



**BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL**

**Ansatz für ein modellbasiertes Anforderungsmanagement  
für Unternehmensnetzwerke**

**Bergische Universität Wuppertal**

Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik

Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

vorgelegt von

**Jan-Peter Georg Nicklas, M.Sc.**

aus Haan

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. habil. Petra Winzer

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. habil. Robert Refflinghaus

Tag der Einreichung: 13.10.2015

Tag der mündlichen Prüfung: 29.04.2016

Fachgebiet Produktsicherheit und Qualitätswesen

Bergische Universität Wuppertal



Berichte zum Generic-Management

Band 2/2016

**Jan-Peter Georg Nicklas**

**Ansatz für ein modellbasiertes Anforderungs-  
management für Unternehmensnetzwerke**

Shaker Verlag  
Aachen 2016

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

Zugl.: Wuppertal, Univ., Diss., 2016

Copyright Shaker Verlag 2016

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4556-7

ISSN 1618-7008

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Zusammenfassung

Die qualitätsgerechte Entwicklung und Bereitstellung von komplexen Produkten und Dienstleistungen stellt Unternehmen vor immer größer werdende Herausforderungen, welche unter anderem durch die Verkürzung von Produktlebenszyklen, einer zunehmenden Variantenvielfalt und dem globalen Wettbewerb zu beschreiben sind. Um diesen zu begegnen, schließen sich Unternehmen vermehrt zu Unternehmensnetzwerken zusammen. Die hieraus resultierende Komplexität der Organisationsstrukturen, die Relokalisation von Prozessen aber auch Know-how Verluste sind als einige der Schwierigkeiten für die Bildung von Unternehmensnetzwerken zu benennen. Andere, wie etwa Barrieren in der Kommunikation durch unterschiedliche Produkt- und Servicemodelle, verschiedenste, mitunter unbekannte Stakeholdergruppen und deren Anforderungen sowie die hohe Anzahl an involvierten Partnern und deren unterschiedliche fachdisziplinspezifischen Hintergründe, sind weitere anspruchsvolle Herausforderungen für Unternehmensnetzwerke.

Grundlegend ist es für Unternehmensnetzwerke nötig, Anforderungen hinsichtlich qualitativ hochwertiger Produkte und Dienstleistungen zu berücksichtigen, um am Markt zu bestehen. Nur durch genaue und aktuelle Kenntnisse über die Anforderungen sowie deren Wichtigkeit für die verschiedenen Stakeholder, können Produkte und Dienstleistungen zielgerichtet bereitgestellt, verbessert sowie eine Überdimensionierung vermieden werden. Um dies zu realisieren und die Handhabung von Komplexität für Unternehmensnetzwerke zu vereinfachen, wurde in dieser Arbeit ein systemtheoriebasierter Ansatz zum modellbasierten Anforderungsmanagement für Unternehmensnetzwerke entwickelt. Der Ansatz für das modellbasierte Anforderungsmanagement für Unternehmensnetzwerke nutzt das Generic Systems Engineering und kombiniert ein standardisiertes Vorgehenskonzept zum Anforderungsmanagement mit einem Modell des Netzwerkes (Netzwerkmodell) sowie der durch das Netzwerk erbrachten Leistung. Damit dient es nicht nur der Handhabung der Anforderungen, sondern auch der dem Produkt, dem Service bzw. dem Unternehmensnetzwerk innewohnenden Komplexität. In jedem Schritt des Vorgehens zum Anforderungsmanagement wurden spezifische Methoden und Verfahren, je nach vorliegender Problemstellung, eingesetzt. Diese wurden aus untersuchten Ansätzen zum Anforderungsmanagement abgeleitet. Das Netzwerkmodell selbst basiert auf einer Erweiterung des Demand Compliant Design und kommt der Forderung eines einheitlichen Modells zum fachdisziplinübergreifenden Verständnis mittels fünf einheitlichen Sichten nach. Durch den wiederkehrenden Abgleich zwischen Vorgehen und Modell wurde die ständige Aktualisierung und Präzisierung des Modells realisiert, sodass in den verschiedenen Schritten des Anforderungsmanagements eine wiederkehrende Zielpräzisierung für ein konsistentes Modell erfolgte.

An drei unterschiedlichen Anwendungsbeispielen, einem mittelständischen Unternehmensnetzwerk, einem europäischen Entwicklungsnetzwerk sowie einem weltweit agierenden Unternehmensnetzwerk und deren ausgewählten Leistungen, wurde die Anwendung des Ansatzes realisiert. So wurde nicht nur gezeigt, dass der entwickelte Ansatz die Anforderungen im Unternehmensnetzwerk für die jeweiligen Leistungen zuweisen konnte, sondern auch, dass das Verständnis über die Leistungen und deren Erbringung durch das einheitliche Netzwerkmodell im Unternehmensnetzwerk verbessert wurde. Infolge der Verknüpfung des Netzwerkmodells mit dem entwickelten Vorgehen konnte ein Beitrag zur Komplexitätshandhabung für Unternehmensnetzwerke erarbeitet werden.

## **Abstract**

Developing and providing complex products and services, which have to meet the expected quality of stakeholders, pose major challenges for organizations. These can be described by the shortening of product life cycles, increasing diversity of variants and global competition. For handling these challenges, organizations merge to collaborative networks. The ensuing complexity of organizational structures, the relocation of processes as well as the loss of know-how are several possible arising difficulties for these collaborative networks. Others, like obstacles in communication through different product- or service models, occasional unknown stakeholder groups as well as a high number of involved partners and their different, discipline specific backgrounds have to be considered too.

