

Gausemeier, Lanza, Lindemann
**Produkte und Produktionssysteme
integrativ konzipieren**

Jürgen Gausemeier
Gisela Lanza
Udo Lindemann (Hrsg.)

Produkte und Produktionssysteme integrativ konzipieren

Modellbildung und Analyse in der
frühen Phase der Produktentstehung

unter Mitarbeit von

Benjamin Behmann, Rinje Brandis, Ulrich Deppe, Rafal Dorociak,
Jürgen Eckstein, Thomas Günther, David Hellenbrand, Markus Herm,
Hans-Georg Herrmann, Maximilian Kissel, Markus Mörtl,
Andreas Mülder, Daniel Nordsiek, Alexander Nyßen, Ralf Olbrich,
Steven Peters, Wolfgang Schullerus, Guido Stollt, Axel Terfloth

HANSER

Die Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier,
Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Fürstenalle 11, 33102 Paderborn

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza,
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), wbk Institut für Produktionstechnik,
Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann,
Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München,
Boltzmannstr. 15, 85748 Garching

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:

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

ISBN: 978-3-446-42825-6

E-Book-ISBN: 978-3-446-42985-7

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 Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen erstellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Verfahren und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Verfahren oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2012 Carl Hanser Verlag München

Herstellung: Steffen Jörg

Coverconcept: Marc-Müller-Bremer, Rebranding, München, Germany

Titelillustration: Atelier Frank Wohlgemuth, Bremen

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

Vowort.....	9
Geleitwort.....	11
1 Einführung.....	13
1.1 Herausforderung effiziente Produktentstehung.....	14
1.2 Verbundprojekt VireS.....	20
Literatur zum Kapitel 1.....	26
2 Grundlagen.....	29
2.1 Integrative Entwicklung von Produkt und Produktionssystem.....	29
2.1.1 VDI-Richtlinie 2206 „Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme“.....	30
2.1.2 Vorgehensmodell zur Entwicklung integrierter mechanisch-elektronischer Baugruppen.....	33
2.1.3 Axiomatic Design.....	36
2.2 Produktbezogene Kosten über den Produktlebenszyklus.....	40
2.2.1 Herstellkosten.....	41
2.2.2 Selbstkosten.....	44
2.2.3 Lebenslaufkosten.....	46
2.3 Robustheit von Produkt und Produktionssystem.....	47
2.3.1 Definition der Robustheit.....	47
2.3.2 Robustheit von Produktkonzepten.....	50
2.3.3 Robustheit von Produktionssystemkonzepten.....	53
2.4 Virtualisierung.....	54
2.4.1 Softwarewerkzeuge in der Produktentstehung.....	55
2.4.2 Softwarearchitekturen.....	58
Literatur zum Kapitel 2.....	64

3	Praktische Anwendung des Instrumentariums an einem Demonstrator.....	69
3.1	Anwendungsbeispiel Pedelec.....	69
3.2	Vorgehensmodelle.....	73
	3.2.1 Generisches Vorgehensmodell.....	74
	3.2.2 Spezifische Ausprägung des generischen Vorgehensmodells.....	82
	3.2.3 VireS-Browser.....	84
	3.2.4 Anwendungsbeispiel Pedelec.....	86
3.3	Integrative Konzipierung von Produkt und Produktionssystem.....	88
	3.3.1 Spezifikationstechnik CONSENS zur Beschreibung der Produkt- und Produktionssystemkonzeption.....	89
	3.3.2 Mechatronic Modeller.....	107
	3.3.3 Integrative Konzipierung mit dem Mechatronic Modeller.....	113
3.4	Bewertung von Entwicklungskosten.....	125
	3.4.1 Grundlagen der Pfadkostenrechnung.....	126
	3.4.2 Stochastische Simulation zur Kostenprognose.....	130
	3.4.3 Methode zur Prognose der Entwicklungskosten.....	132
	3.4.4 Softwaretechnische Umsetzung am Anwendungsbeispiel Pedelec.....	134
3.5	Bewertung der Strukturrobustheit von Produktkonzepten.....	137
	3.5.1 Methode zur Bewertung der Strukturrobustheit.....	138
	3.5.2 Modellerstellung.....	139
	3.5.3 Berechnung der Strukturrobustheit.....	142
	3.5.4 Visualisierung und Analyse.....	148
3.6	Bewertung von Herstellkosten.....	153
	3.6.1 Methode für die frühzeitige Herstellkostenbewertung.....	153
	3.6.2 Softwaretechnische Realisierung.....	170
	3.6.3 Anwendungsbeispiel Pedelec.....	173
3.7	Bewertung der Robustheit von Produktionssystemkonzepten.....	176
3.8	Virtualisierung.....	178
	3.8.1 Integration in die Systemlandschaft.....	180
	3.8.2 Konzept der IT-Architektur.....	184
	3.8.3 Wissensbasis.....	189
	Literatur zum Kapitel 3.....	193
4.	Praxisberichte.....	199
4.1	Wincor Nixdorf International GmbH.....	199
	4.1.1 Ausgangssituation und Problemstellung.....	199
	4.1.2 Zielsetzung.....	203
	4.1.3 Realisierung.....	203
	4.1.4 Erfahrungen.....	212

