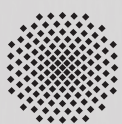
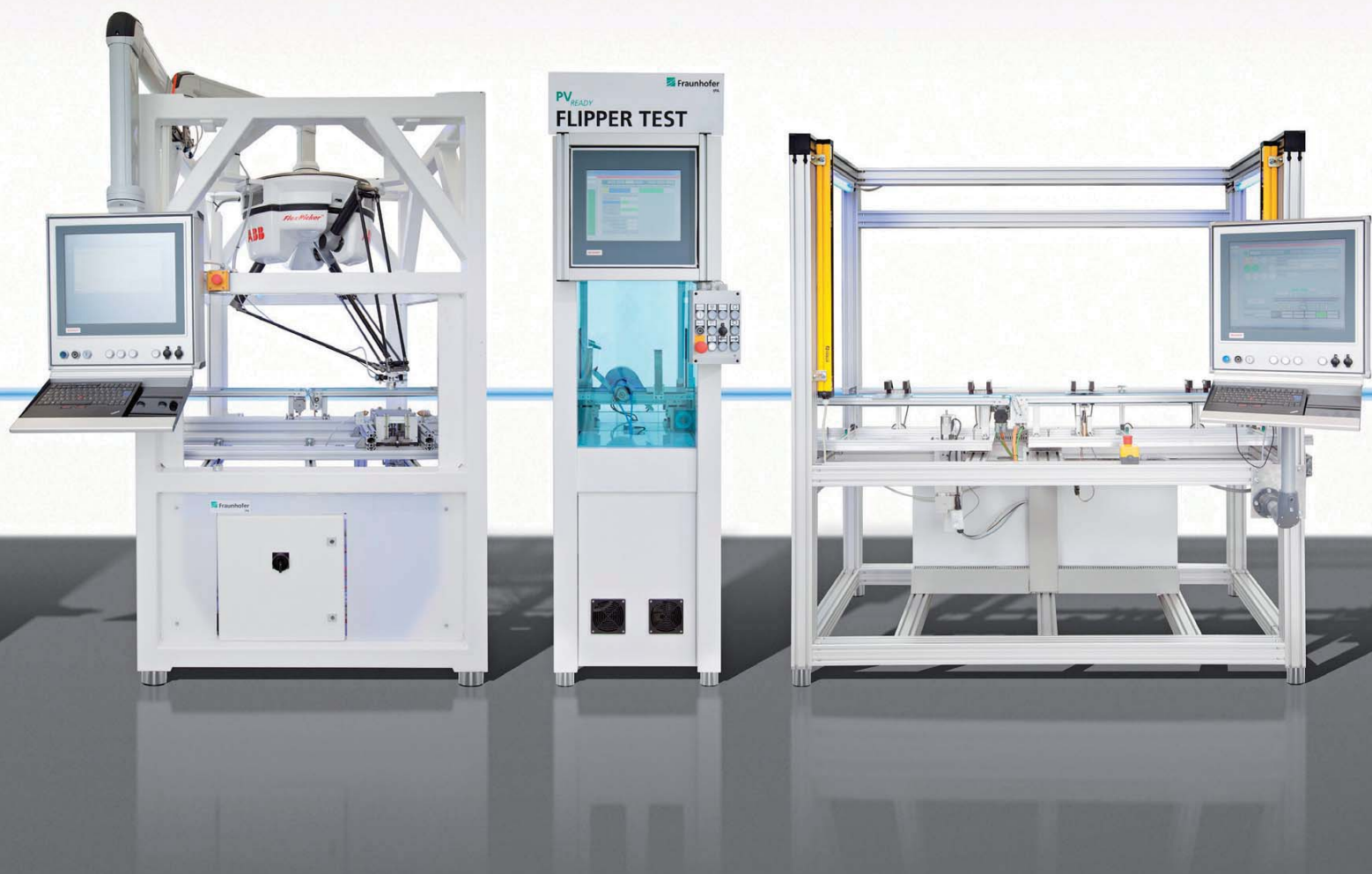


MATTHIAS ZAPP

Semantische Wiki-Systeme in der wandlungsfähigen Produktion



Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl

Univ.-Prof. a. D. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

Matthias Zapp

**Semantische Wiki-Systeme in der
wandlungsfähigen Produktion**

Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 07 11 9 70-00, Telefax 07 11 9 70-13 99
info@ipa.fraunhofer.de, www.ipa.fraunhofer.de

STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG**Herausgeber:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl
Univ.-Prof. a. D. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)
der Universität Stuttgart

Titelbild: © Fraunhofer IPA

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISSN: 2195-2892

ISBN (Print): 978-3-8396-0678-0

D 93

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2013

Druck: Mediendienstleistungen des Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart
Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **FRAUNHOFER VERLAG**, 2014

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 07 11 9 70-25 00
Telefax 07 11 9 70-25 08
E-Mail verlag@fraunhofer.de
URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

GELEITWORT DER HERAUSGEBER

Produktionswissenschaftliche Forschungsfragen entstehen in der Regel im Anwendungszusammenhang, die Produktionsforschung ist also weitgehend erfahrungsbasiert. Der wissenschaftliche Anspruch der „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ liegt unter anderem darin, Dissertation für Dissertation ein übergreifendes ganzheitliches Theoriegebäude der Produktion zu erstellen.

Die Herausgeber dieser Dissertations-Reihe leiten gemeinsam das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und jeweils ein Institut der Fakultät für Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik an der Universität Stuttgart.

Die von ihnen betreuten Dissertationen sind der marktorientierten Nachhaltigkeit verpflichtet, ihr Ansatz ist systemisch und interdisziplinär. Die Autoren bearbeiten anspruchsvolle Forschungsfragen im Spannungsfeld zwischen theoretischen Grundlagen und industrieller Anwendung.

Die „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ ersetzt die Reihen „IPA-IAO Forschung und Praxis“ (Hrsg. H.J. Warnecke / H.-J. Bullinger / E. Westkämper / D. Spath) bzw. ISW Forschung und Praxis (Hrsg. G. Stute / G. Pritschow / A. Verl). In den vergangenen Jahrzehnten sind darin über 800 Dissertationen erschienen.

Der Strukturwandel in den Industrien unseres Landes muss auch in der Forschung in einen globalen Zusammenhang gestellt werden. Der reine Fokus auf Erkenntnisgewinn ist zu eindimensional. Die „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ zielen also darauf ab, mittelfristig Lösungen für den Markt anzubieten. Daher konzentrieren sich die Stuttgarter produktionstechnischen Institute auf das Thema ganzheitliche Produktion in den Kernindustrien Deutschlands. Die leitende Forschungsfrage der Arbeiten ist: Wie können wir nachhaltig mit einem hohen Wertschöpfungsanteil in Deutschland für einen globalen Markt produzieren?

Wir wünschen den Autoren, dass ihre „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ in der breiten Fachwelt als substanziell wahrgenommen werden und so die Produktionsforschung weltweit voranbringen.

Alexander Verl

Thomas Bauernhansl

Engelbert Westkämper

Semantische Wiki-Systeme in der wandlungsfähigen Produktion

**Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung**

Vorgelegt von
Dipl.-Wirt.-Inf. Matthias Zapp
aus Köln

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Alexander Verl

Mitberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. h. c. Dieter Spath

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Juli 2013

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und
Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart

2014

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter am Fraunhofer IPA in der Abteilung Reinst- und Mikroproduktion in Stuttgart.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Alexander Verl danke ich für die wissenschaftliche Betreuung und Förderung dieser Arbeit und die Übernahme des Hauptberichts. Mein weiterer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. h. c. Dieter Spath für die Durchsicht der Arbeit und die Übernahme des Mitberichts.

Herrn Dr.-Ing. Udo Gommel, Herrn Roland Wertz und allen Kollegen aus der Abteilung Reinst- und Mikroproduktion danke ich für die stets gute und angenehme Zusammenarbeit während meiner Zeit am Fraunhofer IPA. Mein besonderer Dank gilt meinen Kollegen Michael Hoffmeister und Konstantin Konrad für die Vielzahl an fachlichen Diskussionen, die mich motiviert und mit zur Erstellung dieser Arbeit beigetragen haben.

Weiterhin gilt mein Dank Herrn Eberhard Kunde und Frau Johanna Zapp für ihre große Hilfe bei der sprachlichen und strukturellen Verbesserung dieser Arbeit.

Schließlich möchte ich meiner Frau Katja danken, die mir während der gesamten Zeit mit liebevoller Unterstützung zur Seite stand. Ihr, meinen drei Söhnen und meinen Eltern widme ich dieses Buch.

Köln, im Januar 2014

Matthias Zapp

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	8
Abbildungsverzeichnis	10
Tabellenverzeichnis	13
1 Einleitung.....	14
1.1 Problemstellung	15
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	17
2 Ausgangssituation.....	20
2.1 Begriffe des Wissensmanagements	20
2.1.1 Wissen.....	20
2.1.2 Wissensmanagement.....	22
2.1.3 Wissensmanagementprozesse	22
2.1.4 Wissensmanagementsysteme.....	24
2.1.5 Wissensbasis und Wissensmodell.....	25
2.2 Wissensmanagement in wandlungsfähigen Produktionssystemen	25
2.2.1 Wandlungsfähige Produktionssysteme	26
2.2.2 Wissen in der Produktion.....	28
2.2.3 Informationssysteme in der Produktion	30
2.2.4 Datenobjekte in der Produktion	33
2.2.5 Mitarbeiter in der Produktion.....	35
2.3 Wissensmanagement in kleineren und mittleren Unternehmen.....	36
2.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	37

3	Rahmenbedingungen und Anforderungen	39
3.1	Rahmenbedingungen und Wissensmanagementprozesse in KMU.....	39
3.2	Wissensmanagementprozesse in der wandlungsfähigen Produktion.....	42
3.3	Ableitung der Anforderungen.....	43
3.3.1	Anforderungen an Wissensmanagementsysteme.....	44
3.3.2	Anforderungen an Modelle, Methoden und Werkzeuge.....	48
3.4	Zusammenfassung	50
4	Stand der Technik	51
4.1	IT-Systeme zum Wissensmanagement in der Produktion	51
4.1.1	Beschreibung der IT-Systeme.....	51
4.1.2	Bewertung der IT-Systeme	54
4.2	Semantische Wissensmanagementsysteme.....	57
4.2.1	Semantische Technologien	57
4.2.2	Systemarchitekturen für semantische Wissensmanagementsysteme....	68
4.2.3	Semantische Wiki-Systeme	71
4.2.4	Zusammenfassung und Bewertung.....	74
4.3	Entwicklung von Wissensmanagementsystemen	75
4.3.1	Modelle für die Entwicklung von Wissensmanagementsystemen.....	75
4.3.2	Methoden zur Entwicklung von Ontologien als Wissensmodelle	78
4.3.3	Werkzeuge zur Entwicklung und zum Einsatz von Ontologien	80
4.3.4	Zusammenfassung und Bewertung.....	81
4.4	Zusammenfassung und Entwicklungsbedarf	81

5	Lösungskonzept für Wissensmanagementsysteme in wandlungsfähigen Produktionssystemen	84
5.1	Konzeption des Wissensmanagementsystems	84
5.1.1	Herleitung der Systemarchitektur	85
5.1.2	Lösungsvarianten für die Präsentations- und Anwendungsebene.....	88
5.1.3	Lösungsvarianten für die Integrations- und Auswertungsebene.....	92
5.1.4	Lösungsvarianten für die Extraktions- und Aggregationsebene	95
5.2	Einsatz des Wissensmanagementsystems im Unternehmen	97
5.2.1	Verteilung der Systemkomponenten.....	97
5.2.2	Transaktionen im Wissensmanagementsystem.....	98
5.2.3	Anpassung des Systems in der Nutzungsphase.....	100
5.3	Entwicklung von Wissensmanagementsystemen in Unternehmen.....	102
6	Realisierung des Wissensmodells und des semantischen Schnittstellenmoduls.....	103
6.1	Konzeptioneller Aufbau des Wissensmodells	103
6.2	Basismodul für wandlungsfähige Produktionssysteme	106
6.2.1	Repräsentation der Informationsobjekte	108
6.2.2	Repräsentation der Referenzobjekte im Produktionssystem.....	111
6.2.3	Repräsentation der Datenobjekte aus der Produktions-IT	117
6.2.4	Verknüpfung der Informations-, Daten- und Referenzobjekte	119
6.2.5	Automatische Klassifizierung, Verknüpfung und Kalkulation.....	120
6.2.6	Semantik der Konzepte im Basismodul	124
6.3	Schnittstellenmodul für die semantische Datenintegration.....	124

6.3.1	Semantische Annotation der Datenobjekte aus der Produktions-IT ...	125
6.3.2	Verknüpfung der Datenobjekte mit Informationsobjekten	130
6.4	Zusammenfassung	131
7	Vorgehensmodell für die Entwicklung, Einführung und Nutzung von Wissensmanagementsystemen.....	133
7.1	Aufbau des Vorgehensmodells	134
7.2	Erstellung der Projektbegründung	136
7.3	Analyse der organisationsspezifischen Anforderungen.....	137
7.4	Entwurf des organisationsspezifischen Wissensmanagementsystems.....	144
7.5	Implementierung und Test des Wissensmanagementsystems	149
7.6	Einführung und Anpassung des Wissensmanagementsystems.....	155
7.7	Zusammenfassung	157
8	Validierung und Bewertung.....	158
8.1	Fallbeispiel 1: Versuchsmanagement in der Photovoltaik-Industrie	158
8.1.1	Projektbegründung (V1)	159
8.1.2	Analyse-Phase (V2)	160
8.1.3	Entwurfs-Phase (V3).....	167
8.1.4	Implementierung und Erprobung im PV-Testzentrum	172
8.2	Fallbeispiel 2: Entwicklung und Betrieb von Werkzeugmaschinen	176
8.3	Bewertung des Lösungskonzepts.....	179
8.3.1	Bewertung des Wissensmanagementsystems	180
8.3.2	Bewertung des Vorgehensmodells.....	182
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	184

10	Summary and outlook.....	189
11	Literaturverzeichnis	195
12	Anhang.....	214

Abkürzungsverzeichnis

A	Anforderung an ein Wissensmanagementsystem
API	Application Programming Interface
BDE	Betriebsdatenerfassung
CAD	Computer-Aided Design
CMS	Content-Management-System
CRM	Customer-Relationship-Management
DMS	Dokumenten-Management-System
DB	Datenbank
E	Anforderung an den Entwicklungsprozess des Systems
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
eEPK	erweiterte Ereignisgesteuerte Prozessketten
ERP	Enterprise Resource Planning
EU	Europäische Union
F-Logic	Frame-Logic
GEM	Generic Model for Communication and Control of Manufacturing Equipment
GWT	Google Web Toolkit
IT	Informationstechnik
IPA	Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
IPC	Industrie-PC
KMU	Kleinere und Mittlere Unternehmen
MASON	MANufacturing's Semantics ONtology
MES	Manufacturing Execution System
MIKE	Model-based and Incremental Knowledge Engineering
OLE	Object Linking and Embedding
OPC	OLE for Process Control

OPC-UA	OPC Unified Architecture
OWL	Web Ontology Language
PC	Personal Computer
PLC	Programmable Logic Controller (dt. SPS)
PLM	Product Life-Cycle Management
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
PV	Photovoltaik
PV-2	SEMI PV2-0709 Guide for PV Equipment Communication Interfaces
REST	Representational State Transfer
RDF	Resource Description Framework
SECS	SEMI Equipment Communications
SEMI	Semiconductor Equipment and Materials International
SME	Small and Medium Sized Enterprises (dt. KMU)
SMW	Semantisches MediaWiki
SPARQL	SPARQL Protocol And RDF Query Language
SPARUL	SPARQL/Update
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TSC	Triple Store Connector
UML	Unified Modeling Language
URL	Uniform Resource Locator
URI	Uniform Resource Identifier
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
W3C	WWW Consortium
WM	Wissensmanagement
WMS	Wissensmanagementsystem
WWW	World Wide Web
XML	Extensible Markup Language

Abbildungsverzeichnis

1-1:	Lernen und Vergessen in der Montage	15
1-2:	Wissenschaftliche Vorgehensweise im Hauptteil der Arbeit.....	18
2-1:	Kategorien von Wissen.....	20
2-2:	TOM-Modell.....	22
2-3:	Wissensmanagementprozesse in Unternehmen	23
2-4:	Wandlungsfähiges Produktionssystem	27
2-5:	Wissen der Mitarbeiter in der Produktion.....	29
2-6:	Leitebenen und IT-Systeme in Produktionsunternehmen.....	31
2-7:	Industriebedarf für Wissensmanagement in wandlungsfähigen Produktionssystemen	37
3-1:	Stärken und Schwächen von produzierenden KMU in Bezug auf die Kernprozesse des Wissensmanagements	40
4-1:	Ontologie mit Konzepten, Attributen, Relationen und Instanzen.....	63
4-2:	Grundlegende Konzepte und Relationen von MASON.....	66
4-3:	ADACOR Ontologie für die Produktion	68
4-4:	Dezentrale Architektur für Wissensmanagementsysteme	70
4-5:	Architektur für ontologie-basierte Wissensmanagementsysteme	71
4-6:	Architektur eines Semantischen Wiki-Systems	73
4-7:	Phasen und Aktivitäten der Einführungsstrategie für WMS.....	76
4-8:	CommonKADS Modelle	77
4-9:	On-to-Knowledge Methodologie zur Entwicklung von WMS.....	79
5-1:	Funktionen des Wissensmanagementsystems in der Produktion.....	84

5-2:	Architektur des Wissensmanagementsystems für die Produktion.....	87
5-3:	Vergleich alternativer Konzepte für die Benutzeroberfläche des Systems.....	90
5-4:	Integrations- und Auswertungsebene des Wissensmanagementsystems.....	94
5-5:	Anbindung von produktionsnahen IT-Systemen über verteilte Datenadapter	95
5-6:	Komponenten des Wissensmanagementsystems in der Produktionsumgebung	98
5-7:	Interaktionen mit dem Wissensmanagementsystem im Unternehmen	99
5-8:	Entwicklung von organisationsspezifischen Systemen auf Basis des Lösungskonzeptes.....	102
6-1:	Konzeptioneller Aufbau von organisationsspezifischen Wissensmodellen ...	103
6-2:	Informationsobjekte, Datenobjekte und Referenzobjekte im Basismodul.....	106
6-3:	Referenzobjekte und deren Relationen in wandlungsfähigen Produktionssystemen	112
6-4:	Systemressourcen im Basismodul und deren Relationen	113
6-5:	Geschäftsprozesse und Organisationseinheiten im Basismodul.....	114
6-6:	Vorgangstypen und Materialressourcen im Basismodul	116
6-7:	Datenobjekte aus der Produktions-IT im Basismodul	118
6-8:	Relationen zur Verknüpfung von Informationsobjekten im Basismodul	119
6-9:	Regeltypen zur Generierung von Relationen im Basismodul.....	122
6-10:	Übertragung und Verknüpfung der Datenobjekte aus der produktionsnahen IT	125
6-11:	Transformation und Übertragung von Datenobjekten aus der Produktions-IT	128

6-12: Verknüpfung eines übertragenen Rezepts mit Referenz- und Informationsobjekten.....	130
7-1: Vorgehensmodell für semantische Wissensmanagementsysteme	135
7-2: Erweiterte Ereignisgesteuerte Prozesskette für Prozessausschnitt	139
7-3: Exemplarische Erweiterung des Basismoduls	141
7-4: Eingesetzte Werkzeuge und Methoden im Vorgehensmodell	157
8-1: PV-Testzentrum am Fraunhofer IPA.....	159
8-2: IT-Landschaft im PV-Testzentrum.....	164
8-3: Konzepte und Relationen im Modul Versuchsdaten	166
8-4: Modellierung von Endeffektoren und Materialressourcen im Erweiterungsmodul PV-Handhabung	167
8-5: Transaktionen des semantischen Datenadapters im PV-Testzentrum	170
8-6: Wissensmodell für das PV-Testzentrum in ontoStudio	172
8-7: Startseite des Wissensmanagementsystems im PV-Testzentrum	173
8-8: Im LineController eingebettetes Versuchsmodul	174
8-9: Spezifikationen und semantische Anfragen im Wissensmanagementsystem.	176
8-10: In Wissensmanagementsystem integriertes Anwendungsmodul.....	177
8-11: Systemkonzept der TRANSPARENCY-Plattform	178
12-1: Aufgaben und Informationsobjekte im Versuchsmanagement (Teil 1)	216
12-2: Aufgaben und Informationsobjekte im Versuchsmanagement (Teil 2)	217

Tabellenverzeichnis

2-1:	Rahmenbedingungen für Mitarbeiter in der Produktion.....	35
3-1:	Organisatorische Besonderheiten von KMU	40
3-2:	Eigenschaften von Wissensmanagementprozessen in wandlungsfähigen Produktionssystemen	43
3-3:	Anforderungen an das Wissensmanagementsystem	50
4-1:	IT-Systeme zum Wissensmanagement in der Produktion bei KMU	55
4-2:	Metadaten in HTML und Metadaten für semantische Anwendungen.....	58
5-1:	Vergleich von Web-Anwendungen und Semantischen Wiki-Systemen	90
6-1:	Dublin-Core-Elemente für das Konzept Informationsobjekt.....	109
6-2:	Unterkonzepte von Informationsobjekt im Basismodul	110
8-1:	Informations- und Datenobjekte im Versuchsmanagement.....	162
8-2:	Verbesserungspotentiale beim Versuchsmanagement.....	169
8-3:	Bewertung des Wissensmanagementsystems	181
8-4:	Bewertung des Vorgehensmodells.....	183
12-1:	Glossar für Konzepte im Basismodul.....	215
12-2:	Glossar für Konzepte im Erweiterungsmodul Versuchsdaten.....	218

1 Einleitung

Zur Erhaltung und zur Stärkung ihrer Wettbewerbsfähigkeit müssen produzierende Unternehmen sich auf immer schneller ändernde Marktanforderungen einstellen und auf diese reagieren [Piller 2006, S. 153; Berkholz 2008, S. 13; Berger u. a. 2005, S. 407]. Produktionsunternehmen müssen „wandlungsfähig und zugleich robust gegenüber sich wandelnden Umgebungsbedingungen“ sein [Westkämper und Zahn 2009, S. 1]. In der Produktion manifestiert sich dieses Paradigma in flexiblen und wandlungsfähigen Systemressourcen und in vielseitig einsetzbaren Mitarbeitern [Zahn 2003, S. 3]. Das Wissen und die Kompetenzen der Mitarbeiter zur Durchführung einer Bandbreite von komplexen Aufgaben bilden einen entscheidenden Erfolgsfaktor für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit von produzierenden Unternehmen [Bullinger u. a. 2008, S. 104; Berger u. a. 2005, S. 405; Denkena u. a. 2005; Berawi und Woodhead 2005, S. 249].

In der wandlungsfähigen Produktion werden kontinuierliche Lernprozesse von Mitarbeitern durch wechselnde, weiterentwickelte und neue Produkte, Prozesse und Systemkonfigurationen komplexer und herausfordernder. Dies erhöht die Bedeutung von systematischen Ansätzen zum Wissensmanagement (WM), welche die Bewahrung und die Wiederverwendung des Wissens der Mitarbeiter und der Organisation erleichtern [Westkämper und Zahn 2009, S. 190; Berger u. a. 2005] (siehe Abbildung 1-1).

Ein systematischer Einsatz von Wissen, und hiermit von Instrumenten des Wissensmanagements, verspricht die Reduzierung von redundanten Arbeitsaufwänden, die Steigerung der Qualität sowie die Erhöhung der Innovationsfähigkeit in Unternehmen [North 2005, S. 7; Bullinger u. a. 1998; O'Dell und Grayson 1998, S. 156].

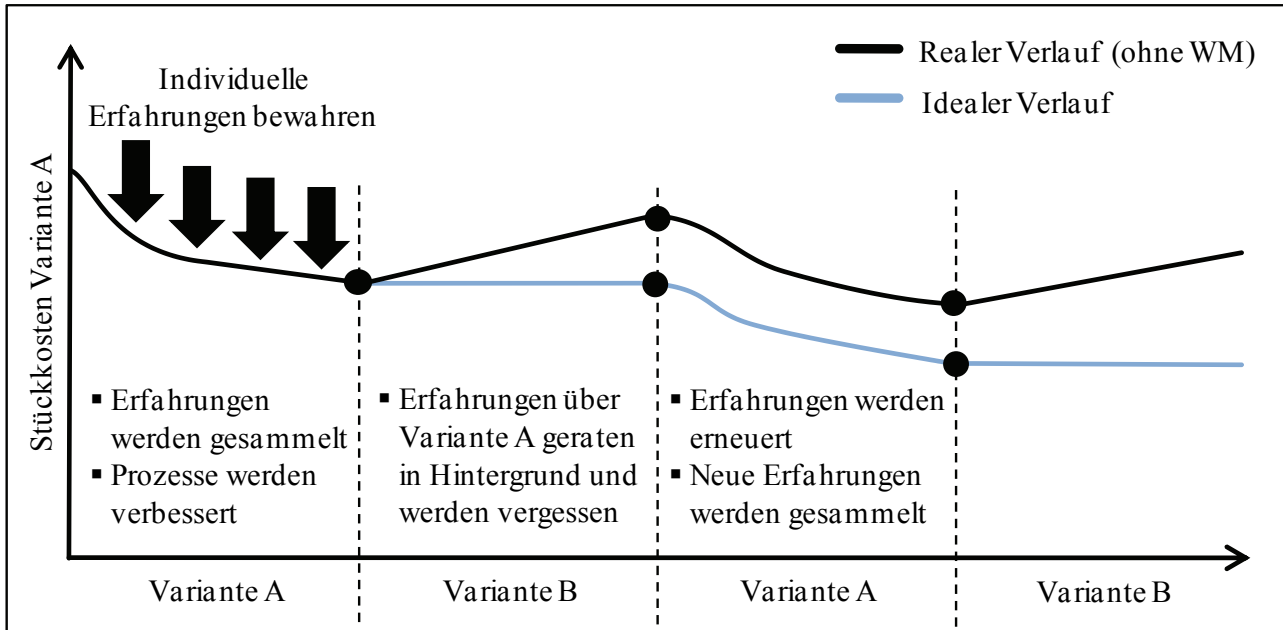


Abbildung 1-1: Lernen und Vergessen in der Montage [Westkämper und Zahn 2009, S. 190]

In Deutschland besteht seit Mitte der 90er Jahre eine Forschungsgemeinschaft zum Thema Wissensmanagement [Heisig 2007, S. 3]. Auch in der Praxis nimmt der Einsatz von Wissensmanagementmethoden in unterschiedlichen Unternehmensbereichen stetig zu. In einer Studie der Fraunhofer Gesellschaft wurde die zukünftige Bedeutung von Wissensmanagement von 91 % der befragten Unternehmen als hoch eingeschätzt. Zugleich wurde die momentane Nutzung von Wissen im Unternehmen nur von 24 % der Befragten als gut oder sehr gut beurteilt [Decker u. a. 2005, S. 93].

1.1 Problemstellung

Informationstechnische (IT) Systeme können die Identifikation, den Erwerb, die Entwicklung, die Verteilung, die Bewahrung und die Bewertung von Wissen in Unternehmen unterstützen [Lehner 2009, S. 272; Beier 2006, S. 262]. Die Einführung und Etablierung solcher Systeme scheidet jedoch häufig bei kleineren und mittleren Unternehmen (KMU) [Baumeister und Reutelshoefler 2009]. Zwar ergreifen auch diese Unternehmen einzelne Maßnahmen zur Verbesserung des Umgangs mit Wissen und planen diese auszubauen [Kohl u. a. 2010, S. 1], jedoch stellen der

Ressourcenbedarf, die mangelnde Flexibilität und Benutzerfreundlichkeit von Wissensmanagementsystemen eine Hemmschwelle dar. So scheitern insbesondere große und umfassende Wissensmanagementlösungen in diesem Umfeld [Rubarth 2007, S. 1–2; Baumeister und Reutelshoefer 2009].

Zum effektiven Einsatz von Wissensmanagementsystemen in der Produktion bedarf es weiterer Forschungsbemühungen [Bullinger u. a. 2008, S. 35]. Gerade die Mitarbeiter in der Produktion besitzen eine große Menge an Wissen [Brandt-Herrmann und Wilkesmann 2008, S. 35], welches insbesondere für komplexe Aufgaben wie die Versuchsplanung [Brenner 2007, S. 2], die Anlaufplanung [Konrad u. a. 2012, S. 164], oder auch die Instandhaltung von Produktionsanlagen [Weinrauch 2005, S. 3] zu nutzen ist. Hierbei sind den Mitarbeitern in der Produktion relevante Dokumente sowie kontextspezifische Datenobjekte aus den Informationssystemen zur Verfügung zu stellen. Dies kann durch Wissensmanagementsysteme erfolgen, welche im Umfeld der wandlungsfähigen Produktion als Teil des Gesamtsystems flexibel und anpassbar gegenüber Veränderungen sein müssen [Sauer und Jasperneite 2010, S. 1; Heinen u. a. 2008, S. 23].

Die sich in den letzten Jahren dynamisch entwickelnden Web-2.0 und semantischen Technologien können zur Konzeption solcher flexiblen und anpassbaren Wissensmanagementsysteme beitragen [Heisig 2007, S. 12; Gruber 2008]. Die im Jahre 2010 durchgeführte Studie der Fraunhofer Gesellschaft ‚Web 2.0 in produzierenden KMU‘ zeigt auf, dass über 90 % der Teilnehmer eine mittlere oder hohe Tauglichkeit von Web-2.0-Technologien, wie Wiki-Systeme, zur Verbesserung der Informationsbeschaffung oder der Nutzung von Wissen in Unternehmen sehen. Allerdings besteht Bedarf, diese besser in bestehende Anwendungen zu integrieren und in Arbeitsumfelder einzubetten [Kohl u. a. 2010, S. 3–4]. Semantische Technologien versprechen durch die Strukturierung und sinnhafte Verknüpfung von Inhalten eine verbesserte Datenqualität [Beier 2006, S. 262] und werden bereits für

die Vernetzung von heterogenen Daten im Produktionsumfeld eingesetzt [Hoffmeister u. a. 2011; Konrad u. a. 2012; Zapp u. a. 2012a]. Die Kombination beider Technologien verspricht ein großes Potential für die Entwicklung innovativer Wissensmanagementsysteme [Gruber 2008].

Trotz erster Konzepte zur Integration von Web-2.0 und semantischen Technologien in Systemarchitekturen für Wissensmanagementsysteme [Maier 2007, S. 311–318; Krötzsch u. a. 2007] fehlt eine systematische Betrachtung der Anforderungen an Wiki-basierte semantische Wissensmanagementsysteme für die wandlungsfähige Produktion und deren konzeptioneller Aufbau. Für die Unterstützung der Anwendung solcher Systeme in KMU sind Modelle, Methoden und Werkzeuge zu entwickeln und anschließend auf Tauglichkeit und Effizienz zu prüfen.

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein Lösungskonzept für die Gestaltung von Wissensmanagementsystemen für Mitarbeiter in der wandlungsfähigen Produktion zu entwickeln. Das Lösungskonzept soll gleichzeitig als „Bauplan“ sowie als „Leitfaden“ für die Entwicklung von organisationsspezifischen Systemen in KMU dienen. Hierbei steht die folgende Forschungsfrage im Fokus:

Wie können anpassbare Wissensmanagementsysteme für die wandlungsfähige Produktion gestaltet werden und welche Methoden und Werkzeuge sind bei der Systementwicklung in KMU anzuwenden?

Für die Beantwortung dieser Forschungsfrage wird die in Abbildung 1-2 illustrierte Vorgehensweise verfolgt: In Kapitel 2 werden die zentralen Begrifflichkeiten des Wissensmanagements in der Produktion erläutert. Darauf aufbauend werden in Kapitel 3 die spezifischen Anforderungen an

Wissensmanagementsysteme in der Produktion in KMU analysiert. Hierbei werden die Anforderungen an das System sowie die Anforderungen an Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge zu dessen Entwicklung definiert. In Kapitel 4 wird der Stand der Technik im Forschungsgebiet der Wissensmanagementsysteme und der semantischen Technologien diskutiert. Zudem werden bestehende Modelle, Methoden und Werkzeuge für die Entwicklung von Wissensmanagementsystemen untersucht. Zum Abschluss des Kapitels wird der, dieser Arbeit zu Grunde liegende Entwicklungsbedarf spezifiziert.

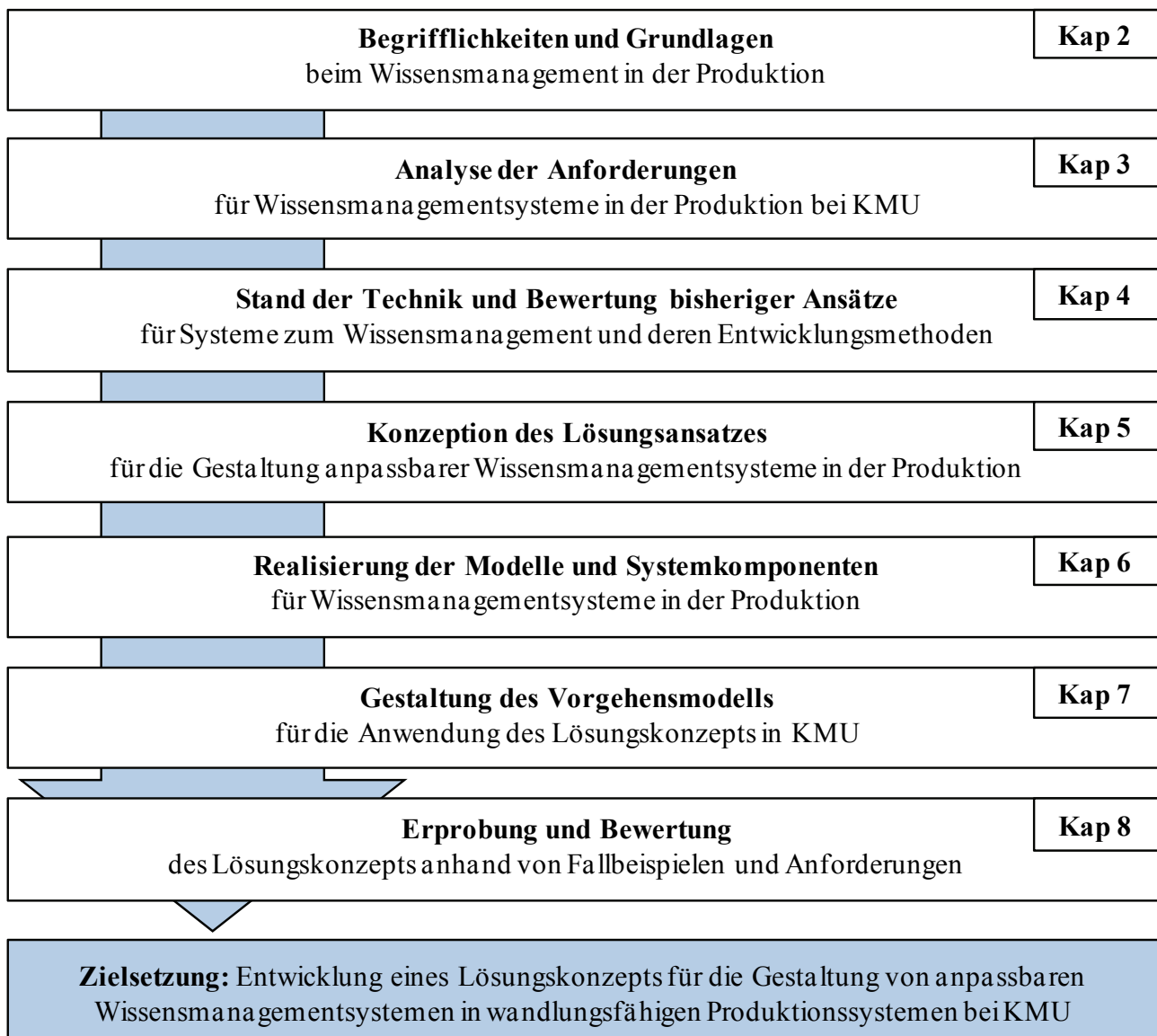


Abbildung 1-2: Wissenschaftliche Vorgehensweise im Hauptteil der Arbeit

Das Lösungskonzept für ein mit Web-2.0 Komponenten und semantischen Technologien erweitertes Wissensmanagementsystem in der Produktion wird in Kapitel 5 entwickelt. Die für das Lösungskonzept benötigten Modelle und Systemkomponenten werden in Kapitel 6 realisiert. In Kapitel 7 wird das Vorgehensmodell für die Entwicklung, Einführung und Nutzung eines organisationsspezifischen Wissensmanagementsystems in KMU konzipiert.

Kapitel 8 beschreibt die Erprobung und Validierung des vorgestellten Lösungskonzeptes anhand zweier Fallbeispiele. Neben der Gestaltung eines Wissensmanagementsystems für die Entwicklung und den Betrieb von Werkzeugmaschinen werden hier die Entwicklung und die Funktionen eines Systems zum Versuchsmanagement bei der Handhabung von Photovoltaik-Wafern vorgestellt. Im Anschluss wird das Lösungskonzept anhand der in Kapitel 3 formulierten wissenschaftlichen Anforderungen bewertet.

2 Ausgangssituation

In diesem Kapitel werden zunächst die zentralen Begriffe des Wissensmanagements eingeführt. Im Anschluss werden die besonderen Herausforderungen für den Einsatz von Wissensmanagement in der Produktion sowie für den Einsatz in KMU diskutiert. Zum Abschluss des Kapitels wird der Industriebedarf für die vorliegende Arbeit formuliert.

2.1 Begriffe des Wissensmanagements

Als Grundlage für die Diskussion des Forschungsgebietes werden zunächst die zentralen Begriffe Wissen, Wissensmanagement und Wissensmanagementprozesse erläutert. Anschließend erfolgt eine für die vorliegende Arbeit geltende Abgrenzung der Begriffe Wissensmanagementsystem, semantisches Wissensmanagementsystem, Wissensbasis und Wissensmodell.

2.1.1 Wissen

Der Begriff Wissen wird in Literatur und Praxis zum Teil kontrovers verwendet [Maier und Lehner 1994]. Nach Hesse u. a. wird Wissen als Gesamtheit der Wahrnehmungen, Erfahrungen und Kenntnisse eines Menschen oder einer Gruppe von Menschen über sich und seine bzw. ihre Umwelt oder einen Teilbereich davon verstanden [Hesse u. a. 1994, S. 42]. Es kann in Form von theoretischen Erkenntnissen, aber auch als praktisch anwendbare Regeln und Handlungsanleitungen zur Lösung von

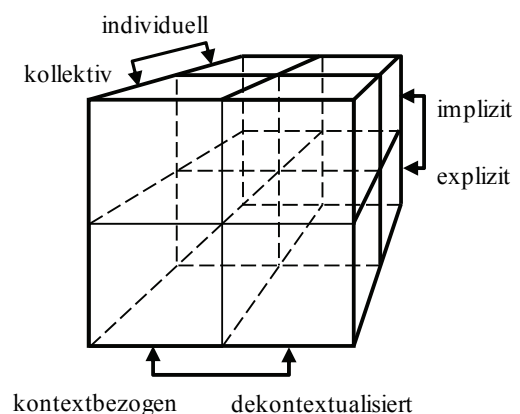


Abbildung 2-1: Kategorien von Wissen
[Decker u. a. 2005, S. 14]

Problemstellungen vorliegen [Probst u. a. 2010, S. 23]. Nach dem Verständnis von Wissen im engeren Sinne ist Wissen an Personen gebunden [Hesse u. a. 1994; Probst u. a. 2010, S. 23] und kann nicht direkt in IT-Systemen abgebildet oder gespeichert werden.

In Literatur und Praxis wird der Begriff Wissen jedoch oftmals weiter gefasst. Zur eindeutigen Unterscheidung werden deshalb verschiedene Kategorien von Wissen begrifflich abgegrenzt [Decker u. a. 2005, S. 14] (siehe Abbildung 2-1): Beim Grad der Explizierung wird nach Takeuchi u. a. zwischen implizitem (engl. ‚tacit knowledge‘) und explizitem Wissen (engl. ‚explicit knowledge‘) differenziert. Als implizites Wissen gilt individuelles Wissen eines Menschen, welches schwer zu formalisieren und zu kommunizieren ist. Anderes Wissen wird als explizites Wissen bezeichnet. Dieses kann beispielsweise in Form eines Dokumentes kodifiziert werden [Takeuchi und Nonaka 2000; Staab 2002, S. 198]. In IT-Systemen kann dieses erfasst werden, während implizites Wissen nur bedingt in explizites Wissen transformiert und damit abgebildet werden kann.

In Bezug auf die Zugänglichkeit wird zwischen dem individuellen und personengebundenen Wissen einer Person und dem kollektiven Wissen einer Organisation differenziert. Des Weiteren wird sowohl individuelles als auch kollektives Wissen bezüglich ihrer Anwendbarkeit unterschieden. Während kontextbezogenes Wissen sich auf spezifische Aufgaben, Prozesse und Organisationen bezieht, ist dekontextualisiertes Wissen abstrahiertes Fach- und Berufswissen, welches in unterschiedlichen Situationen anwendbar ist [Decker u. a. 2005, S. 14]. Letzteres ist insbesondere in turbulenten Arbeitsumfeldern, wie der wandlungsfähigen Produktion, von besonderer Bedeutung für Mitarbeiter.

Der Begriff Information kennzeichnet einen mitgeteilten oder aufgenommenen Wissensbestandteil [Hesse u. a. 1994, S. 42], welcher zwischen Personen

kommuniziert werden kann, dabei jedoch im Vergleich zu Wissen von Kontextinformationen separiert wird [North 2005, S. 33]. Eine werkzeug- oder maschinengerechte Repräsentation von Wissen wird als Daten bezeichnet [Fleischhauer und Rouette 1989, S. 9].

2.1.2 Wissensmanagement

Willke bezeichnet als Wissensmanagement die Gesamtheit organisationaler Strategien zur Schaffung einer intelligenten Organisation [Willke 2001, S. 39]. Es verfolgt das Ziel, die „Voraussetzungen zu schaffen bzw. zu verbessern, so dass die Mitarbeiter ihre Leistungsfähigkeit, Ziele der Organisation zu erreichen, steigern können“ [Staab 2002, S. 196].

Nach dem TOM-Modell von [Bullinger u. a. 1998] umfasst Wissensmanagement im Unternehmen Maßnahmen in den Dimensionen Technik, Organisation und Mensch (siehe

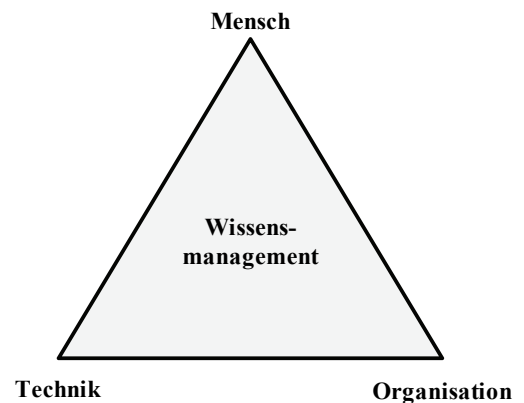


Abbildung 2-2: TOM-Modell

[Decker u. a. 2005, S. 9]

Abbildung 2-2). Diese Maßnahmen umfassen in der Dimension Technik die Schaffung einer effizienteren Informations- und Kommunikationstechnik, in der Dimension Organisation die Entwicklung und Anwendung von zielgerichteten Methoden für Wissenserwerb, -speicherung, und -transfer und in der Dimension Mensch die Sorge für eine Unternehmenskultur, welche einen kontinuierlichen Wissensfluss gewährleistet.

2.1.3 Wissensmanagementprozesse

Die Wissensmanagementaktivitäten in Unternehmen lassen sich nach der weit verbreiteten und operativ ausgerichteten Kategorisierung von Probst u. a.

differenziert betrachten [Probst u. a. 2010; Kriwald und Haasis 2001, S. 5]. In die übergeordnete Unternehmensstrategie wird das Wissensmanagement über die Definition von Wissenszielen und die systematische Wissensbewertung eingebettet. Operativ vollzieht sich das Wissensmanagement in den folgenden sechs Kernprozessen [Probst u. a. 2010, S. 32] (siehe Abbildung 2-3):

- die Identifikation von innerhalb und außerhalb des Unternehmens vorhandenen Wissens (Wissensidentifikation),
- die Übernahme neuen Wissens in das Unternehmen (Wissenserwerb),
- die interne Generierung neuer Fähigkeiten (Wissensentwicklung),
- die Verteilung von Wissen im Unternehmen (Wissensverteilung),
- der Einsatz von Wissen im Unternehmen (Wissensnutzung) und
- die Bewahrung von Wissen im Unternehmen (Wissensbewahrung).

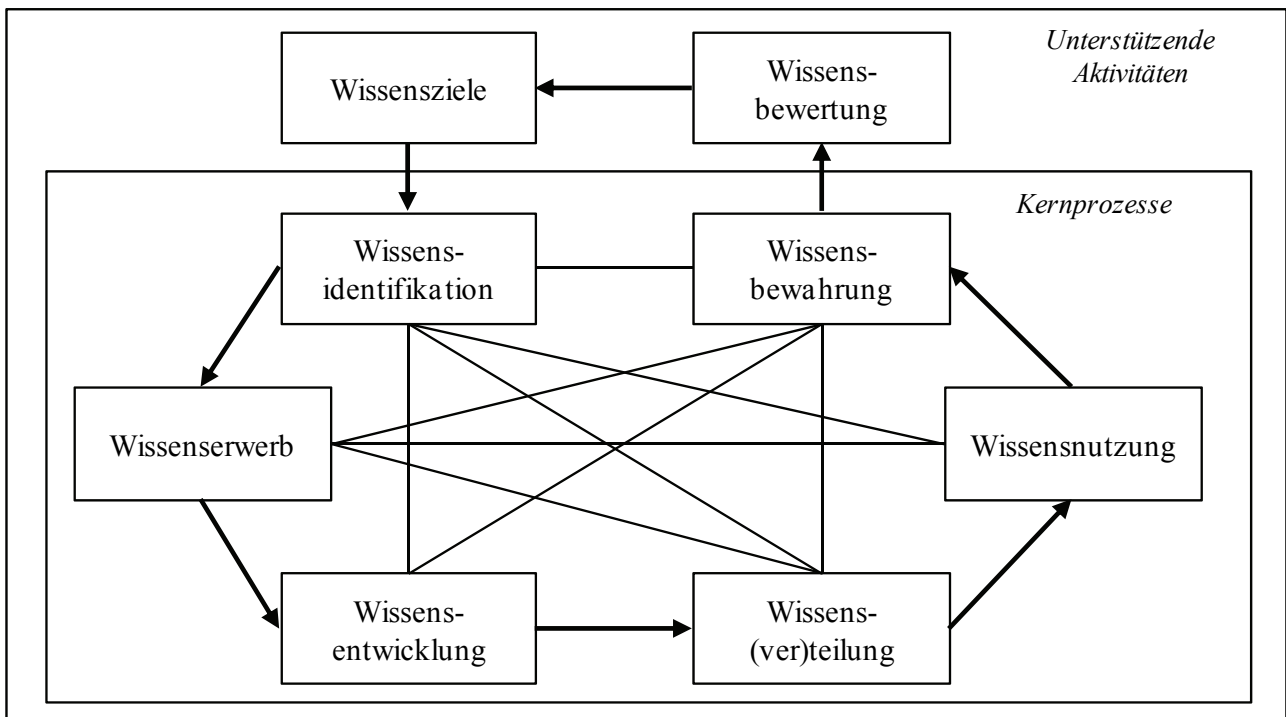


Abbildung 2-3: Wissensmanagementprozesse in Unternehmen [Probst u. a. 2010, S. 32]

Eine weitere Kategorisierung von Prozessen, welche sich auf die Differenzierung zwischen implizitem und explizitem Wissen fokussiert, stellen Takeuchi und Nonaka mit ihrem Modell der Wissensspirale vor. Diese beschreibt die Konvertierung zwischen implizitem Wissen und explizitem Wissen anhand der vier Felder Sozialisierung (,implizit zu implizit‘), Externalisierung (,implizit zu explizit‘), Internalisierung (,explizit zu implizit‘) und Kombination (,explizit zu explizit‘) [Takeuchi und Nonaka 2000, S. 146–156].

2.1.4 Wissensmanagementsysteme

Die Informationstechnik übernimmt beim Wissensmanagement die „Rolle einer Kommunikationsplattform im allerweitesten Sinne“ und wird vor allem eingesetzt, wenn Wissen geographisch verteilt oder asynchron ausgetauscht und bereitgestellt werden muss [Staab 2002, S. 194]. Nach einer Studie der Fraunhofer-Wissensmanagement-Community ist der Bedarf an Informationstechnologien und Systemen zur Unterstützung des Wissensmanagements in Unternehmen hoch. So gaben 60 % der Teilnehmer der Studie die Implementierung eines IT-Systems als nächste Maßnahme im Bereich des Wissensmanagements an [Decker u. a. 2005, S. 71].

Die Systeme zur softwaretechnischen Unterstützung von Wissensmanagement sind auf Grund der thematischen Überschneidung mit anderen Anwendungsbereichen der Informationstechnik vielfältig. Neben Basistechnologien wie Datenbanksystemen existiert eine hohe Anzahl von spezialisierten Werkzeugen, welche nur einzelne Methoden und Aufgaben des Wissensmanagements unterstützen oder welche für andere Anwendungsgebiete entwickelt, jedoch auch für Aufgaben des Wissensmanagements eingesetzt werden. Werden solche Werkzeuge zu einem Gesamtsystem verbunden, so kann ein ‚vollständiges Wissensmanagementsystem‘ entstehen. Dieses ist nach Lehner „ein softwaretechnisches System, das idealerweise

Funktionen zur Unterstützung der Identifikation, des Erwerbs, der Entwicklung, Verteilung, Bewahrung, Nutzung und Bewertung von Wissen“ bereitstellt [Lehner 2009, S. 272].

Wissensmanagementsysteme, die Technologien zur Verknüpfungen von Inhalten mit semantischen Kontextinformationen einsetzen, werden als semantische Wissensmanagementsysteme bezeichnet. Diese beruhen auf der Annahme, dass Lern-, Innovations-, Kommunikations- und Entscheidungsprozesse durch die Verfügbarkeit von Kontextinformationen effizienter ablaufen [Blumauer und Pellegrini 2006]. Die Funktionsweise semantischer Technologien und Wissensmanagementsysteme werden in Kapitel 4.2 erläutert.

2.1.5 Wissensbasis und Wissensmodell

In einem wissensbasierten System wird die Gesamtheit des enthaltenen expliziten Wissens als Wissensbasis bezeichnet [Siepermann und Lackes 2012]. Eine implementierungsunabhängige und durch Menschen verständliche Beschreibung des Zusammenspiels der für die Lösung von Problemen benötigten Wissenskomponenten wird als Wissensmodell bezeichnet. Es spezifiziert die Typen und die Struktur des benötigten Wissens für die betrachtete Domäne [Schreiber 2000, S. 19].

2.2 Wissensmanagement in wandlungsfähigen Produktionssystemen

Die Europäische Union (EU) benennt die Transformation der Fertigungsindustrie hin zu einer wissensbasierten Produktion mit vielfältig anwendbaren und auf veränderte Umweltbedingungen anpassbaren Produktionsressourcen als ein Hauptziel ihrer Forschungsstrategie [EC 2011, S. 39]. Hierbei kann ein effektives Wissensmanagement in der Produktion durch die Unterstützung von Mitarbeitern bei ihren kontinuierlichen Lernprozessen und akuten Problemstellungen eine entscheidende Rolle spielen. Basierend auf dieser Motivation widmet sich die

vorliegende Arbeit der Konzeption von Informationssystemen zur Unterstützung des Wissensmanagements in der Produktion.

Es erfolgt nun zunächst eine Eingrenzung des Themengebietes. Der Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit sind wandlungsfähige Produktionssysteme, welche in Abschnitt 2.2.1 spezifiziert werden. Die für Mitarbeiter in solchen Systemen relevanten Wissenskategorien werden in Abschnitt 2.2.2 untersucht. Ergänzend hierzu werden die in der Produktion vorhandenen Informationssysteme bestimmt (Abschnitt 2.2.3), welche die für die Aufgabenausführung der Mitarbeiter in der Produktion relevanten Datenobjekte zur Verfügung stellen (Abschnitt 2.2.4). Zum Abschluss analysiert Abschnitt 0 die besonderen Benutzeranforderungen dieser Mitarbeiter an IT-Systeme.

2.2.1 Wandlungsfähige Produktionssysteme

Unter einem Produktionssystem versteht man ein soziotechnisches System, welches Input durch wertschöpfende und assoziierte Prozesse zu Output transformiert. Die Aufgabe des Produktionssystems ist hierbei die Herstellung eines End- oder Zwischenproduktes [Heinen u. a. 2008, S. 20; Eversheim 1996, S. 1536]. Das Produktionssystem kann dabei als ein Zusammenwirken von Systemressourcen, Organisationseinheiten, Menschen und Methoden verstanden werden [Heinen u. a. 2008, S. 23].

Produzierende Unternehmen sind verstärkt dem Einfluss äußerer Turbulenzen ausgesetzt, die sich über Faktoren wie Produkte, Stückzahlen, Zeit, Kosten und Qualitätsanforderungen auf das Produktionssystem auswirken (siehe Abbildung 2-4). Wandlungsfähige Produktionssysteme sind Produktionssysteme, welche derart konzipiert sind, dass sie nicht nur auf Entwicklungen reagieren können, die zum Zeitpunkt der Planung voraussehbar sind, sondern auch auf nicht vorhersehbare Entwicklungen. So können solche Systeme beispielsweise nicht nur für einen

vordefinierten Stückzahlenkorridor eingesetzt werden, sondern das System kann durch Rekonfiguration einfach für außerhalb dieses Korridors liegende Stückzahlenanforderungen angepasst werden [Berkholz 2008, S. 14].

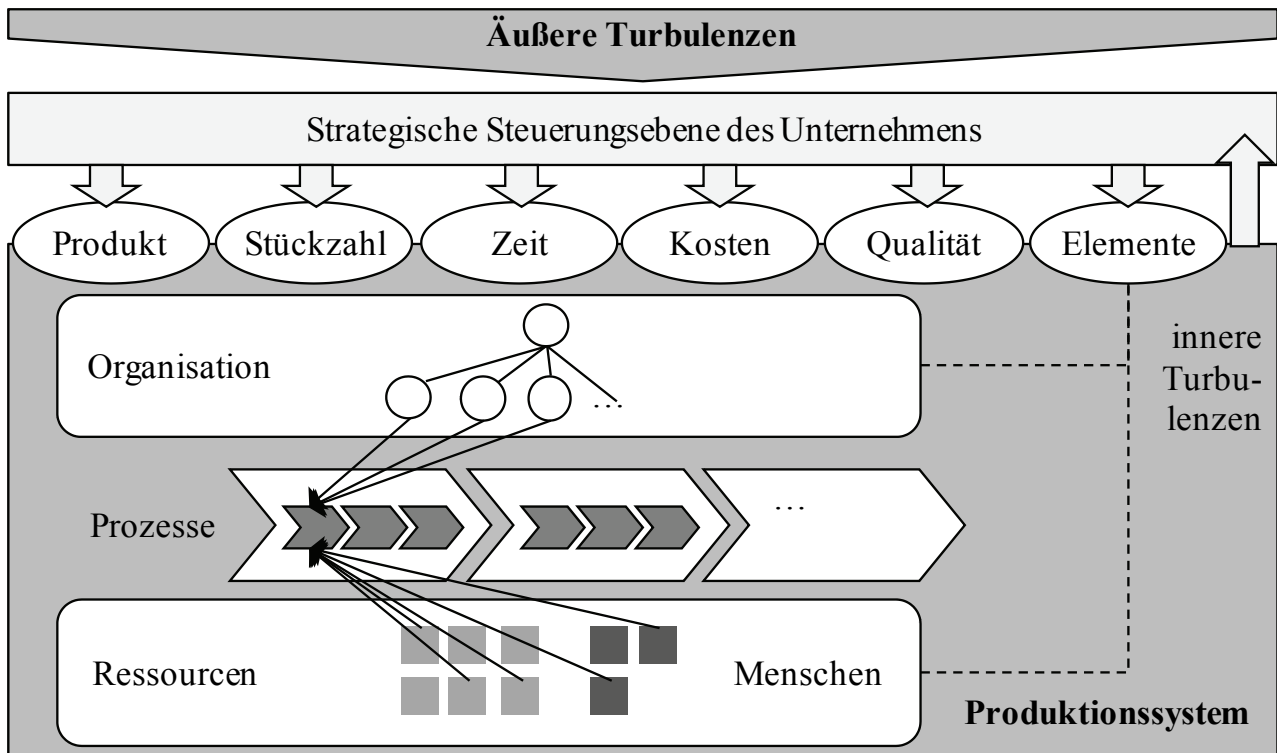


Abbildung 2-4: Wandlungsfähiges Produktionssystem [Heinen u. a. 2008, S. 23]

In wandlungsfähigen Produktionssystemen müssen deren Elemente, also die Organisation, die Prozesse, die Systemressourcen, die Softwaresysteme und die Mitarbeiter, befähigt werden, sich Veränderungen des Gesamtsystems anzupassen [Heinen u. a. 2008, S. 23; Sauer und Jasperneite 2010, S. 1]. Dies stellt eine besondere Herausforderung für in diesem Umfeld einzusetzende Wissensmanagementsysteme dar.

2.2.2 Wissen in der Produktion

Wissen ist neben den klassischen Produktionsfaktoren Arbeit, Kapital und Boden für die Wettbewerbsfähigkeit von produzierenden Unternehmen von entscheidender Bedeutung [Denkena u. a. 2005, S. 165; Stewart 1998, S. 21]. Nach einer Studie der Fraunhofer Gesellschaft schätzen 75 % der Unternehmen den Anteil des Produktionsfaktors Wissen an der Wertschöpfung auf über 60 % ein [Bullinger u. a. 1998, S. 8].

Ein methodisches Wissensmanagement in Unternehmen umfasst das Management von Informationsobjekten wie [Maier 2007, S. 390]:

- Gesammelte Erfahrungen, bewährte Vorgehensweisen sowie Antworten auf häufig auftretende Fragestellungen
- Ideen und Vorschläge der Mitarbeiter
- Interne Kommunikationsprotokolle
- Referenzen zu Wissensträgern und Kompetenzen im Unternehmen
- Prozessdokumentationen
- Eigene sowie externe Studien, Berichte, Veröffentlichungen und Patente

Diese Informationsobjekte können sich auf unterschiedliche Themengebiete in der Produktionsdomäne beziehen.

Für Mitarbeiter in der Produktion sind nach [Bullinger u. a. 2008, S. 35; Berger 2004, S. 83] Wissen über Kunden, Wissen über Materialressourcen und Lieferanten, Wissen über Produkte und Produktverwendung, Wissen über Planung und Steuerung, Wissen über Wartung und Instandhaltung sowie Wissen über Fertigungsprozesse und -techniken von Bedeutung (siehe Abbildung 2-5).

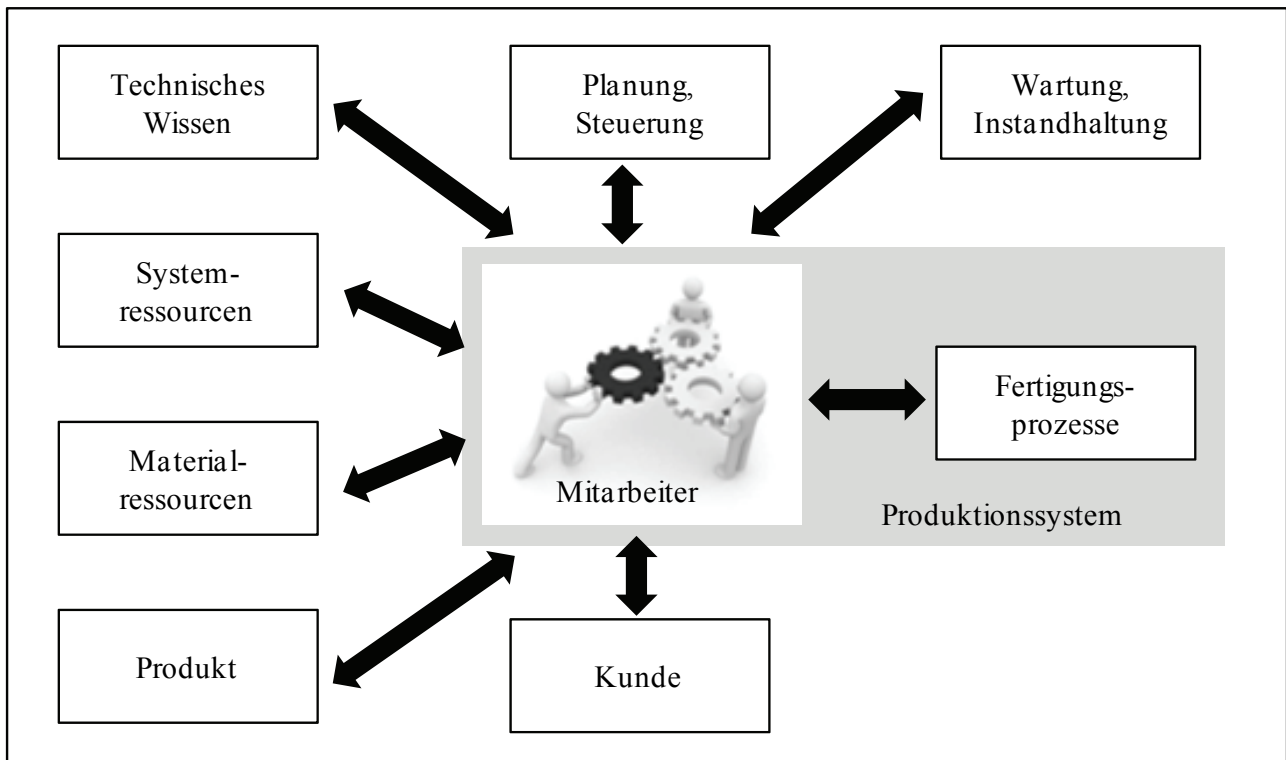


Abbildung 2-5: Wissen der Mitarbeiter in der Produktion [Bullinger u. a. 2008, S. 35]

Insbesondere in wandlungsfähigen Produktionssystemen ist das Wissen von besonderer Bedeutung, welches Mitarbeiter dabei hilft bestehendes kontextspezifisches Wissen über einzelne Aufgaben und Prozesse in der Produktion auf neue Anwendungsgebiete zu übertragen. Dieses wird auch als Integrationswissen bezeichnet und bildet einen essentiellen Beitrag zur Wandlungsfähigkeit von Systemen [Westkämper und Zahn 2009, S. 187; Berger u. a. 2004, S. 80]. Auch sind jegliche Informationsobjekte in der Produktion derart zu bewahren, dass sie möglichst viele Kontextinformationen aufweisen und hierdurch einfach auf geänderte Situationen und Problemstellungen übertragen werden können. So können Mitarbeiter besser auf neue und veränderte Produkte, Prozesse und Betriebsmittel im wandlungsfähigen Produktionssystem reagieren.

Die Verteilung und Bewahrung des Wissens spielt in Produktionsunternehmen eine wichtige Rolle, da die Arbeitsabläufe oftmals arbeitsteilig in räumlicher und

zeitlicher Trennung stattfinden [Denkena u. a. 2005, S. 165–166; Baier 2008]. Zum einen droht, dass Wissen ganz oder teilweise ungenutzt bleibt oder verloren geht, soweit es nur implizit bei einzelnen Mitarbeitern in der Produktion vorliegt. Zum anderen kann die Verfügbarkeit von explizitem Wissen bei zeitlich oder örtlich verteilter Arbeit, im Schichtbetrieb oder bei verteilter Planungs- und Ausführungsstätte stark eingeschränkt sein.

