

**Methode zur Verbesserung der
domänenübergreifenden Zusammenarbeit während des
Engineering-Prozesses im Sondermaschinenbau**

Von der Graduate School of Excellence
advanced Manufacturing Engineering der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

Tobias Bernhard Helbig

aus Mönchstockheim

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. mult.
Engelbert Westkämper
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich

Tag der mündlichen Prüfung: 07.12.2016

Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering
Universität Stuttgart
2017

Berichte aus dem Maschinenbau

Tobias Bernhard Helbig

**Methode zur Verbesserung der
domänenübergreifenden Zusammenarbeit
während des Engineering-Prozesses
im Sondermaschinenbau**

D 93 (Diss. Universität Stuttgart)

Shaker Verlag
Aachen 2017

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.: Stuttgart, Univ., Diss., 2016

Copyright Shaker Verlag 2017

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5097-4

ISSN 0945-0874

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung des Autors

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand an der Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering (GSaME) in Kooperation mit einem Hersteller für Automatisierungskomponenten.

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Verantwortlichen bedanken, die es mir ermöglichten, in diesem Umfeld aus Industrie und Wissenschaft diese Dissertation zu erarbeiten. Ich konnte durch die Tätigkeit im Industrieunternehmen Einblicke in die industrielle Praxis und reale Problemstellungen erlangen und gleichzeitig wurden mir die Grundlagen wissenschaftlichen Arbeitens durch die Graduiertenschule vermittelt.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Engelbert Westkämper, der mir in regelmäßigen Diskussionen inspirierende Anregungen für das Projekt gab und somit entscheidend zu dessen Erfolg beitrug. Herrn Prof. Michael Weyrich danke ich für die aufmerksame Durchsicht der Arbeit und die Übernahme des Mitberichts. Ein Dank gilt auch Herrn Prof. Bernhard Mitschang für die Mitarbeit im Thesis Committee und die Übernahme des Prüfungsvorsitzes. Darüber hinaus möchte ich Herrn Hans-Friedrich Jacobi für die vertrauensvolle Zusammenarbeit und die intensive Diskussion der wissenschaftlichen Argumentation danken.

Bei den Führungskräften und Kollegen im Industrieunternehmen möchte ich mich bedanken, für die sehr gute Zusammenarbeit, die zahlreichen anregenden Diskussionen, aber auch den nötigen Freiraum für eigene Ideen. Ganz besonders bedanke ich mich bei meinem Betreuer, Herrn Johannes Hoos, der durch die kritische Diskussion des Konzeptes wesentlich zur Ausgestaltung der Methode beigetragen hat.

Ein besonders herzlicher Dank geht an meine Familie, meinen Eltern Elisabeth und Hermann, die mich stets förderten und mir Rückhalt gaben, meiner Schwester Karina, die mich immer konstruktiv unterstützte und meiner Frau Corinna, die mich während der Promotionszeit immer wieder bestärkte meine Ziele zu verfolgen. Ihnen möchte ich diese Arbeit widmen.

Zusammenfassung

Der Sondermaschinenbau im Bereich von Fertigungssystemen zeichnet sich durch individuelle Kundenanforderungen mit hohem Neuheitsgrad aus. Daher ist das Engineering mit großem Aufwand verbunden und dessen Effizienz wird zum kritischen Erfolgsfaktor im Sondermaschinenbau. Die mangelnde Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Domänen Mechanik, Elektrik und Software führt allerdings zu Fehlern und den daraus resultierenden Korrekturschleifen, was die Effizienz des Engineerings deutlich verringert.

Ausgehend von dieser Problemstellung wird in dieser Arbeit eine Methode zur Verbesserung der domänenübergreifenden Zusammenarbeit während des Engineerings im Sondermaschinenbau entwickelt: das *Manufacturing System Dependency Model (MaSDeM)*. Der Kerngedanke des Konzeptes ist die Einführung einer gemeinsamen Plattform, auf der die Domänen gemeinsam die Prinziplösung erstellen, diskutieren und optimieren. Hierfür wird eine Darstellung der Prinziplösung auf Basis der physisch wahrnehmbaren Funktionen entwickelt. Die Funktion dient dabei als gemeinsame Abstraktionsebene und stellt so das domänenübergreifende Lösungsverständnis sicher. Unterstützt wird dies durch eine funktionale Kategorisierung von Automatisierungskomponenten, die als Bausteine eines Fertigungssystems dienen. Damit wird bereits in der frühen Engineering-Phase eine profunde domänenübergreifende Prinziplösung erstellt, die die Basis für die Ausarbeitung der vollständigen Lösung ist. Alle Informationen der Prinziplösung können nahtlos in die domänenspezifischen Tools übertragen werden, wo sie konkretisiert und detailliert werden. Dadurch entsteht ein datentechnisch und inhaltlich durchgängiger Engineering-Prozess von der Anforderungsdefinition bis zum vollständigen Fertigungssystem.

