Innovative Produktentwicklung – mit oder trotz Features

von C. Werner Dankwort, Andrzej Janocha, Gerd Podehl

Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Universität Kaiserslautern

Zusammenfassung:

In dieser Arbeit wird die Problematik der sich rapide wandelnden industriellen CAx-Anwendungen betrachtet. Durch die Einführung der Feature-Technologie scheinen einige Probleme der Parallelisierung der Prozesse, des Simultaneous und des Concurrent Engineering sowie des Outsourcing überwindbar zu sein. Allerdings entwickelte sich die Feature-Technologie bisher ohne ausreichenden Bezug zur Konstruktionspraxis, was zu erheblichen Defiziten im industriellen Einsatz führte. Untersuchungen in der Automobilindustrie (AIFEM-Initiative) zeigen, daß dies vielfach auf mangelnde Kommunikation zwischen Konstrukteuren und CAx-Experten zurückgeführt werden kann.

Aufgrund des jetzigen Ansatzes der Feature-Technologie im Zusammenwirken mit dem extremen Zeitdruck in der Produktentwicklung besteht aber die Gefahr, die Produktdefinitionsprozesse nur nach den Kriterien Entwicklungszeit, Kosten und Produktqualität zu optimieren. Features dienen dabei nur als speziell angepaßte Werkzeuge. Damit wird eine echte Innovation der Produkte behindert.

Es wird aufgezeigt, wie die Feature-Technologie erweitert werden muß, um die Kreativität der Konstrukteure zu fördern und somit neuartige Produkte zu ermöglichen. Näher ausgeführt werden die Aspekte der benutzerdefinierten Features, der Datenstandardisierung, der Verarbeitung unvollständiger Information und der dynamischen Prozeßunterstützung.

1. Einleitung

1.1 Industrielle Lage

Aufgrund des starken internationalen Konkurrenzdruckes ist die industrielle Lage heute mehr denn je gekennzeichnet durch die Optimierung dreier Parameter:

- Der *Zeit* der Produkt-Entwicklung bis zur Marktreife
- Der *Qualität* der Entwicklung, der Fertigung und des fertigen Produktes
- Der *Kosten* von der Planung bis zum Vertrieb des Produktes

Die *Globalisierung der Märkte* und der Wegfall politisch motivierter Barrieren für Technologie und Handel haben diesen Druck zusätzlich verstärkt. So wurde in den letzten Jahren die durchschnittliche Entwicklungszeit neuer Modelle in der Automobilindustrie halbiert, und die Bestrebungen gehen noch weit über dieses Ziel hinaus. Auch verstärkt die *Individualisierung der Kundenwünsche* den Druck auf die Unternehmen, was besonders für die westliche Hemisphäre gilt. Im Bereich der Bekleidung geht der Trend zum Beispiel zur Herstellung individuell angepaßter Kleidung zum Preis einer Massenware.

Aufgrund der niedrigen Lohn- und Zusatzkosten und anderer gesellschaftlicher Gegebenheiten findet eine globale Verschiebung der Wirtschaftszentren statt. Die Sicherung der Marktanteile sowie der Arbeitsplätze kann aus Sicht der westlichen Industrieländer auf keinen Fall über den Preis und nur bedingt über die Qualität erfolgen. Für die weltweit operierenden Unternehmen reicht die Optimierung der Faktoren Zeit, Qualität und Kosten nicht mehr aus, um sich auf dem Weltmarkt behaupten zu können. Nur durch *innovative Entwicklungen* können ihre Produkte noch auf dem Weltmarkt attraktiv sein.

Damit kommt dem Faktor *Innovation* - d.h. der *Einführung von neuen Produkten und Technologien* - ***die*** strategische Bedeutung für das Unternehmen zu. Da neue Produkte und Technologien vor der Markteinführung erst entwickelt werden müssen, spielt die Entwicklung mitsamt ihren Werkzeugen und Organisationsstrukturen die entscheidende Rolle noch vor dem Fortschritt in der Fertigungstechnologie.

1.2 Aspekte der Produktentwicklung

Die heutige Produktentwicklung ist durch den Wegfall der sequentiellen Arbeitsteilung der Abteilungen im Unternehmen und deren Ersetzung durch Simultaneous und Concurrent Engineering charakterisiert. Als Folge werden Ergebnisse und Daten nicht mehr direkt zum jeweils nächsten in der Prozeßkette weitergegeben (vgl. Abb. 1).

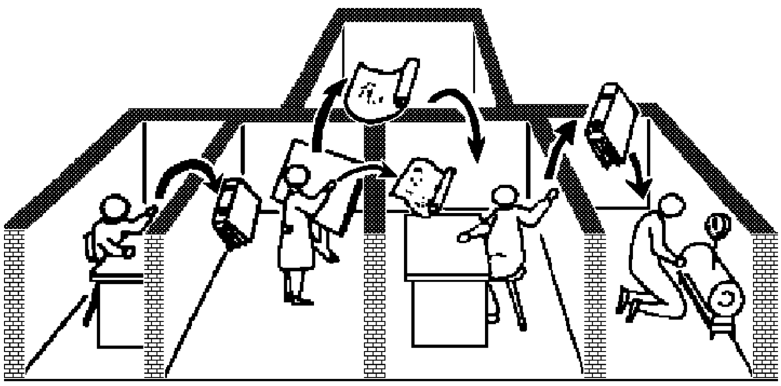

Abb. 1: Traditioneller Informationsfluß (K. Ehrlenspiel 1995)

Vielmehr gleicht der Datenaustausch einer „Schneeballschlacht jeder gegen jeden“, wobei ein steigender Anteil kleiner und mittelgroßer Fremdfirmen beteiligt ist (Outsourcing). Als Lösung ist bei kleinen Betrieben die Arbeit im „chaotischen Team“ möglich: Jeder ist für viele Aufgaben zuständig, die ständig wechseln. Bei größeren Betrieben wurde die Matrixorganisation (Abteilungen **x** Projekte) eingeführt.

