Agentenbasierte Modellierung und Analyse von Verbindungen im Produktentstehungsprozess

Dissertation

zur Erlangung des Grades einer Doktorin
der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von

Dipl. Ing. M. Begoña Toledo Muñoz

aus Cuenca (Spanien)

genehmigt von der Fakultät für Mathematik/Informatik und
Maschinenbau der Technischen Universität Clausthal,

Tag der mündlichen Prüfung

02 Mai 2006

Die Arbeit wurde am Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit der Technische Universität Clausthal in Kooperation mit der Volkswagen AG Wolfsburg

Vorsitzender der Promotionskomission:
Univ. Prof. Dr.-Ing. N. Müller

Hauptberichterstatter:
Univ. Prof. Dr.-Ing. U. Bracht

Berichterstatter:
Univ. Prof. Dr. M. Schimmler

Innovationen der Fabrikplanung und -organisation

Band 13

Maria Begoña Toledo Muñoz

Agentenbasierte Modellierung und Analyse von Verbindungen im Produktentstehungsprozess

D 104 (Diss. TU Clausthal)

Shaker Verlag
Aachen 2006

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.ddb.de abrufbar.

Zugl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 2006

Copyright Shaker Verlag 2006
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN-10: 3-8322-5338-6
ISBN-13: 978-3-8322-5338-7
ISSN 1615-5211

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

Vorwort des Herausgebers

Nur die erfolgreiche Gestaltung und Weiterentwicklung industrieller Wertschöpfung kann auf Dauer unseren Lebensstandard und die Errungenschaften der sozialen Marktwirtschaft absichern. Die Produktion bildet nach wie vor das Rückgrat einer modernen, im globalen Wettbewerb stehenden Industrie-, Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft. Umfassendes Wissen und stetig neue Erkenntnisse auf den Gebieten der Fabrikplanung und Produktionsorganisation sind existentiell notwendig.

Die unternehmerische Bedeutung der Produktionsplanung ist im gleichen Maße gestiegen, wie sich die Innovationszyklen von Produkten, Fertigungs- und Logistiksystemen sowie der Arbeitsorganisation verkürzt haben. Um die vorhandene Marktposition zu festigen oder um Wettbewerbsvorteile zu erlangen, muß jede Unternehmensleitung neben dem Produkt und der Technologie auch die Produktionsstrukturen ständig analysieren, sie rechtzeitig an die zu erwartenden Marktentwicklungen anpassen und gegebenenfalls erneuern.

Die erhöhten Ansprüche an die Gestaltung und Wandlungsfähigkeit von Produktionsstrukturen im turbulenten Umfeld erfordern ein effizientes Projektmanagement und eine durchgehende rechnergestützte Planungsunterstützung. In der vorliegenden Reihe – Innovationen der Fabrikplanung und -organisation – sollen neue Methoden und Instrumente zur Planung und Optimierung von Produktionssystemen und -abläufen einer breiten Leserschaft in verständlicher Form vorgestellt werden. Es sind Forschungsergebnisse die häufig in enger Zusammenarbeit mit der Industrie am Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit der Technischen Universität Clausthal im Bereich Anlagenprojektierung und Materialflußlogistik entstanden sind.

Ein gemeinsamer systemtechnischer Ansatz kennzeichnet die Fachgebiete Anlagenplanung und Logistik, deren technische, informationstechnische, organisatorische und wirtschaftliche Fragestellungen ganzheitlich und zukunftsweisend zu beantworten sind. Die angestrebten Lösungsstrategien sind im Rahmen des gesamten Produkt- und Produktionsentstehungsprozesses zu sehen und beinhalten sowohl eine theoretische, planerische und simulierende Seite als auch die konkrete Ausgestaltung von Prozessketten, Organisationsformen und Abläufen.

In der Vergangenheit wurden Produktionsstrategien, Programme und Teilebedarfe nicht selten aufgrund persönlicher Einschätzung und Erfahrung festgelegt. Heute sind mit Hilfe mathematischer, wissensbasierter Modelle hinreichende Prognosen und Szenarien zu entwickeln und das Komplexitätsmanagement muß bereits bei der Entwicklung variantenreicher Serienpro-

dukte einsetzen. So können z.B. Agentensysteme schon vorausschauend bei der Analyse von Verbindungen möglicher Module helfen.

Früher wurden die darauf aufbauenden Produktionsstrukturen in der Regel nur statisch geplant und für dynamische Betrachtungen allenfalls Mittelwerte herangezogen. Um in Zukunft falsche oder überhöhte Investitionen und unnötige Folgekosten zu vermeiden, sind bestehende und zu planende Anlagen umfassend dynamisch zu analysieren und optimieren. Hierfür bietet sich die inzwischen bis zur Virtuellen Realität entwickelte Simulationstechnik an. Mit ihr kann der Planungsprozess entscheidend beschleunigt und verbessert sowie die Planungsqualität und -sicherheit erheblich erhöht werden.

