

AutoUni – Schriftenreihe

AutoUni 

Sebastian Kerber

Prozessgestaltung zum Einsatz digitaler Fabrikgesamtm Modelle

Anwendung in der Produktionsplanung
eines Automobilherstellers

AutoUni – Schriftenreihe

Band 86

Herausgegeben von / Edited by
Volkswagen Aktiengesellschaft
AutoUni

Die Volkswagen AutoUni bietet den Promovierenden des Volkswagen Konzerns die Möglichkeit, ihre Dissertationen im Rahmen der „AutoUni Schriftenreihe“ kostenfrei zu veröffentlichen. Die AutoUni ist eine international tätige wissenschaftliche Einrichtung des Konzerns, die durch Forschung und Lehre aktuelles mobilitätsbezogenes Wissen auf Hochschulniveau erzeugt und vermittelt.

Die neun Institute der AutoUni decken das Fachwissen der unterschiedlichen Geschäftsbereiche ab, welches für den Erfolg des Volkswagen Konzerns unabdingbar ist. Im Fokus steht dabei die Schaffung und Verankerung von neuem Wissen und die Förderung des Wissensaustausches.

Zusätzlich zu der fachlichen Weiterbildung und Vertiefung von Kompetenzen der Konzernangehörigen, fördert und unterstützt die AutoUni als Partner die Doktorandinnen und Doktoranden von Volkswagen auf ihrem Weg zu einer erfolgreichen Promotion durch vielfältige Angebote – die Veröffentlichung der Dissertationen ist eines davon. Über die Veröffentlichung in der AutoUni Schriftenreihe werden die Resultate nicht nur für alle Konzernangehörigen, sondern auch für die Öffentlichkeit zugänglich.

The Volkswagen AutoUni offers PhD students of the Volkswagen Group the opportunity to publish their doctor's theses within the "AutoUni Schriftenreihe" free of cost. The AutoUni is an international scientific educational institution of the Volkswagen Group Academy, which produces and disseminates current mobility-related knowledge through its research and tailor-made further education courses. The AutoUni's nine institutes cover the expertise of the different business units, which is indispensable for the success of the Volkswagen Group. The focus lies on the creation, anchorage and transfer of new knowledge.

In addition to the professional expert training and the development of specialized skills and knowledge of the Volkswagen Group members, the AutoUni supports and accompanies the PhD students on their way to successful graduation through a variety of offerings. The publication of the doctor's theses is one of such offers.

The publication within the AutoUni Schriftenreihe makes the results accessible to all Volkswagen Group members as well as to the public.

Herausgegeben von / Edited by

Volkswagen Aktiengesellschaft

AutoUni

Brieffach 1231

D-38436 Wolfsburg

<http://www.autouni.de>

Sebastian Kerber

Prozessgestaltung zum Einsatz digitaler Fabrikgesamtmodelle

Anwendung in der Produktionsplanung
eines Automobilherstellers

 Springer

Sebastian Kerber
Wolfsburg, Deutschland

Zugl.: Dissertation, TU-Chemnitz, 2015

Die Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse der im Rahmen der AutoUni Schriftenreihe veröffentlichten Doktorarbeiten sind allein die der Doktorandinnen und Doktoranden.

AutoUni – Schriftenreihe
ISBN 978-3-658-14109-7 ISBN 978-3-658-14110-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-14110-3

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

Springer

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als Doktorand der Abteilung Fertigungsplanung der Volkswagen AG in enger Zusammenarbeit mit der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften an der Technischen Universität Chemnitz.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Joachim Käschel, Professur für Produktionswirtschaft und Industriebetriebslehre der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, dessen stetige und wohlwollende Unterstützung die Erstellung dieser Arbeit ermöglicht hat. Herrn Professor Egon Müller, Professur für Fabrikplanung und Fabrikbetrieb der Fakultät für Maschinenbau, danke ich für die Übernahme des Koreferats und die eingehende Unterstützung.

Ebenfalls hervorheben möchte ich die intensive Unterstützung durch Herrn Michael Schwarzbach und danke ihm für die wertvollen Anregungen zur Erstellung dieser Arbeit. Darüber hinaus bedanke ich mich bei meinen Kollegen und Mitarbeitern der Abteilung Fertigungsplanung der Volkswagen AG, die durch ihre Zusammenarbeit und Hilfsbereitschaft zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Dabei möchte ich mich im Besonderen bei meinen Kollegen Norbert Bittner, Torsten Bethge und Gerhard Rein sowie Dr. Peter Bohling und Dr. Klaus Schröder bedanken, deren fachliche Hinweise und Unterstützung für mich sehr wertvoll waren.

Des Weiteren danke ich den Mitgliedern des Gewerketeams Fabrikstrukturplanung aus dem Projekt Digitale Fabrik sowie den Mitarbeitern aus den Planungsprojekten für den inhaltlichen Austausch und die hervorragende Zusammenarbeit. Hierbei möchte ich im Besonderen Dr. Alexander König, Monika Timmler, Nils Thorben Gorke, Jörg Heptner, Thomas Bergmann, Stefan Fokken und Jeremias Merz erwähnen.

