

## **METHODEN DER PRODUKTENTWICKLUNG - EIN SUBJEKTIVER VERGLEICH VON THEORIE UND PRAXIS**

*Sandro Wartzack*

### **Zusammenfassung**

„Robuste, verkürzte Prozessketten im Produktentstehungsprozess durch neue Produktentwicklungsmethoden und unterstützende Softwarewerkzeuge“. Dieser Ansatz stand im Fokus eines Teilprojektes aus dem Sonderforschungsbereich 396 [1], das sich in den ersten Phasen mit der Gestaltung und Auswahl des bestgeeigneten Produktkonzepts beschäftigt hat. Der vorliegende Beitrag befasst sich mit einer nachträglichen Betrachtung der in diesem Projekt erarbeiteten Entwicklungsmethoden auf Basis der Möglichkeiten und Anforderungen aus dem „Tagesgeschäft der Produktentwicklung“.

### **1 Einleitung**

Als Basis für die methodische Vorgehensweise im betrachteten Forschungsprojekt diente das Modell des Produktentwicklungsprozesses nach PAHL/BEITZ [2]. Hierbei wurde von einer bekannten Aufgabenstellung, der Entwicklung eines Fahrzeugtürrohbaus ausgegangen. Die Anforderungsliste sowie Prinziplösung (konventionelle Schwenktür mit Funktionalität gemäß dem Stand der Technik) wurden als bekannt vorausgesetzt; die „Freigabe zum Entwerfen“ bildet sozusagen den Startpunkt. Die im Forschungsprojekt betrachtete Phase umfasste – gemäß dem Schema aus [2] – den Block „Entwickeln der Baustruktur: Grobgestalten, Auswählen geeigneter Grobentwürfe, Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien“. Spätere Phasen des Forschungsprojekts befassten sich mit zeitlich vorgeschalteten Themen wie „Entwicklung der bestgeeigneten Prinziplösung“. Im folgenden Text wird auf die im Kontext des Forschungsprojektes erarbeiteten Methoden – gegliedert nach den Phasen des Entwicklungsprozesses – eingegangen und aus Praxissicht beurteilt.

### **2 Entwicklung alternativer Produktkonzepte**

Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurde der Ansatz verfolgt, das eine Betrachtung alternativer „Grobentwürfe“ dazu beiträgt, die Vielzahl möglicher Lösungen bereits frühzeitig zu betrachten und ihre Vielfalt einzuschränken. Die ganzheitliche Erfassung der möglichen Lösungen erfordert dabei eine Clusterung von realisierbaren Varianten, wobei die Repräsentanten jedes Clusters hinsichtlich relevanter Kriterien analysiert und bewertet werden. Die Robustheit der entwickelten Lösung wird dadurch gesteigert, dass von Anfang an eine bestgeeignete Lösung verfolgt wird und auf spätere aufwändige Iterationen durch Änderungen des Konzepts verzichtet werden kann.

Das Ordnungskriterium, welches dient zur Clusterung der möglichen Lösungen dient ist in diesem Fall die so genannte Baustruktur. Der Begriff Baustruktur wird hierbei als Gliederung eines Produktes in dessen Baugruppen und Einzelteile bzw. in Fertigungsbaugruppen und Werkstücke angegeben [2]. Nach [3] ist der Begriff „Baustrukturen“ nicht durchgängig definiert. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde mit den Baustrukturvarianten in Differenzial-, Integral-, Verbundbauweise als Repräsentanten für „alternative

Produktkonzepte“ gearbeitet. Entsprechend des Vorgehens nach [2] wurden in diesem Zusammenhang zunächst alternative Baustrukturvarianten generiert, die im nächsten Schritt analysiert und bewertet wurden.