Allgemein gilt, daß es keine Prozeßkette der Abteilungen mehr gibt, sondern *ein Prozeß-netzwerk*, das die Verknüpfung der am Entstehen eines Produktes Beteiligten beschreibt.

1.3 Features in der Produktentwicklung

In der Entwicklung moderner und konkurrenzfähiger Produkte haben die CAx-Techniken und Werkzeuge eine zentrale Stellung eingenommen. Darunter scheinen sich die Features zur modernsten und zukunftsträchtigsten Technologie mit beträchtlichem Rationalisierungspotential zu etablieren [5]. Es gibt kein neues CAD-System auf dem Markt, das nicht den Anspruch erhebt, Features zu unterstützen. Dabei sind die Ansätze mit ihren zugrundeliegenden Definitionen und Klassifikationen sehr unterschiedlich, was die Akzeptanz dieser Technologie sowie die Durchgängigkeit der Produktdaten negativ beeinflußt.

Darüber hinaus versteht man Features bisher hauptsächlich als ein Hilfsmittel, die angesprochene Optimierung zu unterstützen und der neuen Arbeitsorganisation gerecht zu werden. Dies soll durch folgende Versprechungen geschehen:

- Vollständige Produktdarstellung
  (Durch generische Features für Form, Material, Toleranz, Montage, usw.)
- Anwendungsbezogene Produktdefinition und höheres Modellierungsniveau
  (Durch Feature-Modelling mit spezifischen Features für Konstruktion und Fertigung)
- Datendurchgängigkeit und Unterstützung nachfolgender Produktentwicklungsphasen
  (Durch Feature-Recognition und Feature-Mapping)

Andere Potentiale der Feature-Technologie, wie z.B. für die Innovation oder für die Unterstützung früher Entwurfsphasen, wurden bisher von vielen übergangen. Ebensowenig wurde der Bezug der Feature-Technologie zur Konstruktionsmethodik untersucht.

1.4 Features und Innovation

Die enorme Wichtigkeit der Innovation für das Bestehen eines Unternehmens auf dem Weltmarkt ist unbestritten. Bieten aber die den Entwicklern zur Verfügung stehenden Werkzeuge genug Unterstützung, diese Herausforderung bestehen zu können? *Fördern Features Innovation?* Was ist der Stand der Technik diesbezüglich? Und falls die heutige Feature-Technologie Innovation nicht ausreichend fördert, welche neuen Anforderungen müssen diesbezüglich gestellt werden? Antworten auf diese Fragen werden im folgenden gesucht.

2. Kritische Bereiche der industriellen Arbeit

Um den möglichen Einfluß der Feature-Technologie auf Innovation im Unternehmen und die damit verbundenen Rationalisierungspotentiale besser zu verstehen, werden zuerst die kritischen Bereiche der industriellen Arbeit analysiert. Dies sind einerseits Probleme, die sich aus der Struktur der Entwicklungsabteilungen ergeben und andererseits prinzipielle Probleme der CAx-Anwendung.

2.1 Sicht der Entwicklungsabteilungen

Zur Entwicklung gehören viele unterschiedliche Bereiche, die alle Einfluß auf die Definition des Produktes haben: Konstruktion, Versuch, Berechnung, Fertigungsplanung und andere. Als Beispiel wird die Konstruktionsabteilung betrachtet – in den anderen Abteilungen stellen sich die Probleme ähnlich dar. Innerhalb der Konstruktionsabteilung arbeiten Personen miteinander, die im wesentlichen drei verschiedene Arten von Interessen und Zielen haben:

- Der Konstrukteur
- Der verantwortliche Manager
- Der lokale Systembetreuer

Der Konstrukteur ist vor allem um Einhaltung der Termine und der Qualität der Konstruktion (des Konstruktionsergebnisses) bemüht. Dazu braucht er Werkzeuge, die schnell und einfach zu bedienen sind und deren Ergebnisse keine Nacharbeit oder nachträgliche Interpretationshilfen erfordern. Er steht unter Zeitdruck und möchte dieselbe Arbeit nicht mehrfach machen müssen. Darüber hinaus möchte er Freiräume haben, in denen er einmal etwas Neues ausprobieren kann.

Der verantwortliche Manager muß das Gesamtprodukt, den Gesamtprozeß, die Zulieferer, die Mitentwickler und den Kunden im Blick behalten. Er muß seine Ressourcen sicher verplanen können. Er steht nicht nur unter massivem Zeitdruck, sondern ebenso unter Kostendruck und unter dem Zwang, Produkte zu entwickeln, die beim Kunden keine Probleme verursachen. Diesen Druck gibt er an den Konstrukteur und andere beteiligte Mitarbeiter weiter. Sein Hauptziel ist es, die Zufriedenheit der Kunden (der nachgeschalteten Abteilungen und der Endkunden) sicherzustellen, da sonst massive negative Rückmeldungen zu erwarten sind, die den Arbeitsablauf stören.

Der lokale Systembetreuer muß zur Terminsicherung den laufenden Betrieb der CAD-Systeme (Hard- und Software, Datenkommunikation und -verwaltung) gewährleisten, was unter dem ständigen Termindruck eine komplizierte Aufgabe darstellt. Auch die Bedürfnisse der Nachbarabteilungen und Partnerfirmen muß er kennen, um den Datenaustausch sicher-stellen zu können. Darüber hinaus muß er bei Verbesserungswünschen von Seiten der Anwender stets die Implementierbarkeit im Auge behalten sowie die Koordination der externen Softwareentwicklung übernehmen.

