

The background is a deep blue gradient. On the left side, there are several translucent blue spheres of varying sizes, some connected by thin white lines, suggesting a molecular or network structure. A prominent sphere is in the upper left, with others scattered below and to the right. A faint grid pattern is visible in the background.

Johannes Herter

Eine Methode zur Unterstützung der  
disziplinübergreifenden Zusammenarbeit  
in der Produktentwicklung auf Grundlage  
einer integrierten Visualisierung  
konzeptioneller Modelle



Johannes Herter

Eine Methode zur Unterstützung der disziplin-  
übergreifenden Zusammenarbeit in der Produkt-  
entwicklung auf Grundlage einer integrierten  
Visualisierung konzeptioneller Modelle



Eine Methode zur Unterstützung der  
disziplinübergreifenden Zusammen-  
arbeit in der Produktentwicklung  
auf Grundlage einer integrierten  
Visualisierung konzeptioneller Modelle

von  
Johannes Herter

Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Fakultät für Maschinenbau

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Juni 2016  
Hauptreferent: Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h.c. Jivka Ovtcharova  
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Köbler

#### Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
KIT Scientific Publishing  
Straße am Forum 2  
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark of Karlsruhe  
Institute of Technology. Reprint using the book cover is not allowed.

[www.ksp.kit.edu](http://www.ksp.kit.edu)



*This document – excluding the cover, pictures and graphs – is licensed  
under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 DE License  
(CC BY-SA 3.0 DE): <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/>*



*The cover page is licensed under the Creative Commons  
Attribution-No Derivatives 3.0 DE License (CC BY-ND 3.0 DE):  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/de/>*

Print on Demand 2017 – Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ISBN 978-3-7315-0597-6  
DOI 10.5445/KSP/1000060573







**Eine Methode zur Unterstützung der  
disziplinübergreifenden Zusammenarbeit  
in der Produktentwicklung auf Grundlage  
einer integrierten Visualisierung  
konzeptioneller Modelle**

Zur Erlangung des akademischen Grades

**DOKTOR DER INGENIEURSWISSENSCHAFTEN**

der Fakultät für Maschinenbau  
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte

**DISSERTATION**

von

**Johannes Herter**  
aus Seelbach

Tag der mündlichen Prüfung:	15.06.2016
Vorsitz:	Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Hauptreferent:	Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h.c. Jivka Ovtcharova
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Köbler



# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen des KIT sowie meiner Anstellung als Unternehmensberater bei der UNITY AG.

Frau Prof. Jivka Ovtcharova, Leiterin des Instituts für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI), danke ich für das entgegengebrachte Vertrauen sowie die wissenschaftliche Betreuung. Mein Dank gilt weiterhin Herrn Prof. Jürgen Köbler, Studiendekan der Hochschule Offenburg für die Übernahme des Zweitgutachtens. Frau Prof. Gisela Lanza danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Dem Karlsruhe House of Young Scientists danke ich für die Gewährung eines Auslandsstipendiums an der Queensland University of Technology in Australien und die damit verbundenen herausfordernden Gespräche mit Dr. Ross Brown am Department for Business Process Management.

Bei den ehemaligen Kollegen am IMI bedanke ich mich für die ergiebigen Diskussionen. Insbesondere danke ich Victor Häfner für die Unterstützung bei der Implementierung des Demonstrators.

Bei der UNITY AG bedanke ich mich für die Unterstützung beim Erstellen der Arbeit. Der besondere UNITY Spirit hat mir viel Rückhalt gegeben. Besonders danke ich Christoph Siegmund, sowie Daniel Baldus und Dirk Schnabel. Außerdem danke ich allen Unities des CCs Produktion und Digitale Planung sowie den Kollegen am Standort Stuttgart für die Unterstützung bei der Evaluierung.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern für den Rückhalt und Ansporn beim Erstellen dieser Arbeit. Ebenso sei meiner Schwester Moni für die Durchsicht des Manuskripts gedankt. Der größte Dank gilt meiner Freundin Tetyana, die mir durch ihre Rücksicht und Unterstützung den nötigen Rückhalt gab.

Stuttgart, im Juni 2016  
Johannes Herter



**Für Katrin**

(1945-2015)



# Zusammenfassung

Durch die technischen Errungenschaften der letzten Jahrzehnte und die einhergehende Digitalisierung in jüngerer Zeit ist die Komplexität der Produkte und Produktionsprozesse erheblich gestiegen. In diesem Rahmen erfordert die industrielle Produktentwicklung eine enge Zusammenarbeit von verschiedensten Fachdisziplinen. Abhängigkeiten zwischen den Arbeitsergebnissen dieser Disziplinen müssen abgestimmt werden, um aus den vielen Teilen ein Ganzes zu machen. In diesem Abstimmungsprozess treffen disziplinspezifische Denkweisen, Methoden und Vokabularien, formalisiert in konzeptionellen Modellen aufeinander. Diese Modelle enthalten einen Ausschnitt der Realität, der nach dem Verständnis der Nutzer aufgebaut ist. Die Struktur der Modelle wird in vielen Fällen durch standardisierte Modellgrammatiken vorgegeben, die innerhalb der Disziplin die Stellung einer gemeinsamen Sprache haben können. Modellgrammatiken wie beispielsweise UML (Unified Modelling Language) oder BPMN (Business Process Modelling and Notation) bieten neben dem semantischen Modell eine dedizierte Notation, mit der die Entitäten des Modells visualisiert werden. Etablierte Modellgrammatiken leisten einen Beitrag zur Kommunikation innerhalb ihrer Domäne, jedoch kann nicht daraus geschlossen werden, dass eine disziplinübergreifende Zusammenarbeit damit gefördert wird.

Daher wird in dieser Arbeit eine neue Methode vorgestellt, welche die disziplinübergreifende Kommunikation fördert. Die Abhängigkeiten zwischen verschiedenen disziplinspezifischen Modellen werden auf Grundlage der Semantik erfasst. Darauf aufbauend ermöglicht die Methode eine gemeinsame Visualisierung dieser Modelle mit Berücksichtigung von Abhängigkeiten. Um die Modelle unterscheidbar darzustellen und die Besonderheit der modellübergreifenden Relationen zu berücksichtigen, wird die dritte Dimension als Darstellungsmittel eingeführt. Die graphisch notierten Modelle werden in einem virtuellen dreidimensionalen Darstellungsraum angeordnet. Damit verlaufen die visualisierten Abhängigkeiten zwischen den Modellen in der Tiefe des Raumes. Sie sind damit eindeutig unterscheidbar von den Beziehungen, die Teil eines bestimmten Modells sind. Mit diesem Ansatz werden die disziplinspezifischen Modelle nicht verändert, was die Wiedererkennung durch die Experten fördert. Gleichzeitig sind Abhängigkeiten zwischen den Modellen sichtbar. Die Kommunikation zwischen Experten unterschiedlicher Disziplinen kann nun auf Grundlage eines

gemeinsamen Bildes erfolgen, das die Sichtweisen der Vertreter widerspiegelt. Disziplinübergreifende Abstimmungsprozesse werden beschleunigt, da die integrierte Visualisierung konzeptioneller Modelle offensichtlich macht, welche Auswirkungen die innerhalb einer Fachdisziplin getroffenen Entscheidungen auf das gemeinsame Projekt haben kann.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>I</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>V</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>XI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>XV</b>
<b>1 Einführung in die Thematik</b> .....	<b>1</b>
1.1 Ziele der Arbeit.....	5
1.2 Kern der Untersuchung und Abgrenzung der Arbeit.....	9
1.3 Methodischer Aufbau und Gang der Untersuchung.....	11
<b>2 Grundlagen</b> .....	<b>15</b>
2.1 Einordnung der Arbeit.....	15
2.1.1 Einordnung in den Kontext Industrie 4.0.....	15
2.1.2 Einordnung in das Virtual Engineering.....	18
2.1.3 Einordnung in das Systems Engineering.....	21
2.2 Grundlage der interdisziplinären Zusammenarbeit.....	24
2.2.1 Wissensmanagement.....	24
2.2.2 Wissensmanagement im Rahmen der Arbeit.....	28
2.2.3 Wissensmanagement als Grundlage der Kommunikation.....	31
<b>3 Grundlagen modellbasierter Ansätze</b> .....	<b>33</b>
3.1 Allgemeine Modelltheorie.....	34
3.1.1 Abbildungscharakteristik.....	35
3.1.2 Reduktion.....	36
3.1.3 Pragmatismus.....	36
3.2 Modelldefinition und Instanziierung.....	37
3.2.1 Modelle und Modellgrammatiken.....	39
3.3 Modellgrammatiken in der Produktentwicklung.....	41
3.3.1 Produktstrukturen (Product Lifecycle Management).....	42
3.3.2 Ressourcenmodelle.....	43
3.3.3 Modelle des Prozessmanagements.....	44
3.4 Ansätze zur Modellintegration.....	47
3.4.1 Ebenen der Heterogenität.....	47
3.4.2 Semantische Integration.....	48

3.4.3	Ontologien als Methode zur Modellintegration .....	49
3.5	Ansätze aus Wissenschaft und Technik zur semantischen Integration .....	52
3.5.1	Zusammenfassung .....	55
<b>4</b>	<b>Grundlagen der Visualisierung.....</b>	<b>57</b>
4.1	Information Visualization .....	57
4.2	Dual Coding Theory.....	58
4.3	Theorie der visuellen Sprachen .....	60
4.4	Prinzipien für graphische Darstellungen.....	63
4.4.1	Heuristiken zur Bewertung der Useability .....	63
4.4.2	Physics of Notation .....	66
4.5	Ausgewählte Ansätze zur integrierten Modellvisualisierung.....	71
4.6	Fazit und Handlungsbedarf.....	77
<b>5</b>	<b>Methode zur integrierten Visualisierung konzeptioneller Modelle ....</b>	<b>79</b>
5.1	Erwarteter Nutzen der Methode .....	79
5.2	Grundlage disziplinübergreifender Relationen.....	81
5.3	Methode zum Identifizieren der zu verbindenden Einheiten .....	85
5.3.1	Erfassung grundlegender Entitäten .....	85
5.3.2	Transfer des Regelwerks auf Modelle der Produktentwicklung.....	96
5.4	Integrierte Darstellung von mehreren Modellen.....	99
5.4.1	Anforderungen an die Darstellung.....	99
5.4.2	Gestalterische Mittel zur Unterscheidbarkeit von Modellen .....	101
5.4.3	Visuelle Sprachen für Relationen.....	108
5.4.4	„Tiefe“ als visuelle Variable .....	111
5.4.5	Dilemma der visuellen Komplexität.....	115
5.4.6	Überdeckung der Modelle .....	118
5.4.7	Darstellungsvarianten von Zeichenebenen .....	119
5.4.8	Darstellung der Inter-Modell Relationen.....	119
5.5	Technische Umsetzung des Prototyps .....	124
5.5.1	Technische Plattform.....	126
5.5.2	Implementierung der Visualisierungsplattform .....	130
5.6	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	138
<b>6</b>	<b>Evaluierung der Methode .....</b>	<b>141</b>
6.1	Praktische Evaluation .....	141

6.1.1	Prozessoptimierung unter Berücksichtigung der IT-Systemlandschaft .....	141
6.1.2	Aufgabenstellung der Evaluierung .....	145
6.1.3	Diskussion der Ergebnisse .....	155
6.1.4	Fazit der praktischen Evaluation .....	157
6.2	Theoretische Evaluation .....	157
6.2.1	Evaluation gegen die "Physics of Notation" Prinzipien .....	157
6.2.2	Evaluation gegen Heuristiken der Visualisierung .....	160
6.3	Potenzielle Einsatzszenarien der Methode .....	161
6.3.1	Darstellung der Evolution von Prozessen .....	162
6.3.2	Darstellung von Prozessebenen .....	163
6.3.3	Darstellung der Bezugsgröße von Logistikprozessen .....	165
6.3.4	Zuordnung von Verträgen und Dokumenten zu Prozessen .....	165
6.3.5	Einsatz der Methode für die Referenzarchitektur Industrie 4.0 .....	166
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>169</b>
7.1	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	169
7.2	Ausblick .....	171
	<b>Anhang .....</b>	<b>175</b>
	Modelle der empirischen Evaluierung .....	175
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>183</b>



# Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b>	Disziplinspezifische Sichtweisen und Notationen .....	3
<b>Abbildung 2:</b>	Vision des Vorhabens.....	6
<b>Abbildung 3:</b>	Gang der Untersuchung .....	11
<b>Abbildung 4:</b>	Vernetzte Intelligente Systeme in Industrie 4.0 .....	17
<b>Abbildung 5:</b>	Zusammenspiel von Disziplinen in der virtuellen Produktentwicklung.....	19
<b>Abbildung 6:</b>	Beschleunigung des Entwicklungszyklus durch Virtual Engineering.....	20
<b>Abbildung 7:</b>	Modellvisualisierung im Systems Engineering des Forschungsprojekts MecPro <sup>2</sup> .....	23
<b>Abbildung 8:</b>	Wissenstreppe nach North.....	25
<b>Abbildung 9:</b>	Wissensspriale des SECI Modells .....	27
<b>Abbildung 10:</b>	Skizze zur Ableitung disziplinspezifischer Modelle .....	30
<b>Abbildung 11:</b>	Kernelemente der Allgemeinen Modelltheorie .....	35
<b>Abbildung 12:</b>	Modelle und Modellgrammatik.....	39
<b>Abbildung 13:</b>	Beziehungen zwischen Modellen, Metamodellen und Systemen bei MDA.....	41
<b>Abbildung 14:</b>	Symbole der OMEGA Notation.....	46
<b>Abbildung 15:</b>	Semantische Homogenität durch integrierende Ontologie .....	51
<b>Abbildung 16:</b>	Referenzarchitekturmodell für Industrie 4.0 Szenarien (RAMI).....	54
<b>Abbildung 17:</b>	Kognitive Theorie des multimedialen Lernens .....	59
<b>Abbildung 18:</b>	Variablen des graphischen Bildes nach Bertin .....	62
<b>Abbildung 19:</b>	Prinzip der Semantic Clarity.....	67
<b>Abbildung 20:</b>	Verstoß gegen das Prinzip der Semiotic Clarity durch Symbol Redundancy, UML Spezifikation .....	68
<b>Abbildung 21:</b>	Symbole der OMEGA Notation.....	69
<b>Abbildung 22:</b>	BPMN Modell in virtueller Realität .....	72
<b>Abbildung 23:</b>	GEF3D - Räumliche Modellvisualisierung mit 3D Editor.....	74

<b>Abbildung 24:</b> Ebenendarstellung von 3D MECHGRAPH.....	76
<b>Abbildung 25:</b> Ontologie-Modellgrammatik-Modell .....	82
<b>Abbildung 26:</b> Transformation und Thing in der BWW-Ontologie .....	89
<b>Abbildung 27:</b> Modellierung von Properties in Attribute .....	91
<b>Abbildung 28</b> Ableitung modellübergreifender Relationen auf Basis der Property .....	92
<b>Abbildung 29:</b> Gemeinsame Property als Relation.....	95
<b>Abbildung 30:</b> Impliziter Zusammenhang zwischen Modellen.....	97
<b>Abbildung 31:</b> Hervorhebung durch Einfärbung .....	102
<b>Abbildung 32:</b> Gemeinsame Darstellung mit Unterscheidung durch Farbe .....	103
<b>Abbildung 33:</b> Kontext vs. Detail bei übergreifenden Relationen.....	104
<b>Abbildung 34:</b> Spezifizierte Relationen in UML und BPMN .....	106
<b>Abbildung 35:</b> Geschäftsprozess und IT-Landkarte.....	110
<b>Abbildung 36:</b> Schematische Darstellung von räumlicher Anordnung von Modellen.....	112
<b>Abbildung 37:</b> Zeichenebenen im Informationsraum.....	114
<b>Abbildung 38:</b> Filter-Mechanismus der Inter-Modellrelationen .....	117
<b>Abbildung 39:</b> Semitransparente Zeichenebene .....	118
<b>Abbildung 40:</b> Inter-Modellrelationen zwischen Modellen .....	120
<b>Abbildung 41:</b> Inter-Modellrelationen im Informationsraum .....	121
<b>Abbildung 42:</b> Benennung der Annotationen .....	123
<b>Abbildung 43:</b> PolyVR VRDirektor, Autoren- und Darstellungssystem .....	127
<b>Abbildung 44:</b> Verarbeitungsschritte zur integrierten Modellvisualisierung .....	130
<b>Abbildung 45:</b> Werkzeug zum Erstellen der Modell- Relations-Datei .....	133
<b>Abbildung 46:</b> Graphische Darstellung und SVG-Code mit Bezeichner und Geometrie .....	136
<b>Abbildung 47:</b> Lokales und globales Koordinatensystem der Zeichenebene in der Modellszene .....	137
<b>Abbildung 48:</b> Auszug aus dem Prozessmodell für den Anwendungsfall Änderungsmanagement.....	142

---

<b>Abbildung 49:</b> Anwendungsfall: Prozess-IT-Integration, Ausschnitt der IT-Landschaft.....	144
<b>Abbildung 50:</b> Beispielprozess aus dem Evaluierungsszenario: Prozessdiagramm .....	147
<b>Abbildung 51:</b> Beispiel-System aus dem Evaluierungsszenario: IT-Landschaft.....	148
<b>Abbildung 52:</b> Prozess-Organisationszuordnung .....	153
<b>Abbildung 53:</b> Abgleich Produktstruktur zu Verarbeitungsprozess.....	154
<b>Abbildung 54:</b> Abbildung von Prozess auf Produktentwicklungszyklus .....	163
<b>Abbildung 55:</b> Mock-Up verschiedener Detaillierungsstufen von Geschäftsprozessen.....	164
<b>Abbildung 56:</b> Change Prozess Übersicht.....	175
<b>Abbildung 57:</b> Change Prozess (1).....	176
<b>Abbildung 58:</b> Change Prozess (2).....	177
<b>Abbildung 59:</b> Change Prozess (3).....	178
<b>Abbildung 60:</b> IT-Landschaft.....	179
<b>Abbildung 61:</b> Evaluierungsszenario in 3D (Übersicht) .....	181
<b>Abbildung 62:</b> Detailbetrachtung der integrierten Modelle.....	182





# Abkürzungsverzeichnis

<b>BPMN</b>	Business Process Modelling and Notation
<b>BWW</b>	Bunge-Wand-Weber
<b>CAVE</b>	Computer Aided Virtual Environment
<b>CAx</b>	Computer Aided [Engineering, Design, ...]
<b>CPS</b>	Cyber Physical System
<b>EPK</b>	Ereignisgesteuerte Prozessketten
<b>ERP</b>	Enterprise Ressource Planning
<b>GEF</b>	Graphical Editing Framework
<b>GOM</b>	Grundsätze Ordnungsgemäßer Modellierung
<b>GPM</b>	Geschäftsprozessmanagement
<b>MBSE</b>	Model Based Systems Engineering
<b>MDA</b>	Model Driven Architecture
<b>MDD</b>	Model Driven Development
<b>OMG</b>	Object Management Group
<b>PDM</b>	Product Data Management
<b>PLM</b>	Product Lifecycle Management
<b>PPR</b>	Produkt, Prozess, Ressource
<b>SCM</b>	Supply Chain Management
<b>STEP</b>	Standard for the exchange of product model data
<b>SVG</b>	Scalable Vector Graphics
<b>SysML</b>	Systems Modeling Language
<b>UML</b>	Unified Modelling Language



# 1 Einführung in die Thematik

„Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“<sup>1</sup> - bezogen auf die industrielle Produktentwicklung hat dieses Zitat eine besondere Bedeutung erreicht. Der Anspruch an Konsum- und Investitionsprodukte ist geprägt durch eine nahtlose Integration von Komponenten aus Elektronik, Software- und Mechanik. Zunehmend wird ein Produkt nicht mehr als für sich stehend betrachtet, vielmehr wird es als Teil eines Netzwerkes verstanden. In diesen Produktnetzwerken wird Inhalt (Content) zwischen Geräten ausgetauscht. Die ersten Schritte in Richtung der Vision „*Internet der Dinge*“<sup>2</sup> sind gegangen. Was bedeutet das nun für die Entwicklung dieser vernetzten Produkte? Das Bündel an Produkteigenschaften stellt hohe Anforderungen an die Entwicklung und Produktion auf verschiedenen Ebenen. Ein tiefes Fachwissen in den einzelnen Bereichen ist erforderlich um die vom Markt geforderten Produkteigenschaften zu erfüllen. Gleichzeitig besteht der Anspruch einer engen Zusammenarbeit um als Endergebnis das „Ganze“ zu erhalten.

Die Herausforderung der engen Zusammenarbeit von Experten in verschiedenen Bereichen wird in der industriellen Produktion von Gütern besonders offensichtlich. Bereits in der Planungsphase werden im Zuge des „*Concurrent Engineering*“ Planungsaufgaben verschiedener Bereiche parallelisiert (VDI, 2008: S. 46; Westkämper, 2006: S. 137). Das erfordert eng abgestimmte Planungsbereiche, um eine effiziente Produktion zu schaffen. Auch das Produkt selbst wird betrachtet. Im Rahmen der produktionsorientierten Produktgestaltung wird die Konstruktion auf eine möglichst günstige Herstellung optimiert. Dafür ist eine effiziente Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen erforderlich.

Abstimmungsprozesse bilden eine zentrale Herausforderung innerhalb der Organisation. Die Ergebnisse und Leistungen der Fachdisziplinen müssen synchronisiert und verbunden werden. Hierin liegen jedoch das Problem: Bereichsübergreifende Abstimmungen zwischen Experten mit unterschiedlichen Sicht-

---

<sup>1</sup> Verkürzt nach Aristoteles, 384 – 322 v.Chr.

<sup>2</sup> Der Begriff „Internet der Dinge“ wurde durch Marc Weiser in seinem Aufsatz „The Computer for the 21st Century“ aus dem Jahr 1991 geprägt. (Weiser, 1991)

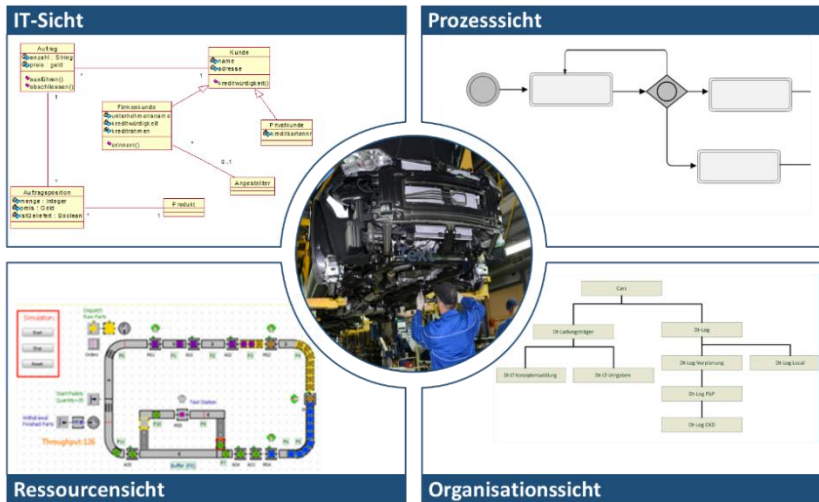
weisen und fachlichem Wissen erfordern einen erheblichen Kommunikationsaufwand.

Beim Erörtern der einzelnen Standpunkte kann die unterschiedliche Spezialisierung der Beteiligten durchaus als Hürde betrachtet werden. Durch disziplinspezifische Nomenklatur, Modell- und Denkstrukturen sind Missverständnisse vorprogrammiert, die durch Erläuterungen der Standpunkte, bzw. Vereinbaren von Definitionen ausgeräumt werden müssen (Clark, Brennan, 1991: S. 127 f.).

Nach empirischen Studien ist der zeitliche Anteil für Abstimmung und Kommunikation erheblich (Eigner, Stelzer, 2008a: S. 17; Markgraph, 2013: S. 14). Diese Verteilung der Arbeitszeit offenbart deutliches Optimierungspotential, sofern die Konsensfindung beschleunigt wird.

Die steigende Komplexität in Produktgestaltung und der effizienten Produktion dieser Güter führt zu einem immer stärkeren Bedarf an Fachkräften. Die Fachkräfte sollen mit ihrem methodischen und fachlichen Wissen zum Erfolg der Organisation beitragen. Das Wissen zeigt sich in Arbeitsweisen, Denkstrukturen und Methodologie zur Problemlösung. Diese sind als gemeinsames Wissen innerhalb der Domäne vorhanden und zeigen sich unter anderem in Fachmodellen und einer Fachsprache. Kommunikationsprozesse zwischen Experten in einer Disziplin werden durch das gemeinsame Wissen unterstützt, beziehungsweise erst möglich.

Bei genauerer Betrachtung der Begriffe „Denkweise“ und „Sprache“ stellt sich die Frage, welchen Ursprung diese Elemente einer fachspezifischen Sichtweise haben. Warum denken Informatiker so grundsätzlich unterschiedlich im Vergleich zu Maschinenbauern? Wodurch haben sich Ausbildungsgänge mit übergreifenden Inhalten, wie bspw. das Wirtschaftsingenieurwesen oder das Studium der Mechatronik entwickelt? In diesen Studien werden explizit Kenntnisse verschiedener Fachdisziplinen vermittelt, um Schnittstellen mehrerer spezialisierter Disziplinen bedienen zu können.



**Abbildung 1:** Disziplinspezifische Sichtweisen und Notationen  
(Quelle: Eigene Darstellung)

Eine Erklärung liefern konzeptionelle Modelle, die in den Fachdisziplinen zur Problemlösung eingesetzt werden. Diese fachspezifischen Modelle sind für die Problemlösung in der Anwendungsdomäne optimiert. Sie reduzieren die Komplexität des Problembereichs, da nur die Elemente der Realität enthalten sind, die für die Problemlösung in dem Fachbereich erforderlich sind (Stachowiak, 1973: S. 132). Standardisierte Fachmodelle können innerhalb ihres Anwendungsbereichs als Kommunikationsmittel dienen (Frank, 2002: S. 1258). Ihr Aufbau und ihre Syntax sind vielen Experten des jeweiligen Gebiets bekannt. Damit leisten diese Modelle einen Beitrag zur Kommunikation innerhalb der Disziplin. Schwierig wird es jedoch bei der Kommunikation zwischen verschiedenen Domänen. Die Modelle sind nicht zwangsläufig in verschiedenen Disziplinen bekannt. Daher stellen die disziplinspezifischen Modelle nur bedingt ein Medium für eine übergreifende Kommunikation dar. Sie enthalten primär diejenigen Elemente, die für den entsprechenden Fachbereich von Bedeutung sind. Der Bedarf an modellbasierter disziplinübergreifender Zusammenarbeit ist hoch und wird durch die zunehmende Automatisierung und Digitalisierung weiter steigen (Baum u. a., 2013: S. 107 f.).

Verschiedene wissenschaftliche und industrielle Ansätze greifen die Herausforderung der modellbasierten, interdisziplinären Zusammenarbeit auf. Grundsätzlich werden dabei die folgenden Ansätze verfolgt:

- Entwicklung eines disziplinübergreifenden Modells zur integrierten Abbildung der Sichtweisen mehrerer Disziplinen (Baum u. a., 2013: S. 87; Stücheli, Meboldt, 2013: S. 15)
- Methoden zum Verbinden von mehreren Modellen auf Grundlage der in den Modellen enthaltenen Entitäten. (Baum u. a., 2013: S. 46 f.; Bittel u. a., 2009; Bobrik, 2008: S. 170; Häfner u. a., 2013; Choi u. a., 2009)

Eine klare und verständliche graphische Darstellung kann einen entscheidenden Beitrag zum gegenseitigen Verständnis leisten. *„Ein Bild sagt mehr als 1000 Worte“*<sup>3</sup>, das gilt sowohl für Präsentationen als auch für den direkten Austausch von Wissen im Dialog. Die Omnipräsenz von White-Boards, Flip-Charts in Unternehmenseinrichtungen ist ein eindeutiges Indiz hierfür. Wissenschaftliche Grundlagen der „Dual Coding Theory“ untermauern den Nutzen von visuellen Mitteln zum Wissenserwerb und der Kommunikation (Lwin u. a., 2010: S. 318; Paivio, 2006; Welcome u. a., 2011: S. 348, 356). Nach dieser Theorie wird der Lerneffekt durch eine kombinierte Anwendung von sprachlichen und graphischen Mitteln positiv beeinflusst (Mayer, Sims, 1994: S. 390). Standardisierte Modelle in Informatik, Produktentwicklung und Produktion bieten oftmals eine dedizierte Notation, die zum Niederschreiben von Problemstellungen und Lösungsansätzen sowie zum Wissensaustausch verwendet werden (Genon, Heymans, 2011; Object Management Group, 2011a, 2011b).

Diese Grundlagen und Ansätze haben gemeinsam, dass eine verständliche graphische Darstellung nur mit geringer Priorisierung verfolgt wird (Genon, Heymans, 2011: S. 378; Johansson u. a., 2008: S. 2; Moody, 2009a, S.757; zur Muehlen, Recker, 2008: S. 465). Die vorliegende Arbeit liefert hier einen Beitrag:

Mit einer neuen Methode zur graphischen Darstellung von modellübergreifenden Relationen sollen disziplinübergreifende Problemstellungen für die Nutzer

---

<sup>3</sup> Fred R. Barnard, in "Printers' Ink", 8. Dezember 1921

erfassbar gemacht werden und somit die Problemlösung von interdisziplinären Aufgaben unterstützt werden.

## 1.1 Ziele der Arbeit

Innerhalb dieser Arbeit wird eine neue Methode zur Visualisierung von vernetzten konzeptionellen Modellen vorgestellt. Diese disziplinspezifischen Fachmodelle werden auf Grundlage ihrer Semantik miteinander verbunden und als integrierter Modellkomplex graphisch dargestellt. Dabei werden Abhängigkeiten zwischen den disziplinspezifischen Modellen offensichtlich und die Kommunikationsprozesse zwischen Experten der beteiligten Fachdisziplinen erleichtert und beschleunigt. Besondere Berücksichtigung erfährt dabei die konsistente und verständliche Visualisierung, welche die fachliche Abstimmung zwischen Experten verschiedener Fachbereiche fokussiert. Die primären Ziele der Arbeit sind folgendermaßen formuliert:

*Ziel 1: Beschleunigung von domänenübergreifenden Kommunikationsprozessen im Kontext der industriellen Produktentwicklung.*

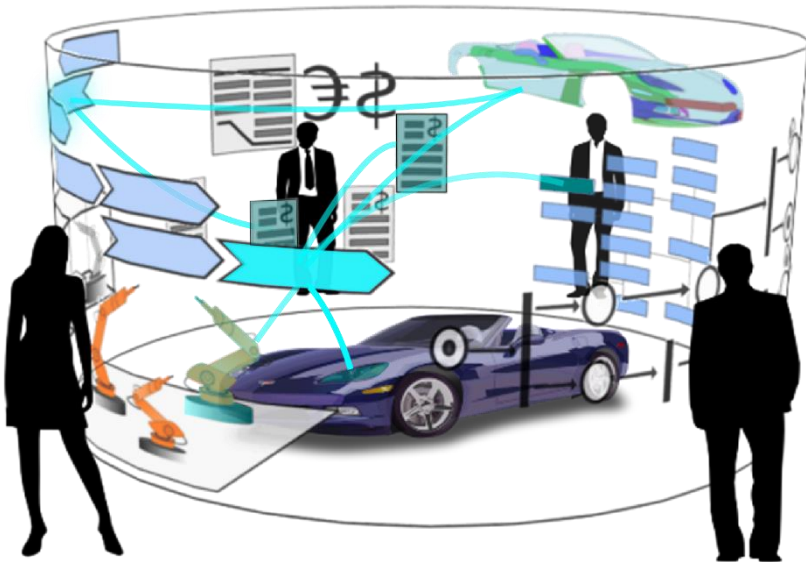
Mit der hier vorgestellten Methode sollen disziplinübergreifende Abstimmungsprozesse bei der interdisziplinären Problemlösung erleichtert werden. Für eine erfolgreiche Kommunikation ist gegenseitiges Verständnis essentiell. Mit der vorgestellten Methode werden die Verständigungsprozesse beschleunigt und das Finden einer gemeinsamen Basis zur interdisziplinären Problemlösung unterstützt.

*Ziel 2: Verbesserung der Entscheidungsqualität bei interdisziplinären Fragestellungen durch die graphische Darstellung von Abhängigkeiten zwischen Fachdisziplinen auf Basis von Modellen.*

Entscheidungen in einem interdisziplinären Umfeld haben in vielen Fällen Auswirkungen auf mehrere Disziplinen. Die Tragweite dieser Entscheidungen ist jedoch nicht immer auf den ersten Blick sichtbar. Zur Auflösung bedarf es erheblichen Abstimmungs- und Koordinationsaufwand zwischen den Fachdisziplinen. Um die Seiteneffekte von Entscheidungen in betroffenen Disziplinen abzuschätzen, ist das Fachwissen von Experten gefragt. Diese müssen aufgrund ihres Wissens und ihrer Erfahrung mögliche Auswirkungen einschätzen. Das erfordert

ein ausreichendes Verständnis über die disziplinübergreifende Wirkkette von Entscheidungen, welches durch eine visuelle Darstellung der Zusammenhänge gefördert wird.

Die disziplinübergreifende Kommunikation soll auf Grundlage einer graphischen Darstellung von verbundenen Modellen der Produktentwicklung erfolgen. Die Visualisierung folgt dem Paradigma von Sichtweisen der Disziplinen auf die gemeinsame Aufgabenstellung. Die dargestellten Modelle verfügen in der Regel über standardisierte oder zumindest weit verbreitete graphische Darstellungsvorschriften. Die graphischen Darstellungen machen die Modelle sichtbar und zur Kommunikation zwischen Akteuren verwendbar. Die folgende Graphik veranschaulicht den Ansatz:



**Abbildung 2:** Vision des Vorhabens, (Quelle: Eigene Darstellung)

Diese Illustration stellt beispielhaft verschiedene disziplinspezifische Sichtweisen auf ein Fahrzeug dar. Während im Vordergrund zwei Personen eine prozess-



orientierte Sichtweise einnehmen (links: Prozess mit Ressourcen, rechts Petri-Netze), repräsentieren die Beteiligten im Hintergrund die kaufmännische, bzw. Konstrukteurssicht. Diese Sichten werden repräsentiert durch die graphische Darstellung der entsprechenden disziplinspezifischen Modelle auf dem umgebenen Zylinder. In der Mitte der Graphik ist ein Fahrzeug dargestellt, das die gemeinsame Aufgabenstellung symbolisiert. Die beteiligten Akteure betrachten das Fahrzeug als gemeinsame Aufgabenstellung aus ihrem jeweiligen Blickwinkel. Aufgrund der Rollen im Entwicklungsprozess des Fahrzeuges haben sie jedoch unterschiedliche Perspektiven entsprechend ihren Aufgaben. Diese Perspektive ist geprägt durch die entsprechende Modelldarstellung auf dem umgebenen Zylinder. Fokussiert auf die Aufgabenstellung haben sie das Fahrzeug entsprechend ihren fachspezifischen Denkweisen in Modelle erfasst. Diese Modelle umfassen diejenigen Elemente, die für ihre individuelle Problemlösung einen Beitrag leisten. Andere Bestandteile der realen Aufgabenstellung, symbolisiert durch das Fahrzeug in der Mitte, werden jedoch abstrahiert. Somit hat die Ingenieurin im Vordergrund die Sichtweise der Produktionstechnik eingezeichnet. Darin spielen die Anlagen und der Montageprozess eine besondere Rolle. Im Hintergrund dagegen bildet die kaufmännische Sichtweise die fachspezifische „Brille“ auf die Aufgabenstellung. In diesem einzelnen Modell, das die Sicht des Kaufmanns widerspiegelt, sind in erster Linie die Kosten von Bedeutung. Das betrifft sowohl die Sichtweise auf den Kontext als auch das Verständnis auf andere Modelle wie bspw. das der Ingenieurin.

Jede Disziplin ist geprägt von ihrer Sicht auf die gemeinsame Ingenieursproblematik. Diese wird durch die Modelldarstellungen auf dem umgebenden Zylinder symbolisiert. Die Aufgabenstellungen der einzelnen Akteure sind sehr unterschiedlich und ebenso auch die Modelle, mit denen sie arbeiten. Dennoch sind diese Sichtweisen nicht isoliert voneinander. Sie bilden allesamt das gleiche Urbild ab. Elemente des Urbilds sind in disziplinspezifischen Modellen formalisiert entsprechend der Struktur und Nomenklatur der Disziplin. Diese Schnittmenge an abgebildeten Elementen in den verschiedenen Fachmodellen ermöglicht den Ansatz, die Entitäten der Modelle miteinander zu vernetzen. Damit lässt sich beispielsweise eine unmittelbare Verbindung zwischen Prozessschritten der Ingenieurin zu den kaufmännischen Auswertungen des Wirtschaftlers aufbauen. Das gemeinsame Urbild bietet dafür die fachliche Grundlage, anhand welcher die modellübergreifenden Relationen aufgebaut werden.

Hier ist der Ansatzpunkt der neuen Methode: Die Elemente der fachspezifischen Modelle können über den gemeinsamen Kontext der Aufgabenstellung verbunden und Zusammenhänge und Abhängigkeiten in der gemeinsamen Darstellung visualisiert werden. Damit wird das gedankliche Modell der Domänenexperten sichtbar gemacht, wie auch die Abhängigkeiten zwischen den Fachdisziplinen. Die Komplexität der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit wird transparent und damit beherrschbar. Durch diese Transparenz lassen sich die Abhängigkeiten zwischen den Fachdisziplinen einfacher kommunizieren und die Entscheidungsfindung wird erheblich erleichtert.

Wenn, wie im Beispiel, die Ingenieurin im Vordergrund ihre fachspezifische Sicht erörtert und einem domänenfremden Kollegen vorstellt, dann können die Gesprächspartner ihren Ausführungen anhand der Visualisierung besser folgen. Sie sehen in der Darstellung unmittelbar welche Elemente in ihrem eigenen Modell von den Ausführungen des Gesprächspartners betroffen sind. Es ist zu erwarten, dass Abstimmungsprozesse zwischen Anwendern aus verschiedenen Fachbereichen beschleunigt werden können, wenn diese Zusammenhänge und Abhängigkeiten visualisiert sind. Durch die Darstellung der Beziehungen zwischen den Modellen wird die Entscheidungsqualität erhöht, da Auswirkungen von Entscheidungen über die Bereichsgrenzen hinweg transparent werden.

Es ist eine graphische Methode geschaffen, welche die vorher impliziten Zusammenhänge zwischen Fachdisziplinen durch eine Visualisierung verständlich macht. Dieser Beitrag soll die disziplinübergreifende Kommunikation deutlich erleichtern, indem Missverständnisse und der Erklärungsaufwand reduziert werden. Es ist offensichtlich, was im eigenen Modell „gemeint“ ist, wenn der Gesprächspartner etwas „gesagt“ hat. Zusätzlich bietet dieser Ansatz die Möglichkeit, dass jeder Fachexperte sein eigenes, gewohntes Modell nutzen kann. Es ist keine Umgewöhnung oder gar das Lernen einer neuen Modellierungssprache notwendig. Stattdessen können die gewohnten Modelle und graphische Darstellungen beibehalten werden. Die Anwender können sich auf den Diskussionsgegenstand konzentrieren, ohne dass Ressourcen auf das Verstehen und Nutzen einer nicht vertrauten Darstellung gebunden werden.

## 1.2 Kern der Untersuchung und Abgrenzung der Arbeit

Kern der Untersuchung ist die graphische Darstellung von verbundenen Modellen im Kontext der Produktentwicklung. Betrachtungsgegenstand sind dabei abstrakte Modelle, die das Wissen einer Disziplin strukturieren und formalisieren. Diese sind in vielen Fällen Grundlage von Entscheidungen. Sie formalisieren beispielsweise betriebliche Prozesse oder Produktstrukturen (Stücklisten) ab. Modellierte Geometrien von Produkten und Produktionsanlagen werden in diesem Ansatz nur sekundär betrachtet. Im Hinblick auf die Initiative Industrie 4.0, welche entscheidend auf die Integration von unterschiedlichen Fachdisziplinen und Betrachtungsebenen setzt, ist Transparenz durch den Einsatz von Modellen zur Abbildung der Realität ein geeignetes Mittel, um die zusätzliche Komplexität zu beherrschen (Kargermann u. a., 2013: S. 47).

Um einen intuitiven Umgang mit den Modellen zu erreichen, ist es wichtig, einen Wiedererkennungswert insbesondere für die Zielgruppe der Fachexperten zu schaffen. Das kann durch etablierte Modelle und deren Notation erreicht werden. Daher ist es nicht das Ziel der vorliegenden Arbeit, eine neue graphische Sprache zur Darstellung von konzeptionellen Modellen zu entwickeln. Diese müsste von den Anwendern neu erlernt werden. Die Verständlichkeit würde aufgrund des fehlenden Wiedererkennungswertes der Notation zwangsläufig leiden. Weiterhin ist in einer Modellierungssprache, die Elemente für die Modellierung verschiedener disziplinspezifischen Sichtweisen enthält, die Komplexität der Modellierungssprache erheblich (Dörner, 2000: S. 60). Um eine exakte Abbildung von Problemstellungen aus Sicht der Disziplinen zu erreichen, müssten die Konzepte aller Disziplinen in dem Modell enthalten sein. Durch die Anzahl der erforderlichen semantischen Konstrukte würde damit eine hochkomplexe Struktur geschaffen. Nutzer dieser Modellierungssprache müssten weiterhin den Umgang mit dieser Struktur erlernen, um sie für die Problemlösung anwenden zu können.

Stattdessen werden in der neuen Methode etablierte Fachmodelle eingesetzt. Im Rahmen des vorliegenden Beitrages wird ein Ansatz beschrieben, um diese Modelle miteinander zu vernetzen und anschließend graphisch darzustellen. Die vorgestellte Methode nutzt eine räumliche Anordnung der verbundenen Modelle, um diese unterscheidbar zu halten. Statt auf einer gemeinsamen Zeichenebene

werden die Modelle in einem Darstellungsraum angeordnet und visualisiert. Die Anwender können in diesem virtuellen Raum navigieren und durch Blickrichtung und Position einzelne Modelle und Ausschnitte fokussieren. Außerdem können sie die Zusammenhänge zwischen den Modellen erkennen, da diese ebenfalls graphisch dargestellt werden. Die Zusammenhänge zwischen den Modellen werden über „*Inter-Modellrelationen*“ (Schütte, 1997: S. 4) miteinander erfasst und visualisiert. Diese entsprechen im Kontext dieser Arbeit direkten Verbindungen zwischen Elementen, die in unterschiedlichen Modellen abgelegt sind.

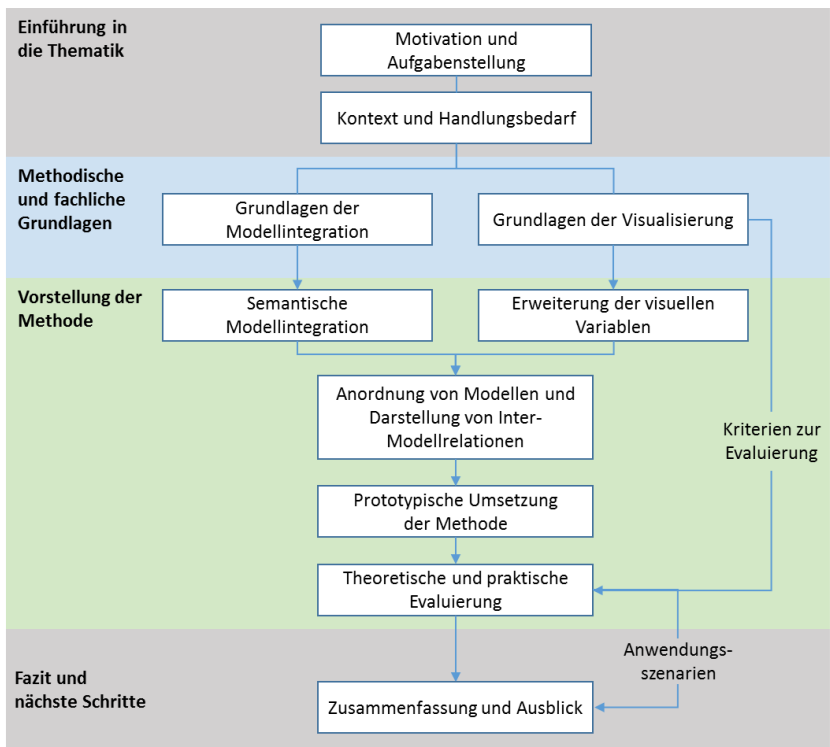
Die modellübergreifenden Beziehungen werden auf Grundlage der Bedeutung (Semantik) einzelner Elemente in ihrem jeweiligen Modell erstellt. Semantische Technologien bieten dafür einen Ansatz, um nachvollziehbare Relationen aufzubauen. In der vorliegenden Arbeit soll jedoch keine neue Methode zur semantischen Modellintegration geschaffen werden. Stattdessen wird das Anwendungsspektrum einer etablierten Ontologie (Bunge-Wand-Weber Ontologie) (Guarino, 1998; Wand, Weber, 1990) auf die Beschreibung von verbundenen konzeptionellen Modellen erweitert (s. Kap. 3.5.2).

In Wissenschaft und Industrie existieren Ansätze, welche die Herausforderung der Modellintegration durch semantische Technologien fokussieren (s. Kap. 3.4 ff.). Diese Ansätze haben gemein, dass Darstellungsaspekte nur eine nachgelagerte Bedeutung finden (s. Kap. 4.1, 4.3.2). Die hier vorgestellte Methode liefert an dieser Stelle einen Beitrag. Der wissenschaftliche Beitrag liegt zudem in der Simplifikation durch eine räumliche Darstellung von vernetzten Modellen. Das Konzept einer integrierten Darstellung von konzeptionellen Modellen verschiedener Domänen durch eine räumlichen Anordnung wurde nach ausgiebiger Recherche noch nicht grundlegend untersucht, lediglich Teilaspekte werden fokussiert (s. Kap. 4.3.2). Daher soll diese Arbeit die methodische Grundlage für eine räumliche Darstellungsvariante legen. Als wissenschaftliche Grundlage werden Erkenntnisse der „*Visualization Science*“ (Judelman, 2004: S. 18) eingesetzt, um damit eine wissenschaftlich fundierte Darstellung von abstrakten Modellen zu erreichen.

Die räumliche Darstellung von konzeptionellen Modellen ist nur innerhalb einer digitalen Repräsentation sinnvoll erreichbar. Technologische Aspekte zur Darstellung und Interaktion mit verbundenen Modellen sind für die Methode nur von nachgelagerter Bedeutung.

## 1.3 Methodischer Aufbau und Gang der Untersuchung

Der Aufbau der Arbeit spiegelt den integrativen Charakter des Ansatzes wieder. Der Gang der Untersuchung ist folgendermaßen aufgebaut:



**Abbildung 3:** Gang der Untersuchung, (Quelle: Eigene Darstellung)

Im Fokus ist die Darstellung von mehreren Modellen in einem dreidimensionalen Raum, gemeinsam mit verbindenden Inter-Modellrelationen (Kap. 5.2). Diese müssen auf eine fundierte Basis gestellt werden, um in der Anwendung der

Methode nachvollziehbar zu sein und das Verständnis der jeweiligen Experten widerspiegeln (s. Kap.5.3). Für diese Grundlage werden semantische Technologien eingesetzt. Damit verbindet die vorgestellte Methode Konzepte und Ansätze der Modelltheorie und semantischen Integration auf der einen Seite und der Informationsvisualisierung bzw. den Visualisierungswissenschaften auf der anderen. Die modellübergreifenden Relationen werden durch eine dedizierte Notation dargestellt, um sie visuell unterscheidbar zu machen Kap (5.4.4).

Im nächsten Kapitel wird zunächst der Kontext der Arbeit gelegt, indem eine Einordnung in die ingenieurwissenschaftliche Produktentwicklung vorgenommen wird. Diese Domäne bildet den fachlichen Rahmen der Arbeit und den Rahmen für die praktische Evaluierung. Daraus abgeleitet wird in diesem Kapitel die Kommunikation von Wissen zwischen Kommunikationspartnern beschrieben. Dafür wird auf den Wissenschaftszweig des Wissensmanagements eingegangen sowie Aspekte der Kommunikationstheorie beschrieben. Darauf aufbauend werden nun die Facetten Modellierung und Visualisierung mit dem Stand der Wissenschaft und Technik vorgestellt.

Das dritte Kapitel behandelt das Thema Modelltheorie und Modellintegration. Zunächst wird das Rahmenwerk der allgemeinen Modelltheorie vorgestellt. Darauf folgend werden exemplarisch einige standardisierte Modelle aus der Domäne der industriellen Produktentwicklung und Produktionsplanung erläutert, welche diese abstrakte Theorie konkretisieren. Darauf aufbauend werden Ontologien als technologischer Ansatz zur Erfassung und Formalisierung der Bedeutung von modellierten Sachverhalten eingeführt. Zum Abschluss dieses Grundlagenkapitels werden wissenschaftliche Ansätze betrachtet, welche Modelle unterschiedlicher Bereiche mit semantischen Technologien integrieren.

In dem vierten Kapitel zu den Grundlagen der Visualisierung werden zunächst Modelle zur Wahrnehmungspsychologie vorgestellt. Sie bilden den Rahmen und die Motivation der Disziplin „*Visualization Science*“ (Visualisierungswissenschaften) (Judelman, 2004: S. 18). In diesem Forschungsfeld wird der grundlegende Ansatz der visuellen Sprache beschrieben. Dabei wird ein direkter Vergleich zu dem Aufbau von abstrakten Modellen hergestellt. Das Konzept von „*Visuellen Variablen*“ (Bertin, 2010) als Bausteine der Notation wird aufgegriffen und erweitert. Darauf aufbauend werden Theorien zur Bewertung von graphischen Darstellungen von Modellen eingeführt. Hierzu zählen heuristische Ansätze namhafter Wissenschaftler aus der Domäne der Usability (vgl. Kap. 4.4), dabei

werden zudem das Konzept der „*Physics of Notation*“ vorgestellt (vgl. Kap. 4.4.2). Die Heuristiken sowie die Prinzipien der „*Physics of Notation*“ bilden die Grundlage für die theoretische Evaluierung.

Das Kapitel fünf beschreibt die Methode zur integrierten Darstellung von konzeptionellen Modellen. Analog den Grundlagenkapiteln wird zunächst auf die semantische Integration eingegangen, um darauf aufbauend die graphische Darstellung zu beschreiben. Dabei wird der generische Ansatz der Methode betont: Das Verfahren zur Modellintegration, wie auch der Ansatz zur Visualisierung ist allgemein gültig, unabhängig von dem fachlichen Rahmen der ingenieurstechnischen Produktentwicklung. Zusätzlich wird in diesem Kapitel die prototypische Implementierung vorgestellt, die im Rahmen der Arbeit durchgeführt wurde. Die dabei gezeigten Beispiele sind aus den Anwendungsfällen entnommen, die zur praktischen Evaluierung der Methode in einem Workshop bei einer Unternehmensberatung eingesetzt und kritisch untersucht wurden.

Das sechste Kapitel umfasst eben diese praktische Evaluierung und beschreibt die zugrundeliegenden Anwendungsfälle. Anschließend wird die Methode gegen die in Kapitel 4 vorgestellten heuristischen Grundlagen sowie den *Physics of Notation* evaluiert.

Das siebte Kapitel mit der Zusammenfassung und einem Ausblick auf weiterführende Untersuchungsgegenstände schließt die Arbeit ab.





## 2 Grundlagen

Zunächst wird die Methode in den Kontext moderner Methoden der Produktentwicklung und Produktionsorganisation eingeordnet, damit der fachliche Kontext der Arbeit abgesteckt ist.

Für die allgemeinen Grundlagen der Methode zur Unterstützung der modellbasierten Kommunikation wird auf das Wissensmanagement eingegangen. Mit dieser Basis wird anschließend auf die Notwendigkeit von gegenseitigem Verständnis in Kommunikationsprozessen eingegangen. Die Vorstellung von konkreten Modellierungssprachen aus der Domäne der industriellen Produktentwicklung und Produktionsplanung schließt dieses Kapitel ab.

### 2.1 Einordnung der Arbeit

Die Methode wird zunächst in den Kontext der industriellen Produktentwicklung eingeordnet. Ein erfolgreiches Zusammenspiel von Produkt, Prozessen und Ressourcen (PPR) (Bracht u. a., 2011: S. 382) erfordert Abstimmungen zwischen verschiedenen Ingenieursdisziplinen, die in einer Organisation zusammenarbeiten. Den Rahmen bilden moderne Methoden der Ingenieursdisziplinen zur industriellen Produktentwicklung, wie beispielsweise das Virtual Engineering sowie die Paradigmen der Initiative Industrie 4.0.

#### 2.1.1 Einordnung in den Kontext Industrie 4.0

Im Rahmen der Hightech Strategie wurde der Grundstein der Plattform „*Industrie 4.0*“ durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gelegt (Karger mann u. a., 2013). Die Bezeichnung „*Industrie 4.0*“ bezieht sich auf eine proklamierte vierte industrielle Revolution, die nach der Veränderungen der Arbeitswelt durch Dampfmaschine, der energiebasierten Produktion mit Automatisierung (Fließband), Digitalisierung nun die vollständige Vernetzung von Produkt und Produktionssystem umfasst (Botthof, Hartmann, 2014: S. 4). Die Ziele dieser Initiative sind ambitioniert und beziehen sich sowohl auf zukünftige

Produkte, als auch auf die für deren Herstellung erforderliche Produktionssysteme (Kargermann u. a., 2013: S. 23).

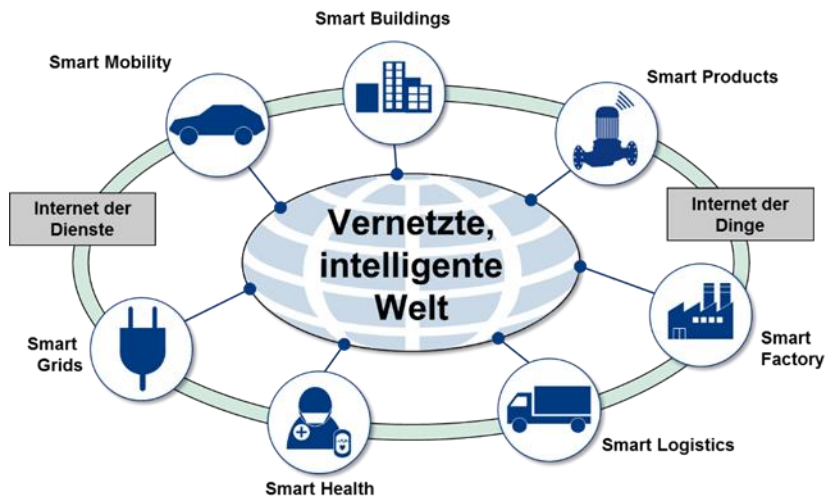
Die Paradigmen von Industrie 4.0 beschreiben Methoden zur Produktion von Konsum und Investitionsgütern. Grundlage dafür ist die Implementierung eines „*Internet der Dinge*“ (Botthof, Bovenschulte, 2009; Kargermann u. a., 2013: S. 27 f.), das eine umfassende Kommunikation zwischen technischen Systemen vorsieht. Als notwendige Erweiterung dieser Grundlage wird das „*Internet der Dienste*“ proklamiert (Baum u. a., 2013: S. 10; Gausemeier u. a., 2014: S. 5). Diese Dienste stellen die autonome Kommunikation zwischen technischen Systemen her und erfordern eine vollständige Vernetzung dieser (Botthof, Hartmann, 2014: S. 5). Damit ist die Grundlage geschaffen für cyberphysische Systeme, den Bausteinen von Industrie 4.0 Szenarien. Ein cyberphysisches System (CPS) hat neben der Vernetzungscharakteristik eine innere „*Intelligenz*“ sowie Sensorik, um seine Umgebung wahrzunehmen (Geisberger, Broy (2012): S. 22). Damit verfügt ein CPS sowohl über physische als auch informationstechnische Komponenten und kann damit innerhalb eines IT-Netzwerkes mit anderen CPS kommunizieren. Die charakterisierenden Eigenschaften solcher Systeme sind:

- *Adaptiv*: Über entsprechende Sensorik sind die Systeme in der Lage ihre Umwelt wahrzunehmen und autonom darauf zu reagieren
- *Robust*: Die Systeme können dynamisch und autonom auf Ausnahmefälle in ihrer Umwelt reagieren
- *Vorausschauend*: Auf Grundlage von maschinenbasiertem Lernen kann sich das System auf mögliche Änderungen seiner Umgebung einstellen.
- *Benutzerfreundlich*: Das System bietet eine geeignete Benutzerschnittstelle und ist intuitiv bedienbar.

(Gausemeier u. a., 2015: S. 13)

Insbesondere bei der Produktion werden hohe Erwartungen durch den Einsatz von CPS Komponenten von Produktionssystemen gestellt. Bei einem Produktionssystem basierend auf CPS wird von „*Smart Factory*“ gesprochen (Geisberger, Broy (2012): S. 60). Durch eine vollständige Vernetzung der Produktionsressourcen soll die Effizienz gesteigert, und die Individualisierung von Produkten ermöglicht werden (Gausemeier u. a., 2014: S. 5). Die „*Smart Factory*“ mit ver-

netzten Produktionsressourcen ermöglicht nach dem Industrie 4.0 Ansatz völlig neue Organisationsformen. Anstatt wie bisher die Organisation und Produktionsstätte einzeln zu betrachten, ist die Smart Factory Teil eines Wertschöpfungsnetzwerks. Dabei ist die Smart Factory eingebettet in ein Netzwerk von Organisationen und Diensten, die ebenfalls über „*Smarte Charakteristika*“ verfügen (Acatech, 2011: S. 13 ff.).



**Abbildung 4:** Vernetzte Intelligente Systeme in Industrie 4.0,  
(Quelle: UNITY AG, adaptiert von Forschungsunion 2012)

Auch wenn die Paradigmen von Industrie 4.0 viele technologische Aspekte enthält (BITKOM u. a., 2015: S. 9,12), steht bei der gesamten Betrachtung der Mensch als Konsument und Produzent im Mittelpunkt (Kargermann u. a., 2013: S. 20; Ovtcharova u. a., 2015: S. 111). Die Technisierung der Arbeit hat das erklärte Ziel, das Arbeitsumfeld des Werkers zu erleichtern. Beispiele hierfür sind Leichtbauroboter, die den Werker als „*dritte Hand*“ bei der Herstellung von Gütern unterstützen (Botthof, Hartmann, 2014: S. 60).

Der hohe Grad an Vernetzung stellt besondere Herausforderungen an die Entwickler und Betreiber von cyber-physischen Produktionssystemen.

In der Umsetzungsempfehlung der Acatech Forschungsunion, einem der Haupttreiber der Industrie 4.0 Initiative, wird der Bedarf an Integration und Vernetzung als ein zentrales Charakteristikum benannt:

- „Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke“
- „Digitale Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette“
- „Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme“

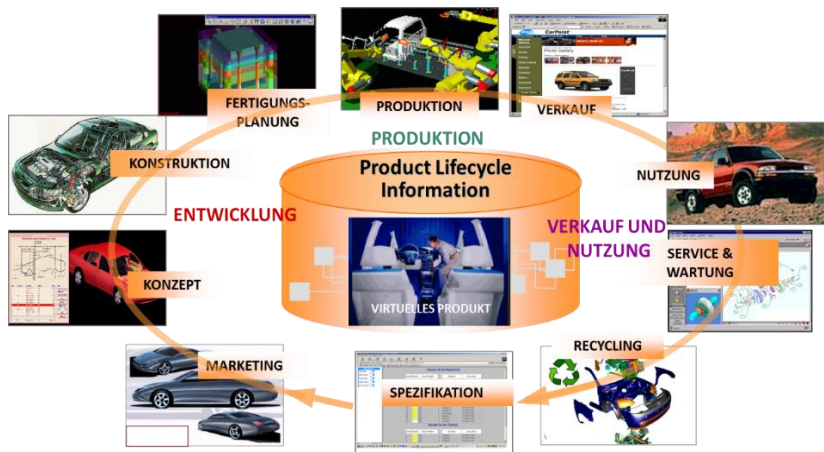
(Kargermann u. a., 2013: S. 6)

Die horizontale und vertikale Vernetzung in mehreren Dimensionen von cyberphysischen Systemen erzeugt eine hohe Komplexität, deren Beherrschbarkeit als eines der zentralen Handlungsfelder betrachtet wird (Kargermann u. a., 2013: S. 6, 46–48). Um diese Komplexität zu handhaben, ist das Verständnis des Sachverhalts, das Schaffen von Transparenz, erforderlich. Eine graphische Darstellung entsprechender Modelle kann hier einen signifikanten Nutzen stiften. In diesem Zusammenhang leistet die neue Methode zur integrierten Visualisierung von Modellen einen entscheidenden Beitrag. Durch die Möglichkeit, verschiedene Modelle gemeinsam darzustellen und dabei die Beziehungen zwischen den Modellen zu erfassen und zu visualisieren, ist ein entscheidender Schritt in Richtung Komplexitätsbewältigung getan. Die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen den Betrachtungsebenen und Disziplinen werden sichtbar und können gezielt bearbeitet und abgestimmt werden. Die komplexen Planungs- und Analyseaufgaben können durch den Menschen bewältigt werden, da ein neues Werkzeug zur Analyse der komplexen Strukturen verfügbar ist.