Eine beliebtes Vorgehen zur Strukturierung der Lösungsgesamtheit besteht in der Clusterung bekannter Serienprodukte, Vorentwicklungslösungen und akademischer Ansätze nach ihrer Bauweise (z.B. Schachtel-, Rahmenbauweise). Die Gefahr, die dabei besteht liegt in der frühzeitigen Betrachtung der Fertigungstechnologie bzw. des Werkstoffs (z.B.: Konzept Strangpressrahmen vs. Gusskonzept vs. Blech-Schalenkonzept). Diese Vorgehensweise ist allerdings nicht zielführend, da Werkstoff und Prozess erst aus einem Konzept abzuleiten sind („form follows function, material follows form“). Sinnvolle Ordnungskriterien können dabei sein: Anordnung (Komposition) der Wirkstrukturen bzw. der Funktionsflächen, -bereiche, Definition der Schnittstelle zu weiteren Teilsystemen etc.

Von zentraler Bedeutung ist bei dem dargestellten Vorgehen die Erstellung von Varianten, die nach einem Ordnungskriterium strukturiert sind und damit die Charakteristika einer Lösung / des Konzepts repräsentieren.

An dieser Stelle hilft die alleinige Anwendung bekannter methodischer Ansätze nach [1] oder [4] nicht weiter. Eine Hilfestellung bietet an dieser Stelle die Berücksichtigung des „Marktes“ durch Anwendung der Methoden des „Value Management / Wertanalyse [5-7]“ und Berücksichtigung von Markttrends. Nachfolgend sind einige Beispiele dargestellt, die zur Identifizierung von Konzeptrepräsentanten beitragen können:

- Erfahrungen aus innovativen Entwicklungen am Markt bzw. kostenreduzierenden Markttrends
- daraus resultierende, gesonderte Detailbetrachtungen von Schlüsselementen und Schlüsseltechnologien bzw. -schnittstellen und deren Bewertung
- Betrachtung des aus der Marktanalyse ermitteltes Marktsegment und Ermittlung der gestalterischen Trends dieses Marktsegments

Die o.a. Clusterung der Lösung durch das Ordnungskriterium „Baustruktur“ ist sicherlich geeignet soweit das Konzept repräsentiert wird, aber nur wirklich zielführend solange die Baustrukturvariante nicht im ersten Schritt die Fertigung impliziert. Die Strukturierung nach der Baustruktur ist auf jeden Fall sehr grob, die Gefahr besteht – soweit keine weiteren Festlegungen getroffen werden – dass die Varianten nicht auf vergleichbarem Niveau liegen. Eine Strukturierung nach der Baustruktur erfordert für die industrielle Anwendung auf jeden Fall eine genaue Analyse des Marktes.

### 3 Synthese

Die Gestaltsynthese der Baustrukturvarianten erfolgte im betrachteten Forschungsprojekt unter Nutzung der Funktionalität des CAD-Systems. Im Gegensatz zum Ansatz auf Basis des Konstruktionssystems *mfk* [8] erfolgte die Synthese nicht-geometrischer Informationen durch eine „nachträgliche Attributierung“. Im Syntheseteil des Assistenzsystems aus dem SFB 396 konnten zahlreiche Zusatzinformationen wie Verbindungs-, Toleranz-, Prozess-, Strukturanalyseinformationen erzeugt und mit der Datenstruktur des CAD-Modells assoziiert werden (vgl. Bild 1). Bei der Erstellung komplexer Geometrien oder sogar von Designflächen ist dieses Vorgehen sicherlich ein sehr gut gangbarer Weg; die Synthese mit vordefinierten Gestaltkomplexe ist hierbei nicht zielführend. Gerade die Erzeugung von Designflächen erfolgt auch heutzutage noch reversiv, d.h. die Flächeninformationen entstehen erst durch Abtastung eines physikalischen Prototypen:

"Allein im Computer bekommt man so etwas nicht hin. Dafür braucht man erfahrene Modellbauer, die das Modell physisch mit der Hand bearbeiten. Manchmal geht es um einen Millimeter Unterschied, der über die Wirkung einer Form entscheidet. [9]"