In general collaborative networks have to fulfill requirements regarding high-grade quality products and services to assert themselves on the market. Only with exact and actual knowledge about requirements and their importance for the different stakeholders, performances can be improved goal-oriented. Also over-design can be prevented. However conflicting interests can arise in collaborative networks regarding the requirements, the disclosure of customer data or the importance of customers or requirements. Therefore the objective of this thesis is the development of a comprehensive approach for handling requirements in collaborative networks with regard to complexity of the realized performances. The approach for the model-based requirements management for collaborative networks uses the principles of Generic Systems Engineering. Therefore it combines a standardized procedure for requirements management with a model of the collaborative network (network model) as well as a model of the realized performances. For this reason it does not only improve the handling of requirements. It improves as well the handling of the inherent complexity of performances and of the collaborative networks. In every step of the procedure of the requirements management approach specific methods and techniques are used according to the defined problem. These methods and techniques were derived by the examined requirements management approaches. The network model is based on an enhancement of the demand compliant design. It complies to the demanded unified model with five standardized views for an interdisciplinary understanding. By using a recurrent alignment of the procedure and the model, a permanent actualization and specification is realized. Thereby the model is kept consistently up to date in every step of the requirements management procedure.

The approach was tested on three different examples of application. These examples were a medium sized collaborative network, a European development network and a global operating collaborative network with their particular performances. By using the developed approach requirements were allocated in the collaborative network. The understanding of the performances was also improved with the help of the unified network model. As a result of the connection between the network model and the standardized requirements management procedure, the new approach represents a contribution for an improved handling of complexity in collaborative networks.

## **Vorwort zur Dissertation**

Um die anforderungsgerechte Bereitstellung von Produkten und Dienstleistungen für Unternehmensnetzwerke zu realisieren ist ein umfassender und einheitlicher Ansatz für das Anforderungsmanagement nötig. Die Entwicklung eines solchen nimmt Herr Jan-Peter Georg Nicklas in der vorliegenden Dissertationsschrift vor.

Durch die Bildung von komplexen Unternehmensnetzwerken sowie die zunehmende Produktkomplexität wachsen die Schwierigkeiten für die Handhabung von Anforderungen. Diese sind durch unvollständige Stakeholderbeziehungen, fachdisziplinspezifische Modelle oder auch falsch definierte Anforderungen begründet, um nur einige zu nennen. Herr Nicklas weist nach, dass nur durch die Nutzung eines interdisziplinären Systemmodells sowie eines einheitlichen Vorgehens die geforderte Anforderungsumsetzung zu realisieren ist. Dazu entwickelt er, basiert auf dem Demand Compliant Design, ein Netzwerkmodell und kombiniert dieses mit einem standardisierten Vorgehenskonzept zum Anforderungsmanagement. Dieses nutzt in seinen einzelnen Phasen, basierend auf der identifizierten Problemstellung, spezifische Methoden und Verfahren zur Problemlösung. Das Netzwerkmodell und das Vorgehenskonzept wurden für den Ansatz zum modellbasierten Anforderungsmanagement zusammengeführt und in drei Beispielen, einem mittelständischen Unternehmensnetzwerk, einem Entwicklungsnetzwerk sowie einem Konzernnetzwerk angewandt. So zeigte Herr Nicklas, dass nicht nur die Anforderungen den jeweiligen Sichten des Netzwerkmodells zugewiesen, sondern auch das Verständnis des Netzwerkes über die anforderungsgerechte Realisierung der Leistungen verbessert werden konnte.

Die vorliegende Arbeit basiert auf einer sehr umfassenden Literaturrecherche auf deren Grundlage die systematische Entwicklung des Ansatzes für das modellbasierte Anforderungsmanagement für Unternehmensnetzwerke vorgenommen wurde. Die erfolgreiche Erprobung des Ansatzes an drei Beispielen zeigt die praktische Realisierbarkeit des Ansatzes für Unternehmensnetzwerke. Das Ergebnis der Dissertation stellt nicht nur eine Hilfe zur Komplexitätshandhabung für Unternehmensnetzwerke mittels des Anforderungsmanagements dar. Sie leistet vielmehr einen wichtigen Beitrag für die Qualitätswissenschaften und Unternehmensnetzwerke.

Prof. Dr.-Ing. habil. Petra Winzer

Fachgebiet Produktsicherheit und Qualitätswesen  
Bergische Universität Wuppertal



## Danksagung

“Until your back’s up against the wall  
You never know yourself that much at all  
So you’ve got to share your love with a friend  
That’s all that you’ve got left in the end”

(Beastie Boys)

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Produktsicherheit und Qualitätswesen der Bergischen Universität Wuppertal. Mein besonderer Dank gilt meiner Doktormutter Frau Prof. Dr.-Ing. habil. Petra Winzer, welche diese Dissertation unterstützt und betreut hat. Ohne Ihr konstruktives Feedback wäre diese Arbeit nicht möglich geworden. Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Robert Refflinghaus danke ich ebenfalls besonders für die Übernahme des Mitberichts und sein Feedback. Auch danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Uli Barth für die Übernahme des Vorsitzes und Herrn Hon.-Prof. Dr.-Ing. Markus Reiche für den Beisitz der Prüfungskommission.