Bei meinen Eltern möchte ich mich besonders herzlich bedanken. Sie haben mich fortwährend bei allen Stationen meiner Ausbildung unterstützt und damit den entscheidenden Grundstein zu dieser Arbeit gelegt.

Wolfsburg

Sebastian Kerber

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XIX
Symbolverzeichnis	XXI
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	6
1.3 Aufbau der Arbeit	8
2 Wissenschaftliche Grundlagen und Stand der Technik	11
2.1 Grundlagen des Produktentstehungsprozesses	11
2.1.1 Definition des Prozessbegriffs und der Produktentstehung	11
2.1.2 Phasen im Produktentstehungsprozess	14
2.1.3 Allgemeines Prozessmodell für die Automobilindustrie	21
2.2 Produktionsplanung als Teilgebiet der Fabrikplanung	26
2.2.1 Abgrenzung der Planungsbegriffe	26
2.2.2 Produktionsbereiche in der Automobilbauindustrie	31
2.2.3 Planungsfälle der Fabrikplanung	32
2.2.4 Phasen der Fabrikplanung	33
2.3 Fabrikgesamtmodelle in der Digitalen Fabrik	36
2.3.1 Abgrenzung der Digitalen Fabrik	36
2.3.2 Erstellung von digitalen Daten für die Fabrikplanung	39
2.3.3 Visualisierung von CAD-Daten	45
2.3.4 Produkt-Digital-Mock-Up	48
2.3.5 Fabrik-Digital-Mock-Up	51
2.4 Projekt- und Prozessmanagement	55
2.4.1 Definition der Begriffe Projekt- und Prozessmanagement	55

2.4.2	Methoden der Projektsteuerung	57
2.4.3	Modellierung von Prozessen.....	63
2.4.4	Optimierung von Prozessen	65
3	Anforderungsanalyse.....	71
3.1	Analyse von bestehenden Ansätzen	71
3.2	Anforderungen und Gestaltungsgrundsätze	76
3.2.1	Integration von Produktions- und Gebäudeplanung.....	78
3.2.2	Erstellung und Absicherung von Fabrik-DMU.....	79
3.2.3	Prozessorientierung	81
4	Referenzprozessmodell zur virtuellen Absicherung der Produktionsplanung.....	83
4.1	Methodische Grundlagen des Prozessmodells.....	84
4.1.1	Ausrichtung und Nutzen der virtuellen Absicherung.....	84
4.1.2	Modellansatz auf Basis eines Referenzprozesses.....	89
4.1.3	Einordnung des Prozessmodells in die Geschäftsprozesse von Automobilunternehmen	93
4.1.4	Bestandteile des Prozessmodells.....	94
4.1.5	Einflussfaktoren auf Gestaltung und Einsatz des Prozessmodells.....	105
4.1.6	Verbesserung des Prozessmodells.....	109
4.2	Vorgehensweise zur Absicherung der digitalen Datenbasis	111
4.2.1	Eingangsdaten für das Fabrik-DMU	111
4.2.2	Systematische Erstellung der Fabrik-DMU im Projekt.....	123
4.2.3	Prüfverfahren zur Ermittlung von Kollisionen und Modellierungsfehlern	135
4.2.4	Berichtswesen und Bewertung der Datenbasis	143
4.2.5	Aufgabengebiete und Verantwortlichkeiten	152
4.3	Aufbau der Prozessphasen	160
4.3.1	Einordnung der Prozessphasen in den Produktentstehungsprozess	160
4.3.2	Phase 1: Grundlagen für Fabrik-DMU-Erstellung und Konzeptabsicherung.....	164
4.3.3	Phase 2: Absicherung der Planung von Produktion und technischer Gebäudeausrüstung....	167
4.3.4	Phase 3: Unterstützung des Produktionsanlagenaufbaus.....	170
4.3.5	Phase 4: Datenüberführung in den Bestand.....	173

5 Validierung in der Automobilindustrie	177
5.1 Virtuelle Absicherung von Projekten der Produktionsplanung	177
5.1.1 Karosseriebauhalle Standort Emden.....	178
5.1.2 Karosseriebauhalle Standort Bratislava.....	180
5.1.3 Montagehalle Standort Zwickau	181
5.1.4 Fabrik Standort Września	183
5.1.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	185
5.2 Bewertung der Systematik	190
5.3 Weiterentwicklungspotenziale	194
6 Zusammenfassung und Ausblick.....	197
6.1 Zusammenfassung.....	197
6.2 Ausblick	199
Anhang	201
Literaturverzeichnis.....	213