2.2.3 Informationssysteme in der Produktion

Hard- und Softwaresysteme, welche den Betrieb einer Produktion unterstützen, werden als produktionsnahe IT (Produktions-IT) bezeichnet. Diese ermöglicht die Integration der Fertigungsprozesse in der Produktion in die übergeordneten Geschäftsprozesse in Unternehmen. So kann sie einerseits die Versorgung der bereichsübergreifenden Geschäftsprozesse mit Daten aus der Produktion und andererseits die Steuerung der Produktion aus übergeordneten Geschäftsprozessen sicherstellen [Meier 2011, S. 30].

Bei der Konzeption von Lösungen zum Wissensmanagement in der Produktion sind des Weiteren die über die Produktions-IT verfügbaren Datenobjekte zu berücksichtigen, welche die Situation in der Produktion abbilden und als Entscheidungsgrundlage für Mitarbeiter dienen können [Angeli 2001, S. 74]. Im vorliegenden Abschnitt werden zunächst die relevanten Informationssysteme in der Produktions-IT sowie bestehende Standards zum Austausch von Datenobjekten in der Produktion diskutiert.

Zur Kategorisierung dieser Informationssysteme in der Produktion lassen sich nach Aufgabenspektrum und Planungshorizont, in Anlehnung an die VDI Norm 5600 zu Fertigungsmanagementsystemen, drei Ebenen unterscheiden (vgl. Abbildung 2-6) [VDI 5600; Meier 2011, S. 31; DIN 62264].

Auf der Fertigungsebene sind Systeme zur Steuerung und Regelung der Prozesse wie Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) und Leitsysteme einzuordnen. SPS-Systeme dienen der Steuerung oder Regelung einer Maschine oder eines Systems. Unter einem Leitsystem versteht man ein zentrales oder dezentrales IT-System zur Erfassung, Aggregation und Verarbeitung von Prozesssignalen und -werten, welches entweder automatisiert oder durch Benutzereingriffe steuernd auf Fertigungs- und Montageprozesse einwirkt [Schleipen 2009, S. 89].

Auf der darüber liegenden Fertigungsleitebene finden Aktivitäten wie die Rezeptverwaltung und -ausführung, die Prozessdatenerfassung, das Materialmanagement, die Produktionsfeinplanung und das Qualitätsmanagement statt. Diese werden je nach Produktionsumfeld durch Systeme zur Betriebsdatenerfassung (BDE) und Systeme zur kurz- und mittelfristigen Produktionsplanung und -steuerung (PPS) wie ‚Manufacturing Execution Systems‘ (MES) unterstützt.

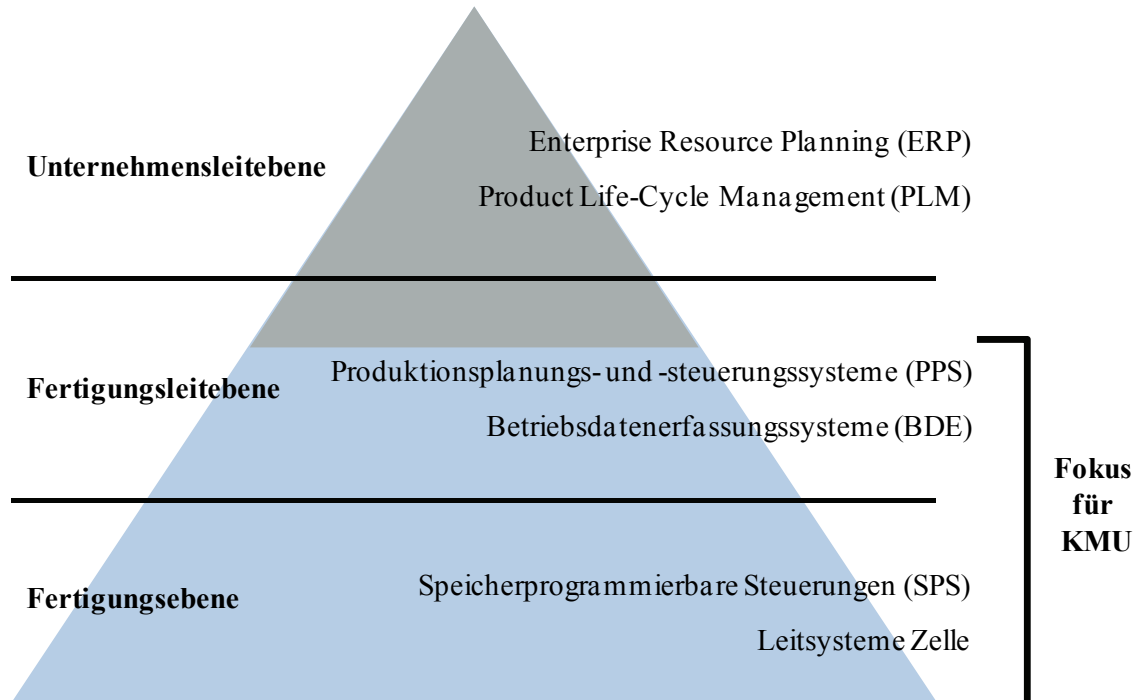


Abbildung 2-6: Leitebenen und IT-Systeme in Produktionsunternehmen (in Anlehnung an [VDI 5600])

Auf der Unternehmensleitebene werden die Grobplanung für die Produktion und die Integration in die übergreifenden Unternehmensprozesse wie die Kundenauftragsabwicklung realisiert. Hier kommen unter anderem ‚Enterprise Resource Planning‘ (ERP) sowie ‚Product Life Cycle Management‘ (PLM) Systeme zum Einsatz [Meier 2011, S. 31; DIN 62264].

Für die datentechnische Integration von Anwendungen auf diesen drei Leitebenen werden zum Teil Standards verwendet. Ein branchenunabhängiger Standard für den Datenaustausch zwischen PC-basierten Steuerungen sowie Applikationen auf den höheren Ebenen und der Prozessperipherie ist der ‚OLE for Process Control‘ (OPC) Standard. Dieser spezifiziert den Austausch von Prozessdaten und weiterer Datenobjekte über eine Client-Server-Architektur [CAS 2010]. Hierbei entwickeln und liefern Gerätehersteller OPC-Server für ihre Systeme, während Applikationshersteller OPC-Clients implementieren, welche die Dienste der vorhandenen Server nutzen. Die OPC-Spezifikation umfasst den Transfer von aktuellen und historischen Prozessdaten, Ereignissen und Alarmen. Mit der erweiterten ‚OPC Unified Architecture‘ (OPC-UA) Spezifikation wird dieser Standard um Kommandos und komplexe Datentypen erweitert und ermöglicht eine weiterreichende Integration mit Systemen der Fertigungsleitebene und der Unternehmensleitebene [OPC Foundation 2009]. Neben OPC bestehen branchenspezifische Standards zur Anlagenintegration wie SEMI SECS/GEM für die Halbleiterindustrie oder PV-2 für die Photovoltaik-Industrie [Meier und Konrad 2009; Boettinger u. a. 2010].

In der Praxis sind jedoch proprietäre Lösungen weiterhin stark verbreitet. In KMU kommen zudem statt integrierter Systeme auf der Unternehmensleitebene und der Fertigungsleitebene zur Unterstützung von Geschäftsprozessen überwiegend Insellösungen zum Einsatz [Wolters und Kaschny 2010, S. 24].

2.2.4 Datenobjekte in der Produktion

Über die im vorherigen Abschnitt benannten Systeme der Produktions-IT stehen Datenobjekte zur Verfügung, welche zur Unterstützung der Mitarbeiter in der Produktion bei der Durchführung ihrer Aufgabenstellungen relevant sind. Insbesondere die in Abschnitt 2.2.1 beschriebenen Wissenskategorien Planung und Steuerung sowie Fertigungsprozesse weisen einen starken Bezug zu in der Produktions-IT vorliegenden Datenobjekten auf.

Somit sind Datenobjekte in Wissensmanagementsystemen zu erfassen und dem Mitarbeiter zur Verfügung zu stellen. Für die vorliegende Arbeit werden exemplarisch zwei grundlegende Datenobjekte betrachtet, welche in den unterschiedlichen Standards und Implementierungen der Produktions-IT zur Verfügung stehen und eine zentrale Rolle für die Unterstützung von Mitarbeitern in der Produktion bei ihrer Aufgabenerfüllung spielen.

Für die Planung und Steuerung in der Produktion werden Rezepte als zentrales Datenobjekt identifiziert. Ein Rezept definiert in Anlehnung an den ISA-88 Standard, der sich mit der Chargen- und Losfertigung von Produkten beschäftigt, die Art und Menge von Informationen, welche die Produktionsanforderungen für die operative Bearbeitung eines spezifischen Produkts beinhalten [ISA-88, S. 16]. In auf diesen Standard basierenden industriellen Implementierungen umfasst ein Rezept mindestens [SAP AG 2012; SIEMENS 2006]:

- einen eindeutigen Bezeichner
- eine Beschreibung der benötigten Bearbeitungsschritte
- eine Menge von Maschinen, für die das Rezept Gültigkeit besitzt
- Angaben über die herzustellenden Produkte mit den benötigten Ressourcen
- einzustellende Maschinen- und Prozessparameter für jeden Bearbeitungsschritt
- Informationen über die Gültigkeit und verknüpfte Objekte.

Für die Kontrolle der Fertigungsprozesse sind zudem Produktionsdaten von Maschinen oder Komponenten in Form von Mess- und Prüfwerten essentiell. Diese werden durch Reports übertragen. Ein Report besteht aus einer Menge von vordefinierten Variablen [SEMI E30, S. 25], welche im Folgenden, analog zu den Elementen der Rezepte, als Prozessparameter bezeichnet werden. Ein generischer Report enthält:

- einen eindeutigen Bezeichner
- eine Maschine oder Komponente, welche den Report generiert hat
- eine Liste von Prozessparametern mit Mess- und Prüfwerten
- Informationen über die Gültigkeit und verknüpfte Objekte wie Bearbeitungsschritt und Rezept

Die Datenobjekte Rezept und Report stehen für die Integration in Wissensmanagementsystemen entweder über die Schnittstellen der Systeme in der Fertigungsebene oder über die Schnittstellen der Systeme in der Fertigungsleitebene zur Verfügung.

Zudem liegen, abhängig vom betrachteten Produktionsunternehmen, in den Systemen der Fertigungsleitebene weitere Betriebsdaten wie Auftragsdaten, Materialdaten, Qualitätsdaten als auch Mitarbeiterdaten vor [Angeli 2001, S. 74]. Diese sind je nach Aufgabespektrum der Mitarbeiter für die Unterstützung deren Wissensmanagementprozesse zu berücksichtigen. Weiterhin existiert in der Produktion eine große Menge von Produktdaten, die je nach Unternehmensgröße und Ausrichtung in einfachen Datenbanken oder in komplexen PLM- und PDM (Produkt-Daten-Management)-Systemen verwaltet werden. In KMU werden letztere jedoch nur im begrenzten Umfang eingesetzt, da hohe Kosten bei der Implementierung eine Hürde zu deren Einführung bilden [Nem 2010, S. 2].

2.2.5 Mitarbeiter in der Produktion

Konventionelle Methoden und Werkzeuge des Wissensmanagements werden primär für den Einsatz in Unternehmensbereichen konzipiert, in denen Mitarbeiter ihre Tätigkeit an einem PC-Arbeitsplatz ausführen. Unter Wissensmitarbeitern versteht man Mitarbeiter, die nicht primär für körperliche Arbeit und handwerkliche Fähigkeiten, sondern für die Anwendung ihres Wissens bezahlt werden [Fischbach 2012].

In der Produktion sind Werker und Ingenieure die Wissensträger. Diese führen oftmals einen signifikanten Anteil ihrer Arbeit in Form von handwerklichen oder überwachenden Tätigkeiten direkt an der Maschine aus. Dabei hängt der individuelle Informationsbedarf von Produktionsmitarbeitern von vielfältigen Faktoren wie ihrer Einbettung in die Organisationsstruktur ab [Denkena u. a. 2005]. Die Arbeit von Mitarbeitern in der Produktion und klassischen Wissensmitarbeitern in anderen Unternehmensbereichen unterscheidet sich aus Sicht des Wissensmanagements in den Arbeitsinhalten, den Freiheitsgraden, den Aufgaben und der IT-Infrastruktur am Arbeitsplatz (siehe Tabelle 2-1).

	Klassische Wissensmitarbeiter	Mitarbeiter in der Produktion
Arbeitsinhalte	Informationen	Anteil an handwerklichen und ausführenden Tätigkeiten
Freiheitsgrade / Strukturierung	Hohe Selbststrukturierung	Höheres Maß an Fremdstrukturierung
IT-Infrastruktur	Flexibel	Stark spezialisiert für Produktionsabläufe
Aufgaben in der Produktion	Entwicklung, Planung, Kontrolle	Fokus auf Ausführung

Tabelle 2-1: Rahmenbedingungen für Mitarbeiter in der Produktion [Sihn 2002, S. 3]

Während Wissensmitarbeiter ihre Arbeitsabläufe zu einem hohen Maße selbst strukturieren, erfahren Produktionsmitarbeiter ein höheres Maß an Fremdstrukturierung durch die operativen Abläufe in der Produktion. Auch sind IT-Systeme in der Produktion im Vergleich zu Systemen in der Planungs- und Entwicklungsabteilung von Unternehmen stark auf die operativen Produktionsaufgaben ausgerichtet und wenig flexibel. Diese besonderen Gegebenheiten in der Produktion sind bei der Konzeption von Wissensmanagementprozessen und Wissensmanagementsystemen zu berücksichtigen [Sihn 2002, S. 3].

2.3 Wissensmanagement in kleineren und mittleren Unternehmen

Neben den Rahmenbedingungen in wandlungsfähigen Produktionssystemen werden in dieser Arbeit auch die besonderen Rahmenbedingungen in KMU betrachtet. Nach der Definition des Instituts für Mittelstandsforschung werden Unternehmen mit einer Mitarbeiterzahl von weniger als 500 und einem Umsatz von unter 50 Millionen Euro als kleinere und mittlere Unternehmen bezeichnet [IfM 2002]. Im Jahre 2009 repräsentieren diese Unternehmen im deutschen verarbeitenden Gewerbe 45 % der Beschäftigten und 34 % der Umsatzerlöse [Günterberg 2012].

Auch für solche Unternehmen ist ein effektives Wissensmanagement unerlässlich, da sie besonders stark von den Kenntnissen und Fähigkeiten einzelner Mitarbeiter abhängen [North 2005, S. 201]. Hierzu kommt, dass die demographische Entwicklung in Deutschland den Bedarf an Wissensmanagement forciert [Piorr u. a. 2006]. In der Praxis sind die Begriffsinstrumentarien des Wissensmanagements in KMU jedoch nur wenig verbreitet. So werden meist nur unbewusst dessen Methoden und Werkzeuge eingesetzt [Vollmar 2007]. Eine im Jahre 2006 durchgeführte Studie der TU Chemnitz bei mittelständischen Unternehmen stellt fest, dass die Mehrzahl der Unternehmen Maßnahmen zur Verbesserung des Umgangs mit Wissen ergriffen

hat und 58 % zeitnah eine Investition in weitere Maßnahmen planen [Pawlowsky u. a. 2006, S. 32].

Obwohl folglich bereits Schritte in die Richtung einer besseren Handhabung von Wissen in KMU unternommen wurden, besteht Handlungsbedarf, um Wissensmanagement in die tägliche Unternehmenspraxis zu transferieren [Kohl u. a. 2010].

2.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Wissensmanagement gewinnt in den sich schneller ändernden Marktumfeldern von Produktionsunternehmen zunehmend an Bedeutung. Wissensmanagementsysteme sind hierbei ein wichtiges Hilfsmittel und müssen als Teil des wandlungsfähigen Produktionssystems flexibel sein und sich einfach anpassen lassen.

Das für die Abläufe in der Produktion relevante Wissen über Produktionsprozesse, Produkte, Betriebsmittel und übergreifende Vorgänge sowie die über die Produktion-IT verfügbaren Datenobjekte sind durch IT-Systeme in der Produktion in einer für die Mitarbeiter geeigneten Weise zu erfassen, zu verteilen, zu bewahren und zur Verfügung zu stellen.

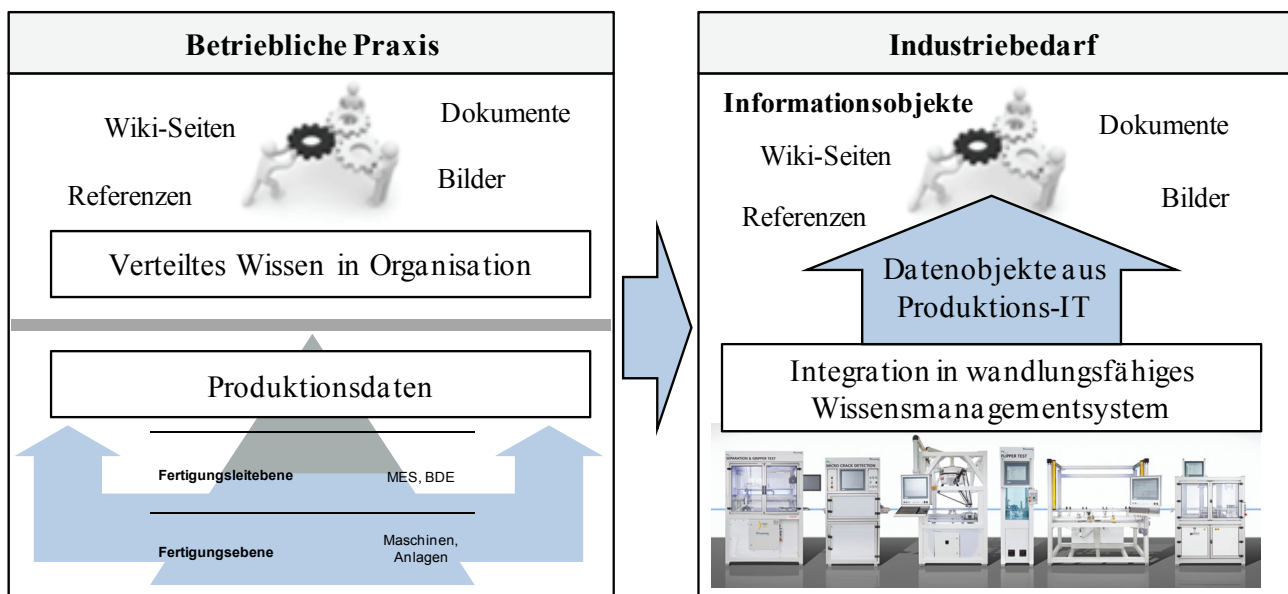


Abbildung 2-7: Industriebedarf für Wissensmanagement in wandlungsfähigen Produktionssystemen

Folglich müssen solche Systeme die Trennung zwischen dem Management der Datenobjekte aus der Produktions-IT und dem Management der von Mitarbeiter erfassten Informationsobjekte aufheben (siehe Abbildung 2-7).

Für den Einsatz in KMU müssen solche Wissensmanagementlösungen deren besonderen Anforderungen berücksichtigen. Diese werden zusammen mit den Besonderheiten der Wissensmanagementprozesse in der Produktion im anschließenden Kapitel analysiert.

3 Rahmenbedingungen und Anforderungen

Ausgehend von der derzeitigen Situation in wandlungsfähigen Produktionssystemen werden in diesem Kapitel die Anforderungen von KMU an Wissensmanagementsysteme in der Produktion hergeleitet. Hierzu werden zunächst die organisatorischen Rahmenbedingungen in KMU analysiert und weiterführend die durch Systeme zu fördernden Wissensmanagementprozesse bestimmt (Abschnitt 3.1). Im Anschluss werden die besonderen Eigenschaften der in der Produktion ablaufenden Wissensmanagementprozesse analysiert (Abschnitt 3.2). Basierend auf diesen Analysen werden die konkreten Anforderungen von KMU an Wissensmanagementsysteme in der Produktion sowie die Anforderungen an die Entwicklung und Einführung eines solchen Systems hergeleitet (Abschnitt 3.3).

3.1 Rahmenbedingungen und Wissensmanagementprozesse in KMU

Eine im Jahre 2008 veröffentlichte Studie untersucht bei KMU in Baden-Württemberg Potentiale zur Verbesserung der Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit durch Wissensmanagement [Baier 2008]. In dieser Studie werden insbesondere Stärken und Schwächen von KMU im Vergleich zu Großunternehmen analysiert.

Diese werden zusammen mit Untersuchungsergebnissen von [North 2005, S. 201] und [Fischer 2006] in Tabelle 3-1 aufgeführt, um als Basis für die Analyse der Anforderungen an Wissensmanagementsysteme in KMU zu dienen.

Stärken von KMU [Baier 2008]	Schwächen von KMU [North 2005, S. 201; Fischer 2006; Baier 2008]
<ul style="list-style-type: none">▪ Beständigkeit der Führung▪ flache Hierarchien▪ direkte Kommunikation im Unternehmen	<ul style="list-style-type: none">▪ eingeschränkte finanzielle Ressourcen▪ Abhängigkeit vom Gründer▪ hohe Skepsis gegenüber Veränderungen

<ul style="list-style-type: none"> ▪ überschaubare Abläufe im Unternehmen ▪ dauerhafte Kundenbeziehungen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ fehlendes Bewusstsein für erfolgskritisches Wissen ▪ fehlendes Wissen über den Zugang zu Informationen ▪ starke Fixierung auf das Tagesgeschäft ▪ Abhängigkeit von wenigen Mitarbeitern, wenig dokumentiertes Wissen
--	---

Tabelle 3-1: Organisatorische Besonderheiten von KMU

Die Auswirkungen dieser für KMU typischen organisatorischen Besonderheiten auf die von [Probst u. a. 2010, S. 28–32] aufgezeigten sechs Wissensmanagementprozesse (siehe Abschnitt 2.1.3) werden im Folgenden analysiert und bewertet (vgl. Abbildung 3-1). Das Vorgehen erfolgt in Anlehnung an [Baier 2008, S. 36], jedoch werden hier speziell produzierende KMU betrachtet.

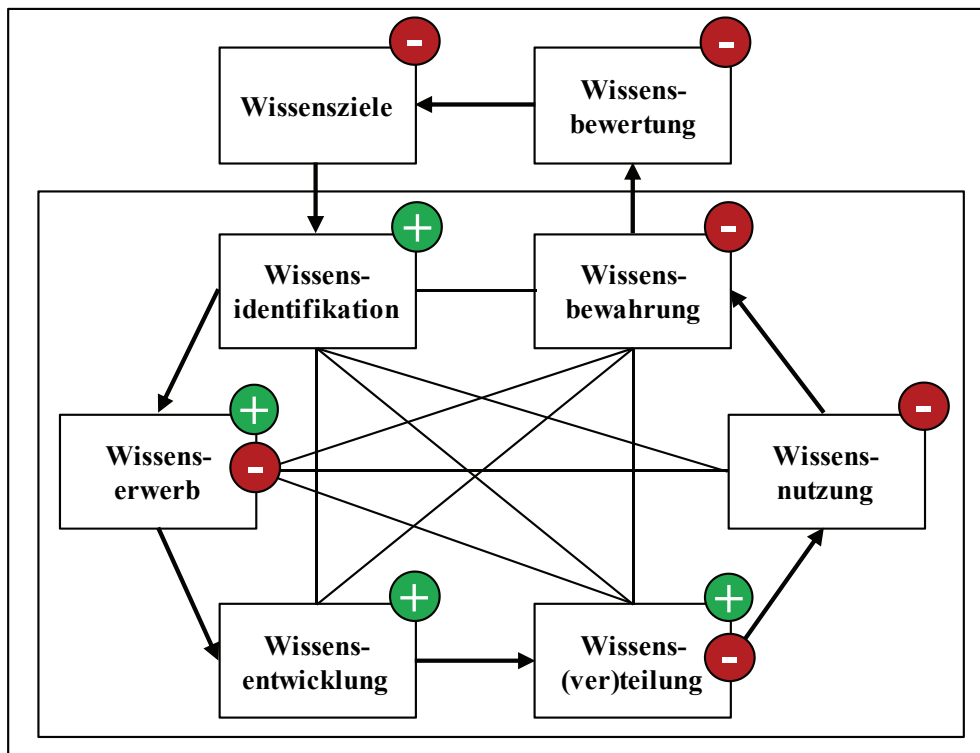


Abbildung 3-1: Stärken und Schwächen von produzierenden KMU in Bezug auf die Kernprozesse des Wissensmanagements (in Anlehnung an [Probst u. a. 2010, S. 32])

Zunächst weisen KMU im Vergleich zu Großunternehmen eine Reihe von Stärken auf. So ist die Wissensidentifikation in KMU positiv zu bewerten. Durch die überschaubaren Abläufe innerhalb der Organisation sind bestehende Wissensquellen transparent, es werden Ineffizienzen und redundante Entwicklungen in Unternehmen vermieden und der Zugang für einzelne Mitarbeiter erleichtert. Auch beim Wissenserwerb und der Wissensentwicklung können KMU durch die dauerhafte Zusammenarbeit mit Kunden, die Beständigkeit der Führung und den flachen Hierarchien fehlende Ressourcen und eine starke Fixierung auf das Tagesgeschäft zumindest ausgleichen. Jedoch sind die Möglichkeiten zum Erwerb und der Bereitstellung von externem Wissen in KMU oft eingeschränkt, jedoch über ressourceneffizientere Wege als in Großunternehmen zu realisieren.

Die Verteilung des im Unternehmen vorhandenen Wissens an alle internen Bedarfsstellen (Wissensverteilung) ist durch die direkten Kommunikationswege eine Stärke vieler KMU. Allerdings findet die Arbeit in produzierenden Unternehmen oft in arbeitsteiliger, räumlicher und zeitlicher Trennung statt [Denkena u. a. 2005, S. 165–166], welche die Wissensverteilung an Mitarbeiter erschwert [Baier 2008]. Auch behindern das Maß an Fremdstrukturierung und die Art der Tätigkeit in der Produktion (siehe Abschnitt 0) eine Wissensverteilung über direkte Kommunikationsprozesse.

Die erfolgreiche Wissensnutzung, also der optimale Einsatz von Wissen im Unternehmen ist laut [Probst u. a. 2010] im Unternehmensalltag selbst bei erfolgreicher Wissensidentifikation und Wissensverteilung nicht sichergestellt. Durch den oft fehlenden oder zu aufwändigen Zugriff auf Informationen in der Produktionsumgebung wird die Wissensnutzung weiter erschwert. Darüber hinaus ist die Dauerhaftigkeit der Wissensbewahrung in KMU als kritisch zu bewerten. Wissen ist oftmals auf wenige Mitarbeiter verteilt, das Bewusstsein über erfolgskritische Elemente fehlt und es findet nur eine begrenzte Dokumentation statt.

Zudem liegt in KMU ein mangelndes Verständnis der Nutzer für die Potentiale von Wissensmanagementanwendungen vor, was durch die schlechte Bewertbarkeit solcher Anwendungen verstärkt wird [Kohl u. a. 2010, S. 2].

Fazit: KMU weisen besondere organisatorische Rahmenbedingungen, wie direkte Kommunikationsstrukturen und eine starke Fixierung auf das Tagesgeschäft, auf, welche die Ausprägung der Wissensmanagementprozesse im Unternehmen beeinflussen. Aus einer Bewertung der Wissensmanagementprozesse nach [Probst u. a. 2010] kann gefolgert werden, dass insbesondere die Verteilung, die Bewahrung und die Nutzung, sowie mit Einschränkungen der Erwerb externen Wissens in produzierenden KMU durch IT-Systeme zu verbessern sind. Die unterstützenden Prozesse der Zielsetzung und Bewertung von Wissensmanagement sind in KMU als schwach zu bewerten.

3.2 Wissensmanagementprozesse in der wandlungsfähigen Produktion

In der Produktion können Mitarbeiter bei ihrer Aufgabenerfüllung durch eine Vielzahl von Informations- und Datenobjekten, wie Handlungsanleitungen, Parameterspezifikationen, Erfahrungsberichten und Messwerten, unterstützt werden (siehe Abschnitt 2.2.2 und 2.2.4).

Je nach ihrer Funktion, Rolle und Aufgabe innerhalb der Organisation unterscheiden sich die für einzelne Mitarbeiter relevanten Objekte und der benötigte Detaillierungsgrad [Denkena u. a. 2005, S.167]. Zudem ändert sich in wandlungsfähigen Produktionssystemen der Kontext von Informationsobjekten und Datenobjekten beständig, was ihre Wiederverwendbarkeit durch Mitarbeiter erschwert [Berger 2004] und besondere Rahmenbedingungen für das Wissensmanagement setzt.

Als Folge hiervon müssen die Kernprozesse des Wissensmanagements besondere Eigenschaften aufweisen, welche in Tabelle 3-2 dargestellt werden.

Kernprozesse [Probst u. a. 2010, S. 32]	Eigenschaften in wandlungsfähigen Produktionssystemen
Wissensidentifikation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kontextbasierte Identifikation von Wissen im benötigten Detaillierungsgrad
Wissenserwerb	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schneller Transfer von, im Falle von Änderungen im Produktionssystem, relevanten Wissen aus anderen Unternehmensbereichen und von außerhalb des Unternehmens
Wissensentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unterstützung beim Transfer von Wissen auf geänderte Problemstellungen in der Produktion
Wissensverteilung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verteilung von Informationsobjekten und Datenobjekten zwischen Mitarbeitern in und außerhalb der Produktion
Wissensnutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Strukturierung von Wissen nach Prozessen, Aufgaben und Elementen des Produktionssystems zur späteren Nutzung in veränderten Rahmenbedingungen
Wissensbewahrung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bewahrung von Informationsobjekten und Datenobjekten mit Kontextinformationen zu ihrer Erstellung, Bedeutung und Gültigkeit

Tabelle 3-2: Eigenschaften von Wissensmanagementprozessen in wandlungsfähigen Produktionssystemen

3.3 *Ableitung der Anforderungen*

In den vorhergehenden Abschnitten wurden die besonderen Rahmenbedingungen und Ausprägungen von Wissensmanagementprozessen in KMU (Abschnitt 3.1) und in wandlungsfähigen Produktionssystemen (Abschnitt 3.2) diskutiert.

Hierauf aufbauend werden nun die Anforderungen an Wissensmanagementsysteme von KMU zur Unterstützung dieser Prozesse definiert. Zunächst werden die

Anforderungen an das System während der Nutzung im Umfeld von wandlungsfähigen Produktionssystemen spezifiziert (Abschnitt 3.3.1).

Im Anschluss werden die Anforderungen an die Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge bei der Entwicklung von organisationsspezifischen Wissensmanagementsystemen formuliert (Abschnitt 0). Beide Gruppen von Anforderungen dienen als Grundlage für die Entwicklung des Lösungskonzepts in Kapitel 5 und als Kriterien zur Bewertung des Lösungskonzeptes in Kapitel 8.

3.3.1 Anforderungen an Wissensmanagementsysteme

Die Anforderungen von KMU an Wissensmanagementsysteme in wandlungsfähigen Produktionssystemen sind:

(A1) Einbettung in Produktionsumgebung: Das System soll für die Mitarbeiter bei der Durchführung ihrer Prozesse und Aufgaben einfach verfügbar sein.

Erfolgreiche Wissensmanagementansätze zeichnen sich durch die effiziente Unterstützung von Produktionsmitarbeitern bei der Lösung ihrer konkreten Probleme und der Wahrnehmung ihrer Aufgaben aus [Berger u. a. 2005, S. 407; Baier 2008, S. 26]. Wissensmanagementsysteme sind somit so zu gestalten, dass sie eng mit den Prozessen und Aufgaben in der Produktion verknüpft sind und die Verfügbarkeit von Wissen zum Zeitpunkt des Bedarfs sicherstellen [Berawi und Woodhead 2005, S. 253]. Eine Studie der Fraunhofer Gesellschaft bestätigt, dass die Integration von Wissensmanagementsystemen in die persönlichen Wissensprozesse der Mitarbeiter und die unternehmensweiten Geschäftsprozesse das Schlüsselkriterium für die Akzeptanz solcher Anwendungen darstellt [Decker u. a. 2005, S. 91].

Fazit: Wissensmanagementsysteme sollen in die Prozesse und Aufgaben in der Produktion eingebettet und hiermit für Mitarbeiter in der Produktion verfügbar sein.

(A2) Integration in produktionsnahe IT: Das System soll die Erfassung, Verknüpfung und Bewahrung von Datenobjekten aus der Produktions-IT gewährleisten.

In der Produktion existieren bereits eine große Menge von Informationssystemen (siehe Abschnitt 2.2.3). Die Integration solcher Lösungsansätze und Systeme ist ein wichtiger Erfolgsfaktor für pragmatische Wissensmanagementkonzepte [Probst u. a. 2010, S. 27]. Vor allem die Schaffung von redundanten Datenbeständen und Funktionen ist zu vermeiden.

So sind Datenobjekte aus der Produktions-IT entsprechend ihrer Relevanz in Wissensmanagementsysteme in der Produktion zu integrieren und mit den durch Produktionsmitarbeiter erfassten Informationsobjekten zu verknüpfen. Hiermit können die Qualität und die Wiederverwendbarkeit von Datenobjekten und Informationsobjekten gesteigert werden.

Fazit: Wissensmanagementsysteme sollen ausgewählte Datenobjekte aus der Produktions-IT erfassen und mit Informationsobjekten im System verknüpfen können.

(A3) Erfassung heterogener Inhalte: Das System soll die Erfassung, Verteilung und Bewahrung des Wissen der Mitarbeiter in heterogenen Repräsentationsformen unterstützen.

In der Produktion liegt explizites Wissen zu unterschiedlichen Aspekten (siehe Abschnitt 2.2.1) in stark unterschiedlichen Repräsentationsformen wie Textdokumenten, CAD-Dateien oder Bildern vor. Um eine schnelle Integration solcher Informationsobjekte in das System zu ermöglichen, soll eine Transformation aller Objekte in eine einheitliche Repräsentationsform nicht erzwungen werden. Stattdessen sollen eine schnelle Erfassung und eine anschließende schrittweise

Strukturierung und Ergänzung von Kontextinformationen im System unterstützt werden [Baumeister und Reutelshoefer 2009]. Hiermit kann das System bereits nach geringer Nutzungsdauer und mit geringem Aufwand Nutzen für das Unternehmen und den einzelnen Produktionsmitarbeiter erzeugen.

Fazit: Wissensmanagementsysteme sollten die einfache Integration von Inhalten in heterogenen Repräsentationsformen erlauben.

(A4) Flexible Benutzerschnittstelle: Das System soll über eine flexible Benutzerschnittstelle die Erfassung und Nutzung von expliziten Wissen durch Mitarbeiter in der Produktion ermöglichen.

Zur Unterstützung von wissensintensiven und schwer zu formalisierenden Tätigkeiten im Unternehmen ist ein flexibler Zugriff auf Systeminhalte erforderlich [Decker u. a. 2005, S. 94]. Insbesondere im Produktionsumfeld ist es eine Herausforderung, ein Arbeitsumfeld zu gestalten, welches eine kontinuierliche Erzeugung und Nutzung von Wissen erlaubt [Berawi und Woodhead 2005, S. 253]. Eine einfache Benutzbarkeit und Flexibilität der Benutzerschnittstelle des Systems ist deshalb besonders wichtig [Berger u. a. 2005, S. 409]. Hierdurch kann die Motivation der Mitarbeiter für die Verwendung des Systems erhöht werden [Baier 2008, S. 27].

Fazit: Die Benutzeroberfläche des Wissensmanagementsystems ist für einen flexiblen Zugriff und eine schnelle Eingabe von Inhalten durch Produktionsmitarbeiter auszulegen.

(A5) Anpassbarkeit und Erweiterbarkeit: Das System soll als Teil des wandlungsfähigen Produktionssystems flexibel, anpassbar und erweiterbar sein.

In der Produktion muss die für wettbewerbsfähige Produktionssysteme geforderte Wandlungsfähigkeit auch für IT-Systeme gelten [Nem 2010, S. 1]. Änderungen an Produktionsressourcen in Unternehmen führen nicht nur zum räumlichen

„Verschieben von Anlagen“, sondern erfordern vermehrt Anpassungen an der eingebetteten Software und den Systemen zur Produktionssteuerung und -kontrolle [Sauer und Jasperneite 2010, S. 1].

Auch Wissensmanagementsysteme selbst entwickeln sich im Zuge ihres Lebenszyklus kontinuierlich weiter. Dies wird insbesondere durch unvorhergesehene Änderungen im Umfeld des Systems und durch sich wandelnde Benutzeranforderungen verursacht. Teile der in der Domäne gültigen Annahmen und Anforderungen werden zumeist erst bei der Interaktion des Anwenders mit dem laufenden System ersichtlich [Maedche u. a. 2003, S. 28]. In KMU sollte die Anpassung des Systems durch Anwender erfolgen können, um den Bedarf an IT-Ressourcen zu reduzieren.

Fazit: Wissensmanagementsysteme müssen flexibel erweiterbar und durch Anwender an sich ändernde Gegebenheiten in wandlungsfähigen Produktionssystemen angepasst werden können.

(A6) Geringer Ressourcenbedarf: Der Ressourcenbedarf für die Installation und Wartung des Systems soll für KMU vertretbar sein.

In Unternehmen stehen Wissensträger nur eingeschränkt für die Mitarbeit an Softwareentwicklungsprojekten zur Verfügung [Baumeister und Reutelshoefer 2009]. Zudem werden Investitionen in Hardware und Software in KMU, insbesondere im Falle von nicht direkt wertschöpfenden Prozessen, möglichst vermieden [Rubarth 2007]. Darüber hinaus ist für KMU die einfache Überschaubarkeit und Kontrollierbarkeit des Systems sicherzustellen [Baier 2008, S. 27].

Fazit: Für den Einsatz des Wissensmanagementsystems in KMU ist ein geringer Ressourcenbedarf für die Installation und Wartung des Systems sicherzustellen.

3.3.2 Anforderungen an Modelle, Methoden und Werkzeuge

Im vorliegenden Abschnitt werden die Anforderungen von KMU an die Entwicklung und Einführung von organisationsspezifischen Wissensmanagementsystemen, im Besonderen an die auszuwählenden Modelle, Methoden und Werkzeuge, hergeleitet:

(E1) Ausrichtung an Prozessen und Aufgaben: Der Entwicklungsprozess soll sich primär an den zu unterstützenden Prozessen und Aufgaben ausrichten.

Das Wissensmanagement ist auf den jeweils konkreten Anwendungsfall, genauer gesagt an die organisationsspezifischen Prozesse und Aufgaben der Mitarbeiter in der Produktion, auszurichten [Denkena u. a. 2005, S. 168; Bullinger u. a. 1998]. Die einzelnen Prozesse und Aufgaben sind hierbei auf den Bedarf und die Verfügbarkeit von Informations- und Datenobjekten zu untersuchen, um Verbesserungspotentiale durch den Einsatz eines Wissensmanagementsystems zu bestimmen.

Fazit: Die Analyse der Prozesse und Aufgaben in der Produktion soll die Grundlage für den Entwurf und die Realisierung von organisationsspezifischen Wissensmanagementsystemen bilden.

(E2) Modulares Entwicklungskonzept: Der Entwicklungsprozess soll die Nutzung und Entwicklung von wiederverwendbaren Komponenten vorsehen.

Das Rentabilitätsgebot setzt in KMU dem Aufwand für die Entwicklung und Einführung eines Systems vergleichsweise enge Grenzen [Rubarth 2007]. Dazu bieten sich ein modularer Aufbau des Wissensmanagementsystems und die Wiederverwendung von bestehenden Komponenten an, welche eine Kosten- und Zeiteinsparung bei der Systementwicklung versprechen [Neches u. a. 1991].

Fazit: Für die Entwicklung von organisationsspezifischen Wissensmanagementsystemen ist ein modularer Aufbau zu wählen, welcher die Wiederverwendung von Komponenten ermöglicht.

(E3) Iterativer Entwicklungsprozess: Der Entwicklungsprozess soll eine iterative Systemimplementierung und -einführung in Unternehmen ermöglichen.

Die Entwicklung von Wissensmanagementsystemen muss auf das schnelle Erreichen erster Erfolge ausgerichtet sein, um die Unterstützung aller Beteiligten langfristig zu sichern [Bullinger u. a. 1998]. Hierzu sollen während des Entwurfs und der Implementierung Prototypen zur Validierung der Anforderungen und des Systemkonzeptes eingesetzt werden. Die Prototypen sollten dabei den späteren Nutzen des Systems verdeutlichen, um die Motivation der Mitarbeiter während der Entwicklungsphase aufrechtzuerhalten. Zudem kann die Planung von Prototypen mit unterschiedlichem Funktionsumfang die stufenweise Systemeinführung unterstützen.

Fazit: Das System ist in iterativer Art und Weise zu entwickeln, wobei Prototypen des Systems für eine frühe Validierung einzusetzen sind.

(E4) Einfache Methoden und Werkzeuge: Der Entwicklungsprozess soll auf einfach anwendbaren und verständlichen Methoden und Werkzeugen basieren.

Bei der Entscheidung über Methoden und Werkzeuge für die Entwicklung von Wissensmanagementsystemen sind die jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten maßgebend. Während große Unternehmen die IT-Ressourcen für die Einführung stark spezialisierter Werkzeuge und Methoden besitzen, ist für KMU die Verwendung von einfachen und weitgehend bekannten Methoden und Werkzeugen angebracht. Hierdurch lässt sich der Einarbeitungsaufwand von Mitarbeitern in das Entwicklungsprojekt begrenzen. Zudem sollten die mit diesen Methoden und

Werkzeugen erstellten Zwischenergebnisse einfach an Experten aus der Produktionsdomäne kommuniziert werden können.

Fazit: Für die Entwicklung und Einführung von Wissensmanagementsystemen in KMU sollten einfach anwendbare und verständliche Methoden und Werkzeuge Anwendung finden.

3.4 Zusammenfassung

Im vorliegenden Kapitel wurden zunächst die Rahmenbedingungen für die Prozesse des Wissensmanagements in KMU und die Ausprägung der Kernprozesse des Wissensmanagement in wandlungsfähigen Produktionssystemen analysiert. Darauf aufbauend wurden Anforderungen an Wissensmanagementsysteme sowie Anforderungen von KMU an die Vorgehensweise, Methoden und Werkzeuge bei deren Entwicklung definiert. Tabelle 3-3 fasst diese Anforderungen zusammen, die in Kapitel 4 für die Bewertung von existierenden Technologien und Systemen zum Wissensmanagement und in Kapitel 5 für die Entwicklung und Bewertung des in dieser Arbeit erstellten Lösungskonzepts eingesetzt werden.

Anforderungen an das Wissensmanagementsystem		Anforderungen an den Entwicklungsprozess	
(A1)	Einbettung in Produktionsumgebung	(E1)	Ausrichtung an Prozessen und Aufgaben
(A2)	Integration in produktionsnahe IT	(E2)	Modulares Entwicklungskonzept
(A3)	Erfassung heterogener Inhalte	(E3)	Iterativer Entwicklungsprozess
(A4)	Flexible Benutzerschnittstelle		
(A5)	Anpassbarkeit und Erweiterbarkeit	(E4)	Einfache Methoden und Werkzeuge
(A6)	Geringer Ressourcenbedarf		

Tabelle 3-3: Anforderungen an das Wissensmanagementsystem

4 Stand der Technik

Verschiedene Initiativen aus Forschung und Industrie widmen sich der Suche nach intelligenten Konzepten für Informationssysteme zur Unterstützung von Wissensmanagement in Unternehmen. Im vorliegenden Kapitel werden zunächst am Markt verbreitete konventionelle Systeme analysiert und bewertet (Abschnitt 4.1). Anschließend werden semantische Technologien sowie Systemarchitekturen für semantische Wissensmanagementsysteme untersucht (Abschnitt 4.2). Ergänzend hierzu werden Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge aus Literatur und Praxis für die Entwicklung von Wissensmanagementsystemen näher beleuchtet (Abschnitt 4.3). Im Kontext des Stands der Technik wird schließlich in Abschnitt 4.4 der Entwicklungsbedarf für den in dieser Arbeit entwickelten Lösungsansatz zur Gestaltung von anpassbaren Wissensmanagementsystemen für die wandlungsfähige Produktion formuliert.

4.1 IT-Systeme zum Wissensmanagement in der Produktion

Wissensmanagementprozesse in produzierenden Unternehmen können durch eine große Bandbreite von informationstechnischen Systemen unterstützt werden. Zunächst werden konventionelle als auch Web-2.0-Technologien erläutert, bevor diese auf ihre Anwendbarkeit in wandlungsfähigen Produktionssystemen bewertet werden.

4.1.1 Beschreibung der IT-Systeme

Für die folgende Analyse von IT-Systemen wird in Anlehnung an [Decker u. a. 2005, S. 82–84] eine funktionale Kategorisierung verwendet. Hierbei ist anzumerken, dass die eindeutige Zuweisung der am Markt verfügbaren Softwareprodukte zu diesen Kategorien dadurch erschwert wird, dass diese oftmals Eigenschaften und Funktionen mehrerer Systemkategorien beinhalten.

Experten-Systeme wie Hilfe- oder Diagnose-Systeme unterstützen die Lösungsfindung in einer eng abgegrenzten Domäne auf Basis von im System abgebildetem Expertenwissen. Wissen von menschlichen Experten wird aufgenommen, im Informationssystem formal repräsentiert und damit für andere Nutzer und Anwendungsfälle verfügbar gemacht. Experten-Systeme basieren meist auf Konzepten der Künstlichen Intelligenz wie fallbasiertes oder regelbasiertes Schlussfolgern [Decker u. a. 2005, S. 83].

Groupware-Systeme dienen der Sammlung, der Organisation und dem Austausch von Informationen in verteilten Gruppen durch Funktionen wie gemeinsame Dateiablagen, elektronische Diskussionsgruppen, Konferenz-Systeme und Gruppenkalender. Das bekannteste Groupware-System ist Lotus Notes, welches Datenbank, Gruppenkalender, E-Mail und Workflow-Funktionen kombiniert [Maier 2007, S. 276]. Nach den Ergebnissen einer Fraunhofer-Studie werden Groupware-Systeme regelmäßig von 44 % der befragten Unternehmen eingesetzt [Decker u. a. 2005, S. 84].

Dokumenten-Management-Systeme (DMS) und **Content-Management-Systeme (CMS)** unterstützen den Austausch von Dokumenten und sonstigen Inhalten. DMS erlauben die Speicherung und Archivierung, die Navigation und Suche sowie den versionskontrollierten Zugriff auf elektronische Dokumente. Nach den Ergebnissen der Fraunhofer-Studie werden DMS von 41 % der befragten Unternehmen regelmäßig eingesetzt [Decker u. a. 2005, S. 84]. Einzelne DMS-Implementierungen unterstützen die Anbindung an Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung (PPS) und werden hierbei vor allem zur rechtssicheren Dokumentation von Vorgängen eingesetzt [DMS 2010]. Während DMS auf die Verwaltung einzelner Dokumente ausgerichtet sind, fokussieren sich CMS auf die Organisation von Inhalten aus Dokumenten oder sonstigen Informationsquellen sowie ihre Veröffentlichungen in unterschiedlichen Medien wie Web- oder Intranet-

Portalen. Dabei unterstützen CMS ebenfalls den gesamten Lebenszyklus von Informationen und Inhalten [Maier 2007, S. 274–275].

Workflow-Management-Systeme, deren Funktionen zum Teil in DMS, CMS und Groupware-Systemen integriert sind, dienen der Unterstützung der systematischen Abarbeitung von Geschäftsprozessen. Als operatives, technologisches Gegenstück zu einem Geschäftsprozess wird der Workflow (Arbeitsablauf) betrachtet, der aus miteinander in Beziehung stehenden Aktivitäten besteht, welche durch externe Ereignisse angestoßen und durch Personen unter Zugriff auf Ressourcen wie Dokumente, Applikationen und Daten durchgeführt werden [Maier 2007, S. 275].

Der Begriff **Web-2.0-Technologien** bezeichnet eine Gruppe heterogener web-basierter Anwendungen, die sich durch eine enge Einbindung der Anwender auszeichnen [Gruber 2008]. Eigenschaften dieser Technologien sind die Kontrolle der Daten durch den Nutzer sowie leichtgewichtige Benutzerschnittstellen und Entwicklungs- und Geschäftsmodelle [O'Reilly 2005]. **Wiki-Systeme**, als weit verbreitete Web-2.0-Anwendung zum Wissensmanagement, ermöglichen es Anwendern Wiki-Seiten mit formatierten Texten, Bildern, Tabellen sowie eingebundene Dateien in enger Zusammenarbeit zu verwalten [Oren u. a. 2006, S. 1072]. Wikis werden in Unternehmen zur Erstellung von Dokumentationen durch mehrere Autoren, als Datenbank für wenig strukturierte Inhalte, für die Zeitplanung und die Organisation von Projekten oder für die Verwaltung von Problem- und Lösungsbeschreibungen verwendet [Oren u. a. 2006, S. 1073]. Solche Systeme haben in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen und werden laut einer McKinsey-Studie aus dem Jahre 2009 bereits von ca. 40 % der befragten Unternehmen eingesetzt [Bughin u. a. 2009, S. 4].

Des Weiteren sind Lernmanagement-Systeme, Erfahrungsdatenbanken und Systeme zur Verwaltung von Wissenslandkarten als weitere Systeme zur Unterstützung von Wissensmanagement zu nennen. **Lernmanagement-Systeme** dienen der Unterstützung des Erwerbs, der Akquise und Entwicklung von Wissen, indem sie Lerninhalte in einer interaktiven Art und Weise den Mitarbeitern zur Verfügung stellen. **Erfahrungsdatenbanken** hingegen unterstützen die Externalisierung und den Austausch von Erfahrungen zwischen Mitarbeitern. **Wissenslandkarten** wie ‚Yellow Pages‘ und ‚Skill-Management-Systeme‘ bieten eine Übersicht über Wissensgebiete, -inhalte und -träger und sollen hiermit einen schnellen Einstieg in eine Wissensdomäne erlauben [Decker u. a. 2005, S. 83].

4.1.2 Bewertung der IT-Systeme

Die oben erläuterten Systeme werden nun auf ihren jeweiligen Nutzen beim Wissensmanagement in der Produktion bei KMU analysiert. Dies dient als Grundlage der Entwicklung des Lösungskonzepts in Kapitel 5. Hierzu werden die Systeme anhand der in Abschnitt 3.3 abgeleiteten Anforderungen bewertet (siehe Tabelle 4-1).

In diese Bewertung werden nur diejenigen Systeme einbezogen, welche die essentiellen Prozesse des Wissensmanagements in der Produktion unterstützen (siehe Abschnitt 3.2). Folglich werden Lernmanagementsysteme, Erfahrungsdatenbanken, Wissenslandkarten und Workflow-Management-Systeme als eigenständige Systeme hier nicht bewertet. Diese können jedoch als funktionale Komponenten in übergreifenden Systemen Verwendung finden.

Experten-Systeme sind auf eng begrenzte Problemstellungen und Anwendungsdomänen, wie die Diagnose der Fehlermeldungen von Robotersystemen, auszulegen, um das Expertenwissen im System auf dem benötigten Detaillierungslevel modellieren zu können. So sind klassische Experten-Systeme nur eingeschränkt für einen Einsatz als flexible Wissensmanagementlösung in wandlungsfähigen

Produktionssystemen geeignet. Jedoch können Konzepte aus dem Bereich der Experten-Systeme in Wissensmanagementlösungen Verwendung finden.

Anforderung	Experten-Systeme	Groupware-Systeme	DMS	CMS	Wiki-Systeme
Einbettung in Produktionsumgebung (A1)	●	◐	◐	◐	◐
Integration in produktionsnahe IT (A2)	●	○	◐	◐	○
Erfassung heterogener Inhalte (A3)	○	●	◐	●	●
Flexible Benutzerschnittstelle (A4)	◐	◐	◐	●	●
Anpassbarkeit und Erweiterbarkeit (A5)	○	◐	○	○	●
Geringer Ressourcenbedarf (A6)	○	◐	◐	●	●
● Anforderung voll erfüllt ◐ Anforderung teilweise erfüllt ○ Anforderung nicht erfüllt					

Tabelle 4-1: IT-Systeme zum Wissensmanagement in der Produktion bei KMU

Groupware-Systeme bieten weitreichende Funktionen für die Verwaltung und das gemeinsame Arbeiten an Dokumenten sowie E-Mail- und Kalenderfunktionen. Allerdings sind Groupware-Systemen wie Lotus Notes stark auf die Anwendung durch Wissensmitarbeiter am PC-Arbeitsplatz ausgelegt und nicht auf die spezifischen Anforderungen von Mitarbeiter in der Produktion. Weitere Schwachpunkte solcher Systeme sind die mangelnden Integrationsmöglichkeiten mit produktionsnahen Informationssystemen. Zudem erfolgt die Anpassung solcher Systeme meist durch eine zentrale IT-Abteilung.

DMS sind auf die Erfassung und Bewahrung von Dokumenten ausgerichtet. Einzelne Systemimplementierungen lassen sich zur Dokumentation von Daten aus der Produktion verwenden. Sie unterstützen die Strukturierung von Arbeitsabläufen und damit die Abbildung der Geschäftsprozesse in Unternehmen. Die Flexibilität der Systeme ist jedoch, insbesondere in Bezug auf die Erfassung von heterogenen Inhalten durch die Mitarbeiter in der Produktion und die flexible semantische Verknüpfung und Analyse dieser unterschiedlichen Informationen, gering. Zudem sind konventionelle DMS in Bezug auf ihre Anpassbarkeit durch den Anwender eingeschränkt.

Konventionelle **CMS** zur Pflege von Intranet-Systemen sind eine verbreitete Möglichkeit zur Bewahrung und Verteilung von Inhalten in Unternehmen. Allerdings findet die Verwaltung von Inhalten in solchen Systemen in formalisierten Prozessen statt. Diese sind nicht auf die Erfassung und gemeinsame Bearbeitung von heterogenen Inhalten durch Mitarbeiter in Unternehmen ausgelegt.

Nach Heisig bilden **Web-2.0-Anwendungen** im Vergleich zu konventionellen Wissensmanagementsystemen eine kostengünstige und einfach einzuführende Alternative [Heisig 2007, S. 12]. **Wiki-Systeme** weisen eine hohe Flexibilität bei der Organisation von heterogenen Inhalten durch mehrere Nutzer auf und wurden in der Fraunhofer Studie zum Wissensmanagement von Anwendern positiv bewertet [Decker u. a. 2005, S. 89]. Sie ermöglichen eine benutzergesteuerte Entwicklung von schlanken Wissensmanagementsystemen [Rubarth 2007], da sie sich im Gegensatz zu den zuvor erläuterten Systemen durch den Anwender konfigurieren lassen. Folglich sind sie für KMU ohne große IT-Abteilung besonders geeignet. Zudem sind Wikis durch die hohe Verbreitung im privaten Umfeld einem großen Teil der Mitarbeiter

bekannt, was die Einführungshürden im unternehmerischen Umfeld verringert.¹ Allerdings sind die Möglichkeiten zur Strukturierung von Inhalten in Wiki-Systemen begrenzt, weshalb die Integration von Datenobjekten aus produktionsnahen IT-Systemen problematisch ist.

Fazit: Die untersuchten konventionellen und Web-2.0-Systeme sind im Unternehmensumfeld bereits verbreitet. Jedoch weisen alle untersuchten Systeme für den Einsatz in wandlungsfähigen Produktionssystemen bei KMU Schwachstellen auf. Folglich sind innovative Ansätze aus der Forschung anzuwenden: Im folgenden Abschnitt werden semantische Technologien als Erweiterung von bestehenden Systemarchitekturen für Wissensmanagementsysteme untersucht.

4.2 Semantische Wissensmanagementsysteme

Nach einer Einführung in das Forschungsgebiet der semantischen Technologien und Ontologien im Besonderen werden im vorliegenden Abschnitt bestehende Systemarchitekturen für Wissensmanagementsysteme basierend auf semantischen Komponenten betrachtet.

4.2.1 Semantische Technologien

Semantische Technologien basieren auf dem Konzept der Semantik, einem Teilbereich der Semiotik. Während die Syntax die Beziehungen zwischen Zeichen beschreibt, befasst sich die Semantik mit den Beziehungen zwischen Zeichen und den Objekten der Außenwelt [Blumauer und Pellegrini 2006]. Die Semantik wird von Neumüller auch als „[...] die Studie der Bedeutung“ bezeichnet [Neumüller 2001].

¹ Die verstärkte vormalige Verbreitung von neuen Technologien im privaten Umfeld vor Einsatz im Unternehmensumfeld wird als ‚Consumerization‘ bezeichnet [Cuel u. a. 2007, S. 13].

Im Bereich der Informationstechnologie werden semantische Technologien zur expliziten Abbildung der Bedeutung von Daten eingesetzt. Konventionelle Ansätze zur Datenrepräsentation haben Unzulänglichkeiten im Hinblick auf die Erhaltung der Bedeutung der zu speichernden Daten. So werden diese in Form von Dokumenten, Web-Seiten oder Datenbanktabellen ohne maschinenverständliche Kontextinformationen abgespeichert [Liebig u. a. 2009] und sind nicht durch Maschinen bearbeitbar.

Softwaresysteme basierend auf semantischen Technologien versuchen die Bedeutung von Daten explizit abzubilden und hiermit einen zielgenaueren Zugang zu Daten zu ermöglichen. Ein grundlegendes Konzept im Bereich der semantischen Technologien sind sogenannte Metadaten als „Daten über Daten“. Mit diesen kann der Sinn, also die Semantik, von Daten abgebildet und so zur Beschreibung, zur Suche und Verknüpfung von Informationsressourcen verwendet werden [Blumauer und Pellegrini 2006]. Metadaten sind durch Maschinen lesbare und bearbeitbare Markierungen, welche mit einzelnen Wörtern, Satzteilen, Bildern oder sonstigen Datenobjekten verknüpft werden können [Janev und Vraneš 2011]. In Tabelle 4-2 werden zwei einfache Beispiele für die Annotation von Texten mit Metadaten illustriert. Während Metadaten beim Einsatz mit der Hyper-Text-Markup-Language (HTML) primär die graphische Darstellung von Inhalten spezifizieren, definieren Metadaten in semantischen Anwendungen explizit die Bedeutung von Inhalten.

Metadaten (HTML)	Metadaten (Semantische Anwendung)
<p style="text-align: center;"><CENTER> <i>Der Text soll zentriert werden.</i> </CENTER></p>	<p style="text-align: center;">[[hatMaschinenName::HS688RS]] ist eine [[hatMaschinenTyp::Fräsmaschine]]</p>

Tabelle 4-2: Metadaten in HTML und Metadaten für semantische Anwendungen²

² Die rechts gezeigte Syntax wird in Semantischen Wiki-Systemen angewandt (siehe Abschnitt 4.2.3).

Die Verwendung von Metadaten ermöglicht einen verbesserten und intelligenteren Zugriff auf Daten basierend auf dieser expliziten Semantik [Maier 2007, S. 379]. Durch die Annotation und die darauf aufbauende sinnhafte Vernetzung von Informationen können semantische Technologien den Schlüssel für eine bessere Qualität der Information in IT-Systemen darstellen [Beier 2006]. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist ein gewisser Standardisierungsgrad der verwendeten Metadaten [Blumauer und Pellegrini 2006]. Zudem sind die Abhängigkeiten zwischen Metadaten auf Konzeptebene formal im System zu hinterlegen, um dieses Wissen ebenfalls für Maschinen verfügbar zu machen.

4.2.1.1 Ontologien

Die geforderte Standardisierung von Metadaten kann zum einen über wohldefinierte Vokabulare erfolgen. Zum anderen können die Metadaten in einer Ontologie als formales Wissensmodell repräsentiert werden, in welchem zudem die semantische Verknüpfung und die semantischen Abhängigkeiten und damit Wissen der Domäne formal repräsentiert werden können.

Für Ontologien in der Informationstechnologie wurde eine große Anzahl von Definitionen diskutiert [Guarino 1997]. Die am häufigsten verwendete stammt von Gruber: „An ontology is an explicit specification of a conceptualization“ [Gruber 1993; van Heijst u. a. 1997; Hesse 2002]. Mit ‚Conceptualization‘ bezeichnet er die Erstellung eines abstrakten Modells über Vorkommnisse in der realen Welt durch die Identifikation von relevanten, diese Vorkommnisse beschreibenden Konzepten. Das Attribut ‚explicit‘ weist darauf hin, dass die Konzepte und deren Abhängigkeiten explizit, und damit maschinenlesbar, zu definieren sind.

Den Nutzen einer Ontologie in der Informationstechnologie beschreiben [Blumauer und Pellegrini 2006] wie folgt: Mit einer Ontologie kann „Wissen einer Domäne formal repräsentiert und prinzipiell unabhängig von Programmen wieder

verwendet“ werden. Ontologien unterstützen Maschinen dabei, Inhalte selbst zu interpretieren, anstatt „sämtliche Vernetzungstätigkeiten dem Menschen zu überlassen“. So dienen Ontologien dazu, ein gemeinsames Verständnis der Struktur von Informationen zwischen Menschen und Software-Agenten auszutauschen, die Wiederverwendung von Wissen zu unterstützen, Annahmen in der Wissensdomäne explizit zu beschreiben, Domänenwissen von operationalen Wissen zu trennen und Domänenwissen zu analysieren [Noy und McGuinness 2001].

Während Ontologien Gemeinsamkeiten mit Datenbankschemata aufweisen, gibt es eine Reihe signifikanter Unterschiede [Fensel 2004]:

- Die Modellierung der Ontologie geschieht auf einer für den Experten der Domäne verständlichen Weise und abstrahiert von der technischen Umsetzung.
- Die Sprachen zur Definition von Ontologien sind syntaktisch und semantisch mächtiger als die Ansätze in der Datenbankentwicklung.
- Bei einer Ontologie wird große Bedeutung auf eine gemeinsame Terminologie gelegt, um den Zweck des Informationsaustauschs und die Wiederverwendung innerhalb einer Domäne zu unterstützen.
- Informationen, welche durch eine Ontologie beschrieben werden, bestehen aus semi-strukturiertem Text in natürlicher Sprache und nicht aus tabellarischen Informationen.

In der Praxis bestimmen relationale Datenbanktechnologien die Art und Weise, wie strukturierte, transaktionsorientierte Daten in Applikationen gehalten werden. Jedoch nimmt die Menge an semi-strukturierten und unstrukturierten Daten wie Texte, Nachrichten, Bilder, Mediendateien oder Webinhalte stetig zu. Ontologien helfen dabei heterogene Inhalte aus verschiedenen Applikationen zu verknüpfen [Maier 2007, S. 374].

