

Entwicklung eines Plattformkonzeptes für die Planung von Montagesystemen

Von der Fakultät Maschinenbau
der Technischen Universität Dortmund
zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTOR DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN
(Dr.-Ing.)

genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Nils Brunner

aus

Rosenheim

Dortmund, 2016

Prüfungskommission:

1. Gutachter:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse
2. Gutachter:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Müller
Prüfungsvorsitzender:	Priv.-Doz. Dr.-Ing. Jobst Bickendorf
Mitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Andreas Brümmer

Tag der mündlichen Prüfung: 18. April 2016

Schriftenreihe Industrial Engineering
hrsg. von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse

Band 18

Nils Brunner

**Entwicklung eines Plattformkonzeptes
für die Planung von Montagesystemen**

D 290 (Diss. Technische Universität Dortmund)

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.: Dortmund, Technische 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 978-3-8440-4578-9

ISSN 1867-1322

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

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als Doktorand in der Abteilung Planung Motor der BMW AG an den Standorten München (Deutschland), Steyr (Österreich) und Hams Hall (England) sowie am Institut für Produktionssysteme (IPS) der Technischen Universität Dortmund.

Mein besonderer Dank gilt Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse, Leiter des Institutes, für die Ermöglichung und fortlaufende Förderung dieses Promotionsvorhabens. Seine fachliche Unterstützung hat wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Müller danke ich herzlichst für die Übernahme des Koreferates und die konstruktiven Diskussionen. Für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes danke ich Priv.-Doz. Dr.-Ing. Jobst Bickendorf und Prof. Dr.-Ing. Andreas Brümmer für die Übernahme des Beisitzes.

Ganz besonders danke ich Dr.-Ing. Markus Fallböhrer und Jochen Litterscheidt für die Ermöglichung der Arbeit in der Abteilung Planung Motor, den gewährten Freiraum, die fortlaufende Unterstützung meines Vorhabens und die offenen Diskussionen. Hierdurch war es mir möglich, neue Wege zu gehen und die erarbeiteten Konzepte im Umfeld der Motorenmontage zu validieren.

Meinen Kollegen Rolf Hoffmann, Lukas Hermanns, Michael Annerl, Julian Schallow und Jochen Hartung, danke ich für deren inhaltlichen Anregungen, die immer wieder neue Ideen generiert haben. Besonders möchte ich mich hierbei bei Dr.-Ing. Jan Eilers und Franz Heydner bedanken, deren Interesse, Bereitschaft zur Diskussion und Unterstützung nicht einmal von unkonventionellen Arbeitszeiten oder Orten gebremst werden konnte.

Darüber hinaus danke ich Dr.-Ing. Stephan Schneider für die fachlichen und persönlichen Ratschläge und die gegenseitige Unterstützung, sowohl im Rahmen meines Promotionsvorhabens, als auch unserer gemeinsamen Tätigkeit der BMW Group.

Mein größter Dank gilt meiner Familie und meiner Verlobten Laura. Sie wussten mich stets zu motivieren, ihre anhaltende Unterstützung und nahezu unendliche Geduld haben dazu beigetragen, dass ich mein Ziel nie aus den Augen verloren habe und mein Promotionsvorhaben abschließen konnte.

Birmingham, im April 2016

Nils Brunner

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung und Zielsetzung	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung	2
1.2 Zielsetzung und Fokus der Arbeit	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	4
2 Grundlagen des Betrachtungsbereichs	7
2.1 Relevante Begriffe.....	7
2.2 Grundlagen der Standardisierung	9
2.3 Module, Baukästen und Plattformen	11
2.3.1 Abgrenzung der Begriffe Modul, Baukasten und Plattform	11
2.3.2 Baukästen und Plattformen in der Praxis	14
2.4 Zwischenfazit zur praktischen Problemstellung	17
3 Stand der Technik	19
3.1 Montageplanung	19
3.1.1 REFA-Planungssystematik.....	20
3.1.2 Vorgehensmodell für die Montageplanung nach BULLINGER	21
3.1.3 Vorgehensmodell für die Montageplanung nach LOTTER	23
3.1.4 Stücklisten und Arbeitspläne als zentrale Dokumente der Montageplanung...24	
3.2 Standardisierung von Produkten und Produktionsanlagen.....	26
3.2.1 Vorgehensmodelle für Produktstandardisierung	28