4.2	Océ Printing Systems GmbH.....	213
4.2.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	214
4.2.2	Zielsetzung	218
4.2.3	Realisierung.....	219
4.2.4	Erfahrungen.....	224
4.3	Seuffer GmbH & Co. KG.....	226
4.3.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	227
4.3.2	Zielsetzung.....	228
4.3.3	Realisierung.....	228
4.3.4	Erfahrungen.....	238
4.4	Behr GmbH & Co. KG.....	239
4.4.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	240
4.4.2	Zielsetzung.....	241
4.4.3	Realisierung.....	242
4.4.4	Erfahrungen.....	248
	Literatur zum Kapitel 4.....	252
5	Resümee und Ausblick.....	255
6	Stichworte.....	263
7	Personenverzeichnis.....	267

Vorwort

Im globalen Wettbewerb kann nur bestehen, wer Spitzenprodukte zu wettbewerbsfähigen Preisen rasch in den Markt bringt. Ferner kommt es darauf an, sich auf sich ändernde Einflüsse einzurichten, beispielsweise neue Fertigungstechnologien, Schwankungen in den Stückzahlen oder in der Variantenzahl über den Produktlebenszyklus. Dies bezeichnen wir als Robustheit. Weiterhin erhöht die Durchdringung der Produkte und Leistungserstellungsprozesse mit Informations- und Kommunikationstechnik die Komplexität der Produktentstehung. Im Zuge der Produktentstehung sind Abhängigkeiten der Domänen Mechanik, Elektronik/Elektrik und Software sowie zwischen Produkt- und Produktionssystementwicklung zu beachten. Heute finden diese Abhängigkeiten nur unzureichend Berücksichtigung. Die Folge sind aufwändige Iterationsschleifen im Entwicklungsprozess. Das Verbundprojekt VireS – Virtuelle Synchronisation von Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung stellt sich dieser Herausforderung. Ziel war ein Instrumentarium zur integrativen Entwicklung von Produkt und Produktionssystem unter frühzeitiger Berücksichtigung der Aspekte Kosten und Robustheit.

Auf der Suche nach geeigneten Partnern sind wir rasch fündig geworden. Dies waren der Lehrstuhl für Produktentwicklung von Herrn Prof. Udo Lindemann an der Technischen Universität München sowie das wbk Institut für Produktionstechnik von Frau Prof. Gisela Lanza am Karlsruher Institut für Technologie. Die Kombination aus Hochschulinstituten, Beratungsunternehmen, Softwarehäusern und Industrieunternehmen ergab ein ausgezeichnetes Projektkonsortium. Zum einen decken die Hochschulinstitute den gesamten Produktentstehungsprozess ab, von der Konzipierung über die Produkt- bis hin zur Produktionssystementwicklung, zum anderen stellen die Unternehmen einen repräsentativen Querschnitt der einschlägigen deutschen Unternehmenslandschaft dar. Gemeinsam wurde das hier beschriebene anspruchsvolle Forschungsprogramm erarbeitet und umgesetzt. Dazu hat das Methodenwissen der beteiligten Partner beigetragen, aber vor allem auch der außerordentlich gute Teamgeist im Projekt. Dafür danke ich allen Mitgliedern. Ganz besonderer Dank gebührt Frau Dipl.-Wi.-Ing. Christel Schwab vom Projektträger Karlsruhe. Sie hat uns stets sehr kompetent und außerordentlich hilfsbereit begleitet.

Nach dreijähriger Laufzeit ist das Verbundprojekt nun erfolgreich abgeschlossen. Wie bei jedem Verbundprojekt stellt sich die Frage des Transfers der Projektergebnisse aus der Forschung in die Industrie. Wie können weitere Unternehmen von den im Projekt gewonnenen Erkenntnissen partizipieren? Eine wesentliche Voraussetzung ist die praxisgerechte Aufbereitung der Projektergebnisse. Dies erfolgt mit dem vorliegenden Buch. Neben den Autoren gilt mein besonderer Dank Herrn Dipl.-Ing. Rinje Brandis, der die Entstehung dieses Buchs koordiniert hat.