Dem Team des Fachgebiets Produktsicherheit und Qualitätswesen der Bergischen Universität Wuppertal, welchem ich seit dem Jahr 2008 als studentische Hilfskraft angehörte, danke ich ebenfalls. Hier seien besonders Martina Gorka und Gabriele Seider erwähnt, welche mir bei der organisatorischen Realisierung und dem Korrekturlesen der Arbeit halfen. Das konstruktive Feedback, welches ich durch Gespräche, Forschungskolloquien und Vorveröffentlichungen erhalten habe, hatte ebenfalls einen entscheidenden Anteil am erfolgreichen Gelingen dieser Arbeit. Dafür danke ich, neben den vorgenannten, Ovidiu Bielefeld, Hendrik Dransfeld, Thomas Etmanski, Miriam Huber, Michel Mamrot, Stefan Marchlewitz, Michael Morawiec, Florian Riekhof, Nadine Schlüter, Sven Tegtmeier, Marén Willing und Soroush Yazdanmadad.

Für die Ermöglichung der Anwendung und Evaluierung des entwickelten Ansatzes in der Praxis danke ich Herrn Horst-Werner Maier-Hunke, allen Studierenden des Studiengangs Sicherheitstechnik, welche in den Laboren zum Anforderungsmanagement mitgearbeitet haben, allen deutschen, österreichischen und polnischen Partnern des Forschungsprojektes aim4it sowie Herrn Dr.-Ing. Timo Füermann.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern, meiner Familie, meinen Freunden sowie meiner Freundin. Sie alle haben durch ihre Unterstützung entscheidend zu dem erfolgreichen Gelingen der Arbeit beigetragen.

Wuppertal, im April 2016

Jan-Peter Georg Nicklas



|  |      |
|--|------|
| <b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....   | III  |
| <b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....   | VI   |
| <b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....   | VIII |
| <b>1 EINLEITUNG UND AUSGANGSSITUATION</b> .....  | 1    |
| 1.1 <b>PROBLEMSTELLUNG</b> .....   | 2    |
| 1.2 <b>ZIELSETZUNG</b> .....   | 3    |
| 1.3 <b>HERANGEHENSWEISE</b> .....  | 5    |
| <b>2 STAND DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK</b> .....  | 7    |
| 2.1 <b>ANSÄTZE ZUM UMGANG MIT KOMPLEXITÄT</b> .....  | 7    |
| 2.1.1 <i>Systeme, Systemverständnis und Systemumgebung</i> .....   | 8    |
| 2.1.2 <i>Systems Engineering (SE)</i> .....  | 15   |
| 2.1.3 <i>Generic Systems Engineering (GSE)</i> .....   | 17   |
| 2.1.4 <i>System of Systems Engineering (SoSE)</i> .....  | 18   |
| 2.1.5 <i>Model-Based Systems Engineering (MBSE)</i> .....  | 22   |
| 2.1.6 <i>Zwischenfazit zum Umgang mit Komplexität</i> .....  | 24   |
| 2.2 <b>ANSÄTZE ZUR MODELLIERUNG VON UNTERNEHMENSNETZWERKEN</b> .....   | 29   |
| 2.2.1 <i>Modellierungsansätze basierend auf der Graphentheorie</i> .....   | 30   |
| 2.2.2 <i>Modellierungsansätze aus der Fabrikplanung</i> .....  | 32   |
| 2.2.3 <i>System Dynamics und agentenbasierte Modellierung</i> .....  | 37   |
| 2.2.4 <i>Weitere Modellierungsansätze für Unternehmensnetzwerke</i> .....  | 38   |
| 2.2.4.1 <i>Wertkette nach Porter</i> .....   | 38   |
| 2.2.4.2 <i>Netzwerktypologien und Klassifizierungsansätze</i> .....  | 38   |
| 2.2.4.3 <i>Mathematische Modelle</i> .....   | 40   |
| 2.2.5 <i>Modellierungsansätze aus der Produktentwicklung</i> .....   | 40   |
| 2.2.5.1 <i>Axiomatic Design</i> .....  | 40   |
| 2.2.5.2 <i>Demand Compliant Design</i> .....   | 41   |
| 2.2.5.3 <i>Design Structure Matrix und strukturelles Komplexitätsmanagement</i> .....                              | 45   |
| 2.2.5.4 <i>Consens</i> .....   | 46   |
| 2.2.6 <i>Zwischenfazit zu den Modellierungsansätzen</i> .....  | 47   |
| 2.3 <b>ANSÄTZE DES ANFORDERUNGSMANAGEMENTS</b> .....   | 50   |
| 2.3.1 <i>Schritte des Anforderungsmanagements</i> .....  | 52   |
| 2.3.2 <i>Zwischenfazit zum Anforderungsmanagement in Unternehmensnetzwerken</i> .....                              | 56   |
| 2.4 <b>ZUSAMMENFASSUNG, KONKRETISIERUNG UND ERWEITERUNG DER ANFORDERUNGEN AN DEN ZU ENTWICKELNDEN ANSATZ</b> ..... | 58   |
| 2.4.1 <i>Anforderungen aus dem GSE-Ansatz</i> .....  | 59   |
| 2.4.2 <i>Konkretisierung und Erweiterung der Anforderungen</i> .....   | 61   |
| <b>3 ENTWICKLUNG DES ANSATZES ZUM MODELLBASIERTEM ANFORDERUNGSMANAGEMENT FÜR UNTERNEHMENSNETZWERKE</b> .....       | 63   |
| 3.1 <b>DENKMODELL</b> .....  | 65   |
| 3.1.1 <i>Erweiterung des DeCoDe-basierten Denkmodells</i> .....  | 67   |
| 3.1.2 <i>Attribuierung der Systemelemente</i> .....  | 72   |
| 3.2 <b>VORGEHENS KONZEPT</b> .....   | 75   |
| 3.2.1 <i>Problemdefinition und Systemabgrenzung</i> .....  | 78   |
| 3.2.2 <i>Anforderungserhebung und -dokumentation</i> .....   | 81   |
| 3.2.3 <i>Vorauswahl und Strukturierung</i> .....   | 84   |
| 3.2.4 <i>Bewertung</i> .....   | 87   |
| 3.2.5 <i>Verknüpfung</i> .....   | 89   |
| 3.2.6 <i>Validierung</i> .....   | 90   |
| 3.3 <b>FAZIT</b> .....   | 92   |

