

Änderungsmanagement auf Basis eines integrierten Prozess- und Produktdaten- modells mit dem Ziel einer durchgängigen Komplexitätsbewertung

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)
vom Fachbereich 10 – Maschinentechnik –
der Universität Paderborn

genehmigte
DISSERTATION

von
Dipl.-Wirt. Ing. Thilo Jania
aus Celle

Tag des Kolloquiums: 04. Juni 2004
Referent: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Rainer Koch

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit bei der DaimlerChrysler AG in enger Zusammenarbeit mit dem Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn.

Herrn Professor Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, dem Leiter des Fachgebietes Rechnerintegrierte Produktion, danke ich für die Förderung und die sehr gute Betreuung der Arbeit.

Herrn Universitätsprofessor Dr.-Ing. Rainer Koch, dem Leiter des Fachgebietes „Computeranwendung und Integration in Konstruktion und Planung – C.I.K.“ an der Fakultät für Maschinenbau der Universität Paderborn, danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Weiterhin bedanke ich mich bei allen Kolleginnen und Kollegen der Abteilung Product, Process, Resource Integration (RIC-EP) des Daimler Chrysler Ressorts Research and Technology und der Abteilung Logistikprozess- und Informationsplanung (LOG-LPI) des Werkes Bremen. Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr.-Ing. Siegmар Haasis, Herrn Dipl. Wirt.-Ing. Axel Röder, Herrn Dipl. Inf. Marco Groll und Herrn Dipl.-Ing. Holger Iloge für die fachliche Diskussion und Unterstützung.

Abschließend danke ich meinen Eltern Ewald und Helga Jania für die vielfältige Unterstützung während meiner gesamten Ausbildung.

Bremen, im März 2005

Thilo Jania

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Problematik	1
1.2	Zielsetzung.....	3
1.3	Vorgehensweise	4
2	Problemanalyse	7
2.1	Erscheinungsformen von Komplexität.....	7
2.2	Komplexitätsmanagement.....	9
2.2.1	Komplexitätsabbildung.....	12
2.2.2	Komplexitätsbewertung.....	14
2.2.3	Komplexitätsentscheidung	17
2.3	Anforderungen	19
3	Stand der Technik: Abbildung, Bewertung und Management von Produkt- und Prozesskomplexität	21
3.1	Grundlagen	21
3.2	Produktmodellierung	22
3.2.1	Produktstruktur und –daten.....	22
3.2.2	Produktdatenmanagement.....	24
3.2.2.1	CIM als Ausgangspunkt für das Produktdatenmanagement.....	24
3.2.2.2	Definition und logische Struktur von PDM.....	26
3.2.2.3	Durchgängigkeit von PDM	28
3.2.2.4	Integration von Geometriedaten	29
3.2.2.5	Integration von betriebswirtschaftlich-planerischen Informationen.....	30
3.2.2.6	Änderungswesen	31
3.2.2.7	Umsetzungsstand und Entwicklungsfokus.....	33
3.2.3	Konfigurations- und Life-Cycle-Management.....	34
3.3	Prozessmodellierung.....	36
3.3.1	Methoden zur semi-formalen Geschäftsprozessmodellierung	37
3.3.2	Prozessmanagement	42
3.4	Konzepte zur integrativen Modellierung von Produkt- und Prozessdaten	44
3.4.1	Semantisches Produktstrukturmodell.....	45
3.4.2	Integriertes Produkt- / Produktionsmodell des SFB 346	47
3.4.3	Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung im SFB 361	49
3.4.4	Integriertes Produkt- und Prozess-Engineering (iPPE)	50

3.5	Integriertes Prozess- und Datenmodell (IPDM) der DaimlerChrysler AG.....	52
3.5.1	Verbindungsdocumentation.....	53
3.5.2	Objektmodell	56
3.5.3	Basisebene des Objektmodells und Aggregation	58
3.5.4	Variantenbildung	59
3.5.5	Generierungsalgorithmen	62
3.5.6	Anlauf-/Änderungsmanagement.....	63
3.5.7	Integrationsplattform logische Matrix.....	65
3.6	Management technischer Änderungen.....	69
3.6.1	Grundlagen des Änderungswesens	69
3.6.2	Integriertes Änderungsmanagement	72
3.6.3	Wirtschaftliche Bewertung von Änderungen.....	74
3.6.3.1	Art und Umfang der Betrachtung.....	74
3.6.3.2	Kostenrechnungsverfahren	78
3.6.3.3	Produktkostenkalkulation/-management	81
3.7	Komplexitätsmanagement	83
3.7.1	Grundlagen des Komplexitätsmanagements.....	83
3.7.2	Komplexitätsmanagementkonzepte/ -methoden	85
3.7.2.1	Durchgängiges Komplexitätsmanagement nach WILDEMANN	86
3.7.2.2	Integriertes Komplexitätsmanagement nach SCHUH/SCHWENK	92
3.8	Resümee und Handlungsbedarf.....	98
4	Konzeption: Weiterentwicklung des integrierten Prozess- und Datenmodells (IPDM)	101
4.1	Ausgangspunkt der Weiterentwicklungen.....	101
4.2	Abbildungsebene: Erweiterung der Modellierungsbasis	102
4.2.1	Funktionsbeziehungen	103
4.2.2	Logische Verbindungen.....	106
4.2.3	Klassifizierung der Verbindungsobjekte	107
4.2.4	Erweitertes Objektmodell.....	108
4.2.5	Funktionale Sichten	109
4.3	Bewertungsebene: Ansatz eines ganzheitlichen Änderungsmanagement	113
4.4	Entscheidungsebene: Integration von Änderungs- und Komplexitätsmanagement	119
5	Validierung: Bewertetes Änderungsmanagement am Beispiel eines Automobilherstellers.....	123
5.1	Änderungsprozesse bei der DaimlerChrysler AG.....	123
5.1.1	Änderungen im Entwicklungsprozess.....	124

5.1.2	Änderungen im Serienprozess.....	126
5.2	Bewertetes Änderungs-/Komplexitätsmanagement auf Basis des erweiterten IPDM-Konzeptes.....	128
5.2.1	Laufendes Änderungs-/Komplexitätsmanagement	129
5.2.2	Vorausschauendes Änderungs-/ Komplexitätsmanagement	133
5.2.3	Neue Funktionen.....	134
5.2.4	Konsequenzen	136
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	139
7	Literaturverzeichnis	141

1 Einleitung

1.1 Problematik

Die Bedeutung des Kunden und seiner spezifischen Anforderungen hat innerhalb der Automobilindustrie drastisch zugenommen. Galt der Slogan „Der Kunde ist König“ in der Vergangenheit vor allem für den Dienstleistungssektor, so bieten heute nahezu alle großen Automobilhersteller eine enorme Anzahl unterschiedlicher Fahrzeugbaureihen und Ausstattungsvarianten an. Der Kunde kann somit ein Produkt nach seinen spezifischen Wünschen konfigurieren und individuell bestellen. Dieser Wandel der Marktsituation von Verkäufer- zu Käufermärkten und die damit im Zusammenhang stehende Individualisierung der Nachfrage haben zu einem starken Anstieg der Komplexität¹ in Unternehmen geführt.

Für einen Automobilhersteller bedeutet dies, dass beispielsweise ein Sportwagen, basierend auf einer einzigen Karosserievariante, mittlerweile mehr als 134 Millionen mögliche Ausstattungsvarianten besitzt und lediglich ein geringer Bruchteil davon, nämlich 0,0031 Prozent, innerhalb eines Jahres produziert wird [Ohl00]. Anhand dieses Beispiels wird schnell klar, warum die Komplexität auch als Paradigma des 21. Jahrhunderts bezeichnet wird [War97].

Komplexität besitzt für die Unternehmen eine ambivalente Wirkung. Sie führt einerseits durch die Differenzierung von Mitbewerbern und das für den Kunden individualisierte Angebot zu Umsatzerhöhungen, macht aber andererseits zusätzliche Informations- und Managementkapazitäten notwendig, um die erhöhte Vielfalt handhaben zu können. Oft übersteigen die Kosten der erweiterten Kapazitäten den Nutzen zusätzlicher Varianten (vgl. Bild 1-1).

Aus diesem Grund geraten Unternehmen sehr schnell in eine Komplexitätsfalle, das heißt, die eigentlich umsatzsteigernde Kundenorientierung führt über die zeitlich verlagerten Folgekosten der Komplexitätserhöhung zu einer Verschlechterung der Gewinnsituation [AJ98, Ros97].

1. In der Literatur existieren zahlreiche Definitionen für den Begriff der Komplexität. In der vorliegenden Arbeit bezeichnet Komplexität die Mannigfaltigkeit von Zuständen und Zustandskonfigurationen. Sie variiert über die Anzahl der einbezogenen Einheiten, die Anzahl der Aktionen und der Beziehungen zwischen diesen Einheiten sowie über die Variabilität der Aktionen und Beziehungen [Wil00].

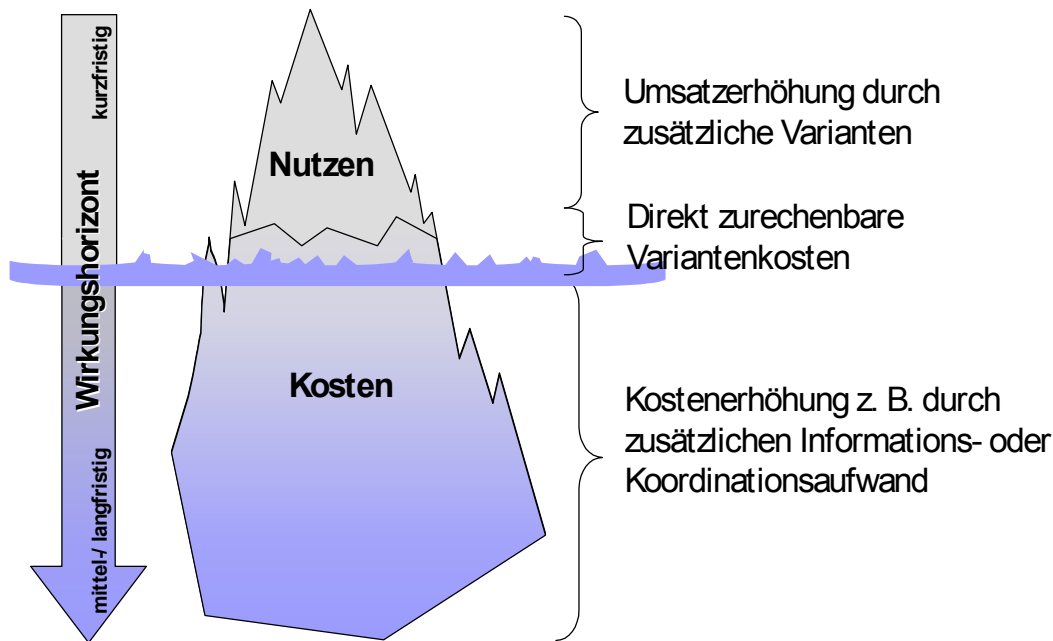


Bild 1-1: Die Komplexitätsfalle

Was ist aber die „richtige“ Komplexität für ein Unternehmen? Diese Frage lässt sich nur sehr schwer bzw. fallweise beantworten. Grundsätzlich ist aus unternehmerischer Sicht zusätzliche Komplexität dann sinnvoll, wenn sie einen positiven betriebswirtschaftlichen Nutzen bringt. Diese Beurteilung ist jedoch insofern schwierig, als dass die Kostenwirkungen der Komplexität in vielen Unternehmen nur teilweise bekannt sind, sich mit den verwendeten Controlling- bzw. Kostenrechnungssystemen nur schwer erfassen lassen und die Umsatzsteigerungen oft auf sehr positiven Annahmen des Vertriebes basieren. Ergebnis sind vielfach die sog. „fetten Produkte“, d. h., Produkte, die wirtschaftlich nicht auf ihren Kundennutzen hin optimiert sind [FK+93].

Es ist nicht verwunderlich, dass solche Fehleinschätzungen in der Vergangenheit dazu geführt haben, dass die Komplexität in deutschen Unternehmen in der aktuellen wissenschaftlichen Diskussion als zu hoch eingeschätzt wird [Ros97].

In Anbetracht dieser Tatsache wird es in Zukunft vor allem um eine Reduzierung der überflüssigen Komplexität gehen, bevor man im zweiten Schritt die Komplexität als zielgerichtetes und gewinnbringendes Instrument einsetzen kann. Grundlegende Voraussetzung für beide Aktivitäten ist die tatsächliche Transparenz der Komplexität und ihrer, z. B. betriebswirtschaftlicher, Wechselwirkungen.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines effizienten Instrumentariums zur ganzheitlichen Bewertung der Produkt- und Prozesskomplexität am Beispiel eines Serienherstellers. Dabei wird die bei der DaimlerChrysler AG entwickelte Methodik des integrierten Prozess- und Datenmodells (IPDM) [KM98] als eine durchgängige Möglichkeit zur transparenten Abbildung von Komplexität aufgegriffen und zielgerichtet um eine Prozesskostenbetrachtung erweitert, die dann als Basis für die spätere Komplexitätsbewertung dient.

Der Abschnitt Komplexitätsbewertung verfolgt die Zielsetzung, bereits vorhandene Controllingmethoden auf Basis der Prozesskostensicht derart zu kombinieren und im integrierten Prozess- und Datenmodell zu verankern, dass eine geeignete Datenbasis zur bedarfsgerechten Entscheidungsunterstützung entsteht. Dem leistungsfähigen Ansatz der Prozesskostenbetrachtung wird mit Hilfe der entstehenden Transparenz zu einer „neuen“ Anwendbarkeit verholfen.

Die frühzeitige Integration einer betriebswirtschaftlichen Sicht in ein gesamtheitliches Unternehmensmodell führt darüber hinaus zu einem erweiterten Methodenbaukasten innerhalb des Komplexitätsmanagements bzw. der Kostenrechnung. Insbesondere die Möglichkeiten der Dokumentation von Erfahrung und Wissen sowie die Simulation und Analyse von Kostenszenarien sollen mit Hilfe dieser Arbeit als ein Standardwerkzeug für zukünftige Komplexitätsmanagementaufgaben etabliert werden.

Ergänzend zu der reinen Theoriesicht wird im Praxisteil der vorliegenden Arbeit anhand zweier konkreter Anwendungsfelder des Komplexitätsmanagements, dem Änderungsmanagement und der Kalkulation, untersucht, in welcher Weise die Integration von Controllingmethoden, Produkt- und Prozessdaten für einen Automobilserienhersteller nutzenbringend wirken kann. Dabei zielen die gemachten Untersuchungen einerseits auf die effiziente und möglichst operative Abbildung der bestehenden Anlauf-/Änderungs- und Kalkulationsfunktionen auf Basis des neuen Controllinginstrumentariums ab. Andererseits werden im Sinne einer langfristigen Weiterentwicklung der Prozesse Hinweise darauf gegeben, wie sich die entsprechenden Funktionen des Änderungsmanagements bzw. der Kalkulation in Zukunft und unter Zuhilfenahme einer weitergehenden Integration gestalten werden.

Alle Aktivitäten zusammen ergeben einen prozessübergreifenden Ansatz zur Unterstützung und Fundierung von Komplexitätsmanagemententscheidungen, der dem Anwender einen umfangreichen Baukasten an Instrumenten und Methoden zur Verfügung stellt. Insbesondere die Bewältigung der zentralen Herausforderung an das Management der Zukunft, nämlich der Wechsel von einer reaktiven zu einer vorausschauenden und gestaltenden Planung, kann mit Hilfe der vorge-

nommenen Integration nicht nur für den Bereich des Komplexitätsmanagements entscheidend unterstützt werden.

1.3 Vorgehensweise

Das folgende Kapitel stellt die möglichen Erscheinungsformen von Komplexität in Unternehmen vor und untersucht die verschiedenen Ebenen eines erforderlichen Komplexitätsmanagements. Es erfolgt dann eine detaillierte Beschreibung der beiden grundlegenden Schritte Komplexitätsdarstellung und –bewertung sowie ihrer Abhängigkeiten. Daraus werden Anforderungen an eine Informationsmodellierung als Basis der Komplexitätsdarstellung und an die zusammenhängende Betrachtung von Komplexitätsbewertung und Änderungsmanagement abgeleitet.

Das Kapitel 3 stellt zunächst die vorhandenen Methoden der Produkt- und Prozessmodellierung sowie erste Integrationen der Einzelmodelle vor. Danach werden die Ansätze des Managements technischer Änderungen und des Komplexitätsmanagements beschrieben. Den Abschluss des Kapitels bildet die Konkretisierung des resultierenden Handlungsbedarfs.

Das Kapitel 4 umfasst die Konzeption eines integrierten Prozess- und Produktdatenmodells zur kostenmäßigen Bewertung von Änderungsprozessen und der damit verbundenen Komplexität. Basis liefert die Erweiterung einer bestehenden Integrationsmethode, die einerseits methodisch und andererseits in Form des entsprechenden Objektmodells durchgeführt wird (vgl. Bild 1-2).

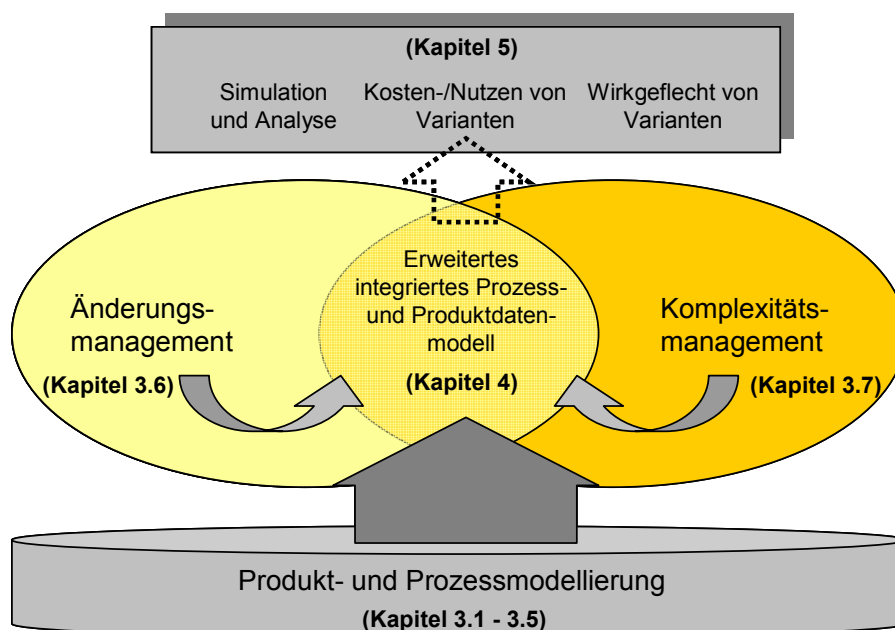


Bild 1-2: Visualisierung der gewählten Vorgehensweise

Die Validierung der erarbeiteten Konzeption erfolgt in Kapitel 5, das anhand konkreter Anwendungen für den Produktenstehungsprozess eines Automobilherstellers die neuen Möglichkeiten einer zusammenhängenden Änderungs- und Komplexitätsbewertung auf Basis des integrierten Informationsmodells aufzeigt.

