

## **WECHSELWIRKUNGEN VON ENGINEERING OBJECTS IN DER PRODUKTSTRUKTUR**

*R. Weidlich, C. W. Dankwort, J. Ovtcharova*

### **Kurzfassung**

Aus dem heutigen Entwicklungsprozess heraus wird die Notwendigkeit für die Einführung abstrakter Informationsträger abgeleitet bei denen Informationen nicht unmittelbar an eine Geometrie gekoppelt sind. Danach werden diese Informationsträger (Engineering Objects) eingeführt und ihr Informationsgehalt kurz erläutert. Im Anschluss daran erfolgt eine Vorstellung der verschiedenen Ansätze für Produktstrukturen sowie einiger ihrer Eigenschaften. Die Wechselwirkungen innerhalb und zwischen diesen Strukturen werden anhand von Beispielen erläutert. Unter Berücksichtigung der vorher erzielten Ergebnisse werden die Eigenschaften der Engineering Objects präzisiert und eine erweiterte dynamische Produktstruktur eingeführt, sowie einige sich der daraus ergebenden Möglichkeiten aufgezeigt. Zum Abschluss wird ein Überblick über die weiteren Untersuchungen zusammen mit einem Ausblick über die hieraus erwarteten Ergebnisse gegeben.

### **1 Hintergrund**

Die heutige Produktentwicklung ist gekennzeichnet durch steigende Komplexität und immer kürzere Entwicklungszeiten. Durch „Collaborative Design“ und „Simultaneous Engineering“ wird versucht diese Ziele zu erreichen. In der modernen Fahrzeugentwicklung arbeiten hoch qualifizierte Spezialisten, dieses bearbeiten Bauteile aus ihrem Entwicklungsbereich, abgegrenzt durch definierte Schnittstellen. Da sich die Bereiche zum einen über die Schnittstellen gegenseitig beeinflussen und zum anderen nachgeschaltete Entwicklungsschritte (z.B. Fertigung) Anforderungen an die Konstruktion stellen, ist es notwendig diese Interaktionen bzw. Anforderungen zu kennen, um mögliche Probleme frühzeitig zu umgehen. Dies wird z. Z. im Wesentlichen durch die Erfahrung der Entwickler oder durch s.g. „Best Practice“ erreicht. Die „Best Practice“ beschreibt, meist in Textform bewährte Konstruktionsweisen für Standardprobleme. Nachteil dieser Vorgehensweise ist jedoch, dass das Wissen im Wesentlichen in der Erfahrung von Einzelpersonen in den Firmen vorliegt und nicht von einem CAx-System verarbeitet werden kann. Innovationen werden auf diese Weise zumindest nicht gefördert.

In der klassischen Konzeptionsphase werden die Funktionen und Anforderungen eines Produkts in Teilfunktionen zerlegt und konkretisiert [1]. Für die Teilfunktionen und deren Anforderungen werden dann die entsprechenden Teillösungen entwickelt und im Zuge der Konkretisierung mit Geometrie versehen. In der klassischen Konstruktion ist also die Funktion die Basisinformation, an die weitere Informationen wie Geometrie und Eigenschaften im Zuge des Entwicklungsprozesses gekoppelt werden.

Um zum einen die frühen Phasen des Entwicklungsprozesses mittels der CA- Technik zu unterstützen und zum anderen das personenbezogene Wissen über Produkte in CAx-Systeme zu integrieren, empfiehlt es sich, einen von der Geometrie unabhängigen Informationsträger zu nutzen.

## 2 Engineering Objects

Um Funktionen, die daraus in der frühen Entwicklungsphase entstehende Funktionsstruktur, sowie weitere, in Kapitel 3 beschriebene Strukturen besser darstellen zu können, werden die Engineering Objects eingeführt. Engineering Objects ermöglichen die Beschreibung der in Kapitel 4 beschriebenen Wechselwirkungen der verschiedenen Strukturen untereinander.