All diese Personen müssen ihre Aufgaben in ständigem Kontakt zueinander abwickeln (vgl. Abb. 2). Dabei ist folgendes festzustellen:

- Es fehlt an Zeit und Freiraum für Innovationen.
- Es fehlen geeignete CAx-Werkzeuge, die die anfallenden Arbeiten besser unterstützen.
- Der Systembetreuer ist mehr am Erhalten des Status-quo und nicht an Neuerungen interessiert, da diese stets neue Risiken mit sich bringen.
- Hat der Konstrukteur ein Werkzeug, das ihm Zeit einspart, dann nimmt ihm der Manager diese Zeit wieder, um früher am Markt zu sein.

Somit stellt sich die Einführung neuer Werkzeuge für die Konstruktion und damit auch die Entwicklung neuer, innovativer Produkte äußerst schwierig dar.

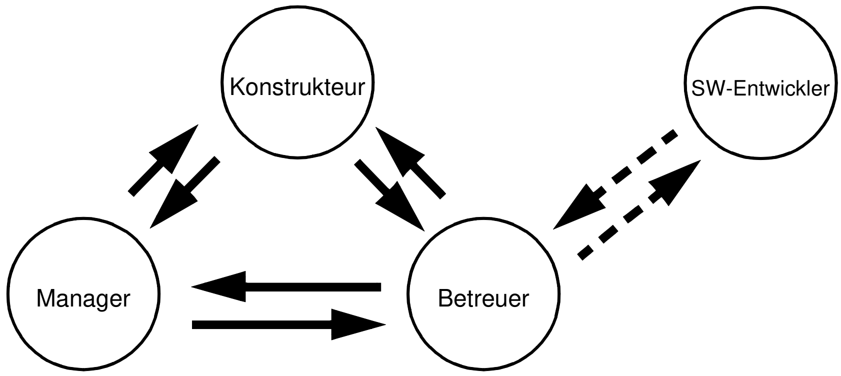

Abb. 2: Kommunikationsfluß innerhalb einer Entwicklungsabteilung

2.2 Probleme in der CAx-Anwendung

Die Probleme in der Anwendung lassen sich einteilen in Probleme betreffend der Arbeitsabläufe sowie CAx-technische Probleme, wobei diese eng miteinander zusammenhängen.

Probleme bei den Arbeitsabläufen

- Das Zusammenspiel von globaler Prozeß-Sicht und Detail-Sicht (Einzelkonstruktionen) verläuft auf verschiedenen Ebenen, die unzulänglich miteinander synchronisiert sind.
- Verteilte Team-Arbeit, Parallelisierung von (unterschiedlichen) Prozeßschritten wird unzureichend unterstützt.
- Mangelnde oder zu aufwendige Kommunikation in und zwischen den Abteilungen und zu Mitentwicklern in anderen Unternehmen beeinträchtigt die Effizienz.

- Der Bezug von CAD zur Konstruktionsmethodik ist nicht ausreichend gegeben. Der Konstrukteur hat die Vorgehensweise nach DIN gelernt, konstruiert aber nach den Möglichkeiten des ihm zur Verfügung stehenden CAD-Systems.
- Eine Modellierung von Prozeßzeit ist nicht möglich. Diese wäre zwecks Planbarkeit der Prozesse und damit erhöhter Prozeßsicherheit in der Produktdefinition wichtig.
- Die Verwaltung von Versionen und Freigabezuständen ist oft undurchsichtig und nicht immer konsistent.

CAx-technische Probleme

- Die Komplexität der CAx-Modelle (wobei ein Produktmodell mehr ist als eine Native-Format-Datei eines bestimmten CAD-Systems):
  - Die Dateien sind sehr groß, die Arbeit damit ist schwerfällig.
  - Die Verwaltung von Baugruppen, deren Datenstand und Freigabe ist unzulänglich. Ein selektiver Zugriff auf Teilbereiche (Bauelemente) ist kaum möglich
  - Viele parallele Repräsentierungen und Techniken werden für ein Bauteil benutzt: 3D-Modellieren, 2D-Zeichnung, Parametrik, FEM, Features, etc.
- Die Arbeit mit „alten“ Vorgängermodellen wird CAx-technisch unzureichend unterstützt.
- Es gibt kein ausreichendes History-based-Design.
- Der konventionelle Datenaustausch über neutrale Formate ist oft unzulänglich.
- Die Bedienung der CAD-Systeme ist zu oft „programmierorientiert“, d.h. systemtechnische Elemente und Verfahren dringen bis auf die Benutzungsoberfläche durch - insbesondere bei der Konstruktion von Freiformflächen und -kurven. Oft wird der Anwender mit der Frage „How to drive CAD and not be driven by CAD?“ konfrontiert.
- CAx-Team-Work, CAx-Conferencing: Die Möglichkeiten von CAx-Conferencing-Werkzeugen sind aus Gründen der Kompatibilität, Sicherheit, Performanz und Akzeptanz durch die Anwender noch lange nicht vollständig ausgeschöpft. Insbesondere sind Sicherheit und Performanz bei Konferenzen über WAN-Verbindungen kritische Bereiche dieser Anwendung.
- Eine Folge der Strategieschwäche bei Systementwicklern und -anwendern ist das viel zu lange Festhalten an monolithischen CAD-Systemen, die unflexibel und kaum mehr wartbar sind.

2.3 AIFEM-Ergebnisse

Zur Illustration des aktuellen Standes der Feature-Technologie in der Automobilindustrie können einige Ergebnisse der Arbeitsgruppe bei der Deutschen Automobilindustrie für Feature Modellierung (AIFEM)[1] dienen. Im Rahmen von AIFEM wurden mehrere Diplomarbeiten durchgeführt mit dem Ziel, die Möglichkeiten einer breiten Einführung der Feature-Technologie in ausgewählten Abteilungen der deutschen Automobilindustrie zu untersuchen (vgl. [5], [7], [8], [9]).