Eine Ontologie kann in unterschiedlichen Modellierungssprachen erstellt werden, die sich in ihrer Ausdrucksweise und ihren Begrifflichkeiten voneinander unterscheiden: So gibt es das vom W3C standardisierte ‚Resource Description Framework Schema‘ (RDFS) für leichtgewichtige Ontologien [W3C 2009c] und die ebenfalls standardisierte ‚Web Ontology Language‘ (OWL) [W3C 2009a]. Des Weiteren sind hier die Sprache Frame-Logic (F-Logic) [Kifer u. a. 1995] und die darauf aufbauende Erweiterung ObjectLogic zu nennen, welche den Prinzipien von objektorientierten, auf Frame-basierten Sprachen entsprechen [Angele 2012]. Gemeinsam weisen alle hier genannten Sprachen die folgenden grundlegenden Elemente auf [Stuckenschmidt 2009, S. 23–24; W3C 2009a; Angele 2012]:

- Konzepte (Klassen): Zusammenfassung gemeinsamer Eigenschaften; vergleichbar mit Klassen in der objektorientierten Programmierung
- Instanzen (Objekte): spezifische Ausprägung eines Konzeptes; vergleichbar mit einem Objekt in der objektorientierten Programmierung
- Attribute (Daten-Eigenschaften): Eigenschaften einer Klasse, welche auf Instanzen eines Datentyps verweisen
- Beziehungen (Objekt-Eigenschaften): Eigenschaften eines Konzeptes (Domäne), welche auf Instanzen eines Konzeptes (Gültigkeitsbereich) verweisen

Die Ontologie-Sprachen basieren auf Prinzipien der Logikprogrammierung. Neben den oben genannten Elementen sind Regeln zur logischen Schlussfolgerung (Axiome) verwendbar. Regeln sind Aussagen, die immer wahr sind und werden dazu verwendet, in der Ontologie gültiges Expertenwissen zu repräsentieren. Eine Regel kann wie in der Formel F1 dargestellt, schematisiert werden:

$$H : \neg B \text{ oder in alternativer Schreibweise: } B \rightarrow H \quad (\text{F1})$$

B sei der Regelkörper und H der Regelkopf. Beide können üblicherweise aus einer Konjunktion atomarer Formeln bestehen. Wenn die im Regelkörper definierten Voraussetzungen erfüllt sind, wird abgeleitet, dass die im Regelkopf definierte Schlussfolgerung wahr ist. Auf Basis von gegebenen Fakten können Regeln dazu dienen, neue Fakten automatisch abzuleiten und dadurch die Wissensbasis zu erweitern [Stuckenschmidt 2009, S. 101].

Regeln können über vordefinierte Axiome der Ontologie-Sprachen oder frei durch den Anwender modelliert werden. In den Sprachen RDFS, OWL, F-Logic und Object-Logic stehen hauptsächlich eine Menge vordefinierter, teils komplexer Axiome zur Verfügung. Die flexible Definition beliebiger weiterer Regeln durch den Anwender ist hingegen in F-Logic und Object-Logic möglich. In RDFS und OWL sind diese hingegen über bestehende Sprachelemente oder über ergänzende Regel-Sprachen abzubilden [Stuckenschmidt 2009, S. 118].³

Zwei spezielle Typen von Regeln sind symmetrische und transitive Beziehungen. Zwei Relationen R1 und R2 sind symmetrisch, wenn aus der Gültigkeit der Relation R1 zwischen zwei Instanzen A1 und A2 die Relation R2 zwischen A2 und A1 folgt und umgekehrt (siehe Formel F2). Darüber hinaus ist eine Relation R3 transitiv, wenn aus ihrer Gültigkeit zwischen den Instanzen A1 und B1 sowie zwischen den Instanzen B1 und C1 ihre Gültigkeit zwischen A1 und C1 folgt (siehe Formel F3).

$$R1(A1, A2) \rightarrow R2(A2, A1) \wedge R2(A1, A2) \rightarrow R1(A2, A1) \quad \forall A1, A2 \quad (F2)$$

$$R3(A1, B1) \wedge R3(B1, C1) \rightarrow R3(A1, C1) \quad \forall A1, B1, C1 \quad (F3)$$

³ Es bestehen Ansätze zur Integration von benutzerdefinierten Regeln in OWL [Glimm u. a. 2009].

Abbildung 4-1 zeigt eine Beispiel-Ontologie aus dem Bereich der Produktion. Die eigentliche Ontologie, das Schema, beschreibt die Konzeptebene der Domäne.

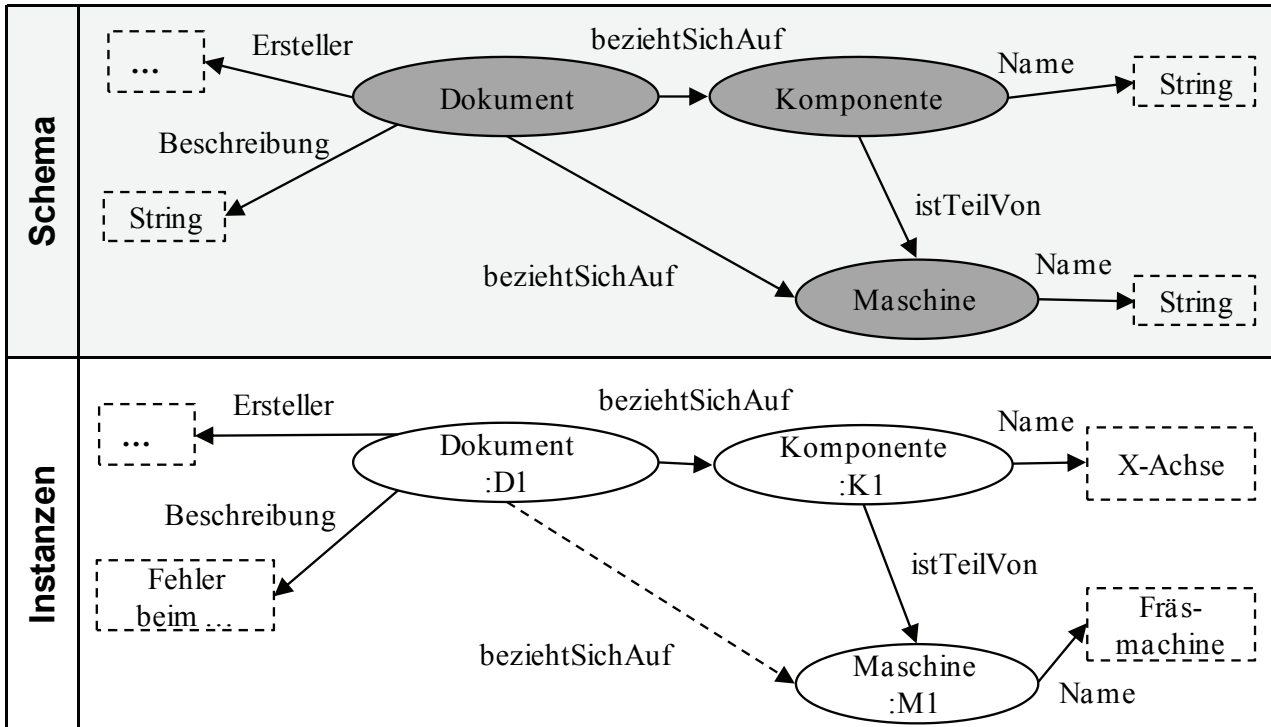


Abbildung 4-1: Ontologie mit Konzepten, Attributen, Relationen und Instanzen

In der hier dargestellten Ontologie ist abgebildet, dass eine Instanz vom Konzept *Dokument* die Relation *beziehtSichAuf* zu einer Instanz vom Konzept *Komponente* und zu einer Instanz vom Konzept *Maschine* aufweisen kann. Darüber hinaus können Instanzen vom Konzept *Komponente* über die Relation *istTeilVon* mit Instanzen vom Konzept *Maschine* verbunden sein.

Wenn nun in der Ontologie eine Regel „Wenn ein Dokument sich auf eine Komponente bezieht, welche Teil einer Maschine ist, dann bezieht sich das Dokument auch auf die Maschine“ definiert ist, können auf Basis der auf Instanzebene bereits hinterlegten Relationen (durchgezogene Linie) und der auf Konzeptebene spezifizierten Regel neue Relationen abgeleitet werden. Eine solche abgeleitete Relation wird in Abbildung 4-1 durch eine gestrichelte Linie dargestellt.

4.2.1.2 Standardisierung

Ein bedeutender Anwendungsbereich von semantischen Technologien und Ontologien ist das World Wide Web (WWW). Es beinhaltet eine Vielzahl von unstrukturierten und wenig strukturierten Dokumenten, Texten und Bildern [Blumauer und Pellegrini 2006]. Rechner können diese Inhalte nicht in einer Weise verarbeiten, die eine explizit definierte Bedeutung der Daten erfordert [McBride 2002, S. 55]. Der Begriff des ‚Semantic Web‘ wurde von [Berners-Lee u. a. 2001] als Vision für die Zukunft des WWW geprägt. Im ‚Semantic Web‘ besitzen Informationen eine genau definierte Bedeutung, was eine bessere Kooperation zwischen Rechnern und Menschen ermöglicht [Berners-Lee und Hendler 2001]. Während das ‚Semantic Web‘ einen Entwurf für das WWW der nächsten Generation bildet, können semantische Technologien auch für innerbetriebliche Anwendungen eingesetzt werden [Blumauer und Pellegrini 2006].

Durch das WWW-Konsortium wurden in den letzten Jahren eine Reihe von Standards verabschiedet, welche die für das ‚Semantic Web‘ wichtigsten Technologien beschreiben [W3C 2009b] und auch für die Realisierung unternehmensinterner Applikationen genutzt werden können. Für die vorliegende Arbeit besonders relevant sind, neben den bereits im vorherigen Abschnitt benannten Ontologiesprachen RDFS und OWL, die Standards URI, RDF und SPARQL. Während ‚Uniform Resource Locators‘ (URLs) zur Adressierung von Dokumenten und anderen Objekte im Web eingesetzt werden, dienen ‚Unified Resource Identifier‘ (URI) der mehr generischen, eindeutigen Beschreibung von Ressourcen [Bizer u. a. 2009]. Das ‚Resource Description Framework‘ (RDF) ist eine standardisierte Sprache zur Beschreibung von Ressourcen im Semantic Web. Es besteht zum einen aus einem graphenbasiertem Modell, welches sich aus multiplen Tripeln (3-Tupeln) zusammensetzt. Zum anderen definiert RDF eine Syntax mit unterschiedlichen Serialisierungen wie XML zur Repräsentation der Triple in maschinenlesbarer Form.

Zudem bietet die ‚SPARQL Protocol And RDF Query Language‘ (SPARQL) eine standardisierte Anfragesprache für RDF Daten. SPARQL wird in diesem Zusammenhang als ‚SQL für das Semantic Web‘ bezeichnet [Breslin u. a. 2010].

4.2.1.3 Ontologien für die Produktion

Vokabulare von Metadaten und komplexere Ontologien bilden die Grundlage für eine Vielzahl von innerbetrieblichen und webbasierten semantischen Applikationen [Baker u. a. 2012]. Im Folgenden wird zunächst ein standardisiertes Vokabular für das Management von Dokumenten als zentraler Bestandteil des Wissensmanagements erläutert. Im Anschluss wird eine Reihe von Ontologien für den Bereich der Produktion beschrieben.

Dublin-Core ist ein von der Dublin-Core Metadata Initiative erstelltes Vokabular zur Beschreibung von Dokumenten und anderen Web-Ressourcen im Internet. Den Kern des Vokabulars bildet eine Liste von 15 Elementen für die Beschreibung von Ressourcen, welche unter anderem Titel, Beschreibung, Format, Typ, Ersteller und Relation enthalten. Das Vokabular hat Eingang in eine Reihe von Standards gefunden (ISO 15836:2009, ANSI/NISO Z39.85-2007 und IETF RFC 5013) [Dublin Core 2011].

Das **Semantic Object Model for Product Data and Knowledge Management (PROMISE SOM)** wurde im Rahmen des Europäischen Forschungsprojektes PROMISE⁴ entwickelt. PROMISE SOM ist eine produktorientierte Ontologie, welche der Beschreibung des entwickelten Produkts (Design) sowie der Strukturierung der produktbezogenen Daten über den Produktlebenszyklus dient. Das

⁴ Die Projektbezeichnung PROMISE steht als Abkürzung für ‚PROduct lifecycle Management and Information tracking using Smart Embedded systems‘.

Produktionskosten von neuen Produkten und die Unterstützung eines Multi-Agenten-Systems für die Produktion.

Die **ADaptive holonic COntrol aRchitecture for distributed manufacturing systems** (ADACOR) wurde ebenfalls als höhere Ontologie für die Produktionsdomäne entworfen. Der Fokus der Ontologie liegt auf Anwendungen zur agentenbasierten Produktionskontrolle und -steuerung. Hierbei wurden von den Autoren einzelne Konzepte und Eigenschaften der Ontologie den Konzepten der ‚Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering‘ zugeordnet, welche sich als Grundlagen-Ontologie (engl. ‚Foundation ontology‘) insbesondere auf die Repräsentation von abstrakten und physischen Objekten, Ereignissen und Mengen fokussiert. Die ADACOR-Ontologie umfasst Konzepte wie Produkt, Produktionsauftrag, Arbeitsauftrag, Ressource, Eigenschaft und Einfluss (siehe Abbildung 4-3). Zudem beinhaltet ADACOR eine Methode zur Erweiterung der Ontologie [Borgo und Leitão 2007].

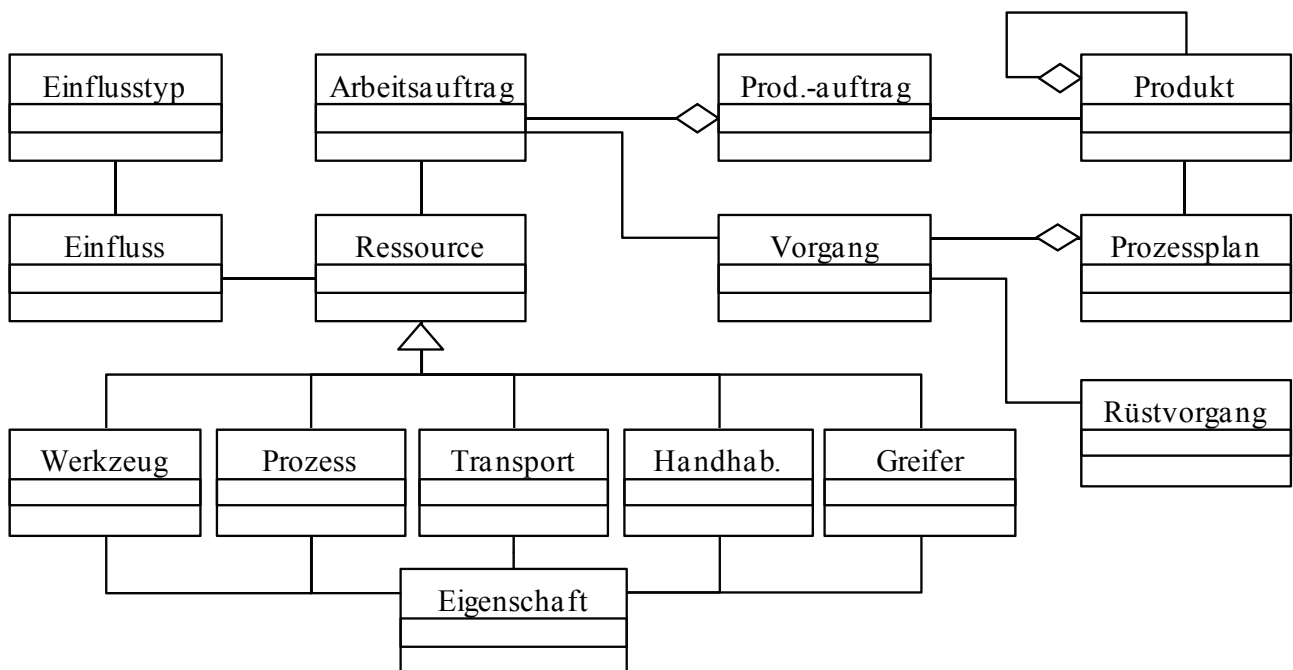


Abbildung 4-3: ADACOR Ontologie für die Produktion (Auszug) [Borgo und Leitão 2007]

[Berger u. a. 2004] beschreiben Wissensarten für wandlungsfähige Montagesysteme. Auf oberster Ebene werden Kategorien wie Produkte, Verfahren, Technologien, Produktionsmittel, Werkstoffe und Materialien und Lieferanten betrachtet. Es wird zudem illustriert, wie diese Kategorisierung als Grundlage für die Formalisierung von Kontextinformationen in einer Ontologie und damit in einem semantischen Wissensmanagementsystem genutzt werden kann.

Fazit: Dublin-Core bietet als standardisiertes Vokabular für die semantische Beschreibung von Ressourcen eine geeignete Basis für die Definition von Metadaten für semantische Anwendungen im Bereich des Wissensmanagements. In der Literatur werden zudem eine Reihe von Ontologien vorgestellt, die Aspekte der Produktionsdomäne modellieren. Diese können als Basis oder Anregung für die Modellierung von Konzepten und Abhängigkeiten in der Produktion dienen. Sie sind jedoch spezifisch auf das Wissensmanagement von Mitarbeitern in der Produktion auszurichten.

4.2.2 Systemarchitekturen für semantische Wissensmanagementsysteme

Laut [Studer u. a. 2001] können semantische Technologien die zentrale Anforderung an die nächste Generation von Wissensmanagementsystemen erfüllen, indem sie dazu beitragen, Informationen zu kombinieren, um damit implizites Wissen zu externalisieren und neues Wissen zu generieren.⁵ Zum generellen Aufbau von Wissensmanagementsystemen wurden bereits eine Anzahl theoriebasierter, anbieterspezifischer sowie marktorientierter Systemarchitekturen diskutiert [Maier 2007]. Durch die Untersuchung der bestehenden Ansätze sollen die folgenden Fragestellungen adressiert werden:

- Wie sollen Wissensmanagementsysteme aufgebaut sein?

⁵ vergleiche hierzu [Maedche u. a. 2003; Cuel u. a. 2007; Breslin u. a. 2010]

- Welche Rolle können hierbei semantische Technologien spielen?
- Wie können die Wissensmanagementsysteme in die IT-Landschaft von Unternehmen integriert werden?

[Maier 2007, S. 342–349] beschreibt ein dezentralisiertes ‚Peer-to-Peer‘ Systemkonzept für das Wissensmanagement (vgl.). Hierbei wird das Wissen der Anwender externalisiert, mit Kontextinformationen versehen und in den personalisierten Wissensbasen der Teilnehmer (engl. ‚Peer‘) bewahrt.

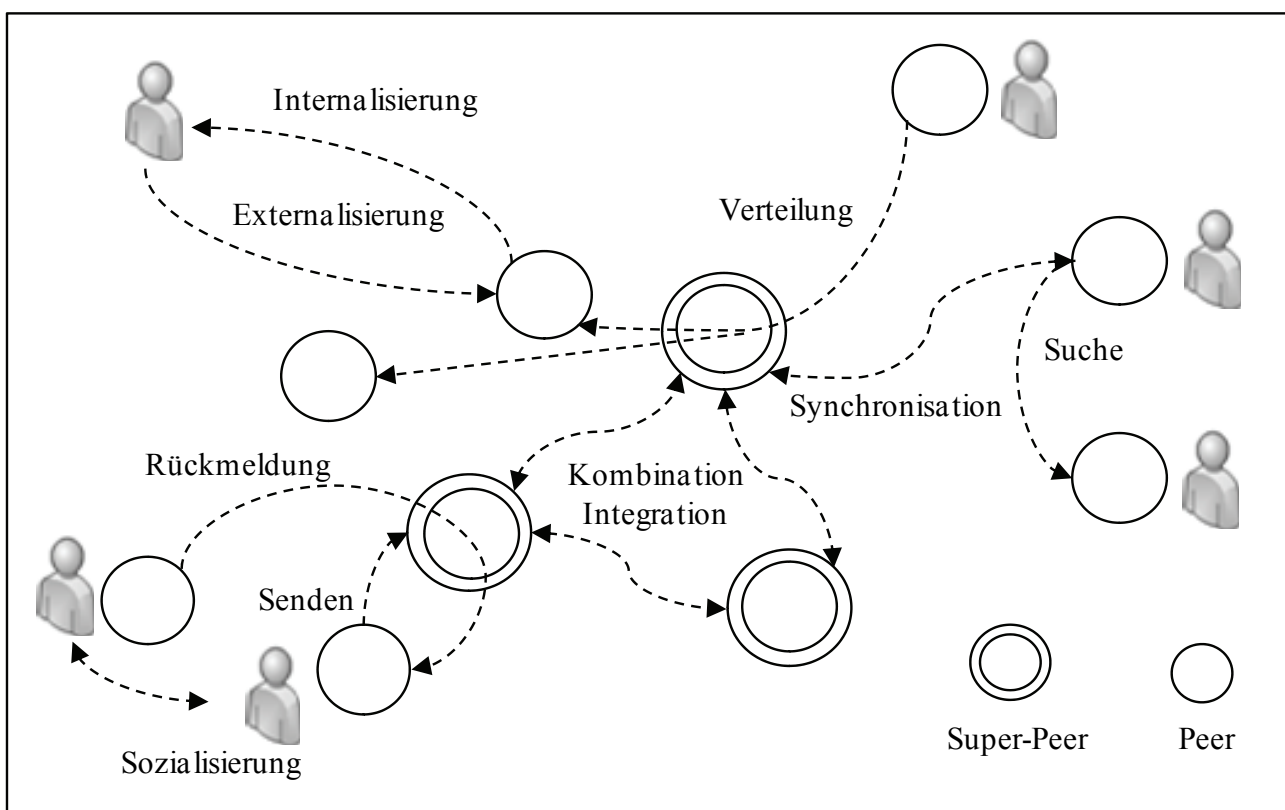


Abbildung 4-4: Dezentrale Architektur für Wissensmanagementsysteme [Maier 2007, S. 343]

Jeder Teilnehmer kann Wissen internalisieren und dadurch anwenden. Das Konzept sieht vor, dass ein Teilnehmer nun Wissen an andere Teilnehmer verteilen kann. Zudem können Inhalte aus mehreren Wissensbasen über Super-Peers semi-automatisiert kombiniert und integriert werden. Wissen wird von Teilnehmern aktiv an einen oder mehrere Teilnehmer gesendet, welche dieses als Teil ihrer

personalisierten Wissensbasis akzeptieren können. Das Systemkonzept bietet darüber hinaus Teilnehmer die Möglichkeit Rückmeldungen über das an sie weitergegebene Wissen zu erteilen. Suchvorgänge in diesem dezentralisierten System involvieren sowohl eigenes als auch extern verfügbares Wissen.

Neben dezentralen Architekturen werden in der Literatur zentrale Systemkonzepte diskutiert. [Blumauer u. a. 2003] unterscheiden in der von ihnen vorgestellten Systemarchitektur mehrere Schichten. Funktionen und Inhalte von IT-Werkzeuge für das Wissensmanagement wie DMS, CMS oder Kollaborationssysteme (siehe Abschnitt 4.1) auf der untersten Schicht werden dem Anwender über eine integrierte Portalschicht und eine gemeinsame Benutzeroberfläche zur Verfügung gestellt. Die semantischen Technologien werden in einer Integrationsschicht zwischen den Portal-Funktionalitäten und den verteilten Anwendungen und Datenquellen verwendet und unterstützen insbesondere die intelligente Suche und Navigation im System sowie Lernprozesse [Blumauer u. a. 2003, S. 6; Decker u. a. 2005].

Das von [Maier 2007] propagierte Konzept für semantische Wissensmanagementsysteme sieht drei Ebenen vor (vgl. Abbildung 4-5). Es kombiniert eine ebenfalls von Maier vorgeschlagene zentralistische Architektur für Wissensmanagementsysteme mit Elementen des von [Davies u. a. 2003] vorgestellten Ansatzes für semantische Wissensmanagementsysteme. Auf der obersten Ebene stehen dem Anwender (Wissensmitarbeiter) Zugriffsdienste zur Verfügung. Diese werden durch Wissensdienste zum Auffinden, Publizieren, Kollaborieren und Lernen unterstützt. Zudem sieht das Konzept Dienste zur Verwaltung der Ontologie durch Wissensingenieure vor. Die darunter liegende Ebene bietet Integrationsdienste mithilfe einer Middleware an, welche die Ontologie und die Wissensbasis verwaltet und semantische Schlussfolgerungen erlaubt. Die unterste Ebene, die Extraktionsebene, besteht aus Komponenten zur Integration von unstrukturierten und

semi-strukturierten Daten aus heterogenen Anwendungen und Datenbanken im Unternehmen [Maier 2007, S. 389].⁶

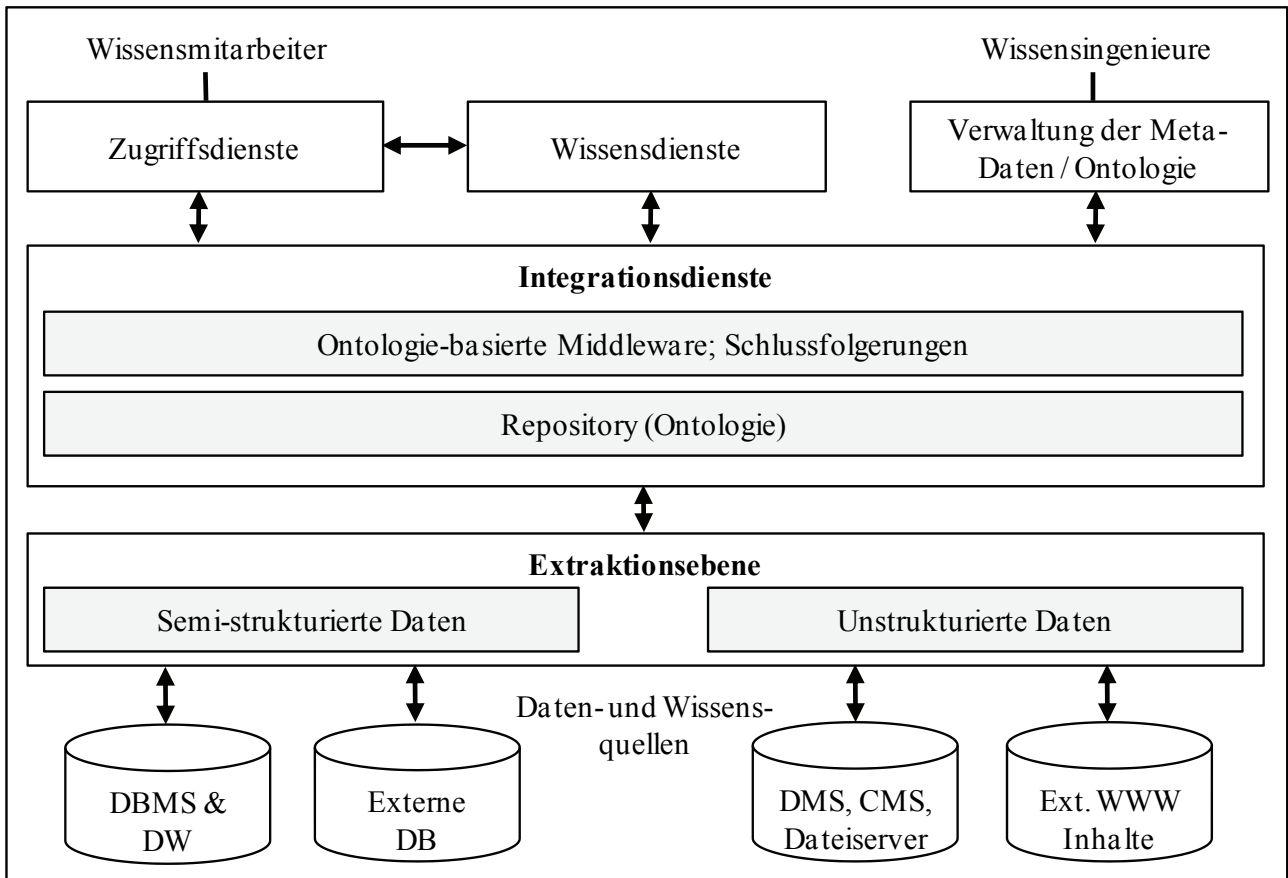


Abbildung 4-5: Architektur für ontologie-basierte Wissensmanagementsysteme
[Maier 2007, S. 389]

4.2.3 Semantische Wiki-Systeme

Semantische Wiki-Systeme kombinieren Konzepte eines semantischen Wissensmanagementsystems mit Web-2.0-Technologien. Die Verbindung dieser

⁶ Auch in der von [Maedche u. a. 2003] vorgestellten Architektur wird eine semantische Integrationsschicht zur Anbindung unterschiedlicher Applikationen und Datenquellen verwendet und das Editieren der Ontologie durch die Anwender vorgesehen.

Konzepte in Wissensmanagementsystemen verspricht nach [Gruber 2008] eine enge Benutzereinbindung und zugleich gut strukturierte Informationen.

Konventionelle Wiki-Systeme weisen eine Reihe von Nachteilen auf (siehe Abschnitt 4.1.2): Zum einen bieten sie weder einen strukturierten Zugriff auf Inhalte noch einfache Mechanismen zur Sicherstellung der Konsistenz von mehrfach im System vorliegenden Inhalten. Zum anderen unterstützen sie eine flexible Wiederverwendung von Daten nicht, beispielsweise durch externe Anwendungen [Oren u. a. 2006, S. 1072–1073; Krötzsch u. a. 2007]. Semantische Wiki-Systeme erweitern deshalb konventionelle Wikis um die Funktion der semantischen Annotation [Breslin u. a. 2010, S. 734] und erlauben die formelle Beschreibung von Ressourcen mit den in einer Ontologie enthaltenen Metadaten [Oren u. a. 2006] (siehe Abschnitt 4.2.1.1). Der Nutzer kann dabei die Flexibilität von Wikis bei der Erfassung und Bearbeitung von Inhalten nutzen und diese schrittweise annotieren [Oren u. a. 2006; Schaffert u. a. 2009]. In den letzten Jahren wurde eine Reihe von Semantischen Wiki-Systemen wie Semantic MediaWiki, OntoWiki oder IkeWiki entworfen [Breslin u. a. 2010].

Semantic MediaWiki (SMW) ist eine Erweiterung der weit verbreiteten MediaWiki Plattform [Barrett 2009] um Module mit semantischen Funktionen [Krötzsch 2012]. Während in konventionellen MediaWiki-Systemen bereits eine Zuweisung von Seiten zu Kategorien erfolgen kann, ermöglicht SMW darüber hinaus die Annotation von Inhalten mit Eigenschaften (Relationen) und Datentypen (Attribute). Die Annotation von Wiki-Seiten oder Fragmenten von diesen erfolgt dabei über eine einfache Syntax, über graphische Werkzeuge oder über vordefinierte Formulare [Krötzsch 2012]. Die grundlegende Architektur eines SMW ist in Abbildung 4-6 dargestellt.

Alle Daten im SMW werden in der MediaWiki-Datenbank gespeichert. Darüber hinaus verwaltet das System Daten in einer semantischen Datenbank. Auch zusätzliche, auf Java-Skript basierende, Erweiterungen können in das SMW System eingebettet werden und auf die Daten in der semantischen Datenbank zugreifen [Kröttsch u. a. 2007].

Als Ergänzung zur internen semantischen Datenbank kann eine Middleware (siehe Abschnitt 4.3.3) über einen sogenannten Triple Store Connector (TSC) an das System angeschlossen werden. In dieser semantischen Middleware werden die Daten aus dem SMW-System gespiegelt. Hierdurch werden zusätzliche Funktionen ermöglicht, wie Schlussfolgerungen auf Basis von Regeln und die Integration externer Datenquellen [Erdmann und Hansch 2011, S. 12].

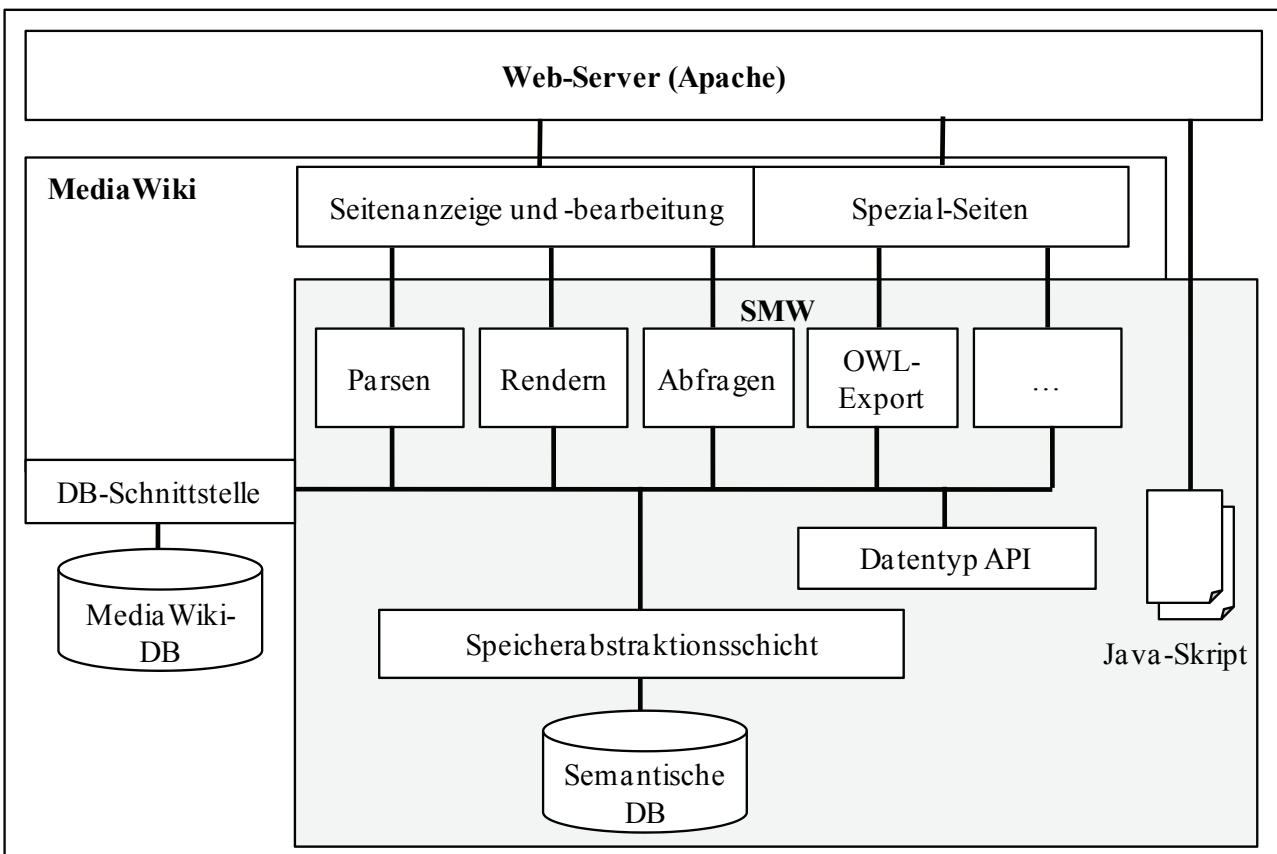


Abbildung 4-6: Architektur eines Semantischen Wiki-Systems [Kröttsch u. a. 2007]

Durch diese im Vergleich zu konventionellen Wiki-Systemen ergänzenden Funktionen werden Semantische Wiki-Systeme auch als webbasierte Benutzeroberfläche zur gemeinschaftlichen Bearbeitung von stark strukturierten Inhalten in Datenbanken eingesetzt [Kröttsch u. a. 2007]. [Millard u. a. 2006] propagieren SMW als einfache und flexible Benutzeroberfläche für Wissensmanagementsysteme. Zudem stellen [Zapp u. a. 2012c] am Beispiel eines Assistenten für das konzeptionelle Design von Werkzeugmaschinen vor, wie funktionsreiche Web-Anwendungen konzeptionell und technisch in ein semantisches Wiki-System integriert werden. Die Anwendung wird hierbei zur Datenintegration über einen semantischen Datenadapter an das SMW-System und die Middleware angebunden. Dies eröffnet die Möglichkeit der Kombination von komplexen und funktionsreichen Web-Anwendungen mit einem flexiblen Wiki-System.

4.2.4 Zusammenfassung und Bewertung

Semantische Technologien erlauben eine bessere Strukturierung und Verknüpfung von Inhalten in Informationssystemen und die formale Repräsentation von Expertenwissen. Für die Implementierung von Wissensmanagementsystemen wurden verschiedene zentrale und dezentrale Systemarchitekturen diskutiert, die semantische Technologien nutzen. Semantische Technologien dienen innerhalb dieser Konzepte der Verknüpfung und Auswertung von heterogenen Inhalten. Zudem werden in Wissenschaft und Praxis Ansätze diskutiert, wie das Wissensmodell und damit das Wissensmanagementsystem als Ganzes während der Nutzungsphase flexibel durch den Anwender angepasst werden können.

Für eine Anwendung von semantischen Wissensmanagementsystemen in wandlungsfähigen Produktionssystemen bei KMU sind spezifische Konzepte zu gestalten, welche die in Abschnitt 3.3 definierten Anforderungen erfüllen. Begleitend hierzu sind Modelle, Methoden und Werkzeuge zu bestimmen, welche KMU die

Möglichkeit eröffnen, diese Systemkonzepte auf ihre organisationsspezifischen Rahmenbedingungen und Anforderungen auszulegen. Bestehende Modelle, Methoden und Werkzeuge werden im folgenden Abschnitt untersucht.

4.3 Entwicklung von Wissensmanagementsystemen

Bei der Entwicklung von WMS sind, wie im TOM-Modell beschrieben (siehe Abschnitt 2.1.2), neben technischen Aspekten auch die Dimensionen Organisation und Mensch zu betrachten. Bei semantischen Systemen ist zudem die Entwicklung der Ontologie als formales Wissensmodell von besonderer Bedeutung. In der Literatur findet sich eine Anzahl von Modellen, Methoden und Werkzeugen, welche eine oder mehrere dieser Aspekte umfassen.

Hier werden zunächst Modelle für die Entwicklung und Einführung von Wissensmanagementsystemen betrachtet, welche sich mit der Organisation von Einführungsprojekten in Unternehmen befassen. Im Anschluss werden spezifische Methoden und Werkzeuge für die Entwicklung von formalen Wissensmodellen (Ontologien) in semantischen Wissensmanagementsystemen diskutiert.

4.3.1 Modelle für die Entwicklung von Wissensmanagementsystemen

Ergänzend zu klassischen Vorgehensmodellen für die Softwareentwicklung [Stahlknecht und Hasenkamp 2005; V-Modell 2012; IBM 2012; Wells 2009] widmen sich eine Reihe von Einführungsstrategien speziell der Entwicklung und Einführung von WMS in Unternehmen. Im Folgenden werden die Modelle von [Bullinger u. a. 1997, S. 44–47] und [Lehner 2009] verglichen (siehe Abbildung 4-7).

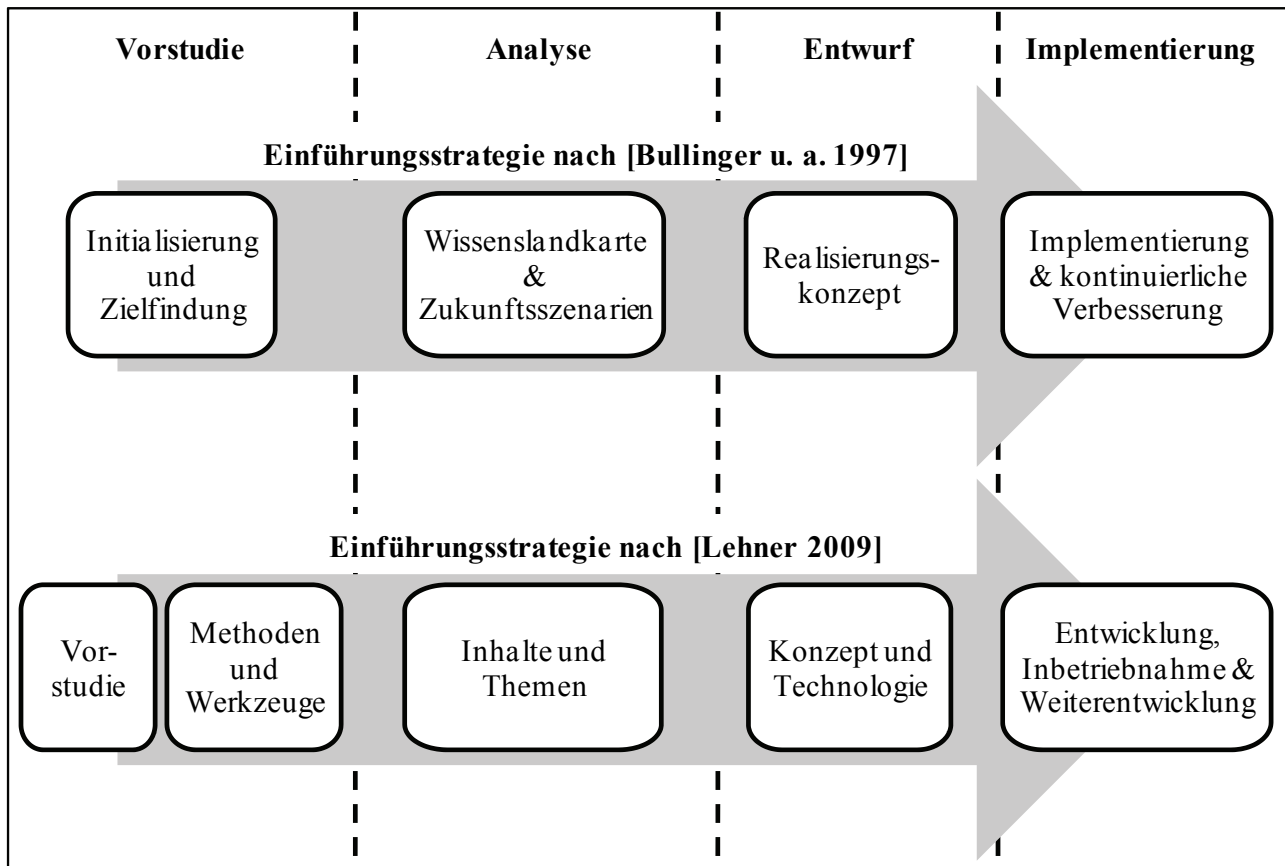


Abbildung 4-7: Phasen und Aktivitäten der Einführungsstrategie für WMS

Beide Einführungsstrategien sehen zum Projektstart eine Vorstudie vor. In dieser finden die Projektinitialisierung und die Zieldefinition für das Wissensmanagementsystem statt. Hierbei sind nach Bullinger u. a. zwingend die Nutzenpotentiale des Systems zu analysieren und aufzuzeigen. Lehner betont zudem den Bedarf an einer Einarbeitung der beteiligten Personen in die zu verwendenden Methoden und Werkzeuge. In der Analyse-Phase wird das erfolgskritische Wissen, dessen Zugänglichkeit für Mitarbeiter sowie die prozessbezogenen Bedarfe im Unternehmen untersucht. Bullinger u. a. verwenden für die Repräsentation und Strukturierung des Wissens Wissenslandkarten. Zudem werden alternative Zukunftsszenarien definiert und priorisiert. In der Entwurfs-Phase wird in beiden Ansätzen ein Realisierungskonzept erstellt. Lehner betont hier die Bedeutung der Analyse und Bewertung von existierenden Systemen und der potentiell einsetzbaren Technologien.

Dem konzeptionellen Entwurf folgen bei Lehner ein technischer Entwurf und eine prototypische Implementierung. Beide Einführungsstrategien sehen, wie in den Anforderungen in Abschnitt 3.3.1 formuliert, eine stufenweise Einführung und eine evolutionäre Weiterentwicklung des Systems vor.

CommonKADS von [Schreiber u. a. 2000] ist ein Set von Modellen, Methoden, Werkzeugen sowie Fallstudien zur Entwicklung von Wissensmanagementsystemen. CommonKADS sieht insbesondere eine Machbarkeitsstudie und die Konstruktion einer Reihe von Modellen vor, welche den Kern von CommonKADS bilden (siehe Abbildung 4-8). Die einzelnen Modelle werden im Laufe des Entwicklungsprozesses bedarfsweise genutzt. Jedes Modell erfasst unterschiedliche Aspekte des Wissensmanagementsystems [Schreiber u. a. 2000]:

Das Organisationsmodell dient der Analyse der Hauptmerkmale einer Organisation, um Probleme, Ansätze, Restriktionen und Auswirkungen von Wissenssystemen erfassen zu können. Das Aufgabenmodell unterstützt die Analyse der für das Wissensmanagementsystem relevanten Teilaufgaben der Geschäftsprozesse im Unternehmen. Im Agentenmodell werden Menschen und Systeme identifiziert, welche die für das Wissensmanagement relevanten Aufgaben ausführen.

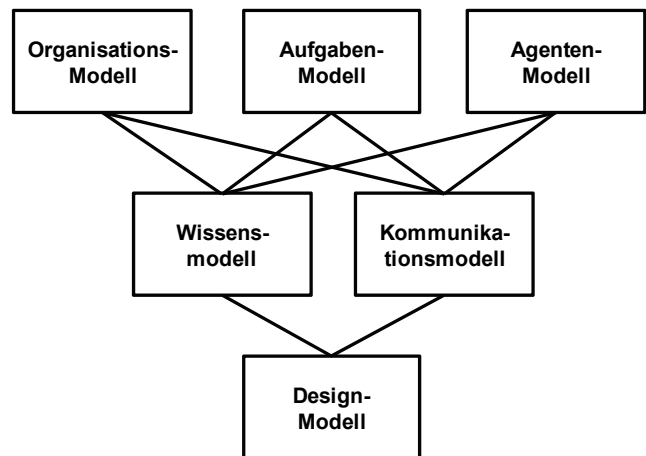


Abbildung 4-8: CommonKADS Modelle
[Schreiber u. a. 2000]

Das Wissensmodell bildet die Art und Struktur des Wissens für die Aufgaben ab. Das Kommunikationsmodell modelliert schließlich die Kommunikation zwischen den Agenten. Basierend auf den in den ersten fünf Modellen abgebildeten Ergebnissen

der Analysephase werden im Design-Modell technische Spezifikationen für das Wissenssystem abgebildet [Schreiber u. a. 2000].

4.3.2 Methoden zur Entwicklung von Ontologien als Wissensmodelle

Die Zielsetzung der Ontologie-Entwicklung im Rahmen der Wissensmodellierung ist die Konstruktion eines Modells der betrachteten Domäne als Ontologie [Studer u. a. 1998]. Für die Entwicklung eines solchen Modells, auch als Wissensmodell bezeichnet (siehe Abschnitt 2.1.5), werden in der Literatur mehrere Vorgehensweisen diskutiert [Janev und Vraneš 2011, S. 512]:

[Fernandez u. a. 1997] beschreiben mit **METHONTOLOGY** ein Modell, welches die Phasen der Spezifikation, Wissensakquise, Konzeptionalisierung, Formalisierung, Implementierung und Evaluierung unterscheidet. Für jede Phase werden die anzuwendenden Methoden und die zu erstellenden Dokumente beschrieben. Diese Dokumente enthalten die zentralen Ergebnisse des Entwicklungsprozesses wie die Anforderungen, das Glossar sowie die formale Ontologie. Eine iterative Entwicklung von Prototypen wird vorgesehen.

Model-based and Incremental Knowledge Engineering (MIKE) ist eine von [Angele u. a. 1998] vorgestellte Methode zur Entwicklung von Ontologien und ontologie-basierter Experten-Systemen. MIKE umfasst den Systementwicklungszyklus von der Wissenserhebung über die Spezifikation bis hin zur Implementierung. Die grundlegende Idee ist die Integration der Werkzeuge zur Erstellung des semi-formalen Strukturmodells, des formalen Wissensmodells sowie von Prototypen in einer integrierten Entwicklungsumgebung. Der hierdurch ermöglichte inkrementelle und umkehrbare Systementwicklungsprozess wird von Studer als Hauptunterschied zu CommonKADS benannt [Studer u. a. 1998]. Die Ausführbarkeit des formalen Modells erlaubt die einfache und frühe Validierung von Prototypen durch Experten.

Die Analyse der Dimensionen Organisation und Mensch stehen bei MIKE nicht im Fokus.

[Sure 2003] stellt die Methode **On-to-Knowledge** zur Entwicklung von ontologiebasierten Wissensmanagementsystemen vor. Grundlage der Methode bildet eine Unterscheidung zwischen dem Wissens-Meta-Prozess für die Entwicklung und Einführung des Systems und des Wissensmodells und dem Wissensprozess für die Nutzungsphase solcher Systeme. Für den Wissens-Meta-Prozess unterscheidet Sure die Phasen Machbarkeitsstudie, Projekt-Start, Verfeinerung, Evaluierung sowie Applikation und Evolution. Zu den einzelnen Phasen werden passende Werkzeuge unter anderem aus dem CommonKADS Modellrahmen benannt (siehe Abbildung 4-9).

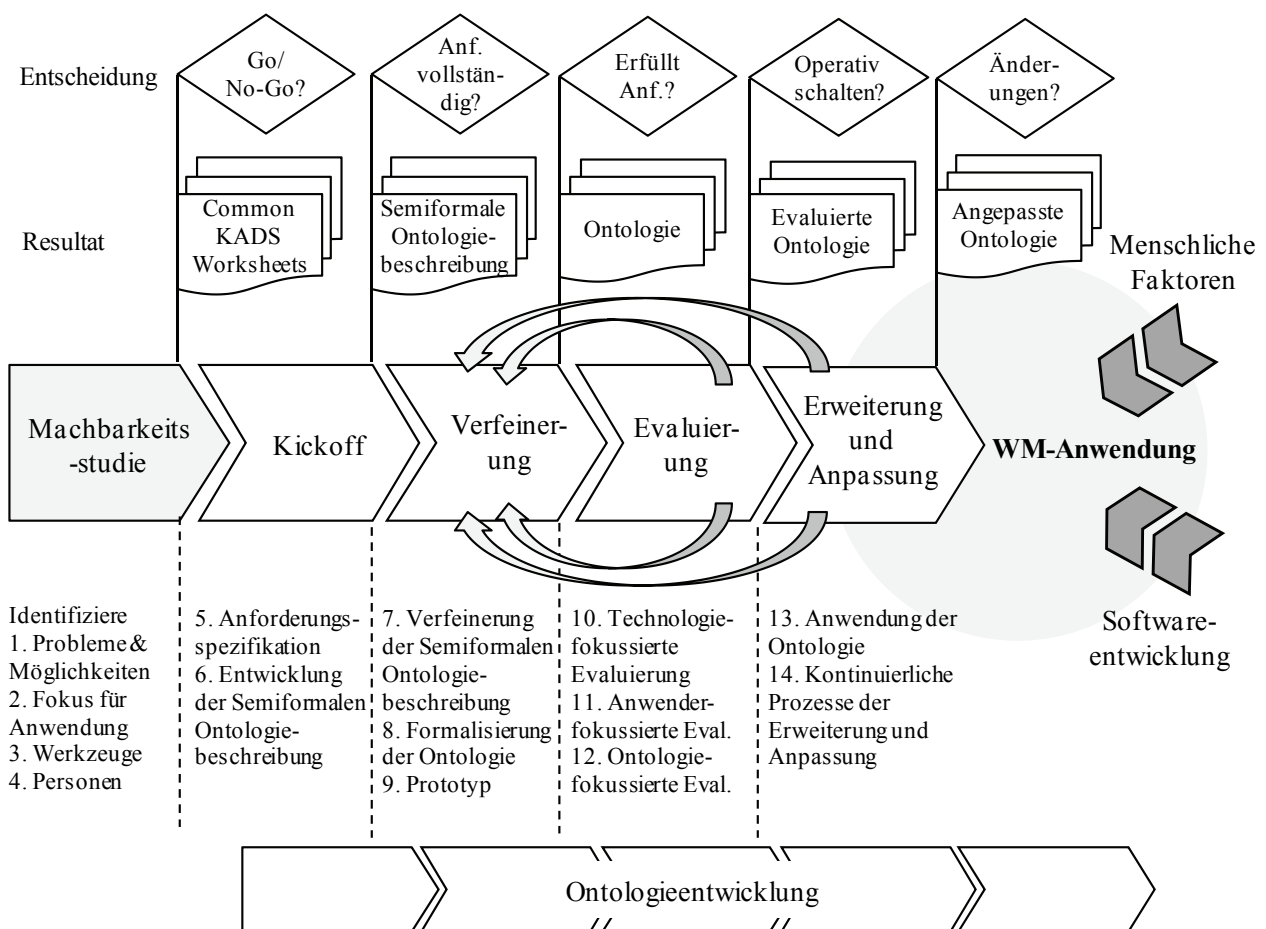


Abbildung 4-9: On-to-Knowledge Methodologie zur Entwicklung von WMS [Sure 2003]

Von den drei aufgeführten Kategorien Wissen, Software und Mensch fokussiert sich Sure stark auf das Wissen und hierbei insbesondere auf das zu entwickelnde Wissensmodell. Der Einfluss der Softwareentwicklung wird benannt; jedoch ist die Softwareentwicklungsmethodik nach Ansicht des Autors unabhängig von der Vorgehensweise bei der Entwicklung des Wissensmodells wählbar. Eine Eingrenzung auf eine bestimmte Anwendungsdomäne, wie die Produktion, oder einen bestimmten Anwendergruppe, wie KMU, findet nicht statt.

4.3.3 Werkzeuge zur Entwicklung und zum Einsatz von Ontologien

Für die Erstellung von Ontologien bieten sich unterschiedliche Werkzeuge an. Neben der Verfassung der Ontologien in der jeweiligen Ontologie-Sprache mit Hilfe von Text-Editoren können graphische Entwicklungsumgebungen wie Protégé [Stanford 2012; Gennari u. a. 2002; Musen 1992] und ontoStudio [Weiten 2009] eingesetzt werden, die das Anlegen von Ontologien sowie deren Test und Verifikation unterstützen. Zudem ist die Modellierung von Ontologien in semantischen Mindmaps möglich, welche anschließend automatisch in Ontologien transferiert werden [Konrad u. a. 2012, S. 166]. Ansätze, bestehende UML-Modellierungswerkzeuge zur Erstellung von Ontologien nutzbar zu machen, werden von [Baclawski u. a. 2001; Sparks 2012] evaluiert.

Zur Nutzung der Ontologien innerhalb von Softwareapplikationen können die benötigten semantischen Auswertungsfunktionen über die Einbindung von Programmbibliotheken wie Jena [McBride 2002, S. 55] oder Ontobroker [Decker u. a. 1999; Angele 2012] realisiert werden. Alternativ kann ein zentraler IT-Service, eine semantische Middleware, genutzt werden, welche die semantische Integration und Auswertung von Daten aus heterogenen Datenquellen unterstützt [Angele 2012; Zapp u. a. 2012a].

4.3.4 Zusammenfassung und Bewertung

Im vorliegendem Abschnitt wurden Modelle, Methoden und Werkzeuge für die Entwicklung von semantischen Wissensmanagementsystemen untersucht. Die Einführungsstrategien für Wissensmanagementsysteme von Bullinger u. a. sowie Lehner geben Anleitungen für die Organisation von Einführungsprojekten. Sie bieten jedoch keine Hilfestellung bei der technischen Entwicklung des Systems und des Wissensmodells. Die CommonKADS-Modelle bieten Unterstützung bei der Entwicklung des Wissensmanagementsystems insbesondere für die Machbarkeitsstudie und die Analysephase. Jedoch sind die CommonKADS-Modelle vielen Anwendern unbekannt, was zu signifikanten Einarbeitungszeiten bei ihrer Anwendung führt und den Einsatz in KMU erschwert.

Zudem wurden die Methoden METHONTOLOGY und MIKE untersucht, welche sich auf die Erstellung des Wissensmodells fokussieren. Die Einbettung dieser Aktivitäten in den Entwicklungsprozess des gesamten Wissensmanagementsystems und damit die Dimensionen Mensch und Organisation werden bei diesen nicht ausreichend betrachtet. Dies leistet hingegen die On-to-Knowledge Methode, die menschliche Faktoren und die Softwaretechnik des Gesamtsystems berücksichtigt. Die Methode ist jedoch generisch und nicht speziell auf die Systeme in der Produktion oder für KMU ausgelegt.

Zuletzt wurden bestehende Werkzeuge für die Entwicklung und die Anwendung von Ontologien als Teil von Wissensmanagementsystemen analysiert und bewertet, welche bei der Entwicklung von Wissensmodellen und der Konzeption von semantischen Systemen zu berücksichtigen sind.

4.4 Zusammenfassung und Entwicklungsbedarf

Bei der in diesem Kapitel durchgeführten Bewertung von Systemen für das Wissensmanagement wurde festgestellt, dass alle bestehenden Systeme signifikante

Defizite im Hinblick auf die in dieser Arbeit identifizierten Anforderungen in wandlungsfähigen Produktionssystemen bei KMU aufweisen (siehe Tabelle 4-1). Semantische Technologien bieten das Potential, die identifizierten Mängel bei der Einbettung solcher Systeme in die Produktionsumgebung zu beheben und deren Flexibilität und Anpassbarkeit zu steigern. Die in der Literatur diskutierten Systemarchitekturen für semantische Wissensmanagementsysteme bieten hierzu Ansatzpunkte, sind jedoch generisch und nicht auf den Einsatz in der Produktion ausgelegt. Die untersuchten Modelle, Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung von Wissensmanagementsystemen sind ebenfalls in Bezug auf die Anwendung in der Produktion auszulegen und zudem auf ihre Kompatibilität mit den besonderen organisatorischen Rahmenbedingungen und Anforderungen von KMU (siehe Kapitel 3) zu untersuchen.

Ausgehend vom Stand der Technik und den Anforderungen an Wissensmanagementsysteme in produzierenden KMU leitet sich der folgende Entwicklungsbedarf ab: Es ist ein Konzept für die Implementierung von Wissensmanagementsystemen in wandlungsfähigen Produktionssystemen zu entwickeln. Das zu gestaltende System soll die Identifikation, die Referenzierung, die Verteilung, die Bewahrung und die Nutzung von Wissen durch Mitarbeiter in der Produktion und angrenzende Unternehmensbereiche unterstützen (vgl. Kapitel 3). Dabei sind Informationsobjekte über Themen wie Produkte, Betriebsmittel, Materialien und Fertigungsprozesse sowie Datenobjekte aus der produktionsnahen IT wie Rezepte und Reports zu erfassen und zu verknüpfen, um diese den Mitarbeitern in der Produktion bei ihrer Aufgabenerfüllung zur Verfügung zu stellen.

Die Kernelemente eines solchen Systems sind eine flexible Benutzeroberfläche für die Erfassung und den Zugriff auf heterogene Inhalte durch die Mitarbeiter am Arbeitsplatz in der Produktion, ein Modell für die Verknüpfung und Auswertung von strukturierten und semi-strukturierten Inhalten und einfache Integrations-

mechanismen für Datenobjekte aus den produktionsnahen IT-Systemen. Das Systemkonzept soll eine einfache Anpassung durch Anwender ermöglichen, um den Einsatz des Systems in wandlungsfähigen Produktionssystemen und in KMU mit begrenzten IT-Ressourcen zu ermöglichen.

5 Lösungskonzept für Wissensmanagementsysteme in wandlungsfähigen Produktionssystemen

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein Lösungskonzept für die Gestaltung von Wissensmanagementsystemen in wandlungsfähigen Produktionssystemen zu erarbeiten. Das im vorliegenden Kapitel vorgestellte Konzept ist die Grundlage für die Entwicklung von organisationsspezifischen Wissensmanagementsystemen. In Abschnitt 5.1 wird zunächst das System und die in diesem enthaltenen Komponenten entworfen. Im Anschluss wird die Nutzung eines solchen Systems in der Produktion skizziert (Abschnitt 5.2). In Abschnitt 5.3 wird schließlich der Implementierungsbedarf für die Entwicklung eines Wissensmanagementsystems in einem spezifischen produzierenden Unternehmen abgeleitet.

5.1 Konzeption des Wissensmanagementsystems

Das zu konzipierende Wissensmanagementsystem unterstützt Mitarbeiter in produzierenden Unternehmen bei der Identifikation, Bewahrung, Verteilung und Nutzung von Wissen.

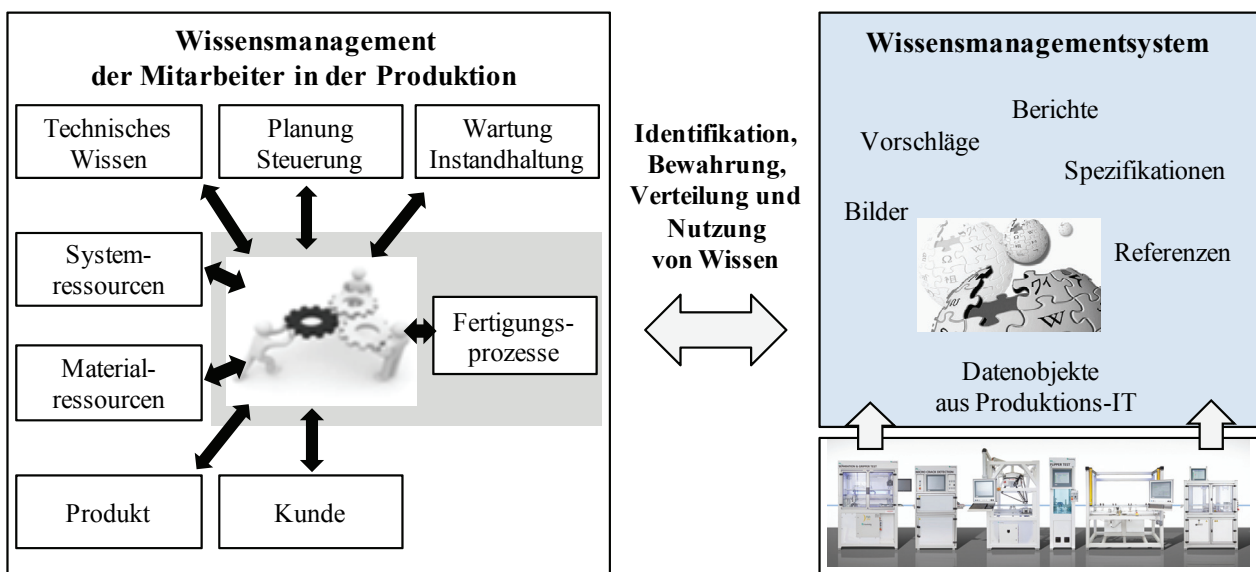


Abbildung 5-1: Funktionen des Wissensmanagementsystems in der Produktion

Das im System abgebildete explizite Wissen umfasst die in Abschnitt 2.2.2 beschriebenen Wissenskategorien in der Produktion. Innerhalb des Systems kann dieses in unterschiedlichen Formen wie Berichten, Spezifikationen, Vorschlägen und Datenobjekten aus der Produktions-IT repräsentiert werden. Zudem werden Wissensträger und Kompetenzen des Unternehmens im System referenziert, was indirekt den Austausch impliziten Wissens zwischen Mitarbeitern unterstützt (siehe Abbildung 5-1).

Basierend auf dem in Kapitel 4 beschriebenen Entwicklungsbedarf wird zunächst die übergreifende Systemarchitektur für dieses Wissensmanagementsystem hergeleitet. Im Anschluss werden Lösungsalternativen für die Ausgestaltung der funktionalen Systemkomponenten diskutiert und bewertet.

5.1.1 Herleitung der Systemarchitektur

In der Darstellung des Standes der Technik wurden sowohl dezentrale als auch zentrale Systemarchitekturen für Wissensmanagementsysteme beschrieben (siehe Abschnitt 4.2.2). Die Vor- und Nachteile beider Konzepte sind für die Konzeption eines Wissensmanagementsystems in der Produktion abzuwägen.

Dezentrale Konzepte wie die ‚Peer-to-Peer‘ Architektur nach [Maier 2007, S. 342–349] zeichnen sich durch verteilte Komponenten und Wissensbasen für einzelne Anwender aus. Hieraus resultieren eine geringe Abhängigkeit von der Verfügbarkeit des Gesamtsystems und eine weitreichende Kontrolle der Teilnehmer über die Weitergabe ihres individuellen Wissens. Jedoch sind in einem solchen System komplexe Synchronisations-, Integrations- und Kombinationsverfahren notwendig.

Im Gegensatz dazu ist in den Konzepten von [Maier 2007] und [Blumauer u. a. 2003] eine zentrale Wissensbasis vorgesehen, auf welche die Teilnehmer über

schlanke Clients zugreifen. Bei einer solchen zentralen Systemarchitektur weist das System eine geringere Komplexität auf und die Integrität und Konsistenz der Inhalte ist einfacher sicherzustellen. Das erfasste Wissen aller Teilnehmer wird direkt in eine zentrale Wissensbasis transferiert und dort bewahrt. Dies wird den Anforderungen an ein Wissensmanagementsystem für die Produktion gerecht, bei dem das kollektive Wissen aller Mitarbeiter und nicht die Verwaltung des individuellen Wissens einzelner Mitarbeiter im Fokus steht (siehe Abschnitt 2.2.1). Zudem ist die notwendige Verfügbarkeit des zentralen Systems an verteilten Endgeräten durch die zunehmende Verbreitung von Drahtlosnetzwerken und der Einsatz von Mobilfunktechnologien in der Produktionsumgebung zu gewährleisten.