Ein Engineering Object stellt eine Komponente dar, mit seinen Anforderungen, Eigenschaften und Funktionen incl. deren zeitlichen Relevanz, sowie, falls vorhanden, die Positionen der korrelierenden Komponenten in der klassischen Produktstruktur. Ein Engineering Object kann demnach ein komplettes Produkt, eine oder mehrere Baugruppen, Komponenten, Einzelteile oder Bereiche eines Einzelteils (Features) beschreiben (siehe Bild 1). Das Konzept des Engineering Objects greift das von FEMEX entwickelte Featurekonzept auf [2,3] und erweitert es auf die Bauteil, Komponenten, Baugruppen oder Produktebene.

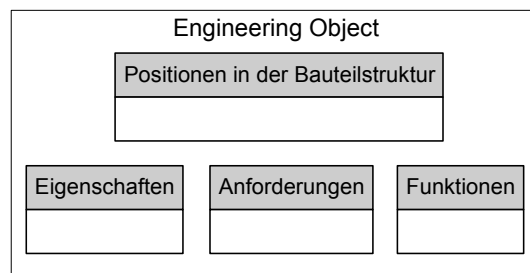


Bild 1: Informationsgehalt eines Engineering Objects

Im Gegensatz zur momentan verbreiteten Verfahrensweise, Eigenschaften z.B. eines Produkts / Bauteils mit der Darstellung des Produkts / Bauteils und damit konkreter Geometrie zu verknüpfen, kann aus Sicht des Engineering Objects die Geometrie als eine Eigenschaft des Engineering Objekts betrachtet werden. Eine Beschreibung von Engineering Objects, zusammen mit einer neuen erweiterten dynamischen Produktstruktur, wird in Kapitel 5 gegeben.

## 3 Strukturen im Entwicklungsprozess

Um die in Kapitel 1 beschriebenen Interaktionen zwischen Engineering Objects, über Schnittstellengrenzen, zu externen Entwicklungspartnern und nachgeschalteten Entwicklungsschritten richtig darzustellen, bzw. besser in den Entwicklungsprozess zu integrieren, ist es notwendig das Wissen über die Interaktionen, sowie über die Entwicklungsgeschichte des Produkts, in den Entwicklungssystemen zu hinterlegen. Diese Interaktionen lassen sich mittels verschiedener Strukturen darstellen, der Funktionsstruktur, der Produktstruktur, der Anforderungsstruktur und der Eigenschaftsstruktur.

### 3.1 Funktionsstruktur

Die in Kapitel 1 bereits angesprochene Funktionsstruktur untergliedert die Gesamtfunktionen eines Produkts in Teilfunktionen. Bei der Aufspaltung der Gesamtfunktionen in Teilfunktionen können auch neue Funktionen notwendig werden. Neue Funktionen eines Engineering Objects können durch die Interaktion von Funktionen untergeordneter Elemente erzeugt werden (siehe Bild 2). Da ein Engineering Object während des Produktlebenszyklus verschiedenen Funktionen erfüllen kann, ist es wichtig zusammen mit den Funktionen, auch die Zeitdauer der Funktionserfüllung im Prozess mit in der Struktur zu hinterlegen.

Hieraus ergibt sich, dass die Funktionsstruktur dynamisch ist. Sie wächst während des Entwicklungsprozesses und wird detaillierter. Während den einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus gewinnen und verlieren einzelne Funktionen an Bedeutung.

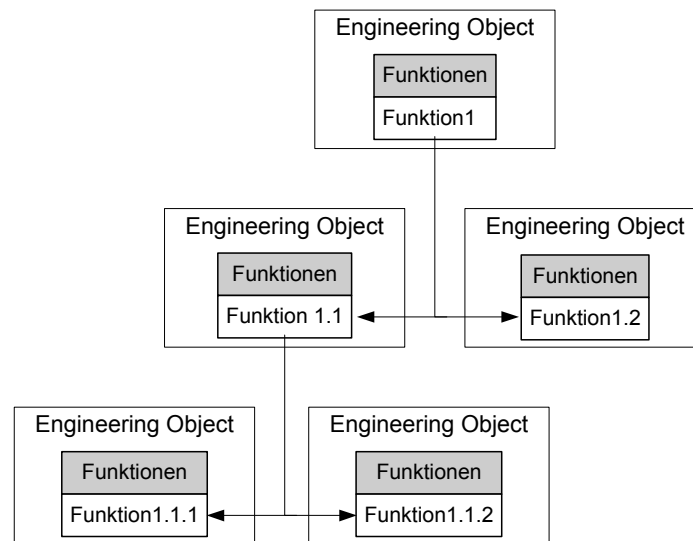


Bild 2: Aufteilung von Funktionen in Teilfunktionen über verschiedene Ebenen der Produkthierarchie

