

Entwicklung und Einführung eines flexiblen Softwaresystems zur Konfigurierung virtueller Produkte

Dissertation
zur Erlangung des Grades
Doktor-Ingenieur

der
Fakultät für Maschinenbau
der Ruhr-Universität Bochum

von

Mehdi Ghofrani
aus Teheran

Bochum 2007

Dissertation eingereicht am: 16.05.2007

Tag der mündlichen Prüfung: 22.10.2007

Erster Referent: Prof. Dr.-Ing. M. Abramovici

Zweiter Referent: Prof. Dr.-Ing. H. Meier

Maschinenbauinformatik

Band 1/2008

Mehdi Ghoffrani

**Entwicklung und Einführung
eines flexiblen Softwaresystems
zur Konfigurierung virtueller Produkte**

Shaker Verlag
Aachen 2008

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., 2007

Copyright Shaker Verlag 2008

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-6952-4

ISSN 1865-3081

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

„Künstliche Intelligenz ist allemal besser als natürliche Dummheit.“

- Hans Matthöfer, deutscher Politiker aus Bochum -

für Mahinur, Mina und Mona

Vorwort

Um wirtschaftlich wettbewerbsfähig zu bleiben und gleichzeitig ihre Marktanteile verteidigen zu können, müssen produzierende Unternehmen den Spagat zwischen kundenspezifischen Produktausführungen und einer intern hohen Wiederholhäufigkeit der Produktbausteine beherrschen. Deshalb versuchen sie verstärkt das Konzept des Mass Customization durch Modularisierung und Standardisierung ihrer Produkte umzusetzen. Um die Kombination, Auslegung und Anpassung von Produkten zu beschleunigen, werden Produktkonfigurationssysteme eingesetzt, die ausgehend von konkreten Kundenanforderungen aus den Modulen eines Produktbaukastens eine kundenspezifische Lösung komponieren. Viele Unternehmen entwickeln solche Systeme in Eigenregie, wobei die zugrunde liegenden Produktdaten und die Produktlogik statisch im Programmcode festgehalten werden. Dies macht eine Änderung des Programmcodes bei jeder Produktänderung und -erweiterung erforderlich. Auf der anderen Seite zeichnen sich die kommerziell verfügbaren, generischen Produktkonfigurationssysteme durch den starken Fokus auf den Vertrieb und die nicht vorhandene Integration in Produktentwicklungsprozesse aus.

Vor diesem Hintergrund wurde in dieser Arbeit eine Gesamtlösung zur Entwicklung und Einführung von Produktkonfigurationssystemen erarbeitet. Diese Lösung besteht aus einem Konfigurationsframework, das eine generische Plattform zur Erzeugung unternehmens- und produktspezifischer Produktkonfiguratoren beinhaltet, und einer generischen Methodik zur Vorbereitung und Einführung eines solchen Konfigurationssystems in einem Unternehmen.

Die entwickelte Softwarelösung zeichnet sich durch eine übersichtliche und leicht erlernbare Repräsentation des Konfigurationswissens aus, das schnell und ohne Programmieraufwand abgebildet, geändert und erweitert werden kann. Ein anderes herausragendes Merkmal der entwickelten Softwarelösung ist die Repräsentation der Konfigurationsergebnisse in Form eines virtuellen Produktes. Dadurch ist eine nahtlose Integration der Konfigurationsergebnisse im Produktlebenszyklus gewährleistet. So können die konfigurierten Produkte mit Unterstützung von PLM- und Konfigurationsmanagementfunktionen während ihres gesamten Lebenszyklus lückenlos verwaltet und dokumentiert werden.

Die parallel zur Software entwickelte generische Methodik besteht aus den drei Phasen Vorbereitung, Systemimplementierung und Systemerweiterung bzw. -anpassung. Diese Einführungsmethodik ermöglicht eine schnelle, zielgerichtete Softwareeinführung, Wissensaufnahme und -abbildung. Darüber hinaus werden die evtl. vorhandenen Risiken in Bezug auf die Realisierbarkeit im Vorfeld genau identifiziert und abgeschätzt. Diese Methodik kann – auch unabhängig von der Softwarelösung – als Dienstleistung durch Softwareanbieter oder Beratungsunternehmen erbracht werden.

