Ein Beitrag zur ganzheitlichen Erfassung und Integration von Produktanforderungen mit Hilfe linguistischer Methoden

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN

An der Fakultät für Maschinenbau der
Universität Karlsruhe (TH)
genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Matthias A. J. Jörg

aus:	Schwäbisch Hall
Tag der mündlichen Prüfung:	14. April 2005
Hauptreferent:	o. Prof. em. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr. h.c. Hans Grabowski
Koreferent:	o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers
Koreferent:	Prof. Dr.-Ing. Christian Weber

RPK

Forschungsberichte aus dem Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion der Universität Karlsruhe

Matthias A.J. Jörg

Ein Beitrag zur ganzheitlichen Erfassung und Integration von Produktanforderungen mit Hilfe linguistischer Methoden

Herausgeber: o. Prof. em. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr. h.c. Hans Grabowski

Band 3/2005 Shaker Verlag

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.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2005

Copyright Shaker Verlag 2005
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-4032-2
ISSN 0945-5787

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Die zunehmenden Diskussionen in den letzten Jahren über den Standort Deutschland zeigen, dass die Konkurrenz auf dem Weltmarkt zunimmt und die Wettbewerber deutlich aufholen, bzw. ihren Vorsprung ausbauen. Im Bereich des Maschinenbaus, und hier vor allem bei der Entwicklung komplexer, innovativer Produkte, halten Deutschland und Europa im Vergleich zu anderen geografischen Regionen, noch eine gute Position inne, was sich aber ohne die Anpassung an die geänderten wirtschaftlichen Anforderungen ändern kann.
Die Herausforderung bei der Produktentwicklung besteht vor allem in der Beherrschung von komplexen technischen Zusammenhängen und deren erfolgreicher, wirtschaftlicher Umsetzung in ein marktfähiges Produkt. Erst durch die Kenntnis der damit verbundenen Prozesse und der daraus resultierenden Methodik kann der Produktentstehungsprozess effizient und stringent gestaltet werden. Hierbei müssen die Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt unbedingt im Mittelpunkt stehen, da letztendlich sie die Gestalt des Produktes, seine Erzeugung und somit auch den Markterfolg bestimmen.

Im vorliegenden Buch wird ein ganzheitliches Konzept beschrieben, mit dem Produktanforderungen erfasst, geprüft und in den Mittelpunkt der Produktentwicklung gestellt werden. Aufbauend auf bekannten wissenschaftlichen Ansätzen (semantische Anforderungsnetze), wird ein Anforderungsmodell erstellt, das mit Hilfe eines mathematischen Gleichungslösers (Constraint-Solver) auf Konsistenz geprüft werden kann. Mit der entwickelten Vorgehensweise kann dieses konsistente Anforderungsnetz mit dem Gestaltsmodell (CAD-Modell) verknüpft werden, wodurch eine schnelle Erzeugung von Konstruktionsvarianten möglich ist.
Untersuchungen zahlreicher Spezifikationsdokumente haben gezeigt, dass die Definition von Anforderungen auch heute noch meist in natürlichsprachlicher Form erfolgt, ohne einen eindeutig definierten Wortschatz zu verwenden. Mit der Anbindung einer linguistischen Komponente erfolgt eine erste Analyse der Anforderungen, um diese in quantifizierter Form in das Anforderungsmodell zu übernehmen.

Die Evaluierung des entwickelten Konzepts und der implementierten Software erfolgte an mehreren Problemstellungen aus der Automobilindustrie mit Hilfe verschiedener Szenarien. Das Ziel bestand darin, anhand realer, abgegrenzter Aufgaben aus der Produktentwicklung, die Verbesserungen durch die Anwendung der erarbeiteten Methodik zu demonstrieren. Hierbei hat sich auch gezeigt, dass bei der Entwicklung neuer Systeme und Methoden das Arbeitsumfeld, existierende Prozesse und vor allem die Bedürfnisse der Anwender beachtet werden müssen. Die Umsetzung in die Praxis kann nur schrittweise erfolgen und muss die Vorteile für den Anwender und das Management transparent machen, um mittel- bis langfristig die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu sichern.