### 2.1.2 Einordnung in das Virtual Engineering

In der Produktentwicklung wurde mit dem Produktdatenmanagement (PDM) ein Ansatz zur zentralen Verwaltung sämtlicher produktbezogener Daten geschaffen. Das Product Lifecycle Management (PLM) erweitert den Betrachtungsraum auf den gesamten Produktlebenszyklus (Eigner, Stelzer, 2008b: S. 27). PLM ist ein ganzheitlicher Managementansatz zur zentralen Verwaltung, Speicherung und zielgerichteter Verfügbarkeit von allen Informationen des Produkts in dessen gesamtem Lebenszyklus (Ovtcharova, 2009: S. 17). Dabei werden neben den physischen Produktdaten (Geometrien) die beschreibenden Metadaten gespeichert. Zusätzlich erlauben moderne PLM Systeme die Integration von

Prozess und Ressourceninformationen (Ovtcharova, 2010: S. 1267). Die hier vorgestellte Methode greift den integrativen Ansatz von PLM auf. Aus konzeptioneller Sicht synchronisiert PLM die Informationen verschiedener Disziplinen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg. Innerhalb der PLM Plattform sind Methoden und Techniken umgesetzt, welche die Datenvielfalt verschiedener Ingenieursdisziplinen zusammenführt und bedarfsorientiert zur Verfügung stellt.

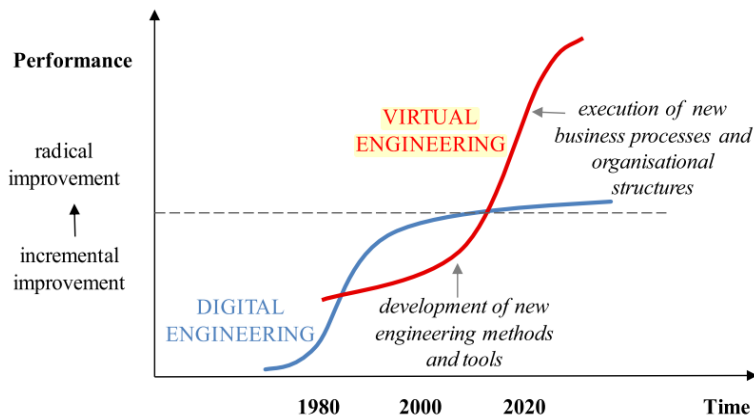


**Abbildung 5:** Zusammenspiel von Disziplinen in der virtuellen Produktentwicklung, (Quelle: nach Ovtcharova, 2009: S. 17)

Entsprechende Systeme stellen umfangreiche Abfragemechanismen zur Verfügung, um zielgerichtete Auszüge der verfügbaren Informationen zu erstellen. Diese Abfragen folgen einem Konzept von disziplinspezifischen Sichten. Die Abfrage wird mit Kriterien formuliert, sodass die relevanten Informationen gefiltert werden. Das Ergebnis ist eine Sicht auf die gesamte Datengrundlage, entsprechend den Abfragekriterien. (Arnold u. a., 2005: S. 79 ff.; Eigner, Stelzer, 2008a: S. 257; Grabowski, Leutsch, 2002). Die Ergebnisse der Abfragen werden in Listenform oder als Graph in der graphischen Oberfläche dargestellt und können in weitere Formate exportiert werden.

Eine Spezifikation für die graphische Darstellung ist weder in Standards (ISO/IEC, 2003) noch in der einschlägiger Literatur festgelegt (Eigner u. a., 2013; Eigner, Stelzer, 2009; Stark, 2011).

Das Virtual Engineering ist die Fortführung der Ansätze des Product Lifecycle Managements (Ovtcharova, 2009: S. 21, 2010: S. 1272). Es fußt auf einer weitreichenden Durchdringung des Entwicklungsprozesses mit digitalen Werkzeugen (Eigner, Stelzer, 2008a: S. 18). Durch die digitale bzw. virtuelle Erfassung und Vernetzung aller Informationen des Produktes wird bereits in frühen Phasen des Entwicklungsprozesses Wissen aus allen beteiligten Disziplinen vernetzt. Der Betrachtungszeitraum ist von der strategischen Phase über die erste Produktidee bis hin zur Serienproduktion. Das Virtual Engineering hat zum Ziel, den Zeitraum der Produktentwicklung mit digitalen Mitteln zu verkürzen und die Marktreife durch den Einsatz von digitalen Techniken zu beschleunigen (Bullinger u. a., 2009: S. 530 f.). Die Zukunftsinitiative „Industrie 4.0“ und der damit einhergehenden Bestrebung zur Digitalisierung und vollständigen Vernetzung kann für die Etablierung des Virtual Engineering Ansatzes nur förderlich sein.



**Abbildung 6:** Beschleunigung des Entwicklungszyklus durch Virtual Engineering, (Quelle: Ovtcharova, 2010, S. 1268)

Das Virtual Engineering beinhaltet durchaus die Visualisierung von Informationen und geht weit über eine digitale visuelle Repräsentation des Produktes im Sinne eines Mock-Ups hinaus (Eigner, Stelzer, 2008a: S. 22; Ovtcharova, 2010). Ziel dieser Disziplin ist es, implizite Zusammenhänge transparent zu machen (Ovtcharova, 2010: S. 1274). Dies gilt jedoch nicht nur in Bezug auf die Darstellung, sondern darüber hinaus für die Erfassung von Abhängigkeiten in der Informationsbasis. Ergebnis dieses Ansatzes ist das Erfassen und Beschreiben von Zusammenhängen zwischen Fachmodellen. Als Konsequenz davon steigt im Vergleich zu dem klassischen PLM Ansatz die zu beherrschende Komplexität durch die modellübergreifende Betrachtung. Um nun das Ziel der Sichtbarkeit der Zusammenhänge zu erreichen, liefert die hier vorgestellte Methode einen signifikanten Beitrag: Die Relationen zwischen Teilmodellen des Virtual Engineering können graphisch dargestellt werden. Mit dem erweiterbaren Ansatz zum Aufbau der Relationen sowie der entwickelten Notation für übergreifende Relationen ist ein Kommunikationswerkzeug in der Disziplin des Virtual Engineerings geschaffen.

### **2.1.3 Einordnung in das Systems Engineering**

Das Systems Engineering ist ein interdisziplinärer Ansatz zur Entwicklung komplexer technischer Systeme (Eigner u. a., 2014: S. 45). Ursprünglich wurde das Systems Engineering für die Bewältigung komplexer Aufgaben in der Raumfahrt entwickelt. Mittlerweile werden die Methoden und Paradigmen dieser Disziplin in verschiedenen Anwendungsdomänen adaptiert (Baum u. a., 2013: S. 98). Ein Treiber ist die Entwicklung von mechatronischen Systemen. Im Rahmen des Systems Engineering werden Vorgehensmodelle beschrieben, mit denen komplexe Systeme erfolgreich entwickelt werden können. In der ursprünglichen Form verfolgt das Systems Engineering einen dokumentenzentrierten Ansatz (Baum u. a., 2013: S. 98; Eigner u. a., 2014: S. 45). Die steigende Komplexität der Produkte führt zu einer Entwicklung zur Verfolgung modellbasierter Ansätze (Baum u. a., 2013: S. 98 f.; International Council on Systems Engineering, 2007: S. 5, 15). Das Betrachtungsspektrum des Systems Engineering umfasst den gesamten Produktlebenszyklus, von frühen Phasen des Anforderungsmanagements bis hin zur Serienreife des Produkts und bietet dabei integrative Ansätze für die disziplinübergreifende Produktentwicklung. Das Model Based Systems Engineering (MBSE) proklamiert einen unmittelbaren Bezug zu konzeptionellen Modellen. Auf Grundlage von integrierten Modellen sollen

Informationen, die im Produktlebenszyklus anfallen, in Modellen erfasst und nutzbar gemacht werden (Eigner u. a., 2014: S. 81). Nach Eigner bietet es sich an, ein zentrales Systemmodell zu entwerfen, in dem sämtliche Informationen enthalten sind und aus dem bedarfsgerechte Sichten abgeleitet werden (Eigner u. a., 2014: S. 82 f., f.84). Der dabei vorgeschlagene Ansatz erweitert das etablierte V-Modell auf die besonderen Anforderungen der interdisziplinären Produktentwicklung (Eigner u. a., 2014: S. 86 f.). Eine Modellierungsgrammatik für das Systemmodell im Rahmen des MBSE ist SysML (Eigner u. a., 2014: S. 89; International Council on Systems Engineering, 2007: S. 15). SysML ist ein Derivat der UML Grammatik (OMG, 2012: S. 7), welche die folgenden Aspekte der Systementwicklung beinhaltet:

- „Systemanforderungen“,
- „Systemstruktur“,
- „Systemverhalten“,
- „Systemparameter“,

(Eigner u. a., 2014: S. 90).

Wie auch in UML können daraus im Rahmen der Vorgaben von SysML verschiedene Diagramme erstellt werden. SysML bietet daher sowohl ein semantisches Modell als auch Vorgaben für dessen Notation (OMG, 2012: S. 19–151). Die graphische Darstellung von Modellen und Sichten im Bereich des Systems Engineering bleibt dennoch eine große Herausforderung. Der Ansatz, Sichten auf das Systemmodell zu erstellen und zu visualisieren, bietet zwar eine Möglichkeit die Informationen handhabbar zu machen. Dennoch ist es in der interdisziplinären Produktentwicklung erforderlich, die Zusammenhänge zwischen eben diesen Sichten zu berücksichtigen. Die folgende Darstellung zeigt eine Visualisierung verschiedener Sichten im Systems Engineering, die von Gilz im Rahmen des Forschungsprojekts MecPro<sup>2</sup> entwickelt wurde.





Im Gegensatz zum Ansatz des Model Based Systems Engineering (MBSE), ein gemeinsames Systemmodell zu schaffen, wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Ansatz zur Integration von bestehenden Modellen gewählt. Damit sollen etablierte Modellgrammatiken inklusive der darin standardisierten Notationen wiederverwendet werden. Damit soll vermieden werden, dass die Akteure eine neue graphische Sprache erlernen müssen. Der Beitrag der vorgestellten Methode hinsichtlich der graphischen Darstellung von Modellen und Inter-Modellrelationen kann dennoch im Kontext des MBSE angewendet werden. Schließlich wird darin das Sichtenkonzept mit unterschiedlichen Perspektiven auf das Systemmodell, ebenfalls aufgegriffen.

## 2.2 Grundlage der interdisziplinären Zusammenarbeit

Die disziplinübergreifende Zusammenarbeit ist entscheidend für die erfolgreiche Entwicklung von Produkten. Dieser Abschnitt erläutert Hintergründe von Kollaborationsprozessen. Zunächst wird auf Ansätze des Wissensmanagements eingegangen, um darauf aufbauend Aspekte der Kommunikationstheorie vorzustellen. Der Austausch von Wissen innerhalb der Kommunikation setzt gegenseitiges Verständnis voraus. Dieser Aspekt wird als „*Grounding*“ bezeichnet (Clark, Brennan, 1991: S. 127).

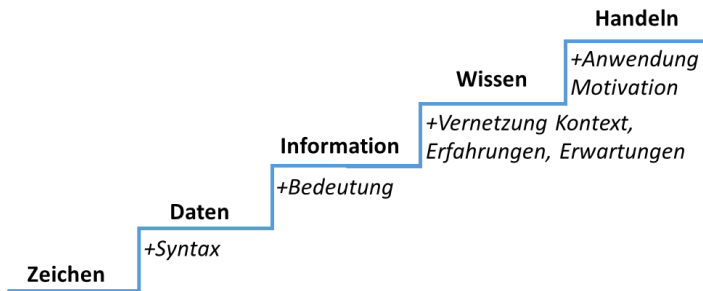
### 2.2.1 Wissensmanagement

Das Wissensmanagement untersucht die Verwaltung und Entwicklung von Wissen in einer Organisation. Insbesondere in hochtechnisierten Branchen ist das Wissensmanagement von besonderer Bedeutung und stellt eine zentrale Komponente der Wertschöpfung dar (Stehr, 2010: S. 58). Trotz der anerkannten Bedeutung des Wissensmanagements sehen Unternehmen einen Verbesserungsbedarf in der Verwaltung und Verteilung von Wissen (Davenport, 2010: S. 18; Pawlowsky u. a., 2011: S. 22).

Das operative Ziel des Wissensmanagements ist vorhandenes Wissen in der Organisation zu erweitern und nutzbar zu machen (North, 2011: S. 39). Das Wissensmanagement wird dabei als dynamischer Prozess betrachtet. Dieser umfasst den Ablauf der Wissensakquise sowie die Generierung, Organisation,

Verteilung, Speicherung bis hin zur Anwendung (Allee, 1997: S. 3). Eine einheitliche Definition ist jedoch nicht gegeben (Bonner, 2000: S. 6). Gängige Definitionen unterscheiden sich im Umfang der betrachteten Prozessschritte sowie der Fokussierung auf technische Aspekte. Eine Zusammenfassung von gängigen Definitionen des Wissensmanagements wurde von Kanagasabapathy zusammengestellt (Kanagasabapathy, 2006: S. 2 f.). Die darin genannten Definitionen betonen unterschiedliche Facetten des Wissensmanagements. Zentrale Aspekte sind dabei die Organisation von Wissen und des Teilens von Wissen innerhalb der Organisation und darüber hinaus. Nach den Definitionen von Kanagasabapathy (Kanagasabapathy, 2006: S. 2 f.) ist die Anwendbarkeit von Wissen von besonderer Bedeutung.

Ansätze des Wissensmanagements bauen auf der Abgrenzung von Daten, Information und Wissen auf. Diese Einteilung wird u.a. in der Wissenstreppe nach North beschrieben und bildet eine Basis, um Wissen anwendbar zu machen (Davenport u. a., 2008: S. 43; North, 2011: S. 36 ff.).



**Abbildung 8:** Wissenstreppe nach North,  
(Quelle: Eigene Darstellung nach North, 2011, S. 36)

Auf unterer Ebene liegen Daten vor: Sie stellen diskrete Informationen über Sachverhalte und Tatsachen dar, die als Zeichenfolgen codiert sind (Davenport u. a., 2000: S. 2). Daten werden unter anderem in IT-Systemen und Dokumenten gespeichert. Als Abgrenzung zu Informationen sind Daten noch nicht in Bezug gesetzt worden (North, 2011: S. 36). Erst nach Einordnung in eine Bezugssystematik sind die Daten interpretierbar. Dieser Schritt gibt den Daten Bedeutung und

damit erhalten sie den Status von Informationen (Davenport u. a., 2000: S. 3). So ist zum Beispiel das Datum „42“ ohne strukturelle Information für den Anwender wertlos. Werden jedoch zusätzlich strukturierende Informationen mitgegeben wie bspw. „Hausnummer“, ist der Zusammenhang ersichtlich (Bezug: Adresse). Dann wird aus dem reinen Datum eine Information. Die Information kann zur Bearbeitung von Aufgaben und zum Treffen von Entscheidungen eingesetzt werden. Dafür muss die Struktur der Daten dem Anwender bekannt sein (North, 2011: S. 37). Eine Möglichkeit zur Strukturierung sind konzeptionelle Modelle. In vielen Bereichen ist der Aufbau des Modells definiert oder standardisiert. Der standardisierte Aufbau der Modelle ist damit strukturgebendes Konstrukt. Wenn die Modellstruktur dem Anwender bekannt ist, können die strukturierten Daten unmittelbar für Analysen und Entscheidungen genutzt werden.

Damit ist die nächste Stufe der Wissenstreppe erreicht. Wissen entsteht durch die Interpretation von Informationen. Das erfordert jedoch einen Wissensträger (Nonaka, 2007). Der Übergang von Information zu Wissen entsteht, wenn Informationen durch einen Nutzer in bestehende Wissensstrukturen eingebettet werden. (Davenport u. a., 2000: S. 4; North, 2011: S. 37).

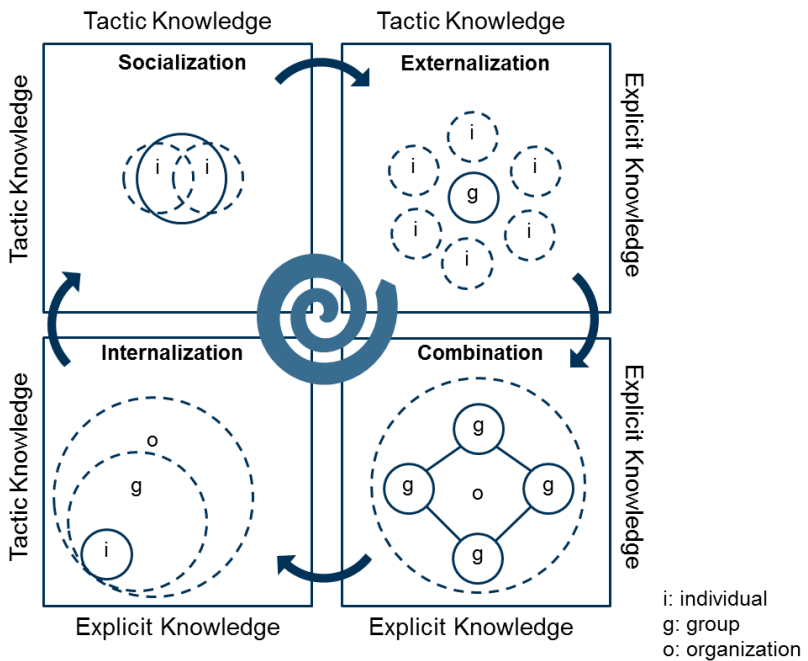
Für Nonaka und Konno muss der Wissensträger keine Person sein. In ihren Abhandlungen wird der Wissensträger als „*Ba*“ (japanisch) bezeichnet, was mit „Raum“ übersetzt wird. Dieser „*Raum*“ ist jedoch nicht beschränkt auf einen physischen Raum, er ist eher als ein Medium zu verstehen. Explizit wird darauf hingewiesen, dass dieser „*Raum*“ mehreren Akteuren zugänglich sein kann (Nonaka, Konno, 1998: S. 40).

Das SECI Modell unterscheidet zwischen implizitem (engl. „*tactic*“) und explizitem Wissen (Nonaka, Konno, 1998: S. 42). Implizites Wissen sind Kenntnisse, Fähigkeiten und Gefühle, über die ein Individuum verfügt (Smith, 2001: S. 311). Diese hat der Wissensträger durch Lernen und Erfahrungen gesammelt. Hierzu gehört insbesondere Erfahrungswissen, das durch längere Tätigkeit in dem entsprechenden Bereich erworben wurde. Erfahrungswissen wurde in der Regel von seinem Träger über einen längeren Zeitpunkt hinweg gesammelt und ist damit „in Fleisch und Blut“ übergegangen.

Niedergeschriebenes explizites Fach- und Methodenwissen kann in verschiedenen Medien dokumentiert und damit allgemein verfügbar sein. Prägnantes

Beispiel für explizites Methodenwissen sind Lehr- und Fachbücher, oder Vorlesungsunterlagen.

In verschiedenen Disziplinen liegen fachspezifische Modelle vor, die in der Literatur beschrieben sind und ggf. von Organisationen standardisiert und veröffentlicht wurden (Quintas u. a., 1997: S. 388).



**Abbildung 9:** Wissensspirale des SECI Modells, (Quelle: Nonaka, Konno 1998: S. 43)

Weiterhin beschreibt das SECI Modell Kommunikationswege, über die ein Übergang von implizitem und explizitem Wissen und vice versa erfolgt.

- Die *Sozialisation* umfasst das Teilen und Verbreiten von implizitem Wissen. In diesem Abschnitt sind nonverbale Kommunika-

tionsprozesse vorherrschend. Der Wissenstransfer erfolgt vornehmlich durch Beobachtung und Nachahmung (Nonaka, Konno, 1998: S. 44).

- In dem Abschnitt der *Kombination* werden verschiedene explizit vorhandene Wissensbereiche miteinander verbunden, wodurch neues Wissen entsteht. Die Kombination findet mit explizit ausgedrücktem Wissen statt, dieses liegt dafür in Form von Dokumenten oder Informationsstrukturen vor. Ein klassisches Beispiel hierfür sind Reporte im Sinne des Business Intelligence (Nonaka, Konno, 1998: S. 44 f.).
- Der Prozess der *Externalisierung* ist von besonderer Bedeutung für die Organisation. Hierdurch werden bereits vorhandenes Erfahrungswissen für Außenstehende zugänglich gemacht und damit für weitere Personengruppen nutzbar (Nonaka, Konno, 1998: S. 43).
- Innerhalb der *Internalisierung* wird Wissen in den bereits bekannten Denkstrukturen eingeordnet. Damit werden die bereits bekannten Modelstrukturen durch die Erfahrungen bzw. erfassten Problemstellungen instanziiert (Nonaka, Konno, 1998: S. 45).

Nach dieser Theorie wird durch eine Abfolge der unterschiedlichen Arten der Wissensteilung eine Spirale erzeugt, durch die neues Wissen für die Organisation und das Individuum entsteht.

### 2.2.2 Wissensmanagement im Rahmen der Arbeit

Die Ansätze der Wissenstreppe und des SECI Modells bilden gemeinsam die Grundlage für die Methode zur visuellen Unterstützung der Kommunikation.

Ausgangspunkt der Betrachtung ist zunächst das in einer Fachdisziplin vorhandene Wissen. Dieses lässt sich einteilen in:

- fachliches Wissen und
- methodisches Wissen.

Das Fachwissen umfasst Tatsachen, Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten aus Sicht der Disziplin. Beim Beobachten einer Szene, sei sie real oder als Beschrei-

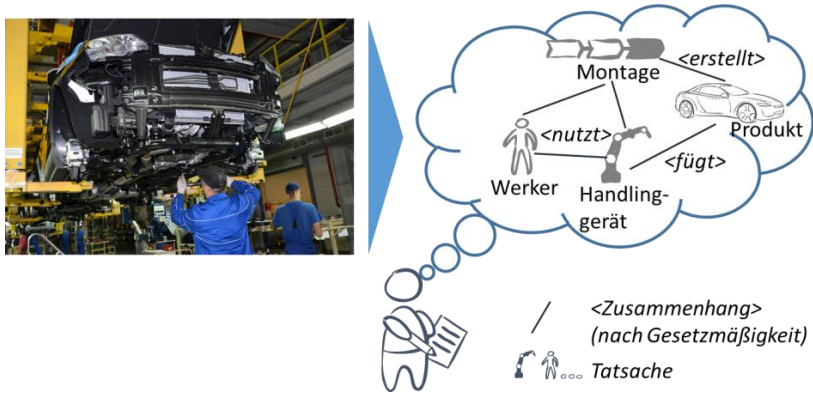
bung vorliegend, erfasst der Beobachter die Szene und verbindet das Erkannte mit seinem Wissen. Die Wahrnehmung aus Sicht der Fachdisziplin ist selektiv. Es werden also nicht alle Tatsachen einer Szene gleichermaßen betrachtet, sondern die relevanten hervorgehoben und unbedeutende vernachlässigt. Die Betrachtung erfolgt also aus einer bestimmten fachlichen Perspektive.

Diese disziplinspezifische Sichtweise ist also ein gedankliches Gebilde, mit dem Beobachtungen strukturiert und zielgerichtet sortiert werden (Pfeiffer, 2007: S. 857).

Ein Bestandteil des Fachwissens sind gedankliche Strukturen, in die Beobachtungen eines Problembereichs eingeordnet werden. Diese Strukturen können in Form von Modellspezifikationen vorliegen. Ein erfahrener Anwender, der mit den Modellspezifikationen seiner Domäne vertraut ist, hat diese gegebenenfalls so verinnerlicht, dass er Beobachtungen in dieses Modell einordnet. Das gedankliche Modell folgt also der Modellspezifikation. Es bildet damit im Sinne der Wissenstreppe das strukturgebende Element für Daten, die kommuniziert oder beobachtet wurden.

Die gedankliche Einordnung von wahrgenommenen Informationen umfasst die folgenden Aspekte:

- Die Tatsachen der Realität werden aus Sicht der Disziplin in die Entitäten überführt, die in dem gedanklichen Modell enthalten sind.
- Die Zusammenhänge beschreiben die Beziehungen zwischen den Elementen in dem gedanklichen Modell
- Gesetzmäßigkeiten beschreiben die Regeln, nach denen die Zusammenhänge aufgebaut werden sowie Hinweise zur Interpretation des abgebildeten Sachverhalts.



**Abbildung 10:** Skizze zur Ableitung disziplinspezifischer Modelle,  
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die „Allgemeinen Modelltheorie“ bietet ein fundiertes Rahmenwerk zur Erläuterung dieser Aspekte (vgl. Kap. 3.1). Das fachliche Wissen in Form von Modellen und Strukturen ist noch nicht ausreichend, um aktiv Aufgabenstellungen zu lösen. Zusätzlich sind Fähigkeiten erforderlich, das Fachwissen anzuwenden. Diese Fertigkeiten und Fähigkeiten werden als methodisches Wissen bezeichnet (North, 2011: S. 153). Dazu gehören unter anderem Kenntnisse von etablierten fachlichen Modellen und die Fähigkeiten, diese zur Externalisierung und Internalisierung von Wissen zu verwenden.

Im Kontext des Wissensmanagements entspricht das Erfassen von Sachverhalten in Modellen der Strukturierung von Daten. Legt man die Wissenstreppe zu Grunde, werden durch die Strukturierung Daten zu Informationen transformiert. Sofern das Modell und damit die Struktur bekannt ist, kann der Anwender die Informationen vernetzen und sie in sein implizites Wissen überführen. Mit diesem Wissen und seiner Methodenkompetenz kann er im Rahmen der Problemlösung handeln.

Standardisierte Modelle und Methoden sind in Fachdisziplinen verbreitet. Die Mitglieder der Disziplin verfügen damit über gemeinsames Wissen, bestehend aus einem Vokabular, Verständnis sowie disziplinspezifischen Methodenkompetenzen. Gemeinsames Fachwissen leistet einen direkten Beitrag zur Kommunika-



tion: Bei der direkten wie auch indirekten Kommunikation werden Informationen ausgetauscht, welche der Struktur von Fachmodellen folgen. Die direkte Kommunikation wird durch eine Fachsprache ermöglicht. Sind die strukturierenden Elemente bekannt und eine gemeinsame Sprache gegeben, dann können die übermittelten Informationen unmittelbar in den Wissenskontext des Empfängers eingebettet werden. Damit ist die Struktur der übermittelten Daten bekannt und der Austausch von Informationen und Wissen kann unmittelbar beginnen. Das gemeinsame Fachwissen kann dabei in bekannten Modellen vorliegen (Wyssusek u. a., 2001). Die Voraussetzungen für eine erfolgreiche direkte Kommunikation auf Basis eines gegenseitigen Verständnisses ist gegeben (Clark, Brennan, 1991).

Auch die indirekte Kommunikation über elektronische oder physische Dokumente wird durch fachspezifische Modelle und Strukturen erleichtert. Diverse Modelle verfügen über eine graphische Notationsvorschrift für die visuelle Darstellung von Modellen. (Embley, Thalheim, 2011: S. 6; Stachowiak, 1973: S. 159ff.). Damit sind die Notationsvorschriften der graphischen Modelle in der Disziplin bekannt, sofern die Modelle etabliert sind (O'Leary, Selfridge, 2000: S. 6). Daten, die in graphischen Repräsentationen dieser Modelle codiert sind, können von Vertretern der Fachdisziplin unmittelbar gelesen und verstanden werden. Die Notation als visuelle Sprache folgt damit denselben Prinzipien wie die Fachsprache in der direkten Kommunikation (Recker, 2011a: S. 6 f.).

### **2.2.3 Wissensmanagement als Grundlage der Kommunikation**

Dokumentierte Informationen sind in der Struktur des Senders verfasst. Um diese verstehen zu können, muss diese Struktur dem Empfänger bekannt sein, damit die Informationen beim Empfänger zu Wissen vernetzt werden können. Ist diese Situation nicht gegeben, muss dem Empfänger zunächst die Struktur der Informationen kommuniziert werden. Die Struktur wird dann durch den Empfänger internalisiert, bzw. erlernt. Erst dann verfügt der Empfänger über das notwendige Wissen, die übermittelten Informationen zu interpretieren, mit seinem Wissen zu vernetzen und damit handlungsfähig zu werden. Das hat zur Folge, dass ein gemeinsames Modell als strukturgebendes Konstrukt definiert, oder zumindest das zugrundeliegende Modell dem Empfänger bekannt sein sollte.

Alternativ dazu müssen zusätzliche Informationen übergeben werden, die den Empfänger darüber informieren, wie die vermittelten Daten in sein eigenes Fachmodell einzuordnen sind.

Das gemeinsame Fachwissen leistet also einen entscheidenden Beitrag bei der direkten Kommunikation in Gesprächen, sowie in der indirekten Kommunikation mit graphischen Notizen und textuellen Beschreibungen. Die Hürden der disziplinübergreifenden Kommunikation sind damit jedoch immer noch nicht überwunden. Das fachliche und methodische Wissen ist nicht zwangsläufig in allen Fachdisziplinen vorhanden, die an der Kommunikation teilhaben. Dokumentierte Informationen sind in der Struktur des Senders verfasst. Um diese verstehen zu können, muss diese Struktur dem Empfänger bekannt sein, damit die Informationen beim Empfänger zu Wissen vernetzt werden können. Ist diese Situation nicht gegeben, muss dem Empfänger zunächst die Struktur der Informationen kommuniziert werden. Das gemeinsame Verständnis im Rahmen des Groundings muss erst explizit hergestellt werden, wobei graphische Mittel einen Beitrag leisten können (Chuah, Roth, 2003: S. 365).

Die neue Methode greift diesen Kommunikationsaspekt auf: Eine graphische Darstellung von etablierten Modellen für die disziplinübergreifende Kommunikation verbessert und beschleunigt das gegenseitige Verständnis der Kommunikationsteilnehmer. Beteiligte können darin kodiertes Fachwissen unmittelbar anwenden, ohne dass neuen Strukturen und Notationen erlernt werden müssen. Durch die graphische Darstellung der Modelle ist ein Medium geschaffen, um das Expertenwissen zu vermitteln und zu verstehen. Bei der Bearbeitung von disziplinübergreifenden Aufgabenstellungen werden Experten unterstützt, in dem Abhängigkeiten zwischen den disziplinspezifischen Modellen transparent werden. Vertreter der Disziplinen können auf Grundlage der dargestellten Verbindungen unmittelbar Informationen austauschen. Die Visualisierung macht die Beziehungen zwischen dem impliziten Wissen des Senders und des Empfängers sichtbar. Eine Brücke ist geschaffen, um die Kommunikation von Partnern mit unterschiedlichen gedanklichen Modellen zu erleichtern. Damit folgt die neue Methode zur Visualisierung von Abhängigkeiten zwischen Modellen des Ingenieurwesens den Paradigmen des Virtual Engineerings und macht den integrativen Charakter dieser Disziplin visuell erfahrbar.

# 3 Grundlagen modellbasierter Ansätze

Als Motivation für den Einsatz von Modellen zur Problemlösung wird davon ausgegangen, dass die Realität zu komplex ist, um im Ganzen erfasst zu werden. Personengruppen, die in einem abgegrenzten Problembereich handeln, erstellen sich demnach zielgerichtet ein Abbild der Realität zum Bewältigen fachspezifischer Aufgaben. Der Begriff Modell geht auf das lateinische Wort *Modus* zurück, was „Maß, Normalmaß“ bedeutet (Stachowiak, 1973 s. 129). Dieses Abbild enthält nur diejenigen Elemente, die bei der Problemlösung von Bedeutung sind (Stachowiak, 1973: S. 131).

Der Modellbegriff ist in dem heutigen Sprachgebrauch weit gefasst und wird in unterschiedlichen Disziplinen mit geringfügig variierender Definition verwendet. Stets repräsentieren Modelle einen Sachverhalt aus der Realität oder auch ein weiteres Modell. Diese sogenannte Abbildungscharakteristik ist elementarer Bestandteil von gängigen Definitionen für den Modellbegriff in den verschiedenen Domänen (Balzer, 1982; Shtub, Karni, 2010: S. 7; Stachowiak, 1973: S. 130).

In der Mathematik wird die Modelltheorie als ein elementarer Bestandteil der Logik verstanden. Zentraler Inhalt der Modelltheorie im mathematischen Sinne ist die Interpretation von formalen Sprachen (Thomas, 2010: S. 53). In diesem Kontext wird der Formalisierungsaspekt in der Modellierung hervorgehoben. Der Abbildungscharakter von Modellen ist auch in diesem Kontext vorhanden, jedoch auf eine rein abstrakte Ebene beschränkt (Becker, Probandt, Vering 2012: S. 2).

Im Fokus der hier vorgestellten Untersuchung sind konzeptionelle Modelle mit den folgenden Bestandteilen:

- Entitäten, welche die abgebildeten Objekte und Sachverhalte des Urbildes (u.U. Realität) im Modell repräsentieren. Die Entitäten werden auch als „Individuen“ bezeichnet. Sie sind abgrenzbare, identifizierbare Bausteine im Modell, die Objekte und Konzepte des Urbildes repräsentieren (Guarino, 1998: S. 9).

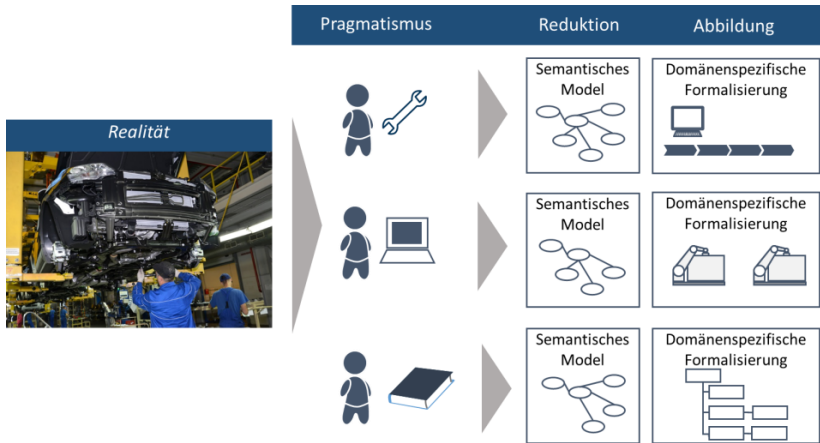
- Eigenschaften im Sinne von Merkmalen, welche die Entität im Modell beschreiben. Sie repräsentieren Charakteristika der Entitäten. (Becker, Probandt, Vering 2012: S. 130 ff.)
- Relationen zwischen den Entitäten des Modells. Diese drücken den Zusammenhang zwischen den abgebildeten Individuen aus. Zudem können sie je nach Modell auch Zusammenhänge zwischen Eigenschaften herstellen.

Diese grundlegenden Elemente sind das Ergebnis des Entity-Relationship Ansatzes (Chen, 1976), welcher die Grundlage für eine Vielzahl an Modellgrammatiken und modellbasierten Ansätzen bildet (Becker, Probandt, Vering 2012: S. 63). Zunächst wird jedoch die theoretische Grundlage von Modellen beschrieben, bevor auf konkrete Modellierungsansätze im Ingenieurwesen eingegangen wird.

## 3.1 Allgemeine Modelltheorie

Veröffentlichungen zur Modelltheorie haben oftmals einen philosophischen Charakter (Guarino, 1998: S. 13). Dieser zeigt sich im Wahrnehmungsprozess der Wirklichkeit im Zuge des Erstellens von Modellen begründet (Wyssusek u. a., 2001: S. 9). Die grundlegenden Charakteristiken der „Abbildung“, „Reduktion“ und insbesondere des „Pragmatismus“ als Ausdruck für die Zweckgebundenheit eines Modells haben verschiedene Ansätze der Modelltheorie gemein. (Balzer, 1982; Stachowiak, 1973: S. 132).

Die allgemeine Modelltheorie bildet eine fundierte wissenschaftstheoretische Grundlage zur Definition von technischen Modellen. Sie beruht explizit auf einer „[...] *breit angelegten Tatsachenfeststellung.*“ (Stachowiak, 1973, S. 128). Die darin beschriebenen Ansätze finden sich in einer Vielzahl von Definitionen von Modellen wieder. Diese drei charakterisierenden Säulen der allgemeinen Modelltheorie werden im Folgenden beleuchtet.



**Abbildung 11:** Kernelemente der Allgemeinen Modelltheorie,  
(Quelle: Eigene Darstellung)

### 3.1.1 Abbildungscharakteristik

Die Abbildungscharakteristik ist ein zentrales Element der Modelldefinition und zeigt sich unter anderem als Homonym im Kontext der Bildenden Künste. Die Abbildungsfunktion ist elementar für die Modellierung in unterschiedlichsten Disziplinen, wie beispielsweise Psychologie, Wirtschaftswissenschaften und vielen weiteren empirischen Theorien und Ansätzen. Unter dem Abbildungsaspekt kann ein Modell nicht von alleine entstehen, es wird stets zielgerichtet geschaffen (Becker, Rosemann, Schütte, 1995: S. 435; Becker, Probandt, Vering 2012: S.2). Dies gilt auch für automatisch und semiautomatisch erstellte Modelle. Hier wird lediglich der Erstellungsprozess durch IT-technische Werkzeuge automatisiert, die einem festen Regelwerk folgen. Weiterhin zu beachten ist in dieser Theorie der rekursive Charakter, nachdem das Urbild eines Modells wiederum ein Modell sein kann (Stachowiak, 1973: S. 131).

### 3.1.2 Reduktion

Nach der allgemeinen Modelltheorie ist die Reduktion im Zuge der Modellierung ein elementarer Bestandteil. Die Reduktion beschreibt die Auswahl von Entitäten im Urbild, die in das Modellabbild übernommen werden. Umgangssprachlich ausgedrückt konzentriert sich der Akteur beim Modellierungsprozess „auf das Wesentliche“. Als Ergebnis werden nur diejenigen Entitäten abgebildet, die im Kontext des Modellierers von Bedeutung sind. Weitere Entitäten oder Eigenschaften werden reduziert und nicht in das Modell überführt. Gepaart mit dem Abbildungscharakter wird hierdurch eine Komplexitätsreduktion erreicht. Im Abbild ist durch die Reduktion die Anzahl an Artefakten und Relationen geringer als im Urbild. Damit ist die systemtechnische Definition des Komplexitätsbegriffs erfüllt (Dörner, 2000: S. 60). Die Reduktion der Komplexität wird offensichtlich in domänenspezifischen Modellen, wie bspw. Prozessmodellen oder Produktstrukturen. Darin werden nur diejenigen Artefakte und Eigenschaften aufgenommen, die in der jeweiligen Disziplin von Bedeutung sind (Becker, Probandt, Vering 2012: S. 40; Stachowiak, 1973: S. 132).

Für die handhabbare Komplexität durch Abbildung und Reduktion muss jedoch ein Preis gezahlt werden. Dieser liegt in einem Informationsverlust; der Informationsgehalt im Abbild ist zwangsläufig geringer als im Urbild. Es werden schließlich nicht alle Entitäten und Eigenschaften in die Abbildung überführt. Der reduzierte Umfang an erfassten Informationen kann bei zweckgebundenem Einsatz in Kauf genommen werden, jedoch ist dieser Informationsverlust von Bedeutung beim Aufbau von Verbindungen zwischen verschiedenen Modellen. Um Inter-Modellrelationen zwischen Teilmodellen aufzubauen, sind ggf. die dafür notwendigen Informationen nicht in den Modellen erfasst.

### 3.1.3 Pragmatismus

Entscheidend für den Informationsgehalt und potenziellen Einsatzbereich des Modells ist die Art und Weise, wie die Reduktion vorgenommen wird. Hier kommt die dritte Eigenschaft von Modellen bzw. der Modellierung zum Tragen. Nach der allgemeinen Modelltheorie ist das dritte charakterisierende Merkmal von Modellen der „Pragmatismus“ (Stachowiak, 1973: S. 132).

Der Pragmatismus definiert die Regeln, nach denen Entitäten und Eigenschaften aus dem Urbild entweder reduziert oder abstrahiert und in das Zielmodell übernommen werden. Er beschreibt die Auswahl der Elemente und Eigenschaften. Mit dem Pragmatismus wird der zweckgerichtete Charakter eines Modells ausgedrückt und damit der potenzielle Einsatzbereich des Abbildes. Er bildet sozusagen den Filter der Reduktion für den Kontext bzw. Anwendungsbereich. Nach der allgemeinen Modelltheorie zeigt sich der Pragmatismus in verschiedenen Facetten. Dazu gehört der Verwendungszweck des Modells, die Zielgruppe, für welche das Modell erstellt wird und auch der Zeitpunkt, zu dem das Modell erstellt wurde (Stachowiak, 1973: S. 133).

Der Pragmatismus ist für die Analyse der disziplinübergreifenden Kommunikation von besonderer Bedeutung. Der Einsatzzweck des Modells ergibt sich aus den typischen Tätigkeiten in den Disziplinen. Gerade durch die Zweckgebundenheit und die gezielte Reduktion ist ein einzelnes fachspezifisches Modell nur bedingt für eine fachbereichsübergreifende Kommunikation geeignet. Elemente, die in einer übergreifenden Kommunikation bedeutsam sind, sind u.U. nicht mehr im Modell vorhanden. Der innere Aufbau von Modellen wird ebenfalls im Rahmen des Pragmatismus festgelegt. Der Aufbau des Modells entspricht dem Verständnis und den Anforderungen der Fachdisziplin (Green u. a., 2011: S. 11).

Standardisierte bzw. etablierte Modelle einer Fachdisziplin werden von deren Vertretern verstanden und verwendet. Daraus lässt sich schließen, dass die Struktur des Modells einem gemeinsamen Verständnis entspricht. (Pfeiffer, 2004: S. 877). Modelldefinitionen leisten also einen Beitrag zur Kommunikation, insbesondere wenn der Aufbau bei den Kommunikationsteilnehmern bekannt ist. Sind Informationen in bekannten Strukturen geordnet, dann können sie zwischen Sendern und Empfängern direkt als Information ausgetauscht werden. Die Struktur muss nicht explizit erläutert oder kommuniziert werden, da sie den Teilnehmern ohnehin bekannt ist. Informationen im Sinne von strukturierten Daten können unmittelbar verstanden werden.

## **3.2 Modelldefinition und Instanziierung**

Die Grundsätze Ordnungsgemäßer Modellierung (GOM) bieten Anhaltspunkte zur Erstellung und Auswahl geeigneter Modellgrammatiken (Becker, Probandt, Vering 2012: S. 4 ff.). Diese Richtlinien beschreiben ein Regelwerk zum Aufbau

von konzeptionellen Modellen. Das Regelwerk ist als Handlungsempfehlung im Sinne des Projektmanagements zu verstehen. Es umfasst Gestaltungsprinzipien für konzeptionelle Modelle, zunächst unabhängig von deren konkreten Gültigkeitsbereichen. Die Grundsätze sollen bei der Erstellung qualitativ hochwertiger Modelle unterstützen (Becker, Rosemann, Schütte, 2005: S. 437; Becker, Probandt, Vering 2012: S. 31).

Für weitere Analyse von etablierten, disziplinspezifischen Modellen ist ein weiterer Aspekt des Modellbegriffs essenziell. Etablierte Modelle haben oftmals einen einheitlichen Aufbau, der standardisierten und etablierten Schemata folgt. Diese legt die Syntax, Struktur und Zusammenhänge im Sinne von Vorschriften für den Aufbau konkreter Modelle fest. Für diese „Schemata“ wird in der Literatur kein einheitlicher Begriff verwendet.

- Recker bezeichnet die Modellierungssprache als „*Conceptual Model Grammar*“ (Recker, 2011a: S. 8). In dieser Grammatik sind die Konstrukte und Regeln festgelegt, mit denen die Konstrukte kombiniert oder verbunden werden können. Damit wird ein direkter Bezug zu formalen Sprachen hergestellt.
- Pfeiffer bezeichnet die Modellierungssprache als die Beschreibung eines Systems (Pfeiffer, 2004: S. 678). Das System entspricht dem „*Internen Modell*“ (ebd.)
- In den *Physics of Notation* von D. Moody wird die Beschreibungssprache als „*Metamodell*“ bezeichnet (Moody, 2009a: S. 757).
- Bei konkreten Modellierungssprachen wird durchaus auch schlichtweg vom „*Standard*“ (Dijkman u. a., 2007: S. 1281) gesprochen.

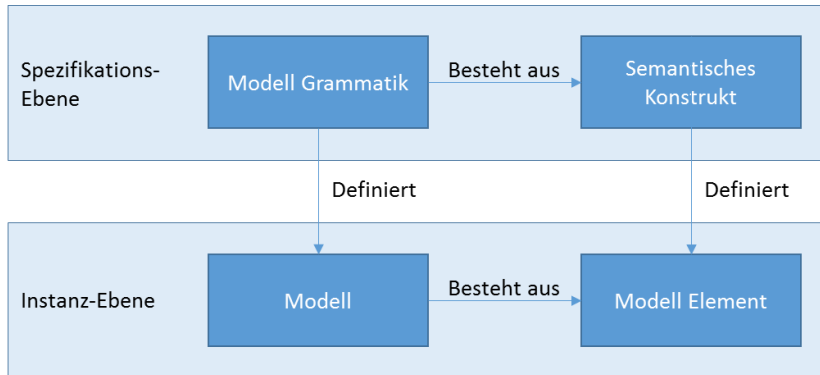
Im Folgenden wird bei der Spezifikation der Konstrukte und Relationen von konzeptionellen Modellen der Begriff „*Modellgrammatik*“ verwendet. Die Modellgrammatik legt die semantischen Konstrukte fest und gibt Bildungsregeln vor, wie diese verknüpft werden. Die semantischen Konstrukte sind die Bausteine, die aus Sicht des Modellierers für die Abbildung des Sachverhalts geeignet sind. Sie entsprechen nicht den konkreten Elementen eines Modells, vielmehr sind sie grundlegende Konstrukte die in der Anwendungsdomäne verstanden werden.



Beispielsweise werden in der Anwendungsdomäne der Prozessmodellierung die „Aktivität“ oder „Nachricht“ als semantische Konstrukte verstanden. Aus ihnen lassen sich Modelle von konkreten Sachverhalten aufbauen. Darin ist festgelegt, welche Konstrukte auftreten und wie sie verbunden werden können. Die Modellgrammatik leistet damit einen Beitrag zur Strukturierung von Daten. Sie ist ein strukturgebendes Element im Sinne des Wissensmanagements. Die Grammatiken können standardisiert und durch Organisationen spezifiziert sein, wie beispielsweise BPMN (Object Management Group, 2011a), SysML (OMG, 2012), YAWL (YAWL Foundation, 2011), STEP (ISO/IEC, 2003).

### 3.2.1 Modelle und Modellgrammatiken

Die folgende Graphik verdeutlicht den Zusammenhang von Modell und Modellgrammatik. Eine analoge Einteilung wird im Folgekapitel für die graphische Darstellung und Notation verwendet.



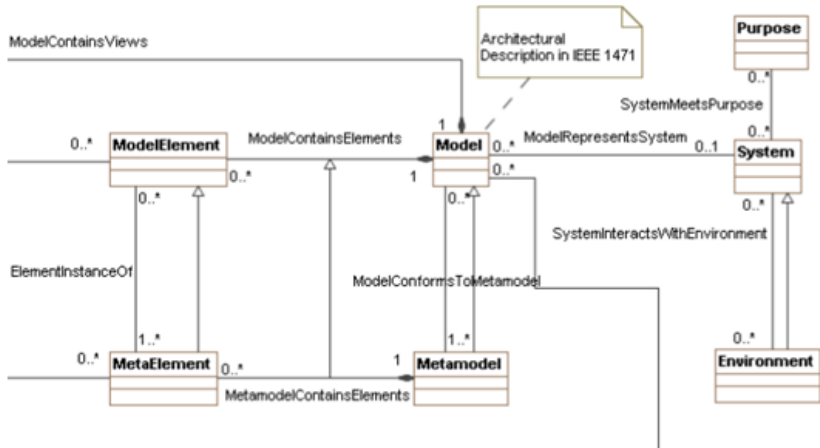
**Abbildung 12:** Modelle und Modellgrammatik,  
(Quelle: Adaptiert nach Moody, 2003, S. 757)

Die Spezifikationsebene gibt die Struktur vor, nach der Modelle aufgebaut werden. Die Modellgrammatik beinhaltet und strukturiert die semantischen Konstrukte. Das sind Bausteine und Verknüpfungsregeln aus denen die Gramma-

tik besteht. Eine Analogie zu Grammatiken in formalen Sprachen der theoretischen Informatik (Thomas, 2010: S. 54) ist nicht von der Hand zu weisen.

Die Modellgrammatik legt also den Grundaufbau von Modellen fest, ohne einen Bezug zu einem konkreten Problembereich herzustellen, welcher im Modellierungsprozess abgebildet wird. Das konkrete Modell liegt auf der Instanzebene und entspricht nach diesem Schema einer instanziierten Grammatik. Modelle sind Abbilder von konkreten Aufgaben- bzw. Problemstellungen. Die Definition nach der Modelltheorie ist damit gültig. Das Modell entspricht damit je nach Aufgabenstellung der Abbildung eines konkreten Prozesses, der Stückliste eines bestimmten Produktes oder Bauteils. Ein Modellelement ist nach dieser Abstufung die Instanz eines in der Grammatik enthaltenen Konstrukts. In einem Beispiel verdeutlicht wäre bei einer Prozessmodellgrammatik das semantische Konstrukt die „Aktivität“.

Das Paradigma von Spezifikation und Instanziierung wird ebenfalls in der objektorientierten Programmierung eingesetzt. Hier lässt sich eine Analogie erkennen. In diesem Feld entspricht die Ebene der Spezifikation der Klassenebene, die bei der Programmierung erstellt wird. Die Instanziierung der Klassen erfolgt dann zur Laufzeit des Programms. Die dabei erzeugten Objekte haben konkrete Ausprägungen (Status), folgen aber exakt der Spezifikation was ihre Verknüpfung angeht. Die Semantik der Spezifikation wird auf ein konkretes Abbild zur Laufzeit übertragen und ist durch die Zustände der Objekte zur Laufzeit sichtbar. In der Model Driven Architecture (MDA), einem Ansatz der Softwaretechnik zur teilautomatisierten Erstellung von objektorientierten Programmen, stehen konzeptionelle Modelle besonders im Fokus (Object Management Group, 2011b). Dieser Ansatz beschreibt Methoden, um konzeptionelle Modelle, die nach standardisierten Modellierungsgrammatiken wie bspw. UML erstellt sind, automatisiert in Quellcode transformiert werden. Der interne Aufbau von Computer-Programmen basiert erheblich auf einer softwaretechnischen Abbildung eines Problembereichs. Aus technischer Sicht wird ein System in dem Software-Modell abgebildet. Analog des Ansatzes von Moody ist dieses Modell durch ein Metamodell definiert, in dem die Modellkonstrukte vorgegeben sind. Der MDA Ansatz erweitert das Schema von Spezifikation und Instanziierung um die Aspekte System und Sicht, wie unten dargestellt. In der MDA Struktur wird die Abbildung des Urbildes als „System“ in die Struktur mit einbezogen. Ebenso wird die Sicht auf das semantische Modell in der Struktur abgebildet (vgl. Abb. 13).



**Abbildung 13:** Beziehungen zwischen Modellen, Metamodellen und Systemen bei MDA, (Quelle: verkürzt nach Ormsc, 2010, S. 3)

### 3.3 Modellgrammatiken in der Produktentwicklung

Im Folgenden werden konkrete Modellgrammatiken der Produktentwicklung vorgestellt. Die hier vorgestellte Methode wird im Fokus auf Ingenieursanwendungen entwickelt und evaluiert. Um den Kontext herzustellen, werden in diesem Abschnitt Modellgrammatiken und Methoden zur Planung und Steuerung von Produktionsprozessen eingeführt.

In der Domäne der industriellen Produktentwicklung existieren eine Vielzahl von modellbasierten Methoden und entsprechende Modellgrammatiken. Im ingenieurtechnischen Bereich lässt sich eine grobe Zuordnung von Informationstechnologie, produktbezogenem Modell und ressourcenorientiertem Modell vornehmen. Hierzu werden in diesem Kapitel exemplarisch ausgewählte Ansätze und Methoden zum Produktdatenmanagement sowie dem Enterprise Resource Planning vorgestellt. Diese Disziplinen decken die verschiedenen Kategorien von Modellen ab.

### 3.3.1 Produktstrukturen (Product Lifecycle Management)

Auch in der Produktkonstruktion werden dedizierte Modelle verwendet. Getrieben durch Hersteller von Standardsoftware sind hier proprietäre Modellgrammatiken verbreitet (Sääksvuori, Immonen, 2005: S. 19, 24). Eine Vielzahl der Modelle orientiert sich an dem Standard zum Austausch von Produktdaten STEP (ISO/IEC, 2003; Sääksvuori, Immonen, 2005: S. 24). Zur Erläuterung von Produktstrukturen wird exemplarisch auf PLM Services (ProSTEP iViP Association, 2008) eingegangen, die in ihrem Aufbau der ISO 10303 (ISO/IEC, 2003) folgt.

Physische Produkte lassen sich in ihrem Aufbau durch Produktstrukturen beschreiben. Diese erfassen im Sinne einer Stückliste alle Einzelteile und Baugruppen, die durch den Produktionsprozess zu einem Endprodukt zusammengefügt werden (Stark, 2011: S. 109). Die Grundlage der Modellierung und Abbildung einer Produktstruktur lässt sich durch mathematische Graphen beschreiben. Für den Managementansatz PLM wurden konzeptionelle Modelle spezifiziert und standardisiert. Grundlegendes Element in dieser Modellgrammatik ist das „Item“. Dieses wird dabei als strukturierendes Element einer Produktstruktur beschrieben, das mit Eigenschaften belegt ist (ISO/IEC, 2003: S. 283). Ein Item kann dabei sowohl als eine Produktkomponente, eine Baugruppe, aber auch ein Werkzeug zur Bearbeitung eines Werkstückes darstellen (ISO/IEC, 2003: S. 50; Sääksvuori, Immonen, 2005: S. 11). Diese bewusst weitgreifende Definition erlaubt eine große Flexibilität für die systemische Abbildung verschiedenster Produkte. Die Spezifikation der PLM- Services, einer Definition von Diensten im Sinne einer serviceorientierten IT-Architektur, verwendet diese Definition des Items analog (ProSTEP iViP Association, 2008: S. 18). Ein Item bietet einen Mechanismus zum „[...] Abbilden, Codieren und Benennen von physischen Produkten, Komponenten, Materialien und Dienstleistungen“ (Sääksvuori, Immonen, 2005: S. 12). Auch Dokumente sind damit abbildbar. Items sind weiterhin aggregierbar und können typisiert werden. Systeme zur Verwaltung von produktrelevanten Daten strukturieren Items vornehmlich in einer zentralen Struktur (Hambruegge, 2010: S. 10–12). Diese Datenstruktur persistiert sowohl die Produktdaten als auch dazugehörige Metadaten. Nach dem Prinzip von Data Warehouse Systemen wird den Nutzern ein „Single Point [Source] of Truth“ geboten (Hambruegge, 2010: S. 44).

### 3.3.2 Ressourcenmodelle

Das Enterprise Resource Planning (ERP) beschreibt die zentrale Verwaltung der Produktionsressourcen in einem Unternehmen. Es wird als integrierendes System für Geschäftsprozesse und verschiedenen Informationsquellen zu Produktionsressourcen definiert (McGaughey, 2007: S. 22). Verschiedene Autoren beschreiben ERP aus der IT Perspektive, das sich als ein modulares System von fachspezifischen Modellen zusammensetzt (Marnewick, Labuschagne, 2005: S. 147; McGaughey, 2011: S. 25; Umble u. a., 2003: S. 243). Diesem Ansatz folgen proprietäre Anwendungssuiten des ERP wie bspw. des Marktführers SAP. Dem ERP Ansatz wird ein modularer Aufbau zugeschrieben (Shtub, Karni, 2010: S. 31). Es ist damit eine Zusammenstellung der Informationsmodelle von Disziplinen, die zur Planung und Steuerung eines Unternehmens notwendig sind. ERP wird im Kontext der Steuerung mit dem Begriff „Business Operations“ in Verbindung gebracht. Die informationstechnische Zusammenfassung verschiedener Module koordiniert die Abläufe und Prozesse der Organisation. Konzeptionelle Modelle haben im Bereich ERP besondere Bedeutung (Marnewick, Labuschagne, 2005; Shtub, Karni, 2010: S. 7), jedoch primär als Grundlage für die IT-technische Umsetzung in Systemen (Becker, Kugeler, Rosemann, 2005: S. 330; Gubbels, 2009: S. 37; Shtub, Karni, 2010: S. 44 ff.). Zu den Modulen gehören unter anderem das Lagermanagement (Umble u. a., 2003: S. 242), die Planung und Steuerung von Versorgungsketten (Supply Chain Management) (Becker, Kugeler, Rosemann, 2005: S. 329; Shtub, Karni, 2010: S. 152) oder das Planen und Steuern von Produktionsabläufen (Shtub, Karni, 2010: S. 157).

Standardisierte, übergreifende Modellgrammatiken für das Enterprise Resource Planning sind im Grunde definiert. Lediglich in Teilbereichen wie beispielsweise dem Prozessmanagement, sind Standards spezifiziert. Der modulare Aufbau von ERP zeigt sich in der Anzahl von Modellen des ERP. Ein einzelnes übergreifendes Standardmodell scheint nicht verfügbar zu sein, bzw. ist in der Implementierung von proprietären Systemen verborgen. Ein Lösungsansatz ist die Verbindung der Einzelmodelle, um damit einen integrierenden Ansatz zu verfolgen (Buckl u. a., 2010; Frank, 2002; Shtub, Karni, 2010: S. 63).

Konzeptionelle Modelle werden in den Modulen des ERP erstellt und eingesetzt. Entsprechend den zu bewältigenden Herausforderungen werden besondere Typen von Modellen verwendet. Aufgabenstellungen, die einen Ablauf beschreiben, lassen sich durch geeignete Prozessmodelle darstellen. Die Beschreibung von

Strukturen, wie beispielsweise der Aufbau der Organisation, lässt sich durch Entity-Relationship basierten Grammatiken darstellen (Shtub, Karni, 2010: S. 7). Von besonderer Bedeutung in der Domäne ERP sind Aufgabenstellung zur Definition, Organisation und Optimierung von Geschäftsprozessen.

### 3.3.3 Modelle des Prozessmanagements

Die Modellierung von Geschäftsprozessen und darauf basierende Optimierung hat besondere Bedeutung in industriellen Unternehmen. Dies gilt sowohl für produzierende, als auch für serviceorientierte Firmen. Die besondere Bedeutung wird von verschiedenen Autoren aus Forschung und Industrie betont (Becker, Kugeler, Rosemann, 2005: S. 221 ff.; Recker, 2011a: S. 1 f.; Wyssusek u. a., 2001). In Unternehmen findet die Wertschöpfung durch eine koordinierte Abfolge von Handlungsschritten statt. In den einzelnen Schritten der Handlungskette wird durch verarbeitende und koordinierte Schritte die Wertschöpfung verfolgt, um am Ende der Kette ein Produkt mit den geplanten Eigenschaften zu erhalten. Nach einer branchenübergreifenden Studie des Beratungshauses PwC wird das Geschäftsprozessmanagement (GPM) als wichtig bzw. sehr wichtig für den Unternehmenserfolg charakterisiert, jedoch gleichzeitig ein erheblicher Handlungsbedarf bei der Durchdringung dieser Disziplin in ihren Unternehmen gesehen. Eine strukturierte Vorgehensweise ist demnach entscheidend für den Unternehmenserfolg. (Müller, 2011: S. 18)

Allweyer definiert das Geschäftsprozessmanagement als *„die systematische Gestaltung, Steuerung, Überwachung und Weiterentwicklung der Geschäftsprozesse eines Unternehmens.“* (Allweyer, 2005: S. 12). Es umfasst das strategische Prozessmanagement, den Prozessentwurf, die Prozessimplementierung und das Prozesscontrolling. Aus dieser Sicht hat das Geschäftsprozessmanagement einen integrativen Charakter, was beim Erstellen von Modellen zu berücksichtigen ist (Becker, Kugeler, Rosemann, 2005: S. 50).

Es existieren eine Vielzahl an Modellgrammatiken und Beschreibungsansätzen zur Erfassung und Notation von Geschäftsprozessen. Prominente Beispiele sind Modellierungssprachen wie Business Process Modelling and Notation (BPMN) (Object Management Group, 2011a; Recker u. a., 2005) oder Ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK) (Keller u. a., 1992).