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Prinzip des Simultaneous Engineerings.....	2
Abbildung 1-2: Parallelarbeit zwischen Produktentwicklung und Produktionsanlagenentwicklung am Beispiel der Volkswagen AG	3
Abbildung 1-3: Nutzeneffekte der Digitalen Fabrik.....	4
Abbildung 1-4: Anwendungstand der 3D-CAD-Planung in den Planungsfeldern um die Gesamtlayout-Planung	5
Abbildung 1-5: Aufbau der Arbeit	8
Abbildung 2-1: Phasen und Tätigkeiten in einem beispielhaften Produktlebenszyklus.....	13
Abbildung 2-2: Produktentstehungsprozess nach CLARK und FUJIMOTO	15
Abbildung 2-3: Phasen der Produktentstehung nach WESTKÄMPER.....	15
Abbildung 2-4: Einsatz von Frontloading im Projektablauf	17
Abbildung 2-5: Aufgaben der Logistikplanung im Produktentstehungsprozess.....	18
Abbildung 2-6: Phasen des Produktentstehungsprozess nach WILDEMANN	19
Abbildung 2-7: Phasen und Meilensteine des Fahrzeugentwicklungs- und Projektmanagementprozesses nach HAB und WAGNER.....	20
Abbildung 2-8: Phasen und Meilensteine im Produktentstehungsprozess nach FORM.....	21
Abbildung 2-9: Gegenüberstellung der Produktentstehungsprozesse auf Basis ihrer Prozessphasen und Meilensteine.....	22
Abbildung 2-10: Allgemeines Prozessmodell für die Produktentstehung innerhalb der Automobilindustrie	23
Abbildung 2-11: Aufgabengebiete von Produktions- und Gebäudeplanung.....	28
Abbildung 2-12: Fördertechnik im Bereich der Montageanlagen am Beispiel eines Škoda Fabia.....	29
Abbildung 2-13: Auswirkungen des Simultaneous Engineerings auf die Abhängigkeit zwischen Planung und Realisierung von Produkt, Produktionsanlagen und Gebäude	30
Abbildung 2-14: Typische Werklayouts im Automobilbau	31
Abbildung 2-15: Planungssystematiken zur Fabrikplanung im Vergleich.....	34

Abbildung 2-16: Phasenmodell des Fabrikplanungsprozesses.....	34
Abbildung 2-17: Beispiele für Anwendungsgebiete der Digitalen Fabrik	37
Abbildung 2-18: Evolution der digital unterstützten Produktentstehung.....	38
Abbildung 2-19: Fokus der Digitalen Fabrik innerhalb von Unternehmensprozessen	39
Abbildung 2-20: Auf eine gemeinsame Datenbasis zugreifende Werkzeuge der Digitalen Fabrik	40
Abbildung 2-21: Layout-Planung mit visTABLE	42
Abbildung 2-22: Nachmodellierung von Fabrikstrukturen auf Basis einer Laser-Scan- Punktwolke	44
Abbildung 2-23: Anstieg der digitalen Modellgröße bei zunehmender Detailstufe	46
Abbildung 2-24: Oberfläche der Visualisierungssoftware Interviews3D Version 3.3.5.....	47
Abbildung 2-25: Funktionsverknüpfungen von Tablet-Computern mit Potenzial für die Digitale Fabrik	48
Abbildung 2-26: Erforderliche Informationen für das Produkt-DMU	49
Abbildung 2-27: Beispiel einer virtuellen Fahrzeugpräsentation.....	50
Abbildung 2-28: Fabrik-DMU einer Karosseriebau-Halle während der Planungsphase	51
Abbildung 2-29: Erstellung eines Fabrik-DMU mittels neutralen Datenformanten.....	54
Abbildung 2-30: Prinzipieller Ablauf einer virtuellen Absicherung mittels Fabrik- DMU	55
Abbildung 2-31: Dreieck der Projektsteuerung.....	58
Abbildung 2-32: Beispiel eines BPMN-Modells	64
Abbildung 2-33: Darstellung und Aufbau von Prozesslandkarten.....	65
Abbildung 2-34: Bestandteile des PDCA-Zyklus	67
Abbildung 2-35: Kosten zur Behebung eines Fehlers in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Entdeckung	69
Abbildung 3-1: Ausrichtung des Referenzprozessmodells	77
Abbildung 4-1: Aufbau und Wechselwirkungen des Referenzprozessmodells	83
Abbildung 4-2: Fokus der virtuellen Absicherung mittels Fabrik-DMU innerhalb der Produktentstehung.....	85