Das Kapitel 6 liefert abschließend eine Zusammenfassung und einen Ausblick auf zukünftige Forschungsbedarfe.

2 Problemanalyse

2.1 Erscheinungsformen von Komplexität

Komplexität in Unternehmen ist ein mehrdimensionales Problem, dessen Ausprägungen und Auswirkungen oftmals sehr unterschiedlich sind. Spezielle Erscheinungsformen sind z. B. eine steigende Variantenzahl, eine zunehmende Anzahl an Bauteilen, eine steigende Anzahl unterschiedlicher Kundengruppen (Kundenkomplexität) und die Anzahl der in der Planung zu berücksichtigenden Unternehmensziele (Zielkomplexität) [AJ98].

Grundsätzlich lässt sich die Komplexität innerhalb eines Unternehmens auf die beiden Formen der Variantenkomplexität, d. h. auf Produkt- und Prozesskomplexität, zurückführen, wobei eine starke Abhängigkeit zwischen beiden Formen besteht (vgl. Bild 2-1). Die Produktkomplexität ist vor allem Folge des bereits genannten Wandels der Marktbedingungen, d. h. der starken Einflussnahme des Kunden auf das Produkt. Produktkomplexität entsteht im Wesentlichen durch die Funktionsvielfalt der Produkte, d. h., durch die für den Kunden direkt sichtbaren Unterscheidungsmerkmale. Die Funktionsvielfalt schlägt sich dann in einer steigenden Variantenanzahl nicht nur auf Endprodukt-, sondern auch auf Basisgruppen- und Komponentenebene nieder [Wil00].

Die Variantenzahl- oder auch Sortimentsbreite ist, neben der Größe eines Unternehmens, der Dynamik der Märkte und der Anzahl der internen/externen Schnittstellen, einer der zentralen Komplexitätstreiber [Sch02]. Demzufolge ist die Beherrschung der Produktvarianz ein Schlüssel zur Beherrschung der Unternehmenskomplexität.

Zwischen Produktkomplexität und Prozesskomplexität besteht eine Art von Wechselwirkung. D. h., dass variantenreiche Produkte zu einem Anwachsen der Komplexität aller betrieblichen Strukturen und Abläufe führen, da eine Vielzahl von Produktalternativen, Baugruppen, Bauteilen und Dokumenten für verschiedene Kunden in unterschiedlichen Zusammensetzungen durch den Betrieb gesteuert werden muss [FK+94a, FF+02].

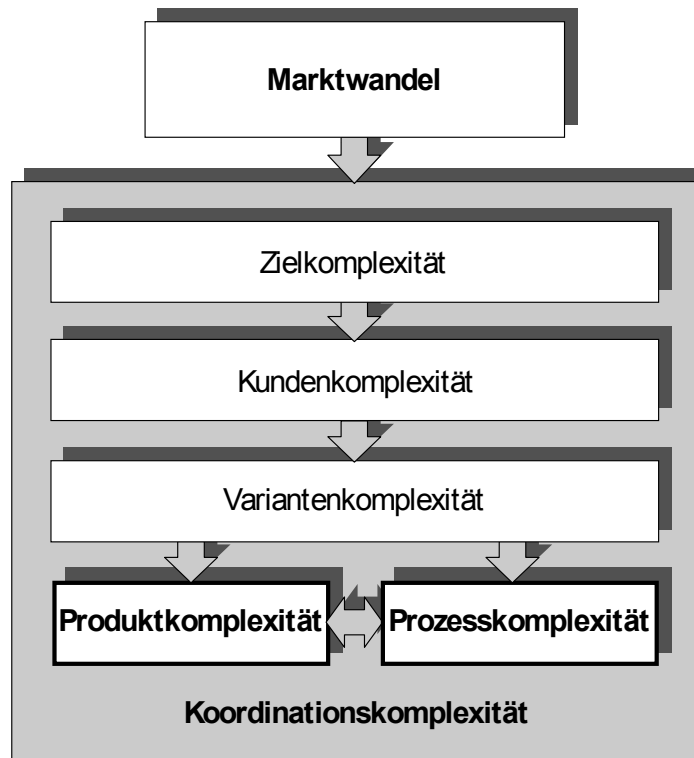


Bild 2-1: Schichten der Komplexität (nach [AJ98])

Eine stark gestiegene Anzahl verschiedener Bauteile beansprucht nahezu alle Ressourcen der Wertschöpfungskette [Ebe00]. Als Beispiel für eine produktinduzierte Prozesskomplexität seien an dieser Stelle die Prozesse des Anlauf- und Änderungsmanagements genannt, deren Ziel es ist, neue oder geänderte Bauteile auf definierte Art und Weise in das Entwicklungs- bzw. Produktionsgeschehen einfließen zu lassen. Der Umfang dieser Prozesse ist aufgrund der kurzen Entwicklungszyklen im Automobilbau nicht unerheblich. So wurde für das Werk Bremen der DaimlerChrysler AG eine jährliche Zahl von etwa 180.000 Änderungen an Bauteilen und Prozessen ermittelt, die möglichst reibungsfrei im laufenden Produktionsprozess Berücksichtigung finden müssen [DC02]. Das Beispiel macht deutlich, dass nicht nur die zusätzliche Variante eines Bauteils komplexitätserhöhend wirkt, sondern bereits jede Bauteiländerung, z. B. die Änderung einer Zeichnung. Dies führt gerade im Bereich des Anlauf-/Änderungsmanagements zu einem Höchstmaß an Koordinationskomplexität.

2.2 Komplexitätsmanagement

Die Verringerung und Beherrschung der Produkt- und Prozesskomplexität ist die zentrale Herausforderung zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen, nicht nur in der Automobilindustrie [ESW98].

In den vergangenen Jahren hat daher ein durchgängiges Komplexitätsmanagement zur zielgerichteten Planung und Steuerung eines Unternehmens eine immer größer werdende Wichtigkeit erlangt. Das Komplexitätsmanagement greift auf drei wesentliche Strategien zurück [Wil98]:

- Komplexitätsreduzierung
- Komplexitätsbeherrschung und
- Komplexitätsvermeidung.

Die Komplexitätsreduzierung versucht durch eine Bereinigung der bereits bestehenden unterschiedlichen Ausprägungen von Produkten und Prozessen kurzfristig Komplexität zu verringern. Im Gegensatz dazu geht es bei der Komplexitätsvermeidung darum, zusätzliche Produkt- und Prozessvarianten bereits im Vorfeld ihrer Umsetzung zu bewerten und je nach Wirtschaftlichkeit umzusetzen oder aus der Planung zu eliminieren. Komplexitätsvermeidung bedeutet insbesondere eine Einflussnahme auf zukünftige Varianten im Sinne einer mittel- bzw. langfristigen Strategie. Der Langfristzeitraum findet schwerpunktmäßig bei der Komplexitätsbeherrschung Berücksichtigung, da hier die Komplexität zielgerichtet in die strategischen Planungen und Konzeptentwicklungen einfließt.

Alle Strategien des Komplexitätsmanagements haben gemeinsam, dass sie vor allem im Sinne eines Variantenmanagements wirken, sprich bestehende wie auch zukünftige Varianten darstellen, bewerten und dann entsprechend der Bewertung die einzelne Variante weiter planen, umsetzen oder aber streichen. Aus Sicht des Komplexitätsmanagements kommt dem Variantenmanagement damit die Mittlerrolle zwischen interner und externer Komplexität zu (vgl. Bild 2-2).

Grundlage für das Komplexitäts- bzw. Variantenmanagement ist ein umfassendes Instrumentarium, das in der Lage ist, Produkt- und Prozesskomplexität transparent abzubilden und bewertbar zu machen.

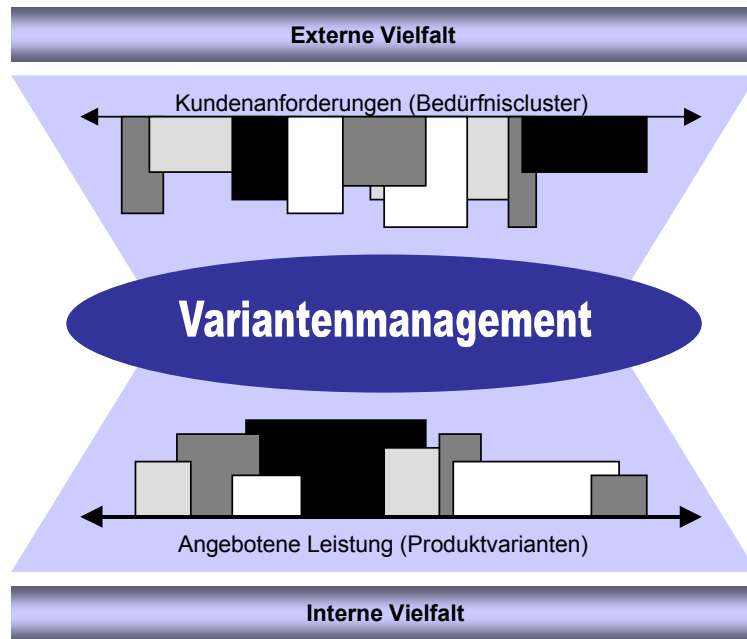


Bild 2-2: Variantenmanagement – Abgleich zwischen interner und externer Komplexität [SJ96]

Die Schrittfolge für ein erfolgreiches und operativ wirksames Komplexitätsmanagement lässt sich demzufolge in drei Ebenen (vgl. Bild 2-3) beschreiben:

- **Komplexität abbilden (Abbildungsebene):** Die transparente und vollständige Abbildung von Komplexität, das heißt im Sinne der Komplexitätsdefinition aller Elemente und deren Beziehungen zueinander, ist Basis für das Komplexitätsmanagement. Zu diesem Zweck ist es erforderlich, das Unternehmensgeschehen mit Hilfe vorhandener wie auch neu zu erstellender Modelle möglichst ganzheitlich zu abbilden.
- **Komplexität bewerten (Bewertungsebene):** Die Bewertungsebene untersucht die Modelle und deren Verhalten anhand bestimmter Kriterien. So bilden beispielsweise Kosten und Nutzen von Varianten wichtige Bewertungskriterien.
- **Komplexität entscheiden (Entscheidungsebene):** Wenn die beiden Schritte der Abbildung und Bewertung absolviert worden sind, so können entsprechende Entscheidungen vor dem Hintergrund der unternehmensstrategischen Zielrichtung getroffen werden.

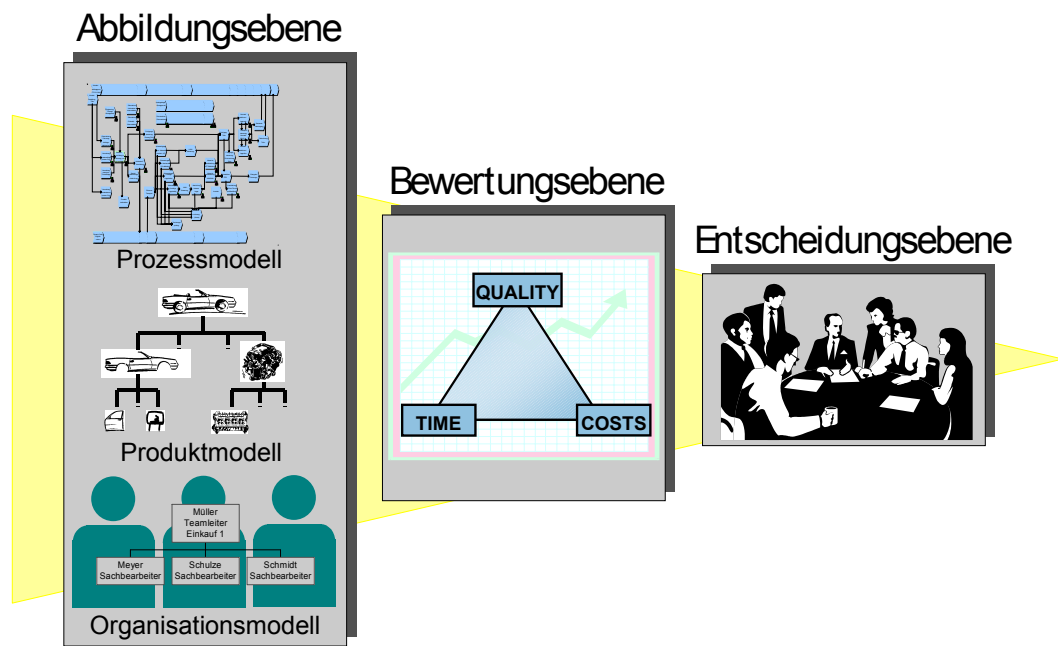


Bild 2-3: Die Ebenen des Komplexitätsmanagements

Die Ebenen des Komplexitätsmanagements sind nicht unabhängig voneinander zu sehen, sondern durch verschiedene Interdependenzen geprägt. Ausgehend von der Entscheidungsebene müssen in den vorgelagerten Ebenen Kriterien bewertet und deren Datengrundlage modelliert werden, die für eine fundierte Entscheidung notwendig sind. Bei der Umsetzung eines Komplexitätsmanagements ist es daher erforderlich, die unterschiedlichen Anforderungen top-down von der Entscheidungs- bis hin zur Modellierungsebene zu ermitteln und in den vorgelagerten Schritten zu berücksichtigen.

2.2.1 Komplexitätsabbildung

Moderne Informationstechnologien sind der Schlüssel zu einer vollständigen und transparenten Abbildung von Produkten, Prozessen sowie deren Zusammenhänge, damit also auch zur Abbildung der Komplexität. Die Informationstechnologie (IT) besitzt jedoch ihrerseits eine eigene Wirkung bezüglich der Komplexität. Einerseits ist es möglich, mit Hilfe der IT Komplexität darzustellen und sie damit handhabbar zu machen. Andererseits ist die Vielfalt an Informationen, die darüber hinaus in unterschiedlichen Systemen und Zuständen vorliegen können, derart groß, dass diese wiederum komplexitätserhöhend wirkt.

Demzufolge gab es in der Vergangenheit verschiedene Bemühungen die Informationsverarbeitung zu vereinfachen. Ausgehend von der Strategie des Computer Integrated Manufacturing (CIM), die insbesondere die Integration der Fertigungssysteme im Vordergrund sah, liegt der Hauptaugenmerk mittlerweile auf den sog. Produktdatenmanagementsystemen. Produktdatenmanagement (PDM) basiert weniger auf einer rein technischen Integration, sondern sichert die Kommunikation der einzelnen Systeme über eine einheitliche Metadatenstruktur. Produktdatenmanagement hat zum Ziel, die kompletten Fertigungsunterlagen für ein Erzeugnis mit einer informationstechnischen Integrationslösung herzustellen, bzw. allgemeiner gesagt, ein Fertigungsunternehmen im Hinblick auf den Produktentstehungsprozess in einem Datenmodell abzubilden [Sch99]. Dabei übernehmen PDM-Systeme folgende Funktionen [Sch99, SE01]:

- Produktdaten- und Dokumentenmanagement
- Prozessmanagement
- Integration der Anwendungssysteme.

Produktdaten- und Dokumentenmanagement

PDM-Systeme besitzen ihren historischen Ursprung in der technischen Dokumentation und finden daher vor allem in den Bereichen Entwicklung und Konstruktion ihren Einsatz. Hierbei werden zwei aktuelle Problemstellungen bei der Weiterentwicklung von Produktdatenmanagementsystemen deutlich. Zum einen ist es die Konzentration auf den Produktentwicklungsprozess, denn die erweiterten Anforderungen verlangen vielmehr eine Betrachtung des kompletten Produktentstehungsprozesses bzw. des Produktlebenszyklus. Der Anwenderkreis des PDM-Systems bleibt also nicht auf die Bereiche Entwicklung/Konstruktion beschränkt, sondern muss auf alle Prozessabschnitte ausgeweitet werden. Zur besseren Anwendbarkeit ist es dann notwendig, spezielle funktionale Sichten auf die Produktdaten zu definieren.

Zum anderen reduziert sich aber der Informationsinhalt nicht auf reine Produktdaten im Sinne von Teiledaten. Wenn man davon ausgeht, dass nach einer VDA-

Studie der aktuelle Wertschöpfungsanteil eines Automobilherstellers am Endprodukt Auto bei nur etwa 35 bis 40 Prozent liegt und in den nächsten zehn Jahren noch weiter fallen wird, dann rückt die Relevanz der physischen Teilewelt eher in den Hintergrund [VDA00]. Immer wichtiger werden dagegen die funktionalen Zusammenhänge der Teileinformationen und die Informationen darüber, auf welche Art und Weise die Einzelteile zu einem funktionierenden Endprodukt zusammengesetzt werden.

Prozessmanagement

Unter Prozessmanagement wird im Bereich des Produktdatenmanagements das Abbilden, Verwalten und Dokumentieren von Zustandsänderungen des Produktdatenmodells verstanden [SE01]. In diesem Zusammenhang spricht man von einer Dynamisierung des Produktdatenmodells [SE01]. Das Prozessmanagement wird häufig auch als Workflow-Management bezeichnet [Sch99]. Zielsetzung des Workflow-Managements ist die Verbesserung der Zusammenarbeit aller am Produktentstehungsprozess beteiligten Personen [Sch99]. Es findet hauptsächlich in dem Komplex des Änderungs- und Freigabewesens Anwendung [Sch99].

Die Gesamtheit aller Prozesse, die mit Hilfe des Workflow-Managements abgebildet bzw. unterstützt werden, ist lediglich ein geringer Teil des Gesamtprozessmodells. Vor allem der zentrale Kern eines Fertigungsunternehmens, nämlich der Herstellprozess, bleibt weitestgehend unberücksichtigt. Ebenso verhält es sich mit fertigungsunterstützenden Prozessen, wie z. B. der Logistik. Eine „echte“ Dynamisierung des Produktmodells kann nur stattfinden, wenn eben solche Kernprozesse Berücksichtigung finden. Nur so kann das Produktdatenmanagement eine tatsächliche Grundlage für ein digitales Abbild des Unternehmensgeschehens bilden. Erste Ansätze in diese Richtung sind bereits unternommen. Das Integrated Product Development/Design and Manufacturing beispielsweise verbindet die computergestützten Prozessketten Produktentwicklung und Fertigungslogistik [Sch99]. Fundament für solche integrativen Ansätze ist die Schaffung eines prozessfähigen IT-Anwendungssystems auf Basis einer durchgängigen Modellierungsmethode.

Integration der Anwendungssysteme

Das Produktdatenmanagement bildet das Rückgrat des „Datenbackbones“ eines Unternehmens [SE01]. Traditionell bezieht es dabei schwerpunktmäßig die technischen Informationssysteme, wie z. B. CAD, CAM oder CAx, ein. Die aktuellen Anforderungen an PDM-Systeme, insbesondere im Hinblick auf ein möglichst vollständiges digitales Abbild des Gesamtprozesses, machen es jedoch zwingend notwendig, auch die kommerziellen Informationssysteme (ERP) in dieses Rückgrat zu integrieren. In der Theorie besteht derzeit noch keine einheitliche Sichtweise

darüber, wie dies zu tun ist. Die Lösungsansätze reichen von einer schnittstellenhaften Anbindung der kommerziellen Systeme an das PDM-System bis hin zu einer Integration der PDM-Funktionalitäten in die ERP-Systeme. Die Erfahrungen aus den gescheiterten CIM-Bemühungen der 80er Jahre zeigen, dass eine umfassende systemtechnische Integration kaum zu realisieren ist. Es gilt die einzelnen Systeme methodisch zu integrieren, d. h. über ein gemeinsames logisches Datenmodell abzubilden, und damit die Grundvoraussetzung für ein durchgängiges Produktdatenmanagement zu schaffen. Die bestehenden Methoden zur integrierten Modellierung von Produkt- und Prozessdaten sind dementsprechend nur anwendbar, wenn sie in gleicher Weise ERP-Funktionalitäten abbilden können.