Verbreitet eingesetzt werden auch allgemeine Modellierungssprachen wie die Unified Modelling Language (UML) (Object Management Group, 2011b).

Insbesondere im Bereich der Prozessplanung und des Geschäftsprozessmanagements werden standardisierte Modellgrammatiken und Dialekte eingesetzt (zur Muehlen, Recker, 2008: S. 465). Vergleiche von etablierten Modellgrammatiken zum Prozessmanagement sind Gegenstand verschiedener Publikationen (Burkhardt, 2014; Leymann u. a., 2010: S. 513 ff.; Recker u. a., 2009). Die Modellgrammatiken unterscheiden sich in ihrem Umfang (Anzahl der semantischen Konstrukte) und der Genauigkeit des semantischen Modells zur Beschreibung des Sachverhalts, sowie den Darstellungsmöglichkeiten (zur Muehlen, Recker, 2008: S. 468; Recker, 2011a: S. 2,10; Recker u. a., 2009: S. 333 ff.).

Je nach Autor und Anwendungsbereich werden bestimmte Modellgrammatiken bevorzugt. Recker und Rosemann kommen zu dem Schluss, dass die Modellierungssprache BPMN Vorteile bei der Ausdrucksfähigkeit hat. Dagegen wird die Stärke der Methode OMEGA, einer objektorientierten Prozessmodellierungssprache mit deutlich geringerer Verbreitung, in der Verständlichkeit der Konstrukte und der graphischen Darstellung gesehen (Burkhardt, 2014: S. 66 ff.). Grundsätzlich scheint auch in diesem Fall der Vergleich stark von persönlichen Vorlieben geprägt zu sein. Da die praktische Evaluierung mit der Modellierungsmethode OMEGA durchgeführt wurde, werden die semantischen Konstrukte und deren graphische Notation vorgestellt. Die Auswahl der Methode zur Evaluierung liegt darin begründet, dass die Evaluierung in einem mittelständischen Beratungsunternehmen durchgeführt wurde, welche diese Methode bevorzugt in ihren Projekten einsetzt.

Mit der OMEGA Methode lassen sich Prozessmodelle nach objektorientierten Prinzipien modellieren und darstellen. Die Notation erlaubt es den Prozess mit der zugehörigen Rolle (Prozessverantwortlicher), sowie ggf. eingesetzten IT-Systemen zu modellieren. Als Verbindung zwischen Prozessschritten dienen Informationsobjekte, die im vorliegenden Fall mit dem Symbol für elektronische Informationsobjekte dargestellt sind. Mit dieser Methode kann die Beziehung zwischen IT-System und Prozess direkt dargestellt werden. Alternativ zur Swimlane- Darstellung von BPMN, werden die Prozessverantwortlichen hier als „Organisationseinheiten“, den Prozessverantwortlichen, dargestellt. Auch wenn OMEGA im Vergleich zum international standardisierten BPMN eher ein Nischendasein führt, wird es dennoch industriell eingesetzt. Wie jede andere

Modellierungstechnik hat OMEGA Vor- und Nachteile (Burkhardt, 2014: S. 65 f.; Recker u. a., 2005: S. 9).

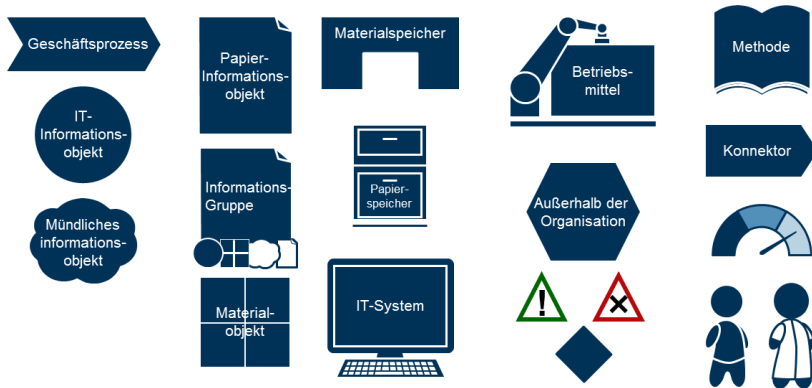


Abbildung 14: Symbole der OMEGA Notation, (Quelle: UNITY AG)

### 3.3.3.1 Business Process Modelling and Notation (BPMN)

Weit verbreitet und in einem internationalen Standard (ISO) spezifiziert, ist die Grammatik BPMN (Object Management Group, 2011a). Die Modellgrammatik mit zugehöriger Notation von BPMN ist standardisiert und verfügt über eine ausgeprägte visuelle Komponente. BPMN wurde mit besonderer Berücksichtigung der graphischen Repräsentation entwickelt. Jedoch ist sowohl die innere Semantik der Entitäten in BPMN, als auch deren graphische Repräsentation nicht frei von Kritik, wie die theoretischen und empirischen Studien von Recker zeigen (Genon, Heymans, 2011: S. 392 f.; Recker, 2011a: S. 52 ff.).

Derzeit ist BPMN die einzige ISO standardisierte Modellierungssprache und erfährt eine wachsende Verbreitung im internationalen Raum (Genon, Heymans, 2011: S. 377; Recker, 2009: S. 182). BPMN verfügt über einen umfangreichen Sprachschatz. Bereits in der seit 2009 abgelösten Version 2.0.2 sind 95 semantische Konstrukte definiert (Object Management Group, 2011a: S. 3 ff.). Weitere etablierte Modellierungssprachen bieten dagegen eine durchaus überschaubare Anzahl an Konstrukten. So definiert die Modellierungssprache OMEGA in ihrer ursprünglichen Definition lediglich 18 Konstrukte zur Abbildung von Geschäfts-



prozessen (Fahrwinkel, 1995). Der Umfang an Konstrukten bestimmt maßgeblich, wie genau eine Szenerie in dem Modell abgebildet werden kann. Je detaillierter die Konstrukte definiert sind, desto genauer können Sachverhalte in das entsprechende Modell überführt werden. Das ist insbesondere von Vorteil bei einer automatisierten Verarbeitung. Der Preis der genauen Abbildung ist jedoch der erhöhte Aufwand für die Einarbeitung in die Modellierungssprache. Es müssen mehr Konstrukte gelernt werden, um mit der Modellgrammatik umgehen zu können (zur Muehlen, Recker, 2008: S. 468). Das kann durchaus ein Nachteil sein, insbesondere wenn Prozessmodelle mit Fachexperten der modellierten Domäne diskutiert werden, die nicht mit der Modellierungssprache vertraut sind.

## **3.4 Ansätze zur Modellintegration**

Um ein Gesamtbild zu erzeugen und damit die unterschiedlichen Bereiche auf Ebene der Modelle zu verbinden, müssen Mechanismen eingesetzt werden, mit denen dedizierte Modelle aus unterschiedlichen Bereichen verknüpft werden. Dieser Anspruch tritt in verschiedenen Bereichen und Anwendungsfällen zu Tage. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, werden in Wissenschaft und Technik Ansätze untersucht, die eine Brücke zwischen verschiedenen Modellen schlagen. Dafür werden Verbindungen identifiziert, die Elemente aus verschiedenen Modellen verbinden. Diese werden als Inter-Modellrelationen bezeichnet (Schütte, 1997: S. 11).

### **3.4.1 Ebenen der Heterogenität**

Die Integration von Informationsmodellen und Systemen und damit der zugrundeliegenden Datenmodelle ist eine zentrale Herausforderung, insbesondere durch den technischen Fortschritt im Rahmen der vernetzten Produktion (Baum u. a., 2013: S. 45 f.). Um die Integration herzustellen, werden zunächst die verschiedenen Ebenen der Heterogenität von Modellen festgestellt, die es bei der Modellintegration zu überwinden gilt (Obrst, 2003; Sheth, 1999: S. 10 f.):

- Syntaktische Integration: Modelle liegen in unterschiedlichen Formaten bzw. Medien vor.

- Strukturelle Heterogenität: Die Entitäten und deren Relationen sind unterschiedlich angeordnet.
- Semantische Heterogenität: die Bedeutung der Entitäten innerhalb des Modells sind unterschiedlich. Die Modelle berücksichtigen demnach unterschiedliche Elemente bzw. misst den abgebildeten Elementen eine unterschiedliche Bedeutung im Zielmodell bei.

Die syntaktische Heterogenität zwischen Modellen resultiert primär aus unterschiedlichen Medien und Formaten, in denen Modelle persistiert sind. Die Syntax bezieht sich also primär auf die informationstechnische Ebene und nicht auf die verwendeten Begrifflichkeiten für einzelne Artefakte innerhalb des konkreten Modells (Obrst, 2003: S. 368).

Die semantische Heterogenität beschreibt die Unterschiede zwischen Modellen, die aufgrund der darin enthaltenen Elemente und deren Verknüpfungen entstehen. Diese Modelle sind nach unterschiedlichen Pragmatismen und damit für unterschiedliche Zwecke und Zielgruppen erstellt (Obrst, 2003: S. 368). Daher unterscheiden sich die Elemente in ihrer Bedeutung innerhalb der Struktur. Diese sind nach Verständnis der Disziplin erstellt, durch die ihnen ihre Bedeutung bzw. Semantik gegeben wird.

Für eine integrierte Darstellung von konzeptionellen Modellen müssen die übergreifenden Verbindungen auf einer soliden Basis aufgestellt sein. Um die Beziehungen zwischen den Elementen zu identifizieren, bieten sich Techniken der Modellintegration an, auch wenn kein vollständiges Verschmelzen der Modelle verfolgt wird. Schließlich verfolgt die Modellintegration ähnliche Ziele, nämlich Elemente zwischen verschiedenen Modellen zu verbinden.

#### **3.4.2 Semantische Integration**

Semantik ist ursprünglich ein Begriff der Sprachwissenschaften und beschreibt die Bedeutung eines sprachlichen Ausdrucks (Duden, 2013). Die Bedeutung eines notierten bzw. gesprochenen Sachverhaltes ist abhängig von der Interpretation, die einem ausgedrückten Sachverhalt beigemessen wird. Damit ist die Semantik kontextabhängig (Brachman, Levesque, 2004: S. 16; Klar, 2005: S. 30). Der Kontext setzt sich zusammen aus der zugrundeliegenden Domäne, in wel-

cher der Ausdruck verwendet wird, sowie aus dem Verständnis des Sachverhaltes, das der Kommunikationsteilnehmer mitbringt (Wand, 1996: S. 286).

Gerade bei formalen Modellen spielen Semantik und der Kontext eine entscheidende Rolle. Im Zuge des Modellierungsprozess wird angestrebt, die Semantik eines Sachverhaltes im Urbild in das Modell zu übertragen. Für eine Verbindung zwischen den Entitäten von Modellen auf Basis ihrer innewohnenden Bedeutung eignen sich Ontologien, die ursprünglich im Feld der „Künstlichen Intelligenz“ entwickelt wurden (Guarino, 1998: S. 4).

### 3.4.3 Ontologien als Methode zur Modellintegration

Ontologien wurden ursprünglich im Kontext der Philosophie vorgestellt und im Bereich der Informationstechnologie adaptiert. Ontologien im Sinne der Informationsverarbeitung und Modelltheorie erhielten steigende Bedeutung bei Untersuchungen zur Interoperabilität von Wissensmanagementsystemen. Das wurde insbesondere in der Disziplin der Künstlichen Intelligenz forciert (Guarino, 1998: S. 3 f.). Die Motivation dieser Arbeiten liegen im Erfassen von Domänenwissen, das für eine semantische Integration Voraussetzung ist (Gruber, 1991: S. 601 f., 1993). Nach der vielfach angeführten Definition ist eine Ontologie eine „*exakte Spezifikation einer Konzeptualisierung*“ („*explicit specification of a conceptualization*“) (Gruber, 1993: S. 199). Wörtlich beschreibt Gruber die Konzeptualisierung als „*A conceptualisation is an abstract, simplified view of the world that we wish to represent for some purpose*“ (Gruber, 1993: S. 200). Diese Definition beinhaltet dieselben Merkmale, die von Stachoviak in der allgemeinen Modeltheorie zur Definition von Modellen gegeben wird. Die Vereinfachung („*simplified view*“) übernimmt den reduzierten Abbildungscharakter, während der Pragmatismus durch den Anwendungszweck („*Purpose*“) gegeben ist. Die Spezifikation der Konzepte im Sinne einer übergeordneten Beschreibung bildet die Ontologie. Sie entspricht damit einem semantischen Metamodell.

Die Anwendungsbereiche von Ontologien sind vielseitig. Insbesondere durch die Initiativen für die Errichtung des Semantic Web hat diese Methodik einen erheblichen Aufwind erfahren (Grütter, 2005: S. 6). Eine nicht unerhebliche Verbreitung haben Ontologien und semantische Technologien unter anderem im Bereich der geographischen Informationssysteme erfahren, was den Stand der Forschung positiv beeinflusst hat (Brodie u. a., 2005; Fonseca u. a., 2003; Fonseca,

Egenhofer, 2002; Tanasescu u. a., 2006). Auch im Bereich der Produktentwicklung und Produktion ist ein Anwendungsgebiet für semantische Technologien (Bittel u. a., 2009; Green, Rosemann, 2005; Choi u. a., 2009; Kraus, 2003; Rosemann u. a., 2004, 2008). Die jüngsten Entwicklungen im Rahmen der Initiative Industrie 4.0 erfordern ebenfalls die semantische Integration von konzeptuellen Modellen. Hier werden explizit die Möglichkeiten einer ontologiebasier-ten Modellintegration untersucht (Bauernhansl u. a., 2014: S. 265 ff.; Baum u. a., 2013: S. 45 f.).

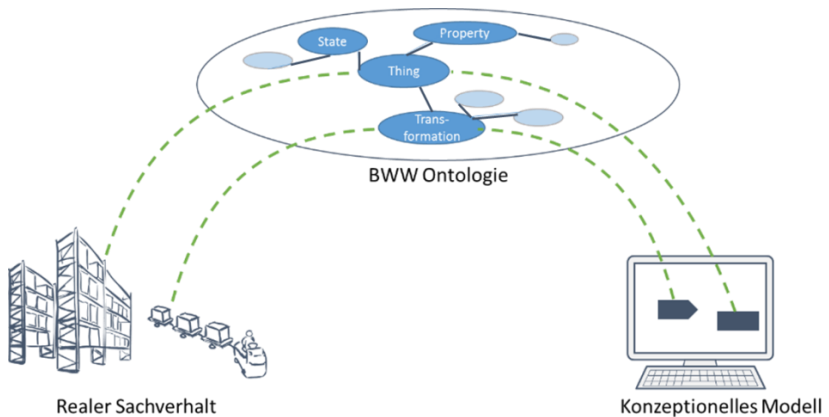
#### **3.4.3.1 Bunge- Wand-Weber Ontologien**

Zur semantischen Integration von Informationssystemen, wie auch zur Evaluierung der Qualität von Modellgrammatiken, hat sich die Bunge-Wand-Weber Ontologie (BWW-Ontologie) als geeignet gezeigt (Evermann, Wand, 2001a; Gehlert u. a., 2007; Green, Rosemann, 2000). Auch wenn diese nicht unumstritten ist, so bietet sie eine Plattform für die Abbildung von wissenschaftlich-technischen Problemen in Ontologien (Wussusek, 2006). Diese Ontologie wurde in den 1990er Jahren vorgestellt (Wand, Weber, 1990) und bildet die Grundlage für verschiedene Untersuchungen zur Evaluierung von Modellen verschiedener Anwendungsbereiche (Recker u. a., 2005: S. 1; Wand, Weber, 1990: S. 1282). Grundlage der Ontologie ist die Betrachtung des Philosophen Mario Bunge (Bunge, 1977). Der zunächst auf philosophische Aspekte konzentrierte Ansatz von Bunge fokussiert eine generische, allgemeine Ontologie zur Beschreibung der Realität. Wand und Weber erweitern die allgemeine Ontologie zur Erfassung der Komponenten von Informationssystemen (Wand, Weber, 1990). Ihre Ontologie beinhaltet Tatsachen und Zusammenhänge der realen Welt. Diese werden auf Grundlage ihrer Bedeutung in Ontologie in sogenannten „Konzepten“ formalisiert. Ein Konzept ist ein identifizierbares Element einer Ontologie, das verknüpft werden kann und durch Eigenschaften charakterisiert ist (Guarino, 1998: S. 5).

Die BWW-Ontologie umfasst diejenigen Konzepte, die ein Informationssystem beinhalten sollte, um reale Sachverhalte zu beschreiben. Der konkrete Anwendungsbereich des Informationssystems wird bei der Einführung der BWW offen gelassen (Wand, Weber, 1990: S. 1282). Der Anspruch der Autoren ist nicht eine vollständige Beschreibungssprache für alle Informationssysteme zu definieren. Vielmehr ist es das erklärte Ziel, eine Erklärung für die zentralen Aspekte des Systems zu finden (ebd.). Die Ontologie kann damit als Bauplan für ein ideales

Informationssystem interpretiert werden. Dieser Anspruch auf Allgemeingültigkeit erfordert einen generischen Ansatz beim Bestimmen der Elemente der Ontologie (Wand, Weber, 1990: S. 1282). Die Ontologie schafft damit ein Bindeglied zwischen der Realität und dem Informationssystem selbst.

Im Fokus der Betrachtung ist dabei das interne Modell des Informationssystems. Dieses bestimmt die Fähigkeit des Systems zur Abbildung realer Sachverhalte. Die BWW-Ontologie dient als Metamodell für Modellgrammatiken, die in dem Informationssystem eingesetzt werden.



**Abbildung 15:** Semantische Homogenität durch integrierende Ontologie  
(Quelle: Eigene Darstellung)

Wie die Graphik zeigt, sind die Konzepte der Ontologie allgemein definiert. Die Ontologie stellt ein übergeordnetes Bindeglied dar, da sie sowohl Elemente mit ihrer Bedeutung im realen Sachverhalt erfasst, ebenso wie deren Abbildung im Informationssystem. Die BWW-Ontologie scheint geeignet für die Analyse von konzeptionellen Modellen (Recker u. a., 2009: S. 337; Rosemann u. a., 2004; Zhang u. a., 2007). Der Zusammenhang zwischen Informationssystemen und konzeptionellen Modellen ist herstellbar: Das interne (Domänen-) Modell des Systems entspricht dafür der betrachteten Modellgrammatik. Die interne Datenstruktur wird auch in der Softwaretechnik als konzeptionelles Modell der An-

wendung bezeichnet (Fowler, 2003: S. 116). Wenn nun das interne Modell der Modellgrammatik entspricht, dann ist der Zusammenhang zwischen Informationssystem und Ontologie hergestellt.

Auf dieser Grundlage kann die Ontologie eingesetzt werden, um die Qualität eines konzeptionellen Modells zu beurteilen. Dabei wird evaluiert, in wie weit wesentliche Elemente des Modells durch die Konzepte der Ontologie repräsentiert sind. Maßstab der Beurteilung ist die „*Ontological Completeness*“ (Green u. a., 2011: S. 7). Dieses Maß bestimmt den Grad an eindeutig abbildbaren Elementen eines konzeptionellen Modells auf die Bestandteile der Ontologie. Diese Metrik wird unter anderem zur Beurteilung der Qualität von Grammatiken für die Modellierung von Geschäftsprozessen angewendet (Green, Rosemann, 2000; Recker, 2008; Recker u. a., 2005, 2009).

Die BWW-Ontologie wurde also in verschiedenen Szenarien zur Analyse und Evaluierung von konzeptionellen Modellen eingesetzt und ist damit in diesem Bereich gewissermaßen etabliert. Durch diese Durchdringung, insbesondere zur Evaluierung von Modellgrammatiken des Prozessmanagements, scheint diese Ontologie als Grundlage für das Identifizieren von übergreifenden Relationen in Anwendungsfällen des Ingenieurwesens geeignet zu sein.

In Kap. 4.2 wird beschrieben, wie sich die Paradigmen der BWW-Ontologie auf den Aufbau von Relationen zwischen mehreren konzeptionellen Modellen ausweiten lassen. Dabei wird herausgestellt, dass auf der Abstraktionsebene der Ontologie die Paradigmen sowohl für ein einzelnes Modell, als auch ein Modellverbund gültig sind.

## **3.5 Ansätze aus Wissenschaft und Technik zur semantischen Integration**

In der Domäne der industriellen Produktentwicklung wird der Ansatz der ontologiebasierten Integration von Produkt und Produktionsmodellen in verschiedenen Arbeiten und Forschungsprojekten verfolgt. Der Verbreitungsgrad dieses Ansatzes unterstreicht die Eignung von semantischen Technologien für den Einsatz zur Modellintegration in der Produktentwicklung.

Als Beitrag zum "integrierten Produktmodell" nach Grabowski werden Ontologien eingesetzt, um eine ganzheitliche Beschreibung des Produkts umzusetzen (Grabowski, Meis, 1997). Die Konzepte des integrierten Produktmodells wurden in ISO 10303 unter dem Akronym STEP standardisiert (Grabowski, Leutsch, 2002; Grabowski, Meis, 1997; ISO/IEC, 2003). Dabei sollen verschiedene Sichten in der Produktentwicklung zu einem gemeinsamen Modell verschmolzen werden.

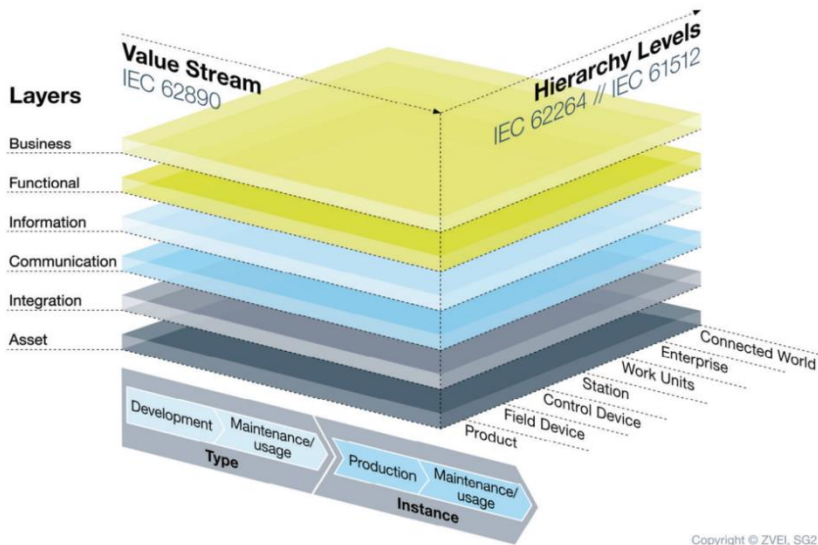
Das Forschungsprojekt Know4Car, gefördert durch die Europäische Union, setzt Ontologien ein, um eine wissensbasierte Entwicklung im Umfeld der Automobilindustrie zu ermöglichen. Das Ziel dieses Projektes ist, Wissen und Daten zwischen den Bereichen ERP, PLM und CAx zu harmonisieren und einen einheitlichen Zugriff auf die Informationen zu ermöglichen damit die Kollaboration zwischen den Experten gefördert wird. Zur Integration von Daten und Wissen werden Ontologien eingesetzt, um damit den Zugriff auf integrierte Informationen mit einer vereinheitlichten web-basierten Benutzerschnittstelle zu ermöglichen (Pintzos u. a., 2013: S. 273 f.).

Das Forschungsprojekt MEMPHIS fokussiert die Integration von PLM Datenmodellen mit einem ontologischen Metamodell. Ziel ist es, die PLM Systeme in verschiedenen Unternehmen oder Fachbereichen über eine Middleware miteinander zu verbinden. Die Middleware basiert auf PLMServices, eine Webservice Spezifikation, die auf STEP aufgebaut ist (Choi, Herter, Bruening, u.a., 2009).

Forschungsansätze, wie das integrierte Produktmodell, versuchen die unterschiedlichen Sichtweisen von Produkt und Produktion zu verbinden um eine ganzheitliche Sichtweise auf die Entwicklung zu abzubilden (Grabowski, Leutsch, 2002). Im Product Lifecycle Management wird explizit die Strategie verfolgt, um in entsprechenden Datenmodellen und Systemen die Facetten von Produkt und Produktion zu integrieren und in einer zentralen Informationsplattform den Entwicklern zu Verfügung zu stellen (Eigner, Stelzer, 2008a: S. 37; Stark, 2011: S. 9).

Im Rahmen der Initiative Industrie 4.0 ist bei der Erstellung und Nutzung von „cyberphysischen Systemen“ ein erheblicher Bedarf an disziplinübergreifender Vernetzung gegeben. Im Herstellungsprozess soll nach den Paradigmen von Industrie 4.0 der Fertigungsprozess weitgehend automatisiert sein.

Um das zu ermöglichen werden Ontologien als ein geeignetes Mittel gesehen, den Informationsaustausch innerhalb des Produktionsprozesses zu ermöglichen (Bauernhansl u. a., 2014: S. 265–271).



**Abbildung 16:** Referenzarchitekturmodell für Industrie 4.0 Szenarien (RAMI),  
(Quelle: BITKOM u. a., 2015, S. 43)

Die Referenzarchitektur für Industrie 4.0 Szenarien RAMI (4.0) ist das Ergebnis von Diskussionen verschiedener Interessensverbände (Kargermann u. a., 2013: S. 42 ff.). Um ein gemeinsames Bild zu entwerfen, wurde diese Referenzarchitektur geschaffen, welche die Betrachtung des Produktlebenszyklus um die verschiedenen Domänen-Sichten (Y-Achse sowie der Betrachtung der Glieder von Wertschöpfungsnetzwerken ergänzt. Auffallend ist die bewusst gewählte räumliche Darstellung des Modells in der Architekturgraphik, welche die unterschiedlichen Dimensionen des Ansatzes Industrie 4.0 visualisiert. Für die Realisierung von Industrie 4.0 Szenarien ist eine Interoperabilität auf Basis der Semantik der Elemente in den Teilmodellen eine Voraussetzung (BITKOM u. a., 2015: S. 37 f.). Ebenso werden für den Informationsaustausch zwischen den Ebenen des RAMI



Modells Ontologien zur Informationsintegration vorgeschlagen (Kargermann u. a., 2013: S. 101). Als primäres Mittel zur Übertragung von Informationen wird derzeit ein gemeinsames semantisches Modell beschrieben, das alle Anforderungen abdeckt (Kargermann u. a., 2013: S. 45). Zum Aufbau eines solchen Modells müssen Informationen aus unterschiedlichen Bereichen und Strukturen zusammengeführt werden. Spätestens an dieser Stelle sind Methoden zur semantischen Integration erforderlich, um bestehende Informationen in das Industrie 4.0 Referenzmodell zu erfassen (BITKOM u. a., 2015: S. 23).

### **3.5.1 Zusammenfassung**

Für das Erkennen und Herstellen von Beziehungen zwischen Modellen, ist die Semantik der Entitäten innerhalb ihres Modells von Bedeutung. Eine rein syntaktische Entsprechung kann dabei nicht als ausreichend betrachtet werden. Aufgrund der Modelltheorie und dem darin definierten Pragmatismus im Sinne der Zielgruppenorientierung kann sich die Benennung der abgebildeten Elemente unterscheiden. Daher muss die Bedeutung der Elemente als Grundlage für die Modellintegration eingesetzt werden. Ein geeignetes Mittel ist mit dem ontologiebasierten Ansatz gefunden.

Die Ontologie fungiert dabei als beschreibende Struktur und beschreibt die Elemente und grundlegenden Zusammenhänge in einem Modell. Mit konkretem Bezug zu Informationssystemen wurde in diesem Kapitel die etablierte Bunge-Wand-Weber Ontologie (Wand, 1996) vorgestellt. Dieser generische Ansatz wird von verschiedenen Quellen zur Analyse von konzeptionellen Modellen u.a. im Ingenieurwesen eingesetzt. In Kap. 4.2 wird herausgestellt, dass sich der ontologiebasierte Ansatz grundsätzlich auf modellübergreifende Relationen anwenden lässt.



# 4 Grundlagen der Visualisierung

## 4.1 Information Visualization

Bezogen auf elektronische Systeme zur Informationsverarbeitung ist die graphische Darstellung ein Kommunikationskanal der Mensch-Maschine Schnittstelle (Katicic, 2012: S. 125). Die graphische Darstellung von Informationen wird in einem eigen wissenschaftlichen Bereich untersucht. Darin wird die Visualisierung als „*Graphische Repräsentation von Daten und Konzepten*“ charakterisiert (Ware, 2004, S. 2). Die Grundlagen für die Visualisierung von Modellen wird in den wissenschaftlichen Disziplinen „*Information Visualization*“, „*Scientific Visualization*“ und „*Knowledge Visualization*“ beschrieben (Tergan, Keller, 2005: S. 2). Diese Bereiche konzentrieren sich auf die graphische Darstellung von abstrakten Modellen mit deren Entitäten und Zusammenhängen. In diesen Forschungsfeldern werden unterschiedliche Aspekte fokussiert:

*Information Visualization* fokussiert eine verständliche Darstellung primär von abstrakten Modellen. Dieser Term wird oftmals als Oberbegriff für verschiedene Ausprägungen von graphischen Darstellungen verwendet, wobei die computer-gestützte Visualisierung im Vordergrund steht (Tergan, Keller, 2005: S. 7). Ein zentraler Aspekt der Disziplin „*Information Visualization*“ ist die Darstellung von abstrakten Sachverhalten (Tergan, Keller, 2005: S. 7), wodurch eine Abgrenzung zur „*Scientific Visualization*“ herstellbar ist.

*Scientific Visualization* konzentriert sich auf die graphische Darstellung von naturwissenschaftlich-technischen Phänomenen. Hierzu sind beispielsweise dreidimensionale Modelle von Molekülen, oder die graphische Darstellung von Simulationsergebnissen aus wissenschaftlichen Bereichen zu nennen. Die Abgrenzung ist gegeben, indem physische Gegenstände digital dargestellt werden (Meier, 2006: S. 97).

*Knowledge Visualization* fokussiert die graphische Aufbereitung von Wissen als Erweiterung zu Informationsdarstellung. Dabei wird die Kommunikation (Judelman, 2004) und Lerntheorie (Tergan, Keller, 2005: S. 2) fokussiert. Nach (Cañas u. a., 2004: S. 206) ist die Abgrenzung zur Disziplin „*Information Visualization*“ durch die Berücksichtigung von Ansätzen des Wissensmanagements

gegeben. Dem entsprechend konzentriert sich diese Visualisierungsdisziplin auf die Darstellung von Informationen, die einem Wissensträger innewohnen (Tergan, Keller, 2005: S. 3).

Diese Disziplinen haben den Anspruch, eine verständliche Visualisierung zu bieten. Die vorliegende Arbeit wird nach dieser Unterscheidung der Disziplin „*Information Visualization*“ zugeordnet, da die graphische Darstellung von abstrakten Modellen im Vordergrund steht. Die berücksichtigten Modelle bilden nicht zwangsläufig Wissensstrukturen ab, sondern beschreiben Sachverhalte entsprechend der Modelltheorie. Sie müssen nicht zwangsläufig einer gedanklichen Struktur entsprechen, was eine Abgrenzung zur „*Knowledge Visualization*“ zulässt (Tergan, Keller, 2005: S. 3).

Die Grundlagen der Informationsvisualisierung sind in der Psychologie und Lerntheorie verankert. Im Fokus stehen dabei die kognitiven Prozesse zum Erfassen und Verstehen von Informationen (Judelman, 2004: S. 28, 49). Die Forschung in diesem Bereich ist primär empirisch orientiert, insbesondere was die Eignung von spezifischen visuellen Mitteln zur Informationsdarstellung betrifft (Moody, 2009a: S. 758; Ware, 2004: S. 394 ff.). Theorieübergreifend wird bestätigt, dass die Verständlichkeit der Darstellung abhängig von der Aufgabenstellung des Benutzers ist. Die Aufgaben lassen sich in verschiedene Kategorien, wie bspw. Suche, Auswähle oder Analysieren einordnen. Eine universelle Beurteilung der Qualität und Intuitivität einer Visualisierung kann nicht vorgenommen werden (Nazemi, Kohlhammer, 2013: S. 32–36; Ware, 2004: S. 375).

Im Folgenden werden zunächst Theorien vorgestellt, welche der visuellen Informationsverarbeitung zu Grunde liegen. Diese Theorien begründen die Relevanz der verständlichen graphischen Darstellung von Informationen. Darauf aufbauend werden Ansätze für die Gestaltung einer Visualisierung für abstrakte Sachverhalte eingeführt.

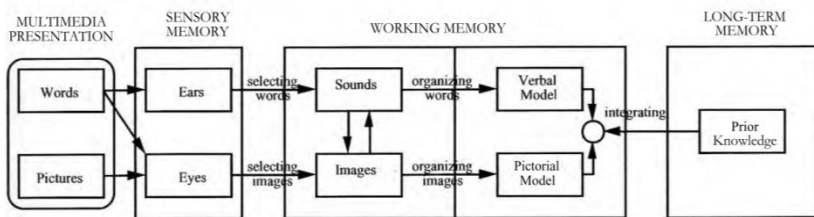
## 4.2 Dual Coding Theory

Die Dual Coding Theory basiert auf der Annahme, dass die kognitive Informationsverarbeitung von unterschiedlichen Zentren im Gehirn vorgenommen wird. Dabei wird proklamiert, dass Lernprozesse beschleunigt werden können, wenn Informationen sowohl über das auditive Gehirnzentrum als auch über das

visuelle Gehirnzentrum aufgenommen werden. Diese Zentren sind miteinander verknüpft (Pavio, 1986: S. 62–67). Plakativ ausgerückt können nach dieser Erklärung Informationen besser erfasst und gedanklich verarbeitet werden, wenn sie sowohl verbal kommuniziert als auch graphisch dargestellt werden (Lwin u. a., 2010: S. 318).

Der positive Effekt auf das Erinnerungsvermögen zeigt sich bereits im Kindesalter. Begründet durch empirische Versuche ist das visuelle Gehirnzentrum bereits früher entwickelt als das sprachliche (Paivio 2006: S. 8). Ein kombinierter Einsatz von Sprache und Graphik zur Kommunikation von Informationen ist nicht begrenzt auf konkrete Begriffe und Zusammenhänge. Positive Effekte für das Lernverhalten werden auch bei rein abstrakten Begriffen erreicht (Paivio, 1971: S. 266, 2006: S. 4) Die Verbindung von Graphik und Sprache ist demnach auch bei Begriffen förderlich, die keine physische Repräsentation haben und damit nicht direkt als Bild dargestellt werden können.

Die Dual Channel Theory wird im Kontext der Lerntheorie untersucht. Dabei insbesondere im Teilgebiet des multimedialen Lernens, der konkret den Nutzen für das schnellere und tiefere Lernen durch Informationsvermittlung auf verschiedenen Kanälen beschreibt, unter anderem auch konkret im Zusammenhang mit der graphischen Darstellung von standardisierten konzeptionellen Modellen (Gemino, Wand, 2005: S. 316 f.).



**Abbildung 17:** Kognitive Theorie des multimedialen Lernens,  
(Quelle: R. Mayer, 2005, S. 37)

Nach der Dual Channel Theorie, die Mayer für multimediale Lernprozesse anwendet und erweitert (Mayer, 2005: S. 4 f.), werden gesprochene Worte über

das akustische System und niedergeschriebene Worte über das visuelle System aufgenommen. Konzeptionelle Modelle bestehen oftmals aus einer Kombination von graphischen Komponenten und Text (Gemino, Wand, 2005: S. 308). Der tatsächliche Lernprozess findet dabei durch die Verbindung des textuellen und graphischen Modells statt und wird durch Hinzunahme von Erfahrungswissen ergänzt (Gemino, Wand, 2005: S. 309).

Diese Theorie unterstützt den Ansatz, dass durch eine Visualisierung der Zusammenhänge von Modellen die direkte Kommunikation zwischen Experten von Fachbereichen gefördert wird. (Gemino, Wand, 2005: S. 313). Die Motivation einer visuell unterstützten Kommunikation zwischen Experten von unterschiedlichen Fachbereichen, ist ein besseres Verständnis zwischen den Akteuren um die Abhängigkeit zwischen den Fachbereichen. Im Rahmen der Kommunikation werden wechselseitig Lernprozesse angestoßen. Dabei nehmen die Gesprächspartner abwechselnd die Rolle des Lehrenden und des Lernenden ein. Die Erörterung der akuten Problemstellung im Zuge der Diskussion auf Grundlage einer graphischen Darstellung führt demnach zu einem besseren Verständnis, das durch das Lernen und Verstehen der Zusammenhänge erfolgt.

Diese Theorie erklärt den Nutzen der graphischen Darstellung und lässt sich unmittelbar auf die Aufgabenstellung der neuen Methode zur Darstellung von modellübergreifenden Relationen übertragen. Durch die graphische Darstellung der Modelle und Abhängigkeiten wird der Wissensaustausch zwischen den Akteuren gefördert.

In der direkten Diskussion von interdisziplinären Problemstellungen entfaltet die graphische Darstellung nach der Dual Coding Theory ihre Wirkung, da die Diskussion durch eine Visualisierung unterstützt wird.

### **4.3 Theorie der visuellen Sprachen**

Jeglicher Austausch von Wissen zwischen Personen (Akteuren) bedingt gegenseitiges Verständnis. Erst wenn sich alle Parteien artikulieren und das Gegenüber die Artikulation interpretieren kann, sind die Voraussetzungen für den Wissensaustausch geschaffen (Clark, Brennan, 1991: S. 127). Diese Voraussetzungen sind unabhängig von dem verwendeten Kommunikationsmedium. Sie gelten sowohl für das gesprochene Wort und die verwendete Fachsprache, als auch für

eine graphische Darstellung (Chuah, Roth, 2003: S. 365; Clark, Brennan, 1991: S. 127 f.).

Eine verständliche Darstellung ist von Bedeutung, wenn Informationen über den visuellen Kanal aufgenommen werden. Dennoch wird der Visualisierung von konzeptionellen Modellen nicht die gleiche Aufmerksamkeit geschenkt, wie den semantischen Strukturen (Moody, 2009a: S. 757). Die Bedeutung wurde jedoch erfasst und die Relevanz der graphischen Darstellung von konzeptionellen Modellen thematisiert (Esser, Janneck, 2001; Gulden, 2015; Gulden, Reijers, 2015: S. 33; Moody, 2009a; Raschke u. a., 2014).

In diesem Kontext wird der Begriff der „Visuellen Sprachen“ eingeführt und damit eine Analogie zu gesprochenen Sprachen aufgebaut. Eine visuelle Sprache im Sinne von konzeptionellen Modellen ist die Spezifikation einer graphischen Notation. Der Begriff „Visuelle Sprachen“ geht auf das Jahr 1984 zurück, als dieser Ausdruck auf einem IEEE Workshop zum ersten Mal Verwendung fand (Bottoni u. a., 2007: S. 1).

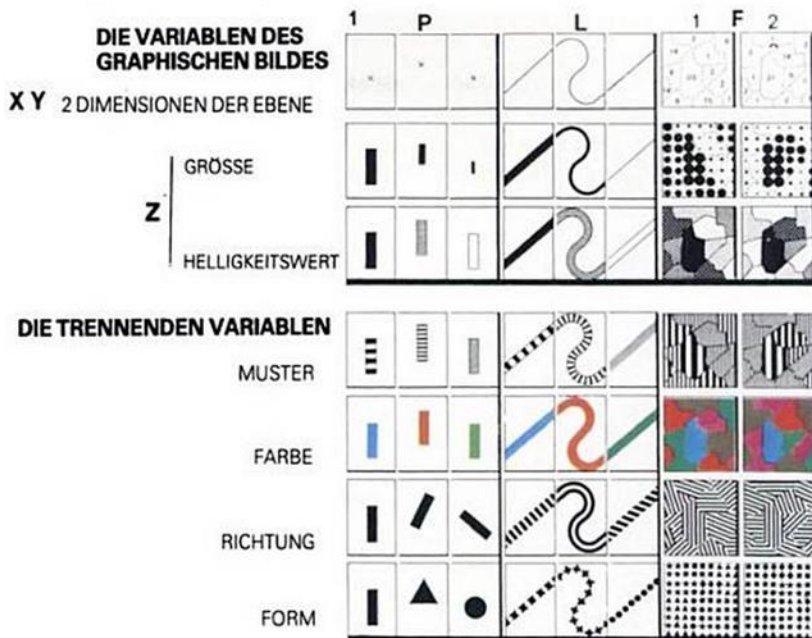
Nach einer allgemeinen Definition sind Visuelle Sprachen *„Sprachen mit einem Alphabet, bestehend aus visuellen Repräsentationen, welche für die Mensch-Mensch und Mensch-Computer Interaktion verwendet werden.“* („*Languages with alphabets consisting of visual representations and used for human-human or human-computer communication*“) (Narayanan, Hübscher, 1998: S. 3). Eine enger Bezug zur Definition von formalen Sprachen ist hierbei unverkennbar (Erk, Priese, 2000: S. 54).

Die Verknüpfungsregeln zum Verbinden der graphischen Elemente werden auch als Grammatik bezeichnet (Bardohl, 2002: S. 183; Moody, 2009a: S. 757; Tergan, Keller, 2005: S. 75).

Ein grundlegendes Element der Informationsvisualisierung ist die Theorie der visuellen Syntax. Bertin definiert einen Satz von visuellen Variablen, die sich in Analogie zu Buchstaben in der gesprochenen Sprache zu einer visuellen Syntax kombinieren lassen. Die „Wörter“ der visuellen Syntax bieten ein Mittel, um die semantischen Einheiten in einer graphischen Notation zu unterscheiden. Betrachtet man die Notationen von Standardmodellen, so fällt auf, dass die leicht unterscheidbaren visuellen Variablen in den einzelnen Modellen weitgehend ausgeschöpft sind, insbesondere bei der Darstellung von Entitäten und deren Beziehungen. Viele konzeptionelle Modelle basieren auf der Grundlage von Elementen und

Beziehungen und folgen damit dem Entity Relationship Modell (Chen, 1976). Die Darstellung dieser Modelle wird vornehmlich mit unterschiedlichen Formen und Linien vorgenommen, die vertikal oder horizontal arrangiert sind.

Besonders viele Modelle basieren primär auf der visuellen Variablen „Form“, um semantische Konzepte der Modelle darzustellen. Dabei werden überwiegend Rechtecke (Formen) für die Entitäten und Linien für die Beziehungen verwendet (Moody, 2009a: S. 763; Tuft, 1998: S. 64).



**Abbildung 18:** Variablen des graphischen Bildes nach Bertin, (Quelle: Bertin, 1982, S. 187)

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit orientiert sich die Definition einer visuellen Sprache an der Definition von Moody (Moody, 2009a: S. 757) sowie von (Bardohl, 2002: S. 182). Demnach ist eine visuelle Sprache eine Spezifikation für



eine Notationsvorschrift, bestehend aus einem Satz an visuellen Variablen. Dazu hat eine visuelle Sprache eine Grammatik, welche die Anordnung und Beziehungen zwischen den Vokabeln einer visuellen Syntax definiert (Bardohl, 2002: S. 182; Moody, 2009a: S. 757).

Die Definitionen der visuellen Sprache sind nicht bezogen auf konkrete Modelle, Anwendungsgebiete oder Visualisierungsdisziplinen. Ebenso sind sie unabhängig gehalten von dem Medium, das zur Notation verwendet wird. Die visuellen Sprachen nach der verfolgten Definition sind demnach anwendbar für IT-gestützte Darstellungen, ebenso wie analoge Repräsentationen auf Papier.

## **4.4 Prinzipien für graphische Darstellungen**

Mit der Theorie der visuellen Sprachen ist die Grundlage geschaffen um eine Notation für abstrakte Modelle zu erstellen. Um auf dieser Grundlage eine verständliche Visualisierung zu erstellen, sind Gestaltungsrichtlinien notwendig, damit die Notation verständlich und nutzbar ist. Für die Gestaltung der visuellen Sprache werden im Folgenden heuristische und theoretische Ansätze vorgestellt, die zu einer verständlichen graphische Darstellung führen.

### **4.4.1 Heuristiken zur Bewertung der Useability**

Im Kontext des Feldes „Human Computer Interaction“ wird die Benutzbarkeit von graphischen Oberflächen als „*Useability*“ bezeichnet. Gegenstand der Useability sind sowohl die Darstellung als auch Interaktionsmöglichkeiten für den Benutzer (Nielsen, 1994: S. 25).

Empirische Methoden werden zur Evaluierung der Benutzerfreundlichkeit eingesetzt. Im Rahmen von User Tests sollen Anwender die Software bedienen und Rückmeldung zu deren Benutzerfreundlichkeit geben (Nielsen, 1994: S. 27). Für die Entwicklung von einer benutzerfreundlichen graphischen Oberfläche werden heuristische Gestaltungsprinzipien vorgestellt, an denen Darstellung und Interaktion orientiert sein sollen. Die Prinzipien sind allgemein formuliert und haben damit einen weiten Gültigkeitsanspruch (Nielsen, 1994: S. 85 ff.; Nielsen, Molich, 1990: S. 249; Shneiderman, 1996b: S. 337). Neben der visuellen Darstel-

lung sind Interaktionsparadigmen Gegenstand der Heuristiken. (Nielsen, 1994: S. 153 f., 1994b: S. 20; Nielsen, Molich, 1990: S. 249).

Shneidermann beschreibt Heuristiken zur Beurteilung der Nutzbarkeit von Darstellung und Interaktion in Software Anwendungen (Shneiderman, 1996b: S. 337 ff.). Die darin vorgestellten Heuristiken leiten sich aus der als „*Visual Information Seeking Mantra* [...]“ bezeichneten Leitlinie: „*Overview first, zoom and filter, then details on demand*“ ab (Shneiderman, 1996b: S. 337). Diese Prinzipien werden auf Grundlage der dargestellten Datenstrukturen verfeinert. Unter anderem werden dabei explizit dreidimensionale Datenstrukturen behandelt (Shneiderman, 1996b: S. 337f.).

Basierend auf diesen Quellen wird eine Zusammenstellung von Heuristiken zur Beurteilung der visuellen Darstellung von verbundenen Modellen zur Evaluierung einer integrierten Darstellung von UML Diagrammen angewendet (McIntosh, von Pilgrim, 2008: S. 2 ff.). Dieser Ansatz wird in Kap. 4.6. beschrieben und von der vorliegenden Arbeit abgegrenzt. Die Auswahl der darin beschriebenen Heuristiken wird mit gewonnenen Erfahrungen im Rahmen der Entwicklung des Werkzeuges begründet (McIntosh, von Pilgrim, 2008: S. 3).

An dieser Stelle werden exemplarisch Heuristiken vorgestellt, die für die Evaluierung der Methode zur integrierten Darstellung verschiedener Fachmodelle herangezogen werden. Aufgrund der methodischen Ausrichtung der Untersuchung wird bei der hier entwickelten Methode kein Dialog oder menübasierte Benutzerführung umgesetzt.

Daher werden diejenigen Heuristiken fokussiert, die sich für die Entwicklung einer visuellen Sprache zur Modelldarstellung anwenden lassen. Hierzu gehören:

- „*Speak the Users' Language*“ (Nielsen, 1994: S. 123)  
Diese Leitlinie bezieht sich auf die verwendete Sprache in Textform sowie die verwendeten Ausdrücke. Demnach sollen Dialoge und dargestellte Informationen in der Muttersprache der Anwender formuliert sein und länderspezifischen Konventionen folgen. Außerdem sollen die gewählten Ausdrücke in einem Vokabular verfasst sein, das für die Benutzergruppe klar verständlich ist (Molich, Nielsen, 1990: S. 339).  
Bezogen auf die Darstellung von integrierten Modellen lässt sich diese Gestaltungsrichtlinie anwenden, jedoch nicht bezogen auf

die natürliche, sondern auf die visuelle Sprache. Eine standardisierte Notation einer Modellgrammatik sollte dem Anwender bekannt sein. Daher soll die graphische Repräsentation beibehalten werden. Das ist eine zentrale Anforderung des hier beschriebenen Ansatzes und soll Einarbeitungsaufwände reduzieren, indem der Wiedererkennungswert der Darstellung für den Benutzer gegeben ist (vgl. Kap. 1.2.).

- „*Be Consistent*“ (Molich, Nielsen, 1990: S. 339)  
Nach dieser Richtlinie sollen gleiche Informationen auf eine gleiche Art und Weise dargestellt werden und ebenso die Funktionalität der Interaktionsmöglichkeiten einheitlich gestaltet sein. Das bedeutet, dass die Interaktionsparadigmen für ähnliche Programmfunktionen vereinheitlicht sind. Die Konsistenz wird auf verschiedenen Ebenen betrachtet, sowohl innerhalb des Programms als auch über ganze Produktfamilien hinweg (Nielsen, 1989: S. 64).

Bezogen auf die Visualisierung von Modellen lässt sich der Anspruch für Konsistenz auf die Darstellung der Modelle und der graphischen Repräsentation der Inter-Modellrelationen anwenden. Es sollen für die visuelle Repräsentation von semantischen Konstrukten stets dieselben visuellen Variablen eingesetzt werden. Die Konsistenz ist von Bedeutung für eine unterscheidbare Visualisierung von Inter-Modellrelationen.

- *“Overview first, zoom and filter, then details on demand”* (Shneiderman, 1996a: S. 337).  
Diese Richtlinie ist von besonderer Bedeutung bei der Darstellung von großen Informationsmengen. Das entspricht dem Anwendungsfall der integrierten Darstellung von mehreren Modellen. Die zentralen Vorgaben dieses „Mantras“ scheinen durchaus anerkannt. Entscheidend ist jedoch nicht, ob die Übersicht als erstes gegeben sein sollte, vielmehr dass sowohl eine Detailansicht als auch eine Übersicht wählbar sein soll (Ware, 2004: S. 317;338). Daher werden die Vorgaben dieses „Mantras“ bei der Implementierung des Demonstrators explizit berücksichtigt und umgesetzt.

## 4.4.2 Physics of Notation

Daniel Moody beschreibt in seiner viel zitierten Veröffentlichung<sup>4</sup> die „*Physics of Notation*“ (PoN), ein Rahmenwerk, um die Qualität der graphischen Darstellung von konzeptionellen Modellen zu beurteilen. Laut eigener Aussage ist diese Theorie nicht empirisch bestätigt. Dennoch wird durch den Bezug auf verschiedene etablierte Ansätze zur Evaluierung von Visualisierungen, seine detaillierte Argumentation untermauert (Moody, 2009a: S. 761 f.).

Aufgrund des ganzheitlichen Ansatzes werden die Prinzipien der *Physics of Notation* für die Anforderungen an die Methode zur Darstellung von integrierten Modellen herangezogen. Wie in der obigen Definition von visuellen Sprachen erläutert, besteht in diesem Ansatz eine visuelle Sprache aus der Kombination von visuellen Variablen und einer Grammatik zur Beschreibung der Kombinationsmöglichkeiten. Diese Festlegung fußt auf einer starken Kohäsion von semantischem Modell und einer visuellen Sprache für die Notation (Moody, 2009a: S. 757).

Die *Physics of Notation* definieren Richtlinien damit ein „*Cognitive Fit*“ der Notation hergestellt werden kann (Moody, 2009a: S. 772). Der *Cognitive Fit* ist gegeben, wenn das gedankliche Bild („*Mental Representation*“) mit der graphischen Darstellung der Problemstellung übereinstimmt (Vessey, 1991: S. 221). Dabei soll die Darstellung auf den Anwendungszweck und den Anwender zugeschnitten sein. Diese gedankliche Vorstellung kann einem konzeptionellen Fachmodell entsprechen, wenn der Vertreter der Disziplin dieses erlernt und verinnerlicht hat.

Ziel der Prinzipien der *Physics of Notation* ist es, dem Akteur die visuelle Erfassung und gedankliche Verarbeitung von konzeptionellen Modellen zu erleichtern. Die *Physics of Notation* sind nicht als absolute Regeln zu verstehen, sie haben eher einen weisenden Charakter. Als Fallbeispiel für die Beschreibung dient UML als eine verbreitete Sprache in diesem Bereich. Die Prinzipien lassen sich auf andere visuelle Sprachen zur Notation von semantischen Modellen verschiedener Domänen übertragen (Figl u. a., 2010: S. 361; Genon, Heymans,

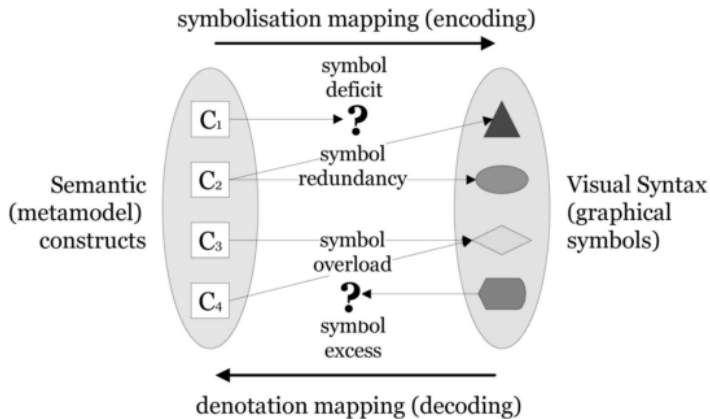
---

<sup>4</sup> Nach [www.google.de](http://www.google.de) wurde diese Veröffentlichung über 500 Mal zitiert (Stand März 2016)

2011: S. 379; Granada u. a., 2015: S. 6). Im Folgenden werden die Prinzipien der Physics of Notation erläutert:

#### 4.4.2.1 Semiotische Klarheit

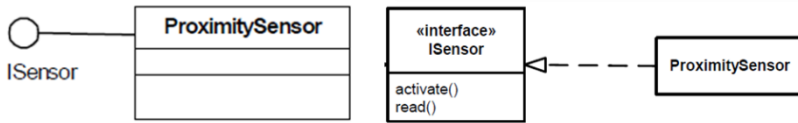
Dieses Prinzip ist bezogen auf die Beziehung zwischen semantischem Model und der visuellen Sprache. Nach diesem Prinzip sollte jedes semantische Konstrukt durch genau ein graphisches Symbol dargestellt werden. Damit wird eine bijektive Abbildung von Konzept und Symbol gefordert.



**Abbildung 19:** Prinzip der Semantic Clarity, (Quelle: D. Moody, 2009a, S. 762)

Dieses Prinzip fordert eine möglichst ein-eindeutige Zuordnung von semantischem Konstrukt zur visuellen Variablen. In der obigen Graphik ist die visuelle Variable durch die Ausprägung der Form repräsentiert.

Eine mehrfache Verwendung ein und desselben graphischen Symbols für unterschiedliche semantische Konstrukte soll verhindert werden. Durch die Repräsentation von einem semantischen Konstrukt durch mehrere Symbole wird die Komplexität der Darstellung unnötig erhöht. Es werden mehr graphische Elemente eingesetzt, als zur Notation der semantischen Konstrukte notwendig sind. Das ist beispielsweise bei der UML Notation der Fall, wie in Abb. 20 dargestellt.



**Abbildung 20:** Verstoß gegen das Prinzip der Semiotic Clarity durch Symbol Redundancy, UML Spezifikation, (Quelle: Object Management Group 2011b, Abb. 7.56 (re), Abb. 7.57 (li))

Ebenso wenig förderlich für die Klarheit einer Notation ist eine Mehrfachzuordnung von graphischen Symbolen zu ein und demselben semantischen Konstrukt. In diesem Fall sind die semantischen Konstrukte aufgrund ihrer Darstellung nicht sofort unterscheidbar, sondern müssen aus dem Kontext heraus oder durch zusätzliche Informationen, wie bspw. der Beschriftung, unterschieden werden. Auch hier bietet UML ein Beispiel: Die Darstellung von Schnittstellen (Interfaces) wird von der Repräsentation von Klassen nur dadurch unterschieden, dass die Schnittstelle mit „Interface“ Beschriftet ist (s. Abb. 20).

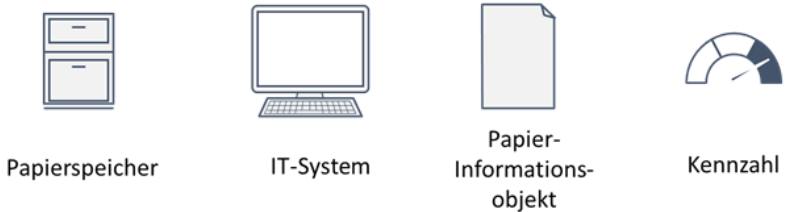
#### 4.4.2.2 Deutliche Unterscheidbarkeit

Die verwendeten Symbole sollen deutlich voneinander unterscheidbar sein. Die Unterscheidbarkeit ist gegeben durch eine Bestimmung der „Visuellen Distanz“ als Maß für die Unterscheidbarkeit der visuellen Elemente. Ein absolutes Maß für die Bestimmung der Unterscheidbarkeit existiert jedoch nicht (D. Moody, 2009a, S. 776). Das ist unterschiedlich, je nach Anzahl der dargestellten Informationen, sowie der spezifischen Aufgabenstellung, für welche die Visualisierung erstellt wurde. Die Form eines graphischen Elements ist dabei ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal. Insbesondere bei standardisierten konzeptionellen Modellen ist es eines der primären Unterscheidungsmerkmale (Moody, 2009a: S. 762, 775). Durch eine geeignete Kombination von verschiedenen Variablen kann die Unterscheidbarkeit signifikant unterstützt werden (Moody, 2009a: S. 772).

#### 4.4.2.3 Semantische Transparenz

Nach diesem Prinzip sollten Formen und Darstellungen ausgewählt werden, welche aufgrund ihrer Ausprägung auf das repräsentierte semantische Konstrukt hindeuten. Dafür besonders geeignet sind piktographische Darstellungen. Die

konkreten Formen unterstützen die Verständlichkeit der Darstellung selbst für neue Benutzer, die nicht mit der graphischen Sprache vertraut sind (Moody, 2009a: S. 765). Ein prägnantes Beispiel dafür ist die Notation der OMEGA Methode zur Prozessmodellierung (vgl. Abb. 21).



**Abbildung 21:** Symbole der OMEGA Notation, (Quelle: UNITY AG)

Ein weiteres visuelles Stilmittel, welches eine Einheit mit dem semantischen Konstrukt herstellt, ist die räumliche Verteilung von Elementen bei der Notation von Abläufen. Wenn dabei der Leserichtung von links nach rechts, bzw. von oben nach unten gefolgt wird, dann deutet diese Darstellung bereits auf die Abfolge der dargestellten Elemente hin (Ware, 2004: S. 213).

#### 4.4.2.4 Komplexitätsmanagement

Die Komplexität ist definiert als die Anzahl von unterschiedlichen Elementen in einem System (Dörner, 2000: S. 58f.). Im Kontext dieses Physics of Notation Prinzips wird der Komplexitätsbegriff auf die Darstellungskomplexität (Visual Complexity) bezogen. Damit bezieht sie sich auf die Anzahl der dargestellten Elemente in einer graphischen Darstellung (Moody, 2009a: S. 766). Um die Komplexität in einer Darstellung zu beherrschen, soll die Anzahl der visualisierten Elemente demnach in einem verständlichen Maße gehalten werden. Ansonsten wird sowohl die Grenze der Wahrnehmung, als auch die Grenze der kognitiven Verarbeitbarkeit überschritten (Harper u. a., 2009). Ein verbreitetes Mittel um diesem entgegen zu wirken, ist das Bilden von Hierarchien. Dies wird in einer Vielzahl von standardisierten Notationen im Prozessmanagement oder der Softwaretechnik eingesetzt (Fahrwinkel, 1995; Object Management Group, 2012).

#### 4.4.2.5 Kognitive Integration

Nach diesem Prinzip sollen dem Nutzer Mechanismen zu Verfügung gestellt werden, um Informationen aus verschiedenen graphischen Darstellungen gedanklich zu verbinden (Moody, 2009a: S. 768). Dieses Prinzip ist von Bedeutung, wenn Daten aus verschiedenen Bereichen zusammengefasst und dargestellt werden. Ein weiteres Szenario ist eine gemeinsame Darstellung von mehreren Diagrammen. Dieses Prinzip ist daher von besonderer Bedeutung für die Methode und Anwendungsfälle der vorliegenden Arbeit. Im Rahmen der vorgestellten Methode wird dieses Prinzip adressiert, indem die Intermodellrelationen visualisiert werden. Die Beziehungen zwischen den Diagrammen sind sichtbar gemacht und der Benutzer kann die dargestellten Informationen in Gedanken zusammenführen. (Moody, 2009a: S. 768).

#### 4.4.2.6 Visuelle Ausdrucksfähigkeit

Nach dem Prinzip der visuellen Aussagekraft soll ein breites Spektrum an visuellen Variablen und deren Ausprägungen eingesetzt werden. Die Unterscheidbarkeit von visuellen Variablen wird als visueller Abstand („*Visual Distance*“) bezeichnet (Moody, 2009a: S. 763). Visuelle Variable haben unterschiedliche Freiheitsgrade, das bedeutet sie können in einem bestimmtem Umfang Werte annehmen. So kann die visuelle Variable „Farbe“ mit dem gesamten Farbspektrum belegt werden. Die Ausprägung der Variablen, also die Belegung mit einer konkreten Form, Farbe oder Orientierung bestimmt die Unterscheidbarkeit der Elemente in der Darstellung (Moody, 2009a: S. 769).