Nicht zuletzt gilt es, die in den Produktions- und Logistiksystemen arbeitenden Menschen wieder stärker in den Mittelpunkt zu stellen, ihre Bedürfnisse zu respektieren und ihnen genügend Raum für Engagement und Verantwortung mit effizienten Formen der Arbeitsorganisation zu geben, die Verschwendung vermeiden und eine stetige Steigerung des Produktionsflusses ermöglichen.

Clausthal, im Juli 2006 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Dissertation ist während meiner Tätigkeit bei der Volkswagen AG im Bereich „virtueller Prototyp“, Abteilung EZVV/1, entstanden.

Für die wissenschaftliche Betreuung danke ich Herrn Professor Uwe Bracht, dem Leiter des Instituts für Maschinelle Anlagetechnik und Betriebsfestigkeit an der Technischen Universität Clausthal, für das entgegenbrachte Vertrauen und die Betreuung der Dissertation. Herrn Professor Manfred Schimmler, Leiter des Instituts Technische Informatik der Uni Kiel, danke ich für die Übernahme der Zweitberichterstattung.
Frau Dr. Karin Spors, Leiterin der Unterabteilung EZVV/1, gilt mein besonderer Dank für Ihre Betreuung. Die vielen Anregungen und Diskussionen mit ihr haben dieser Arbeit die notwendigen Fundamente gegeben. Herrn Dr. Wolfgang Geisler, Leiter der Abteilung EZVV, danke ich für die zahlreichen Diskussionen, die bei der Abrundung der Arbeit halfen.
Ich bedanke mich bei der gesamten Abteilung EZVV/1 für die gute Zusammenarbeit während der Jahre der Zusammenarbeit. Die zahlreichen Diskussionen und konstruktiven Kritiken haben das Gelingen dieser Arbeit maßgeblich unterstützt.

Ich bedanke mich bei Stefan Baumgart für die gute Zusammenarbeit bei der Prototypischen Umsetzung des in dieser Arbeit vorgestellten Modells im Rahmen des Projekts PLUG.
Nicht zuletzt möchte ich meinen Freunden danken, die bei der Überarbeitung des Manuskripts geholfen haben.

Darüber hinaus gilt mein ganz besonderer Dank meinem Partner Bernd Werther, einerseits wegen seiner Hilfe bei der Überarbeitung des Manuskripts aber vor allem wegen seiner bedingungslosen Unterstützung in schwierigen Momenten während der Entstehung dieser Arbeit. Ohne ihn wäre alles nicht möglich gewesen und diese Dissertation ist ihm gewidmet.

También quiero expresar mi especial agradecimiento a mis padres, Plácido y Felicidad, que me estimularon siempre a superarme y a mis hermanos, Ana y Jose Carlos, los cuales me han apoyado durante todo el transcurso de mi carrera.

Braunschweig im Juli 2006 M. Begoña Toledo Muñoz

Kurzfassung

Aufgrund der immer schneller wechselnden Marktausrichtung, neuer technischer Anforderungen oder des Druckes durch die Konkurrenz muss ein Automobilunternehmen neue Fahrzeugmodelle in kürzester Zeit auf den Markt bringen, ohne dass sich diese Einsparung auf die Qualität oder den Preis auswirkt. Eine wesentliche Rolle spielt dabei der durchgängige Einsatz digitaler Techniken längs des gesamten Produkt- und Produktionsentstehungsprozesses, wie er gerade auch mit dem Ansatz *Digitale Fabrik* angestrebt wird.

Zu einer vollständigen Digitalisierung eines Fahrzeuges gehören der Entwurf und die Überprüfung von Verbindungen zwischen den Fahrzeugteilen. Zudem müssen auch Anforderungen einer späteren Fertigung und Montage in die Entwicklung des Verbindungsgefüges eines Fahrzeuges einfließen.

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Modell zur Überprüfung und Analyse von Verbindungen entwickelt. Es dient zur Aufdeckung von Inkonsistenzen zwischen den Verbindungen der Fahrzeugteile und unterstützt unmittelbar eine montagegerechte Konstruktion von Verbindungen.

Das Modell setzt sich aus einem Struktur- und einem Funktionsmodell zusammen. Eine hierarchische Zerlegung der geometrischen und physikalischen Eigenschaften der Verbindungsstrukturen im Strukturmodell liefert die Grundlage zur Überprüfung der Fahrzeugverbindungen durch ein Agentensystem, dessen Arbeitsweise anhand des Funktionsmodells beschrieben wird.