2.2.2 Komplexitätsbewertung

Die reine Kenntnis über Existenz und Ausmaß der Komplexität ist für zielgerichtete Managementaktivitäten nicht ausreichend. Es benötigt zusätzlich ein betriebswirtschaftliches Instrumentarium, das in der Lage ist, eine fundierte Entscheidungsunterstützung bei den sehr vielschichtigen und umfassenden Komplexitätsmanagementaufgaben zu liefern [BS98, BSS97]. Aufgrund der oftmals ganzheitlichen Problemstellungen im Bereich des Komplexitätsmanagements ist es unabdingbar, alle betriebswirtschaftlichen Teildisziplinen übergreifend einzubeziehen [BS98].

Dem Controlling als erste Instanz der Entscheidungsunterstützung kommt dabei eine zentrale Rolle zu. Die Kernfunktion des Controllings, die Kostenrechnung, muss die Auswirkungen von Komplexität hinsichtlich Kosten und Nutzen quantifizierbar machen. Die überwiegend in der deutschen Unternehmenspraxis noch benutzte klassische Kostenrechnung zeigt dabei erhebliche Defizite [BS98, Ker02, Sch98].

Klassische Kostenrechnungssysteme (als Voll- wie auch Teilkostenrechnung) wurden für eine Welt entwickelt, in welcher Einzel- bzw. variable Kosten gegenüber Fix- und Gemeinkosten dominierten [BS98, Ker02]. Im Verlauf der Zeit wurde jedoch der Anteil an Fix- und Gemeinkosten immer größer, so dass diese Systeme aktuell nur eine begrenzte Aussagefähigkeit besitzen. Dies gilt in gleicher Weise bei der Betrachtung von Komplexitätsmanagementproblemen, deren Kosteneffekte schwerpunktmäßig im Bereich der Fix- und Gemeinkosten wirksam werden.

Die Problematik der veränderten Kostenanteile führte bereits in den achtziger Jahren zu einer intensiven Diskussion alternativer Kostenrechnungssysteme. Insbesondere die aus dem amerikanischen Activity Based Costing hervorgegangene Systematik der Prozesskostenrechnung erlangte seither ein starkes theoretisches Interesse. Die Prozesskostenrechnung basiert im Gegensatz zu Voll- und Teilkostenrechnung auf einer prozessualen Kostenzurechnung und ist damit in der Lage,

Gemeinkosten je nach Granularität der zugrunde gelegten Prozessschritte genauer zu erfassen. Der „Kostenverzehr“ einzelner Prozessschritte wird dabei über die sog. Kostentreiber differenziert.

Obwohl die Prozesskostenrechnung in der Theorie sehr konträr diskutiert wird und ihre praktische Umsetzung eher sporadisch stattfindet, so erlangt das Konzept durch die Ansätze des Komplexitäts- bzw. Variantenmanagements eine zusätzliche Relevanz. Für viele Experten ist die Prozesskostenrechnung der zentrale Ansatz, um die Auswirkungen von Komplexität auf Produkte wie auch auf Prozesse durchgängig bewertbar zu machen. Aus der Sicht des Komplexitätsmanagements gilt es daher, die Sinnhaftigkeit und die Akzeptanz der Prozesskostenrechnung neu zu definieren bzw. zu erhöhen. Es müssen die Hemmnisse beseitigt werden, die in der Vergangenheit zu der geringen Anwendung und der methodischen Kritik geführt haben. Dies sind vor allem:

- keine Integration in Prozessmodellierungs- und Reengineering-Aktivitäten,
- wenig Transparenz der Wirkzusammenhänge,
- keine Ressourcenorientierung.

Die Prozesswelt als zentrale Grundlage der Prozesskostenrechnung ist vielen Rechnungswesenssystemen aufgrund ihrer strikten Trennung zu technischen Informationssystemen gänzlich unbekannt, so dass die sinnvolle Abbildung von Prozesskosten durch die unterschiedlichen Systemwelten sehr aufwendig ist. An dieser Stelle schließt sich der Kreis zu der im Rahmen der Komplexitätsabbildung genannten Integration von technischen und kommerziellen Informationssystemen. Mit der Schaffung eines durchgängigen Prozess- und Produktdatenmodells und der gleichzeitigen Einbeziehung spezifischer Controllinginformationen würde die Anwendung der Prozesskostenrechnung erheblich vereinfacht werden.

Die derzeitige Ausrichtung des Controllings im Zusammenhang mit einer Komplexitätsbewertung fokussiert sehr stark auf die Produktentwicklungsphase. Dies ist auch insofern richtig, als das in dieser frühen Phase die Entscheidungen über die wesentlichen Kostengrößen getroffen werden (vgl. Bild 2-4). Zu diesem Zweck wurde beispielsweise ein Hauptaugenmerk auf die entwicklungs- bzw. konstruktionsbegleitende Kalkulation gelegt.

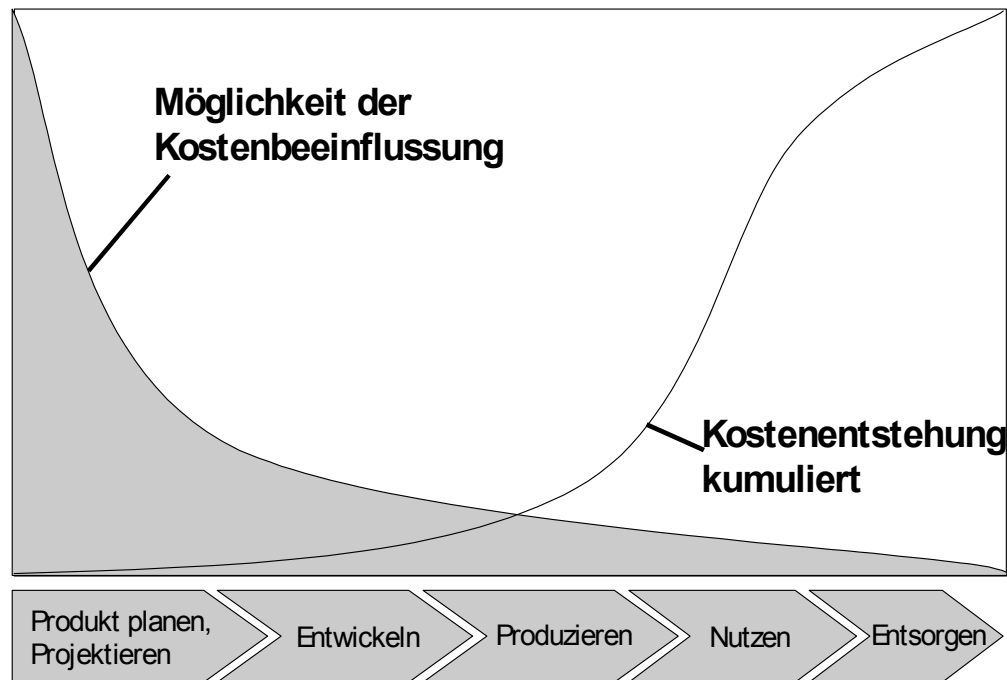


Bild 2-4: Kostenwirkung/Kostenbeeinflussung [EKL00]

Um ein durchgängiges Komplexitätscontrolling durchzuführen, ist es jedoch auch notwendig, die Phase der Kostenentstehung zu berücksichtigen. Dies begründet sich zum einen in ihrer Funktion als Kontrollinstanz, d. h., ob die zugrunde gelegten Kosten auch tatsächlich in Art bzw. Höhe eingetreten sind, und zum anderen als Lieferant von Prozessinformationen, also Informationen darüber, inwieweit bestimmte Varianten möglicherweise zu Zusatzkosten im Prozess geführt haben. Das Wissen und die Erfahrung inwieweit bestimmte Komplexitätsentscheidungen Auswirkungen auf die drei Erfolgsfaktoren Kosten, Zeit und Qualität im Produktionsprozess besitzen, ist im hohen Maße in den Köpfen und in den Systemen der Prozessbeteiligten vorhanden. Die Dokumentation von Erfahrung und Wissen sowie deren Nutzbarmachung in Form von wissensbasierten Systemen ist eine der zentralen Herausforderungen des integrativen Maschinenbaus und die Zielsetzung bei der Weiterentwicklung industrieller Produktionssysteme [SN97, Spu97].

Ziel muss es daher auch im Rahmen des Komplexitätscontrollings sein, eine methodische Grundlage zu schaffen, die in der Lage ist, kostenrelevantes Wissen und Erfahrungen zielgerichtet zu konservieren und prozessübergreifend zur Verfügung zu stellen. Darauf aufbauend ist ein integratives Instrumentarium zu installieren, mit dem begleitend zum Produktlebenszyklus die Komplexität der Produkte und der Prozesse gesamtheitlich geplant, bewertet und beurteilt werden kann.

Controlling wird dagegen in vielen Unternehmen nach wie vor als „Kostenkontrollfunktion“ verstanden. Das eigentliche Ziel des Controllings, nämlich die aktive Beeinflussung des zukünftigen Unternehmensgeschehens mit Hilfe weit rei-

chender Planungs- und Simulationsfunktionen, findet in der Praxis nur selten Anwendung. Zudem ist die Reduzierung der Betrachtungsweise auf die reine Kostendimension aus heutiger Sicht nicht mehr zeitgemäß, denn Unternehmen agieren in einem von den drei Begriffen Qualität, Kosten und Zeit aufgespannten Zielgeflecht, das es möglichst optimal auszugestalten gilt. Das Zeitalter der Optimierung einer einzelnen, kardinalen Zielgröße ist damit endgültig vorbei. In der Praxis existieren bereits einige Ansätze, wie z. B. die Balanced Score Card, die es erlauben, die Erreichung quantitativer wie auch qualitativer Ziele messbar zu machen und zu visualisieren. Die Abhängigkeiten zwischen den Zielen bleiben aber dennoch weitgehend unberücksichtigt.

Allgemein lässt sich feststellen, dass sich die Trends aus den technischen Disziplinen, wie z. B. digitale Fabriken oder Simulationstechniken kaum auf mögliche Anwendungsfelder im Bereich der betriebswirtschaftlichen Funktionen auswirken. Erst nach und nach wächst die Erkenntnis, dass sich viele der entwickelten Techniken durchaus auch bei betriebswirtschaftlichen Problemstellungen einsetzen bzw. sich um betriebswirtschaftliche Sichtweisen sinnvoll erweitern lassen. Das Aufstellen von Kostenmodellen, quasi als digitales kostenrechnerisches Abbild der Fabrik, und die Simulation entsprechender Kostenszenarien könnte bezüglich einer exanten Betrachtung von Entscheidungsproblemen gerade im Bereich des Komplexitätsmanagements eine große Hilfestellung bieten.

Die Fähigkeit eines Unternehmens zukünftige Entwicklungen einerseits zu antizipieren, möglicherweise sogar aktiv mitzugestalten und andererseits zukunftsrobuste Strategien zu entwickeln, ist der zentrale Meilenstein für den Wechsel zu einer vorausschauenden und damit erfolgreichen Planung [GEK01].

2.2.3 Komplexitätsentscheidung

Entscheidungen, die die Komplexität beeinflussen, werden in Unternehmen durch die übergreifende Wirkung der Komplexität an sehr vielen unterschiedlichen Stellen getroffen. Eine Veränderung der Organisationsstruktur hat beispielsweise ebenso eine komplexitätsbeeinflussende Wirkung wie die Entscheidung über ein neues Produkt. Komplexitätsmanagement ist Führungsaufgabe, das heißt, dass die strategische Ausrichtung des Unternehmens den Handlungsrahmen bildet, in dem es gilt, das Thema Komplexität zu verankern und dann entsprechend zu operationalisieren. Vor dem Hintergrund ihrer zentralen Bedeutung geht es dabei insbesondere um die Entscheidungen der Produktvielfalt, die mit Hilfe eines strategischen und operativen Variantenmanagements getroffen werden sollen.

Strategisches Variantenmanagement

Das strategische Variantenmanagement definiert die grundlegende Positionierung eines Unternehmens in Bezug auf die angebotene Produktvielfalt [Rat93]. Abhängig von der gewählten Strategie des Unternehmens, wie z. B. Kostenführerschaft oder Differenzierung, ist eine entsprechende Variantenstrategie zu entwickeln. Ziel ist es, mit den beiden Bausteinen Produktdefinition und –standardisierung sowie der variantengerechten Gestaltung der Produktion, die Produkt- und Produktionsstrukturen möglichst variantengerecht zu optimieren [FF+02]. Die Entscheidungen des strategischen Variantenmanagements beziehen sich vor dem Hintergrund des Produktentstehungsprozesses auf eine sehr frühe Phase, beispielsweise bei der Festlegung des strategischen Produktionsprogramms. Die Vorgabe des Komplexitätsgrades erfolgt durch die Unternehmensführung, die Entscheidung, mit welchen konkreten Varianten der Variantenrahmen ausgefüllt wird, ist dann die Aufgabe der Funktionsbereiche [AJ98].

Operatives Variantenmanagement

Im Rahmen der Umsetzung der Variantenstrategie werden für die dezentralen Entscheidungsträger operationale Zielsetzungen formuliert [AJ98]. Wichtig ist die Unterstützung durch entsprechende Controllinginstrumente, wie z. B. durch verursachungsgerecht ermittelte Kosteninformationen [Wil00, BSS97]. Das operative Variantenmanagement, vor allem der exogenen Komplexität, findet in Unternehmen zumeist durch den Vertrieb und in Form zusätzlicher Varianten statt, ohne dass die gesamtheitlichen Folgen der Variantenvielfalt auch nur annähernd bekannt sind. Die häufigen Änderungen des Produktes schlagen sich im Produktentstehungsprozess in einem umfangreichen Anlauf- und Änderungsmanagement nieder, das seinerseits versucht, die neuen Bauteile, Varianten usw. möglichst effizient dem Produktionsprozess zuzuführen. Selten werden die Auswirkungen einer Änderung ihrem Nutzen gegenübergestellt, so dass über die Wirtschaftlichkeit nur wenig Aussagen gemacht werden können. Würde beispielsweise jede technische Änderung am Produkt nur dann durchgeführt werden, wenn sie einen positiven betriebswirtschaftlichen Nutzen erbringt, dann wäre damit auch implizit ein Beitrag zur Optimierung der Produktkomplexität verbunden. Das heißt, obwohl zwischen operativen Komplexitätsmanagement und Änderungsmanagement durchaus weit reichende Synergien zu vermuten sind, werden beide Disziplinen vielfach getrennt voneinander eingesetzt.

2.3 Anforderungen

Die Beschreibung der unterschiedlichen Ebenen eines allgemeinen Komplexitätsmanagement liefert folgende Anforderungen an eine Methode zur durchgängigen Modellierung:

Komplexitätsabbildung

A-1: *Semantische Integration*

Die gewählte Methode muss Produkte, Prozesse sowie beliebige weitere Informationsobjekte semantisch integriert abbilden.

A-2: *Durchgängigkeit*

Das Modell muss über alle Phasen des Produktentstehungsprozesses anwendbar sein.

A-3: *Vollständigkeit*

Für die Modellierung der verschiedenen Abhängigkeiten zwischen den unterschiedlichen Elementen sind logische, funktionale und physische Verknüpfungen erforderlich, die in der Lage sind, neue Sachverhalte der Produkt- und Prozesswelt, wie z. B. Software- und Mechatronikbelange, gleichberechtigt zu berücksichtigen.

A-4: *Semi-formale Darstellung*

Zur einfachen und anwendungsorientierten Darstellung ist eine semi-formale Beschreibungssprache zu wählen.

A-5: *Detaillierung*

Der Detaillierungsgrad des Modells ist derart zu definieren, dass es die einzelnen Prozessschritte der Produktentstehung über eine methodische Integration systemunabhängig miteinander verbindet.

Komplexitätsbewertung

A-6: *Ganzheitliche Auswirkungsanalyse*

Die Auswirkungen von Veränderungen des aufgestellten Modells müssen erkennbar und analysierbar gemacht werden.

A-7: *Unterstützung komplexitätsbewertender Kostenrechnungsverfahren*

Die Anwendung einer komplexitäts- und änderungsbewertenden Prozesskostenrechnung muss durch das Modell vereinfacht und unterstützt werden.

A-8: *Spezifische Controllingsicht*

Für die zielgerichtete Analyse des Modells ist eine funktionspezifische Controllingsicht vorzusehen, die es erlaubt, auf bestimmte Modellsachverhalte zu fokussieren.

A-9: *Sicherung von Erfahrungen und Wissen*

Das Modell muss in der Lage sein, prozessbegleitend Erfahrungen und Wissen mit Controllingrelevanz aufzunehmen, zu speichern und prozessübergreifend zur Verfügung zu stellen.

A-10: *Vorausschauendes Planungsinstrumentarium*

Für die antizipative Planung gilt es Instrumente bereitzustellen, die es erlauben, per Simulation unterschiedliche Planungsszenarien im Rahmen eines Variantenmanagements abzutesten und zu analysieren.

Komplexitätsentscheidung**A-11: *Operationalisierung des Komplexitätsmanagements durch Einbeziehung des Änderungsmanagements***

Komplexitäts- und Änderungsmanagement müssen auf einem gemeinsamen, gesamtheitlichen Datenmodell basieren und methodisch integriert werden.

3 Stand der Technik: Abbildung, Bewertung und Management von Produkt- und Prozesskomplexität

3.1 Grundlagen

Unternehmen sind sozio-technische Systeme, die sowohl Menschen als auch technische Elemente beinhalten [GF99, BS98]. Sie bestehen in ihrer Gesamtheit aus einer Vielzahl von Elementen und Aktionen sowie einer großen Variabilität, so dass es sich hierbei nach der Komplexitätsdefinition um hochkomplexe Systeme handelt.

Das Kernstück der Unternehmenskomplexität ist die Produktkomplexität [SS01], wobei diese Aussage aufgrund von umfangreichen Wechselwirkungen zwischen Produkten und Prozessen durchaus um die Prozesskomplexität zu erweitern ist. Für die Sichtbarmachung von Komplexität heißt das, dass insbesondere das Produkt und die damit sich in Abhängigkeit befindlichen Prozesse im Mittelpunkt des Interesses stehen.

Das Abbild der realen Produkte und Prozesse findet sich in diversen Partial- wie auch integrierten Modellen im Unternehmen wieder, die vor allem im Rahmen der Umsetzung von IT-Strategien und Reengineering-Konzepten entstanden sind.

