasst. Die beiden Entwicklungsblöcke unterscheiden sich in der Ausrichtung der Methodenentwicklung auf die informationsflussbezogene Komplexitätsreduktion bzw. auf die ressourcenorientierte Adaption zum produktiven Methodeneinsatz. Die Entwicklungsmethode beschreibt in beiden Fällen die Entwicklungsphasen der *Analyse, Akquise, Aufbereitung, Synthese* und *Finalisierung*. Das Ziel der initialen Methodenentwicklung besteht darin, unter Einfluss der Heterogenität der Teilnehmer und der Anforderungen des Produktionskontexts eine adäquate Ablaufstruktur zur Methodendurchführung zu entwerfen (*Kapitel 3.7.2*). Darauf aufbauend ist das Ziel der Methodenanpassung, die *Methode zur Interaktionsmodellierung* auf die automatisierte Anwendung in einem wandelbaren und autonom agierenden Produktionsnetzwerk zu adaptieren. Die Ergebnisse der Methodenanpassung liegen der ressourcenorientierten Ablaufstruktur (*Kapitel 4.5.3*) und der technisch geprägten funktionalen Systemstruktur zugrunde (*Kapitel 4.6*).

Im dritten übergeordneten Bereich dieser Arbeit erfolgt auf Basis der Ergebnisse der Entwicklungsmethodik die prototypische Implementierung der automatisierten Methodenausführung (*Kapitel 5*) und deren Bewertung (*Kapitel 6*). Der technische Entwurf und die Implementierung der einzelnen Systemelemente wird entsprechend der funktionalen Systemstruktur zu einem technischen Gesamtsystem zusammengefügt. Die Funktionen des Gesamtsystems werden anschließend anhand konkreter Anwendungsfälle detailliert erläutert und belegt (*siehe Kapitel 5.5*). Die Evaluation der Ergebnisse erfolgt in umgekehrter Reihenfolge des Vorgehens zur Methoden- bzw. technischen Entwicklung: Die Systemelemente werden anhand der lokalen Anforderungen an die einzelnen Funktionalitäten bewertet (*Kapitel 6.1*), die Gesamtsystemstruktur anhand der globalen

Anforderungen (Kapitel 6.2). Die methodischen Elemente der Methodenanpassung (Kapitel 6.3) und initialen Methodenentwicklung (Kapitel 6.4) werden abschließend an der angepassten operativen Aufgabenstellung bzw. der initialen operativen Gesamtaufgabenstellung gemessen.

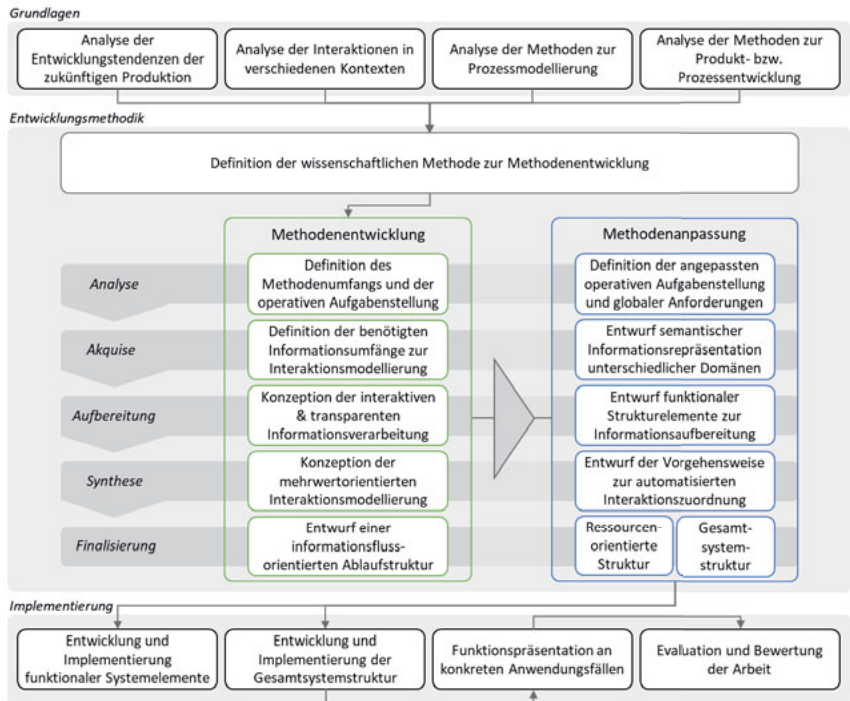


Abbildung 1: Schema der Vorgehensweise der vorliegenden Arbeit

2 Grundlagen

Die Entwicklung einer Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in der modularen Produktion erfordert eine ganzheitliche Betrachtung im Wirkungsfeld der Produktion der Zukunft. In diesem Kapitel wird daher ein Feld aufgespannt, welches über die technische Perspektive hinausgeht und zusätzlich organisatorische und soziale Einflüsse sowie den Einfluss moderner Kommunikations- und Kollaborationswerkzeuge aus dem vorwiegend privaten Umfeld einbindet. In *Kapitel 2.1* wird das Konzept einer zukünftigen Produktion unter Einbeziehung des Industrie 4.0-Paradigmas betrachtet. Demnach ist die Produktion der Zukunft als ein Netzwerk heterogener Teilnehmer anzusehen, die eine Betrachtung der Interaktionen spezifisch des Teilnehmertyps erfordern (*Kapitel 2.2*). Die Auswahl geeigneter Interaktionsmuster stützt sich innerhalb der zu entwickelnden Methode auf eine strukturierte Prozessbeschreibung, welche die Grundlage unterschiedlicher etablierter Modellierungsmethoden bilden (*Kapitel 2.3*). Im abschließenden Themenbereich, in *Kapitel 2.4*, werden unterschiedliche Entwicklungsmethoden verschiedener Bereiche vorgestellt, die die Grundlage zur Entwicklung der *Methode zur Interaktionsmodellierung* darstellen.

2.1 Entwicklungstendenzen der Produktion der Zukunft

Das Szenario der Produktion der Zukunft basiert auf den technischen Entwicklungen der jüngeren Vergangenheit. Im Einzelnen werden in diesem Kapitel der grundsätzliche Aufbau, sowie die grundsätzlichen Paradigmen der wandelbaren, modularen Produktion beleuchtet (*Kapitel 2.1.1*) und in die vorhandenen etablierten Referenzmodelle (*Kapitel 2.1.2*) eingeordnet. In *Kapitel 2.1.3* wird die ganzheitliche Sicht auf ein Produktionsnetzwerk aus Mensch, Maschine und Services dargestellt, bevor grundlegende Kommunikationsprotokolle zur Maschine-zu-Maschine-Kommunikation vorgestellt werden (*Kapitel 2.1.4*). In *Kapitel 2.1.5* werden moderne Industrie 4.0-Repräsentationskonzepte vorgestellt, die die Industrie 4.0-Komponenten als eigene Identitäten in der Digitalen Fabrik (*Kapitel 2.1.6*) einbetten und in Kontext zu den veränderten Anforderungen und Rollen der Mitarbeiter stellen (*Kapitel 2.1.7*).

2.1.1 Architektur der modularen Fabrik

Die Veränderung der Kundenbedürfnisse und der Nachfrage des Markts prägt die Neuausrichtung der Produktion: die äußeren Markeinflüsse fordern Kundenindividualität und kurze Lieferzeiten. Zusätzlich bedürfen die globalen Veränderungen der Umwelt und die Verknappung der Rohstoffe einer Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz [Pi93].

Um auf diese veränderten Bedingungen reagieren zu können, benötigt die industrielle Entwicklung, welche bisher auf (Kosten-)Effizienzsteigerung fokussiert, neue Impulse. Einen weit verbreiteten Ansatz stellt hier Industrie 4.0 dar, welcher ein Sammelbegriff für die

digitalisierte und verbundene Produktion der Zukunft darstellt und verschiedene Sichtweisen auf den anstehenden Wandel impliziert [KWH13].

Die unternehmerische bzw. ökonomische Perspektive beschreibt einen teilweise disruptiven Wandel hin zur Entwicklung hochflexibler Wertschöpfungsketten und neuer Geschäftsmodellen auf Basis innovativer Services [Ac16].

In der technischen Sichtweise wird der Wandel abstrakt durch Entwicklung von starren hin zu veränderungsfähigen Produktionseinheiten geprägt [To09]. Wiendahl et al. stellt unterschiedliche Stufen der Veränderungsfähigkeit auf Produktionsebene auf (siehe Abbildung 2), welche in den Dimensionen der Veränderbarkeit der Angebote (siehe Marktleistungsebene) und der Veränderbarkeit der Unternehmensebene (siehe Produktionsleistungsebene) beschrieben werden [Wi07].

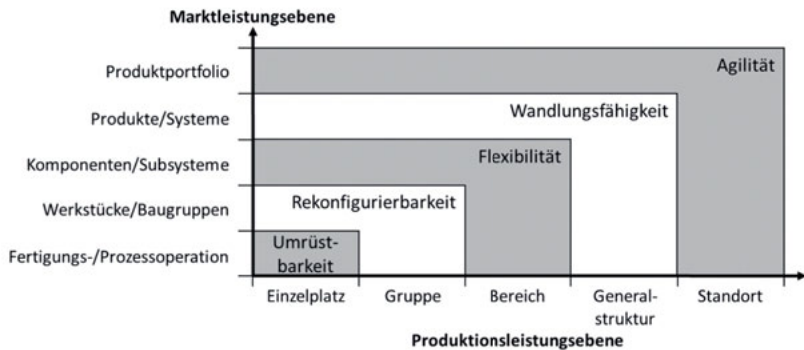


Abbildung 2: Formen der Veränderungsfähigkeit nach [Wi07]

Umrüstbarkeit und *Rekonfigurierbarkeit* sind in den variantenreichen Bereichen industrieller Produktion etabliert und werden in Strategien wie den Baukastensystemen und Baureihen bzw. Bauteilplattformen bereits umgesetzt [KI15]. Der zukünftige Fokus verlagert sich somit von der variantenreichen Großserienproduktion hin zu der kundenindividuellen Fertigung in kleinen Losgrößen bis hin zur Losgröße 1 [KN09, Ny08]. Produktionsanlagen werden zukünftig zumindest *flexibel* eingesetzt werden, um eine *wandlungsfähige* Produktion und eine *agile* Unternehmensstrategie zu ermöglichen [Wi07].

Die Veränderungsfähigkeit der Produktion muss in einer entsprechenden Weise gestaltet sein, um die derzeitigen Begrenzungen durch hohe finanzielle und zeitintensive Aufwände zur Anlagenadaption zu umgehen. Laut Nyhuis sind *Modularität*, *Universalität*, *Mobilität*, *Skalierbarkeit* und *Kompatibilität* als *Handlungsbefähiger* im Entwicklungsprozess zu berücksichtigen [Ny08].

Es gilt also, zukünftige Produktionsprozesse und deren Produktionsanlagen nach diesen Paradigmen zu gestalten, um den vielschichtigen Herausforderungen gerecht zu werden und weiterhin effizient und wettbewerbsfähig agieren zu können [HB14, Zu16].

Einen entscheidenden weiteren Einfluss besitzt die Entwicklung der Informationstechnologie und der Computertechnologie: der Kostenverfall und die erhebliche Leistungssteigerung der Systeme ermöglichen eine breite Anwendung der neuen Technologien [BHV14]. Im privaten Konsumentenumfeld sind solche modernen Technologien schon weit verbreitet und der *Digitale Wandel* ist ein breites gesellschaftliches Thema [Kr14]. Die flächendeckende Verbreitung im industriellen Umfeld mit spezifisch industriellen Anwendungen steht noch bevor [La14].

Die fortschreitende Konvergenz aus Fortschritten der Informatik, der Informations- und Kommunikationstechnologie sowie den zuvor vorgestellten Produktionstechnologien mündet in Industrie 4.0 und deren Enabler, den sogenannten *Cyber-physischen Systemen (CPS)* [Mo14, Mo16].

Ein CPS wird grundlegend durch die Kombination von physischer Komponente, integrierter Recheneinheit und Logik sowie Verbindung mit dem globalen Netzwerk, dem sogenannten Cyberspace, gekennzeichnet [LBK15, Ra10]. Integraler Bestandteile der CPS sind die informationstechnischen Systeme (*Hardware*), die *Software* sowie die elektromechanischen Komponenten (*Sensoren* und *Aktoren*), welche als Gesamtheit das *eingebettete System* darstellen (*Abbildung 3*). Im Gegensatz zu herkömmlichen mechatronischen Systemen ist das CPS durch die implizite Kommunikationsfähigkeit spezifiziert, womit das CPS über geeignete Systemschnittstellen und eine Kommunikationsstruktur von außen erreichbar und ansprechbar ist. Als komplettierende Systemschnittstelle mit hoher Relevanz verfügt das CPS über eine Benutzerschnittstelle [Br10a, LBK15]. Die fortschreitende Entwicklung und Verbreitung der CPS wird zunehmend die Art und Weise verändern, wie Mitarbeiter mit der physischen Produktionsumgebung interagieren [Ra10].

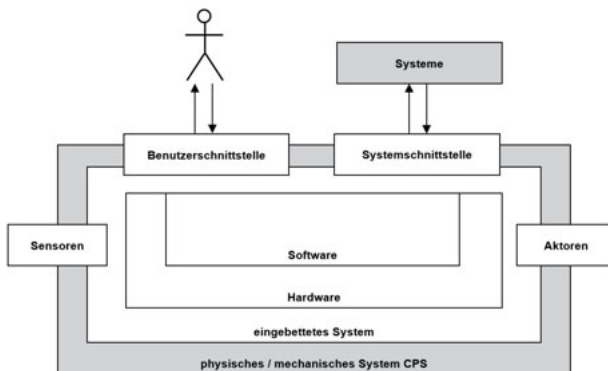


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines cyber-physischen-Systems nach [Br10a]

In der Industrie bilden die cyber-physischen-Systeme eine in sich gekapselte autonome Einheit, die mit ihrer integrierten Intelligenz, Logik, Kognition und Funktion eine robuste und fehlerresiliente Produktion ermöglichen [We18].

Die Integration zahlreicher CPS innerhalb der Produktion liefert ein Netzwerk aus Teilnehmern, die Informationen austauschen und eine dezentrale Produktionssteuerung als holonisches System aufbauen [Mo14]. Mit der Entwicklung der Möglichkeit zu einer flächenmäßigen dezentralen Steuerung wird die Transformation der Automatisierungspyramide zu einem hierarchielosen Netzwerk postuliert [Mo16].

Besteht die Produktionsumgebung aus einem solchen Netzwerk aus CPS-basierten Produktionseinheiten wird auch vom cyber-physischen Produktionssystem (CPPS) gesprochen [Mo14]. Durch diese fraktale Struktur, in der CPS als „System-of-systems“ verschiedene abstrakte Ebenen und Aggregationen einnehmen können [Go17, We18], wird mit dem cyber-physischen Produktionsmodul (CPPM) eine pragmatische Abstraktionsebene für die Modulare Produktion eingeführt [Bi15]. In *Abbildung 4* wird die Einordnung der Begriffe CPS, CPPM und CPPS sowie die strukturelle Abhängigkeit der einzelnen Elemente innerhalb der modularen Produktion aufgezeigt.

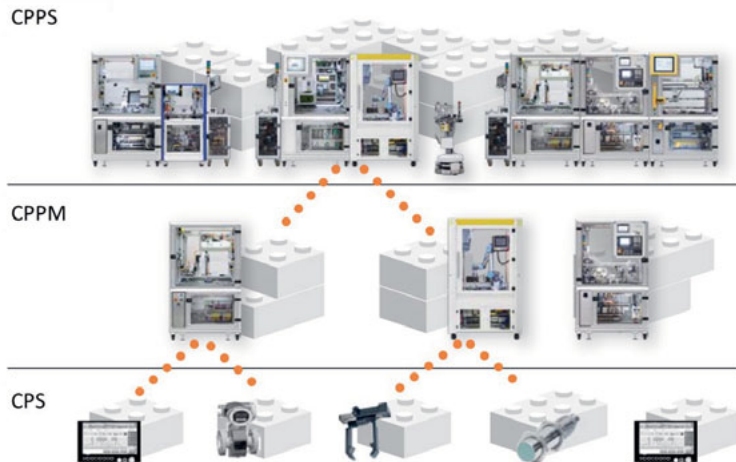


Abbildung 4: Einordnung von CPS, CPPM und CPPS in der modularen Produktion nach [KHM18]

Die *SmartFactory^{KL}* stellt ein herstellerunabhängiges Beispiel für eine modulare, veränderungsfähige Produktionsanlage dar, welche als Alleinstellungsmerkmal herstellerübergreifende Standards und Spezifikationen im Mitgliederkreis der *Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V.* definiert [Zu16, Go17]. Auf diesen Spezifikationen basierend, werden mehrere Produktionsmodule unterschiedlicher Hersteller (*siehe CPPM*) zu einer flexibel verbunden Gesamtanlage integriert (*siehe CPPS*), um ein personalisiertes individuelles Produkt herzustellen [KHM18].

2.1.2 Referenzarchitekturen

Industrie 4.0 erreicht ein hohes Maß an Komplexität, da eine einheitliche Abgrenzung fehlt und somit eine Vielzahl potenzieller Lösungsansätze und Interpretationen entwickelt werden. Das Ziel eines übergreifenden technischen Verständnisses des komplexen Lösungsraums Industrie 4.0 verfolgen die beiden Referenzarchitekturen RAMI 4.0 und IIRA, welche im Folgenden betrachtet werden.

RAMI 4.0

Das *Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)* wurde von der Plattform Industrie 4.0 – einer deutschen Allianz aus Forschung, Industrie und Politik – auf Basis des weltweit anerkannten Smart Grid Architecture Model (SGAM) entwickelt [GUD17]. RAMI 4.0 stellt ein abstraktes Modell zur Einordnung vorhandener Standards und Normen sowie der Bestimmung etwaiger Lücken dar [AAB16]. Das Modell spannt einen drei-dimensionalen Raum auf, der in einzelne Bereiche zur eindeutigen Identifikation und Standortbestimmung aufgeteilt wird (*siehe Abbildung 5*). Die drei Achsen des Architekturmodells beschreiben den Lebenszyklusabschnitt (angelehnt an IEC62890), die Hierarchieebene (angelehnt an IEC62264 bzw. IEC61512) und die Funktionsschicht (angelehnt an die Funktionsschichten der IT-Branche) einer Technologie bzw. einer konformen Komponente – der sogenannten Industrie 4.0-Komponente [He17, HR15].

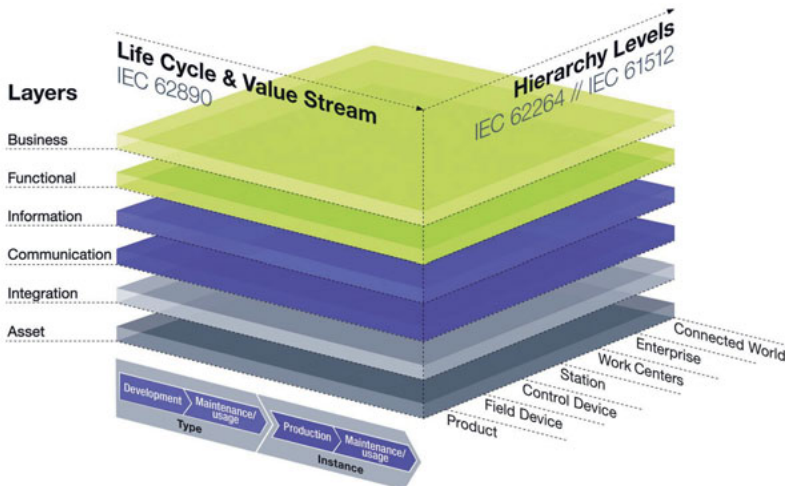


Abbildung 5: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 nach [AAB16]

Jede mögliche Entität innerhalb der Industrie 4.0-konformen Produktion lässt sich eindeutig in dem Modell einordnen und besitzt somit ein abstraktes virtuelles Abbild, welches in diesem Konzept als Verwaltungsschale bezeichnet wird [TA18, BDH16]. Die detaillierte Betrachtung

dieses Repräsentationskonzeptes erfolgt in *Kapitel 2.1.5*. Die Industrie 4.0-Komponente ist die Gesamtheit aus einer physischen Komponente und der zugehörigen virtuellen Verwaltungsschale. Sowohl RAMI4.0 als auch die Verwaltungsschale befinden sich in der fortwährenden Weiterentwicklung durch beteiligte Forschungsinstitutionen und erfahren zunehmende Aufmerksamkeit in der industriellen Anwendung [BBE17].

IIRA

Das *Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)* Modell wurde vom Industrial Internet Consortium entwickelt und stellt den US-amerikanischen Gegenentwurf zu RAMI 4.0 dar. Beide Konzepte beschränken sich auf ein hohes Abstraktionslevel, um eine grundsätzliche Einordnung im komplexen Raum Industrie 4.0 (bzw. *Industrial Internet* im US-amerikanischen Sprachgebrauch) zu ermöglichen. IIRA bindet auf abstrakter Ebene unterschiedliche Domänen in das Modell ein, um eine möglichst breite industrielle Anwendung zu ermöglichen. Das Ziel liegt auf der Interoperabilität und dem gegenseitigen Verständnis zwischen unterschiedlichen Industriepartnern. Die Architektur besteht aus vier Ebenen (*siehe Abbildung 6*), die jeweils eine Sichtweise (*engl. viewpoint*) ergeben [Ro15; Sh19]. Die Ebenen sind abstrakt mit den Architekturebenen des RAMI 4.0 vergleichbar, bilden allerdings nur die Bereiche *Implementation*, *Functional*, *Usage* und *Business* ab. Jede der Sichtweisen enthält tiefergehende spezifische Ausprägungen, wodurch IIRA vor allem als Aggregation vorhandener Standards und Vorgehensweisen zu verstehen ist [BDH17; Sh19].

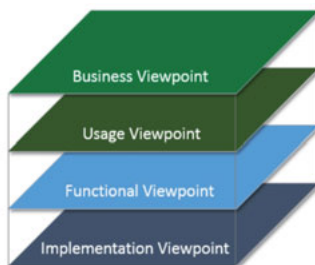


Abbildung 6: Betrachtungsebenen der IIRA nach [Sh19]

2.1.3 Industrial Internet of Things, Services und People

Die Idee, das Konzept des Internets mit dem Ziel, Menschen zu verbinden, auf physische Einheiten zu übertragen, geht auf Weiser et al. zurück [We99]. Das entstehende Internet der Dinge (*engl. Internet of Things - IoT*) bindet unterschiedlichste Geräte (*engl. devices*) in das bestehende Internet ein und ermöglicht eine übergreifende Informationsnutzung. Die potentiellen *devices* reichen dabei von sogenannten Dashbuttons für automatisierte Einkäufe, über Überwachungskameras mit Internetzugang, Fitnessarmbänder, smarte Lautsprecher bis hin zu den vernetzten Wetterstationen. Fleisch et al. und Bullinger et al. sehen das IoT als logische Erweiterung des Grundgedankens des Internets [FM05; BH07], welches sich großer

Beliebtheit im Bereich der Privat-Konsumenten erfreut [AH15]. So erwartet [St17] für das Jahr 2025 weltweit die Anzahl von ca. 75 Mrd. integrierten Geräten im IoT.

Das *Industrial Internet of Things (IIoT)* kann aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden. *IIoT* überträgt das Paradigma von *IoT* in den industriellen Sektor und steht für eine ebenenübergreifende Vernetzung von gesamten Produktionsanlagen sowie einzelnen Sensoren [Je17, Kö18]. Gerade die technische Entwicklung von kostengünstigen Sensoren trägt zur breiten vertikalen Vernetzung im Sinne des *IIoT* bei [Sa17]. Diese Perspektive profitiert maßgeblich von der Entwicklung der cyber-physischen Systeme (*siehe Kapitel 2.1.1*), welche eine Netzwerkanbindung voraussetzen.

Eine weitere Sichtweise ergibt die Bestrebung des *Industrial Internet Consortium* (*siehe IIRA in Kapitel 2.1.2*), welche das *Industrial Internet of Things* als ganzheitliches Konzept der zukünftigen Produktion betrachten [Sh19]. Das auch als *Industrial Internet* abgekürzte Konzept bildet somit das US-amerikanische Pendant zu Industrie 4.0 [Gi16]. Während das *IoT* durch die Einbindung der *devices* vor allem die Bedürfnisse der Nutzer adressiert und neue Lösungen ermöglicht, zeigt das *IIoT* in der Umsetzung eine starke technische Ausprägung, die sich vor allem um die Anbindung der Sensoren und Anlagen sowie deren Datennutzung dreht. Den vorgestellten Konzepten zu *IIoT* ist die nicht ausreichende Integration des Menschen gemein [SA18]. Mit zunehmender Vernetzung der Produktionsanlagen auf dem Shopfloor und der steigenden Menge an Maschinen- und Prozessdaten wird eine durchgehende Anbindung an IT-Systeme bzw. Services erfolgen, um eine effektive Datennutzung und Anlagensteuerung zu ermöglichen. Die postulierte Auflösung der Automatisierungspyramide gemäß des Paradigmenwechsels hin zur Industrie 4.0 baut gerade auf diese ganzheitliche Vernetzung [Ga16]. Dieses zunehmend komplexere Netzwerk bedarf einer adäquaten Integration des Menschen – aus Kunden- sowie aus Mitarbeiterperspektive [Ro17].

Die Betrachtung des *IIoT* greift daher als umfassendes Konzept zu kurz und benötigt eine Erweiterung um die Ebenen des Menschen (*engl. people*) und der (IT)-Services: Das Industrial Internet of Things, Services und People – *IIoTSP* [Sc16]. Eine einheitliche Definition der Begrifflichkeiten *IoT*, *IIoT* und *IIoTSP* besteht derzeit nicht, wird allerdings von Gremien wie der IEEE angestrebt [Gi16].

2.1.4 Ausgewählte Kommunikationsprotokolle

Ein wesentlicher Teil des postulierten Wandels, hin zum flexiblen Produktionsnetzwerk besteht aus technischer Sicht aus der vertikalen und horizontalen Integration der Produktionsanlagen. Die Fähigkeit der übergreifenden Kommunikation zwischen den Produktionsanlagen sowie zu den Teilkomponenten der Produktionsanlagen ist die Voraussetzung einer adäquaten Integration. Im Sinne des Paradigmas der serviceorientierten Architekturen als Grundlage des Netzwerks in der Produktion werden zunehmend mit der Bewegung um Industrie 4.0 hersteller- und plattformunabhängige Kommunikationsstandards

entwickelt und eingesetzt, welche proprietären Lösungen in den zunehmend heterogenen IT-/OT-Infrastrukturen überlegen sind [Go17].

Mit *OPC UA*, *MQTT* und *AMQP* werden folgend drei der relevantesten Protokolle vorgestellt [Go17], welche gemeinsam auf *TCP/IP over Ethernet* zum offenen Datenaustausch basieren [TW14, Sv16]. In *Abbildung 7* werden die drei Protokolle aus technischer und speziell aus Anwendungssicht betrachtet und im Folgenden detailliert hinsichtlich der grundlegenden Funktionsweise beschrieben.

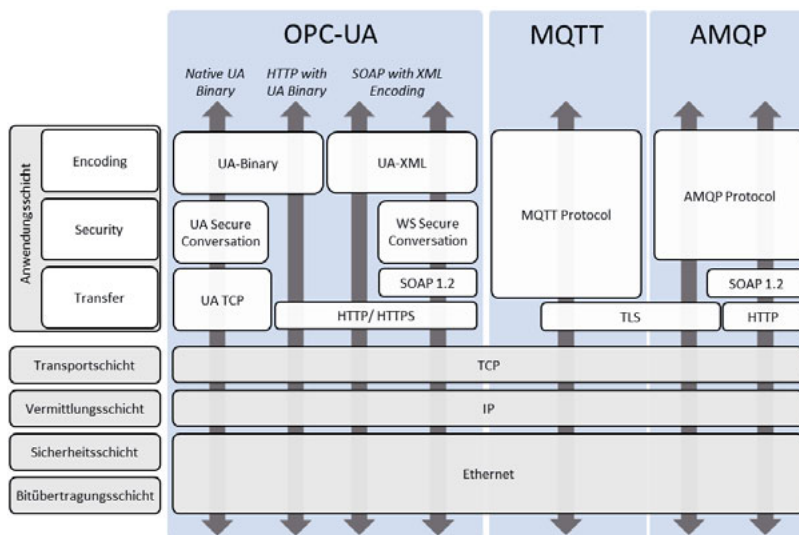


Abbildung 7: Einordnung ausgewählter Kommunikationsprotokolle in das Schichtenmodell nach [Sv16, TW14 und Na17]

OPC UA

Die Open Platform Communications Unified Architecture, kurz OPC UA, ist ein von der OPC Foundation entwickelter Standard, welcher das Ziel einer sicheren, hersteller- und plattform-unabhängigen industriellen Kommunikation verfolgt [OP14]. OPC UA integriert als Weiterentwicklung von OPC die verfügbaren OPC Technologien in einer Architektur [LM06, SK09]. Im Vergleich zu OPC und bestehenden Kommunikationsprotokollen unterscheidet sich OPC UA vor allem darin, dass nicht nur der Datentransport von Maschine zu Maschine (M2M), sondern auch eine smarte Kommunikation durch die Integration semantischer Informationsmodelle sichergestellt wird [LIB14]. OPC UA gilt als weitverbreiteter Quasistandard für die Kommunikation innerhalb der Produktion der Zukunft [Re17a, Pe17]. Die transparente, erweiterbare und in der DIN EN 62541 standardisierte Architektur trägt besonders zur einheitlichen Gestaltung von Schnittstellen von modularen Produktionssystemen bei [RMN17].

Der Aufbau von OPC UA lässt sich in zwei logische Bereiche untergliedern: die *OPC UA Basisdienste* und die darauf aufbauenden *Informationsmodelle* (siehe Abbildung 8). Die Basisdienste (engl. *base services*) umfassen unter anderem Funktionen zur Navigation im Adressraum (engl. *discovery*), zum *Zugriff auf Informationen* (lesend und schreibend) und Dienste, die den *Datentransport* sicherstellen (siehe Abbildung 7).

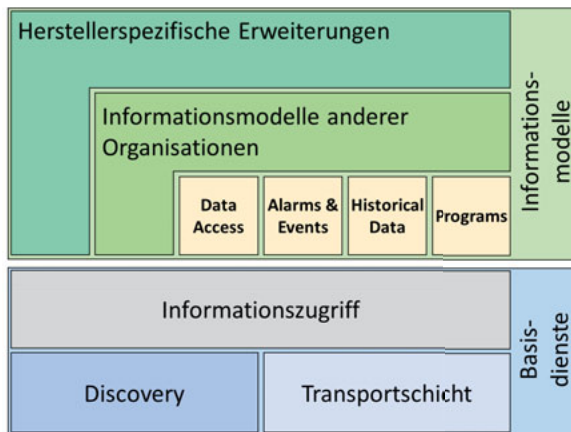


Abbildung 8: Logische Ebenen-Architektur von OPC UA nach [OP14 und Pe17]

Das OPC UA Informationsmodell umfasst seinerseits erneut logische aufeinander aufbauende Ebenen. Die grundlegende Ebene bilden Informationsmodelle für Geräte, für welche OPC UA vorgefertigte Meta-Modelle (Data Access, Alarms und Events, etc.) besitzt. Um einen übergreifenden Industriestandard zu schaffen, werden in der aufbauenden Ebene Informationsmodelle anderer Organisationen und Verbände (die sog. Companion Spezifikationen) eingebunden (z.B. OPC UA für IEC 61131-3/ PLCopen) [OP14], auf deren Basis wiederum erweiterte, herstellerspezifische Informationsmodelle gebildet werden können [Pe17].

MQTT

Das Message Queuing Telemetry Transport Kommunikationsprotokoll (MQTT) wurde mit dem Ziel eines leichtgewichtigen Protokolls für geringe Bandbreiten, hohe Latenzen und begrenzte Datenmengen entwickelt [La12]. Als Transportschicht wird das Transmission Control Protocol (TCP) verwendet (siehe Abbildung 7).

MQTT nutzt eine Publish-und-Subscribe Architektur, in welcher Nutzer (engl. *clients*) Nachrichten zu einem zentralen Vermittler (engl. *broker*) senden bzw. veröffentlichen und von diesem empfangen bzw. abonnieren. Die einfache Implementierung und eine effiziente Informationsübertragung durch einen kleinen Overhead – bestehend aus Inhalt (engl. *topic*) und Servicequalität (engl. *Quality of Service – QoS*) – zeichnen MQTT aus [Go17].

Anhand des *Topics* werden die Nachrichten durch den *Broker* an die *Abonnenten* verteilt. Der *topic* kann durch Sonderzeichen- und Platzhalter-Hierarchien aufgebaut werden, womit ein Abonnement für ganze Nachrichtengruppen möglich ist (*siehe Abbildung 9*). Die Ausrichtung des Protokolls auf instabile Netzwerkanbindungen erfordert die Unterscheidung der Sicherstellung des Nachrichtenversands in den drei Gütestufen des *Quality of Service* [Ta13, Th14].

<i>Fire and Forget</i>	Nachricht wird einmal versendet und benötigt keine Empfangsbestätigung
<i>Delivered at least once</i>	Mindestens ein Empfang einer Nachricht wird bestätigt
<i>Delivered exactly once</i>	Handshake zur Sicherstellung, dass die Nachricht genau einmal empfangen wird

Die eigentlichen Informations- und Dateninhalte folgen in einem frei editierbaren Textfeld (*engl. payload*), wodurch MQTT datenagnostisch arbeitet und somit unterschiedliche Datentypen versendet werden können [La12].

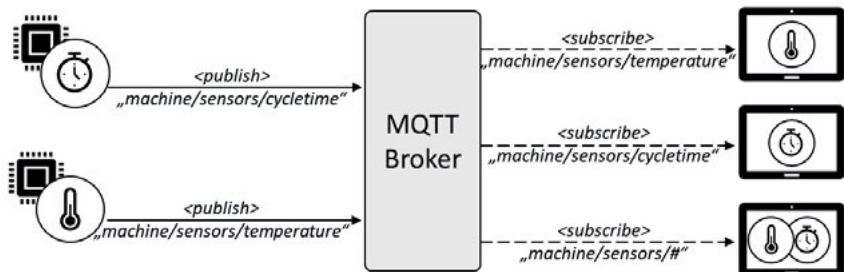


Abbildung 9: Beispiel einer MQTT Kommunikationsstruktur

AMPQ

Das Advanced Message Queuing Protocol, kurz AMQP, ist ein binäres Kommunikationsprotokoll, welches – wie MQTT – auf TCP basiert. AMQP ist als offener Standard seit 2014 bei der Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS) als IEC 19464 definiert [IEC 19464]. Mit dem Ziel der Interoperabilität zwischen einer Vielzahl an unterschiedlichen Anwendungen und Systemen wird die Entwicklung von AMQP von einem Konsortium großer Unternehmen aus dem IT- und dem Finanzbereich vorangetrieben. AMQP wird auch als das unabhängige Protokoll für die Nachrichtenübertragung in der Geschäftswelt bezeichnet [Di19b, KM18].

Im Vergleich zu dem leichtgewichtigen MQTT ermöglicht AMQP neben der Publish-und-Subscribe-Methode weitere Austauschmethoden, wie Direktaustausch, Broadcasts und

Zuordnung über die Nachrichtenheader [Na17]. Die Kommunikationsstruktur besteht zur Abbildung dieser Methoden aus den Herausgebern (*engl. publisher*), den Abonnenten (*engl. subscriber*) und dem Vermittler (*engl. broker*), welcher hier zusätzlich aus Elementen *Exchanges*, *Queues*, *Routing Keys* und *Bindings* aufgebaut ist.

AMQP genügt dem Anspruch einer End-to-End-Nutzung, weshalb die Möglichkeiten zur Modellierung der Daten, der Meta-Daten und der Regeln im Vergleich zu MQTT deutlich erhöht werden. Die folgenden Einschränkungen liegen vor allem im größeren Datenoverhead und in der komplexeren Implementierung, weshalb AMQP stabile Netzwerkverbindungen und ausreichende Speicherkapazitäten sowie Verarbeitungsleistung voraussetzt [Di19b]. Die Einschränkungen stehen einer Verwendung von AMQP zur Anbindung von Komponenten auf der Feldebene in der Produktion (z.B. einzelne Sensoren) sowie weiteren IIoT-Anwendungen entgegen und sind im Einzelfall zu überprüfen [Mo18].

2.1.5 Repräsentationskonzepte für Industrie 4.0

Ausgehend von dem Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (*siehe Kapitel 2.1.2*) wird mit der Verwaltungsschale ein RAMI 4.0-konformes Repräsentationskonzept entwickelt. Die *Verwaltungsschale* (VWS) bildet physische Gegenstände (*engl. Assets*) – wie Produktionsanlagen, einzelne Sensoren, Produkte, aber auch Dokumente und Unterlagen – in der Informationswelt (*Cyber-Welt*) ab. Passend wird in der DIN SPEC 91345 das Asset als „Gegenstand, der einen Wert für die Organisation hat“ definiert [DIN 91345]. Die Gesamtheit aus physischem Gegenstand und der Verwaltungsschale wird als Industrie 4.0-Komponente bezeichnet [BBB18].

Der *Digitale Zwilling* ist ein Begriff aus dem Konzept der *Digitalen Fabrik* (*siehe Kapitel 2.1.6*), der die digitale Repräsentation eines Bestandteils der Fabrik bzw. dessen Simulationsmodell definiert [Op16, We13]. Die *Verwaltungsschale* besitzt große Schnittmengen mit dem Konzept des *Digitalen Zwillings* und wird daher kongruent als die *Industrie 4.0-konforme Umsetzung des Digitalen Zwillings* bezeichnet [BBB18].

Im postulierten Szenario einer herstellerübergreifenden, flexiblen Produktion fungiert die Verwaltungsschale einerseits als digitale Repräsentation des Assets und andererseits als standardisierte Kommunikationsschnittstelle nach außen, welche den Zugriff und die Steuerung des jeweiligen Assets ermöglicht [TA18]. Das Konzept soll durchgängig die gesamte Wertschöpfungskette über den gesamten Lebenszyklus des Assets darstellen. Zur Zielerreichung verfügt sie über eine interne, herstellereinspezifische Schnittstelle zum Asset hin und eine standardisierte Schnittstelle zur externen Kommunikation. Der Aufbau der VWS (*siehe Abbildung 10 – linke Seite*) ist in einen Kopfbereich (*engl. Header*) und einen Inhaltsbereich (*engl. Body*) untergliedert. Der Header umfasst das sogenannte Manifest, welches administrative Informationen zur Kommunikation mit externen Systemen und zusätzliche Daten zur Identifikation, Funktionalität und Informationen über untergeordnete Komponenten beinhaltet. Der Body ist untergliedert in einzelne Teilmodelle (*engl. Submodel*),

die wiederum zusätzliche Informationen, Applikationen oder Referenzen über das jeweilige Asset enthalten. Jedes Teilmodell enthält einen Header und ist über das Manifest eindeutig zu identifizieren. Jeder Header ist wiederum standardisiert und bezieht sich auf spezifische Eigenschaften und Fähigkeiten. Der Body beinhaltet die eigentlichen Informationen und Methoden. Schließlich fungiert ein Komponentenmanager als Schnittstelle und steuert den Zugriff auf die einzelnen Teilmodelle [AAB16, TA18].

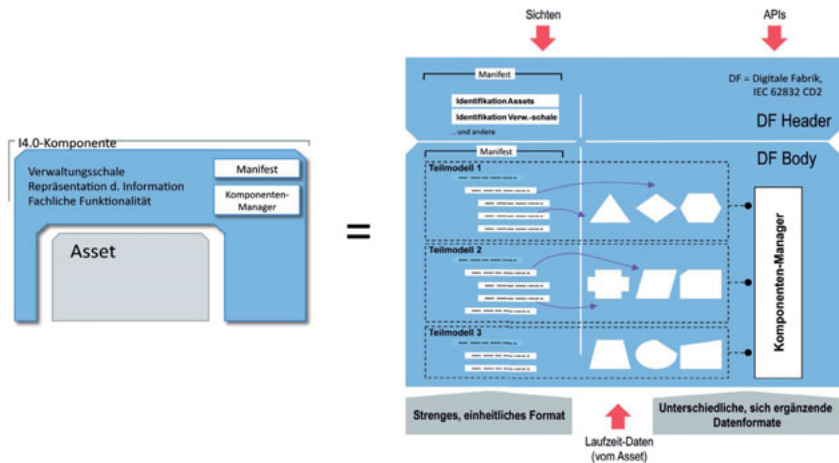


Abbildung 10: Schematischer Aufbau der Verwaltungsschale nach [AAB16]

Die einzelnen Teilmodelle aggregieren inhaltlich alle benötigten Informationen und kombinieren unterschiedliche, funktionale Aspekte einer Industrie 4.0-Komponente. Dabei lässt sich ferner differenzieren zwischen grundlegenden Teilmodellen, die standardisiert und zu einer Vielzahl von Assets gehören, und freien Teilmodellen, die etwa zwischen Wertschöpfungspartnern für einen spezifischen Anwendungsfall entwickelt werden. Ziel ist es, für jeden funktionellen Aspekt ein eigenes Teilmodell zu entwickeln. Somit kann eine VWS eine Vielzahl von Teilmodellen umfassen, die ein Asset aus unterschiedlichen Blickwinkeln durch Merkmale beschreibt. Jedes dieser Merkmale ist wiederum charakterisiert durch einen Identifikator, eine Begriffsbezeichnung, eine Begriffsdefinition und weitere Charakteristiken [AAB16]. Der Plattform Industrie 4.0 folgend können Submodelle beispielsweise folgende Merkmale umfassen [BBB18]:

- Produkteigenschaften (gemäß IEC61360-1 oder ecl@ss);
- Prozessvariablen und Parameter, Telemetriedaten;
- Referenzen zu externen Datenquellen oder Dateien;
- Referenzen zu Verwaltungsschalen und deren Bestandteile (Submodelle, Eigenschaften);
- Fähigkeiten von Wertgegenständen, Beschreibungen und Methodenaufrufe;
- Reihe von Eigenschaften, z.B. Listen und Abfolgen.

Rollen im Sinne der Teilnehmerrollen des Produktionsnetzwerks können ebenfalls in einem Rollenmodell in der Verwaltungsschale hinterlegt werden. So können daran wiederum Zugriffsrechte geknüpft werden, sodass jede einzelne Rolle über spezifische Zugriffsrechte verfügt [BBB18]. Da jedoch nicht jedes Merkmal für jeden Akteur und in jeder Lebenszyklusphase relevant ist, werden Merkmale einer oder mehreren Sichten zugeordnet. Die Plattform Industrie 4.0 hat in diesem Kontext folgende Basis-Sichten mit veranschaulichenden Beispielen formuliert, welche in der DIN 91345 verankert sind. Für den Kontext dieser Arbeit werden die Sichten der *Funktionalität* und des *Menschen* fokussiert.

Auf Basis der Repräsentation der VWS ist es Industrie 4.0-Komponenten ebenfalls möglich, Beziehungen zu knüpfen, d.h. Beziehungen auf physischer Ebene können virtuell mit der VWS nachgebildet werden. Analog zum physischen Zusammenbau einer Produktionsanlage aus einzelnen funktionalen Modulen können die einzelnen VWS der Module zu einer gemeinsamen sogenannten *Verbundkomponente* aggregiert werden [BBE17].

Durch das standardisierte semantische Modell der VWS ist eine beliebige Verbindung von einzelnen VWS in einem Netzwerk möglich. Hierbei sind zwei definierte Eigenschaften der VWS besonders zu beachten:

Die *Schachtelbarkeit* der VWS beschreibt die Fähigkeit, dass Verwaltungsschalen sich ineinander logisch verschachteln können. Wie oben beschrieben, bilden die VWS einzelner Anlagenkomponenten so die Teilmodelle der übergeordneten Anlagen-VWS [AAB16]. So kann aus Sicht der Anlagendokumentation beispielsweise die Baumstruktur eines Zusammenbaus innerhalb der Konstruktion und des physischen Zusammenbaus nachgebildet werden.

Einzelne Industrie 4.0-Komponenten können auch ohne logische physische Beziehung mit dem Ziel der effektiven Netzworkebildung *gekapselt* werden, d.h. mehrere VWS können über eine gemeinsame physische Schnittstelle angesprochen werden, ohne in den spezifischen Eigenschaften und Funktionen eingeschränkt zu werden [AAB16].

Die Verwaltungsschale befindet sich noch im Entwicklungsstadium und wird aktuell an ersten Prototypen in der Praxis getestet. Die hier vorgestellten Konzepte und Details beziehen sich auf den letzten verfügbaren Stand von Ende 2018 [BBB18].

2.1.6 Digitale Fabrik

Die Digitale Fabrik bildet eine Zusammenfassung computergestützter Werkzeuge im Produktionsengineering. Die Anwendung solcher Werkzeuge ist nicht als ausschließlich moderne Erscheinung zu verstehen, sondern ist bereits historisch etabliert. Die computergestützte, zwei-dimensionale Konstruktion (2D-CAD) in den späten 1970er Jahren und die Integration der dritten Dimension in der Konstruktion legten den Grundstein [Va18]. Die übergreifende Datenverwaltung in den Produktdatenmanagementsystemen (PDM) wurde vom Entwicklungsprozess auf den gesamten Lebenszyklus (Produktlebenszyklusmanagement, PLM) erweitert [ES13]. Zusätzlich wurde mit dem Computer Integrated Manufacturing (CIM) ein ganzheitlicher Ansatz zur Rechnerunterstützung in allen Unternehmensbereichen

postuliert [Sc12]. CIM gilt als gescheitert, was auf die damals fehlenden Speicher- und Rechenkapazitäten, die hohen Kosten für Hardware sowie die fehlenden Standards und Schnittstellen zurückgeführt wird [Va18].

Mit der Digitalen Fabrik und der Bewegung durch Industrie 4.0 sollen unter veränderten technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und mit dem veränderten Verständnis der Internetkultur neue Ansätze zur ganzheitlichen Computerunterstützung der Produktion erfolgen [Ho17]. Die Digitale Fabrik wird hierzu in Blatt 1 der VDI4499 wie folgt definiert:

„Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk an digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u.a. der Simulation und der dreidimensionalen Visualisierung –, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluation und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.“ [VDI4499-1, S. 3]

Anhand von *Abbildung 11* wird die Digitale Fabrik innerhalb der bestehenden Prozesse eines produzierenden Unternehmens eingeordnet. Der Fokus liegt auf der Produktionsplanung und der Gestaltung der Fabrik, den Übergangsbereichen zu der Produktentwicklung und -konstruktion sowie der folgenden Produktion [VDI4499-2].

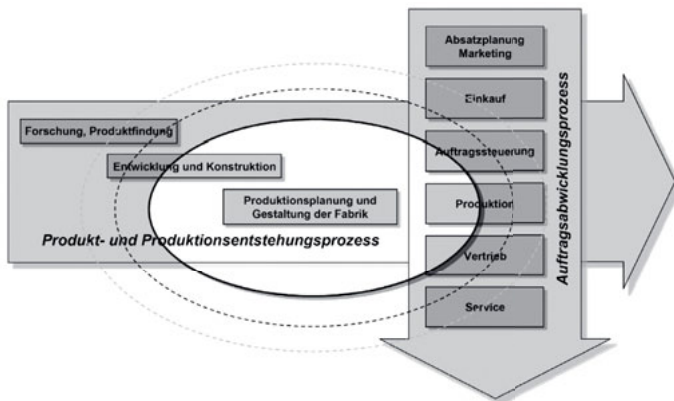


Abbildung 11: Einordnung der Digitalen Fabrik innerhalb der Unternehmensprozesse [VDI4499-1]

Dem Wandel zur flexiblen Fertigung durch eine modulare Produktion (siehe Kapitel 2.1.1) folgt eine Verlagerung von Tätigkeiten aus dem Bereich der vorgelagerten Planung und Entwicklung auf den Shopfloor der Produktion, um dynamisch auf Ad-hoc-Veränderungen der Produktionsanlagen reagieren zu können [We18].

Die Anzahl von Werkzeugen für die Digitale Fabrik steigt mit der Etablierung von Nischenanbietern und Full-Service-Anbietern aktuell an [Op16]. Zusätzlich wird durch die teilweise Verschiebung in die Realproduktion eine oftmals gewachsene heterogene Anlagenstruktur integriert. Diese parallelen Entwicklungsstränge führen zu einer

Diversifizierung der Werkzeuge und der benötigten Schnittstellen [We16], worin ein Grund des Scheiterns von CIM liegt.

Aus Sicht der Industrie und der Wissenschaft fehlen laut [KI15] geeignete Methoden zur ganzheitlichen Integration der Werkzeuge in der Entwicklungsphase und vor allem in die Produktion selbst. Gerade diese sind allerdings notwendig, um einen nahtlosen Informationsaustausch der Ingenieursdisziplinen mit den heterogenen Werkzeugen und Anlagen zu ermöglichen [We16].

2.1.7 Rollen und Bedarfe in der Produktion

Mit dem beschriebenen Paradigmenwechsel zu Industrie 4.0 verändert sich nicht nur die technische und ökonomische Perspektive auf die industrielle Produktion, sondern ebenso die organisatorische und strukturelle. Durch diesem Wandel verändern sich auch die Anforderungen an die Kompetenzen und Qualifikationen der Mitarbeiter [Ac16].

Prognosen zur Entwicklung des Arbeitsmarktes gehen grundsätzlich von zwei Szenarien der Weiterentwicklung aus [WH18]: die Substituierbarkeit von bisher vom Menschen durchgeführten Tätigkeiten [DM15, FO17] sowie die Entstehung neuer Tätigkeitsfelder auf Grund neuer Technologien [SDC15]. Die beiden aufgezeigten Szenarien werden wissenschaftlich durch die aktuelle Literatur bestätigt und formen zusammenfassend die beiden Pole des *Automatisierungsszenarios* und des *Werkzeugszenarios* aus [WS12].

Das *Automatisierungsszenario* zeigt einen strikt technologiefokussierten Ansatz und geht grundsätzlich von einer Substituierung der heute menschlichen Tätigkeiten durch zukünftige technologische Lösungen aus [WH18b]. Dieser Ansatz basiert auf der strikten Teilung der Tätigkeiten in operative und planerische in der einen Dimension sowie auf eine Gliederung der Qualifikationsstruktur in der anderen Dimension. Das Szenario geht davon aus, dass Tätigkeiten klar einem Punkt in diesem Feld zuzuordnen sind und meist von unterschiedlichen Personen ausgeführt werden. Gerade Routinetätigkeiten im operativen Bereich mit einem geringen Qualifizierungsanspruch werden demnach ersetzt werden [FO17, ALM03], was zu einer zunehmenden Spaltung zwischen den niedriger und höher qualifizierten Arbeitskräften führen wird [WH18].

Es wird ebenfalls davon ausgegangen, dass der unaufhaltsame technologische Fortschritt, speziell die Entwicklung von Maschinen und Computern, in absehbarer Zeit zu dem Punkt führen wird, an dem deren Fähigkeiten bei der Ausübung von Routinetätigkeiten die Fähigkeiten menschlicher Arbeitskräfte übersteigen [Fo09, Bo14, BS15]. Frey und Osborne gehen von einer großen Unsicherheit für die Arbeitskräfte in den USA und West-Europa aus – langfristig auch in höher qualifizierten Ausbildungsniveaus [FO17]. Gerade die jüngsten Entwicklungen des Themengebiets der *Künstlichen Intelligenz (KI)* werden großen Einfluss auf die höher qualifizierten Tätigkeitsfelder haben [FO17].

Das *Werkzeugszenario* stellt eine komplementäre Perspektive dar, welche in der technologischen Entwicklung vor allem eine Chance zur adäquaten Unterstützung des

Menschen sieht. Die beschriebene technologische Weiterentwicklung im Rahmen von Industrie 4.0 und der modularen wandlungsfähigen Produktion ermöglicht und erfordert gleichzeitig neue Konzepte zur adäquaten Einbindung des Menschen in das entstehende Produktionsnetzwerk [Ac16, HH17]. Mit diesem Szenario wird eine veränderte Rollendefinition der Menschen in der Produktion impliziert, in welcher der Mensch die zentrale Position in der Produktion einnimmt [TGG18]. Die Planung und Ausführung der Tätigkeiten werden mit größeren Freiheiten und Eigenverantwortung im Gestaltungsrahmen der Beschäftigten stattfinden, damit sie auf die agilen Anforderungen reagieren können [GSL14]. Gleichzeitig werden die Erfahrung und die kreativen Fähigkeiten zur Problemlösung in dem breiten und zunehmend komplexen Aufgabenfeldern einen entscheidenden Teil einnehmen [Sc17]. Der Mensch wird somit zunehmend die Funktion der Überwachung, Problemlösung und Entscheidung übernehmen [BH15, BS16].

Hinsichtlich der Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt wird in diesem Szenario eine große Chance gesehen, in welchem – neben der Reduktion einfacher Tätigkeiten – neue Tätigkeitsfelder durch die technologische Entwicklung entstehen [Hi14]. Im Vergleich zum *Automatisierungsszenario* wird im *Werkzeugszenario* von nicht klar trennbaren Tätigkeitsfeldern ausgegangen. Vielmehr wird gerade die zunehmende Vermischung von operativen und dispositiven Tätigkeiten postuliert, wodurch die Komplexität der Tätigkeitsfelder erhöht wird. Zur Aufgabenerfüllung benötigen die Mitarbeiter ein hohes Maß an kognitiven Fähigkeiten und eine höhere Qualifikation [WH18, BS16]. Weiterhin ist durch die durchgängige Automatisierung davon auszugehen, dass das Maß an körperlicher Arbeit sinken und der Produktionsmitarbeiter zunehmend zum Wissensarbeiter wird [Kr14]. Die Qualifikation der Mitarbeiter besitzt somit zukünftig eine noch größere Relevanz, wodurch in Zusammenhang mit der fortwährenden technologischen Entwicklung das lebenslange Lernen für die im Kontext passende Qualifikation etabliert werden muss [BS16, VBH17]. Die benötigten Qualifikationen sind stark abhängig vom Anwendungsfeld und können bisher nicht vollumfänglich abgeschätzt werden [Ac16]. Die benötigten Kompetenzen lassen sich abstrakt in den folgenden vier Bereichen zusammenfassen: Fachkompetenz, Sozialkompetenz, Methodenkompetenz und Kompetenz zur persönlichen Weiterentwicklung [Hi14, Ac16, DW14, Lo15]. Die Erfüllung der gesteigerten Anforderungen in diesem Szenario erfordert neben dem Handlungsfeld der Mitarbeiterqualifizierung ebenfalls die technologische Unterstützung durch smarte Anlagen und intuitive, benutzerfreundliche Mensch-Maschine-Schnittstellen [TGG18].

In diesem Zusammenhang sind auch die Begriffe des menschenzentrierten Produktionssystems oder des *Human-Cyber-Physical-Systems (HCPS)* [Ro16b, TGG18] zu nennen, die die zentrale Rolle des Menschen in einem Produktionsparadigma darstellen und die technische Perspektive der Produktionsbetrachtung um eine soziale Sichtweise erweitern.

Gerade mit der Gestaltung des Menschen in zentraler Rolle nimmt die effektive Informationsversorgung des Mitarbeiters große Relevanz ein, die durch die steigende Komplexität bei der Bedienung zunehmend heterogener Produktionsanlagen in einer

modularen Produktion noch gesteigert wird [Wi14]. Die mittels CPS vernetzte modulare Produktion sowie die flächenmäßige Anwendung des IIoTSP Konzepts wird zu einer steigenden Menge an gesammelten Daten und Informationen führen, welche zur Beherrschung des Produktionsumfelds notwendig sein wird. Begrenzt wird diese Entwicklung vor allem durch die kognitiven Fähigkeiten des Mitarbeiters und die adäquate Integration des Menschen. So besteht gerade im operativen Produktionsbereich trotz flächenmäßig gesamelter Daten der Mangel, diese Daten überhaupt nutzen und interpretieren zu können [KKL11]. Die teilweise großen Datenmengen sowie das fehlende Verständnis führen zur kognitiven Überlastung (*engl. Cognitiv Overload*) [EM08], vor allem in Fällen, in welchen die Nutzerschnittstellen und Tools in einer nicht adäquaten Art und Weise gestaltet sind. So führt eine adäquat gestaltete computergestützte Unterstützung zu einem Produktivitätsgewinn gegenüber der Prozessdurchführung ohne Unterstützungssystem. Der Einsatz eines nicht funktionalen und nicht adäquat gestalteten Systems reduziert hingegen die Produktivität [Br16], wodurch die nutzergerechte Gestaltung der Schnittstellen einen elementaren Fokus darstellt, der zusätzlich in *Kapitel 2.2.2* betrachtet wird.

2.1.8 Zwischenfazit

Die Entwicklungstendenzen im industriellen Umfeld hin zur Produktion der Zukunft zeigen eine tiefgreifende Veränderung, die mit der Umsetzung der Paradigmen von Industrie 4.0 beginnt. Die Vision der zukünftigen Produktion umfasst ein agiles Wertschöpfungsnetzwerk unabhängiger Produktionsdienstleister anstatt einer starren Struktur aus starren Produktionsstätten (*siehe Kapitel 2.1.1 und Kapitel 2.1.3*). Die aktuellen Forschungs- und Entwicklungsinhalte beruhen vor allem auf der Betrachtung und Weiterentwicklung der technischen Voraussetzungen zur Realisierung des Wandels (*siehe Kapitel 2.1.2, Kapitel 2.1.4 und Kapitel 2.1.5*). Die Entwicklung der Digitalen Fabrik (*siehe Kapitel 2.1.6*) leistet mit dem domänenübergreifenden Verständnis einen wichtigen Beitrag zur erweiterten Aufgabendefinition.

Allerdings wird dieser Wandel von tiefen sozialen Folgen begleitet werden, die in einem neuen Rollenverständnis der Produktionsmitarbeiter gipfeln (*siehe Kapitel 2.1.7*). Die Neuinterpretation der Produktionsrollen greift auf Grund des disruptiven Technologiewandels möglicherweise nicht weit genug. Viel wichtiger wiegt allerdings die fehlende systematische Integration der humanen Komponenten in die Forschungsfelder. Neben der dezidiert betrachteten Mensch-Maschine-Interaktion im klassischen Sinn sind die Humanfaktoren nicht hinreichend integriert. Die Erweiterung der Produktion zu einem Produktionsnetzwerk aus heterogenen Teilnehmern, die auf einer Ebene operieren (*engl. Peer-to-Peer*), erfordert eine ganzheitliche Betrachtung der Interaktionen aller involvierten Teilnehmer. Das Ziel dieser Erweiterung liegt in der Bereitstellung adäquater Interaktionsmöglichkeiten abhängig vom Teilnehmertyp (Mensch, Maschine und Service) sowie den individuellen Bedürfnissen.

2.2 Interaktionen

Die Methodenentwicklung in dieser Arbeit fokussiert die adäquate Interaktionsmodellierung der heterogenen Teilnehmer in einem wandelbaren Produktionsnetzwerk. Der Interaktionsbegriff ist eine wesentliche Grundlage hierfür. Die Heterogenität der Teilnehmertypen und die Variabilität innerhalb der Produktionsnetzwerke erfordert eine ganzheitliche domänenübergreifende Perspektive auf die Ausgestaltung der Interaktionen.

In diesem Kapitel wird hierzu der Begriff der Interaktion aus unterschiedlichen Sichtweisen beleuchtet und im Kontext dieser Arbeit bewertet. Zu Beginn werden in *Kapitel 2.2.1* die Interaktionen zwischen nicht-menschlichen Interaktionsteilnehmern – als Maschine-zu-Maschine-Interaktion bezeichnet – betrachtet. Im folgenden Abschnitt werden die Interaktionen zwischen Menschen und den nicht-menschlichen Teilnehmern – die sogenannte Mensch-Maschine-Interaktion – untersucht (*siehe Kapitel 2.2.2*). In *Kapitel 2.2.3* wird der Gegenstand der Interaktion in einem Exkurs in zahlreichen anderen Domänen in kompakter Form betrachtet, bevor in *Kapitel 2.2.4* eine abschließende Definition des Interaktionsbegriff gewählt wird.

2.2.1 Maschine-zu-Maschine-Interaktion

Die Interaktion zwischen Maschinen – bzw. im Sinne des IIoTSP auch Services – wird als *Maschine-zu-Maschine-Interaktion (M2M)* bezeichnet. Der Begriff definiert den automatisierten Informationsaustausch zwischen technischen Systemen (im Kontext dieser Arbeit: Maschinen und Services; im Allgemeinen: Maschinen, Fahrzeuge, usw.) untereinander oder mit einer zentralen koordinieren Stelle [BAB12].

Die M2M Interaktion im industriellen Umfeld wird mit der Einführung von Industrie 4.0 gemäß des RAMI 4.0 auf eine serviceorientierte Architektur (SOA) aufgebaut, die OPC UA als Protokoll auswählt (*siehe Kapitel 2.1.1 und 2.1.4*). Die Kommunikation über vordefinierte Programmierschnittstellen (*engl. application programming interface; API*) durch den Austausch passiver *Primitiven* und *Operationen* ist ohne die Verwendung semantischer Interaktionsprotokolle möglich. Die Interaktion aktiver Elemente, welche durch aktive Verwaltungsschalen repräsentiert werden, stellt einen wesentlichen Aspekt der autonomen Produktion dar. Zur Umsetzung dieses Ansatzes ist die Etablierung der semantischen Industrie 4.0-Sprache notwendig, die noch aktueller Gegenstand der Forschung ist [MGS18, Be19].

Voraussetzung und Innovationstreiber ist der Einsatz der cyber-physischen Systeme (CPS) in der Industrie, die intelligente Produktionsmodule ermöglichen (*siehe Kapitel 2.1.1*) und in vertikale und horizontale Richtung interagieren [WHT17]. Die Interaktion wird auf Basis einer IKT-Plattform betrieben, welche unter folgenden Grundanforderungen agiert [Ho14]:

- Dienstsysteem für *Zugriff* auf Sensorik und Aktorik sowie für *Identifikationsaufgaben*
- Menschen- und maschinenlesbare *Service- und Schnittstellenbeschreibungen* mit Zweck- und Nutzenbeschreibung

- *Standardisierte Erkennung* von Geräten, Beschreibung der Funktionalität unabhängig von deren Anbindung/ Transportdienst

Der präferierte Kommunikationsstandard *OPC UA* betreibt die Kommunikation auf Basis von einzelnen *Serviceaufrufen* und bietet die Möglichkeit, die Daten und Informationen mit *Struktur* und *Bedeutung* zu versehen. Die Aggregation von Daten und deren strukturierte Zusammenführung wird durch *eingebettete Metadaten* gewährleistet. Die *Umsetzung der SOA* in OPC-UA zeigt Parallelen zur Orchestrierung von Services in anderen Domänen, welche in der Produktion insgesamt an Bedeutung gewinnt. OPC-UA unterstützt weiterhin die horizontale (Peer-to-Peer, P2P) und die vertikale (anwendungsbezogene) Interaktion [Ho14, BDH16].

Die jeweiligen Interaktionsformen sind von der Komposition der involvierten Interaktions Teilnehmer und des jeweiligen Systemkontexts abhängig, welcher direkt die verfügbaren Systemschnittstellen beeinflusst [Re16]:

- *Hierarchische Komposition*: Schnittstellenbeschreibung gemäß APIs (in *Top-down-Vorgehensweise*) bzw. generischer Events (*Bottom-up-Vorgehensweise*)
- Netzwerkartige, nicht-hierarchische Komposition: Schnittstellenbeschreibung gemäß Rollen von Protokollen
- Pipe-Komposition: Unidirektionale Schnittstelle mit strikt sequenzieller Informationsverarbeitung gemäß Informationsflussrichtung mit Möglichkeit der Gabelung oder Vereinigung der Informationsströme

Die vertikale Interaktion kann entlang des klassischen hierarchischen Verständnisses der Automatisierungspyramide verdeutlicht werden, in welcher übergeordnete Systeme den Systemen in den unteren Ebenen Befehle erteilen (z.B. Auftragszuweisung durch ein Produktionsplanungssystem an eine Maschinensteuerung). Zwischen den Teilnehmern entsteht eine asymmetrische Verwendungsbeziehung, in der der Verwender über die verwendete Komponente bestimmt [BDH16]. Die vertikale Interaktion ist entsprechend der initiiierenden Interaktionsrichtung in die Top-down- und die Bottom-up-Vorgehensweise einzuteilen.

Die horizontale Interaktionsrichtung wird mit der P2P-Interaktion gleichgesetzt und setzt eine Interaktion zwischen gleichberechtigten Teilnehmern um. Im technischen Umfeld werden hierzu im Wesentlichen Software-Agenten bzw. Multiagentensysteme eingesetzt, welche autonome Einheiten bilden, die eigenständig Entscheidungen treffen. Die Interaktion zwischen den Agenten folgt dabei einem bestimmten Zweck, zu deren Modellierung beispielsweise Agent-Interaction-Protocol-Diagramme verwendet werden [CM05].

Die Interaktion in einem Produktionsnetz aus heterogenen Teilnehmern stellt die Weiterentwicklung der M2M-Kommunikation in Richtung der Interaktion von autonomen, entscheidungsfähigen Maschinen bzw. Multiagentensystemen dar, die im Wesentlichen auf dem P2P-Paradigma zwischen aktiven Verwaltungsschalen basiert (*siehe Abbildung 12*). Das

Verhalten der einzelnen Teilnehmer wird durch Zustandsmaschinen abgebildet, die innerhalb der Interaktion miteinander gekoppelt sind [DIN 16593]. Aus Sicht des Gesamtsystems bzw. eines anderen Teilnehmers agiert ein einzelner Teilnehmer asynchron, nicht-deterministisch und zustandsbehaftet [BDH16].

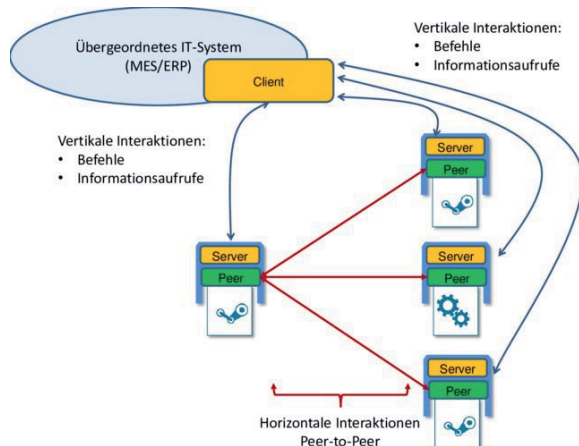


Abbildung 12: Horizontale und vertikale Interaktionen in einem Industrie 4.0-System nach [Di17]

Die hierarchischen Ebenen werden aus technischer Sicht obsolet – es entsteht ein hierarchisches Netzwerk. Gegenstand der aktuellen Forschung stellen überwiegende Szenarien zu Ausschreibungs- und Verhandlungsverfahren zwischen aktiven Verwaltungsschalen bzw. den autonomen Einheiten dar [BD18]. Die selbstbestimmte Handlungsweise ist die Grundlage einer dezentral handelnden Prozessorganisation der agilen Produktion der Zukunft, die wiederum selbst durch eine gemeinsame semantische Sprache ermöglicht wird [Be19]. Die semantischen Protokolle der Industriesprache werden benötigt, um

- sämtliche Nachrichtentypen eines Interaktionsmusters sowie deren Bedeutung genau zu spezifizieren (z.B. das Muster *propose*, mit anschließend erfolgenden Reaktionen);
- Regeln der Kommunikation festzulegen;
- eventuell vorhandene Rahmenbedingungen zu berücksichtigen
- am Prozess beteiligte Rollen mit den benötigten Fähigkeiten und Verhaltensweisen zu beschreiben.

Interaktionsmuster, die zwischen autonomen Industrie 4.0-Komponenten angewendet werden, werden folglich durch das semantische Interaktionsprotokoll beschrieben. Voraussetzung zur Interaktionsumsetzung ist die Bekanntheit der Interaktionsmuster in den aktiven Verwaltungsschalen bzw. in dem Interaktionsmanager (siehe Abbildung 13), der als Host der Interaktionsmuster angesehen wird und diese durch Aufruf der erforderlichen Algorithmen aktiviert [BD18].

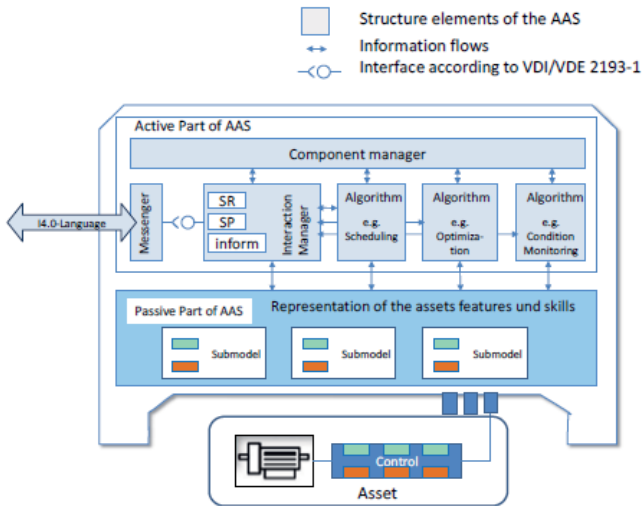


Abbildung 13: Exemplarische Implementierung einer aktiven Verwaltungsschale nach [BD18]

Die Struktur der Industrie 4.0-Sprache orientiert sich stark an Merkmalen menschlicher Sprache wie dem Dialogprinzip, dem Satzbau und dem eigenen Vokabular, und besteht aus Teilmodellen, Merkmalen und Austauschformaten. Somit wird die M2M-Interaktion durch die Anwendung der Industrie 4.0-Sprache zunehmend Parallelen zum Austausch zwischen Menschen erhalten (siehe Abbildung 14).

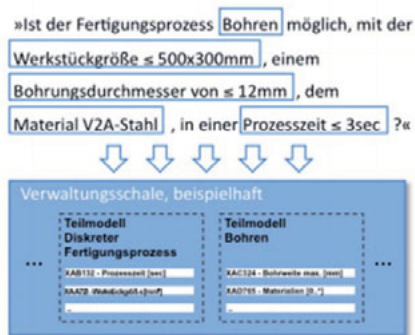


Abbildung 14: Beispiel zur semantischen Ausprägung der Industrie4.0-Sprache in der Industrie4.0-Komponente [HR15]

2.2.2 Mensch-Maschine-Interaktion

Mit der Integration der Paradigmen von Industrie 4.0 und einer zunehmend auf CPS basierenden Produktionsumgebung erhält die Interaktion der Produktionsteilnehmer eine steigende Relevanz [GSL14]. Die Interaktion zwischen den Mitarbeitern und den Produktionsanlagen wird in eine *Informationsausgabe* aus der Produktionsanlage bzw. Maschine und eine *Informationseingabe* durch den Menschen unterteilt [SLB10]. Der Mensch ist in aller Regel in der Lage Informationen gemäß der menschlichen Wahrnehmungskanäle aufzunehmen. Im Fall der Interaktion innerhalb des Produktionsumfelds werden der *visuelle*, *auditive* und *haptische* Kanal betrachtet (siehe Abbildung 15). Die restlichen Kanäle (kinästhetisch, olfaktorisch und gustatorisch) werden nicht gezielt angesprochen, spielen aber in der Produktion eine wichtige Rolle zum Erkennen von unmittelbaren Warnsignalen (z.B.: Ölgeruch an einer Maschine durch ein Leck).

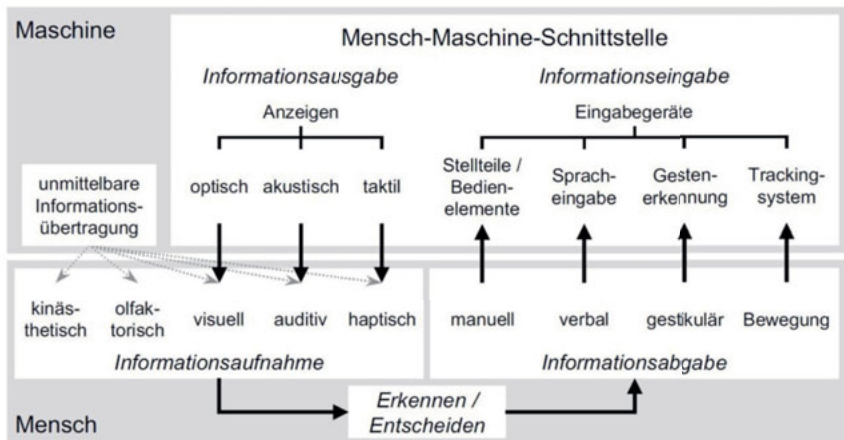


Abbildung 15: Informationsübertragung im Mensch-Maschine-System nach [SLB10]

Der Mensch nimmt Informationen über die Wahrnehmungskanäle zwar individuell unterschiedlich stark wahr, dennoch ist eine klare Tendenz hinsichtlich der Aufmerksamkeit für informationelle Inhalte in den einzelnen Kanälen zu unterscheiden [He02]. Der visuelle Kanal wird von der Mehrzahl der nicht-beeinträchtigten Menschen im höchsten Maß beachtet (siehe Abbildung 16). Auditive Signale besitzen die nächst höhere Relevanz, während der olfaktorische und taktile Sinne eine deutlich geringe Aufmerksamkeit erfahren. Der gustatorische Sinn stellt nur eine Randerscheinung dar. Gemeinsam erreichen die visuellen und auditiven Signalübertragungen eine Aufmerksamkeitsspanne von ca. 90 %, was die hohe Relevanz in der menschlichen Wahrnehmung dieser beiden Sinne widerspiegelt und die Verbreitung von Interaktionsformen erklärt, die diese Sinne ansprechen. Die Interaktionen im Mensch-Maschine-System sind im Wesentlichen durch den Informationsaustausch geprägt, welcher im Produktionsumfeld zusätzlich wegen lauter Störgeräusche sich oftmals auf die visuelle Wahrnehmungsfähigkeit stützt.

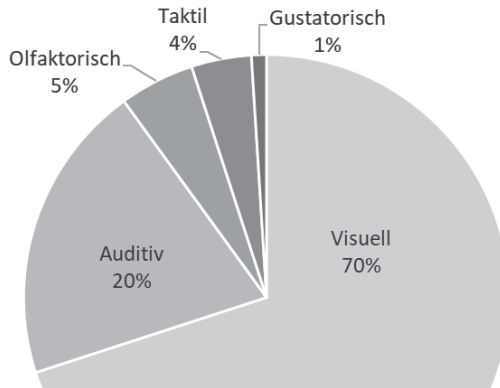


Abbildung 16: Verteilung der Aufmerksamkeit hinsichtlich der Wahrnehmungskanäle nach [He02]

Der Informationsaustausch erfolgt hierbei durch Signale in der realen Umgebung, der virtuellen Umgebung auf computergestützten Anzeigesystemen und Displays bzw. durch hybride Formen der beiden Extreme [Mi95]. Das Konzept des *Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums* fasst die Strömungen der virtuellen und erweiterten Realität zusammen. Die beiden Pole bilden dabei die reale Umgebung, die keinerlei Adaption erfahren hat (z.B. Manometer eines Kessels) und die rein virtuelle Umgebung (*Virtual Reality – VR*) innerhalb eines IT-Systems. Die hybriden Mischformen dazwischen sind als *Mixed Reality* zu bezeichnen und lassen sich weiterhin in die Kategorien *Augmented Reality (AR)* und *Augmented Virtuality (AV)* einteilen. Die *AR* beschreibt die erweiterte Realität durch Informationsanreicherung mit virtuellen Elementen, während die *AV* die erweiterte virtuelle Umgebung mit realen Elementen anreichert.

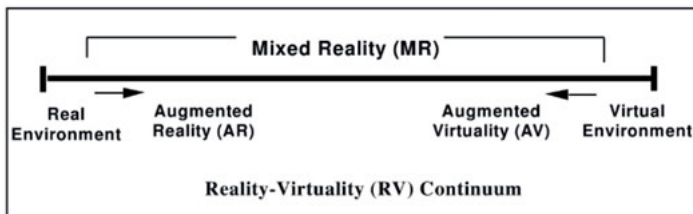


Abbildung 17: Schema des Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums nach [Mi95]

Der Trend zur CPS-basierten Produktionsumgebung entspricht dem Trend des *Ubiquitous Computing* und dessen moderner Interpretation des *Internet of Things* (siehe Kapitel 2.1.3). Der Trend des *Mobile Computing* hält aus dem privaten Konsumgüterbereich kommend Einzug in das Produktionsumfeld und führt neben der omnipräsenten Datenerfassung durch CPS nun auch zu einer omnipräsenten Informationsverfügbarkeit. Zusammen mit dem Dilemma der in der Breite gesammelten Produktionsdaten, welche den operativen

Teilnehmern in nicht hinreichender Form und Qualität zur Verfügung stehen [KKL11], besteht die Gefahr einer Informationsübersättigung der Produktionsmitarbeiter [EM08]. Der sogenannte *Cognitive Overload* führt kurzfristig zu Fehlinterpretationen der Informationen und somit zu einer ineffektiven Interaktion.

Die Informationsfülle wird tendenziell durch den digitalen Wandel in der Produktion weiterhin zunehmen. Besonders benutzerfreundliche Interfaces sollen der Überforderung durch die Informationsfülle in der Produktion entgegenwirken. Die individuell adäquate Gestaltung der Interfaces steht in direktem Zusammenhang zu den Produktivergebnissen des Gesamtsystems, weshalb auf eine hinreichende Benutzerfreundlichkeit (*Usability*) zu achten ist [Lu16].

Besonders die Art der Interaktion in sozialen Netzwerken und mobilen Messengern, die vielfach privat genutzt werden, wird zunehmend die Art der Interaktion in der Produktion verändern. Die User Experience (siehe Abbildung 18) der sozialen Netzwerke wird der Maßstab für die Mensch-Maschine-Interaktion in der zukünftigen Produktion [GSL14, Ro17].



Abbildung 18: Einordnung der Begriffe Usability und User Experience nach [He13]

Die User Experience stellt ein Wirkungsmodell mit teilweise komplexen Einflüssen dar, in welchem die Integration einer mehrwertorientierten Systematik großen Einfluss besitzt. Die Mehrwerte bei der Nutzung einer Schnittstelle können sich in der Effizienzsteigerung der Arbeitsinhalte, der Befriedigung tief-menschlicher Bedürfnisse [BZ18, KB18] und in der Begeisterung der Systemanwender ausdrücken [Lu16, Mo12].

2.2.3 Interaktion außerhalb des Produktionsumfelds

Der Interaktionsbegriff wird neben der Anwendung im Bereich der Maschine-zu-Maschine-Interaktion (siehe Kapitel 2.2.1) und der Mensch-Maschine-Interaktion (siehe Kapitel 2.2.2) auch in zahlreichen anderen Domänen verwendet. Die Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer im Produktionsnetzwerk besitzt trotz des Schwerpunkts auf Produktion einen ganzheitlichen Anspruch.

Die Definition des Interaktionsbegriffs ist ebenso vielfältig wie dessen Einsatz in den unterschiedlichen Domänen und Anwendungsfeldern. Eine zusammenfassende Definition ist aus den im Wesentlichen identischen Anforderungen und Bestandteilen einer Interaktion abzuleiten:

- Eine Interaktion bedarf mindestens zweier Akteure bzw. Interaktionsteilnehmer.
- Die Interaktionen finden in Bezug zu einer Handlung statt (*siehe Abbildung 19*).
- Die Handlungen besitzen einen Bezug zum Interaktionspartner.



Abbildung 19: Einbettung des Interaktionsbegriffs nach [Sc13b]

Die Begrifflichkeiten der Interaktion und Kommunikation werden oftmals synonym verwendet und sind anwendungsfeldspezifisch nur schwer voneinander abzugrenzen. Ein Ansatz richtet den Fokus auf den Charakter bzw. den Nutzwert der Interaktion: Besitzt eine Interaktion die Absicht eines Informationsaustauschs, so wird von Kommunikation gesprochen [Bo95]. Im Kontext der Interaktion zwischen Maschinen (und Services, im Sinne des IoTSP) bzw. zwischen Menschen und Maschinen wird auf Grund der impliziten Informationsverarbeitung diese Voraussetzung stetig erfüllt.

Zur Abgrenzung und Begriffserweiterung wird der Interaktionsbegriff im Folgenden im Kontext anderer Anwendungsfelder betrachtet.

Medizin

Im medizinischen Bereich werden die Interaktionen in aller Regel in umfangreicher Form textuell beschrieben. Im Fokus steht dabei die Interaktion zwischen medizinischem Personal und den Patienten [Pa58]. Die Interaktion ist somit auf menschliche Teilnehmer beschränkt und trägt zur soziologischen Analyse bei. Der Kontext sowie der Habitus des Arztes tragen

maßgeblich zum subjektiven Empfinden einer Interaktion bei und müssen in einer Interaktionsmodellierung beachtet werden [KR08]. Mit der Einführung von Qualitätssicherungsstandards werden auch in diesem sehr subjektiven Umfeld der sozialen Interaktion *formelle Interaktionsbeschreibungen* eingeführt (siehe Abbildung 20). Auffällig ist hierbei die Ähnlichkeit zur formellen Interaktionsmodellierung in klassischen M2M-Bereich. Die Modellierung in Abbildung 20 ist direkt mit einem UML Sequenzdiagramm vergleichbar.

