

KAY LENKENHOFF

**METHODENBASIERTE MODELLIERUNG  
EINER CYBER-PHYSISCHEN  
INFORMATIONSSARCHITEKTUR**  
EIN BEITRAG FÜR DAS  
DURCHGÄNGIGE ENGINEERING



LEHRSTUHL FÜR  
PRODUKTIONSSYSTEME

# Methodenbasierte Modellierung einer cyber-physischen Informationsarchitektur

Ein Beitrag für das durchgängige Engineering

Dissertation

zur  
Erlangung des Grades  
Doktor-Ingenieur

der  
Fakultät für Maschinenbau  
der Ruhr-Universität Bochum

von  
**Kay Lenkenhoff**  
aus Schwelm

Bochum 2018

Dissertation eingereicht am: 19. April 2018

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Juni 2018

Erster Referent: Prof. Dr.-Ing. Bernd Kuhlenkötter

Zweiter Referent: Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Produktionssysteme

Band 3/2018

**Kay Lenkenhoff**

**Methodenbasierte Modellierung einer  
cyber-physischen Informationsarchitektur**

Ein Beitrag für das durchgängige Engineering

Shaker Verlag  
Aachen 2018

**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.: Bochum, Univ., Diss., 2018

Copyright Shaker Verlag 2018

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6072-0

ISSN 1430-7324

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)





*„Man sollte alles so einfach wie möglich machen -  
aber auch nicht einfacher.“*

Albert Einstein (1879 - 1955)





# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionssysteme der Ruhr-Universität Bochum und wurde von der dortigen Fakultät für Maschinenbau als Dissertation angenommen. An dieser Stelle möchte ich meinen Dank an Personen richten, die zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen haben. Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Kuhlenkötter danke ich für die große Freiheit, die er mir bei der Erforschung des Themas im Rahmen des vom Bundesministeriums für Bildung und Forschung geförderten Verbundprojekts „Cyber System Connector“ (CSC) ermöglicht hat. Ebenso danke ich Prof. Dr.-Ing. Dieter Kreimeier für die Möglichkeit meine Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter aufzunehmen und das stets vorhandene Vertrauen. Herr Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke danke ich für die Übernahme des Koreferats sowie Prof. Dr.-Ing. Marcus Petermann für die Übernahme des Vorsitizes bei der Disputation.

Die fachlich guten Gespräche, aber vor allem der freundschaftliche Umgang hat die Zeit am Lehrstuhl durch die Kolleginnen und Kollegen zu etwas ganz besonderem gemacht. Hervorzuheben sind dabei Christopher Prinz und Simon Husmann sowie die ehemaligen Kollegen Christian Magnus, Tobias Husmann und Niklas Breitkopf die mich während meiner Promotion eng begleitet haben. In Bezug auf die vorliegende Arbeit sind Kai Lemmerz und André Barthelmey, stellvertretend für das CSC-Konsortium, für die hilfreichen Diskussionen und die gemeinsamen Entwicklungen sowie Benjamin Johnen und Matthias Linsinger für die inhaltlichen Anmerkungen besonders zu erwähnen. Des weiteren möchte ich meinen wissenschaftlichen Hilfskräften Felix Schmidt, Felix Gabriel und Ufuk Kacmaz für die Unterstützung bei der Implementierung der unterschiedlichen Prototypen danken.

Zuletzt danke ich meinen Freunden und meiner Familie, darunter Daniela, Angelina und Luca sowie Heike, Marc und Anniq für all die schönen Momente meines privaten Lebens. Zusätzlich zu erwähnen sind Malte und Elfi für die Freundschaft der letzten Jahre, Thorsten, der es immer Verstand eine andere Perspektive einzunehmen und somit meinen Horizont erweitert hat sowie Jonas, für die tiefgehenden Gespräche und den fachlichen Austausch. Ein besonderer Dank gilt meiner Mutter Hannelore für die grenzenlose Liebe und ständige Unterstützung ebenso wie meinem geliebten Vater Frank, du fehlst mir sehr. Ihr habt mich zu dem gemacht der ich bin. Ganz besonders hervorzuheben ist meine Freundin Denise, die nach meinen Wünschen die Grafiken dieser Arbeit gestaltet hat. Du hast mir immer den Rücken frei gehalten und die Kraft geschenkt die ich gebraucht habe, um diesen Teil meines Lebens erfolgreich abzuschließen.