Die Basis einer Komplexitätsbetrachtung ist die vollständige Modellierung des zugrunde gelegten Systems [WP97], in diesem Fall also der Produkte und Prozesse sowie deren Zusammenhänge. Es gilt, die bestehenden Produkt- und Prozessmodelle bzw. die entsprechenden Modellierungsmethoden auch mit dem Ziel der Komplexitätsabbildung zu nutzen. Durch die Erkenntnis, dass Produkt- und Prozesskomplexität aufgrund ihrer Wechselwirkungen gemeinsam betrachtet werden müssen, sind die integrativen Modelle von hoher Relevanz.

Die Informationstechnik spielt im Umgang mit hochkomplexen sozio-technischen Systemen eine besondere Rolle. Sie ist einerseits wesentlicher Bestandteil dieser Systeme, kann somit also die Komplexität beeinflussen. Andererseits bietet sie in Bezug auf die Abbildung und das Management von Komplexität entscheidende Lösungsansätze. Eine Betrachtung der Produkt- und Prozesskomplexität ohne eine Berücksichtigung der zugrunde gelegten Informationstechnik erscheint daher wenig sinnvoll.

3.2 Produktmodellierung

3.2.1 Produktstruktur und –daten

Der transparente Aufbau bzw. die Abbildung der Produktstruktur ist nach SCHUH/SCHWENK der erste notwendige Schritt, um die Komplexität zu verstehen und auf Basis dieses Verständnisses zu verändern und zu gestalten. Die Produktstruktur spiegelt dabei die Zusammensetzung eines Erzeugnisses, bestehend aus Komponenten, Baugruppen und deren Strukturbeziehungen, wieder [SS01]. Die wichtigsten Produkt- und Erzeugnisstrukturen in der mechanischen Produktion sind Stücklisten und Verwendungsnachweise (vgl. Bild 3-1) [Hoi93]. Stücklisten werden in den unterschiedlichsten Organisationsbereichen entlang des Produktentstehungsprozesses eingesetzt, so u. a. [BB+97]:

- in der Produktentwicklung /-konstruktion aus konstruktiven und fertigungstechnischen Zwecken,
- in der Arbeitsvorbereitung zur Fertigungsablaufplanung,
- in der Materialdisposition zur Bedarfsmengenplanung,
- in der Fertigungssteuerung zur Verfügbarkeitskontrolle,
- im Controlling zur Produktkalkulation und
- im Kundendienst im Rahmen der Servicefunktionen.

Je nach Zielsetzung und Anforderung des einzelnen Bereiches werden Stücklisten z. B. als Konstruktionsstücklisten, Dispositionsstücklisten usw. bezeichnet, deren Hauptunterschiede in der Art und Aufbereitung der Stücklisteninformationen liegen. Im Unterschied zu dem analytischen Aufbau der Stücklisten, der alle für ein bestimmtes Erzeugnis notwendigen Baugruppen und Einzelteile ausweist, handelt es sich bei den Teilverwendungsnachweisen um eine synthetische Strukturierungsform. Synthetische Strukturierung heißt, dass für ein bestimmtes Teil erkennbar ist, in welchen Baugruppen oder Endprodukten es enthalten ist.

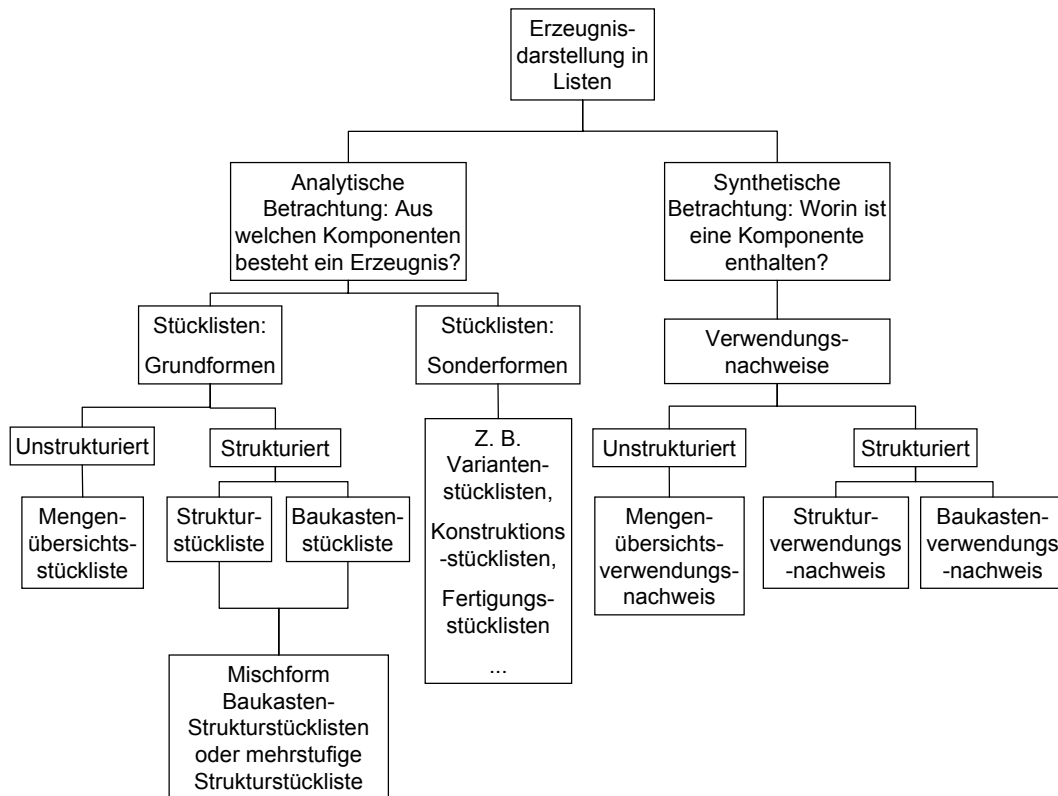


Bild 3-1: Übersicht über Stücklisten und Verwendungsnachweise [Zäp01 ergänzt]

Variantenstücklisten werden vor allem in solchen Produktionsbetrieben (z. B. in der Automobilindustrie) eingesetzt, die neben einem Grundtyp eines Produktes eine Vielzahl von Varianten herstellen, die sich in ihrer strukturellen Zusammensetzung kaum voneinander unterscheiden [Hoi93]. Beispiele für Variantenstücklisten sind Gleichteile- und Plus/Minus-Stücklisten [SS01]. Eine Sonderform der Variantenstückliste ist die von SCHUH entwickelte Variantenbaumstruktur, die eine Kombination einer fertigungs- und variantenbezogenen Sichtweise darstellt (vgl. Bild 3-2). Basis bildet dabei ein Grund- oder Trägerbauteil, an welches alle weiteren Anbauteile mit diesem durch Linien verbunden sind [SS01]. Durch die Ordnung der Anbauteile entsprechend ihrer Montagereihenfolge und der Darstellung der nach jedem Teilvorgang erreichten Baugruppenvielfalt entsteht der sog. Variantenbaum [SS01].

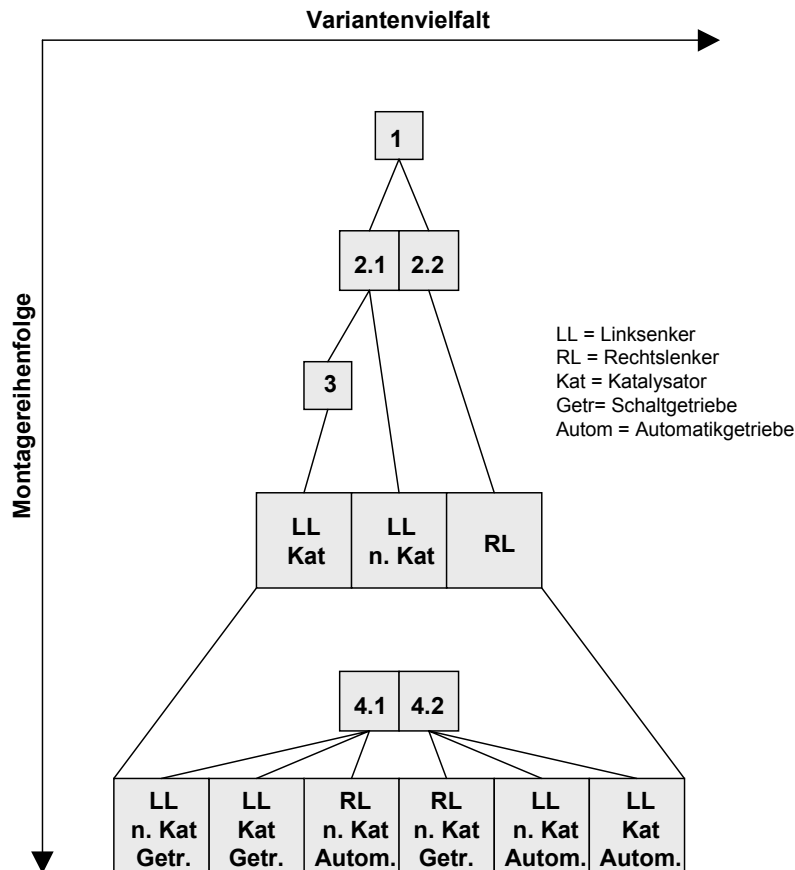


Bild 3-2: Variantenbaum nach SCHUH am Beispiel PKW [Sch89]

Stücklisten und Verwendungsnachweise beinhalten als Basis der Produktstrukturabbildung einen wesentlichen Teil der Stamm-/Strukturdaten eines Produktes in Form von Komponentenstammsätzen (z.B. Rohstoffe, Teile und Baugruppen) und deren Strukturverknüpfungen. Die Stammdaten werden durch die sog. Bewegungsdaten, wie z. B. aktuelle Lagerbestände oder konkrete Kundenaufträge, ergänzt. Im Verlauf des Produktlebenszyklus werden in den einzelnen Prozessschritten eine Vielzahl von Stamm- und Bewegungsdaten erzeugt und verarbeitet.

3.2.2 Produktdatenmanagement

3.2.2.1 CIM als Ausgangspunkt für das Produktdatenmanagement

Computer Integrated Manufacturing (CIM) bezeichnet die computergestützte Integration der Informationsverarbeitung in allen mit der Leistungserstellung zusammenhängenden Bereichen [Zäp01, Ste91]. Die Integration umfasst dabei neben den technischen Aufgaben der Leistungserstellung, die beispielsweise durch die CAD-, CAP- oder CAM-Systeme wahrgenommen werden, auch die durch die

PPS-Systeme realisierten betriebswirtschaftlichen Aufgabenstellungen (vgl. Bild 3-3). Die CIM-Strategien repräsentieren vor allem technikzentrierte Produktions- und Logistikkonzepte [Zäp01], d. h., sie versuchen über eine technische Daten- und Funktionsintegration einerseits die redundante Datenhaltung zwischen den betriebswirtschaftlichen und technischen Systemen zu reduzieren („Datenintegration“) und andererseits die vorherrschende stark funktionale Arbeitsteilung prozessorientiert zu bündeln („Funktionsintegration“) [Kur99].

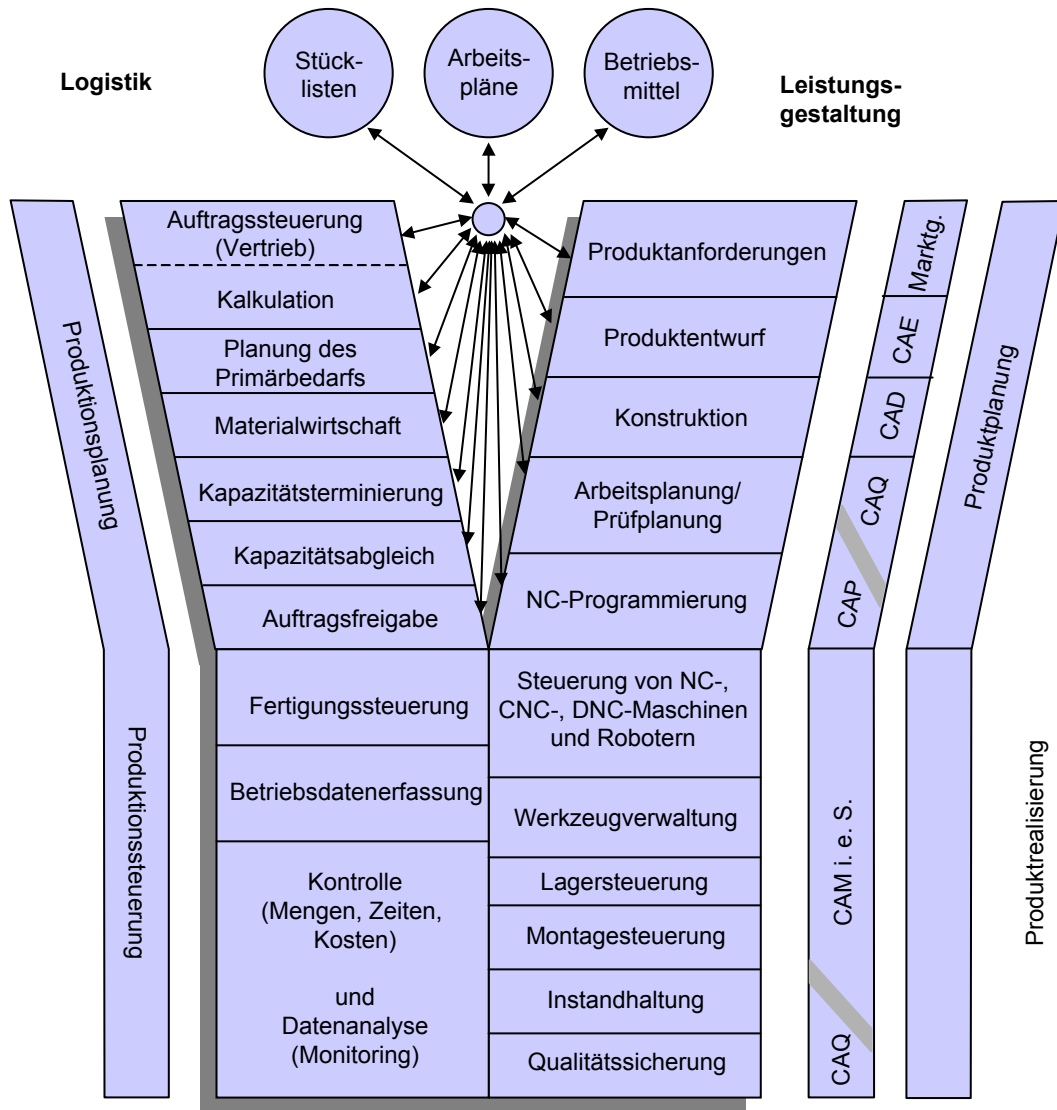


Bild 3-3: CIM-Komponenten [Sch97]

Der Erfolg oder Misserfolg von CIM-Strategien wird in der Theorie sehr konträr diskutiert. Während einige Experten davon ausgehen, dass der momentane Trend des Produktdatenmanagements eine logische Folge bzw. ein Bestandteil der CIM-Aktivitäten darstellt [Kur99], sprechen andere von einem Misserfolg [Zäp01,

GF99] und sogar von einem Scheitern der CIM-Strategien [Sch99]. Gründe für das Scheitern waren u. a. [Sch99, Kur99]:

- Modularer Aufbau der Anwendungssysteme innerhalb des kommerziellen Informationssystems und damit fehlende Datenintegrationsbasis.
- Die fehlende Fähigkeit der kommerziellen Informationssysteme, technische Daten abzubilden.
- Das Automatisierungsbestreben von CIM widerspricht der Verschlan-
kung der Produktion („Lean Production“) und anderen Managementstra-
tegien, z. B. der Dezentralisierung der Produktion durch teilautonome
Gruppen.
- Hohe Kosten, lange Einführungsdauern, vielfältige technische Probleme.

Festzuhalten bleibt, dass der CIM-Gedanke mit seiner im Ursprung technischen Integration ohne eine Einbeziehung organisatorischer und verhaltensbezogener Gesichtspunkte nicht den gewünschten Erfolg bringt. Der Ansatz, der aus diesem Missstand hervorging und die technische aber auch insbesondere die organisatori-
sche Integration aller produktbeschreibenden Daten als Zielsetzung verfolgt, ist
der des Produktdatenmanagements [Kur99].

3.2.2.2 Definition und logische Struktur von PDM

EIGNER und STELZER definieren Produktdatenmanagement als „Management des Produkt- und Prozessmodells mit der Zielsetzung, eindeutige und reproduzierbare Produktkonfigurationen zu erzeugen“. Das Prinzip von PDM ist dabei, die CAX-Informationeninseln zu verknüpfen und die Produktentwicklung mit voll-
kommen rechnergesteuerten Prozessen zu realisieren, durch die Schritt für Schritt
ein virtuelles Produktmodell entsteht, das alle produkt- und produktionsbeschrei-
benden sowie produktionssteuernden Daten enthält [Sch99].

In Theorie und Praxis werden häufig die Begriffe PDM und EDM (Engineering-
Data-Management) synonym verwendet¹, wobei PDM am gebräuchlichsten ist
[Kur99]. Daneben existieren zahlreiche, teilweise systemherstellerspezifische
Begriffe und Abkürzungen wie z. B. TIM (Technisches Engineering Database)
und CPC (Collaborative Product Commerce), die aber prinzipiell das gleiche
Konzept bezeichnen [GEK01].

Der Grundansatz der PDM-Technologie ist die methodische Integration aller not-
wendigen Informationssysteme über ein gemeinsames, integriertes Produkt- und
Prozessdatenmodell (vgl. Bild 3-4), das als Metastruktur für die zu verknüpfenden

1. Die vorliegende Arbeit verwendet den Begriff „PDM“.

Partialmodelle fungiert und die Produktstrukturen sowie den Entwicklungsprozess abbildet [GEK01].

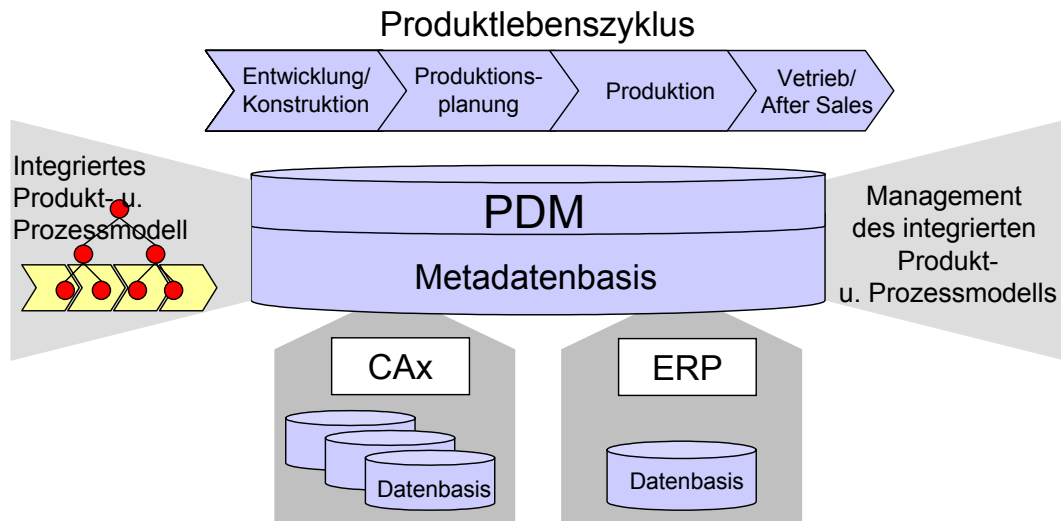


Bild 3-4: Integriertes Daten- und Prozessmanagement (nach [AG96, GEK01])

Metadaten sind beschreibende, klassifizierende, attributive Daten zu Dokumenten und werden innerhalb von Datenbanken verwaltet [AG96]. Sie verweisen auf Dateien, welche die jeweiligen Dokumente bzw. Modelldaten enthalten [AG96]. Die Dateien beschreiben ein digitales, mit einem funktionsorientierten Anwendungssystem erstelltes Modell eines Produktes bzw. Dokumentes (z. B. CAD- oder Textdatei) [Abr96a].