Funktionen können aus zwei Sichten betrachtet werden: Zum einen als Teil der Anforderungen und zum anderen als Teil der Eigenschaften eines Engineering Objects. Je nach dem, ob die Funktion von einem Engineering Object erfüllt wird oder sie eine Anforderung ist.

### 3.2 Produktstruktur

Die Bauteilstruktur untergliedert das Produkt in Komponenten, Baugruppen und Einzelteile. Diese Struktur wird klassischer Weise als Stückliste (BoM) in einem PDM- System hinterlegt. Die Bauteilstruktur orientiert sich meist in ihrer Aufteilung an der Funktionsstruktur, ist aber nicht mit ihr identisch.

Im Gegensatz zu den anderen Strukturen im Entwicklungsprozess ist die Produktstruktur ab einem gewissen Entwicklungsstand statisch, sie wird angelegt und danach nicht mehr verändert.

### 3.3 Anforderungsstruktur

Aus den Anforderungen, die an das Gesamtfahrzeug gestellt werden, lassen sich die Anforderungen an die Engineering Objects der darunter liegender Hierarchieebenen der Produktstruktur ableiten. Diese Ableitung der Anforderungen vollzieht sich bis auf die Featureebene, ist jedoch nicht nur top-down. Bei der Aufteilung von Anforderungen werden z.B. durch Interaktion von Engineering Objects gleicher Hierarchieebene auch neue Anforderungen an Engineering Objects dieser Hierarchieebene erzeugt.

Ähnlich den Funktionen können sich die Anforderungen an ein Engineering Object über den Produktlebenszyklus ändern. D.h. Es müssen zusammen mit den Anforderungen auch die zeitliche Relevanz Anforderungen im Engineering Object hinterlegt werden. Alle Anforderungen an ein Engineering Object müssen zwar bereits in der Entwicklungsphase berücksichtigt werden, jedoch dürfen diese sich auch widersprechen, sofern sie an

verschiedene Phasen des Produktlebenszyklus gestellt werden und sich sonst nicht beeinflussen. Konkrete Zielkonflikte sind jedoch anders zu behandeln.

### 3.4 Eigenschaftsstruktur

Die Eigenschaften eines Engineering Objects ergeben sich aus den Eigenschaften der ihm untergeordneten Engineering Objects. Hierbei werden die Eigenschaften der untergeordneten Engineering Objects nicht nur addiert, sondern es ergeben sich auch neue Eigenschaften aus der Interaktion dieser. Hierbei kann es zur Erzeugung von gewünschten als auch ungewünschten Eigenschaften kommen.

Die Eigenschaftsstruktur ist wie die Funktionsstruktur dynamisch. Auch sie wird während der Produktentwicklung detaillierter und konkreter. Eigenschaften eines Engineering Objects die zu Beginn des Entwicklungsprozesses nur abgeschätzt werden können, sind gegen Ende verifiziert. Wie die Anforderungen unterliegen Eigenschaften auch die zeitlich veränderlicher Relevanz, sodass diese ebenfalls mit in der Eigenschaftsstruktur abgelegt werden muss. Alle für den jeweiligen Prozessschritt relevanten Eigenschaften müssen während der Entwicklungsphase berücksichtigt werden und können sich unter Umständen widersprechen (siehe Anforderungsstruktur).