# Liste der Veröffentlichungen

- [1] LENKENHOFF, Kay; WILKENS, Uta; ZHENG, Maokuan; SÜSSE, Thomas; KUHLENKÖTTER, Bernd; MING, Xinguo: *Key challenges of digital business ecosystem development and how to cope with them*. In: *Procedia CIRP* 73 (2018), S. 167–172. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.082>. – DOI 10.1016/j.procir.2018.04.082. – ISSN 22128271
- [2] KUHLENKÖTTER, B.; BENDER, B.; WILKENS, U.; ABRAMOVICI, M.; GÖBEL, J. C.; HERZOG, M.; HYPKI, A.; LENKENHOFF, K.: *Coping with the Challenges of Engineering Smart Product Service Systems: Demands for Research Infrastructure*. In: WEBER, C. (Hrsg.); HUSUNG, S. (Hrsg.); CASCINI, G. (Hrsg.); CANTAMESSA, M. (Hrsg.); MARJANOVIĆ, D. (Hrsg.): *Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED 17)* Bd. 87-3. Vancouver, 2017. – ISBN 978–1–904670–91–9, S. 341–350
- [3] KUHLENKÖTTER, B.; WILKENS, U.; BENDER, B.; ABRAMOVICI, M.; SÜSSE, T.; GÖBEL, J.; HERZOG, M.; HYPKI, A.; LENKENHOFF, K.: *New Perspectives for Generating Smart PSS Solutions – Life Cycle, Methodologies and Transformation*. In: *Procedia CIRP* 64 (2017), S. 217–222. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.036>. – DOI 10.1016/j.procir.2017.03.036. – ISSN 22128271
- [4] LENKENHOFF, K.; KRAPPE, H.; LEMMERZ, K.: *Integration der Kerntechnologie in Erweiterungsmodule*. In: MAGERSTEDT, S. (Hrsg.); KUHLENKÖTTER, B. (Hrsg.); DEUSE, J. (Hrsg.): *Technische Dokumentation intelligent erstellen und nutzen*. Aachen: Shaker Verlag GmbH, 2017. – ISBN 978–3844052206, S. 69–92
- [5] LENKENHOFF, K.; LEMMERZ, K.; NUDING, W.: *Architektur des Cyber System Connectors*. In: MAGERSTEDT, S. (Hrsg.); KUHLENKÖTTER, B. (Hrsg.); DEUSE, J. (Hrsg.): *Technische Dokumentation intelligent erstellen und nutzen*. Aachen: Shaker Verlag GmbH, 2017. – ISBN 978–3844052206, S. 31–68
- [6] STÖCKLEIN, S.; EBERT, B.; MAGERSTEDT, S.; NUDING, W.; BARTHELMEY, A.; LENKENHOFF, K.; LÖHR, R.; CORNELSSEN, T.; KELLERMANN, R.; KAGEL, J.; BRAMBACH, T.; SCHULTE, L.; LEMMERZ, K.: *CSC in der Anwendung*. In: MAGERSTEDT, S. (Hrsg.); KUHLENKÖTTER, B. (Hrsg.); DEUSE, J. (Hrsg.): *Technische Dokumentation intelligent erstellen und nutzen*. Aachen: Shaker Verlag GmbH, 2017. – ISBN 978–3844052206, S. 93–144