Abbildung 4-3: Ergebniskategorien bei der Prüfung von Fabrik-DMU.....	86
Abbildung 4-4: Die digitale Planung von Fahrzeugprojekten als Datenzyklus	88
Abbildung 4-5: Übertragung des allgemeinen Referenzprozessmodells zur virtuellen Absicherung auf den spezifischen Einsatz im Unternehmen und im Projekt.....	90
Abbildung 4-6: Allgemeines Prozessmodell für die Produktentstehung erweitert um die Phasen der Gebäudeplanung.....	92
Abbildung 4-7: Hierarchische Einordnung des Referenzprozessmodells in die Geschäftsprozessebenen von Unternehmen.....	93
Abbildung 4-8: Virtuelle Absicherung als Schnittstelle zwischen und innerhalb von Produktions- und Gebäudeplanung.....	94
Abbildung 4-9: Bestandteile und Stufen des Referenzprozessmodells	95
Abbildung 4-10: Die virtuelle Absicherung mittels Fabrik-DMU als Verbindung zwischen den Planungsdisziplinen.....	97
Abbildung 4-11: Prozess zur Einsatzprüfung für die virtuelle Absicherung in Planungsprojekten.....	109
Abbildung 4-12: Erstellung von vergleichbaren Fahrzeugen mit dem Car-Configurator der Firma VenturisIT	114
Abbildung 4-13: Visualisierung von Industrierobotern und deren Hüllkurven im Fabrik-DMU (Import aus Process Designer).....	114
Abbildung 4-14: Identifikation von Kollisionen durch 3D-Modellierung eines Fahrwerkkorridors im Karosseriebau.....	116
Abbildung 4-15: Erstellung einer Schleppkurve und deren Einbindung im Fabrik-DMU ...	116
Abbildung 4-16: Darstellung von Fördertechnik-Hüllkurven (violett) im Fabrik-DMU mit einem Kollisionsbeispiel (rechtes Bild).....	117
Abbildung 4-17: Referenzen des Fördertechnikplans für eine Elektrohängebahn (Auszug aus der Software MicroStation).....	118
Abbildung 4-18: Überführung von Fahrwegen in die dritte Dimension (Planungssoftware MicroStation)	121
Abbildung 4-19: Prinzip und Aufbau der Datenablagestruktur.....	129
Abbildung 4-20: Prozess zur Ablage von Planungsdaten in der Datenablagestruktur.....	130

Abbildung 4-21: Abgleich der Koordinatensysteme zur einheitlichen Positionierung von Planungsdaten	133
Abbildung 4-22: Erstellung von Fabrik-DMU-Koordinatensystemen auf Basis von Verschiebevektoren und Rotationsmatrizen	134
Abbildung 4-23: Softwaregestützte Kollisionsprüfung zwischen Fördertechnik und Gebäude in einer Karosseriebauhalle (Interviews3D Version 3.3.7).....	137
Abbildung 4-24: Fotografie (links) und Augmented Reality (rechts) am Beispiel einer Karosseriebauhalle	140
Abbildung 4-25: Die Gegenüberstellung von Fabrik-DMU und Fotografie weist auf eine zusätzlich aufgebaute Versteifung sowie ergänzende Versorgungstechnikleitungen hin	140
Abbildung 4-26: Gegenüberstellung von Ausführungsplanung und Laser-Scan-Punktwolke innerhalb eines Fabrik-DMU in der Software Interviews3D	141
Abbildung 4-27: Prozess zum Soll-Ist-Abgleich mittels Laser-Scan-Daten	143
Abbildung 4-28: Zusammenfassung der Ergebnisse aus der virtuellen Absicherung.....	150
Abbildung 4-29: Detaillierte Darstellung einer Kollision im Berichtswesen.....	151
Abbildung 4-30: Prozess zur Prüfung und Behebung von Planungsfehlern im Fabrik-DMU	152
Abbildung 4-31: Rollen für die Aufgabengebiete der virtuellen Absicherung und deren Zusammenwirken.....	153
Abbildung 4-32: Einordnung des Prozessmodells der virtuellen Absicherung in den Produktentstehungsprozess	162
Abbildung 4-33: Zeitliche Abhängigkeit des Prozessmodells zur virtuellen Absicherung vom Produktionsbereich.....	163
Abbildung 4-34: Bereinigung der Volkswagen-spezifischen Zeitbezüge und Datenschnittstellen für das Referenzprozessmodell	164
Abbildung 4-35: Phase 1 des Referenzprozessmodells zur virtuellen Absicherung.....	164
Abbildung 4-36: Phase 2 des Referenzprozessmodells zur virtuellen Absicherung.....	167
Abbildung 4-37: Phase 3 des Referenzprozessmodells zur virtuellen Absicherung.....	171
Abbildung 4-38: Phase 4 des Referenzprozessmodells zur virtuellen Absicherung.....	173

Abbildung 5-1: Verlauf von Projekten der Produktionsplanung zur Validierung des Referenzprozessmodells.....	177
Abbildung 5-2: Auszug aus einem Fabrik-DMU-Absicherungsbericht der Karosseriebauhalle am Standort Emden	179
Abbildung 5-3: Zusammenführung der Planungsdaten zum Fabrik-DMU der Karosseriebauhalle am Standort Bratislava	180
Abbildung 5-4: Darstellung von Planungs-, Bestands- und Laser-Scan-Daten im Fabrik-DMU am Beispiel der Montagehalle des Standortes Zwickau	182
Abbildung 5-5: Beispielhafter Auszug aus dem Fabrik-DMU Absicherungsbericht der Karosseriebauhalle am Standort Września	184