#### 4.4.2.7 Dual Coding

Die Aussagekraft eines Diagramms wird signifikant erhöht, wenn sowohl graphische Darstellung, als auch Textinformationen eingesetzt werden. Da sowohl graphisch als auch textuell Informationen transportiert werden, entspricht das einer Codierung von Informationen auf mehreren Wegen. Dieses Prinzip wurde in Kap. 4.2 vorgestellt.

#### 4.4.2.8 Graphical Economy

Die Anzahl der verwendeten Variablen sollte den Benutzer durch exzessiven Einsatz von visuellen Variablen nicht überfordern. Die Komplexität wird durch einen sparsamen Einsatz an visuellen Variablen reduziert. Dieses Prinzip steht im Gegensatz zu der Ausdrucksfähigkeit der Visualisierung durch den Einsatz



von einem breiten Spektrum an visuellen Variablen. Der scheinbare Widerspruch verdeutlicht den hinweisenden Charakter der Prinzipien (Moody, 2009a: S. 771).

## 4.5 Ausgewählte Ansätze zur integrierten Modellvisualisierung

Eine Visualisierung basierend auf mehreren Diagrammen wird vorgenommen, wenn verschiedene Sichtweisen auf ein modelliertes System zur Problemlösung erforderlich sind. Die Sichtweisen können sich auf modellierte Teilsysteme beziehen oder ein Gesamtsystem unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachten. In beiden Anwendungsfällen ist die visuelle Komplexität in der Regel hoch, da Zusammenhänge zwischen den Diagrammen hergestellt werden müssen (Kim, Hahn, 1997: S. 377).

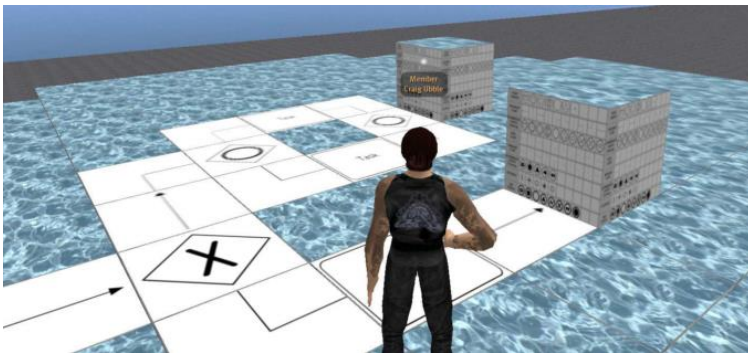
Nach den Physics of Notation erfordert eine simultane Darstellung mehrerer Diagramme einen Prozess, der als „kognitive Integration“ bezeichnet wird. Das ist erforderlich, um die Sachverhalte und Zusammenhänge zu verstehen (Moody u. a., 2004: S. 133). Die simultane Darstellung von mehreren Diagrammen zur Problemlösung wurde bisher wenig untersucht, obwohl diese Vorgehensweise durchaus notwendig ist, um interdisziplinäre Herausforderungen in der Produktentwicklung zu lösen.

Kim (Kim, Hahn, Hahn, 2000; Kim, Hahn, 1997) untersucht empirisch die integrierte Darstellung von mehreren Diagrammen, die ein System aus unterschiedlichen Perspektiven darstellen. Dabei wird den Teilnehmern eine zusätzliche geistige Belastung zugemutet, um die Zusammenhänge zwischen den Diagrammen herzustellen. Das ist sowohl bei der Darstellung verschiedener Sichtweisen auf ein System, als auch bei der simultanen Darstellung mehrerer Systeme gegeben (Kim, Hahn, Hahn, 2000: S. 287). Diese Belastung entsteht aus der Aufgabe, die Informationen aus den Diagrammen im gedanklichen Verarbeitungsprozess zusammenzuführen. Das Zusammenführen erfolgt sowohl auf Ebene der Darstellung als auch auf der semantischen Ebene. Die Studie, befasst sich explizit mit der Darstellung verschiedener Facetten eines Systems in mehreren Diagrammen (Kim, Hahn, Hahn, 2000). Die empirische Evaluierung hat ergeben, dass die Handhabung der Diagramme deutlich verbessert wird, wenn

optische Hinweise für die Verbindung zwischen den Diagrammen gegeben wurden (Kim, Hahn, Hahn, 2000: S. 300).

Die Forschungsgruppe BPMVE (Business Process Modelling in Virtual Environments) der Queensland University of Technology (QUT) verbindet immersive Visualisierungstechnologien mit Methoden der Geschäftsprozessmodellierung. Dabei verbinden die Wissenschaftler um Ross Brown Technologien der Computer-Spiele Industrie mit der Modellierung und Analyse von Geschäftsprozessmodellierung (Brown, 2012). Gegenstand der Forschung ist dabei unter anderem das kollaborative Modellieren von Geschäftsprozessen, vornehmlich in BPMN. Die Akteure werden dabei in der Visualisierung als Avatare abgebildet und können damit an einem Prozessmodell in einer virtuellen Welt gemeinsam modellieren (Brown u. a., 2011; Poppe u. a., 2013; West u. a., 2010).

Weiterhin wird an der Simulation von Geschäftsprozessen in virtuellen Welten geforscht. Dabei werden computergenerierte, interaktive 3D-Szenen durch modellierte Geschäftsprozesse angereichert (Recker u. a., 2013). Mit dieser simultanen Darstellung werden nun die modellierten Abläufe in ihrem Umfeld sichtbar gemacht. Damit ist das Prozessmodell auch für Interessenten nachvollziehbar, die ein Prozessmodell nicht lesen können, bzw. mit der Modellgrammatik nicht vertraut sind. Die Visualisierung der Abläufe soll die Kommunikation von Prozessen unterstützen (Brown, Cliquet, 2008; Brown u. a., 2011; Guo, Brown, Rasmussen, 2012).



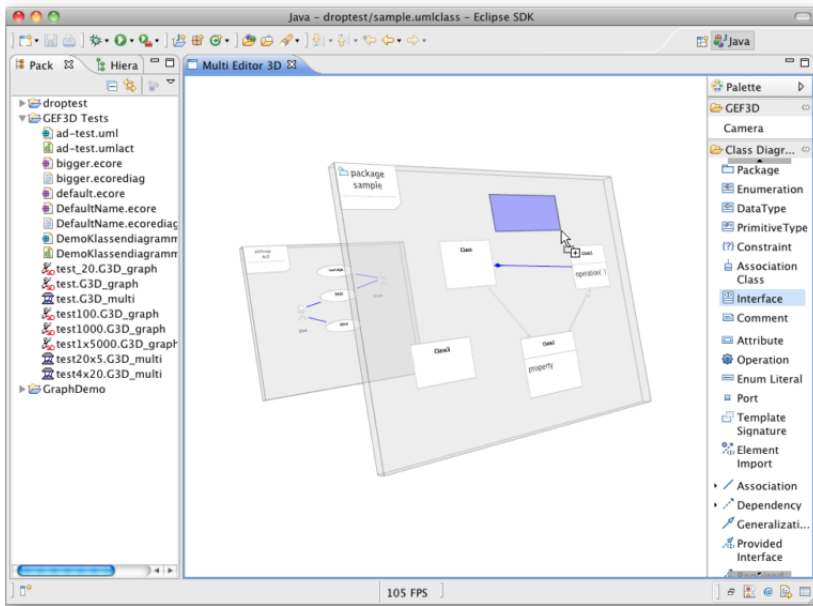
**Abbildung 22:** BPMN Modell in virtueller Realität,  
(Quelle: Brown, Recker, West, 2011, S. 13)

Die hier vorgestellte Methode verfolgt ähnliche Ziele wie die BPMVE Gruppe. Ein Anwendungsfall ist die Verbesserung der Kommunikation von Geschäftsprozessen im Sinne von konzeptionellen Modellen. Die verschiedenen Aspekte der Problemstellungen, die in den Prozessen und weiteren Modellen abgebildet sind, werden graphisch dargestellt. Dabei wird ebenfalls eine dreidimensionale Visualisierung eingesetzt. Die fachliche und methodische Nähe der vorliegenden Arbeit ist begründet durch eine wissenschaftliche Zusammenarbeit mit der BPMVE Gruppe. Im Rahmen eines wissenschaftlichen Austausches, unterstützt durch das Karlsruhe House of Young Scientists des Karlsruher Instituts für Technologie wurden Teilbereiche der hier vorgestellten Methode gemeinsam entwickelt und publiziert (Brown, Eichhorn, Herter 2012; Herter u. a., 2013). Der Aspekt einer integrierten Visualisierung von abstrakten Modellen wurde jedoch innerhalb der BPMVE Gruppe nicht explizit weiter verfolgt.

An der Fernuniversität Hagen wurde ein IT-Werkzeug entwickelt, das eine Plattform für die Modellierung von konzeptionellen Modellen in einer dreidimensionalen Umgebung ermöglicht. Dieses Projekt mit Namen „GEF 3D“ basiert auf dem „Graphical Editing Framework“ (GEF<sup>5</sup>) der Eclipse Entwicklungsumgebung für die Programmiersprache Java (von Pilgrim, Duske, 2008: S. 96). Aufgrund von lizenzrechtlichen Hürden wurde dieses Projekt im Jahr 2011 gestoppt (von Pilgrim, Duske, 2011). GEF3D bietet die technische Grundlage graphische Editoren zu erstellen. Der Fokus dieser Untersuchung liegt auf technischen Aspekten, insbesondere hinsichtlich der softwaretechnischen Umsetzung eines 3D Editor Frameworks (von Pilgrim, Duske, 2008). Mit Hilfe von GEF3D kann ein dreidimensionaler graphischer Editor erstellt werden. Mit dieser Grundlage können dann beispielsweise mehreren UML Diagrammen in einem gemeinsamen Darstellungsraum erstellt werden.

---

<sup>5</sup> <https://eclipse.org/gef/> (Zugegriffen am 14.11.2015)



**Abbildung 23:** GEF3D - Räumliche Modellvisualisierung mit 3D Editor, (Quelle: von Pilgrim, 2012, S. 146)

Die Dissertation von J. von Pilgrim beschreibt den wissenschaftlichen Hintergrund dieser Lösung. Im Fokus der Untersuchungen stehen semiautomatische Modeltransformationen in der Softwaretechnik (von Pilgrim, 2012: S. 15). Der Rahmen dieser Arbeit wird durch das Model Driven Development (MDD) gegeben (von Pilgrim, 2012: S. 19). Dafür entwickelt von Pilgrim eine Methode inklusive Implementierung, die den Benutzer dabei unterstützt, modellübergreifende Relationen semiautomatisiert aufzubauen (von Pilgrim, 2012: S. 206). Dafür wird ein 3D-Editor angeboten, mit dem diese Inter-Modellrelationen aufgebaut werden können. Die Visualisierung ist jedoch nicht im Fokus der Betrachtung (von Pilgrim, 2012: S. 169). In dieser Arbeit wird jedoch der Mehrwert einer dreidimensionalen Visualisierung von mehreren Modellen herausgestellt. Die Inter-Modellrelationen werden bei diesen Arbeiten primär aus dem Gebiet der Softwaretechnik und damit als mathematische Transformationen auf Grundlage der Graphentheorie bestimmt (von Pilgrim, 2012: S. 78 ff.). Aufgrund

der exklusiven Betrachtung der Softwareentwicklung sind die betrachteten Modelle stets dieser Disziplin zugeordnet. Es werden also Modelle mit unterschiedlichen Sichten und Detaillierungsstufen in einer einzigen Modellierungssprache betrachtet (von Pilgrim, 2012: S. 20). Auch wenn auf die „Allgemeine Modelltheorie“ Bezug genommen wird, ist die Betrachtung von semantischen Aspekten bei den Modellen von geringerer Bedeutung (von Pilgrim, 2012: S. 24). Nach praktischer Evaluierung erscheint das GEF3D Framework vielversprechend, insbesondere für den Aufbau der Inter-Modellrelationen.

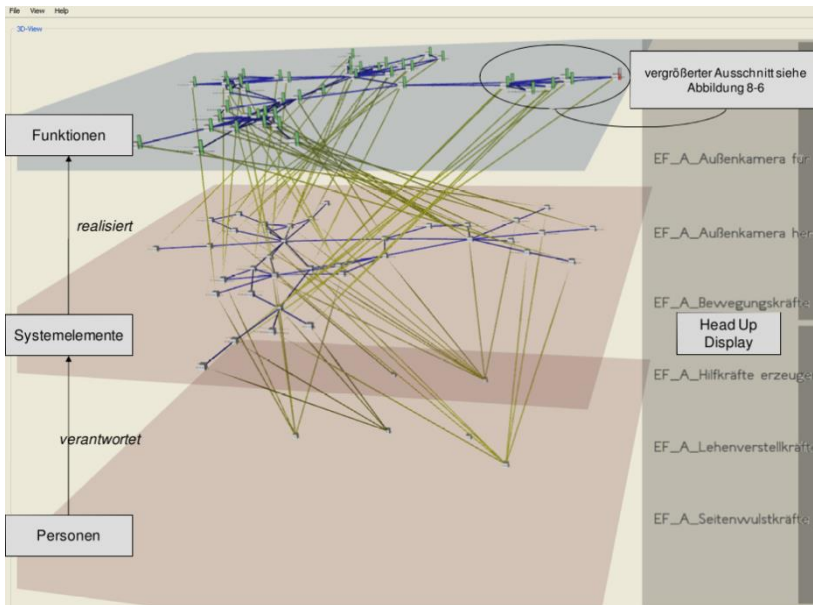
Für die prototypische Entwicklung der hier beschriebenen Methode wurde der Einsatz von GEF3D evaluiert, jedoch bewusst nicht eingesetzt. Ein Kritikpunkt für die Entscheidung gegen GEF3D im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist durch die Möglichkeit gegeben, dass Modellierer ihre bekannten Werkzeuge zum Erstellen von Modellen einsetzen sollten. Die prototypische Implementierung in der Visualisierungsplattform PolyVR (s. Kap. 6) bietet hierfür eine größere Flexibilität, insbesondere auch durch die native Fähigkeit in verschiedensten Visualisierungsumgebungen, wie beispielsweise Virtual Reality Umgebungen, Head-Up Displays und herkömmliche Computermonitore eingesetzt zu werden (Häfner, 2014: S. 4).

Die Forschungsgruppe um Prof. Oberweis des Karlsruher Instituts für Technologie nutzt ebenfalls eine dreidimensionale Visualisierung zur Darstellungen für die Visualisierung von Modellen. Der Fokus liegt hierbei bei der Darstellung von Geschäftsprozessen, die als Petri Netze modelliert sind (Betz u. a., 2008; Eichhorn, Koschmider, 2010). In diesen Ansätzen werden Prozessmodelle in Petri-Netzen mit Rollenmodellen verbunden und dargestellt, die Betrachtung ist jedoch auf die genannten Modellformen beschränkt (Eichhorn, Koschmider, 2010). Der Ansatz zur Integration von weiteren Modellen der Produktentwicklung wurde lediglich auf konzeptioneller Ebene beschrieben (Eichhorn u. a., 2011). Für die hier beschriebene Methode wurden Synergien aus der 3D-Darstellung von Petri Netzen identifiziert und publiziert (Brown, Eichhorn, Herter 2012; Eichhorn u. a., 2011). Die Abgrenzung zu der dreidimensionalen Darstellung von Petri Netzen ist durch das semantische Konzept, sowie der visuellen Sprache zur Darstellung von Inter-Modellrelationen, gegeben.

Neben den beschriebenen Ansätzen liefern verschiedene Arbeiten einen Beitrag zur 3D-Visualisierung von abstrakten Daten, jedoch ohne eine integrierte Darstellung von disziplinspezifischen Fachmodellen zu fokussieren. Die Darstellung

von Graphen in 3D ist ein gängiger Anwendungsfall (Chen, 2004: S. 284–287; Sperka, Kapec, 2010; Teyseyre, Campo, 2009: S. 91 f.; Ware, 2004: S. 226 ff.; Ware, Brunswick, 1996; Ware, Mitchell, 2008). Auch die Visualisierung von Software Architekturen, insbesondere, wenn sie in der Modellierungssprache UML (Unified Modelling Language) notiert sind, kann in dreidimensionalen graphischen Darstellungen vorgenommen werden (Lange u. a., 2007: S. 295; McIntosh u. a., 2008: S. 272; von Pilgrim, 2012: S. 145; Thaden, Steimann, 2003).

Die Software 3D MECHGRAPH, als Ergebnis des wissenschaftlichen Beitrages von Diehl nutzt eine dreidimensionale Darstellung von abstrakten Daten im Kontext der mechatronischen Produktentwicklung (Diehl, 2009). Durch die simultane Visualisierung von mehreren Funktions- und Systemmodellen werden die Zusammenhänge zwischen der Funktions-, System- und Rollenmodelle übernommen. Die ebenenbasierte Visualisierung umfasst die Darstellung von Inter-Modellrelationen.



**Abbildung 24:** Ebenendarstellung von 3D MECHGRAPH, (Quelle: Diehl, 2009, S. 118)

Das Ziel der Entwicklung von 3D MECHGRAPH überschneidet sich mit einem primären Ziel der vorliegenden Arbeit. Die Unterstützung der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit von verschiedenen Disziplinen im Entwicklungsprozess durch eine graphische Darstellung (Diehl, 2009: S. 4,8). Der Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit ist zunächst beschränkt auf die graphische Darstellung von Personen, Systemen und Funktionen im Kontext der mechatronischen Produktentwicklung (Diehl, 2009: S. 8). Die Darstellung von standardisierten Modellen mit dedizierten Notationen ist jedoch nicht Gegenstand dieser Betrachtung.















## 4.6 Fazit und Handlungsbedarf

Die untersuchten Beiträge aus Industrie und Forschung fokussieren lediglich Teilaspekte einer integrierten Visualisierung von konzeptionellen Modellen verschiedener Anwendungsbereiche.

Bei der Darstellung verschiedener Sichten in UML Diagrammen, fehlt ein signifikanter Aspekt: Es werden keine unterschiedliche Domänen verbunden. Die Sichten beziehen sich auf eine einzelne Domäne, bei von Pilgrim der Sicht der Modellierung von Software. Dennoch ist diese Lösung vielversprechend, insbesondere aufgrund der entwickelten technischen Plattform. Ein besonderes Augenmerk wird auf die Benutzerschnittstelle gelegt (von Pilgrim, 2012: S. 17). Jedoch fokussiert dieser Beitrag den semiautomatischen Aufbau von Intermodellrelationen in der abgegrenzten Domäne der Model Driven Architecture und nicht auf disziplinübergreifende Aufgabenstellungen.

Die Untersuchungen der BPMVE Gruppe kombinieren Methoden der Prozessmodellierung mit Technologien der Computer Spiele Entwicklung. Prozessmodelle werden räumlich dargestellt. Die Darstellung von abstrakten Modellen ist in den Beiträgen jedoch nicht im Fokus der Betrachtung. Ontologien werden hier zur semantischen Analyse eingesetzt, um damit die Qualität von Prozessmodellierungsgrammatiken zu bewerten (Recker u. a., 2005, 2009: S. 339–355).

Zum Abschluss der evaluierten Ansätze verdeutlicht eine tabellarische Zusammenstellung den Handlungsbedarf für eine Methode zur Unterstützung der interdisziplinären Zusammenarbeit in der Produktentwicklung.

Ansatz	Schwerpunkt der Forschung	Semantische Integration unterschiedlicher Modelle	Visualisierung von übergreifenden Relationen	
Kim et. al.	Kognitive Integration bei mehreren Modellen	Fehlendes generisches Konzept zum Aufbau übergreifender Relationen	 Unterscheidbarkeit durch visuelle Hinweise gegeben, jedoch keine durchgehende Notation für modellübergreifende Relationen	
BPMVE	Verbindung Prozess und Kontext	Keine Integration von verschiedenen konzeptionellen Modellen	 Unterscheidbarkeit durch 3D Ansatz, jedoch eingeschränkter Betrachtungsraum (Modell + Kontext)	
GEF 3D	Erstellung von Inter-Modellrelationen	Keine Integration von verschiedenen konzeptionellen Modellen, fehlender Ansatz zur Modellintegration	 Unterscheidbarkeit durch 3D Ansatz, jedoch eingeschränkter Betrachtungsraum (UML)	
AIFB	Visualisierung von konzeptionellen Modellen	Fokus auf Prozess und Rollenmodell, fehlender Ansatz zur Modellintegration auf Basis der Semantik	 Unterscheidung durch 3D Ansatz, jedoch eingeschränkter Betrachtungsraum	
3D UML (diverse)	Visualisierung von konzeptionellen Modellen	Beschränkt auf Modellgrammatik UML	 Unterscheidbarkeit von Inter-Modellrelationen durch räumliche Visualisierung, jedoch fehlende Basis von Prinzipien der Visualisierungswissenschaften	
3D MECH-GRAPH	Interdisziplinäre Zusammenarbeit	Übergreifende Modellintegration in spezifischem Kontext	 Eindeutige Unterscheidbarkeit von Inter-Modellrelationen durch Darstellung auf Ebenen	
Vorgestellte Methode	Interdisziplinäre Zusammenarbeit	Allgemeingültiges Konzept zur Erstellung von Inter-Modellrelationen	 Eindeutige Unterscheidbarkeit der Inter-Modellrelationen durch dedizierte Notation	

**Tabelle 1:** Zusammenfassende Evaluierung von verwandten Arbeiten zur integrierten Visualisierung von konzeptionellen Modellen



# 5 Methode zur integrierten Visualisierung konzeptioneller Modelle

## 5.1 Erwarteter Nutzen der Methode

Unter Berücksichtigung der Unterscheidbarkeit von visuellen Variablen stellt sich bei der integrierten Darstellung von mehreren Modellen die zentrale Frage:

*Wie können die modellinternen Beziehungen bei einer integrierten Darstellung von mehreren Modellen von den disziplinübergreifenden Relationen in einer gemeinsamen Visualisierung unterschieden werden?*

In den Notationsvorschriften der einzelnen Modelle sind visuelle Variablen für die Darstellung von Elementen und Beziehungen belegt. Die visuelle Unterscheidbarkeit von semantischen Einheiten erfordert also die Einführung eines zusätzlichen visuellen Konstrukts für die verbundenen Modelle und den daraus resultierenden Inter-Modellrelationen.

Daher führt die hier vorgestellte Methode die räumliche Verteilung von einzelnen Modelldarstellungen ein. Beziehungen zwischen semantischen Einheiten verschiedener Modelle sind damit in der Tiefe darstellbar, während die Beziehungen innerhalb eines Modells in einer räumlichen Ebene (planare Darstellung) visualisiert werden. Mit diesem Ansatz können einzelne Partialmodelle je nach Betrachtungsperspektive des bzw. der Anwender in den Vordergrund gerückt werden und als klassisches Diagramm auf einer Ebene betrachtet werden. Alleine durch einen Perspektivwechsel bzw. einem anderen Blickwinkel innerhalb der räumlichen Darstellung können zudem ohne Wechsel eines Fensters / Displays etc. ein anderes Modell betrachtet werden. Zudem sind die Beziehungen zwischen den Modellen stets sichtbar, da sie die einzelnen im Raum angeordneten Ebenen verbinden. Der erwartete Nutzen dieser Form der gemeinsamen Darstellung ist folgender:

Die integrierte Darstellung von mehreren Modellen wird durch die räumliche Anordnung entzerrt. Der Nutzer kann bei geeigneter Perspektive ein einzelnes Modell betrachten oder die modellübergreifenden Beziehungen analysieren. Eine direkte Überlagerung von Entitäten und Relationen auf einer Displayebene wird verhindert. Die Beziehungen zwischen Entitäten verschiedener Modelle sind in den Raum gespannt und daher offensichtlich nicht Bestandteil eines Partialmodells.

Die modellübergreifenden Relationen sind von den Relationen innerhalb der Modelle deutlich unterscheidbar, da sie im Raum zwischen den Modellebenen verlaufen. Im Gegensatz dazu bleiben die modelleigenen Beziehungen auf einer Ebene dargestellt. Eine visuelle Unterscheidbarkeit zwischen den semantischen Konzepten ist stets gegeben, obwohl dafür die Form der Linie im Sinne einer visuellen Variablen mehrfach verwendet wird. Durch die Tiefe als visuelle Variable ist eine eindeutige Darstellungsmethode für die übergreifenden Relationen gegeben. Dieser generische Ansatz erlaubt die Darstellung beliebiger vernetzter Modelle, auch wenn diese über eine dedizierte Notation verfügen. Zusätzlich sind die übergreifenden Relationen auf einer fundierten nachvollziehbaren Grundlage erstellt. Damit ist die Kohäsion zwischen dem semantischen Konstrukt und der graphischen Darstellung hergestellt. Das semantische Konzept der übergreifenden Relationen ist nachvollziehbar und spiegelt sich in der Visualisierung wider.

Ein Perspektivwechsel bzw. Auswahl eines anderen Modells als Hauptansicht während der Diskussion von Schnittstellen kann direkt in der Darstellungsumgebung erfolgen. Ein Wechsel der Anwendung, des Display oder Mediums ist nicht erforderlich. Lediglich die Perspektive in der räumlichen Darstellung wird verändert. Hierdurch wird die Ablenkung durch Wechsel des Mediums auf ein Minimum reduziert.

Die Anwender können ihre nativen Modelle nutzen und sind nicht gezwungen, sich eine zusätzliche Notation oder ein Modell an zu eigenen. Die dargestellten Modelle werden von den Anwendern in ihren Fachbereichen verwendet und sind daher bekannt. Weiterhin ist in den Fachbereichen eine Werkzeugunterstützung oftmals gegeben, sodass sich die Diagramme aus der Anwendungslandschaft aktuell erzeugen lassen können.

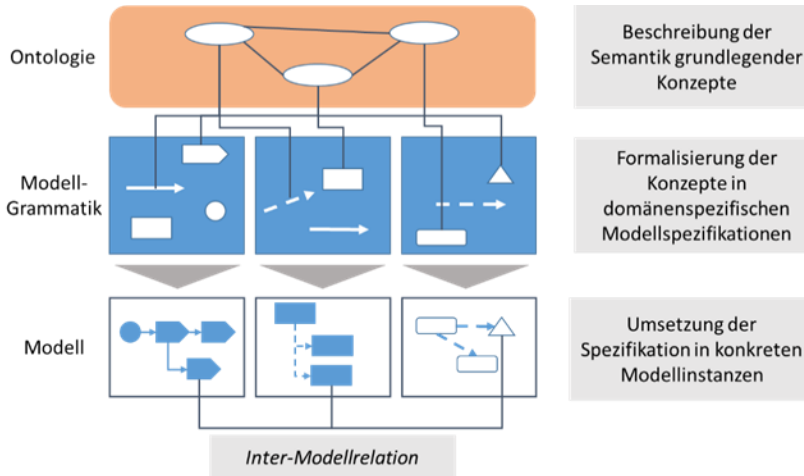
Die integrierte Darstellung in einem gemeinsamen Raum folgt der Analogie der Modelltheorie, nach denen ein Modell einer formalisierten Sichtweise entspricht. Diese Sichtweise wird auf den Blickwinkel in der räumlichen Darstellung übertragen. Durch die Analogie wird ein Grundverständnis für eine ganzheitliche Sichtweise gefördert. Den Nutzern wird ein Bild vermittelt.

Die Artverwandtschaft der Beziehungen ist durch die Nutzung einer Linie gegeben, wobei das dominante Merkmal der Unterscheidung durch die Tiefenachse gegeben ist.

## **5.2 Grundlage disziplinübergreifender Relationen**

Die Grundlage der Verbindungen darf nicht auf der graphischen Repräsentation basieren, auch wenn diese das sichtbare Ergebnis der Integration darzustellen, erklärtes Ziel der Arbeit ist. Die graphische Notation ist nicht bei allen Modellen standardisiert, Relationen auf Basis der graphischen Symbole sind unter Umständen in verschiedenen Modellinstanziierung und Notation unterschiedlich.

Daher soll die Semantik der Entitäten als Basis für die zu verbindenden Einheiten eingesetzt werden. Die Semantik der Entitäten ist in den Spezifikationen der respektiven Modelle festgelegt. Entsprechend der Verbreitung des standardisierten Modells in der Disziplin kann davon ausgegangen werden, dass ein gemeinsames Verständnis über die Bedeutung der Entitäten existiert, zumindest in der entsprechenden Fachdisziplin (Bittel, 2014: S. 78, 82).



**Abbildung 25:** Ontologie-Modellgrammatik-Modell (Quelle: Eigene Darstellung)

Für den Aufbau der Relationen wird eine Ontologie eingesetzt, auf deren Grundlage die disziplinspezifischen Modellspezifikationen (Modellgrammatiken) erstellt sind. Als übergeordnete Ontologie wird die Bunge-Wand Weber Ontologie verwendet, die erstellt wurde, um Informationssysteme abzubilden (Wand, Weber, 1990). Diese Ontologie ist generisch aufgebaut, dennoch konkret genug, um grundlegende Regeln für den Aufbau von Relationen zwischen Elementen von Modellgrammatiken festzulegen. Der ursprüngliche Verwendungszweck der Ontologie ist die Abbildung von Informationssystemen. Es wird dabei kein konkreter Bezug zum Anwendungsspektrum des modellierten Systems hergestellt.

Auch in der Domäne des Ingenieurwesens, das den fachlichen Rahmen der Arbeit bietet, werden IT-Informationssysteme für die Aufgabenbewältigung eingesetzt. Diese Systeme unterstützen den Anwender bei Aufgaben zur Modellierung und Analyse von erstellten Modellen, die einer dedizierten Modellgrammatik folgen. Um diese Softwarefunktionalität zu gewährleisten, haben die Modellierungswerkzeuge interne Domänenmodelle, in welchen die Entitäten und Relationen der Modellierungsgrammatik enthalten sind. Die werkzeuginternen Modelle lassen sich also durch die BWW-Ontologie beschreiben.

Da die internen Modelle ebenso den Modellgrammatiken der Ingenieursdisziplin folgen, ist eine Begründung für die Anwendbarkeit der BWW-Ontologie geschaffen.

Trotz des generischen Charakters der BWW-Ontologie ist keine vollständig bijektive Zuordnung der Konzepte der Ontologie in den Modellgrammatiken angestrebt. Das bedeutet, dass nicht alle Elemente der Modelle miteinander verbunden werden sollen. Das würde zu einer hohen Komplexität führen, wobei der Nutzen der kompletten Integration jedoch fragwürdig bliebe. Die Anwendbarkeit der BWW-Ontologie auf verschiedene Modellgrammatiken wurde weitreichend untersucht (Becker u. a., 2010; Bowen u. a., 2009; Gehlert u. a., 2007; Green, Rosemann, 2000; Rosemann u. a., 2004).

Diese theoretischen und empirischen Untersuchungen fordern eine vollständige Abdeckung der Modelle durch die BWW-Ontologie. Das kann durch die folgenden Fälle nicht gegeben sein:

- *Ontological incompleteness*: Konzepte der Ontologie sind nicht in dem Modell enthalten (Wand, 1996: S. 284).
- Fehlende eindeutige Zuordnung von Konzepten der Ontologie: Die Modellgrammatik enthält Konstrukte, die nicht eindeutig in der Ontologie formalisiert sind (Recker u. a., 2009: S. 336; Wand, 1996: S. 284).

Für den vorliegenden Anwendungsfall zur Identifikation von übergreifenden Relationen wird dargelegt, dass die darin enthaltenen relevanten Konstrukte und Regeln auch für die Erstellung von Inter-Modellrelationen eingesetzt werden können.

Die Grundregeln der Ontologie bilden den Rahmen für die Erstellung der Relationen. Sie legen grundsätzlich fest, ob Relationen zwischen Modellen aufgebaut werden können. Ob tatsächlich in instanziierten Modellen die Relationen zustande kommen und dargestellt werden, ist auf Ebene der Grammatiken nicht bestimmbar. Wie in der allgemeinen Modelltheorie definiert, haben Modelle als Abbildung eines Problembereichs ein Verkürzungsmerkmal. Nicht alle Elemente des Urbilds werden demnach in die Abbildung übernommen. Es obliegt dem Modellierer eine Auswahl zu treffen. Daher müssen die Relationen auf Basis der konkreten Modelle betrachtet werden. Die Modellgrammatik gibt schließlich lediglich die Struktur der potenziell instanziierten Elemente vor. Per Definition führt das dazu, dass Modelle nicht kongruent sein müssen, d.h. unterschiedli-

che Artefakte der beobachteten Elemente enthalten können. Bereits unterschiedliche Modelle einer Problemdomäne sind nicht zwangsläufig deckungsgleich bezüglich der enthaltenen Elemente, was auf unterschiedliche Granularitäten in der Abbildung des Problembereichs zurückzuführen werden kann. Um Beziehungen zwischen Elementen in unterschiedlichen Modellen darstellen zu können, ist die folgende Prämisse erforderlich:

*Für den Aufbau von Relationen müssen sich die abgebildeten Problembereiche überlagern.*

Voraussetzung für Beziehungen zwischen Modellen ist ein sachlicher Zusammenhang. Dieser ist gegeben, wenn der im Urbild dargestellte Sachverhalt aus unterschiedlichen Sichtweisen in die Modelle überführt wird. In dem gemeinsamen Urbild sind die Zusammenhänge schließlich gegeben. Potenziell steht daher eine Teilmenge der modellierten Artefakte in den einzelnen Modellen grundsätzlich in Beziehung. Das ist Voraussetzung um auf fachlicher Ebene die Elemente zu verbinden. Werden jedoch die Inter-Modellrelationen ohne fundierte Grundlage vorgenommen, ist willkürlichen und damit schwerlich nachvollziehbaren Verbindungen Tür und Tor geöffnet. Um diesen Sachverhalt auf eine wissenschaftliche Grundlage zu stellen und eine fundierte und nachvollziehbare Basis für die Relationen herzustellen, wird die Ontologie eingesetzt.

Die BWW-Ontologie für die Beschreibung von modellübergreifenden Verbindungen wird um einen weiteren Anwendungsaspekt ergänzt. Sie wird dabei auf mehrere Modelle eines gemeinsamen Sachverhaltes angewendet und beschreibt damit die Inter-Modellrelationen. Auf dieser Grundlage wird eine visuelle Grammatik definiert, um eine verständliche Darstellung zu ermöglichen.

Das übergeordnete Ziel ist die Unterstützung der Kommunikation zwischen Fachexperten verschiedener Disziplinen durch Sichtbarmachen der übergreifenden Zusammenhänge. Um die Zusammenhänge zu erkennen, ist nicht zwangsläufig eine vollständige Darstellung der Beziehungen zwischen allen Entitäten der Modelle hilfreich. Daher ist eine vollständige Integration mit direkten Verbindungen zwischen den Entitäten nicht Gegenstand der Betrachtung.

Für das Verständnis der Zusammenhänge, insbesondere im Anwendungsfall der direkten Kommunikation zwischen Fachexperten, kann eine vollständige Integration daher mehr Verwirrung stiften, als sie dem Erkennen der Zusammenhänge dient, da die visuelle Komplexität erheblich steigt.

Die Verbindungen zwischen den Entitäten sollen zudem typisiert werden und damit eine Beschreibung enthalten, die das Zustandekommen der Beziehung beschreibt. Das erscheint notwendig, da diese besonderen Relationen kein integraler Bestandteil eines der bekannten Teilmodelle sind.

Für den Aufbau von disziplinübergreifenden Relationen wird eine Auswahl an zu verbindenden Entitäten getroffen. Von einer vollständigen Verbindung von allen Einheiten wird aufgrund der darauf folgenden Steigerung der (visuellen) Komplexität abgesehen. Durch diese Komplexität würde kein Beitrag zum Erreichen des übergeordneten Ziels der disziplinübergreifenden Kommunikation geleistet.

## **5.3 Methode zum Identifizieren der zu verbindenden Einheiten**

Für die Auswahl der disziplinübergreifenden Relationen soll eine generische allgemeingültige Methode erstellt werden, um damit den Einarbeitungsaufwand für die Nutzer der Methode zu reduzieren. Die Methode soll grundsätzlich unabhängig von konkreten Modellspezifikationen sein, um der Allgemeingültigkeit Rechnung zu tragen. Auf Grundlage der Spezifikationen wird ein Regelwerk erstellt, das beim Erstellen konkreter Relationen auf Basis von instanziierten Modellen adaptiert wird.

Potenziell verbindbare Entitäten müssen durch ein fundiertes Konzept identifiziert werden, um anwendungsfallunabhängig als verbindbare Einheiten in Frage zu kommen. Für die Grundlage der Relationen wird ein formaler, jedoch pragmatischer Ansatz verfolgt. Damit fokussiert der wissenschaftliche Beitrag der Arbeit die integrierte Darstellung der Modelle auf Grundlage von übergreifenden Verbindungen, basierend auf einem erweiterten Anwendungsbereich einer etablierten Ontologie.

### **5.3.1 Erfassung grundlegender Entitäten**

Zunächst werden die Elemente, die als Kandidaten für Inter-Modellrelationen in Frage kommen, mit einer einheitlichen Methode identifiziert. Darauf aufbauend werden dann die Kandidaten über Modellgrenzen hinweg miteinander verbunden. Das Regelwerk ist durch die Bunge-Wand-Weber Ontologie gegeben. Diese

Ontologie hat einen generischen Charakter und erlaubt dadurch ein breites Einsatzspektrum. Sie beschreibt dabei grundlegende Elemente, die in einem Informationssystem auftreten können. Hierzu zählen Modelle der Produktionsplanung und Produktentwicklung.

Die Ontologie nach Wand und Weber ist nicht frei von Kritik bezüglich der Verständlichkeit sowie empirischer Validierung des Ansatzes (Gehlert u. a., 2007: S. 3; Wyssusek, 2006: S. 69 ff.). Der wissenschaftliche Diskurs hat auch zu Erkenntnissen des Beitrags der Ontologie für die Erstellung und Bewertung von Modell-Grammatiken (bzw. Grundlagen für konzeptionelle Modelle) geführt und hat Vorschläge zur deren Erweiterung hervorgebracht (Green, Rosemann, 2000: S. 83; Kiwelekar, Joshi, 2007). Die aufgeführten Arbeiten zur ontologiebasierten Analyse von u.a. Prozessmodellen betrachten jeweils ein einzelnes konzeptionelles Modell. Die darin entwickelten Erkenntnisse werden auf die Erstellung von Inter-Modellrelationen übertragen.

Im Sinne des Ziels der Arbeit für eine verständlichen Darstellung und damit einer begrenzten visuellen Komplexität in der Visualisierung sollen nicht alle Beziehungen dargestellt werden. Nur diejenigen Relationen werden erfasst, die zum Verständnis des modellierten Problembereichs beitragen. Dafür werden die charakteristischen Elemente der Ontologie verwendet. Im Zuge der Abbildung der Ontologie in einem Metamodell identifizieren Green und Rosemann die folgenden Konzepte als zentrale Elemente der BWW-Ontologie (Green, Rosemann, 2000: S. 76):

- *Things*
- *Properties*
- *State (Stable State)*
- *Transformation/Events*

(Green, Rosemann, 2000: S. 75–76).

### **5.3.1.1 BWW-Ontologie: Things**

Ein „Thing“ ist in dieser Ontologie direkt von der Definition von Bunge übernommen, der es als „*Substantial Individual*“ bezeichnet (Wand u. a., 1999: S. 497). Das ist ein eindeutig identifizierbares Element im Urbild, das nicht zwangsläufig eine physische Repräsentation haben muss. Entscheidend für die Klassifikation als „Thing“ ist die Wahrnehmbarkeit durch den Betrachter oder Modellierer.



Demnach können auch rein gedankliche Konstrukte als „Thing“ bezeichnet werden, solange sie als Objekt identifizierbar sind (Wand u. a., 1999: S. 497).

Es sind durchaus Analogien zur Methodik der objektorientierten Softwareentwicklung gegeben. Dabei nimmt das Konzept des „Things“ in der Ontologie die Rolle eines Objekts ein. Eine „Klasse“ wird in der Ontologie über eine gemeinsame Eigenschaft von mehreren „Things“ definiert (Wand u. a., 1999: S. 501). Auch das Konzept des Zustandes eines Objekts wird analog in der Ontologie und der objektorientierten Methodik behandelt. Der Zustand von modellierten Elementen wird durch die Ausprägungen der Attribute (s.u.) des „Things“ erfasst (Kiwelekar, Joshi, 2007: S. 4; Wand u. a., 1999: S. 503).

Diese Eigenschaft des „Things“ wird im Kontext von Produktstrukturen in der Disziplin des Product Lifecycle Managements ebenfalls verfolgt. Auch in diesen Modellen wird das „Thing“ als identifizierbares Element verwendet. (Sääksvuori, Immonen, 2005: S. 12). Bauteile und Werkstoffe, Produktionsressourcen wie bspw. Anlagen und Werker sind eindeutig identifizierbar entsprechen damit dem „Thing“ einer BWV-Ontologie. Die Charakterisierung von Rollen als „Thing“ nimmt auch Recker bei seiner ontologiebasiertern Analyse von BPMN Prozessmodellen vor, auch wenn dabei der Bedarf an einer genaueren Spezifizierung dieser für förderlich geachtet wird (Recker u. a., 2005: S. 4). Er betrachtet jedoch nicht einen Prozess oder Aktivität als Thing (Recker u. a., 2005: S. 5). Ebenso verfahren Wand und Weber, auch wenn diese Zuordnung in weiteren Quellen durchaus vorgenommen wurde (Wand u. a., 1999: S. 510).

### **5.3.1.2 BWV: Events/ Transformation**

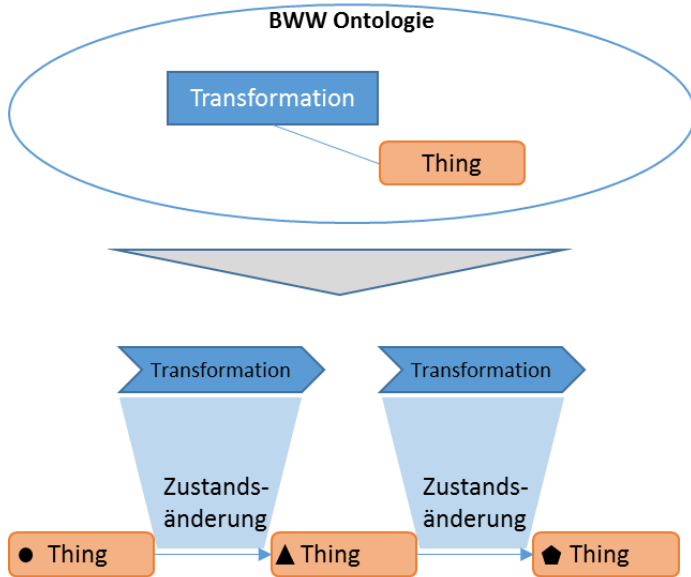
Prozesse und Aktivitäten sind für Produktionsplanung und Produktentwicklung von besonderer Bedeutung. Um die BWV-Ontologie in diesem Anwendungsbebereich einzusetzen, müssen die prozessspezifischen Konstrukte abbildbar sein. Die Möglichkeit hierfür scheint gegeben, was durch verschiedene Arbeiten zur ontologiebasierten Analyse von Prozessmodellen und Modellierungstechniken belegt ist (Becker u. a., 2010; Green, Rosemann, 2000; Recker u. a., 2005; Recker, Indulska, 2007; Sanfilippo u. a., 2014).

Kontrovers diskutiert wird bei der Anwendung der BWV-Ontologie für Analyse und Beschreibung von konzeptionellen Modellen die Einordnung von Prozessen. Dabei wird die Frage erörtert, ob Prozesse für sich wahrnehmbar sind und daher zu der Kategorie „Thing“ gezählt werden können (Recker, 2011a). Von den

Schöpfen der BWV-Ontologie wird ein Geschäftsprozess nicht als „Things“ abgebildet (Wand u. a., 1999: S. 510). Ebenso verfahren die Autoren (Green, Rosemann, 2000; Recker u. a., 2005: S. 3f.). Für sie steht die Transformationseigenschaft des Konstrukts des Prozesses (bzw. Aktivität) im Vordergrund. Im Gegensatz dazu werden auf Grundlage der „*Object-Process Methodology*“ Prozesse explizit zu der Kategorie Thing zugehörig betrachtet (Bibliowicz, 2008: S. 296). Nach dieser Sichtweise wird der Begriff des Objekts als wahrnehmbares Konstrukt eingeführt. In diesem Ansatz sind sowohl Objekte als auch Prozesse besondere Ausprägungen des „Things“ (Embley, Thalheim, 2011: S. 323)

In einem Prozess wird der Zustand aus ontologischer Sicht der Zustand eines „Things“ modifiziert. Es werden dadurch die belegten Werte von Attributen verändert, ein „Thing“ wird geschaffen oder hört auf zu existieren. Ein reales Beispiel ist ein maschineller Verarbeitungsprozess, bei dem zwei Bauteile zusammengefügt werden. Die Eingangsgrößen (Things) existieren danach nicht mehr für sich, ein neues „Thing“ ist entstanden. Die Charakteristik, die Eigenschaften eines Things zu verändern, impliziert, dass ein Prozess auf Ebene der Ontologie eine Eingangs- und eine Ausgangsgröße hat. Dies kann durchaus durch ein und dasselbe „Thing“ dargestellt werden. Damit verändert sich der Zustand eines Things, seine Eigenschaften (Properties, modelliert als Attribute) werden innerhalb des Prozesses verändert. Diese besondere Eigenschaft von Prozessen lässt vermuten, dass eine Behandlung als „Thing“ nicht angebracht ist.

Eine eindeutige Entsprechung des Prozesses bzw. der Aktivität, wie es in der Prozessmodellierung verstanden wird, ist in der BWV-Ontologie nicht explizit gegeben (Recker u. a., 2005: S. 5). Das ontologische Konstrukt, das für die Abbildung von Prozessen bzw. Aktivitäten gewählt wird, ist die „Transformation“ (P. Green & Rosemann, 2000, S. 76; Recker u. a., 2005, S. 4; Sanfilippo u. a., 2014, S. 3; Wand u. a., 1999, S. 510). Damit wird die Zustandsänderung eines „Things“ erfasst und abgebildet.



**Abbildung 26:** Transformation und Thing in der BWW-Ontologie,  
(Quelle: Eigene Darstellung)

Eine weitere Unterscheidung wird für die Aktivität und den Prozess vorgenommen. Insbesondere (Sanfilippo u. a., 2014) beschäftigen sich in ihrer Veröffentlichung zu den Events und Aktivitäten explizit mit der Abbildung von Aktivitäten. Sie stellen heraus, dass die Unterscheidung zu dem Konstrukt des Events, das u.a. in BPMN als etablierte Prozessmodellierungssprache nicht klar differenziert ist (Sanfilippo u. a., 2014: S. 153). Dabei beruft sich Sanfilippo direkt auf die Spezifikation von BPMN. Sie sehen das primäre Differenzierungsmerkmal von Aktivität und Event durch die Dauer des Ereignisses gegeben. Beide Konstrukte entsprechen einem Verarbeitungsprozess im Allgemeinen. Die Unterscheidungsmerkmale konzentrieren sich dabei auf den Veränderungen in einem Zeitraum (Aktivität) gegenüber einem Zeitpunkt für die Zustandsänderung (Event) (ebd.).

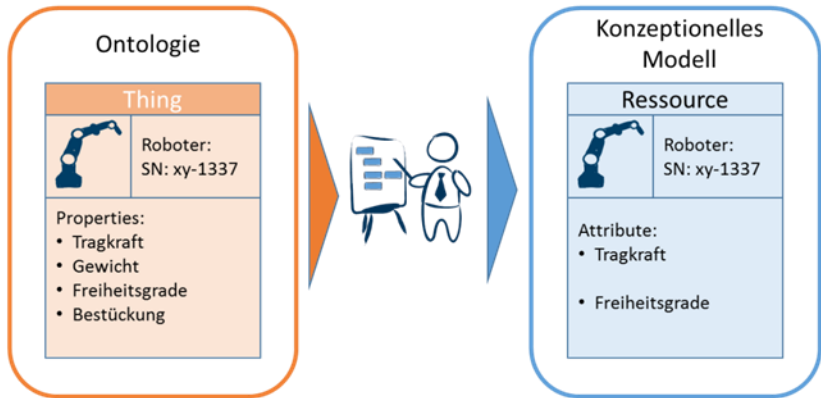
Recker dagegen unterscheidet explizit zwischen den Konstrukten Event und Transformation. Für ihn ist ein Event entsprechend der BPMN Spezifikation ein auslösendes Ereignis, während die Transformation direkt dem Prozess oder der

Aktivität zugeordnet wird (Recker, 2011b: S. 51, 54). Daher wird an dieser Unterscheidung auch im Rahmen dieser Arbeit festgehalten. Nicht zuletzt, da in Prozessmodellierungssprachen Events als auslösende Ereignisse für Prozesse fungieren und damit eine andere Semantik haben als Prozesse.

Die Relevanz von Prozessen im Anwendungskontext der Produktionsplanung und Produktentwicklung erfordert zwingend die Berücksichtigung von Prozessen, auch wenn diese nicht explizit in der BWW-Ontologie enthalten sind. Gestützt auf die Untersuchungen von (Recker u. a., 2005) sowie Rosemann (Green, Rosemann, 2005) und den detaillierten zugrundeliegenden Untersuchungen wird für diese Arbeit den darin veröffentlichten Ergebnissen gefolgt und Prozesse sowie Aktivitäten als „Transformationen“ von „Things“ behandelt.

### **5.3.1.3 Properties und Attribute**

Unmittelbar verknüpft mit dem Konstrukt „Thing“ sind dessen Eigenschaften, genannt Properties. Properties sind elementarer Bestandteil von „Things“. Es gibt nach der Spezifikation von Wand und Weber kein „Thing“, das nicht mindestens eine Property vorweisen kann. Ebenso kann keine Property existieren, die nicht einem „Thing“ zugeordnet ist. Sie geben dem „Thing“ Eigenschaften und können nicht losgelöst von „Things“ existieren (Wand u. a., 1999, S. 498). Sie sind zunächst ein rein ontologisches Konstrukt ohne zwangsläufige Entsprechung in dem konzeptionellen Modell. Sie bezeichnen die dem „Thing“ innewohnenden Eigenschaften, unabhängig davon, ob diese in einem Modell abgebildet werden. Die Eigenschaften müssen nicht unmittelbar erfahrbare sein, sie beschreiben vielmehr ein Konstrukt innerhalb der Ontologie, das ebenfalls nicht unmittelbar erfassbar ist. Erst durch Modelle, die den Paradigmen der Ontologie folgen, werden die modellierten Properties sichtbar und damit zu ontologischen Attributen.



**Abbildung 27:** Modellierung von Properties in Attribute, (Quelle: Eigene Darstellung)

Nach der Erfassung in einem konzeptionellen Modell werden die Properties als Attribute bezeichnet. Properties sind zunächst einmal nur ein Konstrukt in der Ontologie und nicht durch den Benutzer greifbar. Das Attribut entsteht dagegen durch das Überführen der Property in das Modell durch den Modellierer. Die Unterscheidung von Properties und Attributen verdeutlicht das Paradigma des Pragmatismus der Modelltheorie: In Abhängigkeit des Ziels des Modellierenden wird eine Auswahl getroffen, welche Properties in dem Modell als Attribute übernommen und welche weggelassen werden. Erst wenn sie in Attributen modelliert sind, werden sie erfassbar (Wand u. a., 1999: S. 489f.).

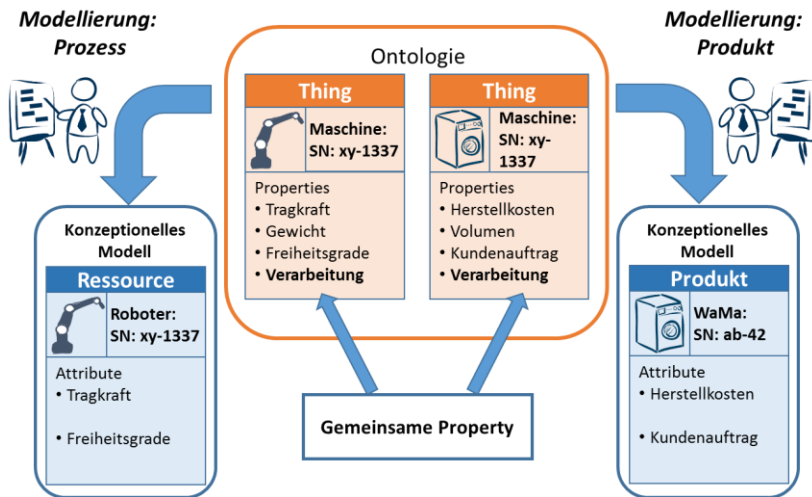
Besonders bedeutsam, insbesondere für den Aufbau von Relationen zwischen „Things“, sind die folgenden Charakteristika, die eine Property im Kontext der BWW Ontology haben können:

- Intrinsische Properties beziehen sich auf einzelne Things
- „Gemeinsame“ („mutual“) oder „relationale“ („relational“) Properties sind abhängig von mehreren Things (Kiwelekar, Joshi, 2007: S. 4; Wand u. a., 1999: S. 498).

Intrinsische Properties sind Eigenschaften des „Things“, die es charakterisieren. Das Konstrukt der Properties ist nicht rekursiv, das heißt eine Property kann selbst keine weitere Property haben.

Die gemeinsamen Properties sind die Grundlage für die übergreifenden Modellrelationen. Auf ihrer Grundlage werden die Entitäten sowohl innerhalb, als auch zwischen unterschiedlichen Modellen verbunden. Die BWV-Ontologie mit ihren Vorgaben für die Modellierung, bildet damit eine transparente und nachvollziehbare Grundlage. Aufgrund der besonderen Bedeutung dieser speziellen Relationen wird im folgenden Abschnitt darauf genauer eingegangen.

### 5.3.1.4 Properties zum Erfassen modellübergreifender Relationen



**Abbildung 28:** Ableitung modellübergreifender Relationen auf Basis der Property, (Quelle: Eigene Darstellung)

Nach der Definition der Properties in der Ontologie sind Properties dem Objekt inwohnenden Eigenschaften. Diese können von mehreren „Things“ geteilt werden und sind damit als gemeinsame Property festgelegt. Die Bezeichnung

dieser Properties ist auf der Ebene der Ontologie nicht zwangsläufig identisch, schließlich wird diese erst sichtbar, wenn sie modelliert wird.

Zur Verständlichkeit der Darstellung wurde jedoch in der obigen Graphik die Bezeichnung „Verarbeitung“ für die gemeinsame Property gewählt.

Auch wenn diese Property in den jeweiligen Modellierungsvorgängen nicht als Attribut in das Artefakt in den Modellen aufgenommen wurde, ist es dennoch auf Ebene der Ontologie vorhanden. Innerhalb der Ontologie als übergeordnetes Metamodell ist die Beziehung zwischen Things vorhanden, auch wenn diese nicht explizit in den Modellen sichtbar gemacht wurde. Sie ist schließlich nicht in Attributen formuliert worden, weder aus Sicht der Prozesse, noch aus Sicht des Produktes. Dagegen wurde eine Auswahl an anderen Properties in das Modell übernommen (bspw: Freiheitsgrad, Kundenauftrag).

Um nun Entitäten aus verschiedenen Modellen zu verbinden, muss in einer analogen Vorgehensweise die gemeinsame Property in Attribute überführt werden. Ausgehend von der Ontologie existiert keine Festlegung, ob bestimmte Properties zu Attributen gemacht werden oder nicht. Dennoch ist die gemeinsame Property das Urbild der modellierten Attribute in der Ontologie. Da die gemeinsame Property von Things identifizierbar und beschreibbar ist, kann daraus die Art der Beziehung zwischen Things charakterisiert werden. Je nachdem welches Thing man betrachtet, wird die Property als Attribut dargestellt. Ob die Property in einem Modell abgebildet ist, spielt bei diesem Ansatz keine Rolle. Schließlich ist die Property als Grundlage der Beziehung nicht an ein Modell gebunden, sondern wird über die intrinsische Eigenschaft (Property) eines Things in der Ontologie erstellt. Damit ist die Property als Basis für die Relation nicht zwangsläufig im Modell formalisiert. Die Property kann damit als generische Basis fungieren, Entitäten verschiedener Modelle zu verbinden. Sofern also im übergeordneten Metamodell der Ontologie eine gemeinsame Property besteht, können Beziehungen zwischen den Artefakten in Modellen hergestellt werden. Dies gilt nicht nur für Artefakte innerhalb eines Modells, sondern auch für Artefakte in verschiedenen Modellen.

Die Eigenschaften von Things können sowohl alleine dem Element zugeordnet sein, als auch aus der Beziehung zwischen mehreren Elementen gebildet werden. Als ein Beispiel hierfür wird der Abstand zwischen zwei Elementen angeführt (Evermann, Wand, 2001b: S. 356). Wand und Weber unterscheiden weiterhin

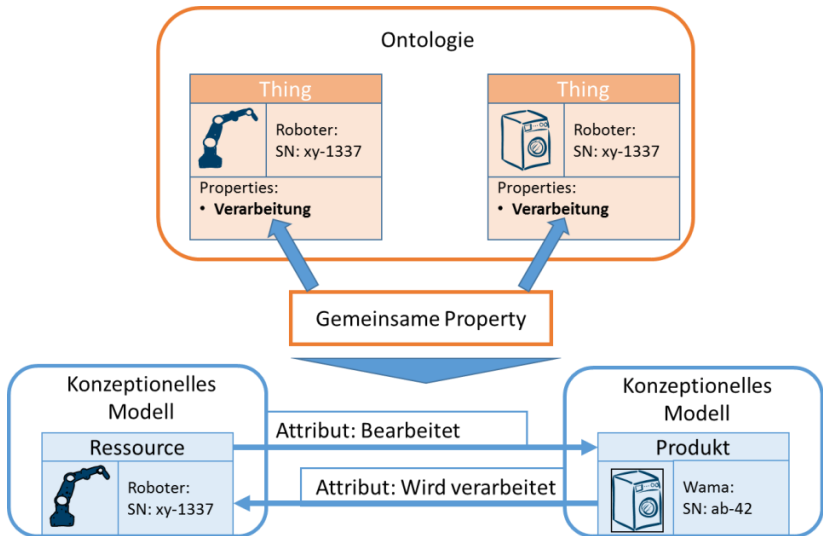
gemeinsame Properties, bei denen sich Things gegenseitig beeinflussen (binding), oder nur eine gemeinsame Bezugsgröße für die Properties herstellen (non-binding). Der Abstand zwischen Elementen ist damit der Kategorie non-binding zuzuordnen. (ebd., 365). Sowohl beeinflussende als auch nicht beeinflussende Beziehungen liefern einen Beitrag zum gegenseitigen Verständnis von Fachexperten, je nach Gestaltung des Anwendungsfalls. Entscheidend ist das Vorhandensein der gemeinsamen Property.

Gemeinsame Properties beschreiben die Beziehungen zwischen Things und sind in dem ontologischen Modell identifizierbar. Sie haben also Eigenarten, die sich in der Ontologie auf abstrakter Ebene benennen lassen. Nach der beschriebenen Methode zur Überführung der Properties in Attribute im Model können diese Attribute in den einzelnen Modellen unterschiedlich bezeichnet werden und auch unterschiedliche Werte annehmen. Die Ausprägung der Attribute obliegt dem Modellierer.

Aus der Attributierung der Property ergeben sich folgende Aspekte der Beziehung:

- Die Relation ist gerichtet, da die gemeinsame Property für jedes Thing im Modell separat in einem Attribut formalisiert wird.
- Die Relation hat einen Typen, der die Art der Beziehung beschreibt. Diese ist ausgehend von der gemeinsamen Property in dem jeweiligen Attribut formuliert.