In den zitierten Arbeiten spiegelt sich das große Interesse der Anwender an der Feature-Technologie wieder. Sie zeigen auch die Potentiale dieser Technologie für die Optimierung der Produktentwicklung. Darunter sind u.a. zu nennen:

- Steigerung der Effizienz der Entwicklungs- und Konstruktionstätigkeiten
- Verbesserung der Qualität der Produktdokumentation
- Verbesserung des intensiven Informationsaustausches im Bereich Simultaneous Engineering
- Optimierung von Konstruktionsabläufen durch verkürzte Iterationszyklen und einen verbesserten Datenfluß

Gleichzeitig werden viele Probleme der herkömmlichen Feature-Technologie aufgezeigt. Die gravierendsten davon sind:

- Die bezüglich Feature-Technologie *mangelnde Funktionalität* der zur Zeit auf dem Markt verfügbaren CAD-Systeme.
- Die *Verständigungsprobleme* zwischen Feature-Experten und den Konstrukteuren. Solange es diese Probleme gibt, wird es kein brauchbares feature-basiertes CAD-System geben.
- Die immer noch *nicht ausreichende Beteiligung* der Anwender an der Entwicklung der Feature-Technologie. Ohne Bezug zur Praxis erdachte Lösungsansätze werden sich nicht durchsetzen können.

Der Konstrukteur ist in suboptimalen Arbeitsabläufen gefangen und steht unter Zeit- und Qualitätsdruck. Die CAx-Werkzeuge entlasten ihn nicht genug oder belasten überflüssig (z.B. durch übermäßigen Datenaustausch). In solch einer Situation ist echte Innovation nur schwer möglich, da man dafür Zeit, flexible Strukturen und flexible Werkzeuge braucht. Diese flexiblen Werkzeuge sind die Features bislang noch nicht. Wo Innovationen entwickelt werden, da entstehen sie nicht als Folge, sondern unabhängig vom Einsatz der Feature-Technologie.

---

1. Industrielle AIFEM-Mitglieder: Audi, BMW, Ford, Mercedes-Benz, Strässle, Porsche, Tecmath, VW

3. Kritische Betrachtung der CAx-Lösungsansätze

3.1 Der „klassische“ Feature-Ansatz

Die Feature-Technologie versteht sich als die Speerspitze der CAD-Entwicklung. Mit ihr soll eine höhere Ebene der Konstruktionsarbeit unterstützt werden, bei der nicht nur 3D-Modelle erstellt, sondern diesen Modellen auch nutzbare Bedeutungen („Semantik“) mitgegeben werden können. Die Feature-Technologie will die Entwicklungsprozesse entscheidend verbessern. Neben der Fähigkeit der Features, „Bedeutung“ zu tragen, werden zwei weitere Eigenschaften hervorgehoben, nämlich die Möglichkeit, individuell für jeden Verwendungszweck und jeden Benutzer eigene Features zur Verfügung zu stellen sowie die Gewährleistung der Durchgängigkeit der Produktdaten von der Auslegung bis zur Fertigung.

Die „Bedeutung“ wird einem Feature in der Regel durch geometrische und topologische Relationen und Bedingungen angehängt. So darf ein Loch nicht ohne umgebenden Körper existieren, und ein Sackloch darf den umgebenden Körper nicht durchbohren. Bei marktgängigen CAD-Systemen steht somit immer die Geometrie im Vordergrund; die Bedeutungen werden nur an sie angehängt (teilweise nur durch Vergeben eines Namens wie „Bohrung“).

Die individuelle Gestaltung der Features bei gleichzeitiger Datendurchgängigkeit klingt nach einem Versuch der Quadratur des Kreises. Denn wenn man für jeden Aspekt des Produktlebenszyklus und für jeden Anwender spezifische Features einführt („Konstruktionsfeatures“, „Fertigungsfeatures“, usw.) und diese dann durch den ganzen Prozeß konsistent halten will, muß man zwangsläufig einen Satz allgemeingültiger, sogenannter „generischer“ Features bereitstellen, um die verschiedenen Feature-Arten ineinander überführen zu können (Feature-Mapping). Allgemeingültige geometrische Features (Form-Features) lassen sich zwar angeben, aber deren Bedeutungsinhalt ist gering und für den Anwender somit uninteressant. Bei allem, was über pure Geometrie hinaus geht, tut man sich schwer, generische Features zu finden.

Bei einigen spezifischen Features besteht die Gefahr, daß der Konstrukteur, nur um der Fertigung zu genügen, gezwungen wird, mit Operationen der Fertigung zu konstruieren. Ist es sinnvoll eine Bohrung als Konstruktionselement anzubieten, wenn es dem Konstrukteur gleichgültig sein kann, wie seine Schraubverbindung gefertigt wird? Wie steht es mit dem umgekehrten Fall, wenn der Konstrukteur aus seiner Feature-Sammlung eine Bohrung wählt, auch wenn für die Fertigung ein Stanz-Vorgang angebracht wäre?

Vom Standpunkt der Unterstützung innovativer Produktentwicklung muß jede Einschränkung des Konstrukteurs zuerst einmal abgelehnt werden. Es kann nicht angehen, daß ihm verboten wird, seine Konstruktion mit einem Loch zu beginnen, wenn eben dieses Loch die wichtigste funktionelle Einheit ist.

3.2 Der Feature-Ansatz nach FEMEX

FEMEX (FEature Modelling EXperts)[1] ist eine internationale Vereinigung von Experten auf dem Gebiet der Feature-Technologie. Vertreter aus Industrie, Software-Herstellern, Universitäten und Forschungsinstituten arbeiten zusammen mit dem Ziel, die Grundlagen für eine feature-basierte Produktentwicklung zu erarbeiten. Die Autoren sind aktive FEMEX-Mitglieder.

Auf der Grundlage einer Fragebogenaktion [1] präsentierte die FEMEX als erstes Ergebnis ihrer Arbeit eine allgemeine Feature-Definition, die nicht in Konkurrenz zu den bisherigen Definitionen treten möchte, sondern als Rahmen für die verschiedenen Feature-Auffassungen gedacht ist [11].