## 4 Wechselwirkungen innerhalb und zwischen den verschiedenen Strukturen

Wie erwähnt interagieren die o.g. Strukturen über die Engineering Objects miteinander. Die Kenntnisse um die Mechanismen dieser Interaktionen stellen einen großen Teil des Ingenieurwissens dar. Werden diese Wechselwirkungen in computerverarbeitbarer Weise formalisiert, so ist es möglich diese Strukturen unterstützt durch CA- Techniken zu erstellen. Im Folgenden sind einige Beispiele für die Wechselwirkungen in und zwischen den Strukturen exemplarisch aufgeführt:

### 4.1 Wechselwirkungen zwischen Anforderungen und Eigenschaften eines Engineering Objects

Bei dem Beispiel eines Getriebes aus Bild 3 müssen die Eigenschaften des Getriebes die Anforderungen, die an es gestellt werden, erfüllen. Während der Entwicklung werden die Eigenschaften permanent mit den Anforderungen verglichen und anhängig von dem Ergebnis wird die Entwicklung des Getriebes angepasst, bis alle Anforderungen erfüllt werden.

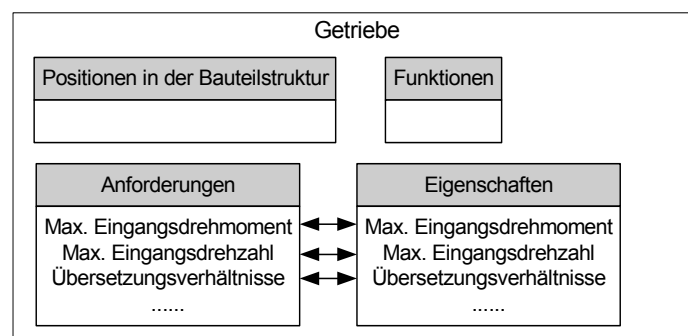


Bild 3: Vergleich zwischen ausgewählten Anforderungen und Eigenschaften eines Getriebes

Da bei einem Engineering Object nicht zu jeder Eigenschaft eine äquivalente Anforderung existiert, ist davon auszugehen, dass eine Untermenge der Eigenschaften eines Engineering Objects ausreicht um alle an dieses Engineering Object, gestellten Anforderungen zu erfüllen. Die Tatsache, dass im realen Entwicklungsprozess die Anforderungen normalerweise nicht komplett erfüllt werden können, sondern die Ergebnisse Kompromisse beinhaltet sei hier außer Acht gelassen.

#### 4.2 Erzeugte Anforderungen an Engineering Objects innerhalb einer Hierarchieebene der Produktstruktur

Bild 4 zeigt die Festlegung ausgewählter Anforderungen eines Getriebe ausgehend von den Eigenschaften eines Motors. Die Eigenschaften des Motors sind Ursache für die äquivalenten Anforderungen an das Getriebe.

Dieses Beispiel zeigt, dass Anforderungen, welche durch die Interaktion von Engineering Objects innerhalb einer Hierarchieebene erzeugt werden, nicht von den Anforderungen, sondern von den tatsächlichen Eigenschaften der anderen Engineering Objects abhängen.

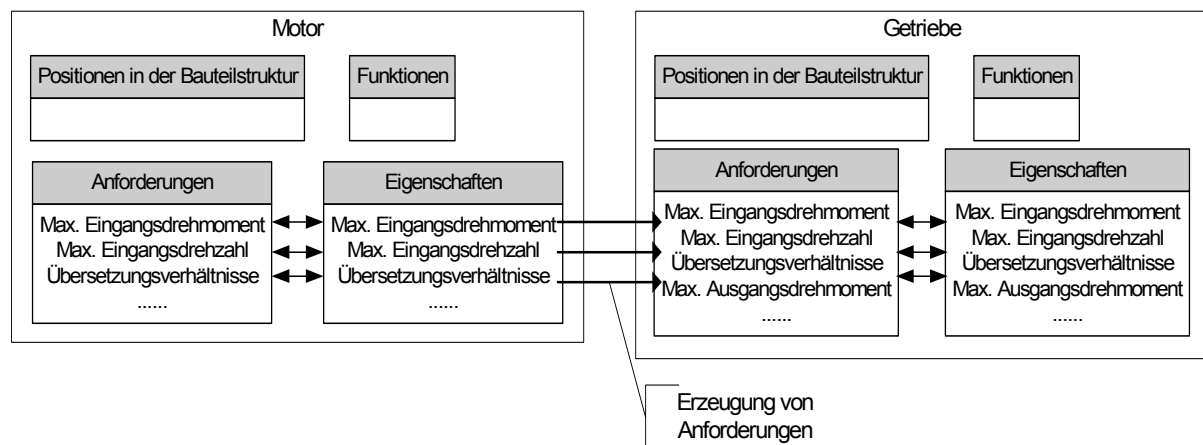


Bild 4: Erzeugung von Anforderungen an ein Engineering Object

#### 4.3 Anforderung neuer Funktionen Aufgrund der Eigenschaften und Funktionen verschiedener Engineering Objects einer Ebene der Produkthierarchie