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Wechselwirkungen von Produktions- und Gebäudeplanung.....	29
Tabelle 2-2:	Relevanz der Planungsfälle für Projekte der Produktentstehung	33
Tabelle 2-3:	Eigenschaften der Laser-Scan-Vermessungseinheit „Focus ^{3D} X 130“ des Unternehmens FARO	43
Tabelle 2-4:	Beispiele für Nutzenkriterien zur Bewertung von Geschäftsprozessen	68
Tabelle 3-1:	Vergleich von Forschungsarbeiten zur Prozessgestaltung und virtuellen Absicherung.....	75
Tabelle 4-1:	Zuordnung von Planungsfeldern zu Planungsdisziplinen.....	96
Tabelle 4-2:	Struktur und Inhalt der aufgenommenen Datenschnittstellen zwischen den Planungsdisziplinen	103
Tabelle 4-3:	Abstimmungsbedarf zwischen den Planungsdisziplinen in Abhängigkeit von Planungsfall und Produkttyp.....	106
Tabelle 4-4:	Einfluss von Produktänderungen auf die Produktionsbereiche.....	107
Tabelle 4-5:	Referenzwerte für die Datenaufnahme mittels Laser-Scanning	123
Tabelle 4-6:	Kriterien für die Filterung von nicht relevanten Kollisionen	137
Tabelle 4-7:	Vergleich der Verfahren Augmented Reality und Laser-Scan	142
Tabelle 4-8:	Merkmale zur listenartigen Erfassung von Planungsfehlern.....	144
Tabelle 4-9:	Ermittlung des Reifegrades für die Behebung von Planungsfehlern.....	147
Tabelle 4-10:	Ermittlung des Reifegrades für die Lieferung von Daten entsprechend der zugehörigen Schnittstellen.....	148
Tabelle 4-11:	VMI-Matrix des Aufgabengebiets „Koordination Fabrik-DMU-Projekt“	154
Tabelle 4-12:	VMI-Matrix des Aufgabengebiets „Einheitliche Positionierung von CAD-Daten“	155
Tabelle 4-13:	VMI-Matrix des Aufgabengebiets „Integration von Bestandsdaten in das Fabrik-DMU“	156
Tabelle 4-14:	VMI-Matrix des Aufgabengebiets „Erstellung und Visualisierung von Fabrik-DMU“	157

Tabelle 4-15: VMI-Matrix des Aufgabengebiets „Planungsfehlerprüfung und - behebung“	158
Tabelle 4-16: VMI-Matrix des Aufgabengebiets „Soll-Ist-Abgleich“	159
Tabelle 4-17: VMI-Matrix des Aufgabengebiets „Übergabe der CAD-Daten an den Betreiber“	160
Tabelle 5-1: Verteilung der Planungsfehler am Beispielprojekt Września	187
Tabelle 5-2: Zeitliche Aufwendungen je Aufgabengebiet am Beispielprojekt Września	189
Tabelle 5-3: Zielstellungen dieser Arbeit und deren Erreichung	190

Abkürzungsverzeichnis

0S	Nullserie
2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional
BPMN	Business Process Model and Notation
BPR	Business Process Reengineering
CAD	Computer Aided Design
DE	Designentscheid
DF	Designfreeze
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMU	Digital Mock-Up (deutsch: digitales Modell)
eEPK	Erweiterte ereignisgesteuerte Prozesskette
FEP	Fabrikentstehungsprozess
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IT	Informationstechnik
KF	Konzeptfreigabe
ME	Markteinführung
OEM	Original-Equipment-Manufacturer
PD	Projekt-Definition
PDM	Produktdatenmanagement
PDP	Product Development Process
PEP	Produktentstehungsprozess
PVS	Produktionsversuchsserie

REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung
SOP	Start of Production, Serienanlauf
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
UML	Unified Modeling Language
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VMU	Virtual Mock-Up

Symbolverzeichnis

Symbol	Einheit	Bezeichnung
a	-	Anteil der Planungsfehler, die Änderungskosten verursachen
e	€	Einsparpotenzial, vermiedene Änderungskosten je Planungsfehler
K	€	Gesamtkosten zur Durchführung der virtuellen Absicherung
K_{SW}	€	Lizenzkosten der Visualisierungssoftware
N	€	Monetärer Nutzen
P_i	-	Anzahl der Planungsfehler im Produktionsbereich i
s	€ / h	Durchschnittlicher Stundensatz eines Ingenieurs
t_{ges}	h	Summe des Zeitbedarfs, der für die Durchführung der virtuellen Absicherung erforderlich ist

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

In den letzten Jahrzehnten sahen sich die Automobilhersteller einem zunehmenden Konkurrenzdruck gegenüber gestellt. Die hohe Marktsättigung in etablierten Heimatmärkten und die zunehmende Vernetzung von weltweiten Märkten führen zu einer Steigerung des Wettbewerbs zwischen den OEMs (Original-Equipment-Manufacturer).¹ Die Situation für die Hersteller in Europa ist zusätzlich durch die zunehmende Arbeitslosigkeit und die Auswirkungen der Schuldenkrise erschwert.² Um den gestiegenen Marktanforderungen zu begegnen, bieten die Automobilhersteller ihre neuen Produkte kundenindividualisiert in kürzer werdenden Zeiträumen auf verschiedenen Märkten an. Die daraus resultierenden Änderungen an der Produktion zwingen die Industrieunternehmen zu ständigen innovativen Anpassungen ihrer Fabrik- und Produktionsstrukturen.³