## Liste der Veröffentlichungen

---

- [7] LENKENHOFF, K.; BARTHELMEY, A.; LEMMERZ, K.; KUHLENKÖTTER, B.; DEUSE, J.: *Communication Architecture for Automatic Plant Documentation Updates*. In: *6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS)* Bd. 44, 2016, S. 365–370
- [8] BARTHELMEY, A.; LENKENHOFF, K.; SCHALLOW, J.; LEMMERZ, K.; DEUSE, J.; KUHLENKÖTTER, B.: *Technical documentation as a service – An approach for integrating editorial and engineering processes of machinery and plant engineers*. In: NASSEHI, A. (Hrsg.); NEWMAN, S. (Hrsg.): *Procedia CIRP 2016* Bd. 52, Elsevier, 2016, 167–172
- [9] MAGERSTEDT, S.; BARTHELMEY, A.; LENKENHOFF, K.; LEMMERZ, K.; DEUSE, J.; KUHLENKÖTTER, B.: *Intelligente Bereitstellung technischer Anlagen-Dokumentation*. In: *Arbeit in komplexen Systemen - digital, vernetzt, human?!* Dortmund: GfA-Press, 2016. – ISBN 978-3-936804-20-1
- [10] BARTHELMEY, A.; LEMMERZ, K.; LENKENHOFF, K.; BRAMBACH, T., NUDING, W.; DEUSE, J.; KUHLENKÖTTER, B.: *Technische Dokumentation in AutomationML: Einbindung der technischen Redaktion in den Produktentstehungsprozess von Maschinen und Anlagen*. In: *wt Werkstatttechnik online* 105 (2015), Nr. 11/12, S. 843–848
- [11] SPIES, S.; LENKENHOFF, K.; KUHLENKÖTTER, B.: *Cyber-Physisches System zur Handhabung sensibler Objekte unter Berücksichtigung der Objekteigenschaften und dessen Verhalten: A Cyber-Physical System for Handling of sensitive Objects with regard to the Objects Parameters and Behavior*. In: *Automation 2017* Bd. 2293. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2017 (VDI-Berichte). – ISBN 978-3-18-092293-5, S. 1–11
- [12] LENKENHOFF, K.; MEIER, H.: *Development of an actuated mobile prototype to replicate individual jaw movements*. In: *Biomed Tech* (2014), Nr. 59 (1), S. 1296. <http://dx.doi.org/10.1515/bmt-2014-4529>. – DOI 10.1515/bmt-2014-4529. – ISSN 1862-278X
- [13] MEIER, H.; LENKENHOFF, K.: *A Healthcare Supply Chain Solution for Dental Purposes*. In: *Biomed Tech* (2013), S. 1–2. <http://dx.doi.org/10.1515/bmt-2013-4303>. – DOI 10.1515/bmt-2013-4303. – ISSN 1862-278X
- [14] MEIER, H.; KRÜCKHANS, B.; LENKENHOFF, K.: *Ableitung eines interdisziplinären Leitfadens zur Einführung telemedizinischer Dienste auf Basis entwickelter mobiler Assistenzsysteme*. In: BMBF (Hrsg.); DFKI (Hrsg.); SOZIALVERBAND VdK (Hrsg.); FRAUNHOFER-ALLIANZ AMBIENT ASSISTED LIVING (Hrsg.): *Lebensqualität im Wandel von Demografie und Technik* Bd. 64. Berlin: VDE Verlag, 2013. – ISBN 978-3-8007-3484-9, S. 1–5

# Kurzfassung

Digitalisierung ist für die Industrie in der heutigen Zeit einer der prägendsten Einflüsse. Durch die zunehmende Nutzung digitaler Gegenstände und dem Aufbau neuer Wertschöpfungsnetzwerke über virtuelle Technologien sind innerhalb der produzierenden Industrie erhebliche Optimierungspotenziale abzusehen. Die notwendige Voraussetzung dazu ist jedoch die Verfügbarkeit aller relevanten Daten aus allen Prozessschritten sicherzustellen. Aus diesem Grund muss eine Durchgängigkeit des Informationsflusses über alle Produkt- und Fabriklebenszyklen erreicht werden. Eine Forschungslücke in diesem Kontext ist die dynamische Integration unbekannter Komponenten in ein gemeinsames Informationssystem. Zurzeit liegt kein Ansatz vor, der eine einheitliche Semantik im Datenaustausch vorsieht und gleichzeitig einen disziplinübergreifenden Informationsaustausch ermöglicht.