Dieses Buch wird flankiert von weiteren Transfermaßnahmen. Für die effiziente und transparente Verbreitung der Forschungsergebnisse spielt insbesondere das Internet-Fachportal „TransMechatronic.de“ (www.transmechatronic.de) eine Schlüsselrolle. Es bietet Wissen aus Forschungsinstituten und Verbundprojekten zur Nutzung der Schlüsseltechnologie Mechatronik, ebenso fördert es die Kommunikation und Kooperation der Fachleute in Wissenschaft und Praxis auf diesem Gebiet. Mit einem vernetzten Set verschiedener Leistungsangebote, wie z.B. Projektdarstellungen, Best Practices und individuellen Forscher- und Unternehmensprofilen, unterstützt das Portal den schnellen Wissenszugang und hilft beim Aufbau von Expertenwissen.

Für das Konsortium
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier

Paderborn, im Dezember 2011

Geleitwort

Der echte Schüler lernt aus dem Bekannten das Unbekannte zu entwickeln und nähert sich dem Meister.

Johann Wolfgang von Goethe, Wilhelm Meisters Wanderjahre

Um weiterhin erfolgreich auf internationalen Märkten zu bestehen, müssen deutsche Produktionsunternehmen schneller als der Wettbewerb auf geänderte Kundenwünsche reagieren und ihre Ideen dabei konsequent und frühzeitig in innovative Produkte umsetzen. Durch den gezielten Einsatz neuer Methoden sind sowohl Effektivität als auch Effizienz in der Produktentwicklung zu steigern.

Die Notwendigkeit, in diesem Bereich verstärkt zu handeln, war Anlass für das Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF, im Frühjahr 2007 einen Ideenwettbewerb zum Thema „Management und Virtualisierung in der Produktentwicklung“ zu initiieren. Das Projekt VireS – Virtuelle Synchronisation von Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung überzeugte durch seine innovativen Vorstellungen. Die Projektgemeinschaft bestand aus drei Hochschulinstituten, vier Pilotunternehmen, welche anspruchsvolle, komplexe mechatronische Produkte des Maschinenbaus fertigen, sowie drei Systemhäusern. Sie stellten sich in dreijähriger, arbeitsteiliger Forschungsarbeit die Aufgabe, ein Instrumentarium für die integrative Entwicklung von Produkt und Produktionssystem unter frühzeitiger Berücksichtigung der Aspekte Kosten und Robustheit zu entwickeln. Die Ergebnisse schließen nicht nur Forschungslücken, sondern sind im vorliegenden Buch für den betrieblichen Praktiker aufbereitet. Dass es unter Berücksichtigung eines generischen Vorgehensmodells für den Produktentwicklungsprozess, einer integrativen Spezifikation sowie einer ganzheitlichen Bewertung von Produkt und Produktionssystem gelingen kann, transparente Entwicklungsprozesse mit spürbaren Produktivitätsvorteilen zu erzielen, wurde anhand von vier Anwendungsbeispielen erfolgreich unter Beweis gestellt.

Wir möchten allen beteiligten Partnern für ihren Einsatz und ihr Engagement danken. Besondere Anerkennung gebührt den drei Forschungsinstituten und insbesondere den dort tätigen wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Ihrem unermüdlichen Einsatz und der konstruktiven Kooperation über Fachgrenzen hinweg ist der Erfolg des Verbundprojektes VireS zu verdanken. Auch die fachkundige und umsichtige Koordination von Professor Jürgen Gausemeier, unterstützt von seinen Mitarbeitern Herrn Daniel Nordsiek und Herrn Rinje Brandis, trug maßgeblich zum Projekterfolg bei.

Somit bleibt zu hoffen, dass Idee und Vorgehensweise von VireS von weiteren Unternehmen in Deutschland zügig aufgegriffen werden und in einem fruchtbaren Dialog zwischen Wissenschaft und Praxis eine Weiterentwicklung erfahren.

Dipl.-Wi.-Ing. Christel Schwab
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Projektträger Karlsruhe (PTKA)

Karlsruhe, im Juni 2011

Das in diesem Buch zugrundeliegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt VireS – Virtualisierung von Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von morgen“ (Förderkennzeichen 02PC1070) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

1 Einführung

Jürgen Gausemeier, Daniel Nordsiek

Die Erzeugnisse des Maschinenbaus und verwandter Branchen wie der Automobilindustrie beruhen zunehmend auf dem engen Zusammenwirken von Mechanik, Elektronik, Regelungstechnik, Softwaretechnik sowie ggf. neuer Werkstoffe. Der Begriff Mechatronik bringt dies zum Ausdruck. Dies erhöht die Komplexität der Erzeugnisse, aber auch der Prozesse der Produktentstehung. Gleichwohl zwingt der Wettbewerb die Unternehmen, die Zeit bis zum Markteintritt weiter zu reduzieren und qualitativ hochwertige Produkte zu niedrigen Kosten zu erstellen.