Dieser Wandlungsprozess erfordert für die OEMs nicht nur eine Optimierung ihrer bestehenden Produktionsstrukturen, sondern auch die schnellere Einführung von neuen Fahrzeugen. Neben der dafür notwendigen Entwicklung neuer Fahrzeuge, sind auch die zur deren Herstellung benötigten Produktionsstrukturen zu schaffen. Letzteres erfordert entweder den Bau von neuen Produktionsstätten oder eine Integration von neuen Fahrzeugen in eine bestehende Fertigung. Bedingt durch die Komplexität moderner Fahrzeuge und deren Fertigungstechnologien sind in beiden Fällen umfangreiche Planungsaufwendungen zur Vorbereitung notwendig. Das Bestreben nach einer schnellen Einführung des neuen Produktes und den daraus verkürzten Produktlebenszyklen reduziert den verfügbaren Zeitrahmen für die Planung des Fahrzeugprojektes.

Um den daraus resultierenden zeitlichen Anforderungen nach einer kurzen Planungsphase gerecht zu werden, kann das Verfahren des Simultaneous Engineering (deutsch: „verteilte, gleichzeitige Entwicklung“) angewandt werden. Das Verfahren sieht vor, die Entstehungsphase des Produktes durch den Einsatz von Parallelarbeit zwischen Produktentwicklung, Produktionsplanung und dem Aufbau der Fertigung zu beschleunigen. Die grundlegenden Ziele, welche beim Simultaneous Engineering verfolgt werden, beinhalten eine Vorverlagerung von Erkenntnisprozessen, eine Ausweitung planbarer Prozessanteile, eine Parallelisierung von Prozessen und eine Integration sowie Beschleunigung von Aktivitäten.⁴ Um diese Ziele realisieren zu können, setzt das Verfahren auf die folgenden Strategiegrundsätze:⁵

¹ Vgl. [EsKn-10, S. 6].

² Vgl. [WEB-01].

³ Vgl. [Sche-09, S. 12].

⁴ Vgl. [Wild-00, S. 30].

⁵ Vgl. [StBe-97, S. 15–17].

- **Parallelisierung**

Prozesse, die keine Abhängigkeiten zueinander haben, sind zeitgleich durchzuführen. Sind Abhängigkeiten zwischen den Prozessen vorhanden, so wird der abhängige Prozess begonnen, bevor sein Vorgängerprozess abgeschlossen ist. STANKE und BERNDES beschreiben in ihren Grundsätzen, dass ein zeitlich vorgezogener Beginn im Regelfall möglich ist, da schon nach relativ kurzer Zeit genügend Informationen vorhanden sind, um den nachfolgenden Prozess starten zu können.

- **Standardisierung**

Zur Vermeidung von kontraproduktiven Tätigkeiten sind Standards in der Produktentstehung vorzusehen, die eine personen- und ereignisunabhängige Beschreibung von Planungsaspekten (z. B. Prozessabläufe, Schnittstellendefinition) beinhalten. Mit Hilfe der Standards soll ein höherer Grad der Parallelisierung erzielt werden.

- **Integration**

Die Parallelisierung von Prozessen fordert eine schnelle und zielführende Zusammenarbeit zwischen den Prozessbeteiligten, sowohl innerhalb als auch außerhalb des Unternehmens. Die Zusammenführung der einzelnen Ergebnisse wird somit zum maßgeblichen Erfolgsfaktor.

Abbildung 1-1 gibt einen Überblick über das Prinzip des Simultaneous Engineerings und stellt den Zeitgewinn gegenüber eines sequenziellen Ablaufs der Prozessphasen dar. Während der parallelen Zusammenarbeit schafft das Verfahren zwingend den Bedarf nach einer systematischen Koordination und Zusammenführung der einzelnen Aktivitäten.⁶

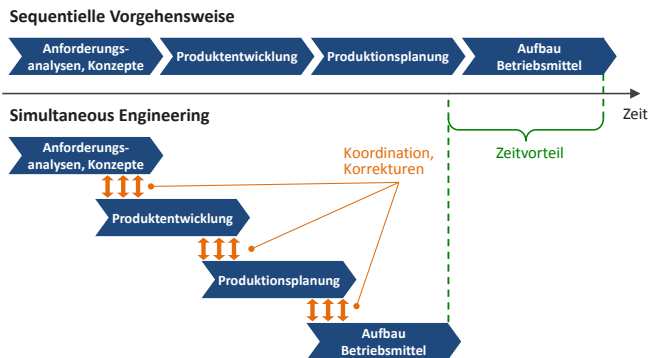


Abbildung 1-1: Prinzip des Simultaneous Engineerings⁷

⁶ Vgl. [Grun-08, S. 44].

⁷ In Anlehnung an [ScEt-06, S. 125].