Weiterhin konnte die Eignung von Agentensystemen anhand der praktischen Umsetzung des Modells in ein Beispiel aus der Fahrzeugentwicklung nachgewiesen werden. Dies liegt vor allem in den Eigenschaften von Agentensystemen begründet. Sie unterstützen autonome Untersuchungen und ermöglichen eine eigenständige Reaktion auf unvorhersehbare Situationen.

Dieses Beispiel verdeutlicht das Potential einer agentenbasierten Unterstützung der Produktentstehung und weist damit auf die Perspektive eines durchgängigen unterstützenden Einsatzes von Agenten beim gesamten Produktentstehungsprozesses variantenreicher Serienprodukte hin.

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG 3

1.1 AKTUELLE SITUATION IN DER FAHRZEUGENTWICKLUNG 3

1.2 EINORDNUNG DER ARBEIT IN DEN PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESS UNTER DEM DACH DER DIGITALEN FABRIK 7

1.3 ERWEITERUNG DER DIGITALEN REPRÄSENTATIONEN EINES FAHRZEUGS UM VERBINDUNGEN 10

1.4 ZIEL DER ARBEIT 11

1.5 AUFBAU DER ARBEIT 12

2 GRUNDLAGEN 13

2.1 ÜBERBLICK ÜBER DIGITALE TECHNIKEN DER PRODUKTENTSTEHUNG AM BEISPIEL DER KONSTRUKTION 13

2.1.1 PARAMETRISCHE MODELLIERUNG 15

2.1.2 CONSTRAINTS 16

2.1.3 ASSOZIATIVITÄT 17

2.1.4 FEATURE-TECHNOLOGIE 18

2.2 AGENTENTECHNOLOGIEN 20

2.2.1 DER AGENT: DEFINITION UND EIGENSCHAFTEN 21

2.2.2 VERGLEICH OBJEKTORIENTIERUNG UND AGENTENORIENTIERUNG 23

2.2.3 REPRÄSENTATIONSKONZEPTE VON AGENTEN 25

2.2.4 TECHNISCHE UMSETZUNG 29

2.3 SCHLUSSFOLGERUNG 31

3 PLUG-MODELL 34

3.1 DAS PLUG-STRUKTURMODELL 36

3.1.1 KLASSIFIZIERUNG DER TEILE EINES FAHRZEUGES 36

3.1.2 PLUG-ATTRIBUTE ZUR BESCHREIBUNG DER VERBINDUNGSEIGENSCHAFTEN 38

3.1.3 DEFINITION VON VERBINDUNGSANFORDERUNGEN DURCH KONTAKTFLÄCHEN 43

3.1.4 REPRÄSENTATION DER ELEMENTE DES PLUG-STRUKTURMODELLS 52

3.2 DAS PLUG-FUNKTIONSMODELL 57

3.2.1 KOMPATIBILITÄT 57

3.2.2 PLUG-AGENTENSYSTEM 58

3.2.3 KOMMUNIKATION ZWISCHEN DEN AGENTEN 66

3.2.4 ARBEITSWEISE DES AGENTENSYSTEMS 68
3.2.5 WISSENS-AKQUISITION 72

4 IMPLEMENTIERUNGSKONZEPT FÜR DAS PLUG-MODELL 73

4.1 EXTRAKTION DER TEILEATTRIBUTE 74
4.1.1 TRIANGULIERTE GEOMETRIEN (FACETTENMODELLE) 75
4.1.2 OPEN INVENTOR 76
4.1.3 PLUG TEILE-FORMAT: COREOBJ 77
4.2 IMPLEMENTIERUNGSKONZEPT DER PLUG-AGENTEN 78
4.2.1 ANFORDERUNG AN DAS PLUG-AGENTENSYSTEM 78
4.2.2 BESCHREIBUNGSSTRUKTUR DER PLUG-AGENTEN 81
4.3 INTERAKTIONSKONZEPT: DIE BENUTZEROBERFLÄCHE 85
4.3.1 DARSTELLUNG UND BEARBEITUNG DES PLUG-MODELLS 86
4.3.2 BEDIENUNG DES AGENTENSYSTEMS 89

5 VERBINDUNGSÜBERPRÜFUNGEN AM BEISPIEL EINES GETRIEBELAGERS 92

5.1 STRUKTURMODELL 93
5.1.1 KLASSIFIZIERUNG DER TEILE 93
5.1.2 ATTRIBUTE 94
5.1.3 KONTAKTFLÄCHEN 96
5.2 FUNKTIONSMODELL 99
5.2.1 TRIANGULIERTE DARSTELLUNG DER TEILE 99
5.2.2 ATTRIBUTIDENTIFIZIERUNG 100
5.2.3 UNTERSUCHUNG AUF VERBINDBARKEIT 102

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK 105

6.1 ZUSAMMENFASSUNG 105
6.2 AUSBLICK 106

LITERATURVERZEICHNIS 109

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 119

ANHANG A 123

LEBENSLAUF 125