Vor diesem Hintergrund kommt es mehr denn je darauf an, möglichst frühzeitig auf der Basis fundierter Analysen die Weichen für den Erfolg einer Produktentwicklung zu stellen. Dazu bedarf es jedoch neuer Methoden und Werkzeuge für eine integrative modellbasierte Entwicklung von Produkt und Produktionssystem sowie für eine frühzeitige Analyse von Produkt und Produktionssystem.

In Zusammenarbeit von Hochschulinstituten, Beratungsunternehmen, Softwarehäusern und Industrieunternehmen wurde ein Instrumentarium für die integrative Entwicklung des Produkts und des entsprechenden Produktionssystems unter Berücksichtigung der Aspekte Kosten und Robustheit erarbeitet. Dies ist Gegenstand des vorliegenden Buches.

Das Instrumentarium besteht aus Vorgehensmodellen, Methoden und IT-Werkzeugen, die Entwickler¹ befähigen, Produkt und Produktionssystem bereits in frühen Entwicklungsphasen (Konzipierung bzw. Vorentwicklung) integrativ zu entwickeln und damit verbundene Analysen hinsichtlich Entwicklungs- und Herstellkosten sowie der Robustheit gegenüber Änderungen und nicht vorhersehbaren äußeren Einflüssen durchzuführen. In diesem Zusammenhang bezeichnet Robustheit in Anlehnung an TAGUCHI [Tag87], dass der Einfluss schwankender Randbedingungen oder unvorher-

¹ Es sind stets Personen weiblichen und männlichen Geschlechts gleichermaßen gemeint; aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit wird im Folgenden nur die männliche Form verwendet.

gesehener Einflüsse auf ein System gering ist. Ein Produktkonzept ist beispielsweise dann robust, wenn die Änderung eines Elementes zu keinen oder nur geringen Auswirkungen auf andere Elemente führt. Ein robustes Produktionssystem produziert die Produkte in der gewünschten Qualität und Zeit sowie zu den gewünschten Kosten trotz schwankender Rahmenbedingungen (z.B. der Maschinenverfügbarkeit). Durch den Einsatz des Instrumentariums sollen aufwändige Iterationsschleifen in späteren Entwicklungsphasen vermieden und die Zeit bis zum Produktionsanlauf soll signifikant verkürzt werden.

Das Buch ist wie folgt aufgebaut: Kapitel 1 beschreibt den Handlungsbedarf, die Zielsetzung sowie den Aufbau und das Vorgehen des Projektes. In Kapitel 2 werden die Grundlagen zu den Themen Entwicklungsmethodik, Kosten- und Robustheit sowie Virtualisierung dargestellt. Das Kapitel 3 stellt anhand eines durchgängigen Beispiels die Methoden, IT-Werkzeuge und ihre Einbindung in den Produktentstehungsprozess sowie eine adäquate IT-Systemarchitektur vor. Kapitel 4 zeigt, wie das erarbeitete Instrumentarium in den beteiligten Unternehmen Behr GmbH & Co. KG, Océ Printing Systems GmbH, Seuffer GmbH & Co. KG und Wincor Nixdorf International GmbH eingesetzt wird und dort Nutzen stiftet. Eine Zusammenfassung und einen Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf gibt Kapitel 5.

1.1 Herausforderung effiziente Produktentstehung

Der Produktentstehungsprozess erstreckt sich von der Produkt- bzw. Geschäftsidee bis zum Serienanlauf. Er umfasst nach Bild 1-1 die Aufgabenbereiche strategische Produktplanung, Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung. Die Produktionssystementwicklung beinhaltet im Prinzip die Fertigungsplanung bzw. Arbeitsplanung. Unserer Erfahrung nach kann der Produktentstehungsprozess nicht als stringente Folge von Phasen und Meilensteinen verstanden werden. Vielmehr handelt es sich um ein Wechselspiel von Aufgaben, die sich in drei Zyklen gliedern lassen.

Erster Zyklus: Von den Erfolgspotentialen der Zukunft zur Erfolg versprechenden Produktkonzeption

Dieser Zyklus charakterisiert das Vorgehen vom Finden der Erfolgspotentiale der Zukunft bis zur Erfolg versprechenden Produktkonzeption – der sog. prinzipiellen Lösung. Er umfasst die Aufgabenbereiche Potentialfindung, Produktfindung, Geschäftsplanung und Produktkonzipierung. Das Ziel der Potentialfindung ist das Er-