Prof. Dr.-Ing. Michael Abramovici

Bochum, im Januar 2008

Danksagung

Diese Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik der Ruhr-Universität Bochum.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Abramovici für die wissenschaftliche Anleitung und Förderung dieser Arbeit, die zahlreichen Anregungen und das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Horst Meier, dem Leiter des Lehrstuhls für Produktionssysteme, möchte ich für die freundliche Übernahme des Koreferats und das Interesse an meiner Arbeit danken.

Ebenfalls gebührt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Hermann-Josef Wagner, dem Leiter des Lehrstuhls für Energiesysteme und Energiewirtschaft, für die Übernahme des Vorsitzes im Promotionsausschuss.

Zum großen Dank verpflichtet bin ich allen wissenschaftlichen und nichtwissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie allen studentischen Hilfskräften des Lehrstuhls für Maschinenbauinformatik für viele erfolgreiche gemeinsame Projektarbeiten sowie das stets kreative und harmonische Arbeitsklima. Insbesondere gilt mein Dank Herrn Dr.-Ing. Stefan Schulte für viele interessante Diskussionen und ermutigende Worte, die mich in einer Vielzahl von Fällen richtungweisend unterstützt haben.

Weiterhin möchte ich Herrn Dr.-Ing. Jörg Ruhwedel und Herren Dipl.-Ing. Sven Bertram, Dipl.-Ing. Oliver Mutz und Dipl.-Ing. Arnd Paulfeuerborn von der Firma ISD Software und Systeme GmbH für die erfolgreiche Kooperation im Rahmen des KoViP-Projektes danken.

Frau Yvonne Zoller und Herrn Dr. Swen Wagner danke ich für das sorgfältige Korrekturlesen des Manuskriptes und die vielen wertvollen Hinweise.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern, Mahmoud und Zohreh, für die jahrelange unermüdliche Förderung und Unterstützung meiner Ausbildung. Ebenfalls möchte ich meinem Onkel Ahmad und meiner Tante Rosemarie danken, die eine Fortführung meiner Ausbildung in Deutschland ermöglicht haben.

Und mein herzlichster Dank gilt meiner Frau Mahinur und meinen Töchtern Mina und Mona, die mich mit ihrer grenzenlosen Liebe während meiner Promotion und bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt und auf viele gemeinsame Stunden mit mir verzichtet haben. Ihnen ist dieses Buch gewidmet.

Mehdi Ghofrani

Bochum, im Januar 2008

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung	4
1.2 Zielsetzung.....	5
1.3 Vorgehensweise.....	6
2 Begriffliche Grundlagen	9
2.1 Grundlagen der Produktentwicklung	9
2.2 Variantenvielfalt in Produkten	12
2.2.1 Definitionen.....	12
2.2.2 Ursachen und Auswirkungen der Variantenvielfalt	14
2.2.3 Ansätze zur Bewältigung der Variantenvielfalt.....	16
2.2.4 IT-Werkzeuge zur Bewältigung der Variantenvielfalt	22
3 Anforderungen an ein flexibles Softwaresystem zur Konfigurierung virtueller Produkte.....	27
3.1 Anwendungsbeispiel aus dem Anlagenbau	28
3.2 Gewichtung der Anforderungen	29
3.3 Allgemeine Anforderungen.....	29
3.3.1 Anwendungsbereiche (I).....	29
3.3.2 Anwendergruppen (II).....	31
3.4 Anforderungen an eine Methodik zur Repräsentation des Konfigurationswissens (III)	32
3.5 Anforderungen an das Softwaresystem	33
3.5.1 Softwareumgebung und Betrieb (IV).....	33
3.5.2 Schnittstellen und Integration (V).....	35
3.5.3 Anforderungen an den Konfigurationsablauf (VI).....	36
3.5.4 Aufnahme und Ablage des Konfigurationswissens (VII)	38