Wegen ihrer geringeren Systemkomplexität wird in dieser Arbeit eine **zentrale Systemarchitektur für Wissensmanagementsysteme** mit einer einzigen Wissensbasis propagiert. Diese besteht aus Komponenten, welche in Anlehnung an [Maier 2007, S. 389] (siehe Abschnitt 4.2.2) auf drei Ebenen angeordnet werden: der Präsentations- und Anwendungsebene, der Integrations- und Auswertungsebene und der Extraktions- und Aggregationsebene (siehe Abbildung 5-2).

Die Systemkomponenten der **Präsentations- und Anwendungsebene** bilden die Schnittstelle gegenüber den Anwendern. Zum einen erlaubt eine graphische Benutzeroberfläche die Erfassung heterogener Inhalte sowie deren Abfrage und Suche. Darüber hinaus stehen in Anlehnung an [Maedche u. a. 2003] Dienste zur Anpassung des Systems durch die Hauptnutzer in der Produktion zur Verfügung. Diese Dienste unterstützen die in wandlungsfähigen Produktionssystemen geforderte Anpassbarkeit des soziotechnischen Gesamtsystems auf sich ändernde Einflussfaktoren. Zudem werden für die organisationsspezifische Auslegung von Systemen Anwendungsmodule mit prozess- und aufgabenspezifischen Funktionen vorgesehen.

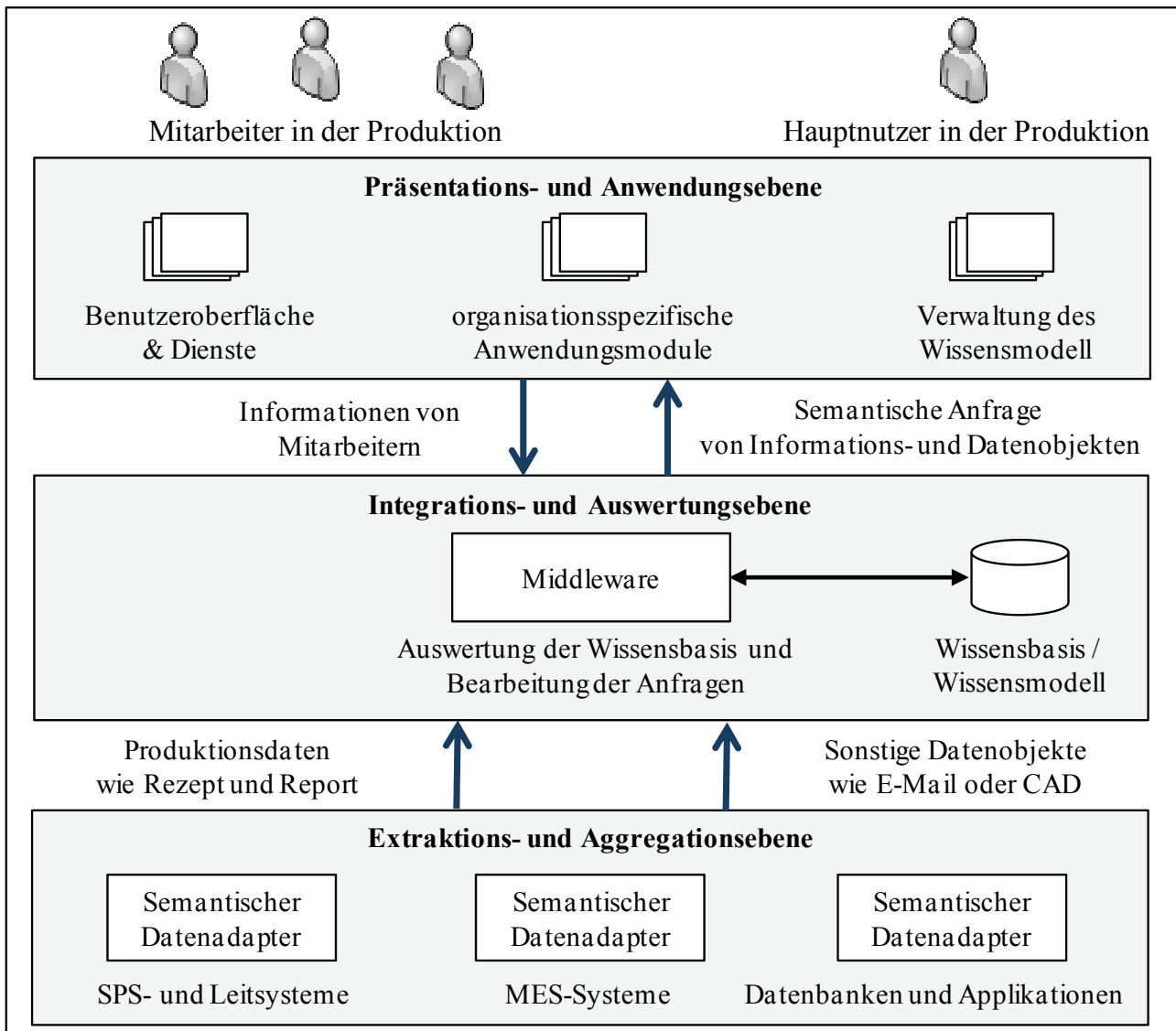


Abbildung 5-2: Architektur des Wissensmanagementsystems für die Produktion

Neben der Bereitstellung einer flexiblen und anpassbaren Benutzeroberfläche ist eine zentrale Herausforderung des Wissensmanagementsystems die Verknüpfung der durch Mitarbeiter erfassten Informationsobjekte mit den Datenobjekten aus den produktionsnahen Informationssystemen (siehe Abschnitt 2.2.4). Zur Strukturierung und Verknüpfung dieser Inhalte wird in der **Integrations- und Auswertungsebene** ein Wissensmodell genutzt. Die technische Integration der Systeminhalte und die Auswertung der im Wissensmodell inhärenten Logik wird durch eine Middleware realisiert (siehe Abschnitt 4.3.3).

Datenobjekte aus den verteilten produktionsnahen Informationssystemen sind zur Verknüpfung mit den Informationsobjekten in das Wissensmanagementsystem zu übertragen. Diese Datenobjekte liegen im industriellen Umfeld in unterschiedlichen Aggregationsgraden und Datenmodellen vor (siehe Abschnitt 2.2.4) und sind zu aggregieren und zu transformieren. Um die Komplexität des Wissensmanagementsystems zu begrenzen, erfolgen diese Bearbeitungsschritte in der **Extraktions- und Aggregationsebene** durch dezentrale Datenadapter. In diesen werden die systemspezifischen Daten in ein standardisiertes Datenmodell und in den benötigten Aggregationsgrad transformiert, mit Kontextinformationen versehen und an die Integrations- und Auswertungsebene übertragen. Neben Produktionsdaten können auch weitere Datenobjekte wie E-Mails oder CAD-Dateien in das System übertragen werden. Diese stehen jedoch nicht im Fokus dieser Arbeit, da sich bestehende Systeme des Wissensmanagements bereits diesen Problemstellungen widmen (siehe Abschnitt 4.2.2).

Der Aufbau und die Funktionsweise der Systemkomponenten und Modelle auf den drei Ebenen werden in den folgenden Abschnitten diskutiert. Hierbei werden alternative Konzepte verglichen, zu verwendende Technologien identifiziert und der Entwicklungsbedarf bestimmt.

5.1.2 Lösungsvarianten für die Präsentations- und Anwendungsebene

Die Präsentations- und Anwendungsebene des Systems muss insbesondere die in Abschnitt 3.3.1 spezifizierten Anforderungen in Bezug auf die einfache Einbettung des Systems in die Produktionsumgebung (A1), eine flexible Benutzeroberfläche (A4), eine gute Anpassbarkeit und Erweiterbarkeit des Systems (A5) und einen geringen Ressourcenbedarf (A6) adressieren.

Zur Konzeption der Benutzeroberfläche, welche der Erfassung, Abfrage und Suche von heterogenen Inhalten dient, und der organisationsspezifischen

Anwendungsmodule können zwei alternative Lösungsansätze verglichen werden (siehe Abbildung 5-3).

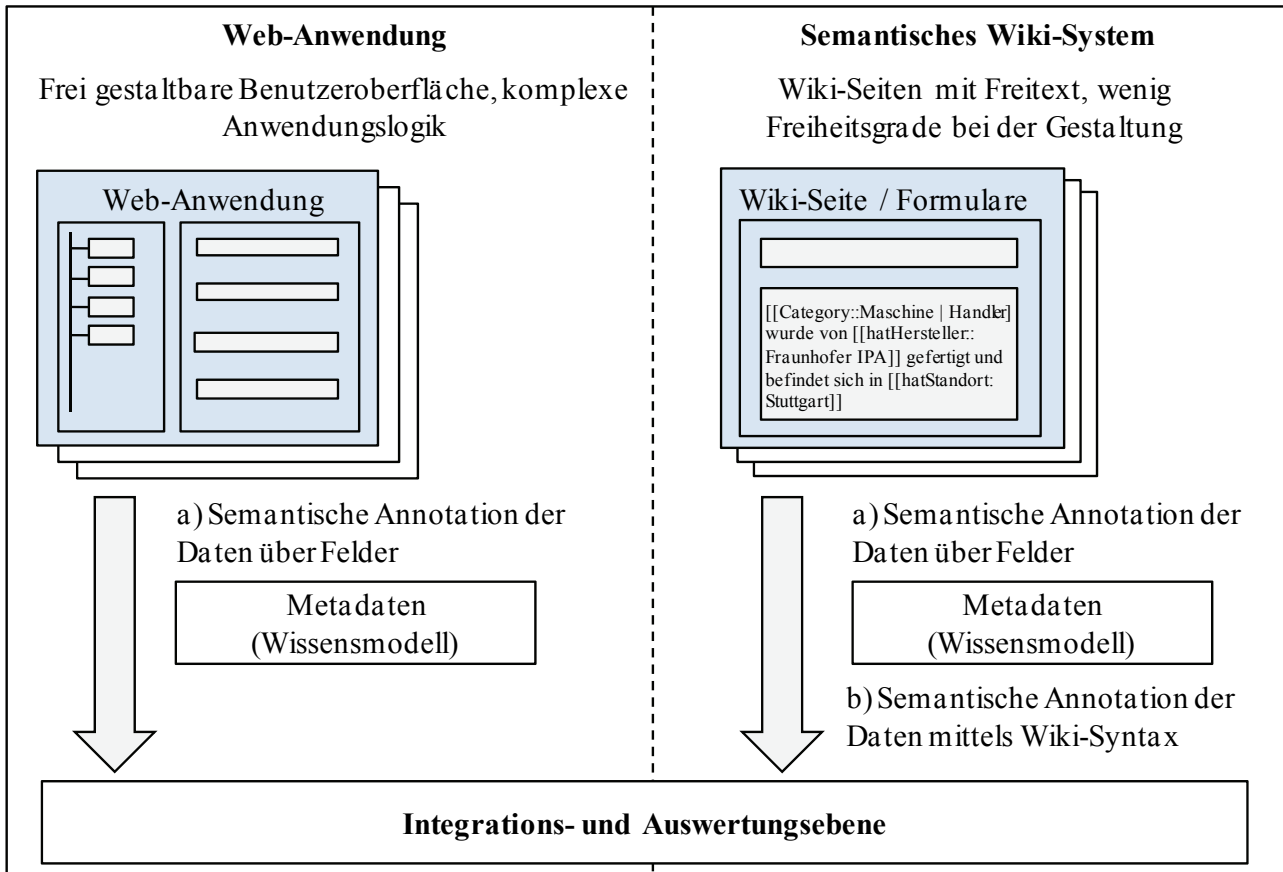


Abbildung 5-3: Vergleich alternativer Konzepte für die Benutzeroberfläche des Systems

Zum einen können diese Komponenten über eine eigens entwickelte Web-Anwendung realisiert werden. Diese Anwendung wird speziell für die in dieser Arbeit benannten Rahmenbedingungen und Anforderungen für das Wissensmanagement in der Produktion entworfen. Da sich die zu unterstützenden Prozesse sowie das relevante Wissen in der Produktion stark von Organisation zu Organisation unterscheiden (siehe Abschnitt 2.2), muss eine solche Anwendung bei der Einführung in einem Unternehmen durch Softwareentwickler auf die organisationsspezifischen Anforderungen angepasst werden. Zudem sind Änderungen an Web-Anwendungen während ihrer Nutzungsphase von IT-Experten durchzuführen.

Als alternativer Lösungsansatz zur Realisierung der beiden Komponenten wird ein Semantisches Wiki-System betrachtet. Dieses erlaubt die Verwaltung von semi-strukturierten und unstrukturierten Inhalten über Wiki-Seiten. Ergänzend können semantische Formulare verwendet werden, welche durch Anwender mittels einfacher graphischer Dialoge konfiguriert werden (siehe Abschnitt 4.2.3). Der Bedarf an IT-Experten ist bei Semantischen Wiki-Systemen deutlich reduziert. Zudem bieten sie die Möglichkeit, eine Vielzahl von funktionalen Erweiterungsmodulen für Wiki-Systeme zu verwenden.

Die Vor- und Nachteile beider Ansätze im Hinblick auf die relevanten Anforderungen (A1, A4, A5 und A6) werden in Tabelle 5-1 dargestellt.

Anforderungen	Web-Anwendung	Semantisches Wiki-System
(A1) Einbettung in Produktionsumgebung	● Frei gestaltbare Benutzeroberfläche	◐ Wiki-Seiten und Formulare; Erweiterungen
(A4) Flexible Benutzerschnittstelle	● Komplexe Anwendungslogik	● Flexible Wiki-Benutzeroberfläche ○ Limitierte Anwendungslogik
(A5) Anpassbarkeit und Erweiterbarkeit	○ Anpassung und Erweiterung durch Softwareentwickler	● Anpassung und Erweiterung durch Anwender
(A6) Geringer Ressourcenbedarf	○ Hoher Ressourcenaufwand bei Systemanpassungen	● Einfache Systemanpassungen ● Bekanntes Wiki-Prinzip Einsatz von funktionalen Erweiterungsmodulen für Wiki-Systeme
● Anforderung voll erfüllt ◐ Anforderung teilweise erfüllt ○ Anforderung nicht erfüllt		

Tabelle 5-1: Vergleich von Web-Anwendungen und Semantischen Wiki-Systemen

Trotz der Einschränkungen bei der Unterstützung komplexer Anwendungslogiken und Benutzerinteraktionen ist die Verwendung eines Semantischen Wiki-Systems als graphische Benutzeroberfläche auf Grund dessen hoher Anpassbarkeit und seines geringen Ressourcenbedarfs vorteilhaft. Für die organisationsspezifischen Anwendungsmodule, welche komplexere Ablauflogiken und Benutzerinteraktionen verlangen, sind hingegen Web-Anwendungen vorzuziehen. Diese können, wie in [Zapp u. a. 2012c] beschrieben, als Wiki-Erweiterungen gestaltet und in das Semantische Wiki-System integriert werden.

Bei beiden Lösungsvarianten werden die eingegebenen Inhalte mit Metadaten annotiert (siehe Abbildung 5-3). Die Gesamtheit der Metadaten wird im Wissensmodell abgebildet. Die Annotation selbst erfolgt in den Formularen durch die fest konfigurierten Zuweisungen von Metadaten zu Feldern und auf Wiki-Seiten durch die freie Annotation von Inhalten.

Nutzung vorhandener Technologien: Zur Realisierung der Systemkomponenten in der Präsentations- und Anwendungsebene kann auf bestehende Semantische Wiki-Implementierung zurückgegriffen werden. Für die vorliegende Arbeit wird das frei verfügbare Semantic MediaWiki (SMW) der Universität Karlsruhe verwendet, für das Erweiterungen zur graphisch unterstützten Annotation zur Verfügung stehen (siehe Abschnitt 4.2.3). Texte, Bilder, ganze Wiki-Seiten oder Fragmente von diesen können mittels einfacher graphischer Werkzeuge mit Konzepten, Attributen oder Relationen des Wissensmodells gekennzeichnet werden. Zudem bietet die Plattform Dienste zur Verwaltung des Wissensmodells an.

Implementierungsbedarf: In der Systementwicklung sind für die Präsentations- und Anwendungsebene eine SMW-Plattform zu konfigurieren und semantische Formulare zu generieren. Des Weiteren sind für die organisationsspezifischen

Anwendungsmodule Web-Anwendungen zu implementieren und als Erweiterungen in das Wiki-System einzubetten.

5.1.3 Lösungsvarianten für die Integrations- und Auswertungsebene

Die Entscheidung für eine zentrale Systemarchitektur impliziert den Einsatz einer Middleware. Diese ist die Kernkomponente der Integrations- und Auswertungsebene und soll die über die Präsentations- und Anwendungsebene eingegebenen Informationsobjekte und die Datenobjekte aus der Produktions-IT verknüpfen und auswerten.

Bei der Konzeption der Integrations- und Auswertungsebene sind zwei Lösungsalternativen zu vergleichen. Zum einen kann die Middleware und das Wissensmodell mit konventionellen Datenbank-Technologien realisiert werden. Hierbei wird das Wissensmodell in Form von Datenbankschemata mit einer begrenzten semantischen Ausdrucksstärke umgesetzt und die Domänenlogik in Komponenten der Präsentations- und Anwendungsebene kodiert. Alternativ dazu können die in Abschnitt 4.2.1 beschriebenen semantischen Technologien verwendet und das Wissensmodell als Ontologie implementiert werden. Dies weist die folgenden Vorteile auf (siehe Abschnitt 4.2.1):

- Flexiblere Strukturierung und Verknüpfung von Metadaten, welche die Semantik, die Beziehungen und den Kontext von Systeminhalten beschreiben
- Höhere Ausdrucksstärke der Ontologiesprachen und damit weitergehende Möglichkeiten der Abbildung von Domänenwissen, zum Beispiel über Regeln
- Bessere Handhabung von semi-strukturierten und unstrukturierten Inhalten wie Texten, Nachrichten, Bildern, Mediendateien und Webinhalten
- Für die Domänenexperten verständliche Art und Weise der Modellierung

Nachteile von semantischen Technologien und Ontologien im Vergleich zu konventionellen Datenbanksystemen sind hingegen die weniger ausgereiften Entwicklungswerkzeuge und die schlechtere Performance bei der Datenauswertung.

Für den Anwendungsfall des Wissensmanagements in der Produktion überwiegen jedoch die genannten Vorteile. Deshalb wird in dieser Arbeit das Wissensmodell als Ontologie realisiert und die Middleware mit einer semantischen Inferenz-Maschine zur Auswertung des formalisierten Domänenwissens in dieser Ontologie ausgestattet (siehe Abbildung 5-4).

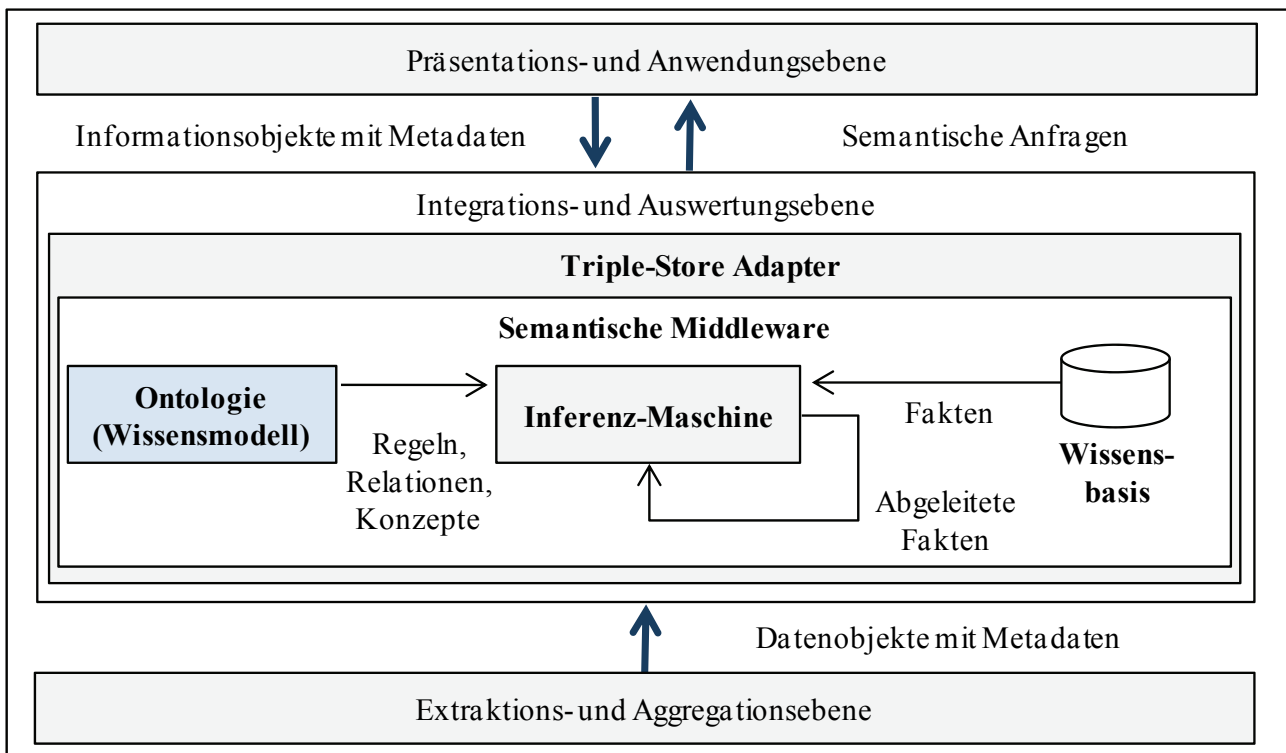


Abbildung 5-4: Integrations- und Auswertungsebene des Wissensmanagementsystems

In den Komponenten der Präsentations- und Anwendungsebene werden vom Anwender Informationsobjekte im System angelegt, semantisch annotiert und anschließend an die Middleware übertragen, während über die Extraktions- und Aggregationsebene Datenobjekte aus der Produktions-IT transferiert werden. Anfragen sind als fester Bestandteil der Anwendungslogik in der Präsentations- und

Anwendungsebene hinterlegt oder werden durch die Anwender bei Bedarf erstellt. Die Anfragen werden in der semantischen Middleware ausgewertet und deren Ergebnisse zur Visualisierung an die Präsentations- und Anwendungsebene übertragen. Der Datentransfer zwischen den drei Ebenen erfolgt dabei auf Basis einer durch den W3C standardisierten SPARQL Schnittstelle (siehe Abschnitt 4.2.1), die durch die Verwendung eines Triple-Store Adapters realisiert wird.

Ein organisationsspezifischer Bestandteil der Integrations- und Auswertungsebene ist die Ontologie (Wissensmodell), welche die Konzepte, Attribute, Relationen und Regeln der Anwendungsdomäne abbildet und hiermit Expertenwissen der Domäne formalisiert. Bei Anfragen vom Anwender wertet eine in der semantischen Middleware enthaltene Inferenz-Maschine die Wissensbasis auf Basis des Wissensmodells aus. Hierbei werden zum Zeitpunkt der Anfrage neue Fakten abgeleitet (siehe Abschnitt 4.2.1.1).

Nutzung vorhandener Technologien: Für die semantische Middleware ist die Verwendung von frei verfügbaren aber auch kommerziellen Implementierungen möglich, welche in Forschungs- und Industrieprojekten erprobt wurden (siehe Abschnitt 2.2.3). Diese verwalten die Wissensbasis und enthalten eine Inferenz-Maschine. Für die vorliegende Arbeit wird die OntoBroker-Middleware auf Grund ihrer hohen Leistungsfähigkeit und der weitreichenden Unterstützung von Regeln verwendet [Angele 2012]. Die Modellierung der Ontologie erfolgt in ObjectLogic (siehe Abschnitt 4.2.1.1).

Implementierungsbedarf: Zur Realisierung der Integrations- und Auswertungsebene muss eine organisations- und anwendungsfallspezifische Ontologie (Wissensmodell) entwickelt werden.

5.1.4 Lösungsvarianten für die Extraktions- und Aggregationsebene

Um die für das Wissensmanagement relevanten Datenobjekte aus der Produktions-IT zu erfassen, zu verknüpfen und den Mitarbeitern in der Produktion zur Verfügung zu stellen, müssen Informationssysteme auf der Fertigungsleitebene und der Fertigungsebene an das WMS angebunden werden. Die Umwandlung und der Transfer der für das Wissensmanagement relevanten Datenobjekte wie Rezepte und Reports (siehe Abschnitt 2.2.4) in das Wissensmanagementsystem erfolgt über die Extraktions- und Aggregationsebene (siehe Abbildung 5-5).

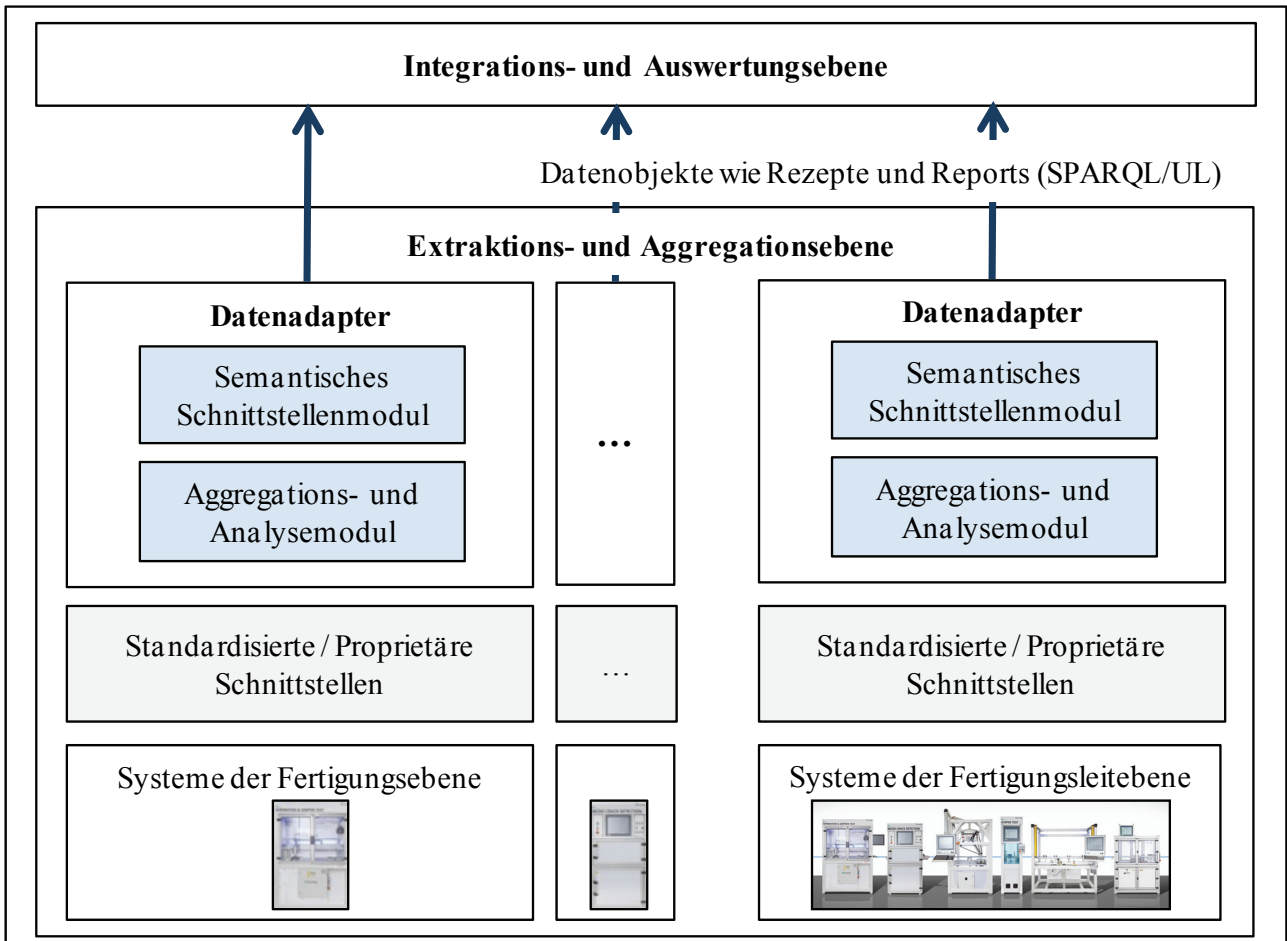


Abbildung 5-5: Anbindung von produktionsnahen IT-Systemen über verteilte Datenadapter

Innerhalb der Produktions-IT sind Datenobjekte über unterschiedliche proprietäre oder standardisierte Schnittstellen wie OPC-UA, SEMI SECS/GEM oder PV-2

verfügbar (siehe Abschnitt 2.2.3). Bei der Übertragung in die semantische Middleware sind diese Objekte mittels semantischer Zuordnung (engl. ‚Semantic Mapping‘) auf die Semantik des Wissensmodells zu transformieren. Hierbei werden die Datenobjekte und deren Elemente mit den im Wissensmodell definierten Metadaten annotiert. Beispielsweise ist in einer Maschinensteuerung das Anlagenrezept eine Instanz im Sinne des im Wissensmodell definierten Konzeptes *Rezept*. Auch sind Eigenschaften des Objektes und Abhängigkeiten von weiteren abgebildeten Datenobjekten mittels Metadaten eindeutig zu kennzeichnen.

Durch diese semantische Zuordnung werden die Datenobjekte aus der Produktions-IT mit den vom Anwender angelegten unstrukturierten oder semi-strukturierten Informationsobjekten wie Spezifikationen von Maschinen und Parametern verknüpft. Dies erlaubt dem Anwender des Wissensmanagementsystems eine integrierte Suche und Analyse.

Die Datentransformation erfolgt in verteilten Datenadaptern, welche an die externen Systeme angekoppelt sind. Diese übertragen die Daten an das WMS mittels des SPARQL/UL Standards (siehe Abschnitt 5.1.3).

Nutzung vorhandener Technologien: Die semantischen Datenadapter in der Extraktions- und Aggregationsebene sind zu entwickeln. Hierzu bilden das Wissensmodell und der SPARQL/UL Standard die Grundlage.

Implementierungsbedarf: Für die Realisierung eines Wissensmanagementsystems für ein produzierendes Unternehmen sind systemspezifische Datenadapter und darin enthaltene Module zur Aggregation sowie zur semantischen Transformation von Datenobjekten zu entwickeln. Hierbei können in der Organisation verwendete Standards zur Datenintegration wie OPC, SEMI SECS/GEM und PV-2 oder proprietäre Modelle die Grundlage bilden.

5.2 Einsatz des Wissensmanagementsystems im Unternehmen

Im vorliegenden Abschnitt werden die Verteilung der Systemkomponenten (siehe Abschnitt 0) sowie die dynamischen Transaktionen während des Einsatzes des Systems in der Produktion (siehe Abschnitt 5.2.2) skizziert. Zudem wird die Anpassung und Erweiterung des Systems in der Nutzungsphase beschrieben (siehe Abschnitt 5.2.3).

5.2.1 Verteilung der Systemkomponenten

In Abbildung 5-6 werden die Komponenten des Systems in die IT-Landschaft der Produktion eingeordnet. Die Komponenten der Integrations- und Auswertungsebene sowie der Präsentations- und Anwendungsebene werden gemäß der Systemarchitektur auf einen zentralen Wissensmanagement-Server installiert. Dieser umfasst insbesondere die SMW-Plattform und die semantische Middleware.

Die semantischen Datenadapter zur Anbindung der produktionsnahen IT-Systeme werden mit den verteilten PC-basierten Systemen auf der Fertigungsebene oder mit bestehenden Systemen auf der Fertigungsleitebene verbunden.⁷ Die Anbindung der letztgenannten Systeme erlaubt die Erfassung einer Reihe von Kontextinformationen und zusätzlicher Datenobjekte zur anlagenübergreifenden Steuerung und Kontrolle. Das Wissensmanagementsystem dient nicht der Steuerung des Produktionssystems. Folglich bestehen keine Echtzeitanforderungen an die Datenübertragung zwischen den verteilten Datenadaptern und den zentralen Komponenten des Wissensmanagementsystems. Der Zugriff der Anwender auf das Wissensmanagementsystem erfolgt über Web-Browser. Dies erlaubt einen Zugriff auf das System über die Mensch-Maschine-Schnittstelle an vernetzten Maschinen

⁷ Auf Basis des hier vorgestellten Konzeptes können auch andere Systeme, z. B. PDM-Systeme für Produktdaten, an das System angebunden werden. Dies steht in dieser Arbeit jedoch nicht im Fokus.

sowie über Personal Computer (PCs) oder mobile Endgeräte in der Produktion und in der Entwicklungs- und Planungsabteilung.

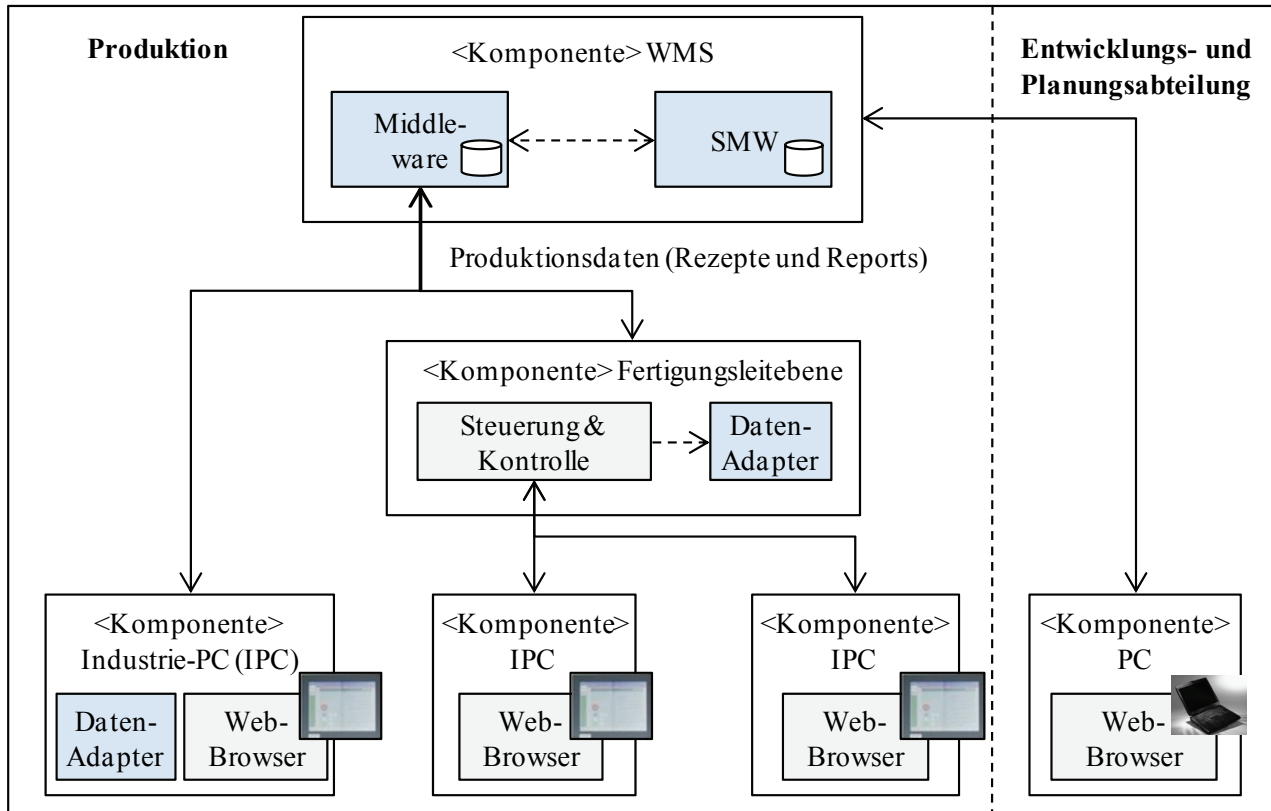


Abbildung 5-6: Komponenten des Wissensmanagementsystems in der Produktionsumgebung

5.2.2 Transaktionen im Wissensmanagementsystem

Das in dieser Arbeit konzipierte Wissensmanagementsystem ist primär für die Unterstützung der Mitarbeiter bei der Lösung ihrer Problemstellungen in der Produktion ausgelegt. Darüber hinaus steht das System Mitarbeitern aus den Planungs- und Entwicklungsabteilungen zur Verfügung, um für die Planung und Entwicklung relevantes Produktionswissen zu nutzen und zu erfassen (siehe Abbildung 5-7).

Durch die Anwendung des Systemkonzepts in unterschiedlichen Organisationen mit spezifischen Prozessen und Abläufen kann eine allgemeingültige und detaillierte

Beschreibung der Transaktionen im System hier nicht erfolgen.⁸ Dennoch werden hier zur Erklärung der Systemabläufe einige generische Transaktionen beschrieben.

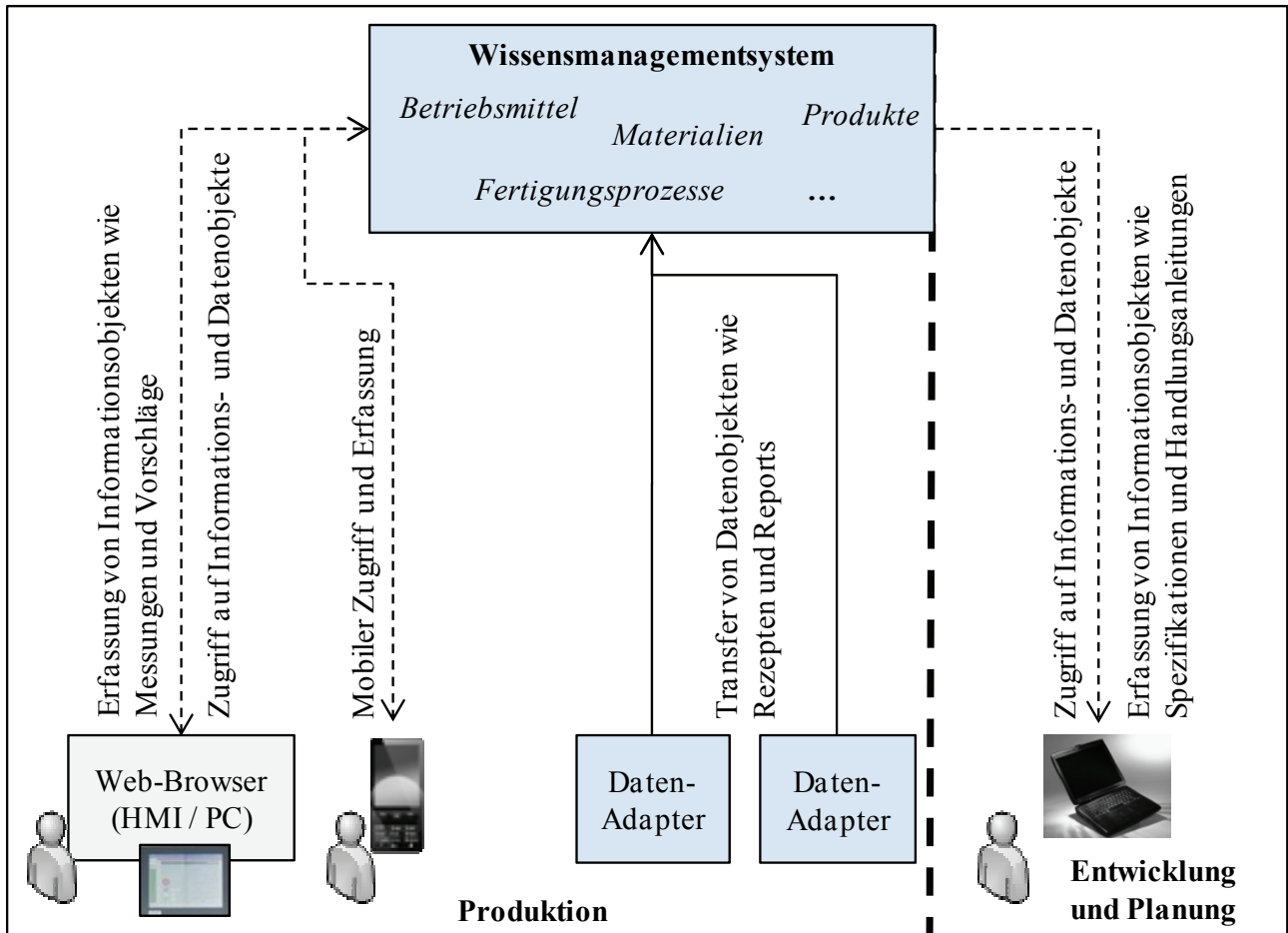


Abbildung 5-7: Interaktionen mit dem Wissensmanagementsystem im Unternehmen

In der Produktion erhalten Mitarbeiter Zugriff auf das im System hinterlegte explizite Wissen aus der Produktions-, Planungs- und Entwicklungsabteilung. Die Inhalte liegen dabei im System in Form von Informationsobjekten wie Dokumenten, Bildern, Dateien sowie Wiki-Seiten mit unstrukturierten und semi-strukturierten Inhalten vor und umfassen die in Abschnitt 2.2.2 skizzierten Wissenskategorien in der Produktion. Das System bietet eine einfache Systemnavigation sowie semantische Such- und Anfrage-Werkzeuge.

⁸ Eine anwendungsfallspezifische Beschreibung erfolgt im Fallbeispiel in Abschnitt 8.1.

Während der Produktionsausführung erfassen Mitarbeiter Objekte wie Messungen und Vorschläge zur Bewahrung, Verteilung und späteren Wiederverwendung. Die Benutzeroberfläche des Systems erlaubt hierbei eine schnelle semantische Annotation dieser Elemente mit den Metadaten des Wissensmodells und so dessen semantische Verknüpfung mit den bestehenden Inhalten im System.

Zudem werden während der Produktionsausführung kontinuierlich semantisch annotierte Datenobjekte aus der Produktions-IT an das Wissensmanagementsystem übertragen. Im Wissensmanagementsystem sind diese strukturierten Objekte zusammen mit den sonstigen Inhalten durch den Anwender abrufbar und auswertbar. Da das Anwendungsziel des Wissensmanagement keine zeitkritische Synchronisation der Systeme verlangt, erfolgt eine asynchrone Datenübertragung.

Die Mitarbeiter in der Planungs- und Entwicklungsabteilung greifen zur Unterstützung ihrer Aufgaben auf die im System gespeicherten Informationsobjekte wie Spezifikationen und Handlungsanleitungen sowie auf die ebenfalls dort hinterlegten Datenobjekte zu. Darüber hinaus werden neue Informationsobjekte aus der Entwicklung und Planung, wie die Spezifikation eines neuen Produktes, im System hinterlegt.

Für die Durchführung von weitergehenden Analysen können Anwender in der Planung, Entwicklung und Produktion wenig strukturierte und stark strukturierte Inhalte über im System hinterlegte vorkonfigurierte Anfragen, über semantische Anfrage- und Suchwerkzeuge oder in externen Analyse-Werkzeugen auswerten.

5.2.3 Anpassung des Systems in der Nutzungsphase

Die in Abschnitt 5.1 vorgestellte Systemkonzeption ermöglicht Anwendern, ohne weitreichende IT-Kenntnisse das System anzupassen und zu erweitern. Dies ist für Wissensmanagementsysteme im Allgemeinen und für deren Einsatz in

wandlungsfähigen Produktionssystemen im Besonderen von Bedeutung. Die Anpassung und Erweiterung erfolgt über die in der Präsentations- und Anwendungsebene vorgesehenen Dienste (siehe Abschnitt 5.1.2), welche über die Nutzung vorhandener Funktionen der SMW-Plattform realisiert werden können [Kröttsch 2012]:

- Über den graphischen Ontologie-Editor kann das Schema des im System gespeicherten Wissensmodells angezeigt und durch autorisierte Hauptnutzer editiert werden. Somit sind die Kategorien (Konzepte) und Eigenschaften (Attribute und Relationen) auf sich ändernde Anforderungen und Umgebungsbedingungen in wandlungsfähigen Produktionssystemen anpassbar.
- Über einen graphischen Assistenten können Anwender in der Produktion neue Regeln als Teil der Ontologie definieren, um Erfahrungswissen in der Produktion zu formalisieren und zu bewahren. Komplexe Regeln lassen sich zudem auf Wiki-Seiten kodieren [Hansch 2012].
- Anwender können Formulare anlegen sowie anpassen und hiermit die graphische Benutzeroberfläche adaptieren. Alternativ kann das System auf Basis der Konzeptdefinitionen im Wissensmodell Formulare dynamisch generieren, so dass sich Änderungen am Wissensmodell automatisch auf die Benutzeroberfläche auswirken.

Hierdurch kann das System, im Gegensatz zu konventionellen Anwendungen, im laufenden Betrieb an neue Anforderungen angepasst werden. Dies kann durch Anwender in der Produktion erfolgen, was den Bedarf an IT-Fachkräften für die Wartung des Systems minimiert und insbesondere für KMU einen Vorteil darstellt (siehe Abschnitt 3.3.1). Zugleich impliziert diese Flexibilität des Systems einen Bedarf nach einem methodischen Rahmenwerk und Richtlinien, wie sie in bestehenden Wiki-Systemen angewendet werden [Wikimedia 2012]. Dies wird in dem in Kapitel 7 dargestellten Vorgehensmodell berücksichtigt.

5.3 Entwicklung von Wissensmanagementsystemen in Unternehmen

Das in diesem Kapitel vorgestellte Lösungskonzept für Wissensmanagementsysteme in wandlungsfähigen Produktionssystemen dient als Bauplan für die Entwicklung von organisationsspezifischen Systemen, die auf die Prozesse und Aufgaben, Systemressourcen und produktionsnahen IT-Systeme in Unternehmen anzupassen sind. Um die Realisierung eines solchen Wissensmanagementsystems in KMU zu unterstützen, werden in der vorliegenden Arbeit geeignete Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge spezifiziert. Diese werden in dem in Kapitel 7 vorgestellten Vorgehensmodell strukturiert, welche die besonderen Anforderungen von KMU an die Entwicklung, Einführung und Nutzung von Wissensmanagementsystemen berücksichtigt (siehe Abbildung 5-8).

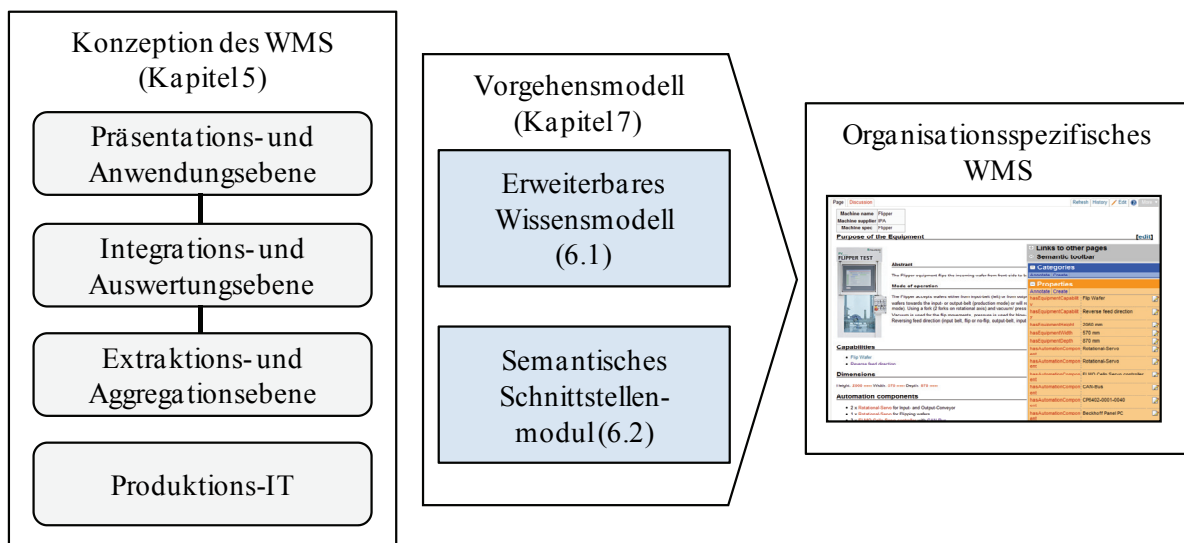


Abbildung 5-8: Entwicklung von organisationsspezifischen Systemen auf Basis des Lösungskonzeptes

Bei der Entwicklung eines organisationsspezifischen Systems stellen die Realisierung des Wissensmodells und der verteilten Datenadapter die größten Aufwände und Herausforderungen dar. Zur Unterstützung dieser Aufgaben werden deshalb in Kapitel 6 Modelle entwickelt, welche im Rahmen des Vorgehensmodells für organisationsspezifische Wissensmanagementsysteme angepasst werden.

6 Realisierung des Wissensmodells und des semantischen Schnittstellenmoduls

In diesem Kapitel werden das erweiterbare Wissensmodell für wandlungsfähige Produktionssysteme (siehe Abschnitt 6.1 und 6.2) sowie das Schnittstellenmodul für die Integration von Datenobjekten aus produktionsnahen IT-Systemen realisiert (siehe Abschnitt 6.3).

6.1 Konzeptioneller Aufbau des Wissensmodells

Das Wissensmodell beinhaltet die Metadaten für die betrachtete Produktionsdomäne und wird im Rahmen dieser Arbeit als Ontologie implementiert (siehe Abschnitt 5.1.3). Diese wird im Wissensmanagementsystem zum einen für die semantische Annotation von Informations- und Datenobjekten verwendet und enthält zum anderen formalisiertes Expertenwissen in Form von Regeln für die automatisierte semantische Verknüpfung und Auswertung. Im Folgenden wird zunächst der konzeptionelle Aufbau des Wissensmodells vorgestellt (siehe Abbildung 6-1) und auf Basis der in Kapitel 3 definierten Anforderungen diskutiert.

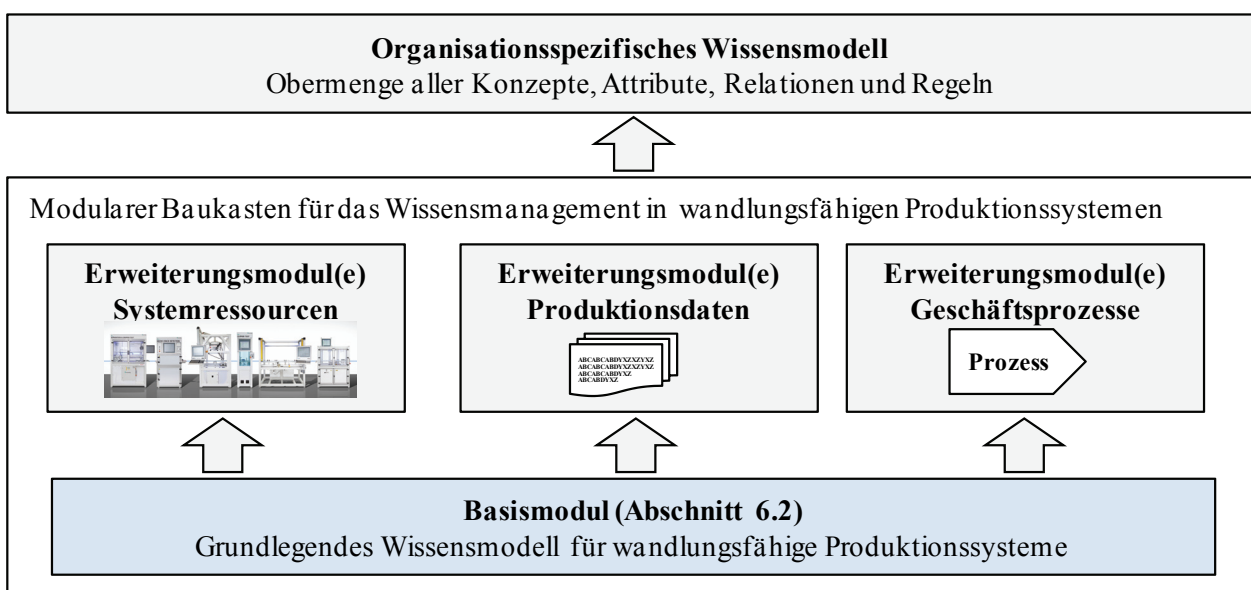


Abbildung 6-1: Konzeptioneller Aufbau von organisationspezifischen Wissensmodellen

Die begrenzten Ressourcen in KMU (*Anforderung A6*) und der daraus implizierte Bedarf an wiederverwendbaren Komponenten wird durch die Verwendung eines organisationsunabhängigen Basismodules adressiert. Dieses unterstützt die Abbildung von Wissen im Umfeld wandlungsfähiger Produktionssysteme (*Anforderung A3*) und umfasst sowohl von Mitarbeitern in der Produktion und in angrenzenden Unternehmensbereichen angelegte Informationsobjekte (siehe Abschnitt 2.2.2) als auch Datenobjekte aus der Produktions-IT (siehe Abschnitt 2.2.4). Da das Wissensmodell während der Nutzungsphase durch Mitarbeiter anpassbar sein soll (*Anforderung A4 und A5*), muss das Basismodul für Anwender in der Produktion übersichtlich und verständlich gestaltet werden.

Zugleich soll das Wissensmodell die Abbildung und Verknüpfung von organisationsspezifischen Prozessen und Produktionssystemen (*Anforderung A1*) sowie der zugehörigen systemspezifischen Datenobjekte aus der Produktions-IT (*Anforderung A2*) ermöglichen. Hierzu werden Erweiterungsmodule zum Basismodul vorgesehen, welche die komplementären Konzepte, Attribute, Relationen und Regeln enthalten.

Für die Gestaltung eines organisationsspezifischen Wissensmodells wird das Basismodul in Bezug auf die vorhandenen Systemressourcen, die Geschäftsprozesse und die abzubildenden Datenobjekte aus der Produktions-IT wie folgt erweitert:

- *Systemressourcen-Module* enthalten Konzepte über den strukturellen Aufbau von Produktionssystemen und den durch diese ausführbaren Produktionsvorgänge.
- *Produktionsdaten-Module* bilden Datenobjekte aus der Produktions-IT ab, die über die im Basismodul definierten Objekte hinausgehen oder diese genauer spezifizieren.

- *Geschäftsprozess-Module* umfassen Konzepte, welche die durch das System zu unterstützenden Prozesse und Aufgaben der Mitarbeiter in der Produktion repräsentieren.

Ein organisationsspezifisches Wissensmodell vereinigt das Basismodul und eine Anzahl von Erweiterungsmodulen. Somit besteht es aus der Obermenge aller Konzepte, Attribute, Relationen und Regeln dieser Module.

Der hier vorgeschlagene Aufbau des Wissensmodells weist gegenüber einem monolithischen Konzept die folgenden Vorteile auf:

- Das in dieser Arbeit entwickelte Basismodul abstrahiert von organisationsspezifischen Aspekten. Hierdurch kann das Modul wiederverwendet werden und weist eine bessere Verständlichkeit für die Anwender auf.
- Die Erweiterungsmodule lassen sich, wie das Basismodul, als wiederverwendbare Bestandteile eines Baukastens konzipieren. Darüber hinaus kann der Entwurf der einzelnen Erweiterungsmodule in Arbeitsteilung erfolgen.
- Das System kann während seines Lebenszyklus um zusätzliche Module ergänzt werden. Damit können neue Systemressourcen und Vorgänge, Produktionsdaten sowie Geschäftsprozesse in wandlungsfähigen Produktionssystemen unterstützt werden.

Ein Nachteil des modularen Modellaufbaus ist die Segmentierung der Konzepte in der Entwicklungsphase. Hierdurch entsteht der Bedarf nach einer methodischen Vorgehensweise zur eindeutigen Abgrenzung der Erweiterungsmodule. Diese ist Teil des in Kapitel 7 vorgestellten Vorgehensmodells.

Im folgenden Abschnitt wird das Basismodul entworfen. In Abschnitt 8.1 wird die Erstellung von Erweiterungsmodulen anhand eines Fallbeispiels dargestellt.

6.2 Basismodul für wandlungsfähige Produktionssysteme

Das Basismodul dient als Grundlage für die Identifikation, Bewahrung, Verteilung und Nutzung von Wissen in wandlungsfähigen Produktionssystemen und bietet systematisch erweiterbare und wiederverwendbare Elemente. Auf Basis der in Kapitel 2 diskutierten industriellen Ausgangssituation umfasst das Basismodul die folgenden Objekttypen (siehe Abbildung 6-2):

- Informationsobjekte in Form von Dokumenten und Wiki-Seiten, die explizites Wissen der Mitarbeiter über Elemente des Produktionssystems enthalten (siehe Abschnitt 2.2.2), oder in Form von Referenzen auf Wissensträger im Unternehmen
- Datenobjekte aus der Produktions-IT (siehe Abschnitt 2.2.4)

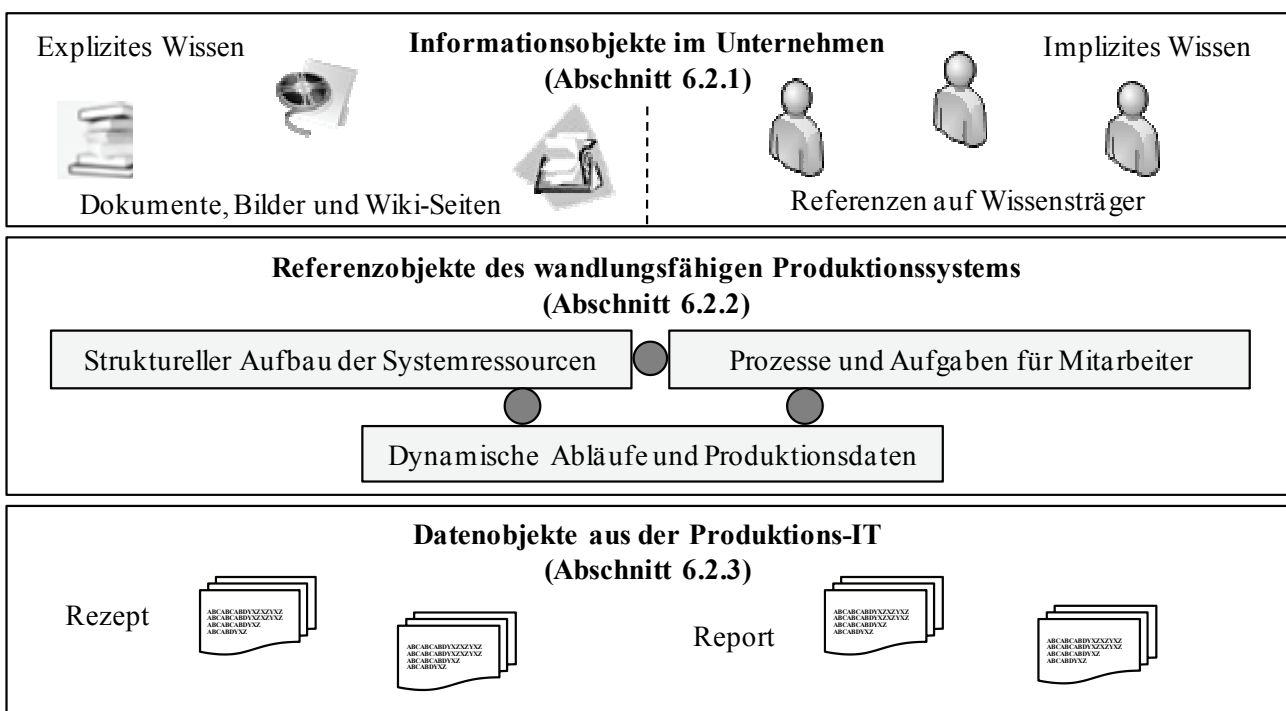


Abbildung 6-2: Informationsobjekte, Datenobjekte und Referenzobjekte im Basismodul

Zusätzlich werden die Elemente des Produktionssystems im Basismodul abgebildet. Informationsobjekte und Datenobjekte können diese beschreiben oder werden in Kontext zu diesen gesetzt. Sie werden deshalb in dieser Arbeit als Referenzobjekte bezeichnet. Die Referenzobjekte im Modul repräsentieren sowohl den strukturellen Aufbau der Systemressourcen, die dynamischen Abläufe und Produktionsdaten im System als auch die durch Mitarbeiter auszuführenden Geschäftsprozesse und Aufgaben in der Produktion. Hiermit spiegeln sich die Typen der Erweiterungsmodule in der Struktur des Basismoduls wider. Neben den Referenzobjekten selbst werden auch deren semantische Beziehungen untereinander im Modell definiert.

In Abschnitt 6.2.1 wird zunächst die Repräsentation des Wissens der Mitarbeiter in der Produktion in Form von Informationsobjekten erläutert. Im Anschluss wird in Abschnitt 6.2.2 die Abbildung und Verknüpfung der Referenzobjekte in Produktionssystemen und in Abschnitt 0 die Repräsentation der Datenobjekte aus der Produktions-IT beschrieben. In Abschnitt 6.2.4 wird dann die Verknüpfung dieser Informations- und Datenobjekte mit den Referenzobjekten im Produktionssystem über semantische Relationen dargestellt sowie in Abschnitt 6.2.5 die Nutzung von Regeln zur automatischen Generierung solcher Relationen sowie von Klassifizierungen und Kalkulationen von Attributwerten beschrieben. Zum Abschluss wird in Abschnitt 6.2.6 die Semantik der Konzepte des Basismoduls spezifiziert, welches dem gemeinsamen Verständnis der Entwickler und Anwender dient.

Das Modell wird hierbei in Textform und unter Verwendung der Unified Modelling Language (UML) Notation erläutert [OMG 2012]. In letzterem Fall werden Konzepte der Ontologie als UML-Klassen und Instanzen als UML-Objekte dargestellt. Zwischen diesen Klassen werden Generalisierungen (umrandeter Pfeil) und Aggregationsbeziehungen (Pfeil mit Raute) als spezielle Relationstypen dargestellt. Über Generalisierungen lassen sich gemeinsame Eigenschaften von

Konzepten mittels Oberkonzepten abbilden, während sich über Aggregationen die Beziehung zwischen einem Ganzen und seinen Teilen modellieren lassen. Zudem werden sonstige Assoziationen (offener Pfeil) als Relationen zwischen den Instanzen zweier Konzepte modelliert. Die Pfeilbeschriftung entspricht dabei der Kurzform von den im Wissensmodell definierten URIs.

6.2.1 Repräsentation der Informationsobjekte

Im System wird das Wissen der Mitarbeiter in Form von Wiki-Seiten oder elektronischen Dokumenten erfasst. Zu deren semantischer Repräsentation im Basismodul wird das generische Konzept *Informationsobjekt* verwendet. Dessen Metadaten basieren zur größtmöglichen Kompatibilität mit bestehenden Standards auf der Dublin-Core Konvention (siehe Abschnitt 4.2.1.3).

Jedes der Dublin-Core Elemente [Dublin Core 2011] wird hierfür als Attribut oder als Relation für das Konzept *Informationsobjekt* implementiert (siehe Tabelle 6-1). Während, wie in Abschnitt 4.2.1.1 erläutert, Attribute die möglichen Eigenschaften der Informationsobjekte im Wissensmodell beschreiben und einen Datentyp besitzen, repräsentieren Relationen semantische Abhängigkeiten zwischen den Informationsobjekten und Referenzobjekten.