Wesentlich am FEMEX-Ansatz ist, daß Features als Datenobjekte und nicht etwa als physikalische Objekte aufgefaßt werden. Ihre Beschreibung erfolgt über die Eigenschaften des interessierenden Produkts, wobei der Geometrie gegenüber anderen Beschreibungsmerkmalen keine Sonderstellung eingeräumt wird. Features repräsentieren spezifische Sichtweisen auf ein Produkt, die sich in einer Matrix aus Eigenschaftsklassen und Phasen des Produktlebenszyklus als Bereiche des Interesses darstellen lassen (siehe Abb. 3).

Durch die prinzipielle Gleichbehandlung aller Eigenschaftsklassen soll zudem das Ziel erreicht werden, die Vorgehensweise analog der VDI-Richtlinie 2221 von der Modellierung der Anforderungen (wenn noch gar keine Geometrie vorhanden ist) bis zur Detaillierung und darüber hinaus durch Feature-Strukturen zu unterstützen [10].

Ungeklärt bleibt allerdings auch beim FEMEX-Ansatz bislang die Frage der Einbeziehung von Prozeßinformationen, die über eine Produktbeschreibung hinaus gehen, wie z.B. das funktionale und zeitliche Zusammenspiel der beteiligten Abteilungen sowie deren interne Abläufe. Innovative Produktentwicklung setzt aber die Beherrschung der Prozesse voraus.

1. Die FEMEX wurde von Frau Dr. Jivka Ovtcharova am Fraunhofer IGD in Darmstadt ins Leben gerufen.

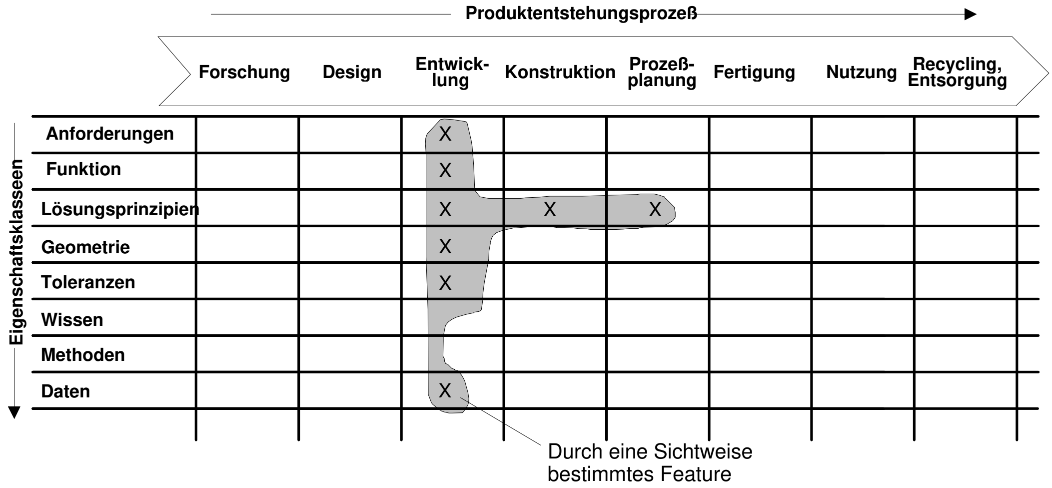

Abb. 3: Features in der Matrixdarstellung nach FEMEX

Die oft gehörte Behauptung, der Einsatz von Feature-Technologie löse die o.g. Probleme (insbesondere die des Arbeitsablaufes; siehe 2.2), ist verfrüht und leichtfertig. Die bisherigen Erfolge bei der Einführung der Feature-Technologie in der Industrie liegen weit hinter den Ansprüchen zurück.

4. Industrielle Anforderungen an CAx-Produktelemente

4.1 Globale Anforderungen

Eine CAx-Technologie, die die industriellen Entwicklungsprozesse wirkungsvoll unterstützen will, so daß diese jederzeit beherrschbar und flexibel umgestaltbar werden, muß folgenden Anforderungen genügen:

- Die Produktdefinition muß jederzeit im aktuellen Entwicklungszustand abrufbar sein.
- Die Informationen, die den laufenden Prozessen zur Verfügung stehen, müssen zeitweise inkonsistent sein dürfen, ohne den Arbeitsablauf (bzw. das ihn unterstützende CAx-System) zu behindern.
- Es muß möglich sein, die Konstruktionsabsicht (design intend) zu kommunizieren.
- Die Beschreibung des Prozesses selbst muß im Produktmodell integriert sein, damit auch die Prozeß-Absicht (process intend) kommuniziert werden kann.

Daß die einwandfreie Übermittlung der Konstruktionsabsicht nicht immer ausreicht, auch die Prozeß-Absicht korrekt zu vermitteln, kann mit zahlreichen Beispielen aus der Industrie belegt werden. Wird z.B. nach der Prototyperstellung die Information für die Behandlung der Auslaufradien einer neuen Kurbelwelle nicht explizit an die Produktion weitergegeben (weil die vermeintlich vollständige Produktdefinition im CAD-Modell verfügbar ist), so kann das zu Ausfällen in den später montierten Motoren führen.