**Abbildung 29:** Gemeinsame Property als Relation, (Quelle: Eigene Darstellung)

Mit diesem Ansatz ist die Grundlage für die Inter-Modellrelationen geschaffen. Im Urbild der Ontologie ist die Relation über eine gemeinsame Eigenschaft (Property) von mehreren Things erstellt. Ob diese Properties in einem gemeinsamen Modell oder in unterschiedlichen Modellen codiert sind, ist dabei nicht vorbestimmt. Es ist also generell nicht erforderlich, diese gemeinsamen Eigenschaften als Attribute in die jeweiligen Modelle zu überführen, um anhand der gemeinsamen Property eine übergeordnete Relation zu erstellen. Die Property im gemeinsamen Urbild (Ontologie) stellt die Kohäsion zwischen den Entitäten als Modellelementen her. Es ist folglich auch nicht erforderlich, dass die Things in demselben Modell vorliegen und ebenso wenig notwendig, dass die verbindende Property in den Modellen als Attribute erfasst sind. Die Grundlage für die Inter-Modellrelation ist schließlich durch die gemeinsame Property gegeben, die in der Ontologie unabhängig von deren Erfassung in einem Modell vorliegt. Zusammenfassend formuliert, ergibt sich daraus die Grundlage für die Inter-Modellrelationen, die visualisiert werden sollen:

*Gemeinsame Attribute werden über eine Relation dargestellt. Die Inter-Modellrelationen entsprechen gemeinsamen Eigenschaften von Elementen in unterschiedlichen Modellen, die in einer übergeordneten BWW-Ontologie über eine gemeinsame Property verfügen.*

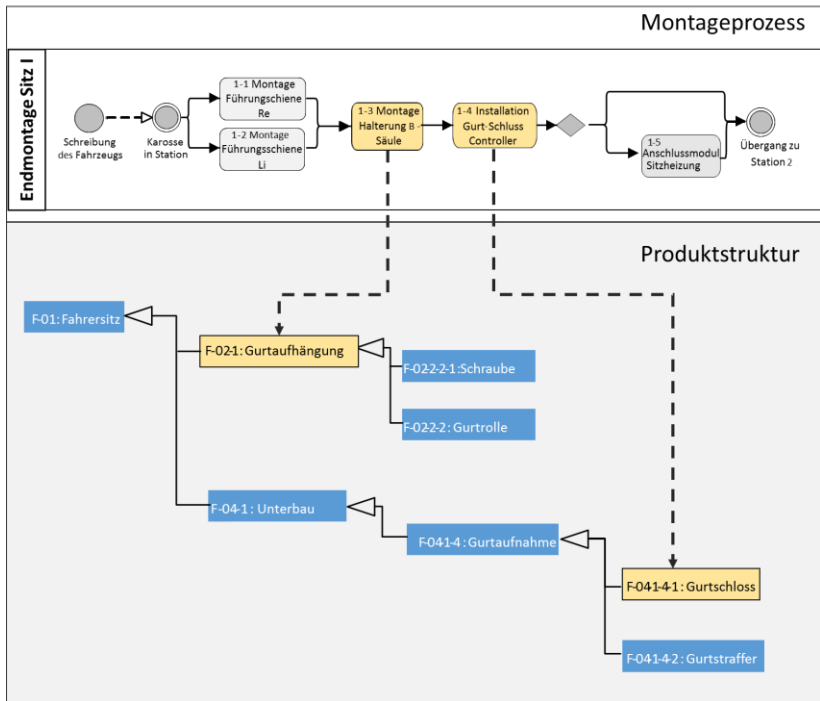
Im Einklang mit diesem Ansatz werden zudem die folgenden Regeln zum Identifizieren der signifikanten Entitäten angewendet:

- Das Element ist im Urbild im Sinne der Bunge- Ontologie als Thing oder Transformation identifizierbar.
- Varianten und Spezialisierungen von Elementen werden nicht explizit unterschieden, entsprechend der Hinweise von Wand und Weber. Zusammengesetzte und einfache Elemente werden gleich behandelt.
- Relationen können nur erstellt werden, sofern die betroffenen Entitäten in Beziehung stehen. Soweit sie in der Ontologie über gemeinsame Properties verfügen, ist das gegeben. Diese müssen entsprechend der BWW-Ontologie nicht zwangsläufig in den Modellen als Attribute von Elementen erfasst sein.
- Die Verknüpfung der Entitäten in Modellen wird auf Modellebene entsprechend den Grundregeln erstellt, die aus der BWW-Ontologie adaptiert worden sind.

### **5.3.2 Transfer des Regelwerks auf Modelle der Produktentwicklung**

Entscheidend für die Auswahl der verbindbaren Entitäten sind gemeinsame Properties, die einen fachlichen Zusammenhang zwischen den Elementen ausdrücken. Da diese Properties nicht unbedingt in den Modellen umgesetzt sind, sondern durch die erfasste Problematik vorgegeben werden, ist die maschinelle Identifikation der Relationskandidaten nicht ohne weiteres möglich. Aufgrund des Verkürzungsmechanismus bei der Modellierung, können durchaus die entscheidenden Properties nicht in Attribute überführt worden sein. Es ist demnach eher Regel als Ausnahme, dass bestimmte Entitäten nicht in allen berücksichtigten Modellen enthalten sind. Schließlich sind die Modelle für spezifische Anwendungsfälle erstellt.

Zur Verdeutlichung dieses Sachverhaltes dient der Montageprozess eines Fahrzeugsitzes: Das Modell des Montageprozesses beschreibt die einzelnen Schritte, die vorgenommen werden, um das Produkt zu montieren. Je nach Granularität der Modellierung, ist bei der Beschreibung das verarbeitende Gut nicht Bestandteil des Prozesses. Dagegen beinhaltet die Produktstruktur des Fahrzeugsitzes keinerlei Informationen über die Bearbeitung. Die Produktstruktur beschreibt lediglich die Komponenten, aus denen der Sitz zusammengesetzt ist. Dabei ist es nicht relevant, ob das Werkstück als Ganzes geliefert oder in einem Montageprozess zusammengebaut wird.



**Abbildung 30:** Impliziter Zusammenhang zwischen Modellen,  
(Quelle: Eigene Darstellung)

Es kann in diesem Beispiel also keine unmittelbare Verbindung zwischen den Modellen erkannt werden. Dennoch ist in diesem Beispiel durch den fachlichen Zusammenhang zwischen Montageprozess und Produktstruktur die Grundlage für die Relationen gegeben.

In diesem Fall fehlen jedoch die Informationen in den Modellen, die einen automatisierten Aufbau von Verbindungen erlauben. Weder innerhalb der Entitäten noch in den modellierten Attributen sind Informationen enthalten, die einen maschinellen Aufbau von übergreifenden Relationen ermöglichen. Daher können alleine über die fachlichen Modelle keine übergreifenden Relationen bestimmt werden. Ontologiebasierte Verfahren bieten hierfür jedoch Ansätze, um über Modellgrenzen hinweg auf Zusammenhänge zu schließen (Euzenat, Shvaiko, 2007: S. 73 ff.).

Im Rahmen der Arbeit wird ein automatisierter Aufbau von Relationen nicht weiter verfolgt. Vielmehr wird eine fundierte Grundlage auf der Basis einer Ontologie gegeben, um modellübergreifende Relationen zu bilden und zu erklären. Für Methoden zum automatisierten Aufbau von Relationen zwischen Modellen, wird auf Arbeiten zu dem Thema der semantischen Integration von Modellen und Ontologien verwiesen (Bittel, 2014; Fonseca, Egenhofer, 2002; Mostefai, Bouras, 2006; Sheth, 2005: S. 5 ff.).

Die Inter-Modellrelationen mit ihren Start- und Endpunkten werden daher im Rahmen der Arbeit manuell vorgenommen. Die Signifikanz eines Elements muss in dem konkreten Modell auf Basis von Detailwissen zu der abgebildeten Problemstellung erstellt werden. Damit ist eine automatisierte Erkennung der Signifikanz der Entitäten nur begrenzt möglich. In praktischen Anwendungsszenarien wird die Abstimmungen hierfür in direkter Kommunikation zwischen den Akteuren in Workshopszenarien, oder durch den Austausch von Dokumenten und Listen, vorgenommen. Die Festlegung der Inter-Modellrelationen ist eine Modellierungsaufgabe, weshalb die Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung hier Anwendung finden (Becker, Rosemann, Schütte, 1995; Becker, Probandt, Vering 2012; Schütte, 1997: S. 11).

## 5.4 Integrierte Darstellung von mehreren Modellen

Nachdem eine fundierte Grundlage für die integrierte Darstellung von Modellen über gemeinsame Properties von Ontologie Konzepten geschaffen ist, wird nun ein Ansatz vorgestellt, mit der eine graphische Darstellung der Modelle, inklusive den Inter-Modellrelationen, ermöglicht wird.

Die integrierte Darstellung von Modellen erfordert die folgenden zwei Aspekte berücksichtigen:

- Die Modelle müssen voneinander unterscheidbar sein.
- Die Relationen zwischen den Modellen müssen eindeutig erkennbar sein.

Um zunächst den ersten Aspekt der Unterscheidbarkeit zu lösen, könnten verschiedene visuelle Variablen eingesetzt werden, die im Folgenden erläutert werden. Dabei wird herausgestellt, warum eine grundlegend neue Darstellungsvariante benötigt wird, um die Ziele der Methode zu erreichen. Darauf aufbauend wird mit Grundlagen für visuelle Sprachen ein Konzept formuliert, das die integrierte Modellvisualisierung nach den Anforderungen ermöglicht.

### 5.4.1 Anforderungen an die Darstellung

In den Anwendungsfällen sollen Experten aus den beteiligten Disziplinen anhand einer integrierten Darstellung eine übergreifende Problemstellung gemeinsam lösen. Dafür sollen die Akteure ihre bekannten Modelle verwenden und damit mit geringem Aufwand für Einarbeitung oder Eingewöhnung die Methode anwenden können. Aus den Zielen der Arbeit aus Kap. 1 werden die folgenden konkreten Anforderungen an die Methode zusammengefasst:

- Die Beziehungen zwischen den Modellen sollen eindeutig erkennbar sein. Eine Verwechslung mit domäneneigenen Beziehungen soll möglichst ausgeschlossen sein. Ein Ansatz, der die Modelle mit klassischen Darstellungsmethoden zusammenführt, erscheint ungeeignet, da die Unterscheidbarkeit

- der Modelle, Entitäten und insbesondere der Relationen nur begrenzt hergestellt werden kann.
- Die Wiedererkennbarkeit der ursprünglichen Modelle muss gegeben sein. Nutzer sollen keine neue Modelle oder Notationen lernen müssen. Hierdurch soll der Einarbeitungsaufwand für die Nutzung der Plattform reduziert werden und damit die Akzeptanz der Methode erhöht werden.
  - Die Inter-Modellrelationen sollen mit den zugehörigen Modellen in einem gemeinsamen Darstellungsraum visualisiert werden. Damit wird der Ansatz verfolgt, dass die spezifischen Modelle einen gemeinsamen Problembereich aus unterschiedlichen Sichten abbilden. Die domänenspezifischen Betrachtungen der Experten werden somit visuell zusammengeführt, damit die Akteure die Schnittstellen zwischen den Sichten analysieren können.
  - Das primäre Ziel ist die Unterstützung der Kommunikation zwischen den Endanwendern verschiedener Disziplinen. Das Mapping zwischen den Disziplinen ist im Kontext der Anwendungsfälle zweckdienlich zu gestalten. Daher sollen die Beziehungen zwischen den Entitäten dargestellt werden, soweit sie für die Unterstützung der Kommunikation sinnvoll sind. Die Anwendbarkeit des Ansatzes wird höher beurteilt als die vollständige Darstellung der Beziehungen. Das Ziel der Evaluierung ist in erster Linie nachzuweisen, dass eine integrierte Darstellung in 3D die Verständlichkeit der Inter-Modellrelationen fördert.

Die Beziehungen zwischen den Modellen sollen eindeutig als solche erkennbar sein. Sowohl interne Relationen innerhalb der Modelle als auch Inter-Modellrelationen basieren auf gemeinsamen Properties, wenn man die Paradigmen der BWV-Ontologie zugrunde legt. Interne Relationen ergeben sich aufgrund der Modellgrammatik, sie sind darin implizit oder explizit definiert. Explizit definierte Relationen sind in der Modellgrammatik festgeschrieben. Darin ist spezifiziert, welche Elemente verbunden werden können. Die Darstellung dieser Relationen ist festgelegt, sofern die Notation Bestandteil der Spezifikation ist. Die visuelle Unterscheidbarkeit der internen und übergreifenden Relationen ist durch die vorherrschende Verwendung von Linien als Symbol für Beziehungen eine besondere Herausforderung.

## 5.4.2 Gestalterische Mittel zur Unterscheidbarkeit von Modellen

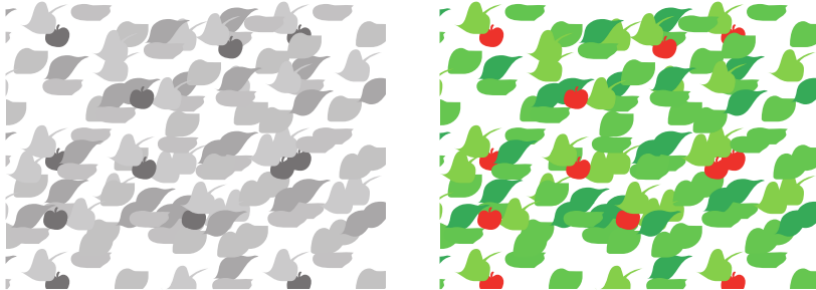
Bezogen auf eine computergestützte Darstellung kann eine gemeinsame Visualisierung von Modellen nur durch eine Darstellung in einem gemeinsamen Fenster<sup>6</sup> durchgeführt werden. Grundsätzlich ist es möglich, mehrere Diagramme auf einem Display darzustellen. Bei elektronischen Ausgabemedien übernimmt das Display bzw. Anwendungsfenster die Aufgabe der Zeichenebene. Das kann den kollaborativen Einsatz einer Modelldarstellung fördern (Spence, 2014: S. 138), besonders, wenn die Darstellungsfläche eine ausreichende Größe vorweist. Außerdem wird dadurch zusätzlicher kognitiver Aufwand durch den Wechsel von Fenstern oder Displays reduziert (Woods, Watts, 1997: S. 635). Die gemeinsame Darstellung in einem Fenster offenbart ein Dilemma: Die Modelle sollen isoliert wahrgenommen werden, und gleichzeitig sollen die Intermodellrelationen verfolgbar sein. Sofern ein Abstand zwischen den Diagrammen in der Darstellung gegeben ist, werden diese für sich stehend wahrgenommen (Kim, Hahn, Hahn, 2000). Im Gegenzug werden eng beieinanderstehende Elemente als gruppiert wahrgenommen. Alternativ können visuelle Hinweise für die einzelnen Bereiche zu Verfügung gestellt werden (Ware, 2004: S. 151).

Zur Unterscheidung von Elementen in einer graphischen Darstellung ließen sich unterschiedliche Einfärbungen verwenden. Jedoch ist gerade dabei die Anzahl der möglichen Kombinationen und damit die Anzahl der farbcodiert darstellbaren Modelle begrenzt. Die Einschränkung wird gegeben, wenn die Farbe wie in einem solchen Fall, nicht zur Hervorhebung eingesetzt wird, sondern zur Unterscheidung von Modellen (Ware, 2004: S. 183 f.). Nach dieser Erkenntnis sind auch mögliche Farbkombinationen begrenzt, da grundsätzlich eine kontrastreiche und damit deutliche Darstellung forciert werden soll (Keller u. a., 2006: S. 64). Damit ist dieses Mittel zwar geeignet für die Unterscheidung von Objekten, jedoch nur sehr limitiert für Linien. Diese müssen in einer breiteren Stärke dargestellt werden, um die Farbe wahrnehmbar zu machen.

---

<sup>6</sup> Fenster im Sinne des WIMP (Windows, Icons, Menue, Pointer) Paradigmas für graphische Oberflächen bei Computern.

Zu berücksichtigen ist ebenfalls die präattentive (unterschwellige) Wahrnehmungscharakteristik der Farbe. Eingefärbte Bereiche können intuitiv als Hervorhebung interpretiert werden (Ware, 2004: S. 149–154).

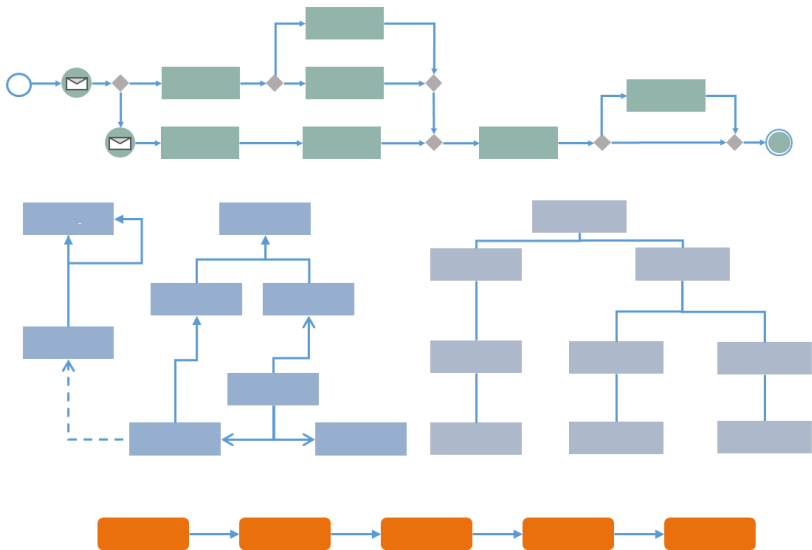


**Abbildung 31:** Hervorhebung durch Einfärbung, (Quelle: Ware, 2004, S. 98 Fig. 4.1)

Die Hervorhebung ist jedoch kein verfolgtes Ziel bei der Darstellung von mehreren Modellen in einer gemeinsamen Oberfläche. Hier wird ein Dilemma bei reiner Farbdarstellung deutlich: Werden komplementäre Farben für die Unterscheidung eingesetzt, dann ist eine Hervorhebung nahezu unvermeidlich. Bei ähnlichen Farben sind die dargestellten Objekte nicht deutlich unterscheidbar.

Die folgende Abbildung zeigt eine gemeinsame Darstellung von drei verschiedenen Modellen. Oben ein BPMN Prozessmodell, unten links ein UML Klassendiagramm und unten rechts ein Ressourcenplan, der nicht auf Basis einer dedizierten Notation illustriert wird. Die Unterscheidung zwischen UML Klassendiagramm und dem Ressourcenplan ist alleine über die Farbe nicht besonders deutlich. Der Einsatz von kontrastreicheren Farben würde die Unterscheidbarkeit verbessern, jedoch zwangsläufig eine Priorisierung implizieren, wie in der unteren hervorhebend eingefärbten Prozessdarstellung angedeutet.





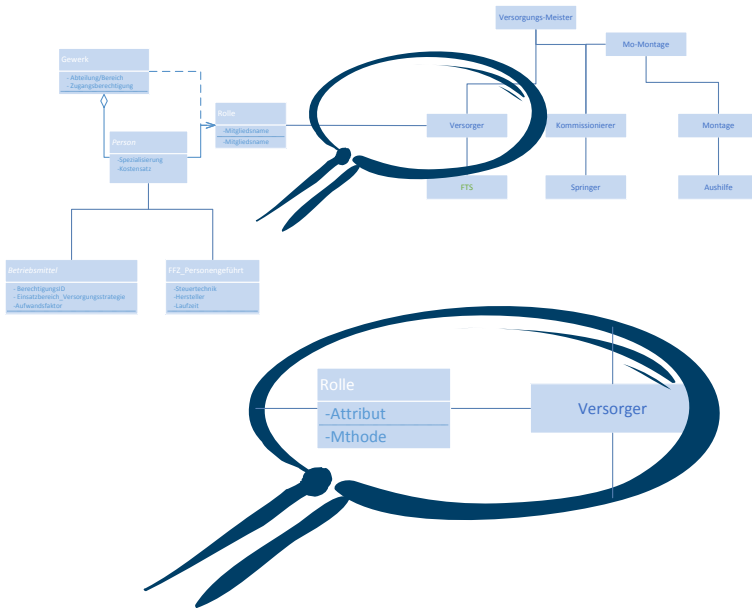
**Abbildung 32:** Gemeinsame Darstellung mit Unterscheidung durch Farbe,  
(Quelle: Eigene Darstellung)

Zusammenfassend lässt sich eine farbliche Unterscheidung für Modelle als unterstützende visuelle Variable einsetzen, nicht jedoch als primäres darstellerisches Merkmal. Zur Verdeutlichung der Unterscheidung der Modelle kann die Positionierung als visuelle Variable eingesetzt werden. Mit einem ausreichenden räumlichen Abstand sind die Teilmodelle deutlich unterscheidbar. Dagegen werden zusammenliegende Elemente als gruppiert wahrgenommen, was bereits in den Gestalt Laws beschrieben ist (Card u. a., 1999: S. 26; Slocum, 1983).

#### 5.4.2.1 Unterscheidbarkeit durch Positionierung

Die Visualisierung von Modelldiagrammen mit ausreichendem Abstand zur deren Unterscheidung, benötigt eine entsprechende Größe der Darstellungsfläche. Dadurch sind einzelne Elemente nur noch durch einzoomen erkennbar, wodurch wiederum der Kontext, bzw. die Zusammenhänge des Gesamtbildes nicht mehr dargestellt werden. Dieser Sachverhalt wird als „Keyhole Problem“ beschrieben (Spence, 2014: S. 123; Woods, Watts, 1997: S. 620). Das „Keyhole Problem“ greift auch bei der Darstellung von übergreifenden Relationen. In einer

Übersicht mit weit herausgezoomter Anzeige sind zwar die Relationen zwischen den Modellen sichtbar, auch der Kontext erkennbar, jedoch muss zur detaillierten Analyse der Start- und Endpunkte wiederum vergrößert werden. Selbst auf großen Darstellungsebenen, wie bspw. einer Powerwall, ist dieses Problem unumgänglich. In diesem Fall kann das Zoomen durch Begehung der Szene hergestellt werden, sofern Tracking-Mechanismen verfügbar sind.



**Abbildung 33:** Kontext vs. Detail bei übergreifenden Relationen, (Quelle: Eigene Darstellung)

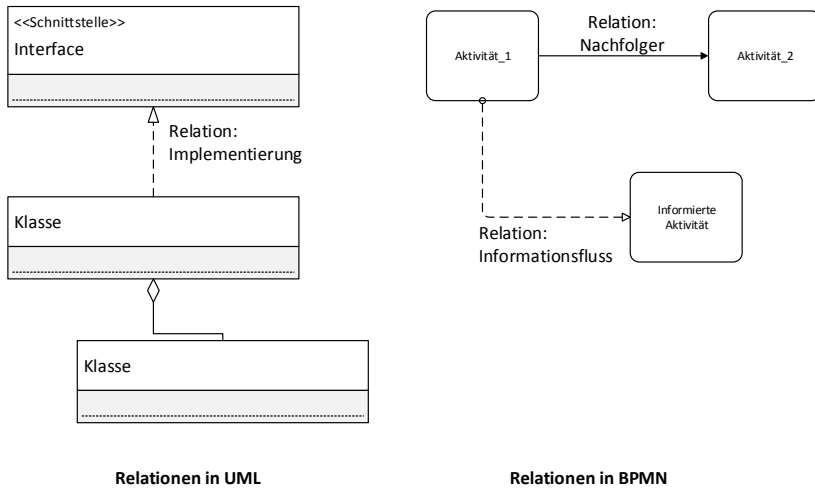
Die Skizze verdeutlicht das Keyhole Problem bei räumlich getrennten Entitäten vs. einer gemeinsamen Detaildarstellung. Die Lupe symbolisiert den sichtbaren Ausschnitt des Benutzers. Die Zusammenhänge sind in der obigen Skizze erkennbar, jedoch kann aufgrund der Größe der dargestellten Entitäten sowie dem räumlichen Abstand nicht die gesamte Beziehung erfasst werden. Die untere Darstellung zeigt dagegen eine vergrößerte Darstellung, bei der die Zusammen-

hänge zwischen den Entitäten sichtbar sind, jedoch Informationen über den Kontext verloren gegangen sind. Es ist aus der unteren Darstellung nicht ersichtlich, mit welchen weiteren Entitäten der „Versorger“ in Beziehung steht. Bewusst gewählt wurde die mehrfach verwendete visuelle Variable „Geometrie“, repräsentiert durch das Rechteck. Da die Entitäten unterschiedlichen Modellen zugeordnet sind, entspricht das keiner redundanten Verwendung innerhalb der Modelle, sondern der Verwendung eines rechteckigen Symbols in mehreren Modellen, was durchaus ein bekanntes Phänomen ist (Moody, 2009a: S. 763). Um das Keyhole Problem zu mindern, wird allgemein vorgeschlagen, die Zeichnungsgröße zu minimieren. Das soll einen positiven Einfluss auf die Ästhetik der Darstellung haben, was sich wiederum positiv auf die Verständlichkeit der Darstellung auswirkt. (Bennett u. a., 2007: S. 7; Cawthon, Moore, 2007: S. 648).

Vollständig lässt sich das Keyhole Problem auch mit der hier vorgeschlagenen Methode nicht eliminieren. Dennoch kann durch die hier vorgestellte räumliche Anordnung der dargestellte Ausschnitt von Modellen vergrößert und gleichzeitig die Relation zu weiteren Modellen besser dargestellt werden. Die vergrößerte Darstellung von Ausschnitten der Modelle ist ein Nebenprodukt der räumlichen Anordnung. Wesentlich entscheidender ist die Überwindung des beschriebenen Dilemmas von der getrennten Darstellung der Modelle und einem geringen Abstand zwischen den Modellen, um die Inter-Modellrelationen nachvollziehbar zu erhalten.

#### **5.4.2.2 Linientypen als gestalterisches Mittel für Relationen**

Das folgende Beispiel erläutert die Verwendung von verschiedenen Varianten von Linien zur Darstellung von Relationen. Es wird dabei herausgestellt, dass unterschiedliche Liniendarstellungen bereits in standardisierten Modellen eingesetzt werden. Daraus resultiert, dass der Einsatz von unterschiedlichen Arten von Linien keine Option darstellt, um die Inter-Modellrelationen kenntlich zu machen.



**Abbildung 34:** Spezifizierte Relationen in UML und BPMN, (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Beispiele der Modellierungssprachen UML und BPMN zeigen exemplarisch die visuelle Darstellung von explizit definierten Relationen. In der linken Darstellung wird die Relation zwischen dem Konstrukt der Schnittstelle zu der implementierenden Klasse dargestellt, notiert in UML. Das besondere Verhältnis zwischen den Konstrukten wird mit einer dedizierten Notation, dem gestrichelten Pfeil mit ausgefüllter Spitze in UML, realisiert. Auf Ebene der Ontologie ist die Beziehung zwischen den Konstrukten durch die gemeinsame Property von „implementiert“, bzw. „wird implementiert von“ gegeben. Das Ontologie Konstrukt der Property „implementiert“ wird dabei entsprechend der Notationsvorschrift dargestellt, die in der Modellgrammatik von UML vorgegeben ist.

Die rechte Graphik zeigt Beziehungen zwischen Entitäten in der BPMN Notation. Auch hier werden die Relationen durch Varianten von Linien dargestellt und die Richtung der Beziehung durch die Pfeildarstellung vorgegeben. Ebenso wie in UML werden Linien eingesetzt, um Beziehungen zwischen Entitäten innerhalb des Modells zu symbolisieren. Auch bei BPMN werden Linientypen eingesetzt, um verschiedene Arten von Relationen darzustellen. Die Relationen mit ihrer Bedeutung und Notation sind durch die Modellgrammatik bzw. Spezifikation vorgege-

ben. Sie müssen daher nicht explizit textuell beschrieben werden. In den Beispielen ist die Bezeichnung der Pfeile nur zur Erläuterung der Darstellung angegeben. Auch bei Modellen in denen keine explizite Notation vorgegeben ist, werden i.d.R. Linien eingesetzt, um Entitäten in dem Modell zu verbinden.

Die gestalterischen Möglichkeiten zur Darstellung von Linien sind durchaus begrenzt. Werden Linien mit unterschiedlichen Stärken dargestellt, impliziert das eine Hervorhebung. Damit reduzieren sich die Möglichkeiten zur Variation auf den Linientyp, die Farbe dem geraden oder freihändigen Verlauf. Diese sind jedoch nicht zwangsläufig deutlich unterscheidbar. Um der Besonderheit der Inter-Modellrelationen gerecht zu werden, ist demnach eine Variation der Liniendarstellung mit diesen Stilmitteln nicht ausreichend.

### 5.4.2.3 Charakteristik der Inter-Modellrelationen

Die Inter-Modellrelationen haben eine besondere Funktion. Sie sind nicht integraler Bestandteil einer Modellgrammatik und haben demnach keine explizite Notation. Daher ist weder ihre Bedeutung, noch ihre Notation durch Spezifikationen vorgegeben. Während die inneren Relationen einen spezifizierten Typen haben, müssen übergreifende Beziehungen verschiedene Typen annehmen können. Dies erscheint aus folgenden Gründen notwendig:

- Die Inter-Modellrelationen dienen der Abstimmungen zwischen Spezialisten aus unterschiedlichen Disziplinen. Eine implizite Typisierung kann daher nicht vorausgesetzt werden. Der Verbindungstyp ist abhängig von der Interpretation der gemeinsamen Property im Sinne der BWW-Ontologie. Daher erfordert die Typisierung der Property eine Abstimmung zwischen den Disziplinen der Modelle.
- Relationen innerhalb von Modellen stellen oftmals hierarchische oder sequenzielle Beziehungen zwischen Entitäten dar. Beispielsweise sind in Prozessmodellen die Entitäten oftmals sequenziell verbunden. Dagegen sind Produktstrukturen oftmals hierarchisch aufgebaut. Diese Arten der Zuordnung sind bei Relationen zwischen Modellen nur in Einzelfällen gegeben.

Die Modellrelationen sollen durch visuelle Variablen mit möglichst großer visueller Distanz erfolgen, um den unterschiedlichen semantischen Konstrukten Rechnung zu tragen.

### 5.4.3 Visuelle Sprachen für Relationen

In den Ausführungen zur Visual Language Theory in Kap. 4.1 wurden die Konstrukte einer visuellen Sprache vorgestellt. Analog der Sprachtheorie stehen hierbei eine visuelle Syntax sowie eine visuelle Grammatik zu Verfügung. Die visuelle Syntax beschreibt dabei, durch welche Darstellungsmittel die semantische Konstrukte eines Modells graphisch dargestellt werden (Bertin, 2010: S. 187). Schon das Beispiel in Abbildung 34 zeigt die Notwendigkeit einer sorgsam Konzeption der graphischen Darstellung von übergreifenden Relationen.

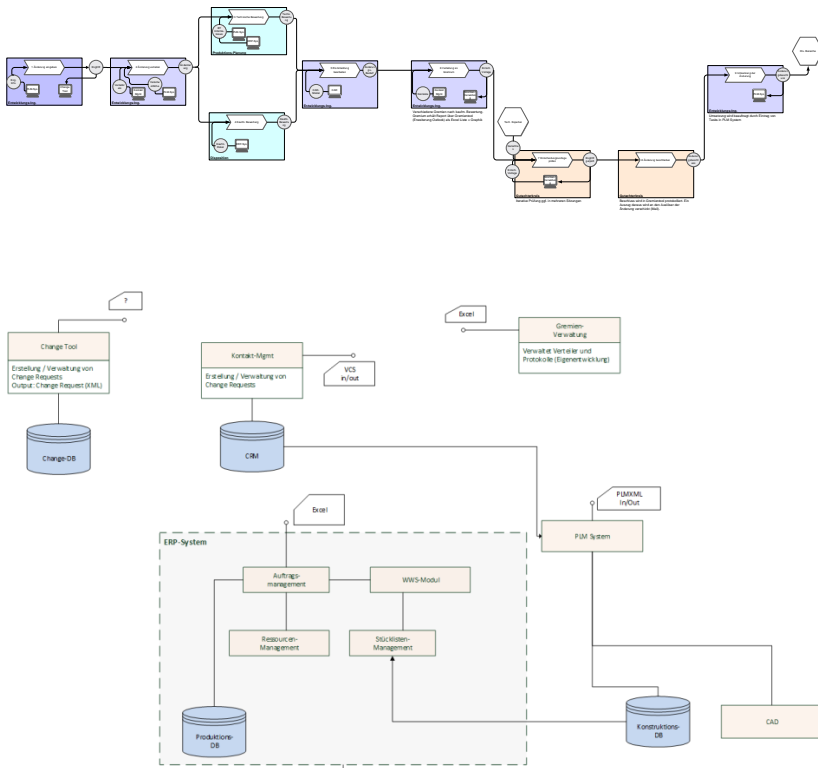
Bezugnehmend auf die Prinzipien der „Physics of Notation“ von Moody (Moody, 2009a) (vgl. Kap. 3.3.3) sollten die Bedeutung von Konstrukten innerhalb des konzeptionellen Modells und die graphische Repräsentation eindeutig sein (Genon, Heymans, 2011: S. 383–385; Moody, 2009a: S. 762; Moody, Hillegersberg, 2009: S. 19).

Zur Unterscheidbarkeit der semantischen Konstrukte ist es also vorteilhaft, das Spektrum der visuellen Variablen weitreichend auszuschöpfen. Jedoch soll innerhalb dieser Arbeit keine neue Notation für standardisierte Modelle erstellt werden. Die in standardisierten Modellen eingesetzten Variablen bleiben unberührt. Für Modelle, deren Notation nicht spezifiziert ist, wie bspw. Stücklisten als Produktbeschreibungen, ist ein höherer Freiheitsgrad gegeben. Die Notation kann durch den Anwender selbst gewählt werden. Allerdings ist auch hier in vielen Fällen ein de-facto Standard für die Notation vorgegeben. Überwiegend werden in der Darstellung von Graphenstrukturen Rechtecke für die Knoten eingesetzt, sowie Linien als graphische Darstellung der Kanten (Moody, 2009a). Häufig werden Inhalte durch textuelle Beschreibungen ergänzt und damit das Element im Modell identifiziert (Goonetilleke u. a., 2001: S. 744; Moody, 2009a: S. 771).

Der Anwender soll die Freiheit haben, seine Notation selbst zu wählen und durch die Methode zur Darstellung der Inter-Modellrelationen hierbei keine Einschränkung erhalten. Um also die Methode zur integrierten Darstellung mehrerer Modelle unter den gegebenen Prämissen umzusetzen, können die etablierten visuellen Variablen nur begrenzt verwendet werden. Daher muss der Ansatz auch für die folgenden Aufgaben eine konsistente Lösung bieten:

- Die Modelle müssen simultan auf einer Plattform dargestellt werden und gleichzeitig unterscheidbar sein. Erst dadurch ergibt sich eine Analogie zu dem Sichtenkonzept von disziplinspezifischen Modellen und die Zusammenhänge zwischen den Modellen werden transparent.
- Die Beziehungen zwischen den Modellen müssen so dargestellt werden, dass sie von den internen Modellen eindeutig unterscheidbar sind. Das ist gegeben, wenn die visuellen Variablen in den nativen Modellen nicht mehrfach verwendet werden und demnach ein „Construct Overload“ (Moody, 2009a: S. 759) vermieden wird.

Wie in Abb. 34 erkennbar, werden unterschiedliche Linientypen (durchgezogen, gestrichelt) innerhalb der Modellgrammatiken eingesetzt. Weitere visuelle Variablen sind entweder belegt oder optisch nur schwer unterscheidbar (geringe visuelle Distanz)(Moody, Hillegersberg, 2009: S.21). Die visuelle Variable „Position“ wird in Modellen eingesetzt, um hierarchische oder sequenzielle Zusammenhänge darzustellen. Damit ist diese Variable für die Relationen im Modell bereits determiniert. Für Linien sind Textur und Helligkeit nur begrenzt verwendbar, da ihre Darstellung kontrastreich gestaltet werden muss, um sie überhaupt erkennbar zu machen. Unterschiedliche Stärken von Linien würde neben der besseren Unterscheidbarkeit eine Priorisierung implizieren. Die Aufgabe, mehrere Modelle simultan zu visualisieren und gleichzeitig Relationen zwischen den Modellen unterscheidbar anzuzeigen, erfordert neue Wege.



**Abbildung 35:** Geschäftsprozess und IT-Landkarte, (Quelle: Eigene Darstellung)

Zur Einführung des Konzepts der integrierten Visualisierung von mehreren Modellen, wird das Beispiel vorgestellt, das in den obigen Graphiken notiert ist. Anhand dessen soll das abstrakte Konzept der Erweiterung visueller Variablen konkretisiert werden. Abb. 35 dient lediglich der Vorstellung des Layouts der im Folgenden verwendeten Modelle. Die vollständigen Modelle sind im Anhang (vgl. Abb.: 56 ff.) aufgeführt und wurden auch als Beispiel zur praktischen Evaluierung der Arbeit eingesetzt (vgl. Kap. 5.1).

Grundlage der Erläuterung sind die obigen Modelldarstellungen. Im oberen Teil ist ein Change Prozess nach der OMEGA Methode notiert. Darin ist der Workflow



und Freigabeprozess für konstruktive Änderungen definiert. Die einzelnen Rechtecke entsprechen dabei Prozessschritten mit zugehörigen Rollen. Die einzelnen Prozessschritte werden unter Verwendung von IT-Werkzeugen durchgeführt. Diese Werkzeuge sind miteinander verbunden und in der unteren Graphik als IT Landkarte dargestellt.

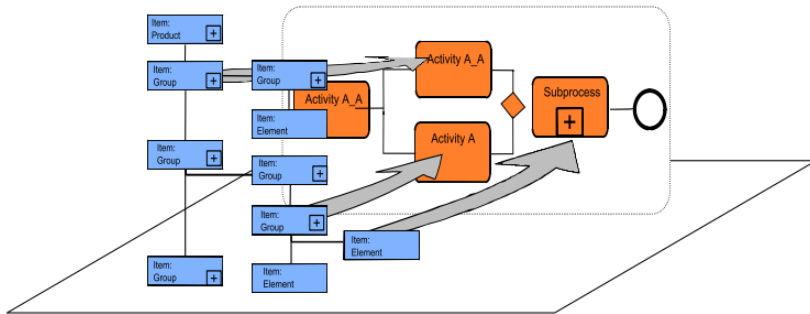
#### **5.4.4 „Tiefe“ als visuelle Variable**

Die folgende Beschreibung fußt auf einer eindeutigen Zuordnung von Zeichenebene und Modell. Die Zeichenebene ist die zweidimensionale Fläche, auf welcher das Modell notiert ist. Sie muss nicht physisch vorhanden sein, sie kann auch durch das Ausgabefenster oder einer Ebene in einer dargestellten Szene in einer Software-Anwendung gegeben werden. Die Prozess und IT-Landkartendarstellungen in Abb. 35 halten ebenfalls die Auftrennung der Zeichenebenen bei. Jedes Modell ist für sich auf einer einzelnen Zeichenebene dargestellt.

Um die Anforderungen an die Visualisierung zu erfüllen, wird die dritte Dimension für die Darstellung mehrerer verbundener Modelle auf ihren Zeichenebenen als visuelle Variable eingeführt. Die Tiefe, bezogen auf die Darstellungstheorie, lässt sich als visuelle Variable interpretieren. Von ihrem Wesen her ist sie ähnlich der visuellen Variable „Placement“, welche die Positionierung in X- und Y-Richtung repräsentiert (Bertin, 2010: S. 187). Die Ergänzung des Vorrats an visuellen Variablen um die Z-Richtung in die Tiefe, überführt die zweidimensionale Zeichenebene in einen dreidimensionalen Darstellungsraum. Aufgrund der natürlichen Tiefenwahrnehmung des Menschen, ist die räumliche Darstellung ist besonders gut erkennbar (Ware 2004, 257). Dennoch wurde die dritte Dimension in der betrachteten Literatur nicht als visuelle Variable interpretiert. Da jedoch explizit bereits in den Grundlagenwerken von Bertin die X- und Y-Koordinate im Sinne der Platzierung als visuelle Variablen genannt werden (s. Abb. 17), wird hier die These aufgestellt, dass die dritte Dimension als Z-Achse ebenfalls als visuelle Variable betrachtet werden kann.

Letztendlich wird hierdurch der Ansatz der visuellen Variablen aus der bisherigen Betrachtungsebene der Zeichenebene auf einen „Zeichenraum“ angewendet. Damit ist ein geeignetes Werkzeug bestimmt, die Besonderheiten der integrierten Visualisierung von Modellen abzubilden: Die räumliche Tiefe ist eine visuelle

Variable für Inter-Modellrelationen, die deutlich unterscheidbar zu den bestehenden und verwendeten visuellen Variablen in der Modellvisualisierung ist.



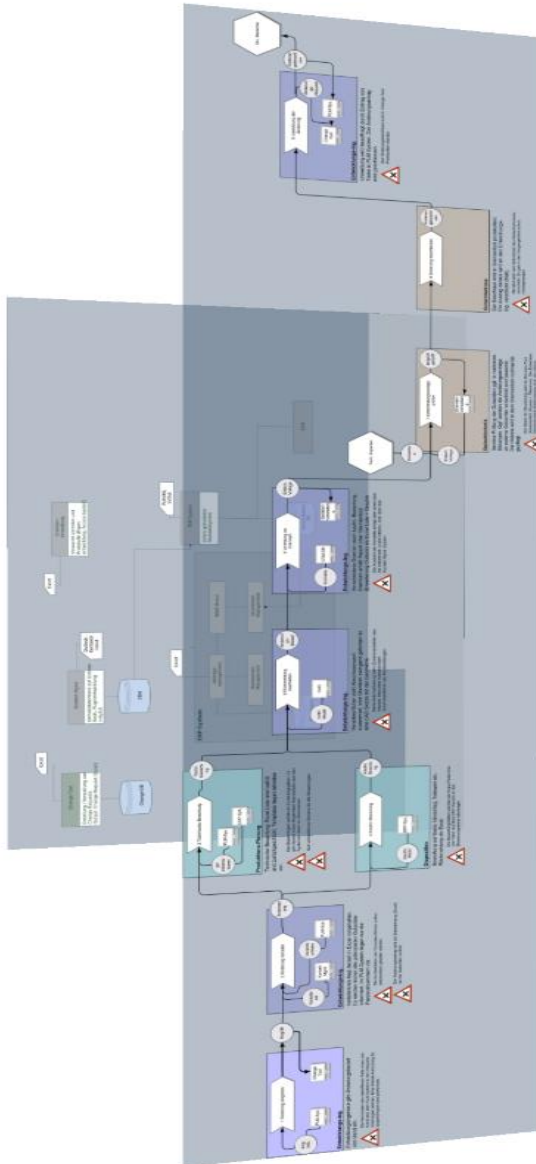
**Abbildung 36:** Schematische Darstellung von räumlicher Anordnung von Modellen, (Quelle: Herter u. a., 2013, S. 812)

Bei der simultanen Darstellung von mehreren Modellen werden verschiedene Sichtweisen zusammengeführt. Diese müssen bei der gemeinsamen Visualisierung unterscheidbar dargestellt werden. Außerdem sollen die Inter-Modellrelationen eindeutig dargestellt werden, damit sie nicht mit internen Relationen verwechselt werden können. Mehrere Sichtweisen gemeinsam darzustellen und die Beziehungen zwischen den Sichtweisen zu visualisieren erfordert semantische Konstrukte, die bei der Darstellung von einzelnen konzeptionellen Modellen nicht eingesetzt wurden, um eine eindeutige Zuordnung von Semantik zur graphischen Repräsentation zu erhalten. Die Tiefe als visuelle Variable wird eingesetzt, um eine Unterscheidbarkeit von Modellen zu erreichen und damit die Inter-Modellrelationen abzugrenzen. Bei der simultanen Darstellung von mehreren Modellen werden damit verschiedene Sichtweisen zusammengeführt und unterscheidbar dargestellt.

Zur Unterscheidbarkeit der Inter-Modellrelationen werden diese nicht auf der Zeichenebene der Modelle dargestellt, sondern verlaufen in der Tiefe des Rau-

mes. Das erfordert, dass die Modelle nicht auf einer gemeinsamen virtuellen Zeichenebene dargestellt werden, da die räumliche Komponente fehlt. In der Computergraphik wird dabei von einer 2.5 D Darstellung gesprochen (Teyseyre, Campo, 2009: S. 88). Es ist also erforderlich, die Modelle mit ihren Zeichenebenen tiefenversetzt anzuordnen, damit die Beziehungen zwischen den Modellen im Raum dargestellt werden können und die räumliche Tiefe für die Darstellung von Inter-Modellrelationen nutzbar wird.

Die folgende Graphik zeigt den Ausschnitt eines in OMEGA modellierter Geschäftsprozess im Vordergrund, sowie eine mit einer freien Notation gezeichnete Systemlandschaft. Die jeweiligen Modelle sind im Anhang aufgeführt (Abb. 56, Abb. 57).



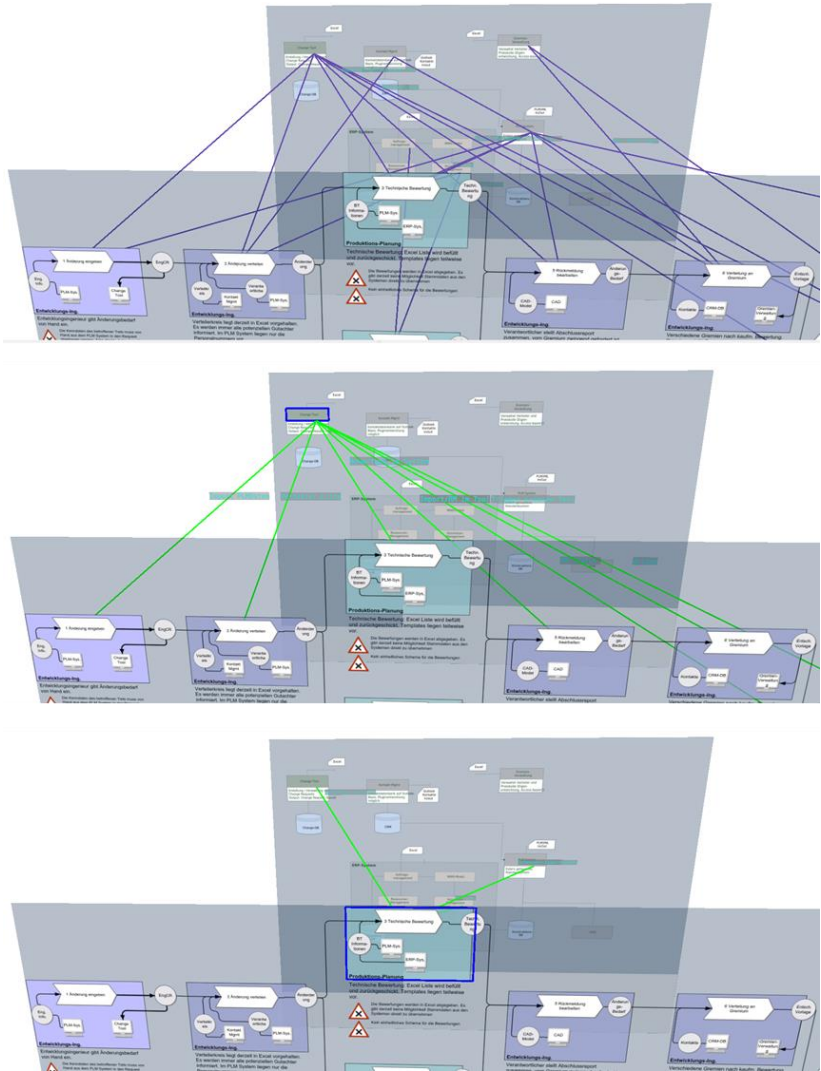
**Abbildung 37:** Zeichenebenen im Informationsraum, (Quelle: Eigene Darstellung)

Letztendlich wird der Raum, in dem die Zeichenebenen angeordnet sind, Teil der Visualisierung. Ein visueller „Informationsraum“ (Nonaka, Konno, 1998: S. 40 f.) entsteht. Dabei werden weder die Modelle, noch die Zeichenebene modifiziert. Das bezieht sich auf die verwendeten Geometrien und die Anordnung der Entitäten mit allen visuellen Variablen. Für Anwender ist eine Wiedererkennbarkeit der Modelldarstellungen daher gegeben. Der Benutzer kann den Raum virtuell betreten und durch Navigation und Blickrichtung einzelne Modelle fokussieren. Trotz der optischen Abgrenzung der Modelle werden sie von dem gemeinsamen Darstellungsraum zusammengehalten. Sie sind stets einzeln betrachtbar und können unmittelbar durch Navigation wieder in den Vordergrund geholt werden. Dabei müssen keine Darstellungsfenster gewechselt werden, was die Orientierung des Benutzers verbessern sollte (Woods, Watts, 1997: S. 620). Die Modelle sind innerhalb des virtuellen Raumes an einem festen Ort angebracht. Daher kann der räumliche Orientierungssinn genutzt werden, um Suchzeiten bei der Neuorientierung zu verringern (Woods, Watts, 1997: S. 641 f.). Da die Modelle nicht verändert werden, erhält der Benutzer ein vertrautes Bild, wenn er den visuellen Informationsraum das Modell direkt betrachtet. Die Zusammenhänge zwischen den Modellen sind explizit durch die in der Tiefe verlaufenden Inter-Modellrelationen dargestellt. Durch Navigation in den Räumen zwischen der Modelle, können die Inter-Modellrelationen im Detail betrachtet und analysiert werden.

### **5.4.5 Dilemma der visuellen Komplexität**

Die visuelle Komplexität ist durch die Anzahl an dargestellten Informationen bestimmt (Judelman, 2004: S. 71). Die Darstellung von mehreren Modelle inklusive dazwischen verlaufenden Beziehungen, ist geradezu kontraproduktiv für den Aspekt einer verringerten visuellen Komplexität. Dies ist jedoch der Preis für den zusätzlichen Informationsgehalt dieser Darstellungsvariante. Dieser Herausforderung wird durch die Implementierung des Shneidermann'schem „Mandras“ (Shneiderman, 1996b: S. 337) für Visualisierungen begegnet. Durch einen Mechanismus können ausgewählte Inter-Modellrelationen fokussiert werden. Der Benutzer kann ein graphisch dargestelltes Element in der Visualisierung anklicken, woraufhin lediglich diejenigen Inter-Modellrelationen angezeigt werden, die das entsprechende Element verbinden. In der prototypischen Implementierung wird dabei nicht unterschieden, ob die Relation zum Element inführen, oder von diesem Element ausgehen. Diese Umsetzung folgt dem

Paradigma, dass das markierte Element Gegenstand einer detaillierteren Untersuchung („*details on demand*“) (ebd.) ist. Es werden alle Inter-Modellrelationen, die sich auf dieses Element beziehen, hervorgehoben und die anderen ausgeblendet. Mit dieser Implementierung ist das Mantra erfüllt. Der Benutzer kann nach Bedarf die Details zu einem Untersuchungsgegenstand nach Bedarf auswählen. Die visuelle Komplexität durch die Darstellung aller Inter-Modellrelationen wird reduziert, wie die folgende Graphik verdeutlicht. Die Farbe der Linie nach der Auswahl dient lediglich der Hervorhebung des Auswahlmodus. Damit ist für den Anwender offensichtlich, dass es sich um eine selektierte Darstellung handelt. Nach der Selektion kann der Benutzer in der 3D-Szene navigieren und jede Perspektive einnehmen. Durch einen Klick auf eine der Zeichenflächen kann die Auswahl aufgehoben und sämtliche Inter-Modellrelationen angezeigt werden.



**Abbildung 38:** Filter-Mechanismus der Inter-Modellrelationen, (Quelle: Eigene Darstellung)

## 5.4.6 Überdeckung der Modelle

Die Modelle werden auf einer planaren Ebene dargestellt und damit die Zeichenebene nachgebildet. Je nach Betrachtungswinkel, den der Anwender frei wählen kann, sind die Zeichenebenen hintereinander angeordnet. Um die Modelle simultan sichtbar zu machen, müssen die Zeichenebenen transparent sein, da ansonsten die Modelle vollständig überdeckt sind. Weiterhin sind Relationen zwischen den Modellen, die nach hinten in die Tiefe gehen, bei ausgefüllten Zeichenebenen nicht sichtbar.

Nach Evaluierung im Rahmen eines Workshops zur praktischen Evaluierung (vgl. Kap. 5.1) wurden verschiedene Abstufungen der Transparenz bewertet. Dabei hat sich ein semitransparenter Hintergrund für die Zeichenebenen der Modelle als geeignet erwiesen. Damit sind zum einen die Inter-Modellrelationen sichtbar und gleichzeitig sind hintereinander liegende Modelle visuell unterscheidbar.

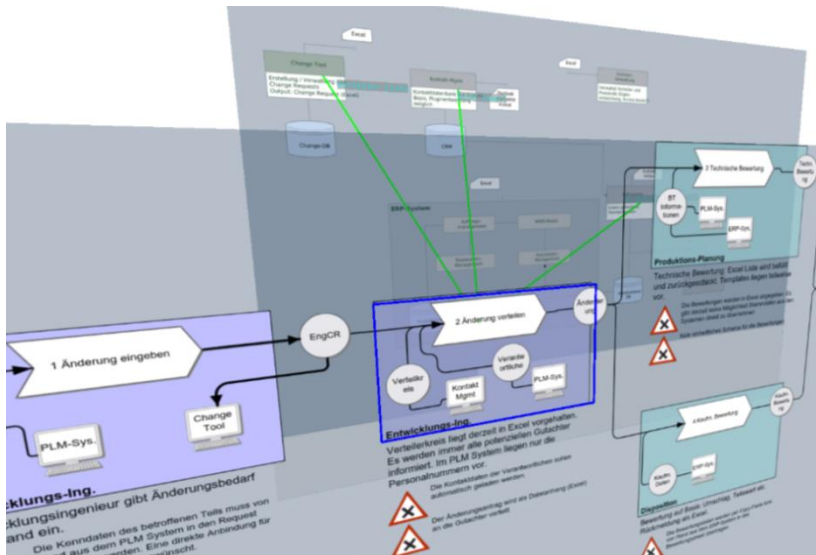


Abbildung 39: Semitransparente Zeichenebene, (Quelle: Eigene Darstellung)

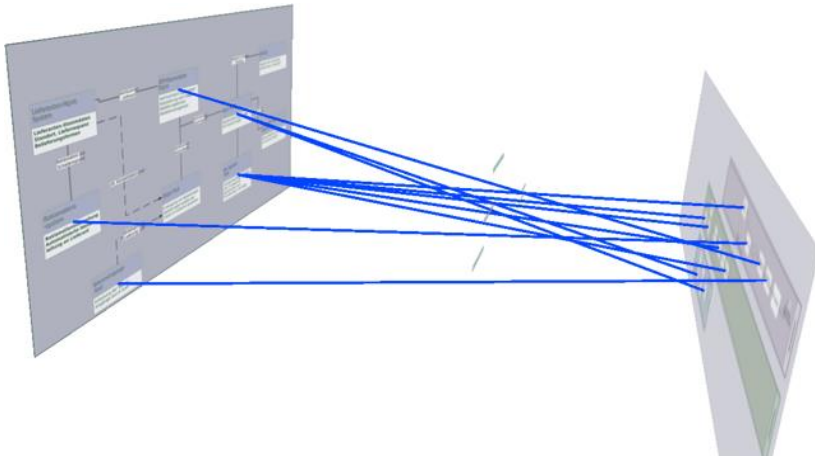


### 5.4.7 Darstellungsvarianten von Zeichenebenen

Neben der planaren Darstellung auf einer zweidimensionalen Zeichenebene kann eine zylindrische Zeichenebene eingesetzt werden, wie bei der Visionsskizze in (Abb. 1) dargestellt. Das Konzept der gebogenen Zeichenfläche verspricht eine durchaus ansprechende Visualisierung. Jedoch wird aufgrund der Krümmung der Zeichenebene der darstellbare Ausschnitt des Modells reduziert. Das Keyhole- Problem wird damit zwangsläufig verstärkt (Woods, Watts, 1997: S. 619), da der darstellbare Ausschnitt des Modells reduziert wird, wenn der Radius des Zylinders zu klein gewählt wird. Dagegen ist bei einem großen Radius die Krümmung der Zeichenebene kaum wahrnehmbar und damit der Nutzen der zylindrischen Zeichenebene nur begrenzt gegeben. Aus diesen Gründen wird die Darstellung auf einer zylindrischen Projektionsfläche verworfen. Die räumliche Anordnung der zweidimensionalen Zeichenebenen hat sich als die beste Lösung herausgestellt, was im Rahmen der praktischen Evaluierung bestätigt wurde (vgl. Kap. 6.1.2).

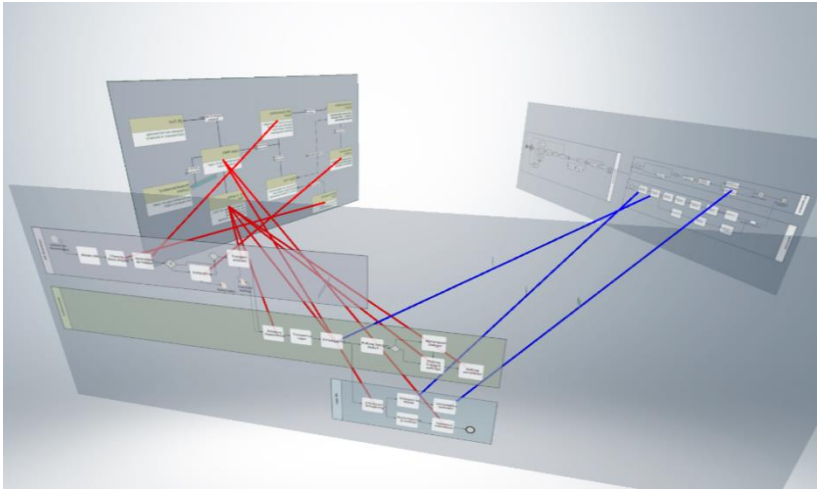
### 5.4.8 Darstellung der Inter-Modell Relationen

Die Anordnung der Modelle im Informationsraum bietet nun eine neue Möglichkeit, die Relationen zwischen den Modellen unterscheidbar darzustellen. Während die internen Relationen auf ihrer Zeichenebene dargestellt werden, da sie Bestandteil des Modells sind, verlaufen die Inter-Modellrelationen außerhalb der Zeichenebenen im Informationsraum. Sie verbinden nach den in Kap. 4.2 entwickelten Regeln Entitäten zwischen Modellen. Die Inter-Modellrelationen verlassen also die Zeichenebene des Modells mit dem Startpunkt und führen durch den Informationsraum zu dem Modell der Zielentität in einem weiteren Modell. Allein dadurch sind diese besonderen Relationen eindeutig unterscheidbar.



**Abbildung 40:** Inter-Modellrelationen zwischen Modellen, (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Inter-Modellrelationen werden damit durch die visuelle Variable „Tiefe“ repräsentiert. Zusätzlich zum räumlichen Verlauf ist hier Farbe und Stärke als zusätzliche Variable verwendet, um damit eine Hervorhebung zu erwirken. Der Einsatz dieser zusätzlichen visuellen Variablen ist jedoch lediglich als Ergänzung zu betrachten vgl. Kap. 5.4.7.1. Das Ziel einer eindeutigen Unterscheidung zwischen den internen und den externen Relationen wird damit erreicht. Die übergreifenden Relationen werden damit von den einzelnen Modellen visuell entkoppelt, damit eine Verwechslung zu internen Relationen ausgeschlossen wird.



**Abbildung 41:** Inter-Modellrelationen im Informationsraum,  
(Quelle: Eigene Darstellung)

Durch die in der Tiefe des Informationsraumes verlaufen Verbindungen lässt sich die Besonderheit der Relationen darstellen und gleichzeitig von der etablierten Darstellung der Linie unterscheiden. Dadurch wird ein „Construct Overload“ (Moody, 2009a: S. 759) verhindert, bei dem visuelle Variablen für unterschiedliche semantische Konstrukte eingesetzt werden. Außerdem ist dieser Ansatz besonders flexibel hinsichtlich des Hinzufügens von Modellen mit dedizierter Notation. Linientypen mit gestrichelter oder gepunkteter Form können in den Modellen beliebig verwendet werden. Übergreifende Relationen sind stets eindeutig durch ihren räumlichen Verlauf unterscheidbar.

#### 5.4.8.1 Hervorhebung von Relationen

Eine weitere Möglichkeit der Differenzierung wäre die Verwendung von Farben, um die Verbindungslinien unterscheidbar zu machen. Wie in den dargestellten Beispielen können die Linien zur Unterscheidung eingefärbt werden. Die Farbe als einziges Merkmal zur Unterscheidung ist aber nicht ausreichend. Dagegen spricht die geringe Fläche der Linie, die als Farbträger zu Verfügung steht. Nach Ware soll bei Verwendung des Gestaltungsmittels Farbe eine möglichst große Fläche abgedeckt sein, um die Unterscheidbarkeit zu fördern (Ware, 2004:

S. 125). Weiterhin ist es erforderlich einen hohen Kontrast zu schaffen. Das ist notwendig, da bei der Notation von Linien keine großflächige Geometrien notiert werden. Hierdurch sind die Möglichkeiten von komplementären Farbkombinationen durchaus beschränkt. Außerdem wird empfohlen, nur eine begrenzte Anzahl an Farben in einer graphischen Darstellung zu verwenden (Ware, 2004: S. 134). Daher ist Farbe und Linienstärke, wie in (Abb. 29) dargestellt, als zusätzliches Hilfsmittel für die Unterscheidung der Inter-Modellrelationen zu betrachten.