Im Rahmen dieser Ausarbeitung wird die technische Dokumentation als Bindeglied vorgeschlagen, um eine gemeinsame Grundlage für den Informationsaustausch zu schaffen. Die notwendigen informationstechnischen Grundlagen zur Transformation papiergebundener Dokumentation zur Nutzung in cyber-physischen Produktionssystemen werden zunächst in einer analytischen Betrachtung untersucht und beinhalten Forschungsansätze, die an dieser Stelle einen Beitrag leisten können. Anhand von Bewertungskriterien werden ein Forschungskonzept und ein Referenzarchitekturmodell ausgewählt. Aus dem Referenzmodell werden anschließend die Anforderungen an ein dynamisches Vernetzungskonzept abgeleitet und der Bedarf einer semantischen Kopplung von produktionstechnischen Komponenten aufgezeigt. Die nachfolgenden Arbeiten werden dazu unterteilt in ein theoretisches Konzept zur semantischen Vernetzung von Komponenten und Maschinen zu cyber-physisches Produktionssystem (CPPS) während der Laufzeit und die Implementierung bzw. Überführung des theoretischen Ansatzes in ein Informationssystem. Die Verifikation dieses Ansatzes erfolgt über den Fabrik- und Produktlebenszyklus anhand eines Szenarios für die Klemmenleistenmontage. Dazu werden zunächst alle Komponenten im Engineering auf Basis technischer Dokumentationen virtuell modelliert und anschließend in den Betrieb überführt. Zusätzlich wird gezeigt, wie die Informationen für Simulationsmodelle eingesetzt und innerhalb der Produktion genutzt werden können. Des Weiteren wird die Rückführung der realen Informationen in die Planung gezeigt. Diese Ausarbeitung leistet somit einen innovativen Beitrag zum durchgängigen Engineering und zeigt, wie eine disziplinübergreifende Informationsbasis auf Basis einer technischen Dokumentation geschaffen und genutzt werden kann, um die Produktionstechnik ganzheitlich über ein allgemeines Vernetzungskonzept zu digitalisieren.

Schlagwörter: Referenzarchitekturmodell, cyber-physisches System, durchgängiges Engineering



# Abstract

Today's industries are driven by increasing digitalization. The establishment of digital value-added networks in the manufacturing industry will lead to considerable optimization potentials resulting from costs, availability or resource consumption. However, the prerequisite for this is the availability of all relevant data within the lifecycle. For this reason, a continuous exchange of all information concerning the product and factory lifecycle must be achieved. A research gap in this context is the integration of components into a common information system, especially regarding to the dynamic integration of unknown systems. At the moment, there are no approaches available which provides a uniform semantic for data exchange and at the same time allow discipline-independent exchange of information. In this regard, the particular challenge is therefore the complexity between the disciplines of production and information technology and the definition of a shared information basis. Although different information systems are already being used to support the individual development phases, there is still a lack of a link to map the entire lifecycle.

Within the scope of this research work, technical documentation is proposed as a link to create a uniform basis for the exchange of information. The necessary transformation of paper-bound documentation into a virtual representation for use in cyber-physical production systems are first examined in an analytical view, and includes research approaches that may make a contribution here. A research concept and a reference architecture model are selected based on different evaluation criteria. The requirements for a dynamic concept are then derived from the reference model. Furthermore, the demands on a semantic interface are identified. The following aspects are subdivided into a theoretical concept and the transformation of the theoretical approach into an information system. This approach is verified by using the factory and product lifecycle in an assembly scenario. To this end, all components of the engineering are first modelled virtually based on technical documentation and then transferred to operation. In addition, it will be shown how the information could be used for simulation models and within production. Furthermore, the feedback of the real information in the previous phases is shown. This article thus provides an innovative contribution to continuous engineering and shows how an interdisciplinary information system based on technical documentation can be created and used in order to depict the production technology via a holistic generic framework.

Keywords: reference architecture model, cyber-physical system, continuous engineering





# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zielsetzung und Aufbau der Arbeit</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation und Motivation der Arbeit . . . . .	3
1.2	Wissenschaftliche Hypothesen und Zielstellungen . . . . .	6
1.3	Methodisches Rahmenkonzept und Vorgehen . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Allgemeine Einführung in das Forschungsgebiet</b>	<b>11</b>
2.1	Produktionssysteme in der Produktionstechnik . . . . .	12
2.1.1	Die unternehmensweite Automatisierung . . . . .	14
2.1.2	Der Engineering-Prozess eines Produktionssystems . . . . .	15
2.2	Engineering in der Softwaretechnik . . . . .	17
2.2.1	Softwarearchitekturmittel . . . . .	18
2.2.2	Basisarchitekturen . . . . .	21
2.3	Technische Dokumentation von Maschinen- und Anlagen . . . . .	24
2.3.1	Dokumentationsprozess . . . . .	25
2.3.2	Modularisierung technischer Dokumentation . . . . .	26
2.4	Fazit und Definition des Problemraums . . . . .	28
<b>3</b>	<b>Stand der Wissenschaft und Technik</b>	<b>29</b>
3.1	Produktionssysteme im Kontext der industriellen Revolutionen . . . . .	30
3.1.1	Vernetzung als Treiber der Industrie 4.0 . . . . .	30
3.1.2	Cyber-physische Systeme als Basis einer neuen Produktion . . . . .	32
3.1.3	Das geänderte Automatisierungsverständnis . . . . .	35
3.2	Datenaustausch von digitalen Informationen in der Produktionstechnik . . . . .	38
3.2.1	Spezifikationen für die Produktionstechnik . . . . .	39
3.2.2	Datenaustausch im Engineering . . . . .	41
3.2.3	Vernetzung in der Produktion . . . . .	47
3.3	Der lebenszyklusübergreifende Informationsaustausch in der Produktionstechnik . . . . .	52
3.3.1	Einordnung der Referenzarchitekturmodelle . . . . .	52
3.3.2	Bewertungskriterien für die Durchgängigkeit des Engineerings . . . . .	53
3.3.3	Bewertung der Ansätze für einen durchgängigen Informationsaustausch . . . . .	55
3.4	Schlussfolgerung und Konkretisierung der Zielstellung . . . . .	57
<b>4</b>	<b>Voraussetzungen für eine dynamische Vernetzung</b>	<b>59</b>
4.1	Anforderungen an eine Softwarearchitektur . . . . .	60
4.1.1	Anforderung einer Industrie 4.0-Komponente . . . . .	61
4.1.2	Die CP-Klassifikation . . . . .	63
4.1.3	Zusammenfassung der DIN-Spec 91345 Anforderungen . . . . .	64
4.2	Das Szenario der Klemmenleistenmontage . . . . .	65
4.2.1	Das Montagesystem . . . . .	66

4.2.2	Sicht des durchgängigen Engineerings . . . . .	67
4.2.3	Die technische Dokumentation als Informationsbasis . . . . .	69
4.3	Zusammenfassung der wichtigsten Anforderungen . . . . .	70
<b>5</b>	<b>Auswahl des methodischen Rahmens</b> . . . . .	<b>71</b>
5.1	Der Lebenszyklus . . . . .	72
5.1.1	Beispielhafter Lebenszyklus im Anwendungskontext . . . . .	73
5.1.2	Ein Vorgehen für die Modellierung im Lebenszyklus . . . . .	75
5.2	Die Hierarchieebenen . . . . .	76
5.2.1	Beispielhafte Darstellung der Hierarchieebenen im Anwendungskontext . . . . .	77
5.2.2	Klassifizierung als methodischer Rahmen der semantischen Vernetzung . . . . .	79
5.3	Die Schichten . . . . .	82
5.3.1	Unterteilung der Informationsmodule für den Anwendungskontext . . . . .	83
5.3.2	Der Cyber System Connector als Grundlage für die dynamische Vernetzung . . . . .	84
5.4	Ableiten des nachfolgenden Handlungsbedarfs . . . . .	86
<b>6</b>	<b>Konzept für das durchgängige Engineering</b> . . . . .	<b>87</b>
6.1	Konzept für die automatisierte Vernetzung auf Hierarchieebene . . . . .	88
6.1.1	Klassifizierung über eClass und Automation Markup Language . . . . .	88
6.1.2	Definition der dynamischen Master-Slave-Hierarchie . . . . .	91
6.1.3	Erweiterung durch semantische Zuordnung für komplexe Szenarien . . . . .	96
6.1.4	Erweiterung um Sichten . . . . .	101
6.2	Entwicklung einer Informationsarchitektur für die dynamische Vernetzung . . . . .	103
6.2.1	Asset-Schicht . . . . .	104
6.2.2	Integrationschicht . . . . .	104
6.2.3	Kommunikationsschicht . . . . .	107
6.2.4	Informationsschicht . . . . .	110
6.3	Die dynamische Vernetzung als Methode einer I4.0-Komponente . . . . .	114
<b>7</b>	<b>Modellierung und Realisierung einer Montageanlage</b> . . . . .	<b>116</b>
7.1	Modellierung in der Konstruktionsphase . . . . .	117
7.1.1	Das virtuelle Produkt aus Planungssicht . . . . .	118
7.1.2	Klassifizierung einer Tragschiene . . . . .	119
7.1.3	Das virtuelle Abbild einer Montagestation . . . . .	121
7.1.4	Entwicklung einer klassifizierten Montagestation . . . . .	122
7.2	Beschreibung der Prozessschritte im Fabriklebenszyklus . . . . .	125
7.2.1	Modellierung des virtuellen Abbilds . . . . .	126
7.2.2	Prozessplanung . . . . .	127
7.2.3	Simulationsmodell der Klemmenleistenmontage . . . . .	129
7.3	Simulation gekoppelt mit der Produktion . . . . .	133
7.3.1	Überführung der <i>Schiene konfektionieren</i> in die Produktion . . . . .	133
7.3.2	Integration eines RFID-Sensors . . . . .	134
7.3.3	Simulation auf Realdaten . . . . .	135
7.4	Zusammenfassung . . . . .	138
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> . . . . .	<b>139</b>
8.1	Bewertung der erforschten Ergebnisse . . . . .	141
8.2	Ausblick . . . . .	143