3.6	Anforderungen an die methodische Vorgehensweise zur Softwareeinführung	39
3.6.1	Vorbereitende Maßnahmen (VIII)	39
3.6.2	Einführungsbegleitende Maßnahmen (IX)	40
4	Stand der Forschung und der Technik	43
4.1	Methoden zur Repräsentation von Konfigurationswissen	43
4.1.1	Wissensrepräsentation durch Graphen	44
4.1.2	Matrixbasierte Wissensrepräsentationsformen	46
4.1.3	Wissensrepräsentationsformen der künstlichen Intelligenz	50
4.2	Produktkonfigurationssysteme	51
4.3	Methodische Einführung eines Produktkonfigurationssystems	54
4.3.1	Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse	55
4.4	Methoden der Wissensaufnahme	60
4.4.1	Manuelle Methoden der Wissensaufnahme	61
4.4.2	Halbautomatische Methoden der Wissensaufnahme	64
4.4.3	Automatische Methoden der Wissensaufnahme	65
4.4.4	Qualitätskontrolle der Wissensbasis	66
4.5	Relevante Forschungsaktivitäten	68
4.6	Beurteilung des Standes der Technik und der Forschung und resultierender Handlungsbedarf	73
5	Konzept eines flexiblen Softwaresystems zur Konfigurierung virtueller Produkte	79
5.1	Gesamtkonzept	79
5.2	Konzept einer Methode zur flexiblen und übersichtlichen Darstellung des Konfigurationswissens	82
5.3	IT-Konzept	86
5.3.1	Objektmodell	86
5.3.2	Systemarchitektur	90
5.3.3	Das Fünf-Schichten-Modell zur Umsetzung der Systemarchitektur	96
5.3.4	Schnittstellenkonzept	98
5.3.5	Ablauf von Konfigurationsprojekten	100
6	Einführungskonzept	105
6.1	Phase I: Vorbereitende Maßnahmen	106
6.1.1	Machbarkeitsanalyse	106

6.1.2	Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	109
6.2	Phase II: Systemimplementierung.....	117
6.2.1	Aufnahme und Abbildung des Konfigurationswissens	118
6.2.2	Anbindung der Quellsysteme.....	122
6.3	Phase III: Laufende Anpassung und Erweiterung	124
7	Prototypische Umsetzung	127
7.1	Verwendete IT-Werkzeuge und Standards	127
7.1.1	Programmiersprachen	127
7.1.2	ADO.NET.....	128
7.1.3	XML	128
7.1.4	SICStus Prolog	129
7.2	Der Softwareprototyp	130
7.2.1	Erzeugen von Produktstrukturen	131
7.2.2	Definition von Objektattributen.....	132
7.2.3	Definition von Konfigurationsregeln	134
7.2.4	Gestaltung der Konfigurations-GUI.....	138
7.3	Umsetzungsbeispiel.....	139
8	Verifikation und Bewertung der Ergebnisse	143
8.1	Verifikation der allgemeinen Anforderungen	143
8.2	Verifikation der Methodik zur Repräsentation von Konfigurationswissen... ..	144
8.3	Verifikation der Softwarelösung	144
8.4	Verifikation der Einführungsmethodik.....	148
9	Zusammenfassung und Ausblick	151
9.1	Zusammenfassung der durchgeführten Arbeiten	151
9.2	Weiteres Forschungspotenzial.....	153
10	Anhang	155
10.1	Checkliste zur Machbarkeitsanalyse	155
10.2	Bewertungsmuster für die Durchführung der Machbarkeitsanalyse	162
10.3	Fragebogen zur Aufnahme des Konfigurationswissens	163
	Literaturverzeichnis	167