Durch die verbesserte domänenübergreifende Zusammenarbeit wird eine hohe Lösungsqualität in der frühen Phase und eine konsistente und durchgängige Ausarbeitung im Engineering-Prozess erzielt. Dies reduziert die kostspieligen und zeitaufwändigen Änderungen in der späten Phase auf ein Minimum und bewirkt damit eine Steigerung der Effizienz des Engineerings.

Summary

Special purpose machinery construction for Manufacturing Systems is characterized by individual customer requirements and a high level of innovation. This demands a lot of engineering effort which is why the efficiency of engineering is a critical success factor in special purpose machinery construction. However, the lack of collaboration between the domains involved, mechanics, electrics and software, results in errors and repeated work that considerably reduces engineering efficiency.

Based on this problem statement, this thesis develops a method to improve the cross-domain collaboration during the engineering process in special purpose machinery construction: the *Manufacturing System Dependency Model (MaSDeM)*. The central idea of the concept is to introduce a common platform on which the domains commonly create, discuss and optimize the solution principle. A representation of the solution principle is developed based on the physically observable function. The function serves as the common abstraction layer and ensures the cross-domain understanding of the solution. This model is underpinned by a functional categorization of automation components that are used as the building blocks for the manufacturing system. Thereby a substantiated cross-domain solution principle is established in the early stage of the engineering process and forms the basis for elaborating the final solution. All information in the solution principle can be seamlessly transferred to the domain-specific tools where they are concretized and detailed. This creates an integrated engineering process, both from a pure data as well as contextual perspective, from the definition of the requirements right up to the complete Manufacturing System.

Thanks to the enhanced cross-domain collaboration, a high-quality solution and a consistent and integrated working method can be achieved in the early phase of the engineering process. This reduces cost- and time-intensive modifications in the later stages to a minimum and raises the engineering efficiency.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Summary	II
Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Einleitung.....	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung	3
1.3 Zielsetzung.....	6
1.4 Aufbau der Arbeit	6
2 Abgrenzung des Gegenstandsbereichs	8
2.1 Charakteristika des Sondermaschinenbaus	8
2.2 Engineering im Sondermaschinenbau	10
2.3 Domänen des Engineerings im Sondermaschinenbau.....	12
3 Stand der Wissenschaft und Technik.....	15
3.1 Simultaneous Engineering	15
3.2 Datendurchgängigkeit	17
3.3 Modularisierung	20
3.4 Vorgehensmodelle	22
3.5 Funktionsmodellierung	25
3.6 Defizite, Fazit und Handlungsbedarf.....	30
4 Grundlagen und Anforderungen	32
4.1 Systemtheorie	32
4.2 Zusammenarbeit	34
4.2.1 methodisches Vorgehen	34
4.2.2 Kommunikation	36
4.3 Anforderungen	38

5	Manufacturing System Dependency Model (MaSDeM)	42
6	domänenübergreifendes Lösungsmodell	48
6.1	Aufbau des domänenübergreifenden Lösungsmodells	49
6.1.1	Prozessmodell	50
6.1.2	Stationsmodell	54
6.1.3	Detailmodell	57
6.2	Beschreibung der Elemente	62
6.2.1	Grundsätze der Kategorisierung	63
6.2.2	Kategorisierung der Prozessschritte	65
6.2.3	Kategorisierung der Automatisierungskomponenten	67
6.3	Modellierung von Relationen	74
6.4	Konsistenzprüfung im Detailmodell	78
6.4.1	Aufbaustruktur durch physische Verbindungen	80
6.4.2	Ablaufstruktur durch logische Interaktionen	83
6.4.3	Funktion durch physische Interaktionen	85
7	Methode des Engineerings	88
7.1	Erarbeitung der Prinziplösung	90
7.2	Verknüpfung der Prinziplösung mit den Expertentools	95
7.3	domänenspezifische Ausarbeitung	102
7.3.1	mechanische Konstruktion	102
7.3.2	elektrische Konstruktion	104
7.3.3	Applikationssoftware	108
7.4	Management von Änderungen	110
7.5	Auswirkungen auf Aufbau und Inbetriebnahme	112
8	Validierung	115
8.1	Einführung des Validierungsbeispiels	116
8.2	Methodendurchführung anhand des Beispiels	116
8.3	Erkenntnisse der Validierung	121
8.4	Verifikation der Anforderungserfüllung	122

9 Zusammenfassung und Ausblick.....	126
9.1 Zusammenfassung	126
9.2 Ausblick.....	127
Anhang	129
A Kategorisierung der Prozessschritte	129
B Kategorisierung der Automatisierungskomponenten	136
C Regelbasis der Konsistenzprüfung	152
Literaturverzeichnis	159