Dublin-Core Element	Semantik des Elementes	Abbildung in Basismodul
Titel	Name des Informationsobjekts, welcher von Dateinamen oder Inhalt abgeleitet werden sollte	Attribut
Beschreibung	Zusammenfassung des Inhaltes in freiem Text	Attribut
Schlagwort	Schlagwörter zur Illustrierung und Filterung des Themas	Attribut (Liste)
Ersteller	Verantwortliche Person, Organisation oder Dienst für die Erstellung des Informationsobjektes	Relation
Datum	Datum eines Ereignisses im Lebenszyklus des Objektes	Attribut (Liste)
Sprache	Landescode, welcher die Sprache repräsentiert	Attribut
Rechte	Für das Informationsobjekt geltende Rechte	Attribut (Liste)
Typ	Zuweisung des Informationsobjektes zu Kategorien	Klassifizierung
Format	Format des Informationsobjektes	Attribut
Relation	Relation(en) zu anderen Informationsobjekten	Relation (Liste)

Tabelle 6-1: Dublin-Core-Elemente für das Konzept Informationsobjekt

Ergänzend zu den Elementen der Dublin-Core Konvention werden im Basismodul weitere Attribute und Relationen zur semantischen Beschreibung von Informationsobjekten verwendet: Zum einen wird das Dublin-Core Element *Relation* in Untertypen mit unterschiedlichen Domänen und Geltungsbereichen untergliedert (siehe Abschnitt 6.2.4), um Abhängigkeiten im Basismodul semantisch eindeutig und damit für den Anwender und die Maschine aussagekräftig zu beschreiben. Zum anderen werden zusätzliche Attribute zur Beschreibung von Instanzen eingeführt. Beide Arten der Ergänzung sind abhängig vom Inhalt, Verwendungszweck und Strukturierungsgrad des spezifischen Informationsobjektes. Deshalb wird in dieser

Arbeit basierend auf der in Abschnitt 2.2 diskutierten Ausgangssituation eine Klassifizierung von Informationsobjekten in der Produktion vorgenommen (siehe Tabelle 6-2).

Typ des Informationsobjekts	Semantik des Objekttyps	Abbildung der Eigenschaften im Basismodul
Handlungsanleitung	Handlungsanleitung für Mitarbeiter zur Durchführung von Prozessen und Aufgaben	Bezug zu Geschäftsprozessen und Aufgaben als Relationen
Erfahrungsbericht	Persönliche Bewertung oder Verbesserungsvorschlag eines Mitarbeiters zu Referenzobjekten wie Vorgängen, Systemressourcen und Materialressourcen	Enthält persönliche Wertung und Vertrauensgrad als Attribute; Bezug zu Referenzobjekten des Produktionssystems als Relationen
Ereignisbericht	Protokoll eines von Mitarbeitern durchgeführten oder überwachten Vorgangs oder eines Ereignisses	Bezug zu Referenzobjekten des Produktionssystems als Relationen
Messung	Dokumentation einer manuellen Messung im Produktionssystem durch den Mitarbeiter	Bezug zu Systemen und Parameterwert als Relationen
Einstellung	Dokumentation einer manuell durchgeführten Einstellung im Produktionssystem durch den Mitarbeiter	Bezug zu Systemen und Parameter als Relationen
Externe Dokumentation	Dokument oder andere Informationsobjekt, welche außerhalb des Unternehmens vorliegt	Verweis zu externen Informationsobjekt als Attribut
Spezifikation	Beschreibung der Referenzobjekte im Produktionssystem	Identisch mit Referenzobjekte im Produktionssystem; Bezug zu weiteren Referenzobjekten als Relationen
Referenz	Referenz auf implizites Wissen in der Organisation (Wissensträger)	Bezug zu Personen als Relationen

Tabelle 6-2: Unterkonzepte von Informationsobjekt im Basismodul

Durch diese Klassifizierung können zum einen typspezifische Attribute und Relationen definiert werden und zum anderen Instanzen bei Anfragen, Suchen und Auswertungen im Wissensmanagementsystem einfach unterschieden werden.

Unter den aufgeführten Typen von Informationsobjekten weisen *Spezifikationen* und *Referenzen* bei der Abbildung im Basismodul Besonderheiten auf: *Spezifikationen* im System beschreiben das Referenzobjekt selbst und sind für dieses eindeutig. Deshalb werden sie in der Ontologie nicht als separate Instanz (Objekt) abgebildet, welche auf das Referenzobjekt verweist, sondern sind identisch mit diesem. *Referenzen* auf Mitarbeiter mit implizitem Wissen über Referenzobjekte können als Informationsobjekte im System repräsentiert werden. Dies unterstützt indirekt den Prozess der Sozialisation zwischen Mitarbeitern im Unternehmen.

6.2.2 Repräsentation der Referenzobjekte im Produktionssystem

Zur Repräsentation eines Produktionssystems werden im Wissensmodell die in Abbildung 6-2 illustrierten Bereiche erfasst:

- Systemressourcen im Produktionssystem und deren strukturelle Abhängigkeiten
- Dynamische Abläufe und Materialien im System und die damit verbundenen Produktionsdaten
- Prozesse und Aufgaben, welche durch Mitarbeiter in der Produktion ausgeführt werden

Zudem werden Relationen, und damit semantische Abhängigkeiten, zwischen den Elementen in diesen drei Bereichen abgebildet (siehe Abbildung 6-3).

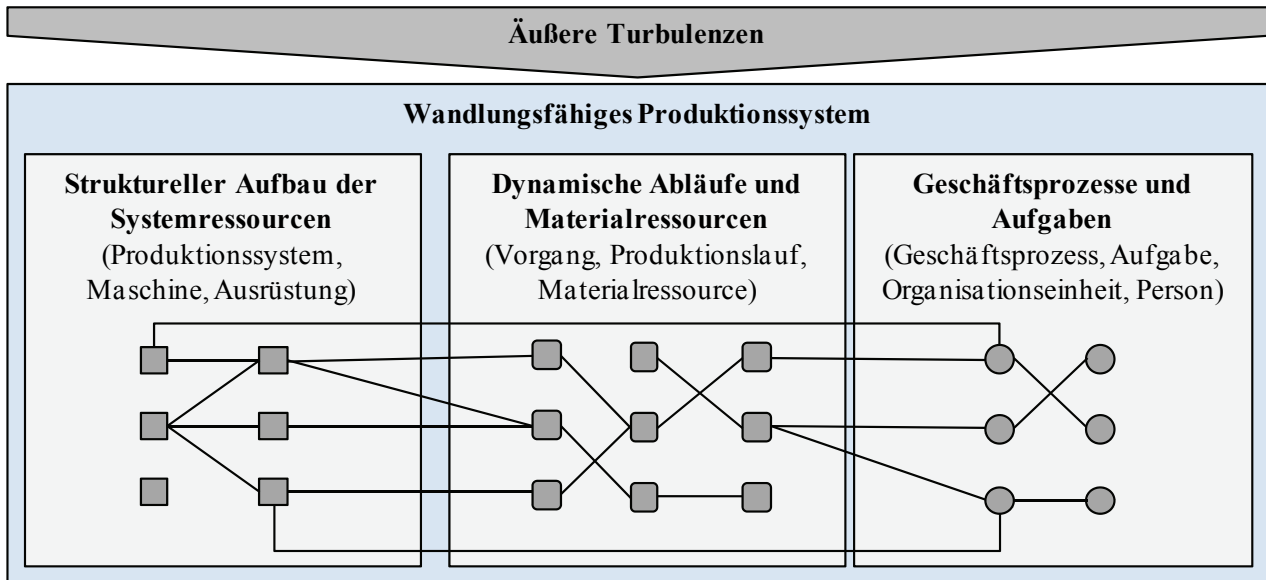


Abbildung 6-3: Referenzobjekte und deren Relationen in wandlungsfähigen Produktionssystemen

Relationen zwischen Referenz-, Informations- und Datenobjekten können zum einen durch den Anwender angelegt und modifiziert werden und zum anderen über Regeln automatisiert instanziiert werden (siehe Abschnitt 6.2.5). Letzteres ermöglicht, insbesondere in turbulenten Produktionsumfeldern, dass wechselnde semantische Zusammenhänge zwischen Objekten im System einfacher aktualisiert werden können. Hierdurch wird die Wandlungsfähigkeit des gesamten Wissensmanagementsystems unterstützt.

6.2.2.1 Struktureller Aufbau der Systemressourcen

Das *Produktionssystem* selbst wird in dieser Arbeit als ein soziotechnisches System verstanden, welches Input durch wertschöpfende und assoziierte Prozesse zu Output transformiert (siehe Abschnitt 2.2.1). Zunächst werden im Basismodul die grundlegenden strukturellen Elemente des Produktionssystems und ihre Beziehungen zueinander als Referenzobjekte abgebildet: Hier sind zum einen *Maschinen* zu nennen, welche Vorgänge ausführen können und mögliche Referenzen für Datenobjekte wie Rezepte und Reports bilden. Zudem werden auswechselbare *Ausrüstungen* für Maschinen, einschließlich Werkzeuge, abgebildet, auf welche sich

technisches Wissen der Mitarbeiter in der Produktion bezieht und die eine zentrale Rolle bei der Rekonfiguration von Maschinen spielen.

Im Basismodul werden *Produktionssystem*, *Maschine* und *Ausrüstung* als Konzepte repräsentiert (siehe Abbildung 6-4), welche in Erweiterungsmodulen weitergehend klassifiziert und spezifiziert werden können.

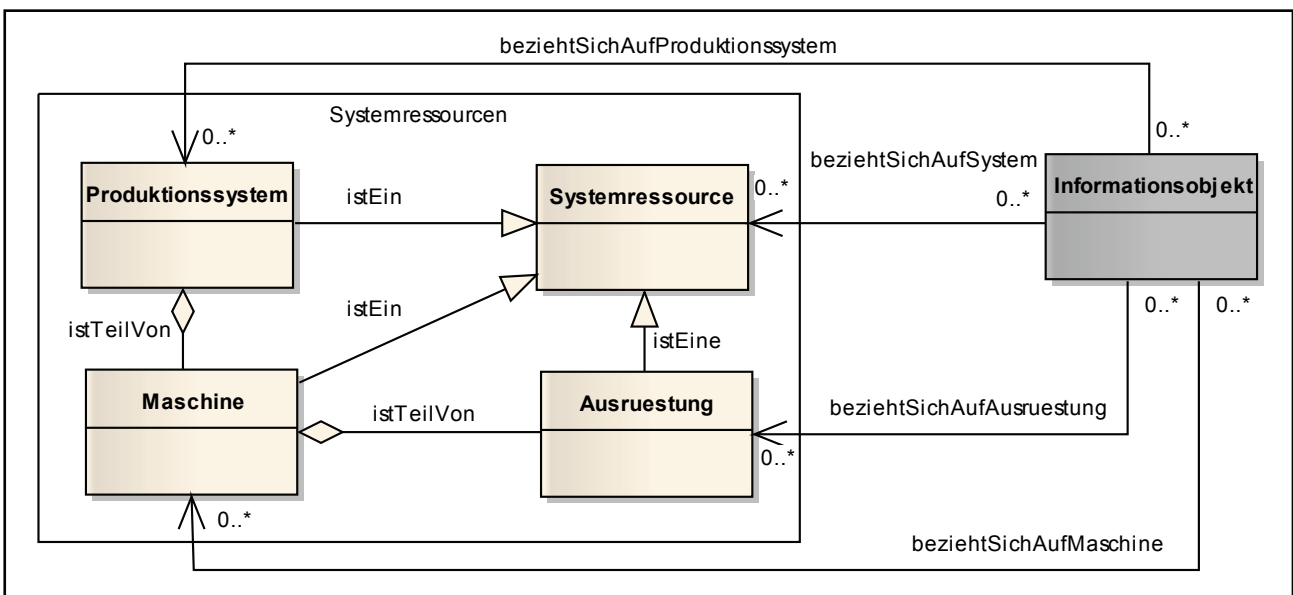


Abbildung 6-4: Systemressourcen im Basismodul und deren Relationen (Auszug)⁹

Diese Konzepte werden zur Abbildung gemeinsamer Attribute und Relationen zu einem Oberkonzept *Systemressource* generalisiert. Zum einen sind nun Relationen und Attribute auf Ebene des Oberkonzepts *Systemressourcen* definiert. Zusätzlich können im Modell für die Unterkonzepte spezifische Relationen und Attribute abgebildet werden.

Ein Beispiel hierfür sind die dargestellten spezifischen und semantisch eindeutigeren Relationen zwischen *Informationsobjekt* und den unterschiedlichen

⁹ Es werden hier nicht alle assoziierten Konzepte von Systemressourcen abgebildet. Zudem sind im UML-Modell keine Attribute dargestellt.

Konzepten. Zudem werden Abhängigkeiten zwischen *Systemressourcen* abgebildet. So gehört eine Instanz vom Konzept *Maschine* immer zu genau einem *Produktionssystem* und kann eine beliebige Menge von *Ausrüstungen* beinhalten.

6.2.2.2 Geschäftsprozesse und Aufgaben für Mitarbeiter in der Produktion

Die im System zu erfassenden Informationsobjekte und Datenobjekte können sich neben Systemressourcen auch auf die von Mitarbeitern in der Produktion auszuführenden *Geschäftsprozesse* beziehen. Jeder *Geschäftsprozess* umfasst eine Reihe durch Mitarbeiter in der Produktion auszuführende *Aufgaben*. Auf beide Konzepte können sich Informationsobjekte wie Handlungsanleitungen und Erfahrungsberichte beziehen, weshalb *Geschäftsprozess* und *Aufgabe* als Referenzobjekte im Basismodul definiert werden.

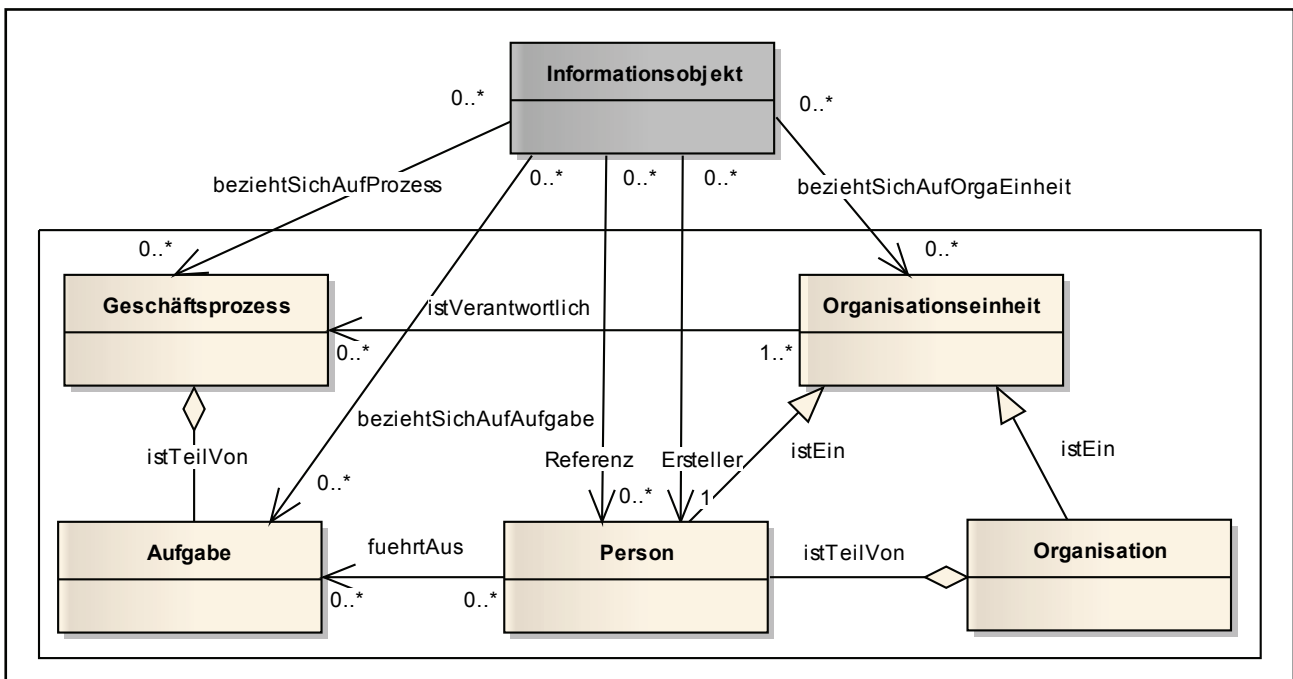


Abbildung 6-5: Geschäftsprozesse und Organisationseinheiten im Basismodul (Auszug)¹⁰

¹⁰ Es werden hier nicht alle assoziierten Konzepte von Geschäftsprozess und Organisationseinheit, sowie keine Attribute dargestellt.

Zudem werden die Informationsobjekte von *Personen* erzeugt, beziehen sich auf diese und werden von diesen gepflegt. Darüber hinaus beinhaltet das System Referenzen auf *Personen*, welche Wissensträger im Unternehmen sind und implizites Wissen besitzen (siehe Tabelle 6-2). Personen sind Teil von *Organisationseinheiten*, was zum einen ihren Wissensbedarf beeinflusst und zum anderen Verantwortlichkeiten für Geschäftsprozesse und Aufgaben bestimmt. Sowohl *Person* als auch *Organisationseinheit* werden daher im Basismodul als Referenzobjekte abgebildet. Da Geschäftsprozesse und Aufgaben zu einem hohen Grade organisationsspezifisch sind, werden sie nach dem konzeptionellen Aufbau des Wissensmodells innerhalb von Erweiterungsmodulen weitergehend klassifiziert und spezifiziert (siehe Abschnitt 6.1).

6.2.2.3 Dynamische Abläufe und Materialressourcen

Ergänzend zu den strukturellen Elementen des Produktionssystems und den von Mitarbeitern durchzuführenden Geschäftsprozessen und Aufgaben sind die dynamischen Produktionsvorgänge und die dabei prozessierten Materialressourcen zu modellieren. So können sich Informationsobjekte und Datenobjekte auf *Vorgänge* im Produktionssystem beziehen. Diese werden hier wie folgt kategorisiert:

- *Fertigungsvorgänge* als die Ausführung von Verfahren zur Herstellung von geometrisch bestimmten festen Körpern [DIN 8580], welche sich je nach Anwendungsbereich weiter untergliedern lassen.¹¹
- *Handhabungsvorgänge* als Vorgänge, welche das Gut manipulieren und dabei weder dessen Gestalt, Abmessung oder Struktur ändern [Bleisch u. a. 2011, S. 222].

¹¹ Siehe beispielsweise [VDI 2860] für Vorgänge im Bereich der Montage.

- *Rüstvorgänge* als Tätigkeit zur Vorbereitung eines Systems für die Erfüllung einer Fertigungsvorgangs [Missbauer 1996, S. 1806]

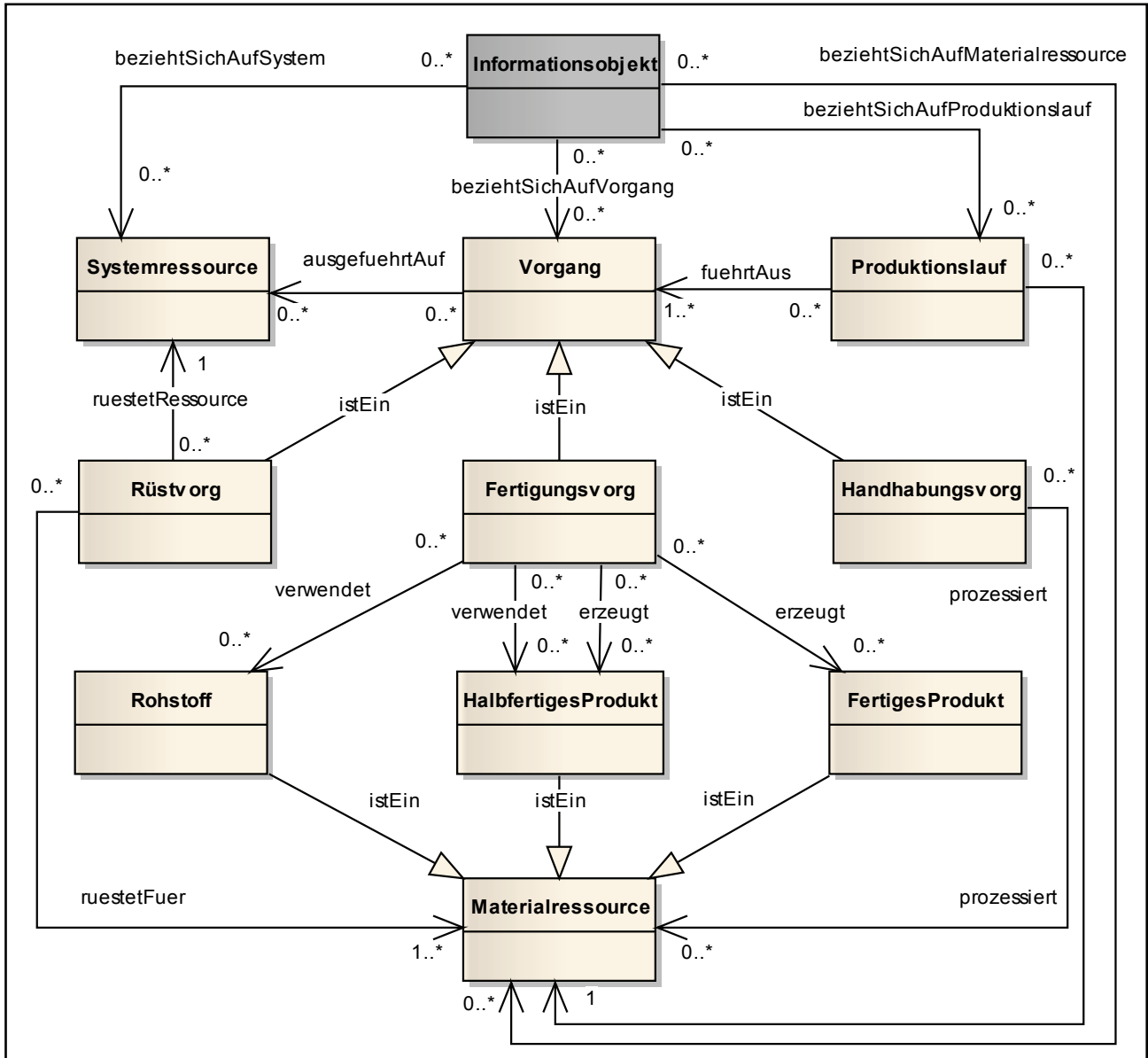


Abbildung 6-6: Vorgangstypen und Materialressourcen im Basismodul (Auszug)¹²

¹² Es werden hier nicht alle assoziierten Konzepte sowie keine Attribute dargestellt.

Objekte im System beziehen sich zudem auf *Materialressourcen* in der Produktion, welche in Anlehnung an MASON klassifiziert werden in (siehe Abschnitt 4.2.1.3):

- *Fertiges Produkt* als Endresultat der Fertigungsvorgänge [DIN 6789]
- *Halbfertigprodukt* als in Bearbeitung befindliches Produkt
- *Rohstoff* als Material, welches in das zu produzierende Produkt eingeht

Die weitergehende Klassifizierung und Spezifikation von Vorgängen und Produkten in der Produktion sind stark anwendungsfallorientiert, weshalb diese ebenfalls in Erweiterungsmodulen erfolgen.

Ergänzend zu Vorgängen und Materialressourcen repräsentiert das Konzept *Produktionslauf* die Bearbeitung genau eines *Fertigen Produktes* innerhalb des Produktionssystems, bei der variable Mengen von *Systemressourcen* eingesetzt und *Vorgänge* ausgeführt werden.

6.2.3 Repräsentation der Datenobjekte aus der Produktions-IT

Basierend auf den in Abschnitt 2.2 diskutierten Informationssystemen in der Produktions-IT sind Datenobjekte im Wissensmodell abzubilden. Im Rahmen des Basismoduls werden hier die grundlegenden Konzepte *Rezept* und *Report* betrachtet, welche in Erweiterungsmodulen vom Typ *Produktionsdaten* weitergehend spezifiziert und um systemspezifische Objekte ergänzt werden.

Ein *Rezept* beschreibt die Informationen, welche die Produktionsanforderungen für die operative Bearbeitung eines spezifischen Produkts beinhalten. Es besitzt einen eindeutigen Bezeichner, welcher im Basismodul dem eindeutigen Namen der Instanzen entspricht. Zudem referenzieren Rezepte eine Menge von involvierten *Vorgängen* und genutzten *Parameterwerten*. *Parameterwerte* dienen innerhalb des *Rezepts* als Einstellungen zur Steuerung von Vorgängen im Produktionssystem und

beziehen sich auf eindeutige *Parameter*. Zudem weist ein *Rezept* einen Gültigkeitsbereich vom Konzept *Maschine* auf und verweist optional auf weitere Kontextobjekte. Ein Rezept kann in multiplen *Produktionsläufen* verwendet werden. Die Assoziationen zu *Maschinen*, *Vorgängen*, *Parameterwerten*, *Produktionslauf* und weiteren Kontextobjekten werden über semantische Relationen realisiert. Ein *Report* enthält Produktionsdaten aus *Produktionsläufen*. Es wird jeweils von einer *Maschine* erzeugt und beinhaltet eine Menge von *Parameterwerten*. Sie besitzen zudem einen eindeutigen Instanznamen und Relationen zum Gültigkeitsbereich und weiteren Kontextinformationen. Parameterwerte werden als Konzept im Basismodul abgebildet und besitzen eine Relation zu einem Parameter, welcher ein eindeutiges Referenzobjekt im Produktionssystem darstellt.

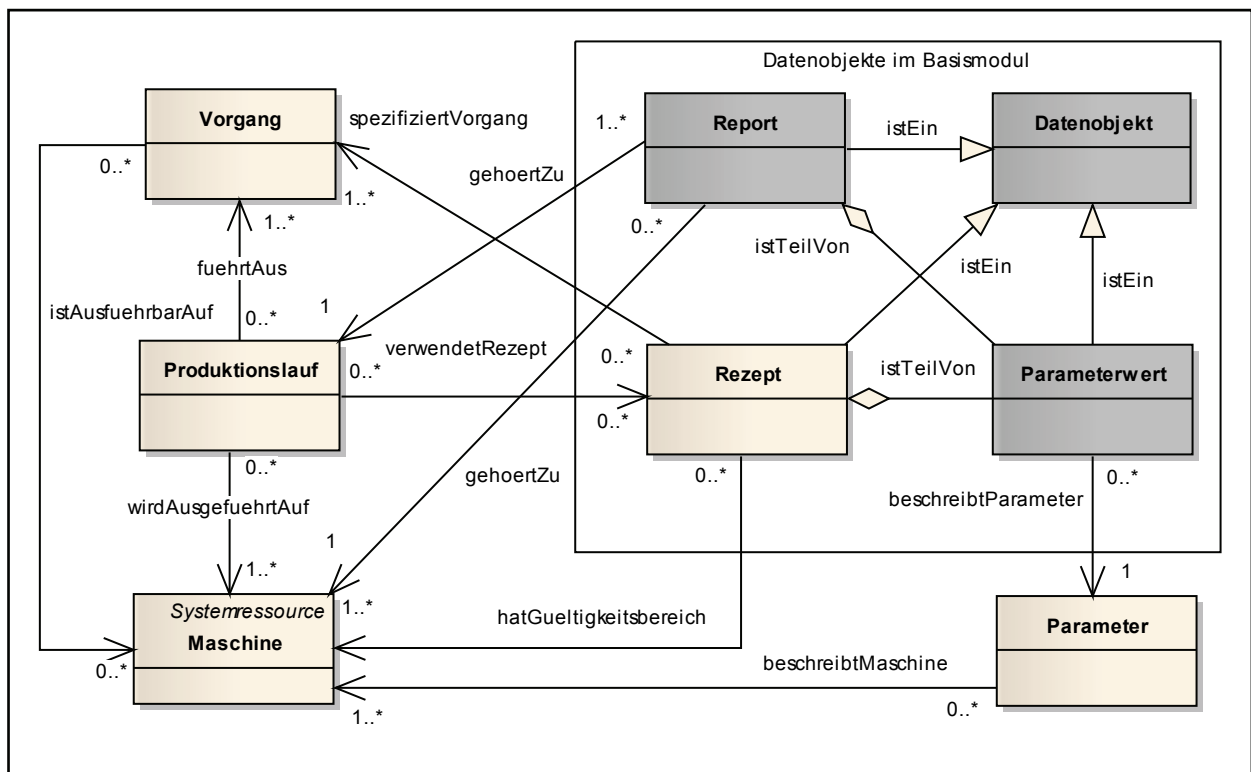


Abbildung 6-7: Datenobjekte aus der Produktions-IT im Basismodul (Auszug)¹³

¹³ Es werden hier nicht alle assoziierten Konzepte sowie keine Attribute dargestellt.

6.2.4 Verknüpfung der Informations-, Daten- und Referenzobjekte

Die definierten Unterkonzepte von *Informationsobjekt* können sich, wie in den vorherigen Abschnitten skizziert, auf eine oder mehrere Referenzobjekte im wandlungsfähigen Produktionssystem beziehen. Hierzu wird die Beziehung *beziehtSichAuf* (Relation) der Dublin-Core Konvention und deren vom Gültigkeitsbereich und Domäne abhängigen Untertypen verwendet (siehe Abschnitt 6.2.1). Abbildung 6-8 zeigt einen Auszug dieser Relationen.¹⁴

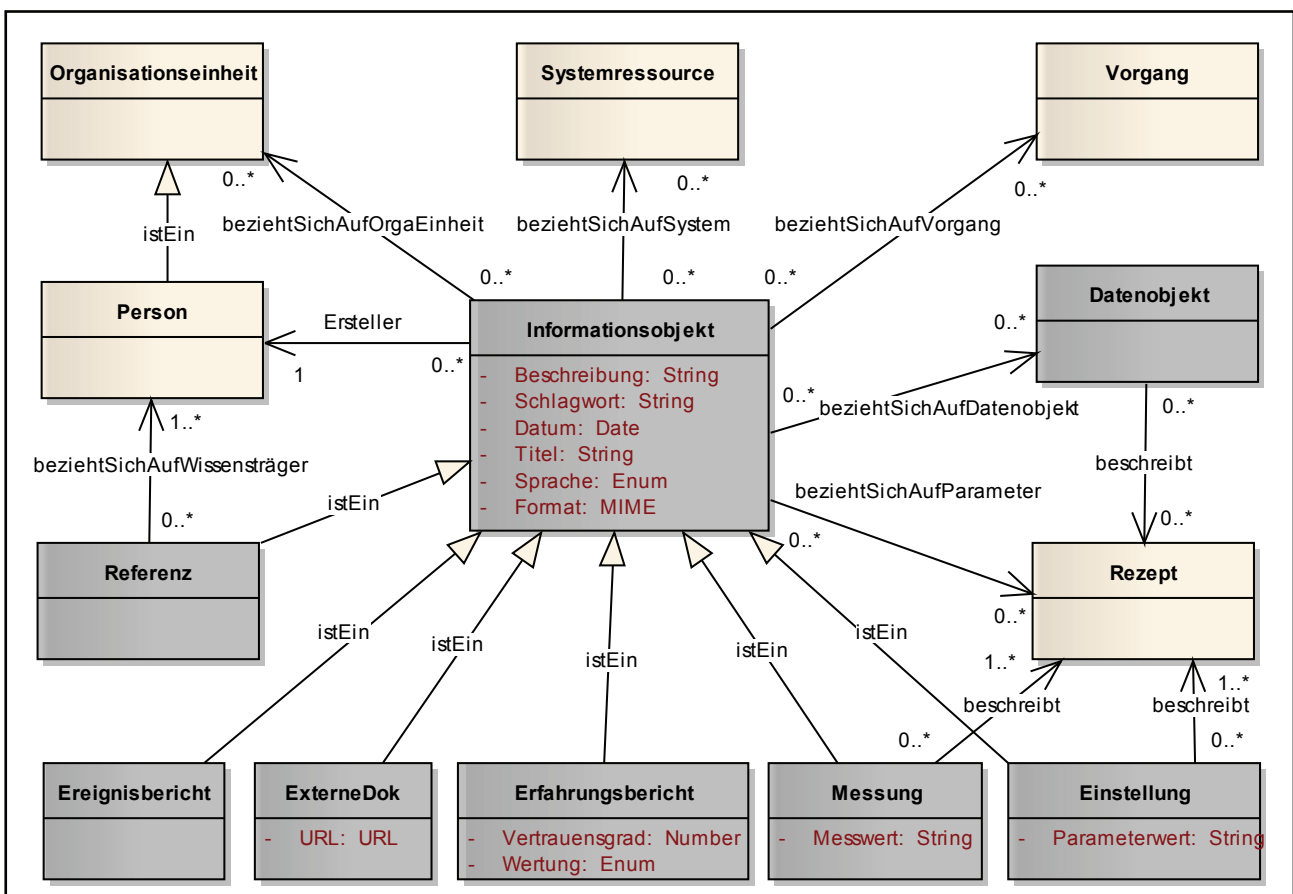


Abbildung 6-8: Relationen zur Verknüpfung von Informationsobjekten im Basismodul (Auszug)¹⁵

¹⁴ Die Untertypen der Relation *beziehtSichAuf* sind mit dieser über einer Vererbungsbeziehung verbunden.

¹⁵ Es werden hier nicht alle verbundenen Konzepte und nur die Attribute von *Informationsobjekt* und dessen Untertypen dargestellt.

Während der Nutzungsphase des Wissensmanagementsystems werden Informationsobjekte vom Anwender als Wiki-Seiten oder in Form von elektronischen Dokumenten angelegt. Über die graphische Benutzeroberfläche des Wissensmanagementsystems kann der Anwender Relationen für ein angelegtes Objekt (Instanz) definieren. Hierbei wird er durch automatische Vorschlags- und Ergänzungsfunktionen unterstützt, welche auf den im Basismodul vorgesehenen Relationstypen basieren. Zudem werden automatisch Relationen auf Basis der im Basismodul hinterlegten Regeln generiert (siehe Abschnitt 6.2.5).

Die Datenobjekte aus der Produktion werden ebenfalls über Relationen mit den Referenzobjekten des Produktionssystems verknüpft (siehe Abbildung 6-7). Die Erzeugung dieser Relationen geschieht dabei jedoch nicht durch den Anwender, sondern automatisiert über semantische Schnittstellenmodule (siehe Abschnitt 6.3). Basierend auf den durch das Modul instanziierten Relationen können dann wiederum weitere Verknüpfungen über Regeln erzeugt werden.

6.2.5 Automatische Klassifizierung, Verknüpfung und Kalkulation mit Regeln

Das als Ontologie realisierte Wissensmodell beinhaltet, neben Konzepten, Attributen und Relationen, eine Menge semantischer Regeln (siehe Abschnitt 4.2.1.1). Regeln müssen, im Gegensatz zu in der Präsentations- und Anwendungsebene hinterlegten Anwendungslogik, eine uneingeschränkte Gültigkeit in der Wissensdomäne aufweisen, da sie bei jeder Anfrage an das System automatisch ausgewertet werden.

In der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Systemarchitektur können Regeln zur automatischen Generierung von Relationen, zur automatischen Klassifizierungen von Instanzen und zur automatischen Kalkulationen von Attributwerten im Wissensmodell hinterlegt und durch das System ausgewertet werden. Diese drei Regeltypen lassen sich in der Produktionsdomäne für unterschiedliche Zielsetzungen

und Funktionen verwenden. Sie werden im Folgenden erläutert und an Beispielen aus dem Basismodul illustriert.

6.2.5.1 Generierung von Relationen

Regeln tragen zum einen durch die automatische Generierung von Relationen dazu bei, den Aufwand für Anwender bei der Verknüpfung von Informations-, Daten- und Referenzobjekte im Wissensmanagementsystem zu reduzieren. Durch die automatische Auswertung von Regeln müssen Anwender die Schlussfolgerungen aus sich ändernden semantischen Zusammenhängen in der Systemdomäne nicht manuell im gesamten Wissensmodell nachpflegen. Dies ist insbesondere in wandlungsfähigen Produktionssystemen von großer Bedeutung.

So können zwei gegenläufige Relationen durch eine Regel als symmetrisch gekennzeichnet werden.¹⁶ In Abbildung 6-9 gilt dies beispielsweise für die beiden Relationen *istTeilVon* und *beinhaltetTeil* zwischen den Konzepten *Produktionssystem* und *Maschine* (Regel R1). Falls der Anwender eine der beiden Relationen explizit im System instanziiert hat (durchgezogene Linie), wird die symmetrische Relation bei Anfragen dynamisch durch die Inferenz-Maschine generiert (gestrichelte Linie). Dies ermöglicht es den Benutzern, Anfragen aus beliebigen Perspektiven und damit einfacher und verständlicher zu formulieren, ohne die explizit im System hinterlegten Fakten zu kennen.

Zudem kann eine zwischen mehreren Konzepten verwendete Relation als transitiv gekennzeichnet werden.¹⁷ Dies gilt insbesondere für Aggregationsbeziehungen wie *istTeilVon* und *beinhaltetTeil*. Beide Relationen können sowohl zwischen Instanzen der Konzepte *Produktionssystem* und *Maschine* als auch zwischen Instanzen der

¹⁶ In den meisten Ontologiesprachen, wie der hier verwendeten ObjectLogic-Sprache, wird dieser spezielle Regeltyp durch ein vordefiniertes Axiom definiert.

¹⁷ Analog zu Symmetrie geschieht dies in den meisten Ontologiesprachen über ein vordefiniertes Axiom.

Konzepte *Maschine* und *Ausrüstung* bestehen. Durch die Kennzeichnung als transitive Relation kann aus den Relationen zwischen den Instanzen *A1* (Konzept Ausrüstung) und *M1* (Konzept Maschine) sowie zwischen *M1* und *P1* (Konzept Produktionssystem) automatisch auf die Relation *istTeilVon* zwischen *A1* und *P1* geschlossen werden (Regel R2).

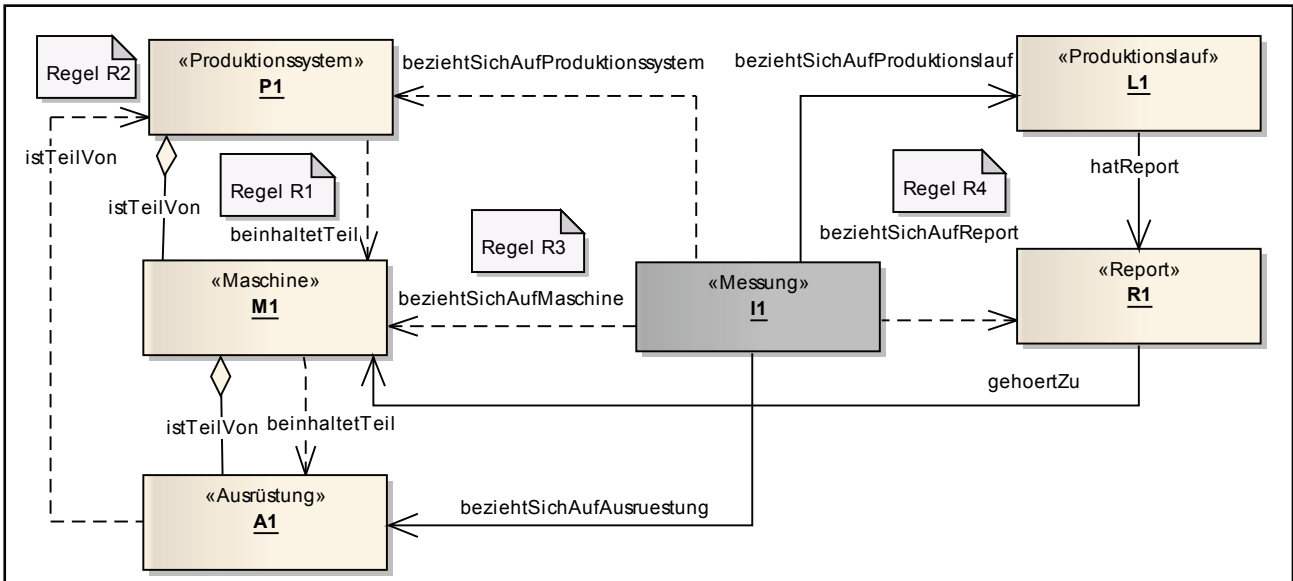


Abbildung 6-9: Regeltypen zur Generierung von Relationen im Basismodul (Auszug)

Neben symmetrischen und transitiven Relationen dienen Eigenschaftsketten der Ableitung von Relationen aus komplexen mehrstufigen Zusammenhängen zwischen Konzepten. Zwei in Abbildung 6-9 illustrierte Eigenschaftsketten des Basismoduls sind:

- Falls sich ein *Informationsobjekt* auf eine *Ausrüstung* bezieht, bezieht es sich auch auf eine zur Ausrüstung gehörige *Maschine* (Regel R3).
- Falls sich eine *Messung*, als Untertyp eines Informationsobjekts, auf einen *Produktionslauf* bezieht sowie auf eine in diesem Produktionslauf verwendete *Maschine*, dann bezieht sich dieses Informationsobjekt auch auf den im Produktionslauf für die Maschine generierten *Report* (Regel R4).

6.2.5.2 *Klassifizierung von Instanzen*

Des Weiteren können im Wissensmodell Definitionsregeln hinterlegt werden, welche die Klassifizierung von Instanzen auf Basis von definierten Bedingungen ermöglichen. Die automatische Schlussfolgerung ersetzt explizite Typisierungen von Objekten durch den Anwender in der Produktion und ermöglicht weniger komplexe Eingabemasken. Zwei exemplarische Definitionsregeln sind:

- Ein *Informationsobjekt* ist ein *Erfahrungsbericht*, wenn das Attribut *Bewertung* von Anwender instanziiert wurde (Regel R5).
- Eine *Systemressource* ist vom Konzept *Maschine*, wenn der Anwender Relationen zu Instanzen vom Konzept *Vorgang* instanziiert hat (Regel R6).

6.2.5.3 *Kalkulation von Attributwerten*

Eine Kalkulationsregel definiert eine in der Domäne immer geltende kalkulatorische Abhängigkeit zwischen Attributwerten und Relationen. Sie ermöglicht einfache mathematische Berechnungen von Attributwerten über eine, fest im Wissensmodell hinterlegte Logik. Diese Berechnungen finden, wie die Schlussfolgerung über andere Regeln, zum Zeitpunkt der Anfrage statt. So können Anfragen an Attributwerte beantwortet werden, auch wenn sie weder durch Anwender definiert noch durch die externe Anwendungslogik im System berechnet werden.

- Der Wert des Attributes *Anzahl erstellter Informationsobjekte* für *Personen* wird automatisch aus der Relation *Ersteller* hergeleitet (Regel R7).

- Der Wert des Attributes *Verfügbarkeit* für eine *Maschine* wird aus der mittleren Reparaturdauer (*MTTR*) und dem mittleren Ausfallabstand (*MTBF*) berechnet (Regel R8).¹⁸

Alle Regeltypen lassen sich im hier vorgestellten Systemkonzept über die graphische Benutzeroberfläche eingeben und werden von dort in die semantische Middleware transferiert (siehe Abschnitt 5.2.3).

6.2.6 Semantik der Konzepte im Basismodul

Die Bedeutung aller Konzepte des Basismoduls wurde in den vorherigen Abschnitten skizziert und ist zusätzlich in einem semi-formalen Glossar dokumentiert (siehe Anhang 12). Dieses dient dem gemeinsamen Verständnis der Wissens Elemente im System durch Entwickler und Anwender. Die Grundlagen für die in dieser Arbeit gültigen Definitionen bilden bestehende Ontologien aus der Produktionsdomäne wie MASON und ADACOR (siehe Abschnitt 4.2.1.1), Softwaresysteme in der Produktion, Experten-Interviews, Handbücher und Enzyklopädien der Produktionswirtschaft, wissenschaftliche Veröffentlichungen sowie Standards und Richtlinien.

6.3 Schnittstellenmodul für die semantische Datenintegration

Datenobjekte aus der produktionsnahen IT werden in das Wissensmanagementsystem transferiert und im System mit den Referenzobjekten und den durch Anwender eingegebenen Informationsobjekten verknüpft. Das in diesem Abschnitt vorgestellte Schnittstellenmodul bildet die Vorlage für die Realisierung von systemspezifischen Datenadaptern, welche diese Übertragung und Transformation aus produktionsnahen IT-Systemen durchführen.

¹⁸ MTTR und MTBF können wiederum durch Kalkulationsregeln berechnet werden oder manuell durch den Anwender im System spezifiziert werden.

Abschnitt 6.3.1 beschreibt die Funktionsweise des Schnittstellenmoduls. Im Anschluss wird die Verknüpfung der übertragenen und transformierten Datenobjekte im System am Beispiel dargestellt (Abschnitt 6.3.2).

6.3.1 Semantische Annotation der Datenobjekte aus der produktionsnahen IT

Wie in Abschnitt 0 dargestellt, sind Datenobjekte wie Rezepte und Reports von den Systemen der Fertigungsebene oder von den Systemen der Fertigungsleitebene an das Wissensmanagementsystem zu transferieren. Die Datenobjekte sind im industriellen Umfeld über proprietäre Schnittstellen oder über Standards zur Anlagenintegration wie OPC, SEMI SECS/GEM, PV-2 verfügbar (siehe Abbildung 6-10, Abschnitt 2.2.3 und Abschnitt 0).

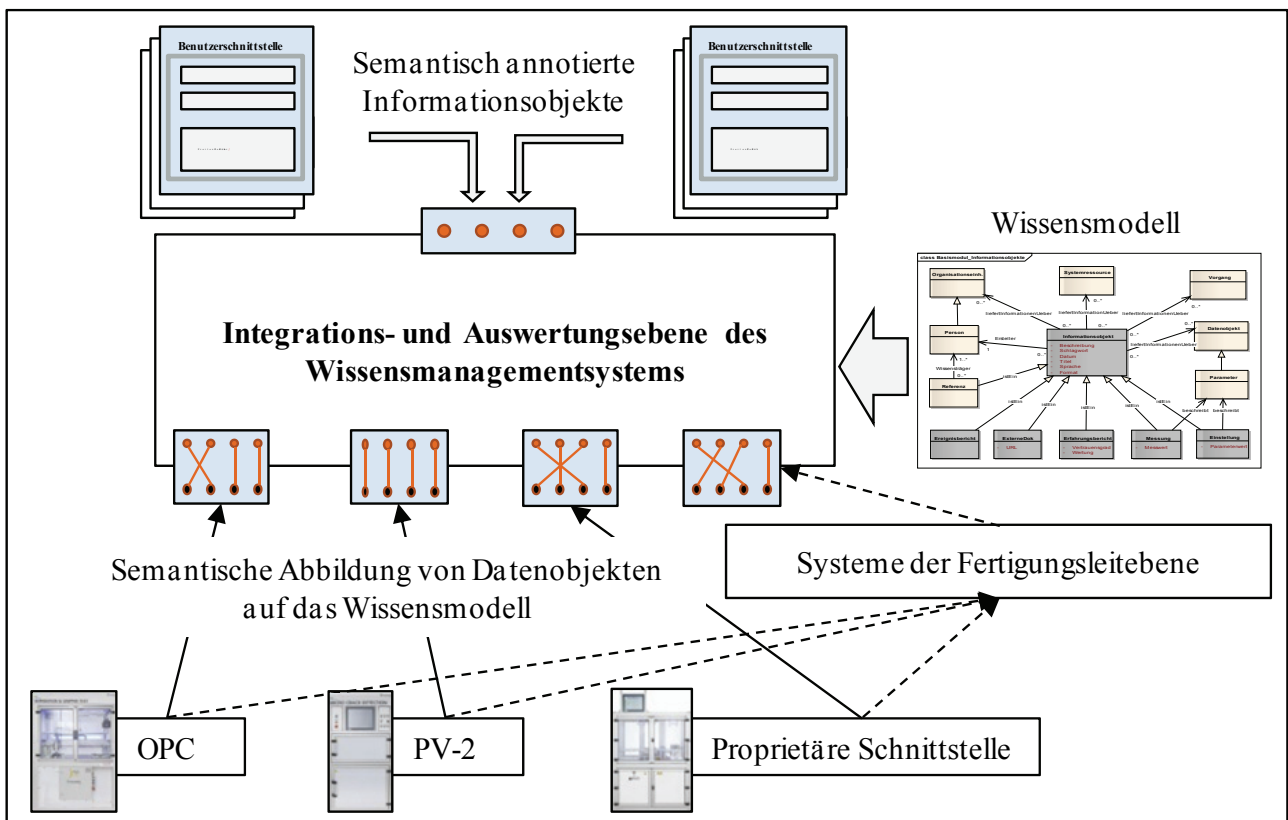


Abbildung 6-10: Übertragung und Verknüpfung der Datenobjekte aus der produktionsnahen IT

Zur semantischen Integration in das Wissensmanagementsystem sind diese Datenobjekte in das in Abschnitt 6.1 und Abschnitt 6.2 realisierte Wissensmodell zu transformieren. Dies bedeutet, dass die zu transferierenden Datensätze mit Metadaten aus der Menge der Konzepte, Attribute und Relationen des Wissensmodells annotiert und über Relationen mit den Referenzobjekten des Produktionssystems verknüpft werden. Da die durch Anwender im Semantischen Wiki-System eingegebenen Informationsobjekte ebenfalls mit den standardisierten Metadaten aus dem Wissensmodell annotiert sind, werden Objekte aus beiden Quellen semantisch in Beziehung gesetzt.

6.3.1.1 Aufbau der Triple

Zur semantischen Annotation und Übertragung an das Wissensmanagementsystem werden die Datenobjekte aus der produktionsnahen IT in Triple umgewandelt, welche die Grundlage des SPARQL/UL Semantic Web Standards bilden (siehe Abschnitt 4.2.1.2). Ein Triple ist ein 3-Tupel bestehend aus einem Subjekt (S), einem Prädikat (P) und einem Objekt (O):

$$T(S, P, O) \text{ mit } S, O \in \{K, I\}, P \in \{R, A, RD\} \quad (\text{F7})$$

Subjekt und Objekt in jedem Triple stammen aus der Menge der Konzepte (K) oder der Menge der Instanzen (I) in der Wissensbasis. Prädikate werden im Schnittstellenmodul aus der Menge der im Wissensmodell spezifizierten Relationen (R) und Attribute (A) oder aus vordefinierten RDF(S)-, OWL- oder ObjectLogic-Axiomen (RD) gewählt.¹⁹

Um Datenobjekte aus der Produktions-IT in das Wissensmodell zu transformieren, sind diese mit bestehenden Konzepten im Wissensmodell zu annotieren und Attribute

¹⁹ Die Semantik dieser Axiome muss durch die semantische Middleware unterstützt werden.

und Relationen für diese zu erzeugen. Die Annotation eines Datenobjektes i als Instanz eines Konzeptes k geschieht dabei mittels des RDF-Axioms *rdf:type*:

$$(i, \text{rdf:type}, k) \text{ mit } i \in I, k \in K \quad (\text{F8})$$

Zudem kann der Wert w eines Attributes a mit einer Einheit e für eine Instanz i ebenfalls mittels eines Triples gesetzt werden (siehe Formel F9).²⁰ Die Datentypen, mögliche Einheiten mit Umrechnungsregeln und erlaubte Werte sind bereits Teil der Attributdefinition im Wissensmodell und müssen bei der Datenübertragung aus der Produktions-IT nicht angegeben werden.

$$(i, a, w \wedge e) \text{ mit } i \in I, a \in A \quad (\text{F9})$$

Darüber hinaus kann eine Relation r zwischen zwei Instanzen i_1 und i_2 instanziiert werden (siehe Formel F10). Hierdurch lassen sich Abhängigkeiten zwischen Datenobjekten und zwischen Datenobjekten und Referenzobjekte realisieren.

$$(i_1, r, i_2) \text{ mit } i_1, i_2 \in I, r \in R \quad (\text{F10})$$

Jedes im Triple definierte Konzept, Attribut, Relation oder Instanz kann über einen Unified Resource Indicator (URI) eindeutig identifiziert werden (siehe Abschnitt 4.2.1.2). Die Verwendung von URIs sichert die semantische Eindeutigkeit der Objekte im Wissensmanagementsystem. Durch die Verwendung eines von der Organisation kontrollierten Präfixes als URI-Namensraum kann darüber hinaus eine weltweite Eindeutigkeit sichergestellt werden.

²⁰ Komplexe Attribute sind in Triple aufzuteilen oder mittels n-stufiger Eigenschaften zu realisieren.

6.3.1.2 Synthese der Triple durch das Schnittstellenmodul

Die Transformation der Datensätze in Triple erfolgt im Schnittstellenmodul durch den Triple-Generator (siehe Abbildung 6-11). Dieser soll durch den Anwender bei der Entwicklung der Schnittstelle und bei der Anpassung des Wissensmodells konfigurierbar sein. Deshalb erfolgt die Transformation von dem systemspezifischen Datenmodell hin zum standardisierten Wissensmodell anhand einer durch den Anwender konfigurierbaren Mapping-Tabelle.

Die Mapping-Tabelle unterstützt die folgenden Funktionen:

- Spezifikationen der Präfixe für die Konzepte, Attribute, Relationen und Instanzen im Wissensmanagementsystem
- Mapping der Klassen des externen Datenmodells auf die Konzepte des Wissensmodells
- Mapping der Eigenschaften des externen Datenobjektes auf die Attribute oder Relationen der Konzepte im Wissensmodell

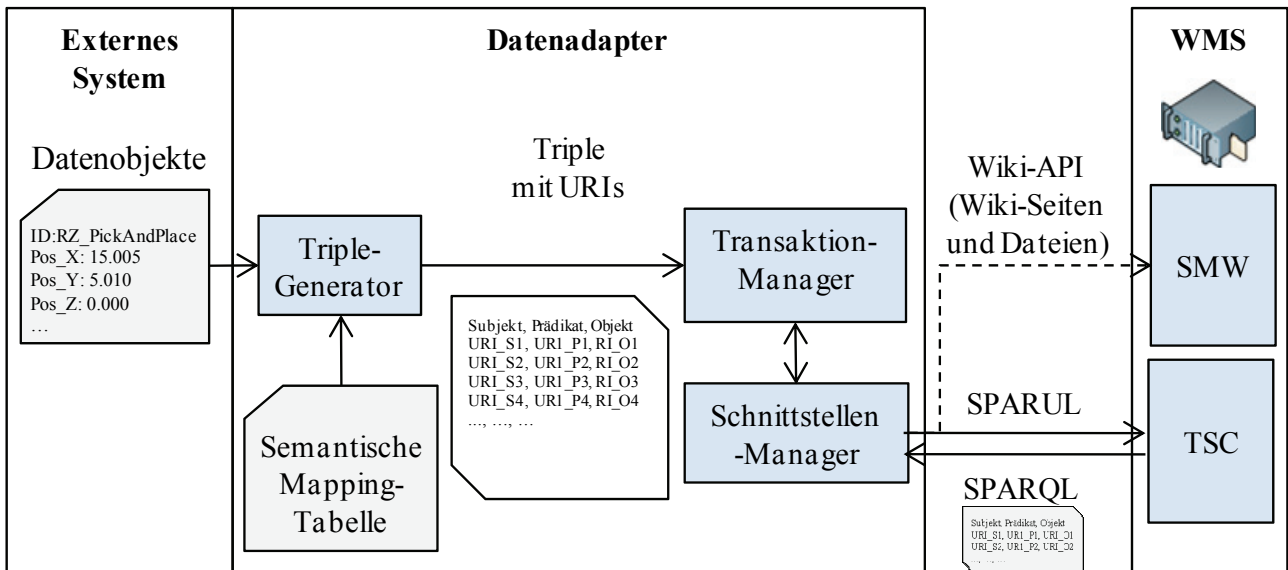


Abbildung 6-11: Transformation und Übertragung von Datenobjekten aus der Produktions-IT

6.3.1.3 Transfer der Triple in das Wissensmanagementsystem

Nach der Erstellung der Triple erfolgt deren Transfer in das Wissensmanagementsystem durch den Transaktions-Manager (siehe Abbildung 6-11). Für in hoher Quantität vorkommende Datenobjekte aus der Produktions-IT wie Rezepte und Reports bettet dieser die erzeugten Triple in SPARUL Kommandos ein und sendet diese an den ‚Triple Store Connector‘ (TSC) des Wissensmanagementsystems. Die Verbindung zum TSC wird durch den Schnittstellen-Manager aufgebaut und basiert auf ‚Representational State Transfer‘ (REST) Webservices.

Zusätzlich zur Nutzung der SPARUL-Schnittstelle können Daten über die MediaWiki-API versendet werden [MediaWiki 2012]. Hierbei werden Instanzen in Form von Wiki-Seiten kodiert und ebenfalls mit den Metadaten des Wissensmodells annotiert. Diese Seiten werden dann direkt in die Wiki-DB eingespeist und in die semantische Middleware übertragen. Diese alternative Vorgehensweise erlaubt die Modifizierung der automatisch generierten Wiki-Seiten durch den Anwender, aber auch die Modifizierung bestehender Seiten durch das Schnittstellenmodul. Hierdurch können Inhalte zwischen der externen Anwendung und dem Wissensmanagementsystem synchronisiert werden. Zudem erlaubt die MediaWiki-API den Transfer von Dateien in das Wissensmanagementsystem. Diese Schnittstelle ist jedoch nur für Daten mit geringerer Quantität geeignet, um die Übersichtlichkeit und die Performance des Gesamtsystems zu gewährleisten.²¹

Neben dem Transfer von Daten in das Wissensmanagementsystem ermöglicht der Transaktions-Manager auch Anfragen an das System. Diese werden verwendet, um

²¹ Jedes über das MediaWiki-API transferierte Datenobjekt entspricht auf Grund des Wiki-Paradigmas einer Seite in der SMW-Benutzeroberfläche. Über die SPARUL-Schnittstelle transferierte Datenobjekte werden hingegen ausschließlich in der semantischen Middleware bewahrt und nur bei Bedarf auf dynamischen Wiki-Seiten angezeigt.

aus verteilten Systemen zu übertragende Datenobjekte mit im Wissensmanagementsystem eindeutigen und deshalb dort generierten Bezeichnern zu versehen.

6.3.2 Verknüpfung der Datenobjekte mit Informationsobjekten

Im vorliegenden Abschnitt wird ein Szenario für die Verknüpfung eines Datenobjektes aus der Produktions-IT mit den Referenzobjekten des Produktionssystems und damit mit den im System bewahrten Informationsobjekten geschildert (Abbildung 6-12).

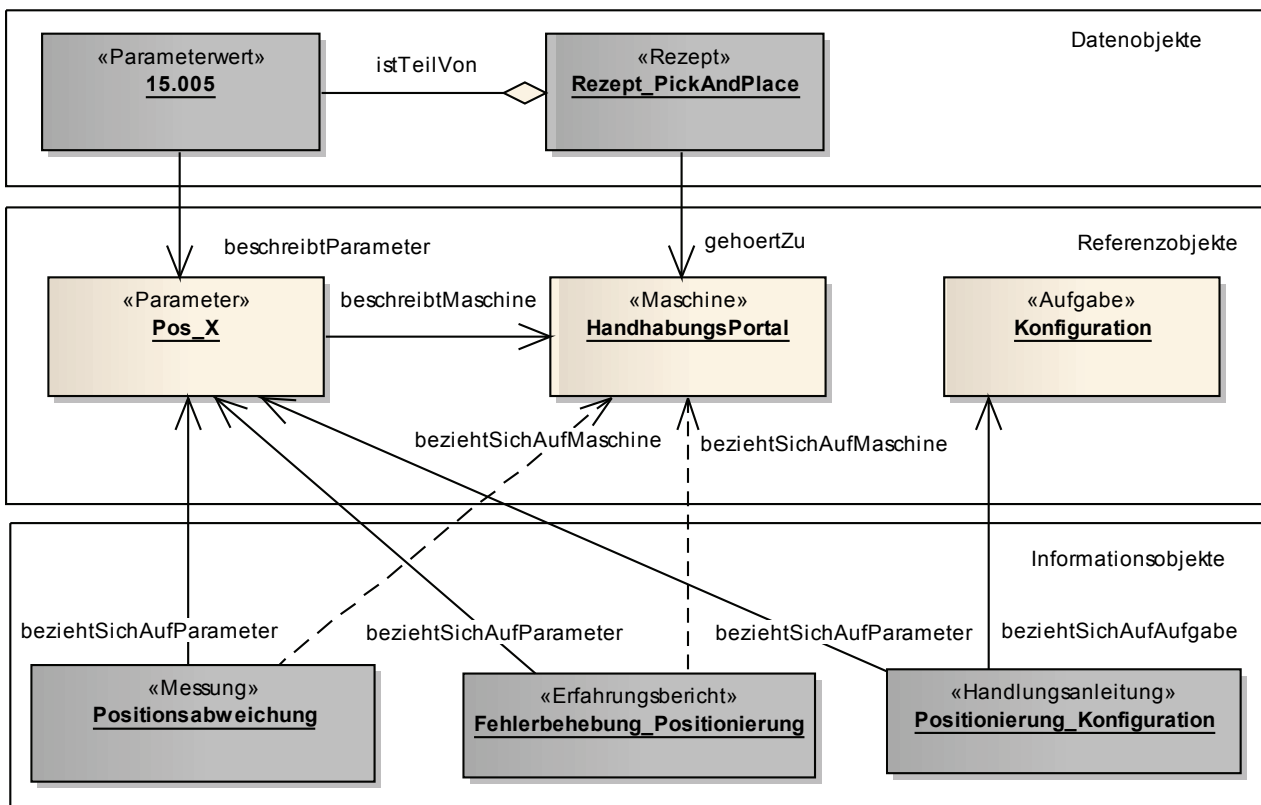


Abbildung 6-12: Verknüpfung eines übertragenen Rezepts mit Referenz- und Informationsobjekten

Es wird ein Rezept mit dem Bezeichner *Rezept_PickAndPlace* an das Wissensmanagementsystem übertragen. Es enthält einen Parameterwert *15.005* für den Parameter *Pos_X*. Durch das Schnittstellenmodul wird *Rezept_PickAndPlace* als Instanz des Konzepts *Rezept* annotiert, für welches Attribute und Relationen im

Wissensmodell definiert sind. Der Parameterwert *15.005* wird angelegt und mittels der Relation *istTeilVon* verknüpft. Durch das semantische Schnittstellenmodul werden zudem die Relation *beschreibtParameter* zwischen dem Parameterwert und dem Parameter *Pos_X* sowie die Relation *gehörtZu* zwischen dem Rezept und der Maschine *Handhabungsportal* instanziiert.

Im System liegen bereits Informationsobjekte vor. Im abgebildeten Szenario sind dies die Handlungsanleitung *Positionierung_Konfiguration* und der Erfahrungsbericht *Fehlerbehebung_Positionierung*, welche über eine Relation mit den Parameter *Pos_X* verknüpft sind. Darüber hinaus wird während der Produktionsausführung von Mitarbeitern eine Messung *Positionsabweichung* erzeugt, welche eine Abweichung des Parameterwerts vom ursprünglichen Planungswert dokumentiert. Diese Messung wird durch den Anwender mittels der Relation *beziehtSichAufParameter* mit dem Parameter *Pos_X* verknüpft.

Durch die im Basismodul hinterlegten Regeln werden bei Anfrage an das System weitere Relationen instanziiert (siehe Abschnitt 6.2.5). So wird über definierte Eigenschaftsketten die Relation *beziehtSichAufMaschine* zwischen der Messung *Positionsabweichung* und dem *Handhabungsportal* abgeleitet (gestrichelte Linie).

Durch diese zum Teil vom Anwender, zum Teil vom Schnittstellenmodul und zum Teil durch Regeln erzeugten Relationen sind die semantischen Beziehungen zwischen den Objekten im Wissensmanagementsystem für den Anwender transparent einsehbar und es werden semantische Suchen und Auswertungen ermöglicht.