In der Automobilindustrie hat sich das Prinzip des Simultaneous Engineerings als Standard innerhalb der Produktentstehung etabliert.⁸ Die parallele Zusammenarbeit zwischen den an der Produktentwicklung und Produktionsplanung beteiligten internen und externen Partnern reicht stellenweise bis in die Realisierungsphase, in der die Produktionsanlagen in Betrieb genommen und auf die Serienproduktion vorbereitet werden. Abbildung 1-2 führt die Parallelarbeit in der Planungs- und Realisierungsphase am Beispiel eines Automobilherstellers auf.⁹

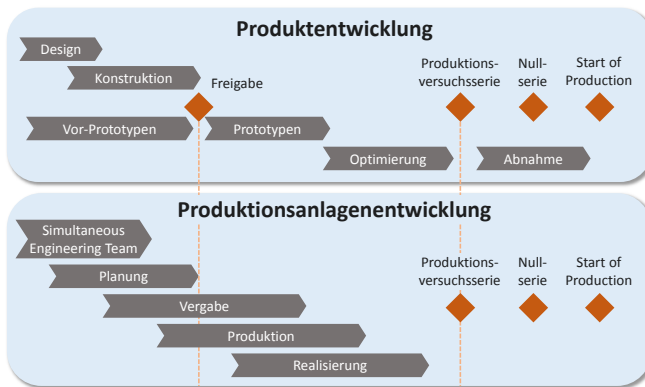


Abbildung 1-2: Parallelarbeit zwischen Produktentwicklung und Produktionsanlagenentwicklung am Beispiel der Volkswagen AG¹⁰

Die geeignete Einbindung und Gestaltung der Zusammenarbeitsstrukturen aller Prozessbeteiligten am Simultaneous Engineering stellen eine der größten Herausforderungen für die Automobilindustrie dar.¹¹ Den Aufgaben der Produktionsplanung kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da die kostenintensiven Fertigungsanlagen maßgeblich von der Produktentwicklung abhängen. Auch innerhalb der Produktionsplanung sind die Planungsprozesse von Teilbereichen durch eine Parallelisierung gekennzeichnet, wie beispielsweise der Auslegung von Fertigungsanlagen, Fördertechnik und Versorgungstechnik. Der gesamte Fabrikplanungs- und Bauprozess lässt sich somit als komplexer Prozess beschreiben, welcher das Zusammenwirken von zahlreichen Akteuren erfordert. Die umfangreichen Schnittstellen und Medienbrüche zwischen den Prozessbeteiligten sowie späte Änderungen oder Nachträge führen zu einer hohen Dynamik in dem gesamten Prozess.¹²

Um die erforderliche Abstimmung zwischen den Akteuren zu unterstützen, werden als wesentliche Instrumente die Werkzeuge und Methoden der Digitalen Fabrik genutzt.¹³ Sowohl die eingeplanten Umfänge von Produktions- und Gebäudestrukturen, als auch die Ausgestaltung

⁸ Vgl. [Klug-10, S. 71].

⁹ Das Prinzip der in Abbildung 1-2 aufgeführten Phasen und Meilensteine wird in Abschnitt 2.1 näher erläutert.

¹⁰ In Anlehnung an [HaWa-10, S. 29].

¹¹ Vgl. [Klug-10, S. 72].

¹² Vgl. [KaEt-11, S. 111].

¹³ Vgl. [MaMe-09, S. 28].

einer realen Fabrik können mit CAD-Softwarelösungen (Computer Aided Design, deutsch: rechnergestützte Konstruktion) dreidimensional abgebildet und modelliert werden. Bei der Anwendung der Methoden der Digitalen Fabrik nimmt die Automobilindustrie neben der Luft- und Raumfahrtindustrie eine Vorreiterrolle ein.¹⁴

Der Einsatz von Werkzeugen der Digitalen Fabrik kann in der Fabrikplanung einen erheblichen Mehrwert erzielen, indem die Planungsgeschwindigkeit und -qualität gesteigert sowie die Planungskosten reduziert werden.¹⁵ Als größter Nutzen der Digitalen Fabrik wird die Vermeidung von Planungsfehlern gesehen, welche durch parallele Planungstätigkeiten auftreten können. Dies wird anhand der aufgeführten Untersuchungswerte von Abbildung 1-3 ersichtlich.

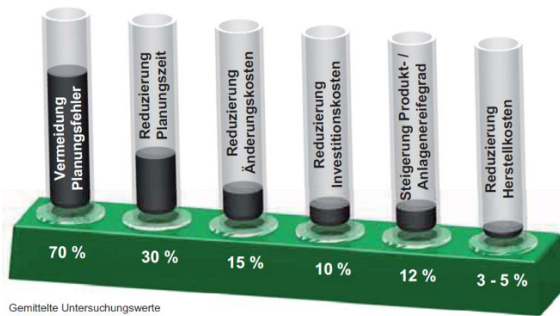


Abbildung 1-3: Nutzeneffekte der Digitalen Fabrik¹⁶

Planungsfehler aus Sicht der Produktionsplanung in der Automobilindustrie bestehen unter anderem aus Kollisionen zwischen eingeplanten Betriebsmitteln und/oder der Gebäudestruktur.¹⁷ Mit Hilfe moderner CAD-Software ist es möglich, die digitalen Daten auf Kollisionen zu überprüfen und ermittelte Kollisionen mit den beteiligten Planern zu beheben, bevor die geplanten Produktionsstrukturen im Zuge der Realisierung aufgebaut und dann kostenintensiv angepasst werden müssen. Die damit verbundene Reduktion an Änderungskosten misst der digitalen Fabrikplanung eine große Bedeutung zu. Der Schwerpunkt wird dabei in der Gesamlayout-Planung gesehen, wie eine Studie aus dem Jahr 2009 bei den großen deutschen Automobilherstellern bestätigt.¹⁸ Die Gesamlayout-Planung beinhaltet die Flächen- und Raumplanung aller zugehörigen Planungsbereiche. Nach den Ergebnissen der Studie ist vorrangig in diesem Aufgabengebiet eine 3D-Planung im Einsatz, wie in Abbildung 1-4 dargestellt wird.

¹⁴ Vgl. [BrMa-02, S. 154].

¹⁵ Vgl. [HaEt-03, S. 23].

¹⁶ [BrSp-09, S. 650].

¹⁷ Eine Detaillierung von Kollisionen und Planungsfehlern wird in Abschnitt 4.1.1 vorgenommen.

¹⁸ Vgl. [SpEt-09, S. 179–180].

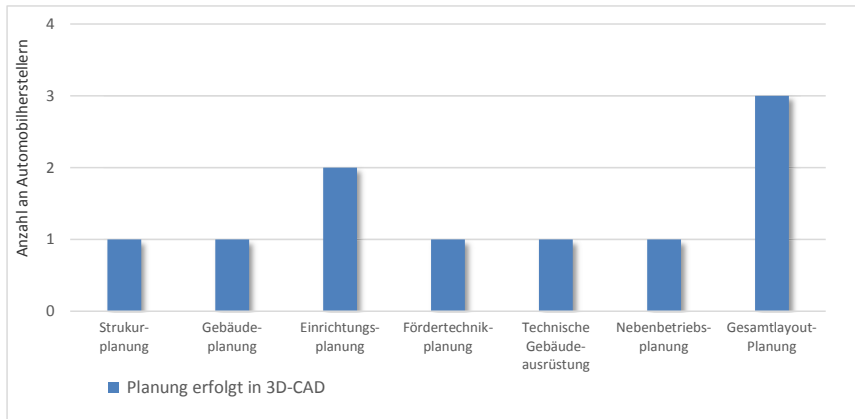


Abbildung 1-4: Anwendungstand der 3D-CAD-Planung in den Planungsfeldern um die Gesamtlayout-Planung¹⁹

Um die Gesamtlayout-Planung weiterzuentwickeln wurden Ansätze zur Erzeugung von Fabrikgesamtmodellen erforscht. Der dabei verfolgte Grundgedanke beinhaltet, die Planungsdaten aus den CAD-Softwaresystemen aller beteiligten Planungsbereiche zu einem Modell zusammenzuführen, das auch als Fabrik-DMU (Digital Mock-Up, deutsch: digitales Modell) bezeichnet wird. Mit Hilfe der Fabrik-DMU ist es möglich, den jeweils aktuellen Planungsstand im Projektverlauf abzusichern. Bedingt durch den Einsatz verschiedener, hochspezialisierter Software-Werkzeuge in den unterschiedlichen Planungsbereichen und durch die Größe aktueller CAD-Daten gestaltet sich die Erzeugung eines Fabrik-DMU als Herausforderung. Die aktuellen Softwarewerkzeuge zur Planung von Produktionsstrukturen sind nicht dafür ausgelegt, die Konstruktionszeichnungen für eine gesamte Fabrik wiederzugeben, sodass es einer gezielten Lösung zur Erzeugung eines Fabrik-DMU bedarf. Dieser Aufgabe widmete sich KÖNIG im Rahmen seiner Forschungsarbeit, in welcher er die Anforderungen für eine Visualisierungs- und Kollisionsprüfungs-Software analysiert.²⁰ Als Ergebnis der Arbeit wurden die erforderlichen softwaretechnischen Schnittstellen zur Erzeugung von Fabrikgesamtmodellen geschaffen.

Die zu Grunde liegenden Prozesse bilden, neben den technischen Voraussetzungen, einen wesentlichen Bestandteil für den erfolgreichen und nutzbringenden Einsatz der Digitalen Fabrik. Einer Studie aus dem Jahr 2009 zu Folge verbringen ca. 50% der befragten Ingenieure und Planer zwischen einem und drei Arbeitstagen je Woche mit dem erneuten Aufbereiten von CAD-Daten.²¹ Um eine derartige Verschwendung zu vermeiden, müssen für jeden Unternehmensbereich die zugehörigen Prozessstrukturen individuell festgelegt werden, wobei technische und organisatorische Aspekte aufeinander abzustimmen sind.²² In der Arbeit von KÖNIG

¹⁹ In Anlehnung an [SpEt-09, S. 180].

²⁰ Vgl. [Köni-13, S. 63–89].

²¹ Vgl. [Coll-10, S. 44].

²² Vgl. [ScBi-05, S. 15].