## Anhang

<b>A</b>	<b>Ergänzungen und Details zur wissenschaftlichen Ausarbeitung</b>	<b>146</b>
A.1	Vorgehensmodelle in der Softwaretechnik: Beschreibung und Auswahl . . . . .	146
A.2	Methoden und Modelle . . . . .	147
A.3	Weitere Details zur technische Dokumentation . . . . .	148
A.3.1	Die CE-Konformität . . . . .	148
A.3.2	Definition einer Maschine nach der Maschinenrichtlinie . . . . .	149
A.4	Detaillierte Analyse des CPS-Begriffs . . . . .	150
A.4.1	Quantitative Analyse . . . . .	150
A.4.2	Qualitative Bewertung . . . . .	155
<b>B</b>	<b>Weiterführende Informationen zum Konzept</b>	<b>156</b>
B.1	Aufbau eines virtuellen Abbilds . . . . .	156
B.1.1	Erstellung einer Baumstruktur . . . . .	156
B.1.2	Forderung nach Basissichten aufgrund der konzeptionellen Erweiterung . . . . .	157
<b>C</b>	<b>Ergänzungen der Modellierung</b>	<b>159</b>
C.1	Einbindung von Sensorelementen . . . . .	159
C.2	Modellierung der virtuellen Abbilder . . . . .	160
C.2.1	Modellierung der Station <i>Schiene konfektionieren</i> . . . . .	160
C.3	eCl@ss Attribuierung unterschiedlicher Komponenten . . . . .	161
C.3.1	Klassifizierung der Montagestation <i>Schiene konfektionieren</i> . . . . .	161
C.3.2	Klassifizierung einer Schutzleiter-Doppelstockklemme . . . . .	163
C.3.3	Modellierung der Anlage <i>Klemmenleistenmontage</i> . . . . .	163
C.4	Darstellung der Schnittstellen-Definitionen . . . . .	166
C.4.1	Schnittstelle der Station <i>Schiene konfektionieren</i> . . . . .	166
C.5	Plant Simulation Modell . . . . .	168
C.5.1	Aufbau des Engineering Simulationsmodells der Klemmenleistenmontage . . . . .	168
C.5.2	Aufbau des Engineering Simulationsmodells . . . . .	169
C.5.3	Das Netzwerk der Station <i>Reihenklemmenmontage</i> . . . . .	170
C.6	Erweiterung des Konfektionierungsprozesses . . . . .	171
C.6.1	Das RFID-Modul an der Station <i>Schiene konfektionieren</i> . . . . .	171

## Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis	173
Tabellenverzeichnis	175
Literaturverzeichnis	181
Schriftenreihe des Lehrstuhls für Produktionssysteme	209
Lebenslauf	217