3.2.2	Definition von Baukästen mithilfe von Ähnlichkeitsmodellen nach SCHUH...	30
3.2.3	Methode zum Abgleich der Produktstrukturgestaltung mit der Gestaltung von Fertigungssystemen nach DIETZ.....	33
3.2.4	Standardisierung von Produktionssystemen nach NEUHAUSEN.....	34
3.3	Digitale Fabrik.....	38
3.3.1	Datenmodell der durchgängigen Montageplanung nach JONAS	41
3.3.2	Featurebasierte Prozesskettenplanung nach FRANKE.....	44
3.3.3	Datenmodell der offenen virtuellen Fabrik nach KLAUKE.....	46
3.4	Zwischenfazit zum Stand der Technik	48
4	Anforderungen an die Methodik	53
5	Definition des Plattformkonzepts für die Montageplanung	55
5.1	Referenzmodell eines Montagesystems	55
5.2	Definition strategischer Grundlagen	58
5.2.1	Relevante Produkte und Modulgröße.....	58
5.2.2	Variantenübergreifende Montagereihenfolge	60
5.3	Standardisierung von Prozessreihenfolgen	61
5.3.1	Definition des modulspezifischen Vorranggraphens	62
5.4	Abschätzung des Standardisierungspotenzials.....	64
5.4.1	Strukturierung von Produkt und Ressource	64
5.4.2	Standardisierungsentscheidung	66
5.5	Verwendung und Aktualisierung des Plattformkonzepts.....	69
6	Digitale Umsetzung des Plattformkonzepts.....	71
6.1	Anforderungen an die digitale Abbildung.....	71
6.2	Grundlagen der Unified Modeling Language	72

6.3 Entwicklung eines Referenzdatenmodells für die digitale Abbildung.....	73
6.3.1 Hauptklasse Produkt.....	74
6.3.2 Hauptklasse Prozess	76
6.3.3 Hauptklasse Ressource	77
6.3.4 Verknüpfung der Hauptklassen.....	78
6.4 Umsetzung des Referenzdatenmodells in einem PLM-System	81
6.4.1 Auswahl einer geeigneten Software.....	81
6.4.2 Umsetzung der Hauptklassen in Teamcenter Manufacturing	82
6.4.3 Verknüpfung der Hauptklassen in Teamcenter Manufacturing	88
7 Beispielhafte Anwendung des Plattformkonzepts	91
7.1 Einführung in das Anwendungsbeispiel.....	91
7.2 Standardisierung der Fertigmotormontage durch das Plattformkonzept	92
7.2.1 Ebene 1: Definition strategischer Prämissen und der variantenübergreifende Montagereihenfolge.....	92
7.2.2 Ebene 2: Modulspezifischer Vorranggraph.....	97
7.2.3 Ebene 3: Definition von Anlagenstandards.....	100
7.3 Umsetzbarkeit und praktische Anwendbarkeit des Plattformkonzeptes.....	103
7.3.1 Umsetzung des Referenzdatenmodells im gewählten digitalen Werkzeug ...	104
7.3.2 Auswirkungen des Plattformkonzeptes auf den Planungsprozess	109
8 Zusammenfassung und Ausblick.....	111
Literaturverzeichnis.....	i

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Vergleich von standardisierten und nicht-standardisierten Elementen im Plattformkonzept für die Montageplanung.....	14
Abbildung 3-1: REFA-Planungssystematik zur Gestaltung von Arbeitssystemen (REFA 1990, S. 89).....	20
Abbildung 3-2: Systematische Montageplanung nach Bullinger (Bullinger 1986).....	22
Abbildung 3-3: Planungssystematik nach LOTTER (Lotter und Wiendahl 2012).....	23
Abbildung 3-4: Exemplarischer Stücklistensatz für das Produkt Motor	25
Abbildung 3-5: Vorgehen der eigenschaftsbasierten Standardisierung (Grünewald 1997) ..	29
Abbildung 3-6: Leitfaden zur Baukastengestaltung (Schuh 2010, S. 12).....	31
Abbildung 3-7: Partialmodell nach Neuhausen (Neuhausen 2001, S. 59).....	35
Abbildung 3-8: Produktionsstrukturmatrix (Neuhausen 2001, S. 170)	37
Abbildung 3-9: Vergleich von unterschiedlichen Auffassungen der Digitalen Fabrik (Bracht et al. 2011, S. 10).....	39
Abbildung 3-10: Datenmodell der Digitalen Fabrik nach JONAS (Jonas 2000, S. 103)	42
Abbildung 3-11: Erweiterung der Datenstruktur nach FRANKE 2003	45
Abbildung 3-12: Hauptklassen mit zugehörigen Verknüpfungen (Klauke 2002, S. 50).....	47
Abbildung 5-1: Referenzmodell des Montagesystems	56
Abbildung 5-2: Methodik des Plattformkonzeptes für die Montageplanung	57
Abbildung 5-3: Modulgrößen im Plattformkonzept	60
Abbildung 5-4: Variantenübergreifende Montagereihenfolge (Brunner et al. 2012, S. 4)....	61
Abbildung 5-5: Methode zur Definition der Inhalte des Plattformkonzeptes.....	62
Abbildung 5-6: Ableitung des modulspezifischen Vorranggraphs	63
Abbildung 5-7: Datenmodell des Strukturdiagramms	65