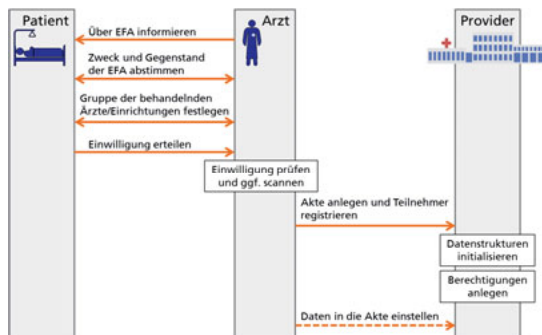


Abbildung 20: Interaktionsmodellierung im medizinischen Sektor nach [Ca13]

Psychologie und Pädagogik

In Ergänzung der vorherigen Betrachtung wird im Bereich der Psychologie und Pädagogik der Interaktionsbegriff ausschließlich zur soziologischen Analyse zwischen mindestens zwei Personen verwendet. Beispiel ist hier die Mutter-Kind-Interaktion, in der sich die Mutter und das Kind gegenseitig beeinflussen und Rückschlüsse zwischen der Aktion der Mutter und der anerzogenen Reaktion der Kinder gezogen werden. Die in *Interaktionsmustern klassifizierten Interaktionen* werden demnach vom Kind erlernt und in andere Situationen mit anderem Kontext übertragen [Re01].

Ein weiterer Fall sind die Interaktionen zwischen Lehrer und Schüler, in welchen entsprechend des Lernerfolgs die zuvor erfolgten Interaktionen untersucht und in pädagogischen Interaktionsmustern extrahiert werden. Das Ziel liegt darin, erfolgreiche Interaktionsmuster auf andere Schüler und Klassenverbände zu übertragen [SW18]. Als Spezialfall ist hierbei das beschleunigte und nachhaltige Lernen in Gemeinschaftsverbänden zu nennen, welches im Sinne der in Kapitel 2.2.1 erläuterten Interaktionsmuster, einer multidirektionalen *Peer-to-Peer Interaktion* entspricht.

Linguistik

Die Linguistik bezeichnet Interaktionsmuster als kommunikative Handlung, die von Routinisierung und Habitualisierung geprägt ist [Gü18]. Das Interaktionsmuster ist demnach eine Handlung, die durch Wiederholung ein Modell festigt, welches zur vereinfachten Anwendung reproduziert werden kann. Auf den einzelnen Interaktionsmustern aufbauend erfolgt eine weitere Musterbildung auf einer abstrakteren Ebene, welche im sprachlichen

Wissensvorrat abgespeichert wird. Im Kontext der Interaktion in der Produktion werden komplizierte Vorgänge *abstrahiert und automatisiert in erweiterten Merkmalskatalogen* abgelegt [Gü18].

Arbeitssoziologie und Dienstleistungsforschung

In der Arbeitsforschung wird der Interaktionsbegriff in das Partizipationsmodell des *New Work*-Paradigmas eingebettet [GM19]. Demnach wird Interaktion als gegenseitiger Austausch zwischen Arbeitgeber und -nehmer mit dem Ziel der Mitbestimmung in der Entscheidungsfindung angesehen. Die *Eigendynamik* eines solchen Modells besitzt Parallelen zur Interaktionsmodellierung in Multiagenten-Systemen. Die *kooperative Ausrichtung* einer interaktiven Arbeitsgestaltung wird im Grundsatz *Interaktion als Arbeit* statt wie bisher *Interaktion in der Arbeit* verdeutlicht [DW18].

Eine weitere Perspektive nimmt der Bereich des Marketings ein, welcher unter Interaktion im Wesentlichen die Interaktion mit potentiellen Kunden versteht. Moderne Marketingansätze sehen in der stetigen Interaktion die größte Chance zur Kundenbindung, welche maßgeblich durch die Auswahl und Gestaltung der Interaktionsmedien beeinflusst wird [BS08]. So wird die Marke eines Unternehmens als klar definiertes Objekt zur Interaktion mit Konsumenten betrachtet [ES08]. Im Kontext dieser Arbeit sind die Parallelen zur Auswahl geeigneter Interaktionsschnittstellen (hier: Interaktionsmedien) sowie die notwendige klare Definition des Interaktionspartners herauszustellen.

Online Social Networks

Die technologischen Fortschritte zu Beginn des 21. Jahrhunderts haben es mithilfe des Web 2.0 ermöglicht, soziale Netzwerke zunehmend digital in sogenannten *Online Social Networks (OSN)* abzubilden. Netzwerkplattformen wie Facebook und LinkedIn verbinden heute Millionen von Menschen weltweit miteinander und zeichnen sich weiter durch steigende Nutzerzahlen und ihre Omnipräsenz in den Medien und im Alltag vieler Menschen aus [BE07]. Sie bieten ihren Nutzern eine neue Umgebung zur Selbstpräsentation und zur Interaktion mit anderen [Fr11].

Die OSN werden durch drei zentrale Funktionen definiert [KRS07]:

- Profilerstellung und –pflege;
- Artikulation des Nutzer-individuellen Netzwerks;
- Möglichkeit, nach weiteren Verbindungen im gesamten Netzwerk zu suchen.

Der Wesenskern der OSN liegt im Aufbau einer virtuellen Identität und der Interaktion mit anderen virtuell repräsentierten Nutzern. Die Ausprägungen der Interaktionen eines Nutzers variieren in Abhängigkeit der individuellen Präferenzen, der Gestaltung der Funktionen im OSN sowie der themenbezogenen Spezialisierung des OSN [Le16]. Im Vergleich zu klassischen Informationskonzepten im industriellen Umfeld liegt der veränderte Schwerpunkt auf einer Interaktion in Anlehnung an soziale Interaktionen in der Gesellschaft. Neben den einzelnen Interaktionen, die in den OSN durch die Nutzer umgesetzt werden, sind die Möglichkeiten zur

Interaktionsdurchführung zu betrachten. Mit der großen Relevanz der OSN in der Gesellschaft wird die Art und Weise der Interaktion in sozialen Netzwerken zunehmend die Erwartungen an adäquate Interaktion und damit an die Interaktionen innerhalb der Produktion nachhaltig verändern [KI15, MB18].

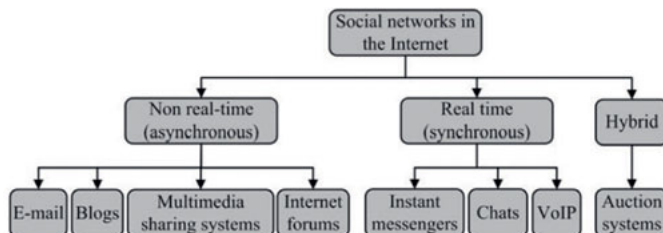


Abbildung 21: Darstellung der unterschiedlichen Interaktionskanäle nach [MK13]

2.2.4 Zwischenfazit und Definition des Interaktionsbegriffs

Der Interaktionsbegriff besitzt je nach Anwendungsdomäne eine andere Bedeutung und Ausprägung. Der domänenübergreifende Anspruch der Methodenentwicklung erfordert dennoch eine Betrachtung der unterschiedlichen Sichtweisen, welche abschließend zur zielorientierten Durchführung der Methodenentwicklung zusammengeführt werden müssen. Im Kontext der mehrwertorientierten Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer im Produktionsnetzwerk wird daher der *Interaktionsbegriff* im folgenden Manifest definiert:

- Eine Interaktion stellt eine zielgerichtete Aktion zwischen mindestens zwei Teilnehmern dar.
- Die Interaktion geht dabei von der Anfrage eines Teilnehmers – dem Master – aus, welcher mit der Anfrage mindestens einen weiteren Teilnehmer – den/ die Slave(s) – adressiert.
- Die Anzahl der Interaktionsteilnehmer wird bei der Anfrage definiert.
- Eine Änderung der Teilnehmerkonfiguration führt zu einer neuen Interaktion.
- Auf der Anfrage des Masters aufbauend sind verschiedene Folgeaktivitäten innerhalb der Interaktion möglich:
 - Keine Antwort;
 - Direkte oder verzögerte Antwort;
 - Mehrfache multidirektionale Antworten zwischen den beteiligten Teilnehmern (vgl. multidirektionaler Chat).
- Jede Interaktion verfolgt genau eine Intention und besitzt einen einzelnen Nutzen/ Nutzwert.
- Die Interaktion endet durch die Nutzenerfüllung oder durch nicht erfüllbare Nutzenerfüllung bzw. durch die Veränderung der Teilnehmerkonfiguration

2.3 Prozessmodellierung im Produktionsumfeld

Die *Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in Produktionsnetzwerken*, die in dieser Arbeit entworfen wird, beschreibt Interaktionen zwischen unterschiedlichen Teilnehmern (siehe Kapitel 2.2) im Umfeld eines wandelbaren Produktionsnetzwerks (siehe Kapitel 2.1). Die Interaktionsdurchführung verfolgt dabei immer ein direktes Ziel, welches zur Aufgabenerfüllung des übergeordneten Produktionsprozesses beiträgt. Die Beschreibung des Produktionsprozesses stellt die informationelle Basis des Interaktionsentwurfs der späteren Methode dar. Im folgenden Kapitel 2.3 wird daher ein Überblick über etablierte Prozessmodellierungsmethoden gegeben und anschließend werden ausgewählte Modellierungen detailliert beschrieben (siehe Kapitel 2.3.1 bis Kapitel 2.3.5).

Zur Modellierung zumindest teilweise komplexer Produktionsprozesse in einem Umfeld heterogener Teilnehmer besitzt die transparente und übersichtliche Modellierung eine hohe Relevanz für den Methodenanwender. Der Überblick über die Prozessmodellierungen in Abbildung 22 beschränkt sich daher auf die diagrammbasierten Modellierungsmethoden, welche weiterhin in die Klassen *kontrollflussorientierter*, *datenflussorientierter* und *objektorientierter Methoden* einzuteilen sind.

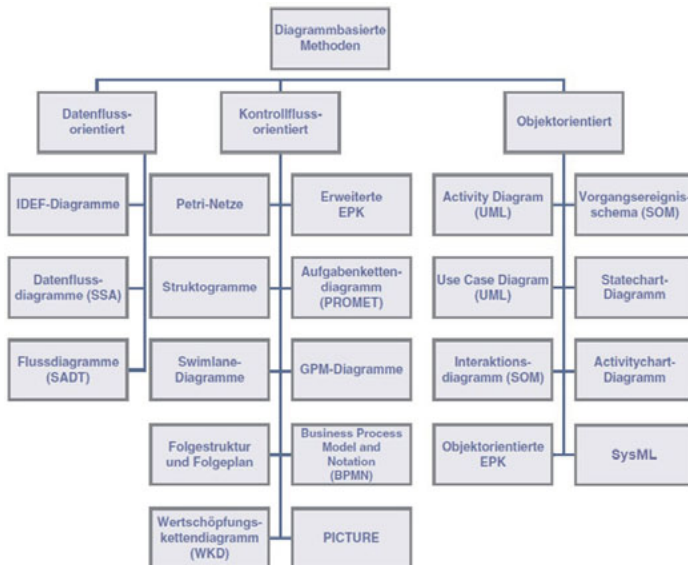


Abbildung 22: Übersicht über Prozessmodellierungsmethoden nach [Ga17]

Aus der Klasse der kontrollflussorientierten Modellierungen werden die Methoden *Erweiterte EPK* (Kapitel 2.3.1) und *BPMN 2.0* (Kapitel 2.3.4) betrachtet sowie *UML* (Kapitel 2.3.2) und *SysML* (Kapitel 2.3.3) aus der Klasse der objektorientierten Modellierungen.

2.3.1 Ereignisgesteuerte Prozesskette

Die *Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK)* ist eine gemeinsame Entwicklung des Institut für Wirtschaftsinformatik der Universität des Saarlandes und der SAP AG zur Dokumentation von Geschäftsprozessen [NR02]. Sie ist innerhalb der *Architektur Integrierter Informationssysteme (ARIS)* der Prozess- bzw. Steuerungssicht zugeordnet. Die Prozesssicht integriert anderen Sichten (Funktions-, Organisations-, Daten- und Leistungssicht) der Architektur [Be18, BPV12].

Ereignisgesteuerte Prozessketten lassen sich mit den Modelltypen Prozessketten- und Vorgangskettendiagramm abbilden. Dabei bedient sich die Modellierungssprache aktiver Komponenten (Funktionen) und passiver Komponenten (Ereignisse). Funktionen beschreiben durchgeführte Tätigkeiten oder Änderungen von Zuständen verwendeter Objekte und werden durch Ereignisse ausgelöst. Verknüpfungen zwischen den Komponenten werden durch die Operationen *UND*, *ODER* sowie *XOR* hergestellt [Be18]. Verbindungslinien, sogenannte Kanten, zeigen Zusammenhänge auf.

Sollen zusätzliche Informationen in das Modell aufgenommen werden (wie z.B. Organisationseinheiten, Rollen, Input, Output, Anwendungssysteme), so spricht man von einer erweiterten EPK (eEPK).

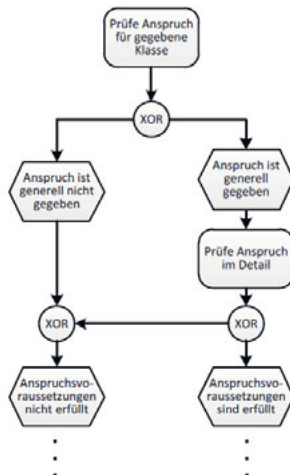


Abbildung 23: Beispiel eines Prozessausschnitts in EPK-Notation nach [Be08]

Mit diesen Elementen kann ein Prozess auf einer Prozessebene, also einem festen Abstraktionsgrad, dargestellt werden. Da die Funktionen der EPK mit den Prozessmodulen korrespondieren, findet die Verfeinerung direkt auf dem Element der Funktion statt. Hierfür bietet die EPK die Funktionsverfeinerung an. Neben der vertikalen Auflösung können vollständige Prozessmodelle miteinander über Schnittstellen verknüpft werden. Dies entspricht der horizontalen Verkettung von Prozessmodulen. Hierfür wird das Element der

Prozessschnittstelle bereitgestellt [BPV12]. Ereignisgesteuerte Prozessketten werden zum Beispiel von SAP eingesetzt, um den SAP Business Workflow zu modellieren. Sie sind nicht automatisierbar, weil Ereignisse nur verbal beschrieben sind und Verzweigungen nicht interpretiert werden können [Be18, BPV12].

2.3.2 UML

Die *Unified Modelling Language (UML)* ist eine Entwicklung der *Object Management Group (OMG)* aus dem Jahr 1997 und ist seit 2005 von der *International Organisation for Standardization (ISO)* in der zweiten Version standardisiert [Be18].

Sowohl statische Modelle, welche den Zustand eines Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt beschreiben, als auch dynamische Modelle, welche die Entwicklung eines Systems darstellen, sind modellierbar [GBB07, KS15]. Bei UML wird zwischen zahlreichen verschiedenen Diagrammtypen unterschieden. Zu den UML-Strukturdiagrammen zählen beispielsweise das weit verbreitete Klassendiagramm, das Objektdiagramm oder das Verteilungsdiagramm. Die UML Verhaltensdiagramme werden durch das Anwendungsfalldiagramm, Zustandsdiagramm, Aktivitätsdiagramm und die Interaktionsdiagramme dargestellt. Diese Interaktionsdiagramme lassen sich weiterhin in Sequenzdiagramm, Zeitdiagramm, Kommunikationsdiagramm und Interaktionsübersichtsdiagramm aufteilen [Kr15].

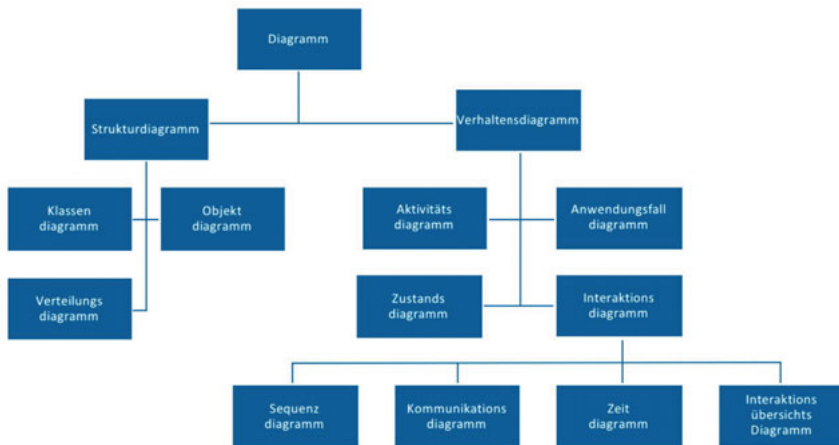


Abbildung 24: UML-Diagrammtypen im Überblick nach [KS15]

Für die Prozessmodellierung werden meist die Aktivitätsdiagramme und die Use-Case-Diagramme eingesetzt, welche in diesem Kontext genutzt werden, um aus fachlicher Sicht grundlegende Beziehungen zwischen Akteuren und dem Informationssystem in Form von Geschäftsfällen zu beschreiben [KS15]. Das Aktivitätsdiagramm stellt die einzelnen Verarbeitungsschritte eines Geschäftsfalls dar. Der Algorithmus eines

Anwendungsprogramms mit seinen vielfältigen Verzweigungen wird so detailliert beschrieben. Auf die Prozessmodellierung übertragen, können mit Aktivitätsdiagrammen die Abläufe von Aktivitäten in ihrer zeitlich-logischen Reihenfolge mit parallelen und alternativen Pfaden dargestellt werden. Die einzelnen Konstrukte der UML-Aktivitätsdiagramme sind von den Konzepten der Softwareentwicklung abgeleitet, wobei insbesondere die Objektorientierung hervorgehoben werden muss. Daten werden in Aktivitätsdiagrammen in den Objekten gekapselt, sodass sie nur implizit dargestellt werden. Der Betrachter der Modelle muss neben Kenntnissen der eigentlichen Notation zusätzliche Kenntnisse zu den Konzepten der Objektorientierung besitzen, um die Modelle interpretieren zu können [CMS19].

2.3.3 SysML

Der Standard *Systems Modeling Language (SysML)* wurde durch die *Object Management Group (OMG)* und das *International Council on Systems Engineering (INCOSE)* im Jahr 2006 veröffentlicht. Der Standard baut auf UML 2.0 auf und ist speziell an die Bedürfnisse von Systemingenieuren angepasst [Sc13a]. Anwendung findet die Sprache bei dem modellbasierten Systementwurf (MBSD) [Ni15].

Grundlegend wird in der SysML – wie in der UML – zwischen Diagramm und Modell sowie Struktur und Verhalten unterschieden. Das Modell enthält die vollständige Beschreibung des Systems und besteht aus Diagrammen, die einen bestimmten Aspekt visualisieren. Während im strukturellen Modell die Struktur des Systems, also der statische Teil, beschrieben wird, stellt das Verhaltensmodell das dynamische Verhalten des Systems dar. Im Vergleich zur UML wird die Anzahl der verschiedenen Diagrammtypen stark reduziert. Erweiterungen in SysML sind das Parametric-Diagramm und das Requirement-Diagramm [Sc13a].

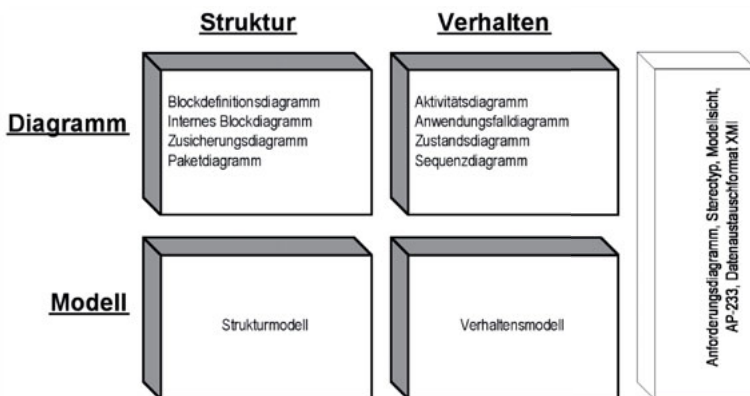


Abbildung 25: Schematischer Aufbau von SysML nach [We06]

Zusätzlich ist es mit SysML möglich, formale Systemmodelle zu erstellen und diese direkt mit formalen Simulationssprachen zu verknüpfen [HRM07]. Die Generierung von Simulationscode

aus SysML-Modellen ist dafür von zentraler Bedeutung. Verschiedene Ansätze bieten die Möglichkeit, ausführbaren Simulationscode für verschiedene Simulationssprachen oder -umgebungen (wie z.B. Arena, Modelica oder DEVS) zu generieren. Standardisiert ist der Prozess der Simulation von SysML-Modellen nicht [Ni15].

2.3.4 BPMN 2.0

Im Jahr 2002 wurde die *Business Process Modeling Notation (BPMN)* entwickelt. Die Version BPMN 2.0 wurde 2010 vorgestellt und erweitert das Modellierungskonzept um einen größeren Sprachumfang sowie ausführbare Elemente [Gr19a].

Bei BPMN handelt es sich um eine kontrollflussorientierte Methode zur Modellierung von Prozessen [Ga17]. Dabei ist es möglich, gleichermaßen fachliche und technische Prozessmodelle abzubilden. Damit ist die Grundlage zur Automatisierung ohne vorherige Transformation gegeben. Basisnotationselemente der BPMN-Notation sind Rechtecke zur Beschreibung von Aktivitäten, Rauten zur Spezifizierung von möglichen Entscheidungen, Kreise zur Darstellung unterschiedlicher Ereignistypen und Kanten, die den Kontroll- und Nachrichtenfluss veranschaulichen. Es ist möglich, den Kontrollfluss durch Annotationen näher zu spezifizieren.









Symbol	Benennung	Bedeutung
	Aktivität (atomar)	Eine Aktivität (Activity) beschreibt einen Vorgang, der durch das Unternehmen ausgeführt wird. Sie Kann atomar (task) oder zusammengesetzt sein, also Unterprozesse (subprocesses) enthalten.
	Aktivität (mit Unterprozessen)	
	Start-Ereignis Zwischenereignis End-Ereignis	Ereignisse (Events) sind Geschehnisse, die während eines Prozesses auftreten. Sie können auslösend sein oder das Ergebnis einer Aktivität. Es gibt drei grundlegende Typen (start, intermediate und end) und Spezialfälle.
	Entscheidung (Gateway)	Gateways sind Synchronisationspunkte im Prozessverlauf. Sie entscheiden über den weiteren Verlauf des Prozesses. Es gibt mehrere Gateway-Typen: XOR, OR, AND und Eventbasierte Entscheidung.
	Kontrollfluss (Sequence flow)	Der Kontrollfluss beschreibt den zeitlichen Ablauf der Aktivitäten im Prozess
	Nachrichtenfluss (Message flow)	Der Nachrichtenfluss beschreibt den Austausch von Nachrichten zwischen zwei Objekten (Aktivitäten, Ereignisse oder Entscheidungen).
	Verbindung (Association)	Die Verbindung zeigt an, dass Daten, Texte oder andere Objekte dem Kontrollfluss verbunden sind, z. B. Input oder Output einer Aktivität.
	Datenobjekt (Data Object)	Das Datenobjekt zeigt an, welche Informationen/Daten als Input benötigt bzw. Output einer Aktivität sind
Name		

Abbildung 26: Basisnotationselemente der BPMN nach [Ga17]

Da die BPMN an die Swimlane-Methodik [Ga17] angelehnt ist, kommen Pools und Bahnen eine besondere Bedeutung zu. Ein Pool repräsentiert hierbei einen eigenständigen Prozess. Eine Bahn beschreibt Details eines Prozesses innerhalb eines Pools, differenziert nach Organisationseinheiten, Rollen oder IT-Systemen. Zwischen Pools (eigenständigen Prozessen)

können Nachrichten ausgetauscht werden, die einen Einfluss auf den jeweils anderen Prozess haben [Ga17].

Die BPMN kennt zahlreiche Ausprägungen für Ereignisse. Unterschieden wird in Start-, Zwischen- und End-Ereignisse, die wiederum in verschiedenen Varianten auftreten. Ereignisse können im undefinierten Zustand (Standard) genutzt oder für spezielle Situationen definiert werden. Auch Nachrichten zählen zu den Ereignissen und verbinden Prozessschritte, die in Abhängigkeit stehen.

Des Weiteren werden verschiedene Symbole für die Datenmodellierung bereitgestellt: Datenspeicher werden dauerhaft von mehreren Prozessschritten genutzt und Datenobjekte werden von Prozessschritten erzeugt oder verarbeitet [Ga17]. Bei der Abbildung von Input- und Output-Dokumenten und notwendigen Ressourcen zur Bearbeitung, wie z.B. Informationssystemen oder Sekundärinformationen, werden zwar Konzepte angeboten, diese sind aber nicht standardisiert, sodass Abstraktionsebenen und Darstellungen stark variieren können [BPV12].

2.3.5 Intentionsorientierte Modelle am Beispiel des i*-Frameworks

Die bereits vorgestellten Modellierungsmethoden bieten etablierte Vorgehensweisen zur Prozessmodellierung in unterschiedlichen Domänen und mit unterschiedlichen Modellierungstypen an. Eine Gemeinsamkeit der Prozessmodellierungen ist die definierte Ausgestaltung der einzelnen Tätigkeit innerhalb des Prozesses. Jedoch gehen mit dieser ausgestalterischen Festlegung oftmals grundlegende Informationen und Intentionen verloren. Es ist somit nicht mehr direkt nachvollziehbar, aus welchem Grund – mit welcher Intention – ein Interaktionsprozess an einer bestimmten Stelle stattfindet oder eine Gestaltungsentscheidung getroffen wurde [Ko07]. In einem wandelbaren Produktionsnetzwerk ist es besonders wichtig, die Prozesse und Teilnehmer über den Zeitverlauf flexibel adaptieren zu können. Die etablierten Prozessbeschreibungen besitzen die Nachteile einer fehlenden formalen Semantik, ein begrenztes Verifikationspotential und eine unklare Beschreibung der Konstrukte [vMv09]. Der Gegenentwurf des i*-Frameworks gehört zu den Ziel-orientierten Sprachen, wodurch eben jene Intentionen, die beispielsweise BPMN vernachlässigt, gut beschrieben werden können. So werden durch die Kombination der Anwendung von BPMN und dem i*-Framework die Produktionsprozesse nicht nur nachvollziehbarer, sondern es wird erst ermöglicht, sie über den gesamten Lebenszyklus agil zu verwalten und verändern [Ko07]. Der Ansatz von Koliadis et. al. stellt unter einschränkenden Bedingungen die Konformität der Modellierungsansätze des i*- Frameworks und von BPMN sicher, womit eine parallele Nutzung und gegenseitige Beeinflussung der beiden Modellierungsansätze ermöglicht wird. Die Struktur und die Einsatzdomäne des jeweiligen Modellierungsansatzes bleiben dabei erhalten, d.h. intentionsbezogene Informationsinhalte aus i* erhalten keinen Einzug in die Prozessbeschreibung von BPMN und umgekehrt erhält die Modellierung im i*-Framework keine strukturierten Informationen zum Prozessablauf aus BPMN [Ko07].

Das i*-Framework selbst ist eine grafische Modellierungssprache, die zur Analyse und Dokumentation verwendet wird. Es kann in einer frühen Phase der Systemmodellierung eingesetzt werden, um Probleme zu erkennen und zu verstehen. Das i*-Framework besteht aus zwei verschiedenen Modellen, dem *Strategic Dependency Model (SDM)* und dem *Strategic Rationale Mode (SRM)* (siehe Abbildung 28) [DFH16, Fr16].

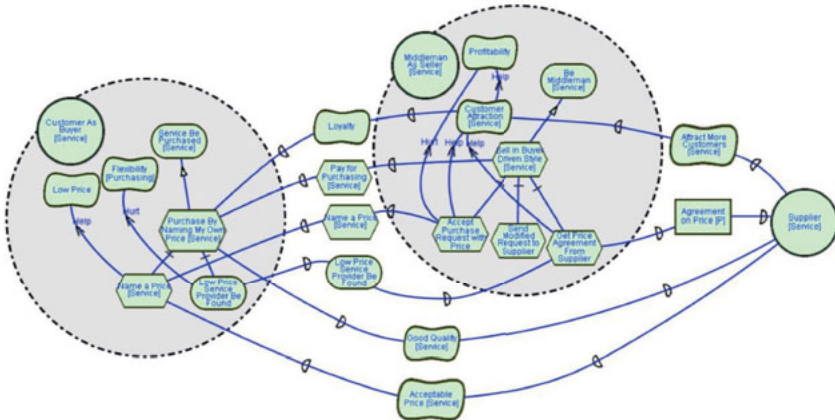


Abbildung 27: Beispiel eines Strategic Rationale Model des i*-Frameworks nach [YLL01]

Das *SDM* beschreibt das Netzwerk der bewussten Beziehungen zwischen den Akteuren. Die Akteure sind voneinander abhängig, damit Ziele erreicht, Aufgaben erfüllt und Ressourcen bereitgestellt werden können. Diese Abhängigkeiten sind insofern *intentional*, als sie auf zugrundeliegenden Konzepten wie Ziel, Fähigkeit, Engagement, Überzeugung usw. basieren.

Im *SRM* können die Gründe für Prozesskonfigurationen explizit in Form von Prozesselementen und deren Beziehungen untereinander beschrieben werden. Es wird dazu verwendet, Abhängigkeitsbeziehungen zwischen verschiedenen Akteuren zu beschreiben und um Gründe für einzelne Abhängigkeiten im *SDM* zu liefern. Das Modell ist insofern strategisch, als Elemente nur dann einbezogen werden, wenn sie als ausreichend relevant angesehen werden, um die Erreichung einiger Ziele zu beeinflussen [Yu11, YLL01].

Die wesentlichen Objekte im i*-Framework werden in Abbildung 28 dargestellt und eine Auswahl anschließend kurz vorgestellt.

- Ein *Akteur (Actor)* ist eine Person der ein System, das mit dem System in Kontakt steht. (Agenten, Rollen, Positionen)
- Eine *Ressource (Resource)* ist ein Ergebnis, das vom Akteur für die Erreichung des Ziels benötigt oder geliefert wird.
- Ein *Softgoal* beschreibt den Wunsch eines Akteurs, eine Funktion hinsichtlich einer Qualität zu erfüllen.
- Ein *Ziel (Goal)* ist die dokumentierte Absicht eines Akteurs.

- Eine *Aufgabe* (Task) besteht aus einer Reihe von Schritten, die ein Akteur ausführen muss, um eine Aufgabe zu erledigen.

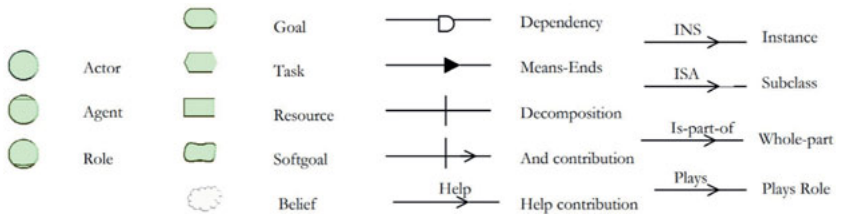


Abbildung 28: Übersicht der Elemente des i*-Frameworks nach [YLL01]

2.3.6 Zwischenfazit

Die Anwendung der Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer im Produktionsnetzwerk kann nur erfolgen, wenn die Heterogenität der einzelnen Teilnehmer unterstützt wird. Die Prozessmodellierung ist die Grundlage für die Ausrichtung der Interaktionsmodellierung am Nutzwert der konkreten Prozessaufgabe. Die Methode soll daher auf einer einzelnen strukturierten Prozessbeschreibung aufbauen, die die Heterogenität der Teilnehmer adäquat unterstützt.

Die vorgestellten Prozessbeschreibungen werden hinsichtlich folgender Kriterien eingeteilt:

- Abbildung von Businessprozessen;
- Abbildung von technischen Produktionsprozessen;
- Objekte zur Unterscheidung der Handlungslinien einzelner Teilnehmer (z.B. durch Swimlanes);
- Möglichkeit der Informationsanreicherung der intentionsorientierten Inhalte;
- Verbreitung der Beschreibung, Aktualität der Methode;
- Duale Repräsentation in grafischer und syntaktischer Ausprägung.

Die Bewertung hinsichtlich der aufgestellten Kriterien in *Abbildung 29* zeigt, dass keine der Beschreibungsmethoden alle Kriterien vollständig erfüllt. Die Entwicklung der Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in Produktionsnetzwerken stützt allerdings auf die vollständige Integration der Tauglichkeitskriterien in einem Modellierungs-ansatz. Bis auf das Kriterium der intentionsbezogenen Informationsanreicherung erfüllt BPMN 2.0 alle Kriterien und bildet somit die Grundlage für die weitere Modellierung. Die Betrachtung der Intention einer Interaktion wird nur durch das i*-Framework bereitgestellt, weshalb dieses die Grundlage der Erweiterung des BPMN 2.0 Modells liefert. Die grundsätzliche Kompatibilität der Ansätze BPMN und i* wurde bereits unter einschränkenden Bedingungen und auf einem hohen Abstraktionslevel gezeit [Ko07].

Die Integration der Intentionsanreicherung des i*-Frameworks in die Methodik der Prozessbeschreibung von BPMN 2.0 erfüllt die aufgestellten Tauglichkeitskriterien vollständig. Der weitere Schwerpunkt liegt in der Kombination der beiden Ansätze zu einer einzelnen Prozessstrukturierung. Die anderen beleuchteten Ansätze werden daher nicht weiter betrachtet.

<i>Tauglichkeitskriterien</i>	<i>eEpk</i>	<i>UML</i>	<i>SysML</i>	<i>BPMN 2.0</i>	<i>i*</i>
Businessprozesse	●			●	
Technische Prozesse		●	●	●	●
Swimmlanes zur Teilnehmeruntercheidung		●		●	
Intentionsanreicherung					●
Verbreitung	●	●	●	●	
Aktualität		●	●	●	
Grafische und syntaktische Repräsentation		●	●	●	

Abbildung 29: Bewertung der Eigenschaften der Prozessmodellierungen hinsichtlich der Tauglichkeit als Grundlage der Interaktionsmodellierung

2.4 Entwicklungsmethoden

Der wesentliche Inhalt dieser Arbeit besteht in der Entwicklung einer *Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer im Produktionsnetzwerk*. Die Methode erfordert eine ganzheitliche und domänenübergreifende Ausrichtung, die eine Betrachtung der Problemstellung zur adäquaten Interaktionszuordnung aus unterschiedlichen Perspektiven impliziert. Innerhalb der unterschiedlichen Domänen haben sich verschiedene aufgabenspezifische Entwicklungsmethoden etabliert, die im Folgenden vorgestellt werden.

In den technischen Domänen beruhen die etablierten Vorgehensweisen meist auf einer phasenbezogenen Struktur, die das Ziel einer planbaren und nachvollziehbaren Produktentwicklung verfolgen [Eh14]. Die in *Kapitel 2.4.1* vorgestellten Entwicklungsmethoden umfassen Vorgehensweisen aus der Softwareentwicklung, der konstruktiven Gestaltung sowie übergreifende Methoden für integrierte technische Systeme.

Die Produktion der Zukunft wird zunehmend zu einem wandelbaren Wertschöpfungsnetz transformiert werden [D'15], welches agile Vorgehensmodelle zur Anpassung und Erfüllung der Produktionsaufträge benötigt [KI15]. Die Domäne der strategischen Geschäftsmodellentwicklung adressiert eine agile, nutzerorientierte Vorgehensweise. Gerade die in *Kapitel 2.4.2* beschriebenen Methoden haben sich im agilen Umfeld der Tech-Start-Ups und disruptiven digitalen Geschäftsfeldern etabliert [OP13].

Den erwähnten Entwicklungsmethoden ist die strukturelle Ausrichtung mit dem Ziel eines vereinfachten Handlungsleitfadens für den Methodenanwender gemein. Die inhaltliche Gestaltung innerhalb der einzelnen Vorgehensmodelle wird in der Regel durch Kreativ- bzw. Denkprozesse sichergestellt. Die TOTE-Abfolge (*Test-Operate-Test-Exit*) in *Abbildung 30* stellt die elementare Einheit der Organisation von Denkprozessen dar. Die Abfolge besteht aus sich wiederholenden Sequenzen des Ausführens (*engl. Operate*) und Testens (*engl. Test*). Im Fall eines adäquat erfüllten Tests führt die Sequenz *Exit* zur Beendigung der Abfolge [Dö87]. Auch komplexe Problemlöseverfahren wie die vorgestellten Entwicklungsmethoden lassen sich im Detail auf die TOTE-Abfolge zurückführen. Das Ziel der in *Kapitel 2.4.3* vorgestellten Kreativmethoden liegt darin, die Denkprozesse einzelner Anwender oder ganzer Anwendergruppen auszurichten und effektiv nutzbar zu machen.

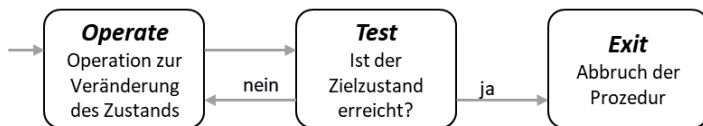


Abbildung 30: TOTE-Einheit als elementare Denkprozess, angelehnt an [Dö87]

2.4.1 Methoden zur Produkt- und Prozessentwicklung

Die Entwicklung von technischen Produkten und Prozessen wird durch einen komplexen Lösungsraum beschrieben, in welchem gestalterische mit strukturellen Vorgehensweisen kombiniert werden, um eine effiziente Produktentwicklung zu gewährleisten [FG13]. Im Folgenden werden einige ausgewählte Methoden zum Vorgehen in der Produktentwicklung vorgestellt, welche aus unterschiedlichen Domänen stammen und somit die partielle Sichtweise des übergreifenden Verständnisses von Industrie 4.0 und der Methodenentwicklung in dieser Arbeit liefern.

Wasserfallmodell und Vorgehensmodell nach VDI-Richtlinie 2221

Das Wasserfallmodell wird 1956 auf Grund der steigenden Komplexität von Computerprogrammen zum ersten Mal im Kontext der Softwareentwicklung vorgestellt [Be83]. Eine erste formale Beschreibung des Wasserfallmodells wird 1970 von Royce vorgenommen, die auch die Namensgebung der abwärtsverlaufenden Schritte einführt [Ro70]. Beim Wasserfallmodell handelt es sich um ein planungsbasiertes Vorgehensmodell: einzelne Entwicklungsschritte werden im Vorfeld geplant. Der Abschluss der aktuell in Bearbeitung befindlichen Phase stellt dabei eine notwendige Bedingung für den Beginn der folgenden Phase dar [Ro70]. Mit der fortschreitenden Entwicklung und der resultierenden Evaluation des Wasserfallmodells wird 1984 eine angepasste Version des Wasserfallmodells von Boehm vorgestellt [Bo84]. In dieser Version ist eine Analyse des Codes in jeder Phase vorgesehen. Somit wird Code, nicht wie bei [Ro70] erst nach der Erstellung, sondern quasi kontinuierlich überprüft [Bo84].

Eine dem *Wasserfallmodell* ähnelnde Vorgehensweise bildet die *VDI-Richtlinie 2221* in der Domäne der konstruktiven Entwicklung ab [VDI2221]. Sie gliedert den Konstruktionsprozess in sieben Schritte, die innerhalb von vier Phasen ablaufen. Die meisten Vorgehensmodelle, die sich in der Mechanik etabliert haben, definieren einen Produktentwicklungsprozess (PEP) im Sinne der VDI-Richtlinie 2221. So gliedern sie den PEP in die vier Hauptphasen: *Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten*. *Abbildung 31* illustriert, wie die VDI-Richtlinie 2221 systematisch vom Abstrakten zum Konkreten führt und sich hierdurch eine Abfolge – ähnlich des Wasserfallmodells – ergibt [ERZ14, VDI2221, NL16].

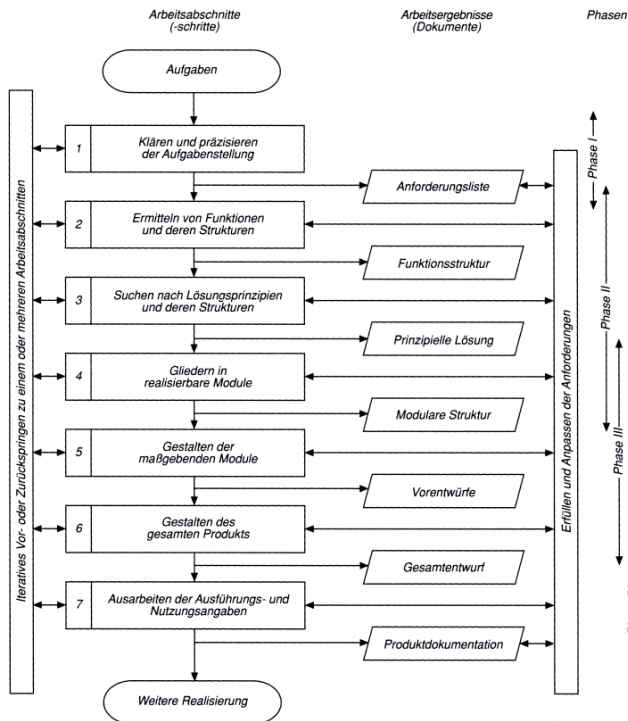


Abbildung 31: Schematische Darstellung des Vorgehensmodells nach [VDI 2221]

V-Modell nach VDI-Richtlinie 2206

Durch die *VDI-Richtlinie 2206* wird die interdisziplinäre Entwicklung von Maschinenbau, Elektronik und Informatik vorangetrieben. Die Heterogenität der mechatronischen Systeme erhöht deren Komplexität. So wird durch die VDI-Richtlinie 2206 eine erweiterte Systembetrachtung vorgeschlagen, die sich besonders auf Methoden der Modularisierung und Hierarchisierung stützt. Es wird der allgemeine Ablauf einer Problemlösung durch den Problemlösungszyklus beschrieben. Durch das V-Modell wird der Makrozyklus der VDI-

Richtlinie 2206 definiert, welches das durchgängige Vorgehen sowie die einzelnen Entwicklungsphasen beschreibt. Das V-Modell (siehe Abbildung 32) beginnt am oberen linken Ast mit der Anforderungsdefinition, worauf der Systementwurf folgt. In der Phase des Systementwurfs wird das Konzept entwickelt, welches im domänenspezifischen Entwurf auf die einzelnen Domänen verteilt wird. In der Systemintegration werden dann die Einzelentwicklungen der Domänen zu einem Gesamtsystem integriert und dessen Eigenschaften analysiert. Außerdem werden während des Methodendurchlaufs an verschiedenen Punkten Eigenschaftsabsicherungen vorgesehen, die eine Funktionsbeurteilung anhand der Anforderungen ermöglichen.

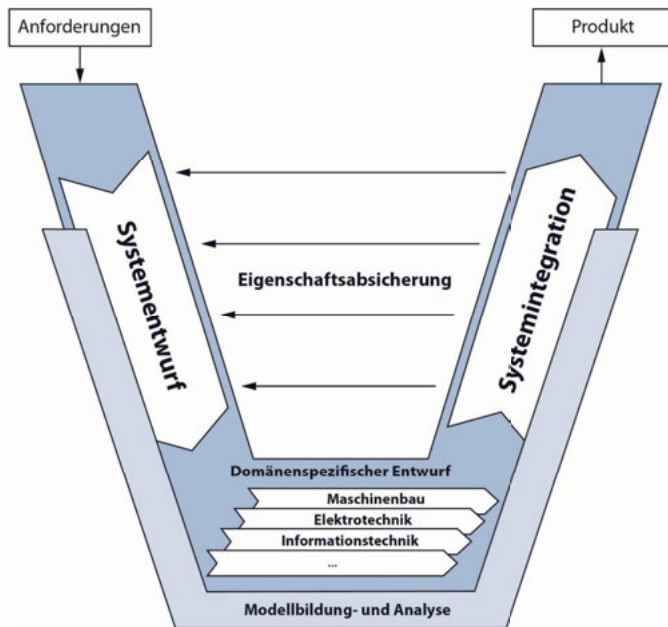


Abbildung 32: Das V-Modell nach [VDI2206]

Bei Betrachtung der Richtlinie wird die Ausrichtung auf eine Zusammenarbeit verschiedener Domänen deutlich. So wird der Gesamtprozess im Systementwurf strukturiert, auf die Domänen verteilt und danach in der Systemintegration integriert. Ferner sind jedoch auch organisatorische Zusammenhänge erörtert [VDI2206].

Das V-Modell ist ein wichtiges Vorgehensmodell und existiert mittlerweile in zahlreichen Abwandlungen. So ergänzt das MVPE-Vorgehensmodell das systematische Vorgehen des V-Modells um Aspekte des Model-Based System Engineering (MBSE). Besonders fällt die Integration eines Product-Lifecycle-Management (PLM)-Backbone auf, welches eine dezidierte Betrachtung des Systemlebenszyklus ermöglicht [ERZ14].

Integrated Design Engineering

Das *Integrated Design Engineering (IDE)* bildet die Weiterentwicklung des *Magdeburger Modells der integrierten Produktentwicklung* [Va14]. Das IDE sieht den Menschen im Mittelpunkt, da nur er in der Lage ist, Wissen zu erzeugen und anzuwenden. Dadurch regelt und gestaltet der Mensch den kompletten IDE-Prozess. Die Grundlage des IDE ist die Philosophie der Integrierten Produktenwicklung (IPE), welche auf den Prinzipien von Humanzentrierung, Integration und Interdisziplinarität basiert. Das IDE erlaubt es, komplexe Produkte unterschiedlichster Art einer gemeinsamen Betrachtung zu unterziehen. So können die gleichen Methoden, Strategien und Werkzeuge an unterschiedlichen Produkten Anwendung finden. Notwendig gewordene Anpassungen erfolgen in den einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus, wobei der Produktlebenszyklus die Phasen der Produktplanung, Produktentwicklung, Produktion, Produktnutzung inklusive Produktbetreuung sowie die Produktverwertung umfasst. *Abbildung 33* zeigt den Produktentwicklungszyklus für komplexe Produkte auf [Va05, Va14].



Abbildung 33: Produktentwicklungszyklus für komplexe Produkte nach [Va14]

Der Produktlebenszyklus für komplexe Produkte erlaubt es, nicht alle Phasen in gleichem Maße und nicht notwendigerweise sequenziell zu durchlaufen. So können bei unterschiedlichen Produkten Phasen ausbleiben oder auch parallel ablaufen. Außerdem können durch veränderte oder neue Anforderungen auch zusätzliche Phasen hinzukommen. Entscheidend ist, dass sämtliche unternehmensinterne Prozesse und Phasen im Produktlebenszyklus durch rechnergestützte Systeme im Sinne der Anwendungsintegration betrieben werden [Va14].

Vorgehensweisen in der Digitale Fabrik nach VDI-Richtlinie 4499

Die VDI-Richtlinie 4499 definiert erstmals die Begrifflichkeit der *Digitalen Fabrik* wie folgt:

„Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u. a. der Simulation und dreidimensionalen Visualisierung, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.“ [VDI4499-1]

So werden mit der VDI-Richtlinie 4499 verschiedene Auffassungen zusammengeführt und vereinheitlicht. Es wird klar wiedergegeben, dass es sich bei der Digitalen Fabrik nicht um ein reines Softwarethema handelt, sondern die miteinander abgestimmten Methoden und Prozesse von gleicher Wichtigkeit sind. Die zentralen Bereiche der Digitalen Fabrik liegen in der Produktions- und Fabrikplanung (siehe Abbildung 11) [BGW18].

In Blatt 2 der VDI-Richtlinie 4499 werden die einzelnen Komponenten und zwei wesentliche Anwendungsfelder des digitalen Fabrikbetriebs erläutert: Der digitale Betrieb von Einzelmaschinen und der digitale Betrieb von automatisierten Produktionsanlagen. So sind wichtige Komponenten des Digitalen Fabrikbetriebs die virtuelle Inbetriebnahme sowie die betriebsbegleitende Simulation. Hierbei ist es durch die durchgehende Anbindung zu übergelagerten Fertigungsmanagementsystemen möglich, Aussagen über das Gesamtverhalten von Anlagen vor ihrem realen Anlauf zu tätigen [SSA10].

Ferner werden in Blatt 2 der Richtlinie Ziele in den Zielkriterien Zeit, Qualität und Kosten genannt, die durch Nutzung des Digitalen Fabrikbetriebs erreicht werden können. Beispielsweise kann durch virtuelle Simulation eine Inbetriebnahme vorgelagert werden, was eine positive Implikationen auf alle drei Zielkriterien hat [SSA10]. Abbildung 34 illustriert die positiven Auswirkungen des Digitalen Fabrikbetriebs.

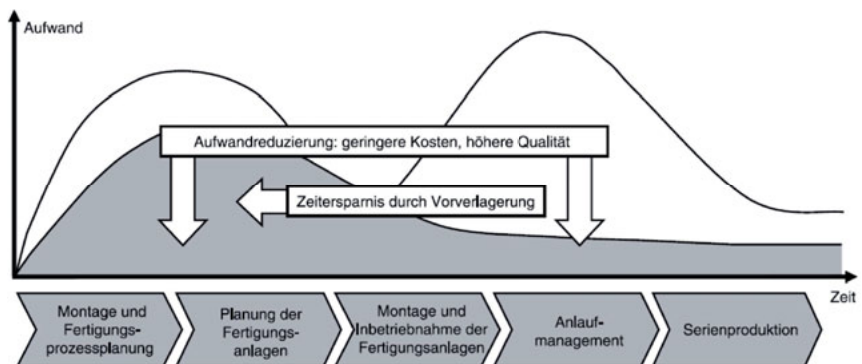


Abbildung 34: Aufwandsreduzierung und -verlagerung über die Lebenszyklusphasen eines Produktionssystems durch den Einsatz des Digitalen Fabrikbetriebs [VDI4499-2]

2.4.2 Methoden zur Geschäftsmodellentwicklung

Im Gegensatz zu den technisch geprägten Entwicklungsmodellen der Produkt- bzw. Prozessentwicklung (siehe Kapitel 2.4.1), wird im folgenden Kapitel eine weitere Perspektive auf Entwicklungsmethoden eröffnet – die Geschäftsmodellentwicklung.

Das *Business Model Canvas (BMC)* ist eines der am weitesten verbreiteten Modelle für die Erstellung von Geschäftsmodellen unter Berücksichtigung des perfekten Leistungsversprechens (engl. *Value Proposition*). Das *Value Proposition Canvas (VPC)*, bei welcher der Kunde und seine Anforderungen im Mittelpunkt stehen, bauen auf dem BMC auf. Es geht bei der VPC darum herauszufinden, warum der Kunde einen Lieferanten benötigt, was der Kunde als Mehrwert wahrnehmen kann und was der Kunde als störend oder nachteilig empfindet. Daher ist die Value Proposition zu einem essentiellen Bestandteil des BMC geworden und konzentriert sich auf den Nutzen des Kunden [MP17]. Die beiden Formate Business Modell Canvas und Value Proposition Canvas werden im Folgenden detailliert beschrieben.

Business Modell Canvas

Das *Business Modell Canvas* ist eine Vorlage für strategisches und Lean-Startup-Management und dient zur Entwicklung neuer oder zur Dokumentation bestehender Geschäftsmodelle. Es ist ein visuelles Diagramm mit Elementen, die das Leistungsversprechen eines Unternehmens oder Produkts, die Infrastruktur, die Kunden und die Finanzen beschreiben [Ba11].

So ermöglicht es wesentliche Elemente eines erfolgreichen Geschäftsmodells aufzuzeigen und zu skalieren. Die Unterteilung in die neun Segmente hilft dabei jeden einzelnen Punkt kritisch zu hinterfragen und hierdurch Stärken und Schwächen festzustellen. Die neun Segmente werden in *Abbildung 35* dargestellt und anschließend erläutert [OP13, Gr16, Ma15].

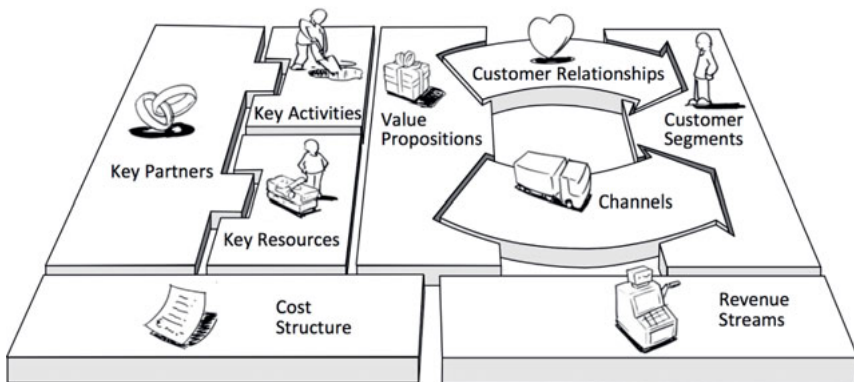


Abbildung 35: Illustration des Business Modell Canvas nach [OP13]

<i>Value Propositions:</i>	Das Leistungsversprechen zum Produkt, das dem Markt angeboten wird bzw. welchen Nutzen die Kunden haben.
<i>Customer Segments:</i>	Die Kundensegmente, die durch die Value Proposition angesprochen werden. Wer ist die Zielgruppe?
<i>Channels:</i>	Die Kommunikations- und Vertriebskanäle, um Kunden zu erreichen und ihnen den Mehrwert zu bieten bzw. wie wird mit dem Kunden interagiert?
<i>Customer Relationships:</i>	Die Beziehungen zu den Kunden. Wie werden Kunden gewonnen und gehalten?
<i>Key Resources:</i>	Die wichtigsten Ressourcen, die benötigt werden, um das Geschäftsmodell zu ermöglichen.
<i>Key Activities:</i>	Die wichtigsten Aktivitäten, die zur Umsetzung des Geschäftsmodells erforderlich sind.
<i>Key Partnerships:</i>	Die wichtigsten Partner und ihre Motivationen, sich am Geschäftsmodell zu beteiligen.
<i>Revenue Streams:</i>	Die durch das Geschäftsmodell generierten Einnahmequellen.
<i>Cost Structure:</i>	Die aus dem Geschäftsmodell resultierende Kostenstruktur.

Das *BMC* bildet kein abgeschlossenes Modell, sondern ermutigt vielmehr zur Adaption und Erweiterung auf spezifische Problemstellungen. Wallin et al. nutzen das BMC um Entwicklungen des Product-Service-System (PSS) besser planen zu können [WCT13]. Da sich PSS-Konzepte auf den Verkauf von Funktion oder Verfügbarkeit anstelle von physischen Produkten konzentrieren, haben viele Hersteller immer noch Schwierigkeiten, aus ihrer traditionellen Produktvertriebsituation heraus in frühen Designphasen PSS-Konzepte zu entwickeln. Wallin et al. schlagen einen Ansatz mit Hilfe des Business Modell Canvas vor, der den Herstellern beim Übergang zur PSS-Entwicklung helfen könnte, indem er wichtige Geschäftselemente bei der Entwicklung und Analyse von PSS-Konzepten formuliert, die sich aus ihrer traditionellen Produktverkaufssituation entwickeln.

Ferner stellen Pigneur et al. das *Triple Layered Business Model Canvas (TLBMC)* vor, in welchem dem ursprünglichen *Business Modell Canvas* eine Umweltebene und eine soziale Ebene hinzugefügt werden [Pi15]. Zusammengenommen machen die drei Ebenen des Geschäftsmodells deutlicher, wie ein Unternehmen ökonomische, ökologische und soziale Werte generiert.

Value Proposition Canvas

Durch die Verwendung des *Value Proposition Canvas (VPC)* betrachten Lieferanten, was Kunden wirklich wollen, welche Probleme sie erleben, wie diese gelöst werden können und was ihre Schmerzen (engl. *Pains*) und Gewinne (engl. *Gains*) sind. Durch die strukturierte und visuelle Darstellung wird sofort deutlich, wie die Value Proposition der Products und Services

an die Bedürfnisse des Kunden angepasst werden kann. Um Value Proposition Canvas richtig anwenden zu können, ist es wichtig, sich die Anforderungen des Kunden genau anzusehen (siehe Abbildung 36). Im Folgenden werden die zentralen Fragen des VPC detailliert betrachtet:

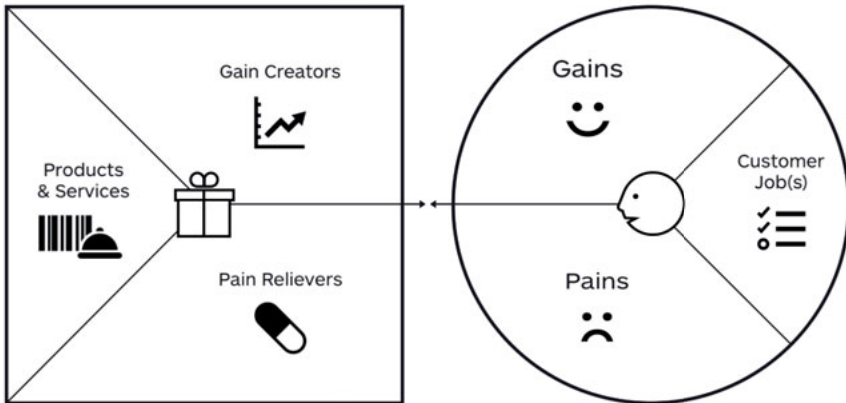


Abbildung 36: Illustration des Value Proposition Canvas [Os14]

Welche Jobs versucht der Kunde zu erledigen?

Customer Jobs stellen die Aufgaben dar, die der Kunde erledigen möchte und die die Hilfe eines Lieferanten erfordern. Auf diese Weise weiß ein Unternehmen, ob seine Products und Services mit den Aufgaben des Kunden übereinstimmen. Im Wesentlichen geht es um die Bedürfnisse und Anforderungen des Kunden.

Was ist der Pain des Kunden?

Unter Pain versteht man, was der potentielle Kunde als störend oder negativ empfindet. Das sind die unangenehmen Nebenwirkungen wie steigende Kosten, hohe Risiken, Umsatzrückgang, intensiver Wettbewerb, Kundenverlust und vielleicht negative Emotionen und eine negative Atmosphäre. Nicht alle Pains werden vom Lieferanten als gleich wichtig empfunden.

Was ist der Gain für den Kunden?

Der Gain ist das positive Ergebnis, das sich der potenzielle Kunde vorstellt. Ziel ist es, die Erwartung des Kunden und Szenarien über eine positive Überraschung im Sinne eines Zusatz-Gains zu formulieren. Dies können Kosteneinsparungen, Benutzerfreundlichkeit, mehr Umsatz, Service, Beratung oder ein angenehmes Arbeitsumfeld sein.

Durch Gespräche mit Kunden und Marktbeobachtung können sich Lieferanten über die Jobs, Pains und Gains informieren. Es ist wichtig, dass es eine Übereinstimmung zwischen den Pains des Kunden und den Schmerzlinderer (engl. *Pain Relievers*) sowie den gewünschten Gains des

Kunden und dem Gewinnerzeuger (*engl. Gain Creators*) gibt. Diese Übereinstimmungen müssen frühzeitig getestet werden, damit rechtzeitig Anpassungen vorgenommen werden können [Os14, MP17].

Pöppelbuß et al. und Zolnowski et al. eruieren Smart Service Canvas (SSC) als ein Werkzeug zur Beschreibung, Analyse und Entwicklung von Smart-Service-Geschäftsmodellen [PD17, ZWB14]. Aufbauend auf das Value Proposition Canvas umfasst sie insgesamt vier Bereiche: die Kundensicht, die Wertschöpfungssicht, die Ökosystemsicht sowie den Fit der zuvor genannten Sichten. Ferner wird auch die Verwendung der Smart Service Canvas anhand eines realen Smart-Service-Beispiels von *STILL neXt fleet* erläutert [PD17].

2.4.3 Kreativmethoden

Der Begriff Kreativität wird je nach Fachgebiet unterschiedlich definiert. Im Bereich des Innovationsmanagements gilt Kreativität als Fähigkeit, Wissen und Erfahrung in einer Art zu verknüpfen, um neuartige Ideen und Ansätze einer Problemlösung zu formulieren. Es werden hierfür verschiedene Vorgehensweisen wie Assoziationen, Abstraktionen oder Übertragungen aus anderen Problemfeldern angewendet. Kreativitätstechniken generell bedienen sich heuristischer Prinzipien in formalisiertem Format. Ansätze wie *Assoziation* führen eher zu intuitiven Lösungen, weitere Kreativitätstechniken (z.B. Kombination) unterstützen das Generieren neuer Ansätze. Kreativitätstechniken bestehen im Wesentlichen aus Denk- und Verhaltensregeln, die eine einzelne Person oder eine Gruppe dazu anregt, Ideen zu generieren [GEK01, Ra09].

In *Abbildung 37* werden für einzelne Abschnitte eines Projekts exemplarisch einige potentielle Kreativitätsmethoden elaboriert. Ferner werden im Anschluss die beiden etablierten Methoden 6-3-5 und *Morphologischer Kasten* kurz vorgestellt.

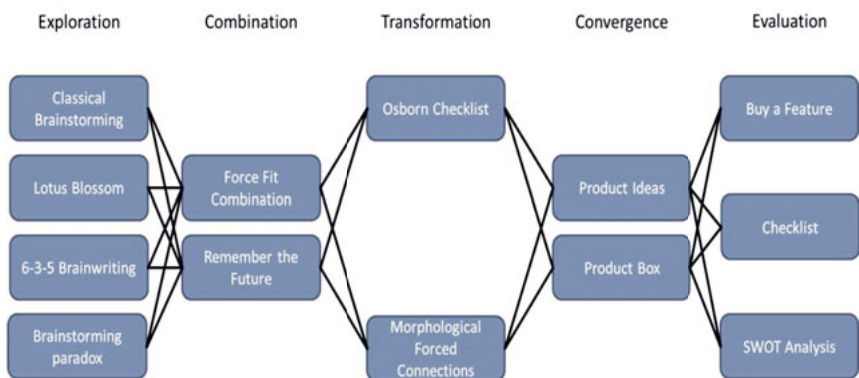


Abbildung 37: Einordnung verschiedener Kreativmethoden in Phasen nach [Do18]

6-3-5-Methode

Die 6-3-5-Methode ist eine alternative Methode zur Generierung ungewöhnlicher, neuartiger Lösungsvorschläge für eine zentrale Fragestellung und wird in der Gruppe eingesetzt. Zur klassischen Methodendurchführung werden sechs Teilnehmer und ein Moderator benötigt. Jeder Teilnehmer hat die Aufgabe, sich alle fünf Minuten bis zu drei Ideen zur Problemlösung zu entwickeln und diese auf Papier festzuhalten. Anschließend zirkulieren die Blätter mit den Lösungsvorschlägen zum nächsten Teilnehmer, welcher die Lösungsvorschläge verfeinert und weiterentwickelt. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis jeder Teilnehmer seine ursprüngliche Problemlösung zurückerhält. Die Methode inspiriert zu neuen Lösungsansätzen und bietet eine kreative Kombinatorik – gerade in heterogenen Teams [Li15].

Morphologischer Kasten

Der Morphologische Kasten ist eine heuristische Methode, die eingesetzt wird, um den potentiellen Lösungsraum einer Problemstellung systematisch zu erfassen. Die Untersuchung aller relevanten Zusammenhänge zwischen Objekten, Phänomenen und Konzepten basiert auf der Problemanalyse ohne Bevorzugung einer konkreten Problemlösung. Die Morphologie zerlegt Themenstellungen in ihre Einzelteile, zu denen jegliche Lösungen oder Erscheinungsformen aufgelistet werden. In der Methode werden die Elemente lösungsneutral und transparent dargestellt und schließlich in verschiedenen, eventuell neuartigen Ausprägungen verbunden [ZWZ67, FG13].

2.4.4 Zwischenfazit

Die Modellierung von Entwicklungsmethoden ist in den technischen und wirtschaftlichen Domänen etabliert, mit dem Ziel einer vereinfachten Modellbildung und konkreten Handlungsempfehlungen für die Methodenanwender. Die einzelnen Methoden stellen dabei oftmals die Struktur der Vorgehensweise bereit; die Inhalte der einzelnen Entwurfsphasen werden durch kreative Methoden – oftmals in Teams – erarbeitet und in die Struktur eingefügt.

Das Ziel dieser Arbeit liegt in der Entwicklung einer Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in Produktionsnetzwerken. Nach *DIN ISO 9000* kann die Entwicklung einer Methode mit der Entwicklung eines Produkts bzw. eines Prozesses hinsichtlich der Vorgehensweise gleichgesetzt werden. Die vorgestellten Entwicklungsmethoden zeigen – trotz partieller Schnittmengen – allerdings, dass eine Spezialisierung der Vorgehensweise zur Entwicklung sinnvoll und zielführend ist. Die betrachteten Entwicklungsmethoden liefern die Grundlagen für Partialelemente der zu entwickelnden Methode und werden in angepasster Form in bestimmten Methodenbereichen integriert. Zur übergeordneten Methodenentwicklung sind die betrachteten Vorgehensmodelle allerdings nicht hinreichend genau, weshalb in der folgenden Methodenentwicklung (*siehe Kapitel 3*) eine adäquate Meta-Methode ausgewählt und eingesetzt wird (*siehe Kapitel 3.1*).

3 Methode zur Interaktionsmodellierung

Das Ziel dieses Kapitels besteht in der Entwicklung einer Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in der modularen Produktion. In Kapitel 3.1 wird die *Methodik*, mit welcher die Methodenentwicklung durchgeführt wird, vorgestellt. Die Betrachtung der *Ausgangssituation* (Kapitel 3.2) stellt die Grundlage der anschließenden *Analysephase* in Kapitel 3.3 dar. Die folgende *Entwurfsphase* wird durch den Bezug zur *Akquisition* (Kapitel 3.4), der *Synthese* (Kapitel 3.5) und der *Aufbereitung* (Kapitel 3.6) der Informationen zur Methodenentwicklung geprägt. In Kapitel 3.7 wird in der *Finalisierungsphase* der Methodenentwurf in anwendbare Vorgehensweisen der Interaktionsmodellierung überführt.

3.1 Referenzmodell zur Methodenentwicklung

Die Entwicklung einer Methode kann grundsätzlich analog zur Produktentwicklung betrachtet werden [DIN ISO 9000], zu welcher die einschlägigen phasenorientierten Konstruktionsprinzipien (z.B. V-Modell, VDI2221, usw. – siehe Kapitel 2.4) angewandt werden können. Die Konstruktionsprinzipien sind allerdings als Konkretisierungen der allgemeinen systemischen Vorgehensweisen zu verstehen, die zur spezifischen Entwicklung technischer Systeme ausgelegt sind. Das technische System wird hinsichtlich der Umwandlung von Energie, Signalen und Stoffen betrachtet, während die zu entwickelnde Methode andere Charakteristika aufweist [We08]. Im Vergleich zu den allgemeinen systemischen Ansätzen bieten die Konstruktionsprinzipien im Allgemeinen somit keinen Vorteil durch die Konkretisierung hinsichtlich der Produktentwicklung, sondern beinhalten vielmehr erschwerende Prozessbestandteile, welche zur Komplexitätssteigerung beitragen. Die Entwicklung einer neuen Methode bedarf eines erweiterten Möglichkeitsraums, welcher die Handhabung informationeller Komplexität beinhaltet [We08].

Die angestrebte Methode zur *Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in der Produktion* liefert mit einem *prozeduralen Systemmodell* eine konkrete Vorgehensweise zur Anwendung im operativen Prozess (siehe Abbildung 38).

Das erste Ziel dieser Arbeit liegt – in Abgrenzung zur Methodendurchführung – allerdings zunächst in der Entwicklung dieser Methode. Der Methodenentwicklungsprozess bezieht sich zur adäquaten Unterstützung seinerseits ebenfalls auf ein prozedurales Systemmodell, welches aus einer Meta-Methode zur Methodenentwicklung entnommen wird [Ga94]. Die Methodenentwicklung bildet einen Raum komplexer Entwurfsfragestellungen ab, welcher durch ein Verständnis der Problemstellung eingegrenzt wird. Das vollständige Problemverständnis erfolgt erst durch einen Lernprozess im Zuge des Lösungsfindungsprozesses. Somit stehen das *Problemverständnis* und die *Problemlösung* in einem *wechselseitigen Verhältnis*, sind insofern selbstreferenziell [RW73]. Ein zielgerichteter

Methodenentwicklungsprozess mit dem Ziel der Methodenanwendung für den operativen Prozess wird durch die Rückkopplung der Anforderungen aus dem operativen Prozess in die Methodenentwicklung sichergestellt [SDS01].

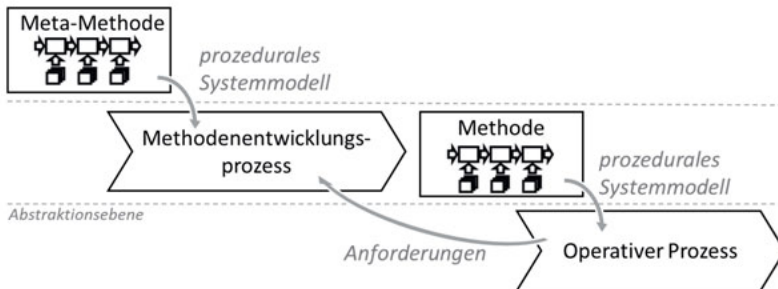


Abbildung 38: Systemische Perspektive der Methodenentwicklung – angelehnt an [We08]

Auf Grund der Komplexität und Vielfältigkeit der Methodenentwicklung ist eine Unterteilung in teilbare Aufgaben und Funktionsbereiche nach dem Ansatz *Separation of Concerns (SoC)* zweckmäßig. Das Paradigma verfolgt die Idee, die Gesamtaufgabe bzw. das Gesamtsystem in eine Struktur überschaubarer Aufgabenteile und Systemkomponenten zu zerlegen, wodurch nicht nur die Systemkomplexität reduziert, sondern auch eine arbeitsteilige Bearbeitung realisiert wird. [Vo09].

In *Abbildung 39* wird das meta-methodische Referenzmodell zur Methodenentwicklung nach Weigt dargestellt [We08]. Dieses Referenzmodell deckt die grundsätzlichen Anforderungen zur zielgerichteten Methodenentwicklung (*siehe Kapitel 3*) und erweitert diese Ebene noch um den Bereich einer weiteren Spezifizierung der Methode durch den Bereich der Methoden-anpassung/ -einführung (*siehe Kapitel 4*).

Im Referenzmodell wird innerhalb des Methodenentwicklungsprozesses zwischen der Entwicklungsrichtung Top-down und Bottom-up unterschieden.

Das Vorgehen bei der Methodenentwicklung Bottom-up orientiert sich an den Problemen existierender Abläufe und zielt auf deren inkrementelle Verbesserung. Die Vorgehensweise bei der Entwicklungsrichtung orientiert sich an der Erreichung eines definierten Ziels und impliziert tiefgreifende Veränderungen, oftmals auf Basis einer Neugestaltung der Abläufe [BR98; Ga94].

Die Methodenentwicklung zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in der Produktion geht von neuartigen Rahmenbedingungen in der Produktion aus (*siehe Kapitel 1*), zu welchen noch keine adäquaten Vorgehensweisen bestehen. Eine Verbesserung durch die Anwendung der Vorgehensweise Bottom-up ist auf Grund der fehlenden konkreten und deskriptiven Tätigkeiten in diesem Szenario nicht möglich. Die Aufgabe der

Methodenentwicklung besitzt vielmehr eine potentielle Modellvorstellung entsprechend der Ausgangssituation in der zukünftigen Produktion, welche durch die Vorgehensweise top-down eine breitangelegte Lösungssuche erhält [FG13].

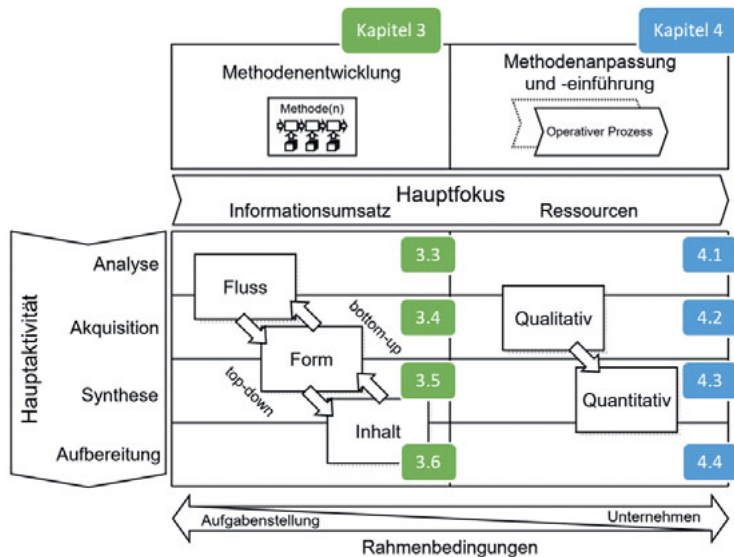


Abbildung 39: Meta-methodisches Referenzmodell zur Methodenentwicklung [We08] inkl. zusätzlicher Kapitelzuordnung dieser Arbeit

In *Abbildung 39* werden neben der Struktur des Referenzmodells zur Methodenentwicklung auch die Aufteilung der einzelnen Methodeninhalte auf die Kapitel dieser Arbeit dargelegt. Die Vorgehensweise top-down richtet sich nach den einzelnen Schritten der Hauptaktivitäten (Analyse, Akquisition, Synthese und Aufbereitung) und wird in folgenden Methodenschritten dargelegt:

1. Analysephase (*Kapitel 3.3*);
2. Entwurfsphase mit dem Schwerpunkt Akquisitionsschritte (*Kapitel 3.4*);
3. Entwurfsphase mit dem Schwerpunkt Syntheseschritte (*Kapitel 3.5*);
4. Entwurfsphase mit dem Schwerpunkt Aufbereitungsschritte (*Kapitel 3.6*);
5. Finalisierung (*Kapitel 3.7*).

Eine detaillierte Darstellung der Vorgehensweise zur Methodenentwicklung und deren Unterkategorien erfolgt gemäß *Abbildung 39*. Die Aufteilung der einzelnen Kapitel und die Struktur des *Kapitels 3* und *4* sind an die Inhalte des Methodenentwicklungsprozesses direkt angelehnt.

3.2 Beschreibung der Ausgangssituation

Industrie 4.0 veränderte und verändert weiterhin die Sichtweise auf die Produktion und wird als Synonym für die Produktion der Zukunft angewandt [KWH13]. Um auf schwankende Markteinflüsse agil reagieren zu können, wird eine flexible Fertigung angestrebt. Ein Ansatz der Flexibilisierung liegt in der Modularisierung der Produktion [Wi07], wozu der Einsatz cyber-physischer-Systeme erheblich beiträgt [Mo14, LBK15, We15]. Ein Beispiel für eine solche Produktion stellt die SmartFactory^{KL} dar, welche das Konzept herstellerunabhängig umgesetzt hat [KHM18].

Mit dem modularen und dezentralen Aufbau der Produktion auf Basis von CPS ergibt sich eine erhöhte Anzahl intelligenter Produktionseinheiten. Die geforderte Flexibilität der Produktion wird durch Ad-hoc Anpassungen und Veränderung der Produktionsanlagen sichergestellt [KHM18]. Die konsequente Weiterentwicklung dieser Ansätze liegt in einer autonomen Produktion, welche eine autonome Anpassung auf veränderte Rahmenbedingungen ermöglicht [Di19a]. Ein zentraler Grundstein für diese Entwicklung liegt in der zuverlässigen und adäquaten Kommunikation und Interaktion aller Akteure in diesem Szenario [Fo18].

Die durchgängige Vernetzung in horizontaler Richtung, welche die Vernetzung zwischen Betriebsmitteln und Anlagen entspricht, sowie die vertikale Vernetzung zwischen Anlagenteilen, den Anlagen und übergeordneten IT und OT-Systemen stellt einen zentralen Bestandteil der Produktion der Zukunft dar [Re17b].

Zur Realisierung eines ganzheitlichen Produktionssystems ist die Integration aller Akteure, die an dem Produktionsprozess teilnehmen oder Einfluss nehmen, erforderlich. In diesem Sinne kann das entstehende Produktionsnetzwerk mit dem Konzept des Internets der Dinge, Services und Personen (IIoTSP = Industrial Internet of Things, Services und People [Ga16]) verglichen werden. Die Produktion spannt einen komplexen Informations- und Handlungsraum zwischen den Maschinen und Anlagen (*Dinge, engl. Things*), dem IT- und OT-Systemen (*Services*) und den eingebundenen Mitarbeiter (*Personen, engl. People*) auf – ein komplexes Produktionsnetzwerk.

Aus Sicht der Prozessentwicklung ist ein Trend von der einzelprozessbezogenen Entwicklung hin zur ganzheitlichen organisationsbezogenen Prozessentwicklung spürbar [Sc98]. Der Einfluss der veränderten Paradigmen auf den Produktionsablauf beinhaltet u.a. neue Rollen, Verantwortungen und Entwicklungsbedarfe der Mitarbeiter sowie neue Produktionsabläufe [Ro16a]. Die Umsetzung der Paradigmen begleitet den Wandel zur Industrie 4.0-basierten Produktion und stellt für die produzierenden Unternehmen einen Change-Prozess der Produktionsstruktur dar, in welchem die Akzeptanz des Wandels durch die Mitarbeiter in der operativen Ebene ein entscheidendes kritisches Kriterium darstellt [DW14]. Maßgebliche Faktoren der Akzeptanzbildung liegen in der Prozessgerechtigkeit [TW75; KM97], der Bildung von Mehrwerten durch den Wandel und einer adäquaten Funktion nach dem Change-Prozess [KB18].

Diese Faktoren fließen bei der ganzheitlichen Betrachtung der Produktion in die Anforderung nach adäquaten Interaktionen zwischen den Akteuren bzw. den Teilnehmern des Produktionsnetzwerks ein. Es ist davon auszugehen, dass die heterogenen Teilnehmer auch differenzierte Arten der Interaktion unterstützen und bevorzugen, d.h. im Netzwerk werden die Teilnehmer auch heterogene Interaktionen benötigen. Der Begriff des Teilnehmers besitzt für die Gestaltung dieser Arbeit eine hohe Relevanz, weshalb er folgend explizit definiert wird:

Teilnehmer *Teilnehmer am Produktionsnetzwerk, welche in aktiver oder passiver Rolle zur Durchführung des Produktionsprozesses beitragen. Gerade im Zusammenhang einer modularen und flexiblen Produktion ist mit Heterogenität im Sinne des IloTSP (Things, Services, People) zu rechnen, welche durch heterogene Eigenschaften und Bedürfnisse der Teilnehmer abgedeckt wird.*

Bisher werden Kommunikations- und Interaktionswege in den jeweiligen Entwicklungsprozessen zumeist domänenspezifisch betrachtet, modelliert und realisiert [Sp13]. Gerade die domänenspezifische Perspektive stellt ein Problem bei der Entwicklung zukünftiger übergreifender Entwicklungsprozesse [GES02; TF17] dar, welcher beispielsweise durch das Simultaneous Engineering [Ma17, SV14] oder auch die VDI 2206 [VDI2206] und VDI 4499 [VDI4499-1] entgegenwirkt wird. Diese Ansätze sind speziell für den Bereich der Produktentwicklung detailliert und evaluiert, während etablierte Lösungen für die Produktionsprozessentwicklung fehlen. Speziell fehlt es an einer ganzheitlichen Lösung zur Modellierung von heterogenen Interaktionen der heterogenen Teilnehmer im komplexen Produktionsnetzwerk.

Die Betrachtung der Interaktionsmodellierung in zweien der verbreitetsten Modellierungsansätze für Prozesse – BPMN 2.0 [AI15] sowie das Sequenzdiagramm in UML [Gr06; Ke07] (siehe Abbildung 40) – verdeutlicht die bisher fehlende Berücksichtigung der Bedürfnisse der Interaktionsteilnehmer, welchen in komplexen Interaktionsnetzen mit heterogenen Teilnehmern allerdings eine große Bedeutung zuzuschreiben ist.

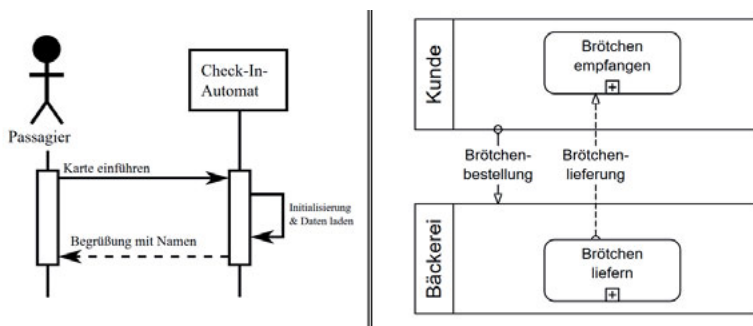


Abbildung 40: Links – Sequenzdiagramm aus UML [Gr06]; rechts – Interaktion im BPMN-Chart [AI15]

3.3 Analyse der späteren Methodenanwendung

Der folgende Abschnitt dient der Klärung der Aufgabenstellung. In dieser Analysephase werden die Grenzen des Betrachtungsraums sowie der Zweck der Methode identifiziert. Entsprechend des Metamodells [We08] gliedert sich diese Phase in drei Teilbereiche. Zunächst werden hierzu die Prozessnahtstellen der zu entwickelnden Methode analysiert (*Kapitel 3.3.1*).

Entsprechend der Vorgehensweise top down liegt in diesem ersten Schritt der Fokus auf dem Fluss der Informationen. Die Gestaltungsrichtlinie „vom Groben zum Detail“ ist auf die Reihenfolge *Fluss – Form – Inhalt* übertragbar und strukturiert hierbei die Vorgehensweise [HD02; Pa82]. In diesem Abschnitt werden zusätzlich auch form- und inhaltsbezogene Informationen betrachtet, allerdings nicht vertiefend bearbeitet.