4.2 Technische Anforderungen

Zusätzlich lassen sich zahlreiche technische Anforderungen an eine industrierelevante CAx-Technologie formulieren:

- Mit Unterstützung eines CAD-Systems kann *konstruiert* und nicht nur gezeichnet oder modelliert werden. Dazu müssen viel mehr „intelligente“ Standardelemente (auch Maschinenelemente) zur Verfügung stehen. Dabei müssen diese nicht mehr als statische Elemente (Daten), sondern als aktive Objekte verstanden und realisiert werden, ähnlich dem Ansatz in [6].
- Für viele Konstruktionsaufgaben kann in 2D konstruiert und das Ergebnis in 3D betrachtet werden. Dabei muß es jederzeit möglich sein, zwischen den verschiedenen Sichten, d.h. funktionales Schema, Standardansichten, 3D, etc. zu wechseln. Eine *bidirektionale Kopplung* zwischen der 2D- und 3D-Darstellung muß die Konsistenz aller gewünschten Darstellungen gewährleisten.
- Die Elemente beinhalten das Wissen, wie sie gefertigt werden können. Es muß eine online-Auswertung der Konstruktion hinsichtlich des Herstellungsprozesses erfolgen, ohne den Konstrukteur zu zwingen, das Objekt am Rechner zu „fertigen“ (Bohren, Fräsen, etc. als Konstruktionsanweisungen).
- Die *frühen Phasen des Entwurfs* werden einbezogen, indem die dort verwendeten Elemente und Methoden im CAx-System repräsentiert und manipuliert werden können.
- Die Daten und Modelle (inklusive Wissen) müssen vollständig in verschiedenen Phasen wiederverwendbar sein.

Diese Anforderungen stehen zum Teil im krassen Widerspruch zu den derzeitigen Tendenzen der CAx-Technologie und führen zu einer neuen Betrachtung der Feature-Technologie, die auf folgenden Prinzipien beruht:

- Es gibt die Möglichkeit mit unvollkommenen, anfangs groben und unscharfen Skizzen zu modellieren.
- Know-how aus der Konstruktion, Fertigung, u.a. muß für den Anwender unsichtbar integriert und integrierbar sein.
- Vermittlung der Prozeß-Absicht (nicht nur auf die Fertigung beschränkt) ist genauso wichtig, wie die Vermittlung der Konstruktionsabsicht.

Mit dem gegenwärtigen Feature-Ansatz wird der Konstrukteur oft schon sehr früh zu einer vollständigen parametrischen Objektbeschreibung gezwungen. In der Regel hat aber der Konstrukteur am Anfang seiner Arbeit eine grobe Vorstellung funktioneller Art – dann geht er ins Detail und möchte das Arbeiten mit unvollständigen Informationen unterstützt haben. Die meisten CAD-Systeme behindern diese konstruktionsgerechte Vorgehensweise.

Es ist auch nicht die Aufgabe eines Konstrukteurs, den Fertigungsprozeß während des Konstruktionsprozesses nachzuahmen. Beim Konstruieren werden die Gestalt und die Maße in *symbolischer Form* spezifiziert und festgehalten. Die Information wie und in welcher Reihenfolge in der Fertigung Material abgetragen wird usw. ergänzt das Modell in späteren Phasen des Entwicklungsprozesses. Das bedeutet, daß eine Konstruktion auch mit der Gestaltung eines Hohlraums angefangen werden kann, falls dieser Hohlraum funktionell ein wichtiges Feature in der Konstruktion ist. Ein anderes Beispiel ist ein Spalt mit seinen Relationen zu angrenzenden Objekten, seinen Toleranzen und seiner Blickrichtungsabhängigkeit. Der Spalt ist existent!

Statt der einfachen Propagierung naiver 3D-Konstruktion, sollte man sich vorrangig an den Zielen orientieren, die im Gesamtprozeß gefordert werden und auch mehr die Wünsche der Anwender respektieren (und sei es auch ihr Wunsch nach 2D-orientierter Konstruktion).

5. Erweiterte Features in der Anwendung

5.1 Defizite der verfügbaren Feature-Ansätze

Bislang herrscht in der Feature-Technologie ein schematisches, CAD-systemorientiertes Denken vor, bei dem die Anforderungen weniger vom gewünschten Konstruktionsablauf, sondern vom Stand der aktuellen CAx-Technik geprägt sind. Ein Eingehen der Systemhersteller auf die Wünsche der Konstrukteure beschränkt sich meist auf das gegenseitige Kopieren von Funktionalitäten, um damit ihr Systeme auf dem Markt anpreisen zu können („Das können wir auch!“-Mentalität). Diese Einstellung ist einer echten Innovation abträglich, da die Systementwickler unnötig gebunden werden: *Alle machen alles, nur „besser“ als die anderen*, auch wenn es nicht in das Systemkonzept paßt.

Die derzeit überall propagierte Objekt-orientierung als systemtechnische Grundlage der Feature-Technologie wird zu oft nur interpretiert als die Identifizierung von Objekten mit Konstruktionselementen, während die Methoden zur Handhabung der Objekte unzureichend repräsentiert sind (siehe dazu auch [2], [3]). Die Folge ist eine Sammlung von „toten“ Daten, die mit willkürlichen Verfahren von irgendeiner Person irgendwann im Prozeß verändert werden.

Unterzieht man die bisherigen Feature-Ansätze einer Systematisierung, die Auskunft darüber gibt, welchen Kriterien sie gerecht werden müssen, um den Produktentwicklungsprozeß wirksam zu unterstützen, erkennt man Defizite besonders hinsichtlich der Modellierung dynamischer Aspekte sowie der Reichweite und Richtungsunabhängigkeit im Prozeß (siehe Abb. 4). Eine die innovative Produktentwicklung unterstützende Feature-Technologie ist also ein Ziel, das noch nicht erreicht ist, auch wenn jeder Systemhersteller die Frage nach Feature-Basiertheit seines Systems mit „Ja“ beantwortet.