Abbildung 5-8: Abgleich von Flexibilität des Betriebsmittels und möglichen Ausprägungen relevanter Produktmerkmale	67
Abbildung 5-9: Risikomatrix	68
Abbildung 6-1: Anforderungen an die digitale Abbildung des Plattformkonzepts	72
Abbildung 6-2: Beschriftungsformen für Klassendiagramme in der UML	73
Abbildung 6-3: Datenstruktur für die Abbildung der Maximalstückliste	75
Abbildung 6-4: Datenstruktur der Prozesse	76
Abbildung 6-5: Datenstruktur der Ressourcen	77
Abbildung 6-6: Referenzmodell für die Abbildung des Plattformkonzepts	80
Abbildung 6-7: Variant Condition für Benzinmotoren mit definierter Zylinderzahl und Leistungsklasse	83
Abbildung 6-8: Variantenregel für die Filterung der Stückliste nach Benzinmotoren mit drei Zylindern	83
Abbildung 6-9: Hauptklasse <i>Produkt</i> in Teamcenter Manufacturing (Maximalstückliste, BOM)	84
Abbildung 6-10: Hauptklasse <i>Prozess</i> in Teamcenter Manufacturing (Maximalarbeitsplan, Generic BOP)	85
Abbildung 6-11: Zuweisung von Bauteilen zu Prozessen durch Verwendungsorte im Maximalarbeitsplan	86
Abbildung 6-12: Definition von Ressourcen durch Betriebsmittel	87
Abbildung 6-13: Ausschnitt aus einer linienspezifischen Prozessliste	89
Abbildung 7-1: Prozessabfolge in der Motormontage	92
Abbildung 7-2: Auszug aus der Maximalstückliste für Drei- und Vierzylindermotoren im Längs- und Quereinbau	94
Abbildung 7-3: Variantenübergreifende Montagereihenfolge des Abschnitts Vormontage Abgasturbolader	95

Abbildung 7-4: Abbildung der variantenübergreifenden Montagereihenfolge	96
Abbildung 7-5: Variantenübergreifende Montagereihenfolge im Maximalarbeitsplan	96
Abbildung 7-6: Modulspezifischer Vorranggraph für den Fertigmotor	98
Abbildung 7-7: Produktspezifische Prozessliste für einen Dreizylinder-Benzinmotor mit ATL in Aluminiumbauweise.....	98
Abbildung 7-8: Linienspezifische Prozessliste für das Werk München	99
Abbildung 7-9: Verschraubstation ATL an Motor.....	101
Abbildung 7-10: Strukturierung von Produkt und Betriebsmittel.....	101
Abbildung 7-11: Risikomatrix für das Anwendungsbeispiel.....	102
Abbildung 7-12: Auswertung von Trace Links	103
Abbildung 7-13: Abgleich des Datenmodells mit der digitalen Umsetzung in Teamcenter Manufacturing	104
Abbildung 7-14: Vergleich von produkt- und linienspezifischer Prozessliste	107

Abkürzungsverzeichnis

ATL	Abgasturbolader
BOM	Bill Of Material
BOP	Bill Of Process
BMW	Bayerische Motoren Werke
CAD	Computer Aided Design
E-BOP	Enterprise BOP
FM	Fertigmotormontage
KW	Kilowatt
PAI	Product Assembly Information
PLM	Product-Lifecycle-Management
SW	Schlüsselweite
TC	Teamcenter
UML	Unified Modeling Language
USB	Universal Serial Bus
VM	Vormontage