Hans Grabowski

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Zeit in der DaimlerChrysler-Forschung Ulm. Die Ergebnisse beruhen im Wesentlichen auf dem DaimlerChrysler-Projekt „Specification Driven Design“ und dem EU-Projekt „Dragon“.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans Grabowski, der mir seine grundlegenden Vorstellungen der Anforderungsmodellierung und Konstruktionsmethodik vermitteln konnte und mir einen großen Freiraum bei der Gestaltung meiner Arbeit gegeben hat. Ebenso möchte ich mich bei meinen Koreferenten Herrn Prof. Dr.-Ing. Albert Albers und Herrn Prof. Dr.-Ing. Christian Weber für ihr Interesse und das Vertrauen in meine Arbeit bedanken. Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmidt danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Für die Impulse im wissenschaftlichen und internationalen Umfeld danke ich allen Mitarbeitern des „Dragon“-Projekts, insbesondere Herrn Dr.-Ing. Ralph Lossack und Herrn Dr.-Ing. Matthias Gebauer die mir entscheidende Hinweise gegeben haben und mir mit gutem Rat zur Seite standen.

Meinem ehemaligen Teamleiter Herrn Bernd Ehrenberg danke ich für die vielen konstruktiven und auch kritischen Gespräche während meiner Zeit in der DC-Forschung Ulm. Für viele anregende und auch fachfremde Diskussionen bin ich meinem ehemaligen Zimmerkollegen Herrn Dr.-Ing. Edgar Gerteisen dankbar.
Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden erst durch die wertvolle Zusammenarbeit mit meinen Kollegen Herrn Bertram Hans, Frau Dr.-Ing. Helen Leemhuis, Frau Tanja Tudorache und Herrn Dr. Frank Seelisch möglich. Danken möchte ich auch meinen studentischen Mitarbeitern Herrn Gleb Plischke und Herrn Ulrich Bestfleisch für die stets korrekte und engagierte Mitarbeit.
Letztlich wurden die Freiräume für das Entstehen meiner Arbeit erst durch meine ehemaligen Vorgesetzten Herrn Robert Winterstein und Herrn Alfred Katzenbach möglich.

Für die Unterstützung bei der Ideenfindung für die linguistische Analyse danke ich Herrn Markus Ackermann, Herrn Dr. Kurt Eberle und Frau Manuela Kunze.

Mein ganz persönlicher, besonderer Dank gilt meiner Partnerin Katrin Dochat für die fachliche und vor allem ständige private Unterstützung. Meinem Onkel Herrn Günter Jörg danke ich für die vielfältigen Anregungen und Diskussionen unterschiedlichster Art, die ich mit ihm führen konnte. Danke meinen Eltern Angelika und Siegfried Jörg für die Unterstützung und Förderung, die sie mir in jeder Weise immer gewährt haben. Ihre Erziehung, die von christlichen und weltlichen Werten geprägt ist, hat einen entscheidenden Beitrag zu meinem Werdegang geleistet.

Matthias A.J. Jörg Schwäbisch Hall, im April 2005

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG 1

1.1 RANDBEDINGUNGEN AUS DER PRAXIS 1
1.2 ALLGEMEINE EINBETTUNG DER ARBEIT 3
1.3 ZIELSETZUNG DER ARBEIT 4

2 GRUNDLAGEN UND ANALYSE BESTEHENDER ANSÄTZE 7

2.1 KONSTRUKTIONSMETHODIK 8
2.1.1 Ansätze aus dem deutschsprachigen Raum 9
2.1.2 Internationale Ansätze 13
2.1.3 Bewertung der untersuchten Konstruktionsmethodiken 18
2.2 ANFORDERUNGSMODELLIERUNG 18
2.2.1 Ansätze und Konzepte 19
2.2.1.1 Anforderungsmodellierung in einem integrierten Produktmodell 19
2.2.1.2 Andere Ansätze zur Anforderungsmodellierung 26
2.2.1.3 Bewertung der untersuchten Konzepte zur Anforderungsmodellierung 31
2.2.2 Rechnerunterstütztes Anforderungsmanagement 32
2.2.2.1 Kommerzielle Lösungen 32
2.2.2.2 Ansätze aus der Forschung 35
2.2.2.3 Bewertung der untersuchten Software zum Anforderungsmanagement 38
2.3 EINFÜHRUNG IN DIE LINGUISTIK 39
2.3.1 Grundlagen 39
2.3.2 Begriffssysteme 46
2.3.3 Wortnetze 47
2.4 ONTOLOGIEN 50
2.4.1 Einführung und Definition 50
2.4.2 Sprachen und Tools zur Modellierung von Ontologien 52
2.5 PRODUKTENTWICKLUNG UND METHODEN 54
2.5.1 Werkzeuge und Tools in der Entwicklung 54
2.5.2 Prozesse, Methoden und Tendenzen 58
2.6 BEWERTUNG DES AKTUELLEN STANDES DER TECHNIK 63