6.4 Zusammenfassung

Innerhalb des in Kapitel 5 konzipierten Lösungskonzepts für Wissensmanagementsysteme in wandlungsfähigen Produktionssystemen spielt das Wissensmodell eine zentrale Rolle. Das in diesem Abschnitt entworfene erweiterbare

Modell bildet die Grundlage für die Entwicklung von organisationsspezifischen Wissensmodellen. Mit dem Basismodul werden die grundlegenden Konzepte, Attribute, Relationen und Regeln für das Wissensmanagement in wandlungsfähigen Produktionssystemen zur Verfügung gestellt. Des Weiteren bietet das Konzept den Rahmen für den Aufbau von modularen und wiederverwendbaren Erweiterungsmodulen. Durch die im Systemkonzept vorgesehenen Dienste kann dieses in der Nutzungsphase flexibel angepasst und erweitert werden (siehe Abschnitt 5.2.3).

Aufbauend auf diesem Wissensmodell wurde ein semantisches Schnittstellenmodul für die Übertragung von Datenobjekten aus den Systemen der Produktions-IT an das Wissensmanagementsystem realisiert. Durch die Transformation der Datenobjekte in 3-Tupel und der Annotation mit den Metadaten aus dem Wissensmodell werden die Datenobjekte mit den Referenzobjekten und Informationsobjekten im Wissensmanagementsystem verknüpft. Dies ermöglicht eine flexible Identifikation, Bewahrung und Nutzung durch die Mitarbeiter in wandlungsfähigen Produktionssystemen.

Das Wissensmodell und das Schnittstellenmodul bilden zusammen mit der in Kapitel 5 vorgestellten Systemarchitektur die Basis für die Entwicklung von Wissensmanagementsystemen in KMU. Jedoch sind diese Modelle für den Einsatz in Produktionsunternehmen anzupassen und zu erweitern. Die Vorgehensweise sowie die für KMU geeigneten Methoden und Werkzeuge sind hier zu definieren.

7 Vorgehensmodell für die Entwicklung, Einführung und Nutzung von Wissensmanagementsystemen

Für die praktische Umsetzung des Lösungskonzepts in produzierenden KMU wird ein Vorgehensmodell als Leitfaden benötigt. Dieses wird im vorliegenden Kapitel entwickelt, ist spezifisch für die Umsetzung der in Kapitel 5 präsentierten Systemkonzeption ausgelegt und basiert auf den im Stand der Technik (Abschnitt 4.3) untersuchten Modellen, Methoden und Werkzeugen für die Systementwicklung.

Die in Kapitel 3 erläuterten spezifischen Rahmenbedingungen und Anforderungen in KMU werden durch das Vorgehensmodell wie folgt berücksichtigt:

- Den Ausgangspunkt für die Gestaltung eines organisationsspezifischen Systems bildet die Analyse der unternehmensspezifischen Prozesse und Aufgaben in der Produktion (*Anforderung E1*).
- Bei der Entwicklung des Systems werden die in Kapitel 6 vorgestellten wiederverwendbaren Module des Wissensmodells und des Schnittstellenmoduls genutzt (*Anforderung E2*).
- Wie von [Bullinger u. a. 1997, S. 44] propagiert, sieht das Vorgehensmodell eine schrittweise Entwicklung und Einführung des Systems vor (*Anforderung E3*).
- Für die einzelnen Aktivitäten werden für KMU geeignete, einfache Methoden und Werkzeuge referenziert (*Anforderung E4*).

Bei der Auswahl der Methoden und Werkzeuge werden ihre schnelle Erlernbarkeit durch Mitarbeiter in der Produktion und ihre Einsatzmöglichkeit in einem iterativen Entwicklungsprozess berücksichtigt. Aus diesen Gründen sind einfache und bekannte Methoden und Werkzeuge gegenüber Spezialwerkzeugen aus dem Bereich der Wissensrepräsentation vorzuziehen, falls beide die funktionalen Anforderungen erfüllen. Darüber hinaus sollten die referenzierten Methoden und

Werkzeuge die iterative Einführungsstrategie durch die Vermeidung von Medienbrüchen unterstützen.

Im folgenden Abschnitt wird zunächst der Aufbau des Vorgehensmodells dargestellt. Im Anschluss werden die einzelnen Aktivitäten und die für diese geeigneten Methoden und Werkzeuge beschrieben.

7.1 Aufbau des Vorgehensmodells

Das hier vorgestellte Vorgehensmodell unterscheidet in Anlehnung an klassische Modelle der Softwareentwicklung (siehe Abschnitt 4.2.4) die Phasen *Projektbegründung*, *Analyse*, *Entwurf* sowie *Implementierung und Test* (siehe Abbildung 7-1). Zudem wird die *Einführung und Anpassung* des Wissensmanagementsystems als zusätzliche Phase berücksichtigt, da insbesondere in wandlungsfähigen Produktionssystemen regelmäßige Anpassungen am System stattfinden (siehe Abschnitt 0) und systematisch zu unterstützen sind.

In jeder der fünf Phasen sind Aktivitäten erforderlich, welche in den folgenden Abschnitten vorgestellt werden. Für jede Aktivität werden die Teilaktivitäten, das zu erstellende Ergebnis, die anzuwendenden Methoden und Werkzeuge sowie die für die Durchführung verantwortlichen Personen beschrieben. Dabei wird zwischen dem hauptverantwortlichen Projektleiter, den späteren Hauptanwendern des Systems, den Endanwendern und IT-Spezialisten für Softwareentwicklungstätigkeiten unterschieden.

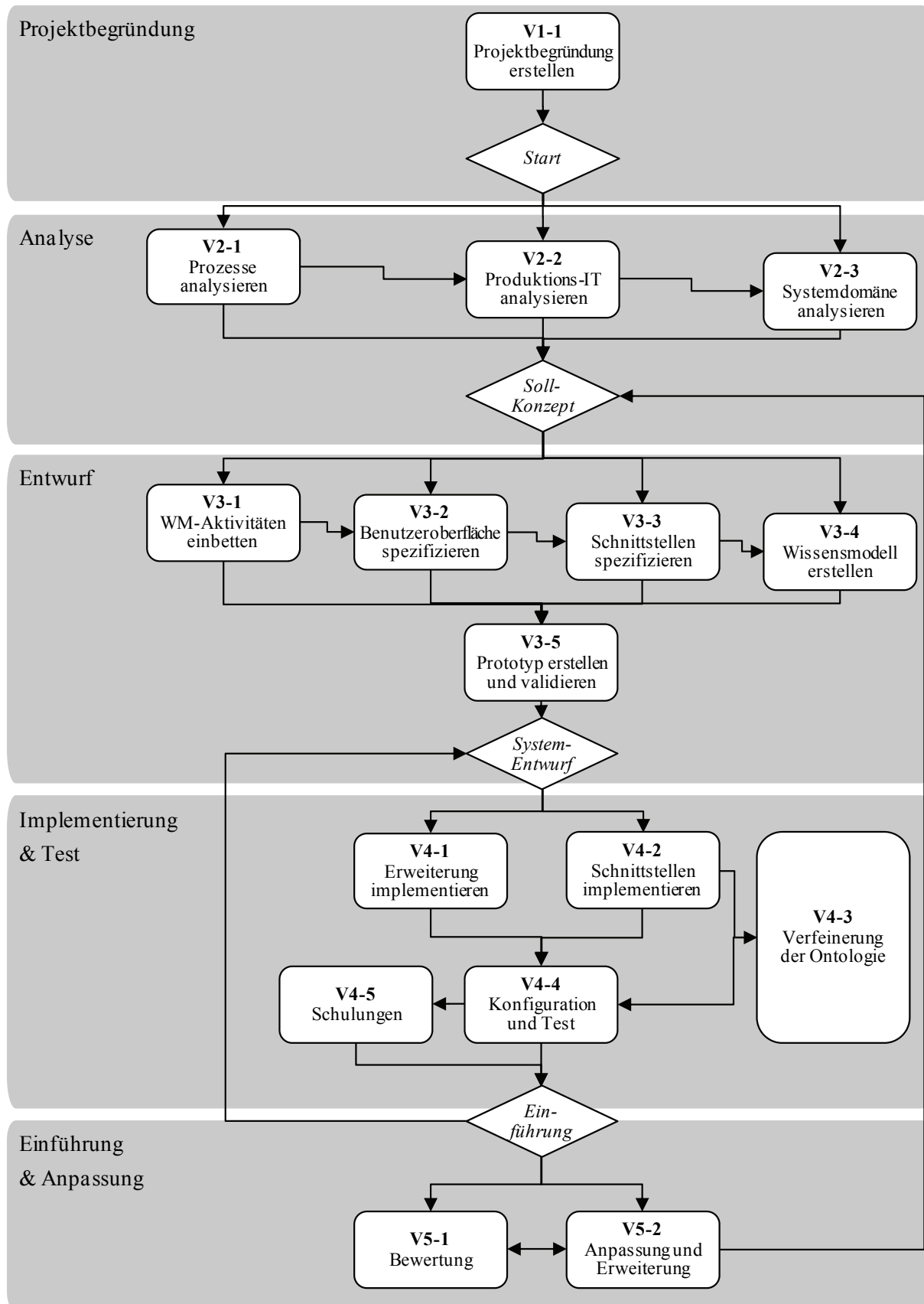


Abbildung 7-1: Vorgehensmodell für semantische Wissensmanagementsysteme

7.2 *Erstellung der Projektbegründung*

In der ersten Phase wird der Systementwicklungsprozess durch die Erstellung einer **Projektbegründung (V1-1)** vorbereitet, welche als Entscheidungsgrundlage für den Projektstart dient. Hierzu werden mögliche, durch das Wissensmanagementsystem zu unterstützende Geschäftsprozesse und Aufgaben im produzierenden Unternehmen identifiziert. Für diese Prozesse werden Anwendungsfälle für das Wissensmanagementsystem skizziert, die Nutzen für die Mitarbeiter in der Produktion versprechen.

Die Identifikation der Prozesse und Anwendungsfälle geschieht über Interviews und Arbeitskreise mit Experten aus der Produktion, Planung und Entwicklung. Die Anwendungsfälle werden in Textdokumenten und in UML-Anwendungsfall-Diagrammen (engl. ‚Use Case‘) beschrieben [OMG 2012] und später in der Analyse-Phase weiter ausgearbeitet. Anhand der Anwendungsfälle werden während der Projektbegründung die zu betrachtende Wissensdomäne und damit der Umfang des Wissensmodells eingegrenzt. Diese Abgrenzung beschreibt in Anlehnung an die in Abschnitt 4.3.2 dargestellte METHONTOLOGY-Methode [Fernandez 1997] die folgenden Aspekte:

- Betrachtetes Produktionssystem (Wissensdomäne)
- Zielsetzung des Wissensmanagementsystems in der Produktion
- Umfang des abzubildenden Domänenwissens und Informationsquellen zur Erstellung des Wissensmodells

Zudem wird in der ersten Phase des Vorgehensmodells ein Projektplan erstellt, ein Projektteam gebildet sowie eine kurze schriftliche Projektbegründung verfasst, welche als Grundlage für den Start des eigentlichen Entwicklungsprojektes dient.

V1-1: Erstellung der Projektbegründung	Projektleiter, Hauptanwender
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Projektinitialisierung	<ul style="list-style-type: none"> • Interviews & Arbeitskreise • UML-Anwendungsfall-Diagramm • METHONTOLOGY
Geschäftsprozesse und Anwendungsfälle identifizieren	
Abgrenzung des Wissensmodells	
Projektplan, Projektteam und Projektbegründung	
Ergebnis: Projektbegründung	

7.3 Analyse der organisationsspezifischen Anforderungen

Nach der Entscheidung zugunsten der Durchführung des Projektes werden in der ersten Phase, der Analyse-Phase, die Produktionsdomäne im Unternehmen analysiert sowie ein Soll-Konzept für das Wissensmanagementsystem in der Produktion erstellt. Hierzu werden die zu unterstützenden Geschäftsprozesse und Aufgaben (V2-1), die bestehenden IT-Systeme in der Produktion (V2-2) sowie die Wissensdomäne des Systems (V2-3) im Detail analysiert. Die Ergebnisse der Analysephase bilden zusammen das Soll-Konzept.

Bei der **Analyse der Geschäftsprozesse (V2-1)** werden die durch das Wissensmanagementsystem zu unterstützenden Geschäftsprozesse im Produktionsumfeld untersucht und beschrieben. Für jeden Geschäftsprozess werden die Akteure, ihre Aufgaben und die für sie relevanten Informationsobjekte identifiziert. Die Durchführung der Analyse kann zum einen durch die CommonKADS Modelle

[Schreiber u. a. 2000] als spezialisierte Werkzeuge aus dem Bereich der Wissensrepräsentation unterstützt werden (siehe Abschnitt 4.2.4). Empfehlenswert für die Anwendung in KMU ohne Expertise für den Einsatz von CommonKADS Modellen ist hingegen die Verwendung von erweiterten Ereignisgesteuerten Prozessketten (eEPK) [Keller u. a. 1992; Scheer 2002]. Mit eEPKs werden Funktionen, Ereignisse, Organisationseinheiten und Datenelemente in Geschäftsprozessen in einem einfachen Flussdiagramm modelliert. Die Modellierung von eEPK wird durch verbreitete Werkzeuge wie Microsoft Visio, Microsoft Powerpoint oder kostenlosen Modellierungswerkzeugen wie ARIS Express unterstützt [Software AG 2012] und ist in Praxis und Lehre verbreitet. Für die vorliegende Arbeit wird die eEPK-Notation um im Basismodul definierte Informationsobjekte wie Erfahrungsberichte, Handlungsanleitungen und Messungen erweitert (siehe Abschnitt 6.2). Die Symbole sind anhand eines einfachen Beispiels in Abbildung 7-2 dargestellt.

Basierend auf den EPK werden Verbesserungspotentiale bei der Identifikation, Verteilung und Bewahrung von Informationsobjekten identifiziert und beschrieben.

V2-1: Analyse der Geschäftsprozesse	Projektleiter, Hauptanwender
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Analyse der Aufgaben und Akteure für die Geschäftsprozesse in der Produktion	<ul style="list-style-type: none"> • Erweiterte Ereignisgesteuerte Prozesskette (eEPK)
Informationsobjekte identifizieren	
Beschreibung der Verbesserungspotentiale	
Ergebnis: Geschäftsprozessanalyse	

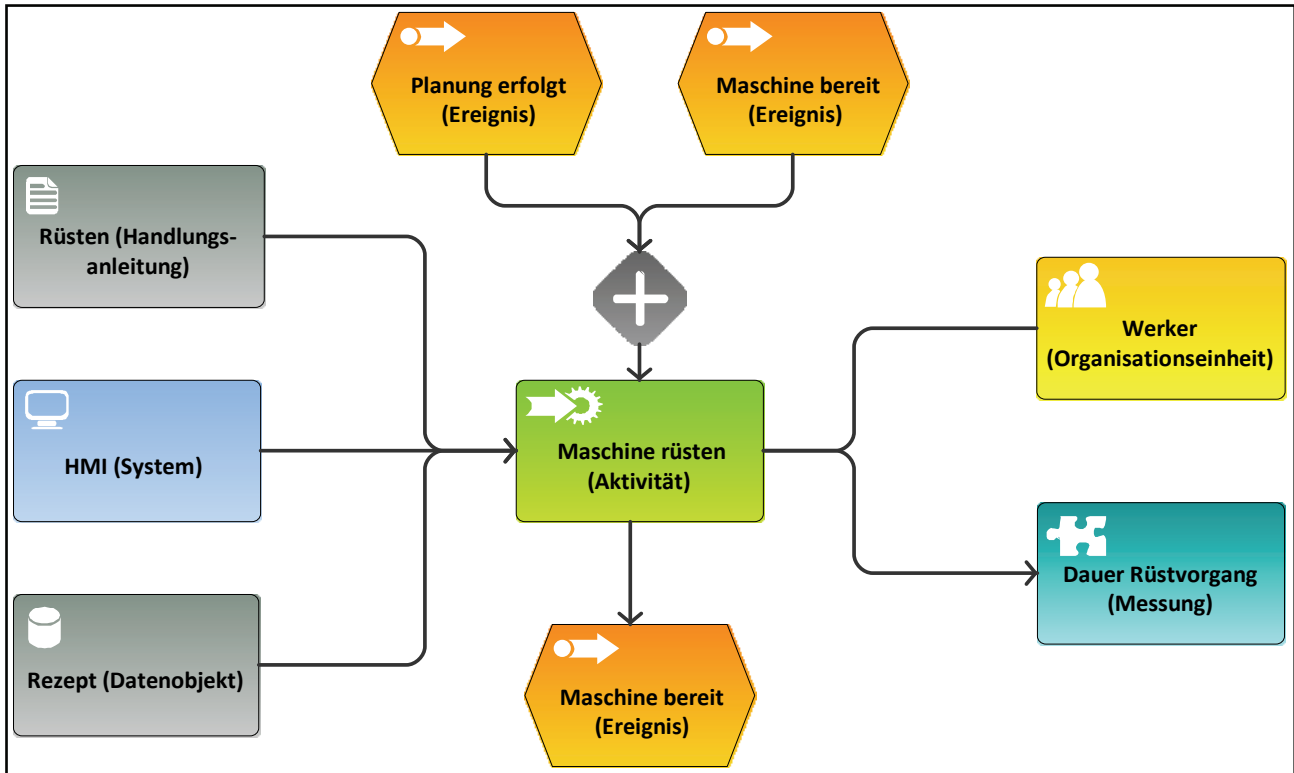


Abbildung 7-2: Erweiterte Ereignisgesteuerte Prozesskette für Prozessausschnitt (erstellt in ARIS Express [Software AG 2012])

Für das betrachtete Produktionssystem werden im Zusammenspiel mit der Analyse der Geschäftsprozesse und Aufgaben (V2-1) die existierenden Systeme der **Produktions-IT untersucht (V2-2)**. Zur Durchführung der Analyse werden die IT-Systeme auf der Fertigungsebene, der Fertigungsleitebene sowie der Unternehmensleitebene betrachtet. Hierbei sollen die Datenobjekte identifiziert werden, die den Mitarbeitern in der Produktion im Zusammenspiel mit den Informationsobjekten wertvolle Zusatzinformationen bei der Durchführung ihrer Prozesse und Aufgaben bieten.

Die Aktivität wird in enger Abstimmung mit V2-1 durchgeführt: Einerseits können identifizierte Verbesserungspotentiale in den Geschäftsprozessen durch die Bereitstellung von Datenobjekten aus der Produktions-IT beseitigt werden. Andererseits kann die Analyse der verfügbaren IT-Systeme und Datenobjekte

zusätzliche Verbesserungspotentiale durch das Wissensmanagementsystem aufdecken. Zur Modellierung wird deshalb das eEPK Modell erweitert. Darüber hinaus werden Spezifikationen der Schnittstellen und der einzelnen Datenobjekte erstellt. Die Aktivität resultiert in einer priorisierten Liste möglicher Schnittstellen zwischen dem Wissensmanagementsystem und den produktionsnahen IT-Systemen im Unternehmen.

V2-2: Analyse der Produktions-IT	Projektleiter, Hauptanwender, IT-Spezialist
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Für Geschäftsprozesse relevante IT-Systeme analysieren	<ul style="list-style-type: none"> • eEPK • Spezifikation der Schnittstellen und Datenobjekten
Zu transferierende Datenobjekte spezifizieren	
Ergebnis: Schnittstellen und Datenobjekte	

Bei der **Analyse der Systemdomäne (V2-3)** wird das Wissen im betrachteten Produktionssystem in einem semi-formalen Modell abgebildet. Als Grundlage dient das in dieser Arbeit vorgestellte Basismodul für das Wissensmanagement in wandlungsfähigen Produktionssystemen (Abschnitt 6.2). In einem ersten Schritt erfolgt eine Validierung dieses Moduls für den vorliegenden Anwendungsfall. Für die anschließende Erweiterung des Modells werden durch die Mitarbeiter in der Produktion komplementäre Konzepte der Domäne auf Basis der folgenden Informationsquellen identifiziert:

- Wissensbedarfe und intern und extern verfügbare Wissensquellen für die Geschäftsprozesse (siehe V2-1) und
- Datenobjekte aus der Schnittstellenspezifikation (siehe V2-2)

- Weitere bestehende interne und externe Informationsobjekte für Mitarbeiter in der Produktion

Im Anschluss findet nach dem in Abschnitt 6.1 definierten konzeptionellen Aufbau des Wissensmodells eine Definition der benötigten Erweiterungsmodule statt. Diese erweitern das in dieser Arbeit erstellte Basismodul um drei Dimensionen (siehe Abbildung 7-3):

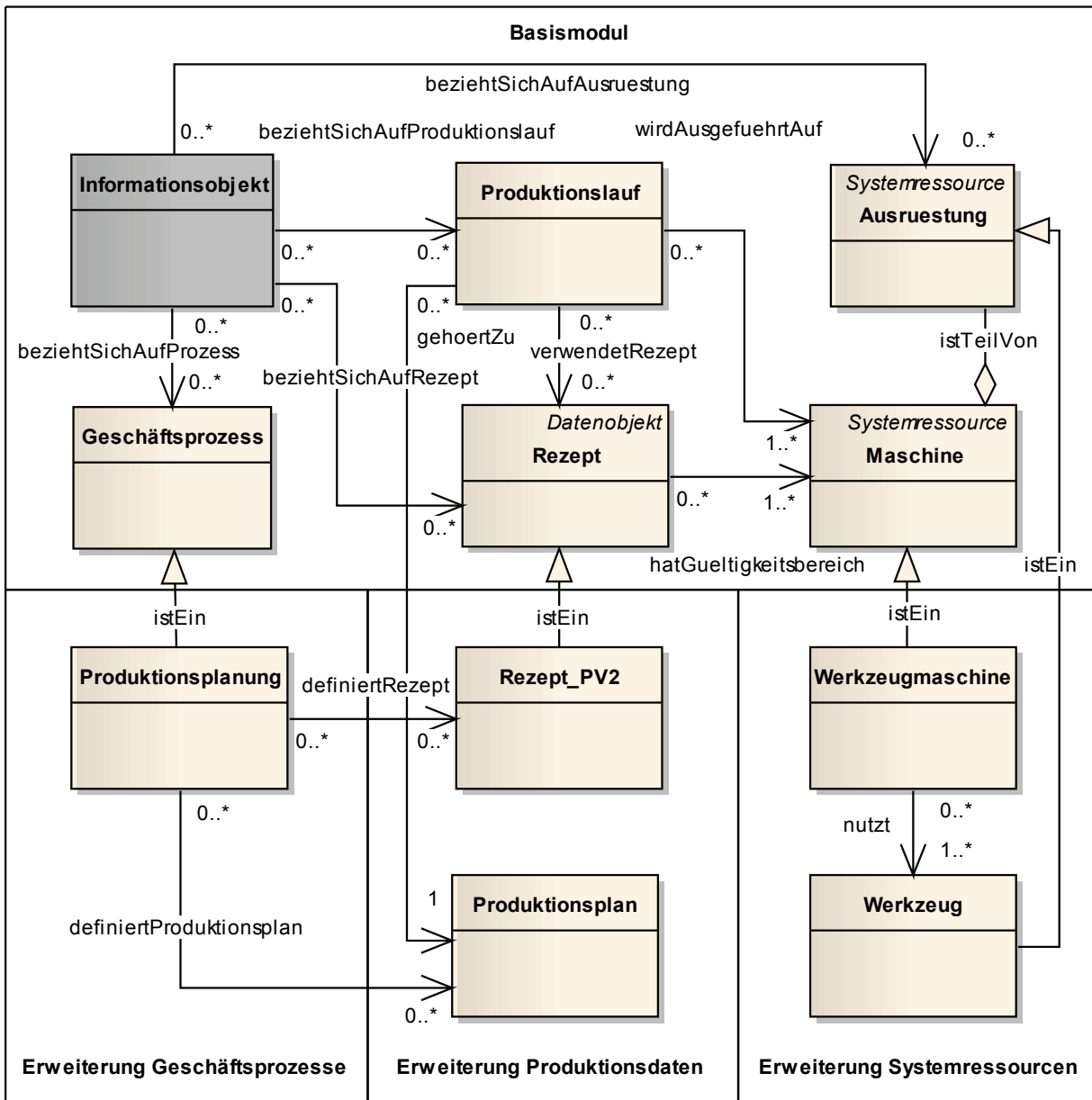


Abbildung 7-3: Exemplarische Erweiterung des Basismoduls

In Bezug auf die Systemressourcen im Produktionssystem werden die bestehenden Konzepte im Basismodul spezialisiert (Beispiel: Werkzeugmaschine als Unterkonzept von Maschine), durch zusätzliche Attribute ergänzt und über semantische Relationen mit weiteren Konzepten in Beziehung gesetzt. Diese neuen Elemente werden, je nach Komplexität des abzubildenden Produktionssystems, in einem oder mehreren Modulen vom Typ *Systemressourcen* gruppiert.

In Bezug auf Produktionsdaten werden die bestehenden Konzepte des Basismoduls modifiziert (Beispiel: Spezialisierung von Rezept in Bezug auf den PV2-Standard) sowie zusätzliche Konzepte zur Repräsentation von Datenobjekten aus der Produktions-IT definiert (Beispiel: Produktionsplan). Diese Elemente werden einem oder mehreren Modulen vom Typ *Produktionsdaten* zugewiesen.

In Bezug auf die zu unterstützenden Geschäftsprozesse werden Referenzobjekte und Informationsobjekte zu deren Repräsentation im Wissensmodell ergänzt (Beispiel: Prozess der Produktionsplanung). Diese werden über Relationen zu Konzepten des Basismoduls und der anderen Erweiterungsmodule in Beziehung gesetzt. Diese Elemente werden in einem oder mehreren Modulen vom Typ *Geschäftsprozesse* erfasst.

Die Erweiterungsmodule sollen möglichst in sich geschlossen sein. Abhängigkeiten zwischen den Erweiterungsmodulen sind zu vermeiden oder möglichst auf einer hohen Hierarchieebene anzulegen. Dies unterstützt die angestrebte Austauschbarkeit und Wiederverwendbarkeit der Module.

Die gemeinsam erarbeiteten Definitionen für alle Konzepte des Wissensmodells werden in einem Glossar dokumentiert, welches durch Wiki-Seiten innerhalb eines SMW-Systems realisiert wird. Diese Art der Umsetzung erlaubt den späteren Export der Konzepte in eine Ontologie. In dieser Phase werden die Hauptanwender bereits in

die Standard-Funktionen eines SMW-Systems eingeführt, welche einen Teil der späteren Benutzeroberfläche des Wissensmanagementsystems bilden.

Die detailliertere Modellierung der Konzepte, Attribute und Relationen des organisationsspezifischen Wissensmodells erfolgt, wie in Abschnitt 6.2 illustriert, in einem UML-Domänenmodell [OMG 2012]. Dies ermöglicht eine Modellierung der semantischen Relationen in einer weit verbreiteten und gut visualisierbaren Art und Weise. Alternativ können semantische Mindmaps verwendet werden, welche ebenfalls eine intuitive Modellierung erlauben (siehe Abschnitt 4.2.1.1). Auf Basis der spezifizierten Konzepte, Attribute und Relationen werden zudem in der Produktionsdomäne geltende Regeln semi-formal spezifiziert.

Alle Ergebnisse werden in Arbeitskreisen mit Produktionsexperten anhand von Anwendungsszenarien validiert.

V2-3: Analyse der Systemdomäne	Projektleiter, Hauptanwender, IT-Spezialist
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Modellierung der Erweiterungsmodule des Wissensmodells	<ul style="list-style-type: none"> • UML-Domänenmodell / Semantische Mindmaps • Arbeitskreis • Glossar (SMW-System)
Definition der Konzepte im Glossar	
Validierung der Modelle	
Ergebnis: Semi-formales Wissensmodell	

Die Ergebnisse der Aktivitäten V2-1, V2-2 und V2-3 bilden zusammen das **Soll-Konzept** für das Wissensmanagementsystem, welches die Grundlage für das weitere

Vorgehen bildet. Die Entscheidung über die zu implementierenden Funktionen und Schnittstellen wird durch Kosten-Nutzen-Analysen unterstützt.

7.4 Entwurf des organisationsspezifischen Wissensmanagementsystems

Basierend auf den Ergebnissen der Analysephase wird das System anhand der in Kapitel 5 beschriebenen Systemarchitektur spezifiziert. Hierzu werden die zukünftigen Wissensmanagementaktivitäten für die betrachteten Geschäftsprozesse und Aufgaben bestimmt (V3-1), es werden die Benutzeroberflächen (V3-2) und die Schnittstellen zu IT-Systemen in der Produktion spezifiziert (V3-3) sowie das formale Wissensmodell erstellt (V3-4). Zum Abschluss wird ein erster Prototyp des Wissensmanagementsystems erstellt und durch Produktionsexperten validiert (V3-5). Die Ergebnisse der Entwurfsphase bilden zusammen den Systementwurf.

Basierend auf den in V2-1 identifizierten Verbesserungspotentialen werden die einzuführenden **Wissensmanagementaktivitäten und deren Einbettung in die Geschäftsprozesse in der Produktion** in Arbeitskreisen spezifiziert (V3-1). Dies umfasst Aktivitäten zur Identifikation, zur Verteilung, zur Bewahrung und zur Nutzung von Wissen im Produktionssystem.

Bei der Planung von Wissensmanagementaktivitäten sind signifikante Mehraufwände für Mitarbeiter bei der Durchführung wertschöpfender Aufgaben zu vermeiden, um die Akzeptanz des Wissensmanagementsystems sicherzustellen. Für die Modellierung der Aktivitäten wird die in V2-1 erstellte ereignisgesteuerte Prozesskette angepasst und erweitert.

V3-1: Wissensmanagementaktivitäten einbetten	Projektleiter, Hauptanwender
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Modellierung der adaptierten Geschäftsprozesse mit Wissensmanagementaktivitäten	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitskreise • Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK)
Validierung der erweiterten Geschäftsprozesse	
Ergebnis: Revidierte Geschäftsprozesse	

In der Entwurfsphase werden die **Benutzeroberfläche und die Anwendungs-module** der Präsentations- und Anwendungsebene des Systems spezifiziert (**V3-2**). Die Systemarchitektur sieht hier Wiki-Seiten zur flexiblen Erfassung, Bearbeitung und Anfrage von Inhalten, Dienste zur Anpassung und Erweiterung des Systems und organisationsspezifische Anwendungsmodule vor (siehe Abschnitt 5.1.2). Während die Wiki-Komponente durch eine einfache Beschreibung der zu unterstützenden Benutzerinteraktion spezifiziert werden kann und die Dienste über Standardkomponenten von SMW realisiert werden, sind für die organisationsspezifischen Anwendungsmodule Web-Anwendungen zu entwerfen. Jedes Anwendungsmodul besteht dabei in Anlehnung an das von [Zapp 2012c] vorgestellte Konzept aus einer clientseitigen, im Wiki-System eingebetteten, Komponente und einer optionalen serverseitigen Komponente. Letztere bietet die Möglichkeit zur Realisierung komplexer Anwendungslogiken. Zum Entwurf können gebräuchliche Methoden und Werkzeuge der Softwareentwicklung angewendet werden, welche hier nicht im Fokus der Betrachtung stehen. Die technische Umsetzung der Anwendungsmodule wird unter V4-1 erläutert.

V3-2: Benutzeroberfläche und Anwendungsmodule spezifizieren	Hauptanwender, IT-Spezialist
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Spezifikation der Wiki-Struktur und Seiten	• Methoden und Werkzeuge zum Entwurf von Web-Anwendungen
Spezifikation der Anwendungsmodule	
Ergebnis: Spezifikation Benutzeroberfläche und Anwendungsmodule	

Zudem werden auf Basis des in dieser Arbeit konzipierten semantischen Moduls die **Schnittstellen zu produktionsnahen IT-Systemen (V3-3)** entworfen. Jede Schnittstellenspezifikation beschreibt, wie Datenobjekte an der Systemgrenze von einem System der Produktions-IT zum Wissensmanagementsystem ausgetauscht werden. Hierbei werden, in Anlehnung an konventionelle Vorgehensmodelle der Softwareentwicklung [IABG 2012], zum einen das statische Verhalten und zum anderen das dynamische Verhalten der Schnittstelle beschrieben.

Das statische Verhalten bestimmt die Struktur der Datentransaktionen und kann durch Methodensignaturen und die Definition von Datentypen beschrieben werden. Für das in dieser Arbeit vorgestellte Systemkonzept muss zudem das semantische Mapping der Datenelemente auf das Wissensmodell bestimmt werden (siehe Abschnitt 0). Die im semantischen Schnittstellenmodul implementierten Transaktionen sind zu erweitern und um komplementäre Transaktionen zu ergänzen (siehe Abschnitt 5.2.2). Das dynamische Verhalten der Schnittstelle spezifiziert die Reihenfolge dieser Transaktionen und die logischen Abhängigkeiten zwischen den übermittelten Daten. Im Falle von Wissensmanagementsystemen ist diese Ablauflogik zumeist wenig komplex, da in solchen Systemen primär eine Dokumentation von Datenobjekten aus externen Systemen stattfindet.

Die Aktivität resultiert in einer Dokumentation des statischen und dynamischen Verhaltens aller Schnittstellen und deren Abhängigkeiten. Als Werkzeug können hierbei neben dem semantischen Schnittstellenmodul gebräuchliche Vorlagen für Schnittstellenspezifikationen, beispielsweise des V-Modells XT, verwendet werden [IABG 2012].

V3-3: Schnittstellen spezifizieren	IT-Spezialist
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Spezifikation der Transaktionen und Datenelemente	<ul style="list-style-type: none"> • Semantisches Schnittstellenmodul (Abschnitt 6.3) • Vorlage für statische und dynamische Schnittstellenspezifikation
Konfiguration des semantischen Mappings	
Spezifikation des Adapters	
Ergebnis: Schnittstellenspezifikation	

Auf Grundlage der in V2-3 erfolgten semi-formalen Beschreibung wird nun das **formale Wissensmodell erstellt (V3-4)**. Hierzu wird eine Ontologiesprache verwendet (siehe Abschnitt 4.2.1.1), die es erlaubt, das Wissensmodell semantisch ausdrucksstärker und durch das System bearbeitbar zu formulieren.

Als Werkzeuge zur Erstellung der Ontologie können Ontologie-Editoren verwendet werden (siehe Abschnitt 4.3.3). Diese erlauben durch eine integrierte semantische Inferenz-Maschine die Verifikation der Ontologie während des Entwicklungsprozesses. Alternativ kann die Ontologie auch direkt im Wissensmanagementsystem über den DataExplorer-Dienst als schlanker Ontologie-Editor erstellt werden [Krötzsch 2012]. Die Modulzugehörigkeit von Konzepten,

Attributen und Relationen wird im Wissensmanagementsystem über die Zuordnung der Elemente zu Wiki-Paketen (engl. ‚Wiki Bundle‘) realisiert.

V3-4: Wissensmodell erstellen	Hauptanwender
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Aufbau des Wissensmodells als Ontologie basierend auf dem semi-formalen Modell	<ul style="list-style-type: none"> • Externer Ontologie-Editor • SMW-Erweiterungen zur Ontologie-Bearbeitung
Verifikation der Ontologie	
Ergebnis: Ontologie der Applikation	

Zum Abschluss der Entwurfsphase wird auf Basis der Standardkomponenten des Systems, d. h. der SMW-Plattform und einer semantischen Middleware, ein **erster Prototyp erstellt (V3-5)**. In dieses Testsystem wird das in V3-4 entwickelte Wissensmodell importiert. Durch das Anlegen von Testdaten über die Wiki-basierte Benutzeroberfläche können nun die grundlegenden Wissensmanagementaktivitäten der Mitarbeiter in der Produktion simuliert werden, ohne bereits die organisationsspezifischen Anwendungsmodule oder die Datenadapter einzusetzen. Dieser erste Prototyp dient der Validierung zum einen des Wissensmodells in Bezug auf Konsistenz und Vollständigkeit und zum anderen der Anforderungen der Anwender an das Wissensmanagementsystem.

V3-5: Prototyp erstellen und validieren	IT-Spezialist, Hauptanwender
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Erstellung eines ersten Prototyps basierend auf Standardkomponenten	<ul style="list-style-type: none"> • SMW-Plattform • Semantische Middleware
Import des Wissensmodells	
Anlegen von Testdaten über die Wiki-basierte Benutzeroberfläche	
Validierung durch Hauptanwender	
Ergebnis: Prototyp	

Die Ergebnisse der Aktivitäten der Entwurfsphase bilden zusammen den System-Entwurf.

7.5 Implementierung und Test des Wissensmanagementsystems

Im Anschluss an die Entwurfsphase wird das Wissensmanagementsystem implementiert und getestet. Innerhalb dieser Phase werden die anwendungsfallspezifischen Erweiterungen (V4-1) und die semantischen Datenadapter zur Anbindung der produktionsnahen IT-Systeme (V4-2) implementiert, die Ontologie verfeinert (V4-3), das Gesamtsystem konfiguriert und getestet (V4-4) und Schulungen für Endanwender durchgeführt (V4-5).

In Aktivität **V4-1** werden zunächst die anwendungsfallspezifischen Erweiterungen der Benutzeroberfläche erstellt. Diese basieren auf den Spezifikationen in V3-2; ihre Implementierung erfolgt in der in [Zapp u. a. 2012c] veröffentlichten Vorgehensweise. Hierbei wird das Google-Web-Toolkit (GWT) als Entwicklungswerkzeug für Web-Anwendungen eingesetzt [Google 2012]. Die

Client-Komponente der Erweiterung wird in Java-Skript übersetzt und kann als Wiki-Erweiterung in das Wiki-System eingebettet werden. Aus der Server-Komponente zur Realisierung einer komplexen Anwendungslogik wird ein Java-Web-Archive (WAR) erstellt, das in einem Web-Container ausgeführt wird.

Die Erweiterungen können nun in einem ersten Schritt unabhängig vom Gesamtsystem getestet werden.

Aktivität V4-1: Erweiterungen implementieren	IT-Spezialist
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Erweiterungen implementieren	• Google-Web-Toolkit
Test der Komponente	
Ergebnis: Erweiterungen implementiert	

In der Aktivität **V4-2** werden die Datenadapter zur semantischen Integration der produktionsnahen Informationssysteme mit dem Wissensmanagementsystem realisiert. Diese basieren auf den in V3-3 erstellten Spezifikationen und dem in dieser Arbeit entwickelten semantischen Schnittstellenmodul. Der Transfer und die automatische semantische Verknüpfung der Datenobjekte mit den Referenz- und Informationsobjekten im Wissensmanagementsystem sind anschließend zu testen.

Aktivität V4-2: Datenadapter implementieren	IT-Spezialist
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Datenadapter implementieren	• Schnittstellenmodul
Test der Datenadapter	
Ergebnis: Datenadapter implementiert	

In der Implementierungs- und Testphase wird die **Ontologie verfeinert (V4-3)**. Während Änderungen an der Grundstruktur und an den grundlegenden Konzepten der Ontologie nach der Entwurfsfreigabe grundsätzlich ausgeschlossen sind, sind kleinere Anpassungen und Ergänzungen der Ontologie bei der Implementierung zugelassen. Solche Änderungen werden bedingt durch:

- Präzisierung der Anforderungen bei der Implementierung der organisationsspezifischen Erweiterungen (V4-1)
- Modifizierung der im Wissensmodell abgebildeten Datenobjekte bei der Realisierung des semantischen Mappings zwischen den produktionsnahen IT-Systemen und dem WMS (V4-2)
- Präzisierung der Anforderungen der Anwender an das Wissensmanagementsystem während der Tests und der Schulungen (V4-4 und V4-5)

Die Änderungen an der Ontologie werden direkt im Data-Explorer der SMW-Komponente vorgenommen. Das Ergebnis der Aktivität V4-3 ist die finale Version der Ontologie für die Einführung des Wissensmanagementsystems.

Aktivität V4-3: Verfeinerung der Ontologie	Projektleiter, Hauptanwender
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Aufnahme der Änderungsanforderungen	• Ontologie-Editor im SMW-System
Umsetzung in Ontologie	
Anpassung der Testdaten	
Ergebnis: Ontologie verfeinert	

Im Anschluss wird in Aktivität (V4-4) das **Gesamtsystem konfiguriert und getestet**. Hierzu werden zunächst die Standardkomponenten, die organisations-spezifischen Erweiterungen und die Datenadapter installiert und das Wissensmodell importiert. Im Anschluss werden Menüs, Übersichtsseiten und semantische Formulare²² in der SMW-Komponente angelegt.

Im Unternehmen vorliegende Informationsobjekte wie Texte, Bilder und Dokumente werden über die Wiki-Benutzeroberfläche eingegeben oder über Einleseroutinen in das System importiert. Zudem werden erste Datenobjekte aus den produktionsnahen IT-Systemen über die semantischen Datenadapter transferiert. Die anschließenden Systemtests werden durch die im Entwicklungsprojekt beteiligten Hauptanwender des Systems durchgeführt.

²² In den bisherigen Prototypen sollte mit ‚Automatic Semantic Forms‘ gearbeitet werden, welche keiner Konfiguration bedürfen, jedoch nicht in Bezug auf Layout und Validierungsfunktionen optimiert sind.

Aktivität V4-4: Konfiguration und Test	IT-Spezialist, Hauptanwender
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Konfiguration der Systemkomponenten	• Einleseroutinen
Import des Wissensmodells in das Gesamtsystem	
Anlegen von Menüs, Übersichtseiten und Formularen	
Generierung und Transfer von Informationsobjekten	
Transfer von Datenobjekten aus der Produktions-IT	
Test durch Hauptanwender	
Ergebnis: Getestetes System	

Nach erfolgreichem Test werden die **Schulungen aller Endanwender am Test-System durchgeführt (V4-5)**. Inhalt der Schulungen sind die technischen Aspekte des Systems sowie die neu durchzuführenden Wissensmanagementaktivitäten der Mitarbeiter. Zudem sind organisatorische und technische Richtlinien und Anleitungen an die Mitarbeiter zu kommunizieren. Diese Richtlinien sind organisationsspezifisch festzulegen und sollen die Übersichtlichkeit, die Qualität der Inhalte und die semantische Verknüpfung der Informationsobjekte im Wissensmanagementsystem sicherstellen. Sie sind im System in Form von Anleitungen und Vorlagen zu hinterlegen. In Anlehnung an die Wikipedia-Richtlinien [Wikimedia 2012] sind die folgenden Aspekte zu betrachten:

- Eindeutige Abgrenzung der Zielsetzung und des Umfangs des Wissensmanagementsystems in der Produktion (siehe V1-1)

- Anleitungen und Vorlagen zur Gestaltung von Wiki-Seiten in Bezug auf Inhalt, Form und Umfang
- Richtlinien und Vorlagen zur Formatierung von Einträgen, welche die Übersichtlichkeit, Verständlichkeit und Wiederverwendbarkeit von Systeminhalten sicherstellen.
- Definition der zu verwendenden Namenskonventionen und Kategorisierungen für Informationsobjekten auf Basis des Wissensmodells

Zudem sollten die Schulungen genutzt werden, um anhand von Szenarien den Nutzen des Wissensmanagementsystems aus Perspektive der einzelnen Mitarbeiter, aber auch aus Perspektive des Unternehmens als Ganzes zu verdeutlichen und so die spätere Akzeptanz des Systems sicherzustellen

Aktivität V4-5: Schulung und Richtlinien	Projektleiter, Haupt- und Endanwender
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Erstellung von Schulungsunterlagen durch Hauptanwender	• Richtlinien für die Pflege von Wiki-Systemen [Wikimedia 2012]
Richtlinien und Vorlagen definieren	
Schulungen mit Endanwendern durchführen	
Ergebnis: Geschulte Endanwender	

Je nach Funktionsumfang des Systems kann dessen Freigabe in einem oder mehreren Schritten erfolgen. Die Freigabe in mehreren Schritten erlaubt es, zur Erprobung der Funktionen und Module des Systems lediglich die unmittelbar betroffenen Benutzergruppen heranzuziehen und so die Auswirkungen von

Einführungsproblemen auf die wertschöpfenden Aufgaben der Mitarbeiter in der Produktion zu limitieren.

7.6 Einführung und Anpassung des Wissensmanagementsystems

Nach der Einführung des Wissensmanagementsystems können Mitarbeiter in der Produktion und in den Planungs- und Entwicklungsabteilungen Informationsobjekte anlegen, editieren und nutzen. Zudem werden über die implementierten semantischen Adapter kontinuierlich Datenobjekte in das System transferiert und stehen den Mitarbeitern dort verknüpft mit den Informationsobjekten zur Verfügung.

Während der Nutzungsphase sind die mit dem System verbundenen Wissensmanagementziele kontinuierlich zu überwachen. Darüber hinaus ist das System, insbesondere in turbulenten Produktionsumgebungen, regelmäßig auf sich ändernde Umwelteinflüsse anzupassen und zu erweitern.

Eine **Bewertung (V5-1)** des Wissensmanagementsystems erfolgt über quantitative und qualitative Faktoren. Zum einen können im System quantitative Kennzahlen wie die Anzahl der angelegten Seiten oder die Anzahl der Seitenaufrufe definiert und gemessen werden. Diese sind jedoch kritisch auf ihre Signifikanz für ein erfolgreiches Wissensmanagement von Unternehmen zu hinterfragen. Sie sollten deshalb zum anderen durch qualitative, gegenseitige Bewertungen von Beiträgen durch Anwender ergänzt werden. Bei dieser Bewertung sollten in Anlehnung an die Prinzipien von Social-Software-Systemen wie Facebook primär positive Bewertungen und Empfehlungen ermöglicht werden. Personalisierte Übersichten über die Bewertungen eigener Beiträge können zur Motivation der Mitarbeiter beitragen.

Aktivität V5-1: Bewertung	Projektleiter, Haupt- und Endanwender
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Definition und Messung quantitativer Kennzahlen	<ul style="list-style-type: none"> • Quantitative und qualitative Messmethoden und -werkzeuge
Qualitative Bewertungen durch Mitarbeiter	
Auswertung und Kommunikation der Bewertungen	
Ergebnis: Quantitative und qualitative Bewertung	

Bewertungen können Auslöser für **Anpassungen und Erweiterungen des Systems (V5-2)** sein. Anpassungen können sowohl das Wissensmodell als auch die Benutzerschnittstelle betreffen. Anpassungen am Wissensmodell sollten nur durch autorisierte Hauptanwender erfolgen. Dies kann über das Rechtesystem im Wissensmanagementsystem sichergestellt werden. Für Anpassungen an den organisationsspezifischen Anwendungsmodulen sind die Aktivitäten der Entwurfsphase und der Implementierungsphase iterativ zu wiederholen. Hierzu werden Änderungsanfragen innerhalb des Wissensmanagementsystems gesammelt und bewertet, welche dann durch IT-Spezialisten umzusetzen sind.

Aktivität V5-2: Anpassung und Erweiterung	Hauptanwender, IT-Spezialist
Teilaktivitäten	Werkzeuge & Methoden
Erfassung von Änderungsbedarfen an Wissensmodell und Benutzeroberfläche	<ul style="list-style-type: none"> • SMW-System • Richtlinien und Anleitungen für Anwender
Umsetzung von Änderungsbedarfen	
Ergebnis: Systemänderung	

7.7 Zusammenfassung

Das hier vorgestellte Vorgehensmodell dient als Leitfaden zur Realisierung von organisationsspezifischen Wissensmanagementsystemen in wandlungsfähigen Produktionssystemen. Das Vorgehensmodell spezifiziert dabei die notwendigen Aktivitäten und unterstützt insbesondere die organisationsspezifische Anpassung des erweiterbaren Wissensmodells sowie die Implementierung von Datenadaptern für die produktionsnahen IT-Systeme. Für die einzelnen Aktivitäten werden Methoden und Werkzeuge referenziert, welche für die Anwendung in KMU geeignet sind (siehe Abbildung 7-4). Die Methoden und Werkzeuge ermöglichen eine iterative Vorgehensweise bei Entwurf und Implementierung, führen zu einfach zu kommunizierenden Ergebnissen und minimieren den Ressourcenbedarf.

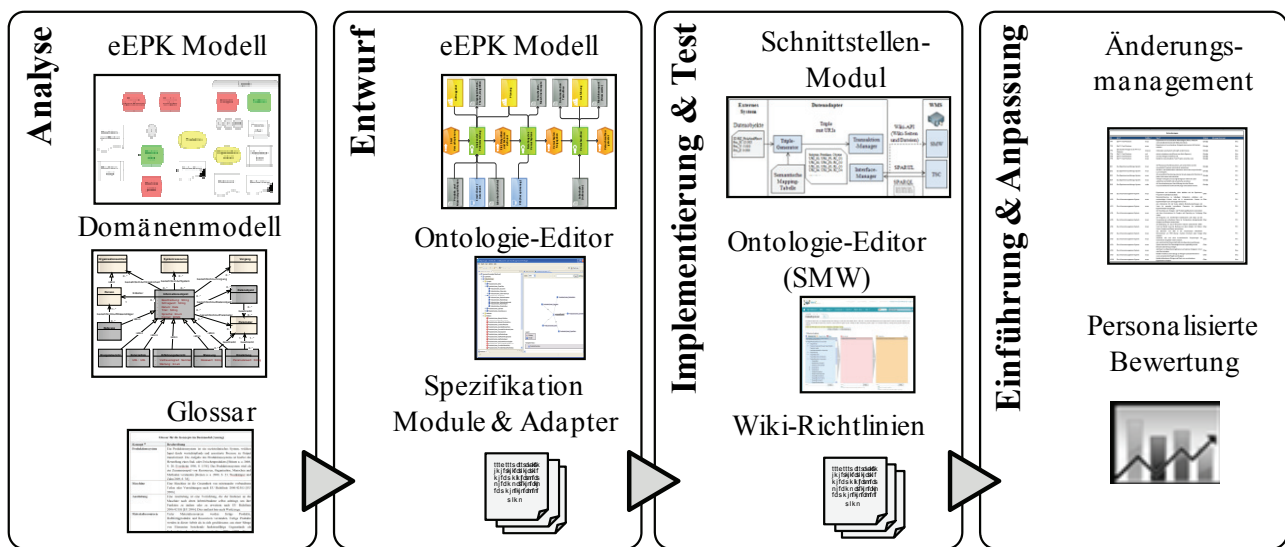


Abbildung 7-4: Eingesetzte Werkzeuge und Methoden im Vorgehensmodell

8 Validierung und Bewertung

Die in dieser Arbeit entwickelte Systemarchitektur für Wissensmanagementsysteme in wandlungsfähigen Produktionssystemen und das zugehörige Vorgehensmodell wurden anhand von zwei Fallbeispielen erprobt und validiert. Im ersten Fallbeispiel wurde am Fraunhofer IPA ein Wissensmanagementsystem zur Versuchsplanung, -durchführung und -analyse bei der automatisierten Handhabung von Silizium-Wafern in der Photovoltaik-Industrie realisiert. Im zweiten Fallbeispiel erfolgte eine Erprobung der Konzepte mit Industriepartnern im Rahmen des EU Forschungsprojektes TRANSPARENCY (246273). Dieses auf KMU ausgelegte Projekt widmet sich der Konzeption und Entwicklung eines Systems zum Wissensmanagement bei der Entwicklung und dem Betrieb von Werkzeugmaschinen [Zapp u. a. 2012c].

Abschnitt 8.1 beschreibt das Fallbeispiel „Versuchsmanagement in der Photovoltaik-Industrie“. Im Anschluss wird in Abschnitt 8.2 das Fallbeispiel „Wissensmanagement bei Werkzeugmaschinen“ skizziert. In Abschnitt 8.3 wird schließlich das Lösungskonzept im Hinblick auf die in Kapitel 3 aufgestellten Anforderungen aus Wissenschaft und Praxis bewertet.

8.1 Fallbeispiel 1: Versuchsmanagement in der Photovoltaik-Industrie

Das in diesem Abschnitt vorgestellte Fallbeispiel wird genutzt, um das Lösungskonzept und insbesondere die Kernaktivitäten des Vorgehensmodells detailliert zu illustrieren. In Abschnitt 8.1.1 werden zunächst die fallspezifischen Rahmenbedingungen und Zielsetzungen für das Wissensmanagementsystem im Sinne einer Projektbegründung beschrieben. Im Anschluss werden die Aktivitäten der Analyse-Phase und der Entwurfs-Phase dargestellt (siehe Abschnitt 8.1.2 und Abschnitt 8.1.3). Zuletzt wird in Abschnitt 8.1.4 die Implementierung des Systems und der durch dieses generierte Nutzen beschrieben.

8.1.1 Projektbegründung (V1)

Als Produktionssystem, in welchem das Wissensmanagementsystem zur Erprobung zu integrieren ist, wurde das Photovoltaik (PV)-Testzentrum am Fraunhofer IPA genutzt (siehe Abbildung 8-1), das als Plattform für Versuchsstudien im Auftrag von Industrie- und Forschungspartnern eingesetzt wird.



Abbildung 8-1: PV-Testzentrum am Fraunhofer IPA [Hoffmeister u. a. 2011, S. 612]

Das Testzentrum besteht aus sechs Handhabungs- und Inspektionsanlagen und dient dem Testen von kristallinen Silizium-Substraten sowie zur Bewertung und Zertifizierung von Handhabungsausrüstungen, wie Endeffektoren, unter industriellen Bedingungen. Versuche werden anhand einer systematischen Bewertungsmethode durchgeführt, welche im Rahmen des PV-Industrieverbundes des Fraunhofer IPAs validiert wurde [Fischmann 2011].

Das System wird durch die Integration neuer Maschinen und Ausrüstungsgegenstände, die Erprobung neuer Materialien und die Durchführung neuer Testszenarien regelmäßig rekonfiguriert. Die Versuche im PV-Testzentrum werden auf einer oder mehreren miteinander verketteten Maschinen mit unterschiedlichen Maschinen- und Materialflusskonfigurationen durchgeführt. Zur späteren Analyse der Versuche sind die verwendeten Rezepte sowie die Mess- und Prüfdaten zur Positioniergenauigkeit, zum Druckluftverbrauch und zur visuellen Substratkontrolle zu erfassen. Darüber hinaus sind die von Mitarbeitern

durchgeführte Einstellungen zum Versuchsaufbau sowie Messungen, Erfahrungen und Ereignisse während der Ausführung von Versuchen bei der späteren Analyse von Relevanz.

Das im Fallbeispiel zu konzipierende Wissensmanagementsystem soll die Wissensidentifikation, -verteilung, -bewahrung und -nutzung in der Versuchsplanung, -durchführung und -analyse im PV-Testzentrum optimieren. Kernpunkte sind die Erfassung von Informationsobjekten wie Maschinen- und Produktspezifikationen, die Dokumentation der Erfahrungen von Mitarbeitern sowie die automatisierte Erfassung von Rezepten und Reports aus den produktionsnahen IT-Systemen. Der flexible Zugriff auf das System über die Mensch-Maschine-Schnittstellen der unterschiedlichen Anlagen ist zu unterstützen.

Das PV-Testzentrum stellt ausgeprägte Anforderungen an die Wandlungsfähigkeit der unterstützenden IT-Systeme und eignet sich für die Validierung des in dieser Arbeit vorgestellten Systemkonzeptes.

8.1.2 Analyse-Phase (V2)

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Analyse der Prozesse (V2-1), der Analyse der Produktions-IT (V2-2) und der Analyse der Systemdomäne (V2-3) dargestellt.

8.1.2.1 Analyse der Prozesse und Aufgaben im PV-Testzentrum (V2-1)

Beim Versuchsmanagement als Geschäftsprozess in einem produzierenden Unternehmen lassen sich nach [Kleppmann 2009] die folgenden Aufgaben unterscheiden: Beschreibung der Ausgangssituation, Definition des Untersuchungsziels, Definition der Zielgrößen und Faktoren, Definition des Versuchsplans, Durchführung der Versuche, Auswertung der Versuchsergebnisse, Interpretation der Ergebnisse und Ableitung der Maßnahmen sowie Dokumentation

und weiteres Vorgehen. Ergänzend hierzu sind auch die Konstruktion des Produktionssystems und die Fehlerbehebung beim Testaufbau beziehungsweise bei der Konfiguration des Systems zu betrachten [Dunn 2010, S. 7].

Als Ausgangspunkt für die Definition von Verbesserungspotentialen durch das Wissensmanagementsystem sind diese Aufgaben in Bezug auf relevante Informations- und Datenobjekte zu analysieren.

Für das PV-Testzentrum wurde diese Prozessanalyse analog zum Vorgehensmodell (V2-1) mittels eines eEPK-Modells dokumentiert (siehe Anhang 12) und anschließend mit Mitarbeitern diskutiert und validiert. Tabelle 8-1 bietet eine Übersicht über die Ergebnisse der Analyse.

Aufgaben		Relevante Informations- und Datenobjekte
Versuchsplanung	Spezifikation der Ausgangssituation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Spezifikation der Ausgangssituation und der Kundenanforderungen für die Versuchsstudie ▪ Handlungsanleitung für Versuchsplanung ▪ Material- und Ausrüstungsspezifikation
	Spezifikation der Versuchsstudie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bestehende Versuchsdokumentationen ▪ Maschinen, Ausrüstungs- und Parameterspezifikationen ▪ Spezifikation der Zielgrößen und Faktoren
	Erstellung des Versuchsplans	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rezepte für Versuche (<i>Datenobjekte</i>) ▪ Faktorwerte für Versuchsplan (<i>Datenobjekte</i>) ▪ Spezifikation des Versuchsplans
	Versuchsaufbau	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einstellungen an den Maschinen durch Mitarbeiter

Durchführung	Versuchsdurchführung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Handlungsanleitung für Versuchsdurchführung ▪ Reports mit maschinellen Mess- und Prüfwerten (<i>Datenobjekte</i>) ▪ Erfahrungs- und Ereignisberichte ▪ Mechanische Einstellung des Systems ▪ Rezepte mit Parameterwerten für Maschinen (<i>Datenobjekte</i>)
Versuchsanalyse	Auswertung der Versuchsergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschreibung der Versuchsergebnisse und der Auswertungen
	Interpretation der Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schlussfolgerungen und Maßnahmen
	Dokumentation und weiteres Vorgehen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Report und Planung

Tabelle 8-1: Informations- und Datenobjekte im Versuchsmanagement

Im PV-Testzentrum liegen die für die erfolgreiche Versuchsplanung, -durchführung und -analyse relevanten Informations- und Datenobjekte in verschiedenen Repräsentationsformen vor.

In der Versuchsplanung müssen Mitarbeiter Kundenanforderungen, Handlungsanleitungen, Maschinen- und Parameterspezifikationen, Versuchsberichte und Versuchsdaten analysieren. Diese lagen im Falle des PV-Testzentrums als Textdokumente, als Seiten in einem konventionellen Wiki-System oder als handschriftliche Notizen vor. Die Ergebnisse der Planungsaktivitäten wie die Spezifikation der Ausgangssituation, Zielgrößen, Faktoren und Annahmen wurden wiederum in Textdokumenten oder in Tabellen erfasst sowie als Rezepte und Versuchspläne (Datenobjekte) direkt im Steuerungssystem erstellt.

In der Versuchsausführung sind Informationsobjekte aus der Planungsphase sowie Maschinen-, Ausrüstungs- und Parameterspezifikationen und Handlungsanleitungen

für Mitarbeiter relevant. Zudem sind während des Versuchsaufbaus und der Versuchsdurchführung maschinelle Messdaten sowie Berichte der Mitarbeiter zu Messungen, Einstellungen oder Fehlerbehebungen im Produktionssystem zu dokumentieren. Die Mess- und Prüfwerte wurden von der Produktions-IT als XML-Reports gespeichert, während von Mitarbeitern erfassten Informationen in separaten Dokumenten und als handschriftliche Notizen erfasst wurden.

Für die Versuchsanalyse sind Informations- und Datenobjekte sowohl aus der Planung als auch aus der Durchführung zu analysieren. Neben den verwendeten Versuchsparametern und den erfassten Mess- und Prüfwerten sind die von Mitarbeitern dokumentierten Ereignisse, Einstellungen und Messungen während des Testaufbaus und während der Testdurchführung zu berücksichtigen. Die Analyseergebnisse sind in einem Versuchsbericht zu beschreiben. Zudem sind über die einzelne Versuchsstudie hinausgehende Schlussfolgerungen, wie Verbesserungsvorschläge für zukünftige Versuchsaufbauten und Versuchspläne, zu dokumentieren.

Fazit: Das Wissensmanagementsystem muss das Wissensmanagement der Mitarbeiter in den verschiedenen Phasen des Versuchsmanagements unterstützen. Dabei sind die in Tabelle 8-1 benannten Informationsobjekte zu erfassen.

8.1.2.2 Analyse der Produktions-IT (V2-2)

Die IT-Landschaft im PV-Testzentrum umfasst auf der Fertigungsebene *StationViewer*-Module als PC-basierte Applikationen zur Steuerung und Kontrolle der Maschinen und Komponenten und auf der Fertigungsleitebene den *LineController* zur Produktionssteuerung und -kontrolle im Gesamtsystems (siehe Abbildung 8-2).

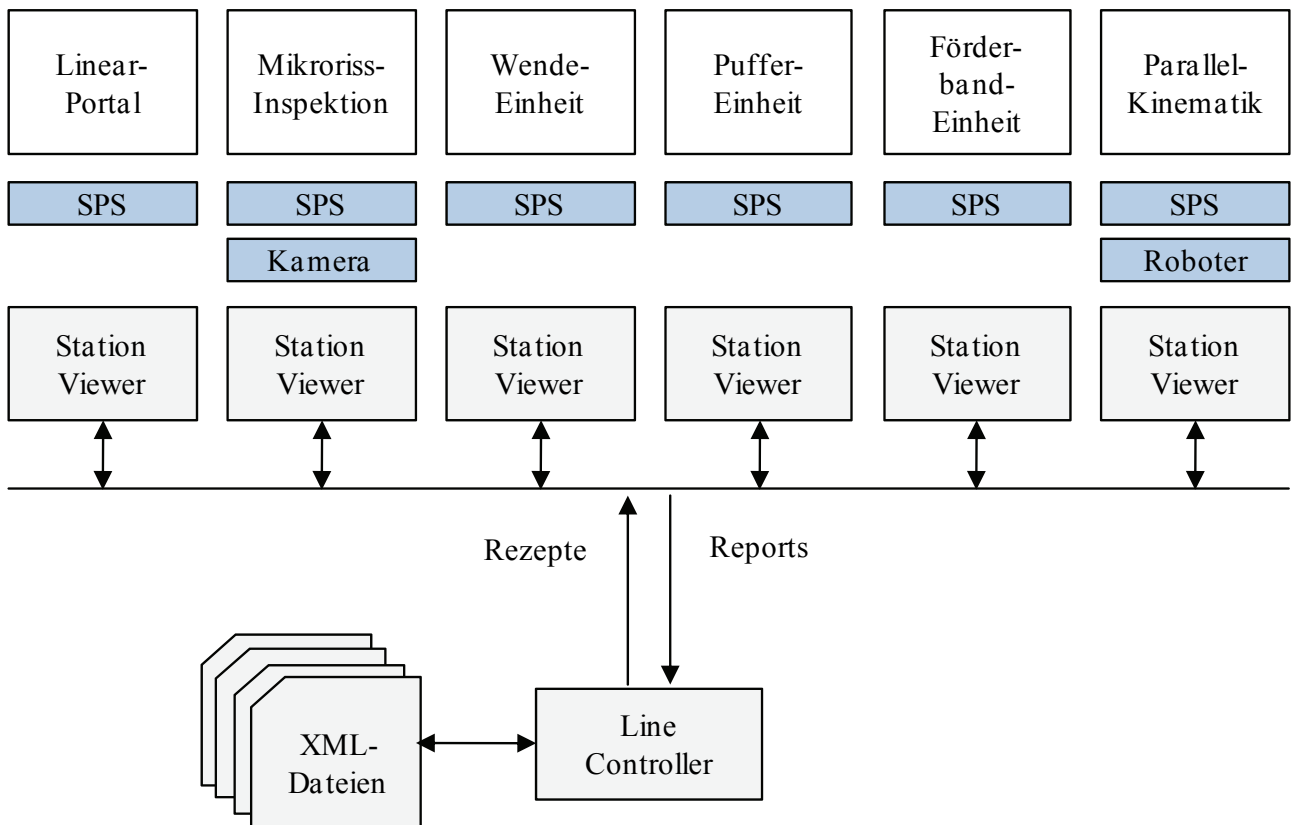


Abbildung 8-2: IT-Landschaft im PV-Testzentrum in Anlehnung an
[Hoffmeister und Zapp 2011, S. 23]

Der *StationViewer* ist ein auf der .NET-Technologie basiertes Plug-In-Framework, welches eng mit der SPS der einzelnen Maschinen verbunden ist. Es umfasst zum einen eine maschinenspezifische Mensch-Maschine-Schnittstelle, welche dem Anwender auf Basis der Definition in der SPS eine einheitliche .NET-Benutzeroberfläche zur Verfügung stellt. Zum anderen liest und interpretiert die Rezeptmanagement-Komponente im *StationViewer* die Variablendefinitionen aus der SPS und exponiert diese für das Hochladen von Rezepten und das Herunterladen von Reports [Hoffmeister und Zapp 2011, S. 24].