---

|  |     |
|--|-----|
| 4 ANWENDUNG DES ANSATZES ZUM MODELLBASIERTEN ANFORDERUNGSMANAGEMENT FÜR UNTERNEHMENSNETZWERKE.....                     | 95  |
| 4.1 BEISPIEL MITTELSTÄNDISCHES UNTERNEHMENSNETZWERK .....  | 97  |
| 4.1.1 <i>Problemdefinition und Systemabgrenzung</i> .....  | 98  |
| 4.1.2 <i>Anforderungserhebung und -dokumentation</i> .....   | 103 |
| 4.1.3 <i>Vorauswahl und Strukturierung</i> .....   | 106 |
| 4.1.4 <i>Bewertung</i> .....   | 107 |
| 4.1.5 <i>Verknüpfung</i> .....   | 110 |
| 4.1.6 <i>Validierung</i> .....   | 112 |
| 4.2 BEISPIEL EUROPÄISCHES ENTWICKLUNGSNETZWERK .....   | 114 |
| 4.2.1 <i>Problemdefinition und Systemabgrenzung</i> .....  | 115 |
| 4.2.2 <i>Anforderungserhebung und -dokumentation</i> .....   | 118 |
| 4.2.3 <i>Vorauswahl und Strukturierung</i> .....   | 121 |
| 4.2.4 <i>Bewertung</i> .....   | 124 |
| 4.2.5 <i>Verknüpfung</i> .....   | 125 |
| 4.2.6 <i>Validierung</i> .....   | 127 |
| 4.3 BEISPIEL WELTWEIT AGIERENDES UNTERNEHMENSNETZWERK .....  | 128 |
| 4.3.1 <i>Problemdefinition und Systemabgrenzung</i> .....  | 129 |
| 4.3.2 <i>Anforderungserhebung und -dokumentation</i> .....   | 131 |
| 4.3.3 <i>Vorauswahl und Strukturierung</i> .....   | 134 |
| 4.3.4 <i>Bewertung</i> .....   | 136 |
| 4.3.5 <i>Verknüpfung</i> .....   | 138 |
| 4.3.6 <i>Validierung</i> .....   | 139 |
| 4.4 BEWERTUNG DES ENTWICKELTEN ANSATZES FÜR EIN MODELLBASIERTES ANFORDERUNGSMANAGEMENT FÜR UNTERNEHMENSNETZWERKE ..... | 140 |
| 5 FAZIT UND AUSBLICK .....   | 147 |
| 6 LITERATURVERZEICHNIS UND BILDNACHWEISE.....  | 153 |
| 7 ANHANGSVERZEICHNIS.....  | 191 |