3 FORDERUNGEN AN EINE ANFORDERUNGSGETRIEBENE PRODUKTENTWICKLUNG 65

3.1 FORDERUNGEN AN DEN PRODUKTENTWICKLUNGSPROZESS 65
3.1.1 Randbedingungen für komplexe Produkte 65
3.1.2 Forderungen an die IT-Systeme 65
3.1.3 Forderungen an die Prozessgestaltung 67

3.2 FORDERUNGEN AN DIE HANDHABUNG VON PRODUKTANFORDERUNGEN 70
3.2.1 Analyse existierender Spezifikationen 70
3.2.2 Dynamische Anforderungsverarbeitung 72
3.3 HERAUSFORDERUNGEN UND LÖSUNGSMÖGLICHKEITEN BEI DER PRODUKTENTWICKLUNG ... 76
3.3.1 Verkürzung der Entwicklungszeit durch Prozessintegration 77
3.3.2 Beherrschung der Komplexität mit Hilfe von Abhängigkeiten 78
3.3.3 Verbesserte Kommunikation durch Linguistische Analyse 80
3.4 SCHLUSS UND FOLGERUNGEN 81

4 KONZEPTION EINES INTEGRIERTEN ANFORDERUNGSMANAGEMENT-SYSTEMS 85

4.1 ANFORDERUNGSMANAGEMENT 86
4.1.1 Eigenschaften und Arten einer Anforderung (Knoten) 86
4.1.2 Abhängigkeiten und Beziehungen (Kanten) von Anforderungen 93
4.1.3 Constraint-Verarbeitung und Wertebereiche 97
4.1.4 Prüfung von Anforderungen 102
4.1.5 Externe Links 103
4.1.6 Klassifizierung von Anforderungen 104
4.1.7 Anforderungsbibliothek und Templates 106
4.1.8 Freigabeprozess und Workflow 109
4.2 CAD-KOPPLUNG 113
4.2.1 Modellierungsmethodik 113
4.2.2 Schnittstelle zum Anforderungsmodell 114
4.3 PDM-KOPPLUNG 116
4.3.1 Produktstruktur 116
4.3.2 Schnittstelle zum Anforderungsmodell 118
4.4 LINGUISTISCHE KOMPONENTE 120
4.4.1 Funktionsweise 120
4.4.2 Umsetzung und Erweiterbarkeit 122
4.4.3 Schnittstelle zum Anforderungsmodell 128

5 DATENMODELL UND IMPLEMENTIERUNG 129

5.1 DATENMODELL 129
5.2 IMPLEMENTIERUNG 138
5.2.1 Architektur 138
5.2.2 Umsetzung 140

6 KONZEPTVERIFIKATION 157

6.1 PROBLEMATIK UND UMSETZUNG 157
6.2 ENTWICKLUNG EINES GEPANZERTEN PKW 158
6.2.1 Panzerung der Tür und Verstärkung des Fensterhebermotors 159
6.2.2 Änderung Hubraum und Verdichtungsverhältnis im Verbrennungsmotor 160
6.2.3 Änderung Pleuellänge - Durchführung Kinematiksimulation 171
6.3 ÄNDERUNG DES MAßKONZEPTS AM GESAMTFAHRZEUG 172
6.4 AUSWERTUNG UND RÜCKMELDUNGEN DER ANWENDER 175

7 AUSBLICK 177

8 ZUSAMMENFASSUNG 179

9 LITERATURVERZEICHNIS 183

10 ANHANG 193

10.1 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 193
10.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS 195
10.3 TABELLENVERZEICHNIS 198
10.4 DEFINITIONEN UND BEGRIFFSKLÄRUNGEN 199
10.5 KLASSIFIKATIONSSYSTEM FÜR PRODUKTANFORDERUNGEN 201