Der *LineController* dient der Steuerung und Kontrolle des Produktionssystems und erlaubt die Verwaltung von Rezepten und Reports. Er kommuniziert mittels Web-Services mit den *StationViewer*-Komponenten der einzelnen Anlagen. Rezepte

können im *LineController* definiert und an die *StationViewer* übertragen werden. Darüber hinaus können die Reports aller Anlagen automatisch gesammelt und persistiert werden. Die Speicherung der Rezepte und Reports erfolgt in XML-Dateien [Hoffmeister und Zapp 2011, S. 24].

Fazit: In das Wissensmanagementsystem sind Rezepte mit für die Versuche verwendeten Parameterwerten und Reports mit Mess- und Prüfwerte automatisiert aus der Produktions-IT zu übertragen.

8.1.2.3 Analyse der Systemdomäne (V2-3)

Basierend auf der Analyse der Prozesse und Aufgaben sowie der IT-Landschaft im PV-Testzentrum wurde das Wissen der Systemdomäne analysiert und aufbauend auf dem in Abschnitt 6.2 vorgestellten Basismodul semi-formal modelliert. Das organisationsspezifische Wissensmodell für das PV-Testzentrum erweitert das Basismodul um ein Modul vom Typ Produktionsdaten zur Abbildung von Datenobjekten zur Versuchsplanung, -durchführung und -analyse (*Versuchsdaten*) und ein Modul vom Typ Systemressourcen zur Abbildung von Handhabungsanlagen in der Photovoltaik-Industrie (*PV-Handhabung*).

Das Modul *Versuchsdaten* basiert auf den in Tabelle 8-1 spezifizierten Datenobjekten für das Versuchsmanagement. Es werden zunächst die Konzepte *Versuchsstudie*, *Versuchsplan* sowie *Versuch* unterschieden (siehe Abbildung 8-3), welche als Unterkonzepte vom Konzept *Versuchseinheit* verstanden werden. Eine *Versuchsstudie* dient der Evaluierung einer *Materialressource* oder einer oder mehrerer *Ausrüstungen* und kann eine oder mehrere Versuchspläne umfassen. Ein *Versuchsplan* spezifiziert einen oder mehrere Versuche. Ein *Versuch* wird charakterisiert durch einen eindeutigen Versuchsaufbau und eindeutige Versuchsfaktoren (Parameter) und kann eine beliebige Anzahl von Versuchsläufen (Produktionslauf) umfassen. Zudem werden Versuchsstudien, Versuchspläne und

Versuche über *Versuchsaktivierungen* gestartet (siehe Glossar Erweiterungsmodul *Versuchsdaten* in Anhang 12).

Abbildung 8-3 illustriert die semi-formale Abbildung der semantischen Abhängigkeiten zwischen den im Basismodul definierten Konzepten *Produktionslauf*, *Parameter*, *Materialressource* und *Ausrüstung* sowie dem hier beschriebenen Konzept *Versuchseinheit* und dessen Unterkonzepten.

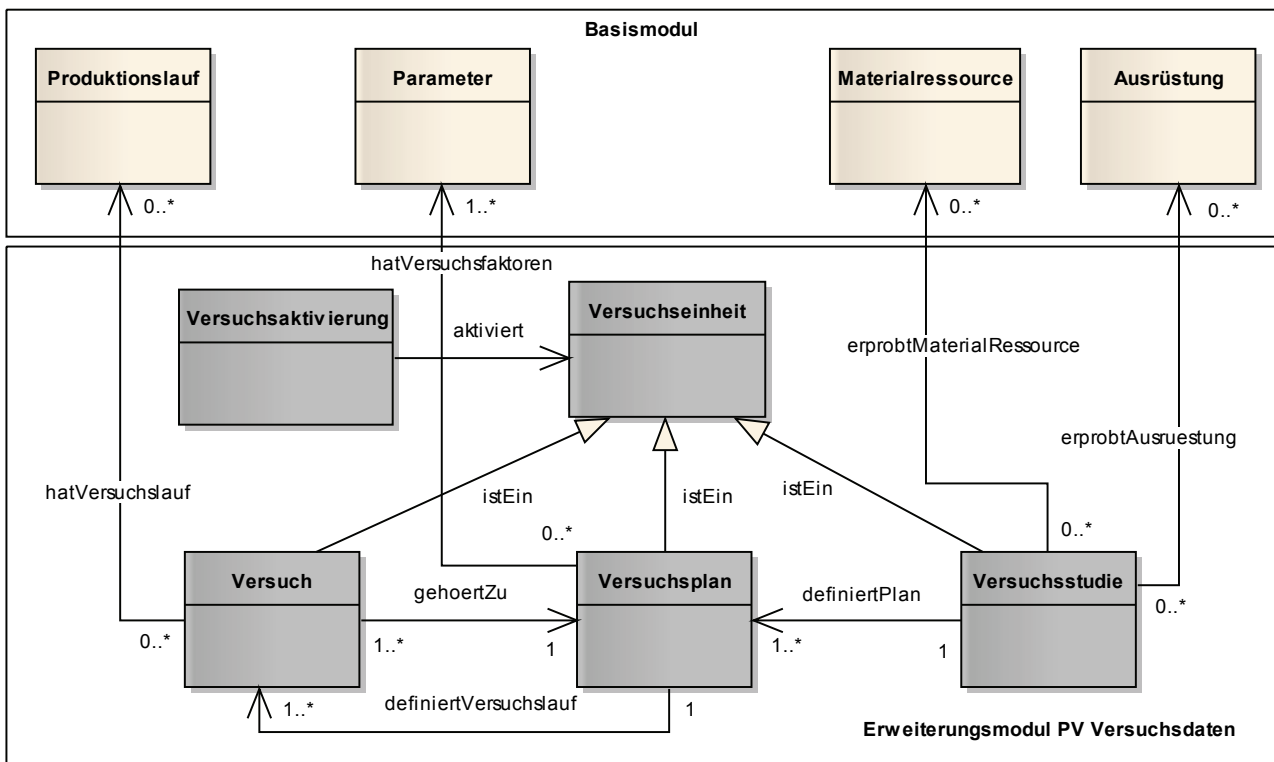


Abbildung 8-3: Konzepte und Relationen im Modul Versuchsdaten (Auszug)

Die Anlagen im PV-Testzentrum des Fraunhofer IPAs decken die industriell gebräuchlichen Handhabungsvorgänge für kristalline Wafer in der Photovoltaik-Industrie ab. Das Erweiterungsmodul *PV-Handhabung* spezifiziert Konzepte, Attribute, Relationen und Regeln, welche zur Abbildung dieser Handhabungssysteme relevant sind (siehe Abbildung 8-4). Zum einen werden für die Konzepte *Werkstück* und *Vorgang* aus dem Basismodul verschiedene Typen von Photovoltaik-Wafern und

Handhabungsvorgängen als Unterkonzepte definiert. Zum anderen werden unterschiedliche Typen von Endeffektoren als Ausrüstungsgegenstände für die PV-Industrie definiert. Dies wird in Abbildung 8-4 in Auszügen illustriert.

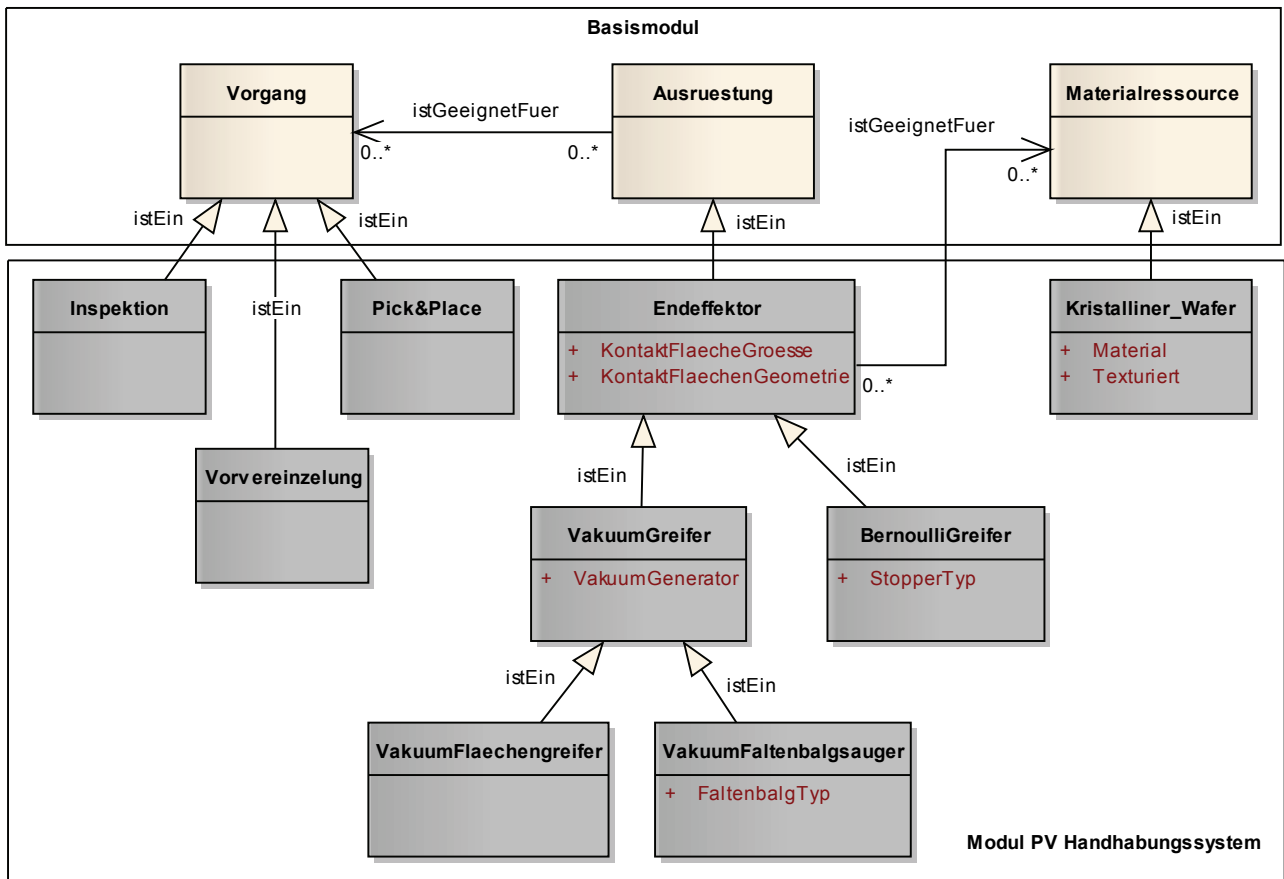


Abbildung 8-4: Modellierung von Endeffektoren und Materialressourcen im Erweiterungsmodul PV-Handhabung (Auszug)

8.1.3 Entwurfs-Phase (V3)

In diesem Abschnitt werden die Entwurfsaktivitäten für das Wissensmanagement beschrieben. Diese umfassen die Spezifikation der in die Geschäftsprozesse und Aufgaben einzubettenden Wissensmanagementaktivitäten (V3-1), die Spezifikation

der Schnittstellen (V3-3) und die Synthese des formalen Wissensmodells als Ontologie (V3-4).²⁵

8.1.3.1 Wissensmanagementaktivitäten einbetten (V3-1)

Die Analyse der bestehenden Prozesse und Aufgaben identifiziert die in Tabelle 8-2 dargestellten Verbesserungspotentiale, die für das Wissensmanagement im PV-Testzentrum bestehen. Diese Potentiale können durch die ebenfalls in der Tabelle beschriebenen Wissensmanagementaktivitäten und Systemfunktionen verwirklicht werden.

Phase	Verbesserungspotentiale	Wissensmanagementaktivitäten und unterstützende Systemfunktionen
Planung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verteilte Informationen und Datenobjekte über Versuchsplanung, -durchführung und -analyse 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Integrierte Suche nach heterogenen Inhalten im System ▪ Einfacher und strukturierter Zugriff auf Informationen zu Versuchen
Durchführung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zeitaufwändiger Zugriff auf Planungsdaten ▪ Aufzeichnung von Beobachtungen in separaten Dokumenten ▪ Messdaten in XML-Dateien 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zugriff auf Planungsdaten im System direkt an den Maschinen und über mobile Endgeräte ▪ Automatisches Aufzeichnen von Versuchsparametern sowie Mess- und Prüfwerten ▪ Erfassung von manuellen Messungen und Einstellungen und Verknüpfung mit Rezepten und Reports ▪ Dokumentation von Erfahrungen von Mitarbeitern mit semantischen Kontextinformationen

²⁵ Eine anwendungsfallsspezifische Erweiterung wird für das PV-Testzentrum nicht entwickelt. Stattdessen werden die benötigten Funktionen des Versuchsmanagement in den LineController integriert. Für die Entwicklung eines Anwendungsmoduls als Wiki-Erweiterung wird auf Fallbeispiel 2 verwiesen (siehe Abschnitt 8.2).

Analyse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verteilte Planungs- und Messdaten ▪ Manuelle Erstellung von Analysen und Reports ▪ Hohe Aufwände bei versuchsübergreifenden Analysen ▪ Wissen von Mitarbeitern nicht verfügbar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Semantische Verknüpfung von Versuchsparametern und Mess- und Prüfwerten sowie Informationsobjekten wie manuellen Messungen und Einstellungen ▪ Vorkonfigurierte (versuchsübergreifende) Analysen im Wissensmanagementsystem ▪ Unterstützung bei der Erstellung von Versuchsberichten durch strukturierten Export von Informations- und Datenobjekten
----------------	---	--

Tabelle 8-2: Verbesserungspotentiale beim Versuchsmanagement

Durch die Unterstützung der Mitarbeiter bei der Identifikation von bestehenden Informations- und Datenobjekten, bei der Bewahrung dieser Objekte mit semantischen Kontextinformationen und bei der integrierten Suche und Analyse können Verbesserungspotentiale während der Versuchsplanung, -durchführung und -analyse verwirklicht werden. Das zu gestaltende Wissensmanagementsystem spielt hierbei eine entscheidende Rolle.

8.1.3.2 Schnittstellen spezifizieren (V3-3)

Auf Basis der zu unterstützenden Prozesse und Aufgaben der Mitarbeiter ergibt sich das Schnittstellenkonzept für den Datenaustausch der bestehenden IT-Systeme im PV-Testzentrum mit dem Wissensmanagementsystem. Das Konzept sieht einen Transfer der relevanten Datenobjekte vom *LineController* vor, der mit einem semantischen Datenadapter ausgestattet wird. Die Ablauflogik zwischen beiden Systemen wird, wie in Abbildung 8-5 dargestellt, spezifiziert:

Während der Versuchsplanung und -analyse ist das Wissensmanagementsystem das führende System und unterstützt den Anwender bei der Identifikation, der Erfassung und der Nutzung von Informationsobjekten.

Die anschließende Spezifikation der Versuchsparameter und die Steuerung und Kontrolle der Versuchsdurchführung erfolgen hingegen im *LineController* über ein neu entwickeltes Versuchsmodul. Die in diesem Modul erstellten Rezepte, Versuchsfaktoren und Versuchspläne werden in das Wissensmanagementsystem transferiert und können dort vom Anwender flexibel um Kontextinformationen und Beschreibungen ergänzt werden. Der Transfer von Datenobjekten zwischen den Systemen wird über einen semantischen Datenadapter realisiert.

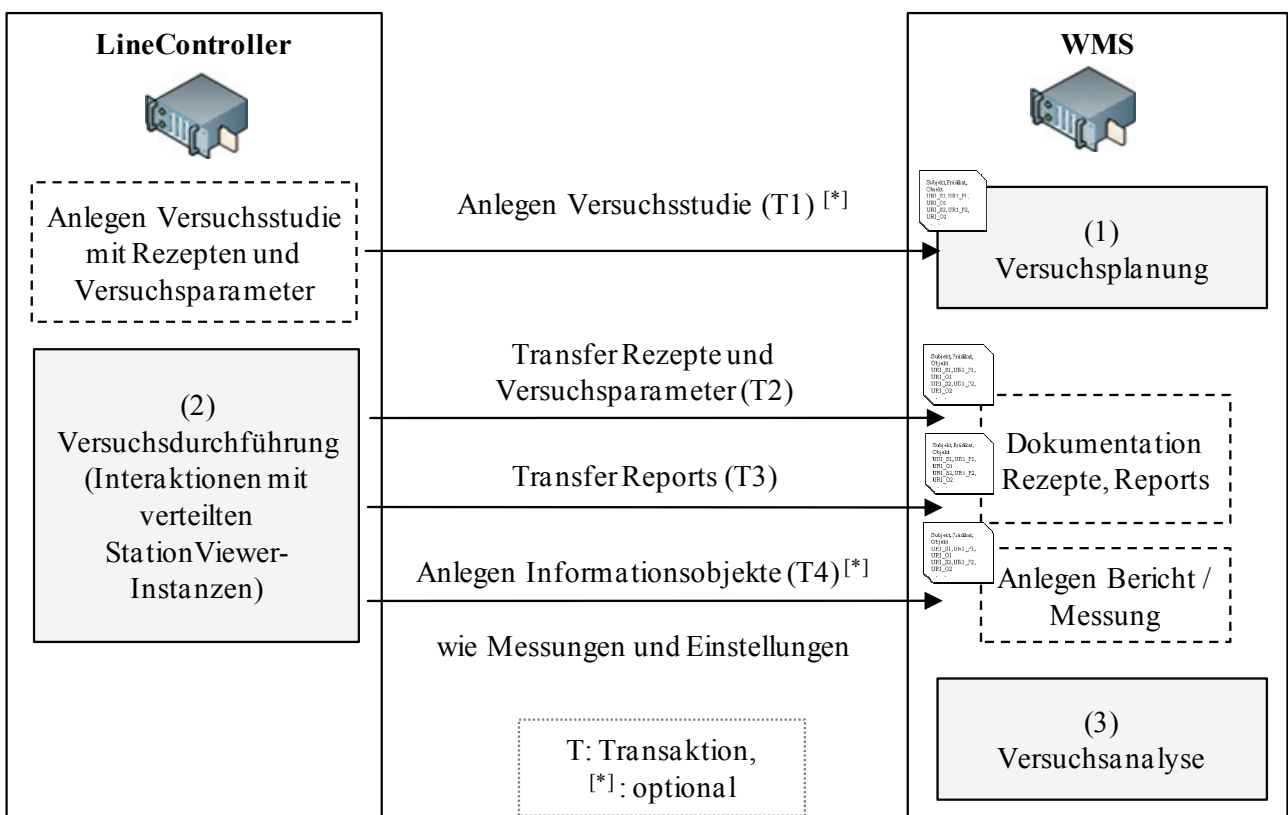


Abbildung 8-5: Transaktionen des semantischen Datenadapters im PV-Testzentrum

Falls vor dem Start eines Versuchs keine entsprechende Versuchsstudie im WMS angelegt wurde, kann eine Versuchsstudie über Schaltflächen des *LineControllers*

erzeugt werden.²⁶ In diesem Fall wird das Datenobjekt *Versuchsstudie* automatisch an das WMS übertragen, wo durch den Anwender optional weitere Informationen in Form von Attributen und Relationen ergänzt werden können (Transaktion T1). Der Transfer der *Rezepte* und der *Versuchsparameter* für die *Versuchspläne* erfolgt zum Zeitpunkt der Versuchsaktivierung (Transaktion T2). Die *Reports* und die in diesen enthaltenen Mess- und Prüfwerte werden nach dem Empfang beim *LineController* mit Kontextinformationen annotiert und an das WMS übertragen (Transaktion T3). Auch Informationsobjekte lassen sich während der Versuchsdurchführung über Schaltflächen des *LineController* anlegen. Die erzeugten Informationsobjekte können dabei automatisch mit Kontextinformationen wie der momentanen Versuchsstudie, den verwendeten Materialressourcen und Maschinen verknüpft werden. Bei Generierung eines Informationsobjekts wird die entsprechende Wiki-Seite zur weiteren Bearbeitung durch den Anwender geöffnet (Transaktion T4). Zudem sind zur Synchronisation beider Systeme die aktuellen eindeutigen Bezeichner für die Versuchsstudie und die Versuchsaktivierung zwischen WMS und *LineController* abzugleichen.

Das semantische Schnittstellenmodul überträgt also die Datenobjekte, welche im Erweiterungsmodul *Versuchsdaten* des Wissensmodells abgebildet sind.

8.1.3.3 Wissensmodell synthetisieren (V3-1)

Das Wissensmodell wurde auf Grundlage des Basismoduls und der semi-formalen Beschreibung aus der Analysephase in eine ObjectLogic-Ontologie transformiert. Für die Modellierung wurde der Editor ontoStudio verwendet.

²⁶ Dies widerspricht dem idealisierten Ablauf einer Versuchsstudie, ist jedoch für die Anwendung in der Praxis notwendig, um z. B. Testläufe während des Versuchsaufbaus durchführen zu können und hierbei die Synchronisation beider Systeme sicherzustellen.

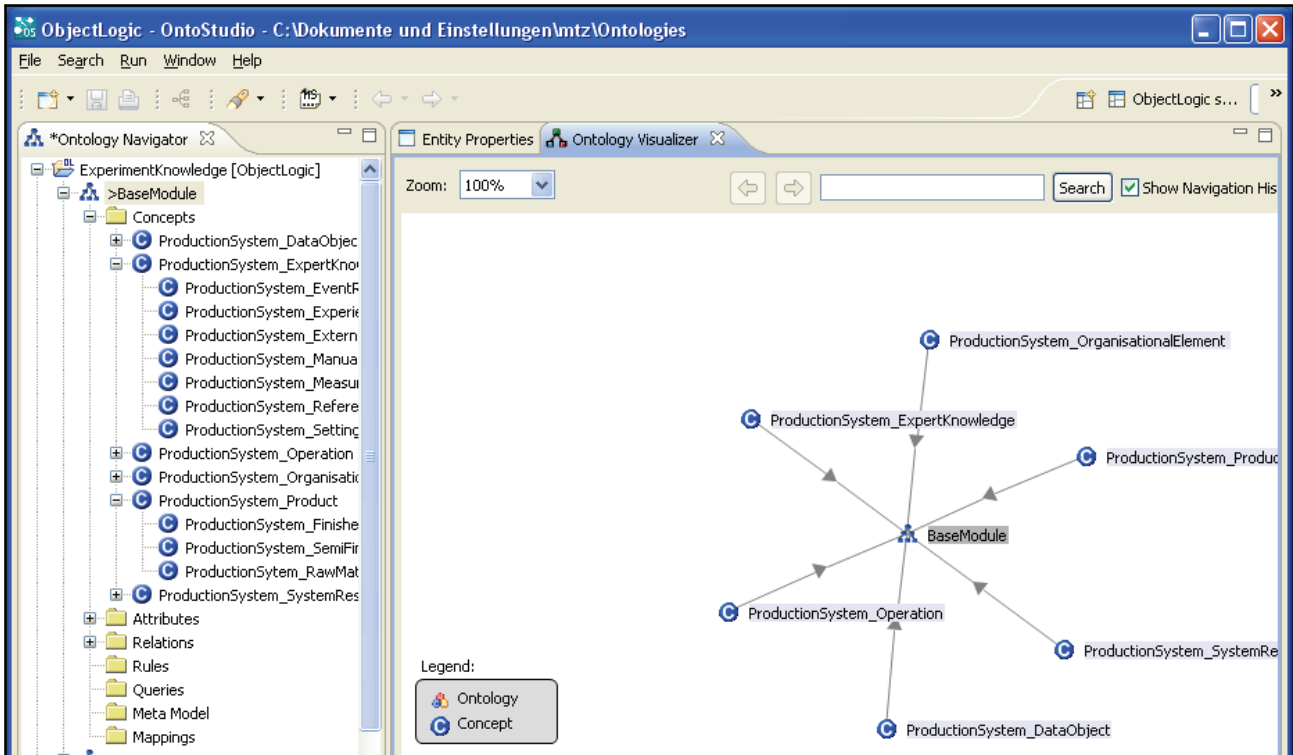


Abbildung 8-6: Wissensmodell für das PV-Testzentrum in ontoStudio²⁷

Durch die Transformation in eine Ontologie wird das Wissensmodell durch das semantische Wissensmanagementsystem auswertbar und kann in dieses importiert werden.

8.1.4 Implementierung und Erprobung im PV-Testzentrum

Das Wissensmanagementsystem für das PV-Testzentrum wurde im Rahmen dieser Arbeit realisiert und anhand von Versuchsstudien erprobt (siehe Abbildung 8-7). Dabei wurden die in Abschnitt 8.1.2 beschriebenen Prozesse und Aufgaben der Versuchsplanung, -durchführung und -analyse unter Einsatz des Systems durchgeführt.

²⁷ Zum flexibleren Einsatz wurde die Ontologie in Englisch erstellt.

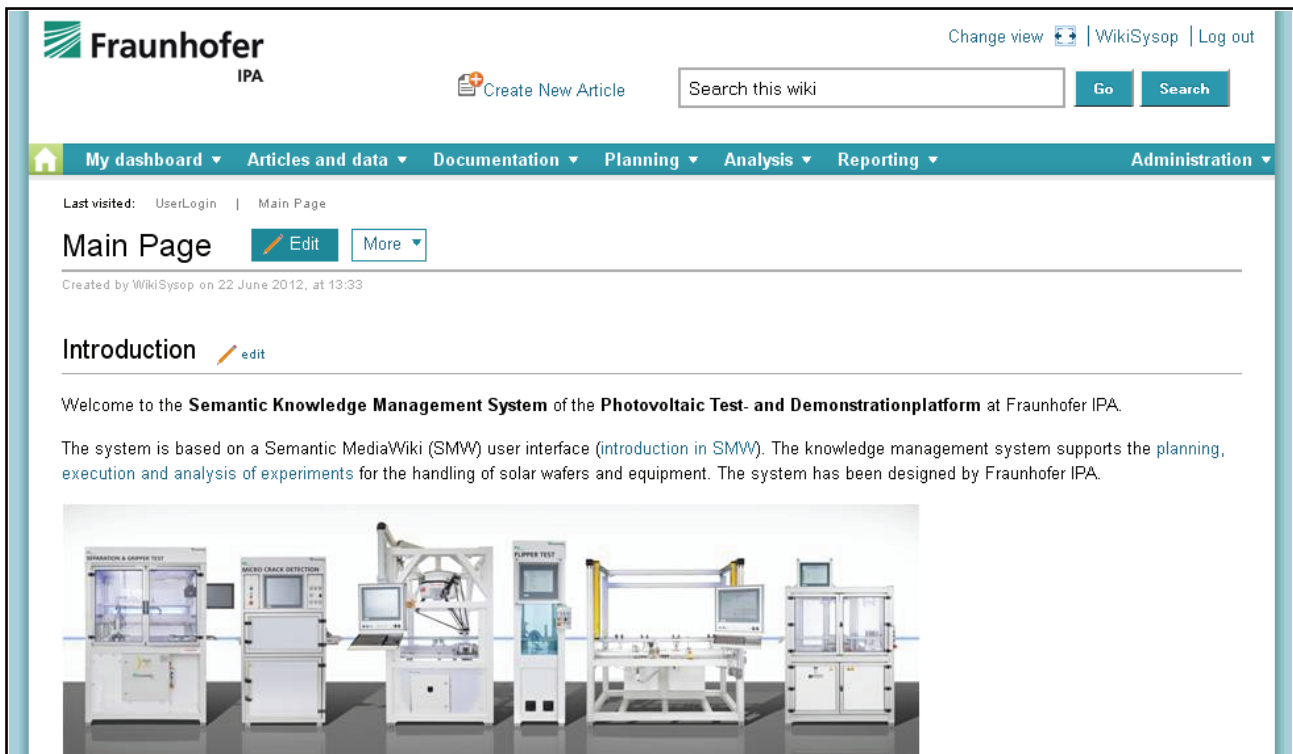


Abbildung 8-7: Startseite des semantischen Wissensmanagementsystems im PV-Testzentrum

In der Planungsphase wurden über die Benutzeroberfläche des Systems Kundenanforderungen dokumentiert, die Versuchsstudien spezifiziert und der Versuchsaufbau beschrieben. Hierbei wurden Inhalte in Form von Wiki-Seiten sowie elektronische Dokumente mit Texten, Tabellen und Bildern erfasst.

Nutzen: Die Kommunikation zwischen den am Projekt beteiligten Mitarbeitern wird vereinfacht und die Dokumentation und Wiederverwendbarkeit der Studienspezifikationen wird gewährleistet.

Die Versuchspläne wurden in dem neu entwickelten Versuchsmodul des *LineController* erstellt (siehe Abbildung 8-8). Beim Start der Versuche übertrug der *LineController* die Rezepte und Versuchsparameter an das Wissensmanagementsystem über den semantischen Datenadapter. Die vom *StationViewer* übermittelten Reporte wurden vom *LineController* gesammelt, durch Kontextinformationen ergänzt und ebenfalls an das WMS übertragen. Um für den

Anwender die Interaktion mit beiden Anwendungen zu erleichtern, wird das Wissensmanagementsystem über ein in den *LineController* und den *StationViewer* eingebettetes Browser-Fenster aufgerufen.

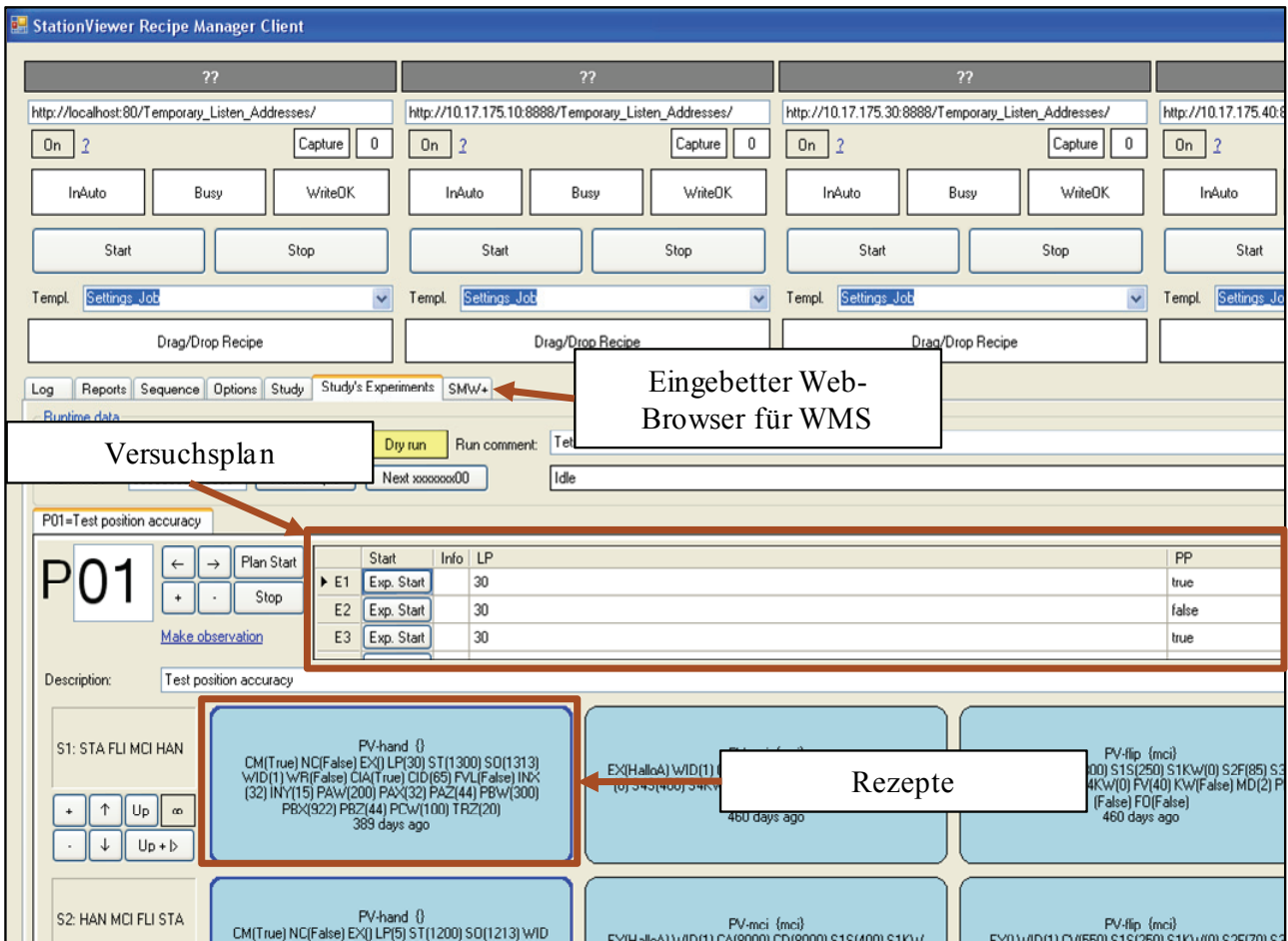


Abbildung 8-8: Im LineController eingebettetes Versuchsmodul

Nutzen: Die Rezepte, Versuchsparameter und Reports werden automatisch gespeichert und mit den für die Versuchsstudie relevanten Informationsobjekten wie der Beschreibung des Versuchsaufbaus semantisch verknüpft.

Während der Versuchsdurchführung konnten die im Wissensmanagementsystem erfassten Informationsobjekte wie Spezifikationen, Handlungsanleitungen und Erfahrungsberichte sowie die Datenobjekte jederzeit über die Mensch-Maschine-

Schnittstellen an den Maschinen, über mobile Endgeräte und an Büroarbeitsplätzen aufgerufen werden.

Nutzen: Der Produktionsmitarbeiter hat vor Ort Zugriff auf alle relevanten Informationsobjekte und Datenobjekte über eine zentrale Benutzerschnittstelle, welche semantische Suchen und Anfragen unterstützt.

Zudem konnte der Mitarbeiter über das Wissensmanagementsystem Messungen, Einstellungen und Erfahrungsberichte dokumentieren und auf Basis des Wissensmodells mit Referenzobjekten des Produktionssystems verknüpfen. Durch Schaltflächen im *LineController* und im *StationViewer* können diese Informationsobjekte generiert und dabei automatisch parametrisiert werden.

Nutzen: Informationsobjekte können flexibel im System hinterlegt werden und mit den Referenzobjekten des Produktionssystems und damit indirekt mit den Datenobjekten aus der Produktion-IT und anderen Informationsobjekten verknüpft werden.

In der Analysephase wurden die in der Versuchsplanung und -durchführung gesammelten Informationsobjekte und Datenobjekte ausgewertet. Dies wurde durch die im Wissensmodell hinterlegten Regeln und Relationen zwischen den Metadaten der Produktionsdomäne unterstützt. Es konnten im Wissensmanagementsystem vorkonfigurierte Analysen und Anfragen genutzt werden. Zudem erfolgte ein Export in Tabellenverarbeitungsprogrammen zur weitergehenden Analyse (siehe Abbildung 8-9).

Nutzen: Eine schnelle Identifikation und Nutzung der im System hinterlegten Inhalte wird ermöglicht. Die Suche nach ähnlichen Versuchsstudien und relevanten Erfahrungen wird durch die semantische Verknüpfung der Objekte im System

unterstützt. Zudem umfasst das System Funktionen zum Export von Inhalten in externe Dokumente.

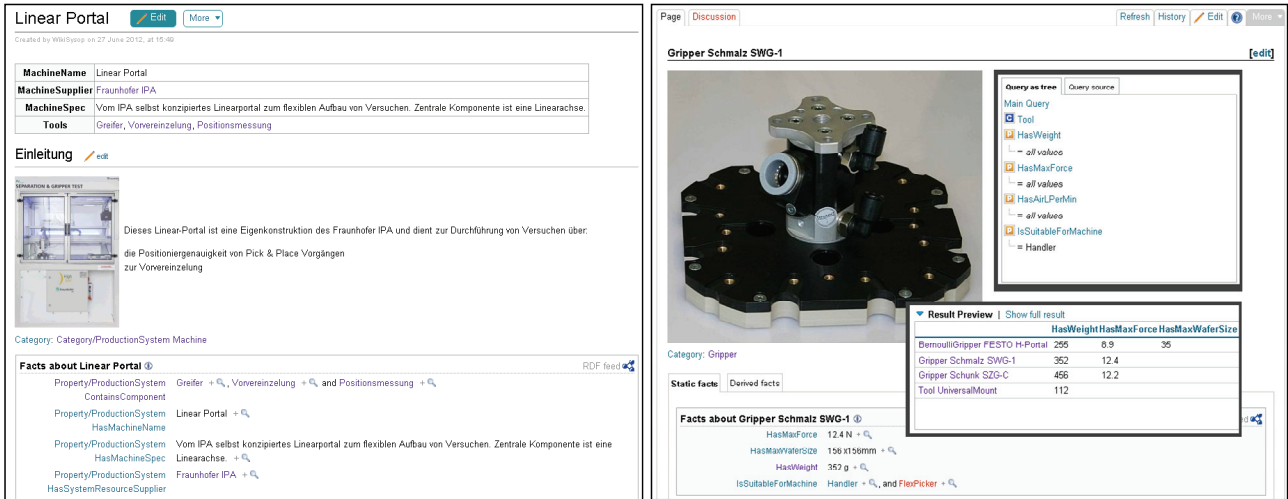


Abbildung 8-9: Spezifikationen und semantische Anfragen im Wissensmanagementsystem

Durch die Entwicklung des WMS für das PV-Testzentrum wurde eine flexible Wissensmanagementlösung auf Basis des in dieser Arbeit entwickelten Lösungsansatzes implementiert. Das System zeichnet sich durch seine hohe Flexibilität und schnelle Anpassbarkeit an sich ändernde Systemkonfigurationen und Prozesse im Produktionssystem aus und unterstützt hiermit dessen Wandlungsfähigkeit.

8.2 Fallbeispiel 2: Entwicklung und Betrieb von Werkzeugmaschinen

Das von der EU geförderte Forschungsprojekt TRANSPARENCY hat die Erfassung, die Verteilung und die Nutzung von Wissen über alle Lebenszyklusphasen von Werkzeugmaschinen zur Zielsetzung. Es berücksichtigt insbesondere die Anforderungen europäischer KMU an solche Systeme. Im Rahmen des Projekts wurde eine Wissensmanagementplattform für Maschinenbauer, Maschinenbetreiber und Komponentenlieferanten entworfen und realisiert. Heterogene Informationsobjekte wie Kundenanforderungen, Komponentenspezifikationen,

Maschinenarchitekturen, CAD-Dateien, Erfahrungsberichte, Wartungsberichte sowie an der Maschine erfasste Datenobjekte sollen hierbei ausgetauscht, bewahrt und zur Nutzung durch unterschiedliche Anwender bereitgestellt werden. Die Vision des Projektes ist eine Optimierung zukünftiger Entwicklungszyklen von Maschinen auf Basis des gesammelten Wissens [SEZ 2012].

Das hierzu konzipierte Wissensmanagementsystem wurde nach dem in dieser Arbeit vorgestellten Systemkonzept aufgebaut.²⁸ Hierbei wurden ergänzend zur Wiki-basierten Benutzeroberfläche ein Anwendungsmodul zur Unterstützung der im Projekt erstellten Entwicklungsmethodik für Werkzeugmaschinen entwickelt, welches die iterative Durchführung einer Reihe von Designschritten und die Kalkulation von Kennzahlen zum Vergleich alternativer Maschinenkonzepte in der frühen Entwurfsphase unterstützt.

Abbildung 8-10: In Wissensmanagementsystem integriertes Anwendungsmodul

²⁸ Das Basismodul wurde hier wegen des auf die Maschinenentwicklung erweiterten Fokus angepasst.

Das Anwendungsmodul wurde als MediaWiki-Erweiterung anhand des in dieser Arbeit vorgestellten Konzepts (siehe Abschnitt 7.4) in das Wiki-System eingebettet und über einen semantischen Datenadapter an die Middleware angebunden. Auf Wiki-Seiten gespeicherte Informationen werden durch semantische Annotation für die automatischen Kalkulationen in der Web-Anwendung nutzbar gemacht [Zapp u. a. 2012c]. Zudem sieht das in TRANSPARENCY entwickelte Systemkonzept die Sammlung, Aggregation und Übertragung von in der Produktion erfassten Datenobjekten an das Wissensmanagementsystem vor. Daten werden sowohl auf Maschinenebene durch die PC-basierte Maschinensteuerung als auch auf Komponentenebene durch „aktive Komponenten“ gesammelt und vorverarbeitet. Die auf den Komponenten und auf der Maschine gespeicherten Aggregations- und Analysemodule generieren Kennzahlen, welche durch Eingaben vom Service-Personal an der Mensch-Maschine-Schnittstelle ergänzt und über den in dieser Arbeit vorgestellten semantischen Datenadapter an die Wissensmanagementplattform übertragen werden [Zapp u. a. 2012b].

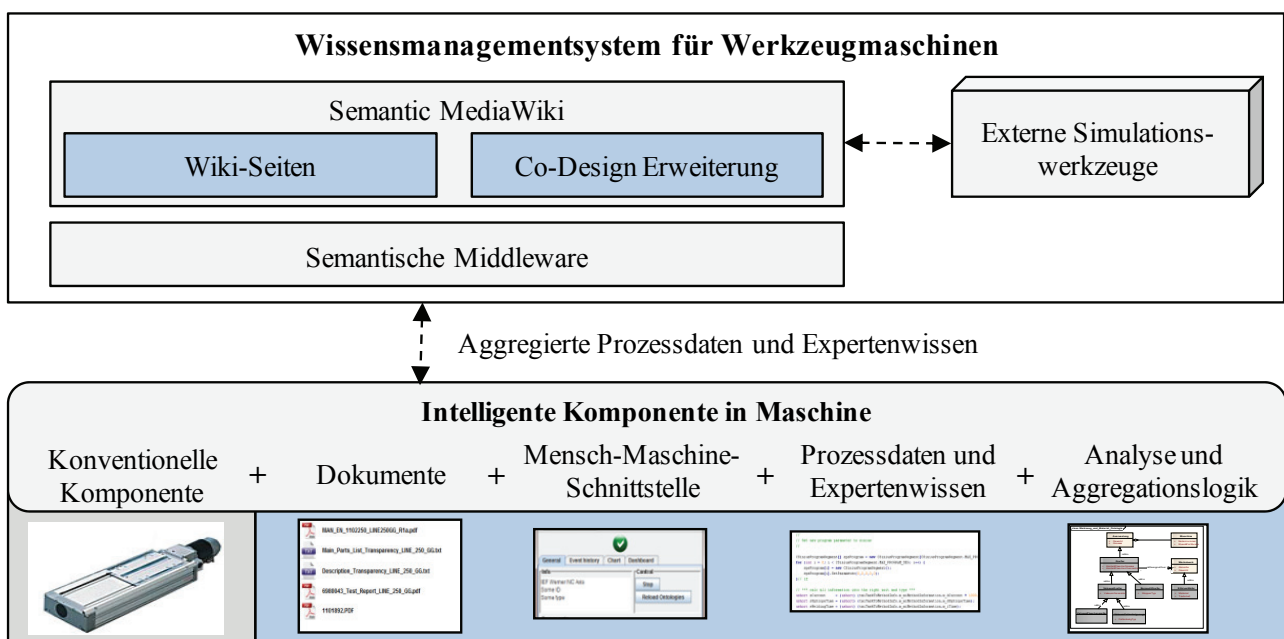


Abbildung 8-11: Systemkonzept der TRANSPARENCY-Plattform [Zapp u. a. 2012b; Zapp u. a. 2012c]

Die Validierung des Konzeptes erfolgt im Rahmen des Projektes anhand von Demonstrationsszenarien. Es konnte gezeigt werden, dass sich das flexible wiki-basierte Wissensmanagementsystem erfolgreich um eingebettete Webanwendungen mit komplexer Anwendungslogik erweitern lässt und das Wissensmanagement innerhalb eines KMU und zwischen mehreren Unternehmen unterstützt.

8.3 Bewertung des Lösungskonzepts

In den vorhergehenden Abschnitten wurde über die Implementierung und Erprobung des Systemkonzepts und des Vorgehensmodells anhand des Versuchsmanagements im PV-Testzentrum des Fraunhofer IPA berichtet sowie dessen Nutzen dargestellt. Ein weiteres Anwendungsszenario wurde im Projekt TRANSPARENCY mit dem Wissensmanagementsystem für Werkzeugmaschinen skizziert, welches insbesondere die Erweiterung des Konzeptes um komplexe Anwendungsmodule validiert.

Im vorliegenden Abschnitt folgt eine Bewertung des Lösungskonzeptes anhand der in Abschnitt 3.3.1 spezifizierten Anforderungen an Wissensmanagementsysteme in KMU. Hierzu werden zunächst die in Kapitel 5 vorgestellte Systemarchitektur und die in Kapitel 6 entwickelten Modelle betrachtet (Abschnitt 8.3.1). Es wird bewertet, ob ein in dieser Art und Weise konzipiertes Wissensmanagementsystem in der Nutzungsphase die Anforderungen in wandlungsfähigen Produktionssystemen bei KMU erfüllt. Im Anschluss wird das in Kapitel 7 vorgestellte Vorgehensmodell für die organisations-spezifische Anwendung des Lösungskonzepts in KMU evaluiert (Abschnitt 8.3.2).

8.3.1 Bewertung des Wissensmanagementsystems

In Tabelle 8-3 wird die Bewertung des Systems in Bezug auf die in Abschnitt 3.3.1 spezifizierten Anforderungen dargestellt. Ergänzend wird auf die relevanten Abschnitte der vorliegenden Arbeit verwiesen.

Anforderung	Bewertung	Verweise
(A1) Einbettung in Produktionsumgebung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abbildung von Informationsobjekte für spezifische Prozesse und Aufgaben im Wissensmodell möglich ▪ Komplexe Anwendungslogik über Erweiterungen realisierbar ▪ Unterstützende organisatorische Wissensmanagementmethoden zur Einbettung in Organisationen erforderlich 	Erweiterbares Wissensmodell (→ 6.1); Präsentations- und Anwendungsebene (→ 5.1.2)
(A2) Integration in produktionsnahe IT	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Datenobjekte werden automatisiert annotiert und übertragen ▪ Daten werden automatisch oder durch Anwender mit Kontextinformationen versehen ▪ Schnittstelle ist für Erfassung sehr großer Datenmengen nicht geeignet 	Extraktionsebene (→ 0); Schnittstellenmodul (→6.3); Einsatz des Systems (→ 5.2)
(A3) Erfassung heterogener Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ System erlaubt Anwendern die einfache Erfassung heterogener Inhalte ▪ Datenobjekte aus Produktions-IT werden durch das Schnittstellenmodul semantisch annotiert und verknüpft 	Präsentations- und Anwendungsebene (→ 5.1.2); Extraktionsebene (→ 0)

(A4) Flexible Benutzerschnittstelle	●	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zugriff über Web-Browser an verteilten Maschinen, mobilen Endgerät oder Büroarbeitsplätzen möglich ▪ Benutzeroberfläche bietet die Flexibilität eines Wiki-Systems ▪ Flexible Navigation im System 	Präsentations- und Anwendungsebene (→ 5.1.2)
(A5) Anpassbarkeit und Erweiterbarkeit	●	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wissensmodell durch Anwender in der Produktion konfigurierbar ▪ Formulare und Wiki-Struktur der Benutzeroberfläche durch Anwender konfigurierbar 	Anpassbarkeit des Systems (→ 5.2.3)
(A6) Geringer Ressourcenbedarf	●	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lösungskonzept als Open-Source-System implementierbar ▪ Erweiterung und Anpassung durch geschulte Mitarbeiter zur Minimierung des Bedarfs an IT-Personals möglich 	Systemarchitektur (→ 5.1); Anpassbarkeit des Systems (→ 5.2.3)
<p>● Anforderung voll erfüllt ◐ Anforderung teilweise erfüllt ○ Anforderung nicht erfüllt</p>			

Tabelle 8-3: Bewertung des Wissensmanagementsystems

Das Systemkonzept kombiniert ein Wiki-System mit semantischen Technologien zu einem flexiblen und anpassbaren Wissensmanagementsystem in der Produktion. Die Wiki-Technologie, welche bereits erfolgreich in KMU eingesetzt wird, unterstützt die Erfassung heterogener Inhalte über eine flexible Benutzeroberfläche. Die semantischen Technologien heben die Schwachpunkte konventioneller Wiki-Technologien auf und erlauben die Integration des Systems in die Produktions-IT. Das System bietet sich durch seine Flexibilität und Anpassbarkeit insbesondere für die Anwendung in wandlungsfähigen Produktionssystemen an.

8.3.2 Bewertung des Vorgehensmodells

In Tabelle 8-4 wird die Bewertung des Vorgehensmodells in Bezug auf die in Abschnitt 0 spezifizierten Anforderungen an die Entwicklung und Einführung von Wissensmanagementsystemen dargestellt und auf die relevanten Abschnitte der vorliegenden Arbeit verwiesen.

Anforderung	Bewertung	Verweis
(E1) Ausrichtung an Prozessen und Aufgaben	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analyse der Prozesse und Aufgaben in der Produktion als Grundlage des Systementwurfs vorgesehen ▪ Anpassungen des Wissensmodells, der Benutzeroberfläche und der Schnittstellen an spezifische Prozesse im Produktionssystem möglich 	Analyse und Entwurf Prozesse (→ 0, 7.4); Systemarchitektur (→5.1)
(E2) Modulares Entwicklungskonzept	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wissensmodelle basierend auf wiederverwendbaren Modulen ▪ Schnittstellenmodul zur Implementierung von Datenadaptern wiederverwendbar ▪ Funktionale Erweiterungen für die Benutzeroberfläche wiederverwendbar 	Erweiterbares Wissensmodell (→ 6.1); Analyse und Entwurf Wissensmodell (→0, 7.4); Präsentations- und Anwendungsebene (→ 5.1.2)

(E3) Iterativer Entwicklungsprozess	●	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Frühe Prototypenerstellung durch die Verwendung standardisierter Softwarekomponenten möglich ▪ Vermeidung von Medienbrüchen durch die referenzierten Analyse- und Entwurfs-Werkzeuge sichergestellt ▪ Zwischenergebnisse einfach verständlich und durch Experten aus der Produktion validierbar 	Aufbau Prototypen (→ 7.4, 7.5); Methoden und Werkzeuge (→7.1)
(E4) Einfache Methoden und Werkzeuge	●	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorgehensmodell referenziert einfache und verbreitete Methoden und Werkzeuge wie die eEPK-Methodik und die graphischen SMW-Konfigurationsdienste 	Methoden und Werkzeuge (→7.1); Anpassung des Systems (→5.2.3)
● Anforderung voll erfüllt ◐ Anforderung teilweise erfüllt ○ Anforderung nicht erfüllt			

Tabelle 8-4: Bewertung des Vorgehensmodells

Das Vorgehensmodell ist auf die Besonderheiten des in dieser Arbeit entwickelten Systemkonzepts und der Anwendung in produzierenden KMU ausgelegt. Das Modell stellt die Ausrichtung des Entwicklungsprozesses an den Prozessen und Aufgaben der Mitarbeiter in der Produktion sicher. Die wiederverwendbaren Module, das modulare Entwicklungskonzept und die einfachen Methoden und Werkzeuge unterstützen den Einsatz in KMU.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Europäische Produktionsunternehmen nehmen weltweit eine führende Rolle bei der Herstellung von qualitativ hochwertigen und an Kundenanforderungen angepassten Gütern ein. Zur Erhaltung und zum Ausbau ihrer Wettbewerbsfähigkeit müssen diese Unternehmen die Attraktivität ihres Angebots und ihre Reaktionsfähigkeit auf die sich immer schneller ändernden Anforderungen und Marktbedingungen kontinuierlich verbessern. Hierzu müssen die eingesetzten Produktionssysteme, als soziotechnische Gesamtsysteme, über Wandlungsfähigkeit verfügen. Dies verlangt, zum einen, nach flexiblen und rekonfigurierbaren Maschinen in der Produktion und, zum anderen, nach leistungsfähigen und flexibel einsetzbaren Mitarbeitern. Diese benötigen für die Lösung von immer komplexeren und schneller wechselnden Aufgabenstellungen ein gestiegenes Maß an Daten, Informationen und Wissen, welches in unterschiedlichen Kontexten anwendbar ist.

Als Folge steigt die Bedeutung von Methoden und Werkzeugen zur Verbesserung des Wissensmanagements in produzierenden Unternehmen. Am Markt existiert bereits eine Vielzahl von IT-Werkzeugen zum Wissensmanagement, die jedoch in der Produktion und insbesondere in KMU auf Grund ihrer fehlenden Flexibilität und Anpassbarkeit sowie wegen ihres hohen Ressourcenbedarfs nicht verbreitet sind. Für die Verbesserung des Wissensmanagements der Mitarbeiter in der Produktion sind Systeme zu entwickeln, welche die spezifischen Anforderungen in wandlungsfähigen Produktionssystemen und in KMU erfüllen:

- Das System soll es Mitarbeitern in der Produktion erlauben, unstrukturierte und semi-strukturierte Inhalte wie Texte, Bilder und Dokumente einfach zu erfassen.

- Das System muss in die Produktionsumgebung eingebettet werden können und über Mensch-Maschine-Schnittstellen und mobile Endgeräten in der Produktion sowie an Büroarbeitsplätzen verfügbar sein.
- Datenobjekte aus den IT-Systemen der Fertigungsebene und der Fertigungsleitebene sind in das Wissensmanagementsystem zu integrieren.
- Die Benutzeroberfläche des Systems soll einen einfachen und flexiblen Einsatz durch die Mitarbeiter in der Produktion sicherstellen.
- Während des Systemlebenszyklus sollen autorisierte Anwender das System anpassen und erweitern können, um die Wandlungsfähigkeit des gesamten Produktionssystems zu unterstützen.
- Das System soll für den Einsatz in KMU mit engen finanziellen und personellen IT-Ressourcen geeignet sein.

In dieser Arbeit wurden die am Markt etablierten IT-Werkzeuge für das Wissensmanagement wie Dokumenten-Management-Systeme, Content-Management-Systeme, Groupware-Systeme, Portalsysteme und Experten-Systeme analysiert. Neben solchen konventionellen Ansätzen wurden Web-2.0-Technologien, beispielsweise Wiki-Systeme, als stärker anwenderorientierte und anpassbare Lösungen betrachtet. Systeme aus beiden Technologiegruppen weisen signifikante Schwachstellen in Bezug auf ihre Anpassbarkeit und Erweiterbarkeit, die flexible Erfassung heterogener Inhalte oder ihren Ressourcenbedarf auf. Die ebenfalls untersuchten semantischen Technologien bieten einen Ansatzpunkt, um die durch Mitarbeiter erfassten Informationsobjekte in Wissensmanagementsystemen wie Dokumente, Texte und Bilder mit Datenobjekten aus der Produktions-IT über semantische Relationen zu verknüpfen und auszuwerten.

In der Literatur wurden bereits erste Systemarchitekturen für semantische Wissensmanagementsysteme diskutiert. Diese Ansätze sind jedoch weder für die Anwendung in wandlungsfähigen Produktionssystemen noch für KMU ausgelegt und

sind demnach für diese Anwendungsfälle zu adaptieren. Zudem sind Wissensmanagementsysteme an die spezifischen Anforderungen des jeweiligen Produktionsunternehmens anzupassen. Hierfür werden neben einer Systemarchitektur und deren Komponenten geeignete Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge benötigt. Die Vorgehensmodelle aus der wissenschaftlichen Literatur bieten hier Ansatzpunkte und Bausteine, sind jedoch ebenfalls auf die spezifischen Anforderungen wandlungsfähiger produzierender KMU zu adaptieren.

Das in dieser Arbeit vorgestellte Lösungskonzept stellt einen Bauplan und einen Leitfaden für die Entwicklung organisationsspezifischer semantischer Wissensmanagementsysteme in wandlungsfähigen Produktionssystemen bei KMU dar. Die Systemarchitektur beschreibt die Systemkomponenten des Wissensmanagementsystems und ordnet diese anhand von drei funktionalen Ebenen an. In der Präsentations- und Anwendungsebene wird ein Semantisches Wiki-System eingesetzt. Dieses ermöglicht den Mitarbeitern die flexible Erfassung, die semantische Verknüpfung und die Anfrage von heterogenen Informationsobjekten. Für die Unterstützung komplexerer Arbeitsabläufe können zudem Anwendungsmodule als Web-Anwendungen entwickelt und in das Wiki-System integriert werden. Die mit der Präsentations- und Anwendungsebene verbundene Integrations- und Auswertungsebene umfasst eine semantische Middleware, welche alle im System vorhandenen Informations- und Datenobjekte verknüpft und auswertet. Das System verwendet hierfür ein Wissensmodell. Dieses wird als Ontologie implementiert und umfasst die Metadaten der Systemdomäne, deren semantische Verknüpfungen sowie formalisiertes maschinenverständliches Expertenwissen in Form von Regeln. Die Extraktions- und Aggregationsebene als dritte Systemebene besteht aus verteilten semantischen Datenadaptern zur Übertragung und zur semantischen Annotation von Datenobjekten wie Rezepten und Reports aus den Informationssystemen in der Produktion.

Um die Grundlage für die Entwicklung von organisationsspezifischen Wissensmanagementsystemen in Unternehmen zu schaffen, entwickelt die Arbeit ein Basismodul für Wissensmodelle in wandlungsfähigen Produktionssystemen sowie ein semantisches Schnittstellenmodul für die Realisierung der verteilten Datenadapter. Des Weiteren werden die Systemarchitektur und ihre Kernkomponenten durch ein in dieser Arbeit entworfenes Vorgehensmodell für die Entwicklung von Wissensmanagementsystemen ergänzt. Dieses Modell beschreibt die durchzuführenden Aktivitäten und referenziert hierbei für KMU geeignete Methoden und Werkzeuge. Es bietet hiermit einen in der Praxis umsetzbaren Leitfaden für produzierende Unternehmen.

Das in dieser Arbeit entwickelte Lösungskonzept wurde anhand von zwei Fallbeispielen erprobt. Zum einen wurde am Fraunhofer IPA ein Wissensmanagementsystem zur Versuchsplanung, -durchführung und -analyse bei der automatisierten Handhabung von Silizium-Wafern in der Photovoltaik-Industrie entwickelt. Zum anderen wurde im Rahmen des EU-Forschungsprojektes TRANSPARENCY (246273) ein Wissensmanagementsystem für die Entwicklung und den Betrieb von Werkzeugmaschinen konzipiert, implementiert und zusammen mit Industriepartnern validiert. Zusätzlich zu dieser praktischen Erprobung wurde das Lösungskonzept anhand von Anforderungen bewertet, die in Wissenschaft und Praxis diskutiert werden. Als Ergebnis ist festzuhalten, dass die in dieser Arbeit entwickelte Systemarchitektur die Anforderungen in wandlungsfähigen Produktionssystemen bei KMU erfüllt. Insbesondere ist das System flexibel, durch Mitarbeiter in der Produktion anpassbar und hiermit für den Einsatz in turbulentem Umfeld geeignet. Für die Erfassung großer und komplexer Datenmengen aus der Produktions-IT ist das System jedoch in seiner hier vorgestellten Form nicht ausgelegt.

Das komplementäre Vorgehensmodell benennt die notwendigen Aktivitäten für die Anwendung des Systemkonzeptes in produzierenden KMU. Hierbei stehen die

Anpassung des erweiterbaren Wissensmodells und die Anwendung des semantischen Schnittstellenmoduls im Fokus. Die im Vorgehensmodell referenzierten Methoden und Werkzeuge sind für die Anwendung in KMU besonders geeignet und ermöglichen die Entwicklung und Nutzung des Systems mit geringem Ressourcenaufwand.

Das in dieser Arbeit entwickelte Lösungskonzept bietet mehrere Ansatzpunkte für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsinitiativen.

Zunächst sind über das in dieser Arbeit vorgestellte Schnittstellenmodul hinaus eine weitergehende Integration mit der Produktions-IT in Unternehmen auf Basis von industriellen Standards wie OPC-UA anzustreben. Dabei sind der durch die Erfassung von zusätzlichen Datenobjekten entstehende Nutzen und die durch die gesteigerte Komplexität und schlechtere Anpassbarkeit des Systems entstehenden Nachteile abzuwägen. Durch die Integration von Datenmanagement- und Verarbeitungsmodulen in den Schnittstellenmodulen kann das Systemkonzept auch für die Erfassung und Verknüpfung großen Datenmengen ausgelegt werden.

Darüber hinaus sind weitergehende Methoden und Werkzeuge für die Motivation der Mitarbeiter zur Nutzung des Systems zu untersuchen. Insbesondere die gegenseitige Kommentierung und qualitative Bewertung von Beiträgen weist Entwicklungspotentiale auf. Hierbei ist die Anwendung von, in sozialen Netzwerken verbreiteten, Konzepten und Technologien in unternehmensinternen Wissensmanagementsystemen zu erproben und experimentell zu validieren.

Zuletzt ist die Anwendung des Lösungskonzeptes auf weitere Geschäftsprozesse und Aufgaben in der Produktion zu validieren. Insbesondere die Wartung und Instandhaltung, mit ihrer Vielzahl an strukturierten und unstrukturierten Informations- und Datenobjekten, bietet Potentiale.

10 Summary and outlook

The European manufacturing industry is very active in nearly all fields of production, thus making it one of the world's strongest operators for factories. To improve their competitiveness, manufacturing enterprises need to be responsive to changing product and production requirements as well as market trends. This is especially true for small and medium sized enterprises (SME), which act in smaller markets and customer segments. In consequence, their processes and production systems have to be adaptable. To achieve this, not only flexible and reconfigurable machines on the shop floor are needed but also experienced workers and engineers capable of dealing with changing requirements and conditions. In order to be able to perform their problem-solving tasks effectively and also to facilitate continuous innovations in the production organization, these workers and engineers require much more data, information and knowledge than in the past.

As a result, methods and information systems to support knowledge management (KM) on the shop floor are becoming increasingly important. Commercial KM tools which support the gathering, storage and retrieval of knowledge within enterprises have been available on the market for several decades. However, these systems strongly focus on office applications and do not fulfill the requirements of adaptable production systems or SMEs. These are:

- Gathering, storage and retrieval of heterogeneous contents, such as written material and electronic documents, and making it available to workers and engineers.
- Data interfaces with external IT systems on the shop floor to facilitate the transfer of data objects such as recipes and measurement data.
- Access by workers and engineers via distributed human-machine-interfaces at machine, mobile device and personal computer level.

- Easy-to-use, flexible user interfaces for workers, engineers and office employees.
- Alteration by workers and engineers throughout the system's life-time in order to adapt to changes in the production environment.
- Minimum amount of IT resources to implement and maintain the system.