## Abbildungsverzeichnis

|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Abbildung 1:  | Beispiel für die Struktur eines Unternehmensnetzwerkes .....   | 1  |
| Abbildung 2:  | Aufwand für das Anforderungsmanagement und Kostenüberschreitung bei verschiedenen NASA-Projekten [in Anlehnung an Partsch, 2010] .....       | 2  |
| Abbildung 3:  | Vorgehensweise zur Entwicklung des Ansatzes für ein modellbasiertes Anforderungsmanagement für Unternehmensnetzwerke .....                   | 5  |
| Abbildung 4:  | Zusammenhang zwischen Black- und Greybox-Modell [in Anlehnung an Dyckhoff/Spengler, 2010] .....  | 8  |
| Abbildung 5:  | Soziotechnisches System „Brot schneiden“ [in Anlehnung an Ehrlenspiel/Meerkamm, 2013] .....  | 10 |
| Abbildung 6:  | Verständnis eines Arbeitssystems [in Anlehnung an Braunholz, 2006] .....   | 10 |
| Abbildung 7:  | SvS-Zusammenhang [in Anlehnung an Cole, 2009] .....  | 12 |
| Abbildung 8:  | Zusammenfassende Systemdarstellung [in Anlehnung an Haberfellner et al., 2012] .....   | 13 |
| Abbildung 9:  | Systems Engineering im Wandel der Zeit [Winzer, 2013, S.47] .....  | 16 |
| Abbildung 10: | Vernetzung von Vorgehenskonzept und Denkmodell [Winzer, 2013, S.170] .....   | 18 |
| Abbildung 11: | System von Systemen und ihre Dimensionen [in Anlehnung an DeLaurentis/Fry, 2008] .....   | 20 |
| Abbildung 12: | Korrespondierende Darstellung mittels SysML-Blockdiagramm und OPL-basiertem Diagramm für das Herz [in Anlehnung an Ramos et al., 2013] ..... | 23 |
| Abbildung 13: | Beschreibung eines vernetzten Produktionssystems mittels Digraphen und Adjazenzmatrix [in Anlehnung an Walther, 2010] .....                  | 31 |
| Abbildung 14: | Graph und Matrix mit Bewertung [in Anlehnung an Werners, 2008] .....   | 31 |
| Abbildung 15: | Generisches Kompetenzzellenmodell [in Anlehnung an Enderlein et al., 2003] .....   | 33 |
| Abbildung 16: | Systemterminologie und -betrachtung [in Anlehnung an Schenk/Wirth, 2004] .....   | 35 |
| Abbildung 17: | abrik als System [in Anlehnung an King-Kordi, 2010] .....  | 37 |
| Abbildung 18: | Zusammenhänge der Domänen im Axiomatic Design [in Anlehnung an Park, 2007] .....   | 41 |
| Abbildung 19: | DeCoDe-Systemansichten im Detail [in Anlehnung an Schlund, 2011] .....   | 42 |
| Abbildung 20: | Grundkonzept des DeCoDe-Modells [in Anlehnung an Müller/Winzer, 2009] .....  | 43 |
| Abbildung 21: | Zusammenführung von DSM und DMM in einer MDM [in Anlehnung an Kreimeyer/Lindemann, 2011] .....   | 45 |
| Abbildung 22: | Wachsende Anforderungsanzahl am Beispiel des Volkswagen Golf [in Anlehnung an Gausemeier et al., 2013a] .....                                | 51 |
| Abbildung 23: | Verkürzung der Produktlebenszyklen am Beispiel des Volkswagen Golf [in Anlehnung an Braasch/Haller, 2015] .....                              | 51 |
| Abbildung 24: | Vorgehen zur Anforderungserhebung [in Anlehnung an Hickey/Davis, 2004] .....   | 55 |
| Abbildung 25: | Vorgehen zur Entwicklung des Ansatzes zum modellbasierten Anforderungsmanagement für Unternehmensnetzwerke .....                             | 63 |
| Abbildung 26: | Einsatzbereiche des Systemmodells [in Anlehnung an Kaiser, 2013] .....   | 65 |
| Abbildung 27: | Weiterentwicklung des Systemmodells .....  | 66 |
| Abbildung 28: | Sichten des enhanced Demand Compliant Design [Müller/Nicklas, 2014, S.117] .....   | 67 |
| Abbildung 29: | Zusammenhang zwischen den eDeCoDe-Sichten .....  | 69 |
| Abbildung 30: | Ausschnitt eines Netzwerkmodells von einem ÖPNV-Netzwerk .....   | 70 |
| Abbildung 31: | Attribute für das eDeCoDe-basierte Denkmodell [in Erweiterung von Winzer, 2013] .....  | 72 |
| Abbildung 32: | Entwicklung des Vorgehenskonzeptes für ein modellbasiertes Anforderungsmanagement für Unternehmensnetzwerke .....                            | 77 |
| Abbildung 33: | Doppelter Blackbox-Ansatz [in Anlehnung an Nicklas/Winzer, 2014] .....   | 79 |
| Abbildung 34: | Modellbildung des Produktsystems [in Anlehnung an Nicklas/Winzer, 2014] .....  | 79 |
| Abbildung 35: | Modellbildung des Unternehmensnetzwerkes mittels eDeCoDe-Verständnis [in Anlehnung an Nicklas/ Winzer, 2014] .....                           | 80 |
| Abbildung 36: | Anforderungserhebung und Systemmodellierung [in Anlehnung an Robertson/Robertson, 2006] .....  | 81 |
| Abbildung 37: | Verknüpfung der Anforderungen im Netzwerkmodell .....  | 82 |
| Abbildung 38: | Ausschnitt der eDeCoDe-Hauptmatrix mit möglichen Attributzuweisungen .....   | 83 |
| Abbildung 39: | Hierarchie von Nutzungsprozessen eines autonomen Roboters [in Anlehnung an Mamrot et al., 2014] .....  | 85 |

