

Henning Rudolf

**Wissensbasierte Montageplanung
in der Digitalen Fabrik
am Beispiel der Automobilindustrie**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 204

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die
der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von
Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem
oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Daten-
verarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugs-
weiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2007

ISBN 978-3-8316-0697-9

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utz.de

Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozess spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb* Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| Inhaltsverzeichnis..... | I |
| Abbildungsverzeichnis..... | VI |
| Tabellenverzeichnis..... | XI |
| Abkürzungsverzeichnis..... | XII |
| 1 Einleitung und Zielsetzung..... | 1 |
| 1.1 Ausgangssituation..... | 1 |
| 1.2 Zielsetzung und Fokus der Arbeit | 7 |
| 1.3 Vorgehensweise..... | 9 |
| 2 Begriffsdefinitionen und Grundlagen | 11 |
| 2.1 Allgemeines | 11 |
| 2.2 Die Produktentstehung in der Automobilindustrie..... | 11 |
| 2.3 Variantenmanagement..... | 12 |
| 2.4 Montageplanung als Teilbereich der Prozessplanung | 16 |
| 2.4.1 Allgemeines | 16 |
| 2.4.2 Planungsmethoden..... | 17 |
| 2.4.3 Stückliste und Arbeitsplan als zentrale Dokumente..... | 20 |
| 2.4.3.1 Allgemeines..... | 20 |
| 2.4.3.2 Stückliste..... | 20 |
| 2.4.3.3 Arbeitsplan | 23 |
| 2.5 Informationstechnische Systeme im Produktentstehungsprozess | 26 |
| 2.5.1 Allgemeines | 26 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.5.2 | Product Lifecycle Management..... | 27 |
| 2.5.3 | Virtuelle Produktion und Digitale Fabrik..... | 30 |
| 2.5.4 | Computer Aided Process Planning..... | 33 |
| 2.6 | Wissensbasierte Systeme..... | 37 |
| 2.6.1 | Allgemeines..... | 37 |
| 2.6.2 | Repräsentationsformen zur Abbildung von Wissen..... | 40 |
| 2.6.2.1 | Allgemeines..... | 40 |
| 2.6.2.2 | Regelbasierte Wissensrepräsentation..... | 40 |
| 2.6.2.3 | Objektorientierte Wissensrepräsentation..... | 43 |
| 2.6.2.4 | Constraintbasierte Wissensrepräsentation..... | 45 |
| 3 | Stand der Forschung und Technik..... | 47 |
| 3.1 | Allgemeines..... | 47 |
| 3.2 | Einsatz wissensbasierter Methoden in Systemen der Produkt- und Prozessplanung..... | 48 |
| 3.2.1 | Allgemeines..... | 48 |
| 3.2.2 | PLM-Systeme..... | 51 |
| 3.2.3 | CAPP-Systeme..... | 53 |
| 3.3 | Die Digitale Fabrik in der Montageplanung..... | 54 |
| 3.3.1 | Allgemeines..... | 54 |
| 3.3.2 | Grundlegende Methode und universitäre Prototypen..... | 55 |
| 3.3.3 | Umsetzung in kommerziellen Systemen..... | 57 |
| 3.3.3.1 | Allgemeines..... | 57 |
| 3.3.3.2 | Datenmodell der Basisklassen..... | 60 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.3.3.3 | Überblick über das gesamte Klassenkonzept..... | 65 |
| 3.3.3.4 | Automatisierung der Planung..... | 68 |
| 3.3.3.5 | Schnittstellen | 70 |
| 3.3.4 | Erweiterungen kommerzieller Systeme..... | 71 |
| 3.3.4.1 | Allgemeines..... | 71 |
| 3.3.4.2 | Features | 72 |
| 3.3.4.3 | Einbindung von Planungssystemen | 75 |
| 3.3.4.4 | Varianten | 77 |
| 3.4 | Ableitung von Handlungsfeldern | 79 |
| 4 | Anforderungen an die wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik | 85 |
| 4.1 | Allgemeines | 85 |
| 4.2 | Wissensrepräsentation in der Montageplanung..... | 87 |
| 4.3 | Systemtechnische Umsetzbarkeit der Methode..... | 90 |
| 5 | Grobkonzept für die wissensbasierte Montageplanung | 91 |
| 5.1 | Allgemeines | 91 |
| 5.2 | Wissensrepräsentation in kommerziellen Systemen der Digitalen Fabrik..... | 93 |
| 5.3 | Wissensbasierte Montageplanung | 100 |
| 5.3.1 | Allgemeines | 100 |
| 5.3.2 | Erzeugung von Strukturbeziehungen und Reihenfolgen | 101 |
| 5.3.3 | Sicherstellung der objektübergreifenden Konsistenz | 103 |
| 5.4 | Werkzeugauswahl..... | 105 |
| 5.5 | Allgemeines Integrationskonzept | 108 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.6 | Fazit | 109 |
| 6 | Feinkonzept und dessen Umsetzung | 111 |
| 6.1 | Allgemeines | 111 |
| 6.2 | Auswahl des Werkzeuges | 111 |
| 6.3 | Integrationskonzept | 115 |
| 6.3.1 | Auswahl des Konzeptes | 115 |
| 6.3.2 | Vorbereitung der Integration | 118 |
| 6.3.2.1 | Allgemeines | 118 |
| 6.3.2.2 | Analyse der XML-Strukturen des Systems eM-Planner® | 119 |
| 6.3.2.3 | Analyse der XML-Strukturen des Systems camos.Develop® | 123 |
| 6.3.3 | Durchführung der Integration | 127 |
| 6.3.3.1 | Allgemeines | 127 |
| 6.3.3.2 | Erzeugung der erforderlichen Schemata im Editor . | 127 |
| 6.3.3.3 | Zuordnung der Informationen im Mapper | 128 |
| 6.4 | Wissensverarbeitung | 130 |
| 6.4.1 | Allgemeines | 130 |
| 6.4.2 | Verarbeitung des Planungswissens | 136 |
| 6.4.2.1 | Allgemeines | 136 |
| 6.4.2.2 | Import der Klassenstruktur und der Merkmals- ausprägungen aus den beiden Zielschemata | 136 |
| 6.4.2.3 | Erzeugung der variantenspezifischen Produkt-, Prozess- und Ressourcenstruktur | 138 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.4.3 | Erstellung der Benutzeroberfläche | 139 |
| 6.5 | Realisierung des Systems GenPlanner | 139 |
| 6.6 | Fallstudie | 141 |
| 6.6.1 | Allgemeines | 141 |
| 6.6.2 | Realisierung der Standardplanungsfunktionen mit dem wissensbasierten System..... | 142 |
| 6.6.3 | Realisierung erweiterter Funktionalitäten | 143 |
| 6.7 | Nutzenbewertung..... | 147 |
| 7 | Zusammenfassung und Ausblick..... | 151 |
| 8 | Literaturverzeichnis..... | 155 |
| 9 | Anhang | 177 |
| 9.1 | Genannte Firmen | 177 |
| 9.2 | Unified Modeling Language (UML)..... | 181 |
| 9.3 | Entity Relationship Diagram (ERD) | 182 |
| 9.4 | Extensible Markup Language (XML) | 183 |
| 9.5 | Genutzte Softwareprodukte | 184 |