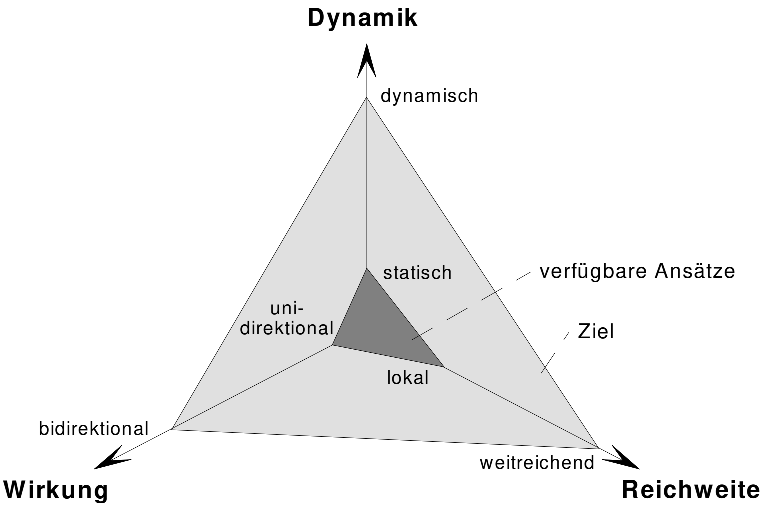

Abb. 4: Systematisierung der Feature-Ansätze im Prozeß

Der Weg dorthin braucht die Erfahrungen der Anwender, die kreativen Ressourcen der Systementwickler und der Forschungsinstitute, sowie eine Kommunikation, in der sich die Partner ernst nehmen. Die bereits angesprochenen Gruppen AIFEM und FEMEX sind Initiativen, um diese Defizite auszuräumen und eine echte Zusammenarbeit zu realisieren.

5.2 Vorschlag einer Feature-Erweiterung

Die Feature-Technologie soll in der Lage sein, freien Raum für Innovation zu schaffen, indem sie die Produktentwicklung so erleichtert, daß der Konstrukteur Zeit für kreatives Ausprobieren hat. Wenn aber die Prozeßstrukturen beibehalten werden, wird die eingesparte Zeit eher in eine frühere Serienreife des Produkts investiert als in innovative Ideen. Daher ist es wichtig, die Strukturen der Prozesse selbst in die Feature-Technologie aufzunehmen, und die Prozesse somit beschreibbar und flexibel handhabbar zu machen. Die Strukturen, die derzeit von Features vorgegeben werden („Bauklötze“ mit Beschriftung und schwer zu kontrollierenden Zwangsbedingungen), reichen dazu bei weitem nicht aus, da sie nicht in der Lage sind, Prozeßstrukturen, Managementstrukturen und Kommunikationsstrukturen dynamisch zu beschreiben.

Dynamisch in diesem Zusammenhang bedeutet, daß das System mit verschiedenen Zeitpunkten und Zeitspannen im Produktentstehungsprozeß sowie der späteren Nutzung umgehen können muß. Ein und dasselbe reale Objekt kann zu verschiedenen Zeiten sehr unterschiedliche Eigenschaften und verfügbare Methoden beinhalten (etwa eine Schraube oder eine Dichtung). Logische und zeitliche Vorher-Nachher-Relationen müssen modellierbar und abfragbar sein oder bei Bedarf eigenständig aktiv werden und die Anwendung von Methoden fordern.

Die eingeforderten Strukturen müssen eine Orientierung der Produktentwicklung an Zielen zulassen. Dies beinhaltet sicherlich die Präsentation von geradlinigen Konstruktionswegen zum Ziel, falls diese bekannt sind. Wichtiger erscheint noch eine Vorgehensweise nach Art des Reverse Engineering, bei der die (oftmals unvollständigen) Anforderungen der verschiedenen Beteiligten bis hin zum Kunden als Rückkopplungs- und Steuerparameter für den Entwicklungsprozeß genutzt werden. Um dies zu gewährleisten muß eine einfache und eindeutige Definition von Konstruktionszielen möglich sein, damit das CAD-System „weiß“, in welchem Stadium sich die Produktdefinition gerade befindet und „wohin“ der Konstrukteur will. Angestrebt wird der Idealfall, die Intensionen des Konstrukteurs „aus dem Kopf in das System“ zu übertragen, damit das System erstmals mehr ist als ein elektronisches Reißbrett.

Die Modellierbarkeit solch verschiedener Prozeßaspekte in der CAx-Welt, wird - gerade auch in der Feature-Debatte - häufig verbunden mit der Forderung nach einem einheitlichen Produktmodell (STEP und seine Erweiterungen). Solche Produktmodelle sind heute in der Regel statisch als neutrale Schnittstellen angelegt und können deshalb dynamische Prozesse nicht abbilden. Ziel sollte deshalb ein einheitlicher neutraler Formalismus sein, um alle Aspekte des Produktes und seines „Lebens“-Prozesses modellieren zu können. Bei einem solchen einheitlichen „Meta“-Modell handelt es sich um einen Rahmen, der unterschiedliche Sichten aufnehmen und verwalten kann, so daß die Konsistenz der Sichten zu jedem Zeitpunkt gewährleistet ist.

Eine Idee, wie die einzelnen Bestandteile dieser Struktur aussehen könnten, ist beschrieben in [4]. Dabei werden Elemente verwendet, die die Prozeßschritte in verschiedenen Detaillierungsgraden anhand ihrer Ein- und Ausgangsinformation, sowie der Eigenschaften und Formate dieser Informationen beschreiben (siehe Abb. 5).