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Abbildung 40: | Übergang von Hierarchie zu Anforderungen und technischen Lösungen [in Anlehnung an Mamrot et al., 2014].....  | 86  |
| Abbildung 41: | Zielpräzisierung und Aktualisierung des Netzwerkmodells.....  | 86  |
| Abbildung 42: | Zusammenhang zwischen Anforderungshierarchie, -bewertung und Systemmodell.....  | 88  |
| Abbildung 43: | Verknüpfung der priorisierten Anforderungen im Netzwerkmodell [in Anlehnung an Nicklas/Winzer, 2014] .....  | 89  |
| Abbildung 44: | Validierung und Nutzung des Netzwerkmodells über verschiedene Zeiträume .....   | 91  |
| Abbildung 45: | Ansatz zum modellbasierten Anforderungsmanagement für Unternehmensnetzwerke.....  | 93  |
| Abbildung 46: | Ausschnitt der Struktur des mittelständischen Unternehmensnetzwerkes .....  | 97  |
| Abbildung 47: | Doppelter Blackbox-Ansatz für das mittelständische Unternehmensnetzwerk.....  | 99  |
| Abbildung 48: | Dekomposition des Präsentationshefters und Integration in das Netzwerkmodell .....  | 100 |
| Abbildung 49: | Dekomposition des Unternehmensnetzwerkes und der Lieferbeziehungen.....   | 101 |
| Abbildung 50: | Zusammenhang von Fertigungsprozessen, Komponenten und Personen .....  | 102 |
| Abbildung 51: | Anforderungserhebung mittels Methode 6-3-5.....   | 104 |
| Abbildung 52: | Vorgehen zur Komprimierung der aufgenommenen Anforderungen .....  | 105 |
| Abbildung 53: | Ausgewählte Anforderungen und Attribute aus dem Netzwerkmodell.....   | 106 |
| Abbildung 54: | Vorauswahl und Strukturierung für das ausgewählte Beispiel des Präsentationshefters .....   | 107 |
| Abbildung 55: | Erste Bewertung und Präzisierung des Netzwerkmodells für den Präsentationshefter .....  | 108 |
| Abbildung 56: | Zweite Bewertung und Präzisierung des Netzwerkmodells für den Präsentationshefter .....   | 109 |
| Abbildung 57: | Untersuchung der Zusammenhänge im Netzwerkmodell .....  | 111 |
| Abbildung 58: | Iterative Nutzung des eDeCoDe-basierten Netzwerkmodells.....  | 113 |
| Abbildung 59: | Doppelter Blackbox-Ansatz für das europäische Entwicklungsnetzwerk und das aim4it-Mobilitätskonzept .....   | 116 |
| Abbildung 60: | Betrachtung der Systemabgrenzung und -umwelt für das zu entwickelnde Mobilitätskonzept .....  | 117 |
| Abbildung 61: | Systemabgrenzung des Entwicklungsnetzwerkes .....   | 117 |
| Abbildung 62: | Beispielhafter Ausschnitt eines eSB für die ÖPNV Nutzung von Fahrgäste mit speziellen Transportanforderungen [Nicklas et al., 2015a].....                         | 120 |
| Abbildung 63: | Präzisierung des Netzwerkmodells .....  | 121 |
| Abbildung 64: | Ausschnitt der Anforderungen für den Use-Case „Feedbackfunktion“ .....  | 122 |
| Abbildung 65: | Hierarchische Anforderungsstrukturierung für den Use-Case „Feedbackfunktion“ .....  | 123 |
| Abbildung 66: | Bewertung und Präzisierung des Netzwerkmodells für den Präsentationshefter für das Mobilitätskonzept hinsichtlich der textuellen Informationsbereitstellung ..... | 124 |
| Abbildung 67: | Ausschnitt des eDeCoDe-basierten Netzwerkmodells.....   | 126 |
| Abbildung 68: | Anwendungsbeispiele der Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie an ABC-Säulen.....   | 128 |
| Abbildung 69: | Doppelter Blackbox-Ansatz für das weltweit agierende Unternehmensnetzwerk und die Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie.....   | 129 |
| Abbildung 70: | Aufbau Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie.....  | 130 |
| Abbildung 71: | Ausschnitt des Netzwerksystems für die Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie.....  | 131 |
| Abbildung 72: | Nutzung des vorhandenen Modells zur Anforderungsableitung und Aufbau des Netzwerkmodells .....  | 132 |
| Abbildung 73: | Ausschnitt des eDeCoDe-basierten Netzwerkmodells für die Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie .....   | 133 |
| Abbildung 74: | Strukturbildung für die Funktion „Schutz des Basislacks/Kunststoffs“ .....  | 135 |
| Abbildung 75: | Ausschnitt aus dem präzisierten Netzwerkmodell .....  | 136 |
| Abbildung 76: | Bewertung und Präzisierung des Netzwerkmodells der Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie ...   | 137 |
| Abbildung 77: | Ausschnitt des präzisierten eDeCoDe-basierten Netzwerkmodells für die Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie .....  | 138 |
| Abbildung 78: | Anwendung des Ansatzes für ein modellbasiertes Anforderungsmanagement für Unternehmensnetzwerke an drei Beispielen .....  | 140 |
| Abbildung 79: | Hierarchisches und heterarchisches Netzwerk [in Anlehnung an Kampker et al., 2014] .....  | 147 |
| Abbildung 80: | Abgrenzung des Modellbegriffs.....  | 195 |
| Abbildung 81: | Anforderungsschablone [in Anlehnung an Rupp, 2011].....   | 201 |

---

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Abbildung 82: | Use-Case Diagramm am Beispiel des Systems „Verkauf“ [in Anlehnung an Cockburn, 2008] .....        | 203 |
| Abbildung 83: | Aufbau eines eSB [in Anlehnung an Nicklas et al., 2012].....                                      | 203 |
| Abbildung 84: | Kano-Modell [in Anlehnung an Hölzing, 2008] .....   | 206 |
| Abbildung 85: | Zielsystem einer Nutzwertanalyse [in Anlehnung an Ehrlenspiel/Meerkamm, 2013].....                | 212 |
| Abbildung 86: | Bewertungsmatrix [in Anlehnung an Saaty/Wind, 1980] .....   | 216 |
| Abbildung 87: | Unterschiede der Hierarchisierung nach AHP und ANP [in Anlehnung an Saaty, 2005] .....            | 217 |
| Abbildung 88: | Verfahren zur Messung der Kundenzufriedenheit [in Anlehnung an Töpfer et al., 2008].....          | 220 |
| Abbildung 89: | Vorgehensweise bei der Anwendung des AHP [in Anlehnung an Refflinghaus, 2009] .....               | 223 |
| Abbildung 90: | Grundstruktur von AHP-Hierarchien [in Anlehnung an Refflinghaus, 2009] .....                      | 224 |
| Abbildung 91: | Beispiele für Graphen [in Anlehnung an Brandes, 2010] .....                                       | 232 |
| Abbildung 92: | Isomorphie von Graphen [in Anlehnung an Koll, 2013].....  | 232 |
| Abbildung 93: | Adjazenzmatrix eines gerichteten Netzwerkes mit drei Akteuren [in Anlehnung an Lerner, 2010]..... | 234 |
| Abbildung 94: | Adjazenzmatrix eines ungerichteten Netzwerkes [in Anlehnung an Werners, 2008] .....               | 235 |