Today, conventional knowledge management systems dominate the market, e.g. document management systems, content management systems, groupware systems, portal systems and expert systems. During recent years, Web 2.0 technologies, such as wikis and blogs, have become more important. These systems can be easily controlled and adapted by users during their runtime. In addition, semantic technologies offer superior ways to cope with unstructured and semi-structured contents in such systems. This is achieved using formalized expert knowledge, which is captured in an ontology. A number of semantic knowledge management systems have been discussed in scientific literature. However, these concepts neither fulfill the particular requirements of knowledge management systems on the shop floor nor are they sufficiently flexible and resource-efficient for SMEs.

Knowledge management systems need to be adapted to the special requirements and processes of each organization. Therefore, a set of methods and tools have to be selected or developed, which support the adaptation, roll-out and continuous improvement of knowledge management systems in manufacturing SMEs. Strategies, methodologies and tools for developing knowledge management systems have been evaluated within the scope of this thesis. However, due to a lack of suitable approach for the production domain and existing system architecture, this aspect still needed to be developed. Consequently, a system architecture and methodology for knowledge management systems in adaptable production systems have been developed in this thesis.

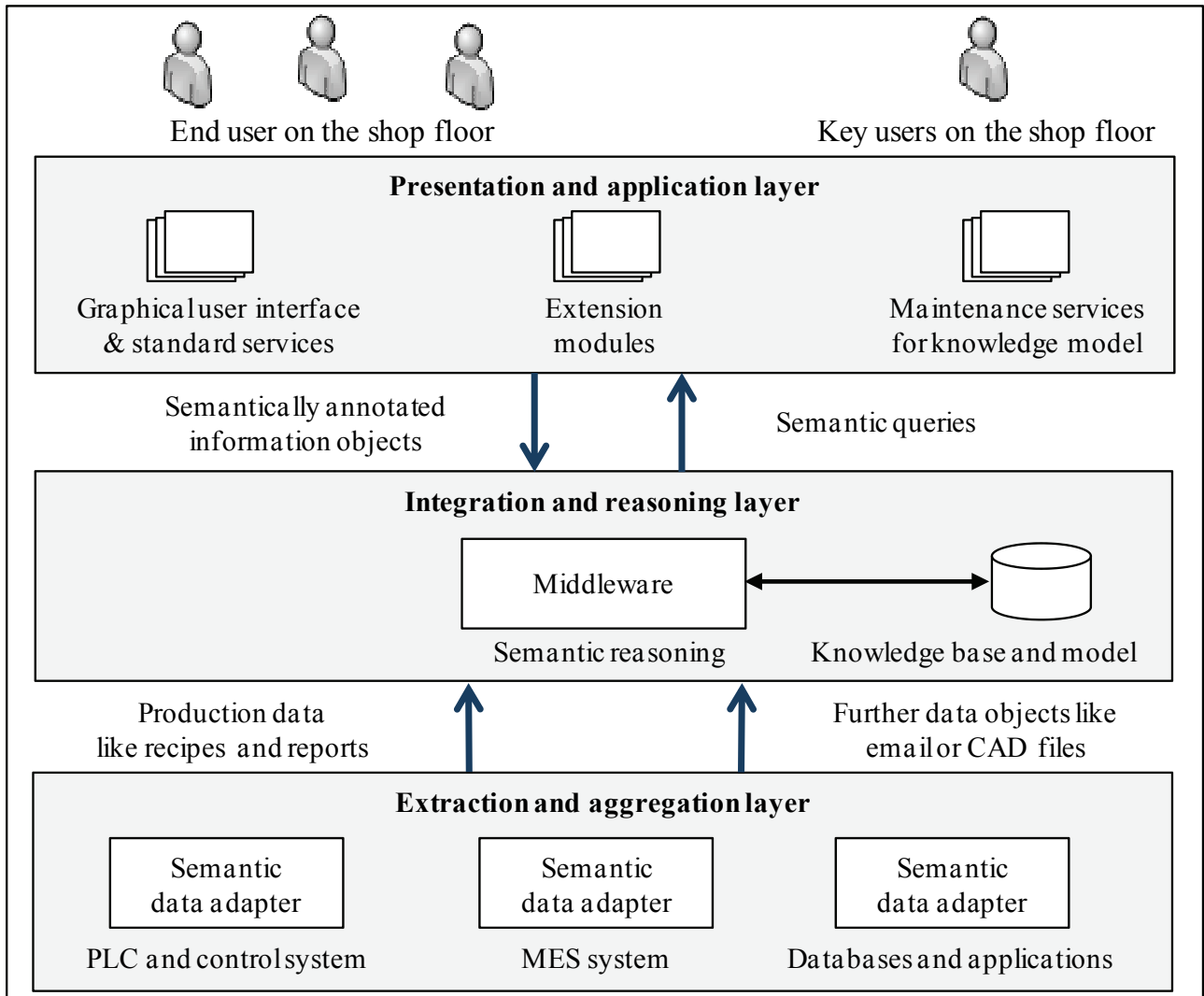


Figure 1: System architecture for the semantic knowledge management system on the shop floor

The architecture is composed of three layers (refer to Figure 1): the presentation and application layer is wiki-based and complemented by a number of custom-designed extensions. As a result, the user manages knowledge primarily via wiki-pages and semantic forms, thus ensuring high flexibility and adaptability of the user interface. The integration and reasoning layer is composed of semantic middleware, which allows information objects and data objects from heterogeneous sources to be interlinked, and also performs deductive reasoning based on formalized expert knowledge. This is contained in the knowledge model of the system, which is implemented as an ontology and is made up of concepts, attributes, relations and

rules. The knowledge model and all facts contained in the system are analyzed by applying the semantic reasoning capabilities of the middleware. The data extraction and aggregation layer is the third layer in the system architecture and is made up of distributed semantic data adapters, which support the transfer and semantic integration of data from heterogeneous information systems on the shop floor.

The system components, which need to be adapted to the specific requirements of each organization, are the knowledge model and the semantic data adapters. To support their implementation an extensible knowledge model and a semantic interface module have been developed. The knowledge model provides a modular architecture and a re-usable base module. The base module defines concepts, relations and rules to manage information objects and data objects in adaptable production systems. It can be extended by modules for specific business processes, system resources and production data. The semantic interface module provides a framework for the development of distributed data adapters. Inside each data adapter the external data model is mapped to the elements of the knowledge model (refer to Figure 2).

This is conducted based on a transformation of data objects in triples. The semantic mapping enables the interlinking of the data objects with the heterogeneous information objects in the knowledge management system and allows performing integrated search and analysis.

For the roll-out of the knowledge management system in a specific manufacturing organization, its business processes need to be analyzed and the knowledge model and semantic data adapters implemented. To achieve this, a methodology for deploying semantic knowledge management systems is proposed in this thesis, which defines activities, methods and tools suitable for SMEs. The methodology offers a guideline for the implementation and usage of the system.

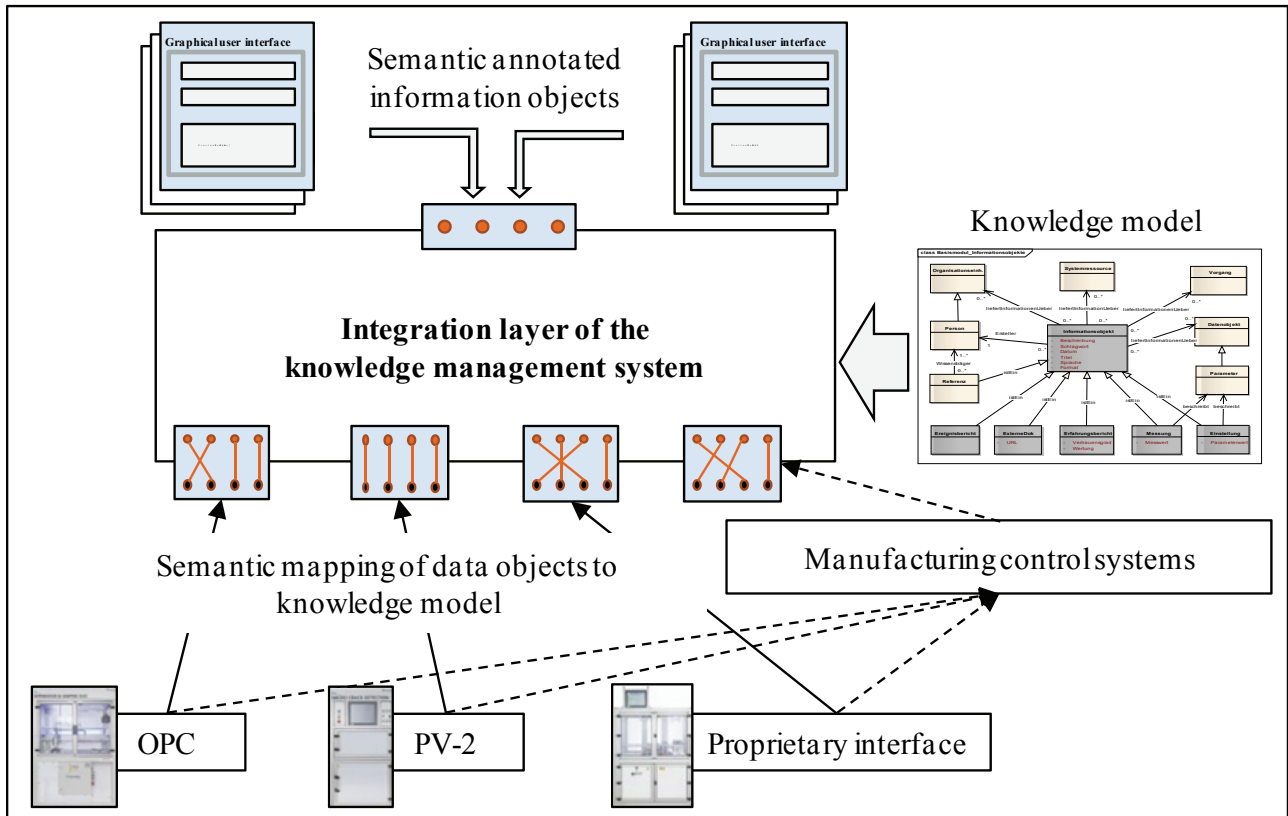


Figure 2: Interaction of semantic data interfaces and knowledge model inside the system

The system architecture and methodology developed in the thesis have been validated in two case studies. Firstly, a knowledge management system for machine tool design and operation was developed in cooperation with industrial partners in the SME-targeted EU research project Transparency (246273). Secondly, a knowledge management system for planning, performing and analyzing experiments in production was developed for a photovoltaic test platform at Fraunhofer IPA. This second case study is described in detail in the thesis to illustrate application of the methodology in practice. Both case studies show the benefits of the proposed semantic knowledge management system: the system is flexible and adaptable by users. It is not only capable of integrating unstructured and semi-structured content, such as documents and written text on wiki-pages, but also well-structured data objects transferred from external information systems. However, the presented system architecture has limitations in processing and analyzing a large number of

data objects or data volumes. The methodology references methods and tools, which are suitable for SMEs and allow a quick and effective implementation of knowledge management systems in manufacturing organizations. In the process, no major IT resources are required for implementation or maintenance.

The concept presented offers several opportunities for future work. Firstly, research initiatives can focus on deeper integrating the system into production IT based on industrial standards like OPC-UA. This could be complemented by equipping the data adapters with preprocessing capabilities to make it applicable for production systems with large data volumes. Secondly, additional methods and tools need to be developed to further encourage workers and engineers to use the knowledge management system in manufacturing. The mutual assessment of content by employees offers particular potentials for innovation, with the adaptation and application of concepts from social software in enterprise applications being especially promising. Lastly, the application of the overall concept and modular knowledge management in further business processes need to be analyzed. Especially the management of preventive and corrective maintenance, which requires large amounts of structured, semi-structured and unstructured content, offers potentials as a new application scenario.

11 Literaturverzeichnis

- [Angele u. a. 1998] Angele, Jürgen; Fensel, Dieter; Landes, Dieter; Studer, Rudi:
Developing Knowledge-Based Systems with MIKE
In: Automated Software Engineering 5 (1998), Nr. 4, S. 389–418
- [Angele 2012] Angele, Jürgen:
OntoBroker. Mature and approved semantic middleware
In: Semantic Web 4 (2013), Nr. 3, S. 1–15
<http://www.semantic-web-journal.net/content/ontobroker-mature-and-approved-semantic-middleware>
- [Angeli 2001] Angeli, Ralf:
Betriebsdatenerfassung.
In: Peter Mertens (Hrsg.): Lexikon der Wirtschaftsinformatik 4., vollst. bearb. und erw. Aufl.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2001, S. 73–74
- [Baclawski u. a. 2001] Baclawski, Kenneth; Kokar, Mieczyslaw M.; Kogut, Paul A.; Hart, Lewis; Smith, Jeffrey E.; Holmes, William S. u. a.:
Extending UML to Support Ontology Engineering for the Semantic Web
In: Gogolla, Martin; Kobryn, Cris (Hrsg.): Proceedings of the 4th International Conference on the Unified Modeling Language, Modeling Languages, Concepts, and Tools, 1.-5. Oktober 2001, Toronto, Kanada
London: Springer, 2001, S. 342–360
- [Baier 2008] Baier, Elisabeth:
Semantische Technologien in Wissensmanagementlösungen - Einsatzpotenziale für den Mittelstand (Fazit Forschung, 13)
Stuttgart: MFG-Stiftung Baden-Württemberg, 2008
- [Baker u. a. 2011] Baker, Thomas; Heath, Tom; Noy, Natasha; Swick, Ralph:
W3C Semantic Web Case Studies and Use Cases (2011)
<http://www.w3.org/2001/sw/sweo/public/UseCases/>
(31.08.2012)
- [Barrett 2009] Barrett, Daniel J.: MediaWiki (2012)
<http://www.mediawiki.org/wiki/Manual:Contents/de>
(31.08.2012)

- [Baumeister und Reutelshoefer 2009] Baumeister, Joachim; Reutelshoefer, Jochen (2009):
Engineering on the Knowledge Formalization Continuum
In: SemWiki'09: Proceedings of 4th Semantic Wiki workshop.
1. Juni 2009, Hersonissos, Griechenland
<http://ceur-ws.org/Vol-464/>
- [Beier 2006] Beier, Heiko:
Betriebliches Wissensmanagement: Rollen, Prozesse,
Instrumente
In: Tassilo Pellegrini und Andreas Blumauer (Hrsg.): Semantic
Web. Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft
1. Aufl.
Berlin, Heidelberg: Springer, 2006, S. 257–272
- [Berawi und Woodhead 2005] Berawi, Mohammed Ali; Woodhead, Roy:
Application of Knowledge Management in Production
Management
In: Human Factors and Ergonomics in Manufacturing 15
(2005), Nr. 3, S. 249–257
- [Berger u. a. 2004] Berger, Stefan; Mangold, Christoph; Meyer Sebastian:
Wissensmanagement für die wandlungsfähige Montage
In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004), Nr. 3, S. 80–85
- [Berger u. a. 2005] Berger, Stefan; Mangold, Christoph; Meyer, Sebastian;
Westkämper, Engelbert:
Knowledge Management in Assembly
In: 38th International Seminar on Manufacturing Systems
16.-18. Mai 2005, Florianopolis, Brasilien
Paris: CIRP, 2005, S. 405–412
- [Berkholz 2011] Berkholz, Daniel:
Einleitung: Wandlungsfähige Produktionssysteme - der Zukunft
einen Schritt voraus
In: Nyhuis, Peter (Hrsg.) (2008): Wandlungsfähige
Produktionssysteme. Heute die Industrie von morgen gestalten
Garbsen: PZH, Produktionstechn. Zentrum, 2011, S. 13–18
- [Berners-Lee und Hendler 2001] Berners-Lee, Tim; Hendler, James:
The Semantic Web. A new form of Web content that is
meaningful to computers will unleash a revolution of new
possibilities
In: Scientific American 301 (2001), Nr. 5, S. 34–43

- [Bizer und Berners-Lee 2009] Bizer, C.; Heath Tom; Berners-Lee, T.:
 Linked data - The story so far
 In: International Journal on Semantic Web and Information Systems 5 (2009), Nr. 3, S. 1–22
- [Bleisch u. a. 2011] Bleisch, Günter; Majschak, Jens-Peter; Weiss, Uta:
 Verpackungstechnische Prozesse. Lebensmittel-, Pharma- und Chemieindustrie
 1. Aufl.
 Hamburg: Behr, 2011
- [Blumauer 2003] Blumauer, Andreas; Graf, Peter; Jeitler, Christian; Koller, Andreas (2003):
 Werkzeuge fürs Wissensmanagement - KM Tools (2003)
http://pwm.at/wp-content/uploads/2010/11/7_tmpphp7u3ply.pdf
 (03.09.2012).
- [Blumauer und Pellegrini 2006] Blumauer, Andreas; Pellegrini, Tassilo:
 Semantic Web und semantische Technologien: Zentrale Begriffe und Unterscheidungen
 In: Andreas Blumauer und Tassilo Pellegrini (Hrsg.): Semantic Web. Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft
 1. Aufl.
 Berlin, Heidelberg: Springer, 2006, S. 9–25
- [Boettinger u. a. 2010] Boettinger, Fabian; Hoffmeister, Michael; Fischmann, Christian; Jofer, Bernhard:
 Methodology and Benefit for the Equipment. Integration with Standardized PV Equipment Communication Interface
 In: EUPVSEC 2010 Proceedings.
 6.-10. September 2010, Valencia, Spanien
 München: WIP Renewable Energies, 2010
- [Borgo und Leitão 2007] Borgo, Stefano; Leitão, Paulo:
 Foundations for a Core Ontology of Manufacturing
 In: Raj Sharman, Rajiv Kishore und Ram Ramesh (Hrsg.):
 Ontologies. A handbook of principles, concepts and applications in information systems
 1. Aufl.
 New York: Springer, 2007, S. 751–775
- [Brandt-Herrmann und Wilkesmann 2008] Brandt-Herrmann, Gila; Wilkesmann, Uwe:
 Wissensmanagement in der Werkshalle. Geht das?
 In: Wissensmanagement 10 (2008), Nr. 4, S. 35–37

- [Bray u. a. 2008] Bray, Tim; Paoli, Jean; Sperberg-McQueen, C. M.; Maler, Eve; Yergeau, François (Hrsg.) (2008): Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition). W3C Recommendation 26 November 2008. W3C.
<http://www.w3.org/TR/2008/REC-xml-20081126> (02.09.2012)
- [Brenner 2007] Brenner, Peter-Frederik:
Steigerung der Leistungsfähigkeit der Statischen Versuchsmethodik durch die Gestaltung anwendungsspezifischer Informationssysteme nach einem Referenzmodell
Erlangen-Nürnberg, Univ. ,Diss., 2007
- [Breslin u. a. 2010] Breslin, John G.; O'Sullivan, David; Passant, Alexandre; Vasiliu, Laurentiu:
Semantic Web computing in industry
In: Computers in Industry 61 (2010), Nr. 8, S. 729–741
- [Bughin 2009] Bughin, Jacques; Chui, Michael; Miller, Andy (2009):
How companies are benefiting from Web-2.0. McKinsey Global Survey Results: Hrsg. v. McKinsey.
http://www.mckinsey.de/downloads/publikation/mck_on_bt/2009/mck_on_bt_17_Web-20.pdf (31.09.2012)
- [Bullinger u. a. 1997] Bullinger, Hans-Jörg; Wörner, Kai; Prieto, Juan:
Wissensmanagement heute : Daten, Fakten, Trends.
Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, 1997
- [Bullinger u. a. 1998] Bullinger, Hans-Jörg; Warschat, J.; Prieto, Juan; Wörner, Kai:
Wissensmanagement - Anspruch und Wirklichkeit: Ergebnisse einer Unternehmensstudie in Deutschland
In: IM Information Management & Consulting 13 (1998), Nr.1, S. 7–23
- [Bullinger u. a. 2008] Bullinger, Hans-Jörg; Spath, Dieter; Warnecke, Hans J.; Westkämper, Engelbert:
Handbuch Unternehmensorganisation. Strategien, Planung, Umsetzung
3. Aufl.
Berlin: Springer, 2008
- [CAS 2010] CAS: OPC Unified Architecture e-book (2010)
<http://www.commsvr.com/UAModelDesigner/Index.aspx> (15.08.2012)

- [Cuel u. a. 2007] Cuel, Roberta; Delteil, Alexandre; Louis, Vincent; Rizzi, Carlo: The technology roadmap of the Semantic Web. KnowledgeWeb White Paper (2007)
<http://knowledgeweb.semanticweb.org/o2i/menu/KWTR-whitepaper-43-final.pdf> (03.09.2012)
- [Decker u. a. 1999] Decker, Stefan; Erdmann, Michael; Fensel, Dieter; Studer, Rudi:
 Ontobroker. Ontology based Access to Distributed and Semi-Structured Information
 In: R. Meersman, Zahir Tari und Scott Stevens (Hrsg.): Database semantics. Semantic issues in multimedia systems 1. Aufl.
 Boston: Kluwer, 1999, S. 351–369
- [Decker u.a. 2005] Decker, Björn; Finke, Ina; John, Michael; Joisten, Martina:
 Wissen und Information 2005
 Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl, 2005
- [Denkena u. a. 2005] Denkena, Berend; Apitz, Rene; Rudzio, Holger:
 Werkzeuge für die wissensintensive Produktion von morgen In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 100 (2005), Nr. 4, S. 165–168
- [DIN 6789] Norm DIN 6789 2002-11:
 Dokumentationswesen
- [DIN 8580] Norm DIN 8580 2003-09:
 Fertigungsverfahren
- [DIN 62264] Norm DIN 62264 2008-06:
 Integration von Unternehmensführungs- und Leitsystemen
- [DMS 2010] DMS Beratungs- und Projektges. mb (2010): Der Einsatz eines Dokumentenmanagementsystems in Fertigung und Produktion. DMS Beratungs- und Projektges. mb
<http://www.dms-gmbh.de/dokumentenmanagement-in-konstruktion-produktion.html> (01.04.2012)
- [Dublin Core 2011] Dublin Core Metadata Initiative (2011): Dublin Core Metadata Element Set. Version 1.1. Dublin Core Metadata Initiative.
<http://dublincore.org/documents/dces/> (08.08.2012)
- [Dunn 2010] Dunn, Patrick F.:
 Measurement and data analysis for engineering and science 2. Aufl.
 Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis, 2010

- [EC 2011] European Commission: Workprogramme 2012: Cooperation theme 4 - Nanosciences, nanotechnologies, materials and new production technologies (2011)
http://ec.europa.eu/research/participants/portalplus/static/docs/calls/fp7/common/31540-4.2012_wp_cooperation_nmp_en.pdf
 (31.08.2012).
- [Erdmann und Hansch 2011] Erdmann, Michael; Hansch, Daniel (2011): Business applications with SMW+, a Semantic Enterprise Wiki
http://static.smwplus.net/1/images/1/1b/Business_applications_with_SMW%2B.pdf (03.09.2012)
- [EU 2006] Richtlinie 2006/42/EG 2006-05:
 Richtlinie über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006L0042:DE:HTML>
- [Eversheim 1996] Eversheim, Walter:
 Produktionstechnik und -verfahren
 In: Werner Kern, Hans-Horst Schröder und Jürgen Weber (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft
 2. Aufl.
 Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996, S. 1534–1544
- [Fensel 2004] Fensel, Dieter:
 Ontologies: A Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce
 2. Aufl.
 Heidelberg: Springer, 2004
- [Fernandez u. a. 1997] Fernandez, Mariano; Gomez-Perez, Asuncion; Juristo, Natalia:
 METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering
 In: Adam Farquhar und Michael Gruninger (Hrsg.): Ontological engineering. Papers from the 1997 AAAI Symposium
 24.-26. März 1997, Stanford, California
 Menlo Park, Calif: AAAI Press, 1997, S. 33–38
- [Fischbach 2012] Fischbach, Kai (2012): Wissensarbeiter.
 In: Karl Kurbel, Jörg Becker, Norbert Gronau, Elmar J. Sinz und Lena Suhl (Hrsg.): Enzyklopaedie der Wirtschaftsinformatik. 5. Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.

<http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/daten-wissen/Wissensmanagement/Wissensorganisation--Instrumente-der-/Wissensarbeiter/> (01.09.2012)

- [Fischer 2006] Fischer, Hajo: Wissensmanagement für KMU - Was sind die Voraussetzungen? (2006)
http://www.competence-site.de/downloads/4d/19/i_file_17482/Wissensmanagement%20f%C3%BCr%20KMU.pdf
(01.09.2012)
- [Fischmann 2011] Fischmann, Christian:
Analyse von Wafer-Greifern in der Photovoltaik-Fertigung.
Einflussfaktoren auf die Vibration kristalliner Substrate
während der Handhabung
In: wt Werkstattstechnik online 101 (2011), Nr. 9, S. 551–557
- [Fleischhauer und Rouette 1989] Fleischhauer, Peter; Rouette, Leo:
Wissen, Information, Daten - Versuch einer begrifflichen
Darstellung und Abgrenzung
In: Computer Magazin Wissen (1989), Nr. 101, S. 8–9
- [Gennari u. a. 2002] Gennari, John H.; Musen, Mark A.; Ferguson, Ray W.; Grosso, William E.; Crubzy, Monica; Eriksson, Henrik et al.:
The Evolution of Protégé: An Environment for Knowledge-
Based Systems Development
In: International Journal of Human-Computer Studies 58
(2002), Nr. 1, S. 89–123
- [Glimm u. a. 2009] Glimm, Birte; Horridge, Matthew; Parsia, Bijan; Patel-
schneider, Peter F.:
A Syntax for Rules in OWL 2
In: Hoekstra, Rinke; Patel-Schneider, Peter F. (Hrsg.):
Proceedings of the 6th International Workshop on OWL:
Experiences and Directions (OWLED 2009)
23.-24. Oktober 2009, Chantilly, VA, United States
- [Google 2012] Google Developers: Google Web-Toolkit (2012)
<https://developers.google.com/web-toolkit/> (18.08.2012)
- [Gruber 1993] Gruber, Thomas R.:
A translation approach to portable ontology specifications
In: Knowledge Acquisition 5 (1993), Nr. 2, S. 199–220.
- [Gruber 2008] Gruber, Thomas R.:
Collective Knowledge Systems: Where the Social Web meets

the Semantic Web

In: Journal of Web Semantics 6 (2008), Nr. 1, S. 4–13

[Guarino 1997]

Guarino, Nicola:

Understanding, Building, and Using Ontologies

In: International Journal of Human-Computer Studies 46 (1997), Nr. 2-3, S. 293–310

[Günterberg 2012]

Günterberg, Brigitte:

Unternehmensgrößenstatistik. - Unternehmen, Umsatz und sozialversicherungspflichtig Beschäftigte 2004 bis 2009 in Deutschland, Ergebnisse des Unternehmensregisters (URS 95). Daten und Fakten Nr. 2.

Bonn: Institut für Mittelstandsforschung, 2012

[Hansch 2012]

Hansch, Daniel: Library of rules. Semantic MediaWiki+ (2012)

http://smwplus.net/index.php/Example/Library_of_rules (31.08.2012)

[Heisig 2007]

Heisig, Peter:

Professionelles Wissensmanagement in Deutschland.

Erfahrungen, Stand und Perspektiven des Wissensmanagements

In: Norbert Gronau (Hrsg.): 4. Konferenz Professionelles Wissensmanagement - Erfahrungen und Visionen. Band 1: Deutsche Beiträge

Berlin: GITO (1), 2007, S. 3–19

[Heinen u. a. 2008]

Heinen, Tobias; Rimpau, Christoph; Wörn, Arno:

Wandlungsfähigkeit als Ziel der Produktionssystemgestaltung

In: Nyhuis, Peter (Hrsg.) (2008): Wandlungsfähige

Produktionssysteme. Heute die Industrie von morgen gestalten

Garbsen: PZH, Produktionstechn. Zentrum, 2011, S. 19–32

[Hesse u. a. 1994]

Hesse, Wolfgang; Barkow, Georg; Braun, Hubert von; Kittlaus, Hans-Bernd; Scheschonk, Gert:

Terminologie der Softwaretechnik, Ein Begriffssystem für die Analyse und Modellierung von Anwendungssystemen, Teil 2: Tätigkeits- und ergebnisbezogene Elemente

In: Informatik Spektrum 17 (1994), Nr. 2, S. 96–105

[Hesse 2002]

Hesse, Wolfgang:

Das aktuelle Schlagwort: Ontologie(n)

In: Informatik Spektrum 25 (2002), Nr.6, S. 477–480

[Hoffmeister und Zapp 2011a] Hoffmeister, Michael; Zapp, Matthias (2011):

Performing Experiments in Photovoltaic Manufacturing Using

Knowledge Management Technologies

In: Photovoltaics International (2011), Nr. 12, S. 21–29

- [Hoffmeister u. a. 2011b] Hoffmeister, Michael; Zapp, Matthias; Konrad, Konstantin; Angele, Jürgen; Verl, Alexander:
Schlankes Wissensmanagement für agile Produktionssysteme
In: wt Werkstattstechnik online 101 (2011), Nr. 9, S. 611–616
- [IABG 2012] IABG: SW-Spezifikation erstellen. Teil 6: V-Modell-Referenz
Aktivitäten. Version 1.4 (2012)
<http://v-modell.iabg.de/v-modell-xt-html/e498fa1913c23c.html>
(01.09.2012)
- [IBM 2012] IBM: Rational Unified Process. Hrsg. v. IBM (2012)
<http://www-01.ibm.com/software/awdtools/rup/> (31.08.2012)
- [IfM 2002] IfM Bonn: KMU-Definition des IfM Bonn. Institut für
Mittelstandforschung Bonn (2002)
<http://www.ifm-bonn.org/index.php?id=89> (31.08.2012)
- [ISA-88] Norm ANSI/ISA-88.01-1995 Teil 1:
Batch control part 1, models and terminology
- [Janey und Vraneš 2011] Janev, Valentina; Vraneš, Sanja:
Applicability assessment of Semantic Web technologies
In: Information Processing and Management, 47 (2011), Nr. 4,
S. 507–517
- [Keller u. a. 1992] Keller, G.; Nüttgens, M.; Scheer, August-Wilhelm: Semantische
Prozeßmodellierung auf der Grundlage Ereignisgesteuerter
Prozeßketten (EPK).
Hrsg. v. August-Wilhelm Scheer. Universität des Saarlandes,
Saarbrücken, 1992 (Veröffentlichungen des Instituts für
Wirtschaftsinformatik, 89)
- [Kern u. a. 1996] Kern, Werner; Schröder, Hans-Horst; Weber, Jürgen (Hrsg.):
Handwörterbuch der Produktionswirtschaft
2. Aufl.
Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 1996
- [Kifer u. a. 1995] Kifer, Michael; Lausen, Georg Lausen; Wu, James:
Logical Foundations of Object-Oriented and Frame-Based
Languages
In: Journal of the ACM 42 (1995), Nr. 4, S. 741–843
- [Kleppmann 2009] Kleppmann, Wilhelm:
Taschenbuch Versuchsplanung. Produkte und Prozesse
optimieren

6., überarb. Aufl.
München: Hanser, 2009
(Praxisreihe Qualitätswissen)

- [Kohl u.a. 2010] Kohl, Ina; Dreier, Markus; Orth, Ronald; Voigt, Stefan:
Forschungsbedarf im Wissensmanagement für KMU. Ein
Ausblick. Hrsg. v. Community of Knowledge (2010)
[http://www.community-of-knowledge.de/beitrag/
forschungsbefar-d-im-wissensmanagement-fuer-kmu-ein-
ausblick/](http://www.community-of-knowledge.de/beitrag/forschungsbedarf-im-wissensmanagement-fuer-kmu-ein-ausblick/) (31.08.2012)
- [Konrad u. a. 2012] Konrad, Konstantin; Hoffmeister, Michael; Zapp, Matthias;
Verl, Alexander; Busse, Johannes:
Enabling Fast Ramp-Up of Assembly Lines through Context-
Mapping of Implicit Operator Knowledge and Machine-Derived
Data
In: Svetan Ratchev (Hrsg.): IFIP Advances in Information and
Communication Technology
Berlin, Heidelberg: Springer, 2012, S. 163–174
- [Kriwald und Haasis 2001] Kriwald, Torsten; Haasis, Hans-Dietrich:
Betriebliches Wissensmanagement in Produktion und
Umweltschutz
In: Hans-Dietrich Haasis und Torsten Kriwald (Hrsg.):
Wissensmanagement in Produktion und Umweltschutz.
1. Aufl.
Berlin, Heidelberg: Springer, 2001, S. 1–19
- [Kröttsch u. a. 2007] Kröttsch, Markus; Vrandecic, Denny; Völkel, Max; Haller, H.;
Studer, Rudi:
Semantic Wikipedia
In: Journal of Web Semantics 5 (2007), Nr. 4, S. 251–261
- [Kröttsch 2012] Kröttsch, Markus (Hrsg.): Semantic MediaWiki (2012)
<http://semantic-mediawiki.org/> (31.08.2012)
- [Lehner 2009] Lehner, Franz:
Wissensmanagement. Grundlagen, Methoden und technische
Unterstützung
3., akt. und erw. Aufl.
München, Wien: Hanser, 2009
- [Lemaignan u. a. 2006] Lemaignan, Severin; Siadat, Ali; Dantan, Jean-Yves;
Semenenko, Anatoli (2006):
MASON: A Proposal For An Ontology Of Manufacturing
Domain

- In: Proceedings of the IEEE Workshop on Distributed Intelligent Systems: Collective Intelligence and Its Applications, 15.-16. Juni 2006, Prag, Tschechien
Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, S. 195–200
- [Liebig u. a. 2009] Liebig, T.; Noppens, O.; Henke von, F.: VIScover: Visualizing, Exploring, and Analysing Structured Data. VAST 2009 Flitter Mini Challenge Award: Novel visualization of effect of rule application
In: IEEE Symposium on Visual Analytics 2009
11.-16. Oktober 2009, Atlantic City, USA
- [Maedche u. a. 2003] Maedche, Alexander; Motik, Boris; Stojanovic, Ljiljana; Studer, Rudi; Volz, Raphael:
Ontologies for Enterprise Knowledge Management
In: IEEE Intelligent Systems, 18 (2003), Nr. 2, S. 26–33
- [Maier 2007] Maier, Ronald:
Knowledge management systems. Information and communication technologies for knowledge management
3. überarb. Aufl.
Berlin: Springer, 2007
- [Maier und Lehner 1994] Maier, Ronald; Lehner, Franz:
Wert des Informationsbegriffs - Vorschlag für eine theoretische Neukonzeption
In: Wolf Rauch (Hrsg.): Mehrwert von Information – Professionalisierung der Informationsarbeit. Proceedings des 4. Internationalen Symposiums für Informationswissenschaft (ISI '94), 2.-4. November 1994, Graz, Österreich
Konstanz: Univ.-Verl., 1994, S. 33–50
- [Matsokis und Kiritsis 2010] Matsokis, Aristeidis; Kiritsis, Dimitris:
An ontology-based approach for Product Lifecycle Management
In: Computers in Industry 61 (2010), Nr. 8, S. 787–797
- [McBride 2002] McBride, Brian:
Jena: a semantic Web toolkit
In: IEEE Internet Computing 6 (2002), Nr. 6, S. 55–59
- [MediaWiki 2012] MediaWiki (Hrsg.): MediaWiki - API.
http://www.mediawiki.org/wiki/API:Main_page/de
(30.09.2012)

- [Meier 2011] Meier, Matthias:
Verfahren zum emulationsgestützten MES-Engineering für die
Photovoltaikindustrie
Heimsheim: Jost-Jetter, 2011
(IPA-IAO-Forschung und Praxis, 508)
Stuttgart, Univ., Diss., 2011
- [Meier und Konrad 2009] Meier, Matthias; Konrad, Konstantin:
PVECI - a new PV standard supporting efficient and effective
production
In: Photovoltaics International (2009), Nr. 4, S. 30–35
- [Millard u. a. 2006] Millard, Ian; Jaffri, Afraz; Glaser, Hugh; Rodriguez-Castro,
Benedicto (2006):
Using a Semantic MediaWiki to Interact with a Knowledge
Based Infrastructure
In: 15th International Conference on Knowledge Engineering
and Knowledge Management, 2.-6. Oktober 2006, Pödebrady,
Tschechien
<http://ekaw.vse.cz/accepted-papers.php>
- [Missbauer 1996] Missbauer, Hubert:
Rüst- und Vorbereitungsprozesse
In: Werner Kern, Hans-Horst Schröder und Jürgen Weber
(Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft
2. Aufl.
Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996, S. 1806–1816
- [Musen 1992] Musen, Mark A.:
Dimensions of knowledge sharing and reuse
In: Comput Biomed Res 25 (1992), Nr. 5, S. 435–467
- [Neches u. a. 1991] Neches, Robert; Fikes, Richard; Finin, Tim; Gruber, Thomas
R.; Patil, Ramesh; Senator, Ted; Swartout, William R.:
Enabling Technology for Knowledge Sharing
In: AI Magazine 12 (1991), Nr. 3, S. 36–56
- [Nem 2010] Nem, Fabrice Mogo:
Anpassbare PDM- und PLM-Systeme für den Mittelstand.
In: IT&Production - Zeitschrift für erfolgreiche Produktion
(2010), Nr. 11, S. 24–27
- [Neumüller 2001] Neumüller, Moritz (2001):
Hypertext Semiotics in the Commercialized Internet.
Wien, WirtschaftsUniv., Diss., 2001

- [North 2005] North, Klaus:
Wissensorientierte Unternehmensführung. Wertschöpfung durch Wissen
4, akt. und erw. Aufl.
Wiesbaden: Gabler, 2005
- [Noy und McGuinness 2001] Noy, Natalya F.; McGuinness, Deborah L.:
Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontologie
Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05
Stanford, Stanford University, 2001
- [O'Dell u. a. 1998] O'Dell, Carla; Grayson, C. Jackson:
If Only We Knew What We Know: Identification and Transfer of Internal Best Practices
In: California Management Review 40 (1998), Nr. 3, S. 154–174
- [OMG 2012] Object Management Group (Hrsg.): UML Resource Page.
Object Management Group
<http://www.uml.org/#UML2.0> (01.09.2012)
- [OPC 2009] OPC Foundation (Hrsg.): The OPC foundation (2009)
<http://www.opcfoundation.org/> (14.08.2012).
- [O'Reilly 2005] O'Reilly, Tim: What Is Web-2.0? Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software (2005)
<http://oreilly.com/web2/archive/what-is-web-20.html>
(01.09.2012).
- [Oren u. a. 2006] Oren, Eyal; Breslin, John G.; Decker, Stefan:
How semantics make better wikis
In: Proceedings of the 15th international conference on World Wide Web
22.-26. Mai, 2006, Edinburgh, UK
New York, USA: ACM (WWW '06), 2006, S. 1072–1082
- [Pawlowsky u. a. 2006] Pawlowsky, Peter; Gerlach, Lutz; Hauptmann, Stefan; Puggel, Annett:
Wissen als Wettbewerbsvorteil in kleinen und mittelständischen. (Fokus prints, 09/06), Projektbericht
Chemnitz: TU-Chemnitz, 2006
- [Piller 2006] Piller, Frank T.:
Mass customization. Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im

Informationszeitalter
4. Aufl.
Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 2006

- [Piorr u. a. 2006] Piorr, Rüdiger; Reckermann, Andreas; Riese, Christian:
Damit Know-How und Erfahrung nicht in Rente gehen
In: Personalführung 2006 , Nr. 7, S. 82–87
- [Probst u. a.2010] Probst, Gilbert J. B.; Raub, Steffen; Romhardt, Kai:
Wissen managen. Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource
optimal nutzen
6., überarb. und erw. Aufl.
Wiesbaden: Gabler, 2010
- [Rubarth 2007] Rubarth, Peter: "Keep It Simple, Stupid" – Leichtgewichtiges
Wissensmanagement mit Wikis. Hrsg. v. Community of
knowledge (2007)
<http://www.community-of-knowledge.de/beitrag/keep-it-simple-stupid-leichtgewichtiges-wissensmanagement-mit-wikis/>
(01.09.2012)
- [SAP 2012] SAP AG: Rezept (2012)
http://help.sap.com/saphelp_recipe21/helpdata/de/85/ee1a3a0792a622e10000000a114084/content.htm (09.08.2012)
- [Sauer und Jasperneite 2010] Sauer, Olaf; Jasperneite, Jürgen:
Wandlungsfähige Informationstechnik in der Fabrik. Karlsruhe:
Fraunhofer IOSB, 2010
- [Schaffert u. a. 2009] Schaffert, Sebastian; Bry, Francois; Baumeister, Joachim;
Kiesel, Malte:
Semantische Wikis
In: Andreas Blumauer und Tassilo Pellegrini (Hrsg.): Social
Semantic Web. Web-2.0 - Was nun?
1. Aufl.
Berlin, Heidelberg: Springer, 2009, S. 245–258
- [Scheer 2002] Scheer, August-Wilhelm (2002):
ARIS - vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem.
4. Aufl.
Berlin [u.a.]: Springer, 2002
- [Schiemenz 1996] Schiemenz, Bernd:
Komplexität von Produktionssystemen
In: Werner Kern, Hans-Horst Schröder und Jürgen Weber
(Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft

2. Aufl.
Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996, S. 895–904
- [Schleipen 2009] Schleipen, Miriam:
XML-basierte Produkt- und Prozessdaten für die Leittechnik-
Projektierung
In: W. Brauer, Wolfgang A. Halang und Peter Hollecsek
(Hrsg.): XML-basierte Produkt- und Prozessdaten für die
Leittechnik-Projektierung
Berlin, Heidelberg: Springer, 2009, S. 89–98
- [Schreiber u. a. 2000] Schreiber, Guus; Akkermans, Hans; Anjewierden, Anjo;
Hoog, Robert de; Shadbolt, Nigel R.; van de Velde, Walter;
Wielinga, B. J.:
Knowledge engineering and management. The CommonKADS
methodology
1. Aufl.
Cambridge, Massachusetts [u.a.]: MIT Press, 2000
- [SEMI E30] Norm SEMI E30-0307 E 2007:
Generic Model for Communications and Control of
Manufacturing Equipment (GEM)
- [SEMI E5] Norm SEMI E5-1107 2007:
SEMI Equipment Communications Standard 2 Message
Content (SECS-II)
- [SEZ 2012] Steinbeis Europa Zentrum (Hrsg.): Transparency (2012)
www.transparency-project.eu (31.08.2012)
- [SIEMENS 2006] SIEMENS AG (Hrsg.) (2006): SIMATIC BATCH: Getting
Started
http://cache.automation.siemens.com/dnl/DIyMzUxMQAA_24449768_HB/sb_gs1b_e.pdf (14.09.2012)
- [Siepermann und Lackes 2012] Siepermann, Markus; Lackes, Richard: Wissensbasis.
In: Gabler Wirtschaftslexikon online
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/75675/wissensbasis-v6.html> (06.02.2012)
- [Sihn 2002] Sihn, Wilfried:
Wissensmanagement in produzierenden Unternehmen -
Einsatzfelder und Erfahrungen
In: Workshop Fraunhofer IPA: Erfolgreiches
Wissensmanagement - technikgetrieben oder

menschenzentriert?

24. September 2002, Stuttgart, 2002, S. 7–14

- [Software AG 2012] Software AG (Hrsg.): ARIS Express (2012)
<http://www.ariscommunity.com/aris-express> (31.08.2012)
- [Sparks 2012] Sparks, Geoffrey (Hrsg.): Enterprise Architect - User Guide.
Sparx Systems (2012)
<http://www.sparxsystems.com.au/bin/EAUserGuide.pdf>
(06.07.2012)
- [Staab 2002] Staab, Steffen:
Wissensmanagement mit Ontologien und Metadaten
In: Informatik Spektrum 25 (2002), Nr. 3, S. 194–209
- [Stahlknecht u. Hasenkamp 2005] Stahlknecht, Peter; Hasenkamp, Ulrich:
Einführung in die Wirtschaftsinformatik
11., überarb. Auflage.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2004
- [Stanford 2012] Stanford University: Protégé. Stanford Center for Biomedical
Informatics Research (2012)
<http://protege.stanford.edu> (31.08.2012).
- [Stewart 1998] Stewart, Thomas A.:
Der vierte Produktionsfaktor. Wachstum und
Wettbewerbsvorteile durch Wissensmanagement
1. Aufl.
München [u.a.]: Hanser, 1998
- [Stuckenschmidt 2009] Stuckenschmidt, Heiner:
Ontologien. Konzepte, Technologien und Anwendungen.
1. Aufl.
Berlin, Heidelberg: Springer, 2009
- [Studer u. a. 1998] Studer, Rudi; Benjamins, V. Richard; Fensel, Dieter:
Knowledge Engineering: Principles and Methods
In: Data & Knowledge Engineering 25 (1998), Nr. 1–2, S. 161–
197
- [Studer u. a. 2001] Studer, Rudi; Schnurr, Hans-Peter; Nierlich, Andreas (2001):
Semantic für die nächste Generation Wissensmanagement
In: KnowTech 2001, 01.-03. November 2001, Dresden,
Deutschland
<http://www.community-of-knowledge.de/pdf/f05.pdf>.
- [Sure 2003] Sure, York:
Methodology, Tools & Case Studies for Ontology based

Knowledge Management.
Karlsruhe, Univ., Diss., 2003

- [Takeuchi und Nonaka 2000] Takeuchi, Hirotaka; Nonaka, Ikujiro:
Theory of Organizational Knowledge Creation
In: Daryl Morey, Mark T. Maybury und Bhavani M.
Thuraisingham (Hrsg.): Knowledge management. Classic and
contemporary works
1. Aufl.
Cambridge, Mass: MIT Press, 2000, S. 139-183
- [van Heijst u. a. 1997] van Heijst, Gertjan; Schreiber, Guus; Wielinga, Bob J.:
Using explicit ontologies in KBS development
In: International Journal of Human-Computer Studies 46
(1997), Nr. 2-3, S. 183-292
- [VDI 2860] Norm VDI 2860 1990-05:
Montage- und Handhabungstechnik; Handhabungsfunktionen,
Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole
- [VDI 5600] Norm VDI 5600 2007-12:
Fertigungsmanagementsysteme
- [V-Modell 2012] Die Beauftragte der Bundesregierung für Informationstechnik
(Hrsg.): V-Modell XT (2012)
<http://www.v-modell-xt.de/> (31.08.2012)
- [Vollmar 2007] Vollmar, Gabrielle:
Pragmatisch, einfach, gut - erfolgreicher Umgang mit Wissen.
25 Beispiele Guter Praxis aus kleinen und mittleren
Unternehmen
Reutlingen: VOLLMAR Wissen + Kommunikation, 2007
- [W3C 2009a] Norm W3C OWL2 2009:
Web Ontology Language
- [W3C 2009b] W3C: Semantic Web standards. W3C.
http://semanticweb.org/wiki/Semantic_Web_standards
(10.07.2011)
- [W3C 2009c] Norm W3C RDFS 2004:
Resource Description Framework Schema
- [Weinrauch 2005] Weinrauch, Michael:
Wissensmanagement im technischen Service. Praxisorientierter
Gestaltungsrahmen am Beispiel industrieller Grossanlagen
1. Aufl.
Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl, 2005

- [Weiten 2009] Weiten, Moritz:
 OntoSTUDIO® as a Ontology Engineering Environment
 In: John Davis (Hrsg.): Semantic knowledge management
 Integrating ontology management, knowledge discovery, and
 human language technologies
 1. Aufl.
 Berlin, Heidelberg: Springer, 2009, S. 51-61
- [Wells 2009] Wells, Don: Extreme Programming - A gentle introduction
 (2009)
<http://www.extremeprogramming.org/> (01.09.2012)
- [Westkämper 2009] Westkämper, Engelbert; Zahn, Erich:
 Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Das Stuttgarter
 Unternehmensmodell
 1. Aufl.
 Berlin: Springer, 2009
- [Wikimedia 2012] Wikimedia Foundation Inc. (Hrsg.) : Wikipedia:Richtlinien.
 (2012)
<http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Richtlinien>
 (07.09.2012)
- [Willke 2001] Willke, Helmut:
 Systemisches Wissensmanagement
 2., überarb. Aufl.
 Stuttgart: Lucius & Lucius, 2001.
- [Wolters und Kaschny 2010] Wolters, Matthias; Kaschny, Martin:
 Geschäftsprozessmanagement in KMU. Dargestellt anhand der
 Auftragsabwicklung in der Gebäudetechnik
 1. Aufl.
 Lohmar: Eul-Verlag, 2010
- [Zahn 2003] Zahn, Erich:
 Strategien beurteilen und erneuern
 In: Erich Zahn (Hrsg.): Strategien auf dem Prüfstand.
 Innovative Antworten auf neue Herausforderungen
 1. Aufl.
 Aachen: Shaker, 2003, S. 1–30
- [Zapp u. a. 2012a] Zapp, Matthias; Hoffmeister, Michael; Verl, Alexander:
 Methodology to apply semantic wikis as lean knowledge
 management systems on the shop floor
 In: Roberto Teti (Hrsg.): Intelligent Computation in
 Manufacturing Engineering - CIRP ICME '12: Innovative and

Cognitive Production Technology and Systems. 8th CIRP Conference, 18.-20. Juli 2012, Ischia, Italien

- [Zapp u. a. 2012b] Zapp, Matthias; Salingre, Anthony; Peschl, Michael:
Transparency Newsletter No. 2. Transparency consortium (2012)
<http://www.transparency-project.eu/index.php?download>
(31.08.2012)
- [Zapp u. a. 2012c] Zapp, Matthias; Singh, Mandeep; Zendoia, José; Brencsics, Ivan (2012c):
Collaborative Machine Tool Design Environment based on Semantic Wiki Technology
In: Gabriel Cegarra, Juan (Ed.); Universidad Politécnica de Cartagena <Cartagena, Spain> u.a.: Proceedings of the 13th European Conference on Knowledge Management : Cartagena, Spain, 6-7 September 2012. Reading, UK : Academic Publishing International, 2012, S. 1579–1582

12 Anhang

Glossar für die Konzepte im Basismodul (Auszug)	
Konzept ²⁹	Beschreibung
Produktionssystem	Ein Produktionssystem ist ein soziotechnisches System, welches Input durch wertschöpfende und assoziierte Prozesse zu Output transformiert. Die Aufgabe des Produktionssystems ist hierbei die Herstellung eines End- oder Zwischenproduktes [Heinen u. a. 2008, S. 20; Eversheim 1996, S. 1536]. Das Produktionssystem wird als ein Zusammenspiel von Ressourcen, Organisation, Menschen und Methoden verstanden [Heinen u. a. 2008, S. 23; Westkämper und Zahn 2009, S. 38].
Maschine	Eine Maschine ist die Gesamtheit von miteinander verbundenen Teilen oder Vorrichtungen nach EU Richtlinie 2006/42/EG [EU 2006].
Ausrüstung	Eine Ausrüstung ist eine Vorrichtung, die der Bediener an die Maschine nach deren Inbetriebnahme anbringt, um ihre Funktion zu ändern oder zu erweitern (nach EU Richtlinie 2006/42/EG [EU 2006]). Dies umfasst auch Werkzeuge.
Materialressourcen	Unter Materialressourcen werden fertige Produkte, Halbfertigprodukte und Ressourcen verstanden. Fertige Produkte werden in dieser Arbeit als in sich geschlossene, aus einer Menge von Elementen bestehende funktionsfähige Gegenstände als Endergebnis der Fertigung verstanden [DIN 6789]. Davon abgegrenzt werden Halbfertigprodukte als noch nicht funktionsfähige Produkte im Fertigungsprozess und Rohstoffe.
Vorgang	Ein Vorgang repräsentiert einen Fertigungs-, Handhabungs- oder Rüstvorgang im Produktionssystem. Ein Fertigungsvorgang ist die Ausführung von Verfahren zur Herstellung von geometrisch bestimmten

²⁹ Analog zur Darstellung in den UML-Modellen werden hier Kurzformen der eindeutigen Konzeptnamen verwendet.

	festen Körpern einschließlich der Verfahren zur Gewinnung erster Formen [DIN 8580]. Ein Rüstvorgang beschreibt „Tätigkeit(en) zur Vorbereitung des Systems für die Erfüllung einer anstehenden Arbeitsaufgabe“ [Missbauer 1996, S. 1806]. Ein Handhabungsvorgang beschreibt schließlich einen Vorgang, welcher das Gut manipuliert und dabei weder dessen Gestalt, Abmessung noch Struktur ändert [Bleisch u. a. 2011, S. 222].
Produktionslauf	Ein Produktionslauf umfasst die Gesamtheit der Rüst-, Handhabungs- und Fertigungsvorgänge zur Bearbeitung eines Produkts im Produktionssystem
Informationsobjekt	Ein Informationsobjekt repräsentiert vom Mitarbeiter angelegtes explizites Wissen über Objekte der Domäne. Expertenwissen kann im System in Form von elektronischen Dokumenten oder in Form von schwach oder stark strukturierten Inhalten auf Wiki-Seiten vorliegen.
Datenobjekt	Ein Datenobjekt ist ein maschinell erzeugtes Objekt, welches aus externen Informationssystemen an das Wissensmanagementsystem übertragen wird.
Rezept	Ein Rezept spezifiziert die notwendige Menge von Informationen, welche für eine Maschine die Produktionsanforderungen für ein spezifisches Produkt definiert [ISA-88, S. 16] (siehe Abschnitt 2.2.4)
Report	Ein Report beschreibt eine Menge von Mess- und Prüfwerten für eine Maschine bei einem Produktionslauf (siehe Abschnitt 2.2.4)
Parameter	Variable zur Konfiguration der Maschinensteuerung in einem Rezept, zur Überwachung von Produktionsläufen als Teil eines Reports oder zur Beschreibung einer manuell durchführbaren Einstellung oder Messung.
Parameterwert	Wert eines Parameters, welcher für die Maschine bei einem Produktionslauf eindeutig ist. Dies umfasst zum einen Einstellungen in Systeme der Produktions-IT als auch maschinell vorgenommene Messungen.

Tabelle 12-1: Glossar für Konzepte im Basismodul

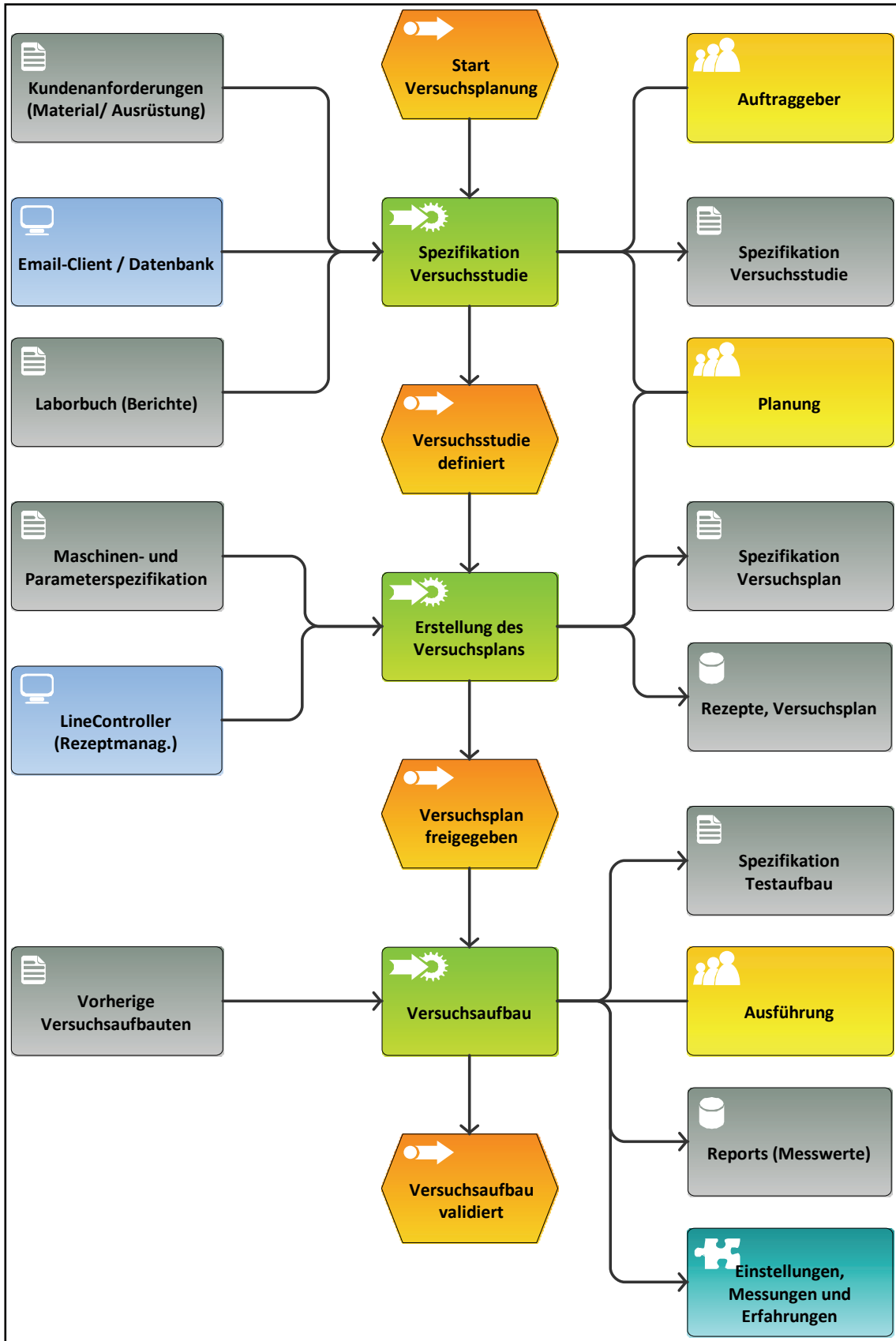


Abbildung 12-1: Aufgaben und Informationsobjekte beim Versuchsmanagement (Teil 1)

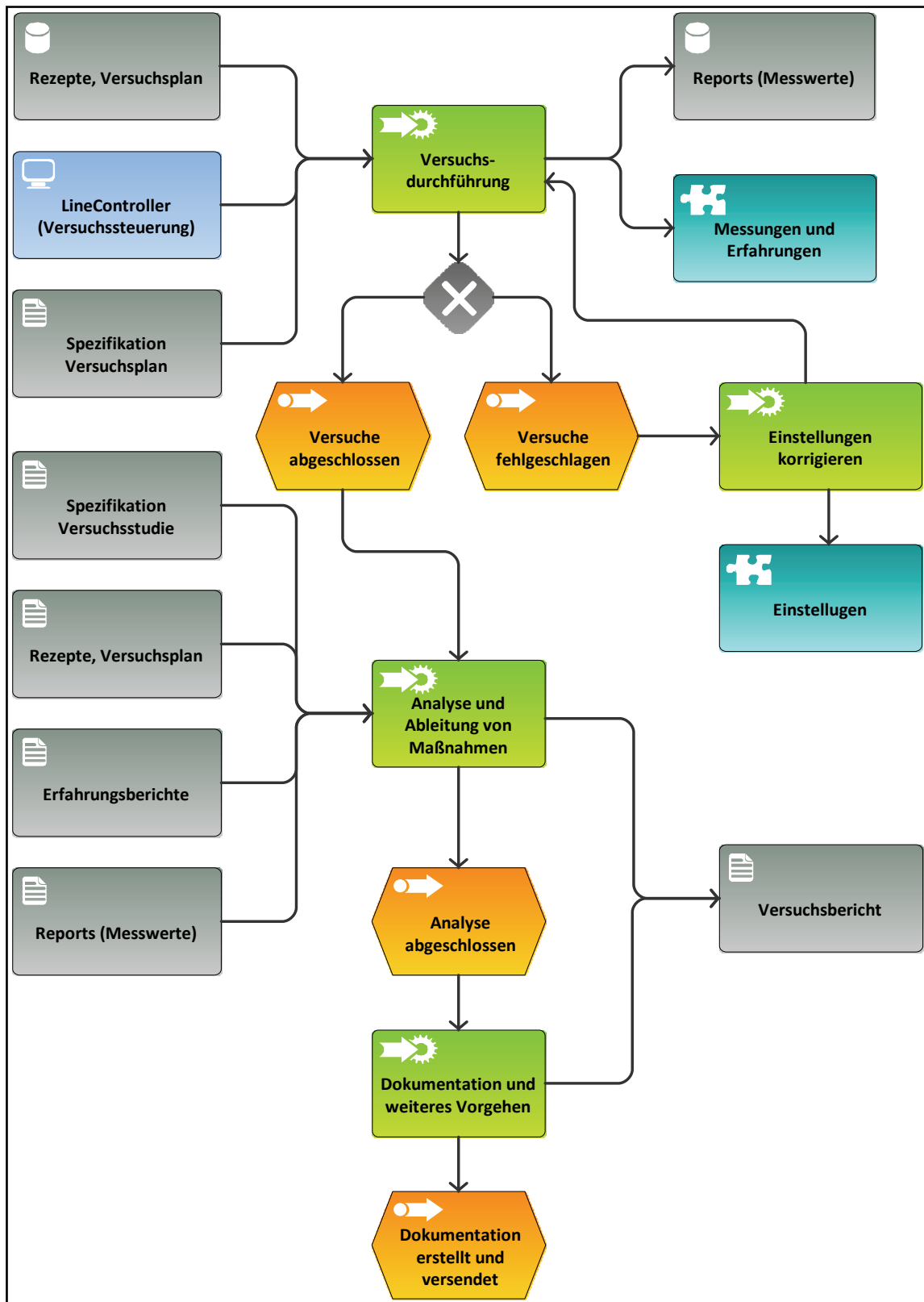


Abbildung 12-2: Aufgaben und Informationsobjekte beim Versuchsmanagement (Teil 2)

Glossar für die Konzepte im Erweiterungsmodul „Versuchsdaten“	
Konzept ³⁰	Beschreibung
Versuchsstudie	Zur Evaluierung einer Material- oder Systemressource werden in einer Versuchsstudie eine Reihe von Versuchsplänen mit unterschiedlichen Versuchsaufbauten und Versuchsfaktoren definiert.
Versuchsplan	Ein Versuchsplan definiert eine Reihe von Versuchen mit unterschiedlichen Werten für die Versuchsfaktoren.
Versuch	Ein Versuch hat eine feste Menge von Versuchsfaktoren, umfasst eine definierte Anzahl von Versuchsläufen und besteht aus einem oder mehreren Versuchsschritten.
Versuchsaktivierung	Eine Versuchsaktivierung ist ein vom Anwender angestoßenes Ereignis. Es initiiert den Start eines Versuchs oder eines einzelnen Versuchsschrittes. Die Aktivierung kann, muss aber nicht, zu einer vollständigen Ausführung des Bezugsobjektes führen und kann eine bestimmte Anzahl von Wiederholungen umfassen.
Versuchsschritt	Ein Versuchsschritt spezifiziert einen eigenständig initiiierbaren Teil eines Versuches. In der Regel werden alle Versuchsschritte eines Versuchs sequentiell ausgeführt.
Versuchslauf	Lauf einer Materialressource durch das Produktionssystem. Der Lauf setzt sich zusammen aus den Versuchsschritten für die Materialressource in einem Versuch.
Versuchsparameter	Parameter für die Versuchssteuerung, welche sich jeweils auf einzelne oder alle Maschinen beziehen können.
Versuchsfaktor	Im Versuchsplan enthaltene Parameter, welche variiert werden.

Tabelle 12-2: Glossar für Konzepte im Erweiterungsmodul Versuchsdaten

³⁰ Analog zur Darstellung in den UML-Modellen werden hier Kurzformen der eindeutigen Konzeptnamen verwendet.

In wandlungsfähigen Produktionssystemen benötigen Mitarbeiter für komplexe und wechselnde Aufgabenstellungen eine hohe Vielfalt an Daten, Informationen und Wissen. Die anfallenden Wissensmanagementprozesse können durch IT-Systeme unterstützt werden. Das hier entwickelte Systemkonzept verbindet Wiki-Technologien mit semantischen Wissensmodellen und ermöglicht eine flexible Abbildung, Bewahrung und Nutzung von Daten und Informationen in der Produktion.

ISBN 978-3-8396-0678-0



FRAUNHOFER VERLAG