1 Einleitung und Zielsetzung

1.1 Ausgangssituation

„Indem wir Basiskomponenten im Sinne eines Baukastens in verschiedenen Fahrzeugen einsetzen, erschließen wir Synergieeffekte und verbessern so die Entwicklungsgeschwindigkeit, den Kostenaufwand und die Qualität neuer Fahrzeugprojekte“ (GÖSCHEL 2006, S. 139, Vorstand der BMW Group für Einkauf und Entwicklung). Ähnlich definiert EDER (2005) die Ansprüche an komplexe Premiumprodukte: Modernität, hohe Qualität, gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis und Individualität. Besonders in den letzten Jahren hat die Individualität als Erfolgsfaktor erheblich an Bedeutung gewonnen (EDER 2005, ALDERS 2006), was sich auch in der Modellpalette der führenden Automobilhersteller widerspiegelt (siehe Abbildung 1). Viele Serienfertiger streben nach einer immer größeren Produktindividualisierung, um so einen zusätzlichen Kundennutzen zu erzielen, der sie von ihren Wettbewerbern differenziert (ZUBER et al. 2001, BURR et al. 2003, ZÄH et al. 2006). Durch diesen Zusatznutzen ist es möglich, einen strategischen Marktvorteil zu erzielen, der zu einer höheren Zahlungsbereitschaft beim Kunden oder zu einer Erhöhung des Marktanteils durch Verdrängung der Wettbewerber führt (PORTER 1980).

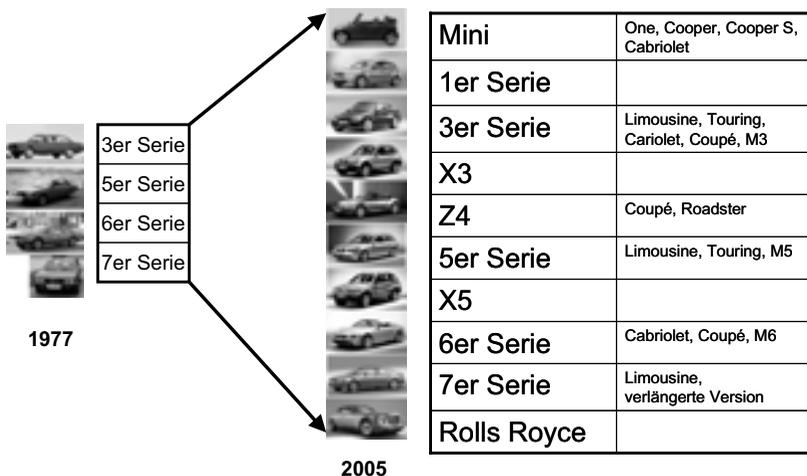


Abbildung 1: Produktmodelle der BMW Group (nach EDER 2005)

Das Ziel des höheren Individualisierungsgrades und der damit einhergehenden größeren Produktdifferenzierung steigert allerdings auch erheblich die Produktkomplexität. Die klassischen Erfolgsfaktoren Zeit, Kosten und Qualität sind demnach um die Beherrschung von Varianten zu erweitern (siehe Abbildung 2). Varianten bezeichnen nach DIN 199 (2002, S. 15) „Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktionen mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Gruppen oder Teile“. Aufbauend hierauf definiert WIENDAHL (2004, S. 7) die Variantenvielfalt wie folgt: „Variantenvielfalt ist gekennzeichnet durch die Anzahl unterschiedlicher Ausführungsformen eines Teils, einer Baugruppe oder eines Produktes.“ Zusätzlich zu den Produktvarianten müssen die Herausforderungen gemeistert werden, die sich aus unterschiedlichen Prozessen und Betriebsmitteln, z.B. durch eine Produktion an verschiedenen Standorten mit einer jeweils spezifischen Montagestruktur, ergeben (WAGNER et al. 2003). Unterschiede zwischen global verteilten Fabriken entstehen z.B. durch verschiedene Lohnniveaus sowie daraus resultierende Montagekonzepte und Automatisierungsgrade (BLEY et al. 2005).

Neben der Planung für ein immer größeres Variantenspektrum muss zugleich die Dauer des Produktentstehungsprozesses, der sich in die drei Phasen Produktplanung, Produktions- bzw. Prozessplanung und Produktion untergliedert, verkürzt werden (WESTKÄMPER & WINKLER 2002, NYHUIS et al. 2004). Ein wichtiger Stellhebel hierfür ist die Parallelisierung von Produkt- und Produktionsplanung (GAUSEMEIER et al. 2000, ROBGODERER 2002, PATRON 2004).

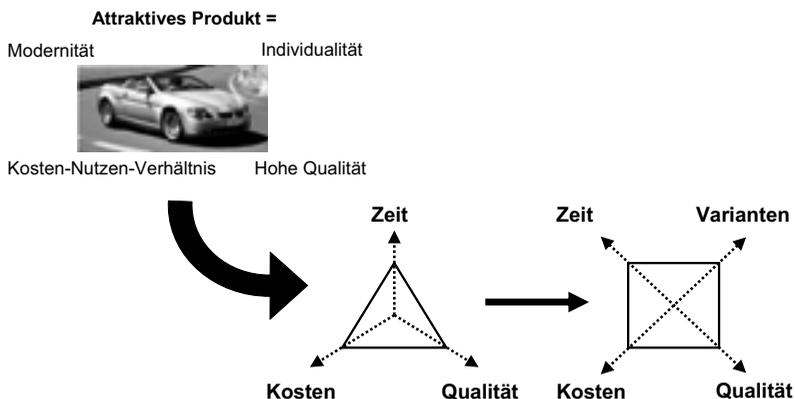


Abbildung 2: Erfolgsfaktoren für die Produkt- und Prozessentwicklung (nach EDER 2005)

Die folgende Abbildung 3 zeigt am Beispiel der Automobilindustrie, dass in einem Zeitraum von fünf Jahren eine Zeiteinsparung von bis zu 40 % von der Konzeptdatenfreigabe bis zum Produktionsstart realisiert werden konnte. Hierdurch wurde von den meisten Herstellern für diesen Abschnitt der aktuelle Zielwert von 18 Monaten erreicht (DROBIR 2005). Ermöglicht wurde diese Entwicklung unter anderem durch organisatorische Veränderungen, wie z.B. die Einführung der prozessorientierten Organisation und das teilweise Outsourcing von Entwicklung und Produktion. Weiterhin dienen Informations- und Kommunikationstechnologien zur Unterstützung der einzelnen Teilaufgaben und stellen somit eine wichtige Voraussetzung für Umstrukturierungen dar (DEUSE et al. 2006).