## Tabellenverzeichnis

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Tabelle 1:  | Kernfragen und Forderungen für den zu entwickelnden Ansatz für ein modellbasiertes Anforderungsmanagement für Unternehmensnetzwerke .....          | 4   |
| Tabelle 2:  | Proto-Methode für SvS [DeLaurentis, 2005] .....  | 21  |
| Tabelle 3:  | Anforderungsabgleich für die SE-basierten Ansätze.....   | 27  |
| Tabelle 4:  | Erläuterung der Systemsichten [Winzer, 2013].....  | 42  |
| Tabelle 5:  | Inhalte der DeCoDe-Matrizen [Winzer et al., 2007].....   | 44  |
| Tabelle 6:  | Bewertung der Anforderungserfüllung der untersuchten Modellierungsansätze .....  | 47  |
| Tabelle 7:  | Anforderungsmanagement-Ansätze und vorgeschlagene Schritte .....   | 53  |
| Tabelle 8:  | Kernanforderungen an ein modellbasiertes Anforderungsmanagement für Unternehmensnetzwerke .....  | 59  |
| Tabelle 9:  | Anforderungen an das Denkmodell und Vorgehenskonzept für den Ansatz für ein modellbasiertes Anforderungsmanagement für Unternehmensnetzwerke ..... | 60  |
| Tabelle 10: | Konkretisierte und erweiterte Anforderungen für ein modellbasiertes Anforderungsmanagement für Unternehmensnetzwerke .....                         | 61  |
| Tabelle 11: | Erweiterung der Matrizen und deren Fragestellungen [Müller/Nicklas, 2014].....   | 68  |
| Tabelle 12: | Erläuterung der Sichten für das eDeCoDe-basierte Denkmodell [Winzer, 2013; Müller/Nicklas, 2014] .....   | 69  |
| Tabelle 13: | Ausschnitt der eDeCoDe-basierten Hauptmatrix zum ÖPNV-Netzwerk.....  | 71  |
| Tabelle 14: | Use-Cases und Anwendungsfelder zur Anforderungserhebung.....   | 118 |
| Tabelle 15: | Qualitätsanforderungen an Lacke [Papenfuss, 2014] .....  | 135 |
| Tabelle 16: | Bewertung der Anforderungserfüllung des entwickelten Ansatzes.....   | 142 |
| Tabelle 17: | Auswahl von Methoden zur Anforderungserhebung.....   | 200 |
| Tabelle 18: | Klassifikation von MADM-Verfahren [Ossadnik, 1998; Ude, 2010] .....  | 210 |
| Tabelle 19: | AHP Skalenwerte [Saaty, 1987a; Saaty, 1996; Saaty/Peniwati 2008] .....   | 225 |
| Tabelle 20: | Berechnungsschema zur näherungsweise Ermittlung des Eigenvektors [Meixner/Haas, 2002] .....  | 227 |
| Tabelle 21: | Zusammenhang zwischen Konsistenz, Kompatibilität und Anzahl der Elemente [Saaty, 2000] .....   | 228 |
| Tabelle 22: | Durchschnittsmatrix [Meixner/Haas, 2002] .....   | 229 |
| Tabelle 23: | Eigenwertberechnung [Meixner/Haas, 2002] .....   | 229 |
| Tabelle 24: | Fertigungskomponenten und deren Parameter .....  | 237 |
| Tabelle 25: | Komprimierte Anforderungen zum Prozess „Abheften von Papier in Präsentationshefter“ .....  | 238 |
| Tabelle 26: | Komprimierte Anforderungen zum Prozess „Ablage des Hefers mit Papier im Schrank (liegend oder hängend)“ .....                                      | 239 |
| Tabelle 27: | Komprimierte Anforderungen zum Prozess „Transport des Präsentationshefters per Post“ .....   | 240 |
| Tabelle 28: | „muss“ Anforderungen zum Prozess „Abheften von Papier im Präsentationshefter“ .....  | 240 |
| Tabelle 29: | „sollte“ Anforderungen zum Prozess „Abheften von Papier im Präsentationshefter“ .....  | 241 |
| Tabelle 30: | „muss“ Anforderungen zum Prozess „Ablage des Hefers mit Papier im Schrank (liegend oder hängend)“ .....  | 242 |
| Tabelle 31: | „sollte“ Anforderungen zum Prozess „Ablage des Hefers mit Papier im Schrank (liegend oder hängend)“ .....  | 242 |
| Tabelle 32: | „muss“ Anforderungen für den Prozess „Transport des Präsentationshefters per Post“ .....   | 243 |
| Tabelle 33: | „sollte“ Anforderungen für den Prozess „Transport des Präsentationshefters per Post“ .....   | 244 |
| Tabelle 34: | Legende für die Bewertung „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“ .....   | 244 |
| Tabelle 35: | Evaluationsmatrix, „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“ .....  | 244 |
| Tabelle 36: | Normalisierte Matrix und Gewichte - „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“.....  | 244 |
| Tabelle 37: | Quadrierte Evaluationsmatrix I, „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“.....  | 245 |
| Tabelle 38: | Normalisierte Matrix und Gewichte I, „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“.....   | 245 |
| Tabelle 39: | Quadrierte Evaluationsmatrix II, „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“.....   | 245 |
| Tabelle 40: | Normalisierte Matrix und Gewichte II, „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“.....  | 245 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabelle 41: Ermittlung des Differenzvektors, „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“.....          | 245 |
| Tabelle 42: Legende für die Bewertung „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“ (2)                  | 246 |
| Tabelle 43: Evaluationsmatrix, „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“ (2).....                    | 246 |
| Tabelle 44: Normalisierte Matrix und Gewichte, „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“ (2).....    | 246 |
| Tabelle 45: Quadrierte Evaluationsmatrix I, „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“ (2).....       | 246 |
| Tabelle 46: Normalisierte Matrix und Gewichte I, „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“ (2).....  | 246 |
| Tabelle 47: Quadrierte Evaluationsmatrix II, „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“ (2).....      | 247 |
| Tabelle 48: Normalisierte Matrix und Gewichte II, „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“ (2)..... | 247 |
| Tabelle 49: Ermittlung des Differenzvektors, „Präsentationshefter“, Nutzungsprozess „Abheften von Papier“ (2).....      | 247 |
| Tabelle 50: aim4it-Use-Case Template.....   | 248 |
| Tabelle 51: Legende für die Bewertung „textuelle Informationsbereitstellung“.....                                       | 249 |
| Tabelle 52: Evaluationsmatrix, „textuelle Informationsbereitstellung“.....  | 249 |
| Tabelle 53: Normalisierte Matrix und Gewichte, „textuelle Informationsbereitstellung“.....                              | 249 |
| Tabelle 54: Quadrierte Evaluationsmatrix I, „textuelle Informationsbereitstellung“.....                                 | 249 |
| Tabelle 55: Normalisierte Matrix und Gewichte I, „textuelle Informationsbereitstellung“.....                            | 249 |
| Tabelle 56: Quadrierte Evaluationsmatrix II, „textuelle Informationsbereitstellung“.....                                | 249 |
| Tabelle 57: Normalisierte Matrix und Gewichte II, „textuelle Informationsbereitstellung“.....                           | 250 |
| Tabelle 58: Ermittlung des Differenzvektors, „textuelle Informationsbereitstellung“.....                                | 250 |
| Tabelle 59: Legende für die Bewertung „Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie“.....   | 251 |
| Tabelle 60: Evaluationsmatrix, „Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie“.....  | 251 |
| Tabelle 61: Normalisierte Matrix und Gewichte, „Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie“.....                                  | 251 |
| Tabelle 62: Quadrierte Evaluationsmatrix I, „Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie“.....                                     | 251 |
| Tabelle 63: Normalisierte Matrix und Gewichte I, „Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie“.....                                | 251 |
| Tabelle 64: Quadrierte Evaluationsmatrix II, „Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie“.....                                    | 252 |
| Tabelle 65: Normalisierte Matrix und Gewichte II, „Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie“.....                               | 252 |
| Tabelle 66: Ermittlung des Differenzvektors, „Lackersatz- bzw. Lackschutzfolie“.....                                    | 252 |