An die Betrachtung der Prozessnahtstellen schließt sich die Analyse der wesentlichen Komplexitätsursachen in *Kapitel 3.3.2* an. Die Analysephase wird in *Kapitel 3.3.3* mit der Betrachtung und Formulierung der operativen Aufgabenstellung fertiggestellt. Diese bildet die Ausgangslage für die gesamte weitere Betrachtung und Konkretisierung während des Prozesses der Methodenentwicklung.

3.3.1 Analyse der Prozessnahtstellen

Die *Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in der Produktion* stellt eine konkrete Methodenentwicklung für den Bereich Engineerings dar. Das Anwendungsfeld wird weiterhin auf die Entwicklung und Gestaltung des Produktionsprozesses eingegrenzt, in welchem durch die Methode eine adäquate und mehrwertorientierte Zuordnung der Interaktionen zwischen den Produktionsteilnehmern erfolgen soll. Für die Erfüllung dieser Aufgabe ist bisher in der Literatur keine konkrete Methode bekannt. Daher wird die Gesamtheit der neuen Methode gemäß dem systemtheoretischen Ansatz [FG13] als eine in sich gekapselte Einheit (vgl. Black-Box) in den Entwicklungsprozess des Produktionsprozesses eingegliedert.

Die Analyse der Prozessnahtstellen besteht aus der Analyse der vorangegangenen und nachfolgenden Prozessschritte, welche erst nach der Einordnung der neuen Methode in den Gesamtprozess bestimmt werden können. Die Literatur liefert zur Beschreibung des Entwicklungsprozesses abhängig von Perspektive, Domäne und Zeitgeist unterschiedliche Ansätze.

Der Produktionslebenszyklus nach Vajna et al. und Eigner et al. stellt einen allgemeinen Vertreter eines linearisierten Schemas der Produktlebenszyklusphasen dar, welcher eine grobe Einteilung innerhalb der Produktionsentwicklung ermöglicht (*siehe* Abbildung 41) [Va14; Va18; ES13].



Abbildung 41: Produktlebenszyklusphasen nach [Va14; Va18]

Die Phase der Produktionsentwicklung untergliedert sich noch weiterhin zur Prozess- und Produktionsplanung [Va18], welche zur Konkretisierung stark domänenabhängig betrachtet wird. Schmelzer et al. und Scheer et al. betrachten den Bereich der Prozessplanung vor allem als Planung der Produktion im Sinne der Supply Chain [SS10; SC06]. Eine Betrachtung des Engineerings beschränkt sich auf den Bereich der Produktentwicklung bzw. Produktionsentstehungsprozess (PEP) (siehe Kapitel 2.4.1).

Das Kreuzmodell des Operation Management [Bi11] folgt der Ansicht von Vajna et al. und sortiert die „Entwicklung von Prozessen und Strukturen“ [Gr19b] im Anschluss an die Produktentwicklung ein [Va18]. Das Vorgehen der beiden Entwicklungsphasen wird hierbei als vergleichbar angesehen [Ma17; Bi11] (siehe Kapitel 2.4.1), womit die Autoren der Norm DIN ISO 9000 folgen [DIN ISO 9000]. Demnach ist die Betrachtung eines Prozesses als Produkt möglich und die Lebenszyklusphase der Prozessentwicklung kann hinsichtlich des abstrakten Vorgehens als Produktentwicklung durchgeführt werden.

Diese Abstrahierung ermöglicht die Anwendung etablierter Vorgehensweisen des Produktentstehungsprozesses, in welchen sich die neue Methode detailliert einordnen lässt. Beispiele hierfür sind:

- VDI2221, VDI2222, VDI2206;
- Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel [Eh14];
- Methodischen Konzeptionieren nach Pahl und Beitz [FG13].

Entgegen der Gleichschaltung der Phasen der Produkt- und der Produktionsentwicklung liegt [Ha17] vielmehr ein Ziel der Forschung darin, die spezifischen Inhalte der beiden Phasen stärker miteinander zu verzahnen. Das *Simultaneous Engineering* geht von einer Parallelisierung der einzelnen Lebenszyklusphasen aus, um die Entwicklungsdauer zu reduzieren [Ma17, SV14]. Die überlappende und teilweise gleichzeitige Phasendurchführung impliziert eine spezifische Betrachtung der einzelnen Entwicklungsphasen und wird durch den Einsatz computergestützter Systeme erreicht [Ma17]. Innerhalb der Prozessentwicklung und -planung findet das Tool CAP (*Computer Aided Planing*) Verwendung, welches allerdings gerade im Bereich generativer Neuplanungen noch keine produktive Anwendung findet, sondern vielmehr im Forschungsstadium steckt [Me07].

Ausgehend von der technischen VDI-Norm 4499 Blatt 1 erhält das ganzheitliche Konzept der digitalen Fabrik eine immer größere Relevanz [VDI4499-1; We18]. Ein Schwerpunkt liegt hierbei auf den Methoden innerhalb der Entwicklungsphasen. Im Vergleich zu den allgemeinen Lebenszyklusphasen (siehe Abbildung 41) liefert der Lebenszyklus im Fabrikbetrieb in Abbildung 42 eine Fokussierung, die den Anwendungsraum der neuen Methoden beschreibt und somit eine Eingrenzung zur Einordnung vornimmt.

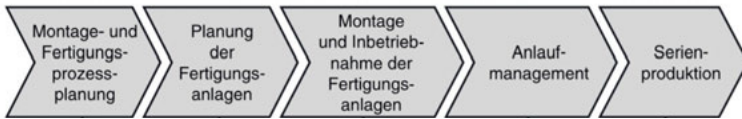


Abbildung 42: Digitaler Fabrikbetrieb innerhalb der Lebenszyklusphasen eines Produktionssystems nach [VDI4499-2]

Die *Methode zur Interaktionsmodellierung* wird als Engineering-Werkzeug in den Abschnitt der *Planung der Fertigungsanlagen* integriert. Im Konzept der Digitalen Fabrik [We18, VDI4499-1] und unter Berücksichtigung der Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme [VDI2206] beinhaltet diese Phase neben der Planung der physischen Anlagen auch die Entwicklung der informationstechnischen und elektronischen Systeme. Die Interaktionsmodellierung der heterogenen Teilnehmer innerhalb der neuen Methode baut auf den Informationen und Wechselwirkungen dieser einzelnen Systeme auf.

Im Folgenden werden zuerst die vorangehenden und nachfolgenden Lebenszyklusphasen gemäß dem Konzept der Digitalen Fabrik betrachtet [VDI4499-1]. Im weiteren Verlauf wird innerhalb der Lebenszyklusphase *Planung der Fertigungsanlagen* eine detailliertere Einordnung vorgenommen.

Die Analyse der Prozessnahtstellen zum vorangehenden Prozessabschnitt wird durch die Analyse des Informationsflusses beschrieben. Im Methodenentwicklungsprozess wird dieser Informationsfluss als *passive Informationsakquise* bezeichnet, welche in Abgrenzung zur *aktiven Informationsakquise* keine aktiven Schritte zur Informationsbeschaffung erfordert (siehe Kapitel 3.4.2 und Kapitel 3.4.3).

Die Phase der *Montage- und Fertigungsprozessplanung* umfasst nach der VDI-Norm 4499 Blatt 2 die Schritte der Auswahl geeigneter Verfahren und Technologien, der Reihenfolgenplanung, Planung der Betriebsmittel und Auswahl geeigneter Werkzeuge [VDI4499-2]. Anschließend wird eine grobe Kapazitätsplanung durchgeführt und das potenzielle Produkt mit dem Produktionsmittel abgeglichen.

Die Phase der *Planung der Fertigungsanlagen* beinhaltet die konkrete Ausgestaltung einzelner Fertigungsstationen, eine Kalkulation der Mengen und benötigten Fertigungskapazitäten/ -takt sowie die Zu- und Abführungen und der konkrete Fertigungsablauf. Auf dieser Basis werden die Mitarbeiter zugeordnet und ein Arbeitszeitmodell erstellt. Anschließend ist die Planung der Sicherheitstechnik und der Variantensteuerung der Produkte durchzuführen [VDI4499-2]. Die Reihenfolge der einzelnen Planungsschritte dieser Phase ist nicht festgelegt. Unter Berücksichtigung logischer,

systematischer Zusammenhänge wird die Anwendung der Methode zur Interaktionsmodellierung – wie in *Abbildung 43* dargestellt – eingeordnet.

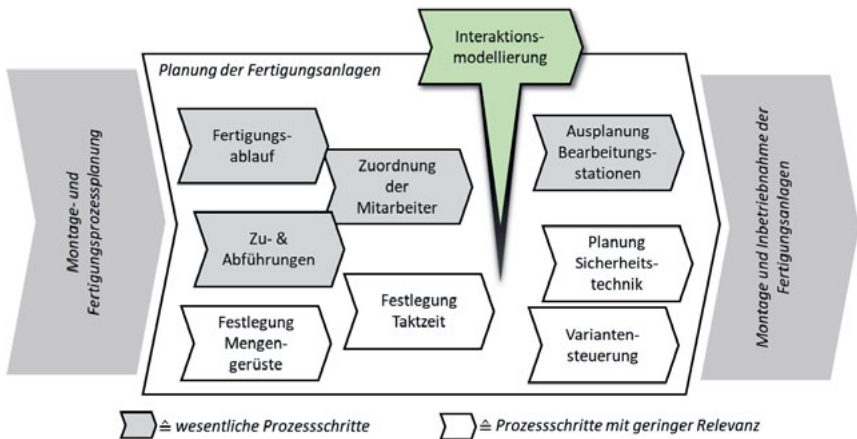


Abbildung 43: Einordnung der Anwendung der neuen Methode in den detaillierten Prozessablauf

Zusammenfassend werden die wesentlichen vorgelagerten Arbeitsschritte aus der Phase der *Montage- und Fertigungsprozessplanung* und der *Planung der Fertigungsanlagen* wie folgend betrachtet:

- Fertigungsablauf- bzw. Prozessplanung;
- Betriebsmittelplanung;
- Rollenplanung bzw. Zuordnung der Mitarbeiter.

In der Lebenszyklusphase *Montage und Inbetriebnahme der Fertigungsanlage* werden folgende Inhalte bearbeitet: Herstellung und Montage der Fertigungsanlagen, Anlagentests und -validierungen, insbesondere Funktionstests der Aktorik, Sensorik, von Voreinstellungen und der Komplettanlage, Abnahme der Anlage. Das Ziel dieser Phase ist die korrekte Funktion der Anlage entsprechend ihrer Spezifikation. Die exklusive Betrachtung der direkt auf die Anwendung der entwickelten Methode folgenden Lebenszyklusphase reicht nicht aus, da Informationsausgänge der Methodenentwicklung weitere Prozessbausteine in anderen Phasen beeinflussen [We13]. Aus den Phasen des *Anlaufmanagements* sind die Einweisung der Mitarbeiter und die Rückkopplung der realen Informationen in die digitalen Informationsmodelle zu nennen. Die *Serienproduktion* beinhaltet als abschließende Phase dieser Betrachtung vor allem den Bereich des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses [VDI4499-2; SWM14].

Auf dem Modell der Digitalen Fabrik aufbauend stellt die modulare Produktion weitere Anforderungen an die Prozessnahtstelle. So sind kontinuierliche Anpassungen und die Veränderung der physischen Produktion grundlegender Bestandteil des Konzepts [KHM18], woraus eine Flexibilität in der Betriebsmittel- und Mitarbeiterzuordnung erforderlich wird.

Die Analyse der wesentlichen *nachfolgenden Prozesse* lässt sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Realisierung der Interaktionsanfrage (Teil von: Ausgestaltung der Anlagen);
- Inbetriebnahme der Anlage (insb. bzgl. heterogener Teilnehmer);
- Einweisung der Mitarbeiter;
- (Re-)Engineering auf Grund flexibler Produktionsanpassung.

Basierend auf der Einordnung der Anwendung der Methode in den Lebenszyklus der Digitalen Fabrik werden anschließend die wesentlichen Informationsübergänge an den Prozessnahtstellen betrachtet (*siehe Abbildung 44*).

Die vorangegangenen Prozessschritte und -phasen werden abstrakt mit *Prozess- und Fertigungsplanung* beschrieben. Die wesentlichen Informationsübergänge liegen hierbei in der detaillierten Prozessdefinition bzw. -beschreibung sowie der Definition der Prozessteilnehmer. Hiermit sind die Mitarbeiter in verschiedenen Rollen, die Anlagen bzw. Betriebsmitteln und die unterstützenden IT-Systeme eingeschlossen.

Die nachfolgenden Prozessschritte werden zur Realisierung (der Interaktion) im Engineering und der Produktion zusammengefasst und beinhalten hierbei die Lebenszyklusphasen der Inbetriebnahme, des Anlaufmanagements und der Serienproduktion [VDI4499-2]. Die wesentlichen Informationsübergänge liegen hierbei in den erstellten Interaktionsmustern – welche später realisiert werden – und der angepassten Prozessinformationen inklusive weiterer interaktionsbezogener Informationsinhalte.

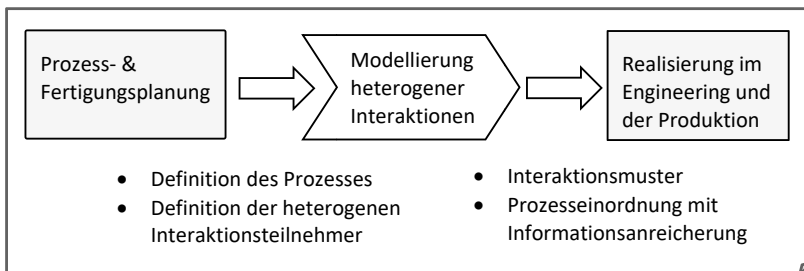


Abbildung 44: Prozessnahtstellen und Informationsübergänge

3.3.2 Analyse wesentlicher Komplexitätsursachen

Die Identifikation wesentlicher Komplexitätsursachen dient dazu, den Wesenskern der Aufgabenstellung hinsichtlich der Problemlösung zu erörtern [We08]. Auf Basis der vorangegangenen Analyse der Prozessnahtstellen sind die flussbezogenen Komplexitätsursachen zu betrachten. Diese ergeben sich aus der Art und Anzahl an vorgelagerten und anschließenden Prozessen. Ein Prozess mit einer großen Anzahl verschiedener Vorgängerprozesse und ebenso vielen unterschiedlichen Nachfolgeprozessen besitzt also einen hohen Grad der flussbezogenen Komplexität.

Nachdem der Informationsfluss hinsichtlich der Komplexitätsursachen betrachtet wurde, werden anschließend die form- und inhaltsbezogenen Komplexitätsursachen analysiert. Die Ursachen aus der Perspektive der Form richtet sich vor allem nach unterschiedlichen und nicht strukturierten Dokumenten und unterschiedlichen Formaten. Die Komplexität, welche aus dem Inhalt folgt, lässt sich zumeist aus dem unterschiedlichen Verständnis und der verschiedenen Interpretation der übermittelten Informationen, vor allem aus der passiven Akquise, extrahieren [We08].

Übertragen auf die Ausgangssituation (*siehe Kapitel 3.2*) sind die wesentlichen Ursachen der Komplexität hinsichtlich des Informationsflusses in verschiedenen vorangegangenen Prozessen aus unterschiedlichen Quellen zu sehen. Die Prozessbeschreibung wird innerhalb der Reihenfolgeplanung und der Planung des Fertigungsablaufs finalisiert (*siehe Abbildung 43*). Die Beschreibung der Teilnehmer kann auf Grund der Heterogenität auf mehrere Unterpunkte aufgeteilt werden. Die Anlagen und Betriebsmittel werden separat von den operativen Mitarbeitern zugeordnet und eingeplant. Die Inhalte der Planung verteilen sich über mehrere Lebenszyklusphasen, weshalb von unterschiedlichen Bearbeitern zu unterschiedlichen Zeitpunkten ausgegangen werden muss. Eine computergestützte Planungshilfe ist teilweise durch CAP-Systeme gegeben, welche allerdings nicht flächendeckend angewendet werden [Me07]. Die beteiligten IT- und OT-Systeme besitzen meist einen exklusiven Status in der Produktion [Wa16], weshalb eine Zuordnung zum Produktionsprozess im eigentlichen Sinne nicht stattfindet. Vielmehr stecken Informationen zur Einbindung dieser Systeme in der Prozessbeschreibung selbst.

Die wesentlichen informationsflussbezogenen Komplexitätsursachen der Folgeprozesse liegen vor allem in der großen Anzahl möglicher Informationsanwender und ihren unterschiedlichen Anforderungen begründet. Bevorzugt werden Inhalte zur Ausplanung der einzelnen Fertigungsstationen im Sinne der VDI4499 aufbereitet, welche auf den Interaktionsmustern und den mit interaktionsbezogenen Informationen angereicherte Prozessinformationen beruhen. In einem wandelbaren Produktionsnetzwerk stellt die Nutzung der interaktionsbezogenen Daten innerhalb der Phasen der Mitarbeiterinweisung und Produktion einen zusätzlichen Mehrwert dar.

Zusammenfassend werden folgende *flussbezogene Komplexitätsursachen* extrahiert:

Eingang: *Mehrere Teilplanungsphasen in der Prozessentwicklung, durch unterschiedliche Bearbeiter, zu unterschiedlichen Zeitpunkten.*

Ausgang: *Große Anzahl an möglichen Folgeprozessen, teilweise unbestimmter Stelle; Unterschiedliche Domänen mit unterschiedlichen Interpretationen.*

Nach der Analyse der Komplexitätsursachen hinsichtlich des Informationsflusses werden die möglichen Komplexitätsursachen hinsichtlich der Form der Informationen betrachtet. Analog zur Analyse der Ursachen mit Bezug zum Informationsfluss werden auch an dieser Stelle die Schnittstellen zu vorangegangenen Prozessen sowie die Schnittstellen zu den der Methode folgenden Prozessen betrachtet.

Die Informationen der vorgelagerten Prozesse in der Produktionsprozessentwicklung basieren auf verschiedenen Notationen und Modellierungswerkzeugen. Etablierte Notationen der Prozessmodellierung sind beispielsweise EPK, UML und BPMN 2.0, die in *Kapitel 2.3* detailliert vorgestellt wurden. Die Notationen und die dazugehörigen Werkzeuge besitzen spezifische Vor- und Nachteile und eine flächenmäßige Verbreitung in der industriellen Anwendung. Eine Eingrenzung innerhalb der Analysephase ist nicht zielführend, da eine breite und ganzheitliche Anwendung der Methode abzubilden ist.

Auf Grund der vielseitigen Weiterverwendung der Methodenergebnisse zur Interaktionsmodellierung in unterschiedlichen Folgeprozessen und softwaretechnischen Systemen ist eine maschinenlesbare Form der Information, zum Beispiel durch ein etabliertes Übertragungs- und Repräsentationsformat, zu wählen. Zusätzlich liegt die Möglichkeit der Nutzung durch einen Mitarbeiter im Engineering oder auf dem Shopfloor nahe, weshalb eine durch den Menschen lesbare Form notwendig ist.

Zusammenfassend werden *formbezogenen Komplexitätsursachen* angewandt:

Eingang: *Verschiedene Formate und Notationen bei der Prozessentwicklung.*

Ausgang: *Maschinenlesbare und menschenlesbare Darstellung und Notation der Methodenergebnisse.*

Die Ursachen der Komplexität, welche durch den Inhalt der Informationen entstehen, sind im Wesentlichen auf zwei Faktoren zurückzuführen. Zum einen ist der Informationsfluss aus den vorgelagerten Prozessen, also der passiven Informationsakquise, nicht ausreichend. Die adäquate Interaktionsmusterbildung und -zuordnung erfordert weitere Informationen, die in der Folge innerhalb der aktiven Informationsakquise durchgeführt werden (*siehe Kapitel 3.4.3*). Hinsichtlich des Inhalts besteht eine weitere Komplexitätsursache in der Interpretation der eingehenden Informationen, d.h. das Verständnis der Eingangsinformationen ist nicht trivial und bedarf einer Lösungsstrategie [Os18].

Die Interpretation von Informationen in Abhängigkeit von konkretem Kontext stellt ebenfalls an der Schnittstelle der Folgeprozesse eine der Komplexitätsursachen hinsichtlich des Informationsinhalts dar. Da die Methoden im breiten Feld der industriellen Produktion Anwendung finden sollen, sind hier unterschiedliche Anwendungsszenarien mit verschiedenen Kontextinformationen zu beachten. Der Anwendungskontext in den folgenden Prozessbereichen referenziert allerdings gleichermaßen auf die Entscheidungsfindung, um eine adäquate Interaktionsausprägung herbeiführen und modellieren zu können – der Prozess ist in sich also selbstreferenziell [RW73].

Entsprechend werden die *inhaltsbezogenen Komplexitätsursachen* folgendermaßen zusammengefasst:

- Eingang:** *Unvollständige Informationen bzw. der passive Informationsinhalt ist nicht ausreichend;
Interpretation der akquirierten Informationen.*
- Ausgang:** *Kontextbezug bei der Kommunikation und Interaktion essentiell für die Bewertung und Auswahl von Interaktionen und deren Parameter;
Selbstreflexivität der Methode hinsichtlich des Anwendungskontextes.*

3.3.3 Definition der operativen Gesamtaufgabenstellung

Die vorangegangenen Schritte der Analyse der Schnittstellen der Methode zu den vorangegangenen und folgenden Prozessen (*siehe Kapitel 3.3.1*) und der Analyse der wesentlichen Komplexitätsursachen (*siehe Kapitel 3.3.2*) bilden die Basis zur Erstellung der operativen Aufgabenstellung. Das Ziel dieses Aufgabenteils besteht darin, den Wesenskern der zu entwickelnden Methode in der operativen Aufgabenstellung zu verankern [We08].

Auf Basis der Grundlagen der zukünftigen Produktionsparadigmen (*siehe Kapitel 2.1*) in Produktionsnetzwerken bestehend aus heterogenen Teilnehmern unterschiedlicher Typen sowie der Rolle des Menschen innerhalb dieses Szenarios zeigt sich die gesteigerte Notwendigkeit der adäquaten Interaktion zwischen eben diesen Teilnehmern (*siehe Kapitel 2.2*). Die Integration der heterogenen Teilnehmer (Mensch, Maschine und Service) wird durch unterschiedliche begrenzende Eigenschaften der einzelnen Teilnehmertypen bzw. Individuen beeinflusst, weshalb eine effiziente Gestaltung der Interaktionen in Verbindung mit einer Erhöhung des Nutzwerts der Interaktion (Mehrwerte) zur effektiven Interaktionsgestaltung beiträgt. Die Modellierung dieser Interaktion erfordert unterschiedliche Informationen zur zielgerichteten Synthese.

Die Methode wird die Lücke der methodischen Unterstützung bei der Gestaltung von Interaktionen während der Prozessentwicklung bedienen und sortiert sich in den Prozessentwicklungsprozess ein. Akzeptanz und Vertrauen stellen Elemente zur nachhaltigen Methodenanwendung dar [Ch16], weshalb eine transparente, nachvollziehbare und leicht adaptierbare Methodengestaltung verfolgt wird.

Die *operative Gesamtaufgabenstellung* zur Methodenentwicklung lautet:

Die Entwicklung einer Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in der modularen Produktion verfolgt das Ziel, dem Anwender ein transparentes, übersichtliches und strukturiertes Vorgehen zur Verfügung zu stellen, um die Interaktionen der heterogenen Teilnehmertypen erfassen und modellieren zu können und eine mehrwertbezogene Entscheidungsvorlage zur adäquaten Auswahl der Interaktionsmuster zu liefern.

3.4 Definition der passiven und aktiven Informationsakquise

Anhand der Einordnung der neuen Methode in den späteren Gesamtprozess (*siehe Kapitel 3.3.1*, Seite 60), der Betrachtung der Informationsübergänge an den Schnittstellen (*siehe Kapitel 3.3.2*) und der operativen Gesamtaufgabenstellung (*siehe Kapitel 3.3.3*) erfolgt der erste Teil der Entwurfsphase – mit dem Schwerpunkt des Entwurfs der Akquisitionsschritte.

In einem allgemeinen operativen Problembearbeitungsprozess im Anwendungsfeld der industriellen Produktion ist zu Beginn des Methodenentwicklungsprozesses dessen konkrete Aufgabenstellung unter Berücksichtigung nur der passiv akquirierten Eingangsinformationen oft intransparent und kann ohne eine weitere, aktive Informationsakquisition auch nicht abschließend geklärt werden. Die notwendige ergänzende aktive Informationsakquise erfolgt auf Basis der Analyse der passiven Informationsakquise sowie der Festlegung der Aufbereitung dieser Informationen (*Kapitel 3.4.2*). Um den in der Analysephase festgestellten Informationsbedarf zu decken, werden nachfolgend in *Kapitel 3.4.3* die Schritte zur aktiven Informationsakquisition festgelegt. Die Grundlage der gesamten Methodenentwicklung, welche generell als Entwicklung eines Prozesses angesehen werden kann [DIN ISO 9000], bildet das initiale Prozessmodell, das in *Kapitel 3.4.1* entworfen wird [We08].

3.4.1 Entwurf eines initialen Prozessmodells

Das initiale Prozessmodell, welches in diesem Abschnitt entwickelt wird, dient der Orientierung während der Methodenentwicklung, d.h. das initiale Prozessmodell ist die Grundlage der Methode, welche in den folgenden Entwicklungsschritten konkretisiert und erweitert wird [We08].

Die Rahmenbedingungen der operativen Gesamtaufgabenstellung (*siehe Kapitel 3.3.3*) entsprechen grundsätzlich denen eines allgemeinen Problembearbeitungsprozesses. Daher ist die Anwendung einer generischen Struktur für typische generische Problembearbeitungsprozesse [We08, FG13] als initiales Prozessmodell (*Abbildung 45*) und somit als Grundlage zur weiteren Konkretisierung zu sehen.

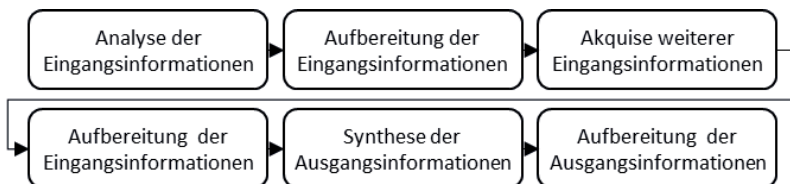


Abbildung 45: Initiales Prozessmodell nach [We08]

Das initiale Prozessmodell besteht entsprechend des Referenzmodells zur Methodenentwicklung (*siehe Kapitel 3.1*) aus einzelnen Schritten zur jeweiligen Analyse und Aufbereitung der passiven Informationsflüsse sowie der aktiv akquirierten Informationen. In

den folgenden Schritten des initialen Prozessmodells werden aus Eingangsinformationen die Ausgangsinformationen synthetisiert und anschließend entsprechend der Folgeprozesse aufbereitet. Die folgenden Entwurfsschritte werden anhand des Gerüsts des initialen Prozessmodells die Methode zur Interaktionsmodellierung Stück für Stück entwickeln.

3.4.2 Festlegung von akquisitionsorientierten Aufbereitungsschritten

Das Ziel der akquisitionsorientierten Aufbereitung besteht in der Komplexitätsreduktion hinsichtlich der passiv akquirierten Informationen, d.h. der Informationen, die durch vorangehende Prozessschritte im Produktionsentwicklungsprozess in die Methode geliefert werden. Entsprechend des Metamodells zur Methodenentwicklung (*siehe Kapitel 3.1*) liegt in dieser Phase des Entwurfsprozesses ein besonderes Augenmerk auf den formbezogenen Komplexitätsursachen [We08]. Die Festlegung stützt sich auf die in *Kapitel 3.3.2* aufgezeigten maßgeblichen Komplexitätsursachen hinsichtlich der Eingangsinformationen, welche weitergehend konkretisiert werden. Im Übergang zum folgenden Schritt wird somit eine generische Strategie zur Komplexitätsbewältigung zur Vorbereitung der weitergehenden aktiven Informationsakquise in *Kapitel 3.4.3* entwickelt.

Der Anwendungsfall der *Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in der modularen Produktion* geht von der Einbettung der Methode in den Entwicklungsprozess – genauer innerhalb des Prozessschritts der *Planung der Fertigungsanlage* (*siehe Abbildung 43 in Kapitel 3.3.1*) – aus.

Die ursächliche formbezogene Komplexitätsursache besteht im Wesentlichen aus der *Vielzahl verschiedener Möglichkeiten einen Prozess zu beschreiben*. Die verständliche Darstellung des Prozesses ist eine initiale Voraussetzung für ein einheitliches und übergreifendes Verständnis und somit auch geeignet, um eine weitere Modellierung der Interaktionen zwischen den Teilnehmern des Prozesses zu ermöglichen.

Strukturierte Prozessbeschreibungen stellen den Stand der Technik in der Prozessentwicklung und -modellierung im Engineering dar [Be08; SWM14] (*siehe Kapitel 2.3*). Die Anzahl der potentiell möglichen Modellierungssprachen, -methoden und deren Varianten stellen trotz der Eingrenzung auf eine strukturierte Beschreibung einen großen Variantenraum und somit eine wesentliche Komplexitätsursache in Bezug auf die Form der Informationen dar.

Eine weitere konkrete Komplexitätsursache hinsichtlich des Informationsflusses liegt in der Vielzahl unterschiedlicher Informationen durch unterschiedliche Bearbeiter in unterschiedlichen Entwicklungsphasen, die einen potentiellen Einfluss auf die Interaktionsgestaltung in der Methode besitzen. Hinsichtlich der Informationsform kann durch die große Vielfalt von keinem einheitlichen Format ausgegangen werden. Hinsichtlich des informationellen Inhalts sind die Relevanz und Integration der Informationen weiterhin unklar und bilden eine zusätzliche Komplexitätsursache.

Die zu entwickelnde Methode stellt eine Vorgehensweise zur mehrwertorientierten Modellierung der Interaktionen zwischen unterschiedlichen Teilnehmern mit

unterschiedlichen Fähigkeiten, Rollen und Bedürfnissen innerhalb des Produktionsnetzwerks dar. Etablierte strukturierte Prozessbeschreibungen erfüllen diese Anforderung allerdings nicht ausreichend. Sowohl auf der Ebene des informationellen Inhalts besteht die Unsicherheit, welche Informationen notwendig sind, wie auch auf der Ebene der Informationsform, wie diese Informationen dargestellt werden sollen. Das Informationsdefizit bezüglich dieses Punkts stellt eine wesentliche Komplexitätsursache zur Methodenentwicklung dar, welches im Folgenden durch die Akquisition weitere Informationen (*Kapitel 3.4.3*) erfüllt wird.

Die Übertragung der obigen Erkenntnisse und der Erkenntnisse der Analysephase auf das initiale Prozessmodell liefert folglich die Notwendigkeit der Durchführung der *Analyse der Eingangsinformationen* als ersten Schritt des Prozessmodells, um eine initiale Aufnahme der passiven Informationen durchzuführen.

Anschließend wird, ausgehend von der vorangegangenen Analyse der passiv akquirierten Eingangsinformationen, die *Aufbereitung der Eingangsinformationen* definiert (siehe *Abbildung 45*). Die Vielzahl an unterschiedlichen Informationen während der Entwicklungsphasen wird hierbei durch eine initiale Eingrenzung auf *produktionsprozessbezogene Informationen* konkretisiert, d.h. andere Informationen wie beispielweise Konstruktionsdaten werden nicht in die Informationsanalyse einbezogen, wodurch die *systembezogene Komplexität* initial reduziert wird.

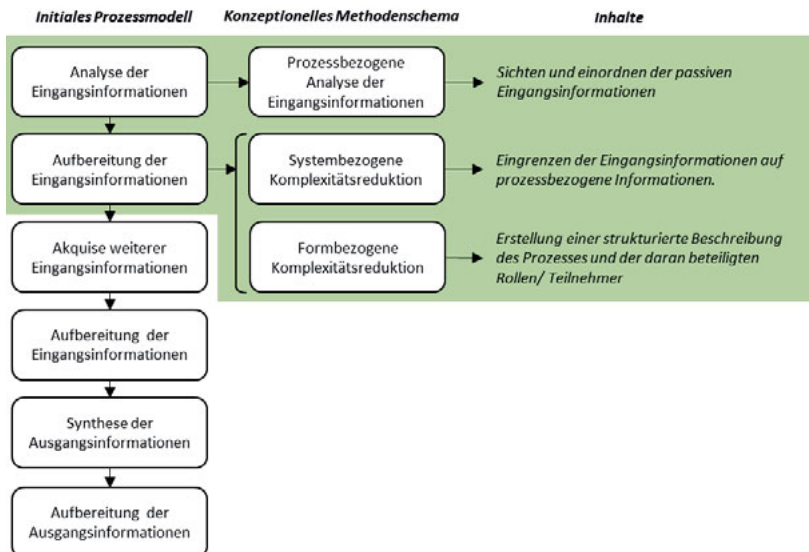


Abbildung 46: Methodenschema nach der Aufbereitung der Eingangsinformationen

Nachdem im vorherigen Schritt die *systembezogene Komplexität* reduziert wurde, wird im nächsten Schritt die *formbezogene Komplexität* reduziert (siehe Abbildung 46). Mit dem Hintergrund der auf prozessbezogene Inhalte eingegrenzten Analyse der Eingangsinformationen ist eine strukturierte Prozessbeschreibung in einer etablierten Modellierungsmethode ein Schritt zur allgemeingültigen Verständlichkeit des Produktionsprozesses. Eine essentielle Anforderung an die Beschreibung stellt die Einbeziehung der Teilnehmer in die Modellierung dar. Beispiele für eine solche Modellierungsmethode stellen UML und BPMN 2.0 dar (siehe Kapitel 2.3).

3.4.3 Festlegung von Akquisitionsschritten

Die Festlegung weiterer Schritte zur Informationsakquisition umfasst die aktive Akquise und entspricht im initialen Prozessmodell dem Schritt der *Akquisition weiterer Eingangsinformationen* (siehe Abbildung 47). Den Ausgangspunkt für die Festlegung bildet die Analyse der informationellen Dimensionen der operativen Aufgabenstellung (siehe Kapitel 3.3.3). Teilaspekte dieser Informationen werden systematisch hinsichtlich der Erfüllung durch die passiven Informationsakquisitionen mit Orientierung des Systemzusammenhangs der industriellen Produktion betrachtet [Fr75]. Die Konkretisierung der operativen Aufgabenstellung ist nicht weit genug fortgeschritten, um ein vollständiges Explizieren der bestehenden Informationsdefizite auf technischer Ebene durchführen zu können [EM17]. Dennoch stellen die systematische Identifizierung der Informationsdefizite und deren transparente Offenlegung sowie die Identifizierung zugehöriger Informationsquellen eine essentielle Rolle zur Entwicklung potentieller Akquisitionsschritte dar.

Ausgehend von der operativen Aufgabenstellung und der darin enthaltenen informationellen Sachverhalte werden folgende wesentliche informationellen Defizite offensichtlich:

- *Informationen zu den heterogenen Teilnehmern*
Die Beschreibung der Teilnehmer einer potentiellen Interaktion umfasst die Bestimmung des Teilnehmertyps (Mensch, Maschine und Service), der Rollen, welche der Teilnehmer innerhalb des Produktionsprozess und innerhalb der Interaktion einnimmt, sowie die Beschreibung der individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse auf Basis der Heterogenität der Teilnehmer.
- *Informationen zu den Interaktionsmöglichkeiten*
Der Kontext der Interaktion bestimmt über dessen Gestaltung. Die Randbedingungen innerhalb der industriellen Produktion sind potentiell grundsätzlich unterschiedlich. Die Beschreibung, welche Interaktionsmuster im gewählten konkreten Anwendungsfall mögliche Interaktionen zur Problemlösung darstellen, ist eine bedeutende Konkretisierung und stellt eine wesentliche Komplexitätsreduktion für die Durchführung der Methode dar.

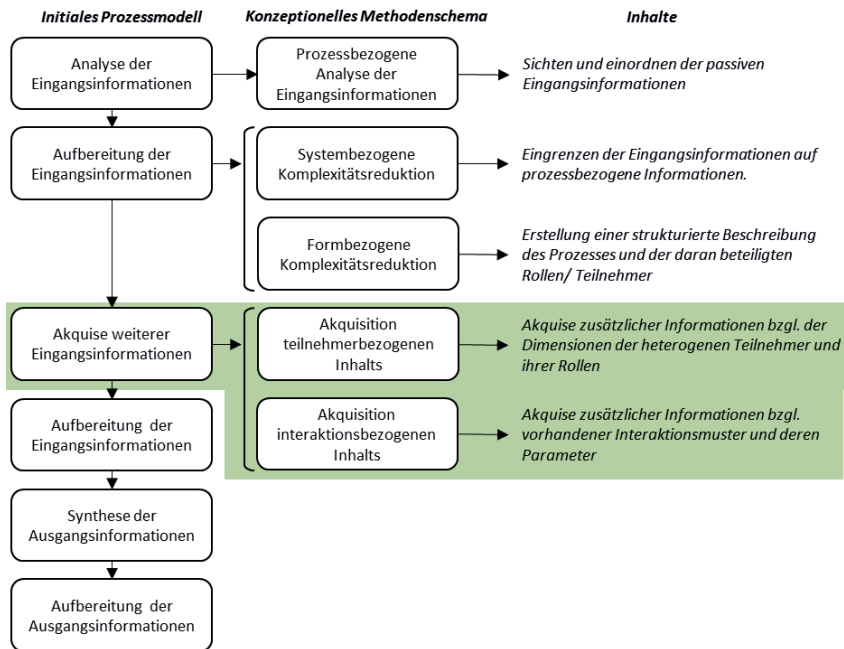


Abbildung 47: Einordnung der aktiven Informationsakquise

Die beiden wesentlichen Informationsdefizite werden zur Konkretisierung der Akquise *weiterer Eingangsinformationen* des initialen Prozessmodells in die beiden Methodenschritte *Akquisition teilnehmerbezogenen Inhalts* und *Akquisition interaktionsbezogenen Inhalts* des konzeptionellen Methodenschemas (siehe Abbildung 47) überführt. Die Definition der aktiven Informationsakquise bildet die Grundlage für den weitergehenden *synthesebezogenen Entwurf* der Methode in Kapitel 3.5 und speziell für die *Aufbereitung* der Gesamtheit der *Eingangsinformationen* in Kapitel 3.5.1.

3.5 Entwurf von synthesebezogenen Vorgehensweisen und des nutzwertorientierten Interaktionscanvas

Die folgende synthesebezogene Entwurfsphase besitzt das Ziel, auf Basis der wesentlichen Eingangsgrößen das initiale Prozessmodell hinsichtlich weiterer Aufbereitung- und Syntheseschritte durch Konkretisierung zu erweitern. Die wesentlichen Eingangsgrößen liegen in der operativen Aufgabenstellung (siehe Kapitel 3.3.3) und dem erweiterten Prozess- bzw. Methodenschema (siehe Abbildung 47), in welchem die fluss-, form- und inhaltsbezogenen Komplexitätsursachen hinreichend konkretisiert und die über die passiven

Informationsakquisitionen hinausgehenden Informationsbedarfe identifiziert sind. Des Weiteren bestehen aufbauende Strategien zur Durchführung der aktiven Informationsakquise.

Die Entwurfsphase mit dem Fokus aus der Synthese wird in dem Abschnitt in zwei Bereichen des initialen Prozessmodells betrachtet und weitergehend konkretisiert. Gemäß des Referenzmodells zur Methodenentwicklung nach Weigt wird die *Aufbereitung der Eingangsinformationen* (siehe Abbildung 48) in dem Abschnitt *Festlegung von syntheseorientierten Aufbereitungsschritten* (Kapitel 3.5.1) durchgeführt [We08]. Dieser erste Teil der Synthesephase betrachtet die Aufbereitung der Eingangsinformationen mit dem Fokus auf den aktiv akquirierten Informationen und den sich ergebenden neuen Betrachtungsperspektiven auf Grund der Kombination der aktiven und der passiven Informationseingänge.

Im zweiten Bereich dieser Phase (*Festlegung von Syntheseschritten in Kapitel 3.5.2*) wird aus der Gesamtheit der aufbereiteten Daten die Synthese zur inhaltlichen Zielerfüllung sowie der Auswahl eines teilnehmerfokussierten und mehrwertorientierten Interaktionsmusters, durchgeführt. Diese Schritte zur Komplexitätsreduktion bauen auf den Schritt der *Synthese der Ausgangsdaten* des initialen Prozessmodells (siehe Abbildung 48) auf.

3.5.1 Festlegung von syntheseorientierten Aufbereitungsschritten

Die Festlegung der syntheseorientierten Aufbereitungsschritte erfolgt auf Basis der nach der aktiven Informationsakquise vorliegenden Eingangsinformationen, d.h. auf der Gesamtheit aller vorliegenden Informationen (passiv und aktiv erworbenen Informationen).

Das Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es, die Gesamtheit der akquirierten Informationen so aufzubereiten, dass im Bezug zur operative Gesamtaufgabenstellung die notwendigen Ausgangsinformationen zu erstellen. Entsprechend des Referenzmodells zur Methodenentwicklung (siehe Kapitel 3.1) werden in diesem ersten syntheseorientierten Schritt die formbezogenen Komplexitätsursachen in besonderem Maß betrachtet, d.h. die Aufbereitung der Informationen fokussiert die Darstellung und Form der akquirierten Informationen. Insbesondere sind auch bereits definierte formbezogene Maßnahmen zur Komplexitätsreduktion auf Wirksamkeit bzw. eine mögliche Erweiterung zu überprüfen [We08].

Innerhalb des initialen Prozessmodells wird die syntheseorientierte Aufbereitung der Eingangsinformationen in zwei Bereiche unterschieden: die *funktionsbezogene Komplexitätsreduktion* und die *nutzwertbezogene Komplexitätsreduktion* (siehe Abbildung 48).

Die *funktionsbezogene Komplexitätsreduktion* beschreibt die erweiterte Komplexitätsreduktion der Informationen mit Bezug zu den *Interaktionen*. In Kapitel 3.4.3 wird die Notwendigkeit weiterer Informationen der prinzipiell verfügbaren Interaktionsmuster deutlich, welche eine zusätzlich informationelle Dimension darstellen. Um die Komplexitätssteigerung dieser zusätzlichen Einflussgröße auf die Methode zur Interaktionsmodellierung handhabbar zu machen, ist neben einer *transparenten und*

strukturierten Beschreibung der Muster vor allem eine *strukturierte Sammlung* der einzelnen Interaktionsmuster inklusive der zugehörigen Parameter notwendig.

Die einzelnen *strukturiert* beschriebenen *Interaktionsmuster* fungieren als Werkzeuge, welche in höchstem Maß zur Komplexitätsreduktion beitragen, da sie die Möglichkeiten zur Interaktion zwischen den definierten Teilnehmern repräsentieren. Das Interaktionsmuster stellt die notwendigen Informationen sowie die essentiellen Charakteristika einer einzelnen Interaktion dar. Die Gesamtheit der Interaktionsmuster orientiert sich bei deren Beschreibung an einem standardisierten Template, womit die formbezogene Komplexität reduziert wird.

Sogenannte *Interaktionsmusterkataloge* stellen eine transparente Struktur zur domänenübergreifenden Repräsentation der einzelnen Interaktionsmuster dar. Der Katalog, als Gesamtheit aller Muster, besteht somit nicht nur aus einer losen Sammlung, sondern vielmehr aus einer strukturierten und mit Daten und Parametern angereicherten Repräsentation. Die Methode wird zur Interaktionsmodellierung zwischen heterogenen Teilnehmern entwickelt und bedarf daher ganzheitlicher, silo-übergreifender Informationen [TF17]. Der Interaktionsmusterkatalog stellt eine grundlegende Informationsquelle und ein essentielles Werkzeug für den Methodenbearbeiter dar, welches diese ganzheitliche Problemlöseperspektive unterstützt und maßgeblich vereinfacht.

Da die modellierten Interaktionen immer im Kontext der Umgebung und der aktuellen Umstände zu betrachten sind, besteht der Katalog aus einem allgemeinen und übertragbaren sowie aus einem optionalen individuellen Bereich.

Die Darstellung der Interaktionsmuster und des Interaktionsmusterkatalogs muss hinsichtlich der Methodendurchführung zwingend in einer *vom Menschen lesbaren und verständlichen Form* vorliegen. Auf Grund der Heterogenität aller Teilnehmer und der notwendigen Transparenz gegenüber allen Teilnehmertypen wird zusätzlich eine *maschinenlesbar und -interpretierbare Form* angestrebt.

Die Anwendung der Methode in dem wandelbaren Produktionsszenario (*siehe Kapitel 2.1*) erfordert vor allem vor dem Hintergrund der Anforderungen ständig wechselnder Bedingungen und Produktionsausprägungen ein großes Maß an Akzeptanz hinsichtlich der Interaktionen zwischen allen Teilnehmern des Produktionsnetzwerks (*siehe Kapitel 2.2.3*). Die Darlegung von Mehrwerten sowie die Transparenz der Entscheidungsfindung sind zentrale Instrumente, um Akzeptanz in einem zunehmend agilen und volatilen Umfeld aufzubauen [Qu06].

Ein Ziel der Entwicklung dieser Methode stellt eine Fokussierung auf die Teilnehmer einer Interaktion und den Mehrwert einer solchen Methode dar. Der Bezug auf den Mehrwert kann nur im Kontext der Teilnehmer abgebildet werden und impliziert daher schon eine Teilnehmerorientierung.

Zusätzlich erfordert die Betrachtung der heterogenen Teilnehmer der Typen Mensch, Maschine und Service eine abstrakte, übergreifende Betrachtung der jeweiligen Fähigkeiten

und Bedürfnisse in Bezug zur Aufgabenstellung des Produktionsprozessschritts. Somit stellen der Mehrwert einer Interaktion, die Aufgabenerfüllung im Produktionsprozess und die teilnehmerbezogenen Attribute die Rahmenbedingungen für die weitere synthesebezogene Aufbereitung der Informationen in der *nutzwertbezogenen Aufbereitung*.

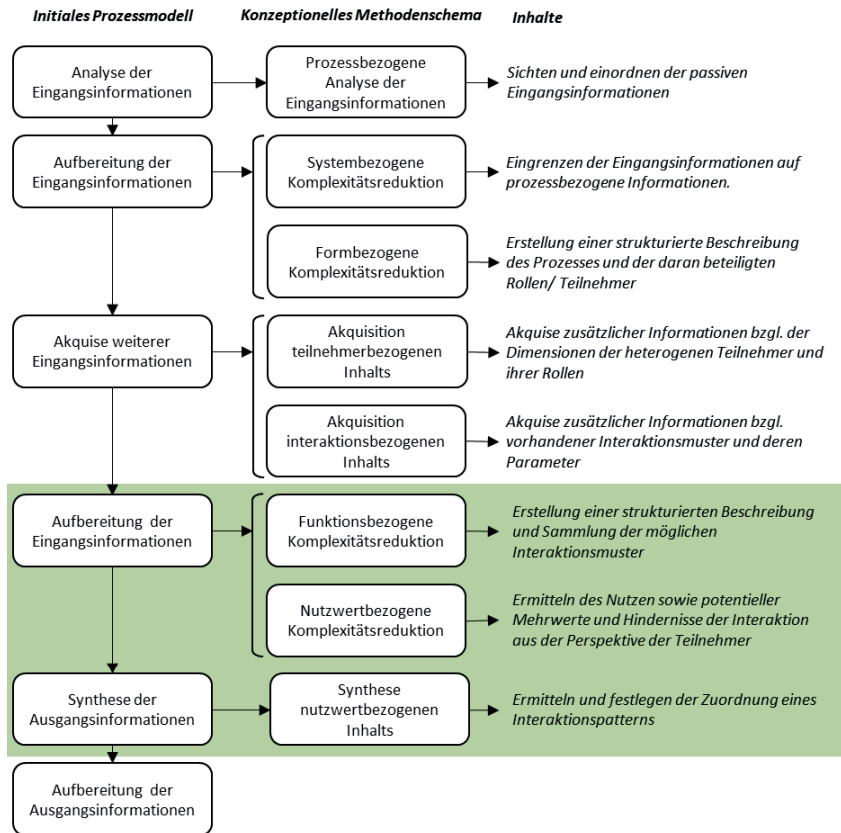


Abbildung 48: Synthesebezogene Entwurfsphase

Die Grundlage für die Betrachtung eines *Mehrwerts einer Interaktion* stellt die *Analyse des Nutzwerts* der einzelnen Interaktion dar. Hierbei ist die Betrachtung nicht auf den einzelnen Interaktionsschritt begrenzt, sondern umfasst vielmehr einen Raum an Einzelaktionen, die den Nutzen unterstützen. Das Ziel dieses Schritts ist erreicht, sobald der Nutzen der Interaktion erkennbar ist. Die Extraktion des Nutzens einer möglichen und zu modellierenden Interaktion ist abhängig von den Teilnehmern und der Aufgabe im Produktionsprozess, die von diesen erfüllt werden soll. Die Aufgabe wird durch die bereits modellierte *strukturierte Prozessbeschreibung* repräsentiert. Zusätzliche Informationen der Teilnehmer werden

innerhalb des konzeptionellen Methodenschemas (*siehe Kapitel 3.4.3*) akquiriert und der strukturierten Prozessbeschreibung zugeordnet. Eine standardisierte Form und ein domänenübergreifendes Rollenverständnis sind zwecks der formbezogenen Komplexitätsreduktion nicht vorhanden, zur Methodendurchführung im Engineering allerdings auch nicht zwingend erforderlich.

Der Nutzen bzw. Nutzwert der Interaktion lässt sich jedoch nicht direkt aus den oben genannten Beschreibungen ablesen. Vielmehr ist der Nutzen implizit in der Prozessbeschreibung enthalten und muss hieraus extrahiert werden. Auf Grund fehlender expliziter Informationen ist an dieser Stelle das Prozesswissen des Methodenbearbeiters von großer Wichtigkeit. Die heterogenen Teilnehmer und zunehmend volatilen Anpassungen in der Produktion stellen allerdings komplexe Randbedingungen dar, welche an die Grenzen einzelner Prozessentwickler stoßen [ALM03]. Die Analyse des Nutzwerts der Interaktionen ist also keine simple Ableitung oder Auswahl zur Komplexitätsreduktion, sondern bildet in sich vielmehr eine komplexes „Gebilde“ mit impliziten Informationen aus verschiedenen Kanälen und bedarf eines kreativen Lösungsumfeldes. Essentiell für die kreative Lösungsfindung in diesem Kontext sind typischerweise heterogene Bearbeitungsteams, bestehend aus Experten und Anwendern der unterschiedlichen Domänen bzw. Technik-Silos, einer transparenten Informationsdarstellung sowie methodischer Unterstützung (*siehe Kapitel 2.4.3*).

In diesem Fall der Methodenentwicklung einer Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer sind gerade die vielfältigen inhaltsbezogenen Komplexitätsursachen, vor allem hinsichtlich der heterogenen Bedürfnisse der heterogeneren Teilnehmer, kontextspezifisch. Die Anforderungen können in keinem bekannten Modell adäquat abgebildet werden, weshalb eine neue Methode – als Methode in der Methode – mit dem in dieser Arbeit neu entwickelten *Interaktionscanvas* entwickelt wird. Gerade auf Grund der unzureichenden Strategien zur formbezogenen Komplexitätsreduktion der vielfältigen Eingangsinformationen in den bekannten Domänen der Prozessentwicklung wird zur Entwicklung des Interaktionscanvas ein domänenübergreifender Ansatz gewählt.

Zur Einführung des Interaktionscanvas und der weiteren Konkretisierung der syntheseorientierten Aufbereitungsschritte wird die *nutzwertbezogene Komplexitätsreduktion* in weitere Arbeitsschritte aufgeteilt (*siehe Abbildung 49*), deren detaillierte Betrachtung nach einem Exkurs zu Methoden der Geschäftsmodellentwicklung stattfindet.

Die Randbedingungen der kreativen Modellierung des Nutzwerts bieten Parallelen zum Bereich der Produkt- und Geschäftsmodellentwicklung. Auch hier stellen die nicht adäquat definierten und agilen Einflüsse der Kunden und deren Bedürfnisse eine unsichere Basis für Entscheidungen. Eine Möglichkeit diesem Problem zu begegnen ist die Marktforschung, welche sehr zeitintensiv ist und die Volatilität der Märkte nur unzureichend abzubilden vermag. Eine weitere Entwicklung sind kreativorientierte Modelle wie der Business Modell Canvas [OP13] und dessen Spezialisierung auf den Mehrwert eines Produkts, der Value Proposition Canvas [Os14].

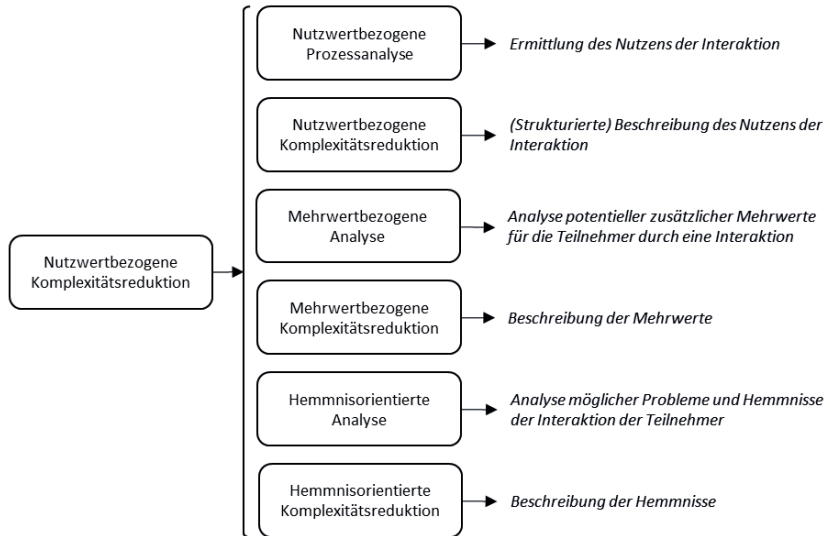
Konkretisierung des konzeptionellen Methodenschemas**Inhalte**

Abbildung 49: Konkretisierung nutzwertbezogener Komplexitätsreduktion

Der Value Proposition Canvas fokussiert die positiven und negativen Einflüsse, die auf einen Produktnutzer (auch ein Service ist in diesem Sinne ein Produkt) bei der Erfüllung seiner Aufgabe einwirken. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen werden die Vorgehensweisen des Abwendens der negativen sowie zur Verstärkung positiver Einflüsse dargelegt. Auf diesen Erkenntnissen werden mögliche Produkte dargelegt und ausgewählt, die dem Nutzer bei der Erfüllung seiner Aufgabe einen großen Mehrwert bieten (*siehe Kapitel 2.4.2*).

Die Zielstellung des Value Proposition Canvas ist mit der Zielsetzung der zu entwickelnden Methode zur Interaktionsmodellierung vergleichbar. In die Methode zur Modellierung der heterogenen Teilnehmer wird folglich ein Teil integriert, der sich an das Konzept des Value Proposition Canvas anlehnt – der *Interaktionscanvas*.

Aufbauend auf der *Analyse des Nutzwertes* wird der Nutzen in der *nutzwertbezogenen Komplexitätsreduktion* weiter konkretisiert. In diesem Schritt wird der Nutzen mit dem Ziel einer klaren und eindeutigen Beschreibung des Nutzens an einer klar definierten Stelle dargestellt. Gerade der letzte Punkt stellt eine formbezogene Konkretisierung dar, die direkt in den Interaktionscanvas einfließt.

Gemäß dem Referenzmodell zur Methodenentwicklung werden innerhalb des Methodenschemas zur Methodenentwicklung die Entwicklung der Darstellungen und Dokumentation typischerweise in der letzten Phase, der Finalisierungsphase angestrebt. Die Komplexität und Menge an Prozessschritten erfordern in diesem Fall eine Transferleistung der Methodeninhalte, die in begründeten Fällen durch das Referenzmodell unterstützt wird. Auf

der Metaebene beschrieben, wird zwar die stringente Beschreibung der Entwicklung der Methode zur Interaktionsmodellierung hierdurch komplexer. Allerdings beschreibt die Methode eine kreative und agile Arbeitsweise, weshalb die Einführung in die Darstellung und Dokumentation in den Interaktionscanvas am jeweiligen thematischen Beschreibungsort durchgeführt und daher hier initial vorgestellt wird.

In *Abbildung 50* wird der grundsätzliche Aufbau des Canvas beschrieben. Der Canvas selbst bezieht sich auf eine spezifische Stelle im Produktionsprozess und wird zur Modellierung einer spezifischen Interaktion zwischen mehreren Teilnehmern angewendet. Daher werden im Kopfbereich (*Bereich A*) des Canvas zum einen der Prozessschritt definiert und eine eindeutige ID festgelegt. Zum anderen werden die beteiligten Teilnehmer ebenso beschrieben und festgehalten (*siehe Methodenschritt Akquisition teilnehmerbezogenen Inhalts in Kapitel 3.4.3, Seite 71*).

Unterhalb dieser initialen Informationen im Header teilt sich der Canvas in zwei Bereiche mit verschiedenen Perspektiven auf. *Bereich B* beschreibt die Sicht der Teilnehmer auf die zu gestaltende Interaktion und deren Aufgabe im Produktionsprozess. Diese Perspektive wird im folgenden Abschnitt detailliert. *Bereich C* beschreibt dagegen die lösungsorientierte Perspektive auf das Interaktionsmuster und wird in *Kapitel 3.5.2* beschrieben. Die Betrachtung unterschiedlicher Perspektiven ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung der Modellierung der Interaktion und wird den verschiedenartigen Bedürfnissen der heterogenen Teilnehmer gerecht.

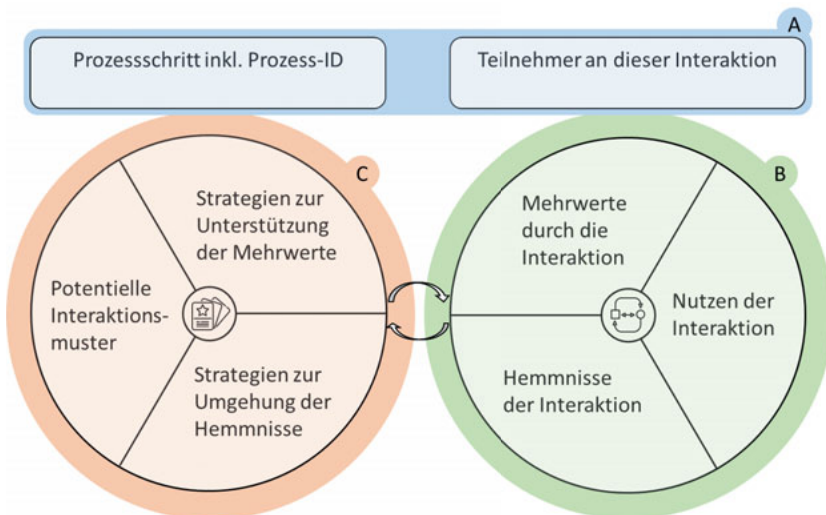


Abbildung 50: Überblick des Interaktionscanvas

In *Abbildung 51* wird eine detaillierte Betrachtung auf die Interaktions- und Teilnehmerperspektive dargestellt. Die einzelnen Schritte des konkretisierten Methodenschemas (*Abbildung 49*) werden in konkrete Tätigkeiten zur Methodendurchführung transformiert (*siehe Abbildung 52*), welche den einzelnen Bereichen des Interaktionscanvas direkt zugeordnet werden können.

Die *nutzwertbezogene Komplexitätsreduktion* hat das Ziel, den identifizierten Nutzen einer Interaktion transparent und strukturiert darzustellen. Die Darstellung erfolgt innerhalb der standardisierten Struktur des Interaktionscanvas in *Feld A* (*Abbildung 51*) und in einer transparenten Form. Der Interaktionscanvas bietet somit eine klare Darstellung zur Komplexitätsreduktion hinsichtlich der Form der Informationen und trägt damit zur adäquaten Methodenentwicklung bei.

Der Interaktionscanvas ist als transparentes und nachvollziehbares Template zur kreativen Gestaltung konzipiert. Bei der Beschreibung des Nutzwerts sowie auch bei allen weiteren Beschreibungen im Interaktionscanvas ist daher auf eine kurze und prägnante Darstellung zu achten.

Nachdem der Nutzen der Interaktion bereits im vorherigen Block beschrieben wurde, werden in der *mehrwertbezogenen Analyse* die potentiellen zusätzlichen Mehrwerte einer Interaktion vorgestellt. Diese Analyse erfolgt unter den Randbedingungen und Einflüssen der Interaktionsteilnehmer, des Interaktionsnutzens sowie der übergeordneten Prozessbeschreibung.

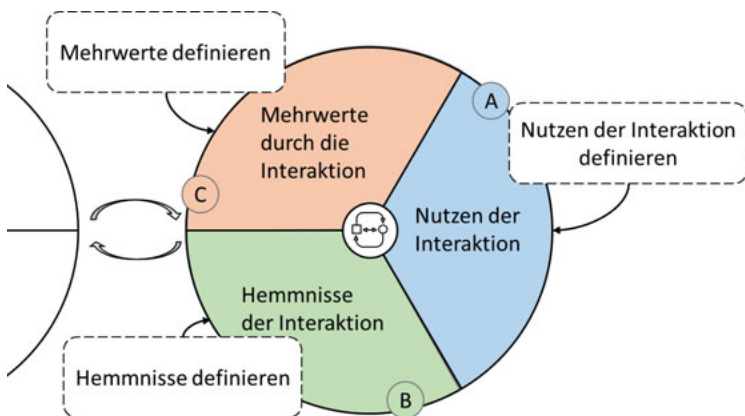


Abbildung 51: Teilnehmer- und aufgabenorientierte Perspektive des Canvas

Als Teil des Kreativprozesses können hier produktionsprozessübergreifende Mehrwerte generiert werden oder auf die Nutzwerte anderer Abschnitte zurück gegriffen werden. Die Bildung von *Synergien* ist teilnehmertypenübergreifend ein direkter *Mehrwert* für die jeweiligen Teilnehmer. Auf menschlicher Seite werden so zusätzliche Anfragen und Laufwege sowie der Kognitiven Überforderung (*engl. Cognitiv Overload*) [SVV99] nachhaltig reduziert.

Auf Seite der Maschinen und Services bestehen andere Anforderungen; allerdings profitieren auch diese Teilnehmer von gebündelten Anfragen statt zahlreicher Einzelanfragen sowie gerade im Bereich des IIoT von einer effizienten Nutzung der zur Verfügung stehenden Bandbreiten [FM05].

Hinsichtlich der formbezogenen Komplexitätsreduktion werden die ermittelten Mehrwerte anschließend in der *mehrwertorientierten Komplexitätsreduktion* (siehe Abbildung 52) in transparenter Form als strukturierter Freitext in den Interaktionscanvas (Abbildung 51, Feld C) integriert. Nach der Identifikation der Mehrwerte, also des über die Nutzenerfüllung hinausgehenden Benefits der Interaktion, sowie deren transparente Darstellung im Interaktionscanvas, werden anschließend die *Hemmnisse einer Interaktion analysiert* und hinsichtlich der *Komplexität reduziert*.

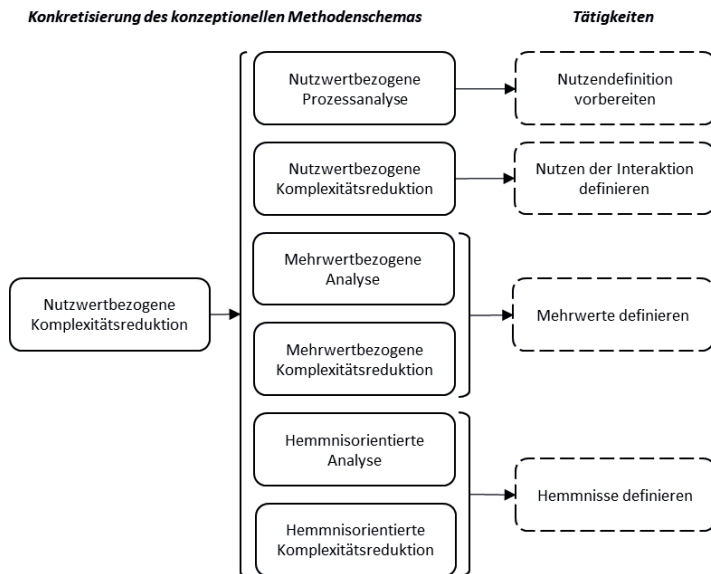


Abbildung 52: Zuordnung von Tätigkeiten zum Methodenschema

Die Hemmnisse der Interaktion sind stark kontextabhängig und teilweise nicht offensichtlich. Die Identifikation dieser Hemmnisse beruht daher auf dem Erfahrungswissen der beteiligten Personengruppen, wie Maschinenbedienern, Prozessplanern, Arbeitsvorbereitern und Entwicklungsingenieuren. Zur Identifikation von Hemmnissen an dieser Stelle sowie von Lösungsansätzen in folgenden Methodenschritten sollten interdisziplinäre Teams gebildet werden, welche auf etablierten Kreativtechniken (siehe Kapitel 2.4.3) zurückgreifen, um nicht nur auf offensichtliche Hemmnisse und Lösungen zu stoßen. Ein ergänzender systematischer Ansatz besteht in der Analyse fehlender Fähigkeiten der Teilnehmer zur Interaktionsdurchführung. Diese fehlenden Fähigkeiten stehen gerade im Umfeld des IIoTSP oftmals mit

der technischen Ausstattung und Kommunikationsfähigkeit der technischen Geräte in Zusammenhang (siehe Kapitel 2.1.3, Kapitel 2.1.4 und Kapitel 2.2.1). Die Mensch-Maschine-Interaktion bildet eine weitere Schnittstelle, welche Ergebnisse hinsichtlich der Hemmnisse liefern kann (siehe Kapitel 2.2.2). Die formlose Analyse der Hemmnisse wird anschließend in der *hemmnisorientierten Komplexitätsreduktion in Feld B des Interaktionscanvas* (siehe Abbildung 51) in einer transparenten Form dargestellt und somit vor allem hinsichtlich der formbezogenen Komplexität konkretisiert und reduziert.

Die Festlegung der syntheseorientierten Aufbereitungsschritte liefert mit dem Interaktionscanvas ein innovatives domänenübergreifendes Repräsentationskonzept, welches den form- und inhaltsbezogenen Informationsdefiziten, die in der wandlungsfähigen Produktion impliziert sind, proaktiv entgegenwirkt. Der Interaktionscanvas bildet ebenso die Basis zur weiterführenden Methodenentwicklung. Die folgende *Festlegung von Syntheseschritten* (Kapitel 3.5.2) wird die inhaltliche Komplementierung des Interaktionscanvas vornehmen

3.5.2 Festlegung von Syntheseschritten

Die Festlegung der Syntheseschritte in diesem Kapitel verfolgt das Ziel, die wesentlichen inhaltsbezogenen Komplexitätsursachen zur Methodendurchführung zu identifizieren und Strategien zu deren Bewältigung festzulegen.

Die Grundlage hierfür bildet das bisher erreichte Problemverständnis auf Basis der operativen Aufgabenstellung (siehe Kapitel 3.3.3) und des zu erreichenden Ziels der Methodenentwicklung. Gerade die Betrachtung aus Perspektive des erreichten Methodenziels und der damit verbundenen wesentlichen Ausgangsgrößen des zukünftigen Prozesses sowie der Zweck der Methode liefern die notwendigen Syntheseschritte zur Zielerreichung. Der Ausgangspunkt des aufbereiteten Informationsflusses in der Methode bilden die *Festlegung der aktiven Akquisitionsschritte* (siehe Kapitel 3.4.3) und der *syntheseorientierten Aufbereitungsschritte* (siehe Kapitel 3.5.1), welche die Maßnahmen zur formbezogenen Komplexitätsreduktion beinhalten.

Die Methode zur Interaktionsmodellierung wird innerhalb der Entwicklung des Produktionsprozesses (siehe Kapitel 3.3.1) angewendet, um die Interaktionen der heterogenen Teilnehmer in einer mehrwertorientierten Sichtweise und in adäquater Güte gestalten und modellieren zu können.

Gemäß dieser Zweckdefinition sind die transparente Darlegung der Einflüsse zur Gestaltung der Interaktion und die Auswahl potentiell passender Interaktionsmuster in Abhängigkeit des Anwendungskontextes, d.h. in Abhängigkeit der Teilnehmer, der operativen Aufgabenstellung des Produktionsprozesses und der Rahmenbedingungen der Produktionsumgebung das Ziel der Methodendurchführung. Die Festlegung der hierzu notwendigen Syntheseschritte erfolgt gemäß des konzeptionellen Methodenschemas (siehe Abbildung 48) im Schritt *Synthese des mehrwertbezogenen Inhalts*.

Entsprechend der Ziele der operativen Aufgabenstellung und der Definition des Zwecks der Methode sind zur Zielerreichung der Methode verschiedene Ebenen zu betrachten, die in *Abbildung 53* bei der *Konkretisierung des konzeptionellen Methodenschemas* dargestellt werden.

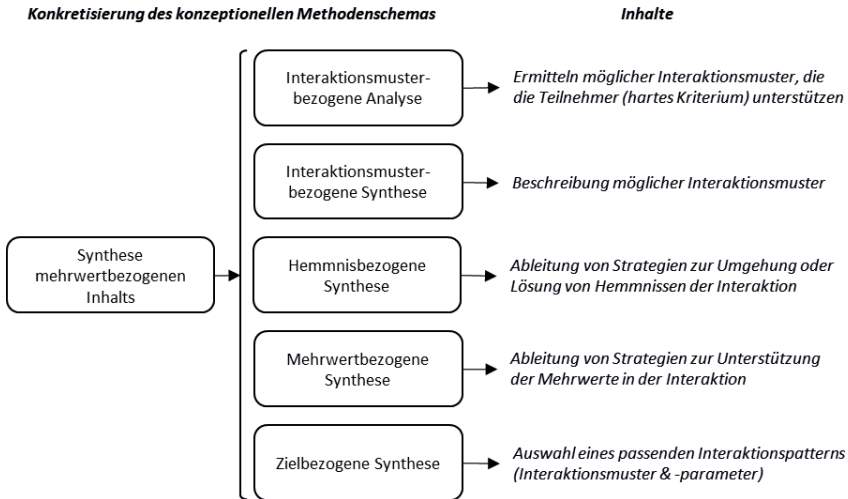


Abbildung 53: Konkretisierung der Synthese nutzwertbezogenen Inhalts

Auf der ersten Ebene der Konkretisierung erfolgt die *interaktionsmusterbezogene Analyse*, in welcher die grundsätzliche Eignung der Interaktionsmuster aus dem Interaktionsmusterkatalog (siehe *Kapitel 3.5.1*) hinsichtlich der Kompatibilität mit den Interaktionsteilnehmern erörtert wird. Im folgenden Arbeitsschritt, der *interaktionsmusterbezogenen Synthese*, werden die potentiell möglichen Interaktionsmuster im Bezug zum jeweiligen Anwendungskontext zielorientiert beschrieben.

Die *hemmnisorientierte Synthese* geht auf die verschiedenartigen Bedürfnisse der heterogenen Teilnehmer und somit auf die zweite Anforderungsebene zur Zielerreichung der Aufgabenstellung ein. Der Syntheseschritt ist in *Abbildung 53* im dritten Arbeitsschritt von oben abgebildet und stellt die direkte Lösungsebene der vorausgegangenen Aufbereitungsschritte *hemmnisorientierte Analyse* und *hemmnisorientierte Komplexitätsreduktion* in *Abbildung 49* in *Kapitel 3.5.1* dar. Während die Schritte zur Analyse und zur Komplexitätsreduktion vor allem die Hemmnisse beschreiben und handhabbar machen, geht es im hier erläuterten Syntheseschritt darum Strategien zur Bewältigung der Hemmnisse und der darauf potentiell basierenden Problemstellungen zu erarbeiten. Diese Strategien können logische Schlussfolgerungen aus der Problemanalyse sein, aus der Erfahrung der Prozessentwickler, Ergebnis eines Kreativprozesses oder aus Katalogen abgeleitet werden.

Die dritte Ebene der Anforderungen zur Erfüllung der Aufgabenstellung wird in der *mehrwertbezogenen Synthese* bearbeitet. Die Anordnung findet analog zur *hemmnisorientierten Synthese* statt, d.h. dieser Schritt stellt ebenfalls die direkte zielorientierte Weiterführung der vorherigen Aufbereitungsschritte, der *mehrwertbezogenen Analyse und Komplexitätsreduktion* (siehe Abbildung 49) dar. Die Mehrwertorientierung bildet zum einen eine direkte Anforderung der Aufgabenstellung ab und besitzt einen großen Einfluss auf die tatsächliche Anwendung der Methode innerhalb der Prozessentwicklung (siehe Kapitel 2.2.2). In der *mehrwertbezogenen Synthese* werden Strategien und Maßnahmen entwickelt, welche die Unterstützung und Umsetzung der ermittelten Mehrwerte proaktiv adressieren.

Im abschließenden Syntheseschritt des Methodenabschnitts – der *zielbezogenen Synthese* (siehe Abbildung 53) – werden die wesentlichen zielorientierten Inhalte zur Erfüllung der Aufgabenstellung erarbeitet. Auf Basis der analysierten Mehrwerte und Hemmnisse und den Strategien zur Unterstützung der Mehrwerte sowie zur Umgehung der Hemmnisse wird ein konkretes Interaktionsmuster vorgeschlagen. Durch die Berücksichtigung der Teilnehmerbedürfnisse und der Anforderungen des Produktionsprozessschritts wird mit diesem Vorschlag der konkrete Zweck der Methode verfolgt und proaktiv abgebildet.

Die zweite Komponente der Zielerreichung liegt in dem transparenten Entscheidungsprozess und der einfach interpretierbaren und veränderbaren Darstellung. Zur weiteren Komplexitätsbeherrschung bei der Erfüllung dieser Anforderung werden den einzelnen Schritten des konzeptionellen Methodenschemas nun konkrete Tätigkeiten zugeordnet (siehe Abbildung 54). Das Ziel dieser Aufbereitung ist eine klarere und vereinfachte Handlungsanweisung für die Nutzer der Methode.

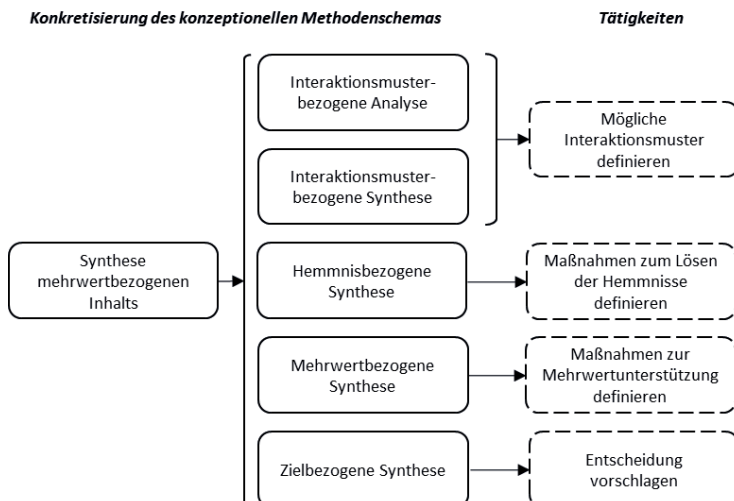


Abbildung 54: Zuordnung der Methodenschritte zu Tätigkeiten

Die beiden ersten Schritte der *Interaktionsmusterbezogenen Analyse und Synthese* befassen sich mit der Beschreibung potentieller Interaktionsmuster, welche alle Teilnehmer der Interaktion beherrschen. Folglich werden diese Schritte in einem Tätigkeitsschritt gebündelt (*Mögliche Interaktionsmuster definieren*). Die *hemmnisbezogene Synthese* sowie die *mehrwertorientierte Synthese* sind direkte Weiterführungen der *Synthese mehrwertbezogenen Inhalts* und bilden, wie bereits beschrieben die weiteren Ebenen der Anforderung zur Zielerfüllung der Aufgabenstellung. Folglich werden diese Methodenschritte jeweils mit einer Tätigkeit konkretisiert, in welcher die *Maßnahmen zur (Problem-)Lösung der Hemmnisse* bzw. die *Maßnahmen zur Unterstützung der Mehrwerte* definiert werden.

Der abschließende Methodenschritt *zielbezogene Synthese* wird in den Arbeitsschritt *Entscheidung vorschlagen* überführt und bedarf einer näheren Betrachtung. Gegenstand einer Entscheidung ist grundsätzlich die Auswahl zwischen mehreren Alternativen. Gerade die Varianten, zwischen welchen zu entscheiden ist, sind in einem heterogenen Umfeld oft intransparent. Bestehende Anforderungen und Bedürfnisse der heterogenen Teilnehmer sind ebenso nicht ohne weiteres explizit beschrieben oder transparent dargelegt und benötigen daher eine Lösung, welche der Komplexitätsursache der Intransparenz entgegenwirkt.

Der bereits in *Kapitel 3.5.1* eingeführte Interaktionscanvas wird auch für die *Synthese des mehrwertbezogenen Inhalts* verwendet, da diese Anwendung die transparente Darstellung und Vorbereitung zur Entscheidungsfindung aktiv unterstützt. Den drei Feldern des Canvas (siehe *Feld A bis C in Abbildung 55*) werden die in *Abbildung 54* eingeführten Tätigkeitsschritte direkt zugeordnet. *Feld B und C* bilden dabei eine direkte Korrelation zu den *Feldern B und C* der rechten Seite des Interaktionscanvas in *Abbildung 51*, welcher die Perspektive der Teilnehmer beschreibt.

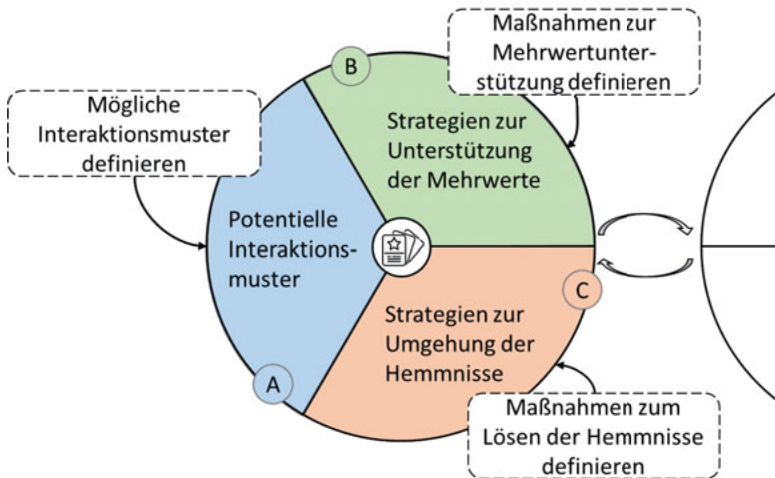


Abbildung 55: Lösungsorientierte Perspektive

Dieser Zusammenhang zeigt auf, dass die Synthese zur Zielerreichung auf einer Kombination der beiden Perspektiven (teilnehmerbezogene bzw. lösungsbezogene Perspektive) auf die Fragestellung beruht. Der Interaktionscanvas ist bei der Bearbeitung in Gänze zu betrachten.

Der Canvas bildet somit die Tätigkeiten der mehrwertbezogenen Komplexitätsreduzierung und Synthese, mit Ausnahme der abschließenden Tätigkeit dieser beiden Methodenabschnitte: *Entscheidung vorschlagen*. Der Interaktionscanvas kann somit als Vorbereitung für die Entscheidungsfindung betrachtet werden, indem er verschiedene Perspektiven und verschiedene Teilnehmer kombiniert.

Der Value Proposition Canvas geht zur Synthese in kreative Methoden und setzt auf die Erfahrung und Intuition des Bearbeitungsteams, gepaart mit dem Ansatz des Rapid Prototyping. Dieser Ansatz besitzt den Vorteil des schnellen Feed-Backs der Nutzgruppen und somit die Möglichkeit einer schnellen Korrektur der Entscheidung.

Im klassischen Entwicklungsprozess ist eine schnelle Rückmeldung aus der Anwendung nicht vorgesehen, da zwischen Entwicklung und Nutzung oft längere Zeiträume liegen [GDS13]. Im Bereich der Entwicklung von reinen Softwaresystemen werden sehr wohl agile Methoden mit kurzen Feedback-Schleifen angewandt [We13].

Aus diesem Grund wird die Wahl einer expliziten Methode nicht empfohlen, sondern auf den konkreten Anwendungsfall zugeschnitten. Beispielfhaft wird aus den oben genannten Gründen für die klassische Prozessentwicklung eine Gewichtungsmatrix zur Auswahl verschiedener möglicher Interaktionsmuster ausgedacht.

In *Kapitel 4* wird eine Anpassung durch Konkretisierung der Methode auf den Fall einer autonomen smarten Fertigung übertragen, in welcher durch eine vollständige und omnipräsente Vernetzung aller Teilnehmer ein schnelles Feedback-System implementiert werden kann.

3.6 Aufbereitung der Methodenausgangsinformationen

Die beiden vorausgegangenen Entwurfsphasen fokussieren die Akquise von Informationen (*siehe Kapitel 3.4*) sowie die Synthese dieser Informationen (*siehe Kapitel 3.5*). Die darin entwickelten Methodenschritte tragen, durch die Ausrichtung auf die operative Aufgabenstellung, zu deren Zielerreichung aktiv bei. Die Definition der Aufgabenstellung in *Kapitel 3.3.3* nimmt wiederum direkten Bezug zur Betrachtung der vorausgehenden und nachfolgenden Prozessschritte in *Kapitel 3.3.1*, in welchem die zu entwickelnde Methode eingeführt werden soll. Im Folgenden werden die Prozessnahtstellen zu den Folgeprozessen mit dem konkretisierten konzeptionellen Methodenschema erneut explizit betrachtet und im Detail analysiert (*siehe Kapitel 3.6.1*). Die Erkenntnisse der Prozessnahtstellenanalyse und die Ergebnisse der Methodenentwicklung werden in *Kapitel 3.6.2* zur Weiterverarbeitung in nachfolgenden Prozessen aufbereitet.

3.6.1 Detailanalyse der Prozessnahtstellen der Folgeprozesse

Aufbauend auf der Einordnung der Methode in den Entwicklungsprozess des Produktionsprozesses (*siehe Kapitel 3.3.1*) werden in diesem Kapitel die *Prozessnahtstellen zu den folgenden Prozessschritten* detailliert betrachtet und deren wesentliche Komplexitätsursachen ermittelt. Gemäß des Konzepts der Digitalen Fabrik [VDI4499-2] wird die Methode in die Phase der *Planung der Fertigungsanlage* integriert (*siehe Abbildung 43: Einordnung der Anwendung der neuen Methode in den detaillierten Prozessablauf*). Innerhalb dieser Phase folgt der Methode der wesentliche Schritt der *Ausplanung der Bearbeitungsstationen*, während in der anschließenden Phase die *Montage und Inbetriebnahme der Fertigungsanlage* folgt. Die wesentlichen nachfolgenden Prozesse können in folgenden Punkten abgebildet werden (*siehe Kapitel 3.3.1*): *Realisierung der Interaktionsanfrage, Inbetriebnahme der Anlage, Einweisung der Mitarbeiter und (Re-)Engineering auf Grund flexibler Produktionsanpassung*.

Die *Realisierung der Interaktionsanfrage* ist als Teil der *Ausgestaltung der Anlagen* zu betrachten und stellt einen Entwicklungs- und Implementierungsprozess dar. Der Bearbeiter dieses Schritts erhält durch die Methode Informationen zu den zu realisierenden Interaktionsmustern und deren Parametern sowie den Interaktionsteilnehmern und der Anwendung im Produktionsprozess. Die wesentlichen Komplexitätsursachen der Nutzung der Ausgangsinformationen der Methode sind in der intransparenten Darstellung und dem mangelhaften domänenübergreifenden Informationsverständnis zu sehen.

Einen weiteren Folgeprozess stellt die *Inbetriebnahme der Fertigungsanlage* zur Durchführung des geplanten Produktionsprozesses dar. Die Inbetriebnahme stellt wiederum selbst eine Sammlung einzelner Tätigkeiten und Teilprozessschritte dar, deren Relevanz zur Anwendung stark vom Anwendungskontext abhängig ist. In diesem Abschnitt werden die Arbeitsschritte mit technologischem Bezug betrachtet. Das Ziel der Inbetriebnahme liegt demnach in der Herstellung und Sicherstellung eines funktionalen Produktionszustands, wozu die Funktionalität der einzelnen Module im ersten Schritt hergestellt wird, bevor die Module zur Gesamtanlage integriert werden. Die Methode liefert eine konkrete Anweisung zur Implementierung der Interaktionen zur Prozess Erfüllung. Die wesentlichen Komplexitätsursachen liegen hierbei in der Form der Ausgangsinformation der Methode sowie in der informationsflussbezogenen Komplexität, die Ausgangsinformationen an die passenden Stellen zur Interaktionsimplementierung während der Inbetriebnahme zu transferieren.

Die *Einweisung der Mitarbeiter* stellt einen Teilaspekt der Inbetriebnahme dar, welcher sich durch die Fokussierung auf menschliche statt technologischer Teilnehmer von der vorab betrachteten Sichtweise auf die Inbetriebnahme unterscheidet. Die Einweisung der Mitarbeiter und das Training an der Fertigungsanlage stehen zwangsläufig unter Einfluss der Interaktionen während des Produktionsprozesses. Die Akzeptanz hinsichtlich der zugeteilten Interaktionen sowie die Mehrwerte durch diese Interaktionen und die Umgehung potentieller Hemmnisse erhöhen die Effektivität der Interaktionen der Produktion. Die wesentlichen

Komplexitätsursachen bestehen in der transparenten und nachvollziehbaren Interaktionszuordnung.

Gerade im Paradigmenwechsel durch Industrie 4.0 hin zu einer wandelbaren, flexiblen und autonom handelnden Produktion (*siehe Kapitel 2.1*) wird das *Reengineering der Produktionsanlagen* einen essentiellen Bestandteil des Produktionsprozesses darstellen. Der Reengineering-Prozess wird das zukünftige Bild der agilen Produktion prägen; er ist allerdings noch nicht abschließend definiert und wird sich stark am jeweiligen individuellen Produktionskontext ausrichten. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass im Zuge der autonomen Produktion Großteile des Reengineerings automatisiert ablaufen werden. Die Betrachtung heterogener Teilnehmer als flexible Akteure im Produktionsprozess erhöht die Komplexität in diesem Zusammenhang entscheidend. Die hier entwickelte Methode schließt die entstandene Lücke zur Komplexitätsbewältigung durch Einbeziehung der teilnehmer- und mehrwertorientierten Perspektive auf die Auswahl einer Interaktion. Im Informationsübergang zum Reengineering liefert die Methode ein Werkzeug zur wiederholenden kontextabhängigen Interaktionsgestaltung sowie als Zielgröße die Zuordnung adäquater Interaktionsmuster und -parameter. Die wesentlichen Komplexitätsursachen zur Nutzung der Ausgangsinformationen liegen formbezogen in der Menschen- und Maschinenlesbarkeit der Informationen der Interaktionsmuster sowie der transparenten Darstellung des Prozesses zur Methodendurchführung. Auf inhaltsbezogener Ebene der Komplexitätsursachen liegt eine Ursache im möglicherweise nicht ausreichenden bzw. geeigneten Informationsinhalte, um den Prozess des Reengineerings bestmöglich durch die Methode unterstützen zu können. Der Prozess fußt allerdings auf einem Zukunftsszenario, was eine konkrete Abschätzung der Informationsbedarfe behindert, weshalb die inhaltsbezogene Komplexitätsursache außerhalb des Betrachtungsfeld dieser Arbeit liegt.

Die *Detailanalyse der Prozessnahtstellen zu den Folgeprozessen* liefert unterschiedliche Folgeprozesse zu unterschiedlichen Prozessausführungsstufen. Aus der Gesamtheit der Folgeprozesse sind folgende wesentliche Komplexitätsursachen zu extrahieren:

- *die transparente Darstellung des Prozesses zur Methodendurchführung,*
- *die Nachvollziehbarkeit der Entscheidungsfindung zur Interaktionsmusterzuordnung*
- *die maschinen- und menschenlesbare Form der Interaktionsmusterzuordnung*

Im folgenden Abschnitt (*siehe Kapitel 3.6.2*) werden auf Grund der oben genannten Komplexitätsursachen Schritte zur Aufbereitung der Ausgangsinformationen festgelegt.

3.6.2 Festlegung von Aufbereitungsschritten

Die vorangegangene *Detailanalyse der Prozessnahtstellen der Folgeprozesse* (*siehe Kapitel 3.6.1*) und die daraus resultierende *Ableitung der wesentlichen Komplexitätsursachen* zur Nutzung der Methodenergebnisse liefern die Grundlage der *Festlegung der Aufbereitungsschritte* in diesem Kapitel. Das Ziel dieses Abschnitts der Methodenentwicklung

liegt darin die Aufgangsinformationen der Methode insoweit aufzubereiten, dass eine triviale Anwendung der Methodenergebnisse in den Folgeprozessen gewährleistet wird.

Die wesentlichen ermittelten Komplexitätsursachen (*siehe Kapitel 3.6.1*) sind entsprechend des Referenzmodells zur Methodenentwicklung (*siehe Kapitel 3.1*) den formbezogenen Ursachen zugeordnet. Basierend auf den einzelnen Ursachen werden im Folgenden für jede Ursache spezifische Maßnahmen zur Aufbereitung festgelegt.

Die *transparente Darstellung des Prozesses zur Methodendurchführung* bildet einen Schwerpunkt auf der Repräsentation der Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer. Die Methodendurchführung wird bereits anhand des *Interaktionscanvas* und des konzeptionellen Methodenschemas abgebildet. In der Finalisierungsphase werden zusätzlich jeweils eine tätigkeitsorientierte (*siehe Kapitel 3.7.1*) und eine informationsflussorientierte Prozessstruktur (*siehe Kapitel 3.7.2*) entwickelt, die die effektive Durchführung des Prozesses unterstützen. Konkrete Aufbereitungsschritte liegen in der *standardisierten Darstellung des Interaktionscanvas*.

Die Akzeptanzbildung der Methodendurchführung hängt maßgeblich von der *Nachvollziehbarkeit der Entscheidungsfindung zur Interaktionsmusterzuordnung* ab. Während der generische Entwicklungsprozess für Außenstehende oft intransparent erscheint und die Ergebnisse aus kreativer Ergebnisfindung nicht nachvollziehbar sind, wird in der Durchführung der Methode zur Interaktionsmodellierung die schrittweise Entwicklung der Entscheidungsvorbereitung in einer einzelnen Repräsentation – dem Interaktionscanvas – dargestellt. Diese einfache, übersichtliche und omnipräsente Darstellung der Fakten zur Vorbereitung der Entscheidungsfindung sowie der daraus gezogenen Schlussfolgerungen unterstützen die Nachvollziehbarkeit, auch für Außenstehende.

Auch wenn die Methode beim Einsatz innerhalb des Engineerings zur Unterstützung des menschlichen Prozessentwicklers ausgeprägt wird, ist auf Grund der Heterogenität der Teilnehmer im zukünftigen Produktionsnetzwerk und der computergestützten Entwicklungswerkzeuge im Engineering (*siehe Kapitel 2.1.6*) die *maschinen- und menschenlesbare Form der Interaktionsmusterzuordnung* ein wesentlicher Teil zur übergreifenden und ganzheitlichen Betrachtung hinsichtlich der Verbindung der Teilnehmertypen.

Die *Festlegung der Aufbereitungsschritte* in diesem Abschnitt setzt einen Schwerpunkt auf die formbezogenen Komplexitätsursachen, die aus der Zielbetrachtung der Anwendung der Methodenergebnisse in den Folgeprozessen abgeleitet werden. Die fixierten Aufbereitungsschritte werden in der folgenden Phase der Methodenentwicklung, der *Finalisierungsphase*, eingearbeitet, um eine effektive Anwendung der Methode zu unterstützen.

3.7 Finalisierung der Methodenentwicklung durch Strukturierung der entworfenen Methodenelemente

Die Metamethode zur diskursiven Methodenentwicklung wird im folgenden Schritt – der Finalisierungsphase (siehe Kapitel 3.1) – abgeschlossen. Als Ergebnis der bisher durchgeführten Phasen liegt ein konzeptionelles Methodenschema vor, welches die Gesamtheit der zu entwickelnden Methode abdeckt. In der Finalisierungsphase wird im Wesentlichen das Methodenschema hinsichtlich Ausführbarkeit und Anwendbarkeit weiterentwickelt.

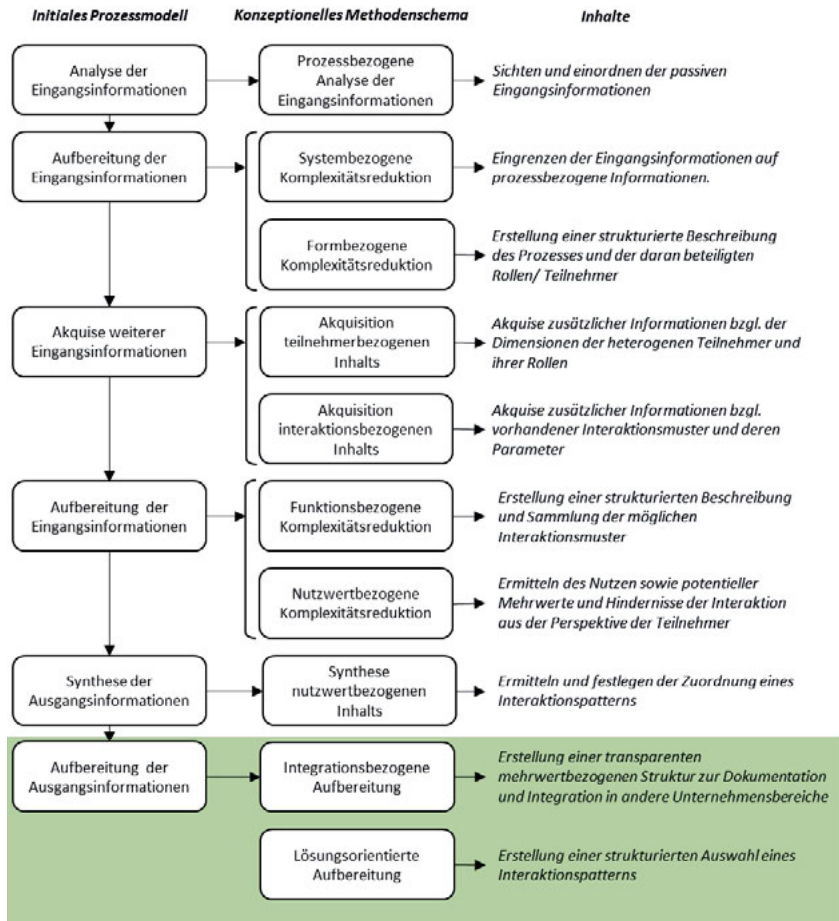


Abbildung 56: Konkretisierung der Finalisierungsphase

Die bisher weitestgehend lösungsneutralen Schritte im Prozessmodell werden durch Lösungsmöglichkeiten zur Komplexitätsreduktion bzw. deren Bewältigung erweitert. Das Ziel dieses Abschnitts ist die Entwicklung eines Ablaufplans, welcher die konkrete Durchführung der entwickelten Methode zur Modellierung der Interaktionen heterogener Teilnehmer beschreibt. Die Zielerreichung wird in zwei Schritten erarbeitet. Im ersten Schritt, dem *Entwurf eines tätigkeitsorientierten Prozessmodells*, wird das konzeptionelle Methodenschema hinsichtlich der Anwendbarkeit für den Methodenbearbeiter in konkrete Tätigkeiten überführt. Im zweiten Schritt, der *informationsflussorientierten Modellierung*, werden die Relationen zwischen den einzelnen Prozessschritten hinsichtlich eines sinnvollen und effizienten Informationsflusses strukturiert.

3.7.1 Entwurf eines tätigkeitsorientierten Prozessmodells

Das Ziel dieses Abschnitts besteht darin ein tätigkeitsorientiertes Prozessmodell zu entwerfen, welches dem Prozessbearbeiter mit konkreten Tätigkeiten die Ausführung der Methode und somit die Erfüllung der operativen Aufgabenstellung ermöglicht. Hierzu werden die einzelnen Schritte des konzeptionellen Methodenschemas in Tätigkeiten und Handlungen überführt. In diesem Schritt erfolgt eine Anreicherung der Prozessschritte mit konkreten Strategien und Vorgehensweisen zur Komplexitätsbewältigung. Einen wesentlichen Beitrag zur anwendergerechten Weiterentwicklung leistet ebenfalls die Gruppierung einzelner Prozessschritte, welche implizit als Gesamtheit zu bearbeiten sind.

Auf Grund der komplexitätsreduzierenden Einordnung und Zweckmäßigkeit bei der Entwicklung des Interaktionscanvas in *Kapitel 3.5.1* und *3.5.2*, werden dort den einzelnen Prozessschritten innerhalb der Konkretisierung bereits Tätigkeiten zugeordnet (siehe *Abbildung 52* und *Abbildung 54*).

Im Folgenden werden den verbleibenden Prozessschritten des konzeptionellen Methodenschemas konkrete Tätigkeiten zugewiesen, welche übersichtlich in *Abbildung 57* dargestellt sind. Mit den Prozessschritten zur *Prozessbezogenen Analyse der Eingangsinformationen* und der *Systembezogenen Komplexitätsreduktion* werden im Wesentlichen die Eingangsinformationen nach Bedeutung für den Bearbeitungsprozess untersucht und gegebenenfalls auf die Informationen mit nützlichen Informationen eingegrenzt. Diese initialen Methodenschritte grenzen den Betrachtungsraum der Eingangsinformationen zu Methodenbeginn ein. Diese initiale Komplexitätsreduktion wird in der Tätigkeit – *Informationsraum des Prozesses definieren* – zusammengefasst.

Ausgehend vom definierten Informationsraum des Prozesses wird im nächsten Schritt durch die *Strukturierte Beschreibung des Prozesses* in einer standardisierten Notation eine *Formbezogene Komplexitätsreduktion* durchgeführt.

Eine Besonderheit der Methode zur Modellierung von Interaktionen heterogener Teilnehmer besteht in der Betrachtung der verschiedenen Bedürfnisse der heterogenen Teilnehmer. Um an dieser Stelle die Bedürfnisse und die Teilnehmer adäquat einzuordnen, werden

Teilnehmerbezogene Informationen akquiriert, d.h. der Bearbeiter der Methode benötigt ein adäquates Verständnis der Rollen aller vorhanden Teilnehmer. Diese Informationen werden in der Tätigkeit *Rollenmodell der Teilnehmer ermitteln* aktiv erworben.

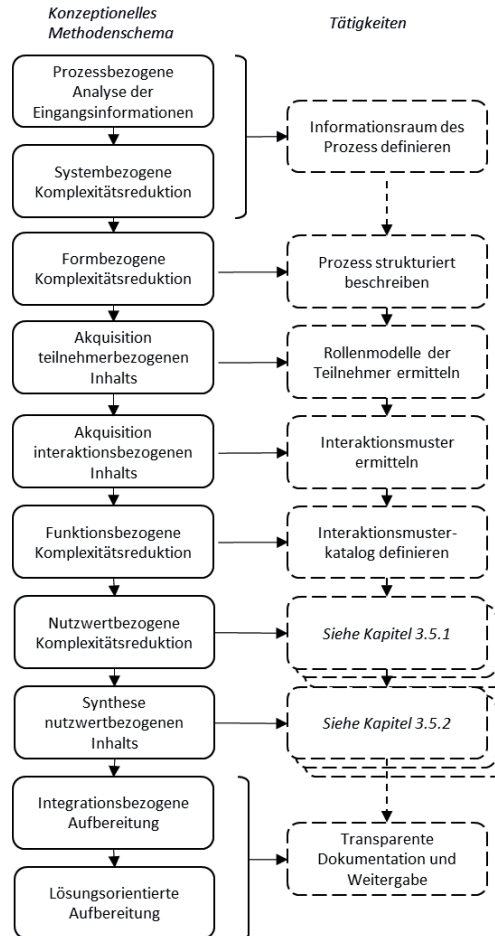


Abbildung 57: Zuordnung von Tätigkeiten in das konzeptionelle Methodenschema

Zusätzlich zu den teilnehmerbezogenen Informationen werden Informationen zu den Interaktionen zwischen den Teilnehmern benötigt. Die *Akquisition interaktionsbezogenen Inhalts* ist abhängig von dem Prozess, den Teilnehmern und der Infrastruktur, weshalb die Tätigkeit *Interaktionsmuster ermitteln* den Wesenskern dieses Methodenschritts erfasst und handhabbar macht. Die Variabilität der Interaktionsmuster wird eine zyklische Bearbeitung dieser Tätigkeit nötig machen. Die Komplexität der Eingangsgrößen in diesem

Methodenschritt erfordert die anschließende *Funktionsbezogene Komplexitätsreduktion* der Interaktionsmuster, welche durch das *Definieren eines Interaktionsmusterkatalogs* erfolgt.

Die folgenden Methodenschritte *Nutzwertbezogene Komplexitätsreduktion* und *Synthese nutzwertbezogenen Inhalts* werden ausführlich in Kapitel 3.5.1 und 3.5.2 erläutert und direkt mit dem entwickelten Interaktionscanvas verknüpft (siehe Abbildung 50).

Die abschließenden Schritte des konzeptionellen Methodenschemas betrachten verschiedene Aufbereitungsschritte. Zum einen wird eine *Integrationsbezogene Aufbereitung* der Modellierungsschritte durchgeführt, um die Ergebnisse der Modellierung auch in anderen Abteilungen oder Entwicklungsphasen verwenden zu können. Dies erfolgt in den Rollenmodellen, dem Interaktionsmusterkatalog und dem Interaktionscanvas.

Zum anderen wird das Resultat der Modellierung der Interaktion, ein spezielles Interaktionspattern, *lösungsorientiert aufbereitet*, um die teilnehmergerechte Zuordnung in bestehende Prozesse zu integrieren.

Diese beiden Schritte unterscheiden sich in den Nahtstellen der Verwendung der Informationen, jedoch nicht in den notwendigen Arbeitsschritten und werden daher in der Tätigkeit *Transparente Dokumentation und Weitergabe* zusammengefasst.

Die erstellten Tätigkeiten bilden konkrete Anweisungen für die Bearbeitung der Methode und somit die Ausgangsbasis für eine weitere Betrachtung innerhalb der Finalisierungsphase. Die Gesamtheit aller Tätigkeiten wird in Abbildung 58 zusammenfassend dargestellt.

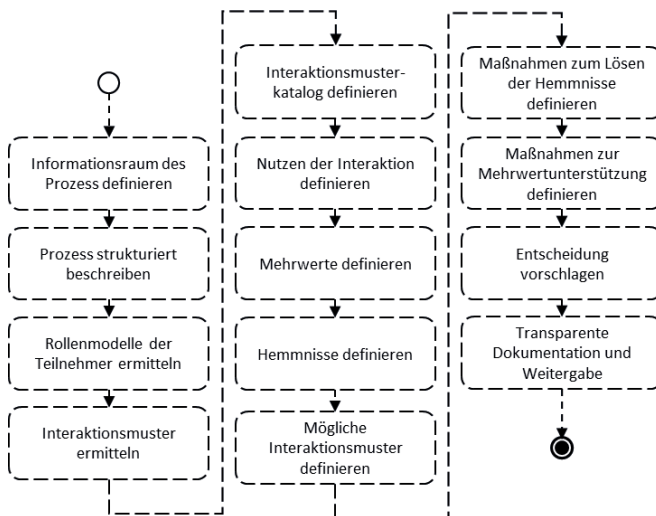


Abbildung 58: Tätigkeitsorientiertes Phasenmodell der Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer

3.7.2 Informationsflussorientierte Strukturierung

Das Ziel der *informationsflussorientierten Strukturierung* ist die optimierte Verknüpfung und Anordnung der Tätigkeiten hinsichtlich der Informationsverarbeitung während der Methodendurchführung. Zur Zielerreichung werden die Nahtstellen der einzelnen Tätigkeitsschritte und deren Abhängigkeiten umfassend betrachtet. Des Weiteren wird untersucht, ob einzelne Tätigkeiten oder eine Gruppe an Tätigkeiten in einer notwendigen Reihenfolge zu erledigen sind, oder ob eine Verteilung bzw. Parallelisierung der Tätigkeiten möglich ist. Zur weiteren Komplexitätsreduktion wird geprüft, ob einzelne Handlungsschritte zur Zielerreichung einer lokalen konkreten Teilaufgabe beitragen und somit innerhalb des Prozesses mit der Teilaufgabe verknüpft werden oder ob sie zur Erreichung der globalen Gesamtaufgabe zugeordnet werden können und ggf. ausgelagert bzw. vorangestellt werden können.

In der informationsflussorientierten Strukturierung der Tätigkeiten, dargestellt in *Abbildung 59*, werden die Tätigkeiten aus drei Informationsperspektiven vorangestellt, da diese bei bestehenden Produktionsprozessen gegebenenfalls optional sind.

In der ersten Sichtweise werden der Produktionsprozess und dessen Beschreibungsweise betrachtet. In einer initialen Frage wird ermittelt, ob der Prozess bereits adäquat beschrieben und strukturiert ist. Sollte dies nicht der Fall sein, wird zuerst der *Informationsraum des Prozesses definiert*, d.h. der Umfang der Eingangsinformationen wird eingegrenzt und der Betrachtungsraum des Prozesses selbst festgelegt. Auf Basis der fokussierten Informationen wird anschließend der *Prozess strukturiert beschrieben*.

In der zweiten Sichtweise ist die Sichtweise auf die heterogenen Teilnehmer beschrieben. In einem bestehenden System sind die Prozessteilnehmer möglicherweise schon definiert und bekannt, weshalb dies im Vorgehen abgefragt wird. Im Fall, dass die Teilnehmer nicht ausreichend beschrieben sind, was impliziert, dass ein neuer Teilnehmer noch nicht beschrieben ist, werden die *Rollenmodelle der Teilnehmer ermittelt*.

Die abschließende vorgelagerte Sichtweise betrachtet die Interaktionen zwischen den Teilnehmern, besonders die Muster der Interaktionen. Liegen an dieser Stelle nicht alle vorhandenen Interaktionsmuster in einer strukturierten Form vor, werden im ersten Teilschritt die *Interaktionsmuster ermittelt*. Die möglichen Muster sind im Wesentlichen abhängig von den Teilnehmern und dem Prozess, weshalb diese Tätigkeit erst nach der Definition der Prozess- und Teilnehmersicht erfolgen kann. Die interaktionsmusterorientierte Betrachtung wird mit der *Definition der Interaktionsmuster in einem Katalog* abgeschlossen.

Mit dem nächsten Folgeschritt endet die optionale und vorgelagerte Vorbereitung der Prozess-, Teilnehmer- und Interaktionsmusterbeschreibung, d.h. selbst bestehende Prozesse, welche hinsichtlich der Bedürfnisse der heterogenen Teilnehmer weiterentwickelt werden, durchlaufen die folgenden Methodenschritte.

Diese essentiellen Methodenbestandteile der operativen Methodenanwendung werden erneut in drei Blöcke aufgeteilt, um die Methode für den Bearbeiter klarer zu strukturieren und besser handhabbar zu machen.

Die Inhalte des ersten Blocks (*siehe Abbildung 59, links unten*) entsprechen im Wesentlichen den Inhalten der rechten Seite des Interaktionscanvas (*siehe Abbildung 51*), welche die Teilnehmer- und Aufgabenperspektive auf die Interaktion darstellt. Die einzelnen Tätigkeiten sind in *Kapitel 3.5.1* detailliert hergeleitet und beschrieben, weshalb an dieser Stelle eine kurze Erläuterung erfolgt. Mit der Tätigkeit *Nutzen der Interaktion definieren* wird ein Schritt der Informationsextraktion von zentraler Bedeutung für die gesamte Methode durchgeführt, in dem der teilnehmer- und aufgabenabhängige Nutzen der zu modellierenden Interaktion erörtert wird. Die *Definition der Mehrwerte* dieser Interaktion beschreibt das Potential, durch die Interaktion mehrere Aufgaben oder Bedürfnisse der Teilnehmer zu verknüpfen. Die Sicht auf die Hemmnisse steht dazu konträr und beschreibt potentielle Hemmnisse und Probleme, welche bei der geplanten Interaktion auftreten können. Die Tätigkeit *Hemmnisse definieren* erfolgt – wie die beiden zuvor durchgeführten Methodenschritte – in Abhängigkeit der Teilnehmer und deren Aufgaben an dem jeweiligen Abschnitt des Produktionsprozesses.

Die kreative und ganzheitliche Betrachtung der Bedürfnisse und Chancen der Teilnehmer bei der zu erledigenden Aufgabe in diesem Abschnitt fördert die Entstehung neuer potentieller Interaktionswege und -möglichkeiten. Daher wird die teilnehmer- und aufgabenorientierte Betrachtung dieses Abschnitts mit der Abfrage nach *neuen zu definierenden Interaktionsmustern* abgeschlossen. Im Fall neuer Interaktionsmuster, springt die Methode im dritten vorgelagerten Schritt zurück, in welchem neue Interaktionsmuster zu ermitteln, zu beschreiben und in den Interaktionsmusterkatalog einzuordnen sind.

Sind alle potentiellen Interaktionsmuster definiert geht die Methodenstruktur (*siehe Abbildung 59, unten Mitte*) in den nächsten funktionalen Block über, welcher im Wesentlichen die Inhalte der linken Seite des Interaktionscanvas – die lösungsorientierte Perspektive – beschreibt (*siehe Kapitel 3.5.2*). In diesem Block wird die lösungs- und zielbezogene Synthese zur Modellierung adäquater Interaktionen durchgeführt. Im ersten Schritt werden die *möglichen Interaktionsmuster*, unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus dem vorherigen Methodenblock, der teilnehmer- und aufgabenorientierten Betrachtung, *definiert*.

Die anschließende Tätigkeit *Maßnahmen zum Lösen der Hemmnisse definieren* nimmt direkten Bezug zur Tätigkeit *Hemmnisse definieren* des vorherigen Methodenblocks. Das Ziel ist, Maßnahmen aufzuzeigen, mit welchen die Hemmnisse zur Realisierung einer Interaktion umgangen bzw. gelöst und somit die mangelbehafteten Bedenken neuer Lösungsansätze aktiv ausgeräumt werden können.

Mit der *Definition von Maßnahmen zu Mehrwertunterstützung* werden mögliche Lösungen zur Schaffung von Mehrwerten für die Teilnehmer durch ein Interaktionspattern aktiv entworfen. Die Perspektive liegt in diesem und den beiden vorgegangenen Schritten auf den technischen Lösungen und potentiellen Interaktionen zur Lösung der Bedürfnisse.

Zum Abschluss dieses Methodenblocks ist eine ausreichende Klarheit über die zielbezogene Synthese und die daraus resultierenden Interaktionspattern notwendig, was in einem Gate abgefragt wird. Ist das notwendige Verständnis nicht vorhanden, wird der Block der lösungsorientierten Synthese erneut durchlaufen.

Bei Klarheit über die Informationssynthese zur Zielerreichung wird im folgenden Methodenschritt ein *Entscheidungsvorschlag unterbreitet*, welches Interaktionsmuster und welche zugehörigen Parameter zur Realisierung der Interaktion der Teilnehmer verwendet werden. Die Methodenstruktur wird mit der *Transparenten Dokumentation* der Informationssynthese und der klaren und *transparenten Weitergabe* des Methodenresultats – dem Interaktionspattern – abgeschlossen.

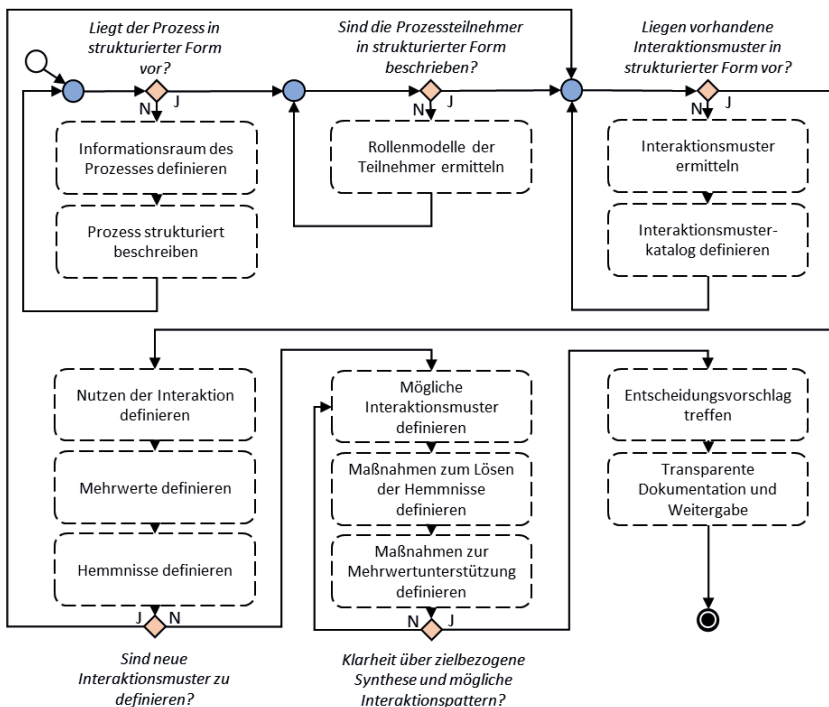


Abbildung 59: Informationsflussorientierte Strukturierung der Tätigkeiten

Gemäß der Analyse der Ausgangssituation (siehe Kapitel 3.2) und der Prozessnahtstellen (siehe Kapitel 3.3) wird die hier entwickelte Methode eingesetzt um dem Entwickler des Produktionsprozesses eine erweiterte und strukturierte Vorgehensweise zu geben, die die steigende Komplexität der Interaktionen der heterogenen Teilnehmer in Produktionsnetzwerken gerecht wird. Die entwickelte Methode adressiert mit der Interaktionsmodellierung einen Engineering-Teilschritt innerhalb der Planung der

Fertigungsanlage (*siehe Abbildung 43*), welcher erst mit der durch die heterogenen Teilnehmer herbeigeführten Komplexitätssteigerung an Relevanz gewinnt.

Gerade die Anwendung des hier entwickelten Interaktionscanvas liefert innerhalb des Entwicklungsprozesses ein strukturiertes und übersichtliches Werkzeug, welches dem Entwickler(-team) die Perspektive der heterogenen Teilnehmer und den zu erledigenden Produktionsprozesses eröffnet. Gleichzeitig führt die Durchführung des Interaktionscanvas zu einer Komplexitätsreduktion durch Fokussierung auf mehrwertbezogene Ergebnisse, womit die Handhabbarkeit der entwickelten Methode innerhalb des Engineerings des Produktionsprozesses erreicht wird.

4 Interaktionsmodellierung in der autonomen Produktion

Die Methode zur Modellierung von Interaktionen heterogener Teilnehmer stellt eine konkrete Vorgehensweise dar, die Interaktion zwischen verschiedenartigen Teilnehmern im Sinne des Industrial Internet of Things, Services und People unter Berücksichtigung der individuellen Bedürfnisse und Anforderungen zu modellieren. Das in Kapitel 3 entwickelte Vorgehensmodell zur Modellierung ist entsprechend der Prozesseinordnung (*siehe Kapitel 3.3.1*) und der abgeleiteten Schnittstellenanalyse (*siehe Kapitel 3.6.1*) zur Anwendung in der Entwicklung von Produktionsprozessen konzipiert. Die initiale Methode ist somit eine strukturierte Vorgehensweise innerhalb des Engineerings.

Zur Zielerreichung werden innerhalb der Methode verschiedene Analysen und lösungsorientierte Kreativprozesse durchgeführt, welche einen gewissen Arbeitsaufwand mit sich bringen. In klassischen Produktionsszenarien fällt dieser Aufwand einmalig während der Entwicklung bzw. des Engineerings an (*siehe Kapitel 2.4.1*).

In Zukunft wird die Produktion allerdings dem Szenario einer flexiblen und modularen Fertigung folgen [Mo16, KHM18]. Einzelne Komponenten und Module innerhalb der Produktion werden darin flexibel unterschiedliche Aufgaben übernehmen und gegebenenfalls immer wieder in neuer Art und Weise miteinander interagieren. Die Produktion folgt der Perspektive einer serviceorientierten Architektur (SOA). In diesem Szenario ist unter Anwendung der etablierten Methoden ein ständiges Reengineering notwendig [Wi07]. Der Arbeitsaufwand für die kontinuierliche Anpassung der Interaktionen an die geänderten Prozesse, Teilnehmer und Umgebungsbedingungen ist sehr hoch, weshalb auf eine flexible Anpassung unter Berücksichtigung der Bedürfnisse und Anforderungen der Teilnehmer bisher verzichtet wird [We18]. Zusätzlich erhöht der Einfluss der Heterogenität der verschiedenen Teilnehmertypen die Komplexität und den nötigen Arbeitsaufwand für eine teilnehmeradäquate Interaktion innerhalb des Paradigmas der wandelbaren industriellen Produktion. Die Methode zur Modellierung von Interaktionen heterogener Teilnehmer wird zu diesem Zweck aus dem Engineeringprozess in die Zyklusphase des *Betriebs* übertragen (*siehe Abbildung 60*). Die schrittweise Methodenanpassung stellt eine innovative übergreifende Vorgehensweise dar, welche einen Beitrag zur Erreichung des variablen Produktionsparadigmas leistet.

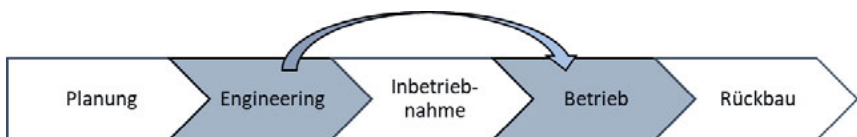


Abbildung 60: Typischer Produktionslebenszyklus, angelehnt an [Bi11, VDI4499-1, We13]

Im Referenzmodell zur diskursiven Methodenerstellung nach [We08] (*siehe Kapitel 3.1*) stellen die Methodenanpassung und -einführung eine Konkretisierung der bereits entwickelten Methode hinsichtlich der Ressourcenorientierung innerhalb der Rahmenbedingungen des Unternehmens dar, während die eigentliche Methodenentwicklung den Informationsumsatz zur Erfüllung der Aufgabenstellung fokussiert. Zur Anpassung werden die Hauptaktivitäten *Analyse (Kapitel 4.1)*, *Akquisition (Kapitel 4.2)*, *Aufbereitung (Kapitel 4.3)* und *Synthese (Kapitel 4.4)* erneut betrachtet und bearbeitet. Der Hauptfokus liegt hierbei auf der Akquisition und Aufbereitung, in welchen die Methode von einem qualitativen zu einem quantitativen Vorgehen weiterentwickelt wird, d.h. die Methode wird hinsichtlich der Durchführbarkeit bei gegebenen Ressourcen im Unternehmen angepasst.

Die Anpassung des Anwendungsbereichs durch die veränderten äußeren Bedingungen in der flexiblen Fertigung der Zukunft stellt einen weiteren Einflussfaktor innerhalb der Bearbeitung der Methodenanpassung dar, weshalb im Folgenden die entwickelte Methode in logischen und funktionalen Abschnitten angepasst wird. Die Methodenschritte werden nicht grundlegend in Frage gestellt, d.h. detailliert analysiert und neu entworfen, vielmehr werden die bereits entwickelten Schritte auf die Eignung der veränderten Rahmenbedingungen geprüft und gegebenenfalls angepasst.

In *Kapitel 4.5* wird die Finalisierung der Methodenanpassung vorgenommen, welche die methodischen und technischen Konzepte abschließend vereint. Die Übertragung der Methode in die Phase des produktiven Betriebs impliziert eine Simplifizierung, gegebenenfalls auch Teilautomatisierung der Methode. Die technische Umsetzung der Methode wird abschließend in der Erstellung eines Strukturmodells in *Kapitel 4.6* dargestellt.

4.1 Analyse der angepassten Anwendungsbedingungen

Die initiale Phase der Methodenanpassung gemäß des meta-methodischen Referenzmodells (*siehe Kapitel 3.1*) wird durch die *Analyse* der gegebenenfalls veränderten Rahmenbedingungen und Zielstellungen abgebildet. Die Anwendung der angepassten Methode, in Folge nur noch Methode genannt, basiert auf dem Zukunftsszenario der wandelbaren industriellen Fertigung. Dieses Szenario ist bisher nicht hinreichend und vor allem nicht abschließend definiert, weshalb eine Festlegung und Analyse des betrachteten Szenarios in *Kapitel 4.1.1* erfolgt. Die folgende Erarbeitung einer angepassten operativen Aufgabenstellung, sowie der Ziele der Methodendurchführung in *Kapitel 4.1.2* fußt auf dem festgelegten Szenario. Zur effektiven Ausgestaltung der Methode werden aufbauend in *Kapitel 4.1.3* allgemeine Anforderungen abgeleitet, die in *Kapitel 4.1.4* auf globale Anforderungen an das Gesamtsystem übertragen und detailliert werden.

4.1.1 Analyse des Anwendungsszenarios

In diesem Abschnitt wird das Anwendungsszenario beschrieben und hinsichtlich der Einordnung der Methode analysiert. Das Szenario stützt sich auch auf die Konzepte der wandlungsfähigen industriellen Produktion (*siehe Kapitel 2.1.1*), welche um Konzepte der autonom agierenden Fertigung [Ke18, MFV18] erweitert werden. Das Szenario wird am Beispiel der *SmartFactory*^{KL} [KHM18] aufgebaut und detailliert.

Die Produktion besteht aus unterschiedlichen Produktionsmodulen – *entsprechend dem CPPM-Modell (siehe Kapitel 2.1.1)* – die folglich einer *Service-Orientierten Architektur (SOA)* jeweils unterschiedliche Services zur Produktionsdurchführung zur Verfügung stellen. Jedes zu fertigende Produkt besitzt zumindest teilweise individuelle Eigenschaften, die eine individuelle Fertigung erfordern, d.h. die Produktion bietet die Möglichkeit zur *Losgröße-1-Fertigung*. Zu jedem Produkt wird von einem *orchestrierenden Service* ein aus den einzelnen Fertigungsservices bestehender Fertigungsplan erstellt. Die Produkte werden durch *autonome Transporteinheiten* zu dem jeweils anstehenden Prozessschritt gebracht, an welchem der entsprechende Produktionsservice in physischer Form erbracht wird. Durch den Eintritt neuer Produkte mit *veränderten Anforderungen an den Produktionsprozess* verändern sich möglicherweise die *Anforderungen an die Produktionsumgebungen*. Die Mitarbeiter werden angewiesen, die Veränderung der Produktionsanlagen *aktiv mitzugestalten*, um beispielsweise eine Produktionsanlage physisch verändert zu positionieren, veränderte Prüfungen durchzuführen oder andere Entscheidungen treffen zu müssen, die nicht autonom entschieden werden können. Auf Grund der veränderten Zusammensetzungen der einzelnen Komponenten und Akteure innerhalb der Produktion – der heterogenen Teilnehmern des Produktionsnetzwerks – wird ein Reengineering verschiedener Aspekt notwendig, vor allem derer, die nicht durch eine Strategie zum Variantenmanagement abgedeckt sind. In der autonomen Produktion werden unterschiedliche Werkzeuge, auch Werkzeuge mit KI-technologischem Bezug, angewandt, um den Aufwand des Reengineerings zu minimieren. Die *Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in der modularen Produktion* ist dieser Gruppe der Werkzeuge zuzuordnen. Die Wandlung von einer hierarchisch organisierten Produktion zu einem aktiven Produktionsnetzwerk (*siehe Kapitel 2.2.3*) impliziert eine gleichwertige Peer-to-Peer-Kommunikation zwischen den einzelnen Teilnehmern und besitzt Strukturen, die den Konzepten der sozialen Netzwerke ähneln.

Die agile Einbettung der Methode in den operativen Produktionsprozess macht die Definition starrer vorangegangener und folgender Prozesse unzureichend. Vielmehr werden zur Anwendung der Methode die benötigten Eingangs- und Ausgangsgrößen zur Ergebnisverwertung in Folgeaktivitäten in einem methodenspezifischen Szenario beschrieben.

Die Produktion wird auf Grund neuer Fertigungsanforderungen in einer definierten Weise adaptiert werden. Die Erstellung des neuen Produktionskonzeptes umfasst die Aufforderung zur physischen Änderung der Produktionsprozesse und die Aufforderung zur Modellierung der

neuen Interaktionsmuster zwischen potentiell veränderten Teilnehmern. Hierin enthalte Informationen bestehen aus der *strukturierten Produktionsprozessbeschreibung* inklusive der *Festlegung der Teilnehmer* sowie den Informationen über den Zweck und den daraus abgeleiteten *Nutzen der Interaktion* (siehe Kapitel 3.3.3) und den kontextabhängig zur Verfügung stehenden Interaktionsmustern (siehe Kapitel 3.4.3).

Nach der Methodendurchführung soll eine teilnehmer- und mehrwertorientierte Zuordnung der durch die Produktionsänderung notwendigen neuen Interaktionen vorliegen, d.h. die Teilnehmer der Interaktion erhalten den Vorschlag, welches Interaktionsmuster sowie passende Interaktionsparameter zu einer adäquaten Interaktion führen. Im Vergleich zur ursprünglichen Interaktionsmethode (siehe Kapitel 3) werden in der angepassten Methodenanwendung keine Kreativprozesse zur Informationsaufbereitung eingesetzt und allgemein der entwicklungsbezogene Arbeitsaufwand minimiert, da in dem aufgespannten Szenario eine Ad-hoc-Zuordnung der Interaktionsmuster gefordert wird. Die ganzheitliche Integration aller Teilnehmertypen in die Methode erfordert gerade durch den Typus Mensch ein großes Maß an Transparenz, um die Entscheidungsfindung in Sinne der Prozessgerechtigkeit [TW75, TA01] nachvollziehen zu können und die Akzeptanz des vorgeschlagenen Lösungswegs zu verbessern. Die Nutzung der Methodenergebnisse umfasst somit neben der *strukturierten Beschreibung eines ausgewählten Interaktionsmusters* auch die *transparente Darstellung des Prozesses zur Entscheidungsfindung* sowie die Möglichkeit in diesen Prozess eingreifen zu können.

Die Anpassung der Methode in den folgenden Kapiteln besteht aus der methodischen Anpassung und den notwendigen technischen Ausgestaltungen der einzelnen Elemente. Hierbei ist zu beachten, dass diese Arbeit eine Entwicklung auf technischem Anwendungslevel beschreibt. Beispielsweise wird im Bereich der maschinellen Kommunikation der Einsatz von OPC-UA und AMQP inklusive der jeweils spezifizierten Funktionen vorausgesetzt, d.h. die Kommunikation auf der Ebene der Feldgeräte wird explizit ausgeschlossen.

4.1.2 Ziel der Methodenanpassung und operativen Aufgabenstellung

Auf Basis der zuvor entwickelten Methode (siehe Kapitel 2.4.4) und des spezifischen Anwendungsszenarios in Kapitel 4.1.1 werden in diesem Abschnitt die *Ziele der Methodenanpassung* sowie die *operative Aufgabenstellung der Methode nach der Anpassung* festgelegt.

Mit der Methodenanpassung wird abstrakt das Ziel verfolgt, eine *Methode zur Modellierung* und Initiierung *adäquater Interaktionen* zwischen *heterogenen Teilnehmern* innerhalb eines *wandelbaren Produktionsnetzwerks* auf der Ebene des Shopfloors zu entwickeln. Auf konkreter funktionaler Ebene werden – zur Realisierung von Ad-hoc-Veränderungen der Interaktionen – Strategien entwickelt, die die *notwendigen Entwicklungstätigkeiten* von der eigentlichen Interaktionsmodellierung *trennen*. Die Anwendung der Methode mit dem Anspruch auf eine automatisierte Durchführung innerhalb eines autonomen

Produktionsnetzwerks erfordert die automatische Interpretierbarkeit aller relevanten prozess-, teilnehmer- und kontextbezogenen Informationen sowie die Entwicklung geeigneter Schnittstellen zwischen den einzelnen CAX-Systemen.

Die folgenden *Ziele der Methodenanpassung* bauen auf den bisherigen Kenntnissen der bereits entwickelten Methode auf, d.h. die transparente Darstellung der Interaktionsmodellierung wird als übergeordnetes Ziel nicht explizit aufgeführt, allerdings weiterhin verfolgt:

- Transformation der Methodenanwendung von der Engineering-Phase auf die Betriebsphase der wandelbaren Produktion;
- Entwicklung von Strategien zur Trennung der Entwicklungstätigkeiten innerhalb der Interaktionsmodellierung von der eigentlichen Interaktionszuordnung;
- Anpassung der Schnittstellen zur adäquaten Anwendbarkeit innerhalb des agilen Produktionsnetzwerks;
- Entwicklung geeigneter semantischer Repräsentationssysteme für Prozessinformationen der Interaktionsmodellierung der heterogenen Teilnehmer.

Die operative Aufgabenstellung der initialen Methodenentwicklung (*siehe Kapitel 3.3.3*) wird mit den Erkenntnissen der Analyse des Szenarios, der Schnittstellen und der Zieldefinition der Methodenanpassung zu der *angepassten operativen Aufgabenstellung* weiterentwickelt. Das Ziel dieser Aufgabenstellung verschiebt sich gemäß des meta-methodischen Referenzmodells (*siehe Kapitel 3.1*) von der hinreichenden Darstellung des Zwecks der Methodenentwicklung, hin zum Zweck der Anwendung der angepassten Methode, d.h. die unternehmerischen Ressourcen zur Methodenanwendung erlangen eine gesteigerte Relevanz. Die *angepasste operative Aufgabenstellung* ist folgendermaßen definiert:

Die automatisierte Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer im Produktionsnetzwerk verfolgt das Ziel, agil auf einen veränderten Produktionskontext reagieren zu können, um den heterogenen Produktionsteilnehmern eine adäquate Interaktion zu ermöglichen. Den Teilnehmer wird hierbei eine transparente und nachvollziehbare Methode zur Zuordnung von Interaktionsmuster zur Verfügung gestellt. Die Festlegung der Ziele der Methodenanpassung und die Definition der angepassten Gesamtaufgabenstellung spannen einen Lösungsraum für die Entwicklung der Methode auf, die in zwei funktionalen Teilbereichen betrachtet wird: Methodische Anpassungen und technologische Entwicklung der automatisierten Methodendurchführung. Die technische Ausgestaltung erfordert gemäß der etablierten Entwicklungsvorgehensweise des Systems-Engineerings nach [Hä04] eine detaillierte Erfassung der Anforderungen (*Kapitel 4.1.3*) an das technische System, die im Folgenden erarbeitet wird.

4.1.3 Anforderung an die Methodenanpassung

Im Vergleich zur Aufgabenstellung der initialen Methodenanpassung werden innerhalb der Methodenanpassung veränderte Rahmenbedingungen zu Grunde gelegt (*siehe Kapitel 4.1.1*).

Die Anforderungen sind zum einen in der bereits formulierten und angepassten operativen Aufgabenstellung und den Zielen der Methodenanpassung hinterlegt. Zum anderen werden im Folgenden die Anforderungen an den Teil der Methodenanpassung festgelegt, der die Entwicklung eines technischen Systems zur automatisierten Methodendurchführung beschreibt. In Anlehnung an die Entwicklungsmethodik des Systems Engineering [Hä04], bildet die Anforderungsanalyse einen essentiellen Teil ab, um ein grundlegendes Systemdenken, sowie ein Verständnis für die Komplexität und die Abgrenzung des Systems zu erhalten. Gemäß [Sc10] wird eine Unterteilung in globale Anforderungen an das Gesamtsystem und lokale Anforderungen an die einzelnen Systemkomponenten vorgenommen. Die Sammlung der globalen Anforderungen im folgenden Abschnitt verfolgt eine nicht-funktionale bzw. allgemeine Sichtweise [Sc10], deren Inhalte sich auf die generelle Ausrichtung der Methodenanpassung richtet. Die Betrachtung der lokalen Anforderungen richtet sich komplementär auf die konkreten Anforderungen hinsichtlich der Funktion einzelner Bestandteile der Umsetzung [RR13] und wird bei der Einführung der jeweiligen Systemkomponenten erörtert.

4.1.4 Definition globaler Anforderungen

Zur Anforderungsanalyse von technischen Entwicklungen folgt die Entwicklungsmethodik des Systems Engineerings [Hä04] im Wesentlichen der Vorgehensweise Top-down bzw. „vom Groben zum Detail“ (*siehe Kapitel 3.1*). Demnach werden zunächst in diesem Abschnitt die globalen, allgemeinen Anforderungen an die Methodenanpassung erläutert. Die *globalen Anforderungen (GA)* orientieren sich dabei an der Norm für Softwarequalität [IS10] sowie [GC96] werden in übergeordneten Kategorien (*GA#*) und deren anwendungsbezogenen Konkretisierungen (*GA#.#*) beschrieben.

GA 1: Funktionalität

Die entwickelte Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer (*siehe Kapitel 3.2*) stellt eine neuartige Vorgehensweise zur Modellierung und Zuordnung adäquater Interaktionen zwischen unterschiedlichen Teilnehmern dar – ist allerdings auf die Engineering Phase und deren Bedürfnisse ausgereicht. In der Methodenanpassung liegt der Fokus auf dem Transfer der Methode in die Betriebsphase (*siehe Kapitel 4*). Zur Gewährleistung der Anwendung *innerhalb des Produktivbetriebs* ist zumindest eine teilweise *automatisierte Durchführung* der Methode notwendig, um den Aufwand der Mitarbeiter für eine notwendige engineering-bezogene Anpassung der Interaktionen in einem vertretbaren Maß zu begrenzen.

- **GA1.1: Angemessene Funktionalität zur automatisierten Methodendurchführung**

Die Methodenanpassung und die daraus entwickelte Implementierung verfügen über einen angemessenen Umfang der Funktionalität, um eine automatisierte Anwendung der angepassten Methode während des Produktivbetriebs zu ermöglichen, wodurch eine Konzentration auf die Kernaufgaben innerhalb der Produktion ermöglicht wird.

- **GA1.2: Korrekte Funktion zur Anwendung im Produktivbetrieb**

Der aktive Produktivbetrieb stellt hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit und Richtigkeit der eingesetzten Systeme. Die angepasste Methode ist eine Unterstützung für die heterogenen Teilnehmer und eine Verbesserung zum Status quo der Interaktionsmodellierung in der Produktion, muss allerdings nicht die Richtlinien produzierender Systeme erfüllen. Die korrekte Funktion der Methodenanpassung und deren Implementierung stellt dennoch die Grundlage für eine verlässliche Anwendung und somit für einen Vertrauensaufbaus in das System innerhalb der Produktion dar.

GA 2: Usability und Gebrauchstauglichkeit

Die Methodenentwicklung in *Kapitel 2.4.4* zeigt die Komplexität der Interaktion zwischen heterogenen Teilnehmern in der Produktion unter Berücksichtigung der unterschiedlichen individuellen Bedürfnisse der Teilnehmer. Die Informationen, die der Methode zu Grund liegen entstammen unterschiedlichen Quellen aus unterschiedlichen Unternehmensbereichen. Mitarbeitern auf dem Shopfloor sind diese Informationen und vor allem deren sinnvolle Synthese bisher nicht zugänglich. Die Methodenanpassung hat allerdings das Ziel die Modellierung der Interaktionen der heterogenen Teilnehmer aus dem planerischen Aufgabenbereich in den produktiven Aufgabenbereich zu verlagern und zu integrieren. Hierzu sind eine zielgerichtete Aufbereitung der Informationen sowie eine transparente und verständliche Darstellung der Informationsverarbeitung notwendig. Die Methode besitzt mit dem Interaktionscanvas (*siehe Kapitel 3.5*) ein Tool um Mehrwerte und Hemmnisse möglicher neuer Interaktionsmuster transparent zu machen und hierdurch den Möglichkeitsraum für Lösungen innerhalb des Prozessengineerings zu erweitern. Der positiv gestaltete Bezug (*siehe Kapitel 2.2.2*) zu den Mehrwerten sowie der transparente Zugang zu Informationen und getroffenen Entscheidungen stellen einen elementaren Bestandteil dar, eine hohe Akzeptanz gegenüber der Methodenanwendung zu erreichen – vor allem für menschlichen Nutzer [LT88, KM03, TA01].

- **GA2.1: Leichter Zugang und Bedienbarkeit**

Die Methodenanpassung und deren Implementierung bieten einen einfachen Zugang zum System und eine intuitive Bedienung mit modernen Bedienmöglichkeiten. Die Anforderung richtet sich explizit an alle Dimensionen der Teilnehmer (Mensch, Maschine, Service). Mit Erfüllung der Anforderung wird eine niedrige Schwelle zur Anwendung der Methode sichergestellt.

- **GA2.2: Transparenz und Übersichtlichkeit**

Mit dem Interaktionscanvas wird bereits ein Werkzeug zur transparenten Modellierung einer Interaktion innerhalb der initialen Methodenentwicklung angewendet. Die Methodenanpassung folgt den Leitlinien und wird den Interaktionscanvas für die automatisierte Anwendung in der Produktion gestalten. Darauf aufbauend sind die Ergebnisse in einer für alle heterogenen Teilnehmertypen

übersichtlichen und verständlichen Art zu repräsentieren, wodurch eine Nachvollziehbarkeit der Entscheidungen ermöglicht und ein wichtiges Element zur Akzeptanz der Implementierung geschaffen wird.

- **GA2.3: Akzeptanz durch Mehrwertnutzung**

Mehrwerte und WOW-Effekte schaffen die Grundlage zur effektiven Einführung und Nutzung eines solchen neuartigen IT-Systems. Die Nutzer müssen erkennen, warum sie das System nutzen sollten. Sie entwickeln hiermit eine innere Motivation zur Nutzung ohne externe Aufforderung und Anweisung der Nutzung, was die Akzeptanz direkt steigert.

GA 3: Anpassbarkeit und Wiederverwendbarkeit

Das Ziel die angepasste Methode zur Interaktionszuordnung auf dem Shopfloor in der Produktion einzusetzen impliziert die Notwendigkeit einer einfachen Wartung. Die Interaktionen in einem Produktivumfeld sind stark durch deren Teilnehmer und die zu erfüllenden Aufgaben geprägt, was eine individuelle Ausrichtung in jedem Umfeld impliziert. Gerade zu Beginn der Methoden- und Systemnutzung in der Produktion werden zusätzlich weitere Einflüsse und Möglichkeiten der Erweiterung innerhalb eines internen KVP-Prozesses durch die Nutzer aufgeworfen. Eine effektive Umsetzung der Änderungen benötigt eine effiziente *Anpassbarkeit* der Methode und der Implementierung auf den individuellen Produktionskontext sowie eine Wiederverwendbarkeit einzelner Bestandteile der Methode und des implementierten Systems.

- **GA3.1: Wiederverwendbarkeit**

Die angepasste Methode ist so aufgebaut, dass sie eine Verwendung als Engineering-Werkzeug in unterschiedlichen Interaktionsarten mit unterschiedlichen Teilnehmern gewährleistet. Die Elemente der Methode sind in sich gekapselt und bieten die Möglichkeit einer Wiederverwendung. Die technische Implementierung der Methode besteht aus einzelnen gekapselten Systembausteinen mit systemweit standardisierten Schnittstellen, sodass eine Wiederverwendung einzelner Systembestandteile ermöglicht wird.

- **GA3.2: Leichte Modifizierbarkeit und Anpassbarkeit**

Die Methode ist in ihrem Grundaufbau erweiterbar und anpassbar, wodurch eine direkte Anpassung auf den individuellen Produktionskontext erfolgen kann. Durch den gekapselten modularen Aufbau (*siehe GA3.1*) ist eine Anpassbarkeit durch die Anpassung einzelner Systembausteine bzw. Methodenelemente gegeben.

GA 4: Effiziente Performance

Die Methode zur Interaktionsmodellierung beschreibt explizit die Interaktion in Bezug auf die heterogenen Teilnehmer im Produktionsumfeld. Gerade die Heterogenität der Teilnehmer

und die Unterschiedlichkeit in deren Fähigkeiten und Bedürfnissen erfordert eine effizienzorientierte Ausrichtung der Methodengestaltung, um die Anforderungen an die Teilnehmer in einem adäquaten Rahmen zu halten.

Zusätzlich sind die benötigten Kapazitäten für die Methodendurchführung und die spätere Anwendung der softwaretechnisch implementierten Methodenumsetzung zu minimieren. Die Transformation der Methode aus der Engineering-Phase in die Phase des Produktivbetriebs fordert ein hohes Maß als Effizienz, um den Einsatz auf dem Shopfloor realisieren zu können.

- **GA4.1: Effektive Ressourcennutzung**

Die Methodenanpassung legt einen Fokus auf die Beschreibung der zur Verfügung stehenden Ressourcen der unterschiedlichen Teilnehmer. Trotz der Diversität der Teilnehmerressourcen werden diese adäquat in die Methodendurchführung integriert. Die Interaktionsmodellierung benötigt eine ganzheitliche Betrachtung der zur Verfügung stehenden Ressourcen und Informationen, welche von verschiedenen informationellen Perspektiven betrachtet werden, um eine konkretisierte effektive Nutzung zu ermöglichen.

- **GA 4.2: Kapazitätsschonung**

Zur praktikablen Methodenanwendung in der Produktion werden die unterschiedlichen Kapazitäten der heterogenen Teilnehmer beachtet. Die Anforderung richtet den Fokus auf die Minimierung der einzusetzenden Kapazität der Teilnehmer, um eine Anwendung als unterstützendes System in der Produktion zu ermöglichen. Eine weitestgehend automatisierte Methodendurchführung (*siehe auch GA1.1*), eine effiziente Kommunikation und eine effiziente Informationsrepräsentation verfolgen das Ziel, die stark begrenzten Kapazitäten zu schonen.

GA5: Kompatibilität

Die Methode zur Interaktionsmodellierung stellt eine Vorgehensweise ohne jeglichen Hersteller oder Plattformbezug dar. Die Unabhängigkeit impliziert eine Verwendbarkeit und Übertragbarkeit auf unterschiedliche Anwendungsfelder. Gerade die weiterführenden Schritte der Methodenanpassung und deren Implementierung erfordern auf Grund des integrativen Anspruchs der Anwendbarkeit für heterogene Teilnehmer verstärkt eine Anforderung der Kompatibilität zu bestehenden Systemen in der Produktion.

- **GA5.1: Koexistenz zu anderen Systemen**

Die Implementierung der Methodendurchführung wird als ergänzendes System neben zahlreichen bereits bestehenden IT- und OT-Systemen in der Produktion Anwendung finden. Um einen Informationsaustausch und eine Nutzung der Ergebnisse für andere Systeme zu ermöglichen, werden standardisierte Kommunikationsformate und Informationsrepräsentationen eingesetzt (*siehe Analyse der Prozessnahtstellen*).

- **GA 5.2: Übertragbarkeit**

Effektive und adäquate Interaktionen sind eine essenzielle Voraussetzung für die erfolgreiche Gestaltung der Systemschnittstellen in allen Geschäftsbereichen. Die Anpassung der allgemeingültigen Methode zur Interaktionsmodellierung ermöglicht trotz der Spezialisierung auf die Produktion weiterhin die Übertragbarkeit der einzelnen Methodenbausteine auf andere Anwendungsfelder. Besonders die einzelnen Funktionsmodule und die Informationsrepräsentationen sind auf einen anderen Kontext direkt anwendbar.

4.2 Entwicklung von Vorgehensweisen und Repräsentationssystemen zur adäquaten Informationsbereitstellung

Im Vergleich zur Akquisitionsphase der initialen Methodenentwicklung werden im Folgenden die einzelnen Phasen des konzeptionellen Methodenschemas nun hinsichtlich der Nutzung in der Betriebsphase der Produktion angewendet, d.h. die bestehenden Schritte werden beibehalten. Allerdings wird der Inhalt der Methodenschritte auf die veränderten Bedingungen und Anforderungen angepasst. Analog zur akquisitionsorientierten Methodenentwicklung in *Kapitel 3.4.2* werden in der Methodenanpassung als initialer Schritt die *passiv gewonnen Eingangsinformationen analysiert und auf ihre Relevanz für die Methodendurchführung überprüft*. Als Resultat der Methodenentwicklung werden folgende relevante Informationsdimensionen zur Methodendurchführung identifiziert:

- *produktionsprozessbezogene Informationen;*
- *teilnehmerbezogene Informationen;*
- *interaktions(muster)bezogene Informationen.*

Daten und Informationen, die außerhalb dieser Informationsdimensionen liegen, werden nicht in die Methodenanpassung und -durchführung berücksichtigt.

In der folgenden *Aufbereitung der Eingangsinformationen* werden *systembezogene und formbezogene Komplexitätsreduktionen* angewendet. Je nach Anwendungsfall und Betrachtungstiefe möglicher realer Produktionsprozesse entsteht eine hohe Komplexität auf Grund der hohen Informationsdichte des modellierten Produktionsprozesses und der unübersichtlichen Verbindungen einzelner Aufgabenschritte innerhalb des Prozesses. Die *systembezogene Komplexitätsreduktion* grenzt den Gesamtprozess in sinnvolle Prozessteile in der notwendigen Größe ein, um den Prozess und somit den Aufgabenzusammenhang noch erfassen zu können. Darüber hinaus wird innerhalb dieses Reduktionsschritts der Teilprozess in weitere kleinere Teilprozesse unterteilt. Diese Aufteilung ist hinsichtlich der Handhabbarkeit der produktionsprozessbezogenen Informationen auf Interaktionsebene einzelner Aufgaben in der Methode zur Interaktionsmodellierung notwendig (*siehe GA 2.1*).

Analog zur Methodenentwicklung bezieht sich die *formbezogene Komplexitätsreduktion* auf die strukturierte Beschreibung und Modellierung des Produktionsprozesses. In *Kapitel 2.3* werden aktuelle Modellierungsansätze mit hoher Verbreitung vorgestellt. Besonders BPMN 2.0 hat bei der Modellierung des Prozesses hinsichtlich unterschiedlicher Prozessteilnehmer auf Grund der eingeführten Pools und Lanes gerade im Kollaborationsdiagramm Vorteile. Bei der Modellierung der heterogenen Teilnehmer ist dies besonders hinsichtlich der Anforderung einer *transparenten und nachvollziehbaren Gestaltung* (siehe GA 2.2) zu betrachten. Allerdings ist anzumerken, dass keiner der betrachteten Modellierungsansätze alle Anforderungen komplett erfüllt, d.h. zur Anwendung zur Modellierung von Interaktionen heterogener Teilnehmer werden die Modellierungsansätze kombiniert bzw. erweitert werden. Als Grundlage für die Erweiterung dient in der folgenden Betrachtung das Modellierungskonzept von BPMN 2.0.

Die formbezogene Komplexitätsreduzierung bezieht sich auf die strukturierte Beschreibung des Produktionsprozesses in der angepassten und erweiterten Form von BPMN 2.0. Eine erste Erweiterung der Vorgehensweise zur Prozessmodellierung liefert die Kombination mit den Anforderungen aus der *systembezogenen Komplexitätsreduktion* aus den vorangegangenen Aufbereitungsschritten und wird detailliert in *Kapitel 4.2.1* beschrieben.

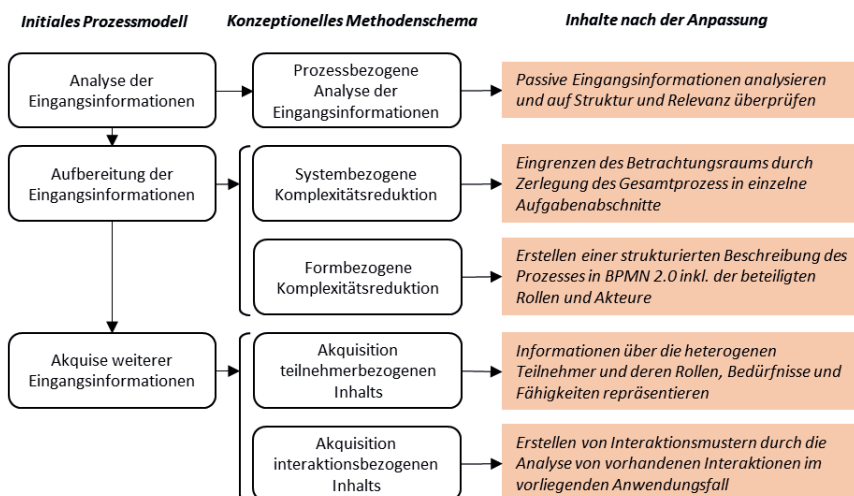


Abbildung 61: Anpassung der Akquisitionsschritte

Abschließend werden *weitere Eingangsinformationen aktiv akquiriert*, um die Informationsbedürfnisse hinsichtlich der relevanten Informationsdimensionen zu erschließen. Im *konzeptionellen Methodenschema* werden somit *teilnehmerbezogene und interaktionsbezogene Inhalte* zusätzlich *akquiriert*.

Die Sichtweise auf die *teilnehmerbezogenen Informationen* erfordert gerade auf Grund der Heterogenität der unterschiedlichen Teilnehmer eine detaillierte Betrachtung und mehrere Schritte der Aufbereitung, um eine angemessene Informationsrepräsentation gewährleisten zu können – vor allem zur Erfüllung der Anforderung nach einer weitestgehend automatisierten Durchführung (siehe GA 1.1 und GA 4.2). Das Ziel, der in Kapitel 4.2.2 durchgeführten Konzeptionierung besteht darin, eine *einheitliche Teilnehmerbeschreibung* durch Integration der unterschiedlichen Bedürfnisse und Anforderungen der heterogenen Teilnehmer zu generieren.

Die komplettierende Perspektive um die informationellen Dimensionen wird durch die Akquise *interaktionsbezogenen Inhalts* erbracht. Die Informationen dieser Perspektive stellen den initialen Informationsspeicher zur Verbindung der *prozessbezogenen* und der *teilnehmerbezogenen* Informationen dar. Die interaktionsbezogene Akquise findet auf Grund der vorhandenen Interaktionen der jeweiligen Produktion statt, d.h. diese Informationen können eine sehr spezifische Ausprägung besitzen und sind individuell zu erbringen (siehe GA 3.2). Darüber hinaus wird dem Methodenanwender ein Set an Standardinteraktionsmustern initial zur Verfügung gestellt, um einen leichten Einstieg in die Methodennutzung zu ermöglichen (siehe GA 2.1). Eine methodenweite Anwendung und Wiederverwertbarkeit in anderen Arbeitsprozessen (siehe GA 3.1) werden mittels einer einheitlichen strukturierten Beschreibung realisiert, welche in Kapitel 4.2.3 detailliert konzeptioniert wird.

4.2.1 Strukturierte Beschreibung des Produktionsprozesses

Die Modellierung eines Produktionsprozesses kann mit verschiedenen Notationen und Methoden durchgeführt werden (siehe Kapitel 2.3). In dieser Arbeit wird auf Grund der Verbindung der technischen und organisatorischen Perspektive auf die Produktionsprozesse [AI15, AI09], BPMN 2.0 als Standard ausgewählt. Die Notation findet zunehmend Verbreitung und ermöglicht die grundsätzliche Unterscheidung verschiedener Teilnehmer innerhalb der Prozessdarstellung.

Die in Kapitel 2.3 vorgestellten Prozessmodellierungen – auch BPMN 2.0 – bieten einen nur unzureichenden Umfang um die Komplexität der ganzheitlichen Perspektive auf die Interaktionsmodellierung in einem Wertschöpfungsnetzwerk abzubilden (siehe Kapitel 2.3.6). In dieser Arbeit wird mit dem Konzept *Business Process and Intention Modelling and Notation (BPiMN)* eine erweiterte und neuartige Struktur zur Prozessmodellierung entwickelt, welche auf Grundlage vom BPMN 2.0 und den intentionsbezogenen Informationsebenen des i*-Frameworks basiert. In Abgrenzung zu bisherigen Entwicklungen (siehe Kapitel 2.3.5) zur Verbindung dieser beiden Modellierungsmethoden, wird in dieser Arbeit ein Konzept zur handhabbaren Anwendung für Produktionsprozesse gebildet, welches die Konzepte nicht nur verbindet, sondern in ein einzelnes Konzept integriert. Das BPiMN Prozessmodellierung wird im Folgenden gemäß der metamethodischen Vorgehensweise zur Methodenentwicklung in zwei Teilen entwickelt: In diesem Kapitel wird eine erweiterte Strukturierung des

Produktionsprozesses vorgenommen, während in *Kapitel 4.3.2* die intentionsbezogenen Informationen integriert werden.

Auf Grund der großen Spannweite der Abstraktionsniveaus der möglichen Prozessbeschreibungen ist eine Anpassung und Erweiterung der Notation zur Anwendung in der Interaktionsmodellierung notwendig (*siehe Kapitel 3.4.3*). Diese Anpassung wird im folgenden Abschnitt hinsichtlich einer *adäquaten Strukturierung und Abstraktionseinstufung* durchgeführt. Operativ werden zur Anpassung initial die *lokalen bzw. funktionalen Anforderungen* erfasst, die *Abstraktionsstufe* der Modellierung festgelegt, *entscheidende Begrifflichkeiten* definiert sowie abschließend die *angepasste Notation* in grafischer und syntaktischer Variante erläutert.

Lokale Anforderungen

Gemäß [Sc10] ist zur Spezifikation technischer Systeme – neben den globalen Anforderungen an das Gesamtsystem – die Definition *lokaler bzw. funktionaler Anforderung* an die einzelnen funktionalen Einheiten, die Systemkomponenten, zweckmäßig. Zur *Erweiterung* der BPMN 2.0 Notation um weitere strukturelle Bestandteile werden folgende *lokale Anforderungen* erhoben:

- **LA 1.1: Prozess handhabbar strukturieren**

Die Prozessmodellierung kann verschiedene Abstraktionsstufen einnehmen [Ba16]. Der ganzheitliche Modellierungsansatz in BPMN 2.0 stellt sowohl Geschäftsprozesse als auch Workflows und einzelne Aufgaben dar. Innerhalb der strukturierten Beschreibung ist sicherzustellen, dass der Prozess in einem zur Interaktionszuordnung sinnvolles und handhabbares Niveau heruntergebrochen wird und entsprechend strukturiert ist.

- **LA 1.2: Übersichtlichkeit des Produktionsprozesses gewährleisten**

Trotz der Modellierung auf einem funktional handhabbaren Niveau zur Interaktionszuordnung, ist die Übersichtlichkeit des angepassten Prozessmodells zu gewährleisten.

Abstraktionsebenen zur Interaktionsmodellierung

Innerhalb der Prozessmodellierung bestehen neben der wesentlichen Komplexitätsursache durch die unterschiedlichen Möglichkeiten der Prozessmodellierung (*siehe Kapitel 3.3.2*) weitere wesentliche Komplexitätsursachen. Zur strukturierten und domänenübergreifenden Prozessbeschreibung mit integrativem Charakter haben sich vor allem BPMN 2.0 und UML etabliert (*siehe Kapitel 2.3*). Die Verbindung der Prozessdarstellung mit der Darstellung der unterschiedlichen Prozessteilnehmer über den gesamten Prozessverlauf stellt eine essentielle Funktion dar, weshalb BPMN 2.0 als weitverbreitete Grundlage zur Erweiterung ausgewählt wird. Eine zusätzliche wesentliche Komplexitätsursache liegt in dem undefinierten Abstraktionsgrad, der zur Prozessmodellierung zu treffen ist. Die Abstraktionsebene ist zweckmäßig zum Prozessumfang zu wählen [Ba10, KA92]. Diese variable Interpretation des

Detaillierungsgrads ist allerdings hinsichtlich der Interaktionsmodellierung ungeeignet. Bei zu hohem Abstraktionsgrad werden Interaktionen potentiell nicht sichtbar, während eine zu detaillierte Betrachtung der Aufgaben und Teilprozesse im Produktionsprozess zur Darstellung der Interaktionen ebenfalls nicht zweckmäßig ist. [Ba16] nimmt eine Einteilung der Abstraktionsebenen für Fertigungssysteme vor (siehe Abbildung 62), an welche sich die weitere Ausgestaltung in dieser Arbeit anlehnt.

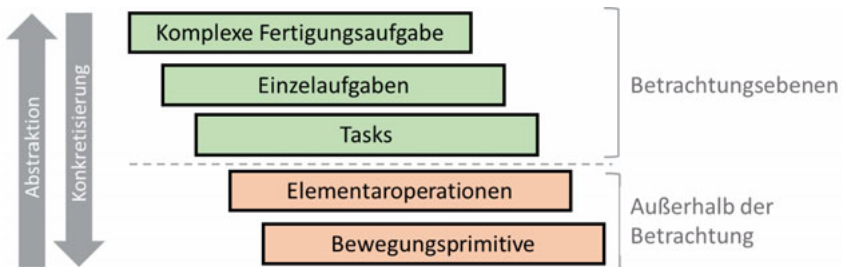


Abbildung 62: Abstraktionsebenen einer Fertigungsaufgabe, angelehnt an [Ba16]

Die Einteilung der Fertigungsaufgaben erlaubt eine Einteilung in Ebenen, die eine Relevanz zur weiteren Interaktionsmodellierung besitzen und Ebenen, die keine detaillierte Betrachtung in der Interaktionsmodellierung finden. Bei den konkretesten Aufgabentypen sind hier die Bewegungsprimitive und Elementaroperationen zu nennen, welche einen Aufbau der Aufgabendefinition aus elementaren Bausteinen erlauben. Das Konzept der kleinstmöglichen Zerlegung konnte sich nicht etablieren und findet auf Grund der fehlenden Elementarinformationen und nicht zweckmäßigen Vorgehensweise [Ya11] in dieser Betrachtung keine Anwendung. Die *Task* (dt. *Aufgabe*) bildet eine in sich geschlossene einzelne Aufgabe und somit konkreteste Aufgabenebene ab, die zur Interaktionsmodellierung integriert wird. [Ba16] beschreibt die nächst abstrakteren Ebenen mit *Einzelaufgabe* und *Komplexer Fertigungsaufgabe*. Gerade die Ebene der Einzelaufgabe wird im Folgenden klarer von der Ebene der Task abgegrenzt und als *Working Package* (dt. *Arbeitspaket*) bezeichnet. Das *Working Package* verfolgt die Erfüllung einer einzelnen Aufgabenstellung, d.h. es erfüllt genau einen einzelnen Nutzen hinter einer Aufgabe. Zur Erfüllung eines einzelnen Nutzens einer Aufgabenstellung können allerdings mehrere Arbeitsschritte – *Tasks* – notwendig sein, welche in dem *Working Package* aggregiert werden. In Abgrenzung dazu verfolgt die *komplexe Fertigungsaufgabe* die Erfüllung einer komplexen Aufgabenstellung, welche aus mehreren Einzelaufgaben besteht und *unterschiedliche Nutzen verfolgt*.

Ein Vergleich und eine Zuordnung der Aufgabenebenen in den Konzepten BPMN 2.0 und BPiMN sind daher ebenfalls zweckmäßig. Zur Entwicklung von BPiMN wird das Element der *Task* von BPMN 2.0 abgeleitet, in welchem allerdings keine produktionsspezifische Abstraktionsebenen definiert werden. Im direkten Vergleich wird die *Task* somit in einer formbezogenen Komplexitätsreduktion konkretisiert.

Transaktion und Teilprozesse sind Notationen innerhalb von BPMN 2.0, die ebenfalls eine Zusammenfassung einzelner Aufgaben erlauben [Se17, AI15]. In Unterscheidung zum *Working Package* besitzen diese Notationen keine Implikation hinsichtlich des Nutzens eines Aufgabenpakets. Im Folgenden werden die wesentlichen aufgabenbezogenen Begriffe zur Interaktionsmodellierung in dieser Arbeit definiert:

Task Eine *Task* stellt eine einzelne Aufgabe dar, die als Einheit nicht sinnvoll weiter unterteilt wird und genau ein Ziel durch den Arbeitsschritt verfolgt.

Working Package Ein *Working Package* ist die Gliederung eines Prozesses (konkreter: einer Swimlane) in logische Pakete, die einfache Aufgaben (Tasks) *zusammenfassen*, welche genau einen bestimmten Zweck bzw. Nutzen verfolgen.

Unterteilung des Prozesses in einzelne Aufgabenabschnitte

Zur Interaktionsmodellierung wird eine Abstraktionsstufe auf Ebene der *Task* vorausgesetzt. Darauf aufbauend besteht der erste Schritt der Informationserweiterung der strukturierten Prozessbeschreibung in der Unterteilung des Gesamtprozesses bzw. des relevanten Produktionsausschnitts. Die *Working Packages* (Arbeitspakete), die *einen einzelnen* Nutzen verfolgen, werden hierzu als neuer Knotentyp eingeführt. Sie beinhalten hierbei wiederum mehrere Tasks, die derselben Nutzenerfüllung dienen. Die Aufteilung in logische Pakete verfolgt das Ziel, den Prozess übersichtlicher und strukturierter darzustellen, v.a. hinsichtlich der Intentionsberücksichtigung der Aufgaben und daraus folgenden Interaktionen darzustellen (siehe LA 1.1 und LA 1.2).

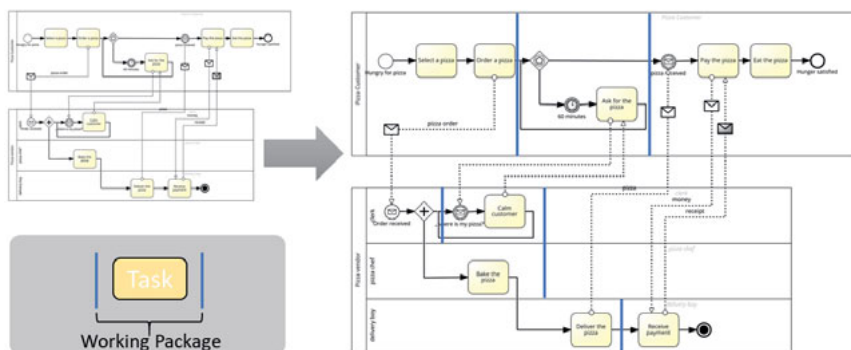


Abbildung 63: Unterteilung des Workflows in Working Packages

Die in dieser Arbeit entwickelte Erweiterung BPiMN bietet wie BPMN 2.0 sowohl eine grafische Modellierung des Prozesses als auch eine XML-basierte Beschreibung in strukturierten maschinenlesbaren Text.

Die graphische Modellierung der Einteilung in Arbeitspakete erfolgt durch die Unterteilung einer Swimlane in mehrere Bereiche, welche jeweils ein *Working Package* darstellen. In *Abbildung 63* wird diese Einteilung durch die blauen senkrechten Striche dargestellt.

Die Modellierung der XML-Notation in *Abbildung 64* zeigt, dass das *Working Package* als neuer Knotentyp in der Hierarchie der BPMN-Elemente zwischen den einzelnen operativen Prozesselementen und den *Lane-Sets* der *Swimlane* eingeordnet ist.

```
<bpmn2:lane id="Lane_2" name="Lane 2">
  <bpmn2:workingPackage>
    <bpmn2:flowNodeRef>Task_2</bpmn2:flowNodeRef>
  </bpmn2:workingPackage>
</bpmn2:lane>
```

Abbildung 64: Beispiel der XML-Notation zur Einteilung in Working Packages

Festlegung von Interaktionsverbünden

Die Einführung der *Working Packages* ermöglicht eine Einteilung in Arbeitspakete, welche genau eine Intention bzw. einen Nutzen verfolgen. Diese Einheit hinsichtlich des Nutzens wird im Folgenden auf die eigentlichen Interaktionen in der Prozessmodellierung übertragen, d.h. jede Interaktion verfolgt ebenfalls genau eine Nutzenerfüllung, die mit der Nutzenerfüllung des zugehörigen Arbeitspakets übereinstimmt. Konkret bedeutet dies, dass jedem *Working Package* eine Interaktion zugeordnet ist.

In der grafischen Darstellung werden die Interaktionen mit einer Identifikationsnummer am Ausgang der Einzelaktion aus dem jeweiligen Task gekennzeichnet, welche in *Abbildung 65* durch die Zahl im orangefarbenen Kreis abgebildet sind. Interaktionen bestehen möglicherweise aus mehreren Aktionen, die zur Nutzenerfüllung beitragen. Der Verbund dieser Einzelaktionen mit demselben Nutzenziel wird mit der gleichen Identifikationsnummer versehen (siehe *Beispielsinteraktion 2 in Abbildung 65*) und als Interaktion definiert (siehe *Kapitel 2.2.4*). Sind mehrere Aktionen beteiligt, so wird die initiale Aktion als *Initiator* (bzw. *Master*) bezeichnet und in der grafischen Notation mit einer dicken Umrandung des Identifikationskreises dargestellt. Folgende Einzelaktionen erhalten keine weitere Kennzeichnung und werden als *Folgeaktionen* bzw. *Slave* bezeichnet.

Bei verzögerten bzw. zeitversetzten Antworten und Folgeaktionen (*Slave*) kann die Aktivität entsprechend des Prozessverlaufs erst zu einem späteren Zeitpunkt in der *Swimlane* stattfinden, also außerhalb des definierten *Working Packages*. Für die Zuordnung der *Working Packages* und der *Interaktionen* ist der Initiator bestimmend. Die Folgeaktivität wird daher direkt der Ursprungsinteraktion und dessen Initiator zugeordnet, welche derselben Nutzerfüllung entsprechen.

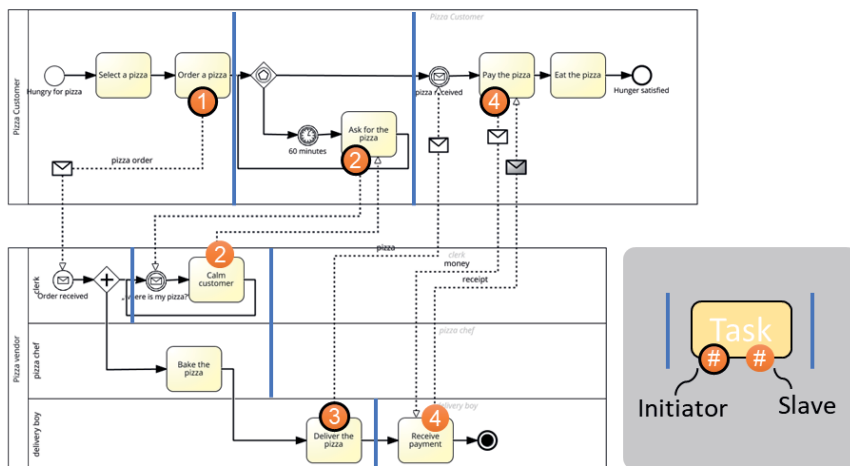


Abbildung 65: Festlegung von Interaktionsverbünden

In der textuellen Repräsentation der XML-Notation eines BPiMN-Prozesses wird die Identifikationsnummer der Interaktion ebenfalls eingepflegt. Dazu wird den entsprechenden Interaktionsobjekten ein weiteres Attribut *Interaction* hinzugefügt (siehe Abbildung 66), welches eben diese Nummer zur Identifikation enthalten soll.

```
<bpimn:interaction id="Interaction_1" masterRef="WorkingPackage_1">
  <bpimn2:messageFlow id="MessageFlow_1" sourceRef="OrderPizza"
    targetRef="OrderReceived" />
</bpimn:interaction>
```

Abbildung 66: XML-Notation der Zuweisung eines Interaktionsverbunds

4.2.2 Teilnehmermodell der heterogenen Teilnehmer

Die klassische Sicht auf die Produktion erlaubt eine Aufteilung in Produktionsequipment und Mitarbeiter, welche in unterschiedlichen Rollen die Tätigkeiten der direkten oder indirekten Wertschöpfung durchführen. Der Wandel zu einem Produktionsnetzwerk, bestehend aus unterschiedlichen Teilnehmern (oder Teilnehmertypen), verwirft diese starre Perspektive. Die Heterogenität erfordert eine Neuinterpretation des Rollenverständnisses in der Produktion über *alle* Teilnehmer hinweg, welches in diesem Kapitel anhand der Teilnehmermodelle erarbeitet wird.

Aufbauend auf den *globalen Anforderungen* an die Methodenanpassung und die prototypische Implementierung (siehe Kapitel 4.1.4) werden in diesem Abschnitt die *lokalen bzw. funktionalen Anforderungen* an die Teilkomponente des *Teilnehmermodells* betrachtet.

Lokale Anforderungen

- **LA 2.1: Abbildung der Heterogenität der Teilnehmer**

In dem Szenario der modularen und autonomen Produktion treffen gemäß der Sichtweise des IIoTSP (*siehe Kapitel 2.1.3*) unterschiedliche Typen an Teilnehmern aufeinander. Die Unterschiedlichkeit besteht in der Erscheinungsform, aber vor allem auch in den jeweiligen Bedürfnissen und Fähigkeiten. Das Teilnehmermodell bildet folglich die Heterogenität der Teilnehmer adäquat ab.

- **LA 2.2: Systemweite Informationsrepräsentation**

Gemäß der globalen Anforderung der Wiederverwendbarkeit (GA 3.1) werden die im Teilnehmermodell gespeicherten Informationen innerhalb des Gesamtsystems zur Verfügung gestellt, auch um eine Duplizität der Daten zu vermeiden.

- **LA 2.3: Anwendung offener Industrie 4.0-Datenrepräsentationskonzepte**

Die Daten- und Informationsrepräsentation mit Teilnehmerbezug erfolgt in einer Art und Weise, welche mit aktuellen Konzepten aus dem Umfeld der Industrie 4.0 kompatibel ist.

- **LA 2.4: Handhabbarkeit durch Informationsabstraktion**

Die teilnehmerbezogenen Informationen sind analog zu den Informationen mit Prozessbezug auf einem Abstraktionslevel anzuwenden, welche eine produktive Anwendung (GA 1.2) und Handhabbarkeit (GA 2.1) ermöglichen.

Herleitung des Teilnehmermodells

Die DIN 91345 unterscheidet vergleichbar zum Konzept des IIoTSP [SA18] grundsätzlich zwischen verschiedenen Typen, die in der auf cyber-physischen Produktionssystemen basierenden Produktion aufeinandertreffen. Zum einen wird die reale physische Welt und zum anderen die digitale Informationswelt unterschieden. Die physische Welt umfasst weitergehend Produkte, Maschinen und Hilfsmittel sowie den Menschen [DIN 91345]. Diese Aufteilung lässt sich direkt auf das Konzept von IIoTSP übertragen, in welchem Things (*siehe Maschinen, Produkte, Hilfsmittel*), Service (*siehe Digitale Informationswelt*) und People (*siehe Menschen*) unterschieden werden.

Aufbauend auf der cyber-physischen Produktion wird im aufgezeigten Szenario einer modularen und autonomen Produktion die Sichtweise eines zusammenhängenden interdependenten Produktionsnetzwerks [Wi07] verstärkt. Zur Modellierung der komplexen Zusammenhänge innerhalb dieses Netzes ist eine integrierende und ganzheitliche Sichtweise unumgänglich.

Das Ziel des Produktionsnetzwerks ist – analog zum Ziel der Produktion allgemein [Be08] – die effektive Wertschöpfung unter veränderten Rahmenbedingungen, welche durch die heterogenen Teilnehmer innerhalb des Netzwerks erbracht werden. Die ganzheitliche

Beschreibung der Teilnehmer ist daher ein elementarer Schritt zur integrierten Modellierung des Gesamtproduktionssystems.

Zamfirescu et al. entwickeln ein Konzept zur ganzheitlichen Betrachtung der Produktion unter Berücksichtigung der heterogenen Teilnehmer. Die Teilnehmerdimensionen umfassen die menschliche, physische und die digitale Komponente (*engl. cyber component*). Die Autoren gehen von einer Unvereinbarkeit der Komponenten aus, weshalb jede Komponente einen Adapter zu den jeweils anderen Komponententypen besitzt [ZA13].

Andere Konzepte beschreiben bevorzugt eine Teilnehmerdimension. Galaske et al. beschreiben ein Konzept zur Integration des Menschen in ein cyber-physisches Produktionssystem (CPPS). Der besondere Fokus liegt hierbei auf der Abbildung der menschlichen Fähigkeiten [Ga14].

Das Konzept der Verwaltungsschale beschreibt die grundsätzliche Repräsentation von Industrie 4.0-Komponenten sowie deren Interaktion untereinander [BBE17] (*siehe Kapitel 2.1.5*), während Westermann die fähigkeitsbezogene Beschreibung eines cyber-physischen Systems detailliert [We17]. Das Konzept IIRA [Ro15] ist eine komplementäre Referenzarchitektur zur Beschreibung von CPPS, welches die Fähigkeiten zur Aufgabenbewältigung in den Vordergrund stellt.

Während [BBE17], [We17] und [Ro15] vor allem das Zusammenwirken der technischen Systeme (*siehe Things and Services*) in den Fokus stellen, wird bei den folgenden Quellen die Beschreibung der menschlichen Teilnehmerdimension fokussiert. Abecker et al. stellen die informationellen Zusammenhänge innerhalb des gesamten Unternehmens in Verbindung und leiten die hierzu benötigten mitarbeiterbezogenen Beschreibungskriterien der Produktion ab [Ab02]. Die Mitarbeiterperspektive wird in [SLB10] durch eine leistungsbezogene Beschreibung der Mitarbeiterfähigkeiten deutlich detailliert. Das Konzept stellt das Pendant mit Fokus auf den Menschen zur detaillierten Beschreibung der Fähigkeiten eines CPS inklusive der möglichen Erfüllungsstufen in [We17] dar.

Die unterschiedlichen Konzepte zur Beschreibung von Teilnehmern im Produktionsnetzwerk besitzen verschiedene Perspektiven und Schwerpunkte. Auf der einen Seite wird durch diese Diversität das gesamte notwendigerweise zu betrachtende Feld der unterschiedlichen Teilnehmer aufgespannt. Auf der anderen Seite sind die verwendeten Konzepte allerdings nicht direkt übertragbar, weshalb eine einheitliche Modellierung der Kriterien zur Teilnehmerbeschreibung nicht trivial ist.

Zur Komplexitätsreduktion werden in einem ersten Schritt die Kriterien der verschiedenen Konzepte gesammelt und auf Überschneidungen überprüft. Anschließend werden Einzelstücke (*engl. Chunks*) bzw. Zusammenschlüsse (*engl. Cluster*) hinsichtlich einer inhaltlichen Kongruenz gebildet. Eine Besonderheit stellt die große Anzahl an unterschiedlichen Kriterien zur Fähigkeitsbeschreibung dar. Hier werden konkrete teilnehmerbezogene Fähigkeiten abgebildet, die nicht in einander überführbar sind. Die Auflistung der unterschiedlichen Fähigkeiten zeigt zusätzlich einen starken Bezug zu

Fähigkeiten, die der Durchführung einer produktionsbezogenen Aufgabenstellung zugeordnet werden können.

In Abgrenzung zu diesen aufgabenstellungsbezogenen Fähigkeiten stehen in der in dieser Arbeit entwickelten Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer die *Fähigkeiten zur Durchführung einer Interaktion* im Vordergrund. Im Gegensatz zur Struktur der untersuchten Konzepte sind daher die Inhalte nur bedingt direkt übertragbar. Die Abstraktion der spezifischen heterogenen Fähigkeiten zur Aufgabenerfüllung zu dem übergeordneten Kriterium der *personellen Fähigkeiten* ermöglicht eine übersichtliche Gestaltung der Kriterien und genügend Freiraum für die Anpassbarkeit auf neue Technologien (*siehe GA 3.2*).

Durch die abstrakte Behandlung der Fähigkeiten ergeben sich folgende Cluster, die anschließend hinsichtlich der Anwendung innerhalb der vorgestellten Konzepte verglichen werden (*siehe Abbildung 67*): *Identifikationsnummer (ID)*, *Name*, *Typ*, *Rolle*, *Status*, *Berechtigung*, *Beschreibung* und *personelle Fähigkeiten*. Die Betrachtung der einzelnen Modellkriterien zeigt eine durchgängige Anwendung einer eindeutigen Identifikation. Die Quellen mit dem Schwerpunkt auf den Menschen gehen hierbei von dem Kriterium *Namen* aus [SLB10; Ab02], während die restlichen Konzepte den Einsatz einer eindeutigen *Identifikationsnummer* präferieren. Grundsätzlich verfolgen beide Ansätze die gleiche Intention einer eindeutigen Identifikation des Teilnehmers. Das Produktionsnetzwerk basiert grundsätzlich auf CPS, was eine Verwendung maschinenlesbarer Kriterien erfordert [Re17b]. Darauf aufbauend wird der Mensch eine exponierte Rolle in der Produktion – in veränderter Form – behalten [RB97; BZ15], weshalb eine Einbeziehung der menschlichen Bedürfnisse eine hohe Relevanz besitzt. Fundiert auf dieser Betrachtung werden zur eindeutigen Identifikation sowohl eine *Identifikationsnummer* wie auch der *Name* – die Bezeichnung der ID – als Kriterien in das Teilnehmermodell aufgenommen.

In einem Umfeld, in welchem Akteure in unterschiedlichen Rollen miteinander arbeiten [Ga14, ZA13], dient eine Definition der *Rolle* des einzelnen Akteurs zur Klärung des Verhältnis zu den anderen Akteuren und deren Aufgaben. In einem Umfeld von heterogenen Teilnehmern und Akteuren, wie im Bereich der ACPs [ZA13], ist eine zusätzliche Unterscheidung des *Typs* des Teilnehmers (*human, cyber, physical component*) hilfreich. In gewisser Weise kann die Unterteilung in Typen auch als Rolleneinteilung in der heterogenen Umgebung interpretiert werden. Für die Anwendung des hier entwickelten Teilnehmermodells als integrierendes Element in der autonomen Produktion folgt die Verwendung der Kriterien *Rolle* und *Typ*. Von einer Verbindung der beiden Kriterien zu einem übergeordneten Punkt wird hier abgesehen; vielmehr kann die Rolle als Konkretisierung eines einzelnen Typs dienen.

Der *Status* bzw. die verfügbare Kapazität eines Teilnehmers ist eine essentielle Information zur automatischen Zuordnung eines Teilnehmers zu einer Aufgabenstellung im Produktionsprozess. Ebenso stellen die vorhandenen *Berechtigungen* eine wichtige Information zur Zuordnung einzelner Teilnehmer zu Aufgaben bzw. dem Zugang zu Informationen dar. Im Umfang dieser Arbeit wird allerdings die adäquate Zuordnung der

Interaktionen zu einem gegebenen Teilnehmerkreis behandelt, weshalb der *Status* und die *Berechtigungen* eines Teilnehmers keinen Beitrag zur Zielerreichung leisten und aus Gründen der Übersichtlichkeit (GA 2.2) und leichten Anwendbarkeit (GA 2.1) nicht integriert werden.

Kriterien des Teilnehmermodells	CPPS nach [Ga14]	VWS nach [BBE17]	II RA nach [Ro15]	Eigenschaften des CPS nach [We17]	Unternehmensontologie nach [Ab02]	ACPS [ZA13]	Mitarbeiterbeschreibung nach [SLB10]
ID	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Name					<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
Typ					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Rolle	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>
Status	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				
Berechtigungen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>
Beschreibung		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>
Personelle Fähigkeiten	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Abbildung 67: Vergleich der Kriterien zur Teilnehmerbeschreibung

Die exponierte Rolle des menschlichen Teilnehmers im zukünftigen Produktionsumfeld [BZ15] stellt auch die Grundlage für die verbreitete Anwendung semantischer, menschenlesbarer Informationen im Produktionsumfeld dar [TA18]. Die menschenlesbare *Beschreibung* der Teilnehmer leistet gerade in Kombinationen mit anderen Teilnehmertypen einen Beitrag zum ganzheitlichen Verständnis und der Akzeptanz der veränderten Produktion, weshalb diese als Kriterium in das Teilnehmermodell integriert wird.

Der Cluster der teilnehmerbezogenen *Fähigkeiten* wird von jedem der vorgestellten Konzepte unterstützt, weshalb dieses Kriterium auch in den Katalog aufgenommen wird. Allerdings erscheint eine weitere und detailliertere Betrachtung der Fähigkeiten notwendig und wird im Folgenden durchgeführt.

Das hier entwickelte Teilnehmermodell ist inhaltlich an das Modell zur Integration des Menschen in ein CPPS nach Galaske et al. angelehnt und im Bereich der Fähigkeiten adaptiert [Ga14]. Die Einflüsse der anderen Konzepte fließen in den zuvor beschriebenen Weisen in das Teilnehmermodell ein. In *Abbildung 68* werden die Kriterien zur Beschreibung in einem Klassendiagramm dargestellt.

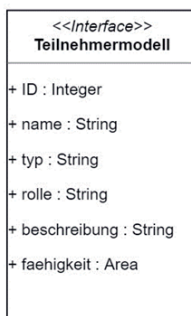


Abbildung 68: Klassendiagramm des Teilnehmermodells

Wie bereits beschrieben, stellen die Fähigkeiten eine Abhängigkeit zu den jeweiligen Teilnehmern und dem Anwendungskontext dar, besitzen allerdings grundsätzlich ähnliche und wiederkehrende Strukturen, was eine Sammlung in Merkmalskatalogen und anwendungsspezifischen Katalogen ermöglicht [BDH16]. Da jeder Teilnehmer mehrere Fähigkeiten besitzen kann, ist eine Schachtelung der fähigkeitsbezogenen Informationen in dem Teilnehmermodell dienlich. Das Konzept der Verwaltungsschale besitzt ebenfalls die Anforderung der Schachtelung von spezifischen Informationen der Teilmodelle und deren inhaltliche Integration zum Gesamtabbild in der VWS [BBE17; DIN 91345]. Innerhalb der Verwaltungsschale werden unterschiedliche Sichten der repräsentierten Informationen unterstützt (siehe Kapitel 2.1.5). In der Anwendung der VWS im Sinne des Teilnehmermodells werden die *funktionale Sicht* mit der Darstellung der *Fähigkeiten* und *Skills* sowie die Sicht auf den *Menschen* abgebildet.

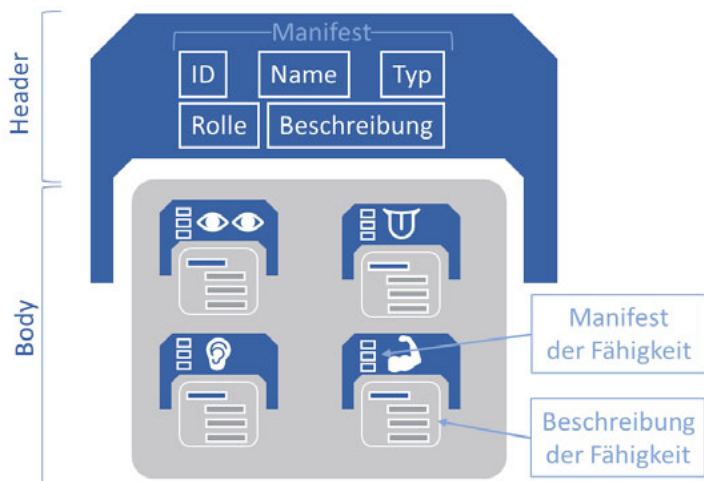


Abbildung 69: Teilnehmermodell als Verwaltungsschale

Aufbauend auf der Grundstruktur der Verwaltungsschale [BDH16] wird in *Abbildung 69* das Konzept zur verwaltungsschalenkonformen fähigkeitsbezogenen Teilnehmerbeschreibung dargestellt. Im Header des Teilnehmermodells sind die Kriterien *ID, Name, Typ, Rolle und Beschreibung* als – im weiteren Sinne gefasste – identifizierende Beschreibung des Teilnehmers hinterlegt. Im Body des Teilnehmermodells sind die einzelnen *Fähigkeiten* der Teilnehmer hinterlegt – jeweils ebenfalls mit einem identifizierenden Header und der eigentlichen Beschreibung und Repräsentation der Fähigkeiten im Body.

Die Abbildung der Heterogenität innerhalb der Fähigkeitsbeschreibung bietet weiter konkrete Modellierungsmöglichkeiten und wird bei der Modellierung des Interaktionsmusters (*siehe Kapitel 4.2.3*) detailliert betrachtet.

4.2.3 Strukturierte Beschreibung der Interaktionen

Die strukturierte Beschreibung der interaktionsbezogenen Informationen deckt die dritte Dimension der relevanten Informationen zur Interaktionsmodellierung ab (*siehe Kapitel 4.2*) und schließt die Akquisitionsphase (*siehe Kapitel 4.2*) mit den zuvor durchgeführten teilnehmerbezogenen (*siehe Kapitel 4.2.2*) und produktionsprozessbezogenen (*siehe Kapitel 4.2.1*) Akquisen ab. Die *Interaktionsmuster* besitzen das Ziel, die benötigten Interaktionsformen in standardisierter Form zu erfassen und zur späteren Interaktionsmodellierung zur Verfügung zu stellen. Unterschiedliche Branchen und spezialisierte Produktionsdomänen verfügen über spezialisierte individuelle Interaktionsbedarfe, die zur adäquaten Interaktionsmodellierung integriert werden müssen. Ein vorgefertigtes generalisiertes Set an *Interaktionsmustern* reicht nicht aus, um diesen Bedarf abzubilden. Die Anforderungen an die zu entwerfenden Interaktionsmuster werden in den folgenden lokalen Anforderungen erfasst:

Lokale Anforderungen

- **LA 3.1: Unterschiedlichkeit der Interaktionsmuster adäquat abbilden**

Entsprechend der heterogenen Teilnehmer und der unterschiedlichen Aufgaben im Produktionsprozess bilden die Interaktionen zur Aufgabenerfüllung ein breites Spektrum ab. Zusätzlich zu den individuellen Inhalten der heterogenen Teilnehmer, sollen die Interaktionsmuster auch in verschiedenen Produktionsdomänen eingesetzt werden, die ebenfalls individuelle Anforderungen an die modellierten Interaktionen besitzen. Die *Diversität der Interaktionen wird im Entwurf der Interaktionsmuster berücksichtigt und abgebildet (siehe GA 1.2 und GA 3.2)*.

- **LA 3.2: Anwendung offener Industrie 4.0-Datenrepräsentationskonzepte**

Die *Interaktionsmuster* füllen eine wesentliche informationelle Lücke aus, die zur Interaktionsmodellierung benötigt wird. Gemäß *GA 3.1* werden eine Wiederverwendbarkeit der Interaktionsmuster in anderen Systemkomponenten sowie eine Verwendung der Informationen in anderen IT-

Systemen der Produktion (*siehe GA 5.2*) angedacht. Dies macht die *Anwendung offener Industrie 4.0-Standards* erforderlich.

- **LA 3.3: Handhabbarkeit durch Informationsabstraktion**

Die Beschreibung einer Interaktion kann unübersichtliche Ausmaße annehmen, welche im Sinne der automatisierten Anwendung der Methode (*siehe GA 1.1 und GA 1.2*) auf ein handhabbares Maß abstrahiert werden. Hierzu ist eine klare Definition der benötigten signifikanten Informationsinhalte notwendig.

Herleitung der relevanten Inhalte des Interaktionsmusters

Die Beschreibung der Interaktionen, die den Interaktionsmustern zu Grunde liegen, kann in folgenden Modellierungsmethoden erfolgen:

- *UML Sequenzdiagramme* als universelles Mittel zur Modellierung von Informationsaustausch;
- Bestehende Ansätze für Mensch-Maschine Interaktionsmustermodellierung [BLF19];
- *SOA Modeling Language* als Ansatz der *OMG* für die Modellierung von *Service Interaction Patterns* [VM14, Yu18];
- *BPMN 2.0* als ebenfalls geeignetes Tool zur Modellierung der Interaktion von Systemkomponenten (Fokus auf Interaktion zwischen Teilnehmern in Geschäftsprozessen).

Demnach sind Interaktionen zwischen technischen Systemen grundsätzlich in folgende Kategorien einzuteilen [Re15] (*siehe Kapitel 2.2.1*):

- *Deterministisch/ Nicht-deterministisch*:
Empfängerverhalten ist eindeutig berechenbar (deterministisch) oder nicht.
- *Asynchron/synchron*:
Sender wartet auf Verhalten des Senders (synchron) oder nicht (asynchron).
- *Zustandslos/zustandsbehaftet*:
Empfänger kann Verarbeitung erhaltener Informationen auf diese stützen oder zusätzlich auf weitere, zuvor erhaltene Interaktionen.

Im Szenario der automatisierten Methodendurchführung in einem wandelbaren Produktionsnetzwerk treten die heterogenen Teilnehmer als Interaktionspartner auf einer Ebene auf, d.h. es wird aus abstrakter Perspektive eine Peer-to-Peer-Interaktion aufgebaut. Aus technischer Perspektive entspricht dies einer Interaktion zwischen entscheidungsfähigen Komponenten, welche primär durch Definition eines domänenspezifischen, semantischen Protokolls ermöglicht wird (*siehe aktive Verwaltungsschale und Industrie 4.0-Sprache in Kapitel 2.2.1*).

Auf einer technisch detaillierteren Ebene wird deutlich, dass zwischen den involvierten Teilnehmern und dem Interaktionstool, welches hier entwickelt wird, eine hierarchische

Beziehung besteht. In der Regel werden die Anfragen der Teilnehmer gemäß ihrer Schnittstellenspezifikation (*siehe passive Verwaltungsschale in Kapitel 2.2.1*) durch die automatisierte Interaktionsmodellierung und den zur Verfügung stehenden Interaktionsmustern zugeordnet. Die Teilnehmer agieren zustandslos und nicht-deterministisch, das Interaktionstool in der Regel synchron.

Mit der Integration der Teilnehmertypen *Maschine* und *Service* und der präferierten Verwendung von OPC UA ist der Interaktionsbegriff in diesem Zusammenhang zu klären. Gemäß der interaktionsbasierten Architektur [DIN 16593] unterscheidet sich die Modellierung von technischen Interaktionsteilnehmern in *Zustandsmaschinen* und *Operationen*. Die Interaktionen werden zugehörig in *Primitives* (Teilnehmer werden durch Operationen beschrieben, *siehe* *Service*request und *-response*) und *Notifications* (Teilnehmer werden durch Zustandsmaschinen beschrieben) unterteilt. Die Interaktion zur Erfüllung eines gemeinsamen Nutzens in einem bestehenden Produktionsprozess wird hierbei als Aktivität, bestehend aus einer Aneinanderreihung einzelner *Primitives* und *Notifications*, verstanden. Die OPC UA-Kommunikation zwischen den einzelnen Teilnehmern besteht laut [DIN 16593] aus *Primitives*, womit eine zu modellierende Interaktion aus technischer Sicht durch die Verwendung von OPC-UA folglich aus *Service-Primitives* besteht. Das Beispiel des *Read/Write-Services* stellt ein direktes Beispiel für die Kombination der Primitiv zur Interaktionsabbildung dar (*siehe Abbildung 70*).

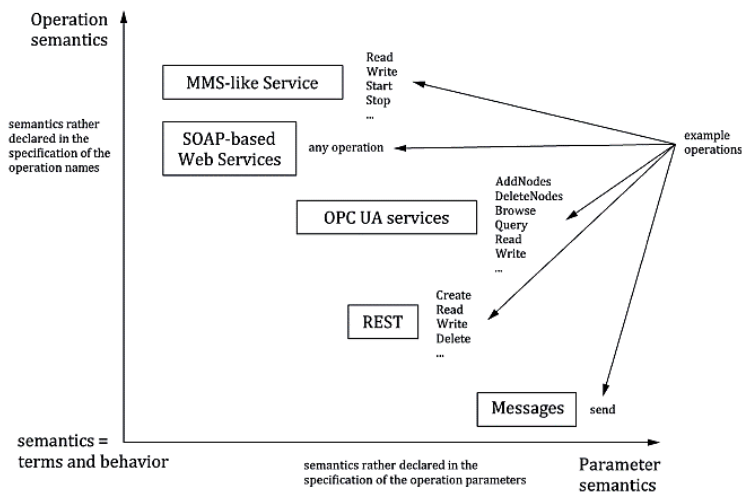


Abbildung 70: Übersicht interaktionsbezogener Architekturen nach [DIN 16593]

Allerdings fehlt in der interaktionsbasierten Architektur ein konkreter Vorschlag zur Interaktionsmustermodellierung bzw. -notation, der die kombinierten Services aus *OPC UA Primitives* zusammenführt. Ein Ansatz ist die Integration eines Konzepts, welches die

Webservice-Modellierung aufgezeigt: Die Orchestrierung von Webservices bietet Methoden einer technisch umsetzbaren Modellierung des Zusammenwirkens mehrerer (technischer) Entitäten in Form von Services [VM14]. Demnach wird ein Interaktionsmuster als Sequenz von Operationen verstanden, d.h. ein einzelnes Interaktionsmuster kann aus mehreren Teilkomponenten, den sogenannten atomaren Interaktionsmustern, bestehen. Jedes eindeutig identifizierbare atomare Interaktionsmuster verfolgt ein atomares Ziel und erbringt einen *Beitrag zum Nutzwert* der Interaktion. Ebenso werden die *benötigten Fähigkeiten* sowie die involvierten *Teilnehmer* auf atomarer Ebene beschreiben. Der Entwurf ist direkt auf das Konzept der Verwaltungsschale und deren Teilmodellen übertragbar und folgt damit dem Ansatz des *individuellen Teilnehmermodells* (siehe Abbildung 69 in Kapitel 4.2.2).

Für die Anwendung in der automatisierten Methodendurchführung wird allerdings eine höhere Abstraktionsebene der Beschreibung gewählt (siehe Abbildung 62). Die Handhabbarkeit der interaktionsmusterbezogenen Informationen wird mit einem standardisierten Template sichergestellt, welches auf die wesentlichen Informationen zur Interaktionsmodellierung fokussiert ist und die Informationen abstrahiert und handhabbar darstellt. Das Interaktionsmuster enthält entsprechend die in Abbildung 71 dargestellten und im Folgenden erläuterten Inhalte.

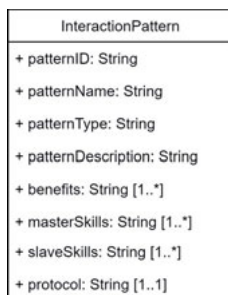


Abbildung 71: Klassendiagramm des Interaktionsmusters

Im Identifikationsbereich des Interaktionsmusters (entspricht dem Header einer Verwaltungsschale) werden die Informationen zur *Muster-ID* und *Namen des Interaktionsmusters* hinterlegt. Die eigentliche Musterbeschreibung enthält die Eigenschaften, Funktionen und Parameter des jeweiligen Interaktionsmusters. Der *Mustertyp (Type)* beschreibt eine Kategorisierung zum Anwendungsfeld des Interaktionsmusters, wie beispielsweise *Visualisierung*, *Datenabruf* oder *Chat*. Auf Grund der heterogenen Teilnehmer und dem Anspruch einer integrierten Semantik wird weiterhin eine *Beschreibung des Interaktionsmusters* (engl. *Description*) in *menschlesbarem Freitext* integriert. In der mehrwertorientierten Methodendurchführung werden in der synthesebezogenen Aufbereitung potentielle Interaktionsmuster hinsichtlich der Nutzenerfüllen eingebracht (siehe Abbildung 59). Im Interaktionsmuster werden entsprechend die Nutzwerte erfasst, welche durch das Interaktionsmuster direkt unterstützt werden (*Benefits*). Im nächsten

Datenobjekt des Musters werden die benötigten Fähigkeiten (*Skills*) zur Interaktionsmusterdurchführung erfasst. Diese Informationen werden mit den vorhandenen Fähigkeiten der definierten Teilnehmer abgeglichen und führen zur hemmnisorientierten Bewertung der Interaktionsmuster (*siehe Abbildung 74*). Die benötigten Fähigkeiten werden in *Master-Skills*, also Fähigkeiten, die der Initiator einer Interaktion (*siehe Abbildung 65*) besitzt sowie *Slave-Skills*, also Fähigkeitsanforderungen der restlichen Interaktionsteilnehmer, unterschieden. Abschließend enthält das Interaktionsmuster das Datenobjekt *Protocol* mit Informationen zur technischen Gestaltung in der automatisierten Methodendurchführung (z.B.: OPC UA-Methodenaufrufe und Parameter).

4.3 Aufbereitung informationeller Inhalte sowie Weiterentwicklung derer Repräsentationssysteme

Die vorangegangene Anpassung der Akquisitionsphase konkretisiert die Informationsbeschaffung auf Basis der Bedarfe der unterschiedlichen Informationsdimensionen innerhalb der Produktionsumgebung. In diesem Kapitel wird die Aufbereitung (*siehe Kapitel 3.1*) der zuvor akquirierten Daten hinsichtlich der Anwendung für die weitestgehend automatisierte Methodendurchführung im Bereich der Produktion durchgeführt (*siehe Abbildung 72*). Die in *Kapitel 4.1* erarbeiteten Anforderungen an die Methodenrealisierung bilden die Grundlage der Informationsaufbereitung.

Die Aufbereitung innerhalb dieses Kapitels umfasst einen einzelnen Abschnitt des *initialen Prozessmodells* – die *Aufbereitung der Eingangsinformationen* – und gliedert sich im *konzeptionellen Methodenschema* in sieben Konkretisierungsstufen.

Die *funktionsbezogene Komplexitätsreduktion* innerhalb der Methodenanpassung verfolgt das Ziel, die *zusätzlich akquirierten Eingangsinformationen* (*siehe Abbildung 61*) für die Methodenausführung nutzbar zu machen. Die *teilnehmerbezogenen Informationsinhalte* sind den unterschiedlichen Teilnehmern innerhalb der Methodendurchführung direkt zugeordnet, d.h. die Informationen sind in einem teilnehmerbezogenen Informationsmodell direkt mit den heterogenen Teilnehmern verbunden. Das Informationsmodell folgt bei der Informationsmodellierung dem Vorbild der Verwaltungsschale, sowohl in der globalen Anwendungsweise als auch im lokalen Aufbau der Informationsrepräsentation (*siehe Kapitel 4.2.2*). Eine weiterführende Komplexitätsreduktion ist an dieser Stelle nicht notwendig.

Die *interaktionsbezogenen Informationsinhalte* stellen den zweiten Bereich der aktiven Informationsbeschaffung innerhalb des vorangegangenen Kapitels dar. Das Ziel der Akquise besteht in der Informationsbeschaffung. In *Kapitel 4.2.3* werden bereits die strukturierte Beschreibung der Informationen sowie ein standardisiertes Template für Interaktionsmuster zur Anwendung in der Informationsakquise entwickelt.

Die *funktionsbezogene Komplexitätsreduktion* hat hinsichtlich der *interaktionsbezogenen Informationen* das Ziel, diese Informationen in einem zentralen strukturierten Informationsmodell zu repräsentieren. Eine detaillierte Beschreibung dieser Repräsentation im sogenannten Interaktionsmusterkatalog erfolgt in *Kapitel 4.3.1*.

Nachfolgend wird die aktive Informationsakquise hinsichtlich der Aufgabenorientierung aus dem Interaktionscanvas (*siehe Abbildung 51*) aufbereitet. Der Interaktionscanvas nimmt hierbei die drei Betrachtungsweisen nach dem Nutzwert, Mehrwert und Hemmnis auf. In der Aufbereitung werden in diese drei Perspektiven jeweils eine *Analyse* und eine anschließende *Komplexitätsreduktion* durchgeführt.

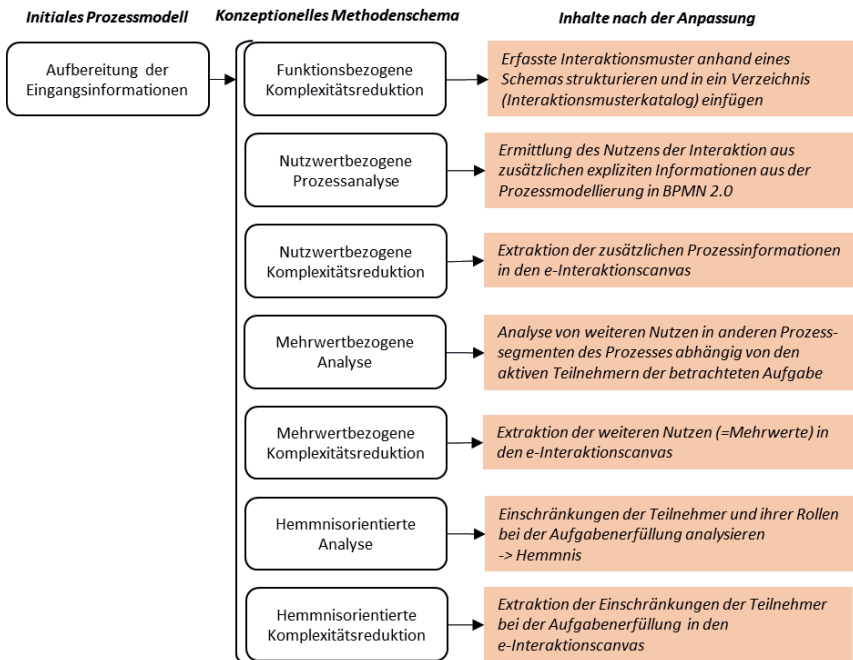


Abbildung 72: Anpassung der Aufbereitungsschritte

Mit der *nutzwertbezogenen Prozessanalyse* wird der Nutzen einer Interaktion als Teil einer Aufgabe innerhalb des Prozessmodells ermittelt. Diese Informationen sind mit der Intention der Interaktion vergleichbar und in bisher betrachteten Prozessmodellierungen – wie z.B. BPMN 2.0 und UML – nicht integriert. Auch die in *Kapitel 4.2.1* entwickelte Erweiterung von BPMN 2.0 um eine strukturierte Aufteilung in einzelne handhabbare Aufgaben beinhaltet diese semantischen Zusatzinformation nicht, bietet allerdings die strukturelle Basis für eine dementsprechende Erweiterung. Die semantisch erweiterten Prozessinformationen werden in der neuartigen integrativen Prozessmodellierung BPiMN (Business Process + *Intention*

Model und Notation) repräsentiert, welche in *Kapitel 4.3.2* konzeptioniert wird (siehe GA 2.2 und GA 4.2).

In Anlehnung an die Anforderungen GA 4.1 und GA 4.2 werden in der folgenden *nutzwert-bezogenen Komplexitätsreduktion* die ermittelten nutzwertbezogenen Prozessinformationen – die Intention bzw. der Nutzen der Interaktion – in einem global anwendbaren Informationsmodell hinterlegt. Das Informationsmodell wird während der Methodendurchführung mit weiteren kontextbasierten Informationen angereichert. Der Informationsinhalt entspricht den einzelnen Feldern des Interaktionscanvas aus *Abbildung 50* auf Seite 78. In Bezug zu Anforderung GA 2.2 wird als transparentes Informationsaustauschformat der sogenannte *elektronische Interaktionscanvas* (kurz: *e-Interaktionscanvas* oder *e-Canvas*) in *Kapitel 4.3.3* entwickelt. Im Anschluss an die *nutzwertorientierte Betrachtung* wird die angelehnte *mehrwertorientierte Betrachtung durchgeführt*. Im ersten Schritt wird das erweiterte Prozessmodell inklusive der semantischen Zusatzinformationen zur Nutzwertbeschreibung der Interaktionen hinsichtlich der *Mehrwerte* der Interaktion *analysiert*. Analog zur erfolgten Nutzwertanalyse der Interaktion in der zu betrachtenden Prozessaufgabe werden in dem Schritt der *mehrwertbezogenen Analyse* die Nutzwerte folgender oder vorangegangener Interaktionen und Aufgaben betrachtet. *Abbildung 73* verdeutlicht an einem modifizierten Prozessausschnitt die Ermittlung von Mehrwerten der Interaktionen: Die Nutzwerte anderer Aufgabenteile und Interaktionen bilden die potentiellen Mehrwerte bei der Durchführung der aktuellen Interaktion. So kann die betrachtete Interaktion durch die Verbindung mit den Mehrwerten die Notwendigkeit einer Interaktion an einer anderen Stelle im Prozess aufheben.

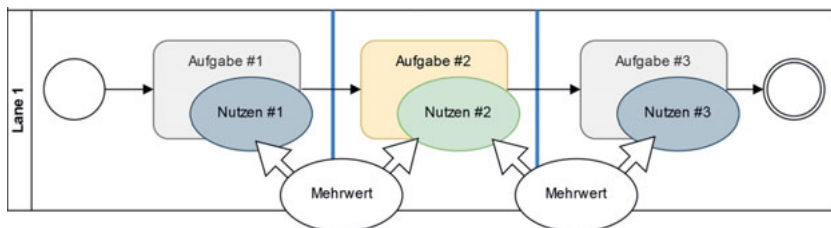


Abbildung 73: Erläuterung zur Bildung von Mehrwerten

Im Szenario der flexiblen modularen Fertigung, auf welcher die Methodenanpassung aufsetzt, soll für jede Aufgabe des Produktionsprozesses eine flexible Ad-hoc-Zuordnung der bearbeitenden Teilnehmer möglich sein. Gerade beim spontanen Tausch und der Möglichkeit, jede Aufgabe und die damit verbundenen Interaktionen von jedem Typ der heterogenen Teilnehmer – Mensch, Maschine und Service – ausführen zu lassen, ist eine effiziente und effektive Kommunikation eine essentielle Anforderung (siehe GA 4.2). Sind aktuelle IT-Systeme und angebundene Maschinen mittels moderner M2M-Kommunikationsprotokolle (siehe Kapitel 2.2.1) in der Lage, eine Vielzahl an Interaktionen sehr schnell sequenziell oder sogar parallel zu bearbeiten, so trifft dies auf den Teilnehmertyp Mensch nur bedingt zu.

Gerade in der zukünftigen Produktionsumgebung wird dem Menschen eine veränderte Rolle innerhalb der Produktion zugeschrieben (*siehe Kapitel 2.1.7*). Die Vielzahl an Informationen an zu treffenden Entscheidungen und ständigen Veränderungen stellt den Menschen vor große kognitive Herausforderungen, welche einen steigenden Einfluss auf die Arbeitsfähigkeit sowie die Quantität und Qualität der Aufgabenerfüllung der Mitarbeiter besitzt [VH08]. Im Fall dieser potentiell hybriden Kommunikations- und Interaktionswege ist bei der Auslegung auf die Bedürfnisse und Fähigkeiten des am wenigsten leistungsfähigen Teilnehmertyps zu achten [Re98] und dieser in seinen Fähigkeiten zu unterstützen. Dieser Grundsatz gilt explizit nicht nur für den Teilnehmertyp Mensch, sondern wird auf alle Typen ausgedehnt und angewendet.

Die übergreifende Informationsrepräsentation der mehrwertbezogenen Informationen erfolgt in der *mehrwertbezogenen Komplexitätsreduktion* analog zum Nutzwertbezug durch die Integration in den *e-Canvas*.

Innerhalb der Informationsdimensionen der Methode (*siehe Kapitel 4.2*) werden in den bisherigen Aufbereitungsschritten mit der Entwicklung des *Interaktionsmusterkatalogs* in der *funktionsbezogenen Komplexitätsreduktion* die *interaktionsmusterbezogene Informationsdimension* und, mit den vier anschließenden Methodenschritten, die *prozessbezogene Informationsdimension* betrachtet. Die folgende *hemmnisorientierte Betrachtung* bildet den *Teilnehmerbezug* innerhalb der Informationsdimension der Methode ab.

Die heterogenen Produktionsteilnehmer besitzen hierbei unterschiedliche Bedürfnisse und Fähigkeiten (*siehe Teilnehmermodell in Kapitel 4.2.2*). Die definierten Aufgaben innerhalb der BPiMN-Prozessbeschreibung sind ihrerseits durch benötigte Fähigkeiten zur Aufgabenerfüllung gekennzeichnet. Eine reine fähigkeitsbasierte Betrachtung mit dem Ziel des Abgleichs der vorhandenen und der benötigten Fähigkeiten kann in komplexen Systemen sehr vielfältig und umfangreich werden, was die Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit (*siehe GA 2.1 und GA 2.2*) einschränkt. Zur Methodenanwendung im Produktionsumfeld wird eine handhabbare Komplexitätsreduktion durch eine Konkretisierung und Fokussierung auf die Hemmnisse – potentielle Problemfelder – erreicht. Daher werden in der *hemmnisorientierten Analyse* die vorhandenen Fähigkeiten der Teilnehmer und die Fähigkeitsanforderung zur Aufgabenerfüllung mit einer umgekehrten Perspektive gegenübergestellt. Ein Hemmnis ergibt sich durch die fehlende Zuordnung einer vorhandenen Teilnehmerfähigkeit zur benötigten aufgabenbezogenen Tätigkeit. Die Ermittlung der Hemmnisse stellt die Fähigkeiten der Teilnehmer in rein digitaler Sichtweise dar, d.h. ein Teilnehmer besitzt eine Fähigkeit oder sie fehlt ihm vollständig. In der Realität sind bei unterschiedlichen Teilnehmern allerdings vielmehr die Fähigkeiten in unterschiedliche Abstufungen zu beobachten. Ausgehend von der Betrachtung menschlicher Teilnehmer ist diese Beobachtung auch auf die Fähigkeiten anderer Teilnehmer wie Maschinen zu übertragen (*siehe Kapitel 4.2.2*; [We17; SLB10]).

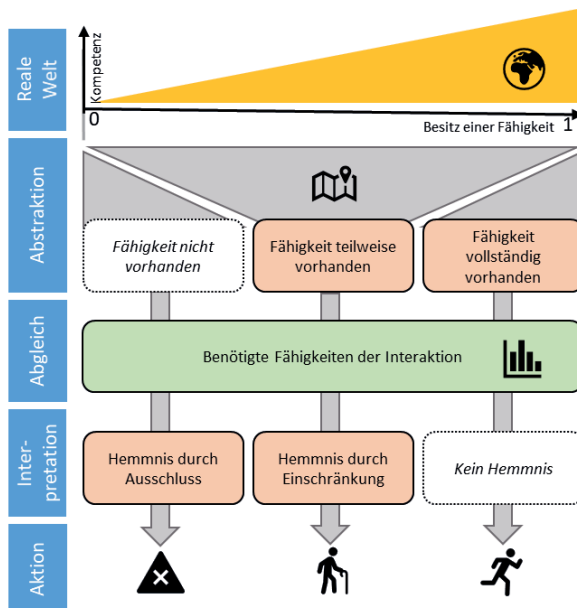


Abbildung 74: Ableitung der Hemmnis-Klassen aus den Teilnehmerfähigkeiten

Die Gewichtung der vorhandenen Fähigkeiten kann in eine Gewichtung der Hemmnisse übertragen werden und bietet eine Lösung zur Abstufung der Fähigkeiten eines Teilnehmers. Die notwendigen Daten und Erfahrungen für eine detaillierte Gewichtung sind allerdings nicht verfügbar, weshalb hier eine abstrakte und vereinfachte Abbildung der realen Fähigkeitsbewertung in den folgenden Fähigkeitskategorien erfolgt:

- Vollständig vorhandene Fähigkeit eines Teilnehmers;
- Teilweise vorhandene Fähigkeit eines Teilnehmers;
- Nicht vorhandene Fähigkeit eines Teilnehmers (wird nicht explizit im Teilnehmermodell modelliert).

Die Herleitung der Hemmniskategorien aus den Teilnehmerfähigkeiten erfolgt gemäß *Abbildung 74* durch einen Abgleich mit den benötigten Fähigkeiten zur Interaktionsdurchführung.

Nach erfolgreicher Extraktion der angeforderten Fähigkeiten aus den Aufgaben bzw. den Prozessinformationen und der verfügbaren Teilnehmerfähigkeiten sowie der folgenden Ermittlung der Hemmnisse nach der oben erläuterten Systematik, werden die ermittelten Informationen in der *hemmnisorientierten Komplexitätsreduktion* im bereits erläuterten e-Canvas hinterlegt. Aus der Perspektive des e-Canvas erfolgt eine weitere Anreicherung mit methodenrelevanten Informationen, welche im Klassendiagramm in *Abbildung 80* dargestellt ist.



Abbildung 75: Klassendiagramm des eCanvas

4.3.1 Erstellung eines Interaktionsmusterkatalogs

Mit der Aufbereitung der akquirierten Informationen (*siehe Kapitel 4.2*) in diesem Kapitel wird ein wesentlicher Schritt zur Automatisierbarkeit der Methodendurchführung erbracht. Der Entwurf einer strukturierten Sammlung der einzelnen Interaktionsmuster führt die Definition der interaktionsmusterbezogenen Informationen in *Kapitel 4.2.3* in diesem Sinne fort. Als Ergebnis des Entwurfs wird der sogenannte *Interaktionsmusterkatalog* erstellt. Die lokalen Anforderungen an diese Informationsaufbereitung werden im Folgenden dargelegt:

Lokale Anforderungen

- **LA 4.1: Systemweite Informationsrepräsentation**

Der Interaktionsmusterkatalog soll die zentrale Informationsrepräsentation der interaktionsmusterbezogenen informationellen Dimension abbilden, weshalb eine systemweite Verfügbarkeit des Katalogs und der darin enthaltenen Informationen sicherzustellen ist (*siehe GA 3.1 und GA 4.1*).

- **LA 4.2: Anwendung offener Industrie 4.0-Datenrepräsentationskonzepte**

Der Interaktionsmusterkatalog beinhaltet exklusiv die interaktionsmusterbezogenen Informationen zur Interaktionsmodellierung und -zuordnung. Die Interaktionen werden entsprechend des jeweiligen Produktionskontexts erfasst. Unterschiedliche

Anwendungsszenarien beinhalten unterschiedliche IT-Tools, die in Koexistenz mit der Interaktionszuordnung stehen. Die Anwendung offener und aktueller Industrie 4.0-Standards wird zur Datenaustauschbarkeit mit Vorgänger- und Nachfolgeprozessen vorausgesetzt. (siehe GA 1.1, GA 3.2, GA 5.1 und GA 5.2)

Entwurf des Interaktionsmusterkatalogs

Der Entwurf des *Interaktionsmusterkatalogs* verfolgt das Ziel, die akquirierten interaktionsmusterbezogenen Informationen in einer zentralen Informationsrepräsentation darzustellen. In Anlehnung an das Konzept der Verwaltungsschale (siehe Kapitel 2.1.5) wird der Katalog als eine übergreifende Verwaltungsschale für das jeweilige Anwendungssetting etabliert. Die einzelnen Interaktionsmuster, die in Abhängigkeit des Produktionskontexts zur Verfügung stehen, werden als Teilmodelle in den Katalog integriert. In *Abbildung 76* werden der *Interaktionsmusterkatalog* als Gesamtheit der integrierten *Interaktionsmuster* und das Zusammenspiel in einer Interaktionszuordnung in einem UML-Klassendiagramm darstellt.

Das übergeordnete Ziel der Methodenadaptation in *Kapitel 4* ist die Methodenadaptation für eine automatisierte Methodendurchführung auf dem Shopfloor eines Produktionsnetzwerks. Die interaktionsbezogenen Informationen werden daher in einer adäquaten maschinenlesbaren Notation im XML-Format hinterlegt. Zur Sicherstellung der übergeordneten Anforderung eines Systems, welches für die heterogenen Teilnehmertypen kompatibel ist, demonstriert das Beispiel die menschenlesbare Informationsanreicherung innerhalb der XML-Notation.

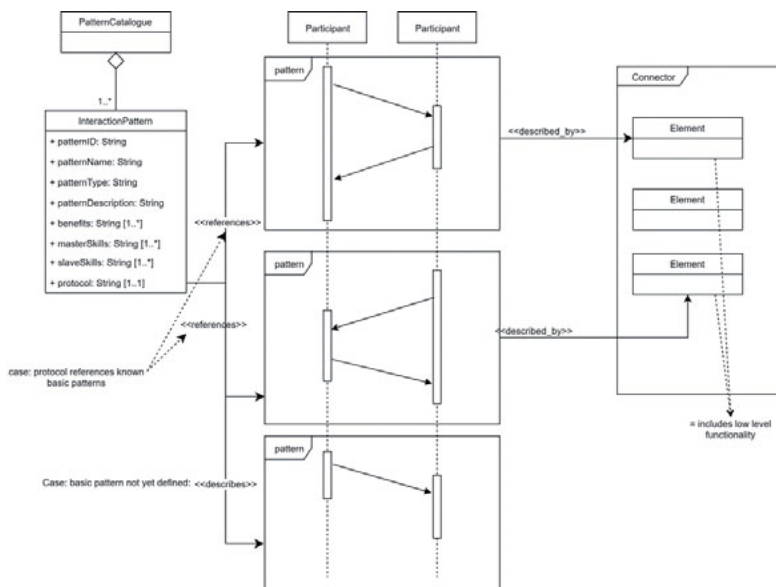


Abbildung 76: Klassendiagramm des Interaktionsmusterkatalogs und dessen Wirkmechanismen

4.3.2 Erweiterung der Prozessinformationen durch semantische Informationsbeschreibung des Nutzwerts einer Interaktion

Die Informationserweiterung der Prozessbeschreibung durch strukturbezogene Informationen in *Kapitel 4.2.1* führt konkret die *Working Packages* und die *Interaktion* als nutzen- bzw. nutzwertorientierte Elemente des in dieser Arbeit entwickelten Konzepts *BPiMN* ein. In diesem Abschnitt wird darauf aufbauend die intentionsorientierte Erweiterung der Interaktionen durchgeführt. Während die erste Stufe der Erweiterung vor allem eine formbezogene Komplexitätsreduktion zur Folge hat (*siehe Kapitel 4.2.1*), wird nun die inhaltsbezogene Komplexitätsreduktion fokussiert, wenngleich mit der Definition der Erweiterung auch formbezogene Strategien zur Komplexitätsreduktion gebildet werden.

Analog zu den Spezifikationen der vorhergehenden Kapitel werden im Folgenden die funktionalen Anforderungen erarbeitet, bevor der Nutzwert mit dem Konzept zur intentionsbasierten Modellierung verbunden und anschließend detailliert in die *BPiMN*-Umsetzung integriert wird.

Lokale Anforderungen

- **LA 5.1: Adäquate Informationsanreicherung der Prozessmodellierung**

Die informationelle Anreicherung der prozessbezogenen Informationen in der strukturierten Prozessbeschreibung ist hinsichtlich Informationsform und Informationsinhalt so vorzusehen, dass der Nutzwert einer Interaktion automatisiert erfasst werden kann (*siehe GA 1.1 und GA 1.2*).

- **LA 5.2: Übersichtlichkeit der Informationsanreicherung**

Auf Grund der Fülle an Prozessinformationen innerhalb der Prozessmodellierung sowie vor allem der Erweiterung der Prozessinformationen ist die Übersichtlichkeit der Informationsanreicherung zu gewährleisten (*siehe GA 2.2*).

- **LA 5.3: Transparenz und Anwendbarkeit der Informationen für heterogene Teilnehmer**

Vor dem Hintergrund der informationellen Erweiterung der Prozessinformationen und durch das Anwendungsfeld der Methode innerhalb eines Produktionsnetzwerks aus heterogenen Teilnehmern ist auf transparente und funktionale Ausgestaltung hinsichtlich der heterogenen Anforderungen und Bedürfnisse der heterogenen Teilnehmer zu achten (*siehe GA 2.1*).

Semantische Beschreibung des Interaktionsnutzens innerhalb des Aufgabenabschnitts in Anlehnung an das i*-Framework

Die *Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer im Produktionsnetzwerk* setzt bereits in der initialen Methodenvariante (*siehe Kapitel 3*) den Nutzen einer Interaktion

als Kriterium ein, welches unabhängig von der konkreten Interaktionsumsetzung und insbesondere von den Interaktionsteilnehmern gebildet wird. In der Entwicklung des *Interaktionscanvas* als zentrales transparentes Werkzeug der Methode dieser Arbeit besitzt der Nutzen der Interaktion eine initiale und wesentliche Rolle (siehe Kapitel 3.4.3).

Der Interaktionscanvas besitzt, wie die gesamte Methode, den Anspruch der Anwendbarkeit für die heterogenen Teilnehmer mit ihren heterogenen Bedürfnissen. Während die Informationsverarbeitung in der initialen Methodenausprägung vor allem auf kreativer menschlicher Arbeitsweise basierte, wird bei der Methodenanpassung eine automatisierte Methodendurchführung verfolgt. Vor diesem Hintergrund sind Lesbarkeit und Interpretierbarkeit der Information mit Nutzwertbezug durch Menschen und Maschinen von hoher Relevanz. Zur semantischen Beschreibung des Nutzens wird daher das Konzept der intentionsbezogenen Prozessmodellierung des *i*-Frameworks* angepasst und in die BPiMN-Struktur integriert (siehe Kapitel 2.3.5). Im Gegensatz zu bestehenden Konzepten zur Zusammenführung der Informationen aus dem *i*-Framework* und BPMN besteht die Besonderheit des hier entwickelten BPiMN-Konzepts darin, ein einziges integriertes Konzept zur Kombination von strukturierten Prozessablauf und intentionsbasierten Informationen zu erzeugen. Das *i*-Framework* bietet Konzepte zur Integration von intentionalen Informationen in die Prozessbeschreibung. Hierbei unterscheidet *i** unterschiedliche Kategorien von Intentionen, die in *Abbildung 77* dargestellt werden. Die strukturellen Erweiterungen in BPiMN werden so gestaltet, dass alle Typen an Intentionen gemäß dieser Aufstellung integriert werden können. In dieser Arbeit wird eine operative Umsetzung für den Typen *Ziel* (engl. *goal*) durchgeführt, da dieser eine direkte Übereinstimmung mit der Definition des Nutzens aufweist.

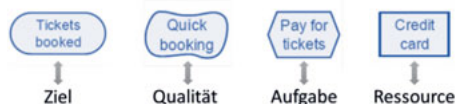


Abbildung 77: Intensionskategorien nach *i** [Ba15, Je11]

Integration der zusätzlichen Informationen in das BPiMN-Modell

Die *grafische Darstellung* wird durch die Einführung eines neuen Objekttyps – dem *Nutzen der Interaktion* – geprägt, welcher an den Typ *Ziel* des bereits beschriebene *i*-Framework* angelehnt ist. Die Intention bzw. der Nutzen der Interaktion wird in *Abbildung 78* in einem grünen Oval dargestellt.

Der Nutzen einer Interaktion ist eindeutig einem Interaktionsverbund zugeordnet und übernimmt daher die *Identifikationsnummer* des Initiators der Interaktion (siehe *Abbildung 65*) inklusive der grafischen Darstellung eines orangenen Kreises mit dicker Umrandung. Die grafische Notation sieht die inhaltliche Beschreibung des *Nutzens* in *menschenlesbarer, semantischer Form* vor, die in dem der Interaktion zugehörigen Oval hinterlegt und strukturell an den Interaktionsweg der Initialinteraktion angegliedert wird.

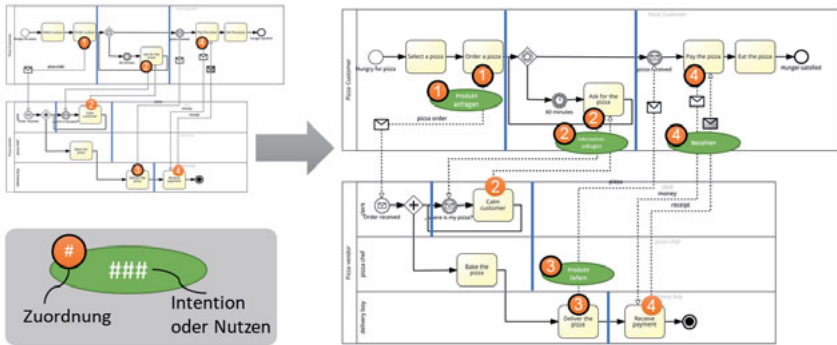


Abbildung 78: Grafische BPiMN Erweiterung durch den Nutzen der Interaktion

Gemäß der Einführung eines neuen Objekttyps in der grafischen Darstellung (Abbildung 78) zur Nutzenbeschreibung einer Interaktion wird in Abbildung 79 die syntaktische Beschreibung in der zugehörigen XML-Notation abgebildet. Wie bereits beschrieben, wird als *Kategorie der Intention* der Typ *Ziel* (engl. *goal*) aufgerufen (siehe Abbildung 77), der von der inhaltlichen Freitextbeschreibung des Nutzens der Interaktion gefolgt wird. Der Nutzen wird in der XML-Repräsentation – analog zur grafischen Notation – dem Initiator zugeordnet, d.h. die Nutzenbeschreibung erfolgt innerhalb der Beschreibung der Initialaktivität zum Interaktionsaufbau.

```
<bpimn:interaction id="Interaction_1" masterRef="WorkingPackage_1">
  <bpimn:benefit id="Benefit_1" name="orderPizza" type="goal" db-id="003">
    </bpimn:benefit>
  </bpimn:interaction>
```

Abbildung 79: XML-Erweiterung durch den Nutzen der Interaktion in BPiMN

4.3.3 Informationsrepräsentation im elektronischen Interaktionscanvas

Der Interaktionscanvas stellt das zentrale Darstellungs- und Synthesewerkzeug innerhalb der initialen Methodenentwicklung (siehe Kapitel 3.7) dar, welcher die Gesamtheit der zur Interaktionsmusterzuordnung notwendigen Informationen übersichtlich und transparent darstellt. Das Werkzeug bietet dem Entwickler (*Teilnehmertyp: Mensch*) eine Unterstützung während der Prozessentwicklung und trägt zur nachvollziehbaren Entscheidungsfindung entscheidend bei. Die Überführung der Methode in die produktive Betriebsphase eines Netzwerks aus heterogenen Produktionsteilnehmern erfordert ein maschinenlesbares Pendant zum Interaktionscanvas mit einem Anwendungsschwerpunkt auf den Menschen – den elektronischen Interaktionscanvas (kurz: *eInteraktionscanvas* oder *eCanvas*). Der eCanvas

bildet, gemäß dem analogen Vorbild, die Gesamtheit der Informationen zur Interaktionsmodellierung und Interaktionsmusterzuordnung ab, was in einer übersichtlichen und nachvollziehbaren Darstellung erfolgt. Nachfolgend werden der funktionalen bzw. lokalen Anforderungen an die Spezifikation des eCanvas erfasst, auf dessen Basis anschließend die Entwicklung der Informationsrepräsentation erfolgt.

Lokale Anforderungen

- **LA 6.1: Systemweite Informationsrepräsentation**

Das technische System, welches die automatisierte Methodendurchführung zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer darstellt, benötigt teilnehmer-, prozess- und interaktionsbezogene Informationen. Die Synthesebildung und Entscheidungsfindung werden in den unterschiedlichen Informationsdimensionen schrittweise und möglicherweise in unterschiedlichen Systemteilen verarbeitet, weshalb eine *systemweit gültige Repräsentation der Informationen* erforderlich ist (siehe GA 2.1 und GA 5.3).

- **LA 6.2: Informationsdarstellung in strukturiertem XML-Format**

Auf Grund von Anforderung LA 6.2 wird der eCanvas an ein etabliertes Datenformat angelehnt, welches eine strukturierte Notation sowie eine Erweiterungsfähigkeit um die notwendigen informationellen Inhalte und deren Informationsklassen ermöglicht (siehe GA 3.2). In der Methodenanpassung und der folgenden prototypischen Implementierung wird die *Informationsdarstellung im eCanvas auf Grundlage der strukturierten XML-Notation* entworfen.

- **LA 6.3: Korrekte Informationsabbildung**

Der *eCanvas* bildet die Gesamtheit aller interaktionsrelevanten Informationen ab und liefert ein systemweites Austauschformat im folgenden Umsetzungskonzept (siehe GA 3.1 und GA 5.2). Die Richtigkeit der Informationen im eCanvas ist daher ein zentrales Kriterium zur adäquaten Methodendurchführung.

- **LA 6.4: Adäquate Einbindung der Teilnehmer auf dem Shopfloor**

Der *eCanvas* ist so zu gestalten, dass die *Teilnehmer* auf dem Shopfloor in einer adäquaten Art eingebunden sind. Die Anforderung beinhaltet die Eignung der Anwendung während der operativen Tätigkeiten zur Wertschöpfung, d.h. alle Teilnehmer müssen im Regelbetrieb in der Lage sein, die Informationen des eCanvas nutzen zu können. Gestaltungsebenen sind die Transparenz der Informationsdarstellung (GA 2.2), die Adaptierbarkeit der Daten (GA 3.2) sowie die Ressourceneffizienz (GA 4.1) hinsichtlich der Teilnehmerressourcen.

- **LA 6.5: Transparenz und Anwendbarkeit der Informationen für heterogene Teilnehmer**

Auf LA 6.2 aufbauend sind gerade die Transparenz und Anwendbarkeit der Informationsrepräsentation für die heterogenen Teilnehmer zu beachten. Die Gestaltung des *eCanvas* erfolgt hinsichtlich der Informationslesbarkeit und Interpretierbarkeit durch den Menschen und die Maschinen (GA 2.1 und GA 2.2).

Strukturierte Informationsrepräsentation der interaktionsbezogenen Informationen

Hinsichtlich der Informationsrepräsentation der Gesamtheit aller notwendigen Informationen zur mehrwertbezogenen Interaktionsmodellierung im *eCanvas* sind zu dessen Entwicklung die formbezogenen und inhaltsbezogen Komplexitätsursachen zu adressieren.

Die übergreifende Darstellung der Inhalte im *eCanvas* hängt maßgeblich von den Ausprägungen der enthaltenen Informationen ab, welche von der analogen Vorlage sowie den ergänzenden Erkenntnissen der bisherigen technischen Ausgestaltung der Methode übertragen werden:

Die Repräsentation der Interaktionsmodellierung ist zur Weiterverwendung in folgenden Prozessschritten *eindeutig identifizierbar* und erfasst *eindeutig die Teilnehmer der Interaktion* (engl. *Participant*). Die mehrwertbezogene Interaktionsmodellierung benötigt initial Informationen zum Nutzenwert bzw. *Nutzen der Interaktion* (*Benefit*) sowie die *Mehrwerte* (engl. *Bonus*), die potentiell durch eine Ausprägung eines Interaktionsmusters entstehen und die *Hemmnisse* (engl. *Restrains*), die die Interaktionsdurchführung behindern könnten. In der weiterführenden Aufbereitung werden die *Interaktionsmuster erfasst*, die den Nutzen der Interaktion potenziell erfüllen. Anschließend werden die Interaktionsmuster hinsichtlich der zugehörigen *Mehrwerte und Hemmnisse bewertet*. Die Gesamtheit der Bewertungen führt zur Gesamtbewertung der potentiellen Interaktionsmuster und schließlich zur *Auswahl eines Musters* zur Interaktionsdurchführung.

Die im *eCanvas* enthaltenen informationellen Inhalte werden im UML-Klassendiagramm in *Abbildung 80* dargestellt, welches mit der übergreifenden Lösungsmodellierung die erste Stufe der formbezogenen Komplexitätsreduktion adressiert.

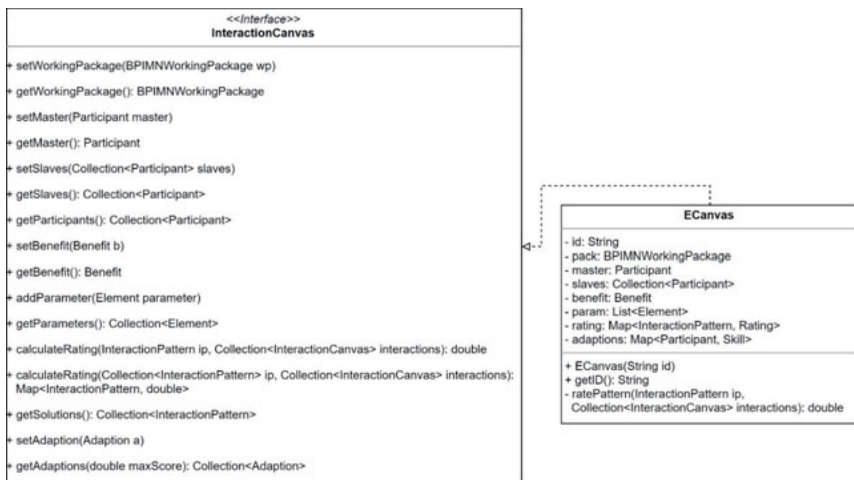


Abbildung 80: Klassendiagramm des *eCanvas*

Der *eCanvas* stellt die Informationsrepräsentation der Methode zur Interaktionsmodellierung dar, welche im gesamten technischen System zur automatisierten Interaktionszuweisung verwendet wird. Diese Funktion impliziert den *eCanvas* als das *Austauschformat* für die diskursive Erarbeitung der Interaktionsmodellierung. Um die systemweite Anwendbarkeit (siehe LA6.1) des Austauschformats zu gewährleisten, wird das *XML-Format* als erweiterbare und etablierte Notation ausgewählt, welches ebenfalls in der intentionsangereicherten Prozessbeschreibung *BPiMN* eingesetzt wird (siehe Kapitel 4.2.1).

Die teilnehmertypenübergreifende Lesbarkeit der informationellen Inhalte ist in der *XML* des *eCanvas* mit der Verwendung von Freitext grundsätzlich gegeben, die allerdings gerade für den Menschen in einer nur unzureichenden Form schwer zu überblicken und erfassen ist. In Erweiterung der *eCanvas* ist daher eine zusätzliche grafische Darstellung der interaktionsbezogenen Informationen zu gestalten (siehe *Interaktionscanvas-Modeler* in Kapitel 4.6).

Der *eCanvas* ist auf Basis der bisher gesammelten Erkenntnisse der Methodenanpassung gestaltet. Die Entwicklung weiterer Konzepte, die aus den Kapiteln der *Synthese* (Kapitel 4.4) und *Finalisierung* (Kapitel 4.5) folgen, besitzen möglicherweise zusätzliche wesentliche informationelle Inhalte, welche nachfolgend in den *eCanvas* integriert werden.

4.4 Entwicklung der Richtlinien zur automatisierten Interaktionsmusteranalyse

Die initiale Akquisition von Informationen zur Methodendurchführung wird in Kapitel 4.2 betrachtet und anschließend in Kapitel 4.3 aufbereitet. Im aktuellen Kapitel werden diese Informationen und Daten hinsichtlich der Zielerreichung der Methodenanpassung und der Anforderungen aus Kapitel 4.1 synthetisiert, d.h. aus der Gesamtheit der informationellen Inhalte werden neue Erkenntnisse zur Zuordnung eines Interaktionsmusters und dessen Parameter gewonnen.

Die *Synthese der Ausgangsinformationen* stellt den hier beschriebenen Bestandteil des *initialen Prozessmodells* dar und wird innerhalb des *konzeptionellen Methodenschemas* in fünf Methodenschritten konkretisiert (siehe Abbildung 81).

In der *interaktionsmusterbezogenen Analyse* werden die Interaktionsmuster aus dem Interaktionsmusterkatalog auf Eignung zur Erreichung der Aufgabenstellung der Einzelaufgabe überprüft. Die Auswahl an potentiell möglichen Interaktionsmustern wird in der *interaktionsmusterbezogenen Synthese* gemäß der Anforderung GA 3.1 in dem Repräsentationssystem des e-Interaktionscanvas beschrieben.

Entsprechend der drei informellen Dimensionen erfolgt nach dem Interaktionsmusterbezug die *hemmnisorientierte Synthese*. Dieser Syntheseschritt bewertet die Relevanz der auftretenden Hemmnisse bei der Durchführung der Interaktion zur Aufgabenerfüllung durch

die definierten Teilnehmer mit ihren definierten Fähigkeiten. Hierbei ist die Relevanz eines Hemmnisses detaillierter zu spezifizieren und wird vereinfacht in *Hemmnisse mit Ausschlusskriterium* für die Interaktion und *Hemmnisse mit Einschränkung* für die Interaktion unterschieden (siehe Abbildung 74).

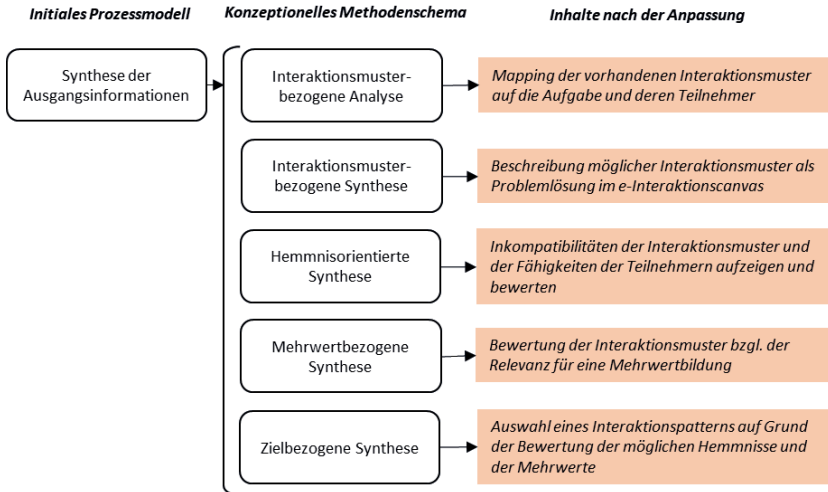


Abbildung 81: Anpassung der Syntheseschritte

Die Hemmnisse, die bei dem möglichen Einsatz eines Interaktionsmusters auftreten, werden in folgender Weise bewertet:

- Die Hemmnisse der Kategorie Einschränkungen H_E ergeben sich aus der Summe aller einzelnen Einschränkungen, die in der betrachteten Interaktion relevant sind.

$$H_E = \text{Anzahl an Einschränkungen}$$

- Die Hemmnisse, die ein Ausschlusskriterium darstellen, H_A werden ebenfalls als Summe über alle relevanten Hemmnisse betrachtet.

$$H_A = \text{Anzahl an Ausschlusskriterien}$$

Auf eine weiterführende detaillierte Gewichtung der einzelnen Hemmnisse wird auf Grund mangelnder Datenbasis ohne Erfahrungswissen durch die praxisnahe Durchführung der Methode verzichtet. Die Information über die Anzahl der zu berücksichtigenden Hemmnisse und Mehrwerte wird direkt aus den Informationen der Aufbereitungsphase (siehe Kapitel 4.3) extrahiert. In der folgenden *mehrwertbezogenen Synthese* findet die Bewertung der einzelnen Interaktionsmuster auf Grund der potentiellen Mehrwerte statt. Die Gesamtheit der Mehrwerte M wird durch die Summe über die Anzahl der einzelnen Mehrwerte einer Interaktion gebildet.

$$M = \text{Anzahl aller Mehrwerte}$$

Analog zu den Hemmnissen wird auch bei der mehrwertbezogenen Bewertung auf eine Gewichtung der einzelnen Hemmnisse auf Grund mangelnder Datenbasis verzichtet.

Innerhalb der *zielbezogenen Synthese* wird mit den Einflüssen der Hemmnisse und der Mehrwerte die Gesamtbewertung eines Interaktionsmusters R_I vorgenommen. Die Bewertungsalgorithmik wird aus Summe aller Mehrwerte M_i , der Summe aller Einschränkungen H_E sowie der Differenz der Ausschlusskriterien H_A gemäß *Formel 1* erstellt.

$$R_I = (1 + M) * \frac{1}{(1 + H_E)} * (1 - H_A)$$

Formel 1: Berechnung der Interaktionsbewertung R_I

Die Gesamtbewertung R_I (Rating der Interaktion) kann unterschiedliche Wertebereiche annehmen. Die Wertebereiche und deren Bedeutung auf die Bewertung werden in *Abbildung 82* erläutert. Liegt mindestens ein Hemmnis mit Ausschlusskriterium vor, ergibt sich der Wert von R_I zu $R_I \leq 0$. Das Vorliegen genau eines Ausschlusskriteriums führt zu einem Wert von $R_I = 0$. Liegen mehrere Ausschlusskriterien vor, wird ein negativer Lösungsbereich erreicht $R_I < 0$. Bei $R_I = 1$ sind die Hemmnisse und Mehrwerte im Gleichgewicht. Im Wertebereich von $0 < R_I < 1$ überwiegen die Hemmnisse den möglichen Mehrwerten, während im Bereich $R_I > 1$ die Mehrwerte gegenüber den Hemmnissen überwiegen.

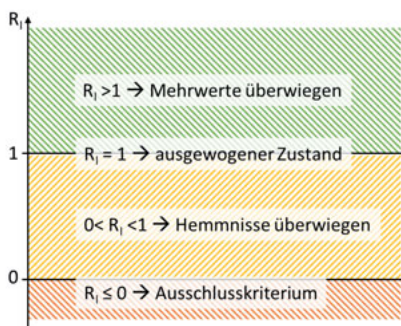


Abbildung 82: Wertebereiche R_I und deren Bedeutung

Ein großer Ratingwert R_I stellt somit ein Interaktionsmuster mit vielen Mehrwerten gegenüber den einziehenden Hemmnissen dar. Die Auswahl eines bevorzugten Interaktionsmusters IM zur Zuordnung einer Interaktion und zur automatisierten Umsetzung der Interaktion wird durch die Auswahl des maximalen Bewertungswerts R_I unter allen zur Verfügung stehenden Interaktionsmustern getroffen.

Der eCanvas wird während der Synthese mit Bezug zu Interaktionsmustern, Hemmnissen, Mehrwerten und zur Zielerreichung schrittweise mit weiteren semantisch beschriebenen Informationen angereichert. In *Abbildung 80*: Klassendiagramm des eCanvas ist in einem UML-Klassendiagramm die Einordnung der Informationen des eCanvas nach der Synthese dargestellt.

4.5 Entwicklung von Ablaufstrukturen zur automatisierten Methodenanwendung

Die Finalisierungsphase ist zusätzlich zu den Fokusphasen der Methodenanpassung (siehe Kapitel 3.1 auf Seite 55) und analog zur Methodenentwicklung in die Methodenanpassung einzufügen.

Zum einen werden in dieser Phase die abschließenden Methodenschritte der *Aufbereitung der Ausgangsinformationen* (siehe Kapitel 4.5.1) durchgeführt, d.h. die Methodenanpassung im Wesentlichen inhaltlich finalisiert. Zum anderen werden wesentliche strukturelle Konkretisierungen durchgeführt, d.h. die *tätigkeitsorientierte Struktur* (siehe Kapitel 4.5.2) und die *ressourcenorientierte Ablaufstruktur* (siehe Kapitel 4.5.3) werden entwickelt.

4.5.1 Aufbereitung der Ausgangsinformationen

Entsprechend der Entwicklungsmethodik zur Methodenentwicklung im *initialen Prozessmodell* werden abschließend die Ausgangsinformationen der Vorgehensweise aufbereitet. Aus den Anforderungen GA5.1 (*Koexistenz zu anderen Systemen*) und GA 2.2 (*Transparenz*) folgt eine Aufteilung auf die *integrationsbezogene* und die *lösungsorientierte Aufbereitung*.

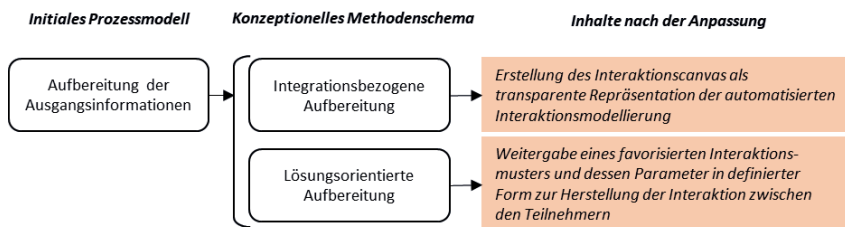


Abbildung 83: Anpassung der Finalisierungsschritte

Die Integration bezieht sich auf die verschiedenen Geschäftsbereiche des Unternehmens und die heterogenen Teilnehmer innerhalb des Produktionsprozesses. Daher wird der Interaktionscanvas aus den digitalen Informationen erstellt, um eine transparente Basis zum gemeinschaftlichen Verständnis der zugeordneten Interaktionswege und somit schrittweise zur Verbesserung des Prozesses zu ermöglichen.

Der lösungsorientierte Ansatz besitzt das Ziel, die getroffene Zuordnung der Interaktionsmuster und der zugehörigen Parameter in einer einheitlichen Form weiterzugeben und für andere Services und Nutzer verfügbar zu machen, was eine systemweite Nutzung der Methode ermöglicht.

4.5.2 Tätigkeitsorientierte Strukturierung

Die in *Abbildung 84* und *Abbildung 85* dargestellten Tätigkeiten stellen analog zur Tätigkeitszuordnung in der Methodenentwicklung in *Kapitel 3.7.1* eine Konkretisierung des angepassten *konzeptionellen Methodenschemas* und dessen Inhalten mit dem Ziel der Methodenanwendbarkeit im Anwendungsfall dar. Der gesamte Entwurf erstreckt sich hierbei über die beiden Darstellungen in *Abbildung 84* und *Abbildung 85*. Grundsätzlich werden in der *tätigkeitsorientierten Strukturierung* eine direkte Zuordnung einer Tätigkeit zu einem einzelnen Schritt des Methodenschemas oder eine Aufgliederung in mehrere Tätigkeiten bzw. eine Vereinigung in mehrere konzeptionelle Methodenschritte zu einer Tätigkeit durchgeführt.

Die Zuordnung der Tätigkeiten erfolgt unter der Berücksichtigung der Anforderungen aus der Analysephase der Methodenanpassung in *Kapitel 4.1*.

Der tätigkeitsorientierten Strukturierung folgt im anschließenden Abschnitt die *ressourcenorientierte Strukturierung*, in welcher die einzelnen Tätigkeitsschritte detailliert beschrieben werden. Daher werden in diesem Kapitel statt der einzelnen Tätigkeiten, verstärkt die Zusammenhänge in der Zusammenführung und Erweiterung von Tätigkeitsschritten näher erläutert. Der Einfluss auf diese tätigkeitsbezogene Strukturierung folgt aus dem spezifischen Bezug der Methodenanpassung zur weitgehendst automatisierten Anwendung im Betrieb der Produktion.

Die *prozessbezogene Analyse der Eingangsinformationen* wird auf Grund von Anforderung *GA 1.1* nach Automatisierbarkeit auf die Prozessbeschreibung reduziert und mit der *systembezogenen Komplexitätsreduktion* zu der Tätigkeit Einzelaufgaben innerhalb des Produktionsprozesses definieren kombiniert (*siehe GA 2.1 – Handhabbarkeit*).

Die folgende *formbezogene Komplexitätsreduktion* mit dem Inhalt, den Produktionsprozess strukturiert zu beschreiben, wird in zwei Tätigkeiten aufgegliedert. Auf Grund der verschiedenen Perspektiven auf die Datensicht (Prozess, Teilnehmer und Interaktion; *siehe Kapitel 4.2*) werden zum einen der Ablauf des Produktionsprozesses strukturiert beschrieben und zum anderen die Teilnehmer erfasst, die an der zu modellierenden Interaktion teilnehmen.

Die fünf nachfolgenden Schritte des konzeptionellen Methodenschemas in *Abbildung 84* werden ohne Erweiterung oder Zusammenführung in Tätigkeiten transformiert. In der anschließenden *mehrwertbezogenen Analyse* werden potentielle Mehrwerte der Interaktion aus der Integration der Nutzenerfüllung anderer Aufgaben (*siehe Abbildung 73*) ermittelt.

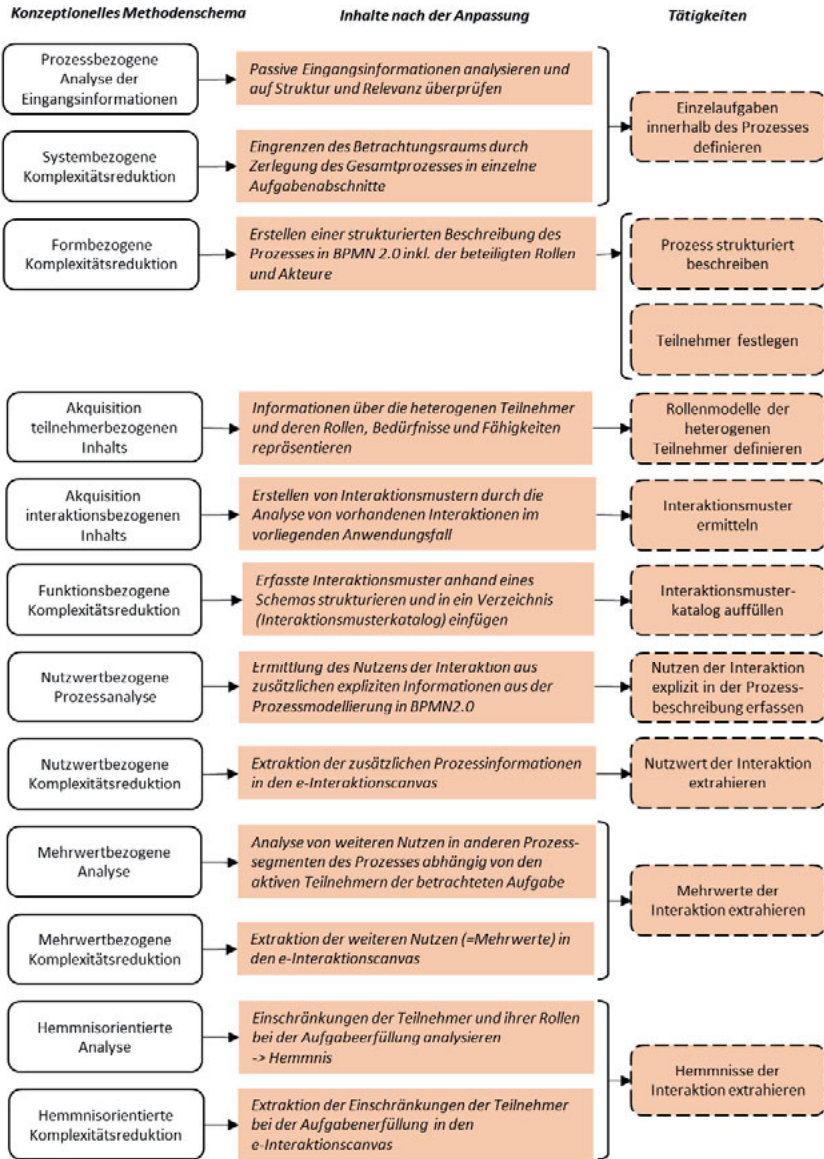


Abbildung 84: Tätigkeitszuordnung in der Methodenanpassung – Teil 1/2 (Akquise und Aufbereitung)

Die *mehrwertbezogene Komplexitätsreduktion* verfolgt das Ziel die Ergebnisse der Analyse in einem übergreifenden Format und in einer systemweiten Beschreibung (siehe GA3.1) darzustellen und verfügbar zu machen. Diese beiden Schritte sind logisch miteinander verknüpft und werden daher in die Tätigkeit *Mehrwerte der Interaktion extrahieren* integriert.

Das Muster der Integration von Analyse und Komplexitätsreduktion wird im folgenden Schritt unter Bezug der *Hemmnisse* (*Hemmnisse der Interaktion extrahieren*; Abbildung 84) erneut angewandt. Der Bezug der *Interaktionsmuster* erfolgt in der *interaktionsmusterbezogenen Analyse*, in welcher mögliche Interaktionsmuster aus dem Interaktionsmusterkatalog der Aufgabenerfüllung zugeordnet werden, und der interaktionsmusterbezogenen Synthese, welche die aggregierten Informationen synthetisiert und im eCanvas verfügbar macht. Die Tätigkeit *Passende Interaktionsmuster definieren* (siehe Abbildung 85) verbindet die Analyse und Synthese zu einem Tätigkeitsschritt.

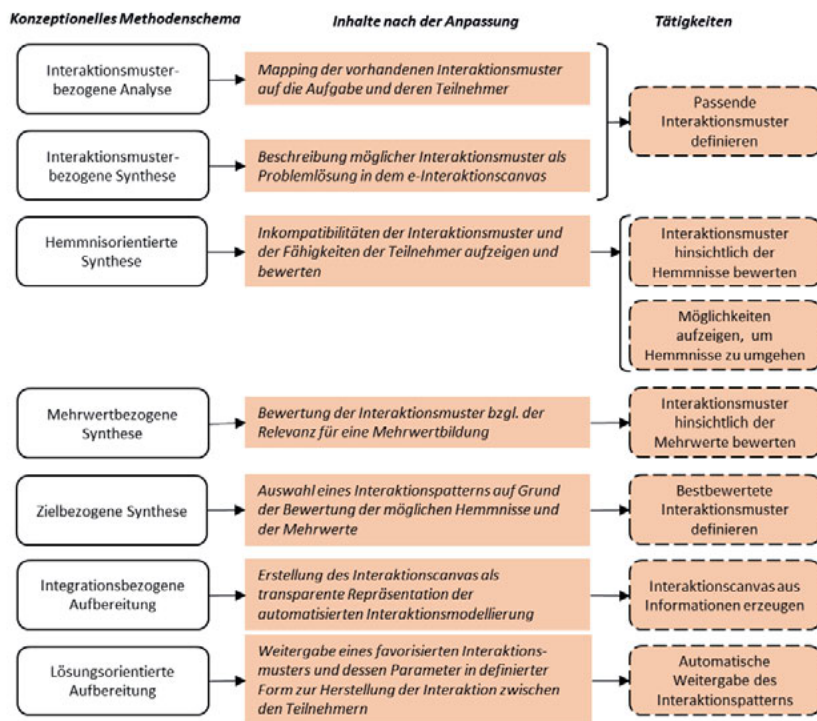


Abbildung 85: Tätigkeitsaufbereitung in der Methodenanpassung – Teil 2/2 (Synthese und Finalisierung)

Der Methodenschritt der *hemmnisorientierten Synthese* zeigt die Inkompatibilitäten zwischen den jeweils notwendigen Fähigkeiten zur Anwendung eines Interaktionsmusters und den vorhandenen Fähigkeiten der involvierten Teilnehmer. Im Wesentlichen wird dieser Inhalt

durch die Tätigkeit *Interaktionsmuster hinsichtlich der Hemmnisse bewerten* abgedeckt. Die generelle Ausrichtung der Methode mit dem Ziel, einer Aufgabe und den Teilnehmern eine adäquate Interaktion zuzuweisen, erfordert eine Erweiterung der Tätigkeiten. Die Vielfalt an möglichen Kombinationen an Aufgaben, Interaktionsmustern und Teilnehmern kann zu dem Ergebnis einer nicht vorhandenen Lösung kommen, was für eine Anwendung im Produktiveinsatz (siehe GA1.2) nicht zielführend ist. Die Erweiterung *Möglichkeiten, um Hemmnisse zu umgehen* ermöglicht eine interaktive und kreative Lösung der Problemstellung unter Einbeziehung der Erfahrung der Mitarbeiter und der lokalen Möglichkeiten in der Produktionsumgebung.

Die Tätigkeiten werden direkt aus den konzeptionellen Methodenschritten gebildet.

4.5.3 Ressourcenorientierte Ablaufstrukturierung

Innerhalb der Finalisierung der Methodenanpassung wird eine Strukturierung hinsichtlich der benötigten Ressourcen durchgeführt. Im klassischen Sinne bestehen die Ressourcen in einem produzierenden Unternehmen aus Gütern, den Maschinen zur deren Weiterverarbeitung und den personellen Ressourcen, welche eine direkte Wertschöpfung oder unterstützende Prozesse durchführen [BHV14].

Im digitalisierten Produktionsunternehmen wird die Sicht auf die Ressourcen noch durch die Daten im Unternehmen und im Speziellen innerhalb der Produktion erweitert [Mo16, KN09]. Die hier entwickelte und angepasste Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in der Produktion integriert die verschiedenen Sichtweisen aus diesem Ressourcenraum zu einem ganzheitlichen Modell. Um die Auswahl und Zuordnung möglicher Interaktionen in Abhängigkeit der zu erfüllenden Aufgabe innerhalb des Produktionsprozesses sowie der Teilnehmer und deren Fähigkeiten effizient realisieren zu können, wird die Methode in ein Phasenmodell überführt (siehe Abbildung 86).

Das Phasenmodell besitzt in vertikaler Ausrichtung drei Phasen, welche sequenziell von oben nach unten durchlaufen werden (*Vorbereitungs-, Zuordnungs- und Lösungsphase*). In horizontaler Ausrichtung werden ebenfalls drei Sichtweisen sequenziell bearbeitet. Die Sichtweisen (*Prozess-, Teilnehmer- und Interaktionsmusterorientierung*) stehen im Allgemeinen für die Abhängigkeiten innerhalb der Durchführung der Methode und wiederholen sich in allen Phasen.

Mit dem 3-Phasenmodell wird auch ein neues Farbschema eingeführt, welches eine leichtere Orientierung in den folgenden Konkretisierungen der Methodenanpassung erlaubt. Eine Besonderheit liegt beim Abschluss der Methode am Ende des Phasenmodells vor. Um die Gesamtheit der Methodenanpassung in einem einzelnen Modell abbilden zu können, wird die *Lösungsphase* um einen *Aufbereitungsschritt* erweitert (siehe Abbildung 85).

Unabhängig von dem entwickelten Modell wird der personelle Ressourceneinsatz innerhalb der produzierenden Unternehmen, gerade in Hochlohnländern in West-Europa, als Optimierungsmaßstab im wirtschaftlichen Sinne angesehen [BHV14].

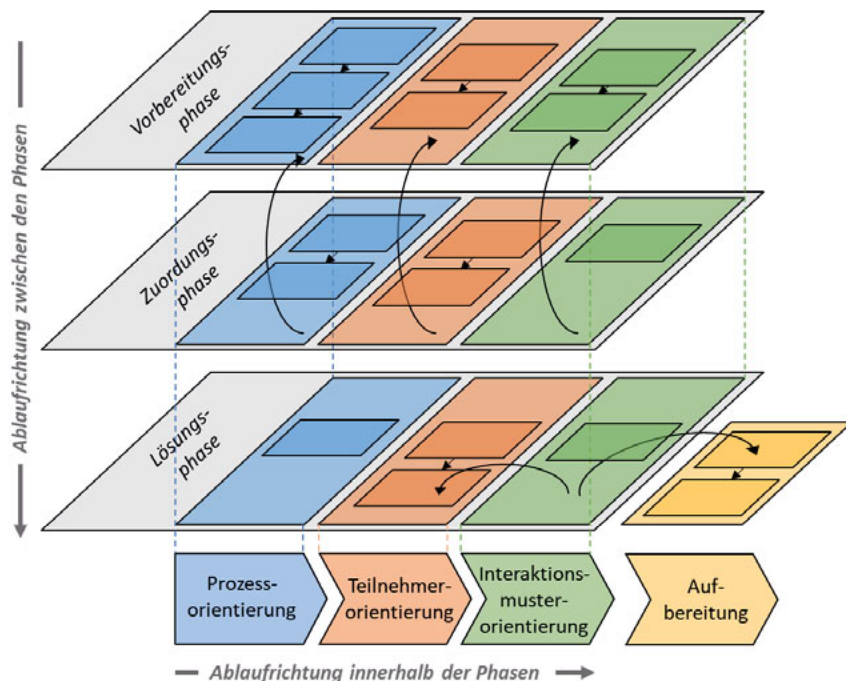


Abbildung 86: Ressourcenorientiertes Ablaufschema

In der entwickelten und auf eine automatische Interaktionszuordnung angepassten Methode nimmt der personalintensive Konfigurations- und Engineering-Aufwand entlang der Methodendurchführung ab. Anhand des Phasenmodells in *Abbildung 87* lässt sich das Maß an notwendigen durch Mitarbeiter zu leistenden Aufwänden darstellen. Während in der *Vorbereitungsphase* der Aufwand für Konfigurationen und Informationsstrukturierungen noch hoch erscheint, werden in der Methoden Anpassung – im Gegensatz zur ursprünglich entwickelten Methode (siehe *Abbildung 59*) – die Aufwände der Mitarbeiter in der folgenden *Zuordnungs- und Lösungsphase* reduziert und automatisiert von IT-Systemen durchgeführt.

Im Folgenden werden die Konkretisierung des Phasenmodells und die Zuordnung der Tätigkeiten innerhalb der einzelnen Phasen anhand der unterschiedlichen Orientierungen in einer gesamtheitlichen Ablaufstruktur (siehe *Abbildung 88*) durchgeführt. Hierbei werden innerhalb der Erläuterung zum Zweck der verbesserten Orientierung immer wieder Verweise zum 3-Phasenmodell aus *Abbildung 86* aufgeführt.

Phase 1 – Vorbereitungsphase

In der ersten Phase, der *Vorbereitungsphase*, werden die benötigten Daten und Informationen zur Anwendung der Methode eingesammelt. Die Phase beinhaltet den oberen Block an *Tätigkeiten in der Ablaufstruktur. Entsprechend der Daten- und Informationsressourcen ist diese Ebene in den Bereich der prozessorientierten, teilnehmerorientierten und interaktionsmusterorientierten Vorbereitung* aufgegliedert.

Während der *prozessorientierten Vorbereitung* wird die erweiterte Modellierung des Produktionsprozesses abgeprüft und gegebenenfalls initiiert. Für den Fall eines nicht adäquat beschriebenen Prozesses sind im ersten Schritt der Prozess in sinnvolle *einzelne Aufgaben* zu zerteilen und die Aufgabenteile zu *definieren*. Im zweiten Tätigkeitsblock ist die Intention bzw. der *Nutzen der Interaktion* des gerade definierten *Aufgabenblocks* zu erfassen. Diese Zusatzinformationen sind explizit zu hinterlegen und werden mittels der vorgeschlagenen Erweiterung der BPMN 2.0 Notation (siehe Kapitel 4.2.1 und Kapitel 4.3.2) erfasst und verfügbar gemacht. Im abschließenden Schritt wird der gesamte *Produktionsprozess* in dieser *strukturierten* und mit Zusatzinformationen erweiterten Notation *beschrieben* – d.h. die Intentionen der Interaktionen in den einzelnen Aufgabenteilen des Prozesses sind über den gesamten Prozess verfügbar.

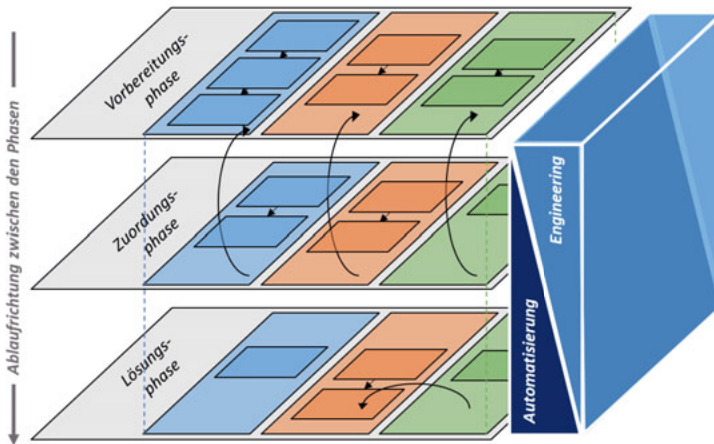


Abbildung 87: Zusammenhang der Phasenzuordnung und den benötigten Ressourcen

In der nachfolgenden *teilnehmerorientierten Vorbereitung* wird die adäquate Beschreibung der heterogenen Prozessteilnehmer abgefragt und im negativen Fall durchgeführt. Die *Festlegung der beteiligten Teilnehmer* stellt den ersten Schritt dar und wird mit der Beschreibung der Teilnehmer nach dem Teilnehmermodell-Template abgeschlossen (siehe *Teilnehmermodelle* in Kapitel 4.2.2).

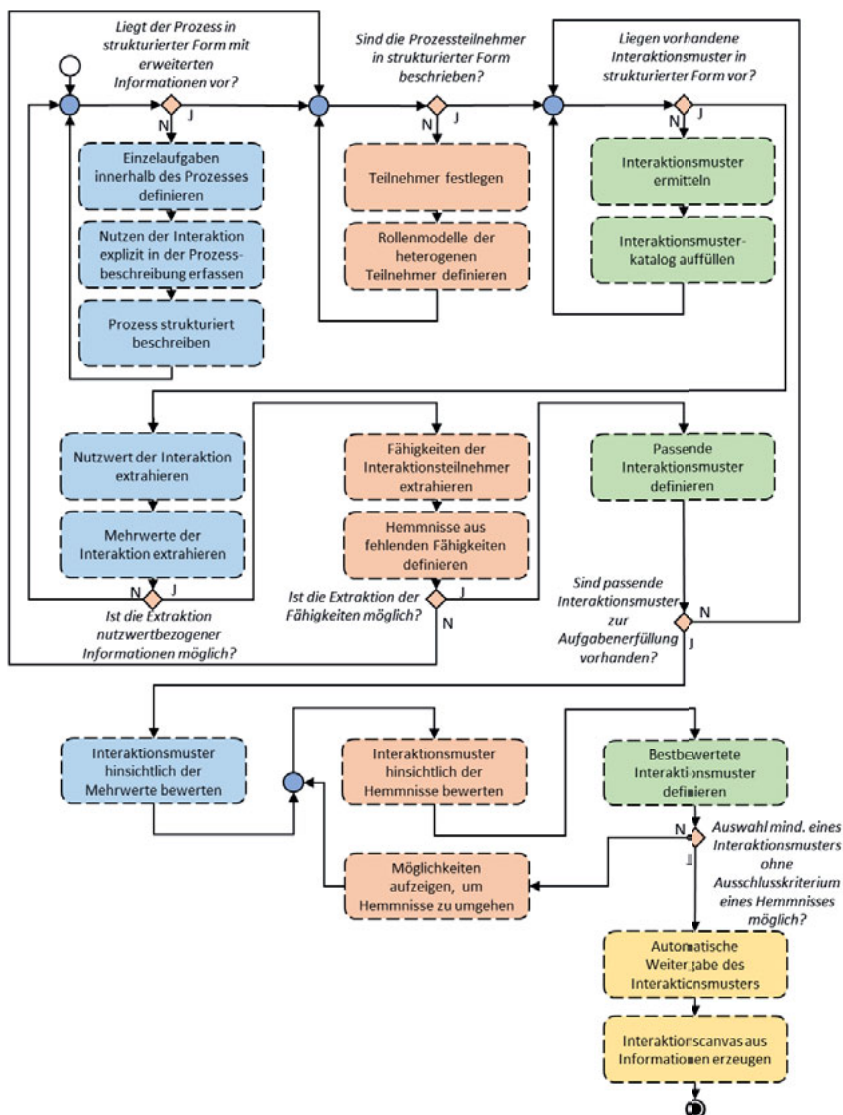


Abbildung 88: Ablaufstruktur der angepassten Methode

Die diese Phase abschließende *interaktionsmusterorientierte Vorbereitung* ermittelt analog zu den beiden vorangegangenen Blöcken die adäquate Beschreibung der benötigten Informationen – hier also die Informationen bezüglich der Interaktionsmuster zur Anwendung in der Methode zur Interaktionszuordnung. Die integrierten Tätigkeiten beschreiben zum

einen das Erfassen der möglichen Interaktionsmuster, welches neben der Bereitstellung eines Standardsets individuell in der jeweiligen Produktionsumgebung erfolgt. Zum anderen werden die erfassten Interaktionsmuster anschließend in einem standardisierten Katalog nach einem vorgegebenen Schema beschrieben und hinterlegt (*siehe Interaktionsmusterkatalog in Kapitel 4.3.1*).

In einem bestehenden Produktionsumfeld, in welchem sowohl die Produktionsprozesse, die Teilnehmer sowie die grundsätzlichen Interaktionsmöglichkeiten bekannt und strukturiert beschrieben sind, kann die gesamte Vorbereitungsphase übersprungen werden. In der Ablaufstruktur wird dies durch die initialen Fragestellungen im oberen Bereich abgebildet.

Hinsichtlich des Ressourceneinsatzes innerhalb des produzierenden Unternehmens hat dies im eingeschwungenen Tagesgeschäft einen entscheidenden Einfluss. Das Szenario eines schnellen Wechsels der unterschiedlichen Teilnehmer innerhalb der Produktion profitiert entscheidend davon.

Phase 2 – Zuordnungsphase

Die in der vorangegangenen *Vorbereitungsphase* gesammelten und aufbereiteten Informationen werden in der folgenden *Zuordnungsphase* den einzelnen Bereichen der mehrwerteorientierten Interaktionsmodellierung zugeordnet. In diesem Bereich bestehen direkte Verbindungen zum Interaktionscanvas, der auch in der Methodenanpassung in einer elektronischen Version gepflegt und als transparentes Werkzeug angewandt wird.

Gemäß dem 3-Phasenmodell wird die *Zuordnungsphase* ebenfalls durch die drei verschiedenen Perspektiven (*Prozess-, Teilnehmer- und Interaktionsmusterorientierung*) geprägt.

Der erste Tätigkeitsblock bearbeitet die *prozessbezogene Informationszuordnung* in der Interaktionsmodellierung. Entsprechend des Interaktionscanvas in *Abbildung 89* stellen die Tätigkeiten *Extraktion des Nutzwerts einer Interaktion* und *Extraktion der Mehrwerte der Interaktion* die Felder *c* und *d* dar. Während der Nutzen der Interaktion direkt aus der Intention bei der Erfüllung der einzelnen Aufgabe extrahiert wird, werden die Mehrwerte der Interaktionen aus der potentiellen Erfüllung zusätzlicher folgender oder zurückliegender Einzelaufgaben innerhalb des Produktionsprozesses generiert (*siehe Kapitel 4.3*).

Der zweite Tätigkeitsbereich der zweiten Prozessphase ist im Wesentlichen eine *teilnehmerorientierte Informationszuordnung*. Die *Fähigkeiten der festgelegten Teilnehmer* werden hierbei im ersten Arbeitsschritt aus den hinterlegten standardisierten Teilnehmermodellen *extrahiert*. Anschließend werden aus den vorhandenen Teilnehmerfähigkeiten und den benötigten Fähigkeiten zur *Durchführung der Interaktionen* bei der Aufgabenerfüllung die *Hemmnisse ermittelt*. Hierzu werden die vorhandenen Fähigkeiten der Prozessteilnehmer auf die benötigten Fähigkeiten der Interaktion der Aufgabe gemappt. Aus der Nichterfüllung einer benötigten Fähigkeit folgt ein Hemmnis zur Durchführung der Interaktion.

Die Interaktionsmusterorientierung prägt den folgenden dritten und abschließenden Tätigkeitsschritt der Zuordnungsphase. Hier werden aus dem standardisierten Interaktionsmusterkatalog (siehe *Interaktionsmusterkatalog* in Kapitel 4.3.1) mögliche *Interaktionsmuster* definiert, welche als Interaktion die jeweilige Aufgabenerfüllung ermöglichen. Folglich wird folgende Frage in diesem Schritt beantwortet: Welche Interaktionsmuster erfüllen den Nutzen der Interaktion bei der Aufgabenerfüllung? Im Interaktionscanvas (Abbildung 89) entspricht dieser Schritt dem ersten Bereich auf der linken Hemisphäre (Feld *f*) und ist somit der direkte Lösungsansatz des Nutzwertes der Interaktion (Feld *c*).

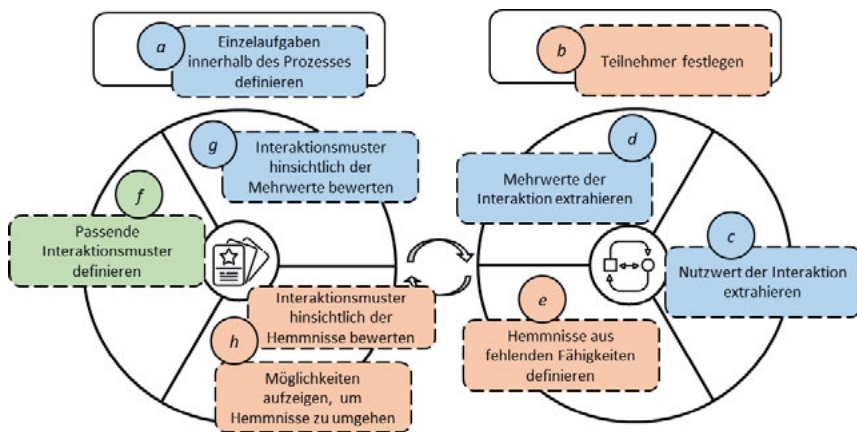


Abbildung 89: Zuordnung der Tätigkeiten in den Interaktionscanvas

Den drei Tätigkeitsbereichen der Zuordnungsphase innerhalb der Ablaufstruktur ist die Abfrage nach der Möglichkeit der Informationsextraktion und -verarbeitung nach jedem Tätigkeitsbereich mit einer unterschiedlichen Orientierung gemein. Wird an dieser Gabelung die korrekte Informationsnutzung bestätigt, wird die Bearbeitung der nachfolgenden Tätigkeiten mit einer anderen Perspektive ermöglicht. Sind die Informationsextraktion und -nutzung nur unzureichend möglich springt der Ablauf auf die jeweils gleiche Orientierung in der Aufbereitungsphase zurück. Diese Rückkopplung (siehe Abbildung 86: Pfeile von mittlerer zu oberer Ebene und Abbildung 88: einzelne Gates mit Verbindungen zu oberen Tätigkeitsbereichen) stellt die Korrektheit der zugeordneten Daten sicher und gibt gleichzeitig die Möglichkeit, agil auf stark veränderte Bedingungen in der laufenden Produktion reagieren zu können – gerade wenn von einer nicht benötigten Aufbereitungsphase im Produktionsalltag ausgegangen wird.

Phase 3 – Lösungsphase

Die abschließende dritte Phase stellt die *Lösungsphase* des Modells dar. Analog zu den beiden vorangegangenen Phasen werden erneut die verschiedenen Orientierungen auf die

Informationen zur Interaktionsmodellierung und -zuordnung erarbeitet; in der *Lösungsphase* handelt es sich um die Bewertung und Auswahl.

Die *prozessorientierte Sicht* bewertet hierbei die potentiellen Interaktionsmuster mit Hinblick auf die Mehrwerte, die sich durch die Auswahl eines Musters ergeben können. Je mehr Mehrwerte durch ein Interaktionsmuster ermöglicht werden, desto höher ist die Bewertung dieses Musters in diesem Schritt. Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise zur Bewertung ist in *Kapitel 4.4* beschrieben. In Bezug auf den Interaktionscanvas ist diese Tätigkeit dem Feld *g* (siehe *Abbildung 89*) zugeordnet.

Der folgende Tätigkeitsblock beschreibt die *teilnehmerorientierte Lösungsphase*, in welcher die möglichen Interaktionsmuster aus der *interaktionsmusterbezogenen Zuordnungsphase* hinsichtlich der Einschränkungen der Hemmnisse der Interaktionsteilnehmer bewertet werden. Grundsätzlich führt eine große Anzahl an Hemmnissen zu einer negativen Bewertung eines Interaktionsmusters (siehe *Beschreibung in Kapitel 4.4*). Die Bewertung entspricht dem Feld *h* im Interaktionscanvas und bildet damit das Pendant zu Feld *e*, in welchem die Hemmnisse der Teilnehmer ermittelt werden. Die teilnehmerorientierte Lösungsphase besteht aus einem zusätzlichen Tätigkeitsbaustein, welcher allerdings in der Ablaufstruktur als Alternative nach dem abschließenden Tätigkeitsbereich ausgeprägt ist und erst im Folgenden beschrieben wird.

In der abschließenden *interaktionsmusterorientierten Lösungsphase* werden die Bewertungen aus den beiden vorangegangenen Lösungsschritten der *Prozess- und Teilnehmerorientierung* zu einer Gesamtbewertung der Interaktionsmuster für die Nutzwertbefriedigung in diesem Aufgabenschritt kombiniert und weiterverarbeitet (siehe *Formel 1 in Kapitel 4.4*). Auf Grund der unterschiedlichen Gewichtung und Ausprägungen der Hemmnisse ist in bestimmten Konstellationen von Aufgabe, Nutzwert, Interaktionsmuster und Teilnehmer eine realisierbare Zuordnung nicht möglich. Für diesen Fall findet nach dem Gate – *Auswahl mind. eines Interaktionsmuster ohne Ausschlusskriterium eines Hemmnisses möglich?* – ein zusätzlicher alternativer Tätigkeitsschritt statt, welcher einen Sprung zurück in die teilnehmerorientierte Lösungsphase durchführt. In dem zusätzlichen Tätigkeitsschritt werden *Möglichkeiten aufgezeigt, das Hemmnis zu umgehen*. Nach der Auswahl solcher Strategien wird eine erneute Bewertung der Interaktionsmuster hinsichtlich der Hemmnisse und in der schließlich erneut folgenden Tätigkeit hinsichtlich der gesamten Kriterien durchgeführt.

Der Tätigkeitsschritt des *Aufzeigens von Maßnahmen, um Hemmnisse zu umgehen*, ist ein Micro-Problemlösezyklus und wird innerhalb der Methode zur Interaktionsmodellierung durch Kreativität und Erfahrung der Mitarbeiter vor Ort oder im Engineering gelöst. Daher ist eine transparente Zuordnung zu den Interaktionseinflüssen zwingend notwendig. Dieser Anforderung wird durch eine Integration in den Interaktionscanvas (siehe *Feld h*) entsprochen. Die Nutzbarkeit des digitalen Interaktionscanvas zur Maßnahmenbearbeitung bei der Hemmnisumgehung stellt somit eine Anforderung an eine prototypische Implementierung dar.

So wird beispielsweise während der Interaktionsmodellierung innerhalb einer Interaktion eine elektronische Informationswiedergabe an einem Bildschirm vorgeschlagen. Sollte mindestens einer der beteiligten Teilnehmer allerdings keine Möglichkeit zu einer solchen Darstellung besitzen, werden im gerade beschriebenen Tätigkeitsschritt nun Möglichkeiten gesucht, entwickelt und aufgezeigt, um das Hemmnis zu entkräften und das Ausschlusskriterium zu umgehen. Eine Lösung können die Ausstattung des Teilnehmers mit einem Smart Device oder die temporäre Verlagerung des Arbeitsplatzes an einem Computerarbeitsplatz darstellen.

Als Besonderheit und in Unterscheidung zu den vorangegangenen Phasen findet anschließend eine *finale Aufbereitung der Ausgangsinformationen* für eine externe Weiterverarbeitung statt (siehe *Aufbereitungsphase* in *Abbildung 86*). Diese Aufbereitungsphase entspricht, in Anlehnung an die globalen und lokalen Anforderungen, den Bedürfnissen zur nachfolgenden Weiterverwertung der Methodenergebnisse.

4.6 Entwicklung der funktionsorientierten Systemstruktur

Unter Berücksichtigung der *globalen Anforderungen* (siehe *Kapitel 4.1.4*) sowie der – aus der Methode zur Interaktionsmodellierung abgeleiteten – *funktionalen Anforderungen* der einzelnen funktionalen und informationellen Bausteine (siehe *Kapitel 4.2.1 bis 4.2.3* und *Kapitel 4.3.1 bis 4.3.3*), wird in diesem Abschnitt eine *funktionsorientierte Systemstruktur* entworfen. Die *Systemstruktur* stellt den technischen Entwurf zur Erfüllung der *operativen Gesamtaufgabenstellung* (siehe *Kapitel 4.1.2*) – der automatisierten Durchführung der Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in der Produktion (siehe *Kapitel 4.5.3*) – dar.

Gemäß der Gestaltungsvorgehensweisen des Systems Engineerings wird die Systemstruktur im Top-down-Verfahren entworfen [Ei16]. Die diskursive Vorgehensweise zum Entwurf des funktionalen Systems wird entsprechend des Gestaltungsparadigmas *Separation of Concerns (SoC)* durchgeführt, welches die teilbaren Aufgaben- und Funktionsbereiche separiert. Neben dem Ansatz der Komplexitätsreduktion wird auch die Möglichkeit der arbeitsteiligen Ausgestaltung und der Gestaltung hinsichtlich der Wiederverwendbarkeit der einzelnen Systemkomponenten durch das Paradigma unterstützt. Auf der *Anforderungsdefinition* aufbauend werden hierfür die *lokalen Aufgaben- und Funktionsbeschreibungen* erstellt, welche wiederum zu den *logischen Architekturelementen* führen und zur *Gesamtstruktur* aggregiert werden [We18].

Der Vorgehensweise folgend werden nun die *logischen Architekturelemente* der technischen Gestaltung der Methode zur Interaktionsmodellierung beschrieben. Die logischen Architekturelemente bilden die grundlegenden Funktionsblöcke zur Aufgabenerfüllung auf einem hohen Abstraktionsniveau ab, d.h. die zur späteren prototypischen Implementierung notwendigen detaillierten technischen Spezifikationen werden in diesem Schritt nicht betrachtet. Die

operative Aufgabenstellung und die globalen Anforderungen liefern folgende übergreifende Funktionalitäten:

Automatisierte Interaktionsmusterzuordnung

Zur Integration der neuartigen Methode in den wandlungsfähigen Produktionsprozess ist eine automatisierte Durchführung der Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer zu ermöglichen. Um hierbei automatisiert adäquate Interaktionsmuster zuzuordnen, wird ein Funktionsblock entworfen, der auf Basis der gesammelten Informationen mit Teilnehmer-, Prozess- und Interaktionsbezug eine Entscheidungsfindung durchführt. Der sogenannte *Interaktions-Match-Maker* stellt diese Funktion bereit und basiert auf der Entscheidungslogik eines Bewertungsalgorithmus (siehe Kapitel 4.4). Eine hohe Anzahl an Mehrwerten eines potentiellen Interaktionsmusters bewirkt eine verbesserte Eingruppierung, während eine hohe Anzahl an Hemmnissen zu einer Herabstufung führt. Das Auftreten eines Hemmnisses mit Ausschlusskriterium führt dagegen direkt zum Ausschluss des Interaktionsmusters, welches mit Hilfe von Strategien zur Hemmnisumgehung adaptiert werden kann (siehe Funktion: *eCanvas-Modeler*). Hinsichtlich der Methode zur Interaktionsmodellierung werden die wesentlichen Methodeninhalte im Funktionselement des Interaktions-Match-Makers integriert, weshalb dieser als zentrale Einheit verstanden werden kann.

Die Anforderungen aus der Funktionsbeschreibung des *Interaktions-Match-Makers* werden in der folgenden Auflistung der **lokalen Anforderungen** zusammengefasst:

- **LA 7.1: Korrekte Extraktion der akquirierten Informationen**
- **LA 7.2: Korrekte Funktion der Interaktionsmusterzuordnung**
- **LA 7.3: Hinreichende Performance der Zuordnung zur Anwendung im Produktivbetrieb**
- **LA 7.4: Handlungsstrategien bei unzureichender Informationslage**

Adäquate Integration der heterogenen Teilnehmer

Die wandlungsfähige Produktion ist durch die konkrete Ausprägung eines Netzwerks von heterogenen Produktionsteilnehmern bestimmt, welche vor allem durch ihre unterschiedlichen Fähigkeiten und Bedürfnisse charakterisiert werden. Diese Heterogenität liefert Komplexitätsursachen hinsichtlich des Informationsflusses, der Informationsform und des Informationsinhalts. Das Netzwerk aus heterogenen Produktionsteilnehmern ist bezüglich der möglichen Netzwerkteilnehmer nicht abschließend definiert, um einen Möglichkeitsraum auszuspannen, der durch nicht absehbare technische Weiterentwicklung nicht eingeschränkt ist. Vielmehr ist die methodische Ausgestaltung der Interaktionsmodellierung eine abstrakte Vorgehensweise, um die unterschiedlichen Teilnehmer und deren Fähigkeiten zu integrieren (siehe GA5.2). Zum einem wird die Funktion der adäquaten Integration der heterogenen Teilnehmer durch die Lesbarkeit und Interpretierbarkeit der interaktionsbezogenen Informationen für alle Teilnehme bewältigt. Zum anderen stellt jeder Teilnehmer eine

potentiell andere Schnittstelle dar, die mit Hilfe des *Interaktionskonnektors* bereitgestellt wird. Bei den Teilnehmertypen Maschine und Service werden zur Maschine-zu-Maschine-Kommunikation etablierte webbasierte Technologien sowie gängige Industrie 4.0-Standards vorausgesetzt (*siehe Kapitel 2.1.4 und Kapitel 2.2.1*). In der Verbindung der Methode zum Teilnehmertyp Menschen wird ein Mensch-Maschine-Interface (*siehe Kapitel 2.2.3*) mit dem Schwerpunkt der Interaktionsdurchführung in diesem Funktionselement abgebildet. Das Ziel des *Interaktionskonnektors* ist unter Berücksichtigung der Möglichkeiten der Teilnehmer eine intuitive Interaktion zwischen allen eingebundenen Teilnehmern einer Interaktion auf dem Shopfloor zu ermöglichen. In Anlehnung an die Usability eines sozialen Netzwerks (*siehe Kapitel 2.2.3*) werden durch den *Interaktionskonnektor* eine einfache und adäquate Informationsversorgung sichergestellt und die Interaktionen in der Produktion effektiv gestaltet.

Lokale Anforderungen an den Interaktionskonnektor:

- **LA 8.1: Bereitstellung teilnehmergerechter Schnittstellen**
- **LA 8.2: Unterstützung von Industrie 4.0-Kommunikationsstandards (OPC UA und AMQP)**
- **LA 8.3: Bereitstellung einer intuitiven Bedienung (Mensch-Maschine-Interface)**

Transparente Darstellung des Entscheidungsprozesses

Die Anwendung der automatisierten Methode stellt ein Werkzeug auf dem Weg zur autonomen Produktion dar. Die nahtlose Integration der heterogenen Produktionsteilnehmer mit unterschiedlichen Fähigkeiten und Bedürfnissen ist hierbei ein kritischer Pfad, der durch die notwendige Akzeptanzbildung bezüglich Methodendurchführung auf dem Shopfloor ausgedrückt wird. Gerade der Mensch als Produktionsteilnehmer nimmt bei der Anwendung der Methode eine besondere Rolle ein (*siehe Kapitel 2.1.7*), da die technische Ausprägung und die implizierte Entscheidungsfindung primär als informationstechnisches System entworfen werden. Die diversen Rollen der Mitarbeiter in der Produktion implizieren zusätzlich eine unterschiedliche Qualifikation und unterschiedliches Maß an technischem Verständnis der einzelnen Komponenten. Der *eCanvas-Modeler* stellt auf Basis der semantischen Beschreibung eine grafische Repräsentation des Interaktionscanvas und somit der gesamten Informationen, die zur Entscheidungsfindung führen, dar. Der Mitarbeiter hat über den *eCanvas-Modeler* jederzeit die Möglichkeit relevante Informationen abzurufen und gegebenenfalls auch anzupassen, d.h. der *eCanvas-Modeler* stellt ein niedrigschwelliges methodenbezogenes Mensch-Maschine-Interface dar und trägt maßgeblich zur Akzeptanzbildung und vertrauensbildenden schrittweisen Automatisierung der Interaktionsmodellierung bei (*siehe Kapitel 2.2*). Sollten durch den Match-Maker keine Interaktionsmuster ausgewählt werden können, da die Kombination aus Teilnehmer, Produktionskontext und Interaktionsmuster zu Hemmnissen mit Ausschlusskriterium (*siehe Kapitel 4.5*) führt, so werden durch den *eCanvas-Modeler* potentielle Strategien zur Hemmnisumgehung ausgewählt. Der *Modeler* integriert somit ebenfalls die Funktion der

Adaption des *eCanvas* und stellt somit die erfolgreiche Methodendurchführung und Interaktionsmusterzuordnung sicher. Die Auswahl geeigneter Strategien zur Hemmnisumgehung beruht auf Informationen, die in komplexen Relationen zueinanderstehen. Die Zuordnung adäquater Strategien erfolgt durch Informationsrepräsentation in einer Ontologie.

Lokale Anforderungen an den Interaktionscanvas-Modeler:

- **LA 9.1: Bereitstellung eines Interfaces speziell für menschliche Teilnehmer**
- **LA 9.2: Intuitive und niedrigschwellige Möglichkeit zur Adaption des eCanvas**
- **LA 9.3: Kompatibilität mit dem eCanvas**

Systemweite Informationsrepräsentation

Der technische Entwurf der Methodendurchführung sieht unterschiedliche Funktionsblöcke sowie eine Integration in andere Prozessschritte und Werkzeuge der Produktionsprozessentwicklung vor (*siehe Kapitel 3.3.1 und Kapitel 4.1.1*). Zusätzlich basiert die Methode auf informationeller Ebene auf den teilnehmer-, prozess- und interaktionsbezogenen Informationen, die zu einer Entscheidungsfindung extrahiert werden. Auf Grund der unterschiedlichen Informationsdimensionen und der mehrfachen Verwendung der Informationen in unterschiedlichen Funktionselementen der Systemstruktur werden die *systemweit anwendbaren Informationsrepräsentationen* ausgeprägt. Die *prozessbezogenen Informationen* werden in Form der mit semantischen Informationen angereicherten strukturierten Prozessbeschreibung *BPiMN* dargestellt (*siehe Kapitel 4.2.1 und 4.3.2*). Die teilnehmerbezogenen Informationen sind in den *Teilnehmermodellen* (*siehe Kapitel 4.2.2*) beschrieben, welche die individuellen Informationen in Anlehnung an das Konzept der Verwaltungsschale repräsentieren und die vorhandenen Fähigkeiten integrieren. Die interaktionsmusterbezogenen Informationen werden zunächst für jedes *Interaktionsmuster* standardisiert erfasst (*siehe Kapitel 4.2.3*) und anschließend als Gesamtheit aller zur Verfügung stehenden *Interaktionsmuster* im *Interaktionsmusterkatalog* gesammelt und zur weiteren Verwendung bereitgestellt (*siehe Kapitel 4.3.1*). Um eine adäquate Interaktionszuordnung und die Nutzung, Darstellung und Adaption der interaktionsbezogenen Daten zu gewährleisten, ist auf die parallele Nutzung von Duplikaten unterschiedlicher Reversionen zu achten. Der eCanvas ist die digitale Variante des analogen Interaktionscanvas und repräsentiert somit die Gesamtheit aller zur Interaktionsmodellierung notwendigen Informationen und Daten (*siehe Kapitel 4.3.3*). Zum adäquaten Informationsaustausch zwischen den einzelnen Systemkomponenten wird der eCanvas als adäquates Austauschformat integriert.

Die *funktionalen bzw. lokalen Anforderungen* an die *Informationsrepräsentationssysteme* wurde im Einzelnen bereits in *Kapitel 4.2.1 - 4.2.3* und *Kapitel 4.3.1 - 4.3.3* entworfen und erläutert. Die beschriebenen Funktionen bilden direkt die logischen Architektur- bzw. Systemelemente ab und entsprechen den Partialmodellen der Referenzmodellentwicklung nach [Ga14]. Die Systemelemente werden demnach im Folgenden zur funktionalen

Gesamtsystemstruktur kombiniert. Die Darstellung der gesamten Systemstruktur geschieht in mehreren Schichten, die unterschiedliche Perspektiven enthalten. Ausgehend vom ganzheitlichen Ansatz zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer steht die Integration der Teilnehmer mit der Darstellung der Heterogenität hinsichtlich des Teilnehmertyps (Mensch, Maschine und Service) im Fokus der Ebene der Anwender (*obere Schicht in Abbildung 90*).

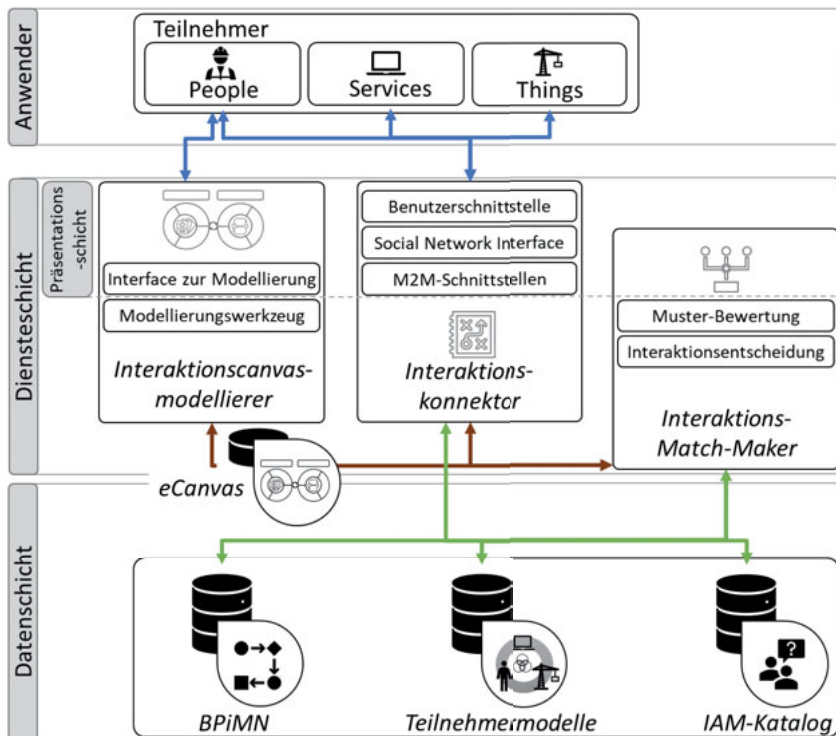


Abbildung 90: Funktionale Systemstruktur der automatisierten Methodendurchführung

Die Entscheidungsfindung der automatisierten Methodendurchführung substituiert das Expertenwissen zum Zeitpunkt der angeforderten spontanen Interaktionsmodellierung und -zuordnung auf dem Shopfloor durch Daten- und Informationsspeicher, die das vorgelagert erfasste Expertenwissen bereitstellen. Die Informationen werden im *Interaktionsmusterkatalog*, der Sammlung der *Teilnehmermodelle* sowie der Informationsanreicherungen in den *Prozessbeschreibungen (BPiMN)* extrahiert (*untere Schicht in Abbildung 90*). Diese quasi-statischen Informationsrepräsentationen ergänzend, wird der *eCanvas* eingesetzt, um die interaktionsbezogenen Informationen der schrittweisen Modellierung innerhalb der aktiven Dienste und zwischen den unterschiedlichen Schichten

der Systemstruktur auszutauschen. Der *eCanvas* bildet somit eine dynamische Informationsressource.

Die wesentlichen Funktionen des technischen Gesamtsystems, die eine automatisierte Interaktionszuordnung umsetzen, werden in der Diensteschicht in die Systemstruktur integriert (*mittlere Schicht in Abbildung 90*). In dieser Schicht werden die Informationen der *Datenschicht* verarbeitet, um die Bedürfnisse der Nutzer bestmöglich erfüllen zu können. Die Systemelemente des *Interaktionscanvas-Modelers*, des *Interaktionskonnektors* und des *Interaktions-Match-Makers* bilden die Komponenten der Diensteschicht. Wie bereits erläutert, wird die Interaktion zwischen diesen Systemelementen über den *eCanvas* ermöglicht (*braune Verbindungslinien in Abbildung 90*), der im Publish-und-Subscribe-Verfahren (*siehe Kapitel 2.1.4*) ausgetauscht wird. Die Systemelemente *Interaktionskonnektor* und *Interaktions-Match-Maker* greifen zur Informationsaufbereitung direkt auf die Datenschicht zu (*grüne Verbindungslinien in Abbildung 90*), während die *Modellierung des Interaktionscanvas* ausschließlich über den *eCanvas* angebunden ist.

Der obere Bereich der Diensteschicht wird als *Präsentationsschicht* spezifiziert, in welchem die adäquate Anbindung der Teilnehmer hergestellt wird. Der *Interaktionscanvas-Modeler* sowie der *Interaktionskonnektor* besitzen Systembestandteile, die dieser Schicht zugeordnet werden. In der Beschreibung des *Interaktionskonnektors* bildet die Integration der verschiedenen Teilnehmertypen gerade den wesentlichen funktionalen Aspekt, womit die Verbindung (*blaue Verbindungslinien in Abbildung 90*) dieses Elements zu allen Teilnehmertypen impliziert wird. Der *Interaktionscanvas-Modeler* stellt hingegen speziell für den menschlichen Teilnehmertyp die Funktion zur Verfügung, den Entscheidungsprozess transparent darzustellen und intuitiv Einfluss auf diesen zu nehmen.

Auf der schematischen Darstellung der funktionalen Systemstruktur in *Abbildung 90* aufbauend, wird in *Abbildung 91* die Gesamtstruktur detailliert als *UML-Klassendiagramm* dargestellt. Die funktionale Systemstruktur baut auf der angepassten Methodenentwicklung und der ressourcenorientierten Ablaufstrukturierung (*siehe Kapitel 4.5.3*) auf und überführt diese von der abstrakten methodischen Ebene in einen lösungsorientierten technischen Entwurf. Die technischen Fragestellungen werden in dem Entwurf in diesem Kapitel dennoch auf einer technisch zu abstrakten Ebene betrachtet, weshalb die technische Ausgestaltung im folgenden *Kapitel 5* – der prototypischen Implementierung – explizit und konkret erläutert wird.

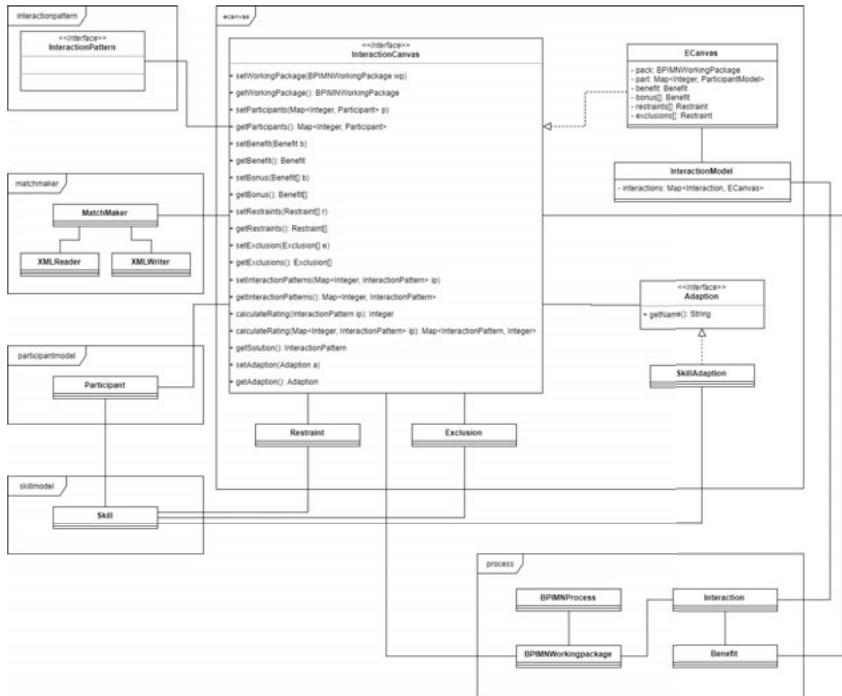


Abbildung 91: Klassendiagramm der funktionalen Systemstruktur

5 Prototypische Implementierung

Die in den vorangegangenen Kapiteln entwickelte *Methode zur Modellierung der Interaktionen heterogener Teilnehmer (Kapitel 3)* und die *Methodenanpassung an die automatische Interaktionsmusterzuweisung innerhalb eines wandelbaren Produktionsnetzwerks (Kapitel 4)* stellen die detaillierten Grundlagen der sukzessiven Weiterentwicklung der Methodendurchführung dar. Gerade der Entwurf der lokalen Funktionalitäten in *Kapitel 4.2.1 bis 4.2.3 und Kapitel 4.3.1 bis 4.3.3* sowie der Entwurf der übergreifenden Systemstruktur in *Kapitel 4.6* sind die wesentlichen technischen Ausgangspunkte der folgenden Implementierung eines Prototyps, der eine automatisierte Routine zur *Ausführung der automatischen Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer* bereitstellt.

Zur detaillierten Beschreibung der Implementierung wird zunächst der *Demonstrator* vorgestellt (*Kapitel 5.1*), an welchem die entwickelten Systemelemente prototypisch eingesetzt werden. Die technische Umsetzung der einzelnen Elemente wird anschließend in *Kapitel 5.2 (Interaktions-Match-Maker)*, *Kapitel 5.3 (Interaktionskonnektor)* und *Kapitel 5.4 (Interaktionscanvas-Modeler)* detailliert erläutert.

Die Funktionen der einzelnen Systemelemente sowie die Interaktion dieser Elemente untereinander führen zur Gesamtfunktion der prototypischen Implementierung, die in *Kapitel 5.5.1* anhand von vier produktionstypischen und teilnehmerübergreifenden *Anwendungsfällen* abgebildet wird. Hierbei wird der Schwerpunkt sowohl auf die korrekte Funktion der einzelnen Systemkomponenten als auch auf die Lösung der Problemstellung im jeweiligen Anwendungsfall gelegt.

Die kritische Überprüfung der Aufgabenerfüllung auf unterschiedlichen Ebenen wird in der abschließenden *Evaluation* in *Kapitel 6* weitergeführt. Die bisherigen übergeordneten Entwicklungsabschnitte *Methodenentwicklung*, *Methodenanpassung*, *technischer Entwurf des Gesamtsystems* und *technischer Entwurf der einzelnen Systemelemente* bilden einen interdependenten Entwicklungsprozess, der in den funktionalen Prototypen vereinigt wird. In der *Evaluation* werden diese Entwicklungsabschnitte rekursiv auf die Erfüllung der einzelnen Anforderungen und Aufgabenstellungen überprüft. Die technische Umsetzung und Implementierung wird durch die studentischen Arbeiten von [Ru20, Sc19a] unterstützt.

5.1 Demonstrator

Um den Anspruch des heterogenen Anwendungsfelds des zukünftigen Produktionsnetzwerk demonstrieren zu können, werden die Software-Komponenten – aus dem Entwurf der Systemstruktur – in einem Demonstrator eingesetzt, der einer realen Produktion nachempfunden ist. Der Demonstrator basiert auf der Fabriksimulation der Firma

Fischertechnik, welcher als etablierter physischer Demonstrator im Ausbildungsbereich gilt [Fi19]. Die folgenden Anwendungsfälle, die eine Umsetzung des Prototyps produktionsgerecht darstellen, stützen sich auf die Verwendung der beiden Produktionsmodule *Sortierstrecke* und *Hochregallager* (siehe Abbildung 92). Die *Sortierstrecke* nimmt innerhalb des zirkulären Produktionsprozesses eine Einteilung der Fertigteile hinsichtlich der Produktfarbe vor. Die Funktion der Farberkennung wird hierbei von einem Farbsensor bereitgestellt, der abhängig von der Farbe einen Analogwert im Bereich von 0 bis 2000 mV ausgibt. Gemäß dem Paradigma einer CPS (siehe Abbildung 3 in Kapitel 2.1.1) sind die dezentrale Steuerung des Systems sowie die adäquate Schnittstelle zu anderen Systemen (auch Mensch-Maschine-Interface) ein entscheidendes Kriterium bei der Definition eines CPS. Daher wird der Aufbau der *Sortierstrecke* um ein monochromes, einzeiliges LC-Display als Maschinendisplay und eine ANDON-Ampel aus drei unterschiedlich farbigen LEDs erweitert. Das Modul wird von einem *Revolution Pi 3* gesteuert, der die Industrieversion des Linux-basierten Einplatinenrechners *Raspberry Pi 3b* darstellt. Die Steuerung unterstützt somit die Programmierung in Hochsprachen sowie die Bereitstellung der Schnittstellen zu anderen Teilnehmern der Typen Maschine und Service durch die Industrie 4.0-Kommunikationsstandards OPC UA und AMQP.

Das zweite betrachtete Modul, das *Hochregallager*, besteht aus den beiden operativen Komponenten des *Handling-Moduls* und des *Lagerregals*. Die Funktion des Moduls besteht darin, die geprüften und sortierten Produkte (unterschiedlich farbige Zylinder) an die passende Stelle des chaotischen Lagersystems einzulagern. Dieses CPPM wird ebenfalls von einem *Revolution Pi 3* gesteuert, der auch die Interaktion mit den anderen Teilnehmern für das CPPM übernimmt. Die Integration des Mitarbeiters wird hierbei über ein separates *Maschinendisplay* gelöst, welches mehrfarbig und berührungssensitiv ist.

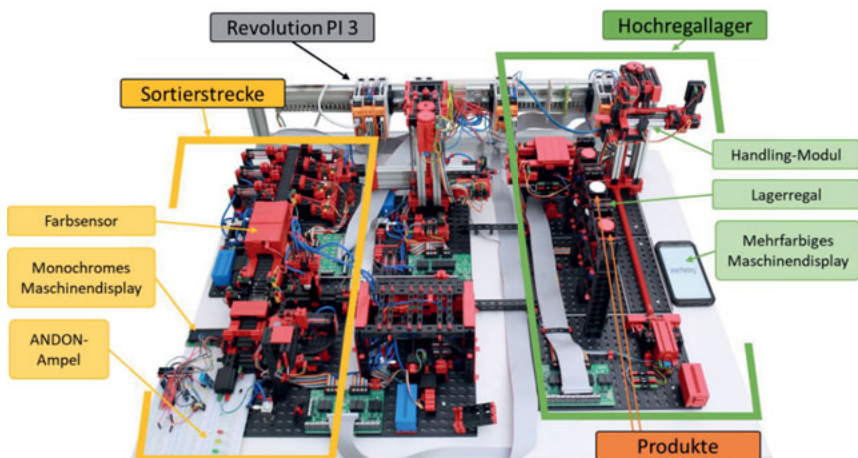


Abbildung 92: Aufbau des physischen Demonstrators

Der Demonstrator auf Basis der Fischertechnik Fabriksimulationsanlage lässt sich durch die Erweiterungen als cyber-physisches Produktionssystem (CPPS) einzustufen, welches sich in diesem Szenario aus den cyber-physischen Produktionsmodulen (CPPM) *Sortierstrecke* und *Hochregellager* zusammensetzt.

Die adaptierte Fabriksimulation bietet somit die Voraussetzungen eines Industrie 4.0-konformen, produktionsnahen und wandelbaren Demonstrators für eine prototypische Implementierung der *Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer im Produktionsnetzwerk*.

5.2 Interaktions-Match-Maker

Das Systemelement des *Interaktions-Match-Makers* stellt die Komponente dar, die die wesentlichen Syntheseschritte zur automatisierten Interaktionsmodellierung durchführt. Aus abstrakter Ebene betrachtet, verarbeitet der Algorithmus des *Match-Makers* eine Prozessbeschreibung in dem angepassten *BPiMN-Format* als Input und generiert daraus den *eCanvas* als Output. Die technische Implementierung wird mit Hilfe eines in *Java* programmierten Tools umgesetzt. Der Algorithmus des *Interaktions-Match-Makers* setzt die logische Komponente der *ressourcenorientierten Ablaufstruktur der Methodenentwicklung* (siehe Kapitel 4.5.3) um. Die wesentlichen Schritte entsprechen den einzelnen Aktionsfeldern im *Interaktionscanvas* (siehe Kapitel 3.7), die im *eCanvas* abgebildet werden. Zur Verarbeitung werden die bereitgestellten Informationsrepräsentationen der unterschiedlichen informationellen Dimensionen genutzt.

Die informationelle Dimension der prozessbezogenen Daten wird aus der semantisch erweiterten BPiMN-Prozessbeschreibung extrahiert, welche auf eine systemweit definierte XML-Nomenklatur zurückgreift. Die Verarbeitung dieser Informationen liegt zunächst in der Identifikation der einzelnen Arbeitspakete und der dazugehörigen Interaktionen (siehe Kapitel 4.2.1). Hierbei werden zu jeder Interaktion der *Master* und sämtliche *Slave* Teilnehmer bestimmt und der Nutzen der Interaktion abgerufen (siehe Kapitel 4.3.2). Die Gesamtheit dieser Informationen wird in dem *eCanvas* der betrachteten Interaktion hinterlegt, der die Basis des nachfolgenden Synthesevorgangs darstellt. Das Einlesen einer BPiMN-Prozessbeschreibung wird in der Klasse *ProcessReader* implementiert. Die Funktion *parseXML* führt die obige Modellierung aus, benötigt allerdings zusätzlich die teilnehmerbezogenen Informationen sowie den möglichen Nutzen. Der Nutzen einer Interaktion stellt eine eigene Klasse dar, welche durch seine eindeutige ID in der nutzwertbezogenen Informationsanreicherung des BPiMN-Modells zugeordnet ist. Zusätzlich umfasst die Klasse des Nutzens einen Namen, einen Typen und eine Beschreibung des Nutzwerts, die in menschenlesbarer Form hinterlegt sind.

Das *Teilnehmermodell* identifiziert einen Teilnehmer eindeutig über seine ID und verwaltet zusätzlich zum Namen und einer Beschreibung auch einen Typen und die Rolle des

Teilnehmers. Darüber hinaus werden die Fähigkeiten innerhalb des Modells gespeichert, wobei jeder Fähigkeit an dieser Stelle ein Erfüllungsgrad zugeordnet werden kann, der bei der Zuordnung der Interaktionen berücksichtigt wird (*siehe Kapitel 4.2.2*). All diese Informationen für sämtliche Teilnehmer werden im Teilnehmerkatalog hinterlegt und zu Beginn des Programms eingelesen und verarbeitet.

Die Entscheidung, ob ein potentielles Interaktionsmuster durch die vorliegenden Teilnehmer ausgeführt werden kann, wird auf Grundlage der Fähigkeiten der einzelnen Teilnehmer getroffen, welche in fähigkeitsbezogenen Teilmodellen implementiert sind. Gemäß der Vorgabe der Struktur des Teilnehmermodells und der Anlehnung an die Verwaltungsschale besitzt jedes Teilmodell eine ID zur eindeutigen Zuordnung, einen Namen, eine Beschreibung und einen Typen.

Der folgende Syntheseschritt im *Interaktions-Match-Maker* umfasst die Extraktion der potentiellen Interaktionsmuster aus dem Interaktionsmusterkatalog, der die interaktionsmusterbezogene Informationsdimension abbildet. Anhand der Übereinstimmung der Nutzwertdefinition der zu modellierenden Interaktion und der unterstützten Nutzwertbringung bei Ausführung eines Interaktionsmusters werden die potentiellen Kandidaten ausgewählt.

Der Algorithmus des *Interaktions-Match-Makers* bewertet jedes Interaktionsmuster hinsichtlich der Nutzenerfüllung und Eignung bezüglich der Teilnehmerfähigkeiten. Dabei werden durch ein Muster generierte Mehrwerte ermittelt (*siehe Kapitel 4.3*). Ein wesentlicher zusätzlicher Inhalt ist die Beschreibung, welche Fähigkeiten (*Skills*) ein Interaktionsinitiator (*Master*) und die Interaktionsteilnehmer (*Slave*) zur Verfügung stellen müssen, um die Interaktion durchführen zu können. Falls bei einem Fähigkeits-Matching ein nur eingeschränkter Erfüllungsgrad vorliegt, wird ein Hemmnis (*restraint*) ausgegeben; fehlt die Fähigkeitsunterstützung in Gänze, wird ein Ausschluss (*exclusion*) erzeugt.

Schließlich wird aus der Gesamtheit der extrahierten Daten und Informationen ein *Score* berechnet, der die einzelnen Interaktionsmuster hinsichtlich der mehrwertbezogenen Eignung bewertet. Ein *Rating* enthält die Bewertung aller in Frage kommenden Interaktionsmuster und wählt am Ende dasjenige Muster als Lösung aus, welches gemäß den Vorschriften aus *Kapitel 4.4* den höchsten Score erhalten hat. Wird zu jedem Muster mindestens ein Ausschlusskriterium gefunden, gibt es keine Lösung. Dieser Fall stellt für die adäquate automatisierte Interaktionsmusterzuordnung keine hinreichende Option dar, weshalb hier *Adaptionen* zur Umgehung der Ausschlusskriterien ermittelt werden. Die Modellierung der Strategien zur Umgehung von Hemmnissen mit Ausschlusskriterium wird im Systemelement des Interaktionscanvas-Modeler (*siehe Kapitel 5.4*) detailliert erläutert. Die übergebenen Informationen enthalten denjenigen Teilnehmer, der einen Ausschluss auf Grund von Fehlen einer Fähigkeit verursacht hat, sowie dessen fehlende Fähigkeit. Zusätzlich wird das berechnete Potential der möglichen Adaption übergeben, welches den Score eines Interaktionsmusters angibt, den das Muster erhalten würde, falls das Ausschlusskriterium

durch die Adaption umgangen würde. Nach der Adaption durch den Interaktionscanvas-Modeler wird innerhalb des Interaktions-Match-Makers eine Neubewertung unter den veränderten Rahmenbedingungen und Fähigkeitszuordnungen der Teilnehmer durchgeführt.

Zu beachten ist, dass die meisten Klassen nur Leseberechtigungen vorgeben. Ein erstelltes Objekt z.B. eines Nutzers oder eines Teilnehmers kann also nicht nachträglich verändert werden. Sämtliche verwendeten Modelle nutzen Schnittstellenklassen, um die konkrete Implementierung und die Nutzung der Modelle flexibel und erweiterbar zu gestalten. Während in dieser Arbeit zwar nur einfache Implementierungen dieser Interfaces zur Veranschaulichung der Anwendungsfälle genutzt werden, können diese ohne großen Aufwand mittels der vorliegenden Interfaces erweitert und auf andere Produktionsanwendungen angepasst werden.

Jedes Objekt der Modellierung enthält eine XML-Repräsentation, welche zur Weiterverarbeitung ausgegeben werden kann. Hierzu implementieren sämtliche Klassen das Interface *XMLConvertible*, welche die Funktion *toXML* einführt. Ein Beispiel hierfür ist die Konvertierung eines Teilnehmermodells in eine die XML-Notation.

Die wesentliche Ausgabe des Programms ist das *InteractionModel*, welches zu jeder Interaktion den entsprechenden *eCanvas* enthält. Um diese weiterzuverarbeiten, wird es in eine XML-Datei des *InteractionModels* erzeugt, welches sämtliche XML-Repräsentationen der einzelnen *eCanvases* enthält (siehe Abbildung 93).

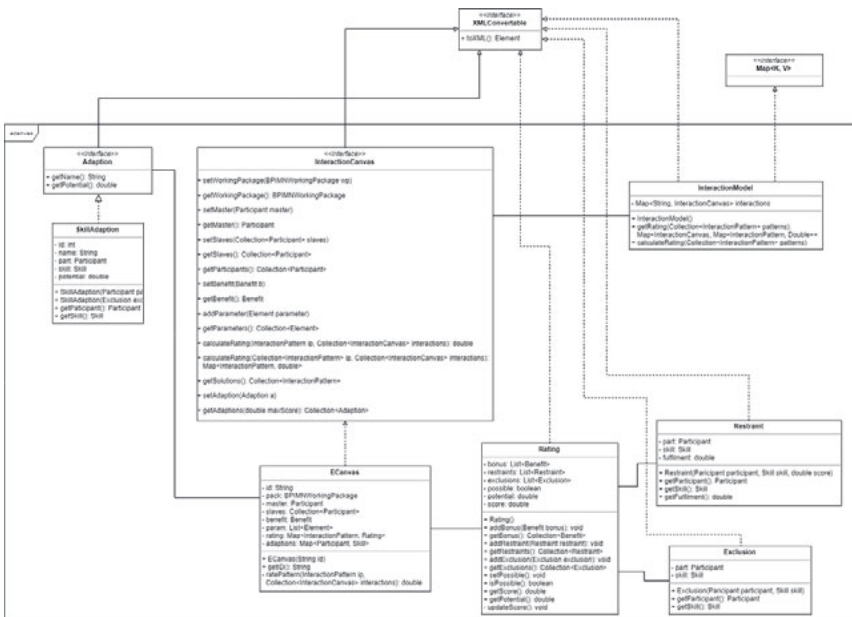


Abbildung 93: Klassendiagramm der an der Interaktionsbewertung beteiligten Elemente

5.3 Interaktionskonnektor

Die Systemkomponente Interaktionskonnektor stellt im Wesentlichen die adäquate Anbindung aller in die Interaktion involvierten Teilnehmer sicher. Die Teilnehmertypen *Maschine* und *Service* werden über eine OPC UA-konforme Anbindung angesprochen. Für den Teilnehmertyp Menschen wird darüber hinaus ein Interface implementiert, welches eine intuitive Bedienung und Informationsversorgung ermöglicht. Im folgenden Kapitel wird die grundsätzliche Implementierung und deren Softwarebasis erläutert, bevor die OPC UA-Schnittstelle und der Anwendungsfall des multidirektionalen Chats beleuchtet werden.

Technische Basis des Interaktionskonnektors

Das Systemelement Interaktionskonnektor basiert auf einer *Python 3.7.2*-Implementierung, die neben den Standardbibliotheken (*os*, *xml.etree*, *uuid*, *json*, *base64*, *time*) auch auf die Bibliothek *freeopcua* [Fr18] für Client-Server-Anwendungen und *pika* [Pi19] für die AMQP-Integration zurückgreift.

Das Interface zur adäquaten Integration von Mitarbeitern auf dem Shopfloor ist ebenfalls ein *Python*-Programm, welches zur Visualisierung das Framework *Kivy* [Ki19a] verwendet. *Kivy* ermöglicht es, lauffähige, plattformübergreifende Applikationen für Windows, MacOS, Linux, Android und iOS zu realisieren, die darüber hinaus eine umfangreiche Unterstützung für Touchbedienung gewährleisten. Die Oberfläche der Applikation wird mit der Erweiterung *KivyMD* [Ki19b] an das aktuelle Material Design angeglichen, welches in den verbreiteten Google-Diensten zur Anwendung kommt. Hiermit werden dem Anwender ein aktuelles und gewohntes Design sowie erprobte Usability zur Verfügung gestellt (*siehe Kapitel 2.2.2*). Um die responsive Gestaltung des Interaktionskonnektors in hoher Qualität abbilden zu können, wurde mit Hilfe des Bulldozer-Tools [Bu19] der entwickelte Client in eine lauffähige APK-Datei für die Anwendung auf Android-Geräten umgewandelt.

OPC UA-Integration

Die übergreifende OPC UA-Integration verfolgt das Ziel der adäquaten Einbindung der Teilnehmertypen Maschine und Service, bei welchen zu diesem Zweck ein funktionaler OPC-UA-Server vorausgesetzt wird. Die automatisierte Initiierung der Interaktionen nach erfolgreicher Interaktionszuordnung im *Interaktions-Match-Maker* (*siehe Kapitel 5.2*) erfordert weiterhin die IP-Adressen aller involvierten OPC UA-Server bzw. die Berechtigung für den Discovery Server und den Zugriff auf alle interaktionsbezogenen *Nodes* und *Services* der Teilnehmer.

Mit Hilfe der Client-Bibliothek von *freeopcua* werden die unterschiedlichen Service-Sets von OPC-UA aufgerufen (*siehe Abbildung 94*: Übersicht der OPC-UA Basisdienste [Te19]). Im Wesentlichen wurden folgende Services genutzt:

- *SecureChannel* und *Session Service Set* zum Aufbau und Erhalt von Verbindungen zwischen dem Interaktionskonnektor und den Servern;

- *Attribute Service Set* zur Datenabfrage bzw. -manipulation (*Read/Write*);
- *Method Service Set* zum Methodenaufruf;
- *Subscription* und *MonitoredItem Service Set* für das Monitoring und die Übermittlung aktueller Daten. Hierzu wird jeweils serverseitig eine *Subscription* der entsprechenden *Node* angefragt, die anschließend als *MonitoredItem* überwacht werden kann.

Service Set	Funktionsbeschreibung
SecureChannel Service Set	Abfrage des Zugriffspunktes (endpoint) und der Sicherheitskonfiguration (security mode) um eine sichere Verbindung aufzubauen
Session Service Set	Dient zum Erstellen und Verwalten von anwenderspezifischen Verbindungen zwischen den Applikationen.
NodeManagement Service Set	Dient zum Modifizieren des Adressraums eines Servers, falls dieser das zulässt
View Service Set	Navigieren, folgen von (hierarchischen) Referenzen im Adressraum des Servers, Suchen und Filtern von Informationen
Attribute Service Set	Lesen und Schreiben von Attributen einzelner oder mehrerer Knoten, vor allem das Value-Attribut, aber auch historische Daten oder Events.
Method Service Set	Aufrufen von Methoden (invoke), die ein Server an seinen Knoten im Adressraum anbietet
MonitoredItem Service Set	Dient zur Einstellung der Attribute von Knoten, die der Server überwachen und dessen Änderungen er melden soll
Subscription Service Set	Dient zum Erzeugen, Modifizieren oder Löschen von überwachten Items.
Query Service Set	Dient zur gefilterten Suche nach Informationen im Serveradressraum.

Abbildung 94: Übersicht der OPC-UA Basisdienste [Te19]

Multidirektionaler Chat über AMQP

Um einen Chat, also einen multidirektionalen Austausch zwischen mindestens zwei Teilnehmern zu ermöglichen, wurde im *Interaktionskonnektor* ein Chat-Backend implementiert, welches seitens der menschlichen Client-Anwendungen eine brokerbasierte Architektur mithilfe des Brokers *RabbitMQ* verwendet. Dabei wird der Nachrichtenaustausch über AMQP als Nachrichtenprotokoll unter Verwendung des *Publish-Subscribe*-Paradigmas realisiert [Ra19]. Die Chat-Funktion wird mit AMQP statt OPC UA durchgeführt, da die Implementierung einer wechselseitigen Client-Server-Architektur auf mobilen Endgeräten nicht zweckmäßig erscheint und die angekündigte *Publish-Subscribe-Integration* von OPC-UA im Rahmen dieser Arbeit kein funktionales Framework bietet. Vielmehr wird durch die OPC-Foundation aktuell die Verwendung von AMQP oder MQTT (siehe Kapitel 2.1.4) explizit empfohlen.

Jede mobile Client-Applikation erstellt beim Start einen eigenen *Exchange* sowie eine *Message Queue*, welche an den *Exchange* angebunden wird (siehe Abbildung 95). Nachrichten der *Message Queue* werden konsumiert und gemäß der enthaltenen Befehle der richtigen Funktionalität zugeordnet. Der Interaktionskonnektor besitzt wiederum eine *Queue*, aus welcher dieser Nachrichten empfängt. Diese eindeutig identifizierbare *Queue* ist allen Clients bekannt. Zur Anmeldung eines Clients (entspricht im Anwendungsfall dem Teilnehmer) in den Chat wird eine Nachricht mit der eigenen *Teilnehmer-ID* sowie der Anmeldungsanfrage gesendet, welche gleichzeitig auch die ID der *teilnehmereigenen Queue* ist. Somit ist dem Konnektor die Identität des jeweiligen Teilnehmers sowie der Name des *Exchange*, unter welchem dieser erreichbar ist, bekannt. Anschließend antwortet der Connector mit einer Anmeldebestätigung sowie einer Liste aller angemeldeten Teilnehmer (inklusive Teilnehmerinformationen). Diese Liste wird dazu genutzt, den Teilnehmerscreen innerhalb des User Interfaces aufzubauen, der neben Information über verfügbare Teilnehmer auch die Anfrage von Interaktionen ermöglicht. Bei An-/Abmeldung eines Teilnehmers wird dieser

durch eine anschließende Benachrichtigung des Interaktionskonnektors aus der Teilnehmerliste aller verbundenen Clients gelöscht.

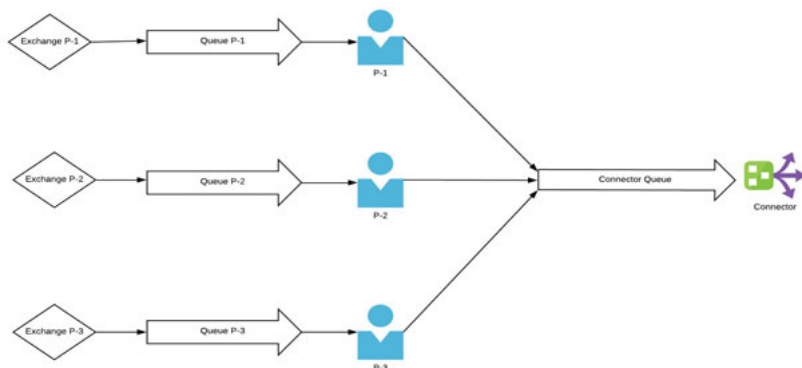


Abbildung 95: Funktionsschema eines Chats zwischen drei Teilnehmern

5.4 Modellierung des Interaktionscanvas

Das wesentliche Systemelement des *Interaktionscanvas-Modeler* ist ein eigenständiges Tool, welches in *Python 3.7.2* programmiert ist. Im Ablauf der Methodendurchführung wird der *Modeler* zur transparenten Darstellung des *eCanvas* sowie zu dessen Adaption verwendet. Der wesentliche Input für das Tool ist also der *eCanvas* in Form einer XML-Datei, die vom *Interaktions-Match-Maker* (siehe Kapitel 5.2) bereitgestellt wird. Die Struktur bzw. das Schema der XML-Datei ist in der *eCanvas*-Beschreibung definiert und konstant.

Als Programmierschnittstelle (API) für die Implementierung, die Analyse (engl. *Parsing*) und das erneute Erstellen der angepassten XML-Datei dient das Python Modul *ElementTree*. Als Teil der Python-Standardbibliothek und auf Grund der Eigenschaften hinsichtlich Geschwindigkeit, Anwendbarkeit und Architektur erweist sich *ElementTree* als praktikable Lösung für die Verarbeitung von XML-Dateien in Python-Anwendungen [MRH17]. Auf einige der enthaltenen Methoden, die für den *Interaktionscanvas-Modeler* relevant sind, wird daher im Folgenden eingegangen: Um auf die XML-Datei zuzugreifen und das Wurzelement zu laden, wird die *Parse*-Methode verwendet. Ausgehend von diesem Wurzelement kann nun über die weiteren (Sub-)Elemente in der XML-Datei navigiert sowie deren Attribute angesprochen werden.

Für die adäquate und korrekte Visualisierung im *Interaktionscanvas-Modeler* ist es notwendig, den relevanten *eCanvas* innerhalb der XML-Datei zu identifizieren. Dafür wird geprüft, ob für einen *eCanvas* ein passendes Interaktionsmuster gefunden wurde. Ist der entsprechende *eCanvas* identifiziert, werden die relevanten Attribute ausgelesen. Über die *Get*-Methode

wird dabei das Attribut *Name* aus dem Element *SkillAdaption* ausgelesen und als Ausschlusskriterium definiert, welches anschließend im *Interaktionscanvas-Modeler* angezeigt wird (siehe Abbildung 108).

Die grafische Darstellung der Inhalte erfolgt durch die GUI-Toolkit-Bibliothek (*Graphical User Interface*) *Tkinter*, welche mittels Programmierbausteinen die Erzeugung von Komponenten einer grafischen Benutzeroberfläche mit Python ermöglicht [Py19]. Im ersten Schritt werden hierbei die grafischen, später sichtbaren Elemente erstellt, die im zweiten Schritt mit den entsprechenden Funktionen und Verweisen hinterlegt werden.

Falls ein Hemmnis mit Ausschlusskriterium vorliegt und somit kein passendes Interaktionsmuster gefunden wird, erfordert dies eine Strategie zur Umgehung der Hemmnisse. Die Adaption der Interaktionszuordnung bildet einen eigenen Micro-Problemlöse-Zyklus (siehe Kapitel 4.5.2). Zur adäquaten Unterstützung des Methodenanwenders ist dem Tool eine Ontologie hinterlegt, die potentielle Lösungen zur Umgehung eines Hemmnisses aufzeigt. Die Ontologie stellt ein semantisches Modell dar, welches als Mechanismus dient, um Daten maschinell zu interpretieren und zueinander in Beziehung zu setzen [PP10]. Mithilfe der Vorschläge aus der Ontologie wird der Nutzer als Entscheidungsträger in den Prozess einbezogen, wobei die Vorschläge aus der Ontologie als fundierte Entscheidungsgrundlage dienen.

Die Ontologie wird über *OWLready2* [OW19], ein Modul für die Programmierung von Ontologien in Python, in den *Interaktionscanvas-Modeler* eingelesen. Im Wesentlichen werden in der Ontologie die Hemmnisse mit Ausschlusskriterium über Relationen mit den potentiellen Strategien zur Umgehung der Hemmnisse verknüpft.

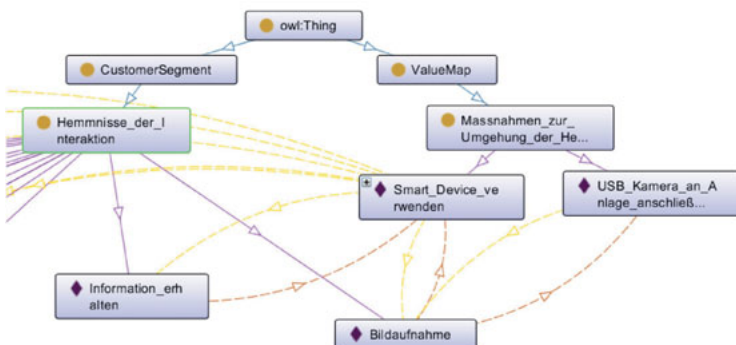


Abbildung 96: Ontologie des Interaktionscanvas-Modellierers

OWL-Ontologien ermöglichen komplexe Aussagen über Klassen, Rollen und Relationen. Darüber hinaus ermöglicht die semantische Beschreibung eine Ausführung in Programmen [Ku07]. Im User-Interface kann der Nutzer die Entscheidung über die favorisierte Strategie zur

Umgehung des Hemmnisses aus einer Liste auswählen (*siehe Abbildung 109*). *Abbildung 96* zeigt einen Ausschnitt der Ontologie, die dem *Interaktionscanvas-Modeler* zugrunde liegt.

In der Abbildung ist zu erkennen, dass für das Hemmnis *Bildaufnahme* zwei potentielle Maßnahmen zur Umgehung verknüpft sind. Demgegenüber wird das Hemmnis *Information_erhalten* lediglich von einer der beiden Maßnahmen gelöst.

Aus der Strategie zur Umgehung eines Hemmnisses ergeben sich für den Interaktionsteilnehmer zusätzliche zumindest temporäre Fähigkeiten, welche abschließend an der Stelle der *Adaptions* mittels der *Append*-Methode in den eCanvas geschrieben werden. Nach der Anpassung wird der *Interaktions-Match-Maker* auf Grund der angepassten neuen Informationsgrundlage eine neue Informationssynthese durchführen, um eine adäquate Interaktionszuordnung zu erbringen.

5.5 Darstellung der Systemfunktionen

Die *prototypische Implementierung* stellt eine automatisierte Durchführung der angepassten *Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer im Produktionsnetzwerk* dar. Die Funktionen des Gesamtsystems werden nachfolgend in vier unterschiedlichen Anwendungsfällen erläutert. Jeder Anwendungsfall setzt im Sinne eines Szenarios den Schwerpunkt auf die Darstellung einer differenzierten Problemstellung und eines anderen damit verbundenen Anwendernutzens.

5.5.1 Anwendungsfall 1: mehrwertorientierte Ad-hoc-Maschinendatenakquise

Die Anwendungsfälle sind zur besseren Veranschaulichung werden mit konkreten Personas ausgestaltet [HWT11]. In diesem ersten Anwendungsfall ist dies Horst, der als erfahrener Anlagenführer die operative Verantwortung über die Gesamtproduktion im Bereich der Fischertechnik-Anlage (*siehe Kapitel 5.1*) besitzt. Horst fährt die Anlage seit einigen Jahren, gilt im Unternehmen als Spezialist für diesen Anlagentyp und hat schon viele Vorschläge zur Prozessverbesserung eingebracht.

Während der Regelproduktion fällt Horst eine Unregelmäßigkeit auf, die zu erhöhtem Ausschuss führen könnte. Für die weitere Evaluation benötigt Horst den aktuellen Farbwert des Farbsensors auf der Sortierstrecke der Anlage. Dieser Parameter ist allerdings nicht in dem standardisierten Maschineninterface an der Anlage angelegt. Horst gibt somit durch das Benutzerinterface des *Interaktionskonnektors* auf seinem Smart Device eine Anfrage zur Datenabfrage des aktuellen Farbwerts ab.

Der *Interaktionskonnektor* gibt die Anfrage an den *Interaktions-Match-Maker* weiter, welcher eine Interaktionsmodellierung durchführt und zu diesem Zweck die relevanten Informationen aus den Bibliotheken und Sammlungen extrahiert. Die Methode zur Interaktionsmodellierung

setzt allgemein die notwendigen Informationsrepräsentationen als gegeben voraus (siehe Kapitel 4.2.1 bis 4.2.3 und 4.3.1 bis 4.3.3). In *Abbildung 97* wird das semantisch angereicherte Prozessmodell nach BPiMN dargestellt, welches einen essentiellen Bestandteil der Interaktionsmodellierung ausmacht.

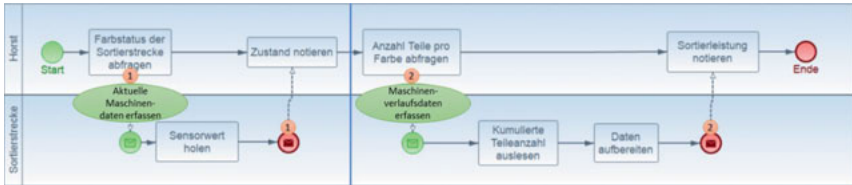


Abbildung 97: BPiMN-Chart des 1. Anwendungsfalls

Die Interaktion findet entsprechend der Prozessmodellierung zwischen den beiden Teilnehmern Horst (Teilnehmertyp: Mensch) und der Sortierstrecke der Anlage (Teilnehmertyp: Maschine) statt und besteht aus einer einfachen Anfrage-Antwort-Sequenz (siehe *Abbildung 100*). Der Task (*Farbstatus abfragen*) wird eine Nutzenbeschreibung der Interaktion (*Aktuelle Maschinendaten erfassen*) zugeordnet. Die weiteren Schritte der Interaktion bestehen aus den Aufgaben *Sensorwert holen* auf Seite der Sortierstrecke und der *Weiterverarbeitung* des aktuellen Werts (z.B. *Zustand notieren*) auf der Seite von Horst sowie den trivialen Kommunikationsschritten zwischen den Einzelaufgaben. Die Interaktion beschreibt in diesem Fall den Umfang eines kompletten *Working Packages*.

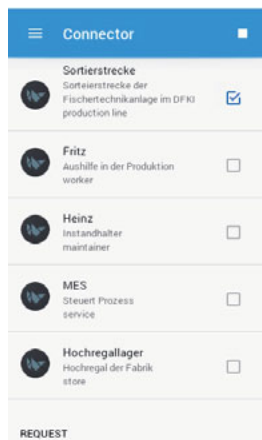


Abbildung 98: Darstellung des Nutzerinterfaces zur Interaktionsinitiierung

Die ressourcenorientierte Ablaufstruktur der Methode zur Interaktionsmodellierung sieht nach der Festlegung der Interaktionsteilnehmer die Zuordnung möglicher Interaktionsmuster vor. In diesem Anwendungsfall sind folgende kontext- und produktionsanlagenabhängige Interaktionsmuster möglich:

- Anzeige auf dem Farbdisplay des SmartDevice;
- Anzeige auf dem monochromen und einzeiligen Maschinendisplay;
- Signalanzeige an der Maschinenampel (ANDON-Ampel).

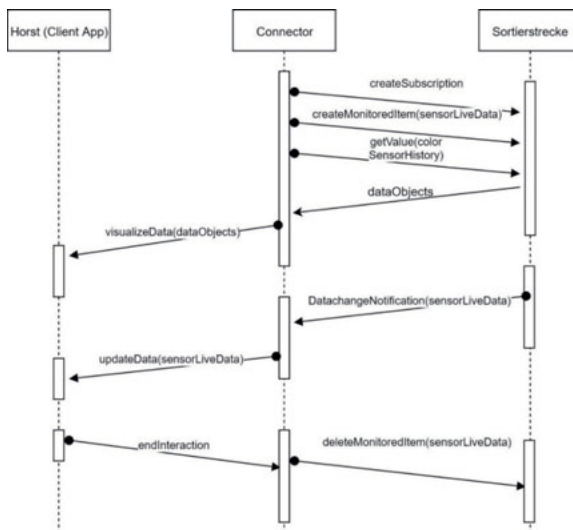


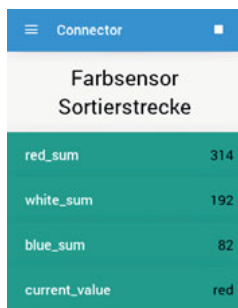
Abbildung 99: UML-Interaktionsdiagramm eines Ausschnittes der Interaktionen in Anwendungsfall 1

Nachfolgend werden die potentiellen Mehrwerte der Interaktion extrahiert. Das Prozessbeispiel in *Abbildung 97* liefert zu diesem Zweck die Darstellung eines weiteren *Working Packages*. Im Fallbeispiel ist Horst angewiesen, Aus Gründen der Qualitätssicherung, die kumulierte Anzahl der Gutteile je Farbe zum Ende jeder Stunde zu kontrollieren und protokollieren (*rechtes Arbeitspaket in Abbildung 97*). Die Kombination der aktuellen Werte des Farbsensors mit der Anzeige der kumulierten Farbwerte stellt einen Mehrwert der Interaktion dar. Potentielle Hemmnisse werden beispielsweise bei der Verwendung der ANDON-Ampel extrahiert, da die Fähigkeit quantitative Informationen darzustellen, fehlt.

Die Bewertung aller möglichen Interaktionsmuster wird gemäß der Synthesephase der Methodenanpassung (*siehe Kapitel 4.4*) schrittweise durchgeführt. Im Detail werden die Interaktionsmuster zuerst hinsichtlich der assoziierten Mehrwerte und anschließend der potentiell entstehenden Hemmnisse bewertet. Das Rating der Hemmnisse unterscheidet hierbei die Sonderform des Hemmnisses mit Ausschlusskriterium, die zum direkten Ausschluss des Interaktionsmusters aus dem Auswahlprozess führt – ungeachtet der potentiellen Mehrwerte. Gemäß *Formel 1* (*auf Seite 137*) wird die Gesamtbewertung zur Interaktionsmustersauswahl aus den Einzelratings der Mehrwerte und Hemmnisse abgeleitet. Für den Anwendungsfall werden die Ergebnisse des Bewertungsvorgangs sowie der Ausschnitt des ausgewählten Musters aus dem Java-Programm des Interaktions-Match-Makers in *Abbildung 100* dargestellt.

bietet der Interaktionskonnektor neben den reinen Schnittstellen auch ein Nutzerinterface an, welches sich an der etablierten Usability der sozialen Netzwerke orientiert.

Im Anwendungsfall wird durch den Konnektor eine OPC UA-Methode aufgerufen, die die Aufgabe der *Sortierstrecke* erfüllt, also die benötigten Informationen akquiriert und an den Konnektor verschickt. Zum zweiten erhält Horst in der Instanz des Interaktionskonnektors die relevanten Informationen zu Aufgaben- und Mehrwerterfüllung (Anzeige der aktuellen Farbe und die Anzahl an Teilen pro Farbe). Horst erhält schließlich die Ergebnisse auf seinem Smart Device angezeigt (siehe *Abbildung 102*).



Connector	
Farbsensor Sortierstrecke	
red_sum	314
white_sum	192
blue_sum	82
current_value	red

Abbildung 102: Nutzerinterface der Interaktion in einer Instanz des Interaktionskonnektor

5.5.2 Anwendungsfall 2: Ad-hoc-Wechsel der Interaktionsteilnehmer

In Erweiterung des ersten Szenarios wird in Anwendungsfall 2 ein spontaner Wechsel der Interaktionsteilnehmer initiiert. Der Anlagenbestandteil *Hochregallager* erhält vom MES den Auftrag, ein produziertes Fertigteil einzulagern. Im Regelbetrieb wird dieser Vorgang von einem Handling-Modul am *Hochregallager* übernommen (siehe *Abbildung 103*).

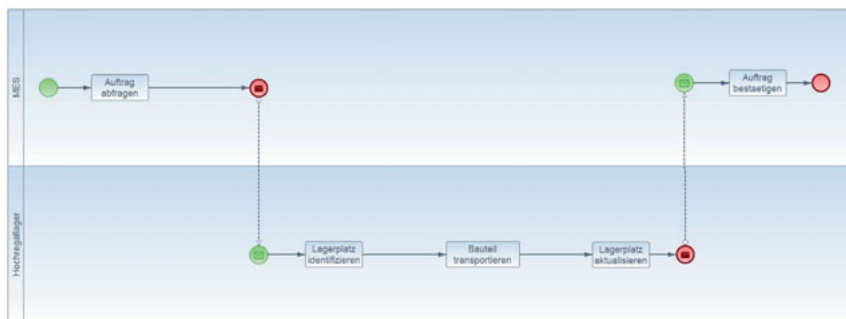


Abbildung 103: Regel-Prozessablauf des 2. Anwendungsfalls

In diesem Fallbeispiel liegt an dem Handling-Modul ein Defekt vor, wodurch die automatisierte Einlagerung verhindert wird. Der bestehende Fehlerzustand am *Hochregallager* führt zwangsweise zu einem Produktionsstopp, da die Fertigteile nicht mehr

abtransportiert werden können. An dieser Stelle wird Fritz (Ferienahilfe mit wenig Erfahrung in der Produktion) mit einer *Textnachricht* vom MES über den fehlerhaften Zustand am Hochregallager informiert und angewiesen, sich zum Lager zu begeben, um den lokalen Anweisungen auf dem Maschinendisplay zu folgen. Am Hochregallager angekommen, erhält Fritz über das großformatige, farbige Maschinendisplay eine Anleitung der durchzuführenden Schritte, um die Fertigteile händisch einzulagern und somit den Grund des akuten Produktionsstaus zu beheben.

In *Abbildung 104* wird die Integration des Interaktionsteilnehmers Fritz innerhalb des Prozessablaufs deutlich. Für einen Teilabschnitt des Gesamtprozesses wird somit der Interaktionsteilnehmer Hochregallager durch den Mitarbeiter Fritz ersetzt, d.h. es findet ein Ad-hoc-Wechsel des Interaktionspartners statt. Mit dem Wechsel des Teilnehmers geben sich neue Randbedingungen für die Interaktion in Form der veränderten Fähigkeiten und Bedürfnisse der neuen Interaktionspartner, die anschließend im Interaktions-Match-Maker neu modelliert werden.

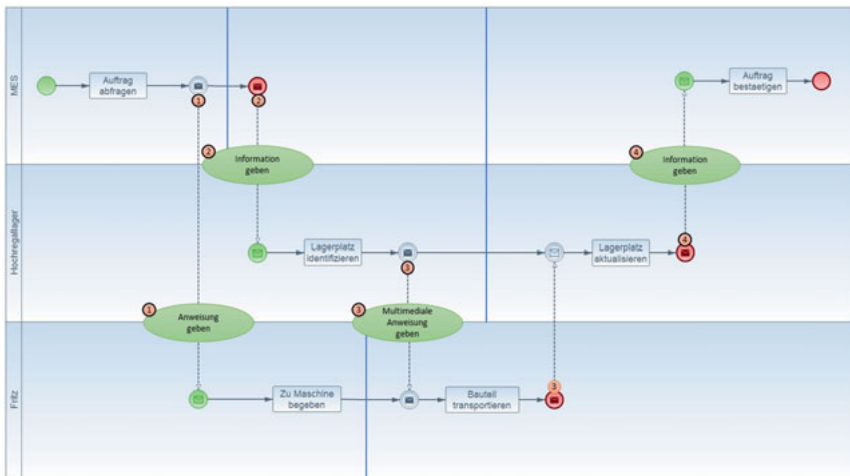


Abbildung 104: Integration von Teilnehmer Fritz in den Prozessablauf

Fritz fehlt in diesem Anwendungsfall die Fähigkeit, mobil Informationen zu empfangen, weshalb der *Interaktions-Match-Maker* Interaktionsmuster auswählt, die eine stationäre Informationsvermittlung ermöglichen. Der *Interaktionskonnektor* stellt hierbei die notwendigen Schnittstellen und Funktionen bereit und sendet eine E-Mail an Fritz. Auf Grund der fehlenden Erfahrung am Hochregallager wählt der *Interaktions-Match-Maker* ein Interaktionsmuster, welches Fritz in der Aufgabenausführung vor Ort und Schritt-für-Schritt anleitet (siehe *Abbildung 105*). Die Funktion zur Anleitung wird hierbei durch den *Interaktionskonnektor* geliefert, der auf dem Maschinendisplay in einer Web-App bereitgestellt wird.



Abbildung 105: Umsetzung der Interaktionsmuster im Maschinendisplay und im Interaktionskonnektor

5.5.3 Anwendungsfall 3: Vorgehensweise zur proaktiven Hemmnisumgehung

Anwendungsfall 3 führt die User-Story der beiden vorherigen Anwendungsbeispiele fort und ergänzt diese um die Vorgehensweise zur proaktiven Hemmnisumgehung. Die Methode zur Interaktionsmodellierung weist Interaktionsmuster zur Aufgabenerfüllung zu (siehe Kapitel 4.1.2). Die Entscheidung der Interaktionsmusterzuordnung kann auf Grund der vielfältigen Kontexteinfüsse zu dem Ergebnis kommen, dass kein adäquates Interaktionsmuster ohne ein Hemmnis mit Ausschlusskriterium vorhanden ist (siehe Kapitel 4.4). In diesem Fall werden in einem Micro-Problemlösezyklus Strategien ausgewählt, um die Hemmnisse zu umgehen. Diese Auswahl ist in der Regel vom Kontext der Aufgabenstellung abhängig und wird mit dem Interaktionscanvas-Modeler durch die Mitarbeiter auf dem Shopfloor ausgeführt.

In Weiterführung des zweiten Anwendungsfalls erhält die Produktionsaushilfe Fritz die Anweisung sich über einen Chat mit dem erfahrenen und motivierten Instandhalter Heinz in Verbindung zu setzen, um die Fehleranalyse des defekten Anlagenteils vor Ort zu unterstützen. In den Instandhaltungs-Chat werden die Aushilfe Fritz, der Instandhalter Heinz und das Hochregallager als maschineller Teilnehmertyp eingebunden.

Die Chatfunktion wird im *Interaktionskonnektor* zur Verfügung gestellt. Zur Einbindung der Teilnehmertypen Maschine und Service besteht die Möglichkeit direkter OPC UA-Methodenaufrufe (siehe Abbildung 106). Teilnehmer Fritz (Typ: Mensch) kommuniziert über eine Web-Applikation, die auf dem Maschinendisplay des Hochregallagers angezeigt wird, während Instandhalter Heinz durch eine mobile Applikation auf seinem Smart Device in einem entfernten Bereich des Werks verbunden ist. Der Chat besitzt im Gegensatz zur klassischen starren Interaktionsbeschreibung die Besonderheit, die Abfolge und Inhalte der Nachrichten nicht im Vorfeld fest definieren zu können. Innerhalb des Anwendungsfalls erläutert die Aushilfskraft Fritz dem Instandhalter Heinz die Situation des defekten Handlings vor Ort. Heinz

fordert durch den direkten Aufruf von OPC-UA-Methoden im Chat zusätzliche Maschinendaten an, die vom Hochregallager anschließend im Chat zur Verfügung gestellt werden (siehe Abbildung 107).

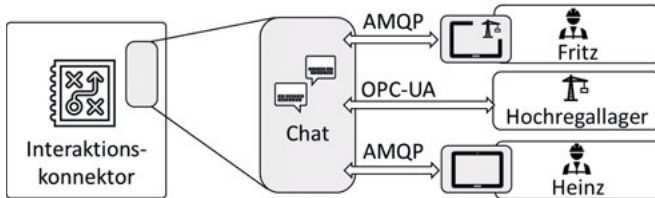


Abbildung 106: Integration der Teilnehmer in den Instandhaltungs-Chat durch teilnehmerabhängige Verwendung von Kommunikationsprotokollen

Trotz weiterer Rückfragen an Fritz ist Heinz nicht in der Lage, die Analyse vollständig durchzuführen. Ein Foto einer kritischen Stelle an der Anlage würde das Informationsdefizit beheben. Diese Funktion wird durch den bisher rein textuellen Chat nicht zur Verfügung gestellt, da bisher der Nutzen *multidirektionaler textueller Austausch* erfüllt wurde. Die Anforderung eines *multidirektionalen multimedialen Austauschs* stellt somit einen neuen Nutzen einer neuen Interaktion dar, welche anschließend im *Interaktion-Match-Maker* modelliert wird.

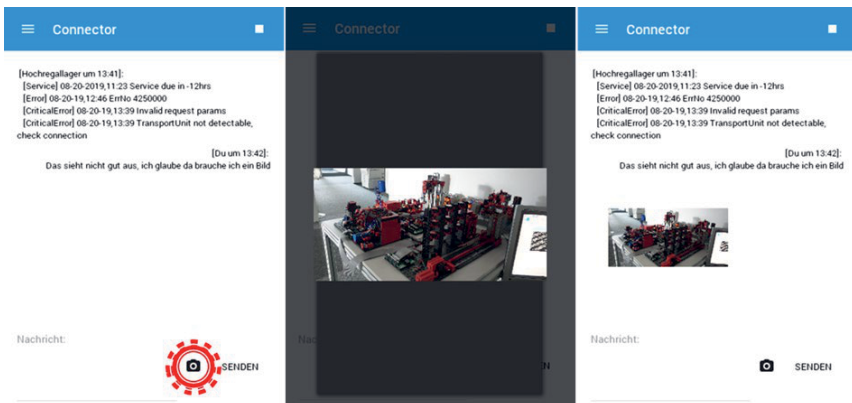


Abbildung 107: Chatverlauf mit Integration der Maschinendaten

Allerdings kann hierbei kein Interaktionsmuster zugewiesen werden, da die Fähigkeit, ein Foto aufzunehmen, im derzeitigen Gerätesetting von Fritz nicht vorhanden ist, wodurch ein Hemmnis mit Ausschlusskriterium entsteht. Diese Konstellation ist zur ganzheitlichen Integration der heterogenen Teilnehmer in einem übergreifenden Tool nicht zufriedenstellend, da die Lösungsfindung weiterhin ausstehend ist. Der *Interaktionscanvas-Modeler* ermöglicht in diesem Fall zum anderen die transparente Darstellung des eCanvas

bzw. des Interaktionscanvas (siehe Abbildung 108) sowie die Auswahl von Maßnahmen zur Umgehung der Hemmnisse. Die Informationen zur Hemmnisumgehung werden auf Grund der multidirektionalen Verbindungen zwischen Hemmnissen und Maßnahmen zu deren Umgehung in einer Ontologie organisiert (siehe Kapitel 5.4).

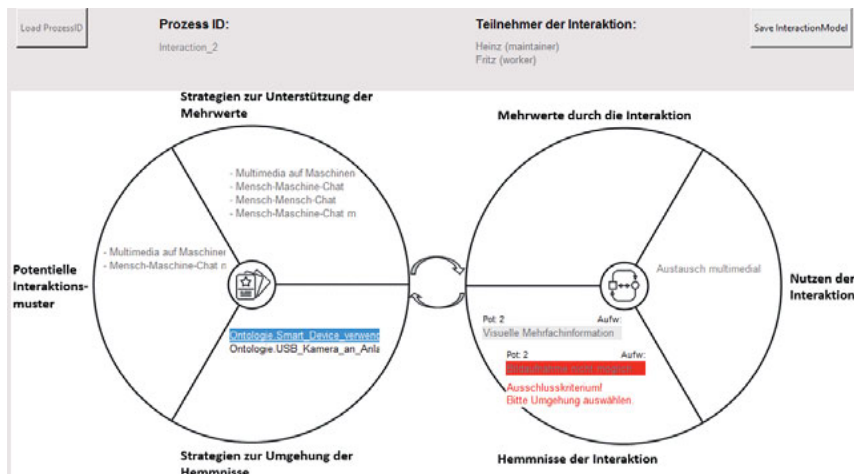


Abbildung 108: eCanvas ohne Interaktions-Match

Fritz erkennt in diesem Fall schnell, welches Hemmnis für die fehlende Zuordnung verantwortlich ist und welche Maßnahme zur Umgehung gewählt werden kann. Der Modeler schlägt vor, dass Fritz das Foto mit einem Smart Device aufnimmt, welche er im Meisterbüro findet.

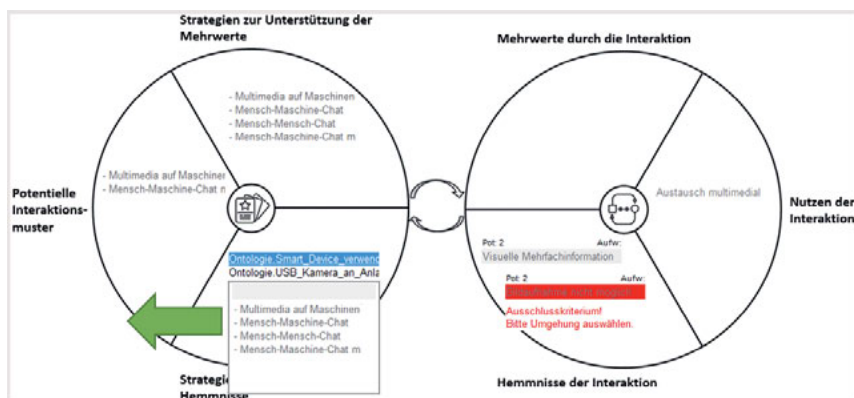


Abbildung 109: eCanvas mit Interaktionszuordnung nach Adaption der Maßnahmen zur Hemmnisumgehung

Der Interaktionscanvas-Modeler gibt in der Folge den adaptierten eCanvas an den Interaktions-Match-Maker zurück, der die Interaktionszuordnung unter den adaptierten Bedingungen erneut durchführt und das Interaktionsmuster *Mensch-Maschine-Chat mit Livebild* zuordnet. Nachdem sich Fritz an dem Gerät eingeloggt hat, wird er direkt in den Chat weitergeleitet, in welchem er das benötigte Bild der Handling-Einheit postet (siehe Abbildung 109).

Heinz findet mit Hilfe des Bildes den Fehler und kann Fritz gezielt anleiten, den Fehler zu beheben und das Hochregallager erneut in Betrieb zu nehmen. In Abbildung 110 wird die Veränderung der interaktionsbezogenen Informationen im eCanvas in der XML-Notation dargestellt. Die Verweise der *SkillAdaption* werden durch die Auswahl der Strategien zur Hemmnisumgehung und dem Upgrade der Teilnehmerfähigkeiten in die *Master-Skills* von Horst übernommen.

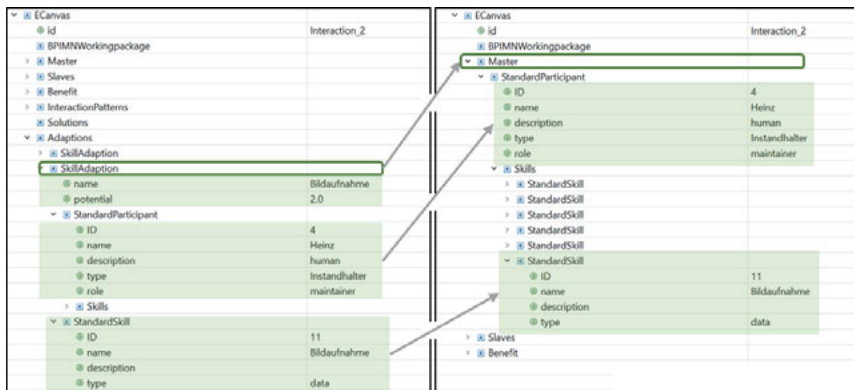


Abbildung 110: Adaption der Teilnehmerfähigkeiten des eCanvas im Auszug aus der XML-Notation

5.5.4 Anwendungsfall 4: Interaktionsmusterzuordnung ohne menschliche Teilnehmer

Die Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer im Produktionsnetzwerk hat den Anspruch der übergreifenden Eignung für unterschiedliche Teilnehmertypen. In den bisherigen Anwendungsfällen wurden die Interaktionen zwischen Teilnehmern aller Typen aufgezeigt, wenngleich bei der Darstellung der Ergebnisse ein Fokus auf dem menschlichen Teilnehmer entsteht, da gerade dieser in dem heterogenen Umfeld des Produktionsnetzwerks eine besondere Unterstützung bedarf [Sp13]. In Abgrenzung dazu bietet der folgende Anwendungsfall daher explizit die Methodendurchführung ohne die Beteiligung des menschlichen Typen an.

Zur Verdeutlichung der teilnehmertypenunabhängigen Eignung der Methode lehnt sich der Anwendungsfall 4 an den Prozess des ersten Anwendungsfalls an. Die Teilnehmer der

Interaktion bestehen in diesem Fall aus dem MES (Typ: Service) und der Sortierstrecke der Produktionsanlage (Typ: Maschine).

Das MES ruft bisher ausschließlich die aktuellen Ausgabewerte des Farbsensors auf der Sortierstrecke ab (siehe WP1 auf der linken Seite in Abbildung 111). Bisher wurde hier das Interaktionsmuster M2M-Datenübertragung zugeordnet, welches die passenden OPC UA-Methodenaufrufe durch den Interaktionskonnektor initiiert. Im Zuge der zunehmenden Dezentralisierung in der Produktion wird die Datenaufbereitung bzw. die Berechnung der kumulierten Mengen der Fertigteile von dem MES zum intelligenten Farbsensor selbst übertragen. Folglich benötigt das MES bei gleichbleibendem Informationsbedarf zukünftig sowohl die aktuellen Sensorwerte als auch die kumulierten Fertigungszahlen je Farbe der Fertigteile. Die veränderte Anforderung führt zu einem neuen Working Package (siehe WP2 auf der rechten Seite in Abbildung 111) mit einer eigenen Nutzenbeschreibung der Interaktion.

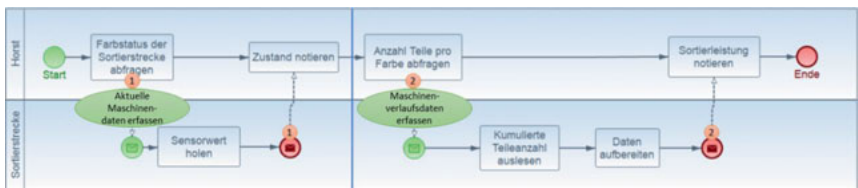


Abbildung 111: BPMN-Notation des 4. Anwendungsfalls

Die Gesamtheit der beiden Working Packages bildet den erweiterten und angepassten Betrachtungsraum der Prozessbeschreibung (siehe Abbildung 111), der als informationeller Input für die Methodendurchführung im Interaktions-Match-Maker dient. Die Syntheseleistung in der Interaktionsmusterzuordnung liefert zwar erneut das Interaktionsmuster M2M-Datenübertragung, passt allerdings mehrwertbezogen die Parameter des Interaktionsmusters an, in welchem die benötigten OPC UA-Methodenaufrufe hinterlegt sind (siehe Abbildung 112).

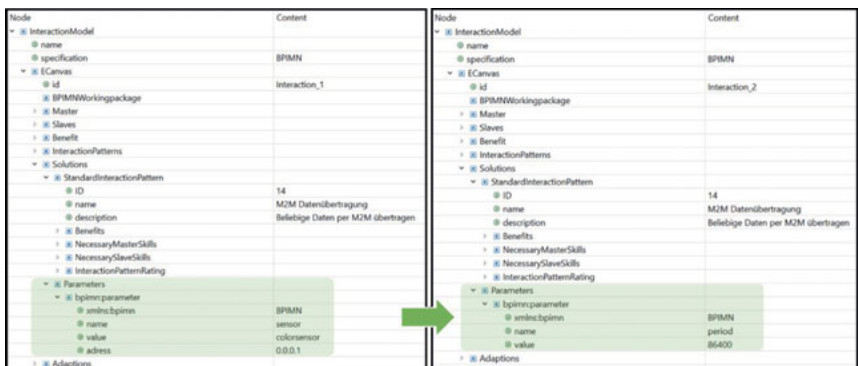


Abbildung 112: Darstellung des ausgewählten Interaktionsmusters inkl. der zugehörigen Parameter aus dem Interaktion-Match-Maker-Tool

Die Resultate des Zuordnungsprozesses im *Interaktions-Match-Maker* werden in einem angepassten *eCanvas* ausgegeben und im Systemelement *Interaktionskonnektor* entsprechend der hinterlegten Parameter ausgeführt. In diesem Anwendungsfall ruft der Interaktionskonnektor die zugehörigen OPC-UA-Methoden direkt bei den jeweiligen Teilnehmern auf, welche hierauf aufbauend den Informationsaustausch gemäß der Aufgabenstellung durchführen.

6 Evaluation

Die initiale Entwicklung einer *Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in einem wandelbaren Produktionsnetzwerk* (siehe Kapitel 3) stellt die erste übergeordnete Entwicklungsphase zur Zielerreichung dieser Arbeit dar. Die *Methodenentwicklung* selbst orientiert sich in wesentlicher Weise an der *operativen Aufgabenstellung*, welche als Zielformulierung aus der assoziierten Analysephase hervorgeht. Die anschließende Methodenanpassung (siehe Kapitel 4) verfolgt wiederum das Ziel, die zuvor entwickelte Methode an veränderte Rahmenbedingungen anzupassen. Im Rahmen der Umsetzung der Industrie 4.0-Paradigmen hin zu einer wandelbaren Produktion aus dezentral agierenden Produktionsteilnehmern wird die *Methode zur Interaktionsmodellierung* aus der Lebenszyklusphase der *Entwicklung* in die Phase des *Produktivbetriebs* übertragen, um die Wandelbarkeit auf dem Shopfloor sicherzustellen. Die *angepasste operative Aufgabenstellung* bildet die adaptierte Zielformulierung der Methodenanpassung und beschreibt inhaltlich das Ziel einer automatisierten Methodendurchführung. Der Entwurf eines technischen Strukturkonzepts zur Zielerreichung ist ein wesentlicher Inhalt der Methodenanpassung, in dessen Folge die grundsätzliche Ausrichtung des technischen Entwurfs durch die Spezifikation der nicht *funktionalen bzw. globalen Anforderungen* definiert wird.

Ein wesentlicher inhaltlicher Bestandteil der Methodenanpassung ist die Modellierung der Informationsakquise und -aufbereitung, worin große Überschneidungen mit dem Entwurf informationsbezogener Funktionen bestehen. Folglich werden aus der Methodenanpassung die initialen *funktionalen bzw. lokalen Anforderungen* gestellt. Auf Basis der *funktionalen Systemstruktur* werden anschließend weitere *Systemelemente* zur partiellen Systemfunktionalität entworfen und mit *lokalen Anforderungen* detailliert.

In der *prototypischen Implementierung* in Kapitel 5 werden die entworfenen Systemelemente unter Beachtung der definierten funktionalen Anforderungen entwickelt und implementiert sowie abschließend an vier produktionstypischen Anwendungsfällen aus Anwendungsperspektive betrachtet.

Die Evaluation erfolgt entsprechend der beschriebenen Vorgehensweise zur Methoden- und Systementwicklung auch in mehreren Schritten. Während die Entwicklung gemäß der diskursiven Meta-Methode zur Methodenentwicklung im *Top-down*-Vorgehen realisiert wird, wird die Evaluation in der umgekehrten Richtung (*Bottom-up*) durchgeführt, d.h. die Evaluation beginnt auf einer detaillierten Ebene und wird zum Gesamtsystem aggregiert (siehe Abbildung 113). Die an das V-Modell nach VDI2221 (siehe Kapitel 2.4.1) angelehnte Vorgehensweise der Systemevaluation beginnt demnach mit der kritischen Betrachtung der einzelnen Systemelemente und dem Test der korrekten Funktion der Elemente durch die Überprüfung der Erfüllung der jeweiligen lokalen bzw. funktionalen Anforderungen.

Anschließend wird die technische Systemstruktur im Gesamtsystemtest überprüft, wobei die globalen Anforderungen auf deren Erfüllung getestet werden (*siehe dritte Ebene in Abbildung 113*).

Mit der Überprüfung der Methodenanpassung im nächsten Schritt der Evaluationsvorgehensweise verschiebt sich die Sichtweise von einer technischen Basis auf eine Methodenorientierung. Im Wesentlichen erfolgt die Überprüfung durch die kritische Betrachtung der *angepassten operativen Aufgabenstellung* anhand der konkreten Aufgabenerfüllung in den Anwendungsfällen.

Die nachfolgende Ebene stellt eine weitere Abstraktion der Betrachtungsebene dar, in welcher die initiale Methodenentwicklung überprüft wird. Die Evaluation der Methodenentwicklung wird zum einen auf übergeordneter nicht funktionaler Ebene durchgeführt, aggregiert zum anderen zusätzlich die Ergebnisse aller zuvor erfolgten Evaluationsschritte. Die operative Gesamtaufgabenstellung gilt hierbei als zu erfüllendes Ziel.

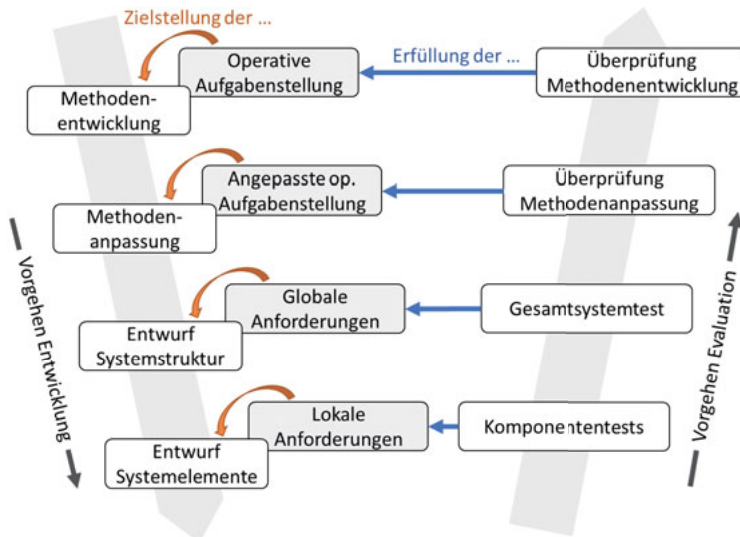


Abbildung 113: Vorgehensweise der Evaluation

Aufbauend auf der oben beschriebenen strukturellen Ausprägung der Evaluation wird im folgenden Absatz das inhaltlich-methodische Rahmenwerk der Evaluation erläutert.

Die *Methode zur Interaktionsmodellierung der heterogenen Teilnehmer im Produktionsnetzwerk* stellt eine teilnehmerorientierte Methode dar, mit deren Hilfe eine gegebene Aufgabe durch adäquate Interaktionsmodellierung unter der zu Hilfenahme computergestützter Tools erfüllt werden soll. Die Methode und deren technische Umsetzung spannen hiermit ein mehrdimensionales Wirkungsmodell auf.

Unterschiedliche Evaluationsrahmenwerke beschreiben die Evaluation des Gesamtsystems durch die Passung von Technik, Mensch und Aufgabe. Als bestehende adäquate Passungen zwischen den drei Bereichen entstehen – abhängig von der Betrachtungsweise – als Ergebnis Anwenderzufriedenheit (positive User-Experience) bzw. die Nutzenerfüllung des Systems. Dieses Konzept wurde von [Op92] im *software-ergonomischen Evaluationsmodell* umgesetzt, welches die drei Elemente *Benutzer*, *Aufgabe* und *Computer* sowie die Wechselwirkungen zwischen diesen Elementen einbezieht. Zur Evaluation der Methode zur Interaktionsmodellierung wird das Evaluationsmodell nach [Op92] in den Interaktionskontext überführt.

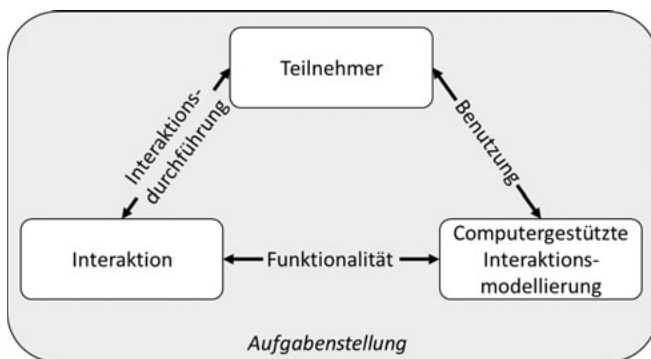


Abbildung 114: Interaktions-ergonomische Evaluation, angelehnt an [Op92]

Das überführte Evaluationsmodell in *Abbildung 114* ermöglicht die Betrachtung des mehrdimensionalen Wirkungsmodells der Methode zur Interaktionsmodellierung und umfasst die drei Elemente (heterogene) *Teilnehmer*, die *Interaktion* selbst und die *Interaktionsmodellierung*, die automatisiert durch das entwickelte IT-System durchgeführt wird. Zwischen den Elementen werden die Wechselwirkungen der *Interaktionsdurchführung* (Interaktion – Teilnehmer), der *Benutzung* (Teilnehmer – Interaktionsmodellierung) und der *Funktionalität* (Interaktion – Interaktionsmodellierung) eingeführt, um die Wechselwirkungen zu beschreiben, um die übergeordnete *Aufgabenstellung* zu erfüllen. Die *Interaktionsdurchführung* tritt ein, wenn die involvierten *Teilnehmer* die Interaktion in adäquater Weise ausführen können. Die *Benutzung* (Benutzerfreundlichkeit) stellt den Aufwand dar, welche die *Teilnehmer* zur *Interaktionsmodellierung* aufbringen müssen. Die *Funktionalität* wird durch die Weise bestimmt, in welcher die *Interaktionsmodellierung* die erforderliche *Interaktion* abbildet und deren Umsetzung unterstützt oder verkompliziert.

Die inhaltliche Evaluation dieser Kriterien wird im Wesentlichen in den Evaluationsschritten der Methodenentwicklung (*siehe Kapitel 6.4*) und Methodenanwendung (*siehe Kapitel 6.3*) sowie der kritischen Betrachtung der Anwendungsfälle verwendet. Die Evaluationsschritte der technischen Systemelemente (*siehe Kapitel 6.1*) und des technischen Gesamtsystems (*siehe*

Kapitel 6.2) beruhen hingegen im Wesentlichen auf der Erfüllung der lokalen bzw. der globalen Anforderungen.

6.1 Evaluation der technischen Systemelemente

Die Evaluation der einzelnen technischen Systemelemente erfolgt in diesem Abschnitt gemäß des Vorgehensmodells (siehe Abbildung 113) in Form der Überprüfung der jeweiligen lokalen bzw. funktionalen Anforderungen an die Systemkomponente. Im Detail werden die wesentlichen entworfenen Systemelemente der Systemstruktur (siehe Abbildung 90 auf Seite 153) einzeln überprüft: Interaktions-Match-Maker (Kapitel 6.1.1), Interaktionskonnektor (Kapitel 6.1.2), Interaktionscanvas-Modeler (Kapitel 6.1.3) sowie die einzelnen Informationsrepräsentationssysteme (Kapitel 6.1.4).

6.1.1 Interaktions-Match-Maker

Das Systemelement *Interaktions-Match-Maker* stellt die grundlegende logische Komponente der Implementierung dar, innerhalb derer die interaktionsrelevanten Informationen extrahiert und bewertet werden (siehe Kapitel 4.6 und Kapitel 5.2). Die wesentlichen Outputs der Komponente liegen in der Informationszusammenfassung im *eCanvas* und der mehrwertbezogenen Zuordnung eines für die heterogenen Teilnehmer adäquaten *Interaktionsmusters*.

Die lokalen bzw. funktionalen Anforderungen an das Systemelement werden in Abbildung 115 aufgelistet und hinsichtlich der Anforderungserfüllung in der Gestaltung des Systemelements in der Implementierung bewertet.

Interaktions-Match-Maker		
Anforderung	Bezeichnung der Anforderung	Anforderungserfüllung
LA 7.1	Korrekte Extraktion der akquirierten Informationen	●
LA 7.2	Korrekte Funktion der Interaktionsmusterzuordnung	●
LA 7.3	Hinreichende Performance der Zuordnung zur Anwendung im Produktivbetrieb	●
LA 7.4	Handlungsstrategien bei unzureichender Informationslage	●

Abbildung 115: Darstellung der lokalen Anforderungen an den Interaktions-Match-Maker und Bewertung der Anforderungserfüllung

Legende		
Anforderung wirderfüllt.	
● vollständig	◐ teilweise	○ nicht

Abbildung 116: Legende der Anforderungsbewertung

Der Interaktions-Match-Maker beweist in allen dargestellten Anwendungsfällen, dass die interaktionsrelevanten Informationen aus den einzelnen Informationsrepräsentationssystemen korrekt extrahiert werden (siehe LA 7.1). Die Informationen werden dabei hinsichtlich der informationellen Dimension aus BPiMN (prozessbezogen), dem Teilnehmermodell (teilnehmerbezogen) und dem

Interaktionsmusterkatalog (interaktionsbezogen) ausgelesen. Die wesentliche Komplexitätsursache der unterschiedlichen Informationsherkunft wird adäquat aufgelöst. Aufbauend auf der korrekten Informationsextraktion werden nachfolgend die potentiellen Interaktionsmuster *korrekt zugeordnet* (siehe LA 7.2), welche durch das sukzessive Nachvollziehen der Zuordnung in den Anwendungsfällen überprüft wird.

Die produktive Anwendung der *Methode zur Interaktionsmodellierung* und der technischen Umsetzung im Fertigungsumfeld erfordert eine ausreichende Performance des Systems, in diesem Systemelement speziell der Interaktionszuordnung (siehe LA 7.3). Die Performance hinsichtlich der Anwendbarkeit wird im Wesentlichen durch die erforderliche Zeitspanne zwischen Anforderung einer Interaktionszuordnung durch den Interaktionskonnektor und der Ausgabe eines eCanvas als Ergebnisdokumentation und -mitteilung an die beteiligten Systemelemente beschrieben. Ein wesentlicher Faktor auf die Systemperformance stellt die Ausstattung der verwendeten Hardware zur Berechnung dar [Le12]. In den Anwendungsfällen werden die auf JAVA basierenden Systemkomponenten auf einem *Revolution Pi 3* ausgeführt. Die Informationsrepräsentationen sind ebenfalls auf diesem System gespeichert, weshalb keine Latenzen für den Speicherzugriff über ein Netzwerk oder Ähnliches auftreten und das Ergebnis beeinflussen. Eine weitere Variation des Performanceergebnisses wird durch die unterschiedlichen Anwendungsfälle selbst hervorgerufen, welche auf die variierende Anzahl potentieller Interaktionsmuster sowie die variierende Menge an untersuchten *Working Packages* im Prozessabschnitt zurückzuführen sind. Die zufällige Abweichung in relevanter Höhe des Messergebnisses, welches die *JAVA-Methode nanoTime* liefert, wird durch die Versuchswiederholung in vier Fällen nahezu ausgeschlossen. In *Abbildung 117* werden die Ergebnisse der Performancevalidierung dargelegt. Die Bearbeitungszeit der Interaktionsmusterzuordnung liegt in allen Versuchsdurchläufen deutlich unter *0,5 Sekunden*, was als adäquate Zeitspanne für den Synthesevorgang betrachtet wird und weshalb auf eine statistische Auswertung verzichtet wird.

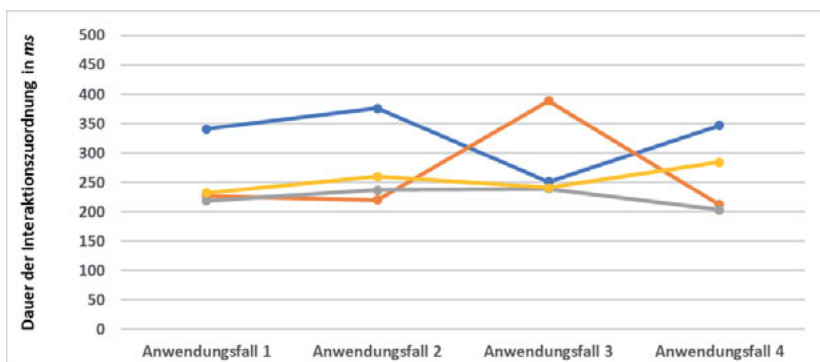


Abbildung 117: Darstellung der Systemperformance zur Interaktionsmusterzuordnung in vier Wiederholungen je Anwendungsfall

In *Anwendungsfall 3* wird darüber hinaus ein Fallbeispiel aufgezeigt, in welchem auf Grund der Konstellation aus Aufgabe, Nutzen der Interaktion und Teilnehmern mit eingeschränkten Fähigkeiten eine Interaktionsmusterzuordnung nicht möglich ist. An den *Interaktions-Match-Maker* besteht in diesem Fall die Anforderung, eine adäquate Strategie zu wählen, um den Methodenanwender auf dieses Problem aufmerksam zu machen (*siehe LA 7.4*). In jedem Fall muss das Verharren im undefinierten Zuordnungszustand ohne eine Erkennbarkeit für den Anwender vermieden werden. Innerhalb des *eCanvas* definiert der *Interaktions-Match-Maker* hierfür die *Adaption-Klasse* (*siehe Abbildung 80*), wodurch eindeutig die Notwendigkeit der Anpassung der Teilnehmerfähigkeit festgelegt ist.

6.1.2 Interaktionskonnektor

Der *Interaktionskonnektor* stellt das Systemelement dar, welches im Wesentlichen die Integration der unterschiedlichen Teilnehmertypen sicherstellt (*siehe Kapitel 4.6 und Kapitel 5.3*). Hierfür umfasst der Interaktionskonnektor heterogene Schnittstellen, die vor allem in Schnittstellen für menschliche Teilnehmer und nicht-menschliche Teilnehmer untergliedert werden können. Die adäquate Funktion des Interaktionskonnektors stützt sich auf die lokalen Anforderungen in *Abbildung 118*.

Interaktionskonnektor		
Anforderung	Bezeichnung der Anforderung	Anforderungserfüllung
LA 8.1	Bereitstellung teilnehmergerechter Schnittstellen	●
LA 8.2	Unterstützung von Industrie 4.0-Kommunikationsstandards (OPC-UA & AMQP)	●
LA 8.3	Bereitstellung einer intuitiven Bedienung (Mensch-Maschine-Interface)	●

Abbildung 118:Darstellung der lokalen Anforderungen an den Interaktionskonnektor und Bewertung der Anforderungserfüllung

In *Anforderung 8.1* wird die Bereitstellung von Schnittstellen gefordert, die jedem Teilnehmertypen gerecht werden. Als initialer Schritt werden hierbei – wie oben erwähnt – menschliche Teilnehmer und nicht-menschliche Teilnehmer unterschieden. Die nicht-menschlichen Teilnehmer werden durch gängige M2M-Kommunikationsstandards aus dem Industrie 4.0-Bereich unterstützt (*siehe LA 8.2*). Mit *OPC-UA* wird der sich abzeichnende Standard in der industriellen Kommunikation (*siehe Kapitel 2.1.4*) direkt zur Verbindung mit dem *Teilnehmertyp Maschine* eingesetzt, welcher zukünftig auch zunehmend den *Teilnehmertyp Service* unterstützen wird, um die Bereiche *IT (Information Technology)* und *OT (Operation Technology = Shopfloor)* übergreifend zu verbinden. Der *Teilnehmertyp Service* bedarf zur adäquaten Anbindung zusätzlich eine leichtgewichtigere Kommunikationslösung, welche in der Implementierung mit *AMQP* bereitgestellt wird.

Die Bereitstellung einer menschengerechten Schnittstelle führt zur Integration einer Benutzerschnittstelle (*siehe LA 8.3*), die eine intuitiv zu bedienende Oberfläche besitzt. Das *Interface* ist in einem responsiven Design gestaltet, um eine Darstellung auf mobilen Geräten, wie auch im Web-Browser auf stationären Geräten, zu ermöglichen. Das Interface des *Interaktionskonnektors* stellt einen eigenen Service zur Verfügung und wird über *AMQP*

angesprochen; allerdings wird das Interface nicht als eigener Teilnehmer aufgeführt und behandelt, sondern wird zu einem Teilnehmer integriert und kann dessen Fähigkeiten erweitern.

Die intuitive Bedienung des *Interaktionskonnektors* wird gerade für menschliche Teilnehmer über eine Bedienung und Funktionsbereitstellung sichergestellt, die nach Vorbild moderner sozialer Netzwerke und Messenger-Dienste gestaltet ist (siehe Kapitel 2.2.2).

6.1.3 Interaktionscanvas-Modeler

Die Systemkomponente des *Interaktionscanvas-Modeler* stellt die Funktion der transparenten Darstellung und niedrigschwelligen Adaption des eCanvas bereit (siehe Kapitel 4.6, Kapitel 5.2 und Kapitel 5.4). Der *eCanvas* bildet das Austauschformat der Gesamtheit aller interaktionsrelevanten Informationen innerhalb der automatisierten Methodendurchführung ab. Der *eCanvas* ist in XML-Notation strukturiert und wird durch die Zusammenführung der informationellen Inhalte und der Anreicherung mit zusätzlichen semantischen Informationen umfangreich und unübersichtlich.

Interaktionscanvas-Modeler		
Anforderung	Bezeichnung der Anforderung	Anforderungserfüllung
LA 9.1	Bereitstellung eines Interfaces speziell für menschliche Teilnehmer	●
LA 9.2	Intuitive & niedrigschwellige Möglichkeit zur Adaption des eCanvas	●
LA 9.3	Kompatibilität mit dem eCanvas	●

Abbildung 119: Darstellung der lokalen Anforderungen an den Interaktionscanvas-Modeler und Bewertung der Anforderungserfüllung

Mit dem Ziel einer transparenten Darstellung der interaktionsbezogenen Informationen wird im Interaktionscanvas-Modeler – gemäß der lokalen Anforderung LA 9.1 (siehe Abbildung 119) – eine übersichtliche Oberfläche speziell anhand der Bedürfnisse menschlicher Teilnehmertypen gestaltet. Diese Oberfläche bietet neben der übersichtlichen Darstellung des *eCanvas* (siehe Abbildung 110) zusätzlich die Funktion einer niedrigschwelligen Möglichkeit zur Adaption des eCanvas (siehe LA 9.2). Die Anpassung des eCanvas wird notwendig, sobald auf Grund fehlender Teilnehmerfähigkeiten ausschließlich Interaktionsmuster mit Hemmnissen mit Ausschlusskriterien auftreten (siehe Anwendungsfall 3 in Kapitel 5.5.3). In diesem Fall ist eine Interaktionszuordnung nicht möglich, weshalb eine Anpassung der Fähigkeiten und Hemmnisse im Interaktionscanvas-Modeler vorgenommen wird.

Die korrekte Darstellung und die Adaption des *eCanvas* setzt die vollständige Kompatibilität mit dem Austauschformat voraus (siehe LA 9.3), welche durch die Darstellung des eCanvas sowie der wechselseitigen Anpassung und Überprüfung des eCanvas zwischen den Systemelementen in den Anwendungsfällen validiert ist.

6.1.4 Informationsrepräsentationssysteme

Die Methode zur Interaktionsmodellierung und die automatisierte Ausführung zur Interaktionszuordnung basieren im Wesentlichen auf strukturierten Vorgehensweisen der

Informationsakquisition und -aufbereitung sowie der Synthese der Informationen. In der Methodenanpassung (siehe Kapitel 4) werden die Funktionen und Anforderungen der wesentlichen Repräsentationen bereits aufbereiteter Informationen erarbeitet. Die Informationen sind gemäß des ressourcenorientierten Strukturmodells (siehe Kapitel 4.5.3) hinsichtlich der informationellen Dimension in teilnehmerorientierte (siehe Teilnehmermodell), prozessorientierte (siehe BPIMN) und interaktionsorientierte (siehe Interaktionsmusterkatalog) zu unterscheiden. Komplementierend wird zur Sicherstellung der Richtigkeit der Daten und zur ressourcenoptimierten Informationsverwendung der eCanvas als systemweites Austauschformat auf Basis der XML-Notation eingeführt. Im Folgenden werden die vier unterschiedlichen genannten Informationsrepräsentationssysteme jeweils anhand der Erfüllung der lokalen Anforderungen bewertet.

eCanvas

Der eCanvas nimmt als systemweites Austauschformat der Gesamtheit aller interaktionsbezogenen Informationen eine zentrale Stellung in der Systemstruktur ein (siehe Kapitel 4.3.3 und Kapitel 4.6). Die lokalen Anforderungen an das Austauschformat werden in Abbildung 120 dargestellt und bewertet.


eCanvas		
Anforderung	Bezeichnung der Anforderung	Anforderungserfüllung
LA 6.1	Systemweite Informationsrepräsentation	
LA 6.2	Informationsdarstellung in strukturierten XML-Format	
LA 6.3	Korrekte Informationsabbildung	
LA 6.4	Adäquate Einbindung der Teilnehmer auf dem Shopfloor	
LA 6.5	Transparenz und Anwendbarkeit der Informationen für heterogene Teilnehmer	

Abbildung 120: Darstellung der lokalen Anforderungen an den Interaktions-Match-Maker und Bewertung der Anforderungserfüllung

Die Verwendung des eCanvas als systemweite Informationsrepräsentation (siehe LA 6.1) wird durch die zentralen Stellung in der Systemstruktur (siehe Abbildung 90) sowie der Verwendung des eCanvas in allen Systemkomponenten der Dienste-Schicht belegt. Die lokale Anforderung LA 6.2 wird durch die Verwendung der XML-Notation als Basis des eCanvas voll erfüllt. Zur korrekten Funktion des Gesamtsystems ist die korrekte Abbildung (siehe LA 6.3) der extrahierten (Interaktions-Match-Maker) und adaptierten Informationen (Interaktions-canvas-Modeler) sicherzustellen. Anhand der detailliert beschriebenen Anwendungsfälle, die eine korrekte Funktion des Gesamtsystems und aller Systemelemente darlegen, ist die korrekte Informationsabbildung validiert und vollständig erfüllt.

An den eCanvas besteht auf Grund der zentralen Rolle im Gesamtsystem die Anforderung, eine Transparenz und Anwendbarkeit der enthaltenen Informationen für alle heterogenen Teilnehmer zu schaffen (siehe LA 6.5). Durch die systemweit gleiche Gestaltung der Informationen im eCanvas und die ständige Verfügbarkeit der Informationen in Bezug auf jeden einzelnen Prozessschritt des Produktionsprozesses sind Transparenz und Anwendbarkeit gegeben. Allerdings besteht auf Grund der Fülle der hinterlegten

Informationen und dem XML-Format typischen Erscheinungsbild gerade für den *Teilnehmertyp Mensch* eine Einschränkung in der Übersichtlichkeit der Informationen. Der eCanvas ist trotz der Repräsentation in Klartext als strukturierte Informationsrepräsentation mit dem Fokus auf der maschinellen Verarbeitung der Systemkomponenten ausgelegt und erfüllt somit – durch die Einschränkungen der Übersichtlichkeit für menschliche Teilnehmer – die Anforderung LA 6.5 teilweise. Diese kritische Betrachtung gilt analog ebenfalls für Anforderung LA 6.4, in welcher der Schwerpunkt auf der Verwendung auf dem Shopfloor liegt. Der eCanvas bindet hierbei die Systemkomponenten auf dem Shopfloor adäquat ein, besitzt allerdings Einschränkungen bei der Integration menschlicher Teilnehmer auf Grund der Unübersichtlichkeit eines gesamten eCanvas. Um dieses Defizit der Systemkomponente eCanvas in der Anwendung des Gesamtsystems auszugleichen, stellt der *Interaktionscanvas-Modeler* (siehe Kapitel 6.1.3) die Funktion eines übersichtlichen und niedrigschwelligen Interface zur eCanvas-Darstellung zur Verfügung.

Interaktionsmusterkatalog

Die *Interaktionsmusterrepräsentation* wird in zwei Schritten entworfen: In Kapitel 4.2.3 wird die grundlegende Repräsentation eines *Interaktionsmusters* beschrieben, während in Kapitel 4.3.1 aufbauend die Sammlung der *Interaktionsmuster* im *Interaktionsmusterkatalog* erörtert wird. Die beiden Entwurfsschritte sind unterschiedlichen Phasen (*Akquisition und Aufbereitung*) im Referenzmodell zur Methodenentwicklung (siehe Kapitel 3.1) zugeordnet, weshalb die lokalen Anforderungen ursprünglich in zwei Kategorien ermittelt werden. Die Evaluation in diesem Abschnitt bezieht sich auf die Gesamtheit eines Systemelements, weswegen die dem Systemelement zugehörigen lokalen Anforderungen zusammen bewertet werden.

Interaktionsmusterrepräsentation		
Anforderung	Bezeichnung der Anforderung	Anforderungserfüllung
LA 3.1	Unterschiedlichkeit der Interaktionsmuster adäquat abbilden	●
LA 3.2	Anwendung offener Industrie 4.0-Datenrepräsentationskonzepte	●
LA 3.3	Handhabbarkeit durch Informationsabstraktion	●
LA 4.1	Systemweite Informationsrepräsentation	●
LA 4.2	Anwendung offener Industrie 4.0-Datenrepräsentationskonzepte	●

Abbildung 121: Darstellung der lokalen Anforderungen an die Interaktionsmusterrepräsentation und Bewertung der Anforderungserfüllung

Im ersten Schritt wird das Interaktionsmuster als Informationsrepräsentation vorgefertigter verfügbarer Interaktionen in einem definierten Produktionskontext bewertet. Das Standardtemplate des Interaktionsmusters besitzt mit den angeforderten Fähigkeiten zur Interaktionsmusteranwendung und deren Unterscheidung in Master-Skills und Slave-Skills ein adäquates Mittel, um die Anforderungen an die involvierten Teilnehmer individuell gestalten und somit dem heterogenen Anspruch genügen zu können. Mit der Unterscheidung der Interaktionsmuster nach dem *Typ* der Anwendung, der Darstellung des Nutzwerts durch die Interaktion und dem frei wählbaren *Protocol* ist die Abbildung der unterschiedlichen Anwendungsfelder für den Interaktionscanvas hinreichend erfüllt (siehe LA 3.1). Die

Aufteilung der Interaktionsmuster in atomare Muster, die in unterschiedlicher Kombinatorik die Gesamtheit der Interaktionen abbilden können, ist ein zukunftsträchtiges Konzept, welches allerdings aus dem Grund der Handhabbarkeit und fehlenden Datengrundlage in dieser Arbeit nicht weiterverfolgt wird. Stattdessen wird ein handhabbares Abstraktionsniveau entsprechend der Nutzwertbefriedigung auf Prozessebene gewählt (siehe LA 3.3). Die entworfenen Konzepte des Interaktionsmusters sowie des Interaktionsmusterkatalogs bilden die zentrale und exklusive Informationsrepräsentation der interaktionsmusterbezogenen Informationen ab (siehe LA 4.1). Um die Schnittstellen zu koexistierenden IT-Systemen sicherzustellen und somit die Informationsverwendung in nachfolgenden Prozessschritten zu ermöglichen, wird auf einen Repräsentationsansatz in Anlehnung an die Verwaltungsschale gesetzt und das XML-Datenformat als Austauschformat gewählt. Die Anwendung offener Industrie 4.0-Datenrepräsentationskonzepte wird somit unterstützt und die Anforderung (LA 3.2 und LA 4.2) auf Ebene des Interaktionsmusters und -katalogs erfüllt.

Teilnehmermodell

Die *Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer im wandelbaren Produktionsnetzwerk* und deren Implementierung legen einen Schwerpunkt auf die Integration der heterogenen Interaktionsteilnehmer: Mensch, Maschine und Service. Die Anforderungen an die Informationsrepräsentation der verschiedenen Teilnehmertypen werden in *Abbildung 122* bewertet.

Teilnehmermodell heterogener Teilnehmer		
Anforderung	Bezeichnung der Anforderung	Anforderungserfüllung
LA 2.1	Heterogenität der Teilnehmer abbilden	●
LA 2.2	Systemweite Informationsrepräsentation	●
LA 2.3	Anwendung offener Industrie 4.0-Datenrepräsentationskonzepte	●
LA 2.4	Handhabbarkeit durch Informationsabstraktion	●

Abbildung 122: Darstellung der lokalen Anforderungen an das Teilnehmermodell und Bewertung der Anforderungserfüllung

Die Kategorisierung der Heterogenität der Teilnehmer wird nach Vorbild des *Industrial Internet of Things, Services and People (IIoTSP; siehe Kapitel 2.1.3)* vorgenommen. Die Unterschiedlichkeit der Teilnehmer wird abstrakt in den Fähigkeiten und Bedürfnissen der einzelnen Teilnehmer-Typenklassen abgebildet. Die detailliertere Abbildung der heterogenen Anforderungen erfolgt auf Basis der individuellen Bedürfnisse und Fähigkeiten eines einzelnen Teilnehmers, welche in das Teilnehmermodell je Teilnehmer integriert sind (siehe LA 2.1). Das Teilnehmermodell bildet gemäß der ressourcenorientierten Ablaufstruktur (siehe Kapitel 4.5.3) die Gesamtheit aller teilnehmerbezogenen Informationen ab, womit es einen zentralen systemweiten Informationspool mit Teilnehmerorientierung bildet (siehe LA 2.2). Um die individuelle Informationsrepräsentation der einzelnen Teilnehmer umzusetzen, wird eine Struktur implementiert, welche die Elemente der Verwaltungsschale umsetzt (siehe LA 2.3), d.h. es wurde eine Verwaltungsschale für die einzelnen Teilnehmer entworfen. Die

Besonderheit liegt in der übergreifenden Anwendung des Verwaltungsschalenkonzepts für alle Teilnehmertypen – im speziellen für den Typen Mensch. Die individuellen Fähigkeiten werden in der Verwaltungsschale als Teilmodelle dargestellt, welche aus einem definierten Portfolio ausgewählt werden können. Gerade die Beschreibung der Fähigkeiten und der menschlichen Individuen bedarf großer Sorgfalt [Sp13]. Die Handhabbarkeit zur Informationsmodellierung der Fähigkeiten wird durch die Wahl eines geeigneten Abstraktionsniveaus sichergestellt (siehe LA 2.4).

BPiMN

Die Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer adressiert die Lücke an Methoden zur Entwicklung von Detaillösungen in der Prozessentwicklung. Speziell die Interaktionsmodellierung erhält durch die zunehmende Komplexitätssteigerung in Produktionsnetzwerken aus heterogenen Teilnehmern eine erhöhte Relevanz. Die Basis für eine adäquate Interaktionsmodellierung bildet der Beitrag zur Aufgabenerfüllung innerhalb eines Produktionsprozesses. BPiMN und dessen technische Umsetzung liefern ein Konzept zur semantischen Informationserweiterung einer strukturierten Prozessbeschreibung auf Basis von BPMN2.0. Die Anforderungen an die Gestaltung der prozessbezogenen Informationsrepräsentation sind in *Abbildung 123* dargestellt.






Strukturierte und angereicherte Prozessbeschreibung in BPiMN		
Anforderung	Bezeichnung der Anforderung	Anforderungserfüllung
LA 1.1	Prozess handhabbar strukturieren	
LA 1.2	Übersichtlichkeit des Produktionsprozesses gewährleisten	
LA 5.1	Adäquate Informationsanreicherung der Prozessmodellierung	
LA 5.2	Übersichtlichkeit der Informationsanreicherung	
LA 5.3	Transparenz und Anwendbarkeit der Informationen für heterogene Teilnehmer	

Abbildung 123: Darstellung der lokalen Anforderungen an BPiMN und Bewertung der Anforderungserfüllung

Mit der Einführung der sogenannten *Working Packages* (siehe Kapitel 4.2.1) ist es möglich auch größere Produktionsprozesse in einem handhabbaren Rahmen zu strukturieren (siehe LA 1.1). So werden die Arbeitspakete hinsichtlich der Nutzenerfüllung einer Aufgabenstellung mit Hilfe der zu modellierenden Interaktion gegliedert (siehe z.B. Anwendungsfall 2 in *Abbildung 104*). Zusätzlich werden die einzelnen Wirkungslinien einer Interaktion der Interaktion eindeutig zugeordnet. So ist es auch möglich, verteilte und zeitverzögerte Reaktionen (z.B. Antworten) der Ursprungsinteraktion zuzuordnen und somit zur Übersichtlichkeit der Prozessbeschreibung beizutragen (siehe LA 1.2). Abhängig von der Gestaltung des Produktionsprozesses und den zusätzlichen Informationen der Strukturierung und Interaktionszuweisung, welche zusätzliche Beschreibungselemente darstellen, stellt speziell die XML-Notation von BPiMN eine Herausforderung hinsichtlich einer übersichtlichen Darstellung dar.

Die Informationsanreicherung der Prozessmodellierung (siehe LA 5.1) wird in mehreren Stufen durchgeführt, um die Integration der benötigten Informationen zu gewährleisten. Die bereits beschriebene Erweiterung um strukturelle Elemente stellt den ersten Schritt dar; die

semantische Erweiterung in den nutzwertbezogenen Informationen den zweiten. Die semantische Informationserweiterung erfolgt in der grafischen Repräsentation direkt an dem Interaktionsinitiator und ist somit unmissverständlich in die Prozessbeschreibung integriert. Zusätzlich zur grafischen Erweiterung wird in der XML-Notation von BPiMN eine neue Klasse zur Nutzwertbeschreibung integriert, welche den Nutzen der Interaktion in Klartext hinterlegt (siehe Kapitel 4.3.2). Die Gestaltung der grafischen Darstellung und der maschinenlesbaren XML-Notation erfüllt die Anforderung hinsichtlich der Übersichtlichkeit der Informationserweiterung vollumfänglich (siehe LA 5.2). Ebenso wird durch die parallele Verwendung der maschinenlesbaren und der grafischen Repräsentation die Anpassung von BPiMN an die Bedürfnisse der heterogenen Teilnehmertypen sichergestellt (siehe LA 5.3).

6.2 Evaluation des Gesamtsystems

Die in Kapitel 4.6 entworfene funktionale Gesamtsystemstruktur wird zur Komplexitätsreduktion in funktionale Partialmodelle zerlegt. Die einzelnen Partialmodelle bzw. Systemelemente werden hinsichtlich der Erfüllung der *lokalen Anforderungen* in Kapitel 6.1 evaluiert. Gemäß der Vorgehensweise zur Evaluation (siehe Abbildung 113) wird nach erfolgreicher Evaluation der Systemelemente das Gesamtsystem anhand der Erfüllung der *globalen Anforderungen* überprüft.

Innerhalb der Methodenadaptation in Kapitel 4 werden die globalen Anforderungen aufgestellt (siehe Kapitel 4.1.4), um die Rahmenbedingungen der Umsetzung der automatisierten Methodenbedingungen festzulegen. Die Anforderungen besitzen einen nicht-funktionalen Charakter und sind in fünf Kategorien gegliedert: Funktionalität, Usability und Gebrauchstauglichkeit, Anpassbarkeit und Wiederverwendbarkeit, Effiziente Performance sowie Kompatibilität. In Abbildung 124 werden die einzelnen Anforderungen dargestellt und bewertet. Die Darstellung der Funktion des Gesamtsystems in den unterschiedlichen Anwendungsfällen (siehe Kapitel 5) zeigt, dass sowohl der Funktionsumfang für die automatisierte Methodendurchführung angemessen ist (siehe GA 1.1) als auch die Funktion eine korrekte Interaktionszuordnung gemäß der Methodensynthese (siehe Kapitel 4.4) ermöglicht (siehe GA 1.2). Die Gebrauchstauglichkeit des Gesamtsystems wird in erster Instanz durch die menschenbezogenen Benutzerschnittstellen sichergestellt. Die Oberflächen des *Interaktionskonnektors* und des *Interaktionscanvas-Modelers* bieten einen niedrigschwelligen Zugang zur Methodendurchführung sowie eine intuitive Bedienung, die der Usability moderner Kommunikationsmedien nachempfunden ist (siehe GA 2.1). Die intuitive Bedienbarkeit des Gesamtsystems wird zusätzlich durch übersichtliche grafische Darstellungen der nativ maschinenlesbaren Informationsrepräsentationen (wie z.B. dem *eCanvas*) unterstützt. Hinsichtlich der Nutzbarkeit ist das responsive Design der Oberflächen hervorzuheben, welches eine mobile Bedienung des Interfaces in einer Android-App, wie auch die Bedienung einer Web-App in einem beliebigen Browser ermöglicht. Die transparente Präsentation der informationellen Hintergründe (siehe GA 2.2) besitzt einen elementaren Einfluss auf die Akzeptanz des

Gesamtsystems zur Anwendung in der Produktion. Neben der Transparenz werden mit der Offenlegung und Einbeziehung der möglichen Mehrwerte einer Interaktion entscheidende Anreize geschaffen, die die Akzeptanz des Systems ermöglichen (*siehe GA 2.3*).

Gesamtsystem		
Anforderung	Bezeichnung der Anforderung	Anforderungserfüllung
GA 1	<i>Funktionalität</i>	●
GA 1.2	Angemessene Funktionalität zur automatisierten Methodendurchführung	●
GA 1.3	Korrekte Funktion zur Anwendung im Produktivbetrieb	●
GA 2	<i>Usability und Gebrauchstauglichkeit</i>	●
GA 2.1	Leichter Zugang und Bedienbarkeit	●
GA 2.2	Transparenz und Übersichtlichkeit	●
GA 2.3	Akzeptanz durch Mehrwertnutzung	●
GA 3	<i>Anpassbarkeit und Wiederverwendbarkeit</i>	◐
GA 3.1	Wiederverwendbarkeit	◐
GA 3.2	Leicht modifizierbar und anpassbar	●
GA 4	<i>Effiziente Performance</i>	●
GA 4.1	Ressourcen effektiv nutzen	●
GA 4.2	Kapazitäten schonen	●
GA 5	<i>Kompatibilität</i>	◐
GA 5.1	Koexistenz zu anderen Systemen	●
GA 5.2	Übertragbarkeit	◐

Abbildung 124: Darstellung der globalen Anforderungen an das technische Gesamtsystem und Bewertung der Anforderungserfüllung

An das entworfene Gesamtsystem werden Anforderungen hinsichtlich der Anpassbarkeit und Wiederverwendbarkeit gestellt, die nicht in Gänze erfüllt werden können. Während das technische System die vielfältige Möglichkeit zur Adaption an die jeweilige Produktionsumgebung und die involvierten Produktionsteilnehmer in der einfachen Anpassung der informationellen Repräsentationssysteme bereitstellt (*siehe GA 3.2*), ist die Wiederverwendung von Systemkomponenten in der Gesamtsystemstruktur nur eingeschränkt möglich (*siehe GA 3.1*). Die einzelnen Systemelemente unterstützen vielmehr sehr spezifische Funktionen. Die Entscheidung im Entwurfsprozess fällt auf spezialisierte Komponenten, die eine ressourcenschonende Gestaltung (*siehe GA 4.1*) – gerade im Hinblick auf die ressourcenorientierte Struktur (*siehe Kapitel 4.5.3*) – ermöglichen. Wenngleich eine Wiederverwendbarkeit der System-(teil-)elemente nur bedingt möglich ist, so werden die Katalogstrukturen der Informationsrepräsentationen der unterschiedlichen informationellen Dimensionen weitestgehend wiederverwendet (*siehe Fähigkeit- und Interaktionsmusterkatalog*). Die ressourceneffiziente Gestaltung der Systemkomponenten (*siehe GA 4.1*) durch Spezialisierung an die funktionalen Anforderungen besitzt auf Grund der Anwendung auf integrierten Hardwarekomponenten in der Produktion eine hohe Relevanz und kann anhand der Performanceüberprüfung in *Kapitel 6.1.1* als erfüllt angesehen werden. Neben der ressourceneffizienten Gestaltung ist die kapazitätsschonende Methodenanwendung zu überprüfen (*siehe GA 4.2*), welche den Einsatz der Mitarbeiter zur Methodendurchführung betrachtet. Mit Hilfe der automatisierten Methodendurchführung der Interaktionsmodellierung wird eine automatisierte Interaktionsmusterzuordnung auf dem Shopfloor ermöglicht. Die intuitiven Interfaces tragen zusätzlich dazu bei, dass die

Interaktionsmodellierung und -zuordnung zukünftig durch die Mitarbeiter auf dem Shopfloor – ohne die Zuarbeit eines Mitarbeiters aus dem Engineering – möglich ist und somit die Begrenzung der Kapazitäten der Mitarbeiter voll erfüllt wird.

Sowohl die Methode zur Interaktionsmodellierung als auch die prototypische Umsetzung, werden zur Anwendung in der Produktion entworfen. Die Koexistenz (*siehe GA 5.1*) mit anderen IT-Systemen und Engineeringwerkzeugen der digitalen Fabrik sowie die Übertragbarkeit (*siehe GA 5.2*) der Methodenergebnisse stellen daher eine Anforderung des Systementwurfs dar. Die technische Umsetzung der Methode erfolgt als autarkes System, welche neben bestehenden Systemen existiert und eine interaktionsbezogene Ergänzung zu diesen darstellt. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse ist gegeben, solange die weiterverarbeitenden Systeme die offenen Kommunikationsstandards (z.B. OPC UA, AMQP) und Informationsbeschreibungen (z.B. XML, Verwaltungsschale) unterstützen. Daher ist die Übertragbarkeit, auf Grund der fehlenden proprietären Schnittstellen und Informationsinterpretationen, nur mit offenen Standards und somit eingeschränkt möglich.

6.3 Evaluation der Methodenanpassung

Die Evaluation der funktionalen Systemelemente (*siehe Kapitel 6.1*) und deren Gesamtheit im funktionalen Gesamtsystem (*siehe Kapitel 6.2*) setzten einen Schwerpunkt auf die Evaluation der technischen Komponenten. Im Folgenden wird der Teil der Arbeit mit einem Schwerpunkt auf der methodenorientierten Entwicklung evaluiert. In diesem Kapitel wird gemäß der Vorgehensweise zur Evaluation (*siehe Abbildung 113*) die Methodenanpassung überprüft, bevor im nachfolgenden *Kapitel 6.4* die initiale Methodenentwicklung kritisch betrachtet wird.

Die Evaluation der *Methodenanpassung* wird anhand der Erfüllung der *angepassten operativen Aufgabenstellung* (*siehe Kapitel 4.1.2*) aus übergeordneter Perspektive bei der angepassten Methodendurchführung in den Anwendungsfällen (*siehe Kapitel 5.5*) und der direkten Umsetzung in der *ressourcenorientierten Ablaufstruktur* (*siehe Kapitel 4.5.3*) betrachtet.

Aus der angepassten Gesamtaufgabenstellung werden die wesentlichen Anforderungen ermittelt und extrahiert, auf deren Grundlage eine Bewertung der Methodenanpassung durchgeführt wird (*siehe Abbildung 125*). Das erste wesentliche Kriterium beschreibt die Entwicklung einer geeigneten Vorgehensweise, um *agil auf die spontanen Änderungsmaßnahmen in der Produktion* reagieren zu können. Die Anforderung adressiert vornehmlich die Wandlungsfähigkeit im Kontext der agilen Produktion in einem Wertschöpfungsnetzwerk, welches zwischen unterschiedlichen Fertigungsstätten wie auch zukünftig innerhalb einer einzelnen Produktionsstätte begründet liegt.

Der Anpassung an die *Ad-hoc-Veränderungen des Produktionskontexts* wird in der Methodenanpassung maßgeblich durch die Transformation zu einer automatisierten Methodenausführung mit Hilfe von computerunterstützten Werkzeugen Rechnung getragen.

In der Methodenanpassung werden daher vornehmlich Arbeitsaufwände, die ursprünglich dem Engineering zugeordnet sind und im Wesentlichen aus gestalterischen Inhalten bestehen, dem Vorgang der Interaktionszuordnung vorgelagert.

Angepasste operative Gesamtaufgabenstellung		
Die automatisierte Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer im Produktionsnetzwerk verfolgt das Ziel, agil auf einen veränderten Produktionskontext reagieren zu können, um den heterogenen Produktionsteilnehmern eine adäquate Interaktion zu ermöglichen. Den Teilnehmern wird hierbei eine transparente und nachvollziehbare Methode zur Zuordnung von Interaktionsmustern zur Verfügung gestellt.		
Anforderung	Bezeichnung der Anforderung	Anforderungserfüllung
AOG 1.1	Vorgehensweise, um agil auf die Veränderungen des Produktionskontext reagieren zu können	●
AOG 1.2	Adäquate Interaktionszuordnungen für heterogene Teilnehmer	●
AOG 1.3	Transparente und nachvollziehbare Methode	●

Abbildung 125: Extraktion der wesentlichen Evaluationskriterien der Methodenanpassung und deren Bewertung

Mit der Trennung der Tätigkeiten der Methodendurchführung wird die Informationssynthese mit dem Ziel der adäquaten Interaktionszuordnung aus den Entwicklungsabteilungen auf den Shopfloor übertragen. Die vorwiegend gestalterischen Entwicklungstätigkeiten werden in die vorgelagerte qualifizierte Informationsakquise und -aufbereitung (*siehe Vorbereitungsphase der ressourcenorientierten Ablaufstruktur in Abbildung 86*) überführt, die das Ziel einer intelligenten Informationsrepräsentation besitzt. Gerade die *ressourcenorientierte Ablaufstruktur* (*siehe Abbildung 86*) als methodenbezogenes Ergebnis der Methodenanpassung in *Kapitel 4* zeigt durch die Einordnung in drei Phasen (Vorbereitungs-, Zuordnungs- und Lösungsphase) eine konkrete Handlungsstruktur auf, welche die unterschiedlichen informationellen Dimensionen (prozess-, teilnehmer- und interaktionsbezogene Informationen) im Kontext eines wandlungsfähigen Produktionsnetzwerks abbildet. In allen vier Anwendungsfällen (*siehe Kapitel 5.5*) werden spontane Veränderungen der Informationsbedarfe der Prozessteilnehmer beispielhaft betrachtet. In weiterer Spezialisierung werden in Anwendungsfall 2 der Ad-hoc-Austausch eines Teilnehmers einer Teilaufgabe des Produktionsprozesses und die hierfür notwendige Interaktion dargestellt. Die automatisierte Durchführung der angepassten Methode wird hinsichtlich der Anforderung *AOG 1.1* somit vollständig erfüllt.

Die *adäquate Interaktionszuordnung für heterogene Teilnehmer* stellt die zweite Anforderung der Methodenanpassung dar (*siehe AOG 1.2*) und adressiert im Wesentlichen die Problemstellung der Heterogenität der Teilnehmer in Hinblick der Interaktionsmusterzuordnung. In erster Betrachtung erfolgt die Unterscheidung der Teilnehmer durch die Einteilung in die Teilnehmer-Typenklassen Mensch, Maschine und Service (*siehe IIoTSP in Kapitel 2.1.3*). Bei detaillierter Betrachtung treten auch innerhalb der Typenklassen heterogene Strukturen auf, die sich durch die unterschiedlichen Bedürfnisse und Fähigkeiten der Teilnehmer ausdrücken. Die teilnehmerorientierte Informationsdimension, welche in allen drei Phasen der Methodendurchführung (*siehe Abbildung 86*) zur Anwendung kommt, zeigt die Relevanz des Teilnehmerbezugs klar auf. Um

die Heterogenität der Teilnehmer in einem adäquaten Maß abbilden zu können, erhält jeder Teilnehmer ein individuelles Teilnehmermodell, welches als Verwaltungsschale (*siehe Kapitel 2.1.5*) gestaltet ist. Die verschachtelte Struktur ermöglicht auf Maschinen- und Serviceebene die Aggregation einzelner Funktionsbauteile zu einer Gesamtfunktion und folgt damit dem Paradigma der Aggregationsebenen der CPS und CPPM (*siehe Kapitel 2.1.1*). In die Teilmodelle der Verwaltungsschale der Teilnehmer werden deren Fähigkeiten eingebunden, womit eine individuelle Teilnehmerbeschreibung ermöglicht wird (*siehe Kapitel 4.2.2*). Die individuellen Teilnehmermodelle der heterogenen Teilnehmer bilden die Grundlage der Lösungsphase der Methode zur Interaktionsmodellierung und somit der automatisierten Interaktionsmusterzuordnung. Die Betrachtung der Fallbeispiele zeigt in jedem der vier Anwendungsszenarien die Eignung der Methodenanpassung für die Interaktionsmusterzuordnung hinsichtlich der Fähigkeiten der involvierten Teilnehmer. In Anwendungsfall 2 wird die Interaktion nach einem spontanen Wechsel der Teilnehmer (Mensch für Maschine) erneut modelliert, während in Anwendungsfall 3 die Interaktionen nach einer Erweiterung der individuellen Teilnehmerfähigkeiten unter veränderten Rahmenbedingungen mehrwertbezogen ausgewählt wird. Die Anwendungsfälle 1 bis 3 behandeln die Interaktionsmodellierung unter Berücksichtigung aller definierten Teilnehmertypen; Anwendungsfall 4 betrachtet in Ergänzung speziell eine nicht vom Menschen durchgeführte Interaktion. Die Anforderung der Eignung der Methodenanpassung hinsichtlich der Heterogenität der Teilnehmer ist somit vollständig gegeben.

Aufbauend auf der sich verändernden Rolle der Mitarbeiter im Produktionsumfeld (*siehe Kapitel 2.1.7*), wird gerade für den Teilnehmertypen Mensch eine hohe *Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Methode* gefordert (*siehe AOG 1.3*). Die Akzeptanz der Methodendurchführung wird grundsätzlich durch die Transparenz der detaillierten Vorgehensweise und der Nachvollziehbarkeit in der Entscheidungsfindung bestimmt [Ku10]. Die tätigkeitsorientierte (*siehe Kapitel 4.5.2*) und die ressourcenorientierte Ablaufstruktur (*siehe Kapitel 4.5.3*) liefern konkrete Handlungsvorgänge zur Methodendurchführung und liefern darüber hinaus mit dem *Interaktionscanvas* ein übersichtliches Tool, welches alle interaktionsrelevanten Informationen enthält. Der Interaktionscanvas stellt im Wesentlichen die Nachvollziehbarkeit der Interaktionsordnung durch die übersichtliche und grafische Aufbereitung der Informationen sicher. Gerade durch die automatisierte Methodendurchführung in den Anwendungsfällen besitzt die grafische Informationsrepräsentation eine hohe Relevanz, da die im XML-Format hinterlegten Informationen der Interaktionsmodellierung auf dem Shopfloor nur schwer zu überblicken und interpretieren sind (*siehe Abbildung 101*). Sowohl der strukturierte Ablauf der Methode selbst als auch die Umsetzung des Interaktionscanvas als übersichtliche Informationsrepräsentation erfüllen die Anforderungen an eine transparente und nachvollziehbare Vorgehensweise.

6.4 Evaluation der Methodenentwicklung

In Weiterführung der Evaluation der *Systemelemente* (siehe Kapitel 6.1) und der gesamten *Systemstruktur* (siehe Kapitel 6.2) aus technischer Perspektive sowie der *Methodenanpassung* (siehe Kapitel 6.3) wird im folgenden Kapitel die *initiale Methodenentwicklung* überprüft. Entsprechend des Vorgehensmodells zur Evaluation (siehe Abbildung 113) bildet die kritische Betrachtung der Methodenentwicklung den abschließenden Schritt der Evaluation der gesamten *Entwicklung der Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in Produktionsnetzwerken*. Analog zur Evaluation der Methodenanpassung im vorangegangenen Kapitel erfolgt die Betrachtung der methodenbezogenen Inhalte anhand der Vorgaben der *operativen Gesamtaufgabenstellung* (siehe Kapitel 3.3.3). In Abbildung 126 werden die ermittelten und extrahierten wesentlichen Kriterien der Aufgabestellung sowie deren Bewertung hinsichtlich der Erfüllung, dargestellt.

Operative Gesamtaufgabenstellung		
Die Entwicklung einer Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer in der modularen Produktion verfolgt das Ziel, dem Anwender ein transparentes, übersichtliches und strukturiertes Vorgehen zur Verfügung zu stellen, um die Interaktionen der heterogenen Teilnehmertypen erfassen und modellieren zu können und eine mehrwertbezogene Entscheidungsvorlage zur adäquaten Auswahl der Interaktionsmuster zu liefern.		
Anforderung	Bezeichnung der Anforderung	Anforderungserfüllung
OG 1.1	Transparente und strukturierte Vorgehensweise für den Methodenanwender	●
OG 1.2	Modellierung der Interaktionen heterogener Teilnehmer	●
OG 1.3	Mehrwertbezogene Entscheidung der Interaktionsmusterzuordnung	●

Abbildung 126: Extraktion der wesentlichen Evaluationskriterien der initialen Methodenentwicklung und deren Bewertung

Die *initiale Methodenentwicklung* verfolgt im ersten Schritt das Ziel, eine *strukturierte und transparente Vorgehensweise zur Interaktionsmodellierung* in der Engineering-Phase des Lebenszyklus bereitzustellen. In der Entwicklung agiler Produktionsprozesse fehlen derzeit geeignete Methoden, um die Veränderungsfülle und -geschwindigkeit adäquat abbilden zu können [KI15]. Dem Methodenanwender wird mit der *tätigkeitsorientierten* (siehe Kapitel 3.7.1) und *informationsflussorientierten Ablaufstruktur* (siehe Kapitel 3.7.2) eine konkrete Vorgehensweise bereitgestellt, um eine adäquate Interaktionsmodellierung hinsichtlich der wandlungsfähigen Produktion sicherzustellen. Der *Interaktionscanvas* (siehe Abbildung 50) bildet in Ergänzung der Ablaufstruktur das interaktive Arbeitsmedium der Interaktionsmodellierung, welche die Gesamtheit der interaktionsbezogenen Informationen *transparent* und *übersichtlich* darstellt. Die entwickelten Methoden und Modellierungsmedien erfüllen die *Anforderung OG1.1* somit vollständig.

In Erweiterung der Unterstützung der Prozessentwicklung adressiert die zweite Anforderung (*OG 1.2*) an die initiale Methodenentwicklung die Erweiterung der Interaktionsmodellierung in dem Aspekt der Unterschiedlichkeit der möglichen Interaktionsteilnehmer. Die zukünftige Produktion wird ein Netzwerk aus heterogenen Teilnehmern bilden, welche entsprechend des

Paradigmas des *IloTSP* (siehe Kapitel 2.1.3) in die Typen *Mensch*, *Maschine* und *Service* aufgeteilt werden. Der Modellierung der Interaktionen heterogener Teilnehmer fehlen bislang ganzheitliche, domänenübergreifende Methoden, die eine adäquate Unterstützung innerhalb des Engineering-Prozesses bereitstellen [He19]. Die *initiale Methodenentwicklung* bietet gerade in den akquisitionsorientierten Entwurfsschritten (siehe Kapitel 3.4) eine Vorgehensweise, die Fähigkeiten und Bedürfnisse der heterogenen Teilnehmer adäquat zu erfassen. Auf dieser Grundlage werden die potentiellen Lösungsvorschläge der Interaktionsanfrage abgeleitet und hinsichtlich der mangelhaften Teilnehmerfähigkeiten (siehe *Hemmnisse*) bewertet. Der Vorschlag eines adäquaten Interaktionsmusters als abschließender Syntheseschritt wird somit immer in Abhängigkeit der involvierten heterogenen Teilnehmer abgeleitet, d.h. die Methodenentwicklung erfüllt ebenfalls die Anforderung OG 1.2 in vollem Umfang.

Die abschließende Anforderung an die Methodenentwicklung (OG 1.3) bildet der Entwurf eines mehrwertorientierten Systems zur Interaktionszuordnung, welches eine hohe Relevanz auf die Motivations- und Akzeptanzbildung der Methodenanwendung im Produktionsumfeld besitzt. Mit der Anlehnung des *Interaktionscanvas* an das etablierte Vorgehensmodell des *Value Proposition Canvas* (siehe Kapitel 2.4.2) wird die Bildung von Mehrwerten durch die Interaktionsinitiierung direkt adressiert und in die finalisierten Ablaufstrukturen integriert. Der Mehrwert einer Interaktion wird durch die Kombination mehrerer Interaktionsnutzwerte erreicht und bietet einen Betrag zur effektiven und effizienten Gestaltung der heterogenen Interaktionen in einem zunehmend komplexen Produktionsnetzwerk. In der Informationsaufbereitung der Methode zur Interaktionsmodellierung werden die potentiellen Mehrwerte gesammelt und mit Strategien zu deren Realisierung hinterlegt. In der Synthesephase spielen die möglichen Mehrwerte die entscheidende Rolle bei der Entscheidung einer Interaktionsmustersauswahl. Der Anforderung OG 1.3. wird demnach in der Methodenentwicklung ebenfalls vollständig entsprochen.

Die Evaluation der Ergebnisse der initialen Methodenentwicklung (siehe Kapitel 3), der Methodenanpassung (siehe Kapitel 4) und der prototypischen Implementierung (siehe Kapitel 5) zeigen, dass die *gesteckten Ziele und Anforderungen* an die jeweiligen Entwicklungsergebnisse im *Wesentlichen erfüllt* werden. Lediglich in der Anwendung des technischen Systems zur automatisierten Ausführung der angepassten Methode zeigten sich Einschränkungen in den Anforderungen hinsichtlich Übersichtlichkeit des Produktionsprozesses und der strukturierten Informationsrepräsentationen im eCanvas sowie der Übertragbarkeit von Interaktionszuordnungen in andere proprietäre IT-Werkzeuge und -Systeme.

Die Übersichtlichkeit des Produktionsprozesses hängt maßgeblich von der Gestaltung der Prozesse während der Entwicklungsphase ab und könnte mit einer Verbreitung der Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer und mit dem damit verbunden Verständnis für die zunehmende hohe Relevanz der agilen Interaktionsmodellierung in zukünftigen Produktionsprozessen verbessert werden.

Die Interaktionsmodellierung umfasst eine Vielzahl unterschiedlicher Informationen aus unterschiedlichen Quellen, die zur adäquaten Modellierung integriert werden müssen. Allein die Informationsfülle führt zu einer eingeschränkten Übersichtlichkeit der Informationen, was mit der Anforderung der Maschineninterpretierbarkeit noch verstärkt wird. Der Einschränkung im *eCanvas* als Austauschformat wird mit der intuitiven Nutzeroberfläche des *Interaktionscanvas-Modeler* proaktiv entgegengewirkt, und hinsichtlich des Gesamtsystems wird die Einschränkung somit aufgelöst.

Die Übertragbarkeit in proprietäre Softwarelösungen kann auf Grund der Vielzahl am Markt befindlicher Lösungen nicht flächendeckend gewährleistet werden. Stattdessen werden in der prototypischen Implementierung offene Standards integriert, welche zunehmende Bedeutung im Produktionsumfeld gewinnen (*siehe Kapitel 2.1.4 und Kapitel 2.1.5*).

7 Zusammenfassung

Der industrielle Produktionssektor wird mit der Einführung der Industrie 4.0-Paradigmen nachhaltig verändert werden. Um auf die veränderten Anforderungen der Kunden nach kleinen Losgrößen flexibel und gleichsam in einem adäquaten Kostenrahmen reagieren zu können, werden modulare Ansätze für eine *wandelbare autonome Produktion* eingeführt. Das Verständnis der Produktion verschiebt sich zur Auslegung der Produktion als Wertschöpfungsnetzwerk, welches unterschiedliche Produktionsdienstleister (*Production-as-a-Service*) beinhaltet. Aus technischer Perspektive wird das Produktionsnetz im Wesentlichen durch die Eigenschaften der Teilnehmer geprägt, die eine stark heterogene Ausgestaltung besitzen. Auf abstrakter Ebene werden die Teilnehmer in die Teilnehmerklassen *Mensch*, *Maschine* und *(IT-) Service* eingeteilt, was dem Konzept des *Internet of Things, Services und People* entspricht.

Zur hinreichenden Bewältigung der Produktionsaufgaben ist eine adäquate Interaktion zwischen diesen heterogenen Teilnehmern sicherzustellen. Die Agilität des Produktionsnetzwerks erfordert flexible Verfahren der Interaktionsmodellierung an Stelle der starren etablierten Vorgehensweisen. Zu diesem Zweck wurde in dieser Arbeit eine Methode entwickelt, mit welcher die Interaktionen zwischen den heterogenen Teilnehmern in einem wandelbaren Produktionsnetzwerk modelliert werden können. Auf Grundlage einer fundierten Recherche und Diskussion des aktuellen Status quo (*siehe Kapitel 2*) im Bereich der technischen Entwicklungstendenzen der zukünftigen Produktion (*siehe Kapitel 2.1*), der Interaktionen im technischen Bereich und anderen Domänen (*siehe Kapitel 2.2*) sowie der Vorgehensweisen zur Prozessmodellierung (*siehe Kapitel 2.3*) und Produktentwicklung (*siehe Kapitel 2.4*) fand eine sukzessive Methodenentwicklung und -anpassung statt.

Im ersten Entwicklungsabschnitt wurde eine Methode entwickelt, die die Komplexität bezüglich der Heterogenität der Teilnehmer innerhalb der Interaktionsmodellierung adressiert (*siehe Kapitel 3*). Zur Methodenentwicklung selbst wurde ein meta-methodisches Referenzmodell ausgewählt (*siehe Kapitel 3.1*). Gemäß dieser Vorgehensweise zur diskursiven Methodenentwicklung wurden auf Basis der Ausgangssituation (*siehe Kapitel 3.2*) in der Analysephase (*siehe Kapitel 3.3*) die wesentlichen Komplexitätsursachen, die Schnittstellen zu vorgelagerten und nachfolgenden Prozessen untersucht und daraus die operative Gesamtaufgabenstellung gebildet. Das Ziel der Methodenentwicklung liegt demnach darin, dem Anwender in der Prozessentwicklung eine Vorgehensweise und darauf aufbauende Engineering-Werkzeuge bereitzustellen, um trotz der Heterogenität der Teilnehmer adäquate Interaktionen zwischen einzelnen Teilnehmern modellieren zu können. Zu diesem Zweck wurden in der folgenden akquisebezogenen Entwurfsphase (*siehe Kapitel 3.4*) alle passiven Informationsflüsse und offene Informationsbedarfe analysiert und aktive Akquisitionsmaßnahmen zu deren Bewältigung abgeleitet. Aus der Gesamtheit der akquirierten Informationen wurde in der synthesebezogenen Entwurfsphase in *Kapitel 3.5* die

Entscheidungsvorlage zur mehrwertorientierten Interaktionszuordnung abgeleitet. Um dieses Ziel in einer transparenten und nachvollziehbaren Art zu unterstützen, wurde der nutzwertorientierte Interaktionscanvas als übersichtliches und trivial anzuwendendes Werkzeug entworfen und gestaltet. Die folgende aufbereitungsbezogene Entwurfsphase (*siehe Kapitel 3.6*) hat den Zweck, die akquirierten Informationen und abgeleiteten Ergebnissen so aufzubereiten, dass eine Nutzung durch den Methodenanwender und in den folgenden Prozesse gewährleistet ist. Die initiale Methodenentwicklung wurde mit der Finalisierungsphase in *Kapitel 3.7* abgeschlossen, in welcher die tätigkeitsorientierte sowie informationsflussorientierte Ablaufstruktur zur adäquaten Methodendurchführung entwickelt wurden.

Im zweiten entwicklungsbezogenen Abschnitt dieser Arbeit wurde die initial entwickelte Methode auf die Anwendung in einem wandelbaren Produktionsnetzwerk angepasst, in welchem die involvierten Teilnehmer potentiell autonom agieren (*siehe Kapitel 4*). Das Szenario der Methodenanpassung verfolgt dabei das Ziel der automatisierten Interaktionsmodellierung bzw. der automatisierten Zuweisung eines adäquaten Interaktionsmusters. Der veränderte Anwendungskontext wurde in der Analysephase (*siehe Kapitel 4.1*) hinsichtlich der veränderten Prozessschnittstellen untersucht sowie die angepasste operative Gesamtaufgabenstellung und die globalen Anforderungen an eine automatisierte Methodendurchführung definiert. Mit der Verschiebung der Methodendurchführung aus dem Engineering auf den Shopfloor und der Anwendung für alle dort verfügbaren heterogenen Teilnehmer wurde eine verstärkte Akquise (*siehe Kapitel 4.2*) der unterschiedlichen informationellen Dimensionen einer Interaktion notwendig. Zur Gestaltung der teilnehmerbezogenen Informationen wurde ein übergreifendes Teilnehmermodell entworfen, welches die Heterogenität der Teilnehmer abbildet und an das Konzept der Verwaltungsschale angelehnt ist. Die prozessbezogenen Informationen wurden in dem neu entwickelten *BPiMN*-Konzept hinterlegt, welches eine semantische Erweiterung des BPMN2.0-Standards darstellt. Interaktionsbezogene Informationen wurden in dem systemweiten Standard des Interaktionsmusters abgebildet. In der folgenden Aufbereitungsphase in *Kapitel 4.3* wurden die entwickelten Informationsrepräsentationssysteme hinsichtlich der Informationsstrukturierung und -aufbereitung zur automatisierten Interaktionsmusterzuordnung weiter-entwickelt und durch den eCanvas – als Austauschformat der Gesamtheit der relevanten Informationen einer Interaktionsmodellierung – erweitert. Der eCanvas ist das digitale Pendant zum analogen Interaktionscanvas aus der initialen Methodenentwicklung. Die Synthesephase in *Kapitel 4.4* behandelt den Entwurf der Algorithmen und Logik zur Bewertung der einzelnen Interaktionsmuster hinsichtlich der potentiellen Mehrwerte und enthaltenen Hemmnisse bei der Auswahl eines bestimmten Interaktionsmusters. In *Kapitel 4.5* wurden zur Finalisierung der Methodenanpassung die angepasste tätigkeitsorientierte und ressourcenorientierte Ablaufstruktur entwickelt. Auf Basis der vorgestellten informationsrepräsentierenden Systemelemente wurden in *Kapitel 4.6* die funktionalen Systemelemente entworfen und die Elemente in eine funktionale Gesamtsystemstruktur eingebettet.

Die prototypische Implementierung der angepassten Methode und der entworfenen Systemelemente innerhalb der Systemstruktur wurden in *Kapitel 5* beschrieben. Hierbei wurde im ersten Teil das Demonstrator-Setting vorgestellt, bevor die funktionalen Systemelemente unter technischen Gesichtspunkten betrachtet wurden. Die Systemfunktionen wurden im Kontext von vier unterschiedlichen produktionsnahen Anwendungsfällen implementiert und anschließend erläutert.

Die abschließende Bewertung und Evaluation erfolgten auf der Ebene der technischen Implementierung der Systemelemente anhand der lokalen Anforderungen an die jeweilige Komponente, während die funktionale Gesamtsystemstruktur an Hand der globalen Anforderungen evaluiert wurde. Die angepasste operative Gesamtaufgabenstellung liefert die Grundlage zur kritischen Betrachtung der Methodenanpassung, die initiale operative Gesamtaufgabenstellung die Grundlage der initialen Methodenentwicklung.

Die Arbeit liefert somit neben der eigentlichen Methodenentwicklung und -anpassung den Entwurf adäquater analoger und digitaler Werkzeuge zur Unterstützung der Methodenanwender sowie die Implementierung eines Prototyps, der die teilnehmerübergreifende Interaktionsmodellierung in automatisierter Weise aufzeigt und abschließend evaluiert. Der ganzheitliche Ansatz der Methode zur Interaktionsmodellierung heterogener Teilnehmer stellt einen wichtigen Beitrag zur wandelbaren Produktionsorganisation unter Berücksichtigung der Bedürfnisse der heterogenen Teilnehmer – insbesondere der Mitarbeiter auf dem Shopfloor – dar.

7.1 Ausblick

Trotz des umfassenden Lösungsraums der Methodenentwicklung zur Interaktionszuordnung heterogener Teilnehmer eines wandelbaren Produktionsnetzwerks im Rahmen dieser Arbeit bieten sich zahlreiche Möglichkeiten die Erkenntnisse zu vertiefen oder um zusätzliche Bereiche zu erweitern.

Entsprechend der informationellen Dimensionen, die die wesentliche Grundlage der Interaktionsmodellierung darstellen, sind Fortführungen folgender Konzepte anzudenken:

Der Entwurf der Methode zur semantisch erweiterten Prozessbeschreibung *BPiMN* stellt durch die Anreicherung intentionsbezogener Informationen eine wesentliche Grundlage zur Flexibilisierung der Prozessorchestrierung innerhalb eines agilen Produktionsnetzwerks dar. Die weiterführende Gestaltung des *BPiMN*-Konzepts sowie die Zusammenführung der Standards BPMN2.0 und des *i**-Frameworks scheinen ein hohes Potential zu besitzen.

Die weiteren informationellen Dimensionen sind als Informationsrepräsentationen in Anlehnung an das Konzept der Verwaltungsschale gestaltet. Sowohl das *Teilnehmermodell* für heterogene Teilnehmer wie auch der *Interaktionsmuskatalog* verfügen über analoge Strukturen und mit den fähigkeitsbezogenen Kriterien sogar über Elemente identischen

Inhalts, die nur aus einer Perspektive betrachtet werden. Da das Konzept der Verwaltungsschale selbst noch Gegenstand der Forschung ist, ist eine *weiterführende Standardisierung der Teilmodelle* der Informationsrepräsentationen in Abgleich mit der Entwicklung der *Verwaltungsschale* ein logischer Folgeschritt. Zusätzlich ist in diesem Zusammenhang eine Zusammenführung mit standardisierten Merkmalskatalogen wie beispielsweise eCI@ss anzustreben.

Eine weitere Ebene der informationellen Versorgung der automatisierten Methodendurchführung stellen *Ontologien* zur Informationsbereitstellung und -organisation dar. Durch die Transformation der trivialen Merkmalskataloge in Ontologien lassen sich zusätzlich unterschiedliche Abstraktionsebenen einer Interaktion abbilden und mit Anforderungen und Mehrwerten hinterlegen. Die flexiblere Organisation und Relation zwischen Entitäten informationellen Inhalts ermöglicht darüber hinaus die Aufteilung der Interaktionsmuster in *atomare Interaktionsmuster*, die in unterschiedlicher Kombinatorik die Gesamtheit der Interaktionen abbilden können. Das Ergebnis einer solchen Erweiterung ist die direkte Unterstützung des Paradigmas: *Parametrieren statt programmieren*.

Im Sinne der Wirkungsanalyse ergeben sich Möglichkeiten der Erprobung der initial entwickelten und angepassten Methode sowie des Tools zur automatisierten Interaktionsmodellierung im Produktivbetrieb, die über den hier gewählten Rahmen der Evaluation hinausgehen. Das Zusammenspiel der heterogenen Teilnehmer besitzt Potential zur Untersuchung aus technischer und soziologischer Perspektive. Der implementierte Prototyp stellt die Basis für eine initiale technische Integration sowie eine mögliche quantitative Evaluation der Wirkmodelle dar.

7.2 Abschließende Bewertung

Die abschließende Bewertung dieser Arbeit bezieht sich auf die Beantwortung der aufgestellten Forschungsfragen. Die Arbeit liefert mit der initialen Methodenentwicklung und den unterschiedlichen Informationsrepräsentationen eine direkte Vorgehensweise, um die Heterogenität der Teilnehmer und Anwendungsszenarien mit Hilfe semantischer Techniken abzubilden (*siehe Forschungsfrage 1 in Kapitel 1*).

Die mehrwertbezogenen Interaktionen zwischen den heterogenen Teilnehmern bilden den Schwerpunkt der Entwicklung dieser Arbeit und werden in der Methodenentwicklung und -anpassung hinreichend betrachtet (*siehe Forschungsfrage 2*).

Die Methodenanpassung verfolgt das Ziel, die Methode in automatisierter Form in einem wandelbaren Produktionsnetzwerk aus heterogenen Teilnehmern anwendbar zu machen. Das Resultat der funktionalen Systemstruktur zeigt, wie die einzelnen Systemelemente zu einem Gesamtsystem integriert werden (*siehe Forschungsfrage 3*).

In der folgenden prototypischen Implementierung werden die Entwürfe der einzelnen Systemelemente und der funktionalen Systemstruktur in einem funktionalen Gesamtsystem

gestaltet und zeigen direkt, wie die Interaktionen der heterogenen Teilnehmer adäquat und automatisiert modelliert werden können (*siehe Forschungsfrage 4*).

Die vorliegende Arbeit beantwortet die gestellten Forschungsfragen hinreichend und trägt mit der ganzheitlichen Sichtweise auf die Interaktionsmodellierung zur Umsetzung einer autonomen wandelbaren Produktion bei, um den Anforderungen an die zukünftige Fertigung gerecht werden zu können.

Literaturverzeichnis

- AAB16 Adolphs, P.; Auer, S.; Bedenbender, H.: Struktur der Verwaltungsschale. Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente, 2016.
- Ab02 Abecker, A. et al.: Geschäftsprozessorientiertes Wissensmanagement. Effektive Wissensnutzung bei der Planung und Umsetzung von Geschäftsprozessen. Springer, Berlin, Heidelberg, 2002.
- Ac16 Acatech (Hrsg.): Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0. Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen, 2016.
- AH15 Andelfinger, V. P.; Hänisch, T.: Internet der Dinge. Technik, Trends und Geschäftsmodelle. Springer Gabler, Wiesbaden, 2015.
- Al09 Albani, A. et al. Hrsg.: Enhancing the Formal Foundations of BPMN by Enterprise Ontology. Advances in Enterprise Engineering III. Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- Al15 Allweyer, T.: BPMN 2.0 Business Process Model and Notation. Einführung in den Standard für die Geschäftsprozessmodellierung. Books on Demand, Norderstedt, 2015.
- ALM03 Autor, D. H.; Levy, F.; Murnane, R. J.: The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration. In The Quarterly Journal of Economics, 2003, 118; S. 1279–1333.
- Ar18 Ardolino, M. et al.: The role of digital technologies for the service transformation of industrial companies. In International Journal of Production Research, 2018, 56; S. 2116–2132.
- Ba10 Balzert, H.: UML 2 in 5 Tagen. Der schnelle Einstieg in die Objektorientierung. W3L-Verl., Herdecke, 2010.
- Ba11 Barquet, A. P. B. et al.: Business Model Elements for Product-Service System. In (Hesselbach, J.; Herrmann, C. Hrsg.): Functional Thinking for Value Creation. Proceedings of the 3rd CIRP International Conference on Industrial Product Service Systems, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany, May 5th - 6th, 2011. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011; S. 332–337.
- Ba15 Batoulis, K. et al.: Extracting Decision Logic from Process Models: International Conference on Advanced Information Systems Engineering, 2015.
- Ba16 Backhaus, J. C. S.: Adaptierbares aufgabenorientiertes Programmiersystem für Montagesysteme. Dissertation, 2016.

- BAB12 Bach, C.; Ascheid, G.; Boysen, G.: Machine-to-Machine-Kommunikation. In Nationaler IT Gipfel, 2012.
- BBB18 Barnstedt, E.; Bedenbender, H.; Billman, M.: Details of the Asset Administration Shell, 2018.
- BBE17 Bedenbender, H.; Bentkus, A.; Epple, U.: Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0, 2017.
- BD18 Belyaev, A.; Diedrich, C.: Specification „Demonstrator I4.0 language“. Unpublished, 2018.
- BDH16 Bock, J.; Diedrich, C.; Hänisch, R.: Weiterentwicklung des Interaktionsmodells für Industrie 4.0-Komponenten – Diskussionspapier, 2016.
- BDH17 Braune, A.; Diesner, M.; Hüttemann, G.: Exemplification of the Industrie 4.0 Application Scenario Value-Based Service following IIRA Structure, 2017.
- BE07 Boyd, D.; Ellison, N. B.: Social Network Sites: Definition, History, and Scholarship. In Journal of Computer-Mediated Communication, 2007, 13; S. 210–230.
- Be08 Becker, T.: Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008.
- Be18 Becker, T.: Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2018.
- Be19 Bedenbender, H. et al.: Verwaltungsschale in der konkreten Praxis, 2019.
- Be83 Benington, H. D.: Production of Large Computer Programs. In IEEE Annals of the History of Computing, 1983, 5; S. 350–361.
- BGW18 Bracht, U.; Geckler, D.; Wenzel, S.: Digitale Fabrik. Methoden und Praxisbeispiele. Springer Vieweg, Berlin, Germany, 2018.
- BH07 Bullinger, H.-J.; Hompel, M. ten: Internet der Dinge. www.internet-der-dinge.de. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2007.
- BH15 Botthof, A.; Hartmann, E. Hrsg.: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer Vieweg, Berlin, 2015.
- BHV14 Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten; Vogel-Heuser, B.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014.
- Bi11 Birkhofer, H.: The future of design methodology. Springer, London, New York, 2011.
- Bi15 Birtel, M. et al.: Requirements for a Human-Centered Condition Monitoring in Modular Production Environments. In (Elsevier Hrsg.): 3234896. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/24058963>, 2015; S. 909–914.

- Bi19 Birtel, M. et al.: FutureFit: a strategy for getting a production asset to an industry 4.0 component – a human-centered approach. In (FAIM Hrsg.): International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Ireland, 2019.
- BLF19 Baltzer, M. C. A.; López, D.; Flemisch, F.: Towards an interaction pattern language for human machine cooperation and cooperative movement. In Cognition, Technology & Work, 2019, 15; S. 547.
- BM17 BMBF: Wissen schaffen - Denken und Arbeiten in der Welt von morgen. Zukunft Monitor, 2017.
- Bo14 Bowles, J.: The computerisation of European jobs - who will win and who will lose from the impact of new technology onto old areas of employment. <https://bruegel.org/2014/07/the-computerisation-of-european-jobs/>, 01.08.2019.
- Bo84 Boehm, B. W.: Software Engineering Economics. In IEEE Transactions on Software Engineering, 1984, SE-10; S. 4–21.
- Bo95 Bohnsack, R.: Interaktion und Kommunikation. In (Korte, H.; Schäfers, B. Hrsg.): Einführung in Hauptbegriffe der Soziologie. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, s.l., 1995; S. 35–57.
- BPV12 Becker, J.; Probandt, W.; Vering, O. Hrsg.: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012.
- BQR17 Birtel, M.; Quint, F.; Ruskowski, M.: Virtuelle Benutzungsschnittstellen auf Basis semantischer Modelle zur vereinfachten Anlageninteraktion. Gesellschaft für Informatik e.V, 2017.
- Br10a Broy, M.: Cyber-Physical Systems — Wissenschaftliche Herausforderungen Bei Der Entwicklung. In (Broy, M. Hrsg.): Cyber-Physical Systems. Innovation Durch Software-Intensive Eingebettete Systeme. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2010; S. 17–31.
- Br10b Broy, M. Hrsg.: Cyber-Physical Systems. Innovation Durch Software-Intensive Eingebettete Systeme. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2010.
- Br16 Brauner, P. et al.: On Studying Human Factors in Complex Cyber-Physical Systems: Mensch und Computer 2016, 2016.
- BR98 Bogaschewsky, R.; Rollberg, R.: Prozeßorientiertes Management. Springer Berlin Heidelberg; Imprint; Springer, Berlin, Heidelberg, 1998.
- BS08 Belz, C.; Schögel, M.: Interaktives Marketing. Neue Wege zum Dialog mit Kunden. Gabler Verlag, s.l., 2008.

- BS15 Bonekamp, L.; Sure, M.: Consequences of Industry 4.0 on human labour and work organisation. In Journal of Business and Media Psychology, 2015, 6; S. 33–40.
- BS16 Becker, T.; Stern, H.: Future Trends in Human Work area Design for Cyber-Physical Production Systems. In Procedia CIRP, 2016, 57; S. 404–409.
- Bu19 Bulldozer: Welcome to Bulldozer’s documentation! — Bulldozer 0.11 documentation. <https://bulldozer.readthedocs.io/en/latest/>, 29.08.2019.
- BZ15 Brauner, P.; Ziefle, M.: Human factors in production systems. In Advances in production technology, 2015; S. 187–199.
- BZ18 Burmester, M.; Zeiner, K. M.: Positive User Experience im Kontext smarter Arbeitsplätze: Mensch und Computer 2018 - Workshopband, 2018.
- Ca13 Caumanns, J.: Anlegen einer Fallakte – HI7wiki. https://wiki.hi7.de/index.php?title=cdaefa:CIM_Anlegen_einer_Fallakte, 30.08.2019.
- Ch16 Chies, S.: Change Management bei der Einführung neuer IT-Technologien. Mitarbeiter ins Boot holen—mit angewandter Psychologie. Springer, Wiesbaden, 2016.
- CM05 Cabac, L.; Moldt, D.: Formal Semantics for AUMI Agent Interaction Protocol Diagrams. In (Odell, J. Hrsg.): Agent-oriented software engineering V. 5th international workshop, AOSE 2004, New York, NY, USA, July 19, 2004 ; revised selected papers. Springer, Berlin, 2005; S. 47–61.
- CMS19 Ciccozzi, F.; Malavolta, I.; Selic, B.: Execution of UML models: a systematic review of research and practice. In Software & Systems Modeling, 2019, 18; S. 2313–2360.
- D’15 D’heur, M.: shared.value.chain – Profitables Wachstum durch nachhaltig gemeinsame Wertschöpfung. In (Schneider, A.; Schmidpeter, R. Hrsg.): Corporate Social Responsibility. Verantwortungsvolle Unternehmensführung in Theorie und Praxis. Springer Gabler, Berlin Germany, 2015; S. 339–357.
- Da18 David, Alexander: Anforderungsanalyse zur Entwicklung eines ganzheitlichen Modularisierungskonzepts für rekonfigurierbare Produktionssysteme auf Basis des RAMI 4.0, 2018
- DFH16 Dalpiaz, F.; Franch, X.; Horkoff, J.: iStar 2.0 Language Guide, 2016.
- Di17 Diedrich, C. et al.: Interaktionsmodell für Industrie 4.0 Komponenten. In at-Automatisierungstechnik, 2017, 65; S. 5–18.

- Di19a Ding, K. et al.: Defining a Digital Twin-based Cyber-Physical Production System for autonomous manufacturing in smart shop floors. In International Journal of Production Research, 2019, 2019; S. 1–20.
- Di19b Dizdarević, J. et al.: A Survey of Communication Protocols for Internet of Things and Related Challenges of Fog and Cloud Computing Integration. In ACM Computing Surveys, 2019, 51; S. 1–29.
- DJ16 Ding, K.; Jiang, P.: Incorporating Social Sensors and CPS Nodes for Personalized Production under Social Manufacturing Environment. In Procedia CIRP, 2016, 56; S. 366–371.
- DM15 Dengler, K.; Matthes, B.: Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt: Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland, 2015.
- Do18 Doerr, J.: Requirements Elicitation. REQUIREMENTS ENGINEERINGLECTURE 2018/2019, Kaiserslautern, 2018.
- Dö87 Dörner, D.: Problemlösen als Informationsverarbeitung. Kohlhammer, Stuttgart, 1987.
- DW14 Dombrowski, U.; Wagner, T.: Arbeitsbedingungen im Wandel der Industrie 4.0. In ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2014, 109; S. 351–355.
- DW18 Dunkel, W.; Weihrich, M.: Arbeit als Interaktion. In (Böhle, F.; Voß, G. G.; Wachtler, G. Hrsg.): Handbuch Arbeitssoziologie. Band 1: Arbeit, Strukturen und Prozesse. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2018; S. 201–230.
- Eh14 Ehrlenspiel, K. et al.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. Springer Vieweg, Berlin, 2014.
- Ei16 Eigner, M. et al.: mecPro² – Entwurf einer Beschreibungssystematik zur Entwicklung cybertronischer Systeme mit SysML. In (Schulze, S.-O.; Muggeo, C.; Abulawi, J. Hrsg.): Tag des Systems Engineering. Ulm, 11.-13. November 2015. Hanser, München, 2016.
- EM08 Eppler, M. J.; Mengis, J.: The Concept of Information Overload - A Review of Literature from Organization Science, Accounting, Marketing, MIS, and Related Disciplines (2004). In (Meckel, M.; Schmid, B. F. Hrsg.): Kommunikationsmanagement im Wandel. Beiträge aus 10 Jahren =mcminstitute. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, Wiesbaden, 2008; S. 271–305.
- EM17 Ehrlenspiel, K.; Meerkamm, H.: Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. Hanser, München, Wien, 2017.
- ERZ14 Eigner, M.; Roubanov, D.; Zafirov, R.: Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung. Springer Vieweg, Berlin, 2014.

- ES08 Esch, F.-R.; Stenger, D.: Marken als Interaktionsobjekt. In (Walter, V.; Belz, C.; Schögel, M. Hrsg.): Interaktives Marketing. Neue Wege zum Dialog mit Kunden. Gabler Verlag, s.l., 2008; S. 287–306.
- ES13 Eigner, M.; Stelzer, R.: Product Lifecycle Management. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. Springer, Dordrecht, 2013.
- FG13 Feldhusen, J.; Grote, K.-H. Hrsg.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2013.
- Fi19 Fischertechnik: Lernfabrik 4.0. Simulation in der Zeit der Digitalisierung. <https://www.fischertechnik.de/de-de/service/elearning/lehren/lernfabrik-4>, 18.08.2019.
- FM05 Fleisch, E.; Mattern, F.: Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen ; mit 21 Tabellen/ edited by Elgar Fleisch, Friedemann Mattern. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2005.
- Fo09 Ford, M.: The lights in the tunnel. Automation, accelerating technology and the economy of the future ; [a journey to the conomic landscape of the coming decades. Acculant Publ, S.l., 2009.
- FO17 Frey, C. B.; Osborne, M. A.: The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? In Technological forecasting and social change, 2017, 114; S. 254–280.
- Fo18 Fox, S.: Reliable Autonomous Production Systems: Combining Industrial Engineering Methods and Situation Awareness Modelling in Critical Realist Design of Autonomous Production Systems. In Systems, 2018, 6; S. 26.
- Fr11 Friedlander, L.: Friending the Virgin. In SAGE Open, 2011, 1; 215824401141542.
- Fr16 Franch, X. et al.: The i* Framework for Goal-Oriented Modeling. In (Karagiannis, D.; Mayr, H. C.; Mylopoulos, J. P. Hrsg.): Domain-specific conceptual modeling. Concepts, methods and tools. Springer, Cham, 2016; S. 485–506.
- Fr18 Freopua: Python OPC-UA Documentation — Python OPC-UA 1.0 documentation. <https://python-opcua.readthedocs.io/en/latest/>, 29.08.2019.
- Fr75 Franke, H.-J.: Methodische Schritte beim klären konstruktiver Aufgabenstellungen. In Konstruktion, 1975, 27; S. 395–402.
- Ga14 Galaske, N. et al.: Integration von Menschen in Smart Factories: Ein individualisierbares Profildatenmodell für Industrie 4.0. In Design for X-Beiträge zum, 2014, 25; S. 133–144.

- Ga16 Ganz, C.: The Internet of Things, Services and People. In (Sendler, U. Hrsg.): The Internet of Things. Industrie 4.0 unleashed. Springer Vieweg, Berlin, 2016; S. 189–203.
- Ga17 Gadatsch, A.: Grundkurs Geschäftsprozess-Management. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2017.
- Ga94 Gaitanides, M. et al.: Prozeßmanagement. Konzepte, Umsetzungen und Erfahrungen des Reengineering ; mit 20 Tabellen. Hanser, München, 1994.
- GBB07 Grässle, P.; Baumann, H.; Baumann, P.: UML 2 projektorientiert. Galileo Press, Bonn, 2007.
- GC96 Gram, C.; Cockton, G.: Design Principles for Interactive Software. Springer, Boston, MA, 1996.
- GDS13 Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Steffen, D.: SYSTEMS ENGINEERING in der industriellen Praxis, 2013.
- GEK01 Gausemeier, J.; Ebbesmeyer, P.; Kallmeyer, F.: Produktinnovation. Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. Hanser, München, 2001.
- GES02 Gausemeier, J.; Eckes, R.; Schoo, M.: Virtualisierung der Produkt- und Produktionsprozessentwicklung. In ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2002, 97; S. 380–384.
- Gi16 Gilchrist, A.: Industry 4.0. The industrial internet of things. Apress; Distributed by Springer Science+Business Media New York, New York, New York, NY, 2016.
- GM19 Giernalczyk, T.; Möller, H.: New Work, Digitalisierung, Inner Work als Herausforderung für das Coaching. In Organisationsberatung, Supervision, Coaching, 2019, 26; S. 139–141.
- Go17 Gorecky, D. et al.: Wandelbare modulare Automatisierungssysteme. In (Reinhart, G. Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München, 2017; S. 555–583.
- Gr06 Grady Booch, James Rumbaugh, Ivar Jacobson: Das UML-Benutzerhandbuch. Aktuell zur Version 2.0. Addison-Wesley, 2006.
- Gr16 Gräf, L.: Business Model Canvas Beispiele und Anwendung.
<https://www.startplatz.de/business-model-canvas-beispiele/>, 06.08.2019.
- Gr19a Grabner, T.: Operations Management. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2019.
- Gr19b Grabner, T.: Operations Management. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2019.

- GSL14 Gorecky, D.; Schmitt, M.; Loskyll, M.: Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In (Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten; Vogel-Heuser, B. Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2014; S. 525–542.
- Gü18 Günthner, S.: 2. Routinisierte Muster in der Interaktion. In (Deppermann, A.; Reineke, S. Hrsg.): Sprache im kommunikativen, interaktiven und kulturellen Kontext. de Gruyter, Berlin, Boston, 2018; S. 29–50.
- GUD17 Gottschalk, M.; Uslar, M.; Delfs, C.: The Smart Grid Architecture Model – SGAM. In (Gottschalk, M.; Uslar, M.; Delfs, C. Hrsg.): The Use Case and Smart Grid Architecture Model Approach. The IEC 62559-2 Use Case Template and the SGAM applied in various domains. Springer International Publishing, Cham, s.l., 2017; S. 41–61.
- Hä04 Häuslein, A.: Systemanalyse. Grundlagen, Techniken, Notierungen. VDE-Verl., Berlin, 2004.
- Ha17 Hahn, J.: Eigenschaftsbasierte Fahrzeugkonzeption. Eine Methodik in der Frühen Konzeptphase. Springer, Wiesbaden, 2017.
- HB14 Hadar, R.; Bilberg, A.: Reconfigurable Manufacturing System Design and Implementation - An Industrial Application at a Manufacturer of Consumer Goods. In (Zäh, M. Hrsg.): Enabling manufacturing competitiveness and economic sustainability. Proceedings of the 5th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2013), Munich, Germany, October 6th - 9th, 2013. Springer, Cham, 2014; S. 455–460.
- HD02 Haberfellner, R.; Daenzer, W.F. Hrsg.: Systems Engineering. Methodik und Praxis. Verl. Industrielle Organisation, Zürich, 2002.
- He02 Heilig, M.: The cinema of the future. In (Packer, R.; Jordan, K.; Gibson, W. Hrsg.): Multimedia. From Wagner to virtual reality. Norton, New York, 2002; S. 239–251.
- He13 Hering, D. et al.: Usability-Hindernisse bei Software entwickelnden KMU: Mensch & Computer Workshopband, 2013; S. 9–18.
- He17 Heidel, R. et al.: Basiswissen RAMI 4.0: Referenzarchitekturmodell und Industrie 4.0-Komponente Industrie 4.0. Beuth Verlag, 2017.
- He19 Hermann, J. et al.: Self-description of Cyber-Physical Production Modules for a product-driven manufacturing system: 29th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Ireland, 2019.
- HH17 Hirsch-Kreinsen, H.; Hompel, M. ten: Digitalisierung industrieller Arbeit: Entwicklungsperspektiven und Gestaltungsansätze. In (Vogel-Heuser, B.;

- Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 Bd.3. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017; S. 357–376.
- Hi14 Hirsch-Kreinsen, H.: Welche Auswirkungen hat „Industrie 4.0“ auf die Arbeitswelt? Friedrich-Ebert-Stiftung Abt. Wirtschafts- und Sozialpolitik, Bonn, 2014.
- Ho14 Hoppe, S.: Standardisierte horizontale und vertikale Kommunikation: Status und Ausblick. In (Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten; Vogel-Heuser, B. Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2014; S. 325–341.
- Ho17 Hofmann, J. Hrsg.: Die digitale Fabrik. Auf dem Weg zur digitalen Produktion. Beuth Verlag GmbH; VDE Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich, Berlin, 2017.
- HR15 Hankel, M.; Rexroth, B.: The reference architectural model industrie 4.0 (rami 4.0). In ZVEI, April, 2015.
- HRM07 Huang, E.; Ramamurthy, R.; McGinnis, L. F.: System and Simulation Modeling Using SysML: Proceedings of the 39th Conference on Winter Simulation: 40 Years! The Best is Yet to Come. IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, 2007; S. 796–803.
- HWT11 Holt, E.-M.; Winter, D.; Thomaschewski, J.: Personas als Werkzeug in modernen Softwareprojekten. German UPA e.V, 2011.
- IEC 19464 IEC 19464:2014, Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) v1.0 Spezifikation.
- IS10 ISO/IEC 25010: ISO 25010 System and software quality models , 2010.
- Je11 Jeusfeld, M. et al. Hrsg.: Making Explicit Some Implicit i* Language Decisions. Conceptual Modeling – ER 2011. Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- Je17 Jeschke, S. et al. Hrsg.: Industrial internet of things. Cybermanufacturing systems. Springer, Cham, 2017.
- KA92 Kirwan, B.; Ainsworth, L. K.: A Guide To Task Analysis. CRC Press, 1992.
- KB18 Kulzer, M.; Burmester, M.: Outstanding UX - Eine systematische Untersuchung von Wow-Effekten. In (Dachsel, R.; Weber, G. Hrsg.): Mensch und Computer 2018 - Tagungsband. Gesellschaft für Informatik e.V, Bonn, 2018.
- Ke07 Kecher, C.: UML 2.0. Das umfassende Handbuch ; [aktuell zum UML-Standard 2.0, alle Diagramme und Notationselemente, Praxisbeispiele in C# und Java]. Galileo Press, Bonn, 2007.
- Ke18 Keil, S. et al.: Enhancing flexibility and robustness of semiconductor production by using autonomous modular services: 2018 29th Annual SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC). April 30, 2018-May 3, 2018. IEEE, Piscataway, NJ, 2018; S. 359–364.

- KHM18 Kolberg, D.; Hermann, J.; Mohr, F.: Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen. SmartFactory Kaiserslautern WhitePaper, 2018.
- Ki19a Kivy: Kivy: Cross-platform Python Framework for NUI. <https://kivy.org/#home>, 29.08.2019.
- Ki19b KivyMD: KivyMD. Set of widgets for Kivy inspired by Google's Material Design. <https://gitlab.com/kivymd/KivyMD>, 29.08.2019.
- KKL11 Koch, M. T.; Kemper, H.-G.; Lasi, H.: Informationsmanagement in der Produktion: Wirtschaftsinformatik, 2011; S. 66.
- KI15 Klein, P. W.: Methode zum Engineering von Produktionsanlagen durch Wiederverwendung von Modulen. Universitätsbibliothek der Universität Siegen, Siegen, 2015.
- KM03 Kim, W. C.; Mauborgne, R.: Fair process: Managing in the knowledge economy. In Harvard business review, 2003, 81; S. 127–136.
- KM18 Kannengiesser, U.; Muller, H.: Towards viewpoint-oriented engineering for Industry 4.0: A standards-based approach: Proceedings 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS). ITMO University, Saint Petersburg, Saint Petersburg, Russia, 15-18 May 2018. IEEE, Piscataway, NJ, 2018; S. 51–56.
- KM97 Kim, W. C.; Mauborgne, R.: Fair process: managing in the knowledge economy. In Harvard business review, 1997, 75; S. 65–75.
- KN09 Koren, Y.; Ni, J.: Personalized production paradigm. In University of Michigan, umich. edu. A keynote paper presented at the European Union Manufuture Summit, Gothenburg, Sweden, 2009.
- Ko07 Koliadis, G. et al.: Combining i* and BPMN for business process model lifecycle management, 2007.
- Kö18 Köhler-Schute, C. Hrsg.: Das industrielle Internet der Dinge und Industrie 4.0. Innovative Technologien und Methoden, Herausforderungen und Lösungsansätze. KS-Energy-Verlag, Berlin, 2018.
- KR08 Krones, T.; Richter, G.: Ärztliche Verantwortung: das Arzt-Patient-Verhältnis. In Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz, 2008, 51; S. 818–826.
- Kr14 Kreimeier, D. et al.: Intelligente Wissensdienste in Cyber-Physischen Systemen. In Industrie Management, 2014, 6; S. 25–29.
- Kr15 Krcmar, H.: Informationsmanagement. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2015.

- KRS07 Koch, M.; Richter, A.; Schlosser, A.: Produkte zum IT-gestützten Social Networking in Unternehmen. In WIRTSCHAFTSINFORMATIK, 2007, 49; S. 448–455.
- KS15 Kecher, C.; Salvanos, A.: UML 2.5. Das umfassende Handbuch. Galileo Computing, Bonn, 2015.
- KTS13 Kádár, B.; Terkaj, W.; Sacco, M.: Semantic Virtual Factory supporting interoperable modelling and evaluation of production systems. In CIRP Annals, 2013, 62; S. 443–446.
- Ku07 Kunze, C. et al.: Repräsentation und Verknüpfung allgemeinsprachlicher und terminologischer Wortnetze in OWL. In Zeitschrift für Sprachwissenschaft, 2007, 26; S. 267–290.
- Ku10 Kummer, T.-F.: Akzeptanz von Ambient Intelligence in Krankenhäusern. Ein Ländervergleich zwischen Deutschland und Australien am Beispiel der Medikationsunterstützung. Zugl.: Berlin, ESCP Europe Wirtschaftshochsch., Diss., 2010. Eul, Lohmar, 2010.
- KWH13 Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J.: Acatech-National Academy of Science and Engineering. In Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE, 2013, 4.
- La12 Lampkin, V.: Building Smarter Planet solutions with MQTT and IBM WebSphere MQ Telemetry. IBM, S.I., 2012.
- La14 Lasi, H. et al.: Industrie 4.0. In Wirtschaftsinformatik, 2014, 56; S. 261–264.
- LBK15 Lee, J.; Bagheri, B.; Kao, H.-A.: A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. In Manufacturing Letters, 2015, 3; S. 18–23.
- Le12 Lerch, R.: Elektrische Messtechnik. Springer Vieweg, Berlin, 2012.
- Le16 Levy, M. et al.: Social networking in an academic conference context: insights from a case study. In Information Technology & People, 2016, 29; S. 51–68.
- Li15 Litcanu, M. et al.: Brain-Writing Vs. Brainstorming Case Study For Power Engineering Education. In Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2015, 191; S. 387–390.
- LIB14 Lange, J.; Iwanitz, F.; Burke, T. J.: OPC. Von Data Access bis Unified Architecture. VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach, 2014.
- LM06 Leitner, S.-H.; Mahnke, W.: OPC UA - Service-oriented Architecture for Industrial Applications. In Softwaretechnik-Trends, 2006, 26.
- Lo15 Lorenz, M. et al.: Man and Machine in Industry 4.0. How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025? In The Boston Consulting Group, 2015.

- LT88 Lind, E. A.; Tyler, T. R.: The social psychology of procedural justice. Springer Science & Business Media, 1988.
- Lu16 Lušić, M. et al.: Worker Information Systems: State of the Art and Guideline for Selection under Consideration of Company Specific Boundary Conditions. In *Procedia CIRP*, 2016, 41; S. 1113–1118.
- Ma15 Martin, B.: The Business Model Canvas. https://nonlinearthinking.typepad.com/nonlinear_thinking/2008/07/the-business-model-canvas.html, 06.08.2019.
- Ma17 Mattmann, I.: Modellintegrierte Produkt- und Prozessentwicklung. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2017.
- MB18 Mohr, F.; Birtel, M.: Kommunikation in der Produktion nach dem Muster sozialer Netzwerke: Mensch und Computer 2018 - Workshopband, 2018.
- Me07 Mertens, P.: Integrierte Informationsverarbeitung. Operative Systeme in der Industrie. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler | GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, Wiesbaden, 2007.
- MFV18 Martins, L.; Fernandes, N. O.; Varela, M. L. R.: Autonomous Production Control: A Literature Review. In (Machado, J.; Soares, F.; Veiga, G. Hrsg.): *Innovation, engineering and entrepreneurship*. Springer International Publishing, Cham, 2018; S. 425–431.
- MGS18 Malakuti, S.; Grüner, S.; Schmitt, J.: Modulare Verwaltungsschalen. In *atp edition*, 2018, 60; S. 30.
- Mi95 Milgram, P. et al.: Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In (Das, H. Hrsg.): *Telemanipulator and Telepresence Technologies*. SPIE, 1995; S. 282–292.
- MK13 Musiał, K.; Kazienko, P.: Social networks on the Internet. In *World Wide Web*, 2013, 16; S. 31–72.
- Mo12 Moser, C.: User Experience Design. Mit erlebniszentrierter Softwareentwicklung zu Produkten, die begeistern. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.
- Mo14 Monostori, L.: Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. In *Procedia CIRP*, 2014, 17; S. 9–13.
- Mo16 Monostori, L. et al.: Cyber-physical systems in manufacturing. In *CIRP Annals*, 2016, 65; S. 621–641.
- Mo18 Moura Pertel, V. et al.: ANALYSIS OF IT STANDARDS AND PROTOCOLS FOR INDUSTRY 4.0. In *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research*, 2018.

- MP17 Mulder; Patty: Value Proposition Canvas by Alexander Osterwalder | ToolsHero. <https://www.toolshero.com/marketing/value-proposition-canvas/>, 14.06.2019.
- MRH17 Martelli, A.; Ravenscroft, A.; Holden, S.: Python in a nutshell. O'Reilly, Beijing, Boston, Farnham, Sebastopol, Tokyo, 2017.
- Na17 Naik, N.: Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP: 2017 IEEE International Symposium on Systems Engineering. ISSE 2017 Vienna, Austria, October 11-13, 2017 2017 symposium proceedings. IEEE, Piscataway, NJ, 2017; S. 1–7.
- Ni15 Nikolaidou, M. et al.: Simulating SysML models: Overview and challenges: 2015 10th System of Systems Engineering Conference (SoSE). IEEE, 2015; S. 328–333.
- NL16 Naefe, P.; Luderich, J.: Konstruktionsmethodik für die Praxis. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2016.
- NR02 Nüttgens, M.; Rump, F.: Syntax und Semantik Ereignisgesteuerter Prozessketten (EPK). In Prozessorientierte Methoden und Werkzeuge für die, 2002.
- Ny08 Nyhuis, P. Hrsg.: Wandlungsfähige Produktionssysteme. Heute die Industrie von morgen gestalten. Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; PZH Produktionstechnisches Zentrum, Hannover, Garbsen, 2008.
- OP13 Osterwalder, A.; Pigneur, Y.: Business model generation. A handbook for visionaries, game changers, and challengers. Wiley&Sons, New York, 2013.
- OP14 OPC FOUNDATION: OPC Unified Architecture. Die universelle Kommunikationsplattform für standardisierte Informationsmodelle. https://jp.opcfoundation.org/wp-content/uploads/2014/05/OPC-UA_CollaborationOverview_DE.pdf, 23.07.2019.
- Op16 Oppelt, M. et al.: Simulation 2025: Simulation im Lebenszyklus industrieller Anlagen, 2016.
- Op92 Oppermann, R.: Software-ergonomische Evaluation. Der Leitfaden EVADIS II. de Gruyter, Berlin, 1992.
- Os14 Osterwalder, A. et al.: Value proposition design. How to create products and services customers. Wiley, Hoboken, NJ, 2014.
- Os18 Ostermeier, M. et al.: Anforderungen an Digitalkompetenz in der industriellen Produktion. In ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2018, 113; S. 633–636.
- OW19 OWLready 2: Owlready2 is a module for ontology-oriented programming in Python 3. <https://pypi.org/project/Owlready2/>, 30.08.2019.

- Pa58 Parsons, T.: Struktur und Funktion der Modernen Medizin. In (König, R.; Tönnemann, M. Hrsg.): Probleme der Medizin-Soziologie. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, s.l., 1958; S. 10–57.
- Pa82 Patzak, G.: Systemtechnik - Planung komplexer innovativer Systeme. Grundlagen, Methoden, Techniken. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1982.
- PD17 Pöppelbuß, J.; Durst, C.: Smart Service Canvas – Ein Werkzeug zur strukturierten Beschreibung und Entwicklung von Smart-Service-Geschäftsmodellen. In (Bruhn, M.; Hadwich, K. Hrsg.): Dienstleistungen 4.0. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2017; S. 91–110.
- Pe17 Pethig, F. et al.: Industrie-4.0-Kommunikation mit OPC UA, 2017.
- Pi15 Pigneur, Yves and Joyce, Alexandre and Paquin, Raymond: The triple layered business model canvas: A tool to design more sustainable business models, 2015.
- Pi19 Pika: pika 1.1.0. Pika is a RabbitMQ (AMQP 0-9-1) client library for Python. <https://pypi.org/project/pika/>, 29.08.2019.
- Pi93 Pine, B. J.: Making mass customization happen: Strategies for the new competitive realities. In Planning Review, 1993, 21; S. 23–24.
- PP10 Paulheim, H.; Probst, F.: Ontology-Enhanced User Interfaces. In International Journal on Semantic Web and Information Systems, 2010, 6; S. 36–59.
- Py19 Python thinker: Graphical User Interfaces with Tk — Python 3.7.4 documentation. <https://docs.python.org/3/library/tk.html>, 30.08.2019.
- Qu06 Quiring, O.: Methodische Aspekte der Akzeptanzforschung bei interaktiven Medientechnologien. Universitätsbibliothek der Ludwig-Maximilians-Universität München, 2006.
- Ra09 Rabl, M.: Kreativitätstechniken. In (Gaubinger, K.; Werani, T.; Rabl, M. Hrsg.): Praxisorientiertes Innovations- und Produktmanagement. Grundlagen und Fallstudien aus B-to-B-Märkten. Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden, Wiesbaden, 2009; S. 75–90.
- Ra10 Rajkumar, R. et al.: Cyber-physical systems. In (Sapatnekar, S. S. Hrsg.): Design Automation Conference Proceedings. DAC 47 ; [June 13-18, 2010, Anaheim, California, USA]. IEEE, [Piscataway, NJ], 2010; S. 731.
- Ra19 RabbitMQ: AMQP 0-9-1 Model Explained — RabbitMQ. <https://www.rabbitmq.com/tutorials/amqp-concepts.html>, 29.08.2019.
- RB97 ROGERS, G. G.; BOTTACI, L.: Modular production systems: a new manufacturing paradigm. In Journal of Intelligent Manufacturing, 1997, 8; S. 147–156.

- Re01 Reck, C. et al.: Mutter-Kind Interaktion und postpartale Depression. In Psychotherapie, 2001, 6; S. 6.
- Re15 Reich, J.: Eine semantische Klassifikation von Systeminteraktionen. In (Cunningham, D. W. et al. Hrsg.): INFORMATIK 2015. Gesellschaft für Informatik e.V, Bonn, 2015; S. 1545–1559.
- Re16 Reich, J.: Composition, Cooperation, and Coordination of Computational Systems, 2016.
- Re17a Resnick, C.: OPC Technology Well-positioned for Further Growth in Tomorrow's Connected World: ARC Insights Report; S. 1–6.
- Re17b Reinhart, G.: Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. Hanser, München, 2017.
- Re98 Renn, R. W.: Participation's effect on task performance: Mediating roles of goal acceptance and procedural justice. In Journal of Business Research, 1998, 41; S. 115–125.
- Ro15 Robert A. Martin et al.: Industrial Internet Reference Architecture Technical Report. Industrial Internet Consortium, 2015.
- Ro16a Roth, A.: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2016.
- Ro16b Romero, D. et al.: The Operator 4.0: Human Cyber-Physical Systems & Adaptive Automation Towards Human-Automation Symbiosis Work Systems. In (Nääs, I. A. et al. Hrsg.): Advances in production management systems. Initiatives for a sustainable world IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2016, Iguassu Falls, Brazil, September 3-7, 2016 revised selected papers. Springer, Cham, 2016; S. 677–686.
- Ro17 Romero, D. et al.: Social Factory Architecture: Social Networking Services and Production Scenarios Through the Social Internet of Things, Services and People for the Social Operator 4.0. In (Lödding, H. et al. Hrsg.): Advances in production management systems. The path to intelligent, collaborative and sustainable manufacturing ; IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2017, Hamburg, Germany, September 3-7, 2017 ; proceedings. Springer, Cham, 2017; S. 265–273.
- Ro70 Royce, W. W.: Managing the development of large software systems: concepts and techniques. In Proc. IEEE WESTCON, Los Angeles, 1970; S. 1–9.
- RR13 Robertson, S.; Robertson, J.: Mastering the requirements process. Getting requirements right. Addison-Wesley, Upper Saddle River, N.J., 2013.
- RS17 Reich, J.; Schröder, T.: A reference model for interaction semantics, 2017.

- Ru20 Rupp, Jonas: Entwicklung eines Interaktions-Match-Makers zur Sicherstellung der adäquaten Interaktion in einem heterogenen Produktionsnetzwerk. Studienarbeit, 2020.
- RW73 Rittel, H. W. J.; Webber, M. M.: Dilemmas in a general theory of planning. In *Policy Sciences*, 1973, 4; S. 155–169.
- Sa17 Sadiku, M. et al.: INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS. In *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, 2017.
- SA18 Simmers, C.A.; Anandarajan, M. Hrsg.: The internet of people, things and services. Workplace transformations. Routledge, New York, London, 2018.
- SBK14 Sandhaus, G.; Berg, B.; Knott, P.: Vorgehensmodelle für die Softwareentwicklung. In (Sandhaus, G.; Knott, P.; Berg, B. Hrsg.): *Hybride Softwareentwicklung. Das Beste aus klassischen und agilen Methoden in einem Modell vereint*. Springer Vieweg, Berlin, 2014; S. 23–51.
- Sc10 Schatten, A. et al.: Best Practice Software-Engineering. Eine praxiserprobte Zusammenstellung von komponentenorientierten Konzepten, Methoden und Werkzeugen. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Neckar, 2010.
- Sc12 Scheer, A.-W.: CIM. Computer integrated manufacturing ; towards the factory of the future. Springer, Berlin, 2012.
- Sc13a Schönherr, O.: Modellierung, Simulation und Transformation von diskreten Prozessen in der Produktion und Logistik auf der Basis von SysML. Dissertation, München, 2013.
- Sc13b Schirra, J. R.J.: Einbettung der Begriffe »Interaktion« und »Kommunikation« in die Handlungsbegriffe. <http://www.gib.uni-tuebingen.de/netzwerk/glossar/images/2/29/Hierarchie2.jpg>, 30.08.2019.
- Sc16 Schönrock, R.: ABB drives the Internet of Things, Services and People. https://new.abb.com/docs/librariesprovider138/Hannover-Messe-2016/iotsp_positioning_en_1.pdf?sfvrsn=4.
- Sc17 Schließmann, A.: iProduction, die Mensch-Maschine-Kommunikation in der Smart Factory1. In (Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0. Bd. 4: Allgemeine Grundlagen*. Springer Vieweg, Berlin, 2017; S. 173–202.
- Sc19a Scheid, Robin.: Entwicklung eines Schnittstellenkonnektors zur Sicherstellung der adäquaten Interaktion in einem heterogenen Produktionsnetzwerk, 2019.
- Sc19b Schmitt, Kevin: Betrachtung der Anwendung sozialer Netzwerke in der Produktion, 2019

- Sc98 Schildknecht, C.: Management ganzheitlicher organisationaler Veränderung. Modell und Anwendung auf die Produkt- und Prozeßentwicklung. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, s.l., 1998.
- SDC15 Stewart, I.; De, D.; Cole, A.: Technology and people: The great job-creating machine. In Deloitte, London: UK, 2015.
- SDS01 Spath, D.; Dill, C.; Scharer, M.: Vom Markt zum Markt. Produktentstehung als zyklischer Prozess. LOGIS-Verl., Stuttgart, 2001.
- Se17 Serge Schiltz: Die Möglichkeiten und Stärken von BPMN (Business Process Model and Notation) - Digicomp Blog.
<https://www.digicomp.ch/blog/2017/05/26/bpmn-business-process-model-and-notation-moeglichkeiten-und-starken>, 01.07.2019.
- Sh19 Shi-Wan Lin et al.: The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture, 2019.
- SK09 Stopper, M.; Katalinic, B.: Service-oriented Architecture Design Aspects of OPC UA for Industrial Applications, 2009.
- SLB10 Schlick, C.; Luczak, H.; Bruder, R.: Arbeitswissenschaft. Springer, Heidelberg, 2010.
- Sp13 Spath, D. Hrsg.: Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. Studie. Fraunhofer-Verl., Stuttgart, 2013.
- SS10 Schmelzer, H. J.; Sesselmann, W.: Geschäftsprozessmanagement in der Praxis. Kunden zufriedenstellen, Produktivität steigern, Wert erhöhen ; [das Standardwerk. Hanser, München, 2010.
- SSA10 Sauer, O.; Schleipen, M.; Ammermann, C.: Digitaler Fabrikbetrieb - Virtual Manufacturing, 2010.
- St17 Statista: Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025 (in billions). <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>, 25.07.2019.
- SV14 Stoffels, P.; Vielhaber, M.: EcoDesign for Production Plants. In Procedia CIRP, 2014, 21; S. 432–436.
- Sv16 Sven Schrecker; Hamed Soroush; Jesus Molina; Jeff Caldwell; David Meltzer; Frederick Hirsch; Jean Pierre Leblanc; Marcellus Buchheit: Industrial Internet of Things Volume G4. Security Framework.
https://www.iiconsortium.org/pdf/IIC_PUB_G4_V1.00_PB.pdf, 23.07.2019.
- SW18 Sturm, T.; Wagner-Willi, M. Hrsg.: Handbuch schulische Inklusion. Verlag Barbara Budrich, Opladen, Toronto, 2018.

- SWM14 Schenk, M.; Wirth, S.; Müller, E.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik. Springer Vieweg, Berlin, 2014.
- TA01 Tyler, T. R.; Allan Lind, E.: Procedural Justice. In (Sanders, J.; Hamilton, V. L. Hrsg.): Handbook of Justice Research in Law. Springer US, Boston, MA, 2001; S. 65–92.
- Ta13 Tang, K. et al.: Design and Implementation of Push Notification System Based on the MQTT Protocol: Proceedings of the 2013 International Conference on Information Science and Computer Applications (ISCA 2013). Atlantis Press, Paris, France, 2013 - 2013.
- TA18 Tantik, E.; Anderl, R.: Concept of the asset administration shell as a software-defined system. In (Systems, I. C. o. S. D. Hrsg.): 2018 Fourth International Conference on Software Defined Systems (SDS). 23-26 April, 2018, Barcelona, Spain. IEEE, [Piscataway, NJ], 2018; S. 52–58.
- Te19 Team ascolab: OPC UA Basisdienste. <http://www.ascolab.com/de/unified-architecture/basisdienste.html>, 29.08.2019.
- TF17 Trachsel, V.; Fallegger, M.: Silodenken überwinden. In Controlling & Management Review, 2017, 61; S. 42–49.
- TGG18 Terziyan, V.; Gryshko, S.; Golovianko, M.: Patented intelligence: Cloning human decision models for Industry 4.0. In Journal of Manufacturing Systems, 2018, 48; S. 204–217.
- Th14 Thangavel, D. et al.: Performance evaluation of MQTT and CoAP via a common middleware: IEEE Ninth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), 2014. 21 - 24 April 2014, Singapore. IEEE, Piscataway, NJ, 2014; S. 1–6.
- To09 Tolio, T.: Design of Flexible Production Systems. Methodologies and Tools. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2009.
- TW14 Tanenbaum, A. S.; Wetherall, D.: Computer networks. Pearson Education, Harlow, Essex, 2014.
- TW75 Thibaut, J. W.; Walker, L.: Procedural justice: A psychological analysis. L. Erlbaum Associates, 1975.
- Va05 Vajna, S.: Information Technologies in Mechanical Engineering, University of Magdeburg. In (Clarkson, P. J.; Eckert, C. Hrsg.): Design process Improvement. A Review of Current Practice. Springer Verlag London Limited, s.l., 2005; S. 506–509.

- Va14 Vajna, S. Hrsg.: Integrated Design Engineering. Ein interdisziplinäres Modell für die ganzheitliche Produktentwicklung. Springer Vieweg, Berlin, 2014.
- Va18 Vajna, S. et al.: Entwicklung, Planung und Steuerung von Produktionssystemen. In (Vajna, S. et al. Hrsg.): CAx für Ingenieure. Eine praxisbezogene Einführung. Springer Vieweg, Berlin, Germany, 2018; S. 463–514.
- VBH17 Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten Hrsg.: Handbuch Industrie 4.0 Bd.3. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017.
- VH08 Volnhals, M.; Hirsch, B.: Information Overload und Controlling. In Controlling & Management, 2008, 52; S. 50–57.
- VM14 Vathsala, A. V.; Mohanty, H.: Interaction patterns based checkpointing of choreographed web services. In (Babar, M. A. Hrsg.): Proceedings of the 6th International Workshop on Principles of Engineering Service-Oriented and Cloud Systems. ACM, New York, NY, 2014; S. 28–37.
- vMv09 van Nuffel, D.; Mulder, H.; van Kervel, S.: Enhancing the Formal Foundations of BPMN by Enterprise Ontology. In (Albani, A.; Barjis, J.; Dietz, J. L. G. Hrsg.): Advances in Enterprise Engineering III. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2009; S. 115–129.
- Vo09 Vogel, O. et al.: Software-Architektur. Grundlagen - Konzepte - Praxis. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2009.
- Wa16 Wang, S. et al.: Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. In Computer Networks, 2016, 101; S. 158–168.
- WCT13 Wallin, J.; Chirumalla, K.; Thompson, A.: Developing PSS Concepts from Traditional Product Sales Situation: The Use of Business Model Canvas. In (Meier, H. Hrsg.): Product-service integration for sustainable solutions. Proceedings of the 5th CIRP International Conference on Industrial Product-Service Systems, Bochum, Germany, March 14th - 15th, 2013. Springer, Berlin, 2013; S. 263–274.
- We06 Weilkiens, T.: SYSML. EIN NEUERSTANDARD DER OMG. In ObjektSpektrum, 2006; S. 12–15.
- We08 Weigt, M.: Systemtechnische Methodenentwicklung. Diskursive Definition heuristischer prozeduraler Prozessmodelle als Beitrag zur Bewältigung von informationeller Komplexität im Produktleben. Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2008. Univ.-Bibl; Univ.-Verl. Karlsruhe, Karlsruhe, 2008.
- We13 Westkämper, E. et al. Hrsg.: Digitale Produktion. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, s.l., 2013.

- We15 Weyer, S. et al.: Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. In IFAC-PapersOnLine, 2015, 48; S. 579–584.
- We16 Weyer, S. et al.: Future Modeling and Simulation of CPS-based Factories: an Example from the Automotive Industry. In IFAC-PapersOnLine, 2016, 49; S. 97–102.
- We17 Westermann, T.: Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung von Cyber-Physical Systems des Maschinen- und Anlagenbaus. UB-PAD - Paderborn University Library, 2017.
- We18 Weyer, S.: Methodik zur informationstechnischen Integration Cyber-Physischer Produktionssysteme innerhalb der Digitalen Fabrik. Dissertation, 2018.
- We99 Weiser, M.: The computer for the 21 st century. In ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 1999, 3; S. 3–11.
- WH18 Wischmann, S.; Hartmann, E. Hrsg.: Zukunft der Arbeit - eine praxisnahe Betrachtung. Springer Vieweg, Berlin, Germany, 2018.
- WHT17 Wagner, T.; Herrmann, C.; Thiede, S.: Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. In Procedia CIRP, 2017, 63; S. 125–131.
- Wi07 Wiendahl, H.-P. et al.: Changeable Manufacturing - Classification, Design and Operation. In CIRP Annals, 2007, 56; S. 783–809.
- Wi14 Windelband, L.: Zukunft der Facharbeit im Zeitalter „Industrie 4.0 “. In Journal of Technical Education (JOTED), 2014, 2.
- Ya11 Yang, W. B. et al.: Ontology-based Multi-perspective Task Decomposition to Support Composite Manufacturing Service Discovery. In International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 2011, 5; S. 290–296.
- YLL01 Yu, E.; Liu, L.; Li, Y.: Modelling Strategic Actor Relationships to Support Intellectual Property Management. In (Goos, G. et al. Hrsg.): Conceptual Modeling — ER 2001. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2001; S. 164–178.
- Yu11 Yu, E.S.K. Hrsg.: Social modeling for requirements engineering. MIT Press, Cambridge, Mass, 2011.
- Yu18 Yustianto, P. et al.: Consolidating Service Engineering Ontologies Building Service Ontology from SOA Modeling Language (SoaML): 2018 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI). Proceedings October 22-25, 2018, Bandung - Padang, Indonesia. IEEE, Piscataway, NJ, 2018; S. 555–561.

- ZA13 ZAMFIRESCU, C.-B. et al.: Preliminary Insides for an Anthropocentric Cyber-physical Reference Architecture of the Smart Factory. In Studies in Informatics and Control, 2013, 22.
- Zu16 Zuehlke, D.: The Rocky Road to the Factory of the Future. Unpublished, 2016.
- ZWB14 Zolnowski, A.; Weiß, C.; Böhm, T. Hrsg.: Representing Service Business Models with the Service Business Model Canvas. The Case of a Mobile Payment Service in the Retail Industry. IEEE, 2014 - 2014.
- ZWZ67 Zwicky, F.; Wilson, A.G.; Zwicky, F. Hrsg.: The Morphological Approach to Discovery, Invention, Research and Construction. New Methods of Thought and Procedure. Springer Berlin Heidelberg, 1967.

Normen

- DIN 16593 DIN 16593, DIN SPEC 16593-1:2018-04 – RM-SA – Referenzmodell für Industrie 4.0 Servicearchitekturen – Teil 1: Grundkonzepte einer interaktionsbasierten Architektur.
- DIN 91345 DIN 91345, DIN SPEC 91345:2016-04 – Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0.
- DIN 62541 DIN EN 62541, DIN EN 62541:2015-11 – OPC Unified Architecture.
- DIN 9000 DIN ISO 9000, DIN EN ISO 9000:2015-11 – Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe (ISO_9000:2015); Deutsche und Englische Fassung EN_ISO_9000:2015.
- VDI2206 VDI2206:2004 – Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme.
- VDI2221 VDI2221:1993 – Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte.
- VDI2222 VDI2222:1997 – Konstruktionsmethodik.
- VDI4499-1 VDI4499-1:2008 – Digitale Fabrik - Blatt1.
- VDI4499-2 VDI4499-2:2011 – Digitale Fabrik - Blatt 2

Lebenslauf des Verfassers

Zur Person

Florian Mohr
Dorfstraße 31
55777 Eckersweiler

geboren am 01.05.1988 in St. Wendel
deutsche Staatsbürgerschaft
Verheiratet, 5 Kinder

Akademische Ausbildung

04/2007 - 08/2011 **Diplom Studiengang Maschinenbau und Verfahrenstechnik**
Vertiefungsrichtungen: Fahrzeug- und Konstruktionstechnik
TU Kaiserslautern

08/1994 - 03/ 2007 **Allgemeine Hochschulreife**
Gymnasium Kusel

Berufliche Erfahrung

03 /2019 – aktuell **Smart Factory KL & Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)**
Leiter des interdisziplinären Konsortialprojekts „Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Kaiserslautern“ sowie Mitglied im Leitungskreis des Forschungsbereichs.

01/2017- 02/2019 Leiter des wissenschaftlichen Teams „Digitalisierte Produktionsprozesse“.

09/2011 – 12/2016 **Fresenius Medical Care Deutschland GmbH in St. Wendel**
Entwicklungsingenieur & Projektleiter in der Produktionsentwicklung des Betriebs Kunststofftechnik.

09/2010 – 08/2011 **Porsche AG in Weissach**
Diplomarbeit mit dem Thema „Simulative Untersuchungen von Wiederstartverfahren am Antriebsstrangmodell eines Plug-in-Full-Hybriden“



Werden Sie Autor im VDI Verlag!

Publizieren Sie in „Fortschritt- Berichte VDI“

Veröffentlichen Sie die Ergebnisse Ihrer interdisziplinären technikorientierten Spitzenforschung in der renommierten Schriftenreihe **Fortschritt-Berichte VDI**. Ihre Dissertationen, Habilitationen und Forschungsberichte sind hier bestens platziert:

- **Kompetente Beratung und editorische Betreuung**
- **Vergabe einer ISBN-Nr.**
- **Verbreitung der Publikation im Buchhandel**
- **Wissenschaftliches Ansehen der Reihe Fortschritt-Berichte VDI**
- **Veröffentlichung mit Nähe zum VDI**
- **Zitierfähigkeit durch Aufnahme in einschlägige Bibliographien**
- **Präsenz in Fach-, Uni- und Landesbibliotheken**
- **Schnelle, einfache und kostengünstige Abwicklung**

PROFITIEREN SIE VON UNSEREM RENOMMEE!

www.vdi-nachrichten.com/autorwerden

vdI verlag

Die Reihen der Fortschritt-Berichte VDI:

- 1 Konstruktionstechnik/Maschinenelemente
 - 2 Fertigungstechnik
 - 3 Verfahrenstechnik
 - 4 Bauingenieurwesen
- 5 Grund- und Werkstoffe/Kunststoffe
 - 6 Energietechnik
 - 7 Strömungstechnik
- 8 Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
 - 9 Elektronik/Mikro- und Nanotechnik
 - 10 Informatik/Kommunikation
 - 11 Schwingungstechnik
- 12 Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik
 - 13 Fördertechnik/Logistik
- 14 Landtechnik/Lebensmitteltechnik
 - 15 Umwelttechnik
 - 16 Technik und Wirtschaft
 - 17 Biotechnik/Medizintechnik
 - 18 Mechanik/Bruchmechanik
 - 19 Wärmetechnik/Kältetechnik
- 20 Rechnerunterstützte Verfahren (CAD, CAM, CAE CAQ, CIM ...)
 - 21 Elektrotechnik
 - 22 Mensch-Maschine-Systeme
 - 23 Technische Gebäudeausrüstung

ISBN 978-3-18-303822-0