Objektmodell

Die wichtigsten Objektklassen des Metadatenmodells sind Produkte, Dokumente, Mitarbeiter, Projekte und Prozesse (vgl. Bild 3-5) [Abr96b].

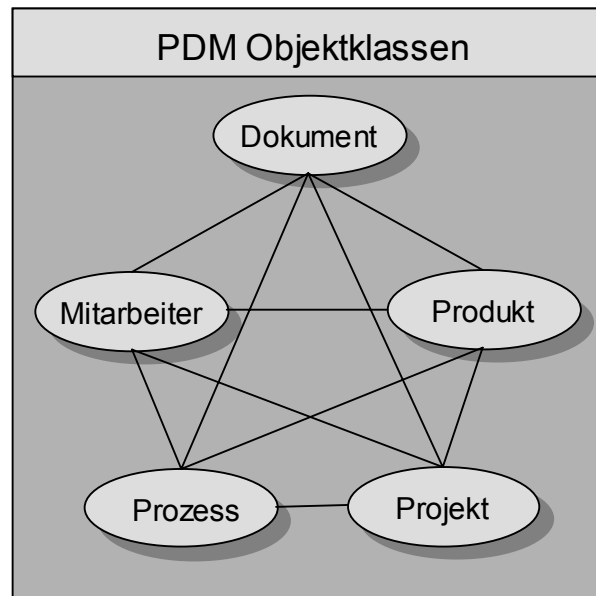


Bild 3-5: PDM-Objektklassen [Abr96a]

Jede Objektklasse kann wiederum aus Unterklassen bzw. Instanzen bestehen. Ihre Elemente sind über Beziehungen mit beliebigen Elementen anderer Objektklassen verknüpfbar. Darüber hinaus ist es möglich, Informationsflüsse und Prozessabläufe in Form gerichteter Graphen abzubilden bzw. diese mit Objekten des Metadatenmodells zu verknüpfen. [Abr96a].

3.2.2.3 Durchgängigkeit von PDM

Der Ursprung des Produktdatenmanagements liegt im Umfeld der CAD-Systeme. Sie hatten die Aufgabe, die in der Konstruktion stark wachsende Zahl von CAD-Dateien effektiv zu handhaben. D. h., die Funktion der PDM-Systeme war anfänglich auf das Management und die Archivierung von CAD-Daten beschränkt [Mä96]. Der Funktionsumfang hat sich seither in der Anwendungsbreite wie auch –tiefe vervielfacht. ABRAMOVICI und SIEG sprechen in diesem Zusammenhang von einer kontinuierlichen und wellenartigen Weiterentwicklung der PDM-Technologie, deren wesentliche Schritte die Einbeziehung bzw. das Management von Produktstrukturen und Prozessen sowie die Ausweitung des Konzeptes auf den gesamten Produktlebenszyklus waren [AS01].

Die Durchgängigkeit von PDM hängt neben der bereits beschriebenen methodischen Integration von den technischen Möglichkeiten der vorherrschenden IT-Infrastruktur ab. Um Daten prozessübergreifend zur Verfügung zu stellen, ist es notwendig, die entsprechenden Informationen aus den jeweiligen externen Applikationen in das PDM-System zu laden oder ausgehend von einem PDM-System auf die Datenbestände externer Applikationen zuzugreifen. Die Formen der Anbindung unterscheiden EIGNER und STELZER in Launching, Kopplung und Integration [ES01]. Das Launching als einfachste Form der Anbindung nutzt insbesondere die leistungsstarke Recherchefunktion des PDM-Systems, um die dann ausgewählten Dokumente im Erzeugersystem zu starten. Die Kopplung benutzt das Application Program Interface (API) des Erzeugersystems, um vom PDM-System Zugriff auf die Daten der externen Anwendung zu erhalten, d. h., entsprechende Daten auszuwerten und auch zu ändern. Die Integration lässt dann als „erweiterte“ Form der Kopplung einen beidseitigen steuernden Einfluss auf das jeweils andere System zu. So kann beispielsweise ein CAD-Nutzer auf PDM-Funktionen zugreifen ohne sein vertrautes System verlassen zu müssen.

Wichtiger Integrationspunkt ist aus Sicht eines durchgängigen PDM-Systems zum einen die bessere Verzahnung mit der CAD-Welt und zum anderen die Anbindung der betriebswirtschaftlich-planerischen Systeme. Art und Umfang der technischen Integrationen sind nicht zuletzt von der gewählten IT-Strategie abhängig.

3.2.2.4 Integration von Geometriedaten

Geometriedaten liegen heutzutage zu fast 100 Prozent in Form elektronischer CAD-Daten vor [GEK01]. Die sog. 2D-Daten bilden dabei den Schwerpunkt [GF99]. 2D-Daten entstehen im Zusammenhang mit der rechnergestützten Zeichnungserstellung [GF99]. Insbesondere im Bereich der Luftfahrt- und Automobilindustrie sowie deren Zulieferindustrie haben sich jedoch 3D-CAD-Systeme weitestgehend durchgesetzt [SK97]. 3D-Modelle bilden gemeinsam mit der im PDM vorhandenen Produktstruktur die Basis für eine integrierte, rechnergestützte Produktentwicklung im Sinne eines digitalen Mock-Up bzw. eines virtuellen Prototypen [GEK01]. CAD-Systeme nehmen innerhalb der mit PDM-Systemen gekoppelten Systeme den weitaus größten Bereich ein [ES01].

Die beidseitig abbildbaren Funktionalitäten können zwischen PDM- und CAD-Systemen unterschiedlich verteilt sein. Die in CAD eingebundenen PDM-Funktionen beziehen sich vor allem auf das immer komplexer werdende Handling der CAD-Objekte, während PDM-Systeme eher übergreifende und verwaltungsbezogene Aufgaben wahrnehmen [Eig97]. Die Kernaufgabe einer entsprechenden PDM/CAD-Schnittstelle ist es, die Arbeitsergebnisse des CAD-Systems mit den zur Verfügung stehenden Geschäfts- und Datenobjekten auf das PDM-

Datenmodell abzubilden [Sch99]. SCHÖTTNER unterteilt die Funktionalität eines CAD-Interfaces in vier Blöcke [Sch99]:

- Handhabung der Ansichten und Modelle von Teilen und Baugruppen
- Handhabung der Masterzeichnung
- Handhabung der Zeichnung
- Aufbau/Ergänzung von Produktstrukturen

Die Realisierung der PDM-/CAD-Interfaces erfolgt über verschiedene Schnittstellenformate, für die sich in den vergangenen Jahren eine Reihe von Standards und Normen durchgesetzt haben [AGL98]. Als Beispiele seien an dieser Stelle die Ansätze STEP², IGES³ und VDA-FS⁴ genannt, von denen der STEP-Ansatz im 3D-Geometriebereich als sehr leistungsfähig eingeschätzt wird [Mus00, Kre96]. STEP ist nicht nur eine Norm zur Beschreibung aller produktdefinierenden Daten, sondern bietet gleichzeitig eine integrierte Beschreibungssprache (EXPRESS bzw. EXPRESS-G) für Produktdatenmodelle an [BD+97, Gen95].

Im Unterschied zu den genannten Schnittstellenstandards, die den Datenaustausch im Offline-Verfahren durchführen, steht das Konzept des PDM-Enablers, das auf eine Initiative der Object Management Group (OMG) zurückgeht [ES01]. Die Zielsetzung der OMG ist die Definition standardisierter Systemschnittstellen, mit denen verschiedene Systeme über die Rahmenarchitektur CORBA⁵ kommunizieren, d. h., gegenseitig Systemfunktionen aufrufen und Daten austauschen [GEK01].

3.2.2.5 Integration von betriebswirtschaftlich-planerischen Informationen

Die Integration von betriebswirtschaftlichen-planerischen Funktionen in Form bestehender ERP-/PPS-Systeme ist neben der CAD-Kopplung die zweite wichtige Schnittstelle eines PDM-Systems [Bro99]. Die Schnittstelle muss derart gestaltet sein, dass die Teilvorgänge Produktentwicklung und Produktherstellung auf informationstechnischer Basis zu einem durchgängigen Geschäftsprozess „Produktentstehung“ verschmelzen [Sch99]. Oftmals liegen Funktionen redundant vor, da viele ERP-Systemanbieter in den letzten Jahren zunehmend ihre Systeme mit

-
2. STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data) ist in der ISO 10303 festgeschrieben.
 3. IGES (Initial Graphics Exchange Specification) wurde erstmals 1980 in den USA publiziert und ist heute als ANSI-Standard definiert [BD+97].
 4. VDA-FS ist das sog. Flächen-Schnittstellen-Format (FS), das vom Verband der deutschen Automobilindustrie zum Austausch von Flächen und Kurven initiiert und in der DIN 66301 festgeschrieben wurde [BD+97].
 5. CORBA (Common Object Request Broker Architecture) erlaubt es als sog. Middleware verschiedene Systeme mit unterschiedlichen APIs (Application Program Interfaces) in einer verteilten Umgebung einzubinden [ADJ00].

PDM-Funktionalitäten ausgestattet haben [ES01]. Es muss im Rahmen der Umsetzung eines PDM-Konzeptes unwillkürlich die Frage beantwortet werden, ob bestimmte Funktionen nicht gleich durch das bereits vorhandene ERP-System bearbeitet werden können oder ob ein dezidiertes PDM-System für diesen Zweck sinnvoller ist [LM99]. Je nach Beantwortung dieser Frage ist nach LERMER/MUSCHIOL ein monolithisches ERP-System genauso möglich wie ein komponentenbasierter Ansatz, der ein ERP-System für die Produktherstellung und ein PDM-System für die Produktentwicklung beinhaltet [LM99].

EIGNER/STELZER definieren aus Sicht des Produktdatenmanagements drei mögliche Varianten der Aufgabenteilung zwischen PDM- und ERP-Systemen [ES01]:

- **PDM-System mit maximaler Funktionalität:** Das PDM-System enthält sämtliche technische Daten, wie auch Konstruktions- und die daraus abgeleitete Fertigungsstückliste. Die Fertigungsstücklisten werden für die weitere Fertigungsplanung und –steuerung als 1:1 Kopien an das ERP-System übertragen.
- **Verteilte Verantwortung zwischen PDM und ERP:** Im Gegensatz zur Variante 1 wird hier die Fertigungsstückliste ausschließlich im ERP-System gehalten. Zu diesem Zweck wird aus dem PDM-System eine Kopie der Fertigungsstückliste an das ERP-System übergeben.
- **PDM-System mit minimaler Funktionalität:** Das PDM-System übernimmt lediglich die Ablage der Produktmodellstrukturen und bleibt damit das zentrale Verwaltungssystem für alle CAD-relevanten Daten. Alle anderen Daten, inklusive Konstruktions- und Fertigungsstückliste werden hingegen im ERP-System verwaltet.

Voraussetzung für die vorgenommene Einteilung ist jedoch, dass die aus der Modellstruktur des CAD-Systems gewonnene maximale Stückliste im PDM-System gehalten wird [ES01].

Je nach gewählter Aufgabenteilung zwischen PDM- und ERP-Systemen differiert die Komplexität der zu installierenden Schnittstellen. Die entsprechende Realisierung der Interfaces folgt den Standards der CAD-Integration (vgl. Kapitel 3.2.2.4).

3.2.2.6 Änderungswesen

Die Abbildung von Änderungen, d. h. die Dynamisierung des Produktmodells ist eine der zentralen Aufgaben des Produktdatenmanagements und insbesondere des Konfigurations- und Life-Cycle-Managements [ES01]. Dabei geht es weniger um die gesamtheitliche Betrachtung von technische Änderungen (dies ist Inhalt des Kapitels 3.6), sondern um deren DV-technische Abwicklung und Verwaltung. So

werden beispielsweise während der Produktentwicklung und –fertigung mehrere Versionen eines Produktes zur schrittweisen Konstruktionsoptimierung angefertigt, die dann entsprechend vom PDM-System als alternative Lösungen innerhalb der Produktstruktur registriert werden müssen [Fau96]. WILDEMANN beschreibt die Informationstechnologie und damit die PDM-Systeme als einen Enabler für ein ganzheitliches Änderungsmanagement [Wil02]. Der Aufbau eines vollelektronischen Änderungswesens ist laut Aussage von KAISER und BERNINGER oberstes Ziel bzw. wichtigste Anforderung an ein ganzheitliches Änderungsmanagement [KB00].

Aus seinen drei Grundfunktionen Produktdaten- und Dokumentenmanagement, Prozessmanagement und Integration der Anwendungssysteme unterstützt das Produktdatenmanagement ein ganzheitliches Änderungsmanagement vor allem durch das Produktdaten- und Dokumentenmanagement und durch das Prozessmanagement.

Produktdaten- und Dokumentenmanagement

Das Produktdaten- und Dokumentenmanagement beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der Zuordnung von beliebigen DV- oder manuell erzeugten Dokumenten, wie z. B. 2D-Zeichnungen, 3D-Modellen, Text-Dokumenten oder Berechnungsergebnissen, zu Produktstamm- und –strukturdaten [Eig97]. Im Falle einer Änderung⁶ können so im Rahmen des Produktdaten- und Dokumentenmanagement die eventuellen Einflüsse der Modifikationen auf andere Produktinformationen ermittelt werden [Sch99]. Die Dokumente mit ihren Änderungszuständen werden mit Hilfe des sog. Freigabewesens zur weiteren Nutzung bzw. Bearbeitung im Sinne eines bestimmten Freigabestatus freigegeben [ES01]. Mit dem Freigabestatus sind bestimmte Bearbeitungsmöglichkeiten vorgegeben. So bedeutet beispielsweise der Freigabestatus „Konstruktionsfreigabe“, dass die erzeugnis-spezifischen Dokumente von der Entwicklung/Konstruktion an die Fertigungsplanung übergeben werden [ES01]. Änderungs- und Freigabewesen sind eng miteinander verbunden und werden auch als Versionsmanagement bezeichnet [Eig97].

Prozessmanagement

Das Prozessmanagement ist das zweite Kernelement der PDM-Funktionalitäten und wird häufig auch als Workflow-Management bezeichnet [Sch99]. Es umfasst u. a. die Beschreibung der Workflows, die Kontrolle von Informationsflüssen und Prozessabläufen und ist damit für das Freigabe- und Änderungswesen maßgeb-

6. Unter einer Änderung ist in diesem Zusammenhang stets eine Versionierung zu verstehen [ES01].

lich [AG96]. Das Prozessmanagement bettet die Objekte des Produktdaten- und Dokumentenmanagements in den gesamten Änderungsprozess ein und beschreibt wer wann was zu tun hat, um einen Änderungsantrag komplett zu bearbeiten [ES01]. Änderungsprozesse lassen sich auf Basis des Prozessmanagements im PDM wirtschaftlich, effizient und ohne Papierflut sowie ohne lange Liegezeiten abbilden [Sch99].

3.2.2.7 Umsetzungsstand und Entwicklungsfokus

Die Anzahl der PDM-Anwender nimmt in allen Branchen ständig zu [Abr96a]. Der PDM-Markt zeichnet sich durch hohe Zuwachsraten von über 20 Prozent aus, wobei die Anwendungsbreite der PDM-Technologie in der Industrie mit schätzungsweise weniger als 20 Prozent eher gering ist [AS01]. Vor allem kleine und mittlere Unternehmen sind bezüglich der Nutzung von PDM-Systemen verunsichert, da beispielsweise viele Hersteller von PPS-/ERP-Systemen mittlerweile PDM-Funktionalitäten anbieten [Wen99].

Die PDM-Umsetzung selber beschränkt sich bei einem großen Teil der Unternehmen auf die Verwaltung von CAD-Daten und elektronische Archivierung vormals konventionell gehaltener Daten [Abr96a]. Neuere PDM-Installationen umfassen auch das Management von Produktstrukturen, den Einsatz von Klassifizierungssystemen mit entsprechenden Suchfunktionen sowie Dokumentenverteilung mit Visualisierung oder Konvertierung ins Dateiformat des Zielsystems [Abr96a].

Neue Funktionalitäten lassen in Zukunft eine stärkere Nutzung außerhalb des Produktentwicklungsbereichs erwarten [AS01]. Die Entwicklungsschwerpunkte der Hersteller von PDM-Systemen fasst ABRAMOVICI wie folgt zusammen [Abr96a]:

- Verbesserung der Funktionalität, vor allem im Bereich des Konfigurations-, Prozess- und Projektmanagements
- Intuitive, anwendungsspezifische, graphische Benutzeroberflächen sowie die Integration von WWW-Browsern, z. B. als Grundlage für virtuelle Teams [PP97]
- Verbesserte Schnittstellen (vor allem zu CAD-, ERP-, DTP- und Bürosystemen)
- Verbesserte Metadatenhaltung in heterogenen Multiserver/Multiclient-Umgebungen.

3.2.3 Konfigurations- und Life-Cycle-Management

Das Konfigurationsmanagement (KM) ist die konsequente Anwendung aller Kernfunktionen von PDM, wobei die Begriffe Konfigurations- und Life-Cycle-Management⁷ häufig synonym verwendet werden [Sch99]. Der Begriff des Konfigurationsmanagements wurde bereits Ende der 50er Jahre in den USA geprägt und hat seinen Ursprung in Großprojekten der Luft- und Raumfahrt bzw. Wehrtechnik [Gra00]. Mittlerweile benutzen jedoch immer mehr Unternehmen außerhalb dieser Marktsegmente das Konfigurationsmanagement, um den kompletten Produktlebenszyklus ihrer Produkte zu überwachen [ES01].

Konfiguration bezeichnet dabei den Stand einer Produktstruktur mit den ihr zugeordneten Dokumenten zu einem bestimmten Zeitpunkt bzw. definiertem Auslieferungstatus [GEK01]. Formale Basis des Konfigurationsmanagements sind die Dokumente der DIN EN ISO 10007 [ISO96], des MIL-STD- 973 [Mil92] und der EIA/IS-649⁸ (vgl. [Gra00]). Darauf aufbauend beschreibt SAYNISCH die Architektur anhand folgender Elemente [Say99a]:

- **Konfigurationsidentifizierung (Produktdefinition):** Die Konfigurationsidentifizierung umfasst alle Maßnahmen, die es erlauben, eine bestimmte Produktzusammensetzung zu erkennen [Sch99]. Wesentliche Schritte sind die Bestimmung und Einrichtung von Bezugskonfigurationen sowie die Erstellung der grundlegenden Konfigurationsdokumente [Say99a].
- **Konfigurationsüberwachung (Änderungsmanagement):** Die Konfigurationsüberwachung steuert mit Hilfe eines entsprechenden Änderungsmanagements alle Änderungen einer Konfigurationseinheit, um die Integrität einer Konfiguration zu gewährleisten [Gra00].
- **Konfigurationsbuchführung (Nachweis):** Die Konfigurationsbuchführung ist die formalisierte Dokumentation und Berichterstattung bezüglich der geltenden Konfigurationsdokumente, des Standes laufender Änderungsanträge und des Durchführungsstandes der genehmigten Änderungen [Say99a].
- **Konfigurationsauditierung und -sicherung:** Das Konfigurationsaudit stellt sicher, dass ein Produkt die im Pflichtenheft spezifizierten Anforderungen erfüllt und durch seine Konfigurationsdokumente funktional korrekt dargestellt und beschrieben wird [Sch99].