#### **5.4.8.2 Benennung der Relationen**

Neben der klaren Unterscheidbarkeit von den internen Relationen bietet die Darstellung der übergreifenden Relationen die Möglichkeit, eine Annotation oder Benennung darzustellen, ohne die Zeichenebene eines Modells zu verwenden. Damit wird verdeutlicht, dass die Benennung der übergreifenden Relation nicht integraler Bestandteil eines Modells, sondern der übergreifenden Inter-Modellrelation zugehörig ist. Ein dargestelltes Modell wird also nicht durch Angabe der Relationsbezeichnung verändert. Wie in Kap. 5.3.1 erläutert, können für die übergreifenden Relationen keine standardisierten Relationstypen (Bezeichner) eingesetzt werden, da sie auf Basis gemeinsamer innerer Eigenschaften von Entitäten von Modellierern definiert werden. Daher wird die Benennung durch die gemeinsame Relation erstellt, die sich aufgrund der Semantik in Form der gemeinsamen Property ergibt.

Um Überdeckungen durch die Relationstypen zu reduzieren, dürfen die Annotationen keine größere Fläche zwischen den Modellen einnehmen. Ansonsten werden dahinter dargestellte Modellausschnitte überdeckt und die Zielpunkte der Relationen sind nicht direkt sichtbar. Außerdem besteht das Risiko, dass bei einer frontalen Perspektive die Annotationen und das dahinterliegende Modell nicht mehr getrennt wahrgenommen werden. Wenn sie als ein Modell wahrgenommen werden, dann ist das Ziel der Darstellung verfehlt. Die Darstellung des Modells wird optisch verfälscht, da die Annotationen als Teil des dahinterliegenden Modells interpretiert werden. Daher werden die Annotationen auf einem transparenten Hintergrund dargestellt. Damit ist eine klare Unterscheidbarkeit zu dem dahinter liegenden Modell gegeben. Die visuelle Variable „Form“ wird für die Annotation nur dezent eingesetzt. Durch die Transparenz der Annotation tritt die Form als gestalterisches Mittel in den Hintergrund und wird in der Gesamtdarstellung nicht mehrfach verwendet. Die Unterscheidbarkeit ist bei diesem besonderen Konzept gefördert.

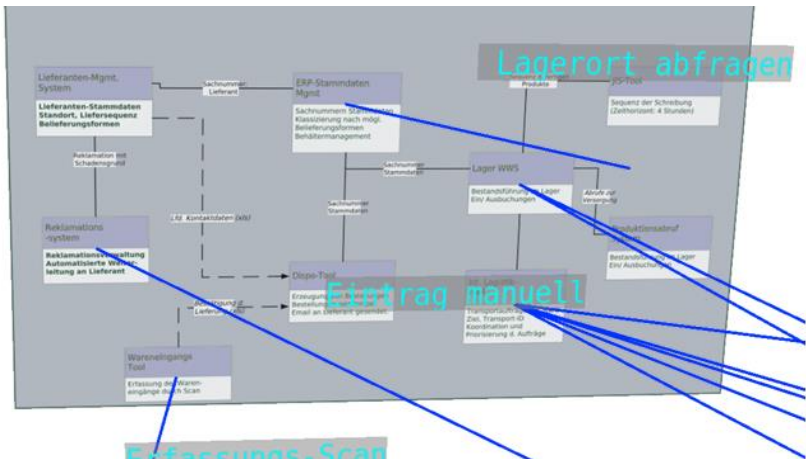


Abbildung 42: Benennung der Annotationen, (Quelle: Eigene Darstellung)

### 5.4.8.3 Stereoskopische Darstellung

Bei einer dreidimensionalen Darstellung von Modellen liegt es nahe, ein auf diese Art der Darstellung optimiertes Ausgabemedium für die Visualisierung einzusetzen. Durch die Verbreitung von stereoskopiefähigen Ausgabegeräten und der damit geschaffenen Durchdringung des Konsummarktes, kann bald eine gewisse Vertrautheit von Anwendern der Methode mit dieser Technologie erwartet werden<sup>7</sup>. Der primäre Einsatzzweck von stereoskopischen Darstellungen ist die Erzeugung von Immersion, dem Eintauchen in die dargestellte Szene (Loomis u. a., 1999: S. 558 f.). Die vorgestellte Methode fokussiert explizit die Visualisierung von abstrakten Sachverhalten. Daher ist durch den Immersionsgrad, der durch die Stereoskopie erzeugt werden kann, nur ein geringer Zuwachs zur Verbesserung des Verständnisses zu erwarten.

<sup>7</sup> Im ersten Halbjahr 2016 werden verschiedene Virtual Reality Brillen, sogenannte Head Mounted Displays im Consumer Sektor verfügbar. (vgl. Oculus Rift, <https://www.oculus.com/en-us/>, HTC Vive <https://www.htcvive.com/de/>, abgerufen am 22.03.2016)

Der Informationsraum mit den darin enthaltenen Modellen ist per se ein rein gedankliches Konstrukt. Immersion im Sinne der virtuellen Realität beschreibt das Gefühl der Präsenz des Nutzers in der dargestellten Szene (Pausch u. a., 1997: S. 13). Der abstrakte Charakter der Szene verhindert jedoch das Entstehen von Immersion beim Benutzer und damit das Gefühl, dass er Teil dieser Szene ist. Die stereoskopische Darstellung des Modells ist ebenfalls Teil der praktischen Evaluierung s. (Kap. 6.1.3).

Dennoch ist die dreidimensionale Darstellung ein zentraler Aspekt um:

- Modelle voneinander zu unterscheiden,
- die Relationen zwischen den Modellen zu differenzieren.

Deshalb kann eine stereoskopische Darstellung durchaus einen Beitrag zur Lesbarkeit und Differenzierbarkeit der Modelle und Relationen leisten. Die stereoskopische Darstellung unterstützt die Unterscheidbarkeit der Modelle und der in die Tiefe verlaufende Relationen. Die Anzeigemöglichkeiten ist durch das Ausgabemedium gegeben, da sie die dreidimensionale Anordnung nativ darstellen kann. Das Ziel ist also nicht, durch eine stereoskopische Darstellung das Eintauchen in die dargestellte Szene zu fördern, sondern die Wahrnehmbarkeit der Tiefe als visuelles Mittel zu unterstützen. Die Darstellung der Modellszene auf stereoskopischen Ausgabegeräten wurde im Rahmen der Evaluierung untersucht. Dabei wurde eine dreidimensionale Szene auf einem stereoskopiefähigen TV-Gerät dargestellt. Die Ergebnisse der Evaluierung sind in (Kap. 6.1.2) beschrieben.

## 5.5 Technische Umsetzung des Prototyps

Um die entwickelte Methode zu evaluieren, wird eine prototypische Implementierung zur integrierten Darstellung von konzeptionellen Modellen vorgenommen. Eine Plattform muss die Möglichkeit bieten, Modelle verschiedener Disziplinen zu einzulesen und zu verarbeiten und gemeinsam mit modellübergreifenden Relationen darzustellen. Die Plattform soll auch für Fachexperten bedienbar sein, die nicht über tiefgreifende IT-Erfahrungen verfügen. Damit soll die Evaluierung mit Fachexperten aus dem Bereich der Ingenieurwissenschaften durchführbar sein, ohne die Ergebnisse durch die außergewöhnliche Darstellung und verwendete Technologien zu verfälschen.

Der Prototyp hat den Charakter eines Demonstrators für das Ergebnis der Methode: Eine integrierte Darstellung von Modellen in einer 3D Umgebung. Die Interaktionsmöglichkeiten für Benutzer sind also zunächst begrenzt auf die Navigation in der Szene. Interaktivität im Sinne der Bearbeitung der dargestellten Szene steht nicht im Vordergrund, soll jedoch mit geringem Weiterentwicklungsaufwand möglich sein. Beispiele für Interaktion ist die Modifikation der dargestellten Szene, wie bspw. das Erstellen oder Manipulieren von Inter-Modellrelationen. Die geringere Priorisierung von interaktiven Merkmalen wird darin begründet, dass zunächst der Nutzen der integrierten Darstellung evaluiert werden soll. Die primären Anwender dieser Methode sind vermutlich nur wenig vertraut mit der 3D Darstellung von abstrakten Modellen. Um in der Evaluierungsphase die Konzentration der Anwender auf die Darstellung zu lenken, wird im ersten Schritt die Interaktion auf die Navigation in der dargestellten Szenerie reduziert. Weitere Interaktionsmöglichkeiten sollen in der fortführenden Ergebnisverwertung der Arbeit untersucht werden. Damit soll im Ausblick die Plattform für routiniertere Anwender einen Mehrwert generieren.

Sowohl im Rahmen der Evaluierung, als auch bei potenziellen produktiven Einsatzszenarien, sind Laborumgebungen zu vermeiden: Die Plattform soll in der Arbeitsumgebung der Anwender zu Verfügung stehen und ohne besonderen Aufwand einsatzbereit sein. Daher soll die Plattform nur geringe Anforderungen an die Hardware Infrastruktur stellen. Gängige Laptops und Desktop-PCs sollen ausreichen, um die Plattform zu starten und die Szene darzustellen. Eine stereoskopische Darstellung soll möglich sein, sofern eine hochtechnologische Virtual Reality Umgebung gegeben ist. Dies bezieht sich sowohl auf die Hardware (CAVE oder Powerwalls), als auch auf spezielle Software wie bspw. Techviz XXL<sup>8</sup> oder die IC:IDO<sup>9</sup> Plattform. Eine stereoskopische Darstellung der Modelle soll auf preisgünstigen Ausgabegeräten umsetzbar, jedoch nicht zwangsläufig erforderlich sein. In Besprechungsräumen und an Arbeitsplätzen sind derzeit nur bedingt 3D TV bzw. 3D Monitore vorhanden, welche diesen Anwendungsfall zur Darstellung der Plattform abdecken können.

---

<sup>8</sup> Treiberlösung zur stereoskopischen Darstellung (vgl. [techviz.net](http://techviz.net))

<sup>9</sup> Softwarelösung für Virtual Reality Anwendungen mit Fokus auf Ingenieursdisziplinen

### 5.5.1 Technische Plattform

Für die Darstellung der Modelle wird PolyVR eingesetzt, ein Virtual Reality Framework, das besonders flexibel ist, was den Import von Modellen und die Konfiguration der Darstellung angeht. Diese Open-Source Implementierung wurde am Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen des Karlsruher Instituts für Technologie entwickelt. Die Plattform zur Darstellung von dreidimensionalen Szenarien ist darauf ausgelegt, in verschiedenen Hardware-Szenarien mit geringem Konfigurationsaufwand einsetzbar zu sein. Für die prototypische Evaluierung wurde die PolyVR Plattform für den Einsatz auf einem handelsüblichen 3D TV konfiguriert. Mit geringem Konfigurationsaufwand ist PolyVR in immersiven Virtual Reality Plattformen einsatzfähig. Intern nutzt PolyVR einen Szenegraphen zum Aufbau von 3D Szenen. Der Szenegraph ist eine Datenstruktur auf Basis eines gerichteten mathematischen Graphen, der besonders geeignet ist, dreidimensionale Szenen IT-technisch zu verarbeiten (Reiners, 2002: S. 1). Dabei werden Geometrieprimitive wie bspw. Dreiecke oder Geometrien in den Knoten der Datenstruktur verwaltet. Zusätzliche Knoten beinhalten Lage- und Darstellungsinformationen, wie bspw. Beleuchtungs- und Blickwinkelinformationen. Damit sind komplexe 3D Geometrien darstellbar, auch Texturierung mit Bildern sowie Animationen (bewegende Objekte) können innerhalb des Szenegraphen von PolyVR umgesetzt werden.

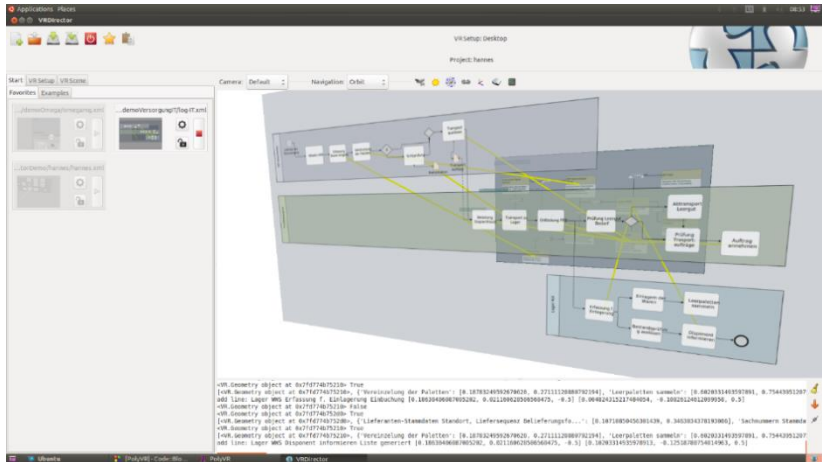
Die unterstützten Geräte umfassen klassische Interaktionsgeräte wie bspw. Maus und Tastatur, sowie spezialisierte Eingabegeräte für Virtual Reality Anwendungen. Beispiele hierfür sind kommerzielle Interaktionsgeräte der Firma A.R.T.<sup>10</sup> sowie Leap Motion<sup>11</sup>. PolyVR wird insbesondere für Forschungszwecke kontinuierlich weiterentwickelt, daher ist eine Erweiterung des Funktionsumfangs, sowie eine steigende Anzahl unterstützter Geräten, zu erwarten.

---

<sup>10</sup> Advanced Realtime Tracking, <http://www.ar-tracking.com> abgerufen am 12.08.2015

<sup>11</sup> Leapmotion, <https://www.leapmotion.com> abgerufen am 13.08.2015





**Abbildung 43:** PolyVR VRDirektor, Autoren- und Darstellungssystem,  
(Quelle: PolyVR, Version vom 10.09.2015)

PolyVR ist zum gegenwärtigen Stand (2015) für den Betrieb in einer Linux-Umgebung ausgelegt. Auch wenn dieses Betriebssystem in Arbeitsplatzumgebungen in industriellen Unternehmen nur ein Nischendasein führt, ist es dennoch relativ unkompliziert möglich, dieses Betriebssystem parallel zu Windowsumgebungen zu installieren.

Zur Konfiguration und Anpassungen von Szenen stellt PolyVR eine Python<sup>12</sup> Skripting Umgebung zu Verfügung. Mit dieser objektorientierten Programmiersprache können mit wenigen Zeilen Quellcode Verarbeitungsroutinen erstellt werden. Dazu gehören Import- und Exportfunktionen sowie Verarbeitungsroutinen für Parameter und Geometriedaten. Die Möglichkeiten dieser Programmierschnittstelle sind vielfältig und reichen von Datenverarbeitungsroutinen bis hin zum automatisierten Erstellen und Modifizieren von Geometrien, die in der Szene visualisiert werden (Häfner, 2014: S. 3). Weiterhin sind Interaktionsme-

<sup>12</sup> Python.org abgerufen am 13.01.2016

chanismen verschiedener Eingabegeräte umsetzbar. Damit kann die Benutzerschnittstelle an unterschiedliche Visualisierungsumgebungen angepasst werden.

Die Plattform PolyVR bietet Importfunktionalitäten für Dateien verschiedener Formate. Durch diese Funktionalität können die Modelle in dedizierten Anwendungen (Autorensystemen) der entsprechenden Fachdisziplinen erstellt werden. Dies bietet den Experten eine vertraute Umgebung für die Erstellung der Modelle. Der generelle Anspruch, den Nutzern der Plattform Umgewöhnungen zu ersparen ist durch die Möglichkeit gegeben, etablierte Autorensysteme einzusetzen. Darin erstellte Modelle können in ein allgemeines Format exportiert und in die Visualisierungsplattform eingelesen werden.

Zusammenfassend ist der Aufwand für die Modellierung minimiert, da ggf. bestehende Modelle für die integrierte Modellvisualisierung übernommen werden können. Zudem können etablierte Autorensysteme zur Modellerstellung verwendet werden. Außerdem sind die Modelle in ihrer Darstellung identisch mit der Visualisierung im Autorensystem, sofern die entsprechende Exportfunktionalität vorhanden ist.

Voraussetzung für den Export aus Autorensystemen sowie für den Import in PolyVR, ist ein verfügbares Dateiformat, dessen Aufbau lesbar bzw. spezifiziert ist, damit eine entsprechende Importfunktionalität in PolyVR implementiert werden kann. Das gewählte Dateiformat soll von möglichst vielen Anwendungen unterstützt werden. Jedoch ist aufgrund des Anspruchs eine Vielzahl von disziplinspezifischen Modellen und damit auch verschiedene Autorensysteme zu unterstützen, kein Datenformat identifiziert, das sowohl Notation als auch die zugrundeliegende Semantik transportieren kann. Der Visualisierungsaspekt und damit zusammenhängend die Wiedererkennbarkeit der Graphik, wird für die Anwendungsszenarien höher bewertet als semantische Aspekte, sofern die Entitäten in dem übertragenen Format automatisiert identifizierbar sind. Das ist durch den Einsatz des Dateiformats Scalable Vector Graphics Format (SVG) gegeben (Dengler u. a., 2011). Dieses Format ist ein XML Derivat, in dem Vektorgraphiken und dazugehörige Metadaten codiert werden (Dengler u. a., 2011: S. 29). Ein Vorteil ist die Lesbarkeit des Formats, da es wie in XML üblich als besonders formatierte Textdatei vorliegt. Der folgende gekürzte Auszug aus einem in SVG gespeicherten Prozessmodell erläutert den Sachverhalt:

```

<title>Aufgabe.218</title>
  <desc>Transport auslösen</desc>
  <g id="shape219-478" v:mID="219"v:groupContext="shape"
    v:layerMember="0">
    <title>Tabelle.219</title>
    <rect x="0" y="560.593" width="70.8661" height="56.6929" rx="5.66929"
      ry="5.66929" class="st12"/>
  </g>
  <g id="group220-480" v:mID="220"
    v:groupContext="group" v:layerMember="0">
    <title>Tabelle.220</title>
  <g id="shape221-481" v:mID="221"
    v:groupContext="shape" v:layerMember="0">
    <title>Tabelle.221</title>
    <rect x="0" y="560.593" width="70.8661" height="56.6929" rx="2.12598"
      ry="2.12598" class="st17"/>
  </g>

```

Hier ist die Definition einer Aktivität eines BPMN Modells beschrieben. Es enthält Anweisungen zur Darstellung, die in gängigen Web-Browsern und entsprechenden Editoren interpretiert und als Graphik dargestellt werden. Daneben enthält die SVG Datei Identifizierungsmerkmale für das Element im Ursprungsmodell. Das kann über den enthaltenen Text (hier: „Transport auslösen“) umgesetzt werden, sofern die Bezeichnung eindeutig ist. Ist das nicht der Fall, kann durch die Kombination von Position im Diagramm (x, y- Werte), dem Titel sowie der Bezeichnung das Element eindeutig identifiziert werden. Über diese Schlüssel können Elemente in Modellen innerhalb der Visualisierungsplattform weiter verarbeitet werden. Für die prototypische Implementierung der Anwendungsfälle wird jedoch lediglich die Bezeichnung der Entitäten verwendet.

Die Verarbeitung im Rahmen der prototypischen Implementierung beinhaltet den Aufbau von Relationen zwischen den Modellen. Damit können dann innerhalb der PolyVR Plattform die Elemente durch Linien als graphische Repräsentation der Inter-Modellrelationen verbunden werden.

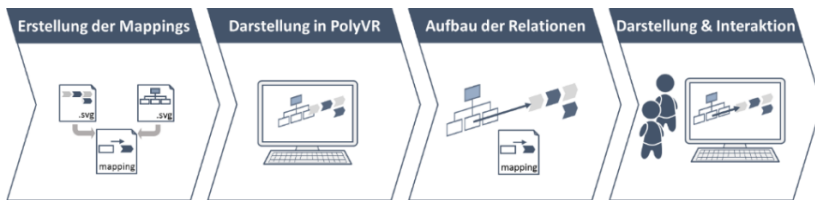
Ihrem Wesen nach ist für den Aufbau dieser Relationen:

- das Startelement,
- das Zielelement, sowie
- der Typ der Relation

erforderlich. In den SVG Dateien sind die Elemente über einen einfachen bzw. zusammengesetzten Schlüssel identifizierbar. Dadurch können die Start- und Zielpunkte der Relation gesetzt werden.

## 5.5.2 Implementierung der Visualisierungsplattform

In diesem Abschnitt wird die technische Umsetzung der integrierten Visualisierung beschrieben. Die Dokumentation wird prozessorientiert vorgenommen. Anhand der Schritte, von der Erstellung der Modelle hin zur integrierten Darstellung mit Inter-Modellrelationen, werden die dafür notwendigen Verarbeitungsschritte und die eingesetzten Softwaremodule beschrieben. Die folgende Graphik verdeutlicht den Aufbau der Beschreibung mit den zentralen Prozessschritten.



**Abbildung 44:** Verarbeitungsschritte zur integrierten Modellvisualisierung,  
(Quelle: Eigene Darstellung)

Ausgangspunkt der Beschreibung sind disziplinspezifische Modelle, die aus Autorensystemen in SVG Dateien exportiert wurden. Die Modellierung kann in einem beliebigen Autorensystem durchgeführt werden, das über eine Exportfunktionalität verfügt. Da ein beliebiges Autorensystem eingesetzt werden kann, wird die Modellierung in dieser technischen Betrachtung nicht weiter ausgeführt und vorliegende SVG Dateien vorausgesetzt. Im ersten Schritt müssen die graphischen Elemente in den Dateien identifiziert werden, damit die Quellen und Ziele der disziplinübergreifenden Relationen aufgebaut werden. SVG ist in einem Textdokument codiert, das die enthaltenen Informationen in einer Baumstruktur organisiert. Die Knoten sind durch „Tags“ identifizierbar, die als strukturierende Elemente fungieren. Diese Tags können durch den Anwender oder, wie im vorliegenden Fall, durch die Spezifikation vorgegeben werden. Die XML Elementen-

te können geschachtelt werden, um somit zusammengehörige Abschnitte auszubilden. Inhalte werden innerhalb eines Tag-Paares (ein öffnendes und schließendes Tag) transportiert.

Das Beispiel zeigt die Inhalte eines XML Elements „desc“ „<desc>Transport auslösen</desc>“. Zusätzlich können einzelne Tags über Attribute modifiziert werden. Beim Einlesen der SVG Dateien wird durch den Inhaltsbaum iteriert, die entsprechenden Stellen in der Datei gesucht und die Inhalte ausgelesen. In den eingesetzten SVG Dateien können die Blöcke eines Elements identifiziert und daraus die Koordinaten und die Inhalte der Elemente ausgelesen werden. Für die prototypische Implementierung wird die Dateistruktur gelesen und die relevanten Inhalte extrahiert. Dazu gehören:

- die Bezeichner der Elemente,
- die x- und y- Koordinaten in der graphischen Darstellung, welche in der SVG Datei definiert sind.

Die Koordinaten können bei dem SVG Dateiformat auch als relative Koordinaten bzw. Transformationen erfasst werden. Transformationen sind in diesem Falle Verschiebungen auf der Zeichenebene. Die Art und Weise der Erfassung von Koordinaten ist durch den jeweiligen SVG Exportmechanismus vorgegeben. In jedem Falle können jedoch die Koordinaten umgewandelt werden. Koordinaten müssen für jedes graphische Element jedoch gegeben sein, was die Spezifikation vorschreibt. Die tatsächliche Darstellung kann dann durch Cascading Style Sheets (CSS) vorgenommen werden (Dengler u. a., 2011: S. 138 ff.).

Wie erwähnt, wird für die prototypische Implementierung lediglich die Beschriftung des Elements zur Identifikation des Modellelements verwendet. Das setzt voraus, dass die Bezeichnung des Elements innerhalb eines Modells eindeutig ist. In industriellen Szenarien kann dies nicht vorausgesetzt werden, insbesondere bei Produktstrukturen und Prozessmodellen, bei denen Elemente mit gleichem Namen mehrfach im Modell verwendet werden können.

Diese Einschränkung ist jedoch lediglich einer vereinfachten prototypischen Implementierung geschuldet und wird bei der Evaluierung durch Ordnungsnummern der Elemente als Teil der Bezeichnung umgangen.

### 5.5.2.1 Speichern der Relationen

Für die weitere Verarbeitung werden die Bezeichnungen als Identifizierungsmerkmale, sowohl für die SVG-Geometrien, als auch für die Erstellung der Inter-Modellrelationen in eine Datenstruktur der Visualisierungsplattform PolyVR überführt. Aus den Datenstrukturen werden einfache Mappingdateien abgeleitet, welche die relevanten Informationen für Inter-Modellrelationen enthalten. Für jedes Modell wird eine eigene Mappingdatei erstellt, welche die Beziehungen zwischen einem weiteren verbundenen Modell beschreibt.

Die modellübergreifenden Relationen werden in den Mappingdateien gespeichert und gemeinsam mit den SVG Dateien der Modelle in das Darstellungsmodul eingelesen. Dafür wird jedoch kein XML verwendet, sondern ein einfaches Textdokument, in dem je Zeile eine Relation mit Startelement, Zielelement und dem Relationstyp beschrieben wird. Als relevante Kriterien für die Relation dienen Start- und Endpunkt sowie der Relationstyp. Verschachtelungen sind von Inter-Modellrelationen sind nicht vorgesehen und verstoßen auch gegen die semantischen Grundlagen, nach denen nur bestimmte BWW-Ontologie Konzepte (Things und Transformation) verbunden werden dürfen (vgl. Kap. 5.2.1).

Um die einzelnen Elemente zu unterscheiden, wird ein Sonderzeichen verwendet, das nicht als Bestandteil eines Modellelements verwendet wird. Für die prototypische Implementierung wird das „\$“ Zeichen verwendet. Die Datei hat damit folgendes Format:

- Startelement\$Zielelement\$Relationstyp

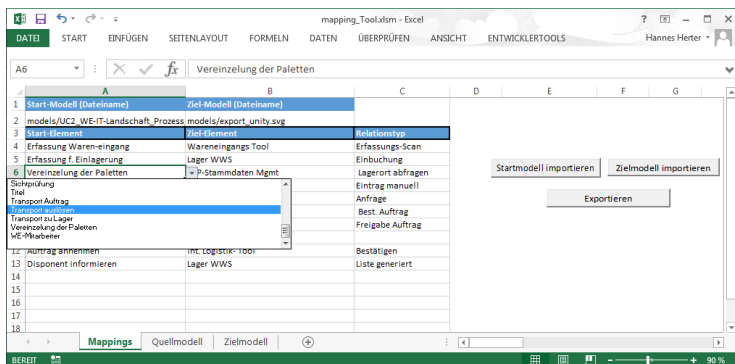
Grundsätzlich ist es zulässig, mehr als zwei Modelle in einer gemeinsamen Darstellung aufzunehmen. Außerdem sind die Relationen gerichtet, führen also von Start zu Zielpunkt. Die Relationsdatei beinhaltet also zusätzlich Informationen über das Startmodell und das Zielmodell. Diese werden durch den Dateinamen der jeweiligen SVG Datei festgehalten. Die erste Zeile der Datei ist demnach:

- Startmodell.svg\$Zielmodell.svg

Die Relationen werden zeilenweise in diese Textdatei geschrieben. Dieses Format hat verschiedene Vorteile. Zunächst können nahezu beliebige Autorensysteme zur Erstellung der Datei eingesetzt werden. Die Relationsdatei wird außerhalb der PolyVR Umgebung erstellt und in dem Datenverzeichnis der

Anwendung abgelegt. Von dort aus werden beim Starten der Szenerie die Relationsinhalte geladen und die graphischen Repräsentationen der übergreifenden Relationen dynamisch aufgebaut. Die PolyVR Umgebung zeigt sich bei dieser Aufgabe als besonders performant und erledigt diese auf einem zum Zeitpunkt der Arbeit Laptop der Business Klasse (Stand 2015) in wenigen Millisekunden bei ca. 20 Relationen.

Für die Textdateien mit Inter-Modellrelation wird ein Excel-basiertes Werkzeug zu Verfügung gestellt. Mit Hilfe eines Excel-Macros wird eine graphische Oberfläche zur Erstellung der Relationsdatei zu Verfügung gestellt. Der Einsatz eines Office-basierten Werkzeuges steht auf dem ersten Blick in einem Widerspruch zu der neuartigen Darstellung von Modellen und deren Beziehungen. Allerdings soll durch den Einsatz dieses Werkzeuges herausgestellt werden, dass die hier vorgestellte Methode auch mit etablierten Werkzeugen verwendet werden kann. Damit wird der wissenschaftliche und ingenieurtechnische Beitrag dieser Methode in einen anwendungsnahen Kontext gesetzt. Excel als universelles Werkzeug ist in der industriellen Praxis weit verbreitet. Daher wurde bewusst diese Standardanwendung gewählt, um die Inter-Modellrelationen zu erstellen. Dem Modellierer wird eine vertraute werkzeugtechnische Unterstützung gegeben. Damit sind alle notwendigen Autorentools bereits etabliert und die Plattform kann in industriellen Szenarien unmittelbar eingesetzt werden.



**Abbildung 45:** Werkzeug zum Erstellen der Modell- Relations-Datei,\*  
(Quelle: Eigene Darstellung)

Mit diesem officebasierten Werkzeug können die Inter-Modellrelationen durch einfache Auswahl der Start- und Zielpunkte der Relation erstellt werden. Die Auswahl kann über ein Drop-Down Menü oder durch eine Texteingabe vorgenommen werden. Damit die Intermodell-Relationen korrekt dargestellt werden, ist es entscheidend, dass die Start- und Zielelemente korrekt in der Mappingdatei abgespeichert sind.

Über die Importfunktionalität lassen sich Textdateien einlesen, welche die Elemente der einzelnen Modelle enthalten. Diese werden bei einem initialen Laden in PolyVR erstellt. Deren Inhalte bilden die Grundlage für die Excel Funktion, die möglichen Wertebereiche einer Excel Zelle zu begrenzen. Damit wird die korrekte Syntax der Relationen hinsichtlich der Bezeichner sichergestellt. Die Eingabe des Relationstyps kann als Freitext eingegeben werden. Nach Erstellung der Relationen in dem Werkzeug kann die Relationsdatei direkt exportiert und ohne weitere Bearbeitung in die PolyVR Umgebung eingelesen werden.

### 5.5.2.2 Aufbau der Modelldarstellung

PolyVR nutzt intern eine Graphenstruktur, um die dargestellte Szenerie zu organisieren. Für die Darstellung von Modellen sind in erster Linie Geometrie-Objekte relevant, die mit ihrer Position, Größe und Form in dem Szenegraphen organisiert sind. Daneben sind Beleuchtungsinformationen, Transformationen als Positionierungsinformationen sowie der Blickwinkel des Betrachters als „Kamera-Objekt“ enthalten. In den Szenegraphen können jedoch keine Bilder als alleinstehende Objekte eingefügt werden. Allerdings können sie als Textur auf geometrische Objekte gelegt werden. Um nun die Modelle in den Szenegraphen zu überführen, gibt es zwei Ansätze:

- Zum einen können die in den SVG Dateien erfassten Modellzeichnungen in Szenegraph-Geometrien überführt werden.
- Alternativ können im Szenegraphen geometrische Objekte angelegt werden und die graphischen Repräsentationen der Modelle als Texturen auf die Szenegraph-Geometrien gelegt werden.

Bei der simultanen Darstellung von mehreren Modellen wurde in Kap. 5.4.4 die Kohäsion zwischen der Zeichenebene und dem Modell beschrieben. Diese bleibt auch bei der integrierten Darstellung von mehreren Modellen erhalten. Weiterhin besteht der Anspruch, die Darstellung des Modells zu erhalten, um die

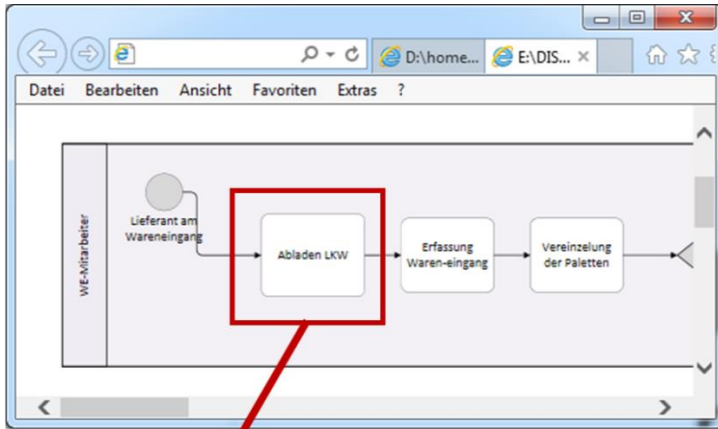


Wiedererkennbarkeit zu fördern. Daher soll das Modell bei der graphischen Aufbereitung nicht modifiziert werden.

Aufgrund dieser Randbedingungen wird der Ansatz für die Aufbereitung gewählt, eine Geometrie zu erzeugen und dem Szenegraphen zuzuordnen. Auf diese Geometrie wird das Modell als Textur gelegt. Anschließend wird diese texturierte Geometrie in der dreidimensionalen Szenerie platziert und in dem Ausgabemedium dargestellt. Durch diesen Verarbeitungsschritt müssen die einzelnen Elemente der Modelle nicht verändert werden, da das Modell als Ganzes einem einzigen geometrischen Objekt zugeordnet ist.

Nach Einlesen der SVG-Datei mit der graphischen Repräsentation eines Modells wird zunächst die Größe der gesamten Modelldarstellung ausgelesen und eine Geometrie mit identischer Größe erstellt. Dann erfolgt die Zuordnung der Geometrie zur Modelltextur. Die texturierte Geometrie wird dem Szenegraphen zugeordnet und im Ausgabemedium dargestellt. Nun gilt es die graphische Darstellung der Inter-Modellrelationen aufzubauen.

Innerhalb der SVG-Datei ist die Position des Elements als x- und y- Koordinaten auf der Zeichenebene gegeben. Zusätzlich ist der Bezeichner bzw. kombinierte Schlüssel aus Index und Bezeichner enthalten. Damit können die Linien als graphische Repräsentation der Inter-Modellrelationen zwischen den Zeichenebenen aufgebaut und visualisiert werden. Die Koordinaten der Zeichenebene sind in der Szene von PolyVR ebenfalls bekannt. Die lokalen Koordinaten der Zeichenebene werden auf die globalen Koordinaten der gesamten Szene umgerechnet. Die folgende Graphik erläutert die Darstellungsvorschrift in SVG.



```

<title>... </title>
<desc>Abladen LKW</desc>
  <g id="shape15-100" v:mID="15" v:groupContext="shape" ...
    <title>Tabelle.15</title>
    <rect x="125" y="778.348" width="79.0729" height="63.2" ...
  </g>

```

**Abbildung 46:** Graphische Darstellung und SVG-Code mit Bezeichner und Geometrie, (Quelle: Eigene Darstellung)

Durch einfache Vektoraddition der x- und y-Werte, die in der SVG Datei definiert sind, lässt sich die Position des Modellelements vom lokalen Koordinatensystem der Textur auf das globale Koordinatensystem der PolyVR Szene umrechnen. Aus den Koordinaten der Zeichenebene können nun durch die Verarbeitungslogik die Tiefenkoordinaten bestimmt werden. Damit sind alle notwendigen Koordinaten vorhanden, um die Position eines Modell-Elements in der Szene zu bestimmen. Daraus abgeleitet können nun die Inter-Modellrelationen gezeichnet werden, da die Positionen der Modellelemente im Darstellungsraum bekannt sind und diese auch über die Schlüssel, gebildet aus den Elementbezeichnungen, identifiziert werden.



technisch eine primitive Geometrie (Linie) darstellt, lässt sich das PolyVR-interne Modul zur Annotation dieser Linie verwenden. Der Bezeichner wird aus der Relationsdatei ausgelesen und gemeinsam mit dem entsprechenden Linienobjekt und Darstellungsparametern, wie bspw. Farbe, Schriftgröße und Darstellungsposition, auf der Linie an das Annotationsmodul übergeben. Entsprechend visualisiert das Annotationsmodul nun die Relationsbezeichnung in der Szene.

## 5.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die vorgestellte Methode zur Unterstützung der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit liefert einen durchgängigen Ansatz für eine Visualisierung von vernetzten Modellen in der Produktentwicklung. Dabei wird ein modellbasierter Ansatz verfolgt, wie er in verschiedenen relevanten Beiträgen zu Industrie 4.0 sowie dem Model Based Systems Engineering proklamiert wird. Auf Grundlage der etablierten und anerkannten Bunge-Wand-Weber Ontologie wird ein Verfahren vorgestellt, anhand dem Elemente aus unterschiedlichen konzeptionellen Modellen miteinander verbunden werden können. Dabei werden die Regeln der Ontologie auf den besonderen Fall angewendet, mehrere Modelle miteinander zu vernetzen. Auf dieser Grundlage der semantisch fundierten Relationen wird im Rahmen der wissenschaftlichen Disziplin der Informationsvisualisierung eine Methode zur graphischen Darstellung dieser Beziehungen entwickelt. In dieser Disziplin wird als gängiges Mittel zur Beschreibung von graphischen Modellen die Theorie der visuellen Variablen eingesetzt. Diese beschreiben gestalterische Konzepte, mit denen ein semantisches Modell visualisiert wird.

Klassischerweise werden konzeptionelle Modelle in einer zweidimensionalen Darstellung visualisiert. Um nun mehrere Modelle sowie deren Relationen gemeinsam zu visualisieren, wird eine neue visuelle Variable eingeführt. Der Vorrat der etablierten visuellen Variablen wird um das Element der „Tiefe“ erweitert. Damit ist ein gestalterisches Mittel gefunden, um sowohl mehrere Modelle, als auch dazwischenliegende Relationen darzustellen. Damit sind die Modelle in einer gemeinsamen Darstellung vereint. Mit Hilfe der Anordnung der Modelle in der Tiefe des Raumes, verlaufen die übergreifenden Relationen im Raum zwischen den einzelnen Modellen. Das Ergebnis sind eindeutig unterscheidbare Inter-Modellrelationen, die Abhängigkeiten zwischen Modellen werden sichtbar. Auf dieser Grundlage können Experten verschiedener Disziplinen kommunizieren. Da nun die Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen

Fachdisziplinen auf Basis der Modelle sichtbar sind, wird die Zeit zum Herstellen eines gemeinsamen Verständnisses verkürzt und der Wissensaustausch kann unverzüglich starten.

Die Methode wird durch eine prototypische Implementierung abgerundet, welche die Modellerstellung sowie das Erstellen der modellübergreifenden Relationen in dedizierten Autorenwerkzeugen ermöglicht. Die Implementierung ermöglicht damit die Darstellung der vernetzten Modelle in bekanntem Layout. Die Modelle werden direkt von den Autorenwerkzeugen importiert und haben daher eine identische graphische Darstellung wie in den Autorenwerkzeugen. Die Wiedererkennbarkeit ist gegeben und die Einarbeitungszeit in die neue Visualisierung ist minimiert. Die Visualisierung erfüllt etablierte heuristische Kriterien zur Bewertung der Qualität von graphischen Darstellungen. Die vorgestellte Methode verbindet somit fundierte theoretische Grundlagen aus dem Bereich der Modelltheorie und Informationsvisualisierung mit einer Umsetzung, die ohne weitere Anpassungen in industriellen Szenarien eingesetzt werden kann. Die Relevanz der Methode sowie deren Einsatzfähigkeit in der industriellen Praxis, wurden bei der Evaluierung in einer mittelständischen Unternehmensberatung erwiesen. Diese praktische Evaluierung wird im folgenden Kapitel beschrieben.



# 6 Evaluierung der Methode

Die Evaluierung wird sowohl empirisch, als auch auf Basis der theoretischen Grundlage vorgenommen. Zunächst wird auf die empirische Evaluierung eingegangen, die im Rahmen eines Workshops bei einer Unternehmensberatung durchgeführt wurde. Die theoretische Evaluierung wird gegen die in Kap. 4.4.1 vorgestellten Heuristiken sowie die in Kap. 4.4.2 vorgestellten „Physics of Notation“ von D. Moody (Moody, 2009a) durchgeführt und untermauern die empirisch gewonnenen Erkenntnisse. Den Abschluss dieses Kapitels bilden weitere potenzielle Anwendungsszenarien aus der Workshopdiskussion sowie den tangierten Disziplinen und Ansätzen, die im Rahmen der Untersuchungen zu dieser Arbeit betrachtet wurden.

## 6.1 Praktische Evaluation

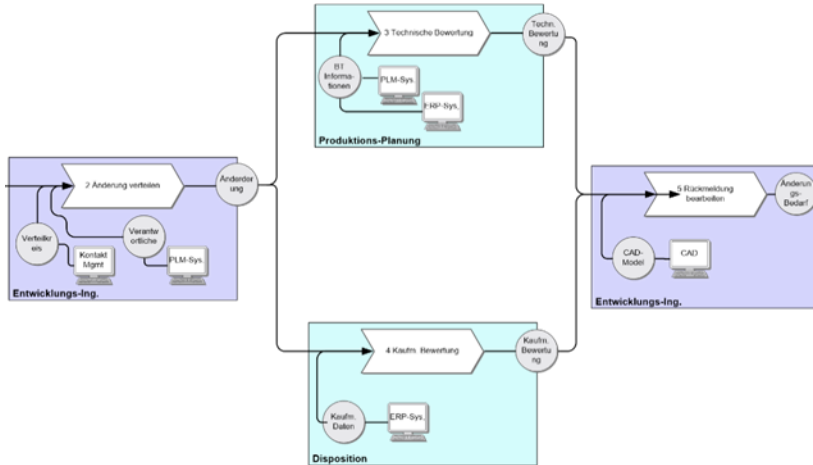
Im Rahmen eines Workshops bei der mittelständischen Unternehmensberatung wurde ein Anwendungsfall, der an ein abgeschlossenes Beratungsprojekt angelehnt ist, vorgestellt. Drauf hin wurde den Teilnehmern eine Aufgabe gestellt, die sie mit Unterstützung der eingeführten Methode lösen sollten. Im Anschluss wurden im Rahmen einer moderierten Diskussion die Rückmeldungen anhand Leitfragen aufgenommen. Zum Abschluss des Evaluierungsworkshops wurden gemeinsam weitere potenzielle Szenarien entwickelt, in denen die Methode einen Nutzen bieten kann. Einige dieser Anwendungsfälle wurden im Nachgang prototypisch umgesetzt und sind in Kap. 6.3 beschrieben. Die zusätzlichen Szenarien wurden mit Workshop Teilnehmern, sowie den Vorständen der Unternehmensberatung im Nachgang in bilateralen Gesprächen vertieft und diskutiert. Die Ergebnisse der Diskussionen sind in die Evaluierung der Methode eingeflossen.

### 6.1.1 Prozessoptimierung unter Berücksichtigung der IT-Systemlandschaft

In diesem Szenario soll ein IT-gestützter Geschäftsprozess eingeführt werden, in dem Änderungen an physischen Bauteilen eines produzierenden Unternehmens durchgeführt werden sollen. Der Prozess beschreibt die Abläufe vom Stellen des

Änderungsantrags (Engineering Change) über eine technische und kaufmännische Evaluierung durch Experten bis zur Entscheidung und Freigabe in entsprechenden Gremien. Anschließend wird der freigegebene Änderungsantrag an den Antragsteller zurückgeschickt, der dann die Durchführung der Änderung veranlasst. Die folgende Graphik stellt den Änderungsprozess, notiert in der OMEGA Methode, dar (Fahrwinkel, 1995). Die Wahl von OMEGA als Prozessmodellierungssprache wurde getroffen, da diese Methode bei der Untersuchungsgruppe der praktischen Evaluierung die meistverwendete Methode ist. Damit wird der Heuristik „Speak the Users Language“ (vgl. Kap. 4.4.1) entsprochen. Da diese Methode standardisiert und industriell eingesetzt wird, ist die Praxisrelevanz der Modelle als gegeben gesehen. Weitere umgesetzte Demonstratoren nutzen BPMN zur Beschreibung von Prozessen, wie in vorherigen Graphiken dargestellt (vgl. Abb. 43).

Die folgende Graphik zeigt einen Ausschnitt aus dem Geschäftsprozess, der zur Evaluierung eingesetzt wurde. Der vollständige Prozess ist im Anhang aufgenommen.

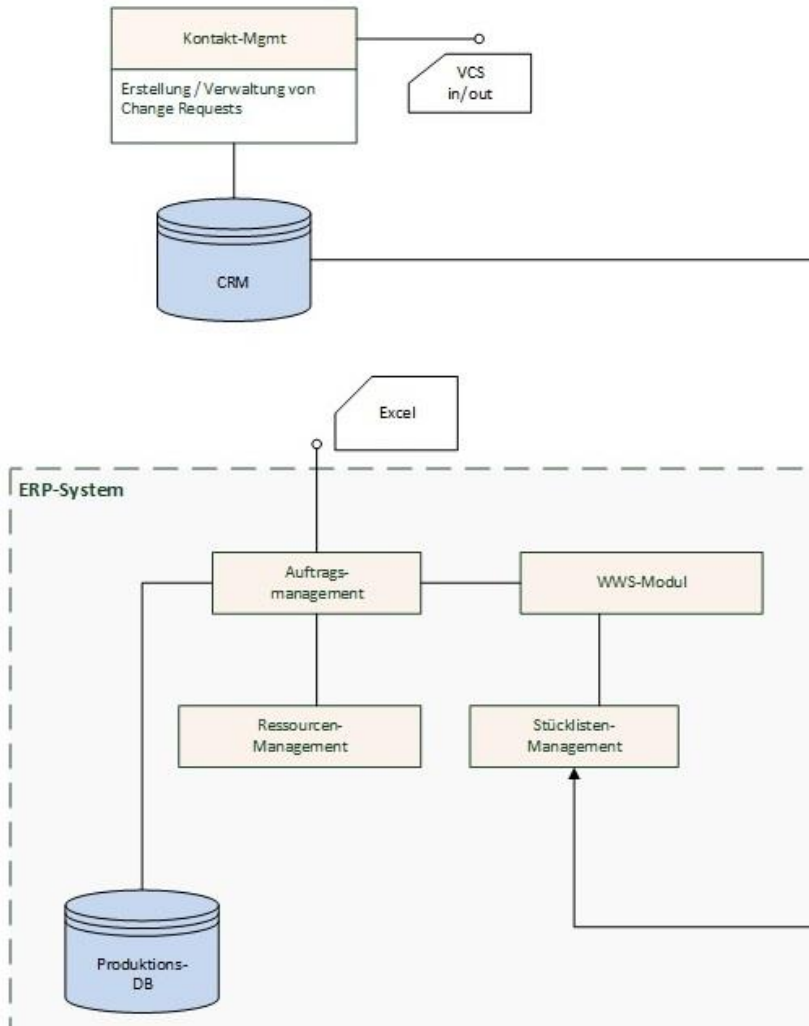


**Abbildung 48:** Auszug aus dem Prozessmodell für den Anwendungsfall Änderungsmanagement, (Quelle: Eigene Darstellung)



Die Prozessschritte werden durch verschiedene IT-Anwendungen gestützt, wie bereits aus dem Prozessmodell gelesen werden kann. Die OMEGA Methode bietet ein dediziertes Symbol zur Darstellung von IT Systemen, die in dem Prozessschritt eingesetzt werden. Jedoch können Anforderungen an diese IT Systeme mit OMEGA Sprachmitteln nicht unmittelbar zugeordnet werden. Ebenso wenig können Schnittstellen zwischen den Systemen modelliert werden. Für eine detaillierte Sollprozessmodellierung bzw. Evaluierung, ob der dargestellte Prozess in seiner Form IT-gestützt durchgeführt werden kann, ist eine genauere Betrachtung der Systeme erforderlich. Dies gilt insbesondere für die Schnittstellen zwischen den IT-Werkzeugen. Daher wird als zweites Modell eine IT-Landkarte erstellt, welche die IT-Schnittstellen und mögliche Austauschformate mit darstellt.

Die Notation der IT-Landkarte wurde nicht nach einer spezifizierten Notation aufgebaut. Stattdessen wird, entsprechend gängiger Ansätze, eine Notation mit Rechtecken und Verbindungslinien zur Abbildung der zentralen Elemente gewählt (Moody, 2009a: S. 764; Narayanan, Hübscher, 1998: S. 89; Petre, 1995; Tuft, 1998: S. 62). Die Beziehungen zwischen den Systemen, die durch Rechtecke symbolisiert sind, werden durch Linien dargestellt. Diese Linien werden für IT-technische Verbindungen eingesetzt. Zusätzlich sind in dem Modell Schnittstellen, symbolisiert durch das UML-Interface Symbol, aufgenommen (Linie mit Kreis). Diese sind im Rahmen der Aufgabenstellung zur Evaluierung von Bedeutung, die eine Systemintegration entsprechend optimierter Prozesse zum Inhalt hat. Für die Visualisierung der Systemlandkarte hätte durchaus auch UML eingesetzt werden können. Allerdings bietet diese, obwohl sie sehr breit aufgestellt ist, keine dedizierte Notation für die Modellierung von Zusammenhängen zwischen Systemen. Komponentendiagramme könnten dafür eingesetzt werden, jedoch wäre der visuelle Unterschied zu der gewählten Notation marginal. Die folgende Graphik zeigt die Systemlandschaft für den IT-gestützten Änderungsprozess. Das im Rahmen der Aufgabenstellung einzuführende Werkzeug „Change Tool“ ist bereits mit aufgenommen. Die Schnittstelle ist jedoch noch nicht spezifiziert, was durch das ein „?“ in den Beschreibungsfeldern markiert ist. Im Rahmen der Evaluierung soll u.a. ein geeignetes Datenaustauschformat für diese Schnittstelle spezifiziert werden.



**Abbildung 49:** Anwendungsfall: Prozess-IT-Integration, Ausschnitt der IT-Landschaft, (Quelle: Eigene Darstellung)

## 6.1.2 Aufgabenstellung der Evaluierung

Das vorgestellte Szenario wurde im Rahmen eines Workshops bei der UNITY AG evaluiert. Die UNITY AG ist eine mittelständische Unternehmensberatung mit insgesamt 13 Standorten weltweit. Zu den Kunden gehören sowohl klein- und mittelständische Unternehmen, als auch Großkonzerne. Die insgesamt 213 Mitarbeiter (Stand Oktober 2015) gliedern sich in die Competence Center, wobei eine Vielzahl der Projekte übergreifend besetzt wird.

- Produktion und Digitale Planung (PDP): Beratungsleistung für Logistik, Produktionstechnik sowie dem Einsatz digitaler Werkzeuge in der Produktion
- Innovation und Produktentwicklung (IPE): Beratungsleistung für die Organisation der Produktentwicklung. Darin enthalten ist die Strategieentwicklung, von frühen Phasen bis hin zur Planung von Produktionsprozessen
- Digitalisierung und IT (DIT): Beratungsleistung zu IT-Werkzeugeinsatz in Unternehmen und Unternehmensnetzwerken.

Der Evaluierungsworkshop wurde am 02.10.2015 am Standort Stuttgart durchgeführt. Dabei waren 17 Unternehmensberater und -innen aller Competence Center anwesend. Die Altersverteilung war zwischen 21 und 48 Jahre mit einem Durchschnitt von 28 Jahren. Die Berufserfahrung der Teilnehmer war breit gestreut, von Praktikanten bis zu Partnern mit über 20 Jahren Beratungserfahrung. Die Evaluierung wurde durchgeführt, indem ein Szenario vorgestellt wurde, das durch die Gruppe bearbeitet werden sollte. Die Probandengruppe wurde nicht aufgeteilt, was einen direkten Vergleich beim Bearbeiten der Aufgabenstellung ermöglicht hätte. Aufgrund der heterogenen Struktur der Gruppe bezüglich dem fachlichem Hintergrund sowie variierender Berufserfahrung, ließe sich ein direkter Vergleich der Probandengruppen nicht herstellen. Erfahrungen Einzelner bei der Bearbeitung von Fragestellungen zur Prozess-Systemintegration, könnten das Evaluierungsergebnis erheblich verfälschen. Weiterhin ist durch die Anzahl der Probanden eine statistische Validität ohnehin nur begrenzt gegeben.

Für die Evaluierung wurde eine Aufgabe gestellt, die zunächst im Charakter eines moderierten Workshops hatte. Diese wurde von den Probanden zunächst ohne Werkzeugunterstützung bearbeitet. Anschließend wurde die Bearbeitung

mit Unterstützung der integrierten Modellvisualisierung durchgeführt. Die Rückmeldungen wurden in einer moderierten Diskussion aufgenommen und zusammengefasst.

### **6.1.2.1 Infrastruktur**

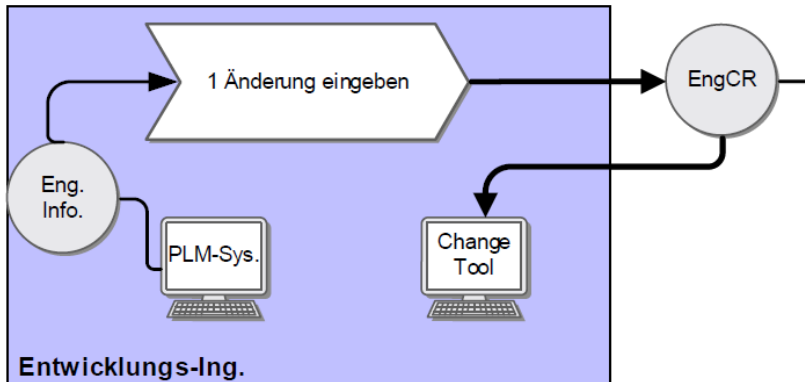
Der Workshop zur Evaluierung der Methode wurde in einem Konferenzraum der Niederlassung Stuttgart durchgeführt. Dafür wurde die prototypische Implementierung der Methode auf einem Projektor dargestellt. Als zusätzliches Darstellungsgerät stand ein 3D-fähiges TV Gerät zu Verfügung. Dieses Ausgabegerät verfügt über eine 102 cm Bilddiagonale, auf der eine passiv stereoskopische Darstellung ausgegeben wird. Die Visualisierung auf diesem Endgerät wurde von den Teilnehmern im Nachgang zu der bearbeiteten Aufgabenstellung praktisch evaluiert.

### **6.1.2.2 Arbeitsaufgabe zur Evaluierung**

Für die Evaluierung wurde zunächst ein Szenario erstellt, das einer Aufgabenstellung im Beratungsprojekt nachempfunden ist:

Das Umfeld der Evaluierung ist eine fiktive mittelständische Firma, die mechanische Bauteile herstellt. Diese beauftragt die UNITY AG zur Optimierung der Prozesse im konstruktiven Änderungsmanagement von Bauteilen. Der Änderungsprozess in der Produktentwicklung soll durch die Einführung eines IT-Werkzeuges verbessert werden.

In dem Szenario wurde als Vorarbeit der Geschäftsprozess zum Änderungsmanagement aufgenommen. Dafür wurde die OMEGA Methode eingesetzt, die bei dieser Art von Projekten ein Standardwerkzeug der UNTIY AG ist. Diese Methode zur Prozessmodellierung bietet die Möglichkeit, sowohl eine Rollenzuordnung im Modell als auch den Informationsfluss mit den verwendeten IT Systemen zu erfassen und in das graphische Modell zu übernehmen. Weiterhin ist die Möglichkeit gegeben, identifizierte Schwachstellen mit eigenen Symbolen direkt in dem Prozessmodell abzubilden. OMEGA verfügt wie in Kap. 3.3.3 beschrieben über eine dedizierte Notation.



Entwicklungsingenieur gibt Änderungsbedarf von Hand ein.



Die Kenndaten des betroffenen Teils muss von Hand aus dem PLM System in den Request übertragen werden. Eine direkte Anbindung für Export/Import wird gewünscht.

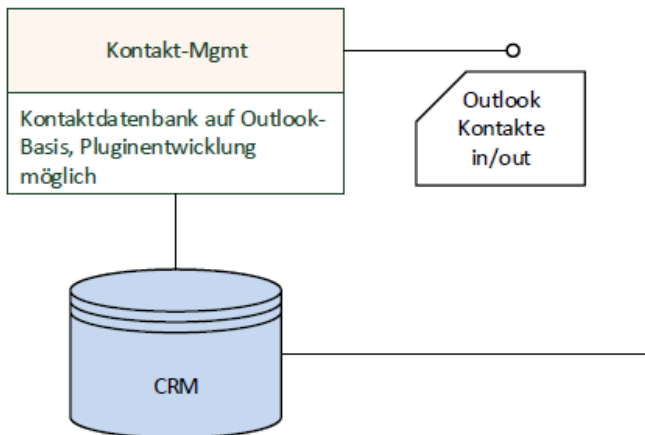
**Abbildung 50:** Beispielprozess aus dem Evaluierungsszenario: Prozessdiagramm, (Quelle: Eigene Darstellung)

Dieser Prozessschritt ist dem Evaluierungsszenario entnommen. Das umgebende Rechteck symbolisiert die Rolle, die den Prozess bearbeitet. In diesem Beispiel ist das die Rolle des Entwicklungsingenieurs, der für die Aufgabe „Änderung eingeben“ verantwortlich ist. Um diese Aktion durchzuführen, benötigt der Ingenieur Informationen. Diese werden in diesem Prozessschritt aus einem PLM System genommen (Computer Symbol mit Bez. „PLM-Sys“). Die Informationen sind als elektronische Informationsobjekte modelliert, was durch Kreise symbolisiert ist. Das Ergebnis des Prozesses ist ein EngCR Informationsobjekt, das zum einen an den folgenden Prozessschritt weitergegeben und gleichzeitig in das IT-System Change Tool abgelegt wird.

Integraler Bestandteil der OMEGA Methode ist die Möglichkeit den Prozessschritt in einem darunter stehenden Prozessschritt textuell zu beschreiben. Weiterhin kann durch ein rotes Dreieck mit „X“ eine Schwachstelle in dem Prozess vermerkt sein. Diese Schwachstellen können während der Modellierung

erkannt, oder im Rahmen der Prozessanalyse mit Interviewtechniken etc. hinzugefügt werden. Innerhalb des Evaluierungsszenarios sollen diese Schwachstellen aufgelöst werden indem - soweit möglich - daraus Anforderungen an die IT-Systeme abgeleitet werden. In diesem Beispiel sollen die Teilnehmer der Evaluierung die IT-Landkarte analysieren und feststellen, ob es die Möglichkeit einer direkten Anbindung des Change-Tools an das PLM System gegeben ist. Dadurch soll ein direkter Im- und Export von Informationen aus dem PLM System in das Change-Tool über Schnittstellen umgesetzt werden.

Zur Vervollständigung der Arbeitsgrundlage wurde eine IT-Landkarte ausgegeben, in welcher die verwendeten IT-Systeme mit ihren Schnittstellen und einer kurzen Beschreibung skizziert werden. Für die IT-Landkarte wurde keine explizite Notation verwendet. Vielmehr werden Rechtecke und Linien zur Darstellung der Systeme und Datenverbindungen eingesetzt. Nach Rücksprache mit mehreren erfahrenen Unternehmensberatern im Rahmen des Evaluierungsworkshops (Berufserfahrung 10+ Jahre in Prozess- und IT-Projekten) ist diese Darstellungsform durchaus realistisch, sowohl bei mittelständischen Unternehmen, als auch in Großkonzernen.



**Abbildung 51:** Beispiel-System aus dem Evaluierungsszenario: IT-Landschaft, (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Aufgabenstellung besteht darin, den Prozess für ein Änderungsmanagement in der Konstruktion zu erstellen. Dafür soll in dieser Firma ein digitales Werkzeug eingeführt werden. Zur Aufnahme der Anforderungen an dieses digitale Werkzeug wird ein Workshop mit dem Ziel organisiert, die Anforderungen an die IT-Systeme zu formulieren. Der Sollprozess wird ausgegeben und die Aufgabe gestellt dessen Umsetzbarkeit in der IT Infrastruktur zu bestimmen. Als Arbeitsergebnis des Workshops wird eine Anforderungsliste an die IT-Systeme gestellt. Diese bildet die Grundlage der Inter-Modellrelationen, mit denen die einzelnen Modelle verbunden werden.

### **6.1.2.3 Durchführung des Versuchs**

Die Aufgabenstellung besteht in der Lösung der Schwachstellen der einzelnen Prozessschritte. Diese erfordern eine Anpassung der IT-Systeme durch die Implementierung zusätzlicher Schnittstellen. Dafür muss zunächst die Umsetzbarkeit der zusätzlichen Schnittstellen analysiert werden. Daraus abgeleitet werden die Anforderungen an die einzelnen Systeme definiert. Ausgangspunkt des Abgleiches sind die notierten Schwachstellen in den Prozessen. Von ihnen ausgehend werden die Anforderungen an die Systeme in der IT-Landschaft formuliert. Damit wird eine prozessorientierte Vorgehensweise verfolgt.