**Abkürzungsverzeichnis**

|           |  |
|-----------|--|
| AHP       | Analytic Hierarchy Process   |
| AM        | Anforderungsmanagement   |
| ANP       | Analytic Network Process   |
| App       | Applikation  |
| BPMN      | Business Process Model and Notation  |
| CONSENS   | Conceptual design Specification technique for the Engineering of complex Systems |
| CORE      | Controlled Requirements Expression   |
| DeCoDe    | Demand Compliant Design  |
| DIMA      | Decentralized Integrated Modelling Approach                                      |
| DIN       | Deutsches Institut für Normung e.V.  |
| DSM       | Design Structure Matrix  |
| eDeCoDe   | enhanced Demand Compliant Design   |
| ELECTRE   | Elimination Et Choice Translation Reality  |
| EN        | European Norm  |
| eSB       | erweiterter Service Blueprint  |
| GSE       | Generic Systems Engineering  |
| Hrsg.     | Herausgeber  |
| IEEE      | The Institute of Electrical and Electronics Engineering                          |
| INCOSE    | International Council on Systems Engineering                                     |
| ISO       | International Organization for Standardization                                   |
| ITCS      | Intermodal Traffic Control System  |
| ITIS      | Intermodal Transport Information System  |
| KBA       | Kraftfahrtbundesamt  |
| MADM      | Multi Attribute Decision Making  |
| MBSE      | Model-Based Systems Engineering  |
| MCDM      | Multi Criteria Decision Making   |
| MDS       | Model-Driven System Design   |
| MODM      | Multi Objective Decision Making  |
| NASA      | National Aeronautics and Space Administration                                    |
| ÖPNV      | Öffentlicher Personennahverkehr  |
| OMG       | Object Management Group  |
| OPL       | Object-Process Language  |
| OOSEM     | Object-Oriented Systems Engineering Methodology                                  |
| PLC       | Product life cycle   |
| PROMETHEE | Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations                |
| RE        | Requirements Engineering   |
| RUPSE     | Rational Unified Process for Systems Engineering                                 |
| SADT      | Structured Analysis and Design Technique   |

---

|        |   |
|--------|---|
| SE     | Systems Engineering                             |
| SLAM   | Simultaneous Localization and Mapping           |
| SoaML  | Service oriented architecture Modeling Language |
| SoS    | System of Systems                               |
| SoSE   | System of Systems Engineering                   |
| SysML  | Systems Modeling Language                       |
| SYSMOD | Systems Modeling Process                        |
| SvS    | System von Systemen                             |
| UML    | Unified Modeling Language                       |
| UNW    | Unternehmensnetzwerke                           |