7. „Life Cycle Management ist die Summe der strategischen, organisatorischen und dv-technischen Maßnahmen zur durchgängigen, innovationsgetriebenen Betreuung eines Produktes über seinen gesamten Lebenszyklus“ [Fri99, S. 89].

8. EIA/IS-649 (EIA: Electronics Industry Association): Nationaler Standard in den USA für das Konfigurationsmanagement. Der EIA/IS-649 wurde vom Department of Defense (DoD) zertifiziert [MIL97].

Konfigurations- bzw. Life-Cycle-Management-Systeme unterscheiden sich von der klassischen Anwendung von PDM-Systemen durch ihre Integrationstiefe und –breite [ES01]. Das heißt, der Einsatz eines KM/LC-Systems erfolgt einerseits früher und mit einem höheren Integrationsgrad in den Phasen Design, Entwicklung und Konstruktion sowie andererseits breiter über alle Phasen des Produktlebenszyklus [ES01].

Die klassische Rolle des Konfigurations- bzw. Life-Cycle-Managements ist die managementorientierte Integration der Teildisziplinen des Projektmanagements und die Steuerung der kreativen Änderungsdynamik [Say99b]. Darüber hinaus nimmt das KM jedoch eine Schlüsselrolle, u. a. bei der virtuellen Produktentwicklung, der interdisziplinären Entwicklung integrierter Produkte (Hard- und Software-Integration) sowie bei der weit reichenden Integration von unterschiedlichen IT-Plattformen ein [Say99b].

So können PLC-Systeme beispielsweise Unterstützungsfunktionen (Support e-commerce) für die Bereitstellung von intelligenten Produktkatalogen/-baukästen auf Web-Seiten bieten [ES01]. Dabei geschieht die Aufbereitung der Produktbaukästen auf Basis von variablen Sachmerkmalsleisten und Produktkonfiguratoren [ES01]. PDM-Systeme bieten zwar in der Regel umfangreiche Funktionalitäten zur Variantenkonfiguration, werden jedoch aufgrund fehlender Interaktivität, Effizienz und Kompatibilität weniger als Internetanwendung angeboten [FWM03]. Die Integration von Produktkatalogen und Konfiguratoren schöpft im Zusammenhang mit der Abbildung in einem gemeinsamen Informationsmodell Synergiepotenziale aus [Hah03]. Sie ist zudem eine entscheidende Voraussetzung für die Umsetzung einer kundenindividuellen Massenproduktion (Mass Customization) und damit für die Komplexitätsreduktion bei der Variantengenerierung [BDM03].

3.3 Prozessmodellierung

In den letzten Jahrzehnten hat sich in Industrieunternehmen ein Paradigmenwechsel bei der Gestaltung der Leistungserstellungsprozesse vollzogen. Standen vormals funktionale Arbeitsteilung und Aufbauorganisation im Vordergrund, so ist es mittlerweile die Prozessorientierung im Sinne der Leistungserstellungsprozesse. Die Konzentration auf Prozesse verlangt die Schaffung einer integrierten Struktur, in der die Funktionsbereiche durchlässiger und auf die Erwartungen der Kunden und übrigen Interessengruppen, wie z. B. Mitarbeiter, Kapitalgeber, Lieferanten usw., ausgerichtet sind [HM95]. Zu diesem Zweck haben sich in der betriebswirtschaftlichen Diskussion verschiedene Konzepte, wie z. B. das Business Reengineering, die Geschäftsprozessoptimierung oder das Lean Management, entwickelt [MS98]. Grundlage für viele dieser Konzepte sind vor allem die Arbeiten von GAITANIDES [Gai83], NIPPA/PICOT [NP95] und HAMMER/CHAMPY [HC94].

Die Modellierung von Geschäftsprozessen ist eine wesentliche Voraussetzung zur Optimierung von Leistungserstellungsprozessen [GF99]. Sie werden für die Produktion zur effizienten, ablauforientierten Modellierung von Geschäfts- und Fertigungsprozessen und zur Gestaltung von Informationssystemen [WA+96]. Allgemein können Geschäftsprozessmodelle folgende Zielsetzungen beinhalten [DHB02]:

- **Transparenz schaffen:** Durch die Abbildung in Modellen werden beispielsweise unstrukturierte oder sogar überflüssige Prozesse, die sich über Jahre hinweg etabliert haben, offensichtlich. Des weiteren erhöht ein Modell das Verständnis für die Zusammenhänge im Sinne des Gesamtsystems.
- **Kommunikation erleichtern:** Geschäftsprozessmodelle können als Kommunikationsgrundlage bereichsübergreifend eingesetzt werden. Es entsteht ein gemeinsames Prozessverständnis aller Beteiligten.
- **Darstellung und Bewertung von Lösungen:** Die Diskussion der Schwachstellen und die Erarbeitung von Verbesserungsvorschlägen ergibt unterschiedliche technische und organisatorische Lösungen, die mit Hilfe der Geschäftsprozessmodelle dargestellt bzw. bewertet werden können.
- **Standardisierung vorbereiten:** Ein abgebildeter und dokumentierter Prozess kann als Handlungsrichtlinie für Mitarbeiter dienen und als Standard auf andere Bereiche oder Standorte übertragen werden.

Grundsätzlich existieren verschiedene Methoden zur Geschäftsprozessmodellierung. Die Auswahl einer bestimmten Methode richtet sich vor allem nach der Zielsetzung und dem Einsatzgebiet des jeweiligen Geschäftsprozessmodells.

Mögliche Einsatzgebiete für Geschäftsprozessmodelle sind aus Bild 3-6 ersichtlich.

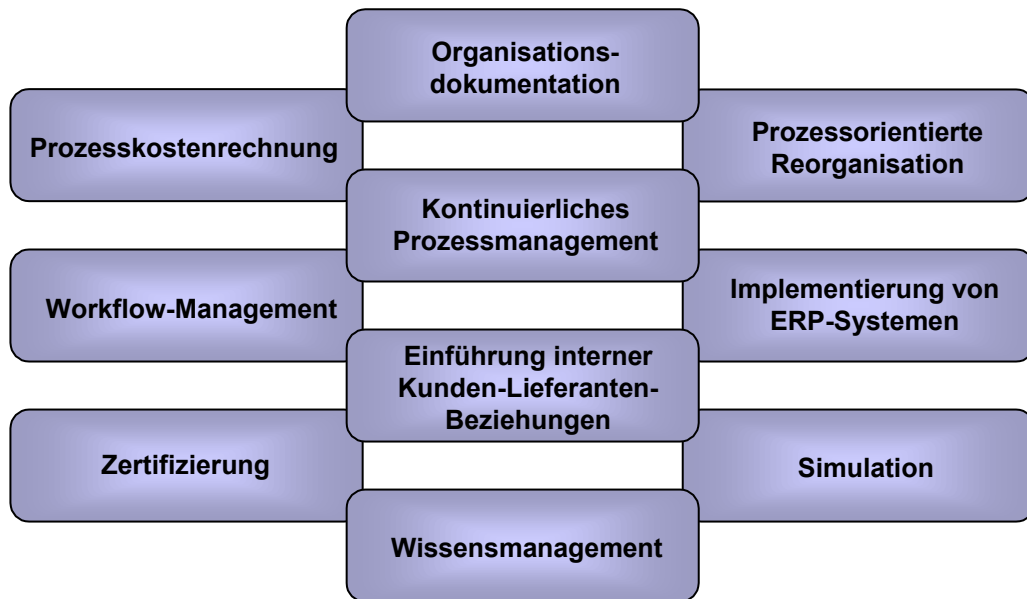


Bild 3-6: Einsatzgebiete für Geschäftsprozessmodelle [DHB02]

Der Zweck einer Modellierung bestimmt den Formalisierungs- wie auch Detaillierungsgrad des angestrebten Modells [GF99, SCH98b]. Die Modelle lassen sich in die drei Kategorien nicht formale, semi-formale und formale Modelle differenzieren, denen dann entsprechende Modellierungsmethoden zugewiesen werden können [GF99]. Im Hinblick auf den semantischen/semi-formalen Ansatz dieser Arbeit erscheint es insbesondere sinnvoll, den Untersuchungsbereich auf die semi-formalen Modelle zu fokussieren.

3.3.1 Methoden zur semi-formalen Geschäftsprozessmodellierung

Im Bereich der semi-formalen Geschäftsprozessmodellierung existiert eine Vielzahl von diversen Methoden, die oftmals aus dem Bereich des Software-Engineering stammen [GF99]. Zu vielen Methoden existieren sog. Modellierungstools, die die Modellierung durch den Einsatz entsprechender Software in unterschiedlicher Art und Weise unterstützen [DHB02]. Die Qualität der Unterstützung reicht dabei von der reinen Visualisierung über die Modellierung bis hin zur Simulation [DHB02]. An dieser Stelle sollen nun beispielhaft vier ausgewählte Methoden zur semi-formalen Geschäftsprozessmodellierung vorgestellt werden. Es handelt sich um die Konzepte Structured Analysis and Design Technique (SADT), die Strukturierte Analyse nach DeMarco (SA), die Objektorientierte Methode zur Geschäftsprozessmodellierung und -analyse (OMEGA) und die Archi-

tektur Integrierter Informationssysteme (ARIS), die von GAUSEMEIER und FINK wie folgt beschrieben werden [GF99]:

- **Structured Analysis and Design Technique (SADT):** Die Structured Analysis and Design Technique benutzt zur Beschreibung von Systemen ein Datenmodell (Datagramm) und ein Aktivitätenmodell (Aktigramm), wobei letzteres für die Modellierung von Geschäftsprozessen verwendet werden kann (vgl. Bild 3-7). Konstrukte, die zu diesem Zweck zur Verfügung stehen, sind Aktivität, Eingabe, Mechanismus, Steuerung und Ausgabe, wobei die Aktivitäten den Geschäftsprozessen entsprechen und durch Eingabe- und Ausgabedaten miteinander in Beziehung stehen. Das Datagramm wird benötigt um Informationen bzw. Daten abzubilden, da beispielsweise das Aktigramm keine Speicher von Informationen kennt. Es entspricht in seinem Aufbau dem Aktigramm, wobei die Aktivitäten durch Daten ersetzt werden. Für eine vollständige Modellierung der Ablauforganisation ist immer eine gemeinsame Modellierung von Aktigrammen und Datagrammen notwendig.

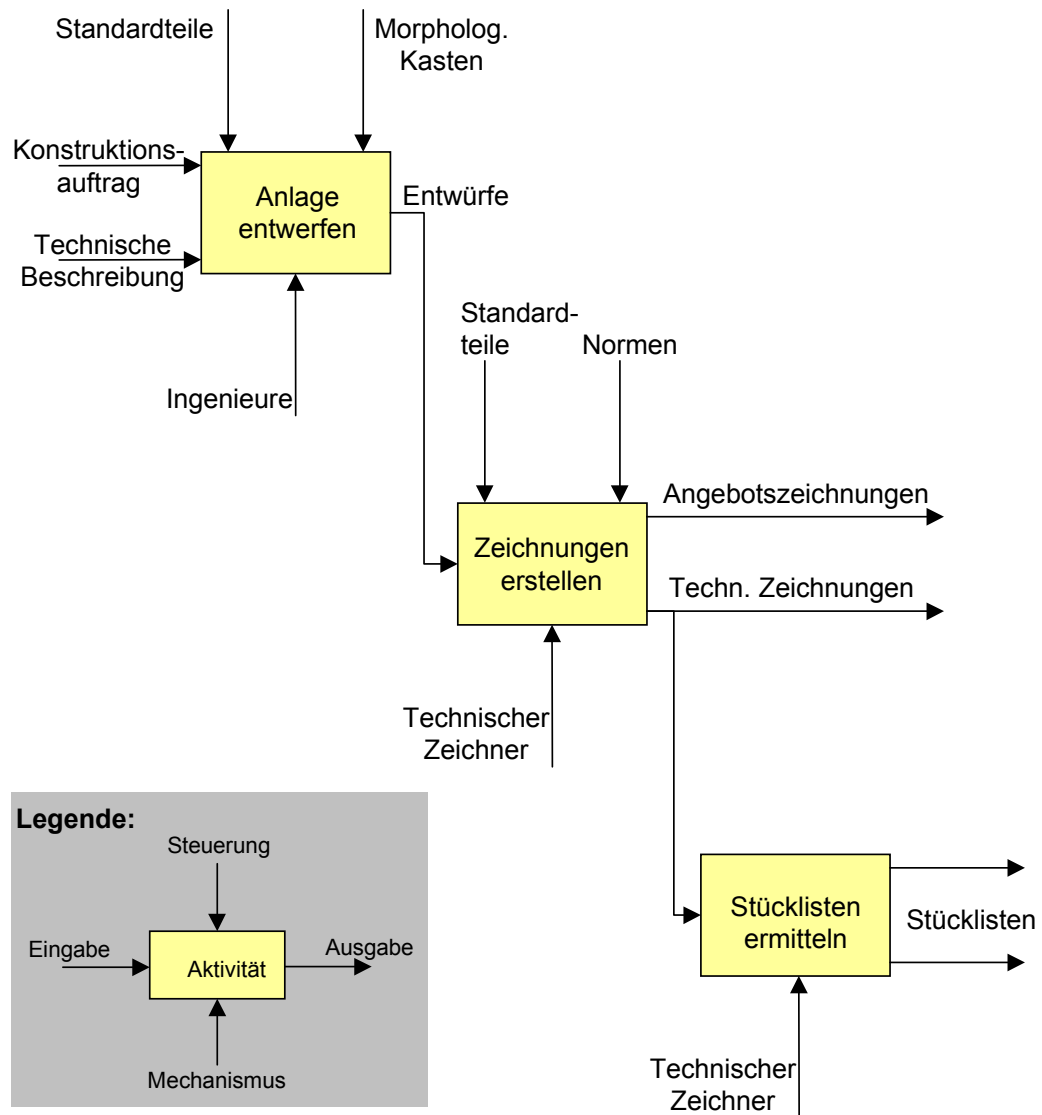


Bild 3-7: SADT-Aktivitätenmodell - Beispielmmodellierung

- Strukturierte Analyse (SA) nach DeMarco:** DeMarco entwickelte die Strukturierte Analyse Ende der 70er Jahre zur Unterstützung der Analyse-Phase des Software Engineering Prozesses und zur Erstellung von Systemspezifikationen [Dem79]. Dem Anwender stehen die Konstrukte „Prozess“ zur Darstellung der Geschäftsprozesse, „Datenfluss“ zur Beschreibung der Richtung und des Inhalts der übertragenen Daten, „Quelle/Senke“ zur Abbildung der relevanten Einheiten der Systemumwelt und „Speicher“ als Aufbewahrungsort für Daten zur Verfügung (vgl. Bild 3-8). Es entstehen primär Datenflussdiagramme als statisches Abbild des Informationsflusses im Unternehmen.

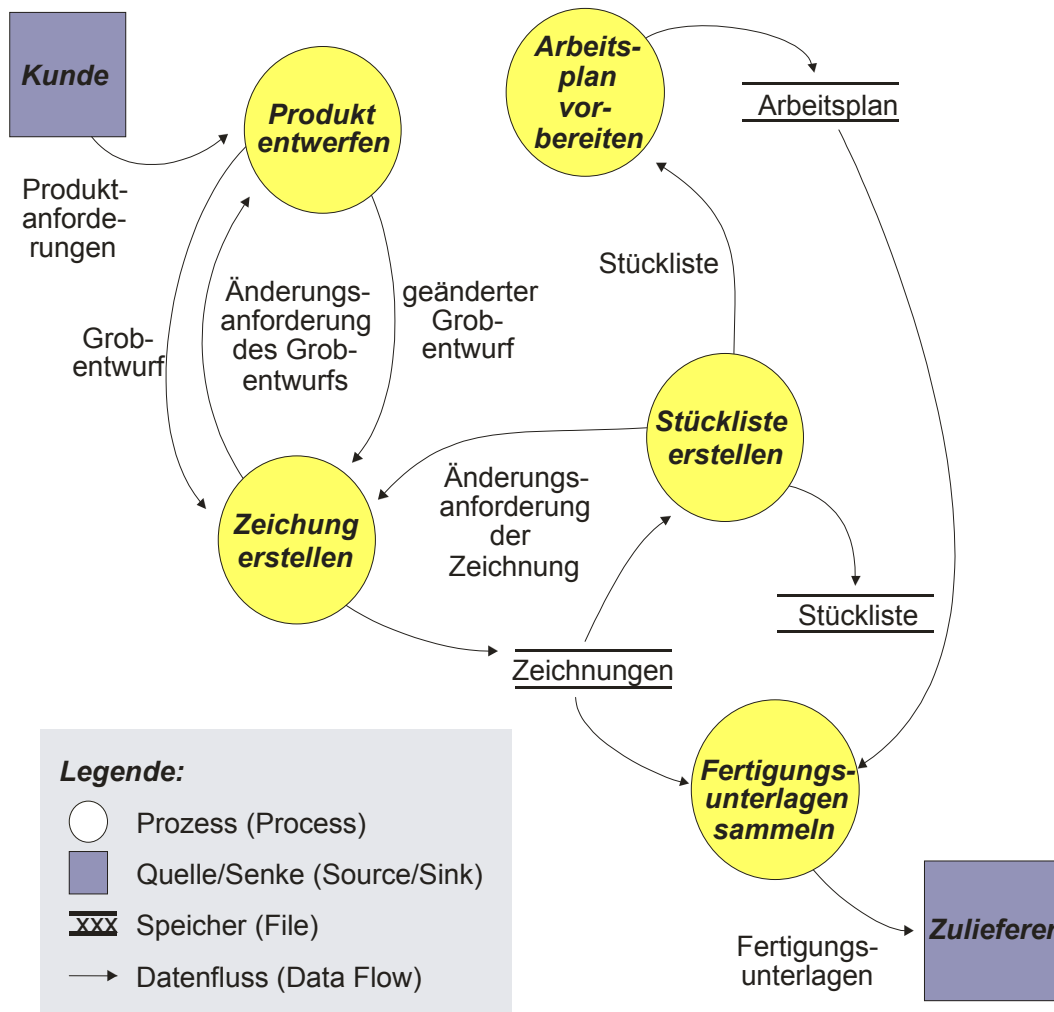


Bild 3-8: Strukturierte Analyse nach DeMarco – Beispielmodellierung

- OMEGA – Objektorientierte Methode zur Geschäftsprozessmodellierung und –analyse:** Die OMEGA-Methode wurde mit dem Ziel entwickelt, die vollständige Modellierung einer Ablauforganisation in einem Modell zur ermöglichen und darüber hinaus mittels einfacher und prägnanter Visualisierung ein geeignetes Instrument zur Analyse und

Planung von Leistungserstellungsprozessen zu schaffen. Zu diesem Zweck stehen zahlreiche Konstrukte zur Verfügung, die im Bild 3-9 zu erkennen sind. Die Modellierung erfolgt dann im Rahmen festgelegter Modellierungsregeln.