Während der Aufspaltung von Funktionen in Teilfunktionen können, abhängig von der Lösung einzelner Teilfunktionen, auch neue Teilfunktionen notwendig werden. Diese ergeben sich aus den Eigenschaften der Engineering Objects gleicher Hierarchieebene der Produktstruktur.

Für die in Bild 5 gezeigten Teilfunktion „Drehmoment erzeugen“ wird der Verbrennungsmotor gewählt. Da Aufgrund seiner Eigenschaft „Drehzahl = 650 – 5600 U/min“ kann die Gesamtfunktion „ $v = 0 - 200 \text{ km/h}$ “ des übergeordneten Engineering Objects nicht erfüllt werden. Es muss eine weitere Teilfunktion „Drehmoment unterbrechen“ eingeführt werden.

Dieses Beispiel zeigt, dass ein Engineering Object nicht zwangsläufig genau einem Element aus der klassischen Produktstruktur entsprechen muss. Wird das Fahrzeug mit einem Schaltgetriebe ausgestattet, so werden die zwei Funktionen von jeweils zwei Komponenten erfüllt (Kupplung und Getriebe). Ein Automatikgetriebe erfüllt die beiden Funktionen.

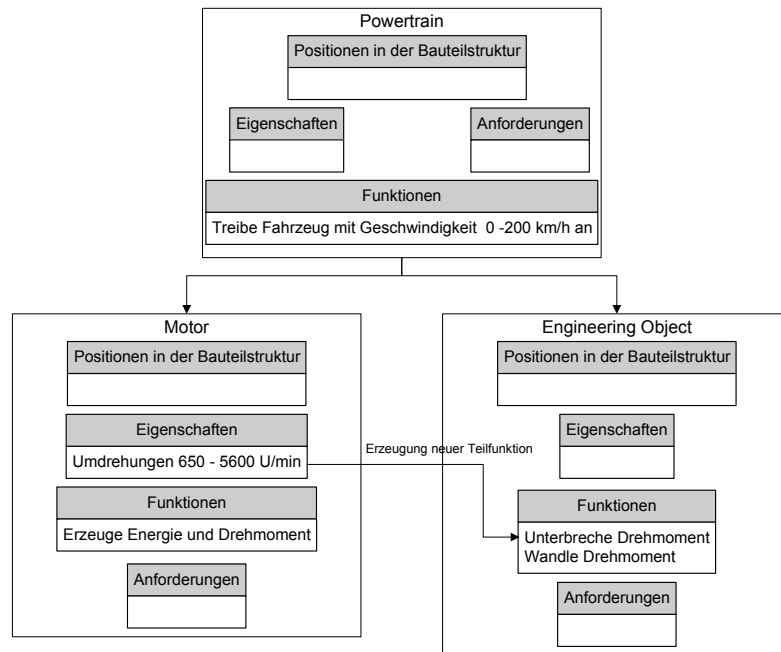


Bild 5: Beispiel für die Erzeugung einer neuer Anforderungen innerhalb einer Ebene der Produkthierarchie (Drehmoment unterbrechen)

## 5 Engineering Objects in der dynamischen erweiterte Produktstruktur

Die eingeführten Engineering Objects sind Informationsträger die u. A. die in Kapitel 2 beschriebenen Eigenschaften, Funktionen und Anforderungen zusammen mit ihrer zeitlichen Relevanz einhalten.