Erhebliche Unterschiede bezüglich des Einsatzes und der Integration von unterstützender Software bestehen zwischen Produktplanung, Prozessplanung und Produktion.

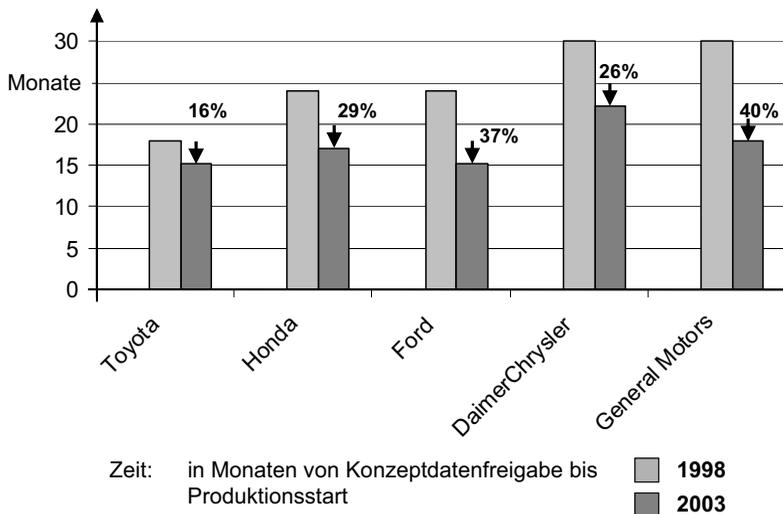


Abbildung 3: Verkürzung der Entwicklungszeit (nach DROBIR 2005)

Während die informationstechnische Durchdringung in der Produktplanung und der Produktion nach einer Studie von KLAUKE (2002), wie in Abbildung 4 skizziert, Werte von 60 bis 85 % erreicht, liegt in der Prozessplanung lediglich ein Integrationsgrad von 15 % vor.

Nach KLAUKE (2002) wird ein Integrationsgrad von 100 % erreicht, wenn Planungsingenieure von der Aufgabe der Informationsbeschaffung entlastet werden und sich so voll ihrer kreativen Arbeit widmen können. Der bisher sehr geringe Wert des Integrationsgrades in der Prozessplanung ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass bei der Durchführung der einzelnen Teilaufgaben, wie beispielsweise der Layoutplanung, eine Vielzahl nicht miteinander verknüpfter Insellösungen zum Einsatz kommt (BLEY & BOSSMANN 2005).

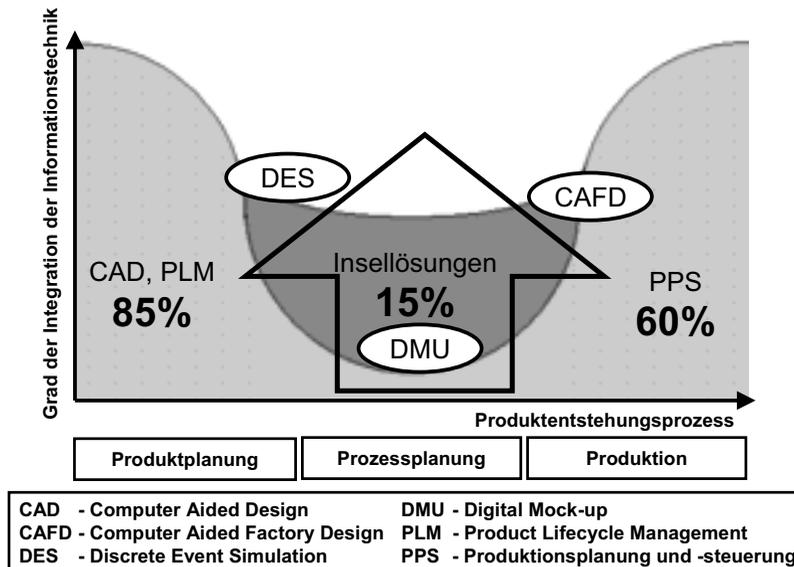


Abbildung 4: Informations- und Kommunikationstechnik im Produktentstehungsprozess (nach KLAUKE 2002)