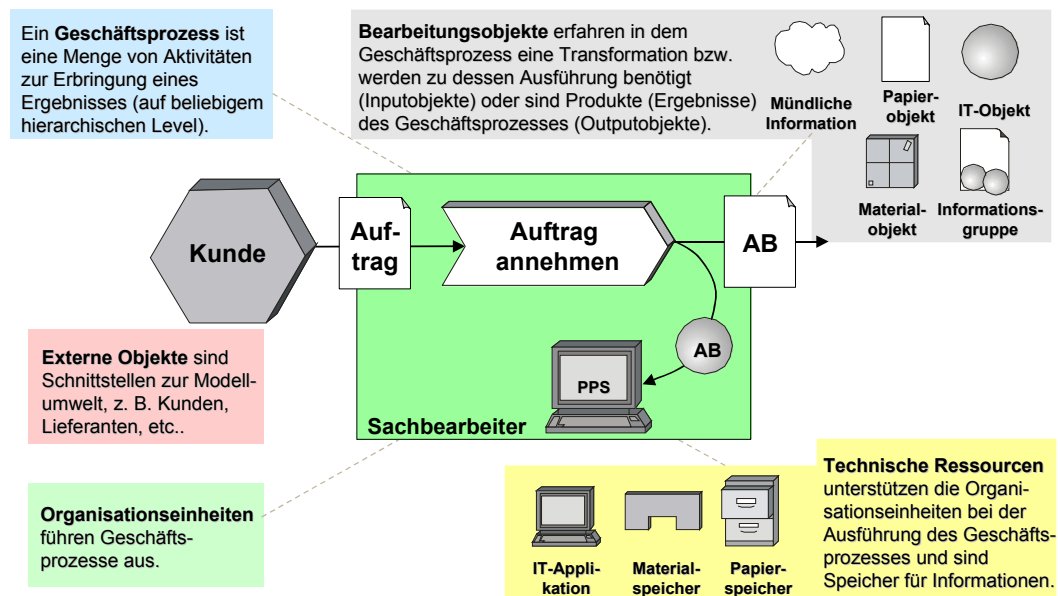


Bild 3-9: Objekte der Aufbau- und Prozessorganisation modelliert mit OMEGA [Gau03]

- ARIS – Architektur Integrierter Informationssysteme:** ARIS als eine der populärsten Methoden im Bereich der Modellierung von Unternehmen gliedert das Gesamtmodell in die vier Sichten Organisation, Daten, Funktionen und Steuerung. Innerhalb der Sichten werden verschiedene Methoden und eine Vielzahl von Konstrukten zur Darstellung der Modelle verwendet (vgl. Bild 3-10). Die verwendeten Darstellungsmethoden sind beispielsweise das Organigramm für die Organisationssicht, das Entity-Relationship-Model für die Datensicht, der Funktionsbaum für die Funktionssicht und das Vorgangskettendiagramm für die Steuerungssicht. Neben den verschiedenen Sichten sieht das ARIS-Fachkonzept unterschiedliche Beschreibungsebenen (Fachkonzept, DV-Konzept und Implementierung) vor. Mit Hilfe der Beschreibungsebenen können betriebliche Aufgaben durchgängig bis hin zu ihrer Unterstützung durch ein entsprechendes IT-System modelliert werden.

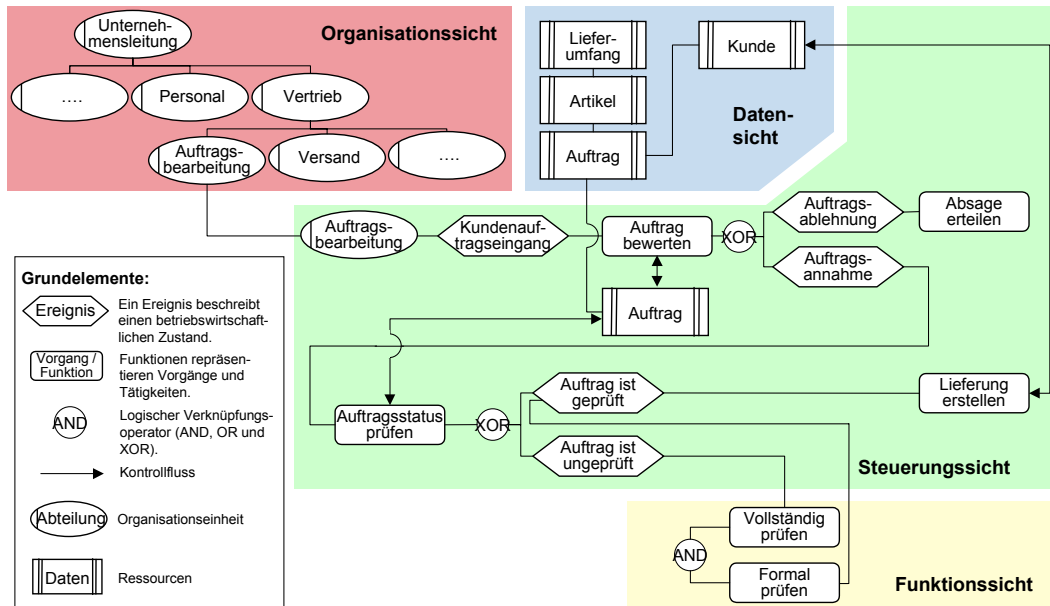


Bild 3-10: Beispielhafte Beschreibung eines Geschäftsprozesses in ARIS

3.3.2 Prozessmanagement

Die Optimierung von Geschäftsprozessen auf Basis entsprechender Prozessmodelle ist nicht als einmaliger Vorgang zu verstehen, sondern findet als Teil eines gesamtheitlichen Prozessmanagements Einfluss in das tägliche Handeln und Denken. Das heißt, Prozessmanagement ist als immanenter Prozess zu verstehen [Fra94], der zwar durchaus durch einzelne Projekte initiiert werden kann, dessen Wirksamkeit jedoch von dem bleibenden Wandel der Werte abhängig ist. Der Ausgangspunkt für das Prozessmanagement ist dabei die genaue Definition der Geschäftsprozesse und deren Einbindung in die Strategie der Unternehmung („Process follows strategy“ [ZB00]) oder bestimmter Organisationseinheiten [HM95]. Im Vergleich zum Business Reengineering, das die Prozessleistung an aktuellen Markterfordernissen ausrichtet und durch Prozessorientierung traditionelle Geschäftsstrukturen verändert, beinhaltet das Prozessmanagement zusätzlich eine kontinuierliche Entwicklung von Kernkompetenzen im Sinne einer organisatorischen Weiterentwicklung [GSV94]. KAPLAN und MURDOCK sprechen im Zusammenhang mit der Konzentration des Managements auf die 3 bis 4 eigenen Kernkompetenzen bzw. -prozesse⁹ eines Unternehmens vom sog. „Core Process Redesign“ [KM91].

Komplexe Wirkungszusammenhänge im Unternehmen können durch ein Prozessmanagement beherrschbar gemacht werden [SV94]. Der Schlüssel dazu liegt

9. Kern- oder sog. Schlüsselprozesse sind diejenigen Prozesse, durch die ein Unternehmen Wettbewerbsvorteile realisiert, wie z. B. Produktentwicklung oder Auftragsabwicklung [BMW98].

in der Schaffung einer Prozesstransparenz, die nur mit entsprechenden Informationen über Struktur und Leistungen der Prozesse erreicht werden kann [SV94]. Demzufolge besteht zwischen Informations- und Prozessmanagement ein direkter Zusammenhang, d. h., Informationsmanagement bildet die Voraussetzung für ein Prozessmanagement [Fra94].

Wenn man das Informationsmanagement als Eingangsseite des Prozessmanagements versteht, so bildet das Wissensmanagement die Ausgangsseite. Das „Wissen“, unterteilt in Funktions- und Prozesswissen, ist nach BULLINGER die wertvollste Ressource in einem Unternehmen [Bul01]. Dabei unterstützen Geschäftsprozessmanagement-Werkzeuge die Nutzbarmachung dieser Ressource, da sie Wissen über Prozesse und parametrisierbare Funktionen erfassen, dokumentieren, pflegen und verwalten [Bul01].

Zusammenfassend gesagt ermöglicht das Prozessmanagement den Unternehmen,

- Prozesse zu strukturieren und zu optimieren,
- das erforderliche Minimum an Schnittstellen zu erkennen und zu definieren,
- Abläufe aufgabengerecht zu steuern,
- Kennzahlen für die Erkennung von Zielabweichungen zu ermitteln,
- Prozesskosten zu ermitteln,
- Organisationsstrukturen prozessorientiert anzupassen,
- die Nutzbarmachung der Ressource „Wissen“ [Fra94, Bul01].

3.4 Konzepte zur integrativen Modellierung von Produkt- und Prozessdaten

Während sich in der Vergangenheit die Entwicklung der Einzelmodelle von Produkten und Prozessen in vielen Unternehmensbereichen weitgehend unabhängig voneinander vollzogen hat, so haben sich in der Theorie mittlerweile mehrere Ansätze zur integrativen Modellierung von Produkt- und Prozessdaten entwickelt. Auslöser war dabei die Notwendigkeit einer breit angelegten und rechnerunterstützten Geschäftsprozessoptimierung, wie sie beispielsweise in Konzepten wie dem Simultaneous Engineering, der Lean Production, der fraktalen Fabrik oder dem Business Process Reengineering verankert war [GH+02]. Die Anwendung integrierter Produkt- und Prozessmodelle ist dabei einerseits Grundlage zur Optimierung von Produktionssystemen und zur Vermeidung von Schnittstellenproblemen [SN97]. Andererseits ist sie Voraussetzung für ein gesamtheitliches Geschäftsprozessmanagement [SGK02] und für die Nutzbarmachung umfassender IT-basierter Produktentwicklungsmethoden, wie z. B. des Digital Mock Up (DMU), der Simulation, des virtuellen Produkts oder der digitalen bzw. virtuellen Fabrik [SK97, BF00]. Die digitale Fabrik verknüpft beispielsweise Simulationstechnologien in der Produktionsplanung und über die verschiedenen Unternehmensebenen mit der Zielsetzung, Betriebsmittel und Fertigungsprozesse auf Basis von Rechnermodellen zu planen und zu optimieren [BF00, GEK01, Gec02]. Sie gilt aus Industriesicht als eine der zentralen Zukunfts-Technologien der nächsten Jahre [SS02].

Die Schwerpunktsetzung der einzelnen Modelle zur Integration von Produkt- und Prozessdaten ist, wie auch ihre jeweilige Konkretisierung, sehr unterschiedlich. Die Bandbreite reicht von einer prozessabschnittsbezogenen integrierten Modellierung auf Basis bestehender Standards [BF00], z. B. STEP oder CORBA, bis hin zur Schaffung allgemeingültiger gemeinsamer Objektklassenmodelle, die dann anwendungsfallspezifisch instanziiert werden [GMH95, AA+96]. Die Art der Integration stellt ein weiteres Unterscheidungskriterium bei der Betrachtung der Modelle dar. Vielfach bedeutet Integration die Verknüpfung bzw. Verlinkung meistens bestehender Produkt- und Prozessmodelle. Fallweise wird diese Integration aber auch über zusätzliche Integrationsobjekte vorgenommen. Beispiele hierfür ist die Integration von Produkt, Prozess und Ressource über sog. Features [HF+99], Verbindungsobjekte [RMH01] (vgl. Kapitel 3.5) oder Verbindungsstrukturen [SH99].

Aus Prozesssicht steht bei vielen Ansätzen vor allem die integrierte Modellierung des Produktentwicklungsprozesses, fallweise auch in Verbindung mit den Produktionsplanungsprozessen im Vordergrund. Nach SPUR/KRAUSE ist die gemeinsame Bildung und Nutzung von Modellen im Bereich der Konstruktion und Fertigungsplanung ein entscheidender Schritt zur Ermöglichung einer integrierten

Arbeitsweise und damit zur Beschleunigung des Produktentwicklungsprozesses [SK97].

In den Unternehmen eingesetzte kommerzielle Softwaresysteme bieten, CAD als auch ERP-seitig, eigene Integrationsansätze, wie z. B. das integrierte Produkt- und Prozess-Engineering (iPPE) des Softwareherstellers SAP oder die PPR¹⁰-Hub-Lösung von Dassault Systems. Wesentliche Arbeiten sind forschungsseitig u. a. in den Sonderforschungsbereichen 346 „Rechnerintegrierte Konstruktion und Fertigung von Bauteilen“ an der Technischen Universität Karlsruhe und 361 „Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung“ an der RWTH Aachen sowie innerhalb der Projektgemeinschaft GiPP-S4¹¹ entstanden [GMH95, Eve97, OK+97]. Nachfolgend wird eine Auswahl verschiedener Konzepte zur integrierten Modellierung von Produkt- und Prozessdaten vorgestellt, die sich sowohl hinsichtlich Detaillierungsgrad, Betrachtungsumfang und Integrationsphilosophie unterscheiden. Ziel ist es, einen Überblick über die Spannweite der Ansätze zu vermitteln.

3.4.1 Semantisches Produktstrukturmodell

Das von BREXEL entwickelte semantische Produktstrukturmodell hat seinen Ursprung im Bereich des Produktdatenmanagements, d. h. es bildet die Basis für ein Produktstrukturmanagement im Rahmen einer PDM-Lösung [GEK01]. Es ist damit stellvertretend für alle diejenigen Modellierungsmethoden zu nennen, die mit dem Ziel einer möglichst umfassenden Produktmodellierung Prozessdaten in die Betrachtungsweise integrieren. Ein anderes Beispiel, das bereits erste Prozesselemente im Sinne einer Montagereihenfolge in Produktmodellen berücksichtigt, ist der sog. Variantenbaum. Seine Zielsetzung bewegt sich jedoch eher im Bereich des Varianten- bzw. Komplexitätsmanagements, so dass er unter diesem Gesichtspunkt im Kapitel 3.7 „Komplexitätsmanagement“ vorgestellt wird.

Kohärente Partialmodelle

Das semantische Produktstrukturmodell basiert auf der Modellvorstellung, dass das Produktmodell in 4 kohärente Partialmodelle segmentiert werden kann und somit übersichtlicher bzw. verständlicher anwendbar ist (vgl. Bild 3-11) [Bre97]. Diese vier Partialmodelle werden als Teilestruktur, Funktionsmodell, Montagemodell und Konfigurationsmodell bezeichnet [GEK01].

10. Das PPR-Hub-Konzept ist die Integration von Produkt, Prozess, Ressource innerhalb verschiedener Produkte eines Softwareherstellers über ein zentrales Informationsmanagement. Die Firma Dassault Systems ist u. a. Hersteller der CAD-Software CATIA.

11. GiPP steht für Geschäftsprozessgestaltung mit integrierten Prozess- und Produktmodellen und ist eines innerhalb des Rahmenkonzeptes Produktion 2000 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördertes Verbundprojekt.

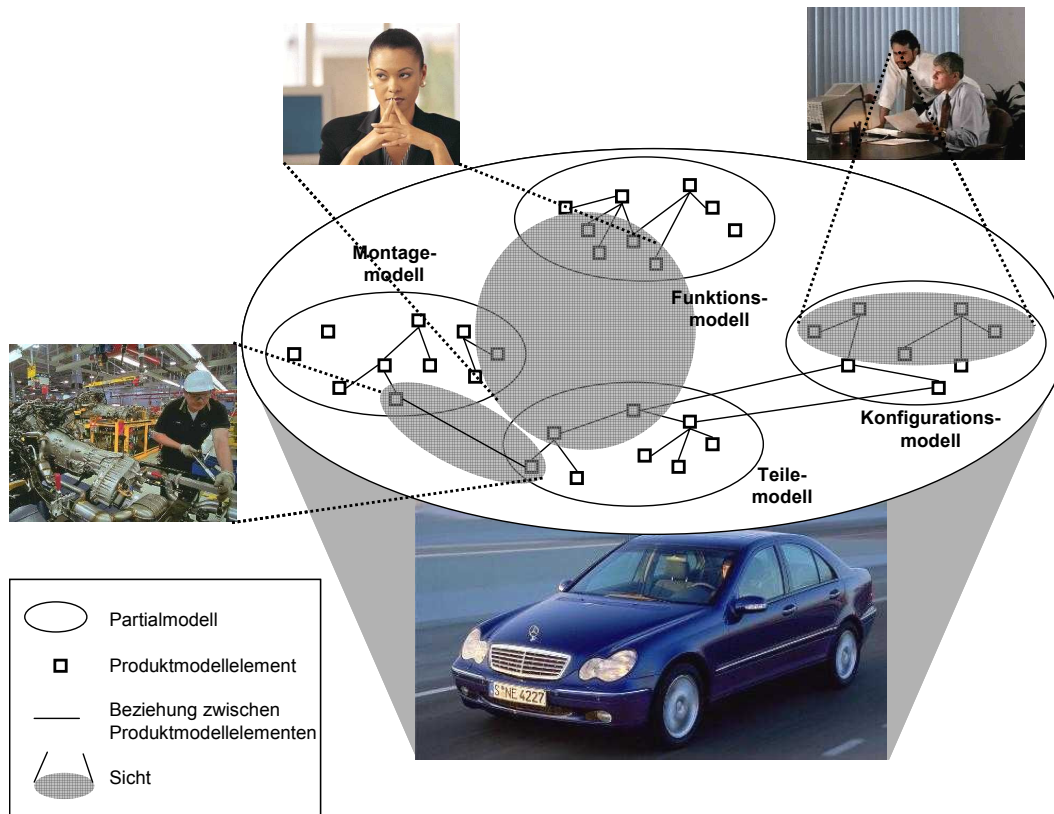


Bild 3-11: *Relevanter Ausschnitt des Produktmodells für die methodische Produktstrukturmodellierung [Bre97]*

BREXEL beschreibt die Partialmodelle wie folgt [Bre97]:

- **Teilestruktur:** Die Teilestruktur entspricht der Struktur der Einzelteile und Baugruppen eines Produktes bis zur Endproduktebene.
- **Funktionsmodell:** Das Funktionsmodell beschreibt den funktionalen Systemzusammenhang im Sinne z. B. von Material-, Energie- und Informationsflüssen innerhalb eines Produktes und zu dessen Umgebung. Zusätzlich werden mit dem Aufbau einer sog. Funktionshierarchie die den Kundennutzen beschreibenden Hauptfunktionen des Produktes dargestellt.
- **Montagemodell:** Das Montagemodell beschreibt den Montageprozess eines Produktes. Es beinhaltet unterschiedliche Modellierungsaspekte, wie z. B. Vorgabezeiten und Montagehilfsmittel für die einzelnen Montagetätigkeiten, die Kommissionierung und der Transport des Montagematerials an die Montagearbeitsplätze usw.. Durch Segmentierung des Montagemodells in einzelne Montagevorgänge und deren Reihenfolgebildung entsteht die sog. Montagestruktur.
- **Konfigurationsmodell:** Das Konfigurationsmodell enthält die Beschreibung der Konfigurationsmöglichkeiten eines variantenreichen Produktes.