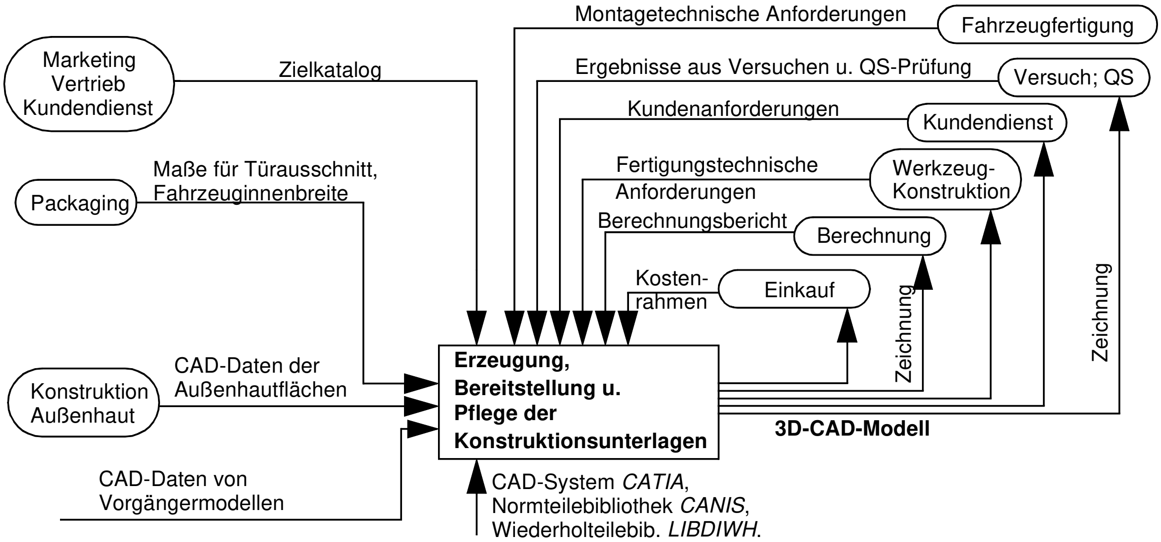

Abb. 5: Konstruktion Türen/Türscharnier in SADT-ähnlicher Schreibweise [9]

6. Resümee und Ausblick

Durch Verbesserung der CAx-Technologie alleine läßt sich das Problem mangelnder Innovation in der Produktentwicklung nicht lösen; es lassen sich allenfalls gegenwärtige Vorgänge beschleunigen.

Es sind vielmehr die Organisationsstrukturen und individuellen Einstellungen, die sich ändern müssen. Beim Management, das häufig nur in seiner Zeit-, Qualitäts- und Kostenoptimierung gefangen ist, muß die Erkenntnis, daß Innovation der Schlüsselfaktor zum Erfolg auf dem Weltmarkt ist, umgesetzt werden. Produktverantwortliche wandeln sich von Verwaltern zu Zukunftsplanern. Der Konstrukteur wird vom Zeitdruck entlastet, um sein kreatives Potential ausschöpfen zu können. Innovatives Ausprobieren muß gefördert werden. Dabei braucht er ein flexibles Werkzeug, das seinen Wünschen und Vorstellungen gehorcht. Heutige CAD-Systeme vermitteln dagegen oft den Eindruck, der Konstrukteur sei für das System da und müsse sich nach dessen Funktionalitäten richten. Die CAx-Systemhersteller schließlich müssen sich zu „Prozeßsupportern“ wandeln, während sie heute höchstens als „Konstruktionssupporter“ gesehen werden können.

Innovative Entwicklung braucht flexible Strukturen. Die heutigen CAx-Sichten gehen dagegen von monolithischen, festverdrahteten Lösungen aus. Um Vielfalt, Flexibilität und höchste Leistung zu gewährleisten, bedarf es aber der Unabhängigkeit vom CAD-System und der Möglichkeiten zur leichten Integration von Spezialsystemen. Die Aufgabe der Feature-Technologie sollte auch eine Lösung der anfallenden Kommunikationsprobleme in flexiblen

Entwicklungsprozessen sein. Dazu muß sie in der Lage sein die Kommunikationsstrukturen (die Prozesse) abzubilden, die verschiedenen Kommunikationsmedien (Sprache, Datenübertragung, etc.) zu beherrschen und die verschiedenen Inhalte (in Form von Features) zu übermitteln und zu verarbeiten.

7. Referenzen

[1] Bär T., Weber C.: *Neues aus dem Bereich der Feature-Technologie – Ergebnisse der FEMEX Arbeitsgruppe I*. CAD-CAM Report, Nr. 9, 1996.

[2] Dankwort C. W.: *CAx-Systemarchitektur der Zukunft*. VDI Berichte Nr. 1216, 1995, S.103-116.

[3] Dankwort C. W., Kellner P., Leu D., Petersen J., Renz W.: *Entwurf einer möglichen CAx-Architektur für Anwendungen in der Automobilindustrie*. VDI-Berichte Nr. 1134, 1994, S.431-442.

[4] Dankwort C. W., Podehl G.: *Industrial CAD/CAM Application and System Architecture – a Closed Loop*, in: Horvath I., Varadi K. (Eds.): TMCE '96, Proceedings of the international Symposium „The Tools and Methods for Concurrent Engineering“, Budapest, 29-31 May, 1996.

[5] Ernst P., Graus M.: *Potentiale der Feature-Technologie in der Produktentwicklung. Analyse der Prozeßkette Karosserieentwicklung in der Ford Motor Company*. Diplomarbeit, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und Universität des Saarlandes, 1996.

[6] Janocha A.: *CAx-Systemintegration auf Basis von CORBA und STEP*. PRODUKT DATEN Journal, Nr. 1, Juni 1996, S. 45-48.

[7] Keil C.: *Einsatzkonzept zur Anwendung feature-basierter CAD-Techniken unter Berücksichtigung der Prozeßkettendurchgängigkeit bei BMW*. Diplomarbeit, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 1996.

[8] Kimmel K.: *Feature basierte CAD-Techniken im Entwicklungsprozeß bei Audi*. Diplomarbeit, FH Regensburg, 1995.

[9] Rüth A.: *Untersuchung der Prozeßkette eines Türscharniers unter dem Aspekt der Feature-Modellierung*. Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, 1996.

[10] Vajna S., Wegner B.: *Features – Informationsträger für den Produktentstehungsprozeß*. VDI-Berichte 1289 „Effiziente Anwendung und Weiterentwicklung von CAD/CAM-Technologien“, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1996, S. 139-151.

[11] Weber C.: *What is a Feature and What is its Use? – Results of FEMEX Working Group I*, in: Proceedings of the 29th International Symposium on Automotive Technology and Automation (ISATA) 1996, Florenz, p. 287-296.