Wie in Kapitel 4.3 gezeigt können Engineering Objects auch mehrere Komponenten enthalten (z.B. Kupplung und Getriebe). Diese werden dann im Zuge des weiteren Entwicklungsprozesses aufgeteilt und ihnen werden Komponenten der klassischen Produktstruktur zugeordnet, sodass am Ende des Entwicklungsprozesses für jede dieser Komponenten ein korrelierendes Engineering Object existiert (siehe Bild 6).

Anhand von Erfahrungswerten können auch Eigenschaften von Engineering Objects vorhergesagt werden: Funktionen und Anforderungen werden z.B. mittels CBR- Techniken mit früheren Entwicklungen verglichen und daraus Eigenschaften des neuen Engineering Objects abgeleitet.

Engineering Objects verknüpfen die in Kapitel 3 aufgeführten Strukturen unter Berücksichtigung der in Kapitel 4 beschriebenen Wechselwirkungen zu der dynamischen erweiterten Produktstruktur. Diese umfasst, neben den Elementen der klassischen Produktstruktur, auch Features (siehe Bild 6). Dies erscheint sinnvoll, da auch Interaktionen zwischen verschiedenen Bauteilen über die Featureebene stattfinden.

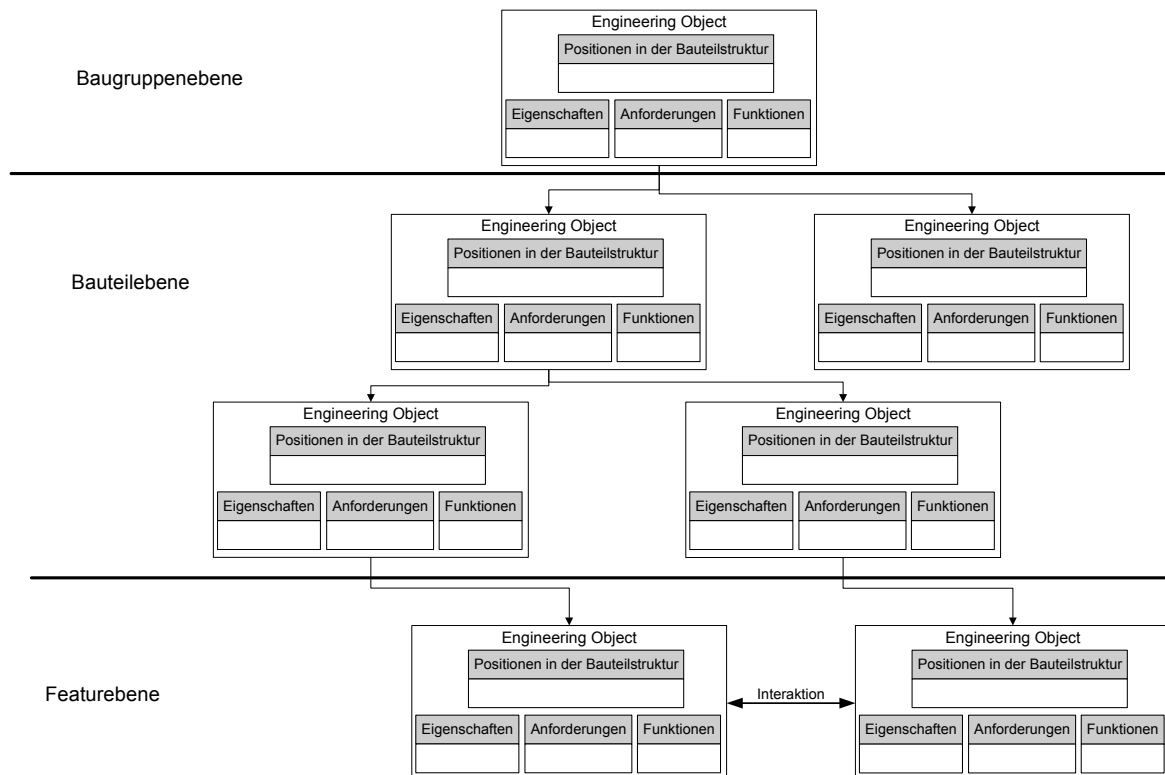


Bild 6: Ausschnitt aus der erweiterten Produktstruktur

## 6 Ausblick und weitere Untersuchungen

Ausgehend von den o.g. Ergebnissen soll in einem weiter führenden Forschungsvorhaben der Aufbau der Anforderungs- und Eigenschaftsstruktur weiter untersucht werden. Hierbei sind folgende Aspekte von Interesse:

- Zentraler Aspekt ist die Überführung im Entwicklungsalltag gebräuchlicher, meist verbaler, Definitionen von ausgewählten Eigenschaften, Funktionen und Anforderungen in computerverarbeitbare Definitionen.
- Ausgehend von diesen Definitionen werden für ausgewählte Funktionen, Anforderungen und Eigenschaften die entsprechenden Strukturen erstellt.
- Erweiterung und Formalisierung der Beispiele für die Erzeugung und Weitergabe von Anforderungen und Eigenschaften innerhalb einer, sowie zwischen verschiedenen Hierarchieebenen.
- Integration der o.g. Strukturen zusammen mit der klassischen Produktstruktur in der dynamischen erweiterten Produktstruktur. Über diese Struktur soll auf die anderen Strukturen zugegriffen werden.
- Implementierung der dynamischen erweiterten Produktstruktur in ein bestehendes PDM System.
- Ankoppelung von CBR-Techniken an die implementierte dynamische Produktstruktur.

Mit Engineering Objects, der dynamischen erweiterten Produktstruktur und formalisierter Wechselwirkungen sollte es möglich werden, für bestimmte Eigenschaften, Anforderungen und Funktionen folgende Vorhersagen bereits frühzeitig im Entwicklungsprozess zu machen:

- Vorhersage von Eigenschaften eines Engineering Objects bei Kenntnis der Eigenschaften der ihm untergeordneten Engineering Objects in der Produkthierarchie.
- Vorhersage von Anforderungen an Engineering Objects bei Kenntnis der Anforderungen an das übergeordnete Engineering Object in der Produkthierarchie.
- Implementierung von ausgewählten „Best Practice“ in CAx Systeme durch den Zugriff auf die formalisierten Wechselwirkungen zwischen und innerhalb der einzelnen Strukturen.

## 7 Literatur

- [1] Pahl G. Beitz W.: Konstruktionslehre, Methoden und Anwendungen. Springer-Verlag, Berlin 1997
- [2] FEMEX: Working Group "Feature Modelling Experts" organised by J. Ovtcharova, 1995-1997
- [3] Weber, C.: What is a Feature and What is its Use? - Results of FEMEX Working Group, in Proceedings of 29th International Symposium on Automotive Technology and Automation 1996 (ISATA 96), pp. 109-116
- [4] Yaramanoglu, N.: Anwendung von Semantischen Netzen als Lösungsraummodelle bei der mechanischen Baugruppenkonstruktion, Hanser, Wien 1991
- [5] Dankwort C.W.: Reality in Design, in Kimura F., Ohtaka A.(eds.): Proceedings of the "4th. Workshop on Current CAx-Problems", Nov. 13th. - 15th. 2000, Shizouka, Sanbi Printing Co., Ltd 2001.
- [6] Dankwort, W., Faisst, K.G., "Engineering in Reverse - a Holistic Extension of CAD" in: "New Trends in Engineering Design", Balatonfüred, 27.-28.07.2003, Mezögazdasági Technika, Jubileumi különszám, p. 91, HU ISSN 0026 1890, 2003

Dipl.-Ing. Roland Weidlich

Prof. Dr. C.W. Dankwort

Lehrstuhl für Rechneranwendung in der Konstruktion

Technische Universität Kaiserslautern

Postfach 3049, D-67663 Kaiserslautern

Tel: +49-631-205-3686

Fax: +49-631-205-3872

Email: [weidlich@mv.uni-kl.de](mailto:weidlich@mv.uni-kl.de)

[dankwort@mv.uni-kl.de](mailto:dankwort@mv.uni-kl.de)

URL: <http://sumatra.mv.uni-kl.de>

Prof. Dr. Jivka Ovtcharova

Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion

Universität Karlsruhe (TH)

D-76128 Karlsruhe

Tel: +49-721-6082129

Fax: +49-721-661138