Modellierung

Neben der Modellierung der einzelnen Partialmodelle bildet die Modellierung der Zusammenhänge zwischen den Partialmodellen einen weiteren Schwerpunkt. Mit Hilfe der Vernetzung des Teilemodells mit den zusätzlichen Strukturen erhalten die Teile eine „Semantik“ hinsichtlich ihrer Aufgabe bei der technischen Funktionsrealisierung, ihrer Zusammenführung im Fertigungs- und Montageprozess und ihrer Konfigurationsbeziehungen [Bre97]. BREXEL benutzt zum Zwecke der Modellierung verschiedene Konstrukte, für die er im Rahmen seiner Arbeit eine graphische Notation und entsprechende Verwendungsvorschriften vorstellt.

Sichten auf das semantische Produktstrukturmodell

Zur Bearbeitung der unterschiedlichen Informationsverarbeitungsaufgaben in Geschäftsprozessen werden Modellausschnitte benötigt, die sich aus Elementen von mehr als einer der vier beschriebenen Teilstrukturen und deren Beziehungen zusammensetzen [Bre97]. Wesentliche Sichten sind nach BREXEL dabei Produktplanung/ -konzipierung, Produktentwicklung, Produktionsprozessentwicklung, Absatzprognose, auftragsanonyme/ auftragsbezogene Produktionsplanung und –steuerung, Auftragskonfiguration und Produktservice/-rücknahme [Bre97].

3.4.2 Integriertes Produkt- / Produktionsmodell des SFB 346

Das integrierte Produkt- und Produktionsmodell (PPM) ist ein umfassendes Konzept in Form eines objektorientierten Datenmodells (Objektmodell) zur rechnergestützten Verarbeitung und Verwaltung von Daten, die innerhalb der Entwicklung und Herstellung von Produkten benötigt werden [GMH95]. Es erlaubt eine phasenübergreifende Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus aus zentraler Sicht und unter Benutzung anwendungsspezifischer Sichten [GMH95]. Einzelne Sichten können beispielsweise sein [GL02]:

- **Anwendungsspezifische Sichten**, wie z. B. Produktklassifikationen, Produktvarianten, Produktkonfigurationen, Auftragsspektren, Fertigungsspektren usw.. Anwendungsspezifische Sichten repräsentieren eine spezielle Anwendung bzw. können in einer speziellen Anwendung konfiguriert werden.
- **Anwendungsübergreifende Sichten**, wie z. B. Management- oder Konstruktionssicht. Diese Sichten stellen abstrahierte Teilmodelle dar, die sich im Allgemeinen über verschiedene Anwendungsdomänen hinweg erstrecken.

Das Gesamtmodell besteht zum Zweck der Sichtenbildung aus anwendungsunabhängigen Partialmodellen, die jeweils eine abgeschlossene zusammenhängende

Menge von Objekttypen beinhalten und eine Klasse von Produktmerkmalen repräsentieren (vgl. Bild 3-12) [GL02].

Die objektorientierte Spezifikation des integrierten Produkt- und Produktionsmodells erfolgt auf Basis der Objektorientierten Modellierungsmethode Karlsruhe (OMK), die eine Adaption der von RUMBAUGH et al. [RB+91] entwickelten Software-Entwicklungsmethodik „Object Modelling Technique“ (OMT) darstellt [GH+02].

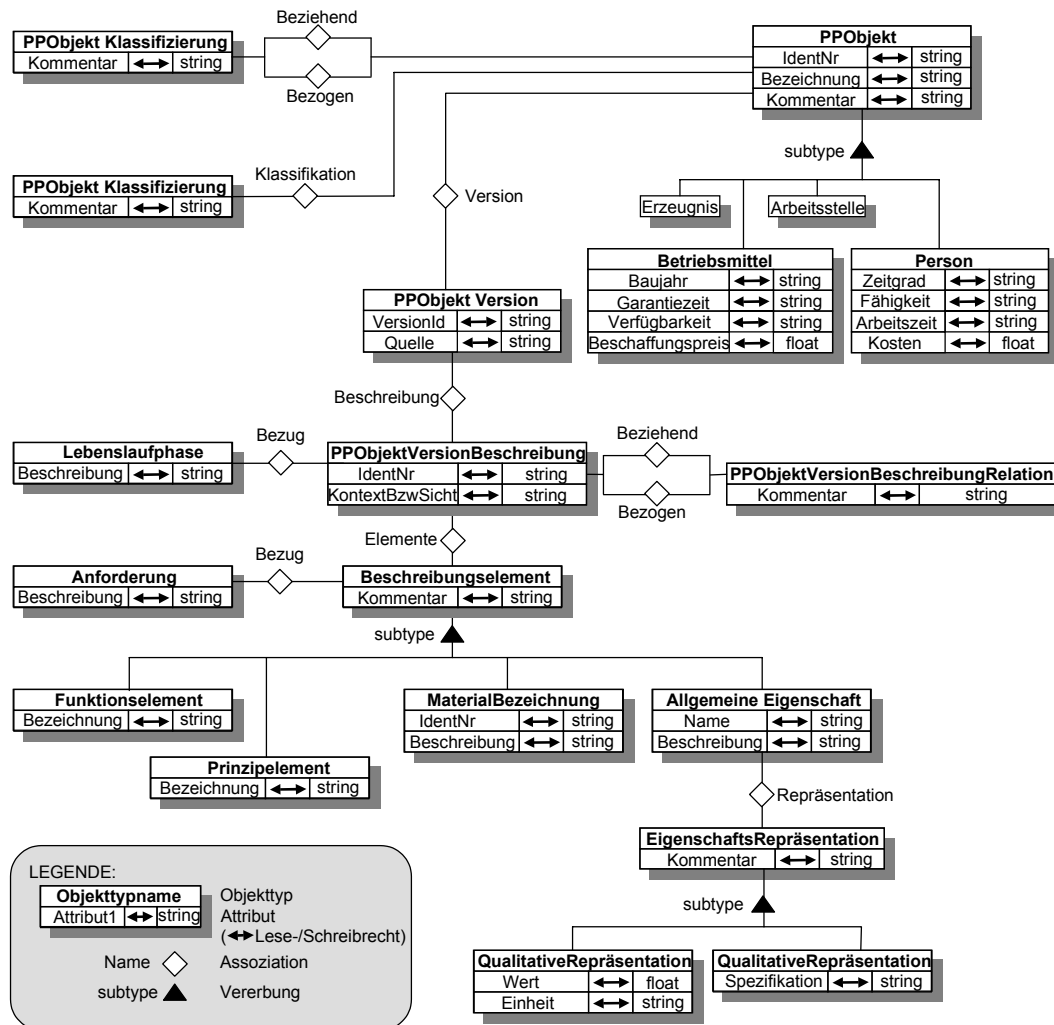


Bild 3-12: Kernstruktur des Produkt- und Produktionsmodells [GMH95]

Die PPM-Kernstruktur (vgl. Bild 3-12) stellt ein Grundgerüst an Objekttypen zur Verfügung, die bei der Entwicklung und Herstellung von Produkten relevant sind [GMH95]. Darüber hinaus können Spezialisierungen von vorhandenen Objekten und Erweiterungen um zusätzliche Objekte einfach durchgeführt werden [GMH95]. Die Abbildung des PPM ist im Rahmen des SFB 346 in der objektorientierten Datenbank GOM (Generic Object Model) realisiert, auf die dann eine

Reihe von Anwendungswerkzeugen zugreift [GH+02]. Zudem wird mit Hilfe der CORBA-Technologie¹² die Funktionsintegration über bestimmte Anwendungswerkzeuge hinweg durchgeführt [GH+02].

3.4.3 Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung im SFB 361

Ausgehend von der Notwendigkeit effizienterer Produktentwicklungsprozesse wurde im Sonderforschungsbereich 361 der RWTH Aachen ein Referenzmodell bzw. eine Referenzmethode zur Unterstützung der Integration der Produktentwicklungsphase mit der Phase der Produktionsprozessplanung entwickelt [EB+97]. Das Referenzmodell benutzt die Modellierungssprache EXPRESS bzw. die graphische Version EXPRESS-G des STEP-Konzeptes (vgl. Kapitel 3.2.2.4) und teilt sich in vier Partialmodelle auf (vgl. Bild 3-13) [EB+97]:

- **Informationsmodell:** Das Informationsmodell basiert auf den bestehenden Produkt- und Informationsmodellen der Produktentwicklung und Produktionsprozessplanung. Es sollte, soweit möglich, in standardisierter Form auf Basis des STEP-Standards entwickelbar sein. Die Einzelinformationen werden im Informationsmodell sog. Informationsgruppen zugeordnet.
- **Modell des technischen Systems:** Das Modell des technischen Systems umfasst die Struktur des Produktes von der Einzelteil- bis zur Gesamtproduktebene.
- **Aktivitätenmodell:** Das Aktivitätenmodell enthält alle wesentlichen Aktivitäten innerhalb zu integrierenden Prozesse Produktentwicklung und Produktionsprozessplanung, die in direkter Weise die Produkt- oder Prozessdefinition beeinflussen.
- **Methodenmodell:** Das Methodenmodell ordnet zur Unterstützung der Integration die unterschiedlichen Planungsmethoden, wie z. B. QFD¹³, FMEA¹⁴, DFMA¹⁵ usw., in eine Gesamtsystematik ein.

12. CORBA: Common Object Request Broker Architecture (vgl. Kapitel 3.2.2.4)

13. QFD: Quality Function Deployment (vgl. Kapitel 3.7.2.1)

14. FMEA: Failure Mode and Effect Analysis (vgl. Kapitel 3.7.2.1)

15. DFMA: Design for Manufacturing/Assembly (vgl. Kapitel 3.7.2.1)

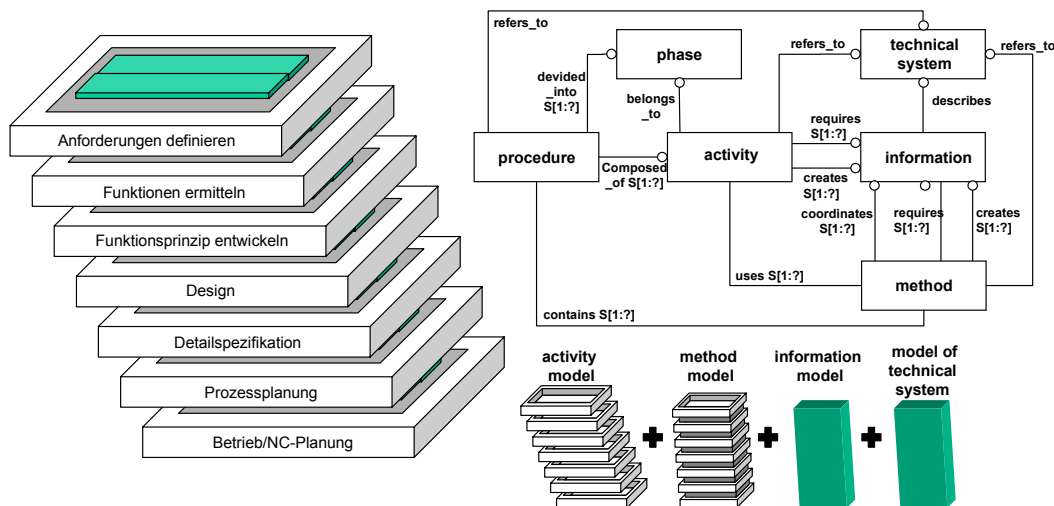


Bild 3-13: Referenzmodell für die integrierte Produktentwicklungs- und Produktionsprozessplanung [EB+97]

Zwischen den einzelnen Partialmodellen und deren Elementen können unterschiedliche Abhängigkeiten bestehen. Diese Abhängigkeiten werden über drei Matrizen erfasst, die die drei Modelle Information, technisches System und Aktivitäten in ihrer jeweiligen Verbindung zum Informationsmodell darstellen. In einer vierten Matrix werden die Abhängigkeiten zwischen den Informationen von Produktentwicklung und Produktionsprozessentwicklung aufgenommen.

3.4.4 Integriertes Produkt- und Prozess-Engineering (iPPE)

Im Rahmen der SAP Branchenlösung für den Automotive-Sektor wurde zur Unterstützung des integrierten Produktentstehungsprozesses für variantenreiche Serienprodukte das integrierte Produkt- und Prozess-Engineering (iPPE) entwickelt [SAP01a]. Das iPPE bildet Produkt-, Prozess- und Fabrik-Layout-Strukturen sowie deren Verknüpfungen untereinander in einem gemeinsamen Datenmodell ab (vgl. Bild 3-14) [SAP01b]. Das dahinter stehende Konzept ist weniger eine gänzliche offene Methodik zur integrativen Modellierung von Produkten und Prozessen, sondern ist vor allem als Bestrebung zu verstehen, die einzelnen Konstrukte einer weit verbreiteten Standardsoftware zu integrieren.

Die Integration von Produkt- und Prozessmodellen wird in der industriellen Fertigung durch die Begriffe Stückliste und Arbeitsplan beschrieben [SGK02]. So auch im iPPE, das auf die entsprechenden Objekte im Sinne der Standardsoftware zurückgreift. Die Automotive benutzt jedoch keine Stückliste im herkömmlichen Sinne, sondern die sog. Produkt-Varianten-Struktur (PVS), die speziell zur Abbildung von Produktstrukturen bei komplexen und variantenreichen Produkten entwickelt wurde [SAP01a]. Die PVS basiert auf den Standards des STEP AP 214,

so gibt es beispielsweise eine enge Integration zu CAD-Systemen und Viewern [SAP01a].

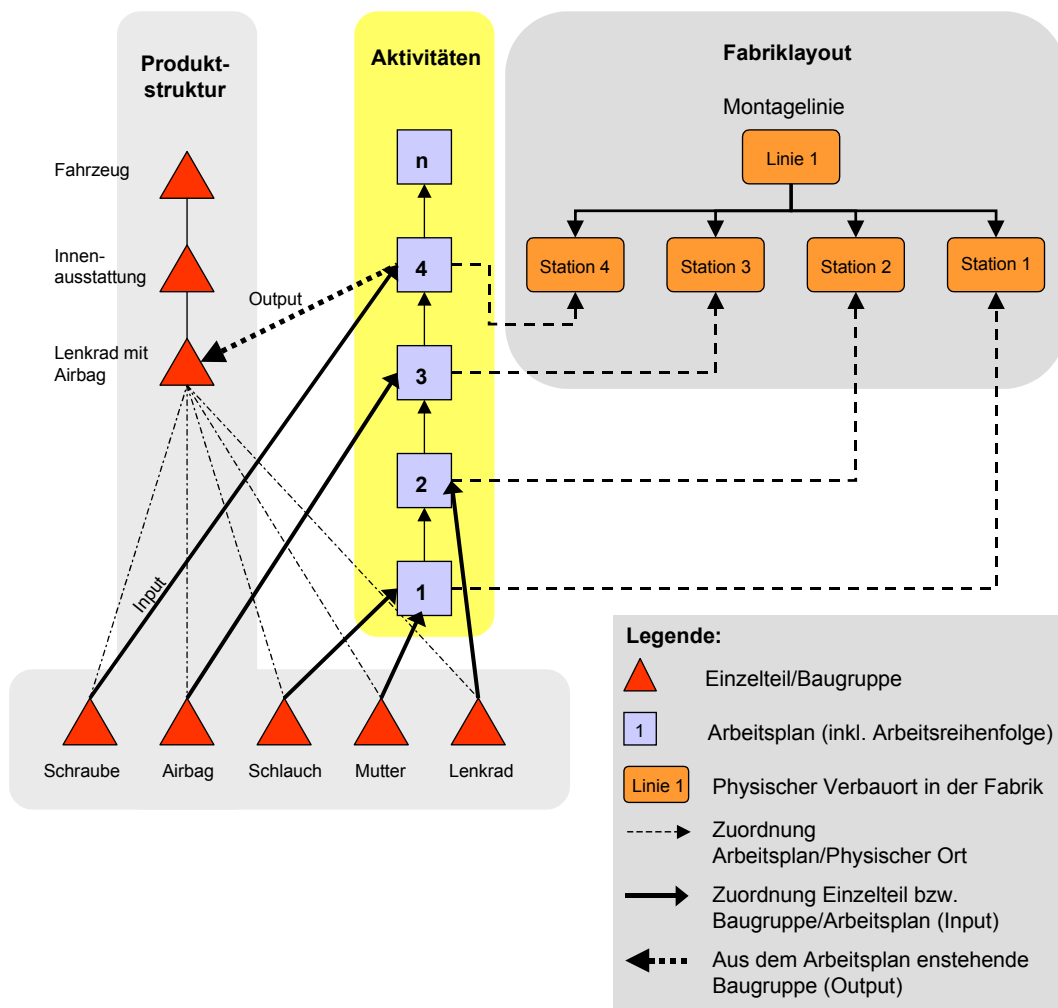


Bild 3-14: Integrierte Abbildung von Produkt-, Prozess- und Fabriklayout-Informationen in einem Netzwerk (nach [SAP01a])

3.5 Integriertes Prozess- und Datenmodell (IPDM) der DaimlerChrysler AG

Die DaimlerChrysler AG hat sich bereits ab Mitte der neunziger Jahre im Werk Bremen mit den methodischen Integrationsmöglichkeiten von Produkt- und Prozessdaten beschäftigt. Der Ausgangspunkt für diese Bestrebungen war zunächst die in den Logistikbereichen gereifte Erkenntnis, dass die herkömmlichen Methoden die aktuellen Anforderungen der Produkt- und Prozessdokumentation nicht mehr erfüllen konnten. Neben der steigenden Komplexität der Produkte und der damit verbundenen Variantenvielfalt, erwiesen sich in der betrieblichen Praxis insbesondere die Themen Änderungsmanagement und die Dokumentation von bauteilübergreifenden Informationen als zentrale Problemstellungen der Produkt- und Prozessdokumentation. Darüber hinaus stellte die transparente Abbildung des rasant steigenden Anteils an Elektrik-, Elektronik und Software-Umfängen im Endprodukt die Produktdokumentation vor neue Herausforderungen.

Zur Lösungsfindung wurde daher ein methodischer Ansatz entwickelt, der in der Lage ist, unabhängig von dem jeweiligen Schritt im Produktentstehungsprozess alle entstehenden Informationen aufzunehmen und disziplinenübergreifend in einem gemeinsamen Objekt- bzw. Datenmodell bereitzustellen. Zielsetzung war die möglichst vollständige Abbildung des Produktes und der zu seiner Erstellung notwendigen Prozesse bzw. Ressourcen und deren Abhängigkeiten zueinander.

Der Ansatz des integrierten Prozess- und Datenmodells lässt sich mit den genannten Integrationsansätzen kommerzieller Softwareanbieter, wie z. B. dem integrierten Produkt- und Prozess-Engineering (IