

Fortschritt-Berichte VDI

VDI

Reihe 22

Mensch-Maschine-
Systeme

Nr. 39

M.Sc. Max Birtel,
St. Ingbert

Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices für den Menschen in der modularen Produktion

WS **KL**

Werkzeugmaschinen
und Steuerungen
TU KAIERSLAUTERN

DISSERTATION

Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices für den Menschen in der modularen Produktion

Vom Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik
der Technischen Universität Kaiserslautern
zur Verleihung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte
Dissertation

von

Max Birtel, M. Sc.

aus St. Ingbert

Tag der mündlichen Prüfung: 13.10.2020

Dekan: Prof. Dr.-Ing. Tilmann Beck

Promotionskommission:

Vorsitzende Prof. Dr.-Ing. Kristin De Payrebrune

1. Berichterstatter Prof. Dr.-Ing. Martin Ruskowski

2. Berichterstatter Prof. Dr. Antonio Krüger

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 22

Mensch-Maschine-
Systeme

M.Sc. Max Birtel,
St. Ingbert

Nr. 39

Systemstruktur zur
Bereitstellung von
Informationsservices für
den Menschen in der
modularen Produktion



Werkzeugmaschinen
und Steuerungen
TU KAIERSLAUTERN

Birtel, Max

Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices für den Menschen in der modularen Produktion

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 22 Nr. 39. Düsseldorf: VDI Verlag 2020.

154 Seiten, 83 Bilder, 16 Tabellen.

ISBN 978-3-18-303922-7, ISSN 1439-958X,

€ 57,00/VDI-Mitgliederpreis € 51,30.

Für die Dokumentation: Modularer Shopfloor – Dezentrale Produktion – Industrie 4.0 – Digitalisierung – Cyber-Physische Produktionsmodule – Informationsservice – herstellerübergreifender Prototyp – Selbstbestimmung des Mitarbeitenden

Die vorliegende Arbeit wendet sich an Ingenieure und Wissenschaftler im Bereich der Digitalisierung in der Produktion. Sie befasst sich mit dem Paradigma der Selbstbestimmung des Mitarbeitenden in der modularen Produktionsumgebung. Eine modulare Produktion ist in diesem Kontext durch eine zunehmende Dezentralisierung mit Cyber-Physischen Produktionsmodulen geprägt. Zur Realisierung der Selbstbestimmung wird ein Informationsservice definiert, der eine Kombination aus Mitarbeitenden, Information und dazugehöriger Interaktion darstellt. Der Prozess des Anlegens und Löschens des Informationsservice sowie die dazu notwendige Systemstruktur wird erforscht und modelliert. Im Fokus steht eine herstellerübergreifende Realisierung, die durch eine prototypische Implementierung in einer modularen Testumgebung evaluiert wird.

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 978-3-18-303922-7

Vorwort des Verfassers

Bereits während meines Studiums hat mich das Thema des Internets der Dinge bzw. Industrie 4.0 fasziniert. Durch die Kombination von Internet und Smartphone wurde den Menschen eine einfache und intuitive Möglichkeit zuteil, selbstbestimmt an Informationen zu gelangen. Die hier vorliegende Dissertation überträgt dieses Paradigma auf den Kontext der modularen und herstellerübergreifenden Produktionsumgebung. Die Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Researcher bei der Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V. sowie im Forschungsbereich Innovative Fabriksysteme (IFS) am Deutschen Forschungszentrum für künstliche Intelligenz (DFKI).

Für die Betreuung der Arbeit bedanke ich mich insbesondere bei Herrn Professor Ruskowski für die aufgebrachte Zeit und das entgegengebrachte Interesse zum Thema der Arbeit. Ebenfalls Dank aussprechen, möchte ich Herrn Professor Zühlke, der mir durch die Anstellung bei der SmartFactory KL die Möglichkeit zur Promotion eröffnete. Beiden danke ich ebenfalls für das Vertrauen, welches ich durch die Übertragung von Projekt- und Führungsverantwortung erfahren durfte. Dies hat meine fachliche und persönliche Weiterentwicklung stark vorangetrieben. Bei Herrn Professor Krüger möchte ich mich herzlich für die Anfertigung des Zweitgutachtens dieser Arbeit bedanken. Selbstredend gilt mein Dank auch Frau Professorin De Payrebrune für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Mein Dank gilt auch allen Kollegen, die mich über die Jahre in der SmartFactory KL und am IFS begleitet haben. Die Zusammenarbeit war stets vorbildlich, wodurch auch arbeitsintensive Phasen mit Bravour gemeistert werden konnten. Besonders erwähnen möchte ich dabei Jesko Hermann, Patrick Bertram, Dr. Florian Mohr, Alexander David, Pascal Rübel, William Motsch, Keran Sivalingam, Christian Kränzler und Manuel Heid. Weiterer Dank gilt den ehemaligen Kollegen Dr. Dennis Kolberg, Dr. Fabian Quint, Dr. Stephan Weyer, Dr. Marius Orfgen und André Hennecke, die insbesondere in der Anfangszeit wertvolles Feedback gaben. Zusätzlich Danke sagen möchte ich den Studenten Sebastian Gaag, Kevin Harnasch und Sébastien Badour, die mich bei der Realisierung des prototypischen Demonstrators unterstützt haben.

Final möchte ich meiner Familie und meiner Partnerin danken, die in den letzten Jahren sehr viel Verständnis aufgebracht haben und mich stets motiviert sowie in schweren Phasen der Arbeit mental unterstützt haben.

Mein allergrößter Dank gilt dabei meinen Eltern, die mich bereits seit frühen Jahren prägten und mir die Möglichkeit einer reibungslosen Ausbildung, bis hin zur Promotion, geschenkt haben. Sie haben mir stets den Rücken gestärkt und tragen einen maßgeblichen Anteil am erfolgreichen Abschluss meiner Promotion. Ich widme Ihnen diese Arbeit.

St. Ingbert, im Oktober 2020

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	VIII
Abstract.....	VIII
Abkürzungsverzeichnis.....	IX
Symbolverzeichnis	X
1 Einleitung.....	1
2 Stand der Forschung.....	5
2.1 Auswirkungen der Digitalisierung auf die Produktionsumgebung	5
2.1.1 Ansätze zur Umsetzung von modularen Produktionsumgebungen	7
2.1.2 Architekturansätze für modulare Produktionsumgebungen.....	8
2.1.3 Informationstechnische Beschreibung von Produktionsressourcen	12
2.1.4 Informationsmodelle und -modellierung	16
2.1.5 Kommunikationsprotokolle für die Industrie 4.0 Produktion	20
2.1.6 Zusammenfassung und auftretende Herausforderungen	23
2.2 Rolle und Integration des Menschen in die modulare Produktion	23
2.2.1 Das Mensch-Maschine-System.....	24
2.2.2 Mensch-Maschine Interaktionsmöglichkeiten	26
2.2.3 Veränderungen der Mitarbeiterrolle durch die Digitalisierung	28
2.2.4 Rollenmodelle und Aufgabenfelder	31
2.2.5 Anforderungen an die Informationsbereitstellung auf dem Shopfloor	34
2.2.6 Zusammenfassung und auftretende Herausforderungen	39
3 Forschungsziele, Vorgehensweise und Modellierungstechniken.....	41
3.1 Forschungsziele.....	41
3.2 Vorgehensweise.....	44
3.3 Modellierungstechniken	45
4 Erforschung einer Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices auf dem modularen Shopfloor	48
4.1 Systemabgrenzung und Anforderungsanalyse	48

4.1.1	Formale Systemgrenze der Systemstruktur.....	49
4.1.2	Nicht-funktionale Anforderungen	51
4.2	Prozessbeschreibung und funktionales Verhaltensmodell	55
4.3	Entwicklung der übergeordneten Systemstruktur	57
4.3.1	Anforderungen an die CPPM zur Interaktion mit dem Mitarbeiter	58
4.3.2	Spezifizierung für die Bereitstellung von Informationsservices	61
4.4	Modellierung der Teilsystemkomponenten	65
4.4.1	Benutzungsschnittstelle	66
4.4.2	CPPM Informationen	69
4.4.3	Interaktionsdatenbank.....	75
4.4.4	Informationsservicedatenbank.....	82
4.4.5	Nutzermanagement	85
4.4.6	Middleware	91
4.5	Zusammenführen der Systemkomponenten und Wechselwirkungen	94
4.6	Zusammenfassung	99
5	Implementierung und Systemtests	100
5.1	Implementierung der Teilsystemkomponenten.....	103
5.1.1	Benutzungsschnittstelle	104
5.1.2	CPPM Informationen	107
5.1.3	Interaktionsdatenbank.....	110
5.1.4	Informationsservicedatenbank.....	113
5.1.5	Nutzermanagement	115
5.1.6	Middleware	117
5.2	Integration der Komponentenschnittstellen	118
5.3	Gesamtsystemtest der Systemstruktur	120
5.4	Validierung und Erweiterungspotenziale	123
5.4.1	Bewertung der nicht-funktionalen Anforderungen.....	123
5.4.2	Erweiterungspotenziale	125
6	Fazit und Ausblick	127
6.1	Fazit.....	127
6.2	Ausblick	128

7	Zusammenfassung	131
8	Literaturverzeichnis.....	133

Kurzfassung

Neue Produktionskonzepte erlauben es produzierenden Unternehmen flexibler auf Kundenanforderungen zu reagieren. Mithilfe der Digitalisierung und Modularisierung können Produktionslinien mit dezentrale Produktionsmodule realisiert werden, die jeweils unterschiedliche Fertigungsfunktionen aufweisen. Um den Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor zu unterstützen, muss ein selbstbestimmter Zugriff auf Informationen gewährleistet werden. Jeder Mitarbeiter verfügt über eine eigene Mitarbeiterrolle mit spezifischen Aufgaben, für die Informationen der Produktionsmodule oder der Produktionsprozesse notwendig sind. Die vorliegende Arbeit entwickelt eine Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices auf dem modularen Shopfloor. Ein Informationsservice wird als Kombination von Mitarbeiter, Information und Interaktion definiert. Eine Interaktion beschreibt, wie und in welcher Art und Weise die Information für den Mitarbeiter aktualisiert und bereitgestellt wird. Die Ergebnisse der Modellierung werden im Anschluss prototypisch implementiert und validiert. Hierfür wird eine existierende, modulare Produktionsumgebung verwendet. In einem Testszenario wird die Prozessbeschreibung des Anlegens und Löschens eines Informationsservice erfolgreich durchgeführt. Für die Umsetzung wurde OPC UA als Kommunikationsprotokoll der Produktionsmodule und NoSQL-Datenbanken für die interne Bereitstellung der Daten der Systemstruktur verwendet. Für die menschen-zentrierte Darstellung wird JavaScript benutzt. Die Ergebnisse ermöglichen ein neues Paradigma der Selbstbestimmung von Mitarbeitern auf dem modularen Shopfloor zur selbstbestimmten Informationsbereitstellung.

Abstract

New production concepts enable producing companies to cope with customer demands in a more flexible way. With the modularization within the production environment, production lines can be broken up into decentralized production modules with individual functionalities. To integrate human workers on the shopfloor in this new sort of production environment, they need self-determined access to information. Each production worker has his own tasks and a specific role within the company. For these tasks, they need information about the production modules and the production process. This dissertation presents a system structure, which allows workers to choose an information and combine it with an interaction of their choice. An interaction defines, in what way and how often the information is shown to the worker. Further, an information service as a combination of an individual worker, a selected information and the combined interaction is defined. The implementation in a (brownfield) modular production environment is shown and validated by showing the process of adding and deleting information services. We use OPC UA as communication protocol for the information of the production modules, NoSQL databases to sort the information within the software architecture and JavaScript for the development of the human-centred, web-based frontend. The results deliver a new paradigm of self-determination for shopfloor workers in a modular production.

Abkürzungsverzeichnis

AA	Abstrakte Anforderungen
AIA	Asset Integration Architecture
CPPM	Cyber-Physisches Produktionsmodul
CPPS	Cyber-Physisches Produktionssystem
CPS	Cyber-Physische Systeme
FAE	Funktionale Anforderungen und Evaluationskriterien
HCPS	Human-Cyber-Physical-System
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HMI	Human-Machine-Interface
IoT	Internet of Things
KPI	Key Performance Indicator
M2M	Machine-to-Machine
M+O	Monitoring- und Optimierungsebene
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
MTP	Modular Type Package
NFA	Nicht-funktionale Anforderungen
NOA	Namur Open Architecture
OMM	Object Memory Model
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0
SA	Spezifizierte Anforderungen
UML	Unified Modeling Language
VWS	Verwaltungsschale

Symbolverzeichnis

Abkürzung	Variable
\vec{x}_n	Informationsservice auf dem modularen Shopfloor
M	Menge aller Informationsservices auf dem modularen Shopfloor
a	Ein Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor
b	Ein semantisch beschriebenes Informationselement
c	Ein Interaktionselement zur Verknüpfung von a und b
A	Menge aller Mitarbeiter a
B	Menge aller Informationselemente b
C	Menge aller Interaktionselemente c
R_n	Menge aller Informationsservices mit identischem a

1 Einleitung

Die Entwicklungstrends für die Produktion von Gütern zeigen in den letzten Jahren die Notwendigkeit eines Wandels der Produktionsumgebungen auf. Treibende Kräfte wie die Digitalisierung und Bestrebungen unter dem Begriff Industrie 4.0 werden zunehmend beeinflussen, wie Produktionsumgebungen gestaltet sind [Ka13], [Ba14]. Zum einen äußert sich dies in ändernden Anforderungen des Marktes (Pull-Effekt), zum anderen entstehen neue technische Entwicklungen, die Innovationen innerhalb der Produktion ermöglichen (Push-Effekt) [Ny08].

Der Trend, Produkte stets kostengetrieben und standardisiert zu verkaufen, befindet sich im Wandel. Gleichartige Produkte aus Massenproduktionen rücken für die Konsumenten zunehmend in den Hintergrund. Kürzere Lebenszyklen bzw. Nutzungsdauern von Produkten erfordern gleichzeitig immer kürzer werdende Entwicklungszeiten für Nachfolgemodelle. Durch den zunehmenden Wunsch der Produktindividualisierung rückt der Kunde und somit eine kundenindividuelle Produktion in den Vordergrund [Ka13]. Gleichzeitig sind Unternehmen aufgrund der Globalisierung der Märkte einem weltweiten Wettbewerb ausgesetzt, müssen ihre Produkte sowie ihre Produktion schneller an die Bedingungen des Marktes anpassen und wenn möglich zusätzlich neue Märkte erschließen [KHM18]. Abbildung 1 fasst diesen Sachverhalt zusammen.

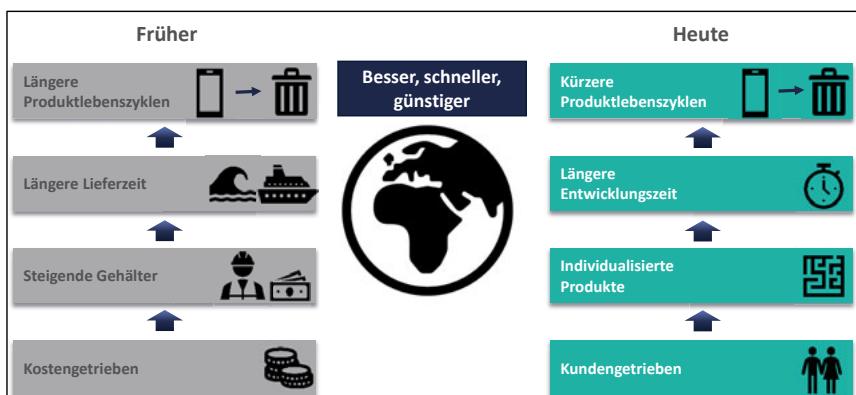


Abbildung 1: Wandelnde externe Einflüsse des Marktes auf die Produktion nach [KHM18]

Neben den sich ändernden Anforderungen des Marktes existieren durch technologische Weiterentwicklungen neue Möglichkeiten, Produktionsumgebungen kundenspezifischer und flexibler zu organisieren. In diesem Kontext wurden Cyber-Physische Systeme (CPS) als eine Kernkomponente für die Weiterentwicklung der Produktion identifiziert [Ka13]. CPS stellen intelligente, eingebettete Systeme dar, die sich selbstständig steuern und untereinander

automatisiert Informationen austauschen können [Br10]. Frühe Ideen und Ansätze zur Realisierung einer smarten Fabrikumgebung [Zu08] konnten in der Praxis umgesetzt und im Laborbetrieb gezeigt werden [GW16]. Durch die technischen Möglichkeiten, die sich durch den Einsatz von CPS ergaben, konnten starre Produktionslinien durch eine Modularisierung der Produktionsressourcen flexibler gestaltet werden. Mehrere CPS können zu einer bearbeitenden Fertigungsstation, dem Cyber-Physischen Produktionsmodul (CPPM), zusammengeschlossen werden [Bi18]. Ein CPPM erfüllt dabei einen Bearbeitungsschritt im Rahmen eines Produktionsprozesses und kann bei sich ändernden Produktanforderungen flexibel ausgetauscht und durch ein anderes CPPM ersetzt werden [We15b]. CPPM können herstellerübergreifend eingesetzt werden [GW16], wodurch die Produktion wandelbarer wird.

Parallel zu den Veränderungen im Produktionsumfeld prägt die Digitalisierung zunehmend unsere Gesellschaft. Immer preiswerte Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT), wie z.B. mobile Endgeräte, die bereits im privaten Bereich Anwendung finden, wird zunehmend in Produktionsumgebungen eingesetzt [ac16]. Dadurch sind neben einer modularen Organisation der Produktion mit intelligenten CPS und CPPM auch noch weitere Teilnehmer in der Produktionsumgebung der Zukunft vertreten, die Daten generieren und für den Menschen bereitstellen [DJ16]. Während Privatpersonen heutzutage in der Lage sind durch Hardware aus dem Konsumentenbereich (z.B. Tablets) über das Internet an Informationen ihrer Wahl zu gelangen und sich diese individuell abonnieren oder entfernen zu können, ist das Produktionsumfeld bislang weniger flexibel auf den Menschen abgestimmt [MB18].

Auch bei einer Digitalisierung und Modularisierung der Produktionsressourcen darf der Mensch, welcher nach wie vor in der Produktionsumgebung vorhanden sein wird [BZ15], nicht außer Acht gelassen werden und muss bei einer Veränderung der Produktionsumgebung zielführend in seinen Aufgaben unterstützt werden [Bi18].

Problemstellung

Durch die Modularisierung von Produktionsumgebungen mit CPS und CPPM werden Bearbeitungsschritte im Sinne von Fertigungsfunktionen gekapselt [We15b]. Die CPPM können flexibel und nach Produktanforderung in der Reihenfolge und Zusammenstellung variiert werden, wobei die technischen Schnittstellen der CPPM untereinander standardisiert sind [MKW17]. Durch eine Kapselung von Fertigungsfunktionen verfügen CPPM über eigene Informationsverarbeitungskapazitäten, die Daten und Informationen generieren und diese mit anderen CPPM oder übergeordneten IT-Systemen austauschen. Für den Mitarbeiter werden Informationen jedoch in einer herstellerspezifischen Benutzungsschnittstelle bereitgestellt [We15a], [KHM18]. CPPM können zusätzlich zu verteilten Produktionsumgebungen führen, da CPPM im Sinne von dezentralen Fertigungsinseln weiter aufteilbar sind [Bi19].

Im Gegensatz zu herkömmlichen Produktionslinien steht für die Mitarbeiter auf dem Shopfloor keine zentrale Bereitstellung von Informationen mehr zur Verfügung, sondern diese müssen an der jeweilig herstellerspezifischen Benutzungsschnittstelle eines jeden CPPM abgefragt werden [GW16].

Mitarbeiter in der Produktion sind nach wie vor ein integraler Bestandteil für den operativen Betrieb und müssen in der Lage sein, aufgrund der vorliegenden Daten und Informationen, Entscheidungen zu treffen [GSL14]. Trotz der herstellerübergreifenden Vielfalt der CPPM sind insbesondere die operativen Aufgaben auf dem Shopfloor weiterhin durchzuführen: der Maschinenbediener muss in der Lage sein den Produktionsprozess zu überwachen, während der Instandhalter die Fehlermeldungen und Sensordaten des Moduls prüft. Der Schichtleiter hingegen ist daran interessiert, welcher Auftrag gerade auf einem CPPM produziert wird. Zurzeit existiert keine Unterstützungsmöglichkeit, um für jeden Mitarbeiter eine individuelle und flexible Informationsbereitstellung auf dem Shopfloor zu realisieren, die ihn bei der Durchführung seiner Aufgabe in einer modularen Produktionsumgebung unterstützt. [BMR19]

Durch herstellerspezifische Benutzungsschnittstellen werden die bereitgestellten Informationen für den Mitarbeiter vom CPPM-Hersteller bestimmt und selten an die Aufgaben und Rollen der operativen Mitarbeiter angepasst. Daten müssen in modularen, dezentralen Produktionsumgebungen zukünftig nicht mehr nur in menschenlesbare Informationen umgewandelt werden können, sondern erheben den Anspruch von unterschiedlichen Personen möglichst intuitiv eingesehen, interpretiert und verarbeitet werden zu können [Bi18]. Die Möglichkeit, sich nur genau die Informationen anzeigen zu lassen, an denen man als Person interessiert ist, lässt sich überwiegend im privaten Bereich der sozialen Medien finden [AKV19], wohingegen für Arbeiten, die Mitarbeiter auf dem Shopfloor durchführen müssen, meist standardisierte, herstellerspezifische Benutzungsschnittstellen zur Verfügung stehen [MB18].

Vereinzelt können sich Mitarbeiter bereits individuell Informationen in einem eigenen Nutzerprofil zusammenstellen [KI19], wenn es um eine (hersteller-)spezifische Anwendung geht [vSR19] und gleichzeitig eine durchgängige IT- und Cloud-Infrastruktur vorhanden ist [St19].

Allerdings wird es für Mitarbeiter, welche operativ in einer dezentral organisierten Produktionsumgebung arbeiten zunehmend schwieriger, gebündelt an alle für sie in ihrer Rolle auf dem Shopfloor notwendigen Informationen zu gelangen, ohne lange danach zu suchen oder Laufwege zwischen einzelnen CPPM zurückzulegen. Es ist fraglich, ob lediglich eine starre Informationsdarstellung noch zielführend sein kann. Möglichkeiten aus dem Consumer-Bereich, bei denen Menschen nicht nur die Information auswählen können, sondern auch die Art und Weise wie diese ihnen angezeigt wird, sind bislang im Produktionskontext noch nicht erforscht. Durch die freie Auswahl der Interaktionsform, d.h. Häufigkeit, Darstellungsart und Feedbackmöglichkeit des Mitarbeiters, könnten insbesondere

in dezentralen, modularen und herstellerübergreifenden Produktionsumgebungen Informationen für Mitarbeiter flexibler und übersichtlicher verfügbar gemacht werden. Ein neues **Paradigma in der Selbstbestimmung** des Mitarbeiters auf dem modularen Shopfloor ist notwendig.

Es stellt sich die Frage, wie eine Interaktionsform in modularen Produktionsumgebungen gestaltet sein muss, um Mehrwerte für den Mitarbeiter zu generieren und dabei hersteller- sowie infrastrukturunabhängig zu sein. Weiterhin offen ist es, wie eine übergeordnete Systemstruktur modelliert werden muss, um **Informationen, Interaktionen** und **Mitarbeiter** so miteinander zu verknüpfen, dass eine flexible und selbstbestimmte Arbeitsweise für Mitarbeiter auf dem Shopfloor ermöglicht wird, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Rollen und Aufgaben. Die Ergänzung von Informationen und Mitarbeiter um eine **Interaktionsform**, die Kombination dieser drei Komponenten, sowie eine **intuitive Informationsbereitstellung** in der modularen Produktionsumgebung sind nach wie vor Gegenstand der Forschung. Die spezifische Verknüpfung von Information, Mitarbeiter und Interaktionsform wird im Folgenden als **Informationsservice** verstanden.

Zusammenfassend besteht weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich einer Systemstruktur, die es erlaubt individuell wählbare Informationen für den Mitarbeiter in einer selbstbestimmten Interaktionsform in herstellerübergreifenden, modularen Produktionsumgebung bereitzustellen.

2 Stand der Forschung

Innerhalb dieses Kapitels werden grundlegend zwei Sachverhalte vertieft aufgearbeitet: die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Produktionsumgebung (Kapitel 2.1) und die Rolle und die Integration des Menschen in die modulare Produktionsumgebung (Kapitel 2.2). Beide Kapitel enden jeweils mit einer Zusammenfassung und den entstehenden Herausforderungen.

2.1 Auswirkungen der Digitalisierung auf die Produktionsumgebung

Wie in der Einleitung erwähnt, lässt sich ein Trend des Konsumverhaltens der Endkunden erkennen, welcher die Unternehmen vor zunehmende Herausforderungen stellt. Insbesondere wenn eine kundenindividuelle Produktion bis zu einer Losgröße von 1 realisiert werden muss. Um eine Flexibilität zu gewährleisten, haben sich Cyber-Physische Systeme etabliert. Durch die Einführung von CPS in die Produktionsumgebung sind neue Konzepte entstanden, welche auf Basis von CPS funktionieren [SSG13]. Der Begriff CPS wird in der Literatur oftmals unterschiedlich definiert, sodass sich keine Allgemeingültigkeit für eine der Definitionen feststellen lässt. Im Rahmen dieser Arbeit wird unter dem Begriff CPS die Definition von Edward A. Lee (2008) als Grundlage verwendet. Ein Cyber-Physisches System bildet die Verzahnung von physischen Prozessen mit Computertechnologie, wobei eingebettete Computer die physisch ablaufenden Prozesse überwachen (durch Feedbackschleifen) und eine Abhängigkeit zwischen physischen und Computer-Prozessen existiert [Le08].

Diese Definition abstrahiert CPS als eine Integration eingebetteter Systeme in eine technische Produktionsumgebung [Le08], [SSG13]. Hierbei kann ein CPS aus mehreren eingebetteten Systemen bestehen, die Informationen untereinander austauschen und miteinander kommunizieren [Le08], [Br10], [GB12]. Hinzu kommt in der modularen Produktionsumgebung der Aspekt, dass die physisch vorhandenen Produktionsressourcen mit der digitalen Welt und den Menschen in der Produktionsumgebung verknüpft werden müssen [Br10]. Dieser Sachverhalt stellt die Erweiterung des CPS-Begriffs als Vielzahl eingebetteter Systeme dar und wird in Abbildung 2 verdeutlicht.

Die dadurch entstehende Entzerrung von zentralen Aufgaben der Kontrolle und Steuerung von Prozessen, zum Beispiel mithilfe einer Speicherprogrammierbaren Steuerung, realisiert sogenannte Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS) [We15a]. Dort sind eine Vielzahl an CPS vorhanden, die sowohl Prozesse überwachen und Informationen generieren als auch dezentrale Informationsspeicher darstellen [Ma17]. Funktionen und Aufgaben, die bislang stets zentral durchgeführt wurden, können durch immer intelligenter werdende Objekte wie

CPS-basierter Sensorik und Aktorik oder Cyber-Physische Produktionsmodule übernommen werden [Sc15].

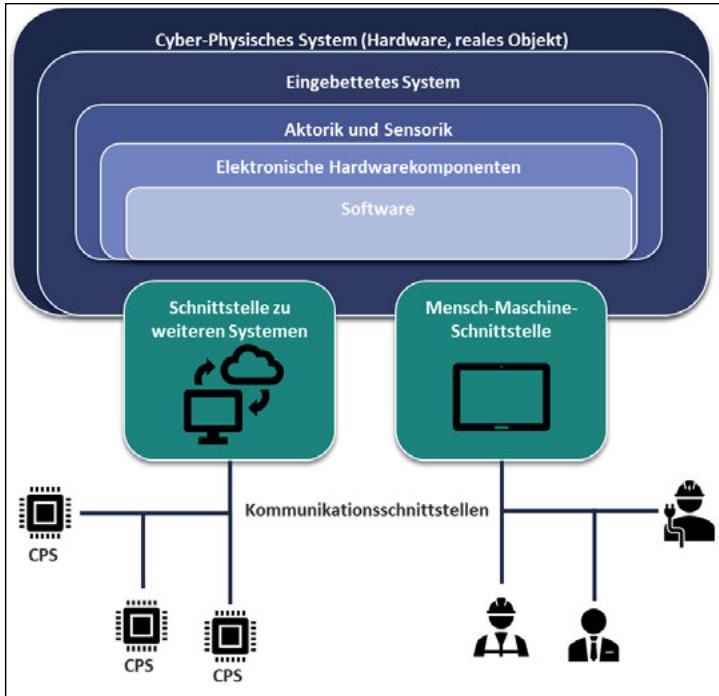


Abbildung 2: Darstellung eines Cyber-Physischen Systems und Schnittstellen zur Produktionsumgebung nach [Br10]

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden die technischen Auswirkungen, welche sich durch die Digitalisierung und die CPS-basierte Produktion ergeben, beleuchtet. In Kapitel 2.1.1 werden Ansätze zur Umsetzung von CPPM-basierten Produktionssystemen beschrieben, die eine modulare Produktionsumgebung verwirklichen. Kapitel 2.1.2 stellt Architekturansätze vor, welche für modulare Produktionsumgebungen aufgrund ihres modularen Charakters geeignet sind. Im Anschluss thematisiert 2.1.3 Ansätze für modulare Produktionsumgebungen, die eine einheitliche informationstechnische Beschreibung von Produktionsressourcen darstellen. Hierbei konkretisiert Kapitel 2.1.4 wie Informationsmodelle erstellt werden können und zeigt dafür Beispiele aus dem industriellen Kontext auf. Zur Betrachtung, wie diese Informationen technisch ausgetauscht werden, stellt Kapitel 2.1.5 gängige Kommunikationsprotokolle für die modulare Produktionsumgebung vor. Kapitel 2.1.6 schließt den ersten Teil des Stands der Technik mit einer Rekapitulation und detektierten Herausforderungen ab.

2.1.1 Ansätze zur Umsetzung von modularen Produktionsumgebungen

CPS-basierte Ansätze der Produktionsgestaltung ermöglichen einen modularen Aufbau von Produktionsumgebungen, was zu dezentralen Produktionen führt [We15b]. Die dadurch einhergehende Flexibilität hilft produzierenden Unternehmen, den steigenden Kundenanforderungen hinsichtlich einer zunehmenden Variantenvielfalt gerecht zu werden [We15b]. Ziel der Modularisierung ist es, CPPM flexibel austauschen zu können, sofern sich neue Anforderungen an den Produktionsprozess ergeben. Hierbei spielt die Interoperabilität zwischen Modulen unterschiedlicher Anbieter eine besondere Rolle. So muss beispielsweise ein Modul zum Bedrucken von Bauteilen durch ein Modul zur Lasergravur ersetzt werden können, wenn es vom Kunden gewünscht wird [We15b]. Vorteilhaft in der modularen Produktion ist auch das flexible Hinzufügen, Erweitern und Entfernen von standardisierten Produktionsressourcen [Go16]. Dies setzt eine standardisierte Beschreibung der informationstechnischen Schnittstellen voraus [OHN14]. Abbildung 3 zeigt auf, wie CPPM und CPPS verknüpft sind und wie daraus eine modulare Produktionsumgebung entstehen kann. Modulare Produktionslinien ergeben sich durch eine flexible, prozessorientierte Aneinanderreihung von Produktionsmodulen, welche wiederum aus intelligenten Komponenten bestehen und eine herstellerübergreifende, standardisierte Informationsschnittstelle besitzen müssen [GW16].

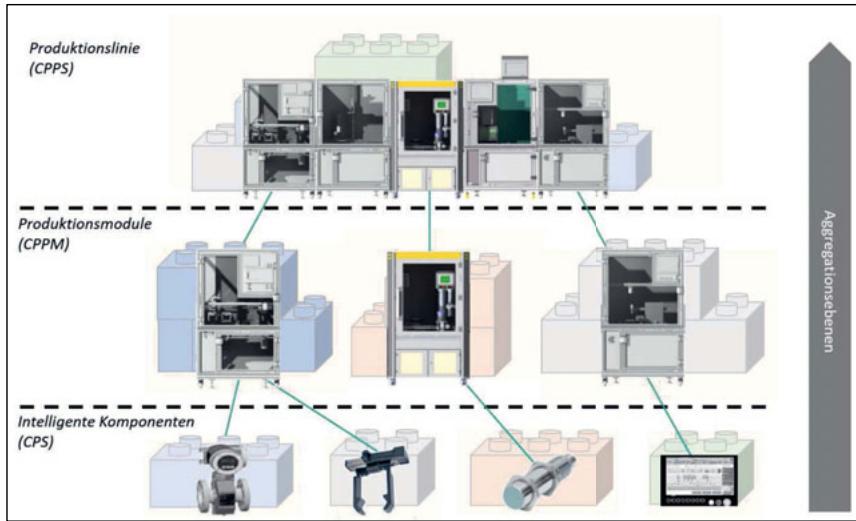


Abbildung 3: Flexibel kombinierbare CPPM zur Realisierung übergeordneter Produktionslinien nach [GW16]

Essenziell zur Realisierung des Produktionsprozesses sind die CPPM. Ähnlich zu der Definition von CPS finden sich hier voneinander abweichende Definitionen. Abstraktere Definitionen beschreiben ein Modul als ein System, welches in sich selbst eng gekoppelt und mit dem Rest

des Produktionssystems lose verbunden ist [Ch11]. Weitere CPPM Definitionen beschreiben Module als eine Zusammensetzung aus drei logisch aggregierten Bestandteilen: einer Computer-Plattform, einer digitalen Repräsentation des Ganzen und der Hardware selbst [Ri17]. Ferner können Module als Teile eines Systems verstanden werden, die die intelligente Komponente darstellen [Na13]. Innerhalb eines CPPM kann ein Steuerungsgerät die notwendigen Funktionen und Aufgaben zur Ausführung des Fertigungsprozesses übernehmen, wobei diese Funktionalitäten als Dienste angeboten werden [Ho16].

Bei der Modularität haben, aufgrund der flexiblen Möglichkeit Module miteinander zu kombinieren, die Schnittstellen eine hohe Relevanz, da diese für die Realisierung des Produktionsprozesses essentiell sind [ME98], [Ma02]. Die VDI/VDE/NAMUR 2658 beschreibt für die informationstechnische Schnittstelle und deren Integration drei Möglichkeiten [VDI17]:

- Blackbox-Module:
Hierbei sind Module für das produzierende Unternehmen lediglich Anbieter von Diensten, die in ein IT-System integriert und von diesem aufgerufen werden können. Die interne Logik des Moduls ist allerdings für den Anwender nicht einsehbar.
- Greybox-Module:
Die Modularität des Greybox-Moduls ist vom Ansatz her vergleichbar mit dem des Blackbox-Moduls, stellt zusätzlich aber Bedienmöglichkeiten für den Nutzer zur Verfügung. Schnittstellen für die Visualisierung von Informationen und für die Bedienung sind für den Nutzer dabei zugänglich.
- Whitebox-Module:
Diese bilden das Gegenstück zum Blackbox-Modul, sodass der Zugriff auf alle Komponenten nicht nur lesend, sondern auch schreibend bereitgestellt wird und die komplette Logik des Moduls sowie seiner Steuerung für den Nutzer offengelegt ist.

Diese Arbeit setzt auf der Definition eines Greybox-Moduls bezüglich der dort vorzufindenden Schnittstelle auf, die es ermöglicht, Informationen für den Mitarbeiter auf dem Shopfloor nutzerfreundlich zu visualisieren.

2.1.2 Architekturansätze für modulare Produktionsumgebungen

Für intelligente, modulare Produktionsumgebungen existieren Architekturansätze, um diese in die Praxis zu überführen. Dieses Kapitel stellt eine Auswahl solcher Architekturansätze vor und geht auf die jeweilige Einbindung des Mitarbeiters in diese Architektur ein.

Die **Systemarchitektur der Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V.** weist eine Möglichkeit auf, herstellerübergreifende Produktionsmodule miteinander zu einer dezentral organisierten Fertigungslinie zusammenzuschließen. Die anfänglich eingeführte Architektur bestand aus fünf verschiedenen Ebenen: Produkt-, Produktions-, Versorgungs-, Integrations- und IT-Systemebene. Diese wurden nach dem *Separations of Concerns*-Ansatz entworfen. Ziel ist es, mit den herstellerübergreifenden CPPM eine möglichst hohe Wandelbarkeit innerhalb der

Produktion zu erreichen, indem Module flexibel ausgetauscht, ersetzt oder an anderer Stelle wieder eingefügt werden können. [GW16]

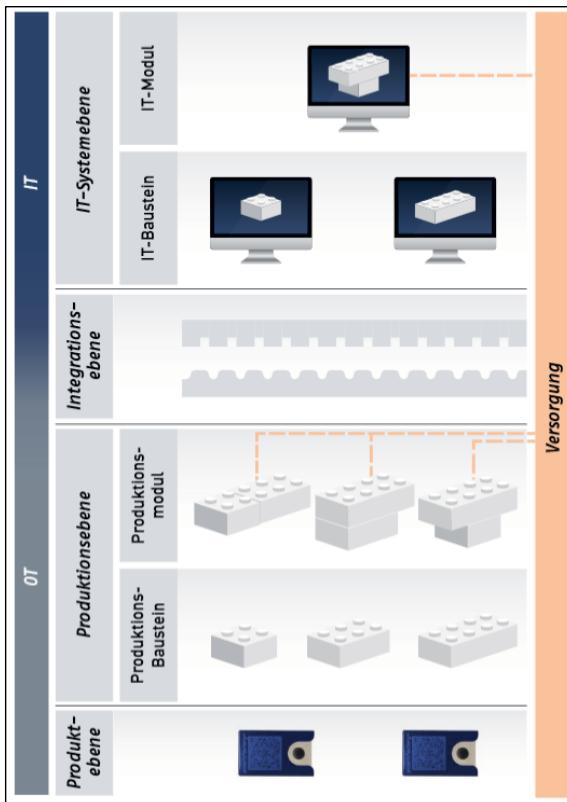


Abbildung 4: Systemarchitektur der Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V. aus [KHM18]

Wie in Abbildung 4 dargestellt, ist diese Systemarchitektur überarbeitet und an Erfahrungen aus dem praktischen Betrieb angepasst worden. Sie umfasst die vier Hauptebenen: Produkt-, Produktions-, Integrations- und IT-Systemebene [KHM18]. Die Versorgungsebene wirkt sich auf alle Ebenen aus. Die Produktebene beschreibt nach wie vor die intelligenten Produkte, welche mittels Produktgedächtnis auf einem RFID-Tag Produktionsdaten jedes einzelnen Produktionsschrittes aufnehmen [GW16].

Die Produktionsebene spaltet sich in zwei Unterebenen, zum einen in die Ebene der Produktionsmodule und zum anderen in die Ebene der Produktionsbausteine [KHM18]. Hierbei können Produktionsbausteine neben CPPM auch selbstfahrende Logistiksysteme sein, die intelligent und in den Produktionsprozess integrierbar sein müssen.

Die CPPM verfügen über standardisierte Schnittstellen zur Kommunikation untereinander und mit den übergeordneten Ebenen. Als Bindeglied zwischen der physisch vorliegenden Produktions- und Produktebene hin zu den IT-Systemen existiert die Integrationsebene, welche Informationen und Daten bidirektional austauscht. In der IT-Systemebene wird die Prozessorchestrierung vorgenommen. In dieser modularen Systemarchitektur ist der Mensch als Teil der Produktionsumgebung bislang nicht integriert. Zwar wird der Mitarbeiter über Benutzungsschnittstellen mit den CPPM verbunden, diese sind jedoch je nach CPPM-Hersteller unterschiedlich ausgestattet und stellen dem Mitarbeiter aufgrund fehlender Standards verschiedene Informationen zur Verfügung. [KHM18]

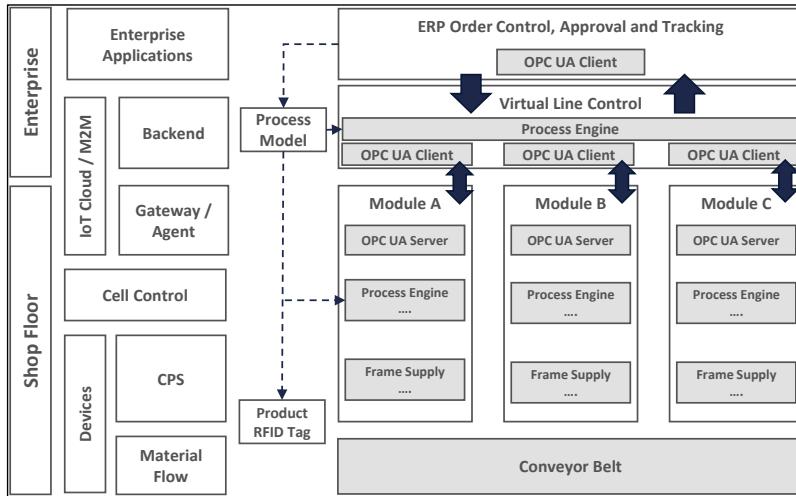


Abbildung 5: Asset Integration Architecture nach [Wr16]

Die **Asset Integration Architecture (AIA)** fokussiert eine vertikale Integration von CPPM einer Produktionsumgebung und ist in Abbildung 5 dargestellt [Wr16]. Grundlegend werden zwischen den zwei Ebenen *Shop Floor* und *Enterprise* unterschieden, die über die *Virtual Line Control* miteinander verbunden sind. Die Produktionsmodule können unterschiedliche Ausprägungen (A-C) aufweisen und bieten ihre Produktionsdienste serviceorientiert an [DIN13], [Wr16]. Die dadurch zu realisierenden Produktionsschritte können über ein BPMN-basiertes Prozessmodell orchestriert werden, wobei die einzelnen Produktionsmodule keiner zentralen Kontrolleinheit unterliegen und ihre Dienste autonom bei Beauftragung durchführen [Wr16].

Die Asset Integration Architecture zeigt eine Möglichkeit auf, lose voneinander gekoppelte Module in einer service-orientierten Art zu orchestrieren [Wr16]. Die Integration des Mitarbeiters auf dem Shopfloor ist auch in dieser Architektur nicht explizit berücksichtigt.

Der Ansatz der **Industrie 4.0-Komponente** sieht die Produktion der Zukunft als eine Zusammensetzung aus mehreren intelligenten Komponenten, die über eine standardisierte Schnittstelle miteinander in einem Industrie-4.0-Netzwerk kommunizieren können [Ad15]. Eine Industrie 4.0-Komponente ist ein beliebiger physischer Gegenstand, der über seinen Produktlebenszyklus eine digitale und aktiv kommunizierende Repräsentation bereitstellt, welche man Verwaltungsschale (VWS) nennt [Ad15], [ZV16], [Pl16b].

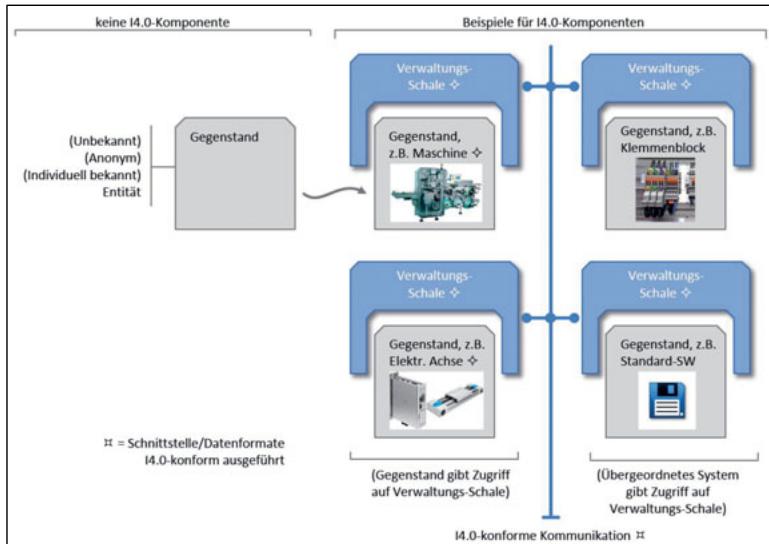


Abbildung 6: Beispiele für eine Zusammensetzung der Produktion aus Industrie 4.0-Komponenten aus [Ad15]

durch die Verwaltungsschale können Gegenstände semantisch beschrieben und auch gekapselt werden, wodurch physische Gegenstände in der Produktion informationstechnisch miteinander verknüpft werden [Ad15], [Pl16b], [ZV16]. Wie in Abbildung 6 zu sehen, bilden die Verwaltungsschalen der Industrie 4.0-Komponenten auch die Kommunikationsschnittstellen der Gegenstände untereinander und verknüpfen diese zu einem Netzwerk aus Produktionsressourcen [Ado15]. Zudem werden über die Verwaltungsschale Informationen mit IT-Systemen ausgetauscht. Der Ansatz der Industrie 4.0-Komponente bezieht sich bislang auf den automatisierten Austausch von Gegenständen untereinander und Gegenständen mit IT-Systemen.

In der Prozessindustrie ist die Forderung Schnittstellen zu standardisieren von der Namur (Interessengemeinschaft für die Automatisierungstechnik in der Prozessindustrie) aufgenommen und umgesetzt worden [NA]. Um den Herausforderungen einer herstellerübergreifenden Produktion und der Digitalisierung zu begegnen, wurde die **Namur Open Architecture (NOA)** eingeführt [Kl17], [NA17]. Ziel der NOA ist es, eine Verbindung

zwischen Komponenten auf der Feldebene bis hin zu den IT-Systemen auf Geschäftsebene zu realisieren und dabei Verfügbarkeit sowie Sicherheit von Produktionsressourcen in den Vordergrund zu stellen. Es wird auf bereits existierenden Standards aufgebaut. Die in Abbildung 7 gezeigte NOA verfügt dabei über zwei Hauptkomponenten. Die rötlich hervorgehobenen Elemente stellen die Monitoring- und Optimierungsebene (M+O) dar, welche Daten und Informationen auf der Ebene der Kern-Prozessteuerung (engl. *Core Process Control*) entgegennimmt. Diese bildet die physische Produktionsebene und ist für einen sicheren Ablauf des Produktionsprozesses und eine Verfügbarkeit der Produktionsressourcen verantwortlich. [KI17]

Aufgrund der hohen Sicherheitsanforderungen der Prozessindustrie muss insbesondere bei Befehlen und Aufrufen der M+O-Ebene mittels eines *Verification of Request* erst geprüft werden, ob die Ausführung eines Befehls keine negativen Einflüsse auf die Produktion hat.

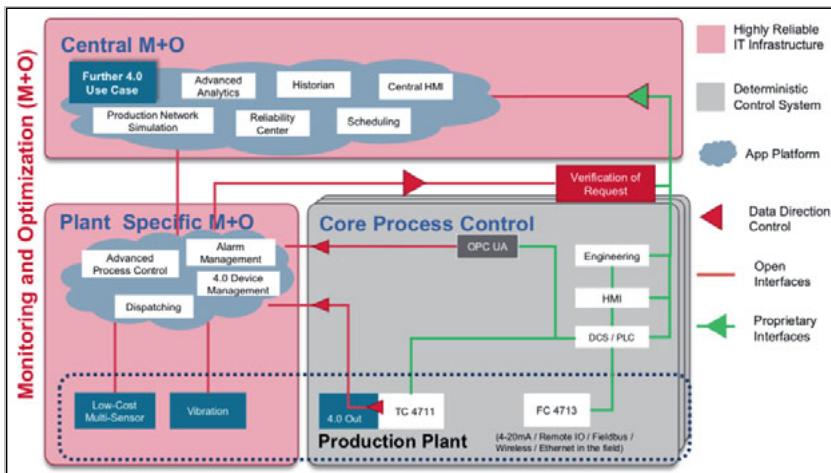


Abbildung 7: Namur Open Architecture (NOA) aus [KI17]

Für die Ebene der *Core Process Control* sind Parameter in der NE 131 beschrieben, die für Produktionsressourcen zur Verfügung stehen, um diese einfacher in die M+O-Ebene integrieren zu können [Na13]. NOA bildet einen Ansatz für die Prozessindustrie, eine sichere und reibungslose Produktion zu gewährleisten und dabei Produktionsressourcen innerhalb der Core Process Control modular einzubinden [VDI17]. Der Mensch stellt keine Komponente des Architekturansatzes dar.

2.1.3 Informationstechnische Beschreibung von Produktionsressourcen

Neben Architekturansätzen zur Realisierung einer modularen Produktionsumgebung sind insbesondere auch die konkreten Produktionsressourcen genauer zu betrachten. Ein

besonderer Fokus liegt dabei darauf, wie CPPM beschrieben werden können, um Informationen für Mitarbeiter bereitzustellen.

Eine Möglichkeit stellt die **Verwaltungsschale** dar, die bereits im Kontext der Industrie 4.0-Komponente kurz vorgestellt wurde. Eine Spezifizierung der Verwaltungsschale ist in der DIN SPEC 91345 zu finden [DIN16]. Sie bildet die informationstechnisch standardisierte Kommunikationsschnittstelle eines physischen Gegenstandes (Asset), über die ein Zugriff von anderen Assets realisiert werden kann [TA18]. Hierbei kann die interne Schnittstelle vom Asset zur Verwaltungsschale von jedem Hersteller individuell spezifiziert sein, sofern die externe Kommunikation standardisiert bleibt [DIN16].

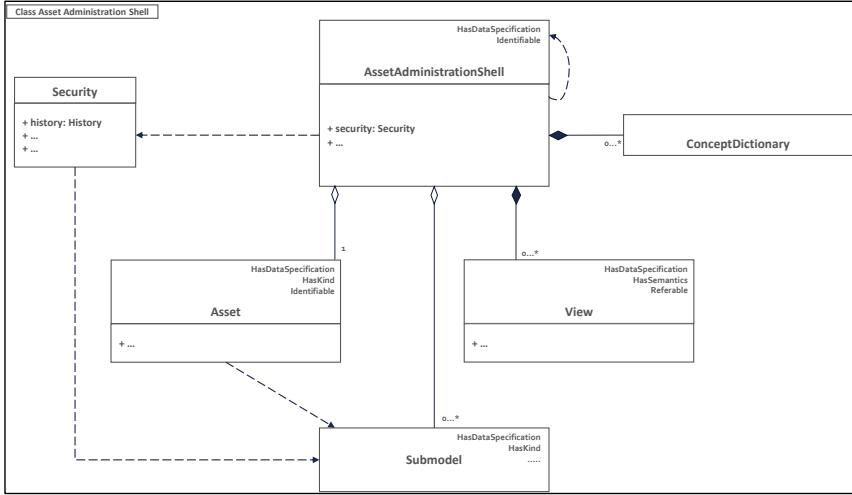


Abbildung 8: UML-Diagramm des Verwaltungsschale Meta-Modells nach [PI18]

Vom internen Aufbau ist die Verwaltungsschale in sogenannten Teilmodellen organisiert, die wiederum modulare Einheiten darstellen und Funktionen sowie Informationen kapseln [Ad15], [PI16b], [ZV16]. Beispielsweise können Teilmodelle für die Zustandsüberwachung oder Wartungsinformationen eines Assets existieren, wobei die Anzahl und Art der Teilmodelle nicht fest definiert sind. Perspektivisch sollen Teilmodelle standardisiert werden, um auch den internen Aufbau der Verwaltungsschale zu vereinheitlichen [ZV16].

Ein konkretes Template für die Verwaltungsschale ist als UML-Diagramm spezifiziert, welches von dem Interessensverband Plattform Industrie 4.0 erarbeitet wurde [PI18]. Durch das UML-Diagramm können Verwaltungsschalen als strukturierte Datenmodelle initiiert und implementiert werden. Der Aufbau der Verwaltungsschale ist in Abbildung 8 dargestellt. Eine explizite Informationsbereitstellung für den Mitarbeiter auf dem Shopfloor ist nach derzeitigem Stand nicht in Planung (Industrie 4.0-Komponente und Verwaltungsschale sind

Gegenstand der aktuellen Forschung und lassen sich dahingehend nicht abschließend bewerten).

Neben der Plattform Industrie 4.0 hat auch die Interessengemeinschaft Namur einen Standard entwickelt, um eine einheitliche Integration von Produktionsmodulen zu realisieren [Na13]. Die Beschreibung der informationstechnischen Schnittstelle nennt sich hierbei „**Module Type Package**“ (MTP) [Be16]. Abbildung 9 stellt die detaillierte Struktur des MTP dar.

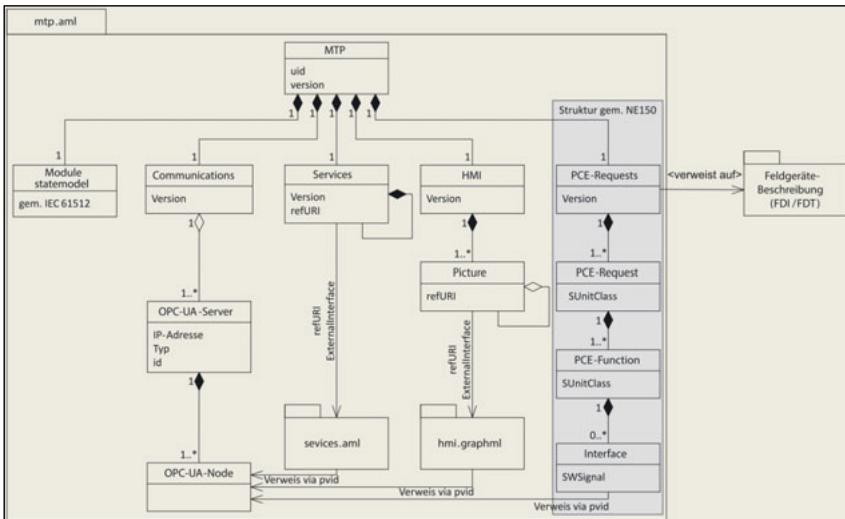


Abbildung 9: Aufbau eines MTP aus [BHH16]

Die bei der Namur angestrebte Verfügbarkeit und Sicherheit im Produktionsprozess verfolgt auch beim MTP einen zugrundeliegenden Plug-and-Produce Ansatz, wonach einzelne Produktionsmodule über eine dezentrale Intelligenz inklusive MTP verfügen [Ob15], [Be16]. Essenzielle Elemente des MTP bilden dabei das Human-Machine-Interface (HMI) zur Visualisierung von Informationen für den Mitarbeiter und ein Zustandsmodell des jeweiligen Moduls zum Erkennen des Status. Ergänzt wird dies um ein Kommunikationselement, welches Daten zur Verfügung stellt. [Be16], [Wa16]

Konkret erhält ein Anwender des MTP dieses als eine Zip-Datei mit einer bereits vorgefertigten Ordnerstruktur, er kann das MTP auf sein Produktionsmodul übertragen und in Betrieb nehmen [Be16]. Übergeordnet existiert für das MTP ein Manifest, welches im Bereich des Engineerings mithilfe von AutomationML modelliert wurde (mtp.aml) [Be16]. Funktion und Aufgabe des mtp.aml ist es, die lose gekoppelten Elemente miteinander zu verbinden, was in der IEC 62714 spezifiziert ist [IEC18].

Das Manifest besitzt dabei eine eindeutige IP-Adresse, unter der es angesprochen wird, sowie Verlinkungen zu weiteren Dateien und der aktuellen Version [BHH16]. Derart soll

gewährleistet werden, dass übergeordnete IT-Systeme genau auf das Produktionsmodul zugreifen können, dessen Informationen und Funktionen benötigt werden [BHH16]. Das MTP bietet für den Mitarbeiter auf dem Shopfloor eine HMI an, welche auf die Prozessindustrie ausgelegt ist und keine individuelle Informationsauswahl für Mitarbeiter vorsieht.

Eine weitere Beschreibungsmöglichkeit von physischen Objekten bildet das **Digitale Objektgedächtnis**. Dieses intendiert, physische Objekte durch eine digitale Darstellung für die Welt des Internet of Things (IoT) nutzbar zu machen [Wa13].

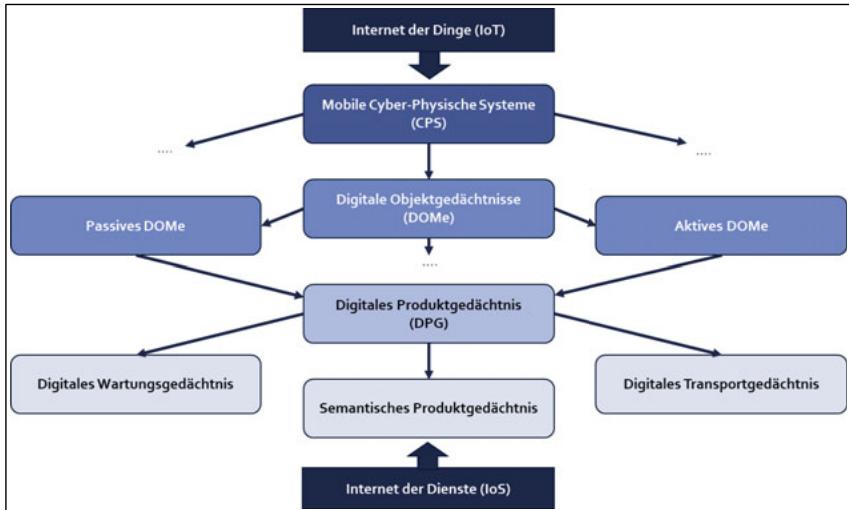


Abbildung 10: Taxonomie der digitalen Objektgedächtnisse nach [Wa13]

Nach [Ha13] handelt es sich beim Digitalen Objektgedächtnis um einen digitalen Speicherort eines physisch vorhandenen Objektes, an dem alle benötigten Daten über die komplette Lebensdauer des Objektes gekapselt und dauerhaft gespeichert werden.

Dabei differenziert das Objektgedächtnis zwischen aktiver Kommunikation und dem passiven Empfangen und Speichern von Informationen. Eine aktive Kommunikation entsteht dann, wenn das Objekt über Rechenkapazitäten und Informationsverarbeitungsmöglichkeiten verfügt [Hau13]. Eine Taxonomie ist in diesem Zusammenhang in Abbildung 10 aufgezeigt. Das Objektgedächtnis kann beispielsweise bei einem Produkt eingesetzt werden, das mehrere Produktionsschritte durchläuft und das Objektgedächtnis an jeder Bearbeitungsstation Informationen über offene und noch zu bearbeitende Schritte speichert [GW16].

Um eine einheitliche digitale Repräsentation von Objekten zu gewährleisten, wurde das *Object Memory Model* (OMM) entwickelt [Kr11]. Aufbauend auf diesem Format ist in Abbildung 11 ein Beispiel für ein Objektgedächtnis abgebildet, welches um ein Inhaltsverzeichnis und einen *Header* ergänzt ist [Ha13]. Ebenso ist der Aufbau in einer

beliebigen Anzahl modularer Blöcke organisiert. Hierbei umfasst der Header ähnlich dem MTP Manifest eine ID und eine Versionsnummer sowie Verknüpfungen zu externen Blöcken anderer OMM, während das Inhaltsverzeichnis die Inhalte der Blöcke des OMM beschreibt. [Ha13]



Abbildung 11: Beispiel für das OMM-Format eines Objektgedächtnis aus [Ha13]

Blöcke können unterschiedliche Funktionen aufweisen: der Struktur-Block beispielsweise definiert eine Relation zwischen dem aktuellen OMM und einem anderen Objekt [Ha13]. Das OMM vermag es, Daten und Informationen eines Objekts über den Lebenszyklus zu sammeln und diese in strukturierter Weise bereitzustellen. Allerdings existiert keine dedizierte Abfragemöglichkeit für einen Mitarbeiter in der Produktionsumgebung.

2.1.4 Informationsmodelle und -modellierung

Neben informationstechnischen Schnittstellen und Architekturen auf CPPM-basierten, modularen Produktionsumgebungen spielen Informationen über die Produktionsressourcen und den Produktionsprozess eine zentrale Rolle. Um Informationen in einer geordneten und strukturierten Form bereitzustellen, sind Informationsmodelle weit verbreitet [Lo07].

Zur Erstellung von Informationsmodellen gibt es unterschiedliche Ansätze. Lee beschreibt eine Vorgehensweise vom Design des Informationsmodells bis hin zur Implementierung. Ziel ist hierbei der Entwurf eines hochwertigen Informationsmodells [Le99]:

- Phase 1: Festlegen der Gestalt des Informationsmodells und dessen Ausmaß.
- Phase 2: Durchführen einer Anforderungsanalyse mit dem Ziel einen Anforderungskatalog zu erhalten (z.B. Use-Case spezifisch).
- Phase 3: Entwickeln des Informationsmodells mithilfe einer formalen Modellierungssprache (z.B. UML) unter Verwendung unterschiedlicher Gestaltungsansätze (z.B. Top-Down oder Bottom-Up).

Bei der Gestaltung von Informationssystemen sind Informationsmodelle Teil des Systementwurfs [De13]. Im Prozess zur Realisierung eines Informationssystems sind sie Teil der Entwurfsphase und bilden die notwendigen Informationsstrukturen aufbauend auf einer Anforderungsanalyse ab [De13]. Die Vorgehensweise bis zum Informationssystem ist in Abbildung 12 dargestellt.

Neben der Vorgehensweise zur Realisierung eines Informationsmodells existieren unterschiedliche Abstraktionsebenen, die beschreiben wie granular ein Informationsmodell aufgebaut ist. Nach [Sc02] existieren vier Abstraktionsebenen, die in Abbildung 13 beispielhaft erklärt sind. Von unten nach oben wird eine reale Einheit abstrahiert.

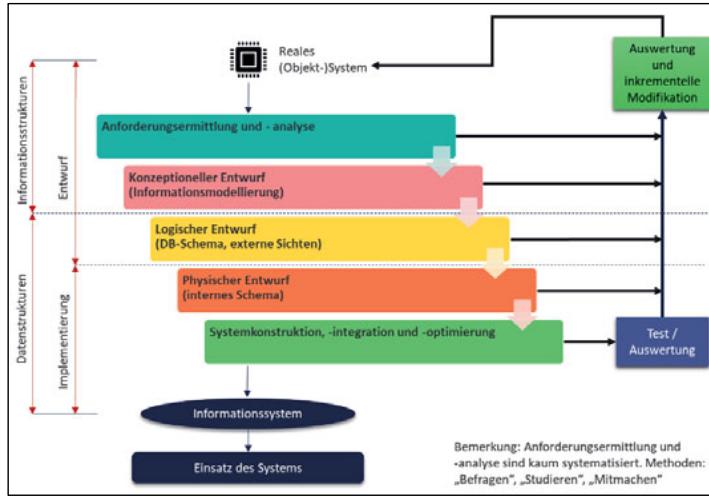


Abbildung 12: Einordnung des Informationsmodells in den Prozess der Realisierung eines Informationssystems nach [De13]

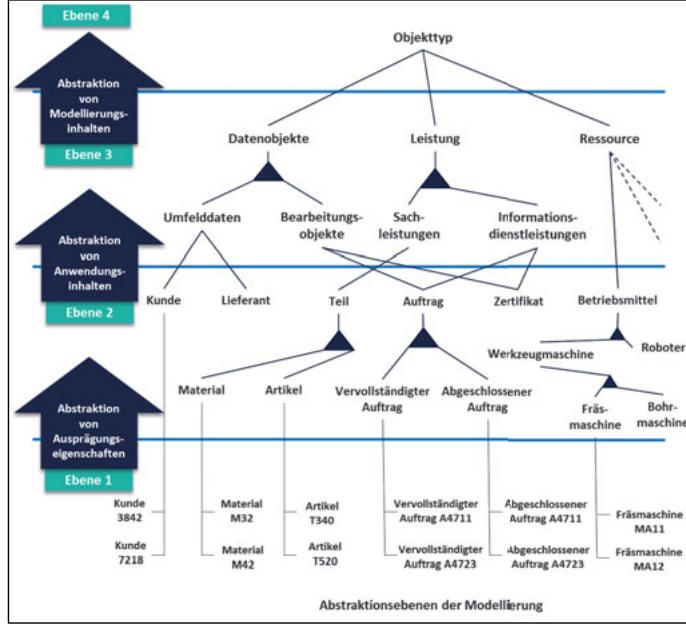


Abbildung 13: Abstraktionsebenen von Informationsmodellen im Modellierungsprozess nach [Sc02]

Dabei zeigt Ebene 1 (physisch) existierende, konkrete Entitäten und ist in der Lage, diese in einen Kontext einzuordnen. Auf der zweiten Ebene wird mit konkretem Bezug zu den Entitäten aus Ebene 1 versucht, diese zu abstrahieren und jeder Entität eine Entitätsklasse zuzuordnen, die bei Bedarf mit Attributen versehen werden. Ziel ist es, für das jeweilige Unternehmen bzw. den jeweiligen Anwendungsfall gleichartige, allgemein verständliche Entitäten zu erreichen [Ko18].

Die Attribute bzw. Entitätsklassen aus Ebene 2 werden im Anschluss in der dritten Abstraktionsebene zu Meta-Modellen abstrahiert, was die Informationen in anwendungsspezifische Gruppen unterteilt. Die vierte Abstraktionsebene bildet aus den identifizierten Gruppen einen allgemeinen Objekttyp.

Dedizierte Kriterien, wann ein Übergang von einer Abstraktionsebene in die andere stattfindet, können nicht gegeben werden. Konkrete Informationsmodelle für die Anwendung in der Praxis können unterschiedlich aufgebaut sein und in unterschiedlicher Art und Weise abgebildet werden.

Nachfolgend wird beispielhaft auf eine Auswahl von Informationsmodellen aus bestehenden Implementierungen eingegangen. In Abbildung 14 ist ein Informationsmodell dargestellt, welches die Profilelemente von Parametern im Bereich von Feldgeräten beschreibt [Ho13]. Ausgehend von einer Sichtung existierender Veröffentlichungen wurden die dort gefundenen Informationselemente ausgewählt, die für die spätere vollautomatische Integration von Feldgeräten in industrielle Steuerungssysteme genutzt werden sollen [Ho13].

Bei einer prototypischen Implementierung der Verwaltungsschale in der modularen, herstellerübergreifenden Produktionsumgebung der Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V. ist für eine Transportschnittstelle das Informationsmodell in Abbildung 15 entwickelt worden [MKW17]. Die hier vorliegende Arbeit knüpft an die dortigen Erkenntnisse und Forschungsergebnisse an.

Dabei enthält die prototypische Implementierung, in einem standardisierten Informationsmodell, alle notwendigen Informationen zu den Transportschnittstellen der einzelnen CPPM. Konkret beschreibt die Transportschnittstelle den Übergang zwischen den herstellerübergreifenden Modulen, die Produkte über Schleusen weitergeben. Als Ansatz für die informationstechnische Schnittstelle wurde die Verwaltungsschale gewählt, wobei das hier verwendete Informationsmodell als Teilmodell der Verwaltungsschale implementiert wurde. Indem Informationsmodell sind alle notwendigen Informationen vorhanden, die zur eindeutigen Beschreibung der Transportschnittstelle erforderlich sind.

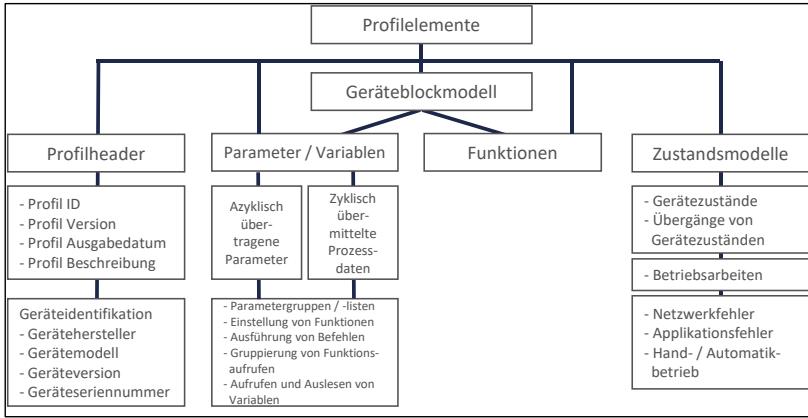


Abbildung 14: Mögliche Profilelemente für die Beschreibung von Feldgeräte-Parametern nach [Ho13]

ID	Name	Definition	Daten-typ	Maß-einheit	Werte-liste	Wert	Ausprägungs-aussage	Sicht
T1	PosRightIn	Position Einlaufpunkt rechts	array	mm	--	{1200, 490, 850}	Zusicherung	Örtlich
T2	PosLeftOut	Position Auslaufpunkt links	array	mm	--	{0, 490, 850}	Zusicherung	Örtlich
T3	PosLeftIn	Position Einlaufpunkt links	array	mm	--	{0, 650, 850}	Zusicherung	Örtlich
T4	Pos-RightOut	Position Auslaufpunkt rechts	array	mm	--	{1200, 650, 850}	Zusicherung	Örtlich
T5	DirRightIn	Richtung Einlauffluss rechts	array	--	--	{-1, 0, 0}	Zusicherung	Örtlich
T6	DirRightOut	Richtung Auslauffluss rechts	array	--	--	{1, 0, 0}	Zusicherung	Örtlich
T7	DirLeftOut	Richtung Auslauffluss links	array	--	--	{-1, 0, 0}	Zusicherung	Örtlich

Abbildung 15: Informationsmodell einer Transportschnittstelle innerhalb der Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V. aus [MKW17]

Ein Informationsmodell, welches insbesondere zu der Informationsbereitstellung für den Menschen gedacht ist, wird in Abbildung 16 gezeigt. *Key Performance Indicators* (KPI) für Mitarbeiter im Produktionsmanagement in der Prozessindustrie wurden analysiert und ein

Informationsmodell für deren Austausch als UML-Diagramm entwickelt [Jo15]. Ziel ist eine einheitliche, menschenlesbare Darstellung zu generieren, um daraus Entscheidungen für die Produktionsumgebung ableiten zu können [Jo15]. *Key Performance Indicators* sind dabei insbesondere für strategische Planungen und Entscheidungen geeignet und zielen weniger auf die direkten Mitarbeiter auf dem Shopfloor ab.

Zusammenfassend wird Informationsmodellen eine hohe Bedeutung zugemessen, die insbesondere aus der Standardisierung von technischen Informationsschnittstellen hervorgeht. Für modulare Produktionsumgebungen existieren zwar bereits vereinzelt konkrete Ausgestaltungen von Informationsschnittstellen, diese legen jedoch einen starken Fokus auf den automatisierten Informationsaustausch zwischen Produktionsressourcen. Auch lassen sich Ansätze zur Datenbereitstellung für Mitarbeiter in Produktionsumgebungen finden, allerdings sind diese meist für strategische Entscheidungen und Planungen ausgeprägt und unterstützen die operativen Mitarbeiter auf dem Shopfloor einer modularen Produktionsumgebung nur bedingt.

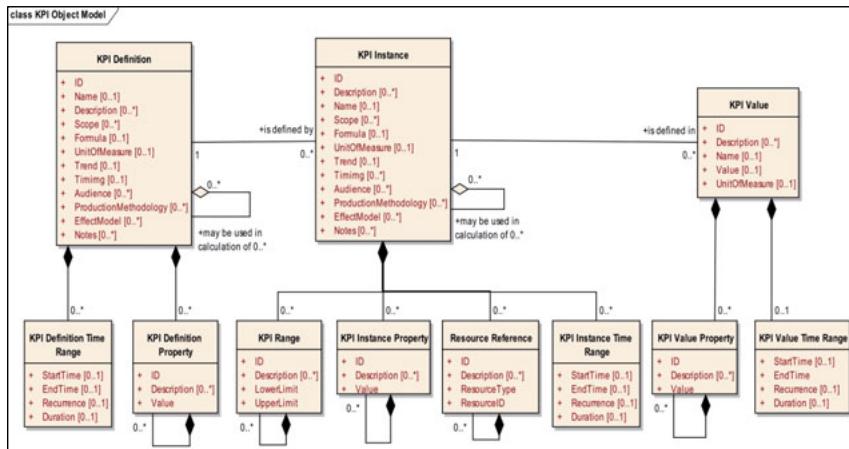


Abbildung 16: Informationsmodell eines Key Performance Indicators als UML-Diagramm aus [Jo15]

2.1.5 Kommunikationsprotokolle für die Industrie 4.0 Produktion

Um Daten und Informationen in der industriellen Praxis auszutauschen, werden Kommunikationsprotokolle benötigt, die ein Abrufen und Versenden ermöglichen. Dabei existiert eine Vielzahl an Kommunikationsprotokollen, die teilweise herstellerindividuell und nicht mit anderen Protokollen kombinierbar sind.

Integraler Bestandteil zur Kommunikation von Informationen ist es, ein Kommunikationsprotokoll zu verwenden, welches herstellerübergreifend eingesetzt werden kann. Wie komplex die Auswahl an Kommunikationsprotokollen ist, kann anhand des

Referenzarchitekturmodells Industrie 4.0 (RAMI 4.0) nachvollzogen werden, das in Abbildung 17 dargestellt ist [Ad15]. Das RAMI 4.0 Modell besteht aus drei Dimensionen:

- Dem **Value Stream**, welcher den Lebenszyklus einer Komponente von der Entwicklung bis hin zur Nutzung beschreibt.
- Den **Hierarchy Levels**, die die Ebenen innerhalb der Produktion abbilden. Die Ebenen beginnen bei dem Produkt, führen sich über das Feldgerät fort bis hin zum Verlassen der Unternehmensgrenze.
- Die einzelnen **Layers** stellen die informationstechnischen Beschreibungsebenen einer physischen Komponente dar, konkret des Assets inklusive dessen Einbindung in die Produktion. So beschreiben *Communication* und *Information Layer*, wie und welche Informationen ausgetauscht werden.

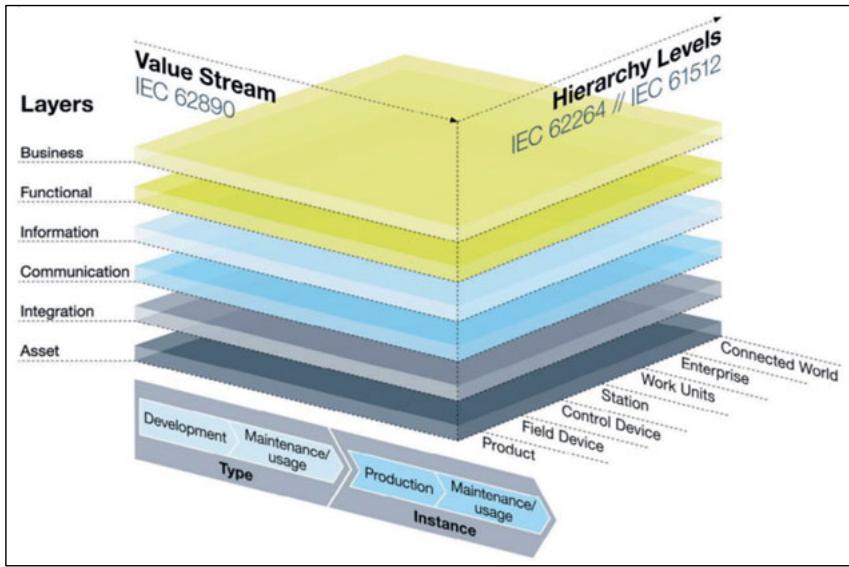


Abbildung 17: Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 aus [Ad15]

Die Kommunikationsprotokolle können sich hierbei je nach Wahl der Hierarchieebene, des Lebenszyklus der Komponente oder auch des Layers unterscheiden. Andere Möglichkeiten Kommunikationsprotokolle zu klassifizieren, sind beispielsweise in [We14] zu finden. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels sind ausgewählte herstellerunabhängige Kommunikationsprotokolle für die Verwendung in der modularen Produktion beschrieben, die sich aus den Vorschlägen für eine Industrie 4.0-Kommunikation ergeben [Ep16]. Ein besonderer Fokus wird auf die informationstechnische Schnittstelle von CPPM gelegt.

Das herstellerübergreifende Protokoll **OPC UA** (Open Platform Communications Unified Architecture) findet breite Anwendung und ist in der IEC 62541 spezifiziert [IEC15]. OPC UA

realisiert einen Austausch von Informationen zwischen technischen Produktionsressourcen, die nicht zwingend auf der gleichen Hierarchieebene angesiedelt sein müssen. Informationen können ausgelesen werden, aber auch Methodenaufrufe durch externe Dritte stattfinden, was eine ereignisbasierte industrielle Kommunikation ermöglicht [Ko18]. Grundlegend teilt sich OPC UA in zwei übergeordnete Teile: die Basis, die sich um Aspekte der Zuverlässigkeit und Sicherheit sowie des Datentransports kümmert und das Informationsmodell, welches die Informationen zum Austausch enthält [OP]. Diese Aufteilung wird in Abbildung 18 vorgestellt.

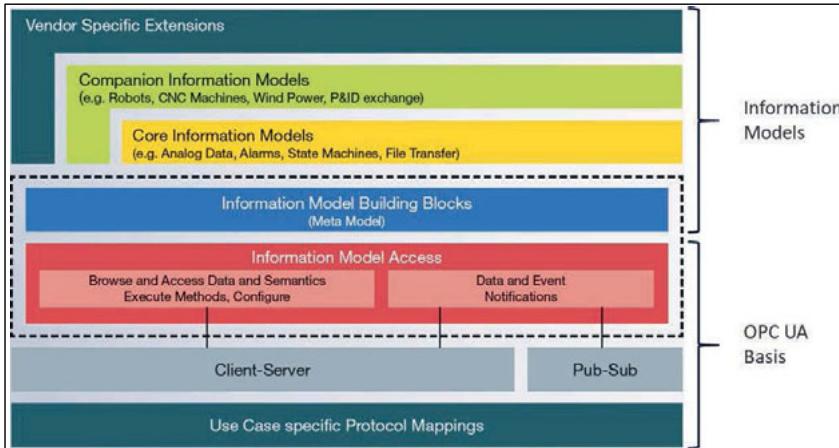


Abbildung 18: Elemente der OPC Unified Architecture aus [OP]

Eine andere Möglichkeit zum Informationsaustausch stellt das Hypertext Transfer Protocol (**HTTP**) dar. Das Release des Protokolls fand bereits 1996 statt. HTTP wurde für verteilte und mediale Informationssysteme entworfen, die heute überwiegend im Rahmen des World Wide Web Anwendung finden [BFF96]. HTTP ist ein Kommunikationsprotokoll, welches keine Informationsmodelle vorspezifiziert und somit unterschiedliche Informationsstrukturen zu transportieren vermag [BFF96]. 2015 wurde eine zweite Version von HTTP veröffentlicht, mit dem Ziel, Netzwerkressourcen effizienter zu nutzen und parallele Informationsaustauschvorgänge mit derselben Verbindung zu realisieren [BPT15].

Im Gegensatz dazu bildet das Message Queue Telemetry Transport Protokoll (**MQTT**) ein offenes, leichtgewichtiges Kommunikationsprotokoll, das darauf abzielt, möglichst einfach in der Nutzung zu sein. Gezielt soll es in Netzwerkumgebungen verwendet werden, die mit einer geringen Bandbreite auskommen müssen und insbesondere die Machine-to-Machine (M2M) Kommunikation oder das Internet of Things fokussieren. Informationen werden über eine *Server/Client*-Beziehung im Sinne eines *Publish/Subscribe*-Mechanismus miteinander ausgetauscht, sodass bidirektionale Verbindungen hergestellt werden können. [Oa14]

2.1.6 Zusammenfassung und auftretende Herausforderungen

Durch die Digitalisierung in der Produktion wurde eine flexiblere Produktionsumgebung geschaffen, die sich insbesondere durch einen modularen, herstellerübergreifenden Aufbau definiert. In diesem Zusammenhang existieren bereits Architekturmodelle zur Gestaltung einer modularen Produktion, die auch in der Praxis umgesetzt und getestet wurden. Die darin verwendeten CPPM als flexibel austauschbare Fertigungseinheiten rücken in den Fokus der Betrachtung, da sie den modularen Charakter unmittelbar widerspiegeln und durch ein flexibles Austauschen die Wandelbarkeit der Produktionsumgebung fördern. Es existieren unterschiedliche Ansätze zur Realisierung einer informationstechnischen Schnittstelle, so dass Informationen eines CPPM bereitgestellt werden können. Informationsmodelle müssen standardisiert werden, wodurch ein Austausch zwischen CPPM und Informationswelt ermöglicht wird. Beispielhaft wurde in Kapitel 2.1.4 gezeigt, wie Informationsmodelle in der Praxis modelliert und implementiert werden können. Zur Übertragung der Informationsmodelle dienen Industrie 4.0-taugliche Kommunikationsprotokolle, die eine standardisierte und herstellerübergreifende Informationsübertragung zu realisieren vermögen.

Zusammenfassend existieren bislang diverse Ansätze, eine modulare Produktionsumgebung mittels neuester informationstechnischer Schnittstellen zu beschreiben. Allerdings beziehen diese den Mitarbeiter auf dem Shopfloor bislang nicht ein. Ebenfalls sind Informationsmodelle meist derart modelliert, dass diese keine individuelle Anpassung erlauben. Ebenso wenig ist es möglich, die Art und Weise des Austauschs durch den Mitarbeiter bestimmen zu lassen. Für die modulare Produktionsumgebung im Stückgutprozess auf CPPM-Basis wird im weiteren Verlauf der Arbeit der Ansatz der Industrie 4.0-Komponente als Architekturansatz und die Verwaltungsschale als informationstechnische Schnittstelle gewählt. In einer Literaturrecherche konnte für eine modulare, herstellerübergreifende Produktionsumgebung kein Ansatz zur selbstbestimmten Interaktion zwischen dem Mitarbeiter und den Informationen eines CPPM gefunden werden. Die notwendigen Informationsmodelle sowie Interaktionsmöglichkeiten zum Informationsaustausch zwischen CPPM und Mitarbeiter auf dem Shopfloor werden in Kapitel 2.2 weiter vertieft.

2.2 Rolle und Integration des Menschen in die modulare Produktion

Aufbauend auf Kapitel 2.1 betrachtet dieses Kapitel die modulare Produktionsumgebung hinsichtlich der Rahmenbedingungen für die Menschen, die dort operativ tätig sind. Ein besonderer Fokus wird daraufgelegt, wie sich deren Integration gestaltet, welche Rolle die Mitarbeiter innerhalb der Produktionsumgebung einnehmen und welche Anforderungen sich daraus an die Informationsbereitstellung ergeben.

Zu Beginn wird in Kapitel 2.2.1 allgemein auf das Mensch-Maschine-System, dessen Bestandteile und dessen Aufbau eingegangen. Anschließend zeigt Kapitel 2.2.2 Möglichkeiten zur Interaktion zwischen Menschen und Maschine auf, das heißt wie eine Informationsbereitstellung für den Menschen von einer Maschine ausgehend aussehen kann. Kapitel 2.2.3 fokussiert die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Produktionsumgebung ein und wie diese die Anforderungen an die Arbeit des Mitarbeiters in der modularen Produktion verändern. Um spezifische Informationsbedarfe der Mitarbeiter in der modularen Produktionsumgebung ableiten zu können, betrachtet Kapitel 2.2.4 konkrete Rollenmodelle und Aufgabenfelder, die sich auf der Ebene des Shopfloors identifizieren lassen. Auf den vorangegangenen Kapiteln aufbauend betrachtet Kapitel 2.2.5 die Anforderungen an eine Informationsbereitstellung in der modularen Produktionsumgebung, um den Mitarbeiter auf dem Shopfloor optimal mit Informationen zu versorgen. Kapitel 2.2.6 schließt mit einer zusammenfassenden Betrachtung ab und dokumentiert auftretende Herausforderungen.

2.2.1 Das Mensch-Maschine-System

Ein Mensch-Maschine-System lässt sich allgemein dadurch klassifizieren, dass zur Bearbeitung einer konkreten Aufgabe mindestens eine technische als auch eine menschliche Komponente notwendig sind [DPH09]. Wie in Abbildung 19 dargestellt, bildet meist ein Werkzeug diese technische Komponente, die eine spezifische Funktionalität zur Lösung der Arbeitsaufgabe besitzt und vom Mitarbeiter dafür verwendet werden kann [Re03].

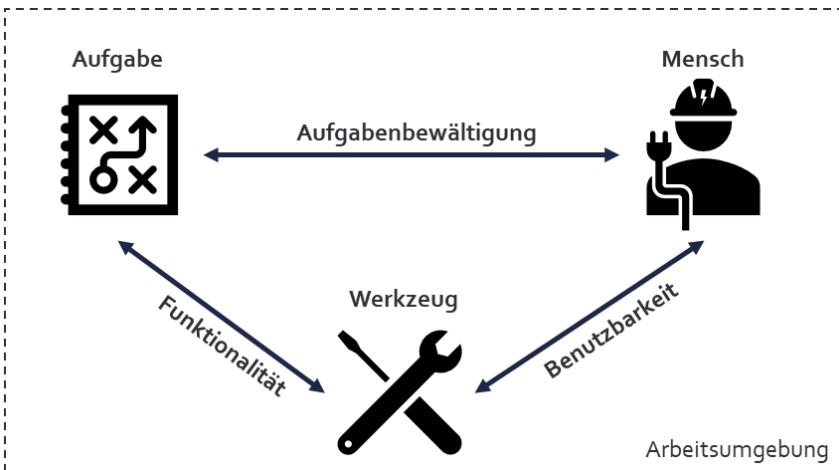


Abbildung 19: Zusammenspiel im Mensch-Maschine-System nach [Re03]

Weiterhin ist der Mensch Bestandteil eines mechatronischen Systems, wenn es um den Punkt der Informationsverarbeitung geht [VDI04], [Me10]. Ein mechatronisches System zeichnet sich durch ein physikalisches Grundsystem aus, durch das Energie und Stoffe fließen [VDI04]. Stoffe können z.B. feste Körper, Gase oder Flüssigkeiten sein [PB97]. Aktoren geben dabei

Informationen und weitere Energieeinflüsse auf das Grundsystem ab, welches selbst wiederum Informationen und Energie an Sensoren weitergibt. Sensoren wiederum nehmen Einflüsse der Umgebung wahr und liefern diese Informationen zu einer Informationsverarbeitung, die die Grundlage für die Mensch-Maschine-Schnittstelle darstellt. Die Informationsverarbeitung empfängt die Sensorwerte. Diese werden heutzutage oftmals digital durch intelligente Mikroprozessoren übertragen werden, allerdings existieren in der Praxis auch nach wie vor analoge Eingangsgrößen. [VDI04]

In der Informationsverarbeitung laufen die Sensorinformationen zusammen und sie bildet die singuläre Anlaufstelle für die Informationsbereitstellung des Menschen [VDI04]. Abbildung 20 stellt diesen Sachverhalt dar.

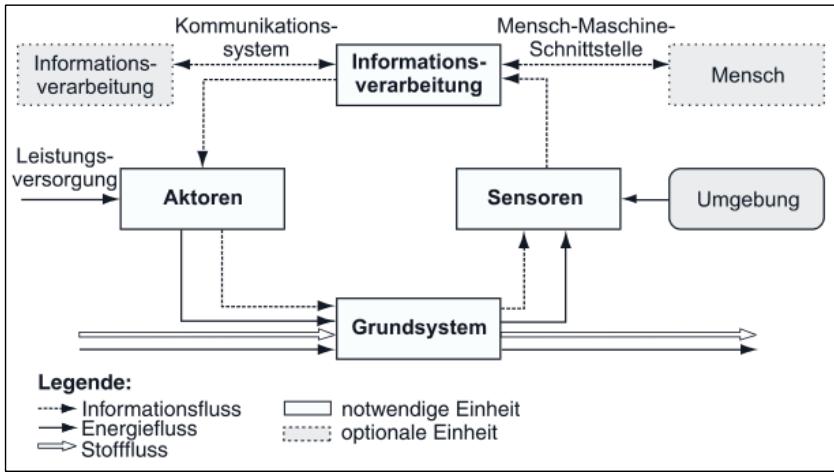


Abbildung 20: Übersicht über ein mechatronisches System inklusive Mensch-Maschine-Schnittstelle aus [VDI04]

Die Definition eines mechatronischen Systems mit genau einer Schnittstelle zur Informationsverarbeitung und -bereitstellung entspricht dem Aufbau eines CPPM nach [Bi18]. Der Mitarbeiter auf dem Shopfloor hat damit für jedes CPPM genau eine Anlaufstelle, über die er Informationen erhalten kann. Im Gegensatz dazu sind die Art und Weise wie Informationen mit dem Mitarbeiter ausgetauscht werden jedoch sehr vielfältig und haben insbesondere durch die Digitalisierung weiter zugenommen.

Eine Mensch-Maschine-Schnittstelle ist durch einen Informationsaustausch charakterisiert und ermöglicht es, Informationen für den Mitarbeiter auszugeben und gleichzeitig Informationen vom Mitarbeiter zu empfangen [SBL10]. Der Mensch empfängt Informationen von der Maschine, nimmt diese auf, trifft eine Entscheidung und gibt Informationen an das System zurück. Ein mechatronisches System kann als ein Informationskreislauf interpretiert werden, bei dem die unterschiedlichen Stationen der Informationsabgabe bzw. -aufnahme

jeweils über unterschiedliche Kanäle stattfinden können. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 21 zusammengefasst. [SBL10]

Durch die Digitalisierung wird insbesondere eine optische Informationsbereitstellung für den Mitarbeiter verfolgt, der Informationen sehen und anschließend je nach Endgerät (z.B. Touchscreen oder Bedienpanel) an die Maschine zurückspielen kann [BQR17]. Zusammenfassend erweist sich eine Mensch-Maschine-Schnittstelle als Anlaufstelle zur Informationsbereitstellung für den Mitarbeiter, jedoch werden diese Informationsschnittstellen durch die Dezentralisierung in der modularen Produktion weiter auseinanderdrücken.

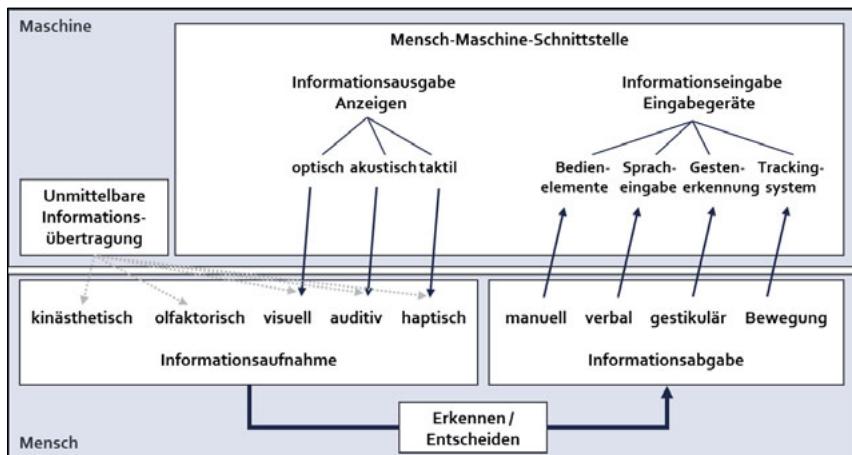


Abbildung 21: Informationskanäle beim Informationsaustausch zwischen Menschen und Maschine nach [SBL10]

2.2.2 Mensch-Maschine Interaktionsmöglichkeiten

Aus dem privaten Consumer-Bereich sind mittlerweile Smartphones mit Apps und sozialen Medien nicht mehr wegzudenken. Diese bieten z.B. über die Option gezielt Informationen zu abonnieren eine Auswahl, wie oft diese Informationen aktiv an den Nutzer kommuniziert werden. Dadurch wird eine Selbstbestimmung des Menschen realisiert. Neben der Informationsbereitstellung und dem Informationsaustausch kommt es auf die Häufigkeit an, mit der diese Informationen ausgetauscht werden. Die Interaktionsarten, die mit einer Information einhergehen, bieten ebenfalls mehrere Möglichkeiten.

Im industriellen Kontext spielt die Kommunikation und Kooperation zwischen Maschinen oftmals eine übergeordnete Rolle, was sich auch in Bezug auf die Industrie 4.0-Komponenten erkennen lässt [VDI19]. Dabei werden Interaktionen bzw. Kooperationen zum Informationsaustausch zwischen Industrie 4.0-Komponenten abgebildet [Re12].

Informationsverarbeitung und -fluss beschreiben mit ihren jeweiligen Unterklassifikationen eine Interaktion [VDI19]. Abbildung 22 zeigt das Klassifikationsschema zur besseren Übersicht.

Die Richtung der Informationen diktiert den Informationsfluss. Unidirektional bedeutet Informationen werden nur in eine Richtung übermittelt, wohingegen bidirektional auf eine Informationsübermittlung zwischen den beiden Interaktionspartnern hinweist [VDI19].

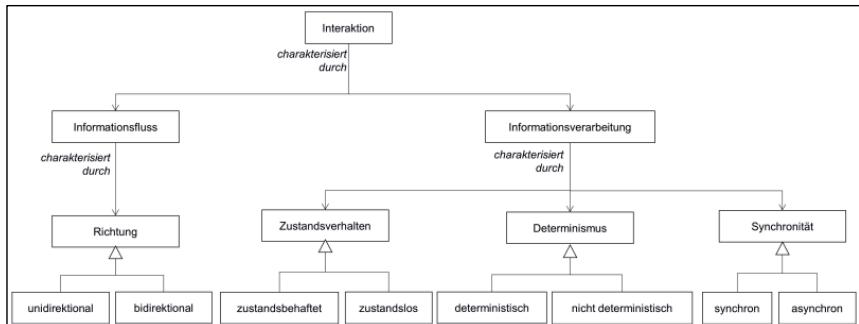


Abbildung 22: Schema zur Informationsklassifikation zwischen Industrie 4.0-Komponenten aus [VDI19]

Die Informationsverarbeitung ist durch drei Faktoren charakterisiert, die jeweils zwei Ausprägungsformen besitzen können:

- *Synchronität* beschreibt die Empfängersicht einer Interaktion: *Synchron* bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Sender wartet, bis die Kommunikation mit dem Interaktionspartner abgeschlossen ist. Im *asynchronen* Fall wartet keiner der Interaktionspartner beim Senden und Empfangen auf den jeweils anderen. [VDI19]
- *Zustandsverhalten* beschreibt den Umgang mit aufeinanderfolgenden Anfragen: im *zustandslosen* Fall wird jede Anfrage (egal ob vom gleichen Sender) unabhängig voneinander betrachtet, wohingegen der *zustandsbehaftete* Fall in der Lage ist, Informationen zu speichern und z.B. ein Sitzungsprotokoll erstellen kann. [VDI19]
- *Determinismus* beschreibt, wie der Empfänger auf Anfragen des Senders reagiert: im *deterministischen* Fall erfolgt auf eine gleiche Anfrage des Senders stets die gleiche Reaktion des Empfängers. Im *nicht deterministischen* Fall kann ein Empfänger auf gleiche Anfragen eines Senders unterschiedlich reagieren. [VDI19]

Durch diese Interaktionsklassifizierung wird ein Überblick über mögliche Interaktionsarten zwischen Industrie 4.0-Komponenten aufgezeigt, die jedoch nicht unmittelbar auf die Interaktion zwischen Mitarbeiter und Industrie 4.0-Komponente übertragen werden können. Um Informationen zwischen Mitarbeiter und einer Industrie 4.0-Komponente auszutauschen, existiert derzeit noch keine Interaktionsauswahl.

Neben einer Klassifizierung von Informationen existieren auch Interaktionsmuster, die standardisierte Verhaltensweisen im Austausch von Informationen zwischen Industrie 4.0-

Komponenten beschreiben [DIN18]. Ziel eines Interaktionsmuster ist es, eine standardisierte Kommunikationsabfolge zwischen zwei Kommunikationspartnern abzubilden. Die fünf Interaktionsmuster werden nachfolgend vorgestellt [DIN18]:

- Interaktionsmuster, bei denen der Sender keine Antwort vom Empfänger erwartet, werden bei genau einem Empfänger als *Unicast* und im Falle von mehreren Empfängern als *Multicast* bezeichnet.
- Interaktionsmuster, bei denen der Sender eine Antwort vom Empfänger erwartet, werden *Request-Response* genannt. Geht die Nachricht dabei an mehrere Empfänger, bezeichnet man dies als *Multicast Request-Response* Muster.
- Bei dem *Use and Observation* Muster erwartet der Sender eine Reaktion vom Empfänger (z.B. Empfangsbestätigung) und unabhängig davon noch weitere Antworten.

Die identifizierten Interaktionsmuster für Industrie 4.0-Komponenten dienen dem automatisierten Informationsaustausch zwischen zwei Maschinen. Eine Übertragung auf den Informationsaustausch zwischen Mitarbeiter und Industrie 4.0-Komponente in der modularen Produktion kann jedoch nach Anpassungen an die konkrete Problemstellung vorgenommen werden.

2.2.3 Veränderungen der Mitarbeiterrolle durch die Digitalisierung

Durch die Veränderungen in der Produktion ergeben sich zunehmend neue Möglichkeiten, die Interaktion zwischen Maschinen und Produktionsmitarbeitern zu gestalten [Lo15]. Die modulare Produktionsumgebung entwickelt sich nicht zu einer menschenleeren Fabrik, sondern bedingt dabei eine Fokussierung auf den Mitarbeiter auf dem Shopfloor [We15b], [Eu13]. Ziel ist es, den Menschen durch den Einsatz von intelligenten Maschinen in seiner Arbeit effektiver einzusetzen und zu unterstützen, was auch als Human-Cyber-Physical-System (HCPS) bezeichnet wird [Tz06]. Mittels einer zunehmenden Digitalisierung und Automatisierung soll der physischen und kognitiven Belastung des Mitarbeiters entgegengewirkt werden [Ro16].

Die rein manuelle und händische Arbeit des Mitarbeiters auf dem Shopfloor wird sich zunehmend verändern. Vor der Digitalisierung und dem Einzug von Industrie 4.0 sollte ein Mitarbeiter zwar bereits Entscheidungen treffen, Prozesse und Maschinen überwachen sowie dispositive Aufgaben tätigen [RLD19]. Allerdings war der Anteil dieser Aufgaben gering und entsprach nicht seiner Hauptaufgabe. Tendenzen zeigen einen Rückgang der manuellen Tätigkeiten [RLD19]. Diese qualitative Veränderung der Aufteilung der Arbeitsinhalte eines Mitarbeiters in einer digitalisierten Produktionsumgebung ist in Abbildung 23 dargestellt.

Der Mensch wird innerhalb einer Industrie 4.0-Produktionsumgebung vor allem die strategische Ausrichtung der Produktion bestimmen, diese bei der Umsetzung überwachen und nur bei Bedarf aktiv eingreifen [GSL14].

Der Mensch als integraler Bestandteil der modularen Produktion wird zusammen mit den CPPM ein Cyber-Physisches Gebilde darstellen, indem er die Verantwortung trägt und mobil durch passende Mensch-Technik-Ansätze unterstützt wird.

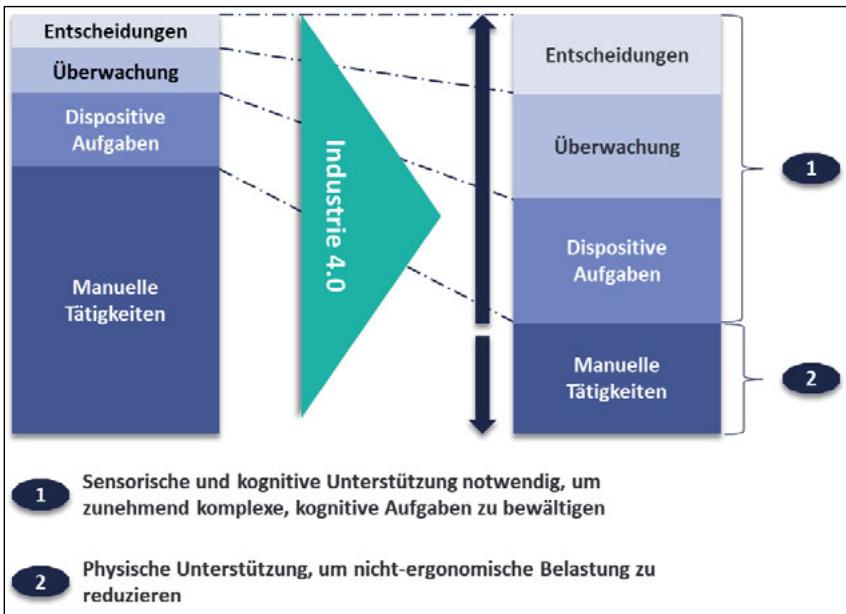


Abbildung 23: Veränderung der Arbeitsinhalte durch die Digitalisierung und Industrie 4.0 nach [RLD19]

Die CPPM bestehen aus einer digitalen Komponente und den physischen Hardwarekomponenten zur Erreichung des Produktionsschrittes. Entsprechende Sensoren und Aktoren innerhalb des CPPM liefern Daten und Informationen, die über eine Benutzungsschnittstelle für den Menschen dargestellt werden können. Dieser ist in der Lage die Informationen zu interpretieren und zu entscheiden, ob er aktiv etwas am CPPM verändern muss. [GSL14]

Um diese Entscheidungsfindung möglichst einfach und intuitiv zu gestalten, wird in einer CPPM-basierten Produktionsumgebung die Benutzungsschnittstelle eine immer größere Bedeutung einnehmen [BOS17]. Dem Mitarbeiter muss zukünftig von den intelligenten, dezentralen CPPM eine benutzerfreundliche Schnittstelle zum Informationsaustausch zur Verfügung gestellt werden [TGG18]. Die Vorteile des Menschen gegenüber den Maschinen sind nach wie vor seine Flexibilität und Kreativität, die nicht durch dezentrale CPPM ersetzt werden können [De15]. Abbildung 24 fasst das Zusammenspiel von Mensch und CPPM zusammen.

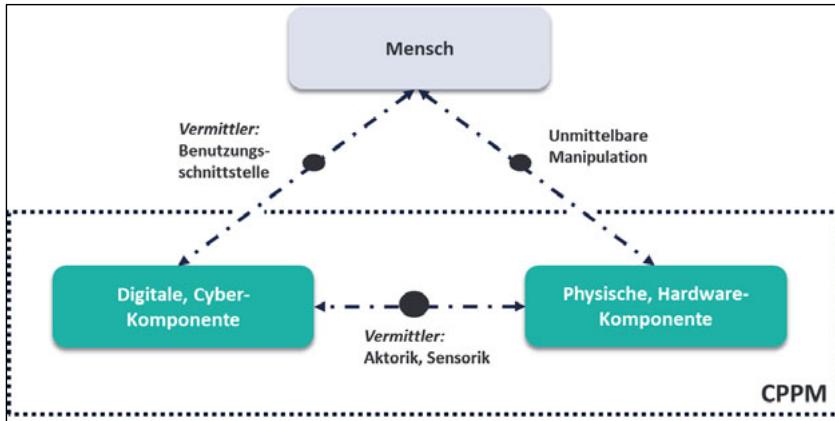


Abbildung 24: Integration des Mitarbeiters in das Cyber-Physische Gebilde eines CPPM nach [ZA13], [GSL14]

Durch die verteilten CPPM entstehen für den Mitarbeiter auf dem Shopfloor zunehmende Aufgaben im Bereich der Steuerung, Koordination und Überwachung, sodass der Mitarbeiter neben Entscheidungen auch Prozesse optimieren und Zusammenhänge erkennen kann [De15]. Dieses Zusammenspiel bedingt eine Betrachtung des Menschen als Wissensträger und Koordinator, der lediglich aktiv in den laufenden Produktionsprozess eingreifen muss, wenn beispielsweise Probleme oder Störungen an einem CPPM auftreten [Go14]. In Abbildung 25 ist die Aufgabenverteilung zwischen CPPM und Mitarbeiter dargestellt.

Eine effiziente Nutzung der Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Interaktion vermag es, die Zusammenarbeit auf dem Shopfloor zu erleichtern, die Koordination zu verbessern und den Mitarbeiter kognitiv zu entlasten [TGG18].

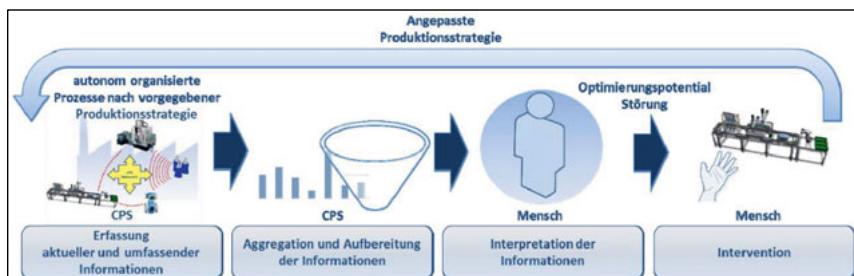


Abbildung 25: Aufgabenverteilung zwischen CPPM und Mensch innerhalb einer modularen Produktionsumgebung aus [GSL14]

Vor allem die Bedienung und der Zugang zu den Maschineninformationen sollte daher herstellerübergreifend realisierbar sein [BQR17].

Speziell anfallende Daten aus z.B. intelligenten Sensoren stehen vermehrt zur Verfügung und müssen, für den Menschen verständlich, verarbeitet werden [BOS17]. Um den Menschen zum flexiblen Entscheider auf dem modularen Shopfloor zu befähigen, ist eine Aufbereitung der Rohdaten demnach unerlässlich [We15b]. Ziel ist es, eine aussagekräftige Informationsgrundlage für den Mitarbeiter zu schaffen, anhand derer er in seiner Entscheidungsfindung bestmöglich unterstützt wird [La17].

2.2.4 Rollenmodelle und Aufgabenfelder

Die Komplexität der Aufgaben in der modularen Produktion steigt durch die Digitalisierung weiter an. Nach wie vor existieren auf dem Shopfloor jedoch verschiedene Teilaufgaben, die jeweils unterschiedliche Informationen benötigen und gelöst werden müssen [BOS17].

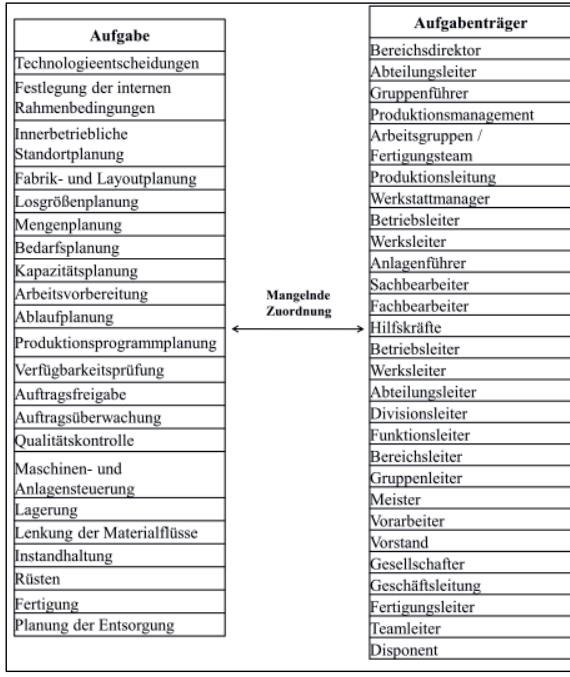


Abbildung 26: Schwierigkeit der allgemeinen Zuordnung von Aufgabe und Mitarbeiter aus [KKL11]

Welche Informationen ein Mitarbeiter genau benötigt, hängt individuell von dieser Person ab und kann sich von Mitarbeiter zu Mitarbeiter unterscheiden – auch in Bezug auf den Umfang und die Ausprägung [KKL11].

Wie komplex sich eine Zuordnung von Aufgaben und Mitarbeiter gestalten kann, zeigt Abbildung 26. Die Rolle eines Mitarbeiters kann beispielsweise mit einem Steckbrief oder Nutzerprofil abgebildet werden, welches alle Aufgaben enthält, die von ihm durchzuführen sind [BOS17]. Die identifizierten und festgelegten Rollen beschreiben in gleichem Umfang auch die Tätigkeitsbereiche, in denen die Mitarbeiter arbeiten [KI15]. Eine Möglichkeit Rollen zu definieren, ist in Abbildung 27 dargestellt.

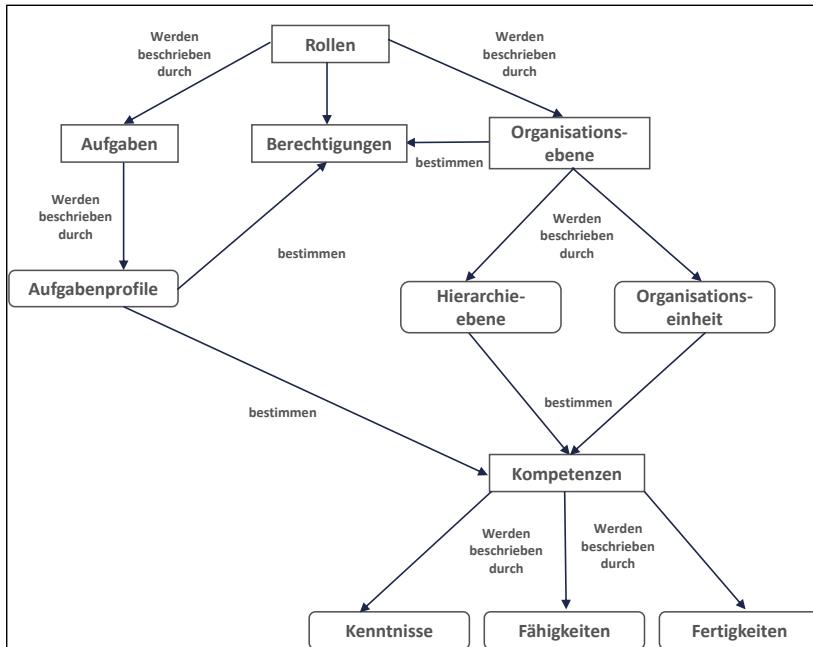


Abbildung 27: Rollenkonzept zur Erstellung von Mitarbeiterrollen nach [Wa05]

Die Mitarbeiterrolle wird unmittelbar durch die zu erfüllende Aufgabe und die Organisationsebene bestimmt. Damit sind die Aufgaben durch Aufgabenprofile beschrieben, die im Zusammenspiel mit der Organisationsebene die Berechtigungen der Mitarbeiterrolle ergeben. Die Organisationsebene resultiert aus der Hierarchieebene und der Organisationseinheit, in der sich der Mitarbeiter befindet. Im Zusammenspiel mit den zu bearbeitenden Aufgabenprofilen können dann die notwendigen Kompetenzen eines Mitarbeiters für die Rolle abgeleitet werden. Kompetenzen sind dabei klassifiziert durch Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten. [Wa05]

Aus den unterschiedlichen Aufgaben und Mitarbeiterrollen, zwischen denen keine klare Abgrenzung herrscht, lässt sich kein allgemeingültiger Informationsbedarf für Mitarbeiter auf dem Shopfloor ableiten [KLK13]. Eine intuitive, mitarbeiterzentrierte Informations-

bereitstellung gestaltet sich daher schwierig, unabhängig von den technischen Gegebenheiten in einer modularen Produktionsumgebung.

Parallel zu den Rollen ist die Arbeitsaufgabe eines Mitarbeiters zu betrachten, die sich in der Regel aus mehreren Teilaufgaben zusammensetzt. Diese Teilaufgaben können meist einer Aufgabenkategorie zugeordnet werden, jedoch ist die zusammengesetzte Gesamtaufgabe selten kategorisierbar. Hierbei bedingt die zunehmende Digitalisierung einen Zuwachs bereitstehender Daten und Informationen. Gleichzeitig bezweckt die Dezentralisierung, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, eine Veränderung der Mitarbeiterrolle. [KLK13]

Vorschläge für die Kategorisierung von Mitarbeiterrollen sind zum Beispiel in [WH18] zu finden. Mit Bezug zu einer Cyber-Physischen Produktionsumgebung haben [OFGM17] in einer empirischen Erhebung ein Rollenmodell abgeleitet, welches vier verschiedene Rollengruppen beinhaltet und in Tabelle 1 abgebildet ist. Insbesondere für Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor wird es zunehmend schwieriger, an Informationen zur Bewältigung ihrer Arbeitsaufgabe zu gelangen, da diese dezentral an unterschiedlichen CPPM vorliegen können [BMR19]. Diese Mitarbeitergruppe stellt nach [KKL11] die Ausführungsschicht dar, die unmittelbar an der Realisierung des Fertigungsprozesses beteiligt ist und die sowohl Fach-, Hilfs- als auch Sachbearbeiter sein können.

Tabelle 1: Ergebnisse einer empirischen Studie zu Mitarbeiterrollen in der Cyber-Physischen Produktionsumgebung nach [OFGM17]

Mitarbeitergruppe	Mitarbeiterrolle
Management	Produktionsleiter
	Manager
Instandhaltung	Inbetriebnehmer
	Instandhalter (Elektronik)
Fertigung	Operator
	Materialausgeber
Externer Service	Techniker
	Sachbearbeiter

Zusammenfassend gestaltet sich zwecks mangelnder Zuordnungsmöglichkeiten und Allgemeingültigkeiten von Aufgaben und Mitarbeiterrollen eine mitarbeiterzentrierte Informationsbereitstellung schwierig. Dies wird zusätzlich durch eine zunehmende Digitalisierung und Dezentralisierung auf dem Shopfloor verstärkt, wonach sich neben einer passgenauen Informationsauswahl für eine bestimmte Mitarbeiterrolle auch die Zugänglichkeit als Herausforderung abzeichnet. Um einen Mitarbeiter auf dem modularen

Shopfloor mit genau den Informationen zu versorgen, die er für die Erfüllung seiner Arbeit benötigt, gibt es bislang keine Ansätze.

2.2.5 Anforderungen an die Informationsbereitstellung auf dem Shopfloor

Durch die technischen Gegebenheiten auf dem Shopfloor einer modularen Produktionsumgebung und den sich ändernden Arbeitsbedingungen im Zuge der Digitalisierung ergeben sich mehrere Anforderungen an die Informationsbereitstellung für die Mitarbeiter. Die Anforderungen sind durch drei verschiedene Blickwinkel klassifiziert: **Arbeitsorganisation, Technik und Kognitionswissenschaft** [Se18].

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, ist die **Arbeitsorganisation** ein integraler Bestandteil einer effizienten Informationsversorgung. Die Informationen zur Erfüllung einer Arbeitsaufgabe können dabei für jeden Mitarbeiter unterschiedlich ausfallen bzw. zwischen unterschiedlichen Aufgaben variieren. Abbildung 28 zeigt die Aufteilung in subjektive und objektive Aspekte.

Beim Informationsbedarf lassen sich Aufgaben noch einmal in strukturierte und unstrukturierte Aufgaben unterteilen. Strukturierte Aufgaben weisen eine festgelegte Ursache-Wirkungs-Beziehung sowie einen objektiven Informationsbedarf auf. Unstrukturierte Aufgaben verursachen einen subjektiven Informationsbedarf, der den individuellen Bedürfnissen des Mitarbeiters entspricht. [Bro83; Ste01]

Das heißt, Informationen dürfen nicht starr für jeden Mitarbeiter in gleicher Form und Vielfalt ausfallen, sondern müssen vielmehr abhängig von der aktuellen Arbeitsaufgabe und der Rolle des Mitarbeiters angeboten werden. Für unterschiedliche Mitarbeiter kann so eine differente Darstellung der Informationen bzw. Interaktionsform relevant sein, z.B. wenn ein Mitarbeiter aufgrund einer Sehschwäche ein Tablet anstatt eines Smartphones bevorzugt.

Die Informationsbereitstellung sollte hier intelligent und adaptiv gestaltet sein, damit diese stets an die Mitarbeiter und ihre Umwelt angepasst werden kann. [Se18], [Vo17], [UI15]

Insbesondere für technische Umgebungen ergibt sich die Notwendigkeit, **technische Anforderungen** an die Informationsbereitstellung zu beschreiben. Grundsätzlich müssen Maschinendaten maschinell interpretiert werden und anschließend zu menschenlesbaren Informationen aufbereitet werden [BQR17]. Semantische Informationsmodelle können dabei als Grundlage dienen, Informationen so aufzubereiten, dass sie vom Menschen eindeutig interpretierbar sind [Ci13]. Gleichzeitig ermöglicht eine formelle Beschreibung der Informationen und ein festgelegtes Vokabular eine durchgängige Verständlichkeit sowie Interpretierbarkeit durch die technischen Systeme [Dr18].

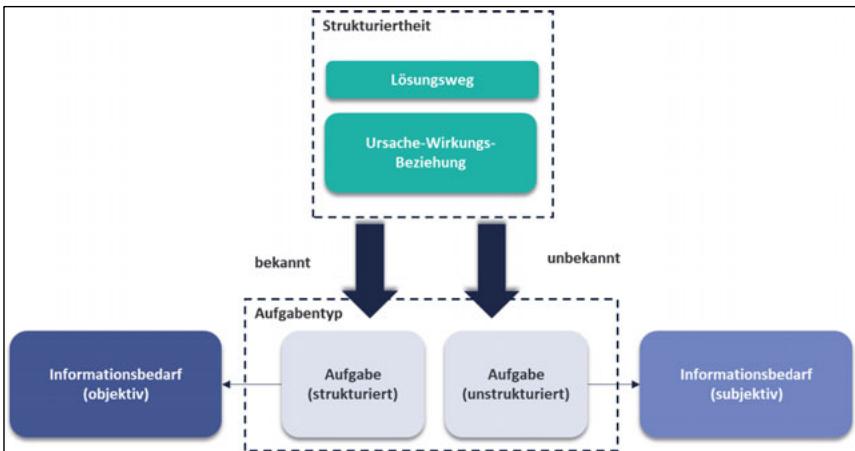


Abbildung 28: Erklärung des Informationsbedarfs hinsichtlich subjektiven und objektiven Teilespektes nach [KLK13] aus [Br83], [St01]

Eine weitere Bedingung ist der Einsatz von interoperablen Schnittstellen, um problemlos auf das Gesamtsystem zuzugreifen. Häufig verbindet die Literatur mit Industrie 4.0 die Abschaffung der Automatisierungspyramide, indem ein Netzwerk aus dezentral verteilten, intelligenten Komponenten existieren wird [SD17], [Vo17]. In der unternehmerischen Praxis existieren eine Vielfalt an eingesetzten Maschinenschnittstellen, IT-Systemen und Produkten, die Informationen untereinander und mit Mitarbeitern austauschen [Vo17]. Eine einheitliche Semantik, die einen automatisierten Austausch zwischen unterschiedlichen Systemen unterstützt, ist bislang nicht vorhanden [Vo17].

Durch die zunehmende Digitalisierung und die damit verbundenen, kostengünstigeren Produkte aus dem Consumer-Bereich lassen sich insbesondere mobile Endgeräte vermehrt für die Arbeit auf dem Shopfloor einsetzen [Sp13]. Daraus ergibt sich gerade in dezentralen Produktionsumgebungen die Möglichkeit, Informationen ortsungebunden für den Mitarbeiter bereitzustellen und somit wird die Suche nach Informationen minimiert oder obsolet [Jo17].

Eine Vorverarbeitung und individuelle Anpassung von Informationen in einer modularen Produktionsumgebung ist aufgrund von zwei Faktoren vor allem wichtig: ein Mitarbeiter benötigt für seine spezielle Aufgabe in der Regel nicht die gesamte Vielfalt der Informationen [BOS17] und kann wegen seiner kognitiven Aufnahmefähigkeit auch nur eine begrenzte Anzahl an Informationen gewissenhaft rezipieren [LB15]. Daraus lässt sich die Forderung nach einer zielgerichteten Informationsbereitstellung für einen Mitarbeiter mit seiner konkreten Aufgabe ableiten, ohne ihn mit weiteren, für ihn nicht relevanten, Informationen kognitiv zu überfordern [BOS17]. Notwendig für eine personalisierte Informationsbereitstellung ist eine zielgenaue Aufbereitung von Informationen für eine Person, die diese Informationen zum richtigen Zeitpunkt erhält und in den entsprechenden Kontext einordnen kann [BOS17].

[CMS]. Nach [De01] besteht der Kontext aus einer gewissen Menge an Informationen, die durch die interagierenden Personen bzw. Objekte in einer bestimmten Situation und deren Austausch mit einer informationstechnischen Anwendung von Interesse ist.

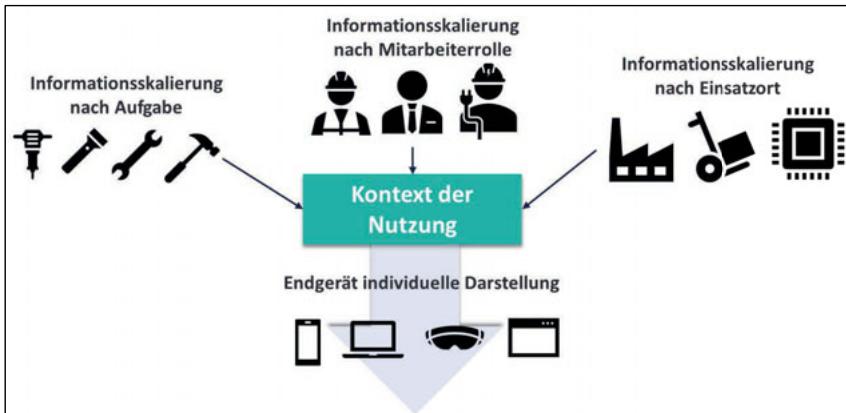


Abbildung 29: Charakteristika einer kontextbasierten Informationsbereitstellung für den Mitarbeiter nach [BOS17], [De01]

Mit Bezug zu den Aufgaben des Mitarbeiters innerhalb einer Produktionsumgebung kann der Kontext als Beschreibung von drei Faktoren dargestellt werden (s. Abbildung 29) [BOS17]:

- die Mitarbeiterrolle innerhalb des Unternehmens,
- die aktuelle Aufgabe des Mitarbeiters,
- den Einsatzort, an dem der Mitarbeiter die Aufgabe erledigen soll.

Hierbei erfolgt jedoch keine konkrete Aussage darüber, wie Informationen für den Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor aufbereitet sein müssen, um eine kontextbasierte Informationsbereitstellung zielführend sicherzustellen. Weiterhin ist eine Informationsaufbereitung und Darstellung unabhängig von den technischen Gegebenheiten des jeweiligen Endgerätes zu gewährleisten [BOS17].

Neben den technischen Anforderungen spielen die **kognitiven Anforderungen** eine zunehmende Rolle. Durch die Integration von CPS in Produktionsumgebungen ist es einfacher Daten zu erfassen und zu speichern, wodurch die Menge an möglichen Informationen drastisch erhöht wird [BS15], [BQR17]. Die in Abbildung 25 beschriebene Aufgabenteilung besteht aus einer CPS-basierten Erfassung von Daten und deren Aggregation sowie Aufbereitung, die dem Menschen im großen Maße für Entscheidungen zur Verfügung stehen werden [GSL14].

In Abhängigkeit der Menge der Daten, der Interaktionsgeschwindigkeit und der Notwendigkeit Entscheidungen zu treffen, kann dies zu einer Überforderung des Mitarbeiters bei der Informationsverarbeitung führen [LB15]. Dieser Sachverhalt wird unter dem Begriff

Information Overload beschrieben und beinhaltet das Phänomen, dass die Informationsmenge die kognitive Verarbeitungskapazität eines Menschen bei der Entscheidungsfindung weit überschreitet [VH08].

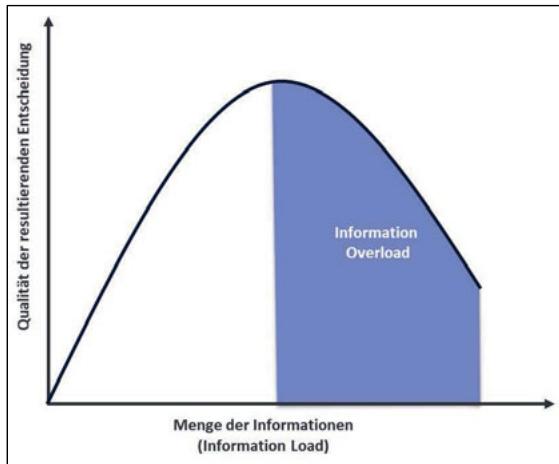


Abbildung 30: Qualitatives Verhältnis des *Information Load* zur Entscheidungsqualität des Mitarbeiters nach [SDS67]

Bereits empirische Studien aus vergangenen Jahrzehnten haben nachgewiesen, dass die Entscheidungsqualität im Falle eines *Information Overload* leidet [Ab73], [Sh80], [Sn80]. Durch zu große Mengen an Informationen ist es für den Entscheider zunehmend komplexer, abzuwägen, welche dieser Informationen als sinnvoll für die Entscheidung und welche als irrelevant einzustufen sind [VH08]. Abbildung 30 zeigt ein qualitatives Verhältnis nach [SDS67], indem die Entscheidungsqualität in Abhängigkeit des *Information Load* dargestellt ist. Ein weiterer Einflussfaktor auf den *Information Load* ist neben der Anzahl und Komplexität der Informationen vor allem die Zeit, die der Nutzer zur Entscheidungsfindung zur Verfügung hat (z.B. überlegte Entscheidung oder Zeitdruck) [EAC95], [VH08].

Beeinflusst wird der *Information Overload* maßgeblich durch folgende drei Faktoren: Komplexität und Anzahl der Informationen sowie auftretender Zeitdruck [VH08]. Zur Vorbeugung eines *Information Overload* muss eine optimale Anzahl sowie Komplexität der Informationen mitarbeiterindividuell gewährleistet werden [Se18]. Weiterhin wird ein Zusammenhang zwischen dem Eintreten des *Information Overload* und der Qualität der bereitgestellten Informationen diagnostiziert [SP95]. Abgeleitet daraus ergibt sich die Anforderung nach qualitativ hochwertigen Informationen in der Produktion, die für den Mitarbeiter intuitiv verständlich sowie interpretierbar sind und dadurch einer kognitiven Überlastung vorbeugen [VH08]. Daher ist es zielführend, die Informationen für jeden Mitarbeiter auf dem Shopfloor individuell anzupassen und problemspezifisch darzustellen

[VH08]. Tabelle 2 fasst Ursachen und beispielhafte Einflussgrößen zusammen und zeigt daraus abgeleitete Anforderungen auf.

Tabelle 2: Ursachen, Einflussgrößen und resultierende Anforderungen an die Informationsbereitstellung nach [VH08], [Se18]

Ursachen	Beispielhafte Einflussgrößen	Abgeleitete Anforderungen
Mitarbeiter spezifische Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> • Informationsverarbeitungskapazität • (intrinsische) Motivation • aktuelle, persönliche Arbeitssituation 	Unterstützung der Selbstbestimmung bei der Informationsbereitstellung
Informationsbeschaffenheit	<ul style="list-style-type: none"> • Menge • Interaktionsgeschwindigkeit • Häufigkeit der Anzeige • Qualität 	Eindeutig interpretierbare, menschenverständliche Informationen, die einen hohen Qualitätsgehalt in einer überschaubaren Menge und Geschwindigkeit darstellen
Art der Arbeitsaufgabe	<ul style="list-style-type: none"> • Komplexität • Zeit zur Aufgabenbewältigung • Möglichkeit zur Pausengestaltung 	Standardisierte Arbeitsaufgaben innerhalb eines Unternehmens mit gleicher Komplexität etablieren und Zeitdruck sowie Ablenkung vermeiden
Technologische Aspekte	<ul style="list-style-type: none"> • unterschiedliche Möglichkeiten zur Darstellung von Informationen • Zwischenspeicher bei großen Datenmengen 	Freie Wahl des Endgerätes zur Visualisierung, intuitive Informationsbeschaffung, großes Angebot an Informationen realisieren bei gleichzeitig eigenständiger Informationsauswahl durch den Mitarbeiter

Die Anforderungen erweisen sich als sehr komplex und eher qualitativ als quantitativ messbar. Im Fokus steht hierbei der entsprechende Mitarbeiter in seiner Rolle im Unternehmen, die mit

bestimmten Aufgaben korreliert. Die Lösung dieser Aufgaben setzt sich dabei oftmals aus einem allgemeinen Teil zusammen, aber auch aus subjektiven Informationen, die jeder Mitarbeiter für sich individuell beanspruchen möchte.

Auf dem modularen Shopfloor ergibt sich durch die stetige Dezentralisierung und die verteilt anfallenden Informationen zusätzlich das Problem, an die richtigen Informationen am richtigen Ort zu gelangen. Fest montierte Displays an den einzelnen CPPM bedingen ständige Laufwege des Mitarbeiters innerhalb der modularen Produktionsumgebung, weil die CPPM auch dezentral auf dem Shopfloor verteilt sein können. Herstellerübergreifende Displays können zusätzlich auch optisch unterschiedlich aufgebaut und angeordnet sein. Bisher existiert keine Möglichkeit, den Mitarbeiter in seiner Rolle auf dem modularen Shopfloor bei einer ortsabhängigen Informationsbeschaffung zu unterstützen, sodass er sich die für ihn relevanten Informationen selbst wählen kann.

2.2.6 Zusammenfassung und auftretende Herausforderungen

Der Mensch kann immer dort als Teil eines Mensch-Maschine-Systems gesehen werden, wo er über eine Informationsschnittstelle an die Maschineninformationen gelangen kann. Die dort erhaltenen Informationen kann er für die Bewältigung seiner Arbeitsaufgabe einsetzen. Bei dem Austausch von Informationen zwischen Maschine und Mitarbeiter gibt es unterschiedliche Ansätze der Realisierung. Hierbei können Informationen zum Beispiel zyklisch ausgetauscht werden oder nur zu einem bestimmten Event ausgelöst werden, was wiederum eine Vielzahl an Optionen zur Kommunikation bietet. Durch den Einzug der Digitalisierung in die Produktionsumgebung werden vermehrt Daten und Informationen generiert, welche die Arbeit des Mitarbeiters auf dem Shopfloor verändern.

Die Aufgabenverteilung des Mitarbeiters von primär physischen Tätigkeiten verlagert sich in Richtung eines flexiblen Entscheiders, der die Informationen aus den dezentralen CPPM aufnimmt und interpretiert. Jeder Mitarbeiter hat eine spezifische Mitarbeiterrolle. Hierbei sind Mitarbeiterrollen durch ein Portfolio an Aufgaben für das Unternehmen definiert. Jedes Unternehmen bestimmt die Mitarbeiterrollen und die damit verbundenen Aufgaben selbst, wodurch keine Allgemeingültigkeit gewährleistet ist. Somit ist auch eine Zuordnung von Mitarbeiterrolle und Aufgaben stets unternehmensindividuell. Neben diesen Aspekten der Arbeitsorganisation ist für die Informationsbereitstellung auf dem modularen Shopfloor sowohl ein technischer als auch ein kognitiver Aspekt zu betrachten. Auf der technischen Seite müssen CPPM in der Lage sein, Informationen für einen Mitarbeiter in einer intuitiv verständlichen Form bereitzustellen, um einen Mehrwert zu generieren. Weiterhin sollte die kognitive Belastung des Mitarbeiters limitiert werden, d.h. die Menge an Komplexität und die Interaktionshäufigkeit von Informationen muss auf ein angemessenes Maß reguliert werden, welches den Mitarbeiter in der Erfüllung seiner Aufgabe zielführend unterstützt. Es muss dem Menschen eine Möglichkeit offeriert werden, Informationen individuell zu bestimmen.

In einer modularen, herstellerübergreifenden Produktionsumgebung, die auf verteilten CPPM basiert, ist die Mensch-Maschine-Schnittstelle derzeit nicht auf den Mitarbeiter zentriert. Zwar existieren an den einzelnen Modulen Displays zur Informationsdarstellung, allerdings

sind diese herstellerindividuell und nicht standardisiert. Durch die verteilte Informationsbereitstellung entstehen ebenso Laufwege für den Mitarbeiter, der dadurch physisch beansprucht wird. Es stellt sich die Frage, wie Informationen für einen Mitarbeiter angeboten werden können, damit er flexibel darauf zugreifen kann. Zusätzlich bleibt aufgrund der dezentralisierten Anordnung der CPPM die Frage offen, wie eine Interaktion von Mitarbeiter und zugehöriger Information erfolgen kann, um den Mitarbeiter in seiner Rolle und seiner Arbeitsaufgabe zielgerichtet zu unterstützen. Indem Kontext der modularen Produktion ist zu erforschen, wie diese Interaktionen in dezentralen Produktionsumgebungen ausgestaltet sein müssen, um einen Mehrwert für den Mitarbeiter zu generieren und ihm in seiner Selbstbestimmung als Experte auf dem Shopfloor zu assistieren.

3 Forschungsziele, Vorgehensweise und Modellierungstechniken

Nach dem zuvor beschriebenen Stand der Forschung greift dieses Kapitel die identifizierten Forschungsfragen auf und beschreibt die Vorgehensweise der weiteren wissenschaftlichen Ausarbeitung und prototypischen Implementierung.

3.1 Forschungsziele

Das Ziel der Arbeit ist die Realisierung einer individuellen, selbstbestimmten Informationsbereitstellung für Mitarbeiter auf dem Shopfloor in einer modularen Produktionsumgebung. Hierbei werden sogenannte **Informationsservices** für den Mitarbeiter definiert und beschrieben. Ein Informationsservice wird für einen **Mitarbeiter individuell** bereitgestellt und besteht aus einer **Information eines CPPM** und einer **wählbaren Interaktionsform**, die regelt zu welchem Zeitpunkt, in welcher Art und Weise und mit welchem Mitarbeiterfeedback die Information für den Mitarbeiter dargestellt wird. Jeder Mitarbeiter soll in die Lage versetzt werden Informationen selbstbestimmt und individuell zu erhalten, indem alle Informationsservices mitarbeiter spezifisch abgelegt werden. Informationsservices für den Mitarbeiter in einer dezentralen Produktionsumgebung konnten nach Sichtung des Stands der Forschung nicht identifiziert werden. Zusätzlich gibt es für eine mitarbeiterzentrierte Informationsbereitstellung keine (Software-)Schnittstellen, die den flexiblen Zugriff auf Informationen von CPPM und die Auswahl einer Interaktionsform ermöglichen, welche den Kern des Informationsservices darstellt.

Die umzusetzende Informationsbereitstellung ermöglicht eine individuelle Auswahl von Informationen für jeden Mitarbeiter auf dem Shopfloor, der sich die Informationsservices inklusive der gewünschten Interaktionsform selbst wählen kann. Durch die Verbindung der CPPM und der Mitarbeiter wird eine herstellerübergreifende Integrationsmöglichkeit geschaffen, welche die Mitarbeiter auf dem Shopfloor mittels digitalen Datenaustauschs bei ihren Aufgaben unterstützt. **Ein Informationsservice besteht zusammengefasst aus einer Information, einer Interaktionsform und einem Mitarbeiter, der den Informationsservice selbst erstellen kann.**

Zur Realisierung der Informationsservices beschäftigt sich diese Arbeit mit der Erforschung einer **technologieunabhängigen Systemstruktur**, die informationstechnische Schnittstellen für die mitarbeiterindividuellen Informationsservices herleitet. Hierfür muss ein Zugang zu den notwendigen Informationen hergestellt, deren menschenlesbare Aufbereitung und deren gewünschte Interaktionsform gewährleistet werden. Durch eine Ergänzung der Modellierung um konkrete Informationsmodelle, soll eine **Referenzstruktur** für eine spätere Implementierung bereitgestellt werden.

Für eine Verwendung in der Praxis müssen die informationstechnischen Schnittstellen zu den CPPM beschrieben werden, um eine ausreichend maschinenseitige Informationsbereitstellung zu garantieren. Die zu erforschende, modulare Systemstruktur wird mittels einer abstrakten, nutzerzentrierten **Prozessbeschreibung** in eine modellierbare Beschreibungsform gebracht. Die Prozessbeschreibung dient gleichzeitig als Evaluationsszenario für den Systemtest. Darauffolgend können mittels einer **groben Systemstruktur** die Grenzen des Systems und deren interne Zusammenhänge abgegrenzt werden. Damit einhergehend können notwendige **Teilsystemkomponenten**, die die funktionalen Anforderungen der Systemstruktur aufzeigen, identifiziert und hergeleitet werden. Zwischen den Teilsystemkomponenten untereinander finden weitere interne Abläufe statt, die es du modellieren gilt. Diese Modellierung erfolgt auf Basis eines nutzergeführten Prozesses zum Anlegen und Löschen eines Informationsservices.

Über eine Benutzungsschnittstelle soll ein Mitarbeiter Zugang zur Systemstruktur erhalten. Die zwischen dem Mitarbeiter und der Systemstruktur ausgetauschten Nachrichtenarten, Inhalte und Darstellungen sind ebenfalls zu erforschen. Zusätzlich muss die Systemstruktur die möglichen Dienste zur Kommunikation der Mitarbeiter bereitstellen: zum Anlegen und Löschen der Informationsservices.

Abbildung 31 fasst die Herleitung der inhaltlichen Forschungsziele zusammen.

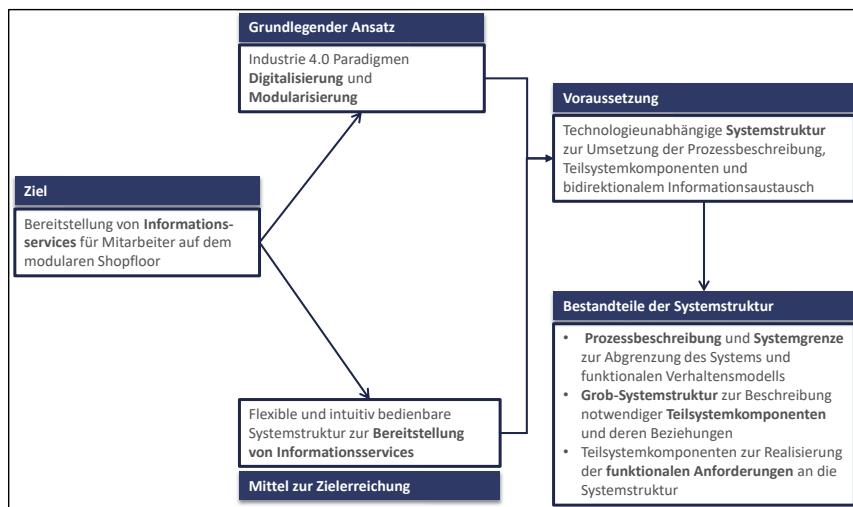


Abbildung 31: Aufbau der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit

Folglich stellen sich zur Realisierung einer Bereitstellung von Informationsservices auf dem Shopfloor die folgenden wissenschaftlichen Fragen:

- Wie muss ein **Prozess** zum **Anlegen**, respektive dem **Löschen**, eines **Informationsservice** gestaltet sein, um für einen Mitarbeiter möglichst einfach verständlich und intuitiv zu sein und wie kann die Systemstruktur abgegrenzt werden?
- Wie muss in einer modularen, herstellerübergreifenden Produktionsumgebung mit CPPM eine **Systemstruktur** aussehen, um eine **Bereitstellung von Informationsservices** für den Mitarbeiter zu realisieren?
- Welche internen **Teilsystemkomponenten** muss eine Systemstruktur enthalten, um alle in der Prozessbeschreibung ermittelten funktionalen Anforderungen an die Systemstruktur erfüllen zu können?
- Was sind in diesem Zusammenhang **zielführende Interaktionsformen** und wie kann der Begriff **Informationsservice allgemein definiert** werden?

In Abgrenzung hierzu wird nicht betrachtet, wie die Mitarbeiter die zur Verfügung gestellten Informationen nutzen und wie sie diese weiterverarbeiten. Die detaillierte Darstellung der Informationen für die Mitarbeiter (engl. *User Interface Design*) und das zur Darstellung verwendete Medium (z.B. Datenbrille, Tablet, ...) werden in der Arbeit zur prototypischen Realisierung miteinbezogen, stehen jedoch nicht im Mittelpunkt. Durch die Bereitstellung von Informationsservices für die Mitarbeiter ergeben sich unter Umständen verschiedene Möglichkeiten, neue Mitarbeiterrollen im Zuge der Digitalisierung und Industrie 4.0 zu definieren, was ebenfalls nicht in dieser Arbeit berücksichtigt wird. Ferner wird die Annahme getroffen, dass die sich auf dem Shopfloor befindenden Mitarbeiter Experten in ihrer jeweiligen Rolle und in der Lage sind, sich selbstbestimmt Informationsservices zu generieren. Für Mitarbeiter mit Anfängerstatus kann dahingehend ein Standardset an Informationsservices für die jeweilige Rolle vom CPPM-Hersteller bereitgestellt werden, was jedoch kein Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit darstellt.

Durch die gewählte, technologieunabhängige Beschreibung der Systemstruktur ist es jedoch möglich, diese in Produktionsumgebungen zu implementieren. Konkrete Vorschläge für eine Referenzstruktur werden im Zuge der Modellierung für eine spätere Implementierung ermittelt. Durch den kontinuierlichen Wandel von Produktionskomponenten (z.B. CPPM) kann die Systemstruktur bei der Implementierung jedoch nicht allgemeingültig integriert werden, ohne dass Anpassungen notwendig sind. In Kapitel 5 wird eine beispielhafte Referenzstruktur der entwickelten Systemstruktur in einer modularen Produktionsumgebung aufgezeigt und validiert.

Hauptfokus dieser Arbeit liegt auf der **diskreten Klein- bzw. Großserienfertigung in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)**, die über eine **begrenzte IT-Systemlandschaft** verfügen. Diese Annahme wird für die Abstraktion der Systemstruktur und somit für die Bereitstellung der Informationsservices verwendet. Mangels einer allgemeingültigen Spezifikation und Modellierung von Mitarbeiterrollen in der modularen Produktion kann eine Allgemeingültigkeit der exemplarisch erstellen Nutzerprofile nicht garantiert werden. Allerdings wird eine Möglichkeit aufgezeigt, wie der Mitarbeiter unterstützt und besser eingebunden werden kann. Eine modulare Systemstruktur zur Informationsbereitstellung auf

dem Shopfloor bietet Unternehmen darüber hinaus die Möglichkeit einer Erweiterung und individuellen Anpassung. Abschließend befasst sich diese Arbeit mit der **technischen Modellierung und prototypischen Implementierung der Systemstruktur**. Aspekte der Wirtschaftlichkeit für die Unternehmen werden nicht näher betrachtet.

3.2 Vorgehensweise

Zur Beantwortung der Fragestellungen gliedert sich die Arbeit in drei übergeordnete Abschnitte: dem **Stand der Forschung**, der **Modellierung der Systemstruktur** und der **Implementierung** inklusive Validierung.

Der erste Teil beinhaltete Vorarbeiten zu den Grundlagen der **Digitalisierung in der Produktion** (Kapitel 2.1). Dieser umfasste neben Umsetzungsbeispielen der modularen Produktion auch mögliche Architekturansätze solcher Produktionsumgebungen. Weiterhin wurden informationstechnische Schnittstellen zur Beschreibung von Produktionsressourcen betrachtet - mit einem besonderen Fokus auf eine Beschreibungsmöglichkeit für CPPM. Anschließend wurde die Bedeutung von Informationsmodellen für die Produktion erläutert und beispielhaft verschiedene Informationsmodelle aufgezeigt. Danach wurden Kommunikationsprotokolle für die herstellerübergreifende Produktion eingeführt, bevor das Kapitel mit einer Zusammenfassung endet. Parallel hierzu wurde die **Rolle des Menschen** in einer zunehmend digitalisierten Produktion beschrieben und auf die Herausforderung hinsichtlich der Bereitstellung von Informationen in der modularen Produktionsumgebung eingegangen (Kapitel 2.2). Grundlegende, existierenden Ansätze von Mensch-Maschine-Systemen konnten dabei identifiziert werden, bevor daran anknüpfend existierende Interaktionsmöglichkeiten zwischen Mensch und Maschine aufgezeigt wurden. Im Anschluss wurde wiedergegeben, wie die Digitalisierung die Mitarbeiterrolle in der Produktion verändert und welche Aufgabenfelder sowie Rollenmodelle derzeit für Mitarbeiter in Unternehmen existieren. Abschließend wurden Anforderungen an die Informationsbereitstellung in der modularen Produktion abgeleitet, bevor das Kapitel mit einer Zusammenfassung abschließt.

Als wissenschaftliche Entwicklungsmethodik wird das V-Modell aus der Softwareentwicklung ausgewählt, welches eine weit verbreitete und anerkannte Methodik darstellt. Darüber hinaus werden konkrete Modellierungstechniken und -werkzeuge eingeführt, die bei der Modellierung Anwendung finden (Kapitel 3.3). Das V-Modell sieht in der Konzeption eine **Top-Down-Modellierung** vor, deren Schritte sukzessive durchlaufen werden. Die Top-Down-Modellierung beginnt mit einer **formalen Systemabgrenzung** und zeigt die nicht-funktionalen Anforderungen im Rahmen einer Anforderungsanalyse auf (Kapitel 4.1). Folgend wird eine **abstrakte Prozessbeschreibung** zum Anlegen und Löschen der Informationsservices hergeleitet, woraus das funktionale Verhaltensmodells der Systemstruktur abgeleitet werden kann (Kapitel 4.2). Im nächsten Schritt wird die **Grob-Systemstruktur** konzipiert (Kapitel 4.3). Diese enthält die notwendigen Teilsystemkomponenten zur funktionalen Erfüllung der Forschungsziele. Die Teilsystemkomponenten werden daran anknüpfend hergeleitet und

bilden die **funktionalen Anforderungen der Systemstruktur** (Kapitel 4.4) ab. Die Teilsystemkomponenten werden im Anschluss anhand der Prozessbeschreibung in Verbindung miteinander gesetzt, um **interne Wechselwirkungen** aufzuzeigen (Kapitel 4.5).

Die zu erforschende Systemstruktur definiert informationstechnische Schnittstellen zur Verknüpfung der CPPM mit dem Mitarbeiter, d.h. sie liefert als Resultat eine Beschreibung der involvierten Teilsystemkomponenten, deren Beziehungen untereinander sowie einer Zugangsmöglichkeit für den Menschen zur Systemstruktur.

Nach der Erforschung der Systemstruktur wird diese prototypisch in einer modularen Produktionsumgebung implementiert und die durchlaufenen Implementierungsschritte werden dargestellt. Dem Bottom-Up Ansatz des V-Modells folgend werden die **Teilsystemkomponenten einzeln implementiert** und getestet (Kapitel 5.1), zur **Systemstruktur integriert** (Kapitel 5.2) und anschließend ein **Gesamtsystemtest** durchgeführt (Kapitel 5.3). Jedes dieser Teilkapitel sieht eine Validierung des jeweiligen Implementierungsschrittes vor. In einem letzten Schritt werden die hergeleiteten, nicht-funktionalen Anforderungen validiert und darauf aufbauend **Erweiterungspotenziale** aufgezeigt (Kapitel 5.4). Die Hauptbestandteile zur Erforschung einer Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices für den Menschen in der modularen Produktion sind in Abbildung 32 zusammengefasst.

Am Ende der wissenschaftlichen Arbeit zieht Kapitel 6.1 ein Fazit und Kapitel 6.2 gibt einen Ausblick über identifizierte, weiterführende wissenschaftliche Fragestellungen. Kapitel 7 fasst die Inhalte der vorliegenden Ausarbeitung zum Abschluss zusammen.

3.3 Modellierungstechniken

Ziel dieses Kapitels ist es, die zur Anwendung kommenden Modellierungstechniken für Kapitel 4 vorzustellen.

Die methodische Entwicklung der Systemstruktur beginnt mit der Betrachtung der Systemgrenze und den nicht-funktionalen Anforderungen an die Systemstruktur. Um eine möglichst **formale Beschreibung** zu realisieren, ist die Systemgrenze herzuleiten. Die nicht-funktionalen Anforderungen ergeben sich aus einer **Literaturrecherche**, die eng verknüpft mit dem Stand der Forschung dieser Arbeit und insbesondere der **ISO 25010** zu *Systems and Software Quality Requirements* [ISO11] ist. Ziele sind eine formal eindeutige Systemgrenze und ein nicht-funktionaler Anforderungskatalog, der die Grundlage für eine spätere Validierung der Systemstruktur beinhaltet.

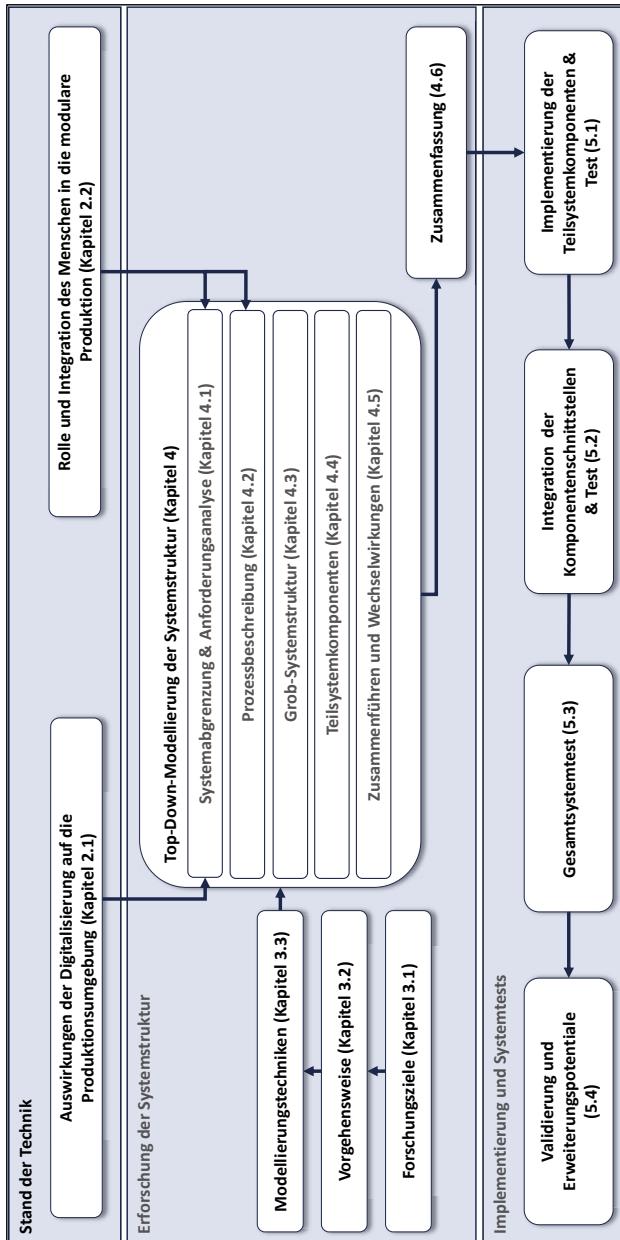


Abbildung 32: Zusammenfassung der Vorgehensweise zur Entwicklung der Systemstruktur

Mit der abstrakten Prozessbeschreibung wird das funktionale Verhaltensmodell der Systemstruktur modelliert. Für die Prozessbeschreibung wird auf einen **Zustandsautomaten** [HMU07] zurückgegriffen, was eine Technik für Ablaufbeschreibungen darstellt.

Mittels der ersten beiden Modellierungsschritte kann die grobe Systemstruktur hergeleitet werden. Dazu wird eine **eigene Methodik** hergeleitet. Resultat dieses Modellierungsschrittes ist eine Übersicht über die grobe Systemstruktur mit den darin befindlichen Teilsystemkomponenten sowie den Schnittstellen untereinander. Diese Übersicht wird durch **UML** [ISO05] visualisiert.

Die ermittelten Teilsystemkomponenten werden anschließend nacheinander definiert. Für die Beschreibung der Teilsystemkomponenten werden die Techniken der **Textschablone** und **UML** [ISO05] verwendet. Dabei werden die Teilsystemkomponenten zunächst unabhängig voneinander, im Sinne eines **Separation of Concerns** [Mi90] Ansatzes, dargelegt. Für jede Teilsystemkomponente ergibt sich eine funktionale Anforderungsliste sowie eine Aufgaben- und Funktionsbeschreibung im Rahmen des Prozesses und des internen Zusammenspiels der Teilsystemkomponenten. Um eine prototypische Implementierung der Systemstruktur realisieren zu können, wird für jede Teilsystemkomponente die notwendige, interne Schnittstelle mit anderen Teilsystemkomponenten abgeleitet. Zusammengefasst entstehen für die Top-Down-Modellierung der Systemstruktur die folgenden Modellierungsschritte mit den jeweiligen Modellierungstechniken und Ergebnissen (s. Abbildung 33):

Top-Down-Modellierung Kapitelstruktur	Angewandte Techniken & Werkzeuge	Ergebnis dieser Stufe
Kapitel 4.1	<ul style="list-style-type: none"> Formale Beschreibung Literaturrecherche; ISO25010 	<ul style="list-style-type: none"> Abgrenzung des Zielsystems Anforderungskatalog mit nicht-formalen Anforderungen
Kapitel 4.2	Zustandsautomat	Funktionales Verhaltensmodell Systemstruktur
Kapitel 4.3	<ul style="list-style-type: none"> UML; eigene Methodik 	<ul style="list-style-type: none"> Grob-Systemstruktur inkl. notwendiger Teilsystemkomponenten
Kapitel 4.4	<ul style="list-style-type: none"> Textschablone UML; Separations of Concerns 	<ul style="list-style-type: none"> Funktionaler Anforderungskatalog Spezifikation der Teilsystemkomponenten
Kapitel 4.5	UML	<ul style="list-style-type: none"> Beschreibung der internen Wechselwirkungen der Systemstruktur

Abbildung 33: Zusammenfassung der Modellierungstechniken der Top-Down-Modellierung

Im folgenden Kapitel werden diese Modellierungstechniken und Werkzeuge zur Modellierung der Systemstruktur verwendet.

4 Erforschung einer Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices auf dem modularen Shopfloor

Dieses Kapitel greift die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln auf und beschreibt die methodische Modellierung der Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices auf dem modularen Shopfloor.

Kapitel 4.1 beginnt mit einer formalen Beschreibung der Systemgrenzen und den damit verbundenen nicht-funktionalen Anforderungen, die an die Systemstruktur gestellt werden. Darauf aufbauend wird in Kapitel 4.2 das funktionale Verhaltensmodell der Systemstruktur aufgezeigt und mithilfe einer Prozessbeschreibung zum Anlegen und Löschen eines Informationsservices verdeutlicht. Nachdem die Systemgrenzen, die nicht-funktionalen Anforderungen und die Prozessbeschreibung der Systemstruktur modelliert sind, wird in Kapitel 4.3 die übergeordnete Systemstruktur entwickelt. Durch die übergeordnete Systemstruktur werden einzelne Teilsystemkomponenten hergeleitet. Kapitel 4.4 greift diese Teilsystemkomponenten auf und legt deren Funktionen im Rahmen der Prozessbeschreibung, sowie die damit verbundenen internen Aufgaben innerhalb der Systemstruktur dar. Zusätzlich werden die Schnittstellen zu den anderen Teilsystemkomponenten beschrieben. Diese dadurch entwickelten Komponenten werden in Kapitel 4.5 zu einer Systemstruktur zusammengesetzt. Darüber hinaus erfolgt eine detaillierte Betrachtung des internen Verhaltens der Systemstruktur beim Anlegen und Löschen eines Informationsservices. Kapitel 4.6 fasst die Arbeiten zur methodischen Modellierung der Systemstruktur zusammen und weist auf die nachfolgende Implementierung sowie Systemtests hin.

Im Zuge der Modellierung werden bereits getätigte, eigene Vorarbeiten mit einbezogen: [BQR17], [BP18], [Bi18], [Bi19], [BMR19].

4.1 Systemabgrenzung und Anforderungsanalyse

Die Modellierung der Systemstruktur beginnt mit einer formalen Abgrenzung, sodass eine Differenzierung zu verwandten Arbeiten sichergestellt ist. In einem zweiten Schritt werden die nicht-funktionalen Anforderungen an die Systemstruktur beschrieben, die für einen späteren Systemtest herangezogen werden. Die funktionalen Anforderungen der Systemstruktur sind in Abgrenzung hierzu in Kapitel 4.4 unmittelbar bei der jeweiligen Teilsystemkomponente abgebildet.

4.1.1 Formale Systemgrenze der Systemstruktur

Ziel dieses Kapitels ist es, den Problembereich der Systemstruktur allgemeingültig einzugrenzen.

Um auf die beschriebenen Forschungsfragen eingehen zu können, muss ermöglicht werden eine Menge M von Services auf dem Shopfloor bereitzustellen, wobei

$$M = \{ \vec{x}_n \mid \vec{x}_n \text{ ist ein Informationsservice für einen Mitarbeiter} \}$$

Definition von Begrifflichkeiten:

Ferner gilt, dass ein Informationsservice

$$\vec{x}_n = \{ \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} \mid a \in A; b \in B; c \in C \}$$

Wobei

A = {a | a ist ein Mitarbeiter auf dem Shopfloor einer modularen Produktionsumgebung mit seiner spezifischen Mitarbeiterrolle}

B = {b | b ist ein semantisch beschriebenes Informationselement}

C = {c | c ist ein Interaktionselement zur Verknüpfung von Elementen aus A und B}

Annahmen:

(1) Es gibt keine leeren Mengen: $A, B, C \neq \{ \}$

(2) Es gibt mindestens eine Kombination: $|A| \quad |B| \quad |C| \geq 1$

(3) Jeder Informationsservice existiert nur genau einmal: $\vec{x}_n \neq \vec{x}_m$ wobei $n \neq m$

Spezifizierung:

- a: beschreibt genau einen Mitarbeiter (**Nutzer**) auf dem Shopfloor eines Unternehmens, der im Rahmen seiner Rolle gewisse Aufgaben zu tätigen hat und dafür Informationen benötigt.
- b: beschreibt genau ein Informationselement eines CPPM, welches in einer einheitlichen semantischen Form für den Mitarbeiter menschenlesbar bereitgestellt werden kann.
- c: beschreibt genau ein Interaktionselement, welches die Art und Weise des Austauschs bzw. der Darstellung zwischen a und b festlegt.

Da im Fokus der Informationsservices \vec{x}_n die flexible Versorgung der Mitarbeiter mit Informationen steht, ergibt sich somit für jeden einzelnen Mitarbeiter a = konstant. Die Menge aller Informationsservices \vec{x}_n , die für ein konstantes a ausgewählt werden, beschreiben das Nutzerprofil für genau diesen Mitarbeiter:

$$R_n = \{ \vec{x}_n \mid \vec{x}_n \text{ ist ein Informationsservice} \wedge a = \text{konstant} \}$$

Ein Nutzerprofil bildet eine Teilmenge der Gesamtmenge M aller Informationsservices \vec{x}_n .

Eingrenzung des Problembereichs:

Zur weiteren Modellierung des Hauptteils und der Realisierung der Systemstruktur müssen die Mengen A, B, C weiter konkretisiert werden, um einen ausreichenden Praxisbezug zu ermöglichen. Bevor jedoch auf die einzelnen Mengen eingegangen wird, wird der Begriff des CPPM spezifiziert. In der hier vorliegenden Arbeit wird ein CPPM als modulare Einheit mit eigener Steuerung verstanden, die Fertigungsfunktionen für den Produktionsprozess bereitstellt, herstellerübergreifend einsetzbar ist und über eine singuläre Informationsschnittstelle für Mitarbeiter auf dem Shopfloor verfügt.

Die Menge A, welche die Mitarbeiter auf dem Shopfloor beschreibt, wird in Kapitel 4.4.5 konkretisiert. Dort werden auch Mitarbeiterrollen für die modulare Produktion definiert. Die Systemstruktur erhebt allerdings den Anspruch, für potenziell jeden Mitarbeiter einsetzbar zu sein.

Die Menge B beinhaltet die anzubietenden Informationen des CPPM. In diesem Zusammenhang ist es essentiell, wie diese Informationen beschrieben und angeboten werden müssen, um Teil eines Informationsservices zu sein. Dies ist unmittelbar mit der funktionalen Anforderung an die Systemstruktur verbunden und wird in Kapitel 4.4.2 weiter detailliert. In Abgrenzung dazu ist die Bereitstellung von Informationen für den Mitarbeiter a von hoher Relevanz. Veränderungen am CPPM oder Funktionsaufrufe können durch die Auswahl von b und folglich auch durch die Systemstruktur nicht realisiert werden.

Die Menge C entspricht den Interaktionsformen und dementsprechend der Art und Weise des Informationsaustauschs zwischen dem Mitarbeiter und dem CPPM. Im Rahmen der funktionalen Beschreibung der Systemstruktur wird in Kapitel 4.4.3 definiert, wie eine Interaktion ausgestaltet sein muss und welche Interaktionen für die Systemstruktur existieren werden. Ausgehend davon werden prototypisch mehrere Interaktionen in Kapitel 5.1.3 integriert und getestet. Durch die Beschreibung, wie eine Interaktion anzulegen ist, kann diese um weitere Interaktionsformen ergänzt werden.

Klassifizierung des Problembereichs:

Mit RAMI 4.0 kann die Problemstellung weiterhin klassifiziert werden, wie in Abbildung 34 gezeigt. Existierende CPPM sind von den *Hierarchy Levels* als *Station* zu sehen, da sie über ein Steuerungsgerät hinausgehen und Fertigungsfunktionen im Produktionsprozess anbieten. Im *Life Cycle und Value Stream* wird auf CPPM aufgebaut, die bereits existieren, weshalb sich die Problemstellung im *Maintenance/Usage* Bereich befindet. Bei den *Layers* ist *Communication* relevant, um die Kommunikationsschnittstelle des CPPM zum Mitarbeiter zu standardisieren. Zusätzlich ist der *Information Layer* notwendig, damit die Informationen vom CPPM in einer semantischen und menschenlesbaren Form dargestellt werden können. Die

Selbstbestimmung des Mitarbeiters bei der Auswahl der Informationen des CPPM in Verknüpfung mit einer Information, ist als Ergebnis der *Functional Layer* zu verstehen.

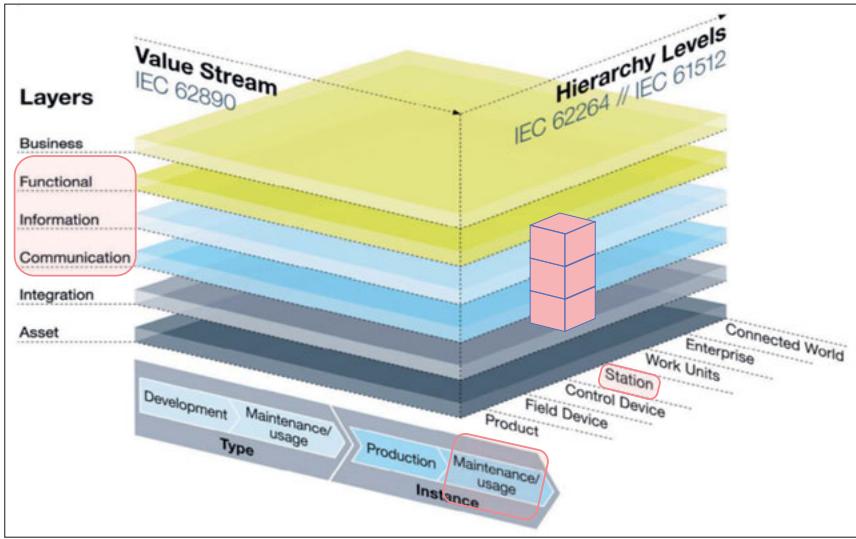


Abbildung 34: Klassifizierung des Problembereichs anhand RAMI 4.0 in Anlehnung an [Ad15]

4.1.2 Nicht-funktionale Anforderungen

Die zu entwickelnde Systemstruktur stellt eine Softwarekomponente zur Interaktion zwischen CPPM und Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor dar. Neben den funktionalen Anforderungen an die Systemstruktur, d.h. welche Aufgaben und Funktionen diese zur Bereitstellung der Informationsservices erfüllen muss, existieren nicht-funktionale Anforderungen an die Systemstruktur. Diese sind globaler zu interpretieren und weisen meist auf das Zusammenspiel des Zielsystems mit der Umwelt hin [ISO11]. Ziel des Kapitels ist es, die nicht-funktionalen Anforderungen (NFA) für die Systemstruktur zu definieren. Dies geschieht in Anlehnung an eine existierende Norm zum Themengebiet der Softwarequalität [ISO11]. In Abgrenzung dazu werden die funktionalen Anforderungen direkt bei der Entwicklung der jeweiligen Teilsystemkomponente in Kapitel 4.4 hergeleitet.

Gebrauchstauglichkeit und Intuition

Die Systemstruktur soll Informationsservices für Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor ermöglichen, um einen einfacheren Zugang zu Informationen in einer dezentral organisierten Produktion zu erleichtern. Die Systemstruktur muss für den Nutzer zum einen intuitiv verständlich und zum anderen so gestaltet sein, dass er sie akzeptiert. In diesem Zusammenhang können insbesondere verwandte Interaktions- und Informationskanäle aus dem privaten Bereich verwendet werden (z.B. mobile Endgeräte), um Hemmschwellen zur Nutzung der Systemstruktur abzubauen. Durch die angestrebte, dezentrale Organisation der

Produktion wird durch eine gebrauchstaugliche Ausgestaltung der Systemstruktur dem Effekt des Information Overloads entgegengewirkt und er nimmt die Systemstruktur als adäquates Hilfsmittel zur Bewältigung seiner Arbeitsaufgabe wahr. Die Möglichkeit flexibel Informationsservices anzulegen und wieder zu löschen, soll eine individuelle Informationsselektion bewirken. Dem Nutzer soll die bestmögliche Flexibilität zur Nutzung der Systemstruktur zur Verfügung stehen.

Nicht-Funktionale Anforderung: Endgerät unabhängige Benutzungsschnittstelle

Um eine ausreichend flexible Interaktion zwischen Mitarbeiter und der Systemstruktur zu garantieren, muss diesem die Auswahl des technischen Gerätes zur Interaktion uneingeschränkt ermöglicht werden.

Nicht-Funktionale Anforderung: Intuitive Benutzungsschnittstelle

Damit die Systemstruktur auf Nutzerakzeptanz trifft, muss die Systemstruktur möglichst intuitiv im Umgang und unmittelbar verständlich sein. Es ist von hoher Relevanz, dass die Interaktion des Mitarbeiters mit dem lauffähigen System in kurzer Zeit ohne immensen Einarbeitungsaufwand realisiert wird.

Modifizierbarkeit und Erweiterbarkeit

Die Systemstruktur fokussiert den Informationsaustausch zwischen einer dezentralen Produktion, insbesondere einem CPPM, und dem Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor mit dem Ziel, diese möglichst einfach miteinander zu verbinden. Da sich in der unternehmerischen Praxis aber nicht nur dezentral verteilte Produktionen auf CPPM Basis befinden, sondern auch andere Arten der Produktion existieren, sollte es möglich sein, die Systemstruktur zu modifizieren und auf eine spezifische Situation anzupassen. Dies ist äquivalent dazu, dass nicht jeder Mitarbeiter unmittelbar alle für ihn notwendigen Funktionalitäten in der Systemstruktur erkennt. Im laufenden Betrieb kommt es oftmals zu Änderungsvorschlägen, sodass die Systemstruktur modifiziert werden muss.

Wie in Kapitel 4.1.1 beschrieben, ist die aktuelle Systemgrenze klar definiert. Informationen, Interaktionen und der Nutzer bilden gemeinsam einen Informationsservice. Diese können vom Nutzer angelegt und gelöscht werden. Um zukünftig die Systemstruktur weiterzuentwickeln, muss diese erweiterbar sein. Bei einer erfolgreichen Realisierung der Systemstruktur soll es möglich sein, weitere Funktionalitäten zu implementieren, um eine zukunftsorientierte Lösung zu schaffen.

Nicht-Funktionale Anforderung: Modifizierbare Ausgestaltungsmöglichkeit

Die Systemstruktur darf nicht starr und unveränderbar sein, sodass sie, bei einer konkreten Implementierung in eine Produktionsumgebung, an die dortige Bedürfnisse angepasst werden kann.

Nicht-Funktionale Anforderung: Erweiterbarkeit des Funktionsumfangs

Nach den ersten Systemtests und einer Validierung ist es von hoher Wahrscheinlichkeit, dass Erweiterungspotenziale identifiziert werden, so kann die Systemstruktur weiterentwickelt werden. Um weitere Funktionalitäten hinzuzufügen und auf die Bedürfnisse der Nutzer eingehen zu können, ist die Erweiterbarkeit der Systemstruktur grundlegend.

Plattformunabhängigkeit

Die Systemstruktur soll in einer dezentral-organisierten Produktion zum Einsatz kommen, die CPPM als Produktionsressourcen verwendet. Wie im Kapitel zum Stand der Forschung beschrieben, können CPPM von diversen Herstellern entwickelt sein und auf unterschiedlichen Steuerungssystemen basieren. Durch eine Plattformunabhängigkeit der Systemstruktur wird ihre herstellerübergreifende Einsatzfähigkeit sichergestellt, indem auf proprietäre Werkzeuge und Schnittstellen verzichtet wird. Des Weiteren ist es notwendig, dass auch die sich in der Systemstruktur befindlichen Teilsystemkomponenten den Anspruch erheben, auf eine plattformunabhängige Art und Weise realisiert zu werden, um für eine breite Masse verständlich sowie zugänglich zu sein.

Nicht-Funktionale Anforderung: Plattformunabhängige Teilsystemkomponenten

Die Systemstruktur besteht aus mehreren, modularen Teilsystemkomponenten, die jeweils eigene Aufgaben und Funktionen besitzen. Für diese Teilsystemkomponenten ist es von Relevanz in einer plattformunabhängigen Sprache programmiert und implementiert zu werden sowie über eine einheitliche Schnittstelle zugänglich zu sein.

Nicht-Funktionale Anforderung: Plattformunabhängige Integrationsmöglichkeit

Um die Systemstruktur innerhalb von Produktionsumgebungen einsetzen zu können, ist es für herstellerübergreifende Systeme notwendig, funktionsfähig zu sein, sodass eine ausreichende Akzeptanz gewährleistet werden kann. Die Systemstruktur soll plattformunabhängig integrierbar und auch in bestehenden Produktionen nachrüstbar sein.

Wiederverwendbarkeit

Eng verknüpft mit den vorangegangenen Anforderungen der Modifizierbarkeit, Erweiterbarkeit und Plattformunabhängigkeit, stellt sich die Anforderung, die Systemstruktur so zu entwickeln, dass diese selbst bzw. zumindest Teile davon wiederverwendbar sind. Zum einen ist es essenziell, dass die bestehenden modularen Teilsystemkomponenten bei einer Weiterentwicklung der Systemstruktur wie bisher ihre Gültigkeit und Funktion behalten. Zum anderen können die modularen Teilsystemkomponenten auf andere, neuartige Systemstrukturen übertragen werden, die sich ebenfalls mit einer Informationsbereitstellung für den Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor beschäftigen. Durch die beiden Ansätze wird eine schnelle Entwicklung von zukünftigen Systemstrukturen erleichtert.

Nicht-Funktionale Anforderung: Übertragbarkeit bei Neuentwicklungen

Die Teilsystemkomponenten der Systemstruktur müssen bei einer Neuentwicklung der Systemstruktur bzw. einer ähnlichen Systemstruktur zur Informationsbereitstellung für den Mitarbeiter übertragbar und wiederverwendbar sein.

Nicht-Funktionale Anforderung: Wiederverwendbarkeit bei spezifischen Weiterentwicklungen

Um auf domänen- oder branchenspezifische Anforderungen eingehen zu können, kann die Systemstruktur weiterentwickelt werden. Die bestehenden Teilsystemkomponenten erheben den Anspruch, bei einer Weiterentwicklung ihre Funktionsfähigkeit auch künftig zu erhalten.

Vertraulichkeit

Bei der Systemstruktur soll es für jeden Mitarbeiter möglich sein, die Informationsservices nach seinen subjektiven Bedürfnissen auszuwählen und anzulegen, ohne dass er eine feste Vorgabe bekommt. Es entsteht somit ein sehr persönliches Nutzerprofil, auf dessen ausgewählte Informationsservices keiner außer dem Mitarbeiter selbst zugreifen darf. Dies ist auch wichtig indem Kontext, dass nur der jeweilige Mitarbeiter seine Wahl der Informationsservices bestimmt und neue anlegen oder bestehende löschen kann. Es darf in diesem Zuge nicht für andere möglich sein, Zugang zu einem fremden Nutzerprofil zu erhalten und dort die Informationsservices von anderen einzusehen bzw. sogar zu verändern. Vertrauen des Nutzers in das System bildet die Grundlage für die Akzeptanz der Systemstruktur auf dem modularen Shopfloor.

Nicht-Funktionale Anforderung: Zugangsbeschränkung der Nutzerprofile

Die Systemstruktur erhebt den Anspruch auf der einen Seite für jeden Mitarbeiter auf dem Shopfloor zur Verfügung zu stehen, auf der anderen Seite die Nutzerprofile eines jeden Mitarbeiters so schützen, sodass nur dieser Zugriff darauf hat.

Nicht-Funktionale Anforderung: Vertraulicher Umgang mit ausgewählten Informationsservices

Ausgewählte Informationsservices werden stets mitarbeiterindividuell ausgewählt, angelegt bzw. gelöscht. Außenstehende dürfen die individuell zusammengestellten Informationsservices der Mitarbeiter nicht einsehen.

Um eine bessere Übersicht zu gewährleisten, sind diese in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Nicht-Funktionalen Anforderungen an die Systemstruktur

Abkürzung	Nicht-Funktionale Anforderung
NFA1	Endgerätenabhängige Benutzungsschnittstelle
NFA2	Intuitive Benutzungsschnittstelle
NFA3	Modifizierbare Ausgestaltungsmöglichkeit

NFA4	Erweiterbarkeit des Funktionsumfangs
NFA5	Plattformunabhängige Teilsystemkomponenten
NFA6	Plattformunabhängige Integrationsmöglichkeit
NFA7	Übertragbarkeit bei Neuentwicklungen
NFA8	Wiederverwendbarkeit bei spezifischen Weiterentwicklungen
NFA9	Zugangsbeschränkung der Nutzerprofile
NFA10	Vertraulicher Umgang mit ausgewählten Informationsservices

Die beschriebenen Nicht-Funktionalen Anforderungen werden für eine spätere Validierung des Gesamtsystems und zur Abnahme der Systemstruktur in Kapitel 5.4 verwendet.

4.2 Prozessbeschreibung und funktionales Verhaltensmodell

In einem zweiten Modellierungsschritt wird mittels einer Prozessbeschreibung das funktionale Verhaltensmodell der Systemstruktur entwickelt. Dieses bildet die Grundlage zur späteren Ableitung der übergeordneten Systemstruktur und den damit verbundenen Teilsystemkomponenten.

In Bezug auf die in Kapitel 4.1.1 beschriebene formale Systemgrenze, wird die Prozessbeschreibung daran angeknüpft. Jeder Mitarbeiter aus der Menge A hat im Rahmen seiner Mitarbeiterrolle gewisse Aufgaben zur Erfüllung des Unternehmensziels. In einer dezentralen Produktionsumgebung benötigt ein Mitarbeiter einen flexiblen Zugang zu Informationen, die dezentral in herstellerübergreifenden CPPM anfallen. So kann der Mitarbeiter seiner Aufgabe effektiv nachgehen. Aufgrund der Erfahrung, die er in seiner Mitarbeiterrolle besitzt, ist er in die Lage versetzt, selbst zu bestimmen, welche Information b aus der Menge B er von welchem Modul benötigt. Es muss für den Mitarbeiter allerdings intuitiv sein, wie er an die Informationen gelangen kann. Für neue Mitarbeiter mit wenig Erfahrung kann in Abgrenzung dazu ein standardisiertes Set an Informationen festgelegt werden, was jedoch nicht Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit ist.

Hierzu ist es notwendig, dass jedes Modul die Informationen verfügbar macht. Dies geschieht über eindeutig identifizierbare Schnittstellen und mittels einer einheitlichen Semantik. Da die Produktionsprozesse und Steuerungsarchitekturen der CPPM jedoch unterschiedlich ausgestaltet werden können, sind Informationsservices \vec{x}_n und somit auch das Nutzerprofil R_n für jedes CPPM individuell zu erstellen.

Um das Verhalten, die Funktionen sowie die Teilsystemkomponenten der Systemstruktur herleiten zu können, ist eine Beschreibung des Systemverhaltens notwendig. In diesem Zusammenhang werden die Prozessabläufe zum Anlegen und zum Löschen eines

Informationsservice \vec{x}_n beschrieben. Durch die funktionale Verhaltensbeschreibung sollen die Wechselwirkungen zwischen Mensch und System aufgezeigt werden. Durch die grafische Darstellung lässt sich zudem der Informationskreislauf intuitiv nachvollziehen.

Anlegen eines Informationsservice \vec{x}_n :

Die Prozessbeschreibung zum Anlegen von \vec{x}_n ist in Abbildung 35 graphisch in Form eines Zustandsautomaten dargestellt.

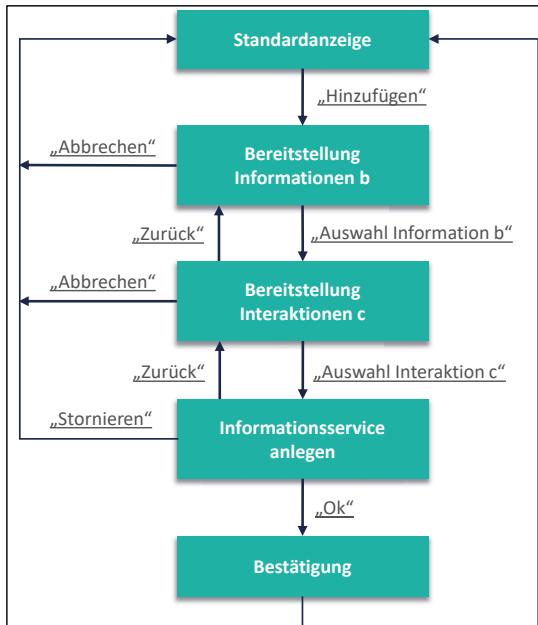


Abbildung 35: Funktionales Verhalten beim Anlegen eines Informationsservices

Ein Mitarbeiter a kann sich über ein Endgerät seiner Wahl mit der Systemstruktur verbinden. Durch seine individuellen Zugangsdaten wird er vom System erkannt und gelangt folglich zu seiner Standardanzeige, welche ihm die Informationsservices \vec{x}_n bereitstellt, die er sich bereits für dieses CPPM angelegt hat (vorausgesetzt er meldet sich nicht zum ersten Mal an, dann ist noch kein Informationsservice \vec{x}_n vorhanden).

Möchte er nun einen zusätzlichen Informationsservice \vec{x}_n abonnieren, hat er die Möglichkeit über eine Funktion „Hinzufügen“ den Prozess zum Anlegen zu starten. In einem ersten Schritt werden daraufhin die vorhandenen Informationen b des CPPM bereitgestellt. Nach Auswahl einer Information b gelangt er zum nächsten Schritt, bei dem alle verfügbaren Interaktionen c bereitgestellt werden. Nach Auswahl der Interaktion c, liegen alle notwendigen Bestandteile für die Erstellung des Informationsservices \vec{x}_n vor und die Systemstruktur kehrt zur Standardanzeige zurück. In jedem der Prozessschritte wird ein Abbruch des Vorgangs oder ein

Wechsel in den vorherigen Schritt ermöglicht. Abschließend soll der Mitarbeiter final gefragt werden, ob der Informationsservice \vec{x}_n angelegt oder gestrichen werden soll.

Löschen eines Informationsservice \vec{x}_n :

Die Prozessbeschreibung zum Löschen von \vec{x}_n ist in Abbildung 36 graphisch in Form eines Zustandsautomaten dargestellt.

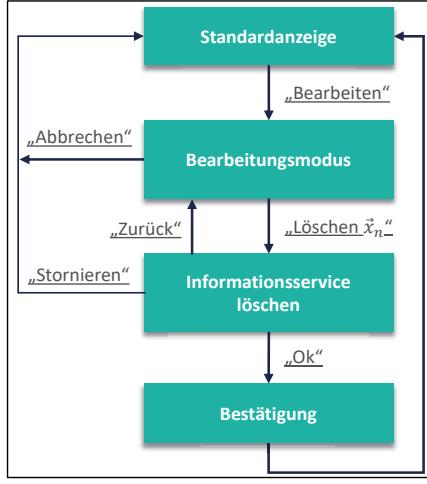


Abbildung 36: Funktionales Verhalten beim Löschen eines Informationsservice

Ein Mitarbeiter a gelangt äquivalent zu seiner individuellen Standardanzeige. Neben der Funktion „Hinzufügen“ findet er zusätzlich die Funktion „Bearbeiten“. Wählt er diese aus, so soll die Systemstruktur in einen Bearbeitungsmodus wechseln. Der Bearbeitungsmodus zeigt alle Informationsservices \vec{x}_n für ein Nutzerprofil R_n eines Mitarbeiters an.

Wählt er im Bearbeitungsmodus einen Informationsservice \vec{x}_n aus, so wird das „Löschen“ gestartet. Sollte das Löschen nicht beabsichtigt gewesen sein, kann er durch die Auswahl „Stornieren“ den Löschevorgang rückgängig machen. Bestätigt der Mitarbeiter den Löschevorgang („Ok“), wird der Informationsservice \vec{x}_n final gelöscht und die Systemstruktur kehrt zur Standardanzeige zurück.

4.3 Entwicklung der übergeordneten Systemstruktur

Ziel dieses Kapitels ist es eine Grob-Systemstruktur herzuleiten, in der alle notwendigen Teilsystemkomponenten aufgezeigt und voneinander abgegrenzt sind. Dies bildet die Basis für die Modellierung der Teilsystemkomponenten, die die funktionalen Anforderungen der Systemstruktur enthalten. Hierzu werden in Kapitel 4.3.1 Anforderungen an die CPPM zur Interaktion mit dem Mitarbeiter hergeleitet. Kapitel 4.3.2 beschreibt tiefergehende

Anforderungen für die Bereitstellung der Informationsservices. Abschließend wird der Grob-Systementwurf methodisch hergeleitet, die Teilsystemkomponenten vorgestellt und in Verbindung miteinander gesetzt.

4.3.1 Anforderungen an die CPPM zur Interaktion mit dem Mitarbeiter

Im Rahmen eigener, vorangegangener Forschungsarbeiten wurde der Bedarf an einer nutzerfreundlichen Informationsbereitstellung in modularen Produktionsumgebungen bereits aufgezeigt [Bi18], [Bi19].

Diese Ausarbeitungen dienen als Grundlage für die Bereitstellung von Informationsservices \vec{x}_n in modularen Produktionsumgebungen; können ohne weitere Modellierungen, den Bedarf Information und Interaktion flexibel zu kombinieren allerdings nicht befriedigen.

Grundlegende Voraussetzung für die Modellierung der Systemstruktur ist es, Mitarbeiter auf dem Shopfloor in modularen Produktionsumgebungen, aufgrund der dezentral verteilt anfallenden Informationen, zu unterstützen. Die Verwaltungsschale stellt die technische Grundarchitektur der notwendigen Schnittstelle zwischen Mitarbeiter und Maschine dar.

Dies lässt sich dadurch begründen, dass die CPPM in der modularen Produktionsumgebung als Industrie 4.0-Komponenten zu interpretieren sind, welche aus Asset und Verwaltungsschale bestehen. Für eine Verwaltungsschalenarchitektur, die bei einem CPPM Anwendung findet, muss mit Bezug zur Mitarbeiterinteraktion zudem noch gelten:

- Unterstützung des Mitarbeiters auf dem Shopfloor, ohne Einsatz von übergeordneten IT-Systemen.
- Möglichkeit, die Verwaltungsschale bei den CPPM nachzurüsten, um einen kompletten Neubau der CPPM zu umgehen.
- Daten müssen gesammelt, aggregiert und in eine menschenlesbare Form gebracht werden.
- Daten aus unterschiedlichen Datenquellen innerhalb der CPPM müssen miteinander kombiniert werden können.
- Eine Interaktion zwischen Mitarbeiter und dem CPPM muss ermöglicht werden, sodass dass ein Informationskreislauf entsteht.

Diese grundlegenden Anforderungen an die Verwaltungsschale der CPPM resultiert indem grundlegenden Konzept für eine menschen-zentrierte, modulare Produktionsumgebung in Abbildung 37. Wie diese Abbildung zeigt, benötigen CPPM eine Verwaltungsschale, die dezentral von einem Mitarbeiter über ein technisches Endgerät seiner Wahl zugänglich ist. Diese freie Auswahl soll zu einer weiteren Selbstbestimmungsmöglichkeit des Mitarbeiters auf dem Shopfloor führen.

Dieses Konzept für eine CPPM-basierte Produktionsumgebung, ist für die Modellierung der Systemstruktur weiter zu vertiefen. Die Verwaltungsschale als (Software-)Schnittstelle bzw. Softwarestruktur muss fundierter betrachtet werden. Im Fokus der weiteren Modellierungen und Anforderungen steht, wie die Interaktion zwischen Mitarbeiter und dem CPPM über die

Verwaltungsschale erfolgen kann und welche Anforderungen dies an die Software-Struktur stellt.

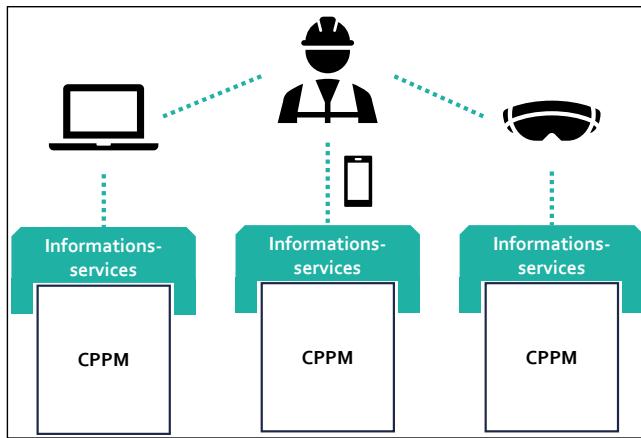


Abbildung 37: Konzept einer mensch-zentrierten modularen Produktionsumgebung mittels VWS von CPPM in Anlehnung an [Bi18]

Die umfassenden Anforderungen, die für eine mensch-zentrierte Kommunikation, Interaktion und Informationsbereitstellung erfüllt sein müssen, lassen sich unmittelbar aus den Anforderungen an die Informationsbereitstellung aus Kapitel 2.2.5 herleiten:

- I. Die Softwarestruktur stellt semantisch beschriebene Informationen über ein herstellerunabhängiges Kommunikationsprotokoll bereit.
- II. Die Softwarestruktur und das CPPM sind über genau eine physische Informationsschnittstelle miteinander verbunden.
- III. Die Softwarestruktur stellt eine Benutzungsschnittstelle zur Verfügung, über die der Mitarbeiter mit einem Endgerät seiner Wahl bidirektional kommunizieren kann.
- IV. Die Softwarestruktur präsentiert für die semantischen, menschenlesbaren Informationen mehrere Interaktionen zur Gestaltung des Datenaustauschs.

Daraus wurden drei Teilsystemkomponenten abgeleitet, die für eine Softwarestruktur zur Realisierung einer mensch-zentrierten Informationsbereitstellung essenziell sind:

- Eine Benutzungsschnittstelle, über die sich der Mensch mit einem (mobilen) Endgerät seiner Wahl verbinden kann.
- Eine Schnittstelle zum CPPM, um Daten zu erhalten.
- Ein Interaktionsmanager, der semantische Informationen in unterschiedlichen Interaktionsarten anbietet und die Verbindung zwischen Benutzungs- und physischer Schnittstelle aufzeigt.

Diese Teilsystemkomponenten sind in Abbildung 38 als Vertiefung des Konzeptes aus Abbildung 37 modelliert. Weiterhin existiert innerhalb der Verwaltungsschalenarchitektur

bereits ein Interaktionsmanager, der jedoch nach der bisherigen Definition, für einen automatisierten Datenaustausch zwischen zwei Industrie 4.0-Komponenten steht und deshalb keine Informationsaufarbeitung oder -bereitstellung für den Menschen vorsieht [Pl16a], [Vi18]. Somit verfolgt der bis dato definierte Interaktionsmanager innerhalb der Verwaltungsschalenarchitektur keinen mensch-zentrierten Interaktionsmechanismus.

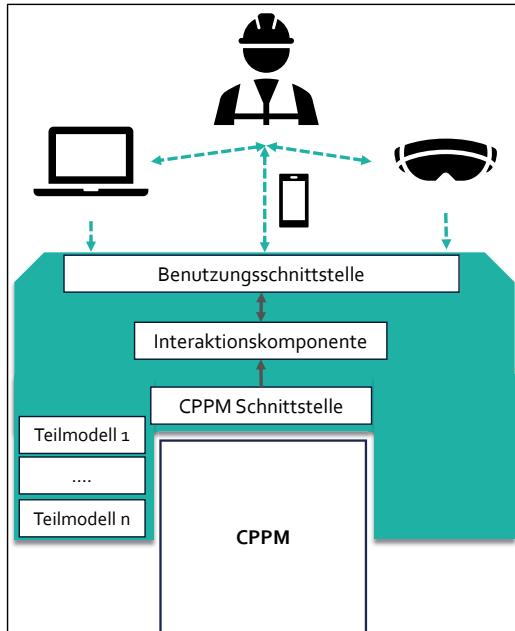


Abbildung 38: Spezifizierung der Verwaltungsschalenarchitektur für eine mensch-zentrierte Informationsbereitstellung in Anlehnung an [Bi19]

Die vorgestellten Ansätze zur Realisierung einer mensch-zentrierten Informationsbereitstellung in der modularen Produktionsumgebung auf Basis der Verwaltungsschalenarchitektur fokussieren bislang die Aufbereitung von Informationen für den Mitarbeiter.

Die Notwendigkeit, für den Mitarbeiter auf dem Shopfloor individuelle Zugangsdaten bereitzustellen und die Interaktionsform selbstständig zu bestimmen, sind in bisherigen Arbeiten bislang nicht berücksichtigt. Um eine Grob-Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices \vec{x}_n zu realisieren, müssen die grundlegenden Ansätze aus diesem Kapitel mit der Prozessbeschreibung des Anlegens und Löschens der Informationsservices \vec{x}_n in Verbindung gebracht werden. Diese Vorgehensweise folgt der Top-Down-Modellierung, bei der ausgehend von einem groben Konzept die Modellierung stetig verfeinert wird.

4.3.2 Spezifizierung für die Bereitstellung von Informationsservices

Aufbauend auf den grundlegenden Ansätzen des vorherigen Kapitels, kann nun die Grob-Systemstruktur modelliert werden. Grundlage hierfür bilden die bereits vorgestellten mensch-zentrierten Ansätze zur Informationsbereitstellung aus Kapitel 4.3.1. Die vorgestellte, spezifizierte Verwaltungsschalenarchitektur wird als Grundlage für die Modellierung der Grob-Systemstruktur herangezogen. Hierfür wurde eine eigene Methodik basierend auf Abstraktion und Reverse Engineering verwendet [Bi89], [CC90], [Sc15]. Abbildung 39 stellt die dafür entwickelte Methodik zusammenfassend dar.

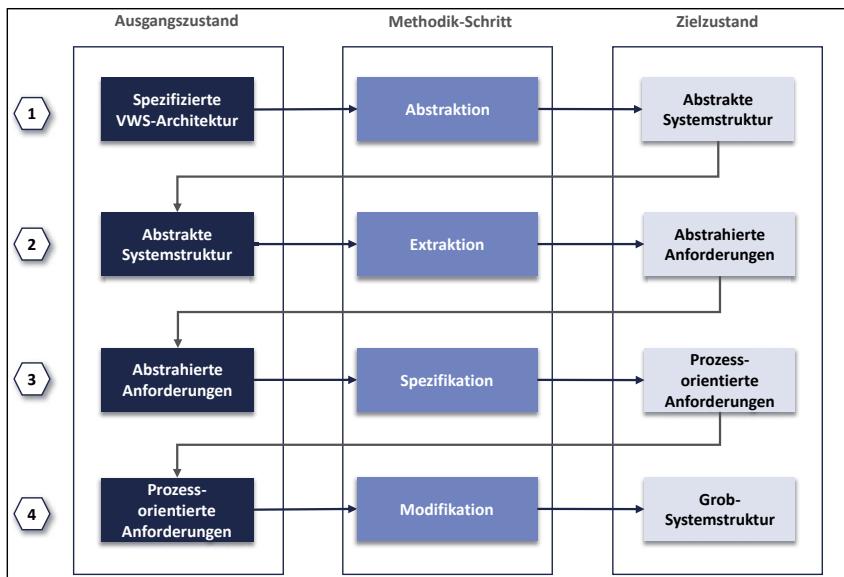


Abbildung 39: Vorgehensweise zur Modellierung der Grob-Systemstruktur

Als initialer Ausgangspunkt wird die mensch-zentrierte Verwaltungsschalenarchitektur (Abbildung 38) für die weitere Modellierung herangezogen. Für die Realisierung einer Grob-Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices werden die folgenden vier Schritte durchlaufen, die auch in Abbildung 39 dargestellt sind:

1. **Abstraktion:** Die in Abbildung 38 aufgezeigte Verwaltungsschalenarchitektur muss in einem ersten Schritt abstrahiert werden, um eine allgemeingültigere Darstellung zu ermöglichen, die unabhängig von der Verwaltungsschale selbst ist.
2. **Extraktion:** Ausgehend vom abstrahierten Modell werden Anforderungen abgeleitet.
3. **Spezifikation:** Die zu modellierende Grob-Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices auf dem Shopfloor geht mit spezifischen Anforderungen einher, welche im Rahmen dieses Schrittes hergeleitet werden. Ausgangspunkt für diesen

Schritt bildet die Prozessbeschreibung zum Anlegen und Löschen von Informationsservices aus Kapitel 4.2.

4. **Modifikation:** Mittels der prozessorientierten Anforderungen kann das abstrahierte Modell aus Schritt 1 um weitere Teilsystemkomponenten ergänzt werden. Ergebnis ist die Grob-Systemstruktur, die sowohl die Prozessbeschreibung als auch Anforderungen an die Informationsbereitstellung in der modularen Produktion für den Mitarbeiter mit einbezieht.

Mit der vorgestellten Methodik werden im Folgenden die einzelnen Schritte durchlaufen und die Ergebnisse modelliert.

Schritt 1: Abstraktion

Die Phase der Abstraktion betrachtet die zuvor vorgestellte Verwaltungsschalenarchitektur und leitet eine abstrakte Repräsentation ab. Ziel ist es, einen Überblick über die notwendigen Teilsystemkomponenten zu erhalten und deren Beziehungen zueinander darzustellen. Das Ergebnis dieses Schrittes ist in nachfolgender Grafik dargestellt:

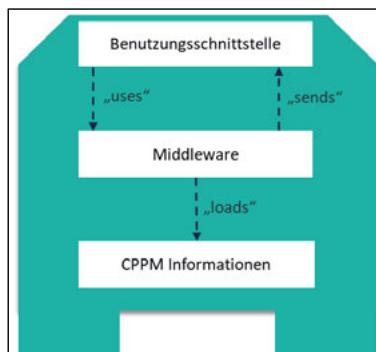


Abbildung 40: Abstrahierte Darstellung der mensch-zentrierten Verwaltungsschalenarchitektur

2. Schritt: Extraktion

Ziel der Extraktion ist es, ausgehend von der abstrahierten Darstellung aus Schritt 1, Anforderungen ableiten und modellieren zu können. Mit Bezug zu Abbildung 40 ergeben sich folgende Anforderungen:

Abstrahierte Anforderung (AA1.1): Bereitstellung einer herstellerübergreifenden Möglichkeit, standardisierte Informationen abzurufen.

Abstrahierte Anforderung (AA1.2): Vorhandensein genau einer Informationsschnittstelle zwischen dem CPPM und der VWS-Architektur.

Abstrahierte Anforderung (AA1.3): Existenz einer Benutzungsschnittstelle zur Verbindung des Mitarbeiters mit den CPPM Informationen.

Abstrahierte Anforderung (AA1.4): Verfügbarkeit mehrerer Interaktionsmöglichkeiten zum Austausch zwischen Mitarbeiter und CPPM Informationen.

3. Schritt: Spezifikation

Die Grob-Systemstruktur hat das Ziel, alle notwendigen Teilsystemkomponenten zur Bereitstellung von Informationsservices auf dem Shopfloor aufzuzeigen und deren Beziehungen darzustellen. Dazu werden in diesem Schritt die abstrahierten Anforderungen aus Schritt 2 verwendet und in Anlehnung an die Prozessbeschreibung in Kapitel 4.2 spezifizierte Anforderungen abgeleitet. Diese dienen dazu, alle notwendigen Teilsystemkomponenten innerhalb der Grob-Systemstruktur identifizieren und modellieren zu können.

Auf Grundlage der Prozessbeschreibung wird sowohl beim Anlegen, respektive Löschen, eine Standardanzeige für den Mitarbeiter angeboten. Ausgehend davon muss die Benutzungsschnittstelle in der Lage sein, Informationen zu visualisieren und darüber hinaus dem Mitarbeiter eine Verbindungsmöglichkeit mit einem (mobilen) Endgerät zu ermöglichen:

Spezifizierte Anforderung 1.1. (SA1.1): Menschenlesbare Visualisierung.

Spezifizierte Anforderung 1.2. (SA1.2): Endgerät-unabhängige Verbindungsmöglichkeit.

Im darauffolgenden Prozessschritt werden die vorhandenen Informationen des CPPM in einer standardisierten, semantisch beschriebenen und menschenlesbaren Form für den Nutzer bereitgestellt. Hierzu muss die Informationsschnittstelle des CPPM die Informationen in einer einheitlichen Art und Weise aufbereiten:

Spezifizierte Anforderung 2.1 (SA2.1): Einheitliche, semantische Informationsmodellierung.

Im Rahmen der Informationsservices wird jeder Information b auch eine Interaktion c zugeordnet, welche der Nutzer selbst auswählen kann. In diesem Zuge müssen die wählbaren Interaktionsmöglichkeiten abgespeichert und bereitgestellt werden können:

Spezifizierte Anforderung 3.1 (SA3.1): Speicherort für mögliche Interaktionen.

Spezifizierte Anforderung 3.2 (SA3.2): Standardisiert modellierte Interaktionen.

Nach der Auswahl der Information b und der Interaktion c wird der Informationsservice erstellt. Der Informationsservice soll zusammen mit allen bereits erstellten Informationsservices gespeichert und für den jeweiligen Nutzer zugänglich gemacht werden:

Spezifizierte Anforderung 4.1 (SA4.1): Speicherort für erstellte Informationsservices.

Damit die Informationsservices einem Nutzer unmittelbar zugeordnet werden können, ist es von Bedeutung über ein individuelles Profil (Nutzerprofil) zu verfügen. Darüber hinaus müssen die Nutzerprofile ein Hinzufügen und Entfernen von Informationsservices sowie einen flexiblen Zugriff erlauben:

Spezifizierte Anforderung 5.1 (SA5.1): Aktualisierungsmöglichkeit der Nutzerprofile.

Spezifizierte Anforderung 6.1 (SA6.1): Einheitliche Kommunikationsschnittstelle zwischen den Teilsystemkomponenten.

Da nicht jede Teilsystemkomponente innerhalb der Grob-Systemstruktur eine eigene Kommunikationseinheit besitzen soll, ist es notwendig eine Teilsystemkomponente für die Kommunikation innerhalb der Grob-Systemstruktur zu modellieren. Diese Teilsystemkomponente muss in der Lage sein, auf die anderen Teilsystemkomponenten zuzugreifen und für den Austausch zwischen eben diesen sorgen zu können:

Spezifizierte Anforderung 6.2 (SA6.2): Zugriffsberechtigung auf alle Teilsystemkomponenten.

4. Schritt: Modifizierung

Die spezifizierten Anforderungen aus dem vorherigen Schritt 3 werden innerhalb dieses Schrittes analysiert. Ziel ist es, weitere Teilsystemkomponenten abzuleiten, die die abstrahierte Darstellung Abbildung 40 ergänzen und alle zu modellierenden Bestandteile für die Grob-Systemstruktur enthalten.

SA1.1 und SA1.2 beschreiben die Notwendigkeit, eine *Benutzungsschnittstelle* zu realisieren, um eine menschenlesbare und vom Endgerät unabhängige Visualisierung für den Menschen zu ermöglichen. Aus SA2.1 geht hervor, dass die *CPPM Informationen* in einer einheitlichen, semantischen Form beschrieben sein sollten, damit diese im Gesamtsystem verarbeitet werden können. Um dem Menschen mehrere Interaktionsmöglichkeiten zur Auswahl anzubieten, ist es zudem notwendig Interaktionen einheitlich zu modellieren und in einem zugänglichen Speicherort der Systemstruktur anzubieten (*Interaktionsdatenbank*) (SA3.1 und SA3.2). Damit die Informationsservices von dem Mitarbeiter erstellt und gelöscht werden können, sind diese innerhalb der Systemstruktur nach SA4.1 zu speichern (*Informationsservicedatenbank*). Die Informationsservices werden in der Erstellung einem konkreten Mitarbeiter zugeordnet, wodurch die Menge aller Informationsservices \vec{x}_n eines Mitarbeiters dessen Nutzerprofil R_n ergibt. Dieses Nutzerprofil wiederum ist aktiv zu managen, da Informationsservices \vec{x}_n stetig hinzugefügt und gelöscht werden können, was sich aus SA5.1 ableitet (*Nutzermanagement*). In SA6.1 und SA6.2 wird die Notwendigkeit einer internen Kommunikation zwischen den Teilsystemkomponenten dargelegt, welche die Funktion einer *Middleware* zur Verknüpfung der Teilsystemmodelle aufweist.

Daraus resultiert eine Grob-Systemstruktur, wie sie in Abbildung 41 dargestellt ist. Aufbauend auf dieser Grob-Systemstruktur, können die darin enthaltenen Teilsystemkomponenten modelliert werden. Durch eine Entkoppelung der meisten Teilsystemkomponenten von der Verwaltungsschale kann zudem sichergestellt werden, dass eine Nachrüstung der Systemstruktur an bestehende CPPM technisch einfacher zu realisieren ist.

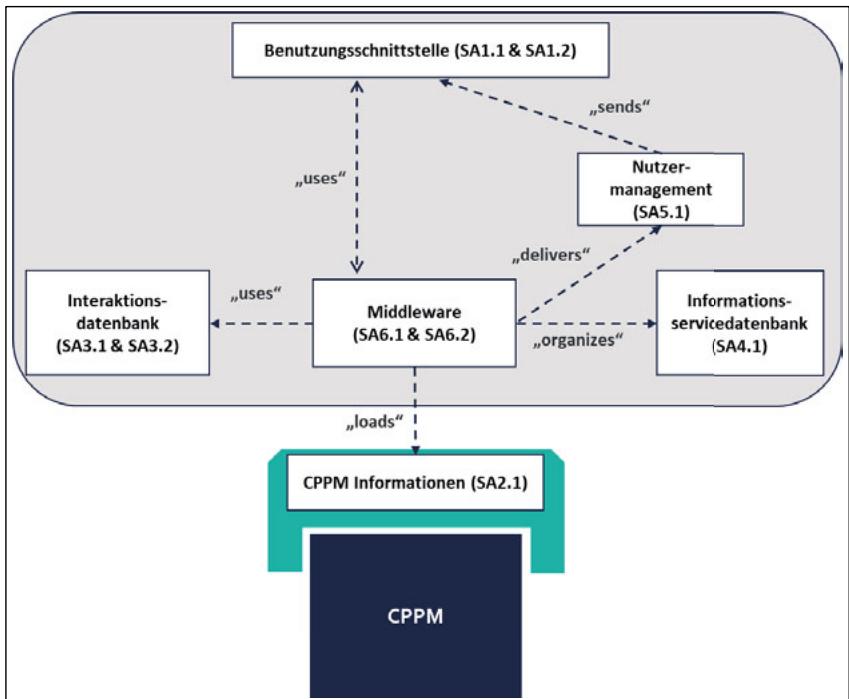


Abbildung 41: Grob-Systemstruktur als Grundlage zur Bereitstellung von Informationsservices \vec{x}_n

4.4 Modellierung der Teilsystemkomponenten

Ziel dieses Kapitels, ist es die Grob-Systemstruktur tiefergehend zu modellieren. Hierzu wird jede Teilsystemkomponente im Sinne eines **Separation of Concerns** [Mi90] Ansatzes aus dem Software-Engineering einzeln modelliert, bevor im Nachgang die Schnittstellen und die Kommunikationsbeziehungen zwischen den Teilsystemkomponenten konzeptioniert werden. Zur Modellierung wird UML verwendet. Vertiefende Informationsmodelle (z.B. als UML-Klassendiagramme) schlagen eine konkrete Nomenklatur vor, wie eine solche Systemstruktur aufgebaut werden kann und bildet eine **Referenzstruktur** für eine mögliche Implementierung.

Die Teilsystemkomponenten werden anhand ihrer funktionalen Anforderungen hergeleitet. Zusätzlich erfolgt eine Beschreibung der konkreten Aufgabe einer jeden Teilsystemkomponente sowie des Beitrags zur Prozessrealisierung. Im Rahmen einer Schnittstellenbetrachtung wird dargelegt, mit welchen anderen Teilsystemkomponenten zur Erfüllung der Prozessbeschreibung interagiert wird.

4.4.1 Benutzungsschnittstelle

Die Benutzungsschnittstelle realisiert die Verbindung zum Mitarbeiter und stellt die von der Systemstruktur notwendigen Informationen zur Bereitstellung der Informationsservices auf dem Shopfloor dar. Dabei bildet die *Benutzungsschnittstelle* eine der Grenzen der Systemstruktur und steht der Umwelt (dem Nutzer) zur Verfügung (z.B. über ein mobiles Endgerät). Die Abgrenzung zur Umgebung ist in Abbildung 42 aufgezeigt.

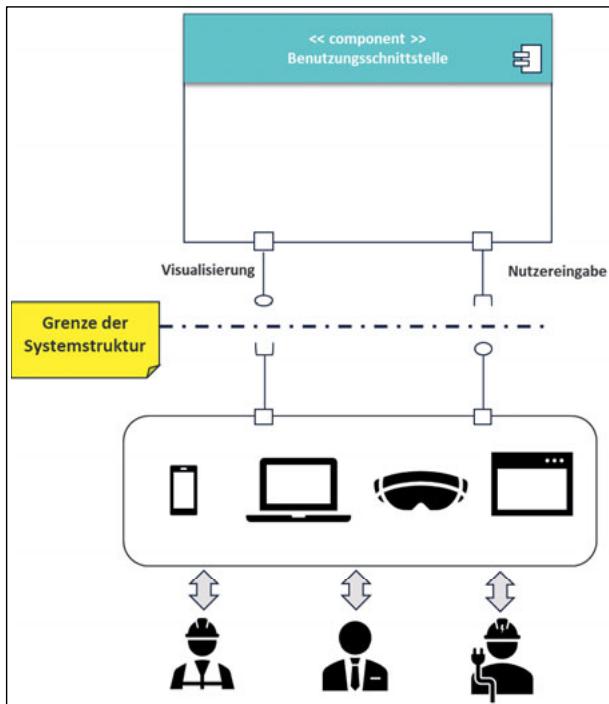


Abbildung 42: Abgrenzung der Benutzungsschnittstelle zur Umgebung

Aufgaben- und Funktionsbeschreibung:

Die *Benutzungsschnittstelle* stellt die Systemstruktur für den Benutzer bereit, über die er sich anmelden kann. Ferner ermöglicht die *Benutzungsschnittstelle* die Darstellung der Standardanzeige des Nutzers und bietet an, Informationsservices \vec{x}_n anzulegen und zu löschen. Sie führt den Benutzer visuell durch den Prozess des Anlegens, respektive Löschen, eines Informationsservice \vec{x}_n und stellt nach jedem Prozess die aktualisierte Standardanzeige zur Nutzung der Systemstruktur wieder her.

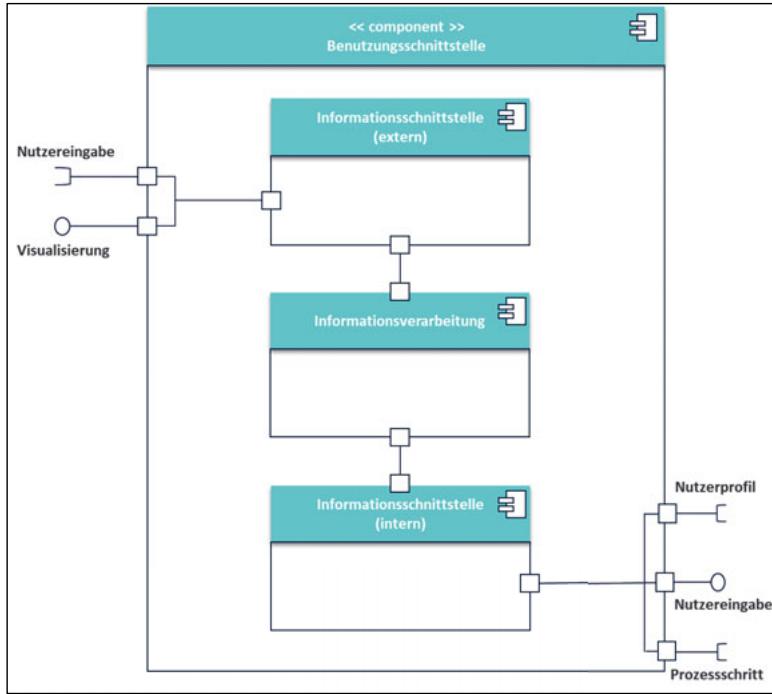


Abbildung 43: Komponentendiagramm der Benutzungsschnittstelle der Systemstruktur

Dabei lassen sich wie in Abbildung 43 dargestellt drei Teilbereiche identifizieren:

A. **Informationsschnittstelle (intern)**

- Sendet nach Nutzereingabe der nutzerspezifischen Login-Daten diese Informationen an das *Nutzermanagement*.
- Bekommt das aktuelle Nutzerprofil R_n des Nutzers vom *Nutzermanagement* übermittelt.
- Empfängt die CPPM „Informationen b“ und die „Interaktionen c“ von der *Middleware* im Prozess zur Erstellung eines Informationsservices \vec{x}_n .
- Sendet die Nutzereingaben im Prozess des Anlegens oder Löschens eines Informationsservices \vec{x}_n an die *Middleware*.
- Empfängt die Prozessschritte im Rahmen des Anlegens oder Löschens eines Informationsservices \vec{x}_n von der *Middleware*.

B. **Informationsverarbeitung**

- Verbindet die interne und externe Informationsschnittstelle der Benutzungsschnittstelle.
- Verarbeitet die Prozessschritte der *Middleware* und kann diese nach b, c, \vec{x}_n und R_n unterscheiden.

- Interpretiert das eingehende Nutzerprofil, welches vom *Nutzermanagement* an die Informationsschnittstelle (intern) übermittelt wird.
- Erkennt die Nutzereingaben, die über ein (mobiles) Endgerät vom Nutzer eingegeben werden und leitet diese zur Informationsschnittstelle (intern) weiter.

C. Informationsschnittstelle (extern)

- Visualisiert die Standardanzeige und die Prozessschritte zum Anlegen und Löschen eines Informationsservice \vec{x}_n (in Bezug zu Kapitel 4.2), wie in Tabelle 4 dargestellt.
- Reagiert auf Nutzereingaben und leitet diese an die Informationsverarbeitung weiter

Tabelle 4: Übersicht der zu visualisierenden Prozessschritte für den Nutzer

Prozessschritt	Löschen von \vec{x}_n	Anlegen von \vec{x}_n
Schritt 1	Standardanzeige des jeweiligen Nutzerprofils R_n	Standardanzeige des jeweiligen Nutzerprofils R_n
Schritt 2	Bearbeitungsmodus	Auswahlmodus „Information b“
Schritt 3	Informationsservice löschen	Auswahlmodus „Interaktion c“
Schritt 4	Bestätigung „Informationsservice \vec{x}_n “ gelöscht	Bestätigung „Informationsservice \vec{x}_n “ angelegt
Schritt 5		Nutzerprofil aktualisiert
Schritt 6		Aktualisierte Standardanzeige

Funktionale Anforderungen und Evaluationskriterien (FAE):

- **FAE1:** Bidirektionale Kommunikation
Der Nutzer kann über das User Interface mit der Systemstruktur interagieren, Eingaben tätigen und sich selbstbestimmt durch den Prozess navigieren. Die Systemstruktur reagiert auf die Nutzereingaben.
- **FAE2:** Visualisierung der Prozessschritte und Standardanzeige
Das User Interface ist für die Visualisierung des jeweiligen Prozessschritts und der Standardanzeige verantwortlich, sodass Informationen in einer menschenlesbaren Form abgebildet sind.

Schnittstellen zu anderen Teilsystemkomponenten:

- Middleware
- Nutzermanagement

4.4.2 CPPM Informationen

In Abgrenzung zur Benutzungsschnittstelle bildet die Teilsystemkomponente *CPPM Informationen* die unmittelbare Schnittstelle zum CPPM. Die CPPM Informationen als Teilsystemkomponente stellt die anfallenden Informationen aus dem laufenden Produktionsprozess oder über den Maschinenzustand zur Verfügung.

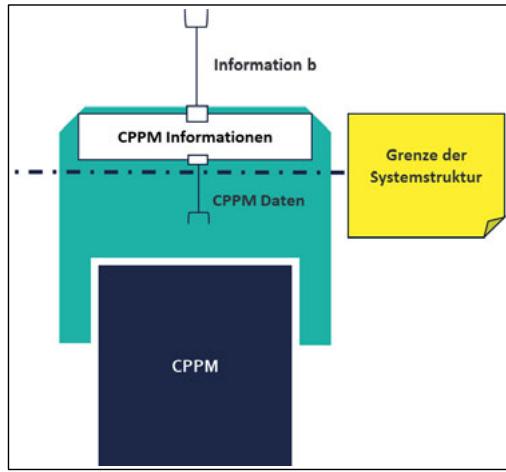


Abbildung 44: Abgrenzung der Teilsystemkomponente CPPM Informationen und der Systemstruktur zum Rest des CPPM

Diese Teilsystemkomponente kann als Teil einer Verwaltungsschale eines CPPM interpretiert werden, indem die Daten eines CPPM in einem einheitlichen Format für die Systemstruktur bereitgestellt werden. Abbildung 44 zeigt dabei die Grenze der Systemstruktur auf.

Insbesondere geht es hierbei um die Schnittstelle der Systemstruktur mit dem Cyber-System des CPPM, welches die (physische) Informationsschnittstelle des Produktionsmoduls repräsentiert. Die Schnittstelle dieser Teilsystemkomponente sowie der interne Aufbau sind in Abbildung 45 visualisiert.

Aufgabe und Funktionsbeschreibung:

Im Rahmen der Systemstruktur bildet die Teilsystemkomponente *CPPM Informationen* die Schnittstelle zum CPPM und kann die Informationen empfangen, die vom CPPM in einer einheitlichen, herstellerübergreifenden Struktur angeboten werden. Innerhalb der Systemstruktur stellt diese Teilsystemkomponente, die für die Erstellung der Informationsservices notwendige „Information b“ des Produktionsmoduls bereit.

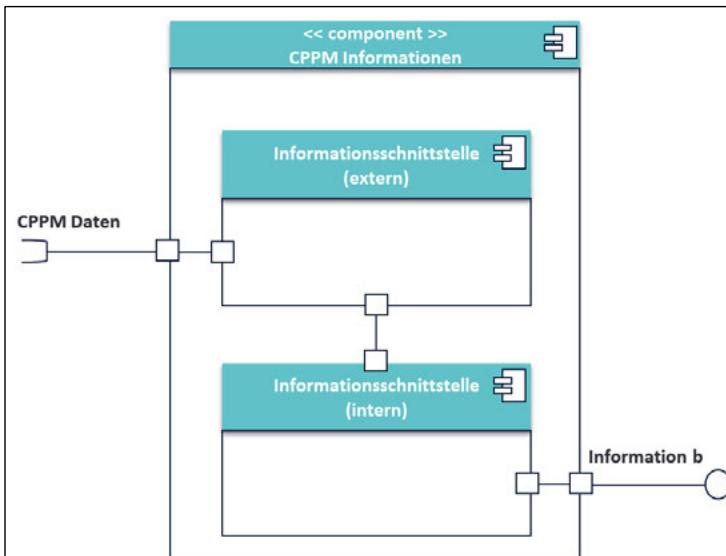


Abbildung 45: Komponentendiagramm der Teilsystemkomponente CPPM Informationen der Systemstruktur

Die Teilsystemkomponente ist selbst weiter unterteilt in eine Informationsschnittstelle (extern), die für die Kommunikation zwischen der Systemstruktur und den CPPM Daten verantwortlich ist sowie in eine Informationsschnittstelle (intern), welche die „Information b“ des Informationsservices \vec{x}_n innerhalb der Systemstruktur austauscht.

A. Informationsschnittstelle (extern)

- Ist mit dem CPPM über ein herstellerübergreifendes Informationsprotokoll verbunden.
- Ist mit dem CPPM über genau eine informationstechnische Schnittstelle verknüpft.
- Kann CPPM Daten in einem einheitlichen, semantischen Format von dem CPPM empfangen.

B. Informationsschnittstelle (intern)

- Stellt die „Information b“ in einem einheitlichen, semantischen Format der Systemstruktur bereit.
- Bietet im Prozess der Erstellung eines Informationsservices \vec{x}_n die im Prozessschritt Auswahlmodus „Information“ b angezeigten Informationen des CPPM an. Es werden alle Informationen des CPPM bereitgestellt, die im beschriebenen einheitlichen, semantischen Format vorliegen.
- Stellt den Informationsservices \vec{x}_n der Standardanzeige die aktuellen Werte des CPPM zur Verfügung.

Bezüglich **Informationsklassen** in der modularen Produktionsumgebung ist es notwendig, diese herzuleiten. Zu Beginn müssen alle verfügbaren Informationen analysiert werden, die in einer modularen Produktionsumgebung zur Verfügung stehen. Durch eine anschließende Klassifizierung kann sichergestellt werden, dass dezentral entstehende Informationen strukturiert werden können. Strukturierte und klassifizierte Informationen können dann aufgaben- und rollenorientiert individuell optimiert werden.

Die Verwaltungsschale eines jeden CPPM ist dafür verantwortlich, die Daten aufzubereiten und in Form von Informationsklassen bereitzustellen. Für jede spezifische Informationsklasse ist ein unternehmensspezifisches Template zu erstellen, welches im Sinne eines Bibliothekskonzeptes [Ol17] verwaltet werden kann. Damit kann sichergestellt werden, dass die Templates sowohl für CPPM als auch für Mitarbeiter, einheitlich bereitgestellt werden. Eine Ausarbeitung des Bibliothekskonzeptes ist nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Zur Modellierung und Abgrenzung der unterschiedlichen Informationsklassen in der modularen Produktion wird wie folgt vorgegangen:

- Cyber-Physische Produktionsmodule: Von einer technischen Seite können mithilfe des Bottom-Up Prinzips die bereits existierenden CPPM betrachtet werden, welche Aufschlüsse über real anfallende Daten und Informationen geben. [Ri17], [MKW17]
- Prozessbeschreibung: Aus abstrakten Beschreibungen von Produktionsprozessen im Bereich Cyber-Physischer Produktionssysteme sowie bestehender Normen, können weitere Informationsklassen extrahiert werden. [Lo13], [DIN13]
- Informationsklassen anderer Branchen: Die Erkenntnisse aus CPPM und abstrakter Prozessbeschreibungen bilden den Input für die modulare Produktion. Diese Erkenntnisse werden in einem letzten Schritt mit bereits existierenden Informationsklassen aus anderen Branchen angereichert. [LLK15]

Abbildung 46 stellt die strukturierten Informationsklassen für die modulare Produktionsumgebung zusammenfassend dar.

Die modellierten Informationsklassen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, bieten jedoch eine Möglichkeit, Informationen explizit einer Klasse zuzuordnen. In der modularen Produktion lassen sich grundlegend zwei Arten von Informationen beschreiben: Modulinformationen als Informationen über die technische Gegebenheit auf dem Shopfloor und Prozessinformationen, die den zu realisierenden Produktionsprozess beschreiben.

Die untere Ebene beschreibt jeweils eine Konkretisierung der darüberliegenden. Im Rahmen von Kapitel 5 werden die Informationsklassen der untersten Ebene weiter konkretisiert und instanziert.

Für die weitere Betrachtung werden Informationen im Sinne von Prozessinformationen (s. Abbildung 46) nicht weiter betrachtet. Dies lässt sich dadurch begründen, dass diese Informationen in der Regel aus übergelagerten IT-Systemen kommen (z.B. Auftragsinformationen aus einem *Manufacturing Execution System*), die hier modellierte

Systemstruktur jedoch Mitarbeiter auch ohne IT-Systeme und -Infrastruktur unterstützen können muss.

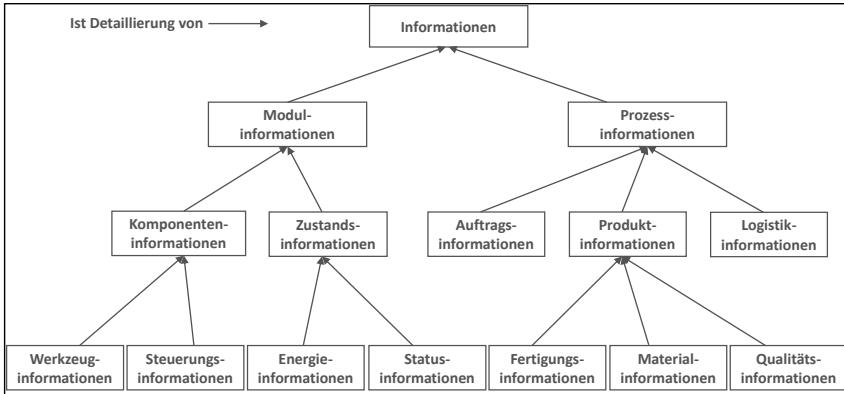


Abbildung 46: Informationsklassen in der modularen Produktion in Anlehnung an [BMR19]

Die Modulinformationen, welche folglich weiterhin betrachtet werden, sind zusammenfassend in Abbildung 47 abgebildet. Beispielsweise fallen unter Steuerungsinformationen die Sensor- und Aktorinformationen eines Produktionsmoduls.

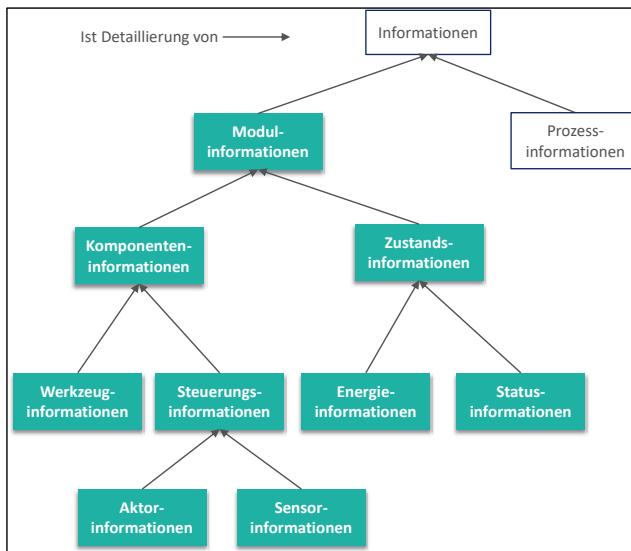


Abbildung 47: Übersicht der Informationsklassen zur Bereitstellung innerhalb der Systemstruktur

Nachdem die grundlegenden Informationsklassen modelliert und strukturiert wurden, ist es notwendig ein abstraktes Template für die Informationsmodellierung zu generieren. Durch

die Bereitstellung eines abstrakten Template soll eine einheitliche, semantische Form der „Information b“ innerhalb der Systemstruktur garantiert werden.

Eine „Information b“ für die Systemstruktur soll im Folgenden abstrakt herausgearbeitet werden:

Zu Beginn wird vorausgesetzt, dass jede Information eindeutig identifizierbar und von anderen Informationen abgrenzbar ist. Es ist notwendig eine **Identifikationsnummer** (ID) im Template vorzuhalten. Weiterhin ist es notwendig eine Beschreibung des **Zielpfades** zu hinterlegen, an dem die grundlegenden Daten für die „Information b“ abgelegt sind. Um eine menschenlesbare Darstellungsform der „Information b“ zu garantieren, wird eine klare und einheitliche Darstellung benötigt: **Name**, **Wert** und **Einheit**. Ergänzt werden diese drei Einträge durch eine **Beschreibung**, die bei ähnlichen Einträgen zusätzliche Inhalte für den Mitarbeiter vorhalten kann. Um eine reine Anzeige von Werten für die Systemstruktur interpretierbar zu machen, soll ein Eintrag für den **Maximal-** und **Minimalwert** vorgesehen werden. Abbildung 48 visualisiert die theoretische Beschreibung.

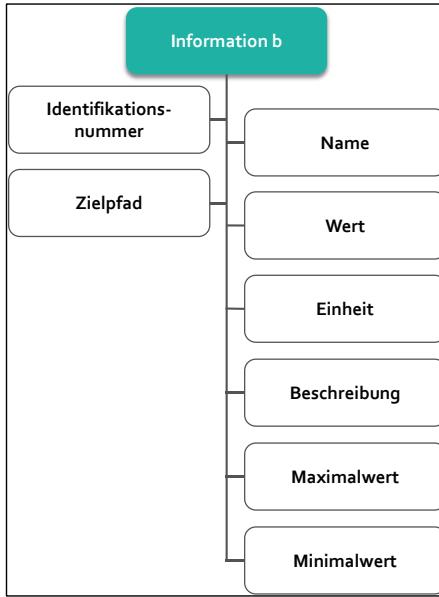


Abbildung 48: Abstrakte Beschreibung der Information b innerhalb der Systemstruktur

Die abstrakte Beschreibung wird zur Realisierung einer Referenzstruktur um notwendige, implementierbare Attribute und Datentypen einer „Information b“ ergänzt (s. Abbildung 49).

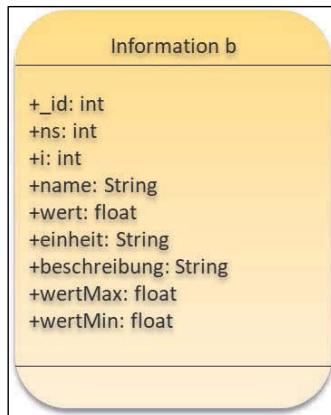


Abbildung 49: Klassendiagramm für die Beschreibung der „Information b“ zur einheitlichen Implementierung

Diese Grundstruktur wird in Kapitel 5 an unterschiedliche Informationsklassen angepasst und konkret instanziert. Tabelle 5 beschreibt die vorgestellten Attribute aus Abbildung 49 näher. Das abstrakte Attribut *Zielpfad* wird für die Implementierung in zwei Attribute *ns* und *i* weiter unterteilt, wobei *ns* den Informationsknoten in Form eines CPPMs und *i* das konkrete Informationselement des CPPMs beschreibt.

Tabelle 5: Beschreibung der Attribute innerhalb der Information b

Attribut	Typ	Beschreibung
_id	int	Eindeutige Identifizierungsnummer einer spezifischen Information b.
ns	int	Ausgewählter Informationsknoten, welcher hier für ein bestimmtes CPPM steht.
i	int	Ausgewähltes Informationselement eines Informationsknotens ns.
name	String	Menschenlesbare Namensgebung der Information
wert	float	Gibt den zugehörigen Wert der Modulinformation an (z.B. Temperatur). Für Werte wie „Maschinenstatus“ kann auch ein String als Typ verwendet werden.
einheit	String	Gibt für den vorher beschriebenen Wert die dazugehörige physikalische Einheit an.

beschreibung	String	Textuelle dargestellte tiefergehende Informationen zur konkreten „Information b“ (z.B. Hersteller der Komponente).
wertMax	float	Stellt den maximalen Wert einer „Information b“ dar, welcher nicht überschritten werden soll (z.B. Überhitzungsgefahr bei zu hoher Temperatur).
wertMin	float	Repräsentiert den minimalen Wert einer „Information b“ dar, welcher nicht unterschritten werden soll.

Funktionale Anforderungen und Evaluationskriterien (FAE):

- **FAE3:** Semantisch beschriebene Informationen
Damit die Informationen menschenlesbar dargestellt werden, müssen sie einheitlich semantisch abgebildet sein und Beschreibungen liefern, aus denen unmittelbar eine Visualisierung für den Menschen generiert werden kann.
- **FAE4:** Herstellerübergreifende Informationsbereitstellung
Die Informationen müssen mittels eines herstellerübergreifenden Kommunikationsprotokolls übermittelt werden, um eine Anwendung in einer modularen Produktionsumgebung zu ermöglichen.

Schnittstellen zu anderen Teilsystemkomponenten:

- Middleware

4.4.3 Interaktionsdatenbank

Die *Interaktionsdatenbank* hat im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Teilsystemkomponenten keine Schnittstellen zur Umwelt der Systemstruktur.

Im Prozess zur Erstellung eines Informationsservice \vec{x}_n wird im Teilschritt Auswahlmodus „Interaktion c“ die entsprechende Interaktion angeboten. Die *Interaktionsdatenbank* beinhaltet alle in der Systemstruktur hinterlegten und gespeicherten Interaktionen, in einer einheitlichen Form. Sie fungiert im Prozess als zentrale Anlaufstelle zur Abfrage der Systemstruktur, welche Interaktionen vorhanden sind und welche Eigenschaften diese besitzen. Die *Interaktionsdatenbank* kann im Wesentlichen in zwei Komponenten unterteilt werden, wie in Abbildung 50 dargestellt.

Aufgabe und Funktionsbeschreibung:

Die zur Bereitstellung von Informationsservices \vec{x}_n notwendigen Interaktionen sind in der *Interaktionsdatenbank* gespeichert. Auf der einen Seite bietet diese einen Speicherort, in dem Interaktionen in einem standardisierten Format hinterlegt sind. Hierdurch wird sichergestellt,

dass die Interaktionen einheitlich modelliert sind und von der Systemstruktur verarbeitet werden können.

Auf der anderen Seite müssen diese dort (fest) hinterlegten Interaktionen der Systemstruktur zugänglich gemacht werden. Für den Prozess des Anlegens eines Informationsservices \vec{x}_n bietet die *Interaktionsdatenbank* die Gesamtheit der gespeicherten Interaktionen für den Nutzer an. Innerhalb der Systemstruktur können die Eigenschaften einer „Interaktion c“ aufgelöst und für die Erstellung bzw. die Interaktionsform der Informationsservices \vec{x}_n interpretiert werden.

Die Erstellung der Interaktionen sowie das Ablegen in der *Interaktionsdatenbank* sind explizit nicht Aufgabe des Nutzers. Interaktionen werden indem nachfolgend beschriebenen Format von einem Systemadministrator angelegt und verwaltet.

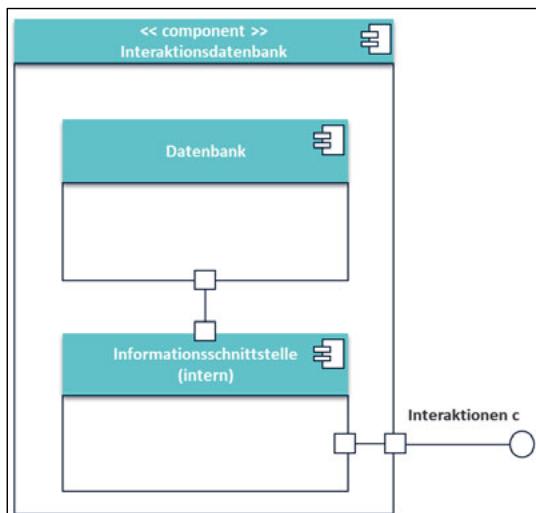


Abbildung 50: Komponentendiagramm der Interaktionsdatenbank

A. Datenbank (Registry)

- Ist der Speicherort für die im Rahmen des Prozesses auszuwählenden „Interaktion c“.
- Stellt den standardisierten Ablageort für einheitlich modellierte Interaktionen dar.
- Ist durch die interne Informationsschnittstelle erreichbar und darüber mit der Systemstruktur verbunden.

- Kann mithilfe des Systemadministrators durch zusätzliche Interaktionen ergänzt werden, sofern diese wie vorgegeben modelliert sind (z.B. um die Interaktionen an zukünftige Nutzeranforderungen anpassen zu können).
 - Interaktionen können durch den Administrator der Systemstruktur gelöscht bzw. entfernt werden (z.B. um Interaktionen auszusortieren, die keine Relevanz mehr besitzen).
- B. Interne Informationsschnittstelle
- Liefert die gespeicherten Interaktionen zur Erstellung eines Informationsservices \vec{x}_n .
 - Verbindet die in der Datenbank (fest) hinterlegten Interaktionen mit der Systemstruktur.
 - Kann bei der Datenbank Interaktionen abfragen und zur Weiterverarbeitung/-verwendung an die Systemstruktur weiterleiten.

Die Interaktion ist die Schlüsselkomponente, an derer sich die Darstellung, die Häufigkeit der Aktualisierung sowie das Mitarbeiterfeedback orientiert.

Unter der **Darstellung** werden die **Dauer** sowie die **Art und Weise** der Informationsanzeige verstanden. Sie beschreiben die Informationsdarstellung (z.B. visuell) für den Mitarbeiter auf dem Shopfloor. Die **Häufigkeit der Aktualisierung** beschreibt, in welchen zeitlichen Abständen die Information für den Mitarbeiter zu aktualisieren ist. Beispielhafte Ausprägungen können zyklisch, intervallbasiert, eventbasiert oder auf Mitarbeiteranfrage sein. Die Interaktion beinhaltet weiterhin, ob eine Reaktion des Mitarbeiters (**Mitarbeiterfeedback**) erforderlich ist (z.B. bei einer Überschreitung eines Grenzwertes). Mögliche Ausprägungen sind hier z.B. Bestätigen (Quittieren), kein Feedback notwendig oder die Einstellung einer Zeitspanne, nach der die Nachricht automatisch bestätigt wird. Die abstrakte Beschreibung der Interaktion ist in Abbildung 51 zusammengefasst.

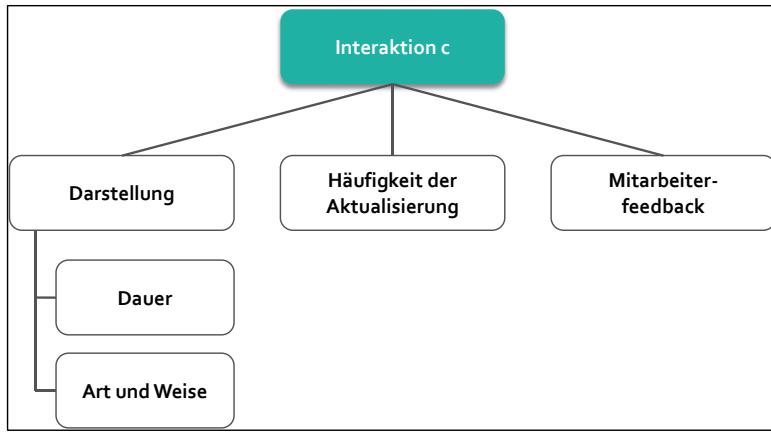


Abbildung 51: Abstrakte Beschreibung der Interaktion c der Systemstruktur

Ein Anspruch der Systemstruktur ist es, bei dem Mitarbeiter ein *Information Overload* zu verhindern. Zwar soll weiterhin der Mitarbeiter selbstbestimmt Informationen auswählen können, jedoch soll über die Interaktion eine Möglichkeit bestehen, dass der Informationsservice für den Mitarbeiter nicht permanent angezeigt werden muss. So kann über die Interaktion ein Informationsservice angelegt werden, dieser muss jedoch nicht für den Mitarbeiter permanent dargestellt sein. Die Begründung dafür ist, dass manche Informationen (z.B. ein Temperaturwert) nur in bestimmten Fällen, wie beispielsweise bei einer Grenzwertüberschreitung relevant sind.

Im Folgenden werden zwei Interaktionsklassen grundlegend unterschieden und zwar Interaktionen, die

- a) eine **permanente** Darstellung der Information in der Standardanzeige bedingen.
 - b) eine **zweckorientierte** Darstellung der Information, die nur anhand eines definierten Events erfolgt.

Zur Modellierung der Interaktionen werden für diese zwei Klassen von Interaktionen unterschiedliche Attribute zur Beschreibung benötigt. Beide Interaktionsklassen sind Unterklassen der Interaktion, welche **Identifikationsnummer**, **Name** und **Klasse** für eine eindeutige und nutzerfreundliche Zuordnung bereitstellen muss. Die Unterklassen ergeben sich aus der Klasse 1 (permanente Interaktion) und Klasse 2 (zweckorientierte Interaktion).

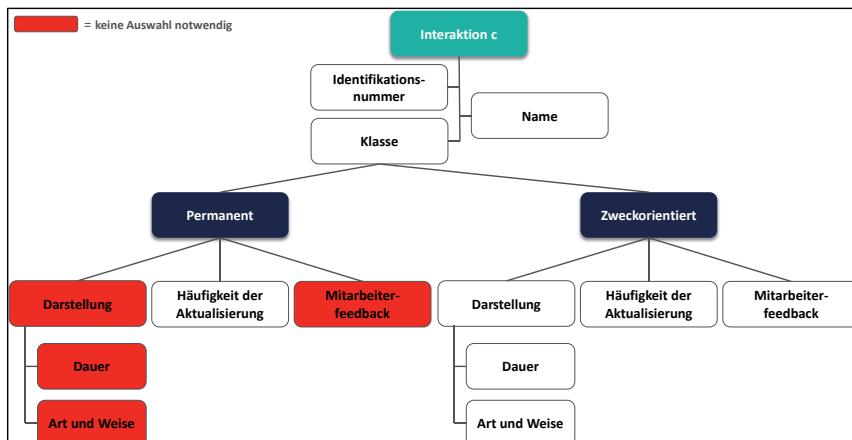


Abbildung 52: Spezifizierung und Aufteilung der Interaktion c in Interaktionsklassen

Die rot markierten Felder zeigen die Aktionen, die vom Systemadministrator nicht bearbeitet werden müssen. Dies lässt sich dadurch begründen, dass Interaktionen der Klasse 1 dauerhaft für den Mitarbeiter in seiner Standardanzeige in einer standardisierten Art und Weise angezeigt werden sollen, ohne dass es eines Feedbacks bedarf. Der Einfluss der Klasse soll anhand der Auswahl der Interaktion im Prozess beschrieben werden:

Bei der Zusammenstellung des Informationsservice \vec{x}_n entscheidet die Auswahl der Interaktion darüber, ob \vec{x}_n permanent in der Standardanzeige für den Nutzer dargestellt wird oder nicht. Somit ist bei dem Prozessschritt „Bestätigung“ eine Unterscheidung zu treffen, je nachdem welcher Klasse die Interaktion angehört.

Nach der Auswahl der Interaktion durch den Nutzer, muss die Systemstruktur die hinterlegte Interaktion in der Interaktionsdatenbank anhand ihrer Klasse interpretieren. Innerhalb der Systemstruktur findet ein Entscheidungsprozess in Abhängigkeit der Interaktion c statt, wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

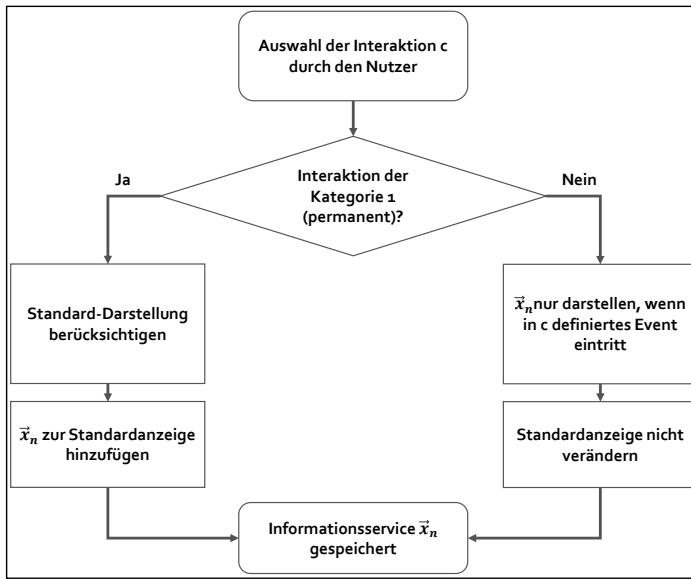


Abbildung 53: Entscheidungsprozess zur Aktualisierung der Standardanzeige anhand der Interaktionsklasse

Da die permanente Interaktion in der Standardanzeige automatisch abgebildet wird, werden die Standardeinstellungen für die Darstellung herangezogen. Die Häufigkeit der Aktualisierung kann nach wie vor festgelegt werden, wohingegen die Notwendigkeit eines Mitarbeiterfeedbacks entfällt. Bei der zweckorientierten Interaktion erfolgt die Darstellung einer Information nur genau dann, wenn ein in der Interaktion spezifiziertes Event eintritt (z.B. Grenzwertüberschreibung). Für diesen Fall ist die Darstellung, die Häufigkeit der Aktualisierung sowie das Mitarbeiterfeedback vom Systemadministrator zu bestimmen.

Da die Selbstbestimmung des Mitarbeiters auf dem Shopfloor im Vordergrund der Betrachtung steht, soll dieser in der Lage sein, sich bei Änderungswünschen oder der Erstellung von neuen Interaktionen an den Systemadministrator zu wenden. In diesem Zuge soll beispielhaft ein Design-Prozess zur Erstellung der Interaktion durch den

Systemadministrator aufgezeigt werden. Die Entscheidungsmöglichkeiten für den Systemadministrator werden anhand der Abbildung 54 aufgezeigt.

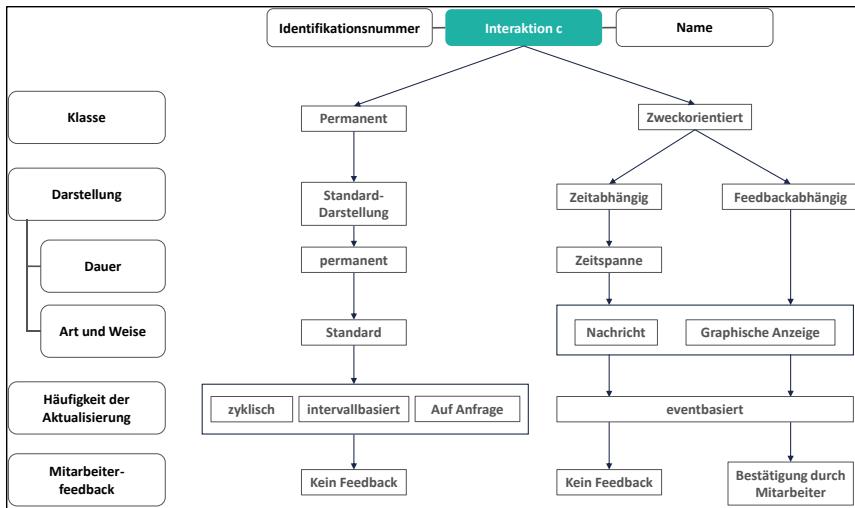


Abbildung 54: Design-Entscheidungen des Systemadministrators bei der Erstellung der Interaktionen c

Zu Beginn des Design-Prozesses wird ein Name für die Interaktion durch den Systemadministrator festgelegt. Die Identifikationsnummer wird automatisiert von der Interaktionsdatenbank anhand der bereits bestehenden Einträge vergeben. Die erste Design-Entscheidung besteht darin, die Klasse der Interaktion auszuwählen.

Für den Fall der permanenten Interaktion, muss für die Darstellung und das Mitarbeiterfeedback keine Auswahl getroffen werden, da diese in der Standardanzeige fest definiert sind. Bei der Häufigkeit der Aktualisierung kann jedoch zwischen *zyklisch*, *intervallbasiert* und *Auf Anfrage* ausgewählt werden.

Bei einer zweckorientierten Interaktion ist im Erscheinungsbild zwischen einer *zeitabhängigen* und einer *feedbackabhängigen* Darstellung zu unterscheiden. Die zeitabhängige Darstellung definiert eine Zeitspanne, nach der die *Nachricht* oder die *Graphische Anzeige* in einer festgelegten Zeit automatisch bestätigt und nicht mehr dargestellt wird. Bei der feedbackabhängigen Darstellung wird die Nachricht oder die Graphische Anzeige solange dargestellt, bis eine Bestätigung durch den Mitarbeiter erfolgt. Die Entscheidung, wann es zu einer Darstellung für den Mitarbeiter kommt, wird eventbasiert bestimmt. Dies bedeutet, es muss durch den Systemadministrator ein Event spezifiziert werden, bei dessen Eintreffen es zu einer Darstellung der Information kommt (z.B. Überschreitung eines Grenzwertes).

Zur Bereitstellung einer Referenzstruktur sind die Interaktion sowie die Interaktionsklassen in UML spezifiziert (s. Abbildung 55).

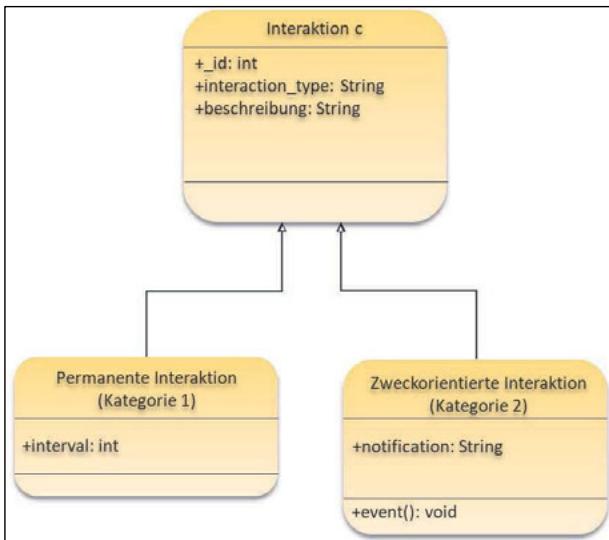


Abbildung 55: Klassendiagramm der möglichen Interaktionen innerhalb der Systemstruktur

Tabelle 6 beschreibt die einzelnen Attribute der Interaktionen der Referenzstruktur detaillierter und ist als Ergänzung zu Abbildung 55 zu betrachten.

Tabelle 6: Beschreibung der Attribute zur Interaktionsgestaltung

Attribut	Typ	Beschreibung
_id	int	Eindeutige Identifizierungsnummer einer jeden modellierten Interaktion.
Interaction_type	String	Gibt der Interaktion eine Bezeichnung, die dem Nutzer zum einfacheren Verständnis angezeigt wird.
beschreibung	String	Ausführliche Beschreibung der konkreten Funktion der Interaktion c für den Nutzer.
notification	String	Nachricht, die dem Nutzer angezeigt werden soll, sofern das dazugehörige Event Eintritt.
event()	void	Bei der zweckorientierten Interaktion ist hier das konkrete Ereignis definiert, bei dem eine Information dem Nutzer dargestellt werden soll.
interval	int	Bestimmt für permanente Interaktionen, wie oft Informationen aktualisiert werden müssen: zyklisch, in einem bestimmten Zeitintervall oder auf Nutzeranfrage.

In Abgrenzung dazu hält die Interaktionsdatenbank keine fest vorgegebenen Interaktionen für den Betrieb (s. Vielzahl möglicher Kombinationen). Durch ihre Flexibilität liegt die Ausgestaltung der Interaktionen beim Systemadministrator, welcher flexibel und standardisiert auf die Nutzerbedürfnisse eingehen kann.

Funktionale Anforderungen und Evaluationskriterien (FAE):

- **FAE5:** Bereitstellung einheitlich strukturierter Interaktionen

Durch eine einheitliche Struktur der Interaktionen wird es ermöglicht, im Betrieb der Systemstruktur neue, innovative Interaktionen modular hinzuzufügen und auf die Nutzeranforderungen im Betrieb einzugehen.

- **FAE6:** Flexibel abrufbare Interaktionen

Die hinterlegten Interaktionen müssen von der Systemstruktur sowohl innerhalb des Prozesses als auch in der Standardanzeige flexibel zugänglich sein und zur Interpretation für andere Teilsystemkomponenten zur Verfügung stehen.

Schnittstellen zu anderen Teilsystemkomponenten:

- Middleware

4.4.4 Informationsservicedatenbank

In dieser Teilsystemkomponente werden die Informationsservices \vec{x}_n administriert. Die *Informationsservicedatenbank* ist in den Prozess zur Erstellung von \vec{x}_n involviert, sobald der Nutzer eine „Interaktion c“ auswählt. Der Informationsservice \vec{x}_n kann unmittelbar im Anschluss an diesen Schritt erstellt werden. Durch den angemeldeten, bedienenden Nutzer ist a bekannt; die im vorherigen Prozessschritt gewählte „Information b“ ebenfalls, sodass die „Interaktion c“ das dritte Element zur Erstellung von \vec{x}_n komplettiert. Der Informationsservice \vec{x}_n wird daraufhin zusammengesetzt und in der *Informationsservicedatenbank* abgespeichert.

Die *Informationsservicedatenbank* beinhaltet alle bereits angelegten \vec{x}_n eines CPPM und jeder Nutzer der Systemstruktur kann sowohl neue \vec{x}_n hinzufügen, als auch bestehende aus dem Nutzerprofil löschen. Sie besteht äquivalent zur *Interaktionsdatenbank* aus zwei Komponenten, wie Abbildung 56 zeigt.

Aufgabe und Funktionsbeschreibung:

Die in Abbildung 56 gezeigten Komponenten bilden die *Informationsservicedatenbank*, welche in der Systemstruktur für die Verwaltung der Informationsservices \vec{x}_n verantwortlich ist. Während die Datenbank die Struktur zum Ablegen und einen zentralen Ablageort für alle \vec{x}_n über alle Nutzer hinweg vorgibt, ist die interne Informationschnittstelle für den Austausch mit der Systemstruktur verantwortlich. Diese kann neu angelegte \vec{x}_n empfangen sowie die aktuellen \vec{x}_n auf Anfrage an die Systemstruktur bereitstellen oder auf Befehl hin löschen.

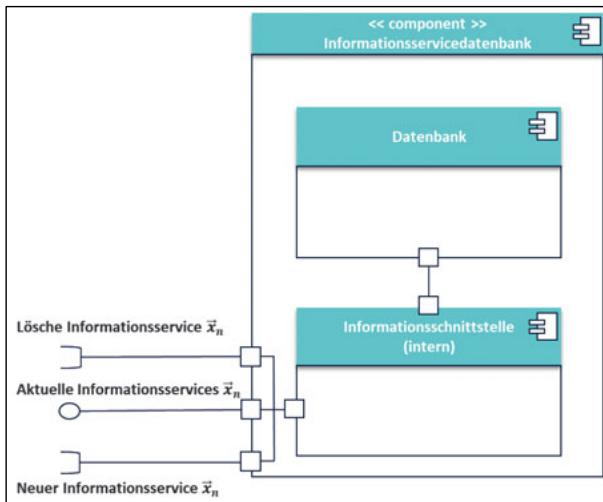


Abbildung 56: Komponentendiagramm der Informationsservicedatenbank

A. Datenbank

- Zentraler Speicherort, an dem alle für ein CPPM erstellten Informationsservices \vec{x}_n hinterlegt sind.
- Zentraler Speicherort, indem beim Prozess des Erstellens eines Informationsservices \vec{x}_n der entsprechende \vec{x}_n Eintrag des CPPM erstellt wird.
- Zentraler Speicherort, aus dem beim Prozess des Löschens eines Informationsservice \vec{x}_n der entsprechende \vec{x}_n Eintrag des CPPM gelöscht wird.
- Kann bei ausreichendem Speicherplatz um beliebig viele Informationsservices \vec{x}_n erweitert werden.
- Jeder Informationsservice \vec{x}_n innerhalb der Datenbank kann eindeutig identifiziert werden und ist stets individuell.
- Erstellte Informationsservices \vec{x}_n werden entsprechend der darin enthaltenen „Interaktion c“ in die Kategorien „permanent sichtbar“ und „zweckorientiert“ unterteilt.
- Ist durch die interne Informationsschnittstelle erreichbar und darüber mit der Systemstruktur verbunden.

B. Interne Informationsschnittstelle

- Nimmt die im Rahmen des Prozesses erstellten Informationsservice \vec{x}_n von der Systemstruktur entgegen und integriert diese in der Datenbank.
- Nimmt die Aufforderung des Nutzers zum Löschen eines Informationsservice \vec{x}_n entgegen und entfernt diesen aus der Datenbank.
- Verbindet die Systemstruktur mit der Gesamtheit aller Informationsservices \vec{x}_n eines CPPM in der Datenbank und kann diese auf Anfrage freigeben.

- Stellt bei Aufruf eines jeden Nutzerprofils R_n alle für dieses R_n hinterlegte \vec{x}_n der Systemstruktur bereit.

Mit Bezug zur formalen Systemgrenze der Systemstruktur (Kapitel 4.1.1) kann ein Informationsservice \vec{x}_n als eine Kombination aus **Mitarbeiter**, **Information** und **Interaktion** modelliert werden, was in Abbildung 57 erläutert ist. Jeder Informationsservice \vec{x}_n muss zudem über eine eindeutige **Identifikationsnummer** repräsentiert werden.

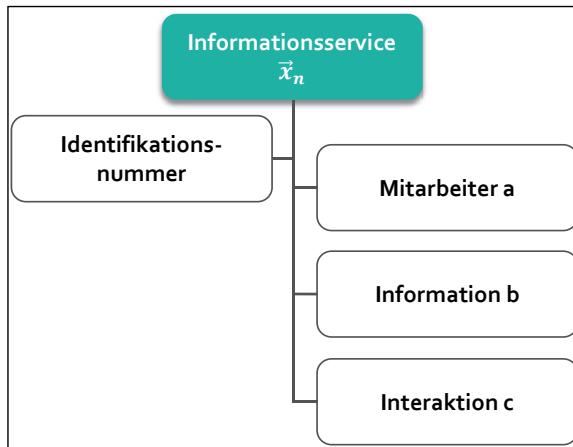


Abbildung 57: Abstrakte Beschreibung der Bestandteile eines Informationsservice \vec{x}_n

Zur Bereitstellung einer Referenzstruktur sind in Abbildung 58 die Attribute eines Informationsservice \vec{x}_n vertiefend zur abstrakten Beschreibung abgebildet. Diese Attribute geben die Einträge in der *Informationsservicedatenbank* an, die zwingend zur Realisierung der Systemstruktur vorhanden sein müssen.

Der Begriff *Nutzer* ist im Folgenden als äquivalent zu *Mitarbeiter* zu verstehen.



Abbildung 58: Klassendiagramm eines Informationsservices

Hierbei muss die ID der Informationsservices \vec{x}_n durchlaufend vergeben werden. So wird verhindert, dass beim Löschen eines Informationsservice \vec{x}_n diese ID erneut vergeben wird.

Tabelle 7: Beschreibung der Attribute eines Informationsservice

Attribut	Typ	Beschreibung
_id	int	Eindeutige Identifizierungsnummer eines Informationsservice \vec{x}_n .
UserID	int	Identifizierungsnummer des derzeit angemeldeten Nutzers a.
InformationID	int	Identifizierungsnummer der ausgewählten Information b.
InteractionID	int	Identifizierungsnummer der ausgewählten Interaktion c.

Funktionale Anforderungen und Evaluationskriterien (FAE):

- **FAE7:** Bereitstellung einheitlich strukturierter Informationsservices
Durch eine einheitliche Struktur der Informationsservices \vec{x}_n wird es anderen Teilsystemkomponenten ermöglicht, im Betrieb der Systemstruktur Informationsservices \vec{x}_n interpretieren zu können.
- **FAE8:** Flexibler Ablageort von Informationsservices
Ablageort, an dem jeder Informationsservice \vec{x}_n im Prozess abgelegt, gespeichert und wieder gelöscht werden kann.

Schnittstellen zu anderen Teilsystemkomponenten:

- Middleware

4.4.5 Nutzermanagement

Die Teilsystemkomponente *Nutzermanagement* ist für die Generierung und Verwaltung der unterschiedlichen Nutzerprofile R_n der Nutzer zuständig, wobei die Nutzer als Mitarbeiter auf dem Shopfloor zu sehen sind. Im Prozess zur Erstellung eines Informationsservice \vec{x}_n ist das *Nutzermanagement* bei der Anmeldung des Nutzers über die *Benutzungsschnittstelle* aktiv. Durch den Nutzer kann auf die exakte Person geschlossen werden, d.h. das a von \vec{x}_n ist unmittelbar bekannt. Alle in diesem Zuge erstellten Informationsservices \vec{x}_n können durch das feststehende a dem entsprechenden Nutzerprofil R_n zugeordnet werden. Wird ein Informationsservice \vec{x}_n aus einem Nutzerprofil herausgelöscht, wird das Nutzerprofil um dieses \vec{x}_n reduziert. Das *Nutzermanagement* ist im Prozess auch nach Erstellen bzw. Löschen eines \vec{x}_n involviert, da nach Abschluss des jeweiligen Prozesses das Nutzerprofil R_n aktualisiert werden muss. Das *Nutzermanagement* besteht aus zwei Komponenten, die in Abbildung 59 dargestellt sind.

Aufgabe und Funktionsbeschreibung:

Innerhalb der Systemstruktur bildet das *Nutzermanagement* die Teilsystemkomponente zur Verwaltung und Aktualisierung der Nutzerprofile R_n . Weiterhin ist diese Teilsystemkomponente dafür verantwortlich, die bereits erstellten Informationsservices \vec{x}_n

für ein entsprechendes Nutzerprofil R_n abzufragen und diese der *Benutzungsschnittstelle* zur Darstellung für den Nutzer weiterzuleiten.

Durch die Anmeldung des Nutzers ist diese Teilsystemkomponente in der Lage, das mit der Anmeldung verknüpfte Nutzerprofil R_n aufzurufen und die bereits erstellten Informationsservices über die *Middleware* abzurufen.

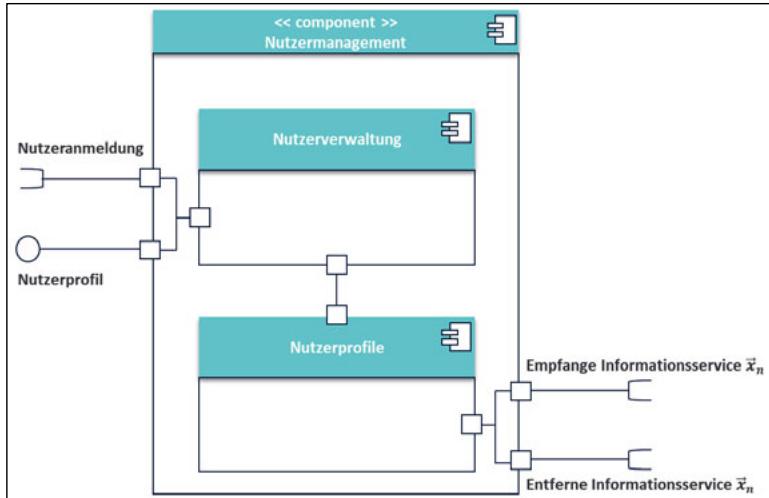


Abbildung 59: Komponentendiagramm des Nutzermanagements

A. Nutzerverwaltung:

- Verantwortlich für die Identifikation und das Management der Nutzerprofile R_n .
- Liefert das zu visualisierende Nutzerprofil an die *Benutzungsschnittstelle*.
- Kann durch die Anmeldung des Nutzers
 - i. das passende Nutzerprofil R_n eindeutig dem Nutzer zuordnen.
 - ii. ein neues Nutzerprofil R_n anlegen, sofern ein neuer (bisher unbekannter) Nutzer die Systemstruktur nutzt.
- Ist mit der Komponente Nutzerprofile verbunden und kann dort die aktuell in R_n hinterlegten Informationsservices \vec{x}_n des jeweiligen Nutzerprofils abfragen.

B. Nutzerprofile:

- Ordnet die Informationsservices \vec{x}_n einem Nutzerprofil R_n exakt zu.
- Kann neu erstellte Informationsservices \vec{x}_n in einem Nutzerprofil R_n hinzufügen bzw. daraus wieder entfernen.
- Empfängt bei der Anmeldung eines Nutzers die aktuellen Informationsservices \vec{x}_n .

- Ordnet die Informationsservices \vec{x}_n in der Reihenfolge ihrer zeitlichen Erstellung.
- Enthält zu jedem Nutzerprofil R_n eine entsprechende Liste aller damit verknüpften Informationsservices \vec{x}_n .
- Steht zur Aktualisierung der Informationsservices \vec{x}_n in enger Verbindung mit der Middleware der Systemstruktur.

Abbildung 60 fasst die abstrakte Beschreibung des Nutzers der Systemstruktur zusammen.

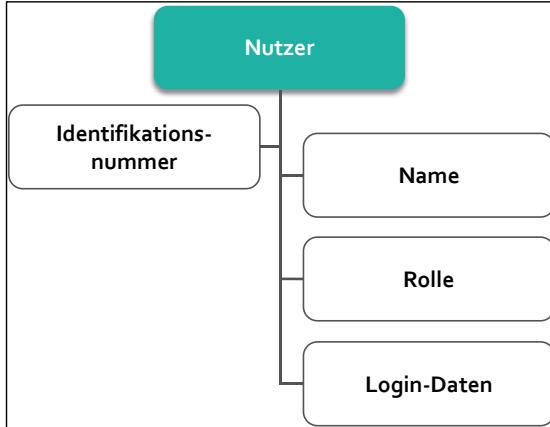


Abbildung 60: Abstrakte Beschreibung des Nutzers der Systemstruktur

Jeder Nutzer ist als Person mit seinem **Namen** und seiner Rolle, die als **Mitarbeiterrolle** im Unternehmen zu interpretieren ist, im System angemeldet. Durch die Notwendigkeit, sein eigenes Nutzerprofil zu schützen, müssen zudem **Login-Daten** vorhanden sein. Über eine **Identifikationsnummer** kann jeder Nutzer eindeutig in der Systemstruktur zugeordnet werden.

Aufbauend auf der Modellierung eines Nutzers müssen die folgenden Attribute zur Beschreibung einer Referenzstruktur vorhanden sein (s. Abbildung 61):

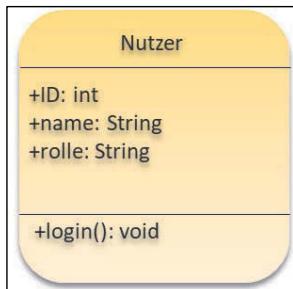


Abbildung 61: Klassendiagramm eines Nutzers innerhalb der Systemstruktur

Die darin notwendigen Attribute und Funktionen werden in Tabelle 8 ausführlich erläutert. Da jedes \vec{x}_n wiederum über eine ID eindeutig identifizierbar ist, besteht ein jeweiliges Nutzerprofil R_n aus einer Liste der damit verknüpften IDs der Informationsservices \vec{x}_n .

Tabelle 8: Attribute und Funktionen der Klasse "Nutzer"

Attribut	Typ	Beschreibung
_id	int	Eindeutige Identifizierungsnummer eines Nutzers a.
name	String	Name eines Nutzers.
rolle	String	Mitarbeiterrolle des Nutzers auf dem modularen Shopfloor.
login()	void	Funktion zum Einloggen in die Systemstruktur.

Welche Informationen einem Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor den meisten Nutzen generieren, ist mit seiner konkreten Mitarbeiterrolle und den damit verknüpften Aufgaben im Unternehmen verbunden. Die Systemstruktur setzt einen Expertenstatus voraus, d.h. die Mitarbeiter sind Experten in ihrer Mitarbeiterrolle und können selbstbestimmt die Informationen und Interaktionen identifizieren, die für ihre Mitarbeiterrolle am zielführendsten sind. Die Systemstruktur kann dabei auch von Laien verwendet werden, indem z.B. ein Standardset an Informationsservices \vec{x}_n für eine Mitarbeiterrolle identifiziert und vom Systemadministrator angelegt wird, was jedoch nicht Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit ist.

Aus diesem Grund müssen die Mitarbeiterrollen auf dem modularen Shopfloor identifiziert und modelliert werden. Ausgangspunkt bildet das Ziel, die Mitarbeiter auf dem Shopfloor zu unterstützen und zwar ohne abhängig von einer umfangreichen IT-Infrastruktur zu sein. Durch die Betrachtung der Rolle des Mitarbeiters soll weiterhin eine passgenauere Informationsbereitstellung auf dem Shopfloor realisiert werden können.

Ausgangspunkt bilden die existierenden Erkenntnisse aus dem Stand der Forschung zu Rollenmodellen und Aufgabenfeldern (s. Kapitel 2.2.4). Mitarbeiter auf dem modularen

Shopfloor können der Ausführungsschicht [KKL11] zugeordnet werden und stellen Fach-, Hilfs- und Sachbearbeiter dar, die unmittelbar am Fertigungsprozess beteiligt sind und diesen beeinflussen. Diese Mitarbeitergruppe, welche sowohl operativ als auch physisch auf dem modularen Shopfloor arbeitet, wird durch die Modularisierung mittels CPPM besonders beeinflusst werden. Informationen sind nicht mehr zentral für die ganze Produktionsanlage vorhanden, sondern auf mehrere, örtlich verteilte CPPM entkoppelt. Durch die unmittelbare Nähe dieser Mitarbeitergruppe zum Fertigungsprozess, sind diese für den Erhalt der Betriebsbereitschaft notwendig.

In Anknüpfung an die erste grobe Einordnung der Mitarbeiterrollen, wird in einem nächsten Schritt eine empirische Studie zu Mitarbeiterrollen in cyber-physischen Produktionsumgebungen betrachtet [OFM17]. Die Definition der Ausführungsschicht und die Ergebnisse der empirischen Studie werden um die Anforderungen an die Informationsbereitstellung auf dem Shopfloor (s. Kapitel 2.2.5, Tabelle 2) ergänzt und im Anschluss interpretiert. Die darauf gewonnenen Erkenntnisse werden zur Modellierung der Mitarbeiterrollen auf dem modularen Shopfloor verwendet. Für die Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices \tilde{x}_n werden die folgenden Mitarbeiterrollen eingeführt, die zum Erhalt der Betriebsbereitschaft auf dem modularen Shopfloor mindestens vorhanden sein müssen:

- **Maschinenbediener/-in:**

Im Fertigungsprozess hat diese Mitarbeiterrolle die Verantwortung für den Betrieb und die reibungslose Produktionstätigkeit von mehreren CPPM gleichzeitig. Dazu zählen unter anderem die Zustandsüberwachung des Produktionsprozesses, die Produktqualität und die Einhaltung der Produktanforderungen.

- **Instandhalter/-in:**

Diese/r ist auf dem modularen Shopfloor verantwortlich für den Erhalt der Betriebsbereitschaft der CPPM, die regelmäßig in den Produktionsprozess involviert sind. Hierzu zählen die Durchführung von (außer-)planmäßigen Wartungen, die Behebung von aufgetretenen Störungen und Fehlern an den CPPM.

- **Inbetriebnehmer/-in:**

Die Flexibilität des modularen Shopfloors erlaubt es bei wechselnden (Produkt-)Anforderungen CPPM zu tauschen, wofür diese Mitarbeiterrolle verantwortlich ist. Dies schließt auch den Tausch eines CPPM bei Ausfall, einen notwendigen Werkzeugwechsel in einem CPPM und die Konfiguration bei der erstmaligen Inbetriebnahme eines CPPM mit ein, welches dadurch einen betriebsfähigen Zustand erreicht.

- **Vorarbeiter/-in:**

Vorarbeiter/-Innen tragen die Verantwortung für die Realisierung und erfolgreiche Ausführung aller vorliegenden Aufträge auf dem gesamten modularen Shopfloor. Zusätzlich zur Erfüllung der Produktqualität gehört die ordnungsgemäße Zuordnung von Produkt und Auftrag.

Die vier allgemein beschriebenen **Mitarbeiterrollen** sind für den **modularen Shopfloor** hergeleitet, welcher als Produktionsressourcen **herstellerübergreifende CPPM** verwendet. Aufgrund der heterogenen Ausprägung von Unternehmen sowie Branchen, können diese vier Mitarbeiterrollen keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit erheben. In diesem Zuge ist für jedes Unternehmen eine unternehmensinterne Herleitung der Rollen vorzunehmen.

Die Mitarbeiterrolle soll als Konsequenz die erste Stufe der Vorauswahl von Informationen darstellen, um einem *Information Overload* auf dem modularen Shopfloor entgegenzuwirken. Da sich die beschriebenen Mitarbeiterrollen nur unternehmensspezifisch konkretisieren lassen, kann nur eine qualitative Einschätzung erfolgen, welche Informationsklassen für welche Mitarbeiterrollen zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe relevant sind.

Indem folgenden Schritt werden die erarbeiteten Mitarbeiterrollen einer qualitativen Einschätzung unterzogen, welche Informationsklassen (s. Abbildung 46) zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe *notwendig*, *weniger notwendig* oder *nicht notwendig* sind:

Ausgangspunkt bildet die Betrachtung der Mitarbeiterrollen und einer Einschätzung, ob für die Mitarbeiterrolle vordergründig Modul- oder Prozessinformationen auf dem modularen Shopfloor relevant sind. Aus dieser ersten groben Einschätzung geht hervor, dass Maschinenbediener/-in und Vorarbeiter/-in für das Erfüllen der Aufträge und einer entsprechenden Produktqualität verantwortlich sind, was dem Bedarf nach Prozessinformationen zuzuordnen ist. Im Kontrast dazu benötigen die Mitarbeiterrollen Instandhalter/-in und Inbetriebnehmer/-in Informationen über die CPPM auf dem Shopfloor, mit denen sie interagieren und deren Betriebsfähigkeit sie (wieder-)herstellen müssen, was den Modulinformationen entspricht.

Im Anschluss an die grobe Einschätzung wird die Notwendigkeit der jeweiligen Informationsklasse bewertet. Dafür werden die Modul- und Prozessinformationen anhand ihrer jeweiligen Unterklassen betrachtet. Die Beurteilung der Notwendigkeit erfolgt danach, welche Informationen zu Schichtbeginn unmittelbar relevant sind, um die festgelegte Arbeitsaufgabe volumnäßig bewältigen zu können. Dies wäre z.B. bei Maschinenbediener/-in eine Überprüfung, ob das richtige Material für den Auftrag zur Verfügung steht oder beim Inbetriebnehmer/-in, ob das richtige Werkzeug im CPPM funktionsfähig vorliegt. Die ermittelte, qualitative Zuordnung ist in Abbildung 62 dargestellt.

Eine tiefergehende Beschreibung und Spezifizierung von Informationsklassen kann nur unternehmens- und CPPM-spezifisch erfolgen, weil es bei CPPM zu Unterschieden bei z.B. Werkzeugen oder eingesetzten Verfahren geben kann und Unternehmen eine spezifische Organisation ihres Shopfloors aufweisen. Die Einschätzung der Notwendigkeit soll im Rahmen der Referenzstruktur dazu dienen, eine Vorauswahl an Informationen für unterschiedliche Mitarbeiterrollen vorzunehmen, die jedoch keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit erhebt.

	Legende:	Maschinenbediener/-in	Instandhalter/-in	Inbetriebnehmer/-in	Vorarbeiter/-in
Modul-informationen	Werkzeug	●		●	
	Steuerung		●	●	
	Energie		●	●	
	Status	●	●	●	●
Prozess-informationen	Fertigung	●			●
	Material	●			●
	Qualität	●			●

Abbildung 62: Einschätzung der Notwendigkeit von Informationsklassen für die Mitarbeiterrollen der modularen Produktionsumgebung in Anlehnung an [BMR19]

Die modellierte Systemstruktur sieht deshalb eine technische Realisierung als Referenzstruktur vor, die eine Vorauswahl und Zuordnung von Informationsklassen zu Mitarbeiterrollen beinhaltet. Diese technische Realisierung ermöglicht es, nach erfolgreichen Nutzertests die prototypisch gewählte Zuordnung aus Abbildung 62 unternehmens- und CPPM-individuell anzupassen.

Funktionale Anforderungen und Evaluationskriterien (FAE):

- **FAE9:** Speicherung aller existierenden Nutzerprofile
Zentraler Ablageort für alle existierenden Nutzerprofile, die an der Systemstruktur an einem CPPM angelegt sind.
- **FAE10:** Aktualisierung und Bereitstellung von Nutzerprofilen
Verantwortlich für die Aktualisierung von gelöschten oder hinzugefügten Informationsservices \vec{x}_n sowie deren zu visualisierende Bestandteile für die Standardanzeige.

Schnittstellen zu anderen Teilsystemkomponenten:

- Benutzungsschnittstelle
- Middleware

4.4.6 Middleware

Die *Middleware* nimmt in der Systemstruktur eine zentrale Rolle ein und ist im Prozess zur Erstellung eines Informationsservice \vec{x}_n die übergeordnete Teilsystemkomponente. Sie ist für die Verknüpfung und die Übergänge der Prozessschritte verantwortlich. Darüber hinaus reagiert und verarbeitet sie die Nutzereingaben. Im Prozess der Erstellung sowie des Löschens eines Informationsservice \vec{x}_n hat die *Middleware* einen Prozesssteuerungs-Charakter. Weiterhin hat diese Teilsystemkomponente Zugriff auf alle anderen Teilsystemkomponenten der Systemstruktur und organisiert die interne Kommunikation während des Erstellungs- und Löschvorgangs. Die *Middleware* ist in weitere Komponenten unterteilt (s. Abbildung 63).

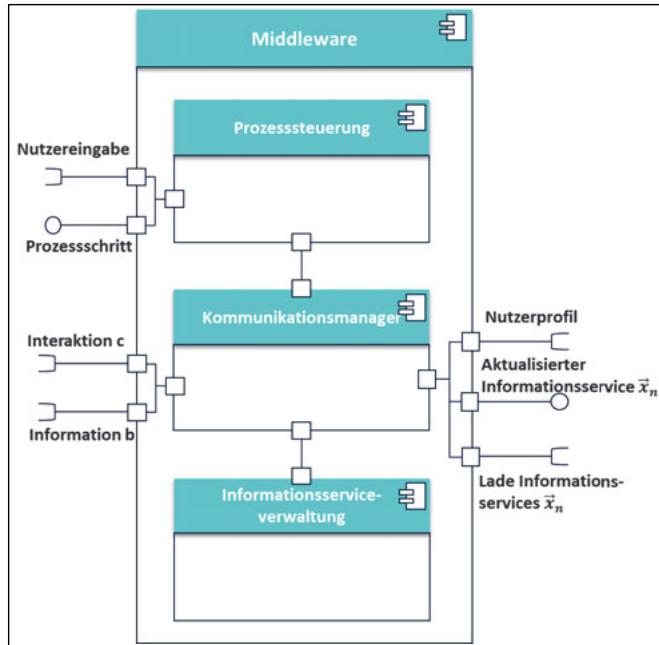


Abbildung 63: Komponentendiagramm der Middleware

Aufgabe und Funktionsbeschreibung:

Sobald beim Anlegen eines Informationsservice \vec{x}_n die „Interaktion c“ vom Nutzer ausgewählt wird, liegen folglich alle Komponenten für \vec{x}_n vor. An diesem Punkt ist die Middleware dafür verantwortlich, die Nutzereingaben der einzelnen Schritte zusammenzuführen, sprich \vec{x}_n zu erstellen und in der *Informationsservicedatenbank* abzulegen. Im Prozess greift die Middleware bei der Auswahl der „Information b“ auf die Teilsystemkomponente *CPPM Informationen*, für den aktuellen „Nutzer a“ auf die Teilsystemkomponente des *Nutzermanagement* und für die Interaktion c auf die Teilsystemkomponente *Interaktionsdatenbank* zu. Ferner kann die Middleware a, b, c interpretieren und versteht es, das Nutzerprofil R_n im *Nutzermanagement* zu aktualisieren. Anschließend wird \vec{x}_n je nach Wahl von c durch die Teilsystemkomponente *Benutzungsschnittstelle* in der Standardanzeige dargestellt.

A. Prozesssteuerung

- Kommuniziert über den Kommunikationsmanager mit anderen Teilsystemkomponenten und der Informationsserviceverwaltung.
- Nimmt die Nutzereingaben im Prozess entgegen, die von der *Benutzungsschnittstelle* übermittelt werden und interpretiert diese.

- Kennt die Prozessbeschreibung und wählt die Prozessschritte anhand der Nutzereingabe.
 - Teilt der *Benutzungsschnittstelle* mit, welcher Prozessschritt (und dadurch welche Anzeige) als nächstes zu visualisieren ist.
 - Übermittelt intern zur Informationsserviceverwaltung
 - i. den aktuellen „Nutzer a“.
 - ii. die gewählte „Information b“.
 - iii. die gewählte „Interaktion c“.
 - Kennt Maßnahmen bei Abbruch eines Prozesses durch den Nutzer oder durch Timeout und setzt diese um.
- B. Kommunikationsmanager
- Regelt die interne Kommunikation zwischen Prozesssteuerung und Informationsserviceverwaltung.
 - Bildet die zentrale Kommunikationseinheit der Systemstruktur und ist mit allen Teilsystemkomponenten verbunden.
 - Kann über eine einheitliche Kommunikationsschnittstelle auf alle Teilsystemkomponenten zugreifen. Insbesondere ist hier der Zugriff auf die Teilsystemkomponenten zu erwähnen, in denen über eine Informationsschnittstelle (intern) auf eine Datenbank zugegriffen wird.
- C. Informationsserviceverwaltung
- Kommuniziert über den Kommunikationsmanager mit anderen Teilsystemkomponenten und der Prozesssteuerung.
 - Erhält vom Kommunikationsmanager die Nutzereingaben aus dem jeweiligen Prozessschritt.
 - Lädt bei der Anmeldung eines Nutzers an der Systemstruktur das Nutzerprofil und somit *a* beim *Nutzermanagement*.
 - Fragt die im Prozess von Nutzer *a* ausgewählte „Information b“ und „Interaktion c“ bei den *CPPM Informationen*, respektive *Interaktionsdatenbank* ab.
 - Erstellt nach erfolgreicher Abfrage von *a*, *b* und *c* den Informationsservice \vec{x}_n .
 - Übermittelt den Informationsservice \vec{x}_n an die *Informationsservicedatenbank*.
 - Sendet eine Aktualisierungsaufforderung des Nutzerprofils R_n zum *Nutzermanagement*, wenn
 - i. ein neues \vec{x}_n einem Nutzerprofil R_n hinzugefügt werden muss.
 - ii. ein bestehendes \vec{x}_n aus einem Nutzerprofil entfernt werden muss.

Funktionale Anforderungen und Evaluationskriterien (FAE):

- **FAE11:** Erstellung des Informationsservice
Regelt die Erstellung eines Informationsservice \vec{x}_n und kann die Angaben der anderen Teilsystemkomponenten („Nutzer a“, „Information b“, „Interaktion c“) auflösen und interpretieren.

- **FAE12:** Prozesssteuerung nach Nutzereingabe
Ist verantwortlich für die Interpretation der Nutzereingaben und navigiert durch den Prozess zum Anlegen oder Löschen eines Informationsservice \vec{x}_n .

Schnittstellen zu anderen Teilsystemkomponenten:

- Benutzungsschnittstelle
- CPPM Informationen
- Interaktionsdatenbank
- Informationsservicedatenbank
- Nutzermanagement

4.5 Zusammenführen der Systemkomponenten und Wechselwirkungen

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die Teilsystemkomponenten hergeleitet und modelliert wurden, gibt dieses Kapitel eine Übersicht über die vollständige Systemstruktur. Weiterhin wird der Prozessablauf zum Erstellen und Löschen eines Informationsservice \vec{x}_n anhand der internen Kommunikation der Systemstruktur verdeutlicht. In diesem Zusammenhang wird zusätzlich der Prozess der Nutzeranmeldung an der Systemstruktur ergänzt. Ziel dieses Kapitels ist es, eine nahtlose Überleitung der konzeptionierten Systemstruktur und der spezifizierten Referenzstruktur in die Implementierung zu ermöglichen, indem die internen Zusammenhänge anschaulich präsentiert werden.

Zusammenführen der Teilsystemkomponenten

Mit Bezug zur Grob-Systemstruktur (Abbildung 41) liegen die dort eingeführten Teilsystemkomponenten modelliert und mit ihren funktionalen Anforderungen vor. Durch das Zusammenführen der Teilsystemkomponenten entsteht die Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices für den Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor (Abbildung 64).

Wechselwirkungen im Prozessablauf

Die in der Grob-Systemstruktur modellierte Kommunikation kann darauf aufbauend detailliert werden. Die Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemkomponenten im Prozess des Erstellens und Löschens eines Informationsservice \vec{x}_n bildet die Grundvoraussetzung für den Integrationstest im Zuge der Implementierung. Die interne Kommunikation, inklusive der Auswirkung der Nutzeranmeldung auf die Systemstruktur, ist ebenfalls graphisch dargestellt. Abbildung 65 zeigt diese bei der Anmeldung eines Nutzers und beim Löschen eines Informationsservice \vec{x}_n , wohingegen Abbildung 66 den Prozess zum Anlegen eines Informationsservice \vec{x}_n aufzeigt.

Meldet sich ein Nutzer an der Benutzungsschnittstelle der Systemstruktur an, werden die eingegebenen Login-Daten vom Nutzermanagement interpretiert. Daraufhin fordert das Nutzermanagement bei der Middleware die dafür hinterlegten Informationsservices \vec{x}_n an,

die von der Middleware aus der Informationsservicedatenbank abgefragt und an das Nutzermanagement weitergeleitet werden. Das Nutzermanagement aktualisiert das Nutzerprofil R_n des Nutzers und veranlasst die Darstellung der Standardanzeige durch die Benutzungsschnittstelle.

Startet der Nutzer den Prozess des Erstellens eines Informationsservice \vec{x}_n (Abbildung 35), wird diese Information von der Benutzungsschnittstelle erfasst und von der Middleware interpretiert. Um im ersten Prozessschritt die verfügbaren „Informationen b“ zu erhalten, werden sie von der Middleware bei den CPPM Informationen abgefragt und für den Nutzer via Benutzungsschnittstelle dargestellt. Sucht sich der Nutzer eine „Information b“ aus, folgt automatisch die Aufforderung an die Middleware bei der Interaktionsdatenbank, die dort hinterlegten Interaktionen abzufragen und diese dem Nutzer an der Benutzungsschnittstelle anzuzeigen.

Mit der Auswahl einer „Interaktion c“ an der Benutzungsschnittstelle wird ebenfalls eine Aufforderung an die Middleware gesendet, den Informationsservice \vec{x}_n zusammenzustellen. Hierzu werden der aktuelle „Nutzer a“, die gewählte „Information b“ und die gewählte „Interaktion c“ zu \vec{x}_n kombiniert. Das hierdurch erstellte \vec{x}_n wird von der Middleware in die Informationsservicedatenbank eingepflegt. Ebenso wird das Nutzerprofil R_n im Nutzermanagement aktualisiert. Je nach Wahl der „Interaktion c“ bewirkt die Aktualisierung des Nutzerprofil R_n durch das Erstellen von \vec{x}_n eine Aktualisierung der Standardanzeige an der Benutzungsschnittstelle.

Der Nutzer leitet das Löschen eines Informationsservice \vec{x}_n über die Benutzungsschnittstelle ein. Die Nutzereingabe wird von der Middleware interpretiert. Folglich fragt die Middleware bei der Information Service Registry alle für diesen Nutzer erstellten Informationsservices \vec{x}_n an, welche an die Middleware rückgemeldet und von dieser zur Darstellung an der Benutzungsschnittstelle weitergeleitet werden. Wählt der Nutzer nun einen Informationsservice \vec{x}_n aus, der gelöscht werden soll, wird diese Aufforderung von der Middleware interpretiert und das entsprechende \vec{x}_n aus der Informationsservicedatenbank entfernt. Die Middleware veranlasst eine Aktualisierung des Nutzerprofils R_n , woraufhin je nach Wahl der „Interaktion c“ ebenfalls die Standardanzeige des Nutzers aktualisiert wird.

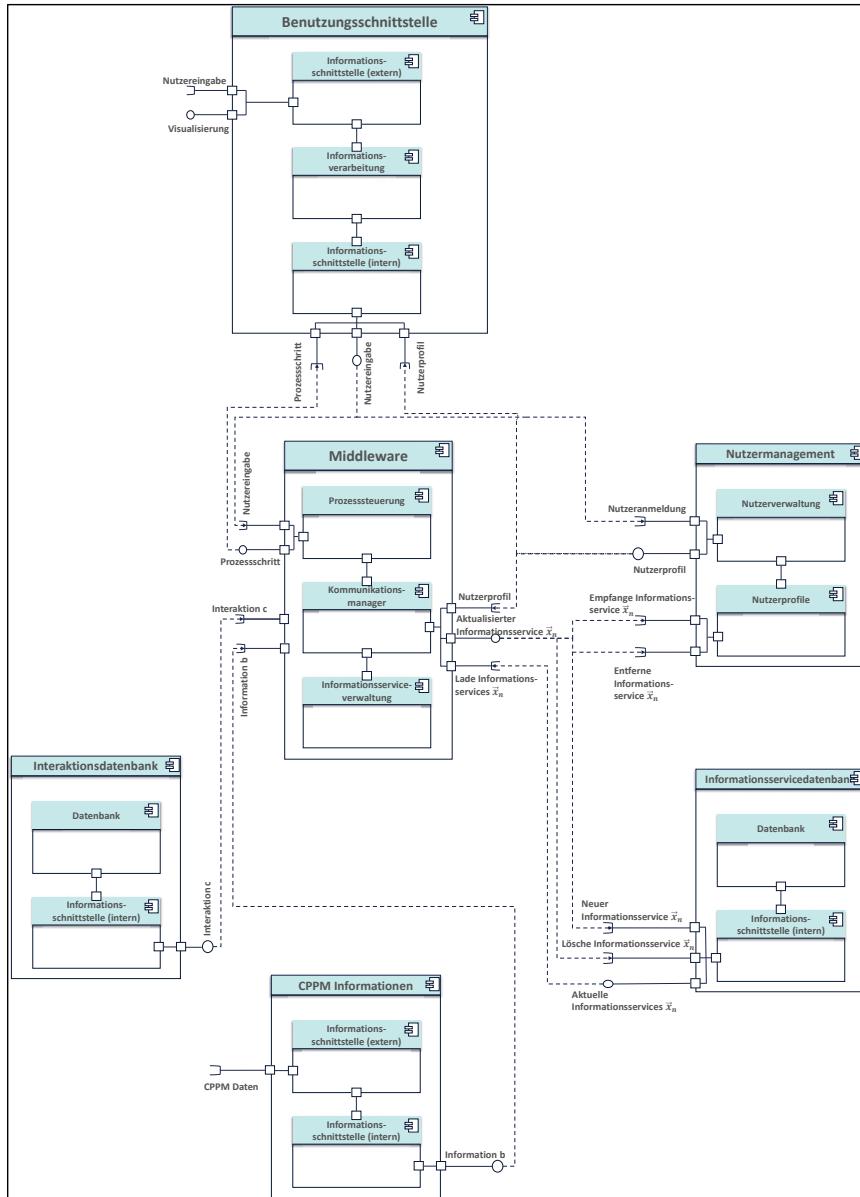


Abbildung 64: Entwickelte Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices

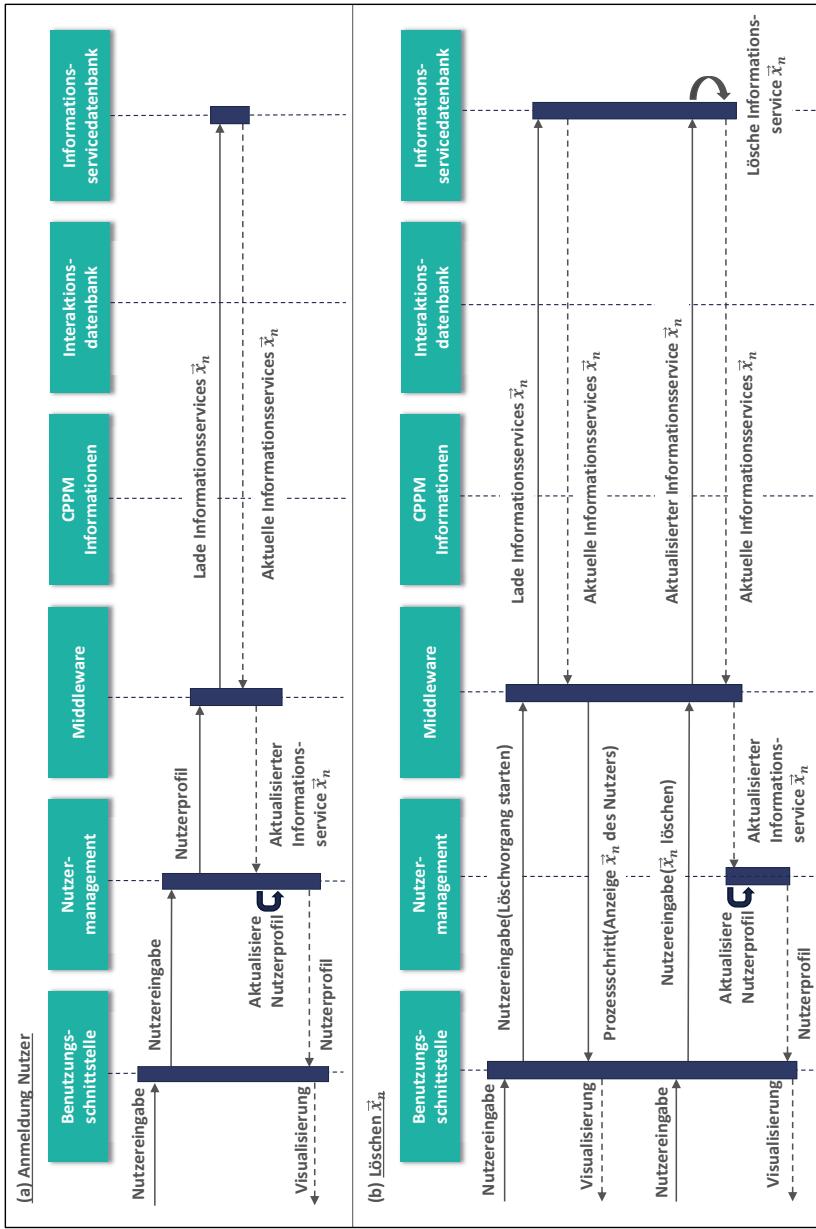


Abbildung 65: Interne Kommunikation der Systemstruktur bei Nutzeranmeldung (a) und im Prozess des Löschens eines Informationsservice \vec{x}_n (b)

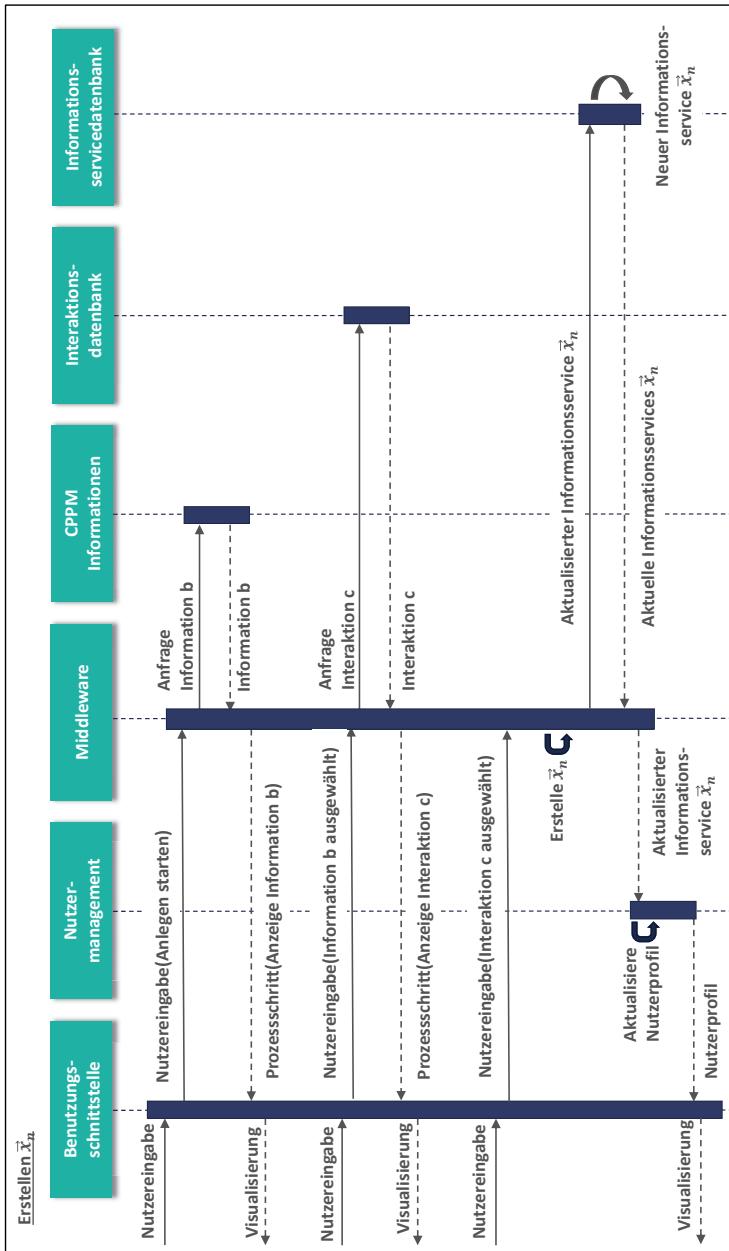


Abbildung 66: Interne Kommunikation der Systemstruktur im Prozess des Erstellens von \vec{x}_n

4.6 Zusammenfassung

In Kapitel 4 ist die Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices auf dem modularen Shopfloor methodisch hergeleitet und modelliert worden. Mit einer Beschreibung der formalen Systemgrenze und den nicht-funktionalen Anforderungen (Kapitel 4.1) konnte eine eindeutige Abgrenzung gegenüber anderen Forschungsarbeiten, sowie eine eindeutige **Definition des Begriffs „Informationsservice“** erreicht werden, der bis dato in dieser Form nicht existiert. Anschließend wurde anhand einer Prozessbeschreibung das funktionale Verhaltensmodell der Systemstruktur aufgezeigt (Kapitel 4.2), welches die **Selbstbestimmung des Nutzers** und eine möglichst **intuitive Handhabung** in den Vordergrund stellt. Daran anknüpfend wurde die Grob-Systemstruktur hergeleitet (Kapitel 4.3), aufbauend auf eigenen Vorarbeiten für menschen-zentrierte Architekturen für den modularen Shopfloor. Die Grob-Systemstruktur enthält alle notwendigen Teilsystemkomponenten der Systemstruktur und weist gegenüber bestehenden Strukturen sowohl einen **Fokus auf die Informationsbereitstellung für den Mitarbeiter** als auch auf die **modulare Produktionsumgebung** auf.

Die Teilsystemkomponenten wurden darauffolgend einzeln modelliert und die funktionalen Anforderungen der Systemstruktur hergeleitet (Kapitel 4.4). Neben der Modellierung der Teilsystemkomponenten selbst wurden zusätzlich **abstrakte Beschreibungen** für den **Mitarbeiter a**, die **Information b** und die **Interaktion c** hergeleitet, die in diesem Kontext bislang noch nicht existieren. Für die **Interaktion c** wurden zusätzliche **Design-Möglichkeiten** aufgezeigt, die unterschiedliche Einflüsse auf die Darstellung für den Mitarbeiter ermöglichen. Das interne Zusammenspiel der Teilsystemkomponenten sowie auftretende Wechselwirkungen (Kapitel 4.5) modellieren die **interne Kommunikation** der Systemstruktur beim Anlegen und Löschen eines Informationsservice \vec{x}_n sowie beim Anmelden des Nutzers an der Systemstruktur.

5 Implementierung und Systemtests

Ziel dieses Kapitels ist es, die hergeleitete Modellierung aus dem vorangegangenen Kapitel prototypisch umzusetzen. Nach V-Modell erfolgt die Implementierung als **Bottom-Up** Systemintegration. Hierzu werden die modellierten Teilsystemkomponenten einzeln implementiert, ihre funktionalen Anforderungen getestet und validiert (Kapitel 5.1). Sind alle Systemkomponenten funktionsfähig integriert, werden diese durch die dazwischenliegenden Schnittstellen zur testfähigen Systemstruktur verknüpft und diese wird implementiert (Kapitel 5.2). Durch die vollständige Systemstruktur wird erstmalig ein Systemtest ermöglicht. Der Systemtest prüft das System auf Funktionsfähigkeit und bietet zudem die Grundlage zur Validierung des Gesamtsystems (Kapitel 5.3). Durch die vorangegangene Prozessbeschreibung des Erstellens und Löschens eines Informationsservice, steht ein Testszenario für den Systemtest bereit. Anschließend können die nicht-funktionalen Anforderungen bewertet werden. Ebenfalls ergeben sich aus der Bewertung abgeleitete Erweiterungspotenziale (Kapitel 5.4) als Ausblick für weitere, anknüpfende Forschungsarbeiten. Abbildung 67 verdeutlicht die Vorgehensweise mit den anzuwendenden Werkzeugen und die Ergebnisse der jeweiligen Stufe.

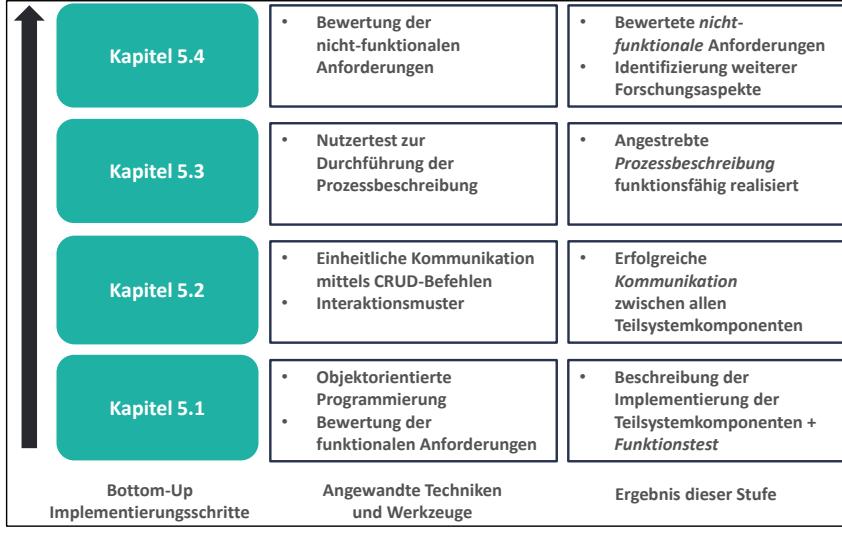


Abbildung 67: Bottom-Up Vorgehensweise für die Implementierung und den Systemtest der Systemstruktur

Die Teilsystemkomponenten werden mittels objektorientierter Programmierung integriert. Des Weiteren wird zur Analyse der funktionalen Anforderungen eine Bewertung auf Grundlage der Funktionalität durchgeführt. Das Ergebnis der Stufe beschreibt die

Implementierung und ist zudem Funktionstest der jeweiligen Teilsystemkomponente. In einem nächsten Schritt werden die einzeln implementiert und getesteten Teilsystemkomponenten, mittels einheitlicher Kommunikationsschnittstellen, miteinander verknüpft. Um Kommunikationswege innerhalb einer Systemstruktur einheitlich zu beschreiben, eignen sich Interaktionsmuster. Weiterhin bieten die CRUD-Befehle (Create, Read, Update, Delete) ein standardisiertes Vokabular zum Datenaustausch [UD18], [BD19]. Als Ergebnis dieser Phase liegt eine erfolgreiche interne Kommunikation in der Systemstruktur vor. Daran anknüpfend kann durch den Nutzer das System getestet werden, indem der Prozess des Löschens oder Erstellens durchlaufen wird. Ziel dieser Stufe ist ein funktionaler Prozessablauf und damit ein erfolgreicher Systemtest der Systemstruktur. In einem letzten Schritt müssen die aufgestellten nicht-funktionalen Anforderungen an die Systemstruktur bewertet werden. Übergreifend wird auf Erweiterungspotenziale und anknüpfende Forschungsfragen hingewiesen.

Die **Implementierungsumgebung** ist aus einer modularen Testumgebung, der „Fabrik-Simulation 24V“ der fischertechnik GmbH [fi] zusammengesetzt. Diese enthält vier Module, die jeweils als ein CPPM zu interpretieren sind und als Testbed für ausgewählte Implementierungen dienen [Lu17]. Wie Abbildung 68 zeigt, hat jedes CPPM eine unterschiedliche physische Größe sowie Funktionalität im Fertigungsprozess.

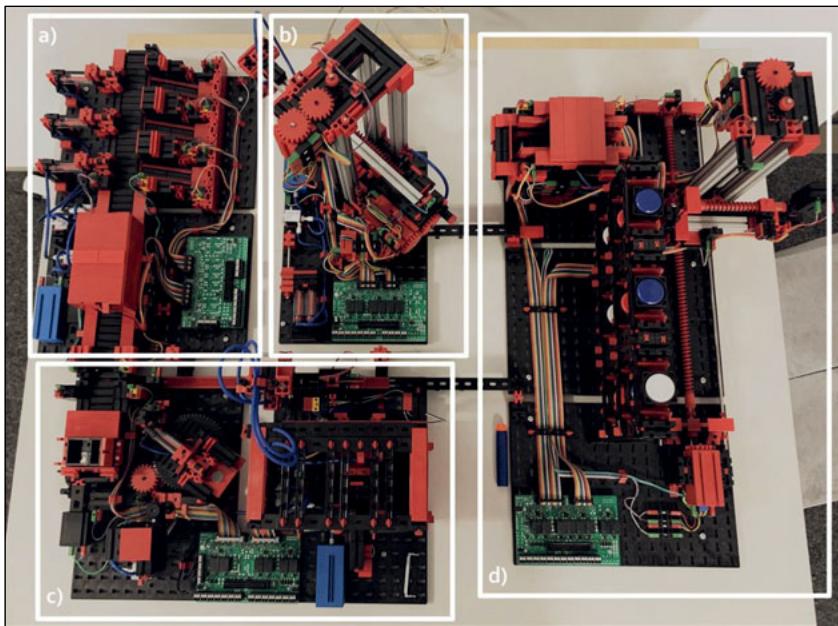


Abbildung 68: Modulare Testumgebung mit vier voneinander losgelösten Produktionsmodulen

Oben links in der Abbildung ist eine Sortierstrecke (a) zu sehen, welche die Produkte mittels eines Farbsensors anhand ihrer Farbe erkennt und anschließend in ein entsprechendes Lager sortiert. Oben mittig im Bild ist ein Kran (b) zu sehen, der für den Transport der Produkte zwischen den CPPM zuständig ist. Am unteren Bildrand ist eine Multi-Bearbeitungsstation (c) sichtbar, die einen Brennofen zur Simulation eines Brennprozesses enthält. Auf der rechten Seite befindet sich das Hochregallager (d), welches die Produkte anhand des Kundenauftrags automatisch aus dem Lager entnimmt.

Die Zusammensetzung eines CPPM erfolgt beispielhaft mithilfe der Sortierstrecke (a). Die Sortierstrecke ist mit ihren Komponenten in Abbildung 69 dargestellt.

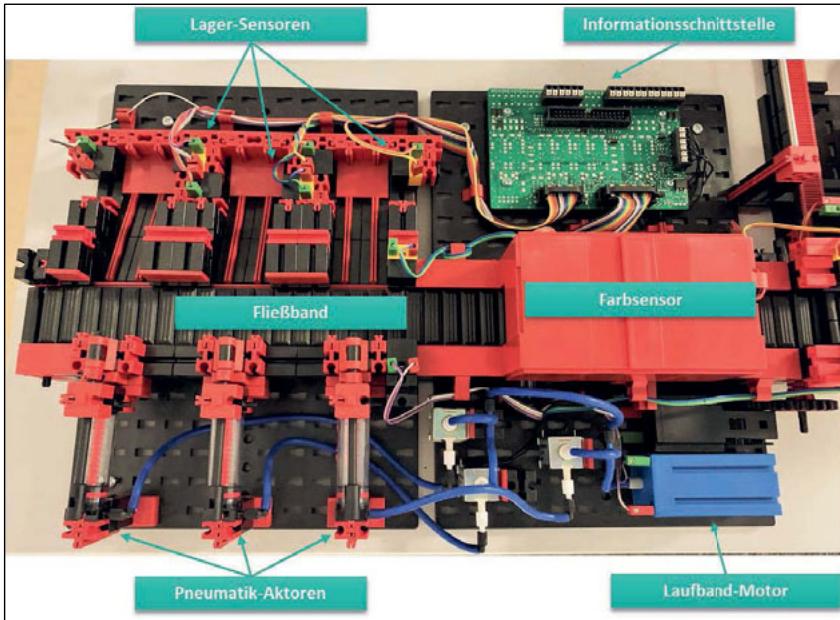


Abbildung 69: Detaillierte Darstellung der Sortierstrecke der Fabrik-Simulation mit ihren Komponenten

Im Prozess der Fabrik-Simulation erscheint das Produkt am rechten Bildrand der Sortierstrecke und gelangt in das Gehäuse des Farbsensors. Dort wertet dieser die Farbe des Produktes aus. Das Produkt wird über das Fließband, welches vom Laufband-Motor bewegt wird, aus dem Gehäuse gefahren. Je nach Farbe wird das Produkt in eines der drei Lager einsortiert. Handelt es sich beispielsweise um ein weißes Produkt, so wird es in das erste Lager abgelegt. Das Fließband stoppt vor dem ersten Lager, der Pneumatik-Aktor wird ausgelöst und schiebt das Produkt dort hinein. Die Stückzahlmessung erhöht sich um die entsprechende Anzahl der eingefügten Produkte. Die Sensoren und Aktoren sind mit der Informationsschnittstelle verbunden, die die Daten kontinuierlich erfasst.

Jedes dieser Module besitzt dabei eine Informationsschnittstelle, die in Form einer Platine von den CPPM bereitgestellt wird. Neben den vier CPPM, die Daten und Informationen über den Maschinenzustand liefern, werden weitere Hardwarekomponenten zur Inbetriebnahme benötigt. Sie dienen beispielsweise der Steuerung und Stromversorgung der CPPM. Eine beispielhafte Übersicht möglicher Hardwarekomponenten wird in Kapitel 5.1 vorgestellt.

Teile der Implementierung erfolgten im Rahmen betreuter studentischer Arbeiten [GS19], [Ba19], [Ha19].

5.1 Implementierung der Teilsystemkomponenten

Um zu einer prototypischen Systemstruktur zu gelangen, werden die einzelnen Teilsystemkomponenten implementiert werden. Die Modellierungen der Teilsystemkomponenten aus Kapitel 4.4 werden einzeln umgesetzt und auf ihre Funktionsfähigkeit (funktionale Anforderungen) getestet. Damit eine homogene Darstellung der Ergebnisse gewährleisten ist, wird die Umsetzung der Teilsystemkomponenten jeweils nach dem gleichen Schema dargestellt. Das Schema besteht aus einem Teil, der die konkrete technische Implementierung (A) beschreibt. Der andere Teil fokussiert einen Funktionstest und bewertet den Erfüllungsgrad der modellierten funktionalen Anforderungen (B). Eine genauere Beschreibung der beiden Teilbereiche ist nachfolgend gegeben.

A. Beschreibung der Implementierung:

Das Ziel ist es hier, die konkrete technische Realisierung vorzustellen und darauf hinzuweisen, in welcher Hardwarekomponente die Umsetzung stattfindet. Weiterhin wird auf die Prinzipien zur Implementierung der Teilsystemkomponenten eingegangen. Sofern bereits existierende, kommerzielle Programme zur Anwendung kommen, werden diese ebenfalls ergänzt.

B. Funktionstest und Bewertung der funktionalen Anforderungen:

Das Anliegen ist es, die Funktionalität der Teilsystemkomponente zu überprüfen und die Implementierung auf ihre Lauffähigkeit zu testen. Anschließend wird eine Bewertung des Erfüllungsgrads der funktionalen Anforderungen abgeleitet.

Um die Testumgebung in Betrieb zu nehmen, werden weitere Hardwarekomponenten verwendet. Die beispielhaft eingesetzte Hardware für dieses Testszenario ist in Abbildung 70 aufgezeigt. Neben der 24V Spannungsversorgung, die nicht abgebildet ist, kommen sogenannte Revolution Pis zum Einsatz. Diese übernehmen die Funktion der Ansteuerung der CPPM und sind für die Realisierung eines Produktionsablaufs verantwortlich. Dabei regelt der RevPi Core die Daten- und Informationsverarbeitung sowie die Steuerung, während der RevPi DIO die digitalen Input/Output-Signale und der RevPi AIO die analogen Input/Output Signale empfängt bzw. sendet [Re]. Zusammenfassend ist diese RevPi-Anordnung in Abbildung 70 als RevPi Core3 + I/O. Weiterhin existiert mit dem Intel NUC [In19] ein Mini-PC, der die Funktion eines Edge-Devices übernimmt und der mit seiner Rechenleistung und dem Speicher die Systemstruktur hostet. Mittels eines Routers sind die Komponenten in einem Netzwerk

miteinander via TCP/IP verbunden. Der Nutzer kann sich über ein webfähiges mobiles Endgerät an der Systemstruktur anmelden.

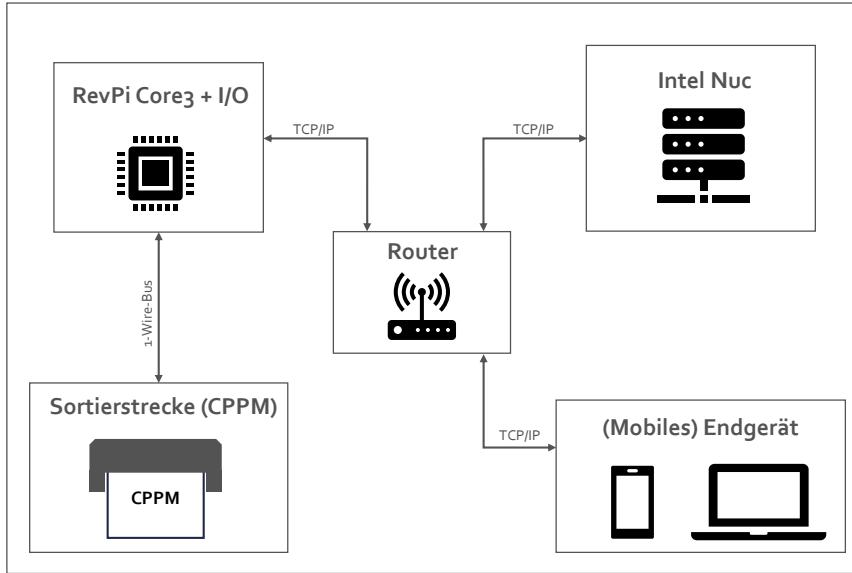


Abbildung 70: Beispielhafte Hardwarekomponenten zur Umsetzung der Systemstruktur

Die Vorstellung der Teilsystemkomponenten erfolgt in der Reihenfolge der Modellierung aus Kapitel 4.4.: Benutzungsschnittstelle, CPPM Informationen, Interaktionsdatenbank, Informationsservicedatenbank, Nutzermanagement und Middleware.

Als Software-Framework für die Implementierung wird das MEAN-Stack verwendet. Dieses Stack ist darauf ausgelegt, robuste und verständliche Webapplikationen zu entwickeln. Zu den Bestandteilen des MEAN-Stack gehören Express, MongoDB, Node.js und AngularJS [ME19]. Da bei der Verwendung der Systemstruktur überwiegend die Selbstbestimmung des Nutzers im Vordergrund steht, bieten die Webapplikationen insbesondere bei der Wahl des (mobilen) Endgerätes Freiheiten.

5.1.1 Benutzungsschnittstelle

Die Benutzungsschnittstelle bildet die nutzerseitige Systemgrenze und die Modellierung ist in Kapitel 4.4.1 nachzulesen.

A. Beschreibung der Implementierung:

Um eine endgerät- und somit herstellerunabhängige Informationsvisualisierung für den Mitarbeiter erfolgen kann, wurde eine webbasierte Programmierung gewählt. Die Benutzungsschnittstelle ist dabei auf dem Intel NUC gehostet. Durch eine derartige Realisierung kann der Mitarbeiter ein Endgerät seiner Wahl zur Verbindung bestimmen,

sofern dieses Endgerät über einen Webbrowser verfügt. Evaluationen mit Auswertungen, welche Endgeräte zur Informationsdarstellung als sinnvoll erachtet werden, können z.B. in [Lu16] nachgelesen werden. Je nach Wahl des Endgerätes gestaltet sich die Anzeige für den Nutzer unterschiedlich, weshalb davon ausgegangen wird, dass jeder Nutzer genau ein Endgerät seiner Wahl im aktiven Betrieb verwendet.

Zur Realisierung einer nutzerfreundlichen Darstellung wurde JavaScript als Skriptsprache ausgewählt und das Oberflächenlayout mittels Cascading Style Sheets (CSS) gestaltet. Für webbasierte Anwendungen werden hierbei unter anderem Vorteile im Bereich des Sendens und Empfangens von Daten gesehen, ohne dass eine Browserseite komplett neu geladen werden muss. Weiterhin zählen Dialogfenster oder Banneranzeigen zu den Vorteilen dieser Skriptsprache [Cr08]. Zusätzlich wurde eine Größenskalierung umgesetzt, die bei einer weniger breiten Anzeige (in der Regel Tablets und Smartphones) die Informationsservices über die gesamte Breite streckt und untereinander auflistet. Abbildung 71 zeigt den Vergleich zwischen einer Darstellung auf einem Windows PC und einem Apple Iphone X Smartphone.

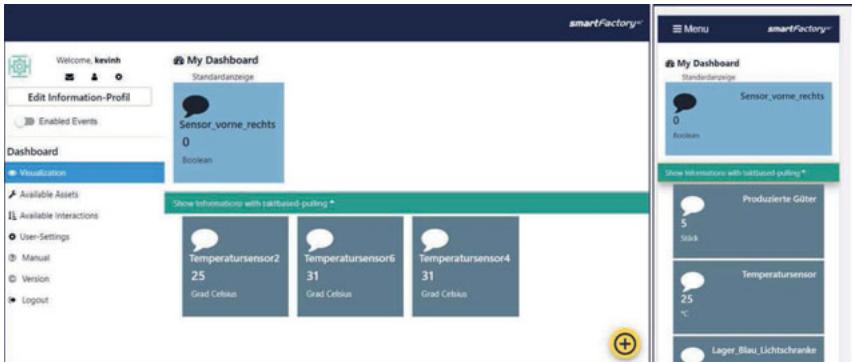


Abbildung 71: Darstellung der Standardanzeige im Browser eines Windows PC (links) und auf einem Apple Iphone X (rechts)

B. Funktionstest und Bewertung der funktionalen Anforderungen:

Wie Abbildung 71 hervorhebt, kann die Standardanzeige für den Nutzer geräteunabhängig dargestellt werden. Links ist zu sehen, dass durch Klick des + -Symbol am unteren rechten Bildrand der Prozess zum Anlegen eines Informationsservice \vec{x}_n gestartet wird. Oben links kann hingegen unter „Edit Information-Profil“ der Prozess des Löschens von Informationsservices \vec{x}_n eingeleitet werden. Durch die geringere Bildschirmgröße von z.B. mobilen Endgeräten, wie dem Iphone X (s. Abbildung rechts) können die oben beschriebenen Funktionen über den „Menu“-Button erreicht werden.

Die Eingabe erfolgt, an dem für die vorliegende Arbeit verwendeten Windows PC, per Klick mit einer Maus auf die jeweiligen Buttons und beim mobilen Endgerät über eine taktile Toucheingabe. Nach der getätigten Eingabe reagiert die Benutzungsschnittstelle darauf, führt

die angeforderten Schritte aus und visualisiert diese, wodurch eine bidirektionale Kommunikation zwischen Nutzer und Systemstruktur möglich ist.

Informationen	Interaktionen
ArticleNumber dimensionlos	Standardanzeige Echtzeit-Visualisierung der Information auf der Startseite. Unter- oder Überschreitungen von Grenzwerten werden hervorgehoben.
Bestand dimensionlos	Taktbasierte Informationsabfrage Aktualisiert die Information alle 60 Sekunden in dem Visualisierungs-View. Unter- oder Überschreitungen von Grenzwerten werden hervorgehoben.
DLZ dimensionlos	Eventbasierte Push-Benachrichtigung Diese Interaktion lädt eine Push-Benachrichtigung aus, sobald eine Zustandsänderung eintritt.
Losgroesse dimensionlos	Eventbasierte Dialog-Meldung Diese Interaktion öffnet einen Dialog, sobald das Event "Grenzwertüber- oder unterschreitung" eintritt.

Abbildung 72: Prozessschritte zum Anlegen eines Informationsservices: Informationen b (links) und Interaktionen c (rechts)

Die Benutzungsschnittstelle muss außerdem in der Lage sein, den Prozess zum Anlegen und Löschen von Informationsservices \vec{x}_n anzuzeigen. Abbildung 72 zeigt die Visualisierung dieser beiden Prozessschritte. Der Prozess des Anlegens zeichnet sich dadurch aus, dass nach einem Klick auf das +-Symbol die Informationen für den Mitarbeiter angezeigt werden (links).

Durch einen Klick auf den Häkchen-Button der jeweiligen Information wird diese ausgewählt. Nach der jeweiligen Auswahl werden die verfügbaren Interaktionen angezeigt (rechts). Ein Abbrechen eines Prozessschrittes kann durch Klick auf den Pfeil in der oberen linken Ecke des Bildrandes erreicht werden.

Möchte der Nutzer einen bereits existierenden Informationsservice \vec{x}_n aus seinem Nutzerprofil herauslöschen, kann die Eingabe „Edit Information-Profil“ betätigen. Anhand Abbildung 73 wird deutlich, dass dem Nutzer alle in seinem Nutzerprofil befindlichen Informationsservices \vec{x}_n angezeigt werden. Zu sehen ist die Nummer des jeweiligen Informationsservice \vec{x}_n sowie die darin eingebundene „Information b“ und die dazugehörige „Interaktion c“. Das Betätigen des Papierkorb-Symbols ermöglicht das Löschen eines Informationsservice \vec{x}_n . Durch Klick auf das Stift-Symbol hingegen kann der Informationsservices \vec{x}_n angepasst werden (z.B. Änderung der „Interaktion c“). Die Benutzungsschnittstelle ist dadurch in der Lage, den Nutzer in enger Zusammenarbeit mit der Middleware durch die Prozessschritte zu führen und die Standardanzeige endgerätenabhängig darzustellen.



Abbildung 73: Anzeige existierender Informationsservices eines Nutzerprofils im Löschvorgang

Tabelle 9: Bewertung der funktionalen Anforderungen der Benutzungsschnittstelle

Bewertung der funktionalen Anforderungen		
FAE	Beschreibung	Bewertung
FAE1	Bidirektionale Kommunikation	+
FAE2	Visualisierung der Prozessschritte und Standardanzeige	+
Legende	+ = erfüllt ; (+) = teilweise erfüllt ; -- = nicht erfüllt	

5.1.2 CPPM Informationen

Diese Teilsystemkomponente bildet die CPPM-seitige Systemgrenze und ist in Kapitel 4.4.2 modelliert.

A. Beschreibung der Implementierung:

Die CPPM Informationen teilt sich in zwei weitere Teilkomponenten auf: eine interne und eine externe Teilkomponente. Die CPPM Informationen (extern) ist unmittelbar am CPPM verortet und gibt vor, wie und in welcher Form Informationen vom CPPM angeboten werden müssen.

Die CPPM Informationen (intern) hingegen bestimmt, wie die Informationen für die Weiterverarbeitung innerhalb der Systemstruktur angeboten werden müssen.

Die CPPM Informationen (extern) besteht aus einem OPC UA-Server, welcher die Daten des CPPM als OPC UA Knoten bereitstellt. Durch das herstellerübergreifende Protokoll ergibt sich die Möglichkeit, auch Legacy-Systeme nachzurüsten, indem zusätzlich zu proprietären Protokollen OPC UA verwendet wird. Weiterhin können Daten durch OPC UA als semantische Darstellung – in Form von Knoten – abgebildet werden. Für die Sortierstrecke wurde als semantische Beschreibung eine verwaltungsschalenkonforme Aufbereitung gewählt, die in Abbildung 74 dargelegt ist. Der Aufbau folgt den Vorgaben der Plattform I4.0, welche in Abbildung 8 im Stand der Forschung vorgestellt wurde.

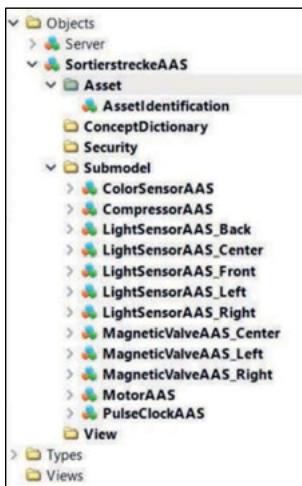


Abbildung 74: Verwaltungsschalenkonformer Aufbau der OPC UA Knoten der Sortierstrecke aus [GS19]

Unterhalb der *SortierstreckeAAS* (AAS = Asset Administration Shell; englisch für Verwaltungsschale) sind die Ordner *Asset*, *ConceptDictionary*, *Security*, *Submodel* und *View* angelegt. Im Ordner *Submodel* sind alle Hardwarekomponenten der Sortierstrecke wiederum mit einer eigenen Verwaltungsschale eingegliedert, die der gleichen Ordnerstruktur folgt.

Die CPPM Informationen (intern) kann auf den OPC UA-Server zugreifen und die OPC UA Knoten anhand ihrer Knotenidentifikation auslesen (s. ns und i in Abbildung 49).

Abbildung 75 beschreibt die Reihenfolge des Informationsaustausches zwischen CPPM Information (intern) und CPPM Information (extern). Um die OPC UA Knoten der Verwaltungsschale stetig abzufragen, ist ein Pull-Mechanismus eingerichtet. Durch diese Informationsabfrage in Form eines Python-Skripts werden alle vorhandenen OPC UA Knoten innerhalb der Verwaltungsschale der Sortierstrecke ermittelt (1). Die abgefragten OPC UA Knoten werden im folgenden Schritt weitergeleitet (2) und in der Datenbank der CPPM

Informationen (intern) abgespeichert (3). Die Einträge in der Datenbank werden von den Einträgen der OPC UA Knoten übernommen, weshalb anstelle von relationalen Datenbanken auf NoSQL-Datenbanken zurückgegriffen wird. Der Vorgang der Informationsabfrage wiederholt sich taktbasiert im Sekunden-Rhythmus.

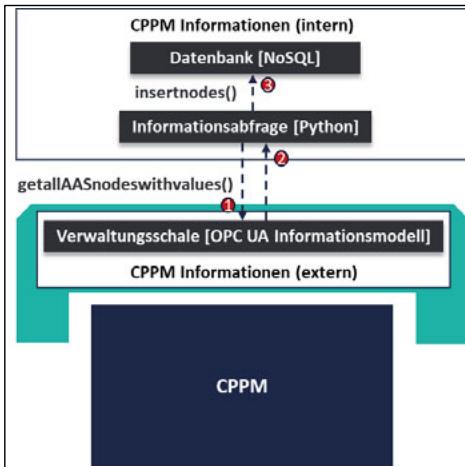


Abbildung 75: Schematische Darstellung des Informationsaustausches zwischen CPPM Informationen intern und extern

Durch diesen zyklischen Vorgang sind die real anfallenden Werte eines CPPM in einer strukturierten Darstellung in der Systemstruktur gespeichert. Erstellte Informationsservices \vec{x}_n werden dementsprechend taktbasiert aktualisiert, wenn eine Änderung der darin gewählten „Information b“ eintritt, wird der bisherige Datenbankeintrag überschrieben.

B. Funktionstest und Bewertung der funktionalen Anforderungen:

Aufgrund der Aufteilung der CPPM Informationen in intern und extern wird eine vereinfachte Implementierung, auch in bestehende CPPM, ermöglicht. Das CPPM als Industrie 4.0-Komponente muss über eine verwaltungsschalenkonforme Strukturierung seiner Informationen verfügen. Mithilfe eines OPC UA-Server mit entsprechendem OPC UA Informationsmodell kann dies in der vorliegenden Arbeit realisiert werden.

Die Informationsabfrage greift auf die vorhandenen OPC UA Knoten zu und liest diese aus. Die Einträge der OPC UA Knoten werden dann in einer NoSQL-Datenbank abspeichert und zur weiteren Verwendung der Systemstruktur freigegeben. Aufgrund dieser Herangehensweise können CPPM und Systemstruktur physisch entkoppelt werden und die Systemstruktur auf einem Edge Device ausgelagert werden.

Mittels einer Bereitstellung der Daten eines CPPM via OPC UA können positive Effekte beobachtet werden. Auf der einen Seiten erlaubt OPC UA herstellerübergreifenden CPPM, Informationen herstellerunabhängig zu kommunizieren und anzubieten. OPC UA kann auf

proprietären Kommunikationsprotokollen aufsetzen und zur einheitlichen Kommunikation der CPPM zur Umwelt verwendet werden.

Daten werden durch OPC UA in Knoten gekapselt. Ein Knoten verfügt wiederum über eine verwaltungsschalenkonforme Struktur und realisiert ein Informationsmodell. Daten werden semantisch beschrieben, aufbereitet und als Informationen gespeichert. Dies erlaubt eine Speicherung der Einträge eines jeden Knotens in einer Datenbank zur Aufbereitung für den Nutzer.

Tabelle 10: Bewertung der funktionalen Anforderungen der CPPM Informationen

Bewertung der funktionalen Anforderungen		
FAE	Beschreibung	Bewertung
FAE3	Semantisch beschriebene Informationen	+
FAE4	Herstellerübergreifende Informationsbereitstellung	+
Legende	+ = erfüllt ; (+) = teilweise erfüllt ; -- = nicht erfüllt	

5.1.3 Interaktionsdatenbank

Die Interaktionsdatenbank stellt eine rein interne Teilsystemkomponente der Systemstruktur dar und ist in Kapitel 4.4.3 modelliert. Die Art und der Aufbau der Interaktionen sind für den Nutzer nicht einzusehen und können von einem Systemadministrator anhand der modellierten Design-Entscheidungen angelegt oder gelöscht werden.

A. Beschreibung der Implementierung:

Auch die Interaktionsdatenbank ist durch eine NoSQL-Datenbank realisiert, um unterschiedliche Datenbanksysteme innerhalb einer Systemstruktur zu vermeiden.

Tabelle 11: Implementierte Interaktionen inklusive ihrer Funktion

Name	Funktion	Implementierung
Standardanzeige	<ul style="list-style-type: none"> • Kontinuierliche Aktualisierung • Informationen, die dauerhaft angezeigt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • READ-Anfrage zum Empfang der verknüpften Informationen • Rückgabe zur Initialisierung der Interaktion • Datentransfer: Change-Stream und Pusher.js
Taktbasierte Aktualisierung	<ul style="list-style-type: none"> • Aktualisierung in festgelegter Taktzeit 	<ul style="list-style-type: none"> • READ-Anfrage zum Empfang der verknüpften Informationen

	<ul style="list-style-type: none"> Information in Akkordeon-Menü visualisiert 	<ul style="list-style-type: none"> Initialisierung der Interaktion gemäß der Taktrate über Rückgabe der Informationen Pusher.js zum Datentransfer
Push-Benachrichtigung	<ul style="list-style-type: none"> Bei Eintritt des definierten Events: Push-Nachricht an den Nutzer 	<ul style="list-style-type: none"> READ-Anfrage Initialisierung Change-Stream Überprüfung auf Eventerfüllung Push-Benachrichtigung
Dialog-Meldung	<ul style="list-style-type: none"> Unter- oder Überschreitung von Grenzwerten: Dialog-Meldung an Nutzer (erfordert Nutzereingabe) 	<ul style="list-style-type: none"> READ-Anfrage Initialisierung Change-Stream Grenzwertüberprüfung Pusher.js zum Datentransfer

Tabelle 11 fasst die prototypisch implementierten Interaktionen für die beiden modellierten Kategorien der permanenten und zweckorientierten Interaktionen zusammen und beschreibt deren Kernfunktionen. Die beiden oberen stellen Interaktionen dar, die permanent Informationsservices \vec{x}_n visualisieren (Kategorie 1). Sie unterscheiden sich durch die Aktualisierungsrate und die Darstellungsform. Die beiden unteren am unteren Bildrand sind zweckorientiert implementiert. Sie hingegen beschreiben Informationsservices \vec{x}_n , die in der Standardanzeige nicht permanent sichtbar für den Nutzer sind. Innerhalb der zweckorientierten Interaktionen erfolgt eine graphische Darstellung für den Nutzer nur indem Fall, wenn das beschriebene Event eintritt. Während die *Dialog-Meldung* bei einer Unter- oder Überschreitung eines Grenzwertes ein Anzeigefenster auf dem Frontend des Nutzers anzeigt, kann das Event bei der *Push-Benachrichtigung* frei gestaltet werden. Ein weiterer Unterschied ist zudem, dass bei einer *Dialog-Meldung* eine Reaktion des Nutzers erforderlich ist („Ok“ zur Sicherstellung, dass die Meldung gelesen wurde). Die *Push-Benachrichtigung* hingegen wird lediglich am Bildrand eingeblendet. Die spezifische Ausgestaltung der Events und der dazugehörigen graphischen Darstellung erfolgt durch den Systemadministrator.

Anhand der *Taktbasierten Aktualisierung* soll das Verhalten der Interaktionsdatenbank genauer beschrieben werden. In diesem Fall ist die Taktrate auf beispielhaft 30 Sekunden eingestellt. Für die gewählte „Information b“ findet somit im 30 Sekunden-Rhythmus eine Abfrage zum aktuellen Wert bei der CPPM Informationen (intern) statt. Dieser Wert wird mittels der Middleware an die Benutzungsschnittstelle zur Darstellung des Informationsservice \vec{x}_n weitergegeben. Die Interaktionsdatenbank bündelt die vorhandenen Interaktionen und bietet die Anlaufstelle der Middleware zum Zugriff auf eben diese. Weiterhin erlaubt diese Teilsystemkomponente zusätzliche Interaktionen modular

hinzuzufügen. Diese können äquivalent vom Nutzer ausgewählt und von der Middleware aufgelöst werden.

Die Kommunikation zwischen der Middleware und der Interaktionsdatenbank ist zur Verdeutlichung in Abbildung 76 dargestellt. Beim Anlegen eines Informationsservice \vec{x}_n werden dem Nutzer nach Auswahl einer Information die verfügbaren Interaktionen angezeigt. Die Prozesssteuerung der Middleware fragt über den Kommunikationsmanager die vorhandenen Interaktionen an.

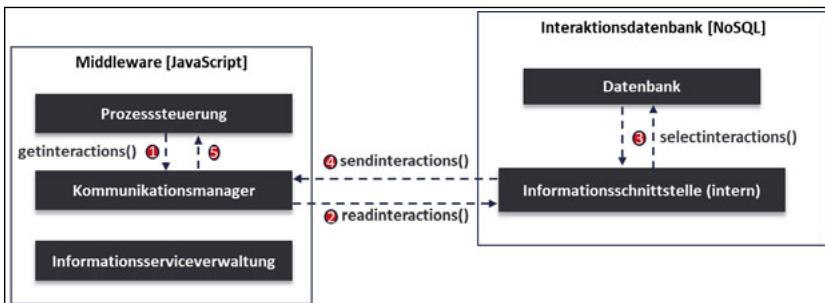


Abbildung 76: Kommunikation der Interaktionsdatenbank und Middleware beim Anlegen eines Informationsservice \vec{x}_n

Der Kommunikationsmanager sendet eine Anfrage an die Interformationsschnittstelle (intern) der Interaktionsdatenbank. Diese wählt die vorhandenen Interaktionen der Datenbank und sendet sie zurück an den Kommunikationsmanager der Middleware. Dort werden die Interaktionen der Prozesssteuerung zur Visualisierung für den Nutzer weitergegeben.

B. Funktionstest und Bewertung der funktionalen Anforderungen:

Die Interaktionsdatenbank stellt innerhalb der Systemstruktur die Interaktionen bereit, die vom Systemadministrator angelegt wurden. Diese können von der Middleware beim Anlegen eines Informationsservice \vec{x}_n abgerufen und für den Nutzer abgebildet werden. Innerhalb der Interaktionsdatenbank sind die implementierten Interaktionen über individuelle IDs voneinander zu unterscheiden. Durch die ID kann die Middleware die Funktionalität der Interaktion und die graphische Darstellung für den Nutzer interpretieren.

Aufgrund der Realisierung als NoSQL-Datenbank sind diese für die Middleware, äquivalent zu den Einträgen bei den CPPM Informationen (intern), zugänglich. Mit der Interaktions-ID innerhalb des Informationsservice \vec{x}_n kann die Middleware die individuell hinterlegten Interaktionen in der Informationsserviceverwaltung abrufen bzw. ausführen.

Die Interaktionen lassen sich grundlegend in zweckorientierte (eventbasierte) und permanente (dauerhaft angezeigt) Interaktionskategorien aufteilen. Für diese beiden Kategorien der Interaktionen musste eine unterschiedliche Strukturierung gewählt werden:

- a) Bei permanenten Interaktionen steht eine regelmäßige Informationsabfrage im Vordergrund, nur dass eine unterschiedliche Aktualisierungsrate vorliegt. Der Schwerpunkt liegt auf der Darstellung von \vec{x}_n für den Nutzer.
- b) Bei zweckorientierten Interaktionen liegt das Event, auf dessen Basis eine Darstellung für den Nutzer getriggert wird, im Vordergrund. Daraufhin folgt eine Beschreibung, in welcher Form der Eintritt des Events für den Nutzer realisiert werden soll.

Eine übergeordnete Struktur für beide Interaktionskategorien konnte nicht realisiert werden.

Durch die Bereitstellung der Interaktionen in einer NoSQL-Datenbank sind diese von der Middleware flexibel mit den bereits eingeführten CRUD-Befehlen abrufbar. In der Datenbank sind die Interaktionen anhand ihrer spezifischen ID eindeutig interpretierbar.

Tabelle 12: Bewertung der funktionalen Anforderungen der Interaktionsdatenbank

Bewertung der funktionalen Anforderungen		
FAE	Beschreibung	Bewertung
FAE5	Bereitstellung einheitlich strukturierter Interaktionen	(+)
FAE6	Flexibel abrufbare Interaktionen	+
Legende	$=$ erfüllt ; (+) = teilweise erfüllt ; -- = nicht erfüllt	

5.1.4 Informationsservicedatenbank

Die Informationsservicedatenbank umfasst alle bereits existierenden und abrufbaren Informationsservices \vec{x}_n der Systemstruktur. Diese Teilsystemkomponente ist in Kapitel 4.4.4 modelliert.

A. Beschreibung der Implementierung:

Die Informationsservicedatenbank beinhaltet Einträge für die Informationsservices \vec{x}_n (Abbildung 77).

Jeder Informationsservice \vec{x}_n erhält dabei eine eindeutige $_id$ zur Identifikation. Wie in der formalen Beschreibung bereits erläutert, kann ein Informationsservice \vec{x}_n durch den „Nutzer a“, die „Information b“ und „Interaktion c“ zusammengesetzt werden. Im Sinne der Datenbankstruktur bedeutet dies, dass jeweils die $_id$ des Nutzers, der Information und der Interaktion als Primärschlüssel dienen. Über eine eigene $_id$ kann der Informationsservice \vec{x}_n eindeutig beschrieben und aufgelöst werden. Die $_id$ des Informationsservice \vec{x}_n selbst ist dabei fortlaufend, auch wenn der Nutzer ein \vec{x}_n wieder aus seinem Nutzerprofil löscht. Diese $_id$ wird zukünftig nicht noch einmal vergeben.

Im Prozess des Anlegens eines Informationsservice \vec{x}_n registriert die Prozesssteuerung der Middleware die Auswahl des Nutzers hinsichtlich der „Information b“ und „Interaktion c“.

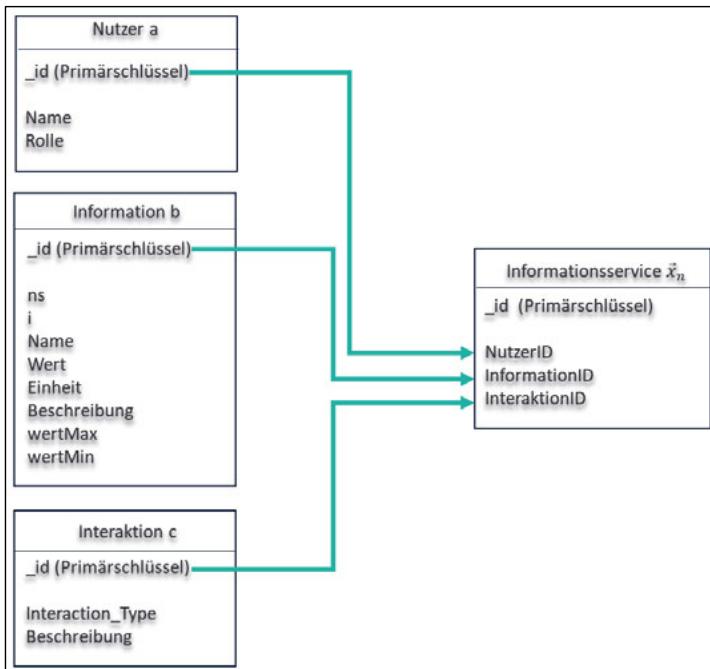


Abbildung 77: Zusammensetzung des Datenbankeintrages eines Informationsservice \vec{x}_n

Der „Nutzer a“ ist durch den Login-Vorgang für die Systemstruktur bekannt. Über die _id der jeweils ausgewählten „Information b“ bzw. „Interaktion c“ kann die Informationsserviceverwaltung der Middleware den Informationsservice \vec{x}_n erstellen und in die Informationsservicedatenbank einfügen.

B. Funktionstest und Bewertung der funktionalen Anforderungen:

Aufgrund der Speicherung der Informationsservices in einer NoSQL-Datenbank können diese über standardisierte CRUD-Befehle von der Middleware interpretiert, abgerufen, hinzugefügt oder wieder gelöscht werden. Limitierender Faktor ist hier lediglich die Speicherkapazität der Hardware, auf der die Datenbank gehostet ist. Standardisierten Zugriffsbefehle ermöglichen es, dass keine internen Zugriffsbarrieren entstehen und die Middleware durchgängig auf die Informationsservicedatenbank zugreifen kann. Eine einheitliche Struktur der Informationsservices \vec{x}_n ist durch einheitliche Einträge in der Datenbank gewährleistet. Die Einträge besitzen dabei eine eigene _id des Informationsservice \vec{x}_n , sowie die _id des angemeldeten Nutzers, der gewählten Information und Interaktion.

Tabelle 13: Bewertung der funktionalen Anforderungen der Informationsservicedatenbank

Bewertung der funktionalen Anforderungen		
FAE	Beschreibung	Bewertung
FAE7	Bereitstellung einheitlich strukturierter Informationsservices	+
FAE8	Flexibler Ablageort von Informationsservices	+
Legende	+ = erfüllt ; (+) = teilweise erfüllt ; -- = nicht erfüllt	

5.1.5 Nutzermanagement

Das Nutzermanagement bildet die Teilsystemkomponente zur Verwaltung der Nutzer, die sich an der Systemstruktur anmelden, wie Kapitel 4.4.5 hergeleitet. Außerdem ist das Nutzermanagement in der Lage, die auszuwählenden Informationen anhand der Rolle des Mitarbeiters zu filtern. Dadurch wird in datenintensiven Produktionsumgebungen einer Informationsüberflutung vorgebeugt. Informationen lassen sich nicht allgemeingültig in Informationsklassen unterteilen und insbesondere CPPM-spezifische Informationen wie Werkzeuge, Fertigungsverfahren o.ä. sind stets individuell in Informationsklassen einzurichten. Aus diesem Grund ist im Rahmen der Systemstruktur die Funktionalität eines Vorfilters technisch realisiert, muss jedoch für jede Produktionsumgebung nach Nutzertests angepasst werden. Hierfür werden die Informationen in Informationsklassen eingeordnet.

Abbildung 78 stellt den dabei ablaufenden Vorgang dar. Ist der Mitarbeiter angemeldet (vgl. Abbildung 71), kann er durch das + -Symbol in seiner persönlichen Standardanzeige den Prozess zum Anlegen eines Informationsservices \vec{x}_n starten. Durch Betätigen des + -Symbols werden im Hintergrund die Informationen vorgefiltert. Der Vorfilter setzt sich aus drei Bestandteilen zusammen:

- Der Rolle, die er bei der Erstellung seines Nutzerprofils angibt.
- Den Informationsklassen, die der spezifischen Mitarbeiterrolle zugeordnet sind.
- Den Informationen b, die dieser Informationsklasse zugeordnet sind.

Die Funktion des Vorfilters wurde prototypisch für die Erkenntnisse in Abbildung 62 implementiert und soll an einem Beispiel erklärt werden: Der Mitarbeiter ist an der Systemstruktur als Instandhalter angemeldet. Im Vorfeld wurden die Informationsklassen von dem Systemadministrator definiert und die Informationsklassen jeweils den einzelnen Rollen zugewiesen. Für den Instandhalter sind dies insbesondere Steuerungs-, Energie- und Statusinformationen. Informationen über den Auftrag oder die gefertigten Produkte werden ihm hingegen nicht angezeigt. Alle vorhandenen Informationen eines CPPM sind einer oder mehreren Informationsklassen zuzuordnen, wobei eine eindeutige Zuordnung nur unternehmensspezifisch erfolgen kann.

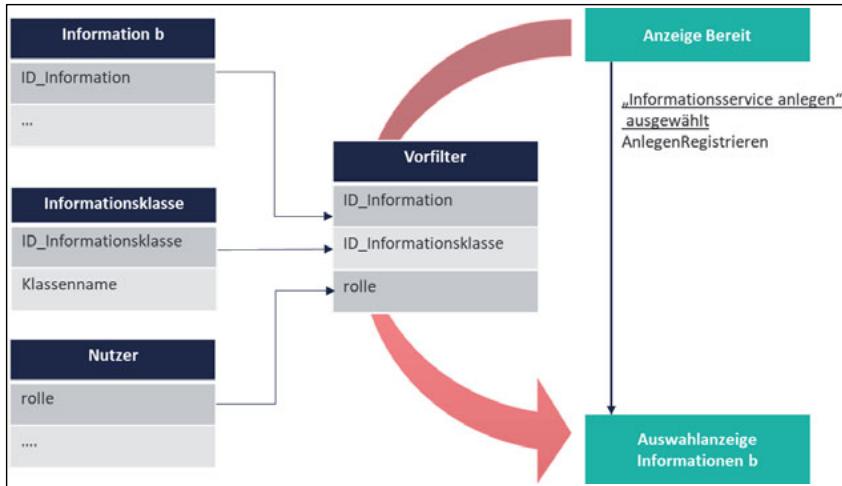


Abbildung 78: Umsetzung der Informationsfilterung anhand der Rolle des Mitarbeiters

A. Beschreibung der Implementierung:

Ähnlich der Interaktionsdatenbank ist auch das Nutzermanagement aus Gründen der Kongruenz als NoSQL-Datenbank implementiert. Das Nutzermanagement verwaltet alle bereits existierenden „Nutzer a“ der Systemstruktur und kann neu registrierte Nutzer hinzufügen. Jeder Nutzer erhält bei der Registrierung eine _id, über die er eindeutig identifizierbar ist. Meldet sich ein Nutzer erneut an der Systemstruktur an, kann diese über die _id des Nutzers von der Middleware existierende Informationsservices \vec{x}_n abrufen. Über die Rolle des Mitarbeiters können die Informationen beim Anlegen eines neuen Informationsservices \vec{x}_n vorgefiltert werden, um einen Information Overload vorzubeugen.

Weiterhin existiert eine Login-Funktion, über die sich ein Mitarbeiter mit seinem Benutzernamen und Passwort anmelden kann. Dadurch wird gewährleistet, dass kein Unbefugter ein Profil einsehen kann. Jeder Mitarbeiter wählt bei der Registrierung einen persönlichen Benutzernamen, inklusive Passwort.

B. Funktionstest und Bewertung der funktionalen Anforderungen:

Durch die Verwendung einer NoSQL-Datenbank als Speicherort für die Nutzerdaten sind diese persistiert. Weiterhin können (sofern Speicherkapazität zur Verfügung steht) problemlos weitere Nutzer hinzugefügt oder auch wieder herausgelöscht werden. Über die vorhandene _id eines Nutzers können ihm Informationsservices \vec{x}_n eindeutig zugeordnet werden. Meldet sich ein Nutzer an der Systemstruktur an, werden ihm die anhand seiner _id vorhandenen Informationsservices \vec{x}_n angezeigt. Die Aktualisierung der Nutzerprofile wird dementsprechend nur indirekt vom Nutzermanagement selbst ausgeführt. Vielmehr wird die _id des Nutzers von der Middleware zur Abfrage der Informationsservices \vec{x}_n bei der

Informationsservicedatenbank verwendet. Für die Aktualisierung der Nutzerprofile liefert das Nutzermanagement lediglich die `_id` des Mitarbeiters.

Tabelle 14: Bewertung der funktionalen Anforderung des Nutzermanagements

Bewertung der funktionalen Anforderungen		
FAE	Beschreibung	Bewertung
FAE9	Speicherung aller existierenden Nutzerprofile	+
FAE10	Aktualisierung und Bereitstellung von Nutzerprofilen	(+)
Legende	<code>+ = erfüllt</code> ; <code>(+)</code> = teilweise erfüllt ; <code>--</code> = nicht erfüllt	

5.1.6 Middleware

Die Middleware als zentrale Prozesssteuerungs- und Kommunikationskomponente ist im Rahmen der Top-Down Modellierung in Kapitel 4.4.6 abgebildet.

A. Beschreibung der Implementierung:

Durch die enge Verknüpfung der Middleware mit der plattformunabhängigen Visualisierung der Benutzungsschnittstelle ist auch die Middleware in JavaScript geschrieben. Neben seiner Eignung von JavaScript zur webbasierten Darstellung, nützt diese Programmiersprache auch für einen einfachen Datenaustausch mit NoSQL-Datenbanken. Da vier Teilsystemkomponenten als NoSQL-Datenbank umgesetzt sind, kann ein Datenaustausch mit CRUD-Befehlen zur einheitlichen Kommunikation realisiert werden. Die gleichen Operationen existieren auch für eine HTTP (REST)-Kommunikation, folgen jedoch einer anderen Nomenklatur (put/post, get, patch/put, delete).

B. Funktionstest und Bewertung der funktionalen Anforderungen:

Die Middleware als zentrale Einheit zur Prozesssteuerung und zur Kommunikation der Systemstruktur ermöglicht es dem Nutzer, Informationsservices \vec{x}_n zu erstellen und wieder zu löschen. Für die Erstellung der Informationsservices \vec{x}_n ist die Informationsserviceverwaltung der Middleware zuständig. Diese nimmt die `_id` des „Nutzer a“, der „Information b“ und der „Interaktion c“ auf und speichert sie in der Informationsservicedatenbank ab (vgl. Abbildung 77). Der Nutzer wird mithilfe der Prozesssteuerung durch den Vorgang des Anlegens und des Löschens von Informationsservices \vec{x}_n geführt, was bereits in der Beschreibung der Benutzungsschnittstelle prototypisch dargestellt ist (Abbildung 71 bis Abbildung 73).

Tabelle 15: Bewertung der funktionalen Anforderung der Middleware

Bewertung der funktionalen Anforderungen		
FAE	Beschreibung	Bewertung
FAE11	Erstellung des Informationsservices	+
FAE12	Prozesssteuerung nach Nutzereingabe	+
Legende	+ = erfüllt ; (+) = teilweise erfüllt ; -- = nicht erfüllt	

In den nachfolgenden Kapiteln 5.2 und 5.3 zur Integration der Teilsystemkomponenten und dem Gesamtsystemtest steht die Middleware im Zentrum.

5.2 Integration der Komponentenschnittstellen

Nachdem die Teilsystemkomponenten einzeln implementiert sind und deren Funktionsweise validiert ist, werden nun die Schnittstellen zwischen den Teilsystemkomponenten integriert. Durch die Realisierung der Schnittstellen werden die Teilsystemkomponenten zur funktionsfähigen Systemstruktur verbunden. Die Wahl der Programmiersprachen und der persistenten Speicher erlauben es, eine einheitliche Kommunikation umzusetzen. Ziel ist es, einen Überblick der verwendeten Kommunikations- und Softwarekomponenten zu erhalten.

Abbildung 79 gibt eine Übersicht aller Teilsystemkomponenten und deren Kommunikationsbeziehungen untereinander. Parallel dazu ist in Abbildung 80 die dazugehörige technische Realisierung durch Verwendung des MEAN-Stacks abgebildet.

Die Sortierstrecke entspricht einem CPPM und ist fest mit der RevPi-Installation verdrahtet, auf der sich die Verwaltungsschale des CPPM in Form eines OPC UA-Servers befindet. Die beispielhaft verwendeten Hardware-Komponenten werden dabei über einen Netzwerkrouter administriert. Der vorhandene Intel Nuc als Edge Device hostet die Systemstruktur außerhalb des OPC UA-Servers. Die (mobilen) Endgeräte können vom Nutzer frei gewählt werden, sofern diese über einen webfähigen Browser verfügen.

Das CPPM bietet seine semantisch beschriebenen Informationen über das herstellerunabhängige Kommunikationsprotokoll OPC UA an. Dazu wird vom CPPM ein OPC UA-Server angeboten, auf dessen OPC UA Knoten zugegriffen werden kann. Um diese Informationen weiterverarbeiteten zu können, werden über eine zyklische Informationsabfrage mittels Python alle zur Verfügung stehenden OPC UA Knoten abgefragt. Intern werden die Informationen in einer dokumentenorientierten NoSQL-Datenbank bereitgestellt.

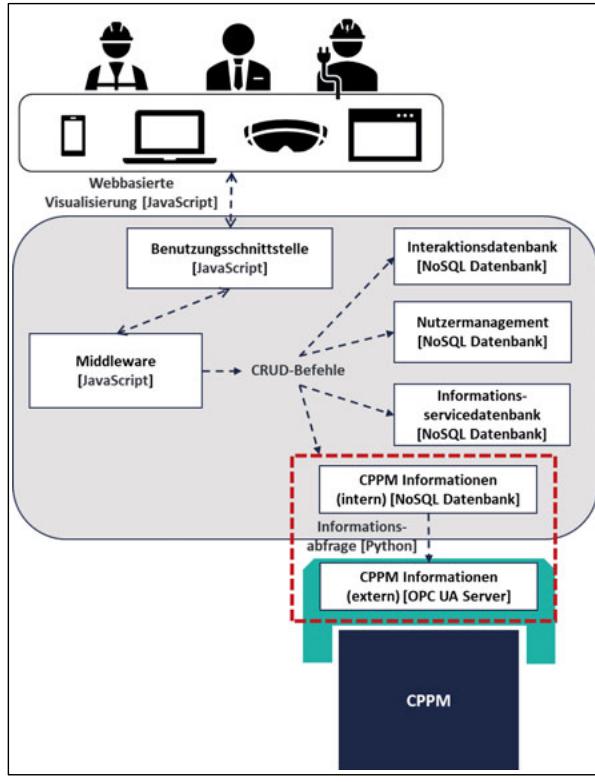


Abbildung 79: Übersicht der Teilsystemkomponenten und deren Kommunikationsbeziehungen zueinander

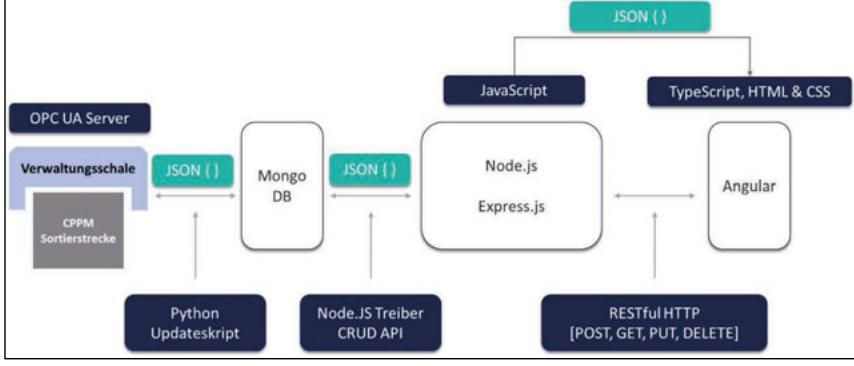


Abbildung 80: Realisierung der Schnittstellen mit dem MEAN-Stack

Neben der CPPM Informationen (intern) sind auch die Interaktionsdatenbank, das Nutzermanagement und die Informationsservicedatenbank als dokumentenorientierte NoSQL Datenbanken realisiert. Hierdurch kann die Middleware auf diese vier Teilsystemkomponenten in einer einheitlichen Art und Weise zugreifen.

Aktuelle Entwicklungen im Bereich der Industrie 4.0-Komponente und Verwaltungsschale weisen dabei ebenfalls auf die Verwendung der CRUD-Befehle als Möglichkeit zum einheitlichen Austausch von Informationen hin. Mithilfe dieser Befehle kann die Middleware in der Prozesssteuerung auf die jeweilige Datenbank standardisiert zugreifen und Datensätze anlegen, lesen, aktualisieren oder wieder entfernen.

Die Benutzungsschnittstelle und die Middleware sind bei Eingaben durch den Nutzer eng miteinander verknüpft und basieren auf JavaScript. Für die optische Visualisierung der Benutzungsschnittstelle werden CSS-Dateien verwendet, die die Darstellung detailliert beschreiben.

5.3 Gesamtsystemtest der Systemstruktur

Nachdem die Teilsystemkomponenten und deren Schnittstellen erfolgreich implementiert wurden, wird an dieser Stelle ein Gesamtsystemtest durchgeführt. Hierbei werden die Prozessbeschreibungen aus Kapitel 4.2 als Testszenario für den Funktionstest herangezogen. Für das Testszenario erfolgt das prototypische Anlegen und Löschen eines Informationsservice \vec{x}_n .

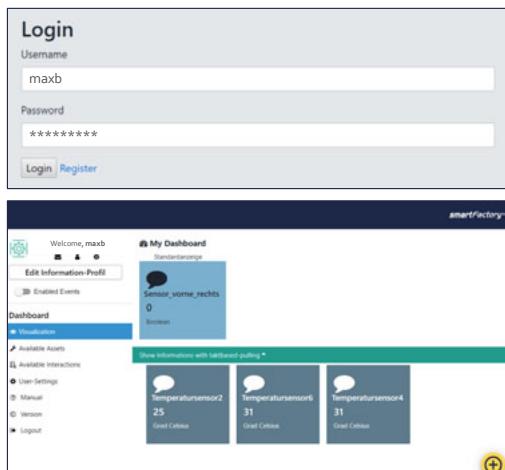


Abbildung 81: Login-Vorgang mit Nutzernamen und Passwort mit anschließender Standardanzeige

Wie Abbildung 81 verdeutlicht, wird für den Test die Annahme getroffen, dass der Mitarbeiter bereits an der Systemstruktur registriert ist. Sofern er noch nicht registriert ist, kann er sich durch Klick auf „Register“ einen Account neu anlegen.

In der Standardanzeige hat der Mitarbeiter die Möglichkeit, beide Prozesse zu starten. Betätigt er oben links den Button „Edit Information-Profil“, so kann er alle bereits angelegten Informationsservices \vec{x}_n einsehen und diese bei Bedarf löschen. Betätigt er hingegen unten rechts das + -Symbol, so kann er einen neuen Informationsservice \vec{x}_n erstellen. Dieser wird anschließend indem persönlichen Nutzerprofil gespeichert.

Test anhand des funktionalen Verhaltensmodells: Löschen

Zu Beginn wird der Löschgong eines Informationsservice \vec{x}_n getestet. Abbildung 82 stellt den Prozess zusammengefasst dar.

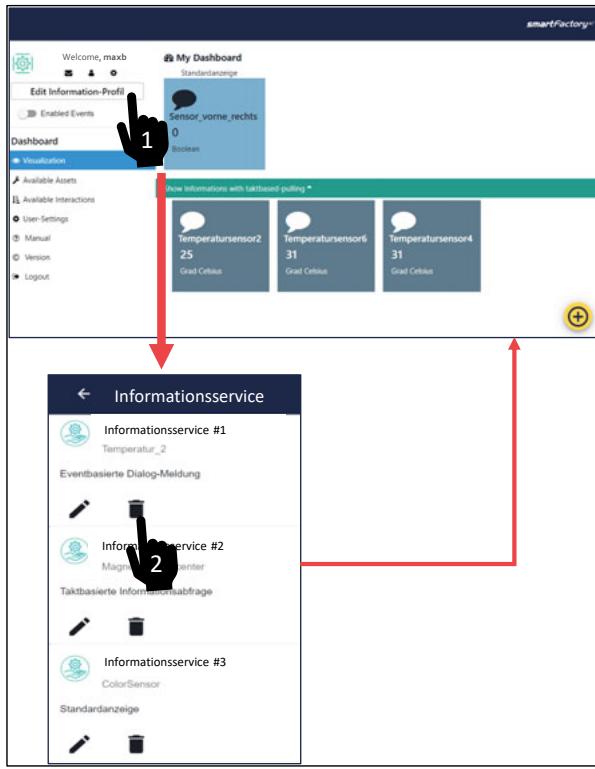


Abbildung 82: Prozess zum Löschen eines existierenden Informationsservice

Durch Klick auf „Edit Information-Profil“ (1) öffnet sich eine Listenansicht aller bereits existierender Informationsservices \vec{x}_n für dieses Nutzerprofil. Unter jedem vorhandenen Informationsservice \vec{x}_n befindet sich ein Papierkorb-Symbol. Durch Anklicken dieses Symbols

(2) wird der Informationsservice \vec{x}_n gelöscht und der Nutzer zu seiner Standardanzeige zurückgeführt.

Test anhand des funktionalen Verhaltensmodells: Erstellen

Der zusammengefasste Prozessablauf zum Anlegen eines Informationsservice \vec{x}_n ist in Abbildung 83 visualisiert. Zunächst betätigt der Nutzer unten rechts in der Ecke das + -Symbol (1), wodurch alle für ihn bereitgestellten Informationen angezeigt werden. In diesem Fall möchte er die Information zur produzierten *Losgröße* auswählen und klickt diese an (2).

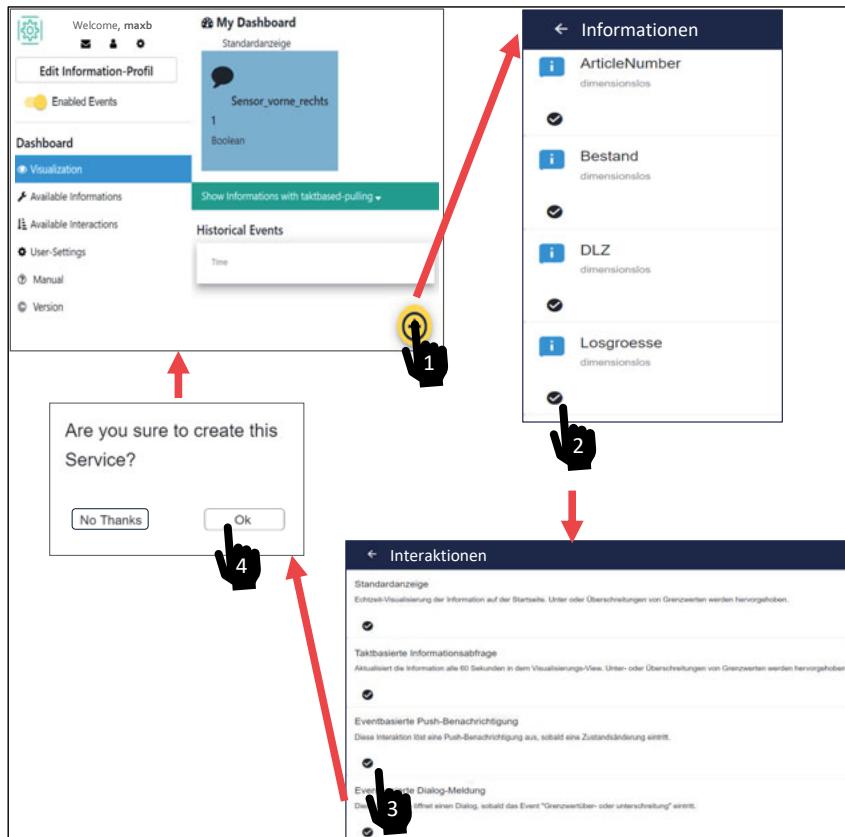


Abbildung 83: Prozess zum Anlegen eines Informationsservice

Die nächste Darstellung zeigt die verfügbaren Interaktionen, die vom Systemadministrator angelegt wurden. In diesem Fall wählt er eine eventbasierte Push-Benachrichtigung (3) aus, die ihm die Information auch nur anzeigt, wenn eine Veränderung der Losgröße eintritt.

Anschließend fragt ihn die Systemstruktur, ob er diesen Informationsservice wirklich erstellen möchte. Klickt der Nutzer auf den „No Thanks“-Button wird der Vorgang abgebrochen und kein neuer Informationsservice \vec{x}_n erstellt. Bei der Betätigung von „Ok“ (4) prüft die Middleware, ob dieser Informationsservice \vec{x}_n bereits in dieser Zusammenstellung für den Nutzer existiert, ein Fehler vorliegt oder die Erstellung erfolgreich war.

Im Anschluss gelangt der Mitarbeiter zurück zur Standardanzeige. In diesem Fall wird durch die Wahl einer zweckorientierten Interaktion kein zusätzlicher Informationsservice \vec{x}_n in der Standardanzeige hinzugefügt, sodass diese unverändert aussieht. Wählt der Mitarbeiter in Schritt (3) als Interaktion beispielsweise die „Standardanzeige“, so wird die ausgewählte Information zukünftig dauerhaft in der Standardanzeige visualisiert und im Sekundentakt aktualisiert.

Im Rahmen der zweckorientierten Interaktionen sollte der Systemadministrator eine Interaktion stets auf Sinnhaftigkeit prüfen. Durch die enge Verknüpfung des Events und der Darstellung können bestimmte Kombinationen zu Problemen führen. Als ein Beispiel sei hier ein Event genannt, das lediglich auf eine Änderung einer Information achtet, kombiniert mit einem mittigen Dialogfenster in der Standardanzeige, das der Mitarbeiter wegdrücken muss.

Dies mag bei einer Information wie z.B. „Maschinenstatus“ sinnvoll erscheinen, da sich diese in der Regel selten ändert und eine Änderung signifikant für die Produktion ist. Wählt man diese Option allerdings bei einem Sensorwert, muss der Mitarbeiter im Sekundentakt ein Fenster schließen, um mit seiner Arbeit fortführen zu können.

Zusammenfassend sind die beiden modellierten Prozesse zum Anlegen und Löschen mit der Systemstruktur intuitiv durchführbar. Tiefergehende Beschreibungen zu konkreten Implementierungen im Rahmen von Kapitel 5 sind in den Arbeiten von [GaKe19], [Har19], [Bad19] zu finden.

5.4 Validierung und Erweiterungspotenziale

Nach dem Gesamtsystemtest der prototypischen Implementierung wird im Rahmen dieses Kapitels auf die nicht-funktionalen Anforderungen eingegangen (Kapitel 5.4.1). Anknüpfend daran werden funktionale Erweiterungspotenziale für die praktische Weiterentwicklung der Systemstruktur aufgezeigt (Kapitel 5.4.2).

5.4.1 Bewertung der nicht-funktionalen Anforderungen

Im Zuge der Top-Down Modellierung der Systemstruktur sind in Kapitel 4.1.2 nicht-funktionale Anforderungen definiert worden. Dieses Kapitel bewertet die Erfüllung der aufgestellten NFA. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 zusammengefasst und nachstehend erläutert:

Durch die Realisierung einer webbasierten Lösung kann der Nutzer ein beliebiges Endgerät seiner Wahl verwenden, solange dieses über einen webfähigen Browser verfügt (**NFA1**). Für

die Benutzungsoberfläche ist eine möglichst übersichtliche Darstellung gewählt, die sich an der Displaygröße des jeweiligen Endgerätes orientiert.

Ziel ist es, lediglich die Elemente anzuzeigen, die der Nutzer zur Bedienung der Systemstruktur benötigt. Durch eine hohe Subjektivität der intuitiven Nutzung wird dies nur mit teilweise erfüllt bewertet (**NFA2**). Die Systemstruktur kann größtenteils auf einem Edge Device implementiert werden und in jeder CPPM-basierten Produktionsumgebung Anwendung finden, sofern die CPPM über einen OPC UA-Server verfügen (**NFA3**).

Tabelle 16: Zusammenfassung der Bewertung der nicht-funktionalen Anforderungen

Bewertung der nicht-funktionalen Anforderungen		
NFA	Beschreibung	Bewertung
NFA1	Endgerät unabhängige Benutzungsschnittstelle	+
NFA2	Intuitive Benutzungsschnittstelle	(+)
NFA3	Modifizierbare Ausgestaltungsmöglichkeit	+
NFA4	Erweiterbarkeit des Funktionsumfangs	+
NFA5	Plattformunabhängige Teilsystemkomponenten	+
NFA6	Plattformunabhängige Integrationsmöglichkeit	+
NFA7	Übertragbarkeit bei Neuentwicklungen	(+)
NFA8	Wiederverwendbarkeit bei spezifischen Weiterentwicklungen	+
NFA9	Zugangsbeschränkung der Nutzerprofile	+
NFA10	Vertraulicher Umgang mit ausgewählten Informationsservices	+
Legende	+ = erfüllt ; (+) = teilweise erfüllt ; -- = nicht erfüllt	

Mithilfe der NoSQL-Datenbanken, einer objektbasierten Programmierweise der Middleware und webbasierten Benutzungsschnittstelle können die Teilsystemkomponenten jeweils individuell erweitert werden. Durch den Aufbau der Systemstruktur aus sechs Teilsystemkomponenten ist zudem auf Modularität geachtet (**NFA4**). Durch die Verwendung von OPC UA als Kommunikationsprotokoll zu den CPPM und JavaScript, Python und NoSQL-Datenbanken als interne technische Lösung, kann eine plattformunabhängige Systemstruktur bereitgestellt werden. Die Systemstruktur ist dazu auf einem Windows und einem Linux-Rechner getestet worden (**NFA5**). Sofern die CPPM ihre Informationen über einen OPC UA-Server in Form einer Verwaltungsschale anbieten, kann für die Systemstruktur ein Teilmodell *CPPM Informationen (extern)* eingerichtet werden. Die Systemstruktur lässt sich dadurch in

bestehende Produktionsumgebungen integrieren (**NFA6**). Durch den modularen Aufbau können auch Teile der Systemstruktur bei Neuentwicklungen wiederverwendet werden. Insbesondere betrifft dies die NoSQL-Datenbanken. Die Benutzungsschnittstelle und die Middleware sind sehr stark an die Prozessführung zum Anlegen und Löschen von Informationsservices gebunden, sodass sich eine Übertragung für Neuentwicklungen nur bedingt empfiehlt (**NFA7**). Soll die Systemstruktur jedoch an z.B. branchenspezifischen Anforderungen angepasst oder teilweise erweitert werden, so ist dies durch den modularen Aufbau der Middleware und Benutzungsschnittstelle möglich. Weitere Zeilen und Spalten in die NoSQL-Datenbanken einzufügen, gestaltet sich bei ausreichend Speicherplatz einfach (**NFA8**). Mittels einer Login-Funktion, über die sich der Nutzer mit seinem Nutzernamen und Passwort anmeldet, ist eine Zugangsbeschränkung der Nutzerprofile realisiert (**NFA9**). Die bereits angelegten Informationsservices \vec{x}_n innerhalb der Nutzerprofile können so lediglich von dem Mitarbeiter eingesehen werden, der sich mit seinem persönlichen Passwort anmeldet (**NFA10**).

5.4.2 Erweiterungspotenziale

Aufgrund der Systemabgrenzung und der Prozessbeschreibung ist die Systemstruktur, zusammen mit den NFA, in einem klar definierten Rahmen realisiert. Mit der formalen Abgrenzung ergeben sich unmittelbar bestimmte Erweiterungspotenziale der Systemstruktur:

- **Nutzer:**

Derzeit sind die Nutzergruppen auf die Mitarbeiter des Shopfloors fokussiert. Die dadurch beschriebenen Mitarbeiter sind in der Systemstruktur prototypisch mit ihren Rollen angelegt. Hierbei ist eine genaue Rollenbeschreibung stets unternehmensindividuell anzupassen und zu spezifizieren. Denkbar ist es, an dieser Stelle die Nutzergruppen zu erweitern, beispielsweise für Produktionsplanung oder Arbeitsvorbereitung. Für diese Nutzergruppen müssten dann wiederum Informationsklassen identifiziert werden. Weiterhin könnte es einem Nutzer ermöglicht werden, Informationen mit anderen Nutzern (z.B. im Rahmen der Schichtarbeit) zu teilen. Hierzu muss die Systemstruktur in die Lage versetzt werden, Nutzer miteinander zu verbinden, wofür Ansätze aus dem Social Media Bereich denkbar wären.

- **Informationen:**

Aktuell sind die Informationen auf wenige Informationsklassen beschränkt und stark an individuelle Sensorik sowie Aktorik geknüpft. Eine Erweiterung der Informationsauslese aus einem OPC UA-Server ist dabei denkbar. Informationen könnten in einer zusätzlichen Instanz weiter aggregiert werden, sodass sich ein Nutzer seine eigenen KPI aus mehreren Informationswerten zusammensetzen kann. Durch zusätzliche Datenbanken könnten zudem einzelne Informationsservices in ihrer Historie gespeichert werden. Dies würde ein Auslesen oder Darstellen von Graphen ermöglichen, die einen zeitlichen Verlauf wiedergeben.

- **Interaktionen:**

Interaktionen sind derzeit anhand von zwei Interaktionskategorien prototypisch implementiert. An dieser Stelle könnten neue Arten der Interaktionen aus dem Social Media Bereich (z.B. News Feed, Storyline) zu einer Erweiterung der Systemstruktur beitragen. Unmittelbar gekoppelt an die Interaktion, ist in diesem Zusammenhang die Art und Weise, wie Informationen für den Mitarbeiter dargestellt werden.

6 Fazit und Ausblick

Nach der erfolgreichen Implementierung zieht Kapitel 6.1 ein Fazit zur vorliegenden Arbeit. Kapitel 6.2 greift die Realisierung der entwickelten Systemstruktur auf und identifiziert daran anknüpfende Forschungsfragen.

6.1 Fazit

Vor dem Ausblick geht dieses Kapitel auf die aufgestellten Forschungsfragen dieser Arbeit ein und reflektiert diese kritisch.

Für die Prozessbeschreibungen des Anlegens und Löschens eines Informationsservice \vec{x}_n wurde auf ein möglichst einfaches Vorgehen zurückgegriffen, welches lediglich die notwendigen Schritte enthält. Auf den Prozessbeschreibungen basierend, wurde eine formale Abgrenzung der Systemstruktur hergeleitet. Eine Bewertung, wie intuitiv die Bedienung für den Mitarbeiter ist, kann nicht pauschal abgegeben werden. Je mehr Erfahrungen der Mitarbeiter bereits im Umgang mit (mobilen) Endgeräten gesammelt hat, desto wahrscheinlicher ist es, dass ihm die Bedienung der Systemstruktur leichter fallen wird.

Ausgehend von einer **CPPM-basierten Produktionsumgebung** und dem Ansatz der Industrie 4.0-Komponente wurde ein Vorschlag für eine Systemstruktur geliefert. Auf Basis einer semantischen Informationsaufbereitung in Form einer Verwaltungsschale können die CPPM Informationen über einen OPC UA-Server herstellerübergreifend anbieten. Diese Informationen werden von der Systemstruktur verarbeitet und für den Mitarbeiter in der modularen Produktionsumgebung dargestellt. Hierbei genießt der Mitarbeiter ein hohes Maß an Selbstbestimmung. Neben der auswählbaren Information kann er die Art und Häufigkeit sowie das Mitarbeiterfeedback anhand der Wahl der Interaktion bestimmen. Die individuell ausgewählten Informationsservices \vec{x}_n werden anschließend in einem Nutzerprofil gespeichert. Aufgrund des Vorfilters, der Informationen in Informationsklassen einteilt, werden dem Mitarbeiter gewisse Informationen vorenthalten. Zwar geschieht dies, um einen Information Overload in datenintensiven Produktionsumgebungen zu vermeiden, dennoch greift es in die Selbstbestimmung des Menschen ein.

Die **Systemstruktur** besteht dabei aus sechs unterschiedlichen Teilsystemkomponenten, wobei die Middleware die zentrale Teilsystemkomponente darstellt. Der modulare Aufbau erleichtert eine Erweiterung oder Anpassung der Systemstruktur. Bei großen Datenmengen und immer größer werdenden Datenbanken wird folglich mehr Rechenleistung notwendig werden. Auch eine Erweiterung auf echtzeitkritische Informationen oder Funktionen wäre in zukünftigen Arbeiten zu evaluieren.

Für die Vermeidung einer Informationsüberflutung aus dezentralen CPPM sind in der Systemstruktur mehrere Elemente implementiert, um insbesondere die Darstellung der

Informationen zu optimieren: Zum einen existiert der bereits angesprochene **Vorfilter**, der eine Vorauswahl an Informationen für den Mitarbeiter **anhand der Mitarbeiterrolle** trifft. Zum anderen ist die Systemstruktur so konzipiert, dass sich der Mitarbeiter mit jedem CPPM individuell verbinden kann und jeweils ein individuelles Display erstellt. So ist sichergestellt, dass er immer nur von genau einem CPPM Informationen erhält, auch wenn eine Erweiterung auf ein Dashboard über alle CPPM Mehrwerte generieren könnte.

In Bezug auf die **Interaktionen** haben sich die beiden eingeführten Kategorien als zielführend erwiesen. Durch ein stark subjektives Empfinden über die Sinnhaftigkeit einer Interaktionsform kann dies nur in Form von unternehmensinternen Nutzerstudien abschließend beantwortet werden. Neuartige Interaktions- und Darstellungsformen aus dem Social Media Bereich könnten insbesondere in einer jüngeren Zielgruppe die Akzeptanz der Systemstruktur erhöhen.

6.2 Ausblick

Während der Modellierung und Implementierung der vorliegenden Arbeit konnten weiterführende Forschungsfragen und Themen identifiziert werden, die nachfolgend vorgestellt werden:

- **Mitarbeiteridentifikation ohne Login:**

Aktuell ist der Mitarbeiter, der sich an der Systemstruktur anmeldet, für diese bis zum Zeitpunkt des Logins unbekannt. Der Login-Prozess durch den Mitarbeiter könnte effizienter gestaltet werden, wenn dieser unmittelbar von der Systemstruktur erkannt werden kann. Daraus ergibt sich die Frage, ob der Mitarbeiter mit einem eigenen Profil ausgestattet werden kann, sodass er durch eine Ortserkennung automatisch mit den umliegenden CPPM verbunden wird. Hierdurch könnte eine automatische, ortsspezifische Informationsauswahl realisiert werden. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob eine Verwaltungsschale auch für Mitarbeiter geeignet ist und an dieser Stelle Mehrwerte liefern könnte.

- **Vereinfachter Zugang zur Systemstruktur:**

Um wirklich flexibel mit den einzelnen Modulen interagieren zu können, muss sich der Mitarbeiter derzeit an jedem der CPPM separat über dessen Netzwerk einloggen. Es bleibt zu erforschen, wie ein Mitarbeiter in verteilten, modularen Produktionsumgebungen möglichst schnell und selbstbestimmt mit einem CPPM seiner Wahl verbunden werden kann. Zusätzlich ist zu klären, ob es sinnvoll ist sich an jedem CPPM einen eigenen Account zu registrieren oder die CPPM die Account-Informationen untereinander übertragen könnten.

- **Mitarbeiterstudien zu Rollen und Informationsklassen:**

Wie bereits im Stand der Forschung erläutert, sind Rollen und Aufgaben ein entscheidender Erfolgsfaktor der Systemstruktur und bestimmen mit darüber, welche Informationen für die Mitarbeiter relevant sein könnten. Durch Mitarbeiterstudien

und -umfragen innerhalb von verteilten, modularen Produktionsumgebungen könnten konkretere und spezifischere Rollenbeschreibungen abgeleitet werden. Es bleibt jedoch fraglich, ob aus diesen Rollen allgemeine Aufgaben in der modularen Produktion abgeleitet werden können. Daraus ergibt sich gleichzeitig die Frage, ob eine exaktere Vorauswahl der Informationen für die Mitarbeiter erfolgen kann.

- **Manipulierender Zugriff auf Daten:**

Die aktuelle Systemstruktur ist auf eine intuitive und selbstbestimmte Bereitstellung von Informationen für den Mitarbeiter auf dem Shopfloor ausgelegt. Dabei steht eine Informationsversorgung des Mitarbeiters mit einer Interaktionsform seiner Wahl im Vordergrund, die ihn dabei nicht kognitiv überlastet und somit einem Information Overload vorbeugt. Neben dem reinen Anzeigen von Informationen, besteht auch die Möglichkeit, diese zu verändern. Es stellt sich allerdings die Frage, ob es für Mitarbeiter in einer modularen Produktionsumgebung erlaubt sein sollte, Informationen frei auszuwählen und diese manipulieren zu können. In diesem Zuge müsste auch betrachtet werden, ob anhand der Rolle des Mitarbeiters die dafür notwendigen Befugnisse für eine solche Manipulation allgemein festgelegt werden könnte.

- **Service- und Funktionsaufrufe der CPPM:**

In Anknüpfung an den vorangegangenen Punkt kann es für manche Mitarbeiterrollen relevant sein, mehr als nur auf die reinen Informationen zuzugreifen. Möglich ist hierbei, dass die Systemstruktur neben der Informationsbereitstellung auch die Produktionsservices des CPPM für die Mitarbeiter zugänglich macht. Auch hier ergibt sich die Frage, ob Mehrwerte für den Mitarbeiter und das Unternehmen entstehen könnten. Des Weiteren wäre zu klären, welche Berechtigungen notwendig wären und welche dieser Produktionsservices und Funktionen eine Basis zur Erfüllung der Aufgaben darstellen.

- **Ansätze der Künstlichen Intelligenz:**

Da der Mitarbeiter mit seiner konkreten Mitarbeiterrolle an der Systemstruktur angemeldet ist, sind die dort gewählten Informationsservices bekannt. Wenn eine gewisse Mitarbeiterrolle über einen längeren Zeitraum, an unterschiedlichen CPPM oder in unterschiedlichen Bereichen des Shopfloors vermehrt auf die gleiche Information zurückgreift, könnte dieser Information eine gewisse Relevanz zugeordnet werden. Im Sinne einer Analyse der gewählten Informationsservices, im Verhältnis zur jeweiligen Mitarbeiterrolle, könnten Informationen neuen Mitarbeitern vorgeschlagen werden. Es wäre zu evaluieren, inwiefern hier Vorschlagssysteme aus dem Consumer-Bereich Anwendung finden können.

Alternativ könnte in einer Mitarbeiterbefragung untersucht werden, ob die Systemstruktur um eine Funktion erweitert werden sollte, in der Mitarbeiter die Relevanz einer Information manuell bewerten können. Die Bewertung könnte dann als Feedback in das System zurückgespielt werden. Es bleibt zu validieren, ob sich eine Systemstruktur implementieren lassen würde, die sich dementsprechend

selbstständig weiterentwickelt und an ihre Nutzer sowie Produktionsumgebung anpasst.

- **Erweiterung um eine übergeordnete Aggregationsebene:**

Die Systemstruktur erlaubt es derzeit, auf jedes CPPM einzeln zuzugreifen und sich in einem ersten Schritt die Standardanzeige dieses CPPM anzeigen zu lassen. Im nächsten Schritt wäre die Frage zu klären, wie sinnvoll eine übergeordnete Aggregationsebene wäre. Das heißt, diese Instanz sollte nicht nur singulär auf ein CPPM, sondern auf mehrere gleichzeitig zugreifen können. Außerdem wäre in Zusammenarbeit mit den beteiligten Mitarbeitern zu erarbeiten, ob Informationen mehrerer CPPM gleichzeitig zu einem Mehrwert oder zu einer Belastung führen.

- **Interaktionsauswahl und -ausgestaltung:**

Die Interaktionen, welche in dieser Systemstruktur prototypisch angelegt sind, erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Insbesondere bei den zweckorientierten Interaktionen besteht Potenzial, den Zusammenhang zwischen dem eintretenden Event und der damit verknüpften Darstellung zu untersuchen. In Kombination mit dem vorangegangenen Punkt einer höheren Instanz, stellt sich erneut die Frage passender Interaktionen bei einer Verbindung mit mehreren CPPM. Aufgrund gleichzeitig auftretender Events an unterschiedlichen CPPM bleibt es zu erforschen, ob es bei den Events zu einer Priorisierung kommen sollte.

7 Zusammenfassung

Mithilfe der Digitalisierung und Ansätzen wie Industrie 4.0 entstehen neue Möglichkeiten, Produktionsumgebungen umzugestalten. Sich wandelnde Kundenanforderungen bis hin zur Produktion von Losgröße 1 stellen produzierende Unternehmen vor eine Herausforderung. Durch den Ansatz einer Modularisierung und Digitalisierung von Produktionsressourcen können Produktionslinien flexibler ausgeprägt werden.

Cyber-Physische Produktionsmodule kapseln einzelne Fertigungsfunktionen und lassen sich herstellerübergreifend zu einer Produktionslinie kombinieren, je nach Produktanforderungen des Kunden. Mithilfe dieser CPPM wird die Produktionsumgebung modularer und flexibler gestaltet, bis hin zu einer dezentralen Verteilung der CPPM auf dem Shopfloor. Für operative Arbeiten stehen auf dem Shopfloor nach wie vor Mitarbeiter eines Unternehmens zur Verfügung, die individuelle Rollen und Aufgaben besitzen und mit den CPPM interagieren müssen.

Die hier vorliegende Arbeit hat sich mit einer Möglichkeit befasst, wie es für Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor möglich werden kann, **selbstbestimmt** und anhand ihrer **Mitarbeiterrolle** an **Informationen der CPPM** zu gelangen. Nach einer Einleitung und Ableitung der Problemstellung, wurden im Stand der Forschung zwei Themengebiete untersucht: die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Produktion und die Rolle sowie Integration des Menschen in die modulare Produktion. Im Anschluss konnten die Forschungsziele formuliert und die Vorgehensweise zur Beantwortung der Forschungsfragen vorgestellt werden, die sich mit der Bereitstellung von Informationsservices in der modularen Produktionsumgebung befassen.

Die entwickelte Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices ermöglicht ein **neues Paradigma der Selbstbestimmung** für Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor. Die Systemstruktur wurde mit dem V-Modell aus der Softwareentwicklung als Methodik entwickelt. In diesem Zusammenhang wurden Informationsservices als eine Kombination von Information, Mitarbeiter und Interaktion eingeführt und definiert sowie nicht-funktionale Anforderungen erhoben. Mittels einer intuitiven **Prozessbeschreibung** konnte das Anlegen und Löschen eines **Informationsservice** durch den Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor modelliert werden.

Davon ausgehend, konnte eine übergeordnete **Grob-Systemstruktur** beschrieben werden, welche die notwendigen funktionalen Anforderungen zur Realisierung der Prozessbeschreibung enthielt. Die Grob-Systemstruktur enthielt alle **Teilsystemkomponenten** der Systemstruktur, welche im Anschluss einzeln modelliert wurden. Teil der Beschreibung der Teilsystemkomponenten war die **Modellierung der Information, Interaktion, Mitarbeiter und des Informationsservice**, die zur Selbstbestimmung des Mitarbeiters essenziell sind. Ein Besonderer Fokus lag in diesem Kontext auf der **Ausgestaltung der Interaktion**. Die Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemkomponenten, die zur Realisierung der

Prozessbeschreibung notwendig sind, wurden als interne Kommunikation der Systemstruktur abgebildet.

Die Modellierungsergebnisse konnten im Anschluss anhand einer prototypischen Implementierung in einer CPPM-basierten Testumgebung validiert und evaluiert werden. Dazu wurden die Teilsystemkomponenten erst einzeln implementiert und im Anschluss über die beschriebenen Schnittstellen miteinander verknüpft. Das Anlegen und Löschen der Informationsservice konnte erfolgreich in einem Gesamtsystemtest durchgeführt werden. Als Kommunikationsprotokoll wurde auf OPC UA zurückgegriffen. Für die Speicherung von Information, Interaktion, Mitarbeiter und Informationsservices wurden NoSQL-Datenbanken verwendet. Die aufgestellten funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen konnten mehrheitlich als erfüllt bewertet werden. Die prototypische Implementierung schloss mit Erweiterungspotenzialen für zukünftige Arbeiten ab. Die Erreichung der aufgestellten Forschungsfragen wurde im Rahmen eines Fazits kritisch reflektiert, wobei die Forschungsziele jedoch erreicht werden konnten. Darauf aufbauend konnte in einem Ausblick offene Forschungsfragen für zukünftige Arbeiten aufgezeigt werden.

Zusammenfassend liefert diese Arbeit eine Möglichkeit, einen neuen Ansatz für den Informationsaustausch von Mitarbeiter und CPPM in einer modularen Produktion zu gestalten. Die definierten und modellierten **Informationsservices** sowie die dazugehörigen **Informationen**, **Mitarbeiter** und **Interaktionen** erweitern den Stand der Technik. Die realisierte **Systemstruktur** und die Implementierung der dazugehörigen **Referenzstruktur** bilden den Proof-of-Concept der modellierten Komponenten.

8 Literaturverzeichnis

- [Ab73] Abdel-Khalik, A. R.: The Effect of Aggregating Accounting Reports on the Quality of the Lending Decision: An Empirical Investigation. In *Journal of Accounting Research*, 1973, 11; S. 104.
- [ac16] acatech–Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.: Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0. Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen, 2016.
- [Ad15] Adolphs, P. et al.: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0) Statusreport, 2015.
- [AKV19] Alaimo, C.; Kallinikos, J.; Valderrama, E.: Platforms as service ecosystems: Lessons from social media. In *Journal of Information Technology*, 2019, 35; 026839621988146.
- [Ba14] Bauernhansl, T.: Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In (Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten; Vogel-Heuser, B. Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration*. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014; S. 5–35.
- [BD19] Belyaev, A.; Diedrich, C.: Aktive Verwaltungsschale von I4.0-Komponenten. In *Automationkongress Baden-Baden*, 2019.
- [Be16] Bernshausen, J. et al.: Namur Modul Type Package – Definition. In *atp magazin*, 2016, 58; S. 72–81.
- [BFF96] Berners-Lee, T.; Fielding, R.; Frystyk, H.: Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.0. <https://tools.ietf.org/html/rfc1945>, 01.11.2019.
- [Bi18] Birtel, M. et al.: Requirements for a Human-Centered Condition Monitoring in Modular Production Environments. In *IFAC-PapersOnLine*, 2018, 51; 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, 2019.
- [Bi89] Biggerstaff, T. J.: Design recovery for maintenance and reuse. In *Computer*, 1989, 22; S. 36–49.
- [BMR19] Birtel, M.; Motsch, W.; Ruskowski, M.: Implementierung eines mitarbeiterrollenbasierten Informationssystems in einer modularen Produktionsumgebung mittels einer menschenzentrierten Verwaltungsschale. Gesellschaft für Informatik e.V, Mensch und Computer 2019-Workshopband., 2019.

- [BOS17] Brecher, C.; Odenbusch, M.; Sittig, S.: Gestaltung und Entwicklung anwendernaher Bediensysteme, Bonn, 2017.
- [BP18] Birtel, M.; Popper, J.: Vorgehensweise zum Retrofitting einer Stanzmaschine zur Visualisierung von Prozessdaten. Gesellschaft für Informatik e.V, 2018.
- [BPT15] Belshe, M.; Peon, R.; Thomson, M.: Hypertext Transfer Protocol Version 2 (HTTP/2). <https://tools.ietf.org/html/rfc7540>, 01.11.2019.
- [BQR17] Birtel, M.; Quint, F.; Ruskowski, M.: Virtuelle Benutzungsschnittstellen auf Basis semantischer Modelle zur vereinfachten Anlageninteraktion. Gesellschaft für Informatik e.V, Mensch und Computer 2017-Workshopband., 2017.
- [Br10] Broy, M. Hrsg.: Cyber-Physical Systems — Wissenschaftliche Herausforderungen Bei Der Entwicklung. Cyber-Physical Systems. Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- [Br83] Brockhoff, K.: Informationsverarbeitung in Entscheidungsprozessen Skizze einer Taxonomie. In Journal of business economics JBE, 1983, 53.
- [BS15] Bonekamp, L.; Sure, M.: Consequences of Industry 4.0 on Human Labour and Work Organisation, 2015.
- [BZ15] Brauner, P.; Zieflie, M.: Human Factors in Production Systems. In (Brecher, C. Hrsg.): Advances in production technology. Springer Open, Cham, 2015; S. 187–199.
- [CC90] Chikofsky, E. J.; Cross, J. H.: Reverse engineering and design recovery: a taxonomy. In IEEE Software, 1990, 7; S. 13–17.
- [Ch11] Chiriac, N. et al.: Level of Modularity and Different Levels of System Granularity. In Journal of Mechanical Design, 2011, 133.
- [Ci13] Cimiano, P. et al. Hrsg.: Augmented Reality Supported by Semantic Web Technologies. The Semantic Web: Semantics and Big Data. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [CMS] Calderola, E. G.; Modoni, G.; Sacco, M.: A Knowledge-based Approach to Enhance the Workforce Skills and Competences within the Industry 4.0, 2018.
- [Cr08] Crockford, D.: Das Beste an JavaScript. Erkunden Sie die Stärken von Java Script. O'Reilly, Beijing, 2008.
- [De01] Dey, A. K.: Understanding and Using Context. In Personal and Ubiquitous Computing, 2001, 5; S. 4–7.
- [De13] Deßloch, S.: Informationsmodelle, Kaiserslautern, 2013.
- [De15] Deuse, J. et al.: Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0. In (Botthof, A.; Hartmann, E. Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer Vieweg, Berlin, 2015; S. 99–109.

- [DIN13] DIN EN 62264-1:2013, Integration von Unternehmensführungs- und Leitsystemen - Teil_1: Modelle und Terminologie (IEC_62264-1:2013); Deutsche Fassung EN_62264-1:2013.
- [DIN16] DIN SPEC 91345:2016, Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0).
- [DIN18] DIN SPEC 16593-1:2018, Referenzmodell für Industrie 4.0 Servicearchitekturen - Teil_1: Grundkonzepte einer interaktionsbasierten Architektur; Text_Englisch.
- [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.
- [DPH09] Dubberly, H.; Pangaro, P.; Haque, U.: ON MODELING: What is interaction?: are there different types? In interactions, 2009, 16; S. 69.
- [Dr18] Drossel, W.-G. et al.: Cyber-Physische Systeme. In (Neugebauer, R. Hrsg.): Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2018; S. 197–222.
- [EAC95] Evaristo, R.; Adams, C.; Curley, S.: Information Load Revisited: A Theoretical Model. In ICIS 1995 Proceedings, 1995.
- [Ep16] Epple, U. et al.: Industrie 4.0 Service Architecture Basic concepts for interoperability. Technical Report., Düsseldorf, 2016.
- [Eu13] European Factories of the Future Research Association: Multi Annual Roadmap for the Contractual PPP under Horizon 2020, 2013.
- [fi] fischertechnik Webshop: Fabrik-Simulation 24V.
<https://www.fischertechnikwebshop.com/de-DE/fabrik-simulation-24v-536634-de-de>, 01.11.2019.
- [GB12] Geisberger, E.; Broy, M. Hrsg.: agendaCPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Springer, Berlin, 2012.
- [Go14] Gorecky, D. et al.: Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. In (Pereira, C. E. Hrsg.): 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN 2014). Porto Alegre - RS, Brazil, 27 - 30 July 2014. IEEE, Piscataway, NJ, 2014; S. 289–294.
- [Go16] Gorecky, D. et al.: Design and Instantiation of a Modular System Architecture for Smart Factories. In IFAC-PapersOnLine, 2016, 49; S. 79–84.
- [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. Anwendung, Technologien, Migration. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014; S. 525–542.

- [GW16] Gorecky, D.; Weyer, S.: SmartFactory-KL System Architecture for Industrie 4.0 Production Plants, Kaiserslautern, 2016.
- [Ha13] Haupert, J.: DOMeMan: Repräsentation, Verwaltung und Nutzung von digitalen Objektgedächtnissen. Zugl.: Saarbrücken, Univ., Diss., 2013. Akad. Verl.-Ges. AKA, Berlin, 2013.
- [HMU07] Hopcroft, J. E.; Motwani, R.; Ullman, J. D.: Introduction to automata theory, languages, and computation. Pearson/Addison Wesley, Boston, Mass., London, 2007.
- [Ho13] Hodek, S.: Methode zur vollautomatischen Integration von Feldgeräten in industrielle Steuerungssysteme. Ein Beitrag zur Plug&Play-Feldgeräteintegration. Zugl.: Kaiserslautern, Techn. Univ., Diss., 2013. Techn. Univ, Kaiserslautern, 2013.
- [Ho16] Holm, T. et al.: Namur Modul Type Package - Implementierung. Anwendung des Namur-MTP für Prozessanlagen. In atp edition. Automatisierungstechnische Praxis, 2016, 58; S. 82–90.
- [IEC15] IEC 62541: Mai 2015, OPC Unified Architecture - Part 5: Information Model.
- [IEC18] IEC 62741: April 2018, Engineering data exchange format for use in industrial automation systems engineering - Automation markup language.
- [In19] Intel Corporation: Intel® NUC.
<https://www.intel.de/content/www/de/de/products/boards-kits/nuc.html>, 01.11.2019.
- [ISO05] ISO/IEC 19501: April 2005, Information technology — Open Distributed Processing — Unified Modeling Language (UML) Version 1.4.2.
- [ISO11] ISO/IEC 25010: March 2011, Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models.
- [Jo15] Johnsson, C.: KPI/Metrics for the process industry, Automation Summit, 2015.
- [Jo17] Jost, J. et al.: Der Mensch in der Industrie – Innovative Unterstützung durch Augmented Reality. In (Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Bd. 1: Produktion. Springer Vieweg, Berlin, 2017; S. 153–174.
- [Ka13] Kagermann, H.; Helbig, J.; Hellinger, A.; Wahlster, W.: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry. final report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion., 2013.
- [KHM18] Kolberg, D.; Hermann, J.; Mohr, F.: SmartFactoryKL Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen, Kaiserslautern, 2018.

- [KKL11] Koch, M.; Kemper, H.-G.; Lasi, H.: Informationsmanagement in der Produktion. In Wirtschaftsinformatik Proceedings 2011, 2011.
- [KI15] Kletti, J. Hrsg.: MES - Manufacturing Execution System. Moderne Informationstechnologie unterstützt die Wertschöpfung. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2015.
- [KI17] Klettner, C. et al.: Namur Open Architecture. In atp magazin, 2017, 59; S. 20–37.
- [KI19] Klumpp, M. et al.: Production logistics and human-computer interaction—state-of-the-art, challenges and requirements for the future. In The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019, 105; S. 3691–3709.
- [KLK13] Koch, M.; Lasi, H.; Kemper, H.-G.: Bestimmung aufgabenträgerorientierter Informationsbedarfe in industriellen Unternehmen. In Wirtschaftsinformatik Proceedings 2013, 2013.
- [Ko18] Kolberg, D.: Entwicklung einer Referenzarchitektur zur Realisierung von Methoden der Lean Production mittels digitaler Technologien, 2018.
- [Kr11] Kröner, A.; Haupert, J.; Seißler, M.; Kiesel, B.; Schennerlein, B.; Horn, S.; Schreiber, D.; Barthel, R.: Object Memory Modeling.
<https://www.w3.org/2005/Incubator/omm/XGR-omm-20111026/>, 01.11.2019.
- [La17] Langer, T. et al. Hrsg.: Die vollvernetzte Fabrik - Bausteine zur durchgängigen Digitalisierung, 2017.
- [LB15] Lingnau, V.; Brenning, M.: Komplexität, Flexibilität und Unsicherheit - Konzeptionelle Herausforderungen für das Controlling durch Industrie 4.0. In Controlling, 2015, 27; S. 455–460.
- [Le08] Lee, E. A.: Cyber Physical Systems: Design Challendes, 2008.
- [Le99] Lee, Y. T.: Information modeling: From design to implementation, IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1999.
- [LLK15] Lachenmaier, J.; Lasi, H.; Kemper, H.-G.: Entwicklung und Evaluation eines Informationsversorgungskonzepts für die Prozess- und Produktionsplanung im Kontext von Industrie 4.0. In Wirtschaftsinformatik Proceedings 2015, 2015.
- [Lo07] Loos, P.: Architekturen und Prozesse. Strukturen und Dynamik in Forschung und Unternehmen. Springer-Verlag, s.l., 2007.
- [Lo13] Loskyll, M.: Entwicklung einer Methodik zur dynamischen kontextbasierten Orchestrierung semantischer Feldgerätefunktionalitäten, Kaiserslautern, 2013.
- [Lo15] Lorenz, M.; Rüßmann, M.; Strack, R.; Lueth, K.; Bolle, M.: Man and Machine in Industry 4.0. How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025? <https://www.bcg.com/de-de/publications/2015/technology-business->

- transformation-engineered-products-infrastructure-man-machine-industry-4.aspx, 01.11.2019.
- [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.
- [Lu17] Luder, A. et al.: One step towards an industry 4.0 component: 2017 13th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). 20-23 Aug. 2017. IEEE, Piscataway, NJ, 2017; S. 1268–1273.
- [Ma02] Matt, D.: Planung autonomer, wandlungsfähiger Produktionsmodule. In ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2002, 97; S. 173–177.
- [Ma17] Martens, L.: Cyber-physische Feldgeräte m industriellen Produktionsumfeld - eine Anforderungsanalyse. Projektarbeit, Kaiserslautern, 2017.
- [MB18] Mohr, F.; Birtel, M.: Kommunikation in der Produktion nach dem Muster sozialer Netzwerke. Gesellschaft für Informatik e.V, 2018.
- [Me10] Meixner, G.: Entwicklung einer modellbasierten Architektur für multimodale Benutzungsschnittstellen. Zugl.: Kaiserslautern, Techn. Univ., Diss., 2010. Techn. Univ. Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung, Kaiserslautern, 2010.
- [ME19] MEAN.JS: Full-Stack JavaScript Boilerplate From Creators of MEAN.IO. <http://meanjs.org/>, 01.11.2019.
- [ME98] Miller, T. D.; Elgård, D.: Defining Modules, Modularity and Modularization. Evolution of the Concept in a Historical Perspective, 1998.
- [Mi90] Mitchell, R.J. Hrsg.: Managing Complexity in software engineering. Peregrinus, London, 1990.
- [MKW17] Marseu, E.; Kolberg, D.; Weyer, S.: Exemplarische Übertragung der RAMI 4.0-Verwaltungsschale auf die SmartFactory KL- Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen, 2017.
- [NA] NAMUR: NAMUR – Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie e.V. <https://www.namur.net/de/>, 01.11.2019.
- [Na13] Namur, N. E.: Automation Requirements relating to Modularisation of Process Plants. NE 148, 2013.
- [NA17] NAMUR - Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie e.V.: NOA – NAMUR Open Architecture, 2017.
- [Ny08] Nyhuis, P. Hrsg.: Wandlungsfähige Produktionssysteme. Heute die Industrie von morgen gestalten. Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; PZH Produktionstechnisches Zentrum, Hannover, Garbsen, 2008.

- [Oa14] Oasis: MQTT Version 3.1.1. <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html>, 01.11.2019.
- [Ob15] Obst, M. et al.: Semantic description of process modules: 2015 IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA). 8 - 11 Sept. 2015, City of Luxembourg, Luxembourg. IEEE, Piscataway, NJ, 2015; S. 1–8.
- [OFM17] Oks, S. J.; Fritzsche, A.; Möslein, K. M.: Rollen, Views und Schnittstellen - Implikationen zur stakeholderzentrierten Entwicklung Sozio-Cyber-Physischer Systeme. In *aw&I Report*, 2017, 1; S. 61–80.
- [OHN14] Otto, J.; Henning, S.; Niggemann, O.: Why Cyber-physical Production Systems Need a Descriptive Engineering Approach – A Case Study in Plug & Produce. In *Procedia Technology*, 2014, 15; S. 295–302.
- [Ol17] Ollinger, L.: A Model-driven Engineering Methodology for the Development of Service-oriented Control Procedures for Automated Manufacturing Processes, 2017.
- [OP] OPC Foundation: Unified Architecture. <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>, 01.11.2019.
- [PB97] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung. Springer, Berlin, Heidelberg, 1997.
- [PI16a] Plattform Industrie 4.0: Interaction Model for Industrie 4.0 Components, 2016.
- [PI16b] Plattform Industrie 4.0: Struktur der Verwaltungsschale. Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0 Komponente, Berlin: Spreedruck Berlin GmbH., 2016.
- [PI18] Plattform Industrie 4.0: Details of the Asset Administration Shell Part 1 - The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0, Berlin, 2018.
- [Re] Revolution Pi: Open Source IPC auf Basis des Raspberry Pi. <https://revolution.kunbus.de/>, 01.11.2019.
- [Re03] Reuther, A.: useML - systematische Entwicklung von Maschinenbediensystemen mit XML. Zugl.: Kaiserslautern, Univ., Diss., 2003. Techn. Univ, Kaiserslautern, 2003.
- [Re12] Reich, J.: Processes, Roles and Their Interactions. In *Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science*, 2012, 78; S. 24–38.
- [Ri17] Ribeiro, L.: Cyber-physical production systems' design challenges: Proceedings, 2017 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). Edinburgh International Conference Centre, Edinburgh, Scotland, United Kingdom, 18–21 June 2017. IEEE, Piscataway, NJ, 2017; S. 1189–1194.

- [RLD19] Rauch, E.; Linder, C.; Dallasega, P.: Anthropocentric perspective of production before and within Industry 4.0. In *Computers & Industrial Engineering*, 2019; S. 105644.
- [Ro16] 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.
- [SBL10] Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H.: *Arbeitswissenschaft*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [Sc02] Scheer, A.-W.: *ARIS - Vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem*. Springer, Berlin, 2002.
- [Sc15] Schmitt, M.: Entwicklung einer Referenzarchitektur zur dynamischen Adaption von Feldgerätefunktionalitäten mittels Apps. Dissertation, Kaiserslautern, 2015.
- [SD17] Schöning, H.; Dorchain, M.: Big Smart Data – Intelligent Operations, Analysis und Process Alignment. In (Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0. Bd. 2 Automatisierung*. Springer Vieweg, Berlin, 2017; S. 457–469.
- [SDS67] Schroder, H. M.; Driver, M. J.; Streufert, S.: *Human information processing*. Holt, Rinehart and Winston, New York, 1967.
- [Sh80] Shields, M. D.: Some effects on information load on search patterns used to analyze performance reports. In *Accounting, Organizations and Society*, 1980, 5; S. 429–442.
- [Sn80] Snowball, D.: Some effects of accounting expertise and information load: An empirical study. In *Accounting, Organizations and Society*, 1980, 5; S. 323–338.
- [Sp13] Spath, D. Hrsg.: *Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. Studie*. Fraunhofer-Verl., Stuttgart, 2013.
- [SP95] Simpson, C. W.; Prusak, L.: Troubles with information overload—Moving from quantity to quality in information provision. In *International Journal of Information Management*, 1995, 15; S. 413–425.
- [SSG13] Schlick, J.; Stephan, P.; Greiner, T.: Kontext, Dienste und Cloud Computing. In *atp edition - Automatisierungstechnische Praxis*, 2013; S. 32–41.
- [St01] Stelzer, D.: *Informationsbedarf: Lexikon der Wirtschaftsinformatik*. Springer, Berlin [u.a.], 2001; S. 238–239.

- [St19] Stumpf, N.; Aschenbrenner, D.; Stahl, M.; Aßmuth, A.: PLASMA—Platform for Service Management in Digital Remote Maintenance Applications, 2019.
- [TA18] Tantik, E.; Anderl, R.: Concept of the asset administration shell as a software-defined system: 2018 Fourth International Conference on Software Defined Systems (SDS). 23–26 April, 2018, Barcelona, Spain. IEEE, Piscataway, NJ, 2018; S. 52–58.
- [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.
- [Tz06] Tzafestas, S.: Concerning human-automation symbiosis in the society and the nature. In *International Journal of Factory Automation, Robotics and Soft Computing*, 2006, 1; S. 6–24.
- [UD18] Usländer, T.; Diedrich, C.: Services in Industrie 4.0 – Interaction-based Architecture as defined in the DIN SPEC 16593-1.
https://www.researchgate.net/profile/Thomas_Uslaender/publication/326914431_Services_in_Industrie_40_-_Interaction-based_Architecture_as_defined_in_the_DIN_SPEC_16593-1/links/5b6c09cb92851ca65053b234/Services-in-Industrie-40-Interaction-based-Architecture-as-defined-in-the-DIN-SPEC-16593-1.pdf.
- [UI15] Ullrich, C.; Aust, M.; Blach, R.; Dietrich, M.; Igel, C.; Kreggenfeld, N.; Kahl, D.; Prinz, C.; Schwantzer, S.: Eine Architektur für intelligent-adaptive Assistenz- und Wissensdienste in der Industrie 4.0.
https://www.dfk1.de/fileadmin/user_upload/import/8121_BerlinI4APPSist.pdf, 01.11.2019.
- [VDI04] VDI 2206:Juni 2004, Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme.
- [VDI17] VDI/VDE/NAMUR 2658:Juni 2017, Automatisierungstechnisches Engineering modularer Anlagen in der Prozessindustrie.
- [VDI19] VDI/VDE 2193:Januar 2019, Sprache für I4.0-Komponenten - Struktur von Nachrichten.
- [VH08] Volnhals, M.; Hirsch, B.: Information Overload und Controlling. In *Controlling & Management*, 2008, 52; S. 50–57.
- [Vi18] Vialkowitsch, J. et al.: I4.0-Sprache Vokabular, Nachrichtenstruktur und semantische Interaktionsprotokolle der I4.0 Sprache Diskussionspapier, 2018.
- [Vo17] Vogel-Heuser, B.: Herausforderungen und Anforderungen aus Sicht der IT und der Automatisierungstechnik. In (Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0. Bd. 4: Allgemeine Grundlagen*. Springer Vieweg, Berlin, 2017; S. 33–44.

- [vSR19] van de Sand, R.; Schulz, S.; Reiff-Stephan, J.: Smart Process Communication for Small and Medium-Sized Enterprises. In (Popplewell, K. et al. Hrsg.): Enterprise Interoperability VIII. Smart services and business impact of. Springer Nature, [S.I.], 2019; S. 411–420.
- [Wa05] Walther, I.: Rollen- und Situationsmodellierung bei betrieblichen Dispositions- und Planungssystemen. Modeling of roles and situations in the context of operative scheduling and planning systems, 2005.
- [Wa13] Wahlster, W.: The Semantic Product Memory: An Interactive Black Box for Smart Objects. In (Wahlster, W. Hrsg.): SemProM. Foundations of Semantic Product Memories for the Internet of Things. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2013; S. 3–21.
- [Wa16] Wassilew, S. et al.: Transformation of the NAMUR MTP to OPC UA to allow plug and produce for modular process automation: 2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). September 6–9, 2016 Berlin, Germany. IEEE, Piscataway, NJ, 2016; S. 1–9.
- [We14] Weyrich, M.: Industrie 4.0 - dynamisch-kooperierende-Systeme und deren Modularisierung, Dresden, 2014.
- [We15a] Weyer, S.: Entwicklung eines Konzepts zur mobilen Interaktion mittels Apps in der industriellen Produktion. Diplomarbeit, Kaiserslautern, 2015.
- [We15b] 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.
- [WH18] Wischmann, S.; Hartmann, E. Hrsg.: Zukunft der Arbeit - eine praxisnahe Betrachtung. Springer Vieweg, Berlin, Germany, 2018.
- [Wr16] Wrede, S. et al.: Vertical Integration and Service Orchestration for Modular Production Systems Using Business Process Models. In Procedia Technology, 2016, 26; S. 259–266.
- [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.
- [Zu08] Zuehlke, D.: SmartFactory – from Vision to Reality in Factory Technologies. In IFAC Proceedings Volumes, 2008, 41; S. 14101–14108.
- [ZV16] ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.: Beispiele zur Verwaltungsschale der Industrie 4.0-Komponente - Basisteil, Frankfurt, 2016.

Betreute studentische Arbeiten

- [Ba19] Badour, S.: Implementierung und Evaluation einer webbasierten Software zur Bereitstellung eines Informationsservices in einer modularen Produktion. Studienarbeit, Kaiserslautern, 2019.
- [GS19] Gaag, S.; Sivalingam, K.: Konzeption und Implementierung der Verwaltungsschale in einer modularen Produktionsumgebung für Condition Monitoring und rollenbezogener Datenvisualisierung. Forschungsprojekt, Kaiserslautern, 2019.
- [Ha19] Harnasch, K.: Entwicklung einer Mensch-Maschine Schnittstelle zum Anlegen und Löschen von Informationsservices. Masterarbeit, Kaiserslautern, 2019.
- [Se18] Seegmüller, J.: Anforderungen an die Informationsbereitstellung in einer menschen- Anforderungen an die Informationsbereitstellung in einer menschenzentrierten und CPS-basierten Produktionsumgebung. Forschungsprojekt, Kaiserslautern, 2018.

Lebenslauf

Name: Max Birtel
Anschrift: Altenwalderstraße 17, 66386 St.Ingbert
Geburtsdatum: 14.01.1990
Staatsangehörigkeit: deutsch
Geburtsort: St. Ingbert, Deutschland
Email: m.birtel@gmx.de

Ausbildung

- 2014-04 – 2016-05 Studium Wirtschaftsingenieurwesen mit Elektrotechnik (M.Sc.) an der Technischen Universität Kaiserslautern.
- 2015-03 – 2015-07 Studium Elektrotechnik (DAAD) an der Griffith University, Gold Coast, Queensland, Australia.
- 2009-10 – 2014-03 Studium Wirtschaftsingenieurwesen mit Elektrotechnik (B.Sc.) an der Technischen Universität Kaiserslautern.
- 2012-08 – 2012-12 Studium Betriebswirtschaft (DAAD) an der St. Ambrose University, Davenport, Iowa, Vereinigte Staaten von Amerika.
- 2000-08 – 2009-06 Abitur am Albertus-Magnus Gymnasium, Mittelstadt St. Ingbert.

Berufliche Erfahrung und Praktika

- 2016-05 – 2020-10 Researcher und u.a. Teamleiter Digitalisierte Produktionsprozesse (DPP) in der Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V. in Kaiserslautern.
- 2019-03 – 2020-09 Researcher am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH in Kaiserslautern.
- 2015-11 – 2016-01 Praktikum bei der ZF Friedrichshafen AG im Bereich der Fertigungsvorentwicklung am Standort Saarbrücken.
- 2015-08 – 2015-10 Werkstudent bei der Bosch Rexroth AG im Bereich der technischen Funktionen am Standort Homburg (Saar).
- 2014-08 – 2015-03 Werkstudent bei der Bosch Rexroth AG im Bereich der technischen Funktionen am Standort Homburg (Saar).
- 2014-04 – 2014-07 Praktikum bei der Bosch Rexroth AG im Bereich der technischen Funktionen am Standort Homburg (Saar).
- 2009-07 – 2009-08 Grundpraktikum bei der Klima Becker Full Service GmbH in Saarbrücken

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 978-3-18-303922-7