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1	Teufelskreis aus Variantenvielfalt und Wettbewerbsnachteilen.....	2
Abbildung 1-2	Diskrepanz zwischen Markt- und Produktionsanforderungen	3
Abbildung 1-3	Gliederung der vorliegenden Arbeit.....	7
Abbildung 2-1	Die Produktentwicklung als Teil des Produktlebenszyklus	10
Abbildung 2-2	Vernetzte, digitale Teilproduktmodelle in der Produktentwicklung und das virtuelle Produkt.....	11
Abbildung 2-3	Dimensionen der Produktkomplexität.....	14
Abbildung 2-4	Ursachen für Variantenvielfalt	15
Abbildung 2-5	Schematischer Aufbau des „House of Quality“.....	18
Abbildung 2-6	Variantenbaum auf Basis der Montagereihenfolge in VMEA.....	19
Abbildung 2-7	Verschiedene Arten von Modularisierung.....	21
Abbildung 2-8	Konfigurierung und Konfigurationsmanagement	23
Abbildung 2-9	Aufgaben eines Produktkonfigurationssystems.....	24
Abbildung 3-1	Typischer Aufbau einer Gurtförderanlage	28
Abbildung 3-2	Anwendungsbereiche für Produktkonfiguratoren	31
Abbildung 4-1	UND / ODER-Baum eines Fahrrads.....	46
Abbildung 4-2	Verträglichkeitsmatrix	48
Abbildung 4-3	Schematischer Aufbau des K- & V-Matrizensystem.....	49
Abbildung 4-4	Ausgestaltungsformen eines Produktkonfigurators	52

Abbildung 4-5	Kosten und Nutzen bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit	56
Abbildung 4-6	Wirtschaftlicher Nutzen durch Integration von Informationsquellen	57
Abbildung 4-7	Übersicht der Verfahren zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit... ..	59
Abbildung 4-8	Amortisationsdauer.....	60
Abbildung 4-9	Manuelle Wissensaufnahme.....	62
Abbildung 4-10	Halbautomatische Wissensaufnahme.....	65
Abbildung 4-11	Automatische Wissensaufnahme.....	66
Abbildung 5-1	Grobkonzept einer Produktkonfigurationsplattform.....	80
Abbildung 5-2	Darstellung von Produktstrukturen mittels UND/ODER-Baums... ..	83
Abbildung 5-3	Darstellung von Variantenattributen mittels SML.....	84
Abbildung 5-4	Erstellung und Darstellung von Konfigurationsregeln	85
Abbildung 5-5	Regelgraph	85
Abbildung 5-6	Struktur- und Basiselemente.....	87
Abbildung 5-7	Objektmodell des Produktkonfigurationssystems	90
Abbildung 5-8	Schematische Darstellung der Systemarchitektur und ihrer Komponenten	91
Abbildung 5-9	Fünfschichtige Implementierung des Softwaresystems	97
Abbildung 5-10	Systembild des Produktkonfigurationssystems.....	97
Abbildung 5-11	Schnittstellenkonzept des Produktkonfigurationssystems	98
Abbildung 5-12	Generative und interaktive Erzeugung eines virtuellen Produktes	100
Abbildung 5-13	Vorbereitung eines Konfigurationsprojektes	101
Abbildung 5-14	Durchführung eines Konfigurationsprojektes	102
Abbildung 6-1	Drei-Phasen-Modell zur Systemeinführung	105

Abbildung 6-2	Aufbau eines Baukastensystems	107
Abbildung 6-3	Das Spannungsfeld zwischen Qualität, Zeit, Kosten und Effizienz	110
Abbildung 6-4	Verwaltungskosten eines Bauteils.....	113
Abbildung 6-5	Einsparpotenziale durch Produktkonfigurationslösungen.....	116
Abbildung 6-6	Beispielrechnung der Kosteneinsparpotenziale im Vertrieb	116
Abbildung 6-7	Vorgehensweise in der zweiten Phase der Systemeinführung..	117
Abbildung 6-8	Wissenspyramide eines Unternehmens in Bezug auf Produkt- konfiguration.....	119
Abbildung 6-9	Vorgehensweise in der dritten Phase der Systemeinführung....	124
Abbildung 7-1	Hauptfenster des prototypischen Produktkonfigurationssystems	130
Abbildung 7-2	Erstellung eines Struktur- oder Basiselementes.....	131
Abbildung 7-3	Beispiel einer einfachen Produktstruktur	131
Abbildung 7-4	Bearbeitung der Attribute eines Objektes.....	132
Abbildung 7-5	Attributdefinitionsfenster	132
Abbildung 7-6	Darstellung der definierten Attribute.....	134
Abbildung 7-7	Befehl „New Rule“	134
Abbildung 7-8	Regelvorlagen	135
Abbildung 7-9	Erstellung einer Regel aus der Regelvorlage und Verknüpfung mit einem Produktbaustein.....	136
Abbildung 7-10	Syntaxprüfung und anschließende Speicherung einer Regel....	136
Abbildung 7-11	Übersicht der Regeln zu einem Objekt.....	137
Abbildung 7-12	Interdependenz zwischen Regeln und allen darin enthaltenen Objekten.....	137
Abbildung 7-13	Automatisch erzeugter Regelgraph.....	138

Abbildung 7-14	GUI-Editor.....	139
Abbildung 7-15	Produktstruktur, Produktbausteine und Attribute eines Gurtförderers	140
Abbildung 7-16	Benutzungsoberfläche des Konfigurationstools.....	141
Abbildung 7-17	Automatisch im CAD-System erzeugter Gurtförderer.....	141
Abbildung 7-18	Konfigurationsclient als Plug-in innerhalb des CAD-Systems....	142

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1	Kenngößen aus der Serienfertigung mittelständischer Betriebe ..	2
Tabelle 2-1	Auswirkungen der Variantenvielfalt	16
Tabelle 3-1	Anforderungen bzgl. der Anwendungsbereiche	31
Tabelle 3-2	Anforderungen bzgl. der Anwendergruppen.....	32
Tabelle 3-3	Anforderungen an die Methodik zur Wissensrepräsentation	33
Tabelle 3-4	Anforderungen an Softwareumgebung und Betrieb	35
Tabelle 3-5	Anforderungen an Schnittstellen und Integration	36
Tabelle 3-6	Anforderungen an den Ablauf eines Konfigurationsprozesses....	37
Tabelle 3-7	Anforderungen an die Aufnahme des Konfigurationswissens	39
Tabelle 3-8	Anforderungen an die vorbereitenden Maßnahmen.....	40
Tabelle 3-9	Anforderungen an die einföhrungsbegleitenden Maßnahmen....	42
Tabelle 6-1	Einflussgrößen der Einföhrung eines Produktkonfigurations- systems	111
Tabelle 6-2	Einteilung der Einflussgrößen in monetär bewertbare und monetär schwer bewertbare und in direkte und indirekte Nutzgrößen	112
Tabelle 6-3	Direkte und indirekte Kosten der Einföhrung eines Produkt- konfigurators	114
Tabelle 8-1	Verifikation der Einsetzbarkeit in verschiedenen Anwendungs- bereichen	143
Tabelle 8-2	Verifikation der Anwendbarkeit für verschiedene Anwendergruppen	144

Tabelle 8-3	Verifikation der Anforderungen an die Methodik zur Wissens- repräsentation.....	144
Tabelle 8-4	Verifikation der Anforderungen an Softwareumgebung und Betriebsart	146
Tabelle 8-5	Verifikation der Anforderungen an Schnittstellen und Integration	146
Tabelle 8-6	Verifikation der Anforderungen an den Ablauf von Konfigurations- prozessen	147
Tabelle 8-7	Verifikation der Anforderungen an die Aufnahme des Konfigurationswissens	148
Tabelle 8-8	Verifikation der Anforderungen an die vorbereitenden Maßnahmen	149
Tabelle 8-9	Verifikation der Anforderungen an die einföhrungsbegleitenden Maßnahmen.....	150