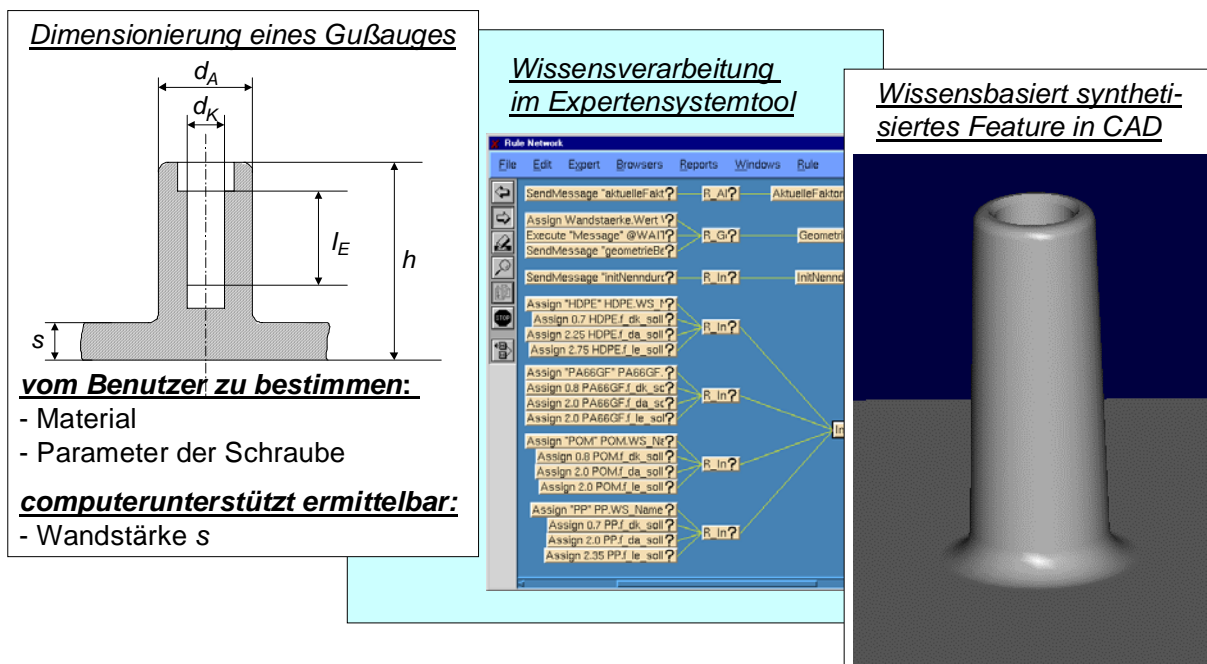


Bild 1: Synthesefunktionalität im Assistenzsystem des SFB396 [10]

Die Synthese wiederkehrender Gestalt- und Informationskomplexe durch eine featurebasierte Modellierung ist hingegen außerhalb des Bereichs ‚Designflächen‘ durchaus sinnvoll. Erste industrielle Anwendungen zur Synthese auf Basis semantisch hochwertiger Features sind bekannt (z.B. [11]), werden allerdings sie noch längst nicht flächendeckend eingesetzt. Derartige Sythesefunktionalitäten sind – soweit die Funktionalität zur Geometrieerzeugung durch das CAD-Systems erhalten bleibt – aus Sicht der industriellen Anwendung durchaus erwünscht. Dabei ist es sicherlich nicht sinnvoll, generische Gestaltelemente vorzudefinieren und bereitzustellen. Somit besteht die Notwendigkeit, dass diese Feature Synthesefunktionen branchen- bzw. aufgabenspezifisch gestaltet müssen und damit die Entwicklung derartiger Funktionalitäten durch die einzelnen Unternehmen vorgenommen werden muss.

## 4 Multikriterielle Analyse

Im betrachteten Forschungsprojekt wurde dargestellt, dass zahlreiche Analysen aus unterschiedlichen Disziplinen erforderlich sind, um die alternativen Konzepte zu untersuchen und anschließend bewerten zu können. Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurde unterschieden in

- featurebasierte Analyse auf Basis der zuvor im Synthesetool erzeugten Featureinformationen und über vordefinierte Gestaltungsregeln, die im Inferenzmechanismus eines angekoppelten wissensbasierten Tool abgeprüft werden
- geometriebasierte Analysen, die mit Schnittstelle des CAD-Systems auf Basis der CAD-Datenstruktur implementiert sind (vgl. [3]).

Die positive Bilanz des Aufwand/Nutzen-Verhältnisses der featurebasierte Analyse wurde in zahlreichen Anwendungsbeispielen überzeugend dargestellt [3] und muss an dieser Stelle nicht weiter diskutiert werden. Die Implementierung geometriebasierter Analysen ist hingegen äußerst aufwändig. Der Grund hierfür ist darin begründet, dass bei der komplexen Modellierung der Designflächen rein auf die Funktionalität des CAD-System zurückgegriffen wurde und nicht auf vordefinierte semantikbehaftete Konstrukte zurückgegriffen werden konnte. Die geometriebasierte Analyse erfolgt damit auf Basis des CAD-Datenmodells und ist über die Programmierschnittstelle des jeweiligen CAD-Systems mehr oder weniger komfortabel.

Im Gegensatz zu Prozeß-Simulationen auf Basis finiter Verfahren (z.B. Spritzgussimulation mit Moldflow, Tiefziehsimulation mit PamSTAMP) liefern die implementierten geometriebasierte Analysen keine detaillierten Simulationsergebnisse des Fertigungsprozesses, sondern liefern „nur“ überschlägige Ergebnisse (z.B. Überprüfung des Tiefziehverhältnisses, Hinterschneidungen, Zugänglichkeit für Montagewerkzeuge). Zur Bewertung grob beschriebener Produktkonzepte ist diese Detaillierungstiefe allerdings ausreichend. Besonders vorteilhaft ist dabei, dass der Aufwand einer derartigen Analyse nur einen Bruchteil einer Prozesssimulation darstellt.

Die Funktionalität des Assistenzsystems zur Unterstützung der Ankopplung von Strukturanalysertools wäre auch im industriellen Einsatz sehr hilfreich. Die Übergabe von Verbindungsinformationen, Randbedingungen in Verbindung mit einem abgestimmten Datenformat für die berechnungsrelevanten Informationen erleichtern das Preprozessing für eine nachgeschaltete FEM-Analyse erheblich. Ähnliche Funktionalitäten sind auf Basis kommerzieller FEM-Tool nicht erhältlich; die Entwicklungen „auf dem Markt“ gehen in Richtung Steigerung von Performance und Genauigkeit. Das Thema „Datenschnittstellen“ zwischen CAD und FEM ist noch längst nicht befriedigend gelöst.

## 5 Bewertung

Auf Basis der durchgeführten Analysen wird gemäß dem Vorgehen im Forschungsprojekt eine anforderungsorientierte, multikriterielle Bewertung nach [12] durchgeführt (vgl. Bild 2). Auf Basis der Kundenanforderungen werden gewichtete Bewertungskriterien definiert. Die Ergebnisse der Analysen werden für jede Variante über die Abbildung auf eine Wertfunktion in einen Faktor umgewandelt, der durch Multiplikation mit dem Gewichtungsfaktor die Teilbewertung für jedes Kriterium ergibt. Die im Rahmen dieser Arbeiten verwendete Bewertungsmethode hat einen sehr universellen Charakter und ist nach Umsetzung auf eine rechnerverarbeitbare Form sehr gut zur Anwendung in industriellen Umfeld geeignet. Die große Kunst der Bewertung ist es auch hierbei, relevante Kriterien „für den Markt bzw. Kunden“ zu definieren. Kriterien und Gewichtung sind dabei in den wenigsten Fällen konstant, sondern variieren je nach Zielkunde, Marktsegment, Projekt und auch Land. Dementsprechend lässt sich die Bewertungsmethode nutzen, um bei definierter Wertzuweisung von Varianten und Kriterium, die individuelle Gewichtung des Kunden zu akquirieren. Dieser Ansatz verfolgt das Ziel, dem Kunden damit sehr schnell das für ihn optimale Konzept vorzuschlagen.