Die Evaluierung wird eingeleitet, indem zunächst einzelne Darstellungen von Prozess und IT-Landkarte auf dem Projektor gezeigt werden. Der Moderator wechselt die Diagramme auf Anfrage der Diskussionsteilnehmer und wählt die gewünschten Detailansichten (Zoom) aus. Daraufhin wird in Diskussion die entsprechende Anforderung formuliert und in einer Liste zusammengetragen. Die Anforderungsliste hat folgendes Format, die vollständige Liste ist im Anhang aufgeführt:

Prozess	Potenzial	Zielsystem	Anforderung
1 Änderung eingeben	Die Kenndaten des betroffenen Teils muss von Hand aus dem PLM System in den Request übertragen werden. Eine direkte Anbindung für Export/Import wird gewünscht.	Change Tool	Import PLMDaten
1 Änderung eingeben	Die Kenndaten des betroffenen Teils muss von Hand aus dem PLM System in den Request übertragen werden. Eine direkte Anbindung für Export/Import wird gewünscht.	PLM System	Export PLM Stammdaten
2 Änderung verteilen	Die Kontaktdaten der Verantwortlichen sollen automatisch geladen werden.	Kontakt-Mgmt	Export Kontaktdaten
2 Änderung verteilen	Der Änderungsantrag wird als Dateianhang (Excel) an die Gutachter verteilt	Change Tool	Excel-Export
2 Änderung verteilen	Die BT-Verantwortliche sollen aus dem PLM System geladen werden	PLM System	BT-Verantwortliche export
3 Technische Bewertung	Die Bewertungen werden in Excel abgegeben. Es gibt derzeit keine Möglichkeit Stammdaten aus den Systemen direkt zu übernehmen	PLM System	Datensatz-Export
3 Technische Bewertung	Kein einheitliches Schema für die Bewertungen	Change Tool	Bewertung im System

**Tabelle 2:** Anforderungsliste an die IT-Landschaft im Evaluierungsszenario (Auszug)

Diese Liste wird parallel auf dem TV Gerät dargestellt und gepflegt. Damit ist sie auch während der Analyse der Diagramme stets präsent.

Mit dieser Vorgehensweise wird initial ein Problembewusstsein geschaffen: Um die Aufgabenstellung zu bearbeiten, müssen die einzelnen Modelle abgeglichen und die Beziehungen erstellt werden. Das erfordert kontinuierliches Wechseln der Ansichten und der Diagramme. Mit dieser Methode werden in einer moderierten Diskussion für die ersten vier Prozessschritte die Anforderungen abgeleitet.

Anschließend erfolgt eine Reflektion über die Vorgehensweise zur Identifikation der IT-Anforderungen. Die Rückmeldungen aus dem Plenum bestätigen die Motivation einer integrierten Darstellung der Modelle:

- Insbesondere der Bedarf an laufendem Wechsel der Diagramme wird als störend empfunden, da jedes Mal eine Neuorientierung in dem angezeigten Diagramm notwendig ist.
- Die Anforderungen sind nicht beschränkt auf ein einzelnes IT-System. Das ist gegeben, wenn mehrere Systeme miteinander verknüpft werden sollen. Das erfordert, neben dem Wechsel der Diagramme, auch die Orientierung innerhalb ei-



ner Ansicht. Aufgrund der Größe der Modelle und einer gut erkennbaren Darstellung ist es nicht möglich, alle Systeme gleichzeitig darzustellen.

- Rückfragen des Moderators über Details zu der entwickelten Relation, sei es auf IT-System oder Prozessseite, konnten in vielen Fällen nicht unmittelbar beantwortet werden. Stattdessen wurde die Darstellung eines bestimmten Diagramms bzw. Ausschnitts erfragt.

#### **6.1.2.4 Anwendung einer integrierten Visualisierung von Modellen**

Im zweiten Teil des Evaluierungsworkshops wird die Methode zur integrierten Visualisierung der Diagramme im Sinne einer Live-Präsentation vorgestellt. Dafür werden zunächst die Methode sowie die zugrundeliegenden Konzepte erläutert. Dabei wird zunächst die gemeinsame Darstellung der Modelle gezeigt und das Konzept der Kohäsion von Modellen und Zeichenebene innerhalb des Informationsraumes erläutert. Dafür wird ein Szenario geladen, in dem die Inter-Modellrelationen nicht dargestellt sind.

Im nächsten Teil der Präsentation werden die Inter-Modellrelationen vorgestellt. Diese sind auf Grundlage von formulierten Anforderungen an die IT-Landschaft (vgl. Abb. 35) vorbereitet. Die Gesamtübersicht der Inter-Modellrelationen ist Grundlage, um das Konzept der Inter-Modellrelationen vorzustellen. Dabei werden in Form einer Demonstration die im ersten Teil des Workshops entwickelten Anforderungen diskutiert und ausgehend von der Prozesssicht analysiert.

Darauf folgt die Ansicht der Relationen eines Prozesses bzw. eines IT Systems aus Detailebene. Dafür werden die Beziehungen aus Prozesssicht an die Systeme der IT-Landkarte formuliert. Umgekehrt wird aus Sicht der Systeme dargelegt, welche Prozessschritte sie unterstützten. Die Visualisierung dieser Relationen dient im Rahmen der Evaluation zur Erläuterung weiterer Anforderungen an die integrierte Darstellung. In dieser Vorstellung werden die Relationen nicht interaktiv entwickelt, sondern präsentiert und dabei deren Umsetzbarkeit im Plenum diskutiert. Damit hatte dieser Teil der Evaluation einen diskursiven Charakter. Um die Methode weiter zu erläutern, wird eine Schwachstelle im Prozess vorgestellt. In dieser Visualisierung wird die Schlussfolgerung erläutert und die daraus abgeleitete Anforderung formuliert. Dazu wird diese Anforderungen hervorgehoben und die Perspektive zur IT-Landkarte gewechselt. Damit

wird in dem interaktiven Arbeitsmodus die Übersicht über die Diagramme, die Relationen sowie das Konzept der Detaillierung als Anwendungsszenario im Workshop dem Plenum präsentiert. Zum Abschluss der Präsentation werden vom Moderator weitere Anwendungsszenarien vorgestellt. Damit soll eine kritische Diskussion des Ansatzes im Plenum über das Anwendungsspektrum der Methode angeregt werden. Im Folgenden werden die vorgestellten Anwendungsfälle erläutert.

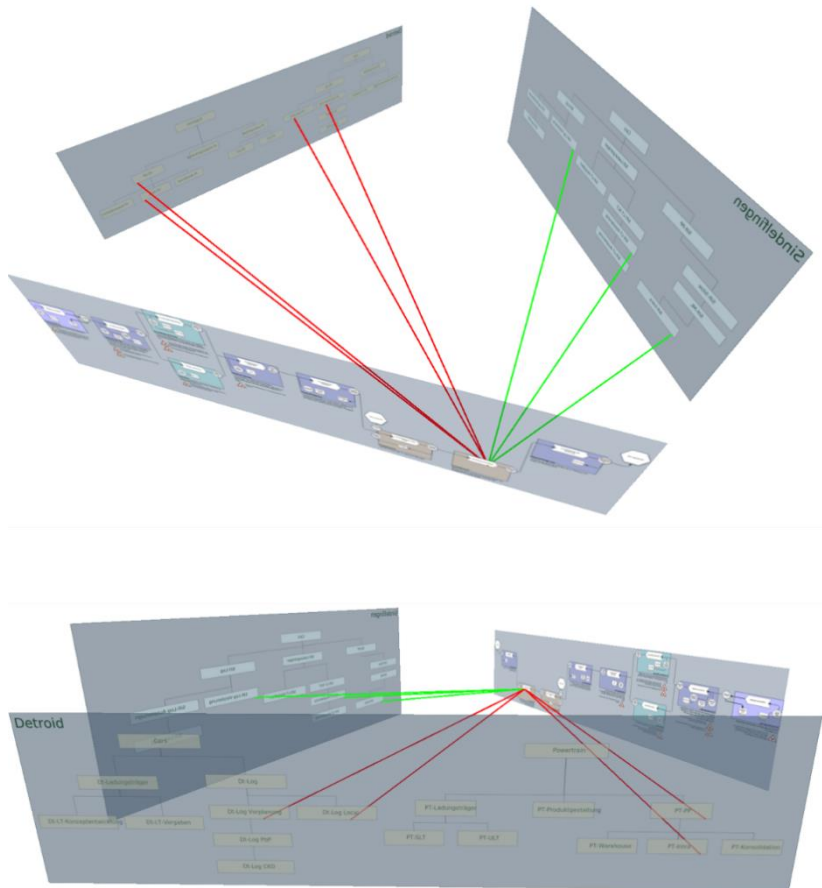
### **6.1.2.5 Einsatzszenarien der Visualisierungsplattform**

Zur Verdeutlichung der Einsatzmöglichkeiten der Plattform werden nach Abschluss des interaktiven Visualisierungsszenarios beispielhaft weitere Anwendungsbereiche der Plattform vorgestellt. Das verfolgte Ziel ist Erkenntnisse zu gewinnen über:

- Darstellung von mehreren Diagrammen
- Navigation und Orientierung im Raum
- Unterschiedliche Darstellungsvarianten der Inter-Modellrelationen (Annotation, Farbgebung)
- Stereoskopische Darstellung der dreidimensionalen Modellvisualisierung

Für die Präsentation weiterer Anwendungsszenarien wurden diese zunächst verbal erläutert und die entsprechenden Modelle in die Visualisierungsplattform geladen. Dabei wurden weitere Szenarien evaluiert:

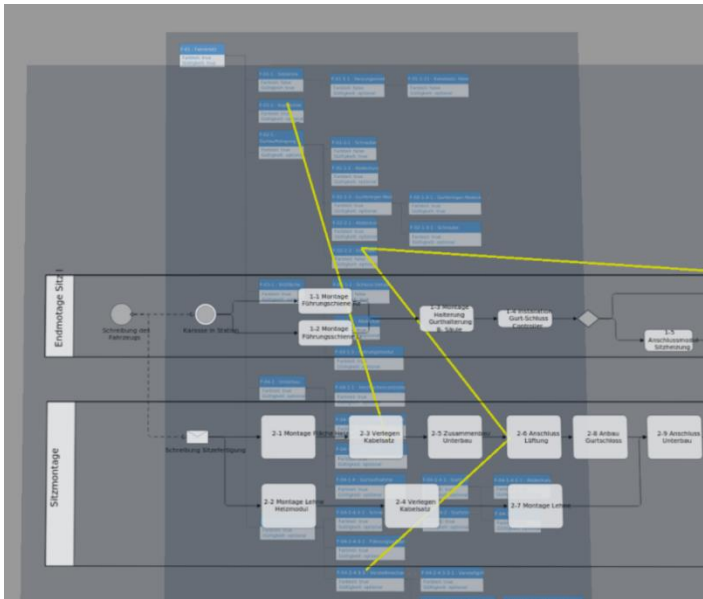
In Szenario zur Darstellung mehrerer Modelle wird ein Prozess beschreiben, der in mehreren Werken umgesetzt werden soll. Dafür wurde der Geschäftsprozess modelliert sowie zwei unterschiedliche Organisationsstrukturen, welche dem Prozessschritt zugeordnet sind. Dieses Szenario ist unmittelbar aus einem vergangenen Beratungsprojekt entnommen und kann daher innerhalb dieser Arbeit nur anonymisiert dargestellt werden.



**Abbildung 52:** Prozess-Organisationszuordnung, (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Rückmeldung zu diesem Anwendungsfall war ausgesprochen positiv. Hierdurch ist die Möglichkeit gegeben, eine Zuordnung zwischen der im Geschäftsprozess modellierten Rolle zu den Organisationen der beiden Werke vorzunehmen. Diese Darstellung vereinfacht, so die Rückmeldungen, die Organisationsentwicklung und deren Strukturierung für einen prozessorientierten Organisationsaufbau.

Als weiteres Beispiel dient ein Szenario, in dem eine Produktstruktur mit einem Produktionsprozess verbunden wird. In diesem Beispiel wird die Produktstruktur, repräsentiert durch eine Stückliste eines Fahrzeugsitzes, auf einen Produktionsprozess abgebildet. Der Prozess ist in BPMN modelliert. Der Einsatzbereich eines solchen Szenarios sind Optimierungsaufgaben bei der Austattung der Anlage. Außerdem können dazu Erkenntnisse zur produktionsgerechten Produktgestaltung sowie zur Optimierung der internen Versorgungslogistik gewonnen werden. Werden Teile an lediglich einer Station verbaut, dann kann die Versorgung in größeren Ladungsträgern vorgenommen werden. Damit werden interne Transporte optimiert und die Flächen um den Verbauort effizient genutzt. Die Darstellung in der Modellierungssprache BPMN im Rahmen der Evaluierung verdeutlicht das breite Anwendungsspektrum der Methode. Es können beliebige Modellierungssprachen mit dedizierten Notationsvorschriften für Prozessmodelle eingesetzt werden, um in der Visualisierungsplattform dargestellt zu werden.



**Abbildung 53:** Abgleich Produktstruktur zu Verarbeitungsprozess, (Quelle: Eigene Darstellung)

### 6.1.3 Diskussion der Ergebnisse

Nach der Vorstellung der Evaluierungsszenarien wurde die Rückmeldung in einer moderierten Diskussion aufgenommen. Die folgenden Leitfragen wurden gestellt:

- Hat die integrierte Visualisierung beim Erkennen der Zusammenhänge im interaktiven Evaluierungsszenario geholfen?
- Welche weiteren Anwendungsfälle für die integrierte Visualisierung sind vorstellbar?
- Welche Features / Möglichkeiten werden gewünscht, um das Werkzeug in der Praxis einzusetzen.

Zusätzlich wurden Fragen zur Umsetzung des Prototyps gestellt, beispielsweise zu Transparenz der Zeichenebenen, der Orientierung der Flächen sowie der Darstellung von Benennungen der Inter-Modellrelationen. Die Rückmeldungen aus der Diskussion im Rahmen der Evaluierung werden anhand der Leitfragen zusammengefasst:

#### 6.1.3.1 Hat die integrierte Visualisierung beim Erkennen der Zusammenhänge im interaktiven Evaluierungsszenario geholfen?

Die integrierte Visualisierung von Prozessmodell und IT-Systemlandschaft wurde positiv aufgenommen. Die Workshop Teilnehmer haben herausgestellt, dass durch die simultane Darstellung der Modelle und der Möglichkeit die Perspektiven zu wechseln, das Verständnis für die Anforderungen erheblich verbessert wird. Besonders hervorgehoben wurde die Möglichkeit der Detailanalyse ausgehend von beiden Modellen. Die Detaillierung wurde durch Markieren eines einzelnen Prozesselements, bzw. des Systems in den entsprechenden Modellen vorgestellt. Einen erheblichen Beitrag leistet, so die Rückmeldungen, die visuelle Hervorhebung der betrachteten Elemente durch die Umrandung des markierten Elements. Das helfe entscheidend bei der Verbindung von Übersicht und Detailbetrachtung, wenn aus dem Modell herausgezoomt wird.

Nach den Rückmeldungen sind die Inter-Modellrelationen in ihrer Funktion eindeutig unterscheidbar. Selbst mit einigem Abstand zur Projektion wurde die deutliche Visualisierung positiv bemerkt. Auch die Annotationen der Relationen zwischen den Zeichenebenen sind laut Rückmeldung klar zu unterscheiden.

Als eine besondere Stärke wurde angesehen, dass die einzelnen Modelle genauso wie sie im Modellierungswerkzeug dargestellt werden. Dieser Vorteil wurde insbesondere bei dem OMEGA Prozessdiagramm gesehen. Die für die Anwender gewohnte Darstellung fördert laut den Teilnehmern die Wiedererkennung prägnant.

### **6.1.3.2 Welche weiteren Anwendungsfälle für die integrierte Visualisierung sind vorstellbar?**

Angeregt durch den Workshop zur Ableitung von Anforderungen sowie den weiteren vorgestellten Szenarien, wurde vom Plenum eine Vielzahl an Anwendungsfälle für die integrierte Visualisierung beschrieben. Im Rahmen der Evaluierung wurden verschiedene Szenarien beschrieben, für welche ein Mehrwert durch die hier vorgestellte Visualisierung erwartet wird. Diese sind in Kap. 6.3 zusammengefasst und durch Domänen und Anwendungsfälle erweitert, die im Rahmen der Recherche zu dieser Arbeit betrachtet wurden.

### **6.1.3.3 Welche Features / Möglichkeiten werden gewünscht, um das Werkzeug im Berateralltag einzusetzen?**

Innerhalb der Diskussion wurden Verbesserungsvorschläge entwickelt, die nach den ersten Eindrücken der Teilnehmer den Nutzen steigern würden. Teilnehmer empfahlen die Darstellung mehrerer Modelle hintereinander. Damit könne der Anwendungsfall der Darstellung mehrerer Versionen (Historie) eines Prozesses erfüllt werden (vgl. Kap. 6.3.1). Außerdem könnte ein Prozess in unterschiedlichen Detaillierungsgraden dargestellt werden. Das wäre, so die Teilnehmer, hilfreich, um die Kommunikation auf verschiedenen Ebenen zu verbessern. In diesen Fällen würden jedoch nur gegenüberliegende Modelle verbunden werden. Außerdem müssten bei einer solchen Darstellung die Relationen von Modellen, die nicht Gegenstand der Detailanalyse sind, ausgeblendet werden.

Bei der fokussierten Darstellung eines Elementes im Modell wurde vorgeschlagen, außerhalb des Modells einen Hinweis auf das entsprechende Element beizubehalten. Beim Wechseln der Ebenen durch Bewegung auf der Tiefenachse des Visualisierungsraumes ist das Element, von dem Relationen ausgehen, nicht mehr zu sehen, da es hinter dem Betrachter liegt. Hierfür wurde der Vorschlag gemacht, das ausgehende Element in der Visualisierung zu behalten. Das könnte durch ein zusätzliches Fenster innerhalb der Visualisierung umgesetzt werden.

### **6.1.4 Fazit der praktischen Evaluation**

Die Methode zur integrierten Darstellung mehrerer Modelle wurde von den Kandidaten in der praktischen Evaluierung durchweg positiv aufgenommen. Die Vielzahl an potenziellen Anwendungsszenarien, die während der Diskussion vorgeschlagen wurden, indiziert ein großes Potenzial für die Anwendung in der Praxis. Aufgrund des fachlichen Schwerpunkts des Beratungsunternehmens fokussieren die Vorschläge die Darstellung von Geschäftsprozessen. Die Entwicklung und Abstimmung von Prozessen erfordert eine enge Abstimmung mit verschiedenen Fachbereichen im Unternehmen. Dementsprechend scheint der Nutzen der integrierten Visualisierung hier besonders gegeben. Im Rahmen der Diskussion wurde der Wunsch geäußert, die Visualisierung in das methodische Portfolio des Unternehmens aufzunehmen.

## **6.2 Theoretische Evaluation**

Zur Ergänzung der praktischen Evaluation im Rahmen eines Workshops mit Unternehmensberatern wird die entwickelte Methode gegen die in Kap. 4.4.2 vorgestellten Prinzipien der Physics Of Notation von D. Moody (Moody, 2009a), sowie den Heuristiken aus Kap. 4.4.1 evaluiert. Dabei werden sowohl die Grundlage der Inter-Modellrelationen, als auch deren Visualisierung in die theoretische Evaluierung einbezogen.

### **6.2.1 Evaluation gegen die “Physics of Notation” Prinzipien**

#### **6.2.1.1 Semiotische Klarheit**

Die semiotische Klarheit ist gegeben, wenn eine eindeutige Beziehung zwischen dem semantischen Konstrukt und dem graphischen Mittel zur Notation besteht. Diese Zuordnung ist durch die Tiefe als visuelle Variable bedingt gegeben. Die visuelle Variable „Form“ wird mehrfach verwendet, sowohl für Relationen innerhalb des Modells als auch für die übergreifenden Relationen. In Kombination mit der visuellen Variable Tiefe ist die Unterscheidbarkeit jedoch eindeutig gegeben. Lediglich die Inter-Modellrelationen verlaufen in den Raum hinein und damit ist die semiotische Klarheit wieder hergestellt.

### **6.2.1.2 Eindeutige Unterscheidbarkeit**

Die Unterscheidbarkeit der Relationen ist deutlich, da sie sich von der Zeichenebene der Teilmodelle absetzen. Sie verlaufen orthogonal bzw. in einem Winkel zwischen den Zeichenebenen. Daher sind sie eindeutig unterscheidbar. Durch die Trennung der Zeichenebenen der Modelle ist die Unterscheidbarkeit der einzelnen Teilmodelle ebenfalls deutlich gewährleistet, sofern sie in einem sichtbaren Abstand voneinander angeordnet werden. Die Darstellung der Relationsbezeichner zwischen den Zeichenebenen hebt sich deutlich ab. Durch dieses „Dual Coding“, in dem die Relationen sowohl textuell als auch farblich markiert sind, ist die Unterscheidbarkeit der zusätzlichen Relationen verstärkt.

### **6.2.1.3 Semantische Transparenz**

Dieses Prinzip, nachdem die Darstellung dem Inhalt des Elements folgt, ist nur bedingt erfüllt. Die Inter-Modellrelationen werden als Linien dargestellt. Aufgrund des abstrakten Charakters dieser Relationen lässt sich allerdings auch keine piktographische Darstellung entwerfen. Das Prinzip der semantischen Transparenz ist jedoch erfüllt, wenn man die verbreitete Darstellung von Beziehungen durch Linien berücksichtigt. Die gemeinsame Darstellung von Modellen folgt den Prinzipien von Sichten. Der Nutzer kann durch Auswahl eine geeignete Position einnehmen und hat damit eine Sicht auf die Gesamtdarstellung der verbundenen Modelle.

### **6.2.1.4 Komplexitätsmanagement**

Das geforderte Ziel, die visuelle Komplexität zu reduzieren, wird eindeutig verletzt, wenn man die Komplexität anhand der Anzahl der dargestellten Elemente und deren Relationen misst (Dörner, 2000: S. 58f.). Durch die zusätzlichen Relationen, die in die Darstellung übernommen werden, sowie der Tatsache, dass mehrere Modelle simultan dargestellt sind, erhöht sich die visuelle Komplexität zwangsläufig. Durch die Auswahl von bestimmten Sichten sowie der Möglichkeit, einzelne Elemente in den Modellen zu fokussieren und unbeteiligte Relationen damit auszublenden sind jedoch Möglichkeiten gegeben, diese Komplexität zu beherrschen (vgl. Kap. 5.4.5.).

### **6.2.1.5 Gedankliche Integration**

Dieses Prinzip fordert sichtbare Mechanismen, um die Beziehungen zwischen unterschiedlichen Diagrammen graphisch darzustellen und damit den Benutzer



beim gedanklichen Zusammenführen der Informationen unterstützen (Moody, 2009a: S. 768). Das Erfüllen dieses Prinzips ist Kern der Methode. Mehrere Diagramme werden gemeinsam dargestellt. Die Beziehungen zwischen deren Elementen sind nach einem nachvollziehbaren Regelwerk erstellt und in die graphische Darstellung übernommen.

#### **6.2.1.6 Visuelle Ausdrucksstärke**

Die Ausdrucksstärke der Visualisierung beschreibt die Anzahl der visuellen Variablen, die in der Darstellung verwendet werden. Soweit überhaupt beeinflussbar ist das Prinzip erfüllt, da die zusätzliche visuelle Variable der Tiefe für die Inter-Modellrelationen und die Anordnung der Modelle eingeführt werden. Die Notation der Teilmodelle bleibt unberührt, um die Wiedererkennbarkeit zu erhöhen. Weiterhin wird Farbe als visuelle Variable verwendet. Sofern die dargestellten Einzelmodelle die Farbe als Darstellungsmittel einsetzen, wird diese visuelle Variable ebenfalls zusätzlich eingeführt.

#### **6.2.1.7 Dual Coding**

Das Dual Coding beschreibt den gemeinsamen Einsatz von textuellen und graphischen Mitteln. Bei den Inter-Modellrelationen wird dieses Prinzip bei der Darstellung der Relationstypen unterstützt. Für die einzelnen Modelle und die Inter-Modellrelationen selbst, wird jedoch eine zusätzliche textuelle Beschreibung als nicht notwendig angesehen. Die Inter-Modellrelationen sind aufgrund der eingeführten visuellen Variablen „Tiefe“, sowie der zusätzlichen farblichen Darstellung eindeutig unterscheidbar. Außerdem sind die Modelle eindeutig differenzierbar, da sie auf einer separaten Zeichenebene dargestellt werden.

#### **6.2.1.8 Graphische Wirtschaftlichkeit**

Eine sparsame Verwendung von visuellen Variablen wird nicht verfolgt und damit ist dieses Prinzip nicht erfüllt. Es werden für die Inter-Modellrelationen als zusätzliche Informationen im Modell nicht mehr visuelle Variablen als notwendig verwendet. Allerdings ist bereits durch das kombinierte Verwenden von Tiefe und Farbe zur Verdeutlichung der Inter-Modellrelationen dieses Prinzip nicht erfüllt.

## 6.2.2 Evaluation gegen Heuristiken der Visualisierung

In Kapitel 3.2.3 werden Leitlinien zur Erstellung von graphischen Oberflächen als Benutzerschnittstelle von Softwareanwendungen vorgestellt. Diese Auswahl an Heuristiken von verschiedenen Autoren wird auf die graphische Darstellung der integrierten Visualisierung angewendet.

### 6.2.2.1 „Speak the Users' Language“ (Nielsen, 1994, S. 123)

Die Visualisierung soll der Sprache des Anwenders folgen. In der vorgestellten Methode bezieht sich diese Richtlinie nicht nur auf textuelle Informationen, sondern zusätzlich auf die visuelle Sprache. Eine Randbedingung wurde in Kap. 1.1 gesetzt: Die Notation der einzelnen Modelle soll nicht angepasst oder verändert werden, damit die Wiedererkennbarkeit gewährleistet ist. Im Vokabular der Visualisierung lässt sich das so formulieren, dass die visuelle Sprache der dargestellten Modelle nicht verändert werden darf. Erweitert auf die Darstellung der Diagramme sollen diese auch nicht erweitert werden, um die Inter-Modellrelationen darzustellen. Dieses Prinzip ist eindeutig erfüllt, da die Modelle nicht angepasst oder manipuliert werden, um die Beziehungen zwischen Modellen abzubilden. Die Diagramme bleiben mit ihren Zeichenebenen erhalten. Der Benutzer kann durch seine Position im Darstellungsraum die Diagramme so betrachten, wie sie in den Autorensystemen dargestellt werden. Da nicht in die Notation eingegriffen wird, ist auch hier die Richtlinie erfüllt. Die Beziehungen zwischen den Modellen sind durch die Verbindungen in der Tiefe realisiert. Start- und Zielpunkt dieser Linien sind die unmittelbar betroffenen Modellelemente, die auch auf semantischer Ebene in Beziehung stehen. Durch das Konzept der Visualisierung der Relationen im Raum zwischen den Modellen und der Bedeutung der Elemente als Grundlage der Relationen, ist diese Richtlinie erfüllt.

### 6.2.2.2 „Be Consistent“ (Molich, Nielsen, 1990: S. 339)

Die Richtlinie der Konsistenz wird durch die Ansätze dieser Methode ebenfalls verfolgt. Die Grundlage für die Beziehungen zwischen den Modellen ist durch den ontologiebasierten Ansatz gegeben. Die Grundlage der Bunge-Wand-Weber Ontologie ist generisch genug, um auf verschiedene Anwendungsfälle und disziplinspezifische Modelle anwendbar zu sein. Gleichzeitig wird ein festes Regelwerk gegeben, um die Relationen aufzubauen. Damit sind die Beziehungen konsistent und nachvollziehbar. Gleichzeitig wird die graphische Darstellung der Modelle nicht verändert. Die Konsistenz ist demnach gegeben, wenn die Modelle in Auto-

rensystemen und in der Visualisierungsplattform dargestellt werden. Die Modelle können durch einen Import-Mechanismus eingeladen werden, sofern das Autorensystem das offene Dateiformat „Scalable Vector Graphics“ unterstützt. Dann ist die Darstellung identisch mit derjenigen des Autorensystems.

Das Konzept zur Visualisierung der Inter- Modellrelationen ist ebenfalls konsistent und für beliebige Modelle anwendbar. Das ist möglich, da die Tiefe als visuelle Variable für die Inter-Modellrelationen reserviert ist. Bei entsprechender Anordnung ist die Anzahl und Form der Modelle in der gemeinsamen Visualisierung nicht begrenzt. Die Eckpfeiler der Methode sind fundiert und allgemein gültig. Damit wird die Konsistenz als gegeben angesehen.

### **6.2.2.3 “Overview first, zoom and filter, then details on demand” (Shneiderman, 1996, S. 337)**

Diese Richtlinie ist, wie in Kap. 3.2.3 vorgestellt, nicht zwangsläufig sequenziell zu betrachten. Vielmehr sollen Interaktionsmöglichkeiten gegeben sein, um sowohl Übersicht darzustellen, als auch detaillierte Analysen durchzuführen. Diese Interaktionsmöglichkeiten sind durch die freie Navigation im Informationsraum gegeben. Der Anwender kann beliebig nahe an die einzelnen Modelle heranzoomen und Details betrachten. Gleichzeitig kann durch Distanz zu den Modellen die Übersicht betrachtet werden. Auf Klicke eines Modellelements werden nur diejenigen Relationen dargestellt, die von dem Element ausgehen. Mit diesem Mechanismus ist also ein Filtermechanismus umgesetzt und die Details lassen sich durch die Interaktion darstellen.

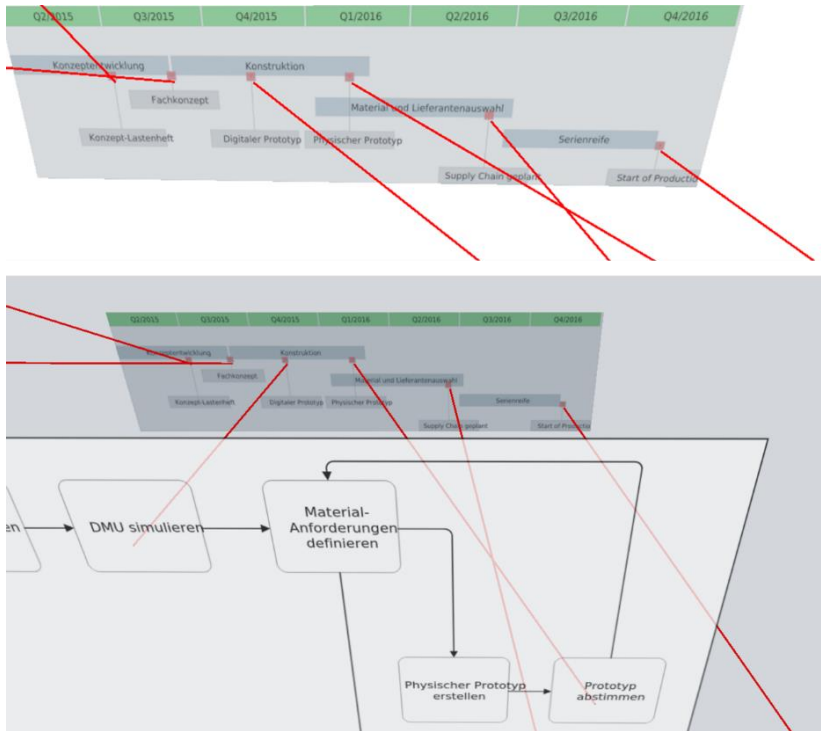
## **6.3 Potenzielle Einsatzszenarien der Methode**

Die folgende Beschreibung weiterer Einsatzszenarien für die Methode zur integrierten Darstellung von konzeptionellen Modellen basiert auf den Erkenntnissen aus der praktischen Evaluation sowie tangierten Disziplinen und Ansätzen im Rahmen der Recherche zu dieser Arbeit. Dieser Abschnitt ist der Evaluierung zugeordnet, da die Analyse der potenziellen Anwendungsfälle die Allgemeingültigkeit des Ansatzes bestätigt. Die Umsetzung dieser Anwendungsfälle und damit die empirische Evaluierung des Mehrwerts der vorgestellten Methode ist Teil des Ausblicks.

### 6.3.1 Darstellung der Evolution von Prozessen

Eine regelmäßig auftretende Aufgabe in Beratungsprojekten ist die Aufnahme von Geschäftsprozessen. Bei umfangreichen Projekten wird das in der Regel in mehreren Interviews und Workshops vorgenommen. Dabei leisten Vertreter verschiedener Organisationseinheiten einen Beitrag zum Aufnehmen des Prozesses. Der erstellte Prozess wird sukzessive ausgestaltet und detailliert. Bei den Interviews und Workshops zur Prozessaufnahme müssen die Teilnehmer zunächst auf den neusten Stand gebracht werden. Aufgrund von Terminkonflikten und begrenzten Zeitfenstern kann es vorkommen, dass ein unterschiedlicher Teilnehmerkreis an den Prozessworkshops teilnimmt. Das bedeutet, dass Teilnehmer unter Umständen nicht alle Evolutionsschritte des Prozesses mitgestaltet haben. Diese Teilnehmer müssen über den Fortschritt in der Prozessgestaltung aufgeklärt werden, damit sie weiter konstruktiv mitwirken können. Hier wird ein besonderer Mehrwert durch die Darstellung verschiedener Versionen des Prozessmodells gesehen. Durch die integrierte Visualisierung können mehrere Versionen ein- und desselben Prozesses dargestellt werden. Damit kann der Bearbeitungsfortschritt in der Prozessmodellierung visualisiert werden. Der Aufsatzpunkt eines Workshops zur Prozessausgestaltung kann mit wechselnden Teilnehmern in kurzer Zeit hergestellt werden. Dieser Anwendungsfall leistet zwar nur bedingt einen Beitrag zur disziplinübergreifenden Kommunikation. Jedoch offenbart dieses Szenario einen zusätzlichen Mehrwert der vorgestellten Methode.

Innerhalb der Diskussion im Rahmen der empirischen Evaluation hat sich gezeigt, dass eine immer wieder auftretende Herausforderung in der Prozessplanung die Zuordnung von Prozessschritten auf den Entwicklungszyklus darstellt. Ein Grund dafür sind unterschiedliche Qualitäts-Gateways, die für die Abteilungen gültig sind. Eine integrierte Darstellung der Entwicklungszyklen kann damit einen Mehrwert ergeben, wenn das Prozessdiagramm mehrere „Swimlanes“ umfasst, die eine unterschiedliche Metrik für den Entwicklungsprozess haben. Mit einer integrierten Darstellung der zugrundeliegenden Metriken kann mit einfachen Mitteln der Prozessschritt in den Kontext des Produktentwicklungszyklus eingeordnet werden. Das folgende Mock-Up erläutert den Sachverhalt.

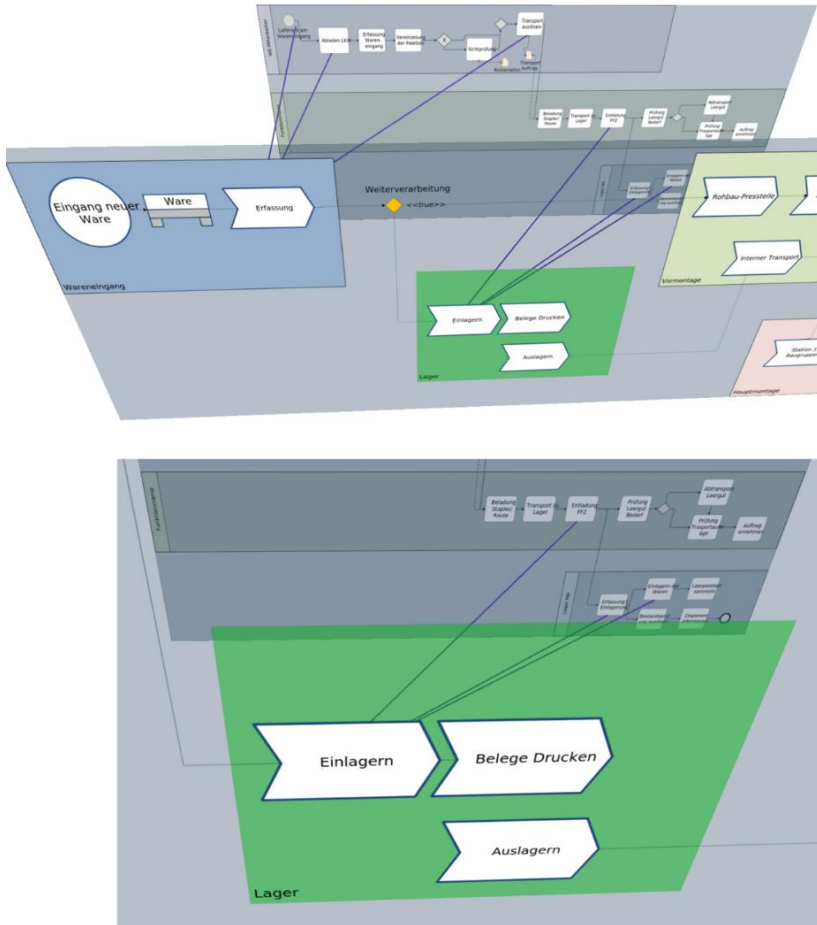


**Abbildung 54:** Abbildung von Prozess auf Produktentwicklungszyklus, (Quelle: Eigene Darstellung)

### 6.3.2 Darstellung von Prozessebenen

Verschiedene Beratungsprojekte für eine Prozessoptimierung verlangen die Kommunikation und Abstimmung auf verschiedenen Ebenen in der Hierarchie des Unternehmens. Die Kommunikation mit dem mittleren und oberen Management erfordert eine Verdichtung der modellierten Sachverhalte. Dagegen ist auf Ebene der Sachbearbeiter und des unteren Managements eine detaillierte Darstellung der Modelle erforderlich. Mit einer integrierten Visualisierung verschiedener Detailebenen kann für die Kommunikationspartner eine adäquate Präsentation ausgewählt werden. Durch die gemeinsame Darstellung verschie-

dener Detailebenen des Prozesses kann das gegenseitige Verständnis zwischen operativem Geschäft und höherem Management unterstützt werden.



**Abbildung 55:** Mock-Up verschiedener Detaillierungsstufen von Geschäftsprozessen, (Quelle: Eigene Darstellung)

### **6.3.3 Darstellung der Bezugsgröße von Logistikprozessen**

Aus Erfahrung berichtete ein Teilnehmer der Evaluation von einem Auftrag zur Optimierung von Geschäftsprozessen in dem Bereich der internationalen Logistik. Dabei wurden mehrere Abteilungen und Unternehmensbereiche betrachtet. In diesem Projekt bestand die besondere Herausforderung darin, den Planungsprozess von der Konzeptentwicklung bis zur operativen Durchführung der Versorgung in einem gemeinsamen Prozessmodell abzubilden. Dabei hat sich die besondere Herausforderung gestellt, dass die Abteilungen eine unterschiedliche Planungsgrundlage haben, was nicht explizit in der Prozessnotation dargestellt werden konnte. Ein solch spezieller, jedoch für den Anwendungsfall der Prozessmodellierung bedeutsamer Aspekt ist in keiner untersuchten standardisierten Prozessmodellierung enthalten. Die Planungsgrundlage der Abteilungen waren Teile, Module (zusammengefasste Baugruppen), Abschnitte von Lieferketten oder rein die Ladungsträger. Damit hat sich eine gemeinsame Darstellung aller Prozesse in einem Schaubild als besonders herausfordernd dargestellt, da die Vergleichbarkeit der Prozessschritte über Abteilungs- und bereichsgrenzen nicht visuell abgebildet werden konnten. Mit der Visualisierungsmethode könnte diese Hürde überwunden werden, indem die Planungsgrundlage der Prozessschritte in einer weiteren Darstellungsebene dargestellt werden kann.

### **6.3.4 Zuordnung von Verträgen und Dokumenten zu Prozessen**

In einem laufenden Projekt besteht die Herausforderung in der Organisation von Vertragsdokumenten zu einem Planungsprozess. Die Dokumente sind aufgrund ihres Gültigkeitsbereichs und der Vertragspartner strukturiert. Durch die integrierte Darstellung der Dokumentenstruktur sowie dem Prozessmodell lassen sich die jeweils gültigen Vertragsdokumente auf einen Blick erkennen. Als erwartetes Ergebnis werden Suchzeiten für relevante Dokumente deutlich verringert.

### 6.3.5 Einsatz der Methode für die Referenzarchitektur Industrie 4.0

Die Referenzarchitektur für Industrie 4.0 Szenarien, vorgestellt in Kap. 2.1.1 basiert auf integrierten Informationsmodellen, die mehrdimensional auf verschiedene Ebenen verteilt sind. Der vorgeschlagene Aufbau sowie die graphische Darstellung erfolgen in einem dreidimensionalen Schichtenmodell. Die gesteigerte Komplexität durch die mehrdimensionalen verbundenen Modellschichten zur Planung und Steuerung von Wertschöpfungsnetzwerken im gesamten Produktlebenszyklus erfordert enge Abstimmung der Hierarchieebenen, Fachdisziplinen und Organisationen.

Die semantische Integration auf Basis der Bunge-Wand-Weber Ontologie bietet eine Grundlage für weitergehende Untersuchungen im Kontext der Industrie 4.0 Initiative. Die Herausforderungen bei der Integration von Fachmodellen in der Referenzarchitektur RAMI im Rahmen der Initiative Industrie 4.0 weist durchaus Parallelen zu den Anwendungsfällen auf, die zur Entwicklung der vorliegenden Methode geführt haben (VDE, VDI, 2015: S. 7). Das lässt vermuten, dass der hier gewählte Ansatz auf die Referenzarchitektur übertragbar ist. Zur Umsetzung der Informationsschicht zur Integration der Fachmodelle wird in dieser Initiative ebenfalls ein ontologiebasierter Ansatz in Betracht gezogen (eCl@ss) (VDE, VDI, 2015: S. 5). Der Informationsaustausch zwischen den Schichten der RAMI Referenzarchitektur umfasst die Beschreibung der *„Verortung von Funktionalitäten und Verantwortlichkeiten innerhalb der Fabriken/Anlagen.“* ( VDE, VDI, 2015: S. 7). Die Förderung der Zusammenarbeit ist Grundlage und Motivation für die vorliegende Methode.

Mit der hier vorgestellten Methode zur Integration mit Hilfe gemeinsamer ontologischer Properties nach der Bunge-Wand-Weber Ontologie ist ein generischer Ansatz geschaffen, Elemente von Modellen in einem gemeinsamen Kontext zu vernetzen. Dieser Ansatz kann einen Beitrag zum Erstellen und Ausgestalten der Referenzarchitektur Industrie 4.0 leisten, indem Modelle innerhalb der Referenzarchitektur verbunden werden.

Aufbauend auf dieser Methode sollte analysiert werden, ob der beschriebene Ansatz, die semantischen Abhängigkeiten zwischen Modellen über gemeinsame Properties der Bunge-Wand-Weber Ontologie zu erfassen, auf weitere Dimensionen und Ebenen des RAMI Modells übertragen werden kann. Der generische



Charakter dieses Konzepts lässt die Vermutung dafür zu. Das RAMI Modell verdichtet die Modelle der einzelnen Bereiche und Ebene über Hierarchieebenen. Bei dieser Verdichtung ist die Kohäsion zwischen Modellen verschiedener Ebenen gegeben und durch die in dieser Methode angewendeten Regeln der Bunge-Wand-Weber Ontologie abgedeckt. Daher erscheint es plausibel, dass mit dem entwickelten Ansatz zur semantischen Integration ein konzeptioneller Lösungsansatz für die Verbindung von Modellen im Rahmen der Referenzarchitektur Industrie 4.0 geschaffen ist. Dies gilt es in weiteren Forschungsaktivitäten eingängig zu untersuchen.

Im Kontext der Referenzarchitektur für Industrie 4.0 (RAMI) ist weiterhin zu bewerten, ob die dreidimensionale Visualisierung von Modellen und Abhängigkeiten ein geeignetes Verfahren darstellt, diese Referenzarchitektur graphisch darzustellen. Die Referenzarchitektur ist von sich aus als mehrdimensionales Modell beschrieben, vgl. Abb. 15 sowie (VDE, VDI, 2015: S. 7). Die neue Methode zur Visualisierung von Modellen wurde im Hinblick auf Anwendungsfälle der domänenübergreifenden Zusammenarbeit beschrieben, was einer Dimension (Z-Achse)<sup>13</sup> der Referenzarchitektur entspricht. Für weitere Anwendungsszenarien ist es demnach erforderlich, die vorgestellte Methode hinsichtlich des Mehrwerts einer Darstellung von:

- Modellen entlang des Fortschritts der Produktentwicklung (X-Achse)<sup>13</sup>
- Modelle unterschiedlicher Betrachtungsebenen (Y-Achse)<sup>13</sup>

zu bewerten.

Die Visualisierung von Abhängigkeiten zwischen Modellen entlang dieser Ebenen scheint aufgrund des allgemeingültig ausgelegten Ansatzes möglich. Eine Anforderung an die hier vorgestellte Methode ist schließlich die Möglichkeit, beliebige Modellnotationen darzustellen. Das Konzept zur räumlichen Darstellung von Modellen und der Formalisierung von Abhängigkeiten als Inter-Modellrelationen mit einem Verlauf in die Tiefe der Darstellung ist unabhängig vom Anwendungsfall entwickelt. Weiterhin ist die zugrundeliegende Methode zum Aufbau von

---

<sup>13</sup> Die Achsen beziehen sich auf die kubische Darstellung der Referenzarchitektur Industrie 4.0 in (VDE, VDI, 2015: S. 7), vgl. Abb.13.

Relationen auf Basis der Ontologie ebenso generisch. In der empirischen Evaluation der Methode wurde eine Visualisierung von Abhängigkeiten in vergleichbaren Szenarien vorgeschlagen. So wurde beispielsweise die simultane Darstellung von Ist- und Sollprozess genannt. Das entspricht der Darstellung entlang des Planungsprozesses den Stufen der Wertschöpfung entsprechend, die in der Referenzarchitektur erfasst sind. Diese Aspekte lassen darauf schließen, dass die neue Methode zur Visualisierung in diesen Komponenten der Referenzarchitektur einsetzbar ist. Die Anwendbarkeit, und insbesondere ein dadurch entstehender Mehrwert durch die Umsetzung der Methode, sind in entsprechenden Anwendungsszenarien empirisch und theoretisch zu evaluieren.

# 7 Zusammenfassung und Ausblick

Zum Abrunden der Arbeit wird zunächst eine Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse gegeben. Der Ausblick konzentriert sich dabei auf Forschungsfragen und Erweiterungen der hier beschriebenen Methode. Potenzielle Einsatzszenarien und Anwendungsfälle der vorgestellten neuen Methode zur Visualisierung von Abhängigkeiten zwischen Modellen sind in Kap. 6.3 beschrieben. Deren Umsetzung bilden konkrete nächste Schritte zur weiteren Verwertung der Ergebnisse dieser Arbeit.

## 7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine neue Methode entwickelt, die Kommunikation von Experten unterschiedlicher Fachdisziplinen zu fördern. Die Methode basiert auf der graphischen Darstellung von Modellen. Die Schnittstellen und Abhängigkeiten der Fachdisziplinen werden transparent gemacht und damit die disziplinübergreifende Zusammenarbeit gefördert. Dafür werden in einem modellbasierten Ansatz standardisierte, beziehungsweise etablierte fachspezifische Modelle miteinander verbunden und gemeinsam graphisch dargestellt. Die Grundlage ist durch einen ontologiebasierten Ansatz gegeben (vgl. Kap. 5.3). Damit werden Elemente in den Fachmodellen ausgewählt, die miteinander verbunden werden können. Die Auswahl wird über ein Regelwerk der etablierten Bunge-Wand-Weber (BWW) Ontologie vorgenommen, die darauf ausgelegt ist, Informationssysteme zu beschreiben. Die BWW-Ontologie wird dafür in einem neuen Anwendungsbereich eingesetzt: der Erfassung mehrerer konzeptioneller Modelle, die einen Sachverhalt aus unterschiedlichen Perspektiven abbilden. Im Kap. 5.3 wird gezeigt, dass die Bildungsgesetze und Komponenten der Ontologie auf mehrere Modelle anwendbar sind, sofern sie einen gemeinsamen Sachverhalt abbilden. Daraus lassen sich modellübergreifende Relationen erstellen. Diese Inter-Modellrelationen werden auf Basis der ontologischen Properties erstellt, welche die inneren Eigenschaften von Elementen des modellierten Sachverhalts repräsentieren. Diese müssen nicht zwangsläufig in einem Modell enthalten sein, welches durch die Ontologie beschrieben wird. Daraus lassen sich modellübergreifende Relationen gegeben, da diese Properties unabhängig von deren Erfassung im Modell in der Ontologie gegeben sind. Damit ist eine Methode auf Grund-

lage von semantischen Konstrukten geschaffen, die Verbindungen zwischen den Modellen aufzubauen. Diese gilt es graphisch darzustellen.

Die graphische Darstellung der Inter-Modellrelationen folgt den Erkenntnissen und Prinzipien der wissenschaftlichen Disziplin „Information Visualisierung“ (vgl. Kap. 5.4.2). Ein grundlegender Ansatz in diesem Feld ist die Beschreibung von visuellen Sprachen, welche Notationsvorschriften für semantische Konstrukte beinhalten. Visuelle Variablen als Bausteine einer Notationsvorschrift (bspw. Form, Farbe, Anordnung) beschreiben diese Notationsvorschriften (vgl. Kap. 5.4.3). Diese wissenschaftliche Disziplin hat Prinzipien und Vorgaben hervorgebracht, nach denen verständliche graphische Darstellungen aufgebaut werden sollen. Ein zentrales Paradigma ist eine möglichst eindeutige Zuordnung von semantischem Konstrukt zur visuellen Variablen (vgl. Kap. 5.4.1). Unter der Prämisse, dass etablierte visuelle Variablen in einzelnen Fachmodellen zur Notation verwendet werden, ist es notwendig, den Umfang der visuellen Variablen zu erweitern. Dafür wird im Rahmen der Arbeit die räumliche Tiefe in den Sprachschatz der visuellen Variablen aufgenommen (vgl. Kap. 5.4.4). Mit dieser Erweiterung können nun mehrere zweidimensionale Modelle gemeinsam dargestellt werden. Die Modelle werden tiefenversetzt in einem gemeinsamen Visualisierungsraum angeordnet. Die Relationen zwischen den Modellen verlaufen damit in dem Raum zwischen den einzelnen Modellebenen. Die Tiefenkomponente ist reserviert zur Unterscheidung der Modelle sowie den Inter-Modellrelationen. Ein visuelles Konstrukt ist geschaffen, um die besondere Semantik der modellübergreifenden Relationen eindeutig abzubilden.

Zur Evaluation der vorgestellten Methode wurde eine prototypische Implementierung erstellt, in der verschiedene Modelle geladen, verbunden und dargestellt werden (vgl. Kap. 5.5). Damit ist eine Durchgängigkeit gegeben. Diese schließt folgende Aspekte ein:

- ein Konzept zur ontologiebasierter Modellintegration,
- die Anwendung der Theorie der visuellen Sprachen mit einer Erweiterung des visuellen Vokabulars zur Darstellung des semantischen Konzepts modellübergreifender Relationen,
- die Entwicklung eines einsatzfähigen Demonstrators, der die Darstellung verschiedenster Modelle unterstützt.

Die neue Methode ist empirisch und theoretisch evaluiert. Die praktische Evaluierung wurde im Rahmen eines Workshops bei einem mittelständischen Unternehmen vorgenommen. In diesem Rahmen wurde gemeinsam mit erfahrenen Unternehmensberatern ein Anwendungsfall mit Einsatz der Methode bearbeitet (vgl. Kap. 6.1.2). Die untersuchte Aufgabenstellung ist einem Beratungsprojekt nachempfunden. Die Rückmeldungen der Evaluierungsgruppe fielen durchweg positiv aus. Die Möglichkeiten mehrere Modelle vernetzt darstellen zu können wurde geschätzt, sodass Bedarf geäußert wurde, diese Methode in den Fundus der Beratungsmethoden mit aufzunehmen.

Die theoretische Evaluierung wird anhand den Prinzipien der Physics of Notation sowie etablierten Heuristiken für die Visualisierung von abstrakten Modellen vorgenommen (vgl. Kap. 6.2.2). Die Einführung der zusätzlichen visuellen Variablen „Tiefe“ ermöglicht die eindeutige Visualisierung der semantischen Konzepte der Inter-Modellrelationen. Gegenüber den Physics of Notation, wie auch den Heuristiken zur Beurteilung der Qualität von graphischen Oberflächen kann die entwickelte Methode weitgehend bestehen (vgl. Kap. 4.4). Unvermeidbar ist die zusätzliche visuelle Komplexität, die sich aus den zusätzlich dargestellten Informationen ergibt. Um diese Herausforderung zu überwinden, setzt der Demonstrator Interaktionsparadigmen ein. Die gezielten Filtermechanismen sind realisiert und die visuelle Komplexität wird aufgelöst.

## 7.2 Ausblick

Die vorgestellte Methode bietet aufgrund der Verbindung der Aspekte von Modellintegration und Modellvisualisierung eine breite Basis für weitere Untersuchungen. Hierzu sind im Besonderen eine empirische Untersuchung von potenziellen Anwendungsfälle zu nennen, die in Kap. 6.3. beschrieben sind. Im Besonderen sei dabei auf Szenarien der Referenzarchitektur für Industrie 4.0 verwiesen. Hierbei ergeben sich durch die Visualisierung von Abhängigkeiten und Beziehungen der verschiedenen Ebenen und Dimensionen Möglichkeiten, das Verständnis für die Komplexität der Paradigmen von Industrie 4.0 gefördert zu unterstützen (vgl. Kap. 6.3.5).

Der entwickelte Ansatz zum Aufbau der Inter-Modellrelationen basiert auf einer fundierten theoretischen Grundlage. Der gewählte Ansatz erklärt die Bestimmung der Relationen auf Basis des abstrakten Konzepts der Ontologie. Jedoch

wird ein Verfahren zur automatisierten Bestimmung dieser Relationen explizit ausgeschlossen (vgl. Kap. 1.2), da der Fokus auf die graphische Darstellung der Abhängigkeiten zwischen konzeptionellen Modellen gelegt ist. Für eine weitere Vertiefung der vorgestellten Methode hinsichtlich des industriellen Einsatzes gilt es nun, die theoretische Basis zu vertiefen und ein Verfahren zu entwickeln, mit dem diese theoretische Grundlage durch geeignete Werkzeuge umgesetzt wird. Eine mögliche Technik bieten Ansätze aus dem Bereich der Big Data Analyse (Botthof, Hartmann, 2014: S. 107) an. Dabei können Fragestellungen untersucht werden, ob sich durch eine Korrelationsanalyse der Datengrundlage Hinweise auf BWV-Ontologie-Properties ableiten lassen, aus denen Inter-Modellrelationen gebildet werden können.

Die Navigation und Interaktion in der dreidimensionalen Visualisierung der Modelle erfordert Konzepte, die für unerfahrene Anwender geeignet sind. Im Rahmen der prototypischen Implementierung wurde eine einfache Maus- und Tastatursteuerung umgesetzt. Für den angestrebten Produktiveinsatz des Demonstrators müssen zusätzliche Interaktionsparadigmen erstellt werden. Dabei gilt es, die Navigation zwischen den Ebenen zu erleichtern. Ein Ansatz dafür ist das automatisierte Folgen von Relationen, was einen gängiges Interaktionskonzept darstellt. Dafür müssten die Diskussionsteilnehmer nicht explizit das Visualisierungswerkzeug bedienen und könnten die disziplinübergreifende Abstimmung interaktiv gestalten.

Einen besonderen Mehrwert kann die Modifikation der Modelle und Inter-Modellrelationen in der Szene bieten. Damit würde das Einsatzspektrum der Methode auf die kollaborative Problemlösung erweitert werden. Die vorgestellte Methode fokussiert die Darstellung von verbundenen Modellen im Raum. Eine Interaktion zur Modellierung von Inter-Modellrelationen ist dabei nicht vorgesehen. Das Erstellen und Verändern von Inter-Modellrelationen in der Szene erfordert besondere Interaktionsparadigmen und Techniken. Dies gilt insbesondere für Szenarien, in denen die Visualisierung in einer Projektionsanlage wie bspw. Powerwall oder Cave vorgenommen wird. Hier ist ein Eingabegerät für Text in der Regel nicht vorhanden. Das wäre allerdings für die Benennung der Inter-Modellrelationen notwendig. Hier gilt es zu evaluieren, ob Technologien wie Sprachsteuerung einen Nutzen bieten könnten.

Ein kritischer Aspekt, der in der empirischen Evaluierung genannt wurde, ist das Verschwinden von Modellen im Hintergrund des Betrachters, wenn der Raum

zwischen Modellen betreten wird. Befindet sich der Anwender in dem Raum zwischen den Zeichenebenen, dann ist das vordere Modell nicht sichtbar, weil es sich hinter dem Betrachter befindet. In diesem Fall wäre es hilfreich, wenn der Benutzer einen Hinweis bekommen würde, von welchem Modellelement die gefolgte Relation ausging. Hier könnte es sich anbieten, Darstellungstechniken aus der Computerspielindustrie zu analysieren und ggf. in die dreidimensionale Modelldarstellung zu übertragen. Der zugrundeliegende Forschungsaspekt beinhaltet die Navigation und Orientierung in virtuellen Umgebungen. Dieser Aspekt ist nicht zuletzt durch die zu erwartende Verfügbarkeit von Virtual Reality Geräten von Bedeutung.

Nicht zuletzt besteht aufgrund der Rückmeldungen der empirischen Evaluierung konkreter Handlungsbedarf, die prototypische Implementierung des Demonstrators zu verfeinern und für einen produktiven Einsatz in industriellen Projekten zu den in Kap. 6.3 vorgestellten Anwendungsfällen vorzubereiten.







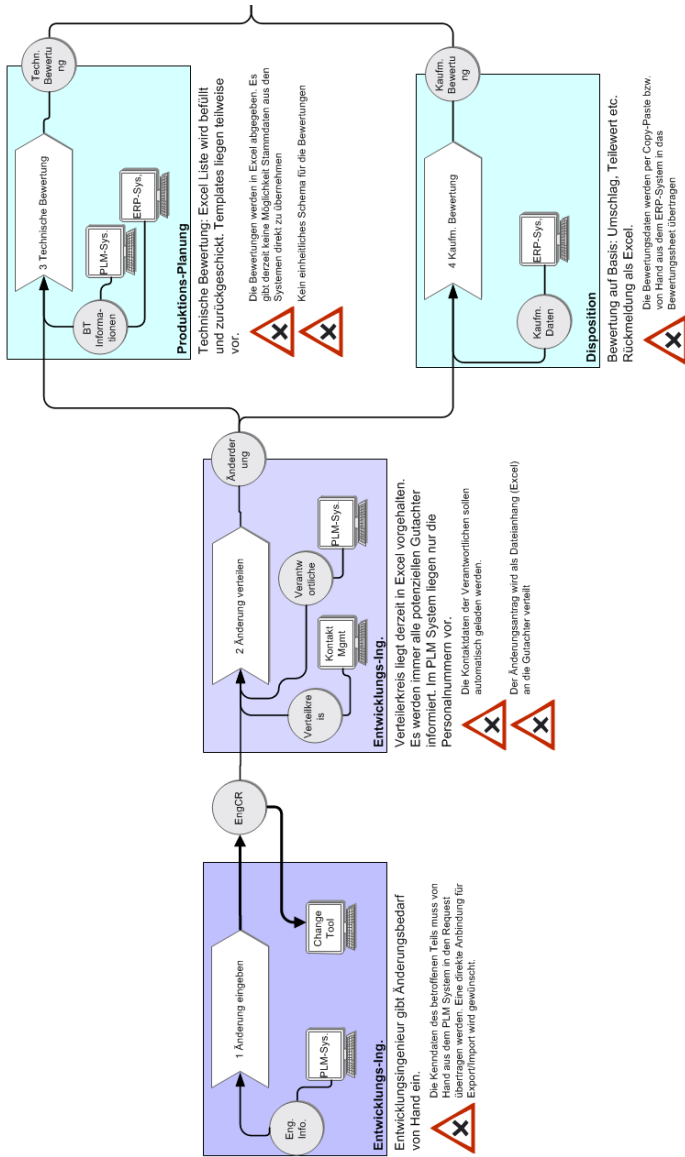


Abbildung 57: Change Prozess (1), (Quelle: Eigene Darstellung)

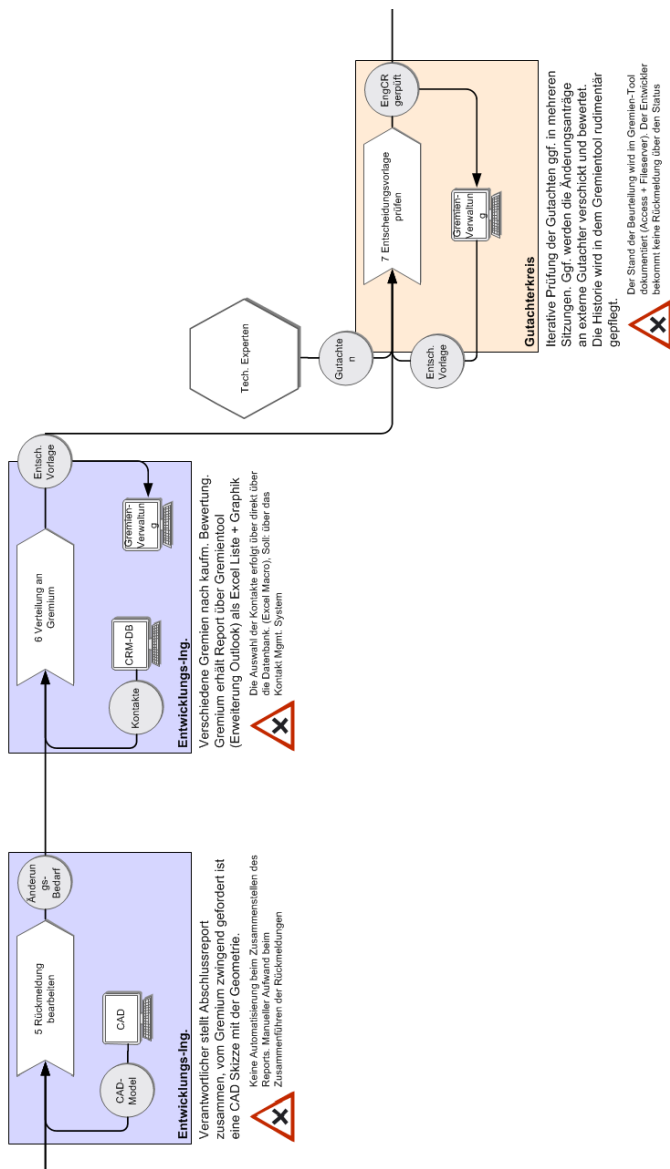


Abbildung 58: Change Prozess (2), (Quelle: Eigene Darstellung)

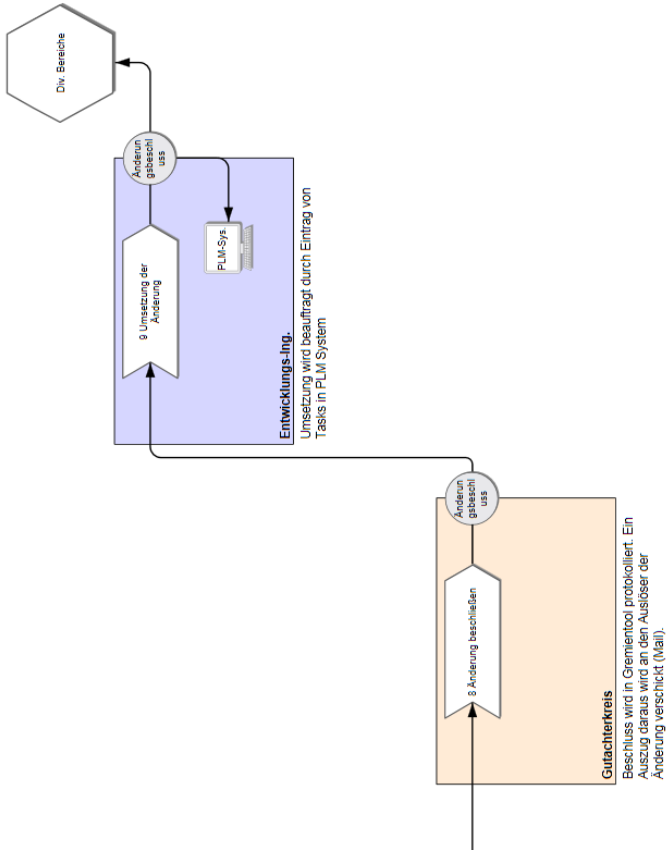


Abbildung 59: Change Prozess (3), (Quelle: Eigene Darstellung)

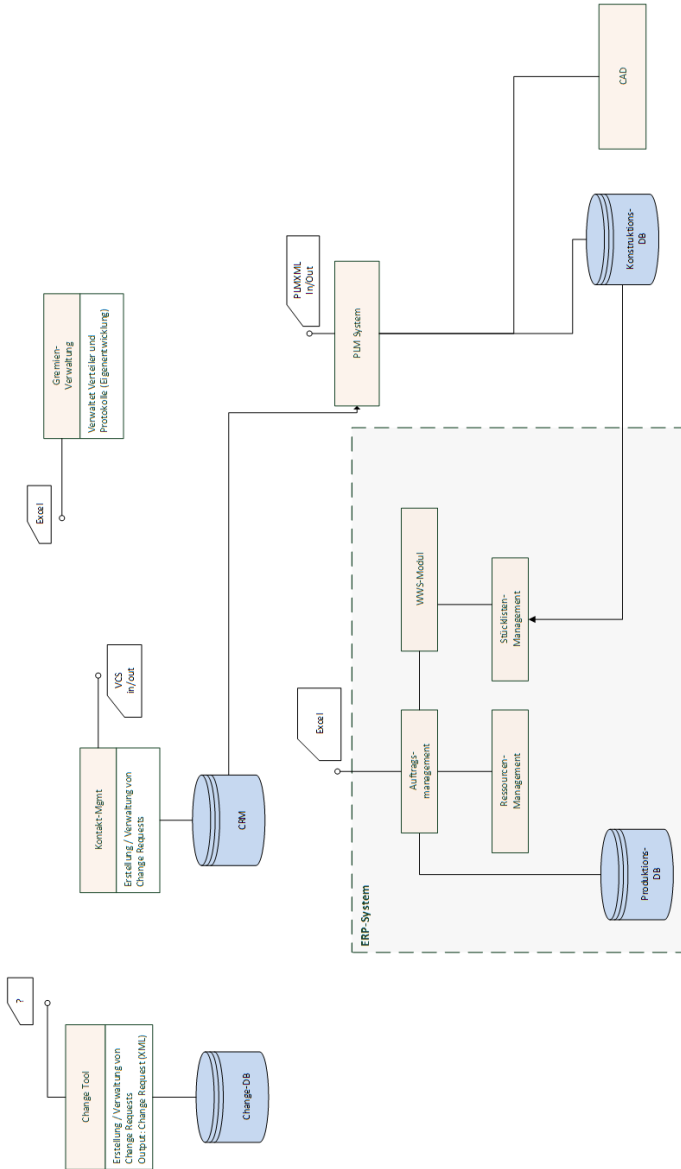
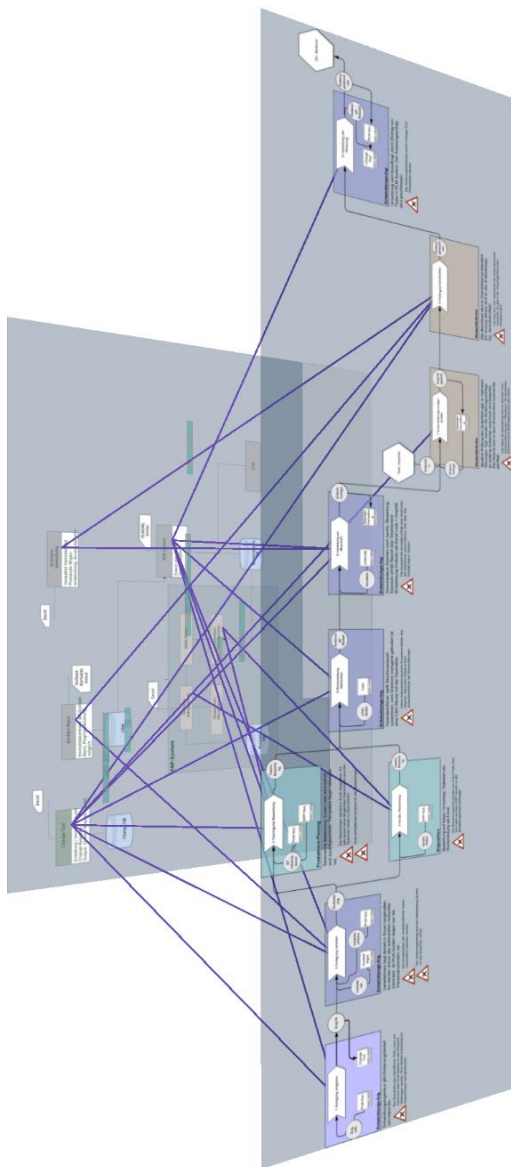


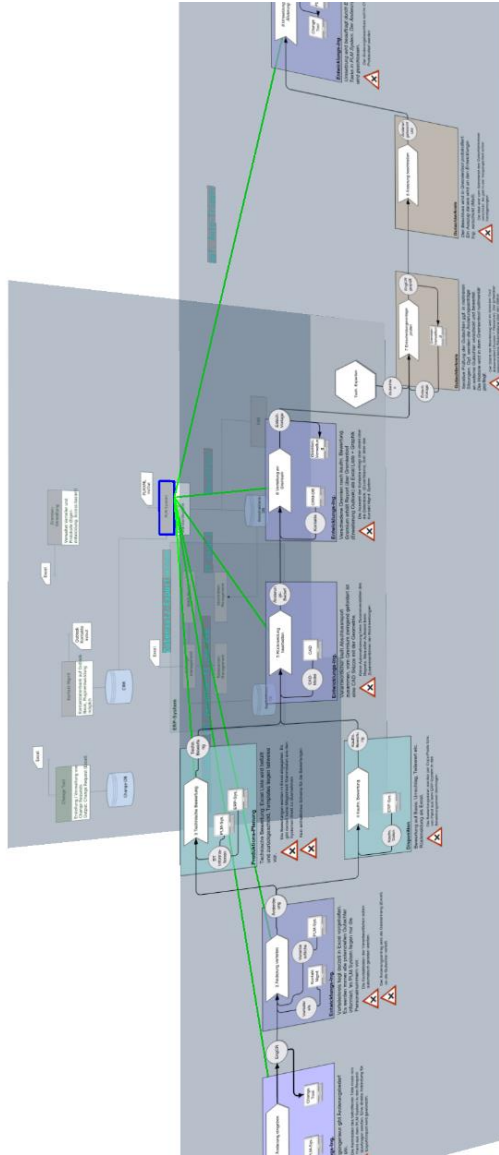
Abbildung 60: IT-Landschaft (Quelle: Eigene Darstellung)

Potenzial	Zielsystem	Anforderung	Kommentar
Die Kenndaten des betroffenen Teils muss von Hand aus dem PLM System in den Request übertragen werden. Eine direkte Anbindung für Export/Import wird gewünscht.	Change Tool	Import PLMDaten	Es muss eine Importfunktionalität für PLM-Daten aus dem PLM-System vorliegen
Die Kenndaten des betroffenen Teils muss von Hand aus dem PLM System in den Request übertragen werden. Eine direkte Anbindung für Export/Import wird gewünscht.	PLM System	Export PLM Stammdaten	Eine Query muss abgesetzt werden und die Resultate exportiert werden
Die Kontaktdaten der Verantwortlichen sollen automatisch geladen werden.	Kontakt-Mgmt	Export Kontaktdaten	Die Systeme Kontaktmanagement und Change-Tool sollen integriert sein. Die Kontaktdaten sollen automatisch
Der Änderungsantrag wird als Dateianhang (Excel) an die Gutachter verteilt	Change Tool	Excel-Export	Die Change-Daten sollen in Excel exportiert werden
Die BT-Verantwortliche sollen aus dem PLM System geladen werden	PLM System	BT-Verantwortliche export	Die BT Verantwortliche sollen aus dem System ausgelesen werden damit eine gezielte Auswahl aus dem Kontaktsystem geladen werden
Die Bewertungen werden in Excel abgegeben. Es gibt derzeit keine Möglichkeit Stammdaten aus den Systemen direkt zu übernehmen	PLM System	Datensatz-Export	Stammdaten sollen automatisch übernommen werden
Kein einheitliches Schema für die Bewertungen	Change Tool	Bewertung im System	Die Bewertung soll direkt im Change-Tool vorgenommen werden, alt. Schema Export / Import
Die Bewertungen werden in Excel abgegeben. Es gibt derzeit keine Möglichkeit Stammdaten aus den Systemen direkt zu übernehmen	ERP-System	Stücklisten-Management	Die Stücklisten sollen automatisch aufgelöst werden
Die Bewertungsdaten werden per Copy-Paste bzw. von Hand aus dem ERP-System in das Bewertungsheet übertragen	Auftragsmanagement	Bedarfe übernehmen	Stücklisten sollen im System aufgelöst werden und direkt in das Sysrtem übernommen werden
Keine Automatisierung beim Zusammenstellen des Reports. Manueller Aufwand beim Zusammenführen der Rückmeldungen	Change Tool	Import/RM im Tool	Automatisches Erstellen der Reports
System-Optimierung	PLM System	JT export	Export der Bauteile in JT für Reporting
Der Gremienverteiler soll automatisch zusammengestellt werden	Kontakt-Mgmt	Import-autom.	Import der Kontakte für Gremienverteiler
Der Gremienverteiler soll automatisch zusammengestellt werden	Change Tool	Trigger-Gremien-Tool	Workflow im Tool
Der Stand der Beurteilung wird im Gremien-Tool dokumentiert (Access + Fileserver). Der Entwickler bekommt keine Rückmeldung über	Change Tool	RM-Status	Funktionalität: Status der Entscheidung setzen
Ablage der Beschlussdaten im Change-Tool	Gremien- Verwaltung	Ablage	Protokoll exportierbar und einlesbar in Change-Tool
Die Mail wird vom Sekretariat des Gutachterkreises verschickt. Es gab in der Vergangenheit schon Verzögerungen	Kontakt-Mgmt	Auto-Mail m. Status	Die Mail mit Freigabe soll automatisch getriggert sein, alt. Direkte Verwendung im Change-Tool
Der Änderungsbeschluss soll im Change-Tool protokolliert werden	Change Tool	Ablage	Zentrale Ablage aller Change-Daten

**Tabelle 3:** Relationen zwischen den Modellen als Anforderungen



**Abbildung 61:** Evaluierungsszenario in 3D (Übersicht), (Quelle: Eigene Darstellung)



**Abbildung 62:** Detailbetrachtung der integrierten Modelle, (Quelle: Eigene Darstellung)



# Literaturverzeichnis

- Acatech (Hrsg.) (2011): *Cyber Physical Systems - Innovationsmotor für Mobilität, Energie und Produktion (acatech POSITION)*. Heidelberg u.a.: Springer Verlag. 2011.
- VDE, VDI (2015): *Statusreport: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)*. Verband der Elektrotechnik (VDE), Verein Deutscher Ingenieure e.V.. 2015.
- Allee, Verna (1997): „12 Principles of Knowledge Management“. In: *Training & Development*. S. 71–74 Vol. 51 (11). 1997.
- Allweyer, Thomas (2005): *Geschäftsprozessmanagement: Strategie, Entwurf, Implementierung, Controlling*. Herdecke, Bochum: W3I GmbH. 2005.
- Arnold, Volker; Dettmering, Hendrik; Engel, Torsten; u. a.; Arnold, Volker; Dettmering, Hendrik; Engel, Torsten; u. a. (2005): *Product Lifecycle Management beherrschen*. Berlin, Heidelberg: Springer. 2005.
- Balzer, Wolfgang (1982): *Empirische Theorien: Modelle - Strukturen Beispiele*. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg & Sohn. 1982.
- Bardohl, Roswitha (2002): „A visual environment for visual languages“. In: *Science of Computer Programming*. S. 181–203 Vol. 44 (2). 2002.
- Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.) (2014): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. 2014.
- Baum, Gerhard; Bocherding, Holger; Broy, Manfred; u. a.; Sandler, Ulrich (Hrsg.) (2013): *Industrie 4.0 Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM*. Berlin, Heidelberg: Springer-Vieweg. 2013.
- Becker, Jörg; Bergener, Philipp; Breuker, Dominic; u. a. (2010): „Evaluating the expressiveness of domain specific modeling languages using the Bunge-Wand-Weber ontology“. In: *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. Koloa, Kauai, Hawaii: IEEE Computer Society. 2010.

- Becker, Jörg; Kugeler, Martin; Rosemann, Michael (Hrsg.) (2005): *Prozessmanagement: Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer: 2005.
- Becker, Jörg; Rosemann, Michael; Schütte, Reinhard (1995): „Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung“. In: *Wirtschaftsinformatik*. S. 435–445 Vol. 37 (5). 1995.
- Becker, Jörg; Probandt, Wolfgang; Vering, Oliver (2012): *Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung-Konzeption und Praxisbeispiel für ein effizientes Prozessmanagement*. Berlin, Heidelberg: Springer. 2012.
- Bennett, Chris; Ryall, Jody; Spalteholz, Leo; u. a. (2007): „The Aesthetics of Graph Visualization.“. In: *Computational Aesthetics'07 Proceedings of the Third Eurographics conference on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging*. S. 57–64. Alberta, Canada. 2007.
- Bertin, Jacques (1982): „Graphische Darstellungen und die graphische Weiterverarbeitung der Information“. Berlin, Boston: De Gruyter. 1982.
- Bertin, Jacques (2010): „Semiology of Graphics“. Redlands, California, USA. Esri Press. 2010.
- Betz, Stefanie; Eichhorn, Daniel; Hickl, Susan; u. a. (2008): „3D Representation of Business Process Models“. In: *Proceedings of Modellierung betrieblicher Informationssysteme*. Saarbrücken: Köllen Verlag. S. 73–87. 2008.
- Bibliowicz, Arieh (2008): „A graph grammar-based formal validation of object-process diagrams“. Research Thesis. Israel Institute of Technology. Haifa, Israel. 2008.
- BITKOM; VDMA; ZVEI (Hrsg.) (2015): „Umsetzungsstrategie Industrie 4.0“. In: *Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0 (2015)*. Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.~V. (Bitkom), Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.~V. (VDMA), Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI), Berlin, Frankfurt am Main, (April 2015). 2015.
- Bittel, V.; Awad, R.; Ovtcharova, J (2009): „Analysis and semantic structuring of product information with the example“. In: *Innovation Information Technologies: Theory and Practice*. Ufa, Russia. 2009.

- Bittel, Vitalis (2014): „Semantische Informationsintegration – Konzeption eines auf Beschreibungslogiken basierenden Integrationssystems für die Produktentwicklung“. Karlsruher Institut für Technologie. Dissertation. 2014.
- Bobrik, Ralph (2008): "Konfigurierbare Visualisierung komplexer Prozessmodelle". Dissertation Universität Ulm. München: Dr. Hut-Verlag. 2008.
- Bonner, D. (2000): „The knowledge management challenge: New roles and responsibilities for chief knowledge officers and chief learning officers“. In: Phillips, Jack; Bonner, D. (Hrsg.) *Leading Knowledge Management and Learning: Seventeen Case Studies from the Real World of Training*. Alexandria, VA. 2000.
- Botthof, Alfons; Bovenschulte, Marc (2009): „Das „Internet der Dinge“ Die Informatisierung der Arbeitswelt und des Alltags“. In: *Arbeitspapier: Globalisierung und Europäisierung, Nr. 176. Düsseldorf: Hans Böckler Stiftung*. (176). 2009.
- Botthof, Alfons; Hartmann, Ernst Andreas (Hrsg.) (2014): *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer. 2014.
- Bottoni, Paolo; Costabile, Maria; Levialdi, Stefano; u. a. (2007): „The Theory of Visual Sentences to Formalize Interactive Visual Messages“. In: Ferri, Fernando (Hrsg.) *Visual Languages for Interactive Computing: Definitions and Formalizations*. Hershey, USA: IGI Publishing; 2007.
- Bowen, Paul L.; O'Farrell, Robert A.; Rohde, Fiona H. (2009): „An Empirical Investigation of End-User Query Development: The Effects of Improved Model Expressiveness vs. Complexity“. In: *Information Systems Research*. I Vol. 20, No. 4, Flexible and Distributed Information Systems Development. S. 565-584. Dezember 2009.
- Brachman, Ronald; Levesque, Hector (2004): *Knowledge Representation and Reasoning*. San Francisco, CA, USA. Morgan Kaufmann. 2004.
- Bracht, Uwe; Geckler, Dieter; Wenzel, Sigrid (2011): *Digitale Fabrik: Methoden und Praxisbeispiele*. Berlin, Heidelberg: Springer. 2011.

- Brodie, Michael; Bussler, Christoph; de Bruijn, J; u. a. (2005): „Semantically enabled service-oriented architectures: a manifesto and a paradigm shift in computer science“. In: *DERI-Digital Enterprise*. December 2005.
- Brown, Ross; Cliquet, Florian (2008): „Communication of Business Process Models via Virtual Environment Simulations“. In: *BP Trends*. S. 1–7 Vol. 12 (9). 2008.
- Brown, Ross (2012): *BPMVE Whitepaper*. Brisbane, Australia. 2012.
- Brown, Ross; Recker, Jan; West, Stephen; u. a. (2011): „Using virtual worlds for collaborative business process modeling“. In: *Business Process Management Journal*. S. 546–564 Vol. 17 (3) 2011.
- Brown, Ross; Eichhorn, Daniel; Herter, Johannes (2012): „Virtual World Process Perspective Visualization“. In: *Conference on Information, Process and Knowledge Management*. Valencia, Spanien. 2012.
- Buckl, Sabine; Matthes, Florian; Schweda, Christian M. (2010): „Conceptual models for cross-cutting aspects in enterprise architecture modeling“. In: *Proceedings - IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Workshop, EDOC*. S. 245–252. 2010.
- Bullinger, Hans-Jörg; Spath, Dieter; Warnecke, Hans-Jürgen; u. a. (Hrsg.) (2009): *Handbuch Unternehmensorganisation- Strategie, Umsetzung, Planung*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer. 2009.
- Bunge, Mario (1977): "Treatise on Basic Philosophy: Ontology I: The Furniture of the World". Springer Netherlands. 1977.
- Burkhardt, Melanie (2014): „Analyse von Methoden und Tools zur Geschäftsprozessmodellierung im Entwicklungsmanagement und Ableitung von Handlungsempfehlungen für Omega und OPM“. BSc. Thesis. Universität Stuttgart. 2014.
- Cañas, Alberto J; Carff, Roger; Hill, Greg; u. a. (2004): „Concept Maps: Integrating Knowledge and Information Visualization“. In: Tergan, S., Keller, T (Hrsg.). *Knowledge and Information Visualization*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 205–219. 2004.
- Card, Stuart K; Mackinlay, Jock D; Shneiderman, Ben (1999): *Readings in information visualization. Using vision to think*. San Diego, San Francisco, London: Academic Press. 1999.

- Cawthon, Nick; Moere, Andrew Vande (2007): „The Effect of Aesthetic on the Usability of Data Visualization“. In: *11th International Conference Information Visualization (IV '07)*. Washington, DC. IEEE. S. 637–648. 2007.
- Chen, Chaomei (2004): *Information visualization - beyond the horizon*. London: Springer. 2004.
- Chen, Peter Pin-Shan (1976): „The entity-relationship model- toward a unified view of data“. In: *ACM Transactions on Database Systems*. S. 9–36 Vol. 1 (1). 1976.
- Choi, Sang Su; Herter, Johannes; Bruening, Andreas; u. a. (2009): „MEMPHIS: New Framework for Realistic Virtual Engineering“. In: *Concurrent Engineering*. S. 21–33 Vol. 17 (1). 2009.
- Chuah, Mei C.; Roth, Steven F. (2003): „Visualizing common ground“. In: *Proceedings of the International Conference on Information Visualisation*. S. 365–372. 2003.
- Clark, James; Paivio, Allan (1991): „Dual coding theory and education“. In: *Educational Psychology Review*. Vol.3 (3). S.149-210.1991.
- Clark, Herbert H.; Brennan, Susan E. (1991): „Grounding in communication“. In: *Perspectives on Socially Shared Cognition*. Washington, D.C., USA: American Psychological Association. S. 127–149. 1991.
- Davenport, Thomas; Prusak, Lawrence; Webber, Alan (2000): „Working knowledge: how organizations manage what they know“. In: *IEEE Engineering Management Review*. S. 1–15 Vol. 31 (4). 2000.
- Davenport, Thomas (2010): *Process Management for Knowledge Work*. In Brocke, Jan; Rosemann, Michael (Hrsg.). *„Handbook on Business Process Management 1“*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 17–35 (2005). 2010.
- Davenport, Thomas H.; De Long, David; Beers, Michael (2008): „Successful Knowledge Management Projects“. In: *Sloan Management Review*. 39 (2);1998.
- Dengler, Patrick; Grasso, Anthony; Lilley, Chris; u. a. (2011): „Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 (Second Edition)“. W3C. 2011.
- Diehl, Holger (2009): „Systemorientierte Visualisierung disziplinübergreifender Entwicklungs-abhängigkeiten mechatronischer Automobilsysteme“.

- Dissertation. Lehrstuhl für Produktentwicklung. Technische Universität München. 2009.
- Dijkman, Remco M; Dumas, Marlon; Ouyang, Chun (2007): „Formal semantics and analysis of BPMN process models using Petri Nets“. In: *Information and Software Technology*. S. 1281–1294 Vol. 50 (12). 2007.
- Dörner, Dietrich (2000): *Die Logik des Mißlingens*. Hamburg: Rowohlt. 2000.
- Duden (2013): „Duden | Semantik 2013“. Dudenverlag, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus (Mannheim). 2013.
- Eichhorn, Daniel; Herter, Johannes; Oberweis, Andreas; Ovtcharova, Jivka (2011): „An Approach for a Domain-spanning Collaboration Platform for Decision Support Using Immersive Visualization Techniques in Product Manufacturing“. In: Nolte, A.; Prilla, M.; Lukosch, S.; u. a. (Hrsg.) *1st International Workshop on Collaborative Usage and Development of Models and Visualizations, CollabViz*. Aarhus, Denmark. 2011.
- Eichhorn, Daniel; Koschmider, Agnes (2010): „3D-Darstellung von Ressourcenattributen bei der Geschäftsprozessmodellierung“. In: *Second Central European Workshop on Services and their Composition February 26.-27. 2010*, Berlin. 2010.
- Eigner, Martin (2015): "How to integrate MB(S)E and PLM- Why we need Model Based (Systems) Engineering (MBSE) and Digitalization." In: *Business Architecture Innovation Summit*. Berlin. 2015.
- Eigner, Martin; Daniil, Roubanov; Zafirov, Radoslav (Hrsg.) (2014): *Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung*. Berlin, Heidelberg: Springer. 2014.
- Eigner, Martin; Schäfer, Patrick; Apostolov, Hristo; Abramovici, Michael; Stark, Rainer (Hrsg.) (2013): „Smart Product Engineering“. In: *Lecture Notes in Production Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 725–734. 2013.
- Eigner, Martin; Stelzer, Ralph (2009): *Product Lifecycle Management*. Berlin Heidelberg: Springer. 2009.
- Eigner, Martin; Stelzer, Ralph (2008a): *Product Lifecycle Management. Product Lifecycle Management - Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management*. 2., neu bearbeitete Auflage. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer. 2008.

- Eigner, Martin; Stelzer, Ralph (2008b): „Produktdaten-Management und Product Lifecycle Management“. In: *Product Lifecycle Management - Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 27–45. 2008.
- Embley, Dw; Thalheim, B; Embley, David W.; Thalheim, Bernhard (Hrsg.) (2011): „Handbook of Conceptual Modelling“. Berlin, Heidelberg: Springer. 2011.
- Erk, Katrin; Priese, Lutz (2000): „Begriffe und Notationen“. In: *Theoretische Informatik- Eine umfassende Einführung*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 3–33. 2000.
- Esser, Robert; Janneck, JW (2001): „A framework for defining domain-specific visual languages“. In: *Workshop on Domain Specific Visual Languages*. 2001.
- Euzenat, Jerome; Shvaiko, Pavel (2007): „Ontology Matching“. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 73–116. 2007.
- Evermann, Joerg; Wand, Yair (2001a): „Towards ontologically based semantics for UML constructs“. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Conceptual Modeling (ER 2001)*. S. 354–367. 2001.
- Evermann, Joerg; Wand, Yair (2001b): „Towards ontologically based semantics for UML constructs“. In: Kunii H.S., Jajodia S., and Sølvberg A. (Hrsg.) *ER '01 Proceedings of the 20th International Conference on Conceptual Modeling, Yokohama, Japan*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 354–367. 2001.
- Fahrwinkel, U. (1995): „Methoden zur Modellierung und Analyse von Geschäftsprozessen zur Unterstützung des Business Process Reengineering“. Dissertation. Universität Paderborn. 1995.
- Figl, Kathrin; Derntl, Michael; Rodriguez, Manuel Caeiro; u. a. (2010): „Cognitive effectiveness of visual instructional design languages“. In: *Journal of Visual Languages & Computing*. Elsevier. S. 359–373, Vol. 21 (6). 2010.
- Fonseca, Frederico; Davis, Clodoveu; Câmara, Gilberto (2003): „Bridging ontologies and conceptual schemas in geographic information integration“. In: *GeoInformatica*. Springer US. S. 355–378 Vol. 7 (4). 2003.
- Fonseca, Frederico; Egenhofer, Max (2002): „Using ontologies for integrated geographic information systems“. In: *Transactions in GIS*. S. 231–257 Vol. 6 (3). 2002.

- Fowler, Martin (2003): "Patterns of Enterprise Application Architecture". *Communications of the ACM*. Boston, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co. Inc. 2003.
- Frank, Ulrich (2002): „Multi-perspective enterprise modeling (MEMO) conceptual framework and modeling languages“. In: *Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. Washington, D.C., USA: IEEE Computer Society. S. 1258–1267. 2002.
- Gausemeier, Jürgen; Czaja, Anja; Dülme, Christian (2015): „Innovationspotentiale auf dem Weg zu Industrie 4.0“. In: *Wissenschafts- und Industrieforum Intelligente Technische Systeme 2015, 10. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme*. Heinz Nixdorf Institut, Paderborn. 2015.
- Gausemeier, Jürgen; Plass, Christoph; Wenzelmann, Christoph (2014): "Zukunftsorientierte Unternehmens- Gestaltung. Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen". 2. Auflage. München: Hanser Fachbuchverlag. 2014.
- Gehlert, Andreas; Pfeiffer, Daniel; Becker, Jörg (2007): „The BWV-Model as Method Engineering Theory“. In: *Proceedings of the 13th Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2007)*. Association for Information Systems (AIS). Paper 83. 2007.
- Geisberger, Eva; Broy, Manfred (Hrsg.) (2012): *Agenda CPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*. Studie. acatech. 2012.
- Gemino, Andrew; Wand, Yair (2005): „Complexity and Clarity in Conceptual Modeling: Comparison of Mandatory and Optional Properties“. In: *Data & Knowledge Engineering*. S. 301–326 Vol. 55 (3). 2005.
- Genon, Nicolas; Heymans, Patrick (2011): „Analysing the cognitive effectiveness of the BPMN 2.0 visual notation“. In: Malloy, Brian; Staab, Steffen; van den Brand, Mark (Hrsg.) *Software Language Engineering*. Berlin Heidelberg: Springer. S. 377–396. 2011.
- Goonetilleke, Ravindra S; Martins Shih, Heloisa; Kai on, Hung; u. a. (2001): „Effects of training and representational characteristics in icon design“. In: *International Journal of Human-Computer Studies*. S. 741–760 Vol. 55 (5). 2001.



- Grabowski, Hans; Leutsch, Marc (2002): „Die Entwicklung des Integrierten Produkt- und Produktionsmodells (PPM) des SFB346 hinsichtlich der Reduzierung der Modelkomplexität“. In: Grabowski, Hans (Hrsg.) *Rechnergestützte Produktentwicklung und -herstellung auf Basis eines integrierten Produkt- und Produktionsmodells*. Aachen: Schaker Verlag. 2002.
- Grabowski, Hans; Meis, Eike (1997): „Using Ontologies for integrated product model development“. In: *AAAI Technical Report SS-97-06*. AAAI. 1997.
- Granada, D; Vara, JM; Brambilla, M; u. a. (2015): „Analysing the Cognitive Effectiveness of the WebML Visual Notation“. In: *Software and Systems Modeling*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 1–33. 2015.
- Green, Peter F; Rosemann, Michael; Indulska, Marta; u. a. (2011): „Complementary use of modeling grammars“. In: *Scandinavian Journal of Information Systems*. S. 59–86 Vol. 23 (1). Art. 3. 2011.
- Green, Peter; Rosemann, Michael (2005): „Business Systems Analysis with Ontologies“. Hershey, Pennsylvania et. al.: IDEA Group. 2005.
- Green, Peter; Rosemann, Michael (2000): „Integrated process modeling: An ontological evaluation“. In: *Information Systems*. S. 73–87 Vol. 25 (2). Elsevier Science Ltd. 2000.
- Gruber, Thomas R (1993): „A Translation Approach to Portable Ontology Specifications by a Translation Approach to Portable Ontology Specifications“. In: *Knowledge Acquisition - Special issue: Current issues in knowledge modeling*. S. 199–220 Vol. 5 (April). 1993.
- Gruber, Thomas R (1991): „The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases“. In: *Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of the Second International Conference*. Morgan Kaufmann. S. 601–605. 1991.
- Grütter, Rolf (2005): „Software-Agenten im Semantic Web“. In: *Informatik-Spektrum*. S. 3–13 Vol. 29 (1). 2005.
- Guarino, Nicola (1998): „Formal Ontology and Information Systems“. In: *Proceedings of the first international conference*. S. 3–15. Trento, Italy (June). IOS Press. 1998.

- Gubbels, Holger (2009): *SAP ERP - Praxishandbuch Projektmanagement*. Wiesbaden: Springer- Vieweg. 2009.
- Gulden, Jens (2015): „A Description Framework for Data Visualizations in Enterprise Information Systems“. In: *Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC), 2015 IEEE 19th International*. S. 68–73. 2015.
- Gulden, Jens; Reijers, Hajo A (2015): „Toward Advanced Visualization Techniques for Conceptual Modeling“. In: *Proceedings of the CAiSE Forum 2015 Stockholm, Sweden, June 8-12, 2015*. S. 33–40. 2015.
- Guo, Hanwen; Brown, Ross; Rasmussen, Rune (2012): „Virtual worlds as a model-view approach to the communication of business processes models“. In: *CEUR Workshop, International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE 2012). Gdansk, Polen*. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer. 2012.
- Häfner, Victor (2014): „PolyVR - A Virtual Reality Authoring System“. In: Zachmann, G.; Perret, J.; Amditis, A. (Hrsg.) *Conference and Exhibition of the European Association of Virtual and Augmented Reality*. The Eurographics Association. 2014.
- Häfner, Victor; Wicaksono, Hendro; Ovtcharova, Jivka (2013): „Semi-automated Ontology Population from Building Construction Drawings“. In: *International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development*. Vilamoura, Portugal: SciTePress. S. 379–386. 2013.
- Hambuegge, Anne (2010): „Development of a method for evaluating the applicability of product views on a global product structure of an international automotive manufacturer“. Master Thesis. Hector School, Karlsruhe Institute of Technology. 2010.
- Harper, Simon; Michailidou, Eleni; Stevens, Robert (2009): „Toward a definition of visual complexity as an implicit measure of cognitive load“. In: *ACM Transactions on Applied Perception*. S. 1–18 Vol. 6 (2). 2009.
- Herter, Johannes; Brown, Ross; Ovtcharova, Jivka (2013): „A Visual Language for the Collaborative Visualization of Integrated Conceptual Models in Product Development Scenarios“. In: Abramovici, Michael; Stark, Rainer (Hrsg.) *Smart Product Engineering. Proceedings of the 23rd CIRP Design Conference*, Bochum. Springer. S. 805–814. 2013.

- Herter, Johannes; Schotte, Wolfgang; Ovtcharova, Jivka (2008): „Bridging VR and item-based PLM systems using an object oriented approach“. In: *International Conference on Product Lifecycle Management*. Seoul, Rep. Korea. 2008.
- International Council on Systems Engineering (2007): „Systems Engineering Vision 2020“. In: *Systems Engineering* 1. INCOSE. 09/2007.
- ISO/IEC (2003): *ISO 10303- Part 214 2nd Edition*. ISO - International Organisation for Standardization. 2003.
- Johansson, Lars-Olof; Wärja, Magnus; Kjellin, Harald; u. a. (2008): „Graphical modeling techniques and usefulness in the Model Driven Architecture: Which are the criteria for a „good“ Computer independent model?“. In: *Proceedings of The 31st Information Systems Research Seminar in Scandinavia (IRIS31)*. 16. – 19. August, Ruissalo Turku, Finland. 2008.
- Judelman, Gregory Brian (2004): „Knowledge Visualization“. Thesis. International School of New Media. University of Lübeck. 2004.
- Kanagasabapathy, K. (2006): „Empirical investigation of critical success factor and knowledge management structure for successful implementation of knowledge management system: A case study in process Industry“. In: *Hindustan College of Engineering Review*. S. 1–13. 2006.
- Kargermann, Henning; Wahlster, Wolfgang; Helbig, Johannes (2013): *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0*. Acatech, BMBF. 2013.
- Katicic, Jurica (2012): „Methodik für Erfassung und Bewertung von emotionalem Kundenfeedback für variantenreiche virtuelle Produkte in immersiver Umgebung“. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie. 2012.
- Keller, Gerhard; Nüttgens, Markus; Scheer, August-Wilhelm (1992): „Semantische Prozessmodellierung auf der Grundlage „Ereignisgesteuerter Prozessketten (EPK)“. *Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik (IWi)*, Universität des Saarlandes, Heft 89. Saarbrücken, 1992.
- Keller, Tanja; Gerjets, Peter; Scheiter, Katharina; u. a. (2006): „Information visualizations for knowledge acquisition: The impact of dimensionality and color coding“. In: *Computers in Human Behavior*. S. 43–65 Vol. 22 (1). 2006.

- Kim, Jinwoo; Hahn, Jungpil; Hahn, Hyoungmee (2000): „How do we understand a system with (so) many diagrams? Cognitive integration processes in diagrammatic reasoning“. In: *Information Systems Research*. Pro Quest Central. 2000.
- Kim, Jinwoo; Hahn, Jungpil (1997): „Reasoning with multiple diagrams: focusing on the cognitive integration process“. In: *19th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. S. 376–381. 1997.
- Kiwelakar, Arvind W.; Joshi, Rushikesh K. (2007): „An Object-Oriented Metamodel for Bunge-Wand-Weber Ontology“. In: *SWeCKa 2007, Workshop on Semantic Web for Collaborative Knowledge Acquisition at IJCAI 2007*. Hyderabad, India. 2007.
- Klar, Oliver (2005): „Ein Beitrag zur rechnerunterstützten Merkmalsgewinnung und -verknüpfung aus Produktdatenmodellen zur Erkennung und Auswertung von Abhängigkeiten für die integrierte Produktentwicklung“. Dissertation. Karlsruhe Institut für Technologie. 2005.
- Kraus, Uwe (2003): „ERP-OnTo-PDM: Konzept und prototypische Realisierung einer ontologiebasierten ERP / PDM Kopplung mittels XML-Technologie“. Dissertation. Universität Duisburg-Essen. 2003.
- Lange, Christian; Wijns, Martijn; Chaudron, Michel (2007): „A visualization framework for task-oriented modeling using UML“. In: *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Science*. IEEE. 2007.
- Leymann, Frank; Karastoyanova, Dimka; Papazoglou, Michael (2010): „Business Process Management Standards“. In: *Handbook on Business Process Management 1*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 513–542. 2010.
- Loomis, J M; Blascovich, J J; Beall, a C (1999): „Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology“. In: *Behavior research methods, instruments, & computers: a journal of the Psychonomic Society, Inc*. S. 557–64 Vol. 31 (4). 1999.
- Lwin, MO; Morrin, Maureen; Krishna, Aradhna (2010): „Exploring the superadditive effects of scent and pictures on verbal recall: An extension of dual coding theory“. In: *Journal of Consumer Psychology*. S. 317–326 Vol. 20 (3). 2010.

- Markgraph, Daniel (2013): *Arbeitswelten im Wandel*. Forschungspapier. Leipzig: AKAD-Hochschulen Leipzig. 2013.
- Marnewick, Carl; Labuschagne, Lessing (2005): „A conceptual model for enterprise resource planning (ERP)“. In: *Information Management & Computer Security*. S. 144–155 Vol. 13 (2). 2005.
- Mayer, Richard E.; Sims, Valerie K. (1994): „For Whom Is a Picture Worth a Thousand Words? Extensions of a Dual-Coding Theory of Multimedia Learning“. In: *Journal of Educational Psychology*. S. 389–401 Vol. 86 (3). 1994.
- Mayer, Richard E. (2005): „Cognitive theory of multimedia learning“. In: *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge University Press. 2005.
- McGaughey, Ronald E. (2007): "Enterprise Resource Planning (ERP): Past, Present and Future". In: *Global implications of modern Enterprise Information Systems*. IGI Global. S. 21–34. 2011.
- McIntosh, Paul; Hamilton, Margaret; Schyndel, Ron Van (2008): „X3D-UML: 3D UML State Machine Diagrams“. In: *Model Driven Engineering Languages and Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 264–279. 2008.
- McIntosh, Paul; von Pilgrim, Jens (2008): „3d UML Heuristic Challenge“. In: *Electronic Communication of the EASST*, Vol. 13, 2008.
- Meier, Peter (2006): „Visualisierung von Kommunikationsstrukturen für kollaboratives Wissensmanagement in der Lehre“. Dissertation. Universität Konstanz. 2006.
- Molich, Rolf; Nielsen, Jakob (1990): „Improving a Human- Computer Dialogue“. In: *Communications of the ACM*. Vol. 33 (3). 1990.
- Moody, Daniel (2009a): „The “Physics” of Notations: Toward a Scientific Basis for Constructing Visual Notations in Software Engineering“. In: *IEEE Transactions on Software Engineering*. S. 756–779 Vol. 35 (6). 2009.
- Moody, Daniel (2009b): „Theory Development in Visual Language Research : Beyond the Cognitive Dimensions of Notations“. In: *IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC)*. IEEE. S. 151–154. 2009.

- Moody, Daniel; Hillegersberg, Jos Van (2009): „Evaluating the visual syntax of UML: An analysis of the cognitive effectiveness of the UML family of diagrams“. In: *Software Language Engineering, Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 5452. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 16–34. 2009.
- Moody, Daniel Laurence (2003): „The Method Evaluation Model: A Theoretical Model for Validating Information Systems Design Methods“. In: *ECIS 2003 proceedings (2003)*: 79. Neapel, Italien. 2003.
- Moody, Daniel Laurence; Benczúr, András; Demetrovics, János; u. a. (2004): „Cognitive Load Effects on End User Understanding of Conceptual Models: An Experimental Analysis“. In: Benczúr, András; Demetrovics, János; Gottlob, Georg (Hrsg.) *ADBIS 2004*. Budapest, Hungaria: Springer. S. 129–143. 2004.
- Mostefai, Sihem; Bouras, Abdelaziz (2006): „What ontologies for PLM: a critical analysis“. *Conference on Concurrent Enterprising, Milan, Italy*. Vol. 3 (1). 2006.
- zur Muehlen, Michael; Recker, Jan (2008): „How Much Language is Enough? Theoretical and Practical Use of the Business Process Modeling Notation“. In: Bellahnène Z., Léonard, M. (Hrsg.) *Advanced Information Systems Engineering. CAiSE Montpellier, France 2008*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 465–479. 2008.
- Müller, Thomas (2011): *Zukunftsthema Geschäftsprozessmanagement*. PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (Hrsg.). 2011.
- Narayanan, N.; Hübscher, R. (1998): „Visual language theory: Towards a human-computer interaction perspective“. In: Marriott, Kim, Meyer, Bernd (Hrsg.) *Visual language theory*. S. 85–127 Vol. 3 (3). 1998.
- Nazemi, Kawa; Kohlhammer, Jörn (2013): „Visual Variables in Adaptive Visualizations“. In: *UMAP 2013 Extended Proceedings 21st Conference on User Modeling, Adaptation, and Personalization*. Rom, Italien. S. 32–36. 2013.
- Nielsen, Jakob (1989): „Coordinating user interfaces for consistency“. In: *ACM SIGCHI Bulletin*. S. 63–65 Vol. 20 (3). 1989.
- Nielsen, Jakob (1994): „Enhancing the explanatory power of usability heuristics“. In: *Conference companion on Human factors in computing systems CHI 94*. S. 152–158. 1994.

- Nielsen, Jakob (1993): *Usability Engineering*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann. 1993.
- Nielsen, Jakob; Molich, Rolf (1990): „Heuristic Evaluation of user interfaces“. In: *CHI '90 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. S. 249–256. 1990.
- Nonaka, Ikujiro, Konno, Noboru (1995): „The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation“. New York: Oxford University Press. 1995.
- Nonaka, Ikujiro; Konno, Noboru (1998): „The concept of „Ba“ - Building a Foundation for Knowledge Creation“. In: *California Management review*. S. 40–54. 1998.
- North, Klaus (2011): *Wissensorientierte Unternehmensführung - Wertschöpfung durch Wissen*. Wiesbaden: Gabler Verlag. 2011.
- O'Leary, Daniel E.; Selfridge, Peter (2000): „Knowledge management for best practices“. In: *Communications of the ACM*. S. 12–23 Vol. 43 (11) 2000.
- Object Management Group (2012): „OMG Systems Modeling Language (OMG SysML Version 1.3)“. Object Management Group. 2012.
- Object Management Group (2011a): „Business Process Model and Notation (BPMN)“. Object Management Group. 2011.
- Object Management Group (2011b): „OMG Unified Modeling Language TM (OMG UML), Superstructure v2. 3. 2010“. Object Management Group. 2011.
- Object Management Group (2010): *The MDA Foundation Model*. Object Management Group. 2010.
- Orbst, Leo (2003): „Ontologies for semantically interoperable systems“. In: *Proceedings of the 12<sup>th</sup> international conference on Information and knowledge management - CIKM '03*. New York, USA: ACM Press. S. 366ff. 2003.
- Ovtcharova, Jivka (2010): „Virtual Engineering: Principles, Methods and Applications“. In: *International design conference - Design 2010*. Dubrovnik - Croatia. S. 1267–1274. 2010.
- Ovtcharova, Jivka (2009): *Virtual Engineering*. Handout zur Vorlesung "Virtual Engineering". Karlsruher Institut für Technologie. 2009.

- Ovtcharova, Jivka; Häfner, Polina; Häfner, Victor; u. a. (2015): „Innovation braucht Resourceful Humans - Aufbruch in eine neue Arbeitskultur durch Virtual Engineering“. In: *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Springer Vieweg. S. 111–124. 2015.
- Pausch, Randy; Proffitt, Dennis; Williams, George (1997): „Quantifying immersion in virtual reality“. In: *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '97*. S. 13–18. 1997.
- Paivio, Allan (1971): *Imagery and verbal processes*. Psychology Press. New York, London: Taylor&Francis Group. 1971.
- Pavio, Allan. (1986): *Mental representation: A dual coding approach*. Oxford Press. 1986.
- Paivio, Allan (2006): „Dual coding theory and education“. In: *Pathways to Literacy Achievement for High Poverty Children*. The University of Michigan School of Education. 2006.
- Pawlowsky, Peter; Gözalan, Aylin; Schmid, Simone (2011): *Wettbewerbsfaktor Wissen: Managementpraxis von Wissen und Intellectual Capital in Deutschland*. Forschungsstelle Organisationale Kompetenz und Strategie. Technische Universität Chemnitz 2011.
- Petre, Marian (1995): „Why looking isn't always seeing: readership skills and graphical programming“. In: *Communications of the ACM*. S. 33–44. Vol. 38 (6). 1995.
- Pfeiffer, D (2007): „Constructing comparable conceptual models with domain specific languages“. In: *Proceedings of the 15th European Conference on Information Systems, ECIS 2007*. S. 876–888. 2007.
- Pfeiffer, Daniel (2004): „Constructing comparable Conceptual Models with domain specific languages“. In: *ECIS*. S. 876–888. 2004.
- Pilgrim, Jens von (2012): „Computerunterstützte Modelltransformationen - Modellierungstheorie, Konzeption und Visualisierung im Rahmen modellgetriebener Entwicklungsverfahren“. Dissertation. Fern-Universität in Hagen. 2012.
- Pilgrim, Jens von; Duske, Kristian (2008): „GEF3D – a Framework for Two-, Two-and-a-Half-, and Three-Dimensional Graphical Editors“. In: *SoftVis '08*



- Proceedings of the 4th ACM symposium on Software visualization*. S. 95–104. 2008.
- Pilgrim, Jens von; Duske, Kristian (2011): „GEF3D Development Blog: Do you want 3D in Eclipse?“. 2011. Onlineressource.  
<http://gef3d.blogspot.de/2010/09/do-you-want-3d-in-eclipse.html>. Zugriff am 23.02.2015
- Pintzos, George; Rentzos, Loukas; Efthymiou, Konstantinos; u. a. (2013): „A Knowledge Based Collaborative Platform for the Design and Deployment of Manufacturing Systems“. In: Bernard, Alain; Rivest, Louis; Dutta, Debasish (Hrsg.) *Product Lifecycle Management for Society*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 268–276. 2013.
- Poppe, Erik; Brown, Ross; Recker, Jan; u. a. (2013): „Improving Remote Collaborative Process Modelling using Embodiment in 3D Virtual Environments“. In: *APCCM '13: Proceedings of the Ninth Asia-Pacific Conference on Conceptual Modelling (APCCM 2013)*. S. 51–60. 2013.
- ProSTEP iViP Association (2008): *Usage Guide for OMG PLM Services 2.0*. 2008.
- Quintas, Paul; Lefrere, Paul; Jones, Geoff (1997): „Knowledge management: A strategic agenda“. In: *Long Range Planning*. Elsevier. S. 385–391 Vol. 30 (3). 1997.
- Raschke, Michael; Blascheck, Tanja; Ertl, Thomas (2014): „Cognitive Ergonomics in Visualization“. In: *Lecture Notes In Computer Science*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 80–94. 2014.
- Recker, Jan (2008): „*Understanding Process Modelling Grammar Continuance*“. Dissertation. Queensland University of Technology, Brisbane, Australien. 2008.
- Recker, Jan (2011a): *Evaluations of Process Modeling Grammars- Ontological, Qualitative and Quantitative Analysis*. Lecture Notes in Business Information Processing. Berlin, Heidelberg: Springer. 2011.
- Recker, Jan; Brown, Ross; Rasmussen, Rune; u. a. (2013): „Class Notes: BPM Research and Education The BPMVE Wunderkammer“. In: *BPTrends*, Vol. 10 (März). 2013.

- Recker, Jan C. (2009): „Opportunities and Constraints: the current struggle with BPMN“. In: *Business Process Management Journal*. S. 181–201 Vol. 16 (Mai). 2009.
- Recker, Jan; Rosemann, Michael; Indulska, Marta; u. a. (2009): „Business process modeling: a comparative analysis“. In: *Journal of the Association for Information Systems*, Vol. 10 (4). S. 333–363. 2009.
- Recker, Jan; Indulska, Marta (2007): „An Ontology-Based Evaluation of Process Modeling with Petri Nets“. In: *Journal of Interoperability in Business Information Systems*. S. 45–64 Vol. 2 (1). 2007.
- Recker, Jan; Indulska, Marta; Rosemann, Michael; u. a. (2005): „Do Process Modelling Techniques Get Better? A Comparative Ontological Analysis of BPMN“. In: *ACIS 2005 Proceedings. Paper 36*. 2005.
- Recker, Jan; West, Stephan (2010): „Collaborative Business Process Modeling Using 3D Virtual Environments“. *AMCIS 2010 Proceedings. Paper 249*. 2010.
- Reiners, Dirk (2002): „A flexible and extensible traversal framework for scenegraph systems“. In: *Proceedings of 1st OpenSG Symposium*. Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung. Darmstadt. 2002.
- Rosemann, Michael; Recker, Jan; Flender, Christian (2008): „Contextualization of Business Processes“. In: *International Journal of Business Process Integration and Management*. S. 47–60 Vol. 3 (1). 2008.
- Rosemann, Michael; Vessey, Iris; Weber, Ron; u. a. (2004): „On the applicability of the Bunge-Wand-Weber ontology to enterprise systems requirements“. In: *Australasian Conference on Information Systems. ACIS 2004 Proceedings. Paper 78*. 2004.
- Sääksvuori, Antti; Immonen, Anselmi (2005): *Product Lifecycle Management*. Berlin, Heidelberg: Springer. 2005.
- Sanfilippo, Emilio M; Borgo, Stefano; Masolo, Claudio (2014): „Events and Activities: Is there an Ontology behind BPMN ?“. In: *Formal Ontologies in Information Systems*. S. 147–156. 2014.
- Schütte, Re (1997): *Die neuen Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. Paper zum Forschungsforum 1997*. Münster. 1997.

- Sheth, Amit (1999): „Changing Focus on Interoperability in Information Systems: From System, Syntax, Structure to Semantics“. In: *Interoperating Geographic Information Systems*. Vol. 495. S. 5–30. 1999.
- Sheth, Amit (2005): „Enterprise applications of semantic web: the sweet spot of risk and compliance“. In: *IFIP International Conference on Industrial Applications of Semantic Web*. Jyvaskyla, Finland. 2005.
- Shneiderman, B. (1996a): „The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations“. In: *Proceedings 1996 IEEE Symposium on Visual Languages*. S. 336–343. 1996.
- Shneiderman, Ben (1996b): „The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations“. In: *Visual Languages, 1996. Proceedings, IEEE Symposium on*. Boulder, Colorado: IEEE. 1996.
- Shtub, Avraham; Karni, Reuven (2010): "ERP: The dynamics of supply chain and process management." In: *ERP: The Dynamics of Supply Chain and Process Management: Second Edition*. Springer US. 2010.
- Slocum, Terry a. (1983): „Predicting Visual Clusters on Graduated Circle Maps“. In: *Cartography and Geographic Information Science*. S. 59–72 Vol. 10 (1). 1983.
- Smith, Elizabeth A (2001): „The role of tacit and explicit knowledge in the workplace“. In: *Journal of Knowledge Management* Vol. 5 (4). S. 311–321. 2001.
- Spence, Robert (2014): *Information Visualization*: Springer International Publishing. 2014.
- Sperka, M; Kapec, Peter (2010): „Interactive Visualization of Abstract Data“. In: *Science & Military Journal*. S. 84–90. 2010.
- Stachowiak, Herbert (1973): *Allgemeine Modelltheroie*. Berlin, Heidelberg: Springer. 1973.
- Stark, John (2011): *Product lifecycle management - 21st century paradigm for product realization*. Berlin, Heidelberg: Springer. 2011.
- Stehr, Nico (2010): „Handbuch Wissensgesellschaft. Theorien, Themen und Probleme“. Engelhardt, Anina; Kajetzke, Laura (Hrsg.) Bielefeld: Transcript Verlag. S. 53–63. 2010.

- Stücheli, Marius; Meboldt, Mirko (2013): „Mechatronic Machine Elements: On Their Relevance in Cyber-Physical Systems“. In: Abramovici, Michael; Stark, Rainer (Hrsg.) *Smart Product Engineering, Proceedings of the 23rd CIRP Design Conference, Bochum, Germany*. S. 263–272. Berlin, Heidelberg: Springer. 2013.
- Tanasescu, Vlad; Gugliotta, Alessio; Domingue, John; u. a. (2006): „A Semantic Web Services GIS Based Emergency Management Application“. In: *International Semantic Web Conference*. Berlin, Heidelberg: Springer. S.959–966. 2006.
- Tergan, Sigmar-Olaf; Keller, Tanja (2005): *Knowledge and information visualization. Knowledge and information visualization: Searching for synergies*. Berlin, Heidelberg: Springer. 2005.
- Teyseyre, Alfredo R; Campo, Marcelo R (2009): „An overview of 3D software visualization“. In: *IEEE transactions on visualization and computer graphics*. S. 87–105 Vol. 15 (1). 2009.
- Thaden, Uwe; Steimann, Friedrich (2003): „Animated UML as a 3d-illustration for teaching OOP“. In: *In Workshop on Pedagogies and Tools for Learning Object-Oriented Concepts*. 2003.
- Thomas, Wolfgang (2010): „Theoretische Informatik“. In: *Informatik-Spektrum*. Berlin, Heidelberg: Springer (eXamen.press). S. 429–431 Vol. 33 (5). 2010.
- Tufte, Edward R. (1998): „Envisioning Information“. In: *Graphics Press*. S. 346–348 Vol. 79 (3). 1998.
- Umble, Elisabeth; Haft, Ronald; Umble, Michael (2003): „Enterprise resource planning: Implementation procedures and critical success factors“. *European Journal of Operational Research* Vol. 146.2. 2003.
- VDI (2008): „VDI 4499: Digitale Farbbik - Grundlagen“. Berlin: Verein Deutscher Ingenieure. 2008.
- Vessey, I (1991): „Cognitive Fit: A Theory-Based Analysis of the Graphs versus Tables Literature“. In: *Decision Sciences*. S. 219–240 Vol. 22. 1991.
- Wand, Yair (1996): „Ontology as a foundation for meta-modelling and method engineering“. In: *Information and Software Technology*. S. 281–287 Vol. 38 (4). 1996.

- Wand, Yair; Weber, Ron (1990b): „An Ontological Model of an Information System“. In: *IEEE Transactions on Software Engineering*. S. 1282–1292 Vol. 16 (11). 1990.
- Wand, Yair; Storey, Veda C; Weber, Ron (1999): „An ontological analysis of the relationship construct in conceptual modeling“. In: *ACM Transactions on Database Systems*. S. 494–528 Vol. 24 (4). 1999.
- Ware, Colin (2004): *Information visualization: perception for design*. Morgan Kaufmann. San Francisco, USA. 2004.
- Ware, Colin; Brunswick, New (1996): „Evaluating Stereo and Motion Cues for Visualizing Information Nets in Three Dimensions“. In: *ACM Transactions on Graphics (TOG)* Vol. 15 (2). S. 121–140. 1996.
- Ware, Colin; Mitchell, Peter (2008): „Visualizing graphs in three dimensions“. In: *ACM Transactions on Applied Perception*. S. 1–15 Vol. 5 (1). 2008.
- Weiser, Marc (1991): „The computer for the 21st century“. In: *Scientific American*. S. 94–104. 09/1991.
- Welcome, Suzanne E; Paivio, Allan; McRae, Ken; u. a. (2011): „An electrophysiological study of task demands on concreteness effects: evidence for dual coding theory“. In: *Experimental brain research*. S. 347–358 Vol. 212 (3). 2011.
- Westkämper, Engelbert (2006): *Einführung in die Organisation der Produktion*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. 2006.
- Woods, David D.; Watts, Jennifer C. (1997): „How Not to Have to Navigate Through Too Many Displays“. In: Helander, M.; Landauer, T.K.; Prabhu, P (Hrsg). *Handbook of Human-Computer Interaction*. Elsevier. S. 617–650. 1997.
- Wussusek, B (2006): „On ontological foundations of conceptual modelling“. In: *Scandinavian Journal of Information Systems*. Vol. 18 (1). 2006.
- Wysusek, Boris (2006): „On Ontological Foundations of Conceptual Modelling On Ontological Foundations of Conceptual Modelling“. Dissertation. Centre for Telematics and Information Technology, University of Twente. Holland. 2006.

- Wyssusek, Boris; Schwartz, Martin; Kremberg, Bettina; u. a. (2001): „Business Process Modelling as an Element of Knowledge Management – A Model Theory Approach“. In: *Managing Knowledge 2001: Conversations and Critiques*. Leicester, England. 2001.
- YAWL Foundation (2011): „YAWL - User Manual“.  
<http://www.yawlfoundation.org>, Zugriff am 15.06.2011.
- Zhang, Hong; Kishore, Rajiv; Ramesh, Ram (2007): „Semantics of the MibML Conceptual Modeling Grammar“. In: *Journal of Database Management*, Idea Group Inc.; S. 1–19 Vol. 18 (1). 2007.



Die industrielle Produktentwicklung fußt auf einer engen Zusammenarbeit verschiedener Fachbereiche. In notwendigen Abstimmungsprozessen treffen unterschiedliche Denkweisen, Methoden und Begrifflichkeiten aufeinander. Erklärungsbedarfe und Missverständnisse sind vorprogrammiert. Der Beitrag dieser Arbeit unterstützt die disziplinübergreifende Kommunikation: Eine integrierte graphische Darstellung von fachlichen Modellen macht Abhängigkeiten sichtbar und gibt Abstimmungsprozessen eine anschauliche Grundlage.

In vielen Disziplinen der Produktentwicklung dienen konzeptionelle Modelle der Strukturierung und Lösung von typischen Aufgabenstellungen. Der vorgestellte Lösungsansatz erfasst zunächst die Beziehungen zwischen fachlichen Modellen anhand der wissenschaftlichen Grundlage von semantischen Technologien. Darauf aufbauend wird eine neue Methode zur integrierten Visualisierung der Modelle vorgestellt. Dafür wird die räumliche Tiefe als Darstellungsmittel eingeführt. Modelle verschiedener Fachdisziplinen werden in einem gemeinsamen dreidimensionalen Informationsraum positioniert, sodass die Abhängigkeiten im Raum zwischen den Modellen sichtbar werden. Die Theorie der visuellen Sprachen bietet dafür eine fundierte Grundlage. Anwender können in dem Informationsraum frei navigieren und anhand der sichtbaren Abhängigkeiten fachübergreifende Fragestellungen gemeinsam diskutieren und lösen. Durch tieferes gegenseitiges Verständnis werden übergreifende Abstimmungsprozesse beschleunigt und die Qualität von gemeinsamen Entscheidungen verbessert.

ISBN 978-3-7315-0597-6