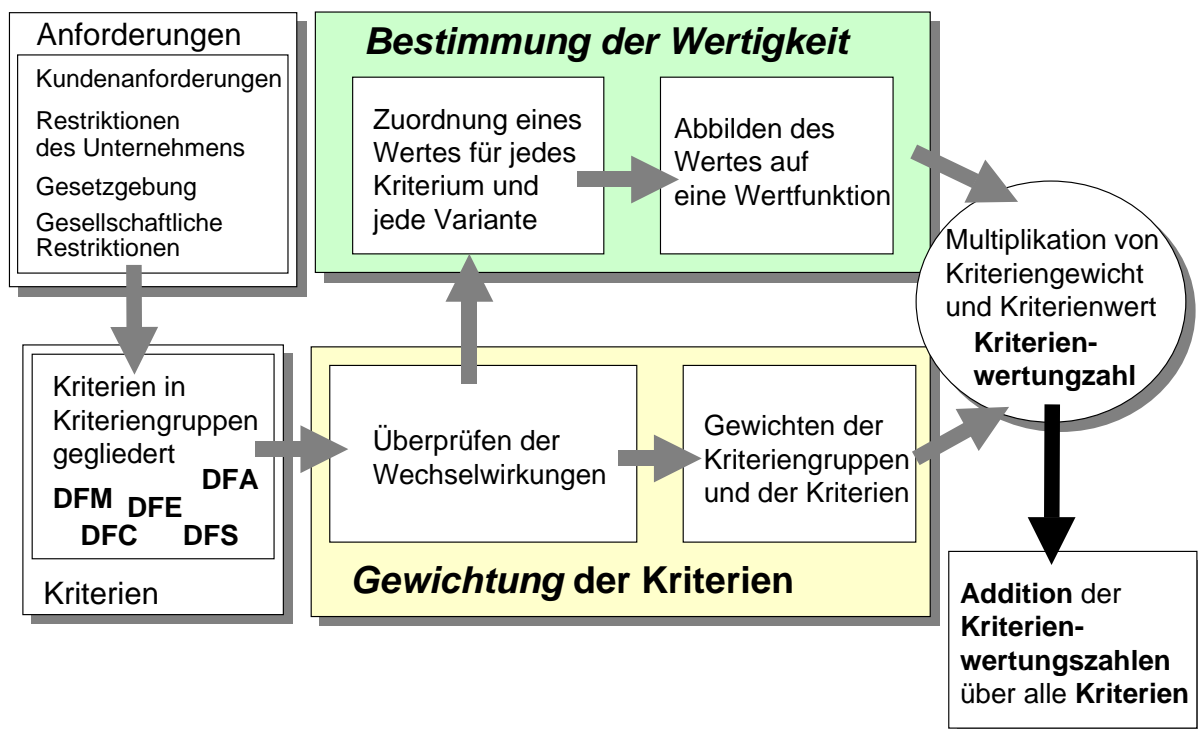


Bild 2: Prinzipielles Vorgehen bei der multikriteriellen Bewertung [3]

## 6 Fazit

Zusammenfassend liegt der große Benefit des im Forschungsprojekt gewählte Ansatzes darin, dass die gesamte Produktentwicklungsprozesskette global betrachtet wird und für die einzelnen Phasen Detaillösungen entwickelt worden sind. Der Ausgangspunkt, die ‚Erstellung und Betrachtung von Baustrukturvarianten‘ stellt sicherlich einen eher akademischen Ansatz dar, der - da dies nicht im Mittelpunkt der Forschungsarbeiten steht - ein praktikabler Weg ist. Für eine industrielle Vorgehensweise müssen sicherlich noch Marktaspekte berücksichtigt werden. Wichtig ist die klare Trennung der beiden Synthese- und Analyseansätze in featurebasierte und geometriebasierte Gestaltung. Beide Ansätze besitzen ihre Berechtigung und sind je nach Anwendungsfall einzusetzen. Die im Mittelpunkt der Arbeiten stehenden regelbasierten Analyseverfahren sind industrierelevant; moderne CAD-Systeme wie z.B. CATIA V5 bieten inzwischen derartige Methoden innerhalb des CAD-Systems an.

Das Zusammenspiel der verschiedenen Software Analysesysteme wird im Rahmen der Forschungsarbeiten durch einheitliche Produkt- und Prozessdatenmodellierung ermöglicht, die auf einer Erweiterung des CAD-Datenmodells basiert. Durch Verwaltung der nicht-CAD-Daten über eine objektorientierte Datenbank stehen die einmal erzeugten Daten der gesamten Produktentstehungs-Prozesskette zur Verfügung. Durch diesen Ansatz wird gewährleistet, dass keine Festlegung auf ein bestimmtes CAD-System erfolgen muss - eine Voraussetzung, die im industriellen Einsatz sicherlich sehr positiv ist. Ein Datentransfer zur Ansteuerung der dargestellten Toolkette allein über neutrale Schnittstellen, wie z.B. STEP wäre für den industriellen Gebrauch nicht ausreichend und damit auch nicht zielführend.

Die dargestellte Methodik zur Bewertung bietet einen sehr umfangreichen Ansatz und lässt dem Anwender die Freiheit, auf unterschiedlichen Detaillierungsniveaus Bewertungen durchzuführen. Die Ermittlung von Kriteriengewichtungsfaktoren auf Basis des paarweisen Vergleich mit konsistenten Matrizen verringert den Bewertungsaufwand deutlich und fördert damit die Einsetzbarkeit in der Praxis. Eine Rechnerunterstützung hierzu lässt sich mit handelsüblicher Office -Software, wie z.B. MS Excel realisieren.

## 7 Ausblick

Das Thema ‚Anforderungsmodellierung‘ stand im betrachteten Forschungsprojekt nicht im Fokus. Es wird in diesem Zusammenhang auf verschiedene akademische Ansätze verwiesen, die sich mit diesem Thema beschäftigen (z.B. [13]). Neben diesen wissenschaftlichen Ansätze existieren einige wenige kommerzielle Speziallösungen (wie z.B. Prosecco oder Invention Machine), die den Prozess der Anforderungsmodellierung rechnerbasiert unterstützen, sich aber nicht generell etabliert haben. Im industriellen Umfeld erfolgt die Anforderungsmodellierung noch zumeist auf Basis von Office Softwarelösungen.

Produktentwicklungsmethoden wie Funktionenanalyse [5] oder die anforderungsorientierte gewichtete Bewertung [12] zeigen den Stellenwert und die Notwendigkeit der Wiederverwendbarkeit strukturierter Anforderungslisten. Eine Softwarelösung aus dem Bereich der Entwicklung mechatronischer Produkte wird durch DOORS [14] dargestellt. Bei diesem Tool handelt es sich um eine Anforderungs-Management Applikation, mit der Anforderungen einerseits akquiriert bzw. strukturiert und andererseits zur Verwendung durch weitere Softwarewerkzeuge bereitgestellt werden. Ein Beispiel dazu bildet die Kopplung von Simulink, einem Tool zur datenflussorientierten Modellbildung und Simulation von mechatronischen Systemen mit dem System DOORS (vgl. Bild 3). Auf diese Weise kann aus einer Softwareapplikation heraus computergestützt auf Elemente der „Anforderungsliste“ zugegriffen werden.

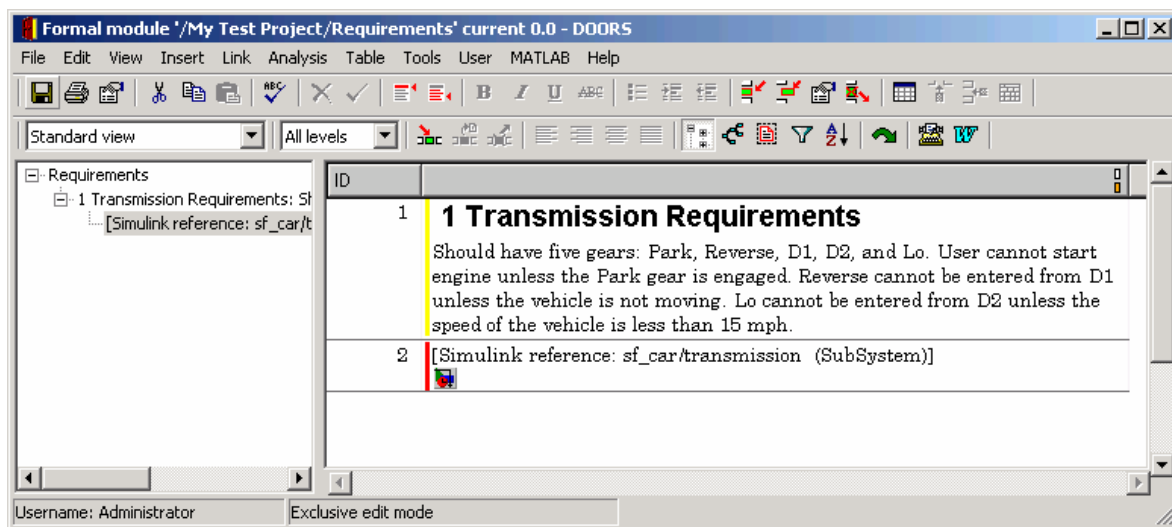


Bild 3: Linking a Simulink or Stateflow Object to a DOORS Requirement [15]

## 8 Literatur

- [1] Meerkamm, H.: Optimieren der Prozeßkette durch Auswählen der bestgeeigneten Baustruktur und fertigungsgerechte Gestaltung der Bauteile. Sonderforschungsbereich 396 Robuste verkürzte Prozeßketten für flächige Leichtbauteile; Arbeits- und Ergebnisbericht 1996-97-98, M. Geiger (Hrsg.) Erlangen, 1998.
- [2] Pahl G. Beitz W.: Konstruktionslehre, Methoden und Anwendungen. Springer-Verlag, Berlin 1997.
- [3] Wartzack, S.: Predictive Engineering – Assistenzsystem zur multikriteriellen Analyse alternativer Produktkonzepte, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2001.
- [4] N.N.: VDI-Richtlinie 2221 – Methodik zum Entwickeln und Konstruieren. Beuth-Verlag, Berlin, 1986.
- [5] N.N.: VDI-Richtlinie 2803: Funktionenanalyse – Grundlage und Methode. Beuth-Verlag GmbH, Berlin, 1996.
- [6] N.N.: VDI-Richtlinie 2800: Wertanalyse, Beuth-Verlag, Berlin, 1997.
- [7] Pauwels, M.: Interkulturelle Produktentwicklung – Produktentwicklung mit Wertanalyse und interkultureller Kompetenz. Shaker, Aachen 2001.
- [8] Bachschuster, S.: Architektur und Konzept zur Realisierung eines produktspezifisch erweiterbaren Konstruktionsassistenzsystems. Dissertation am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, 1997.
- [9] N.N.: "Kleine Brüche im Design - Fragen an den neuen Porsche - Designchef Michael Mauer" in: Zeitschrift "Auto Motor Sport" Heft 17 vom 03.08.2005, S.32, Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG, Stuttgart, 2005.
- [10] Wartzack, S.; Meerkamm, H.: Durchgängige Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung durch den Einsatz von semantisch hochwertigen Features. VDI-Berichte 1497, Beschleunigung der Produktentwicklung durch EDM/PDM- und Feature-Technologie, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999, S. 369-390.
- [11] Haasis, S.; Frank, D.; Rommel, B.; Weyrich, M.: Feature-basierte Integration von Produktentwicklung, Prozeßgestaltung und Ressourcenplanung. VDI-Berichte 1497, Beschleunigung der Produktentwicklung durch EDM/PDM- und Feature-Technologie, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999, S. 333-348.
- [12] Breiing, A; Knosala, R.: Bewerten technischer Systeme. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 1997.
- [13] Beelich, K. H.; Schiefer, E.: Erhöhter Planungsaufwand reduziert Entwicklungszeiten. Konstruktion September 9, 1999; Springer VDI-Verlag; Düsseldorf ; 1999, S. 25-29
- [14] N.N.: Telelogic DOORS; <http://www.telelogic.com/products/doorsers/doors/index.cfm>
- [15] N.N.: Simulink Verification and Validation, Managing Model Requirements with DOORS  
<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/slvnv/ug/f7582.html>

Dr.-Ing. Sandro Wartzack  
Am Vesperbild 23, D-96103 Hallstadt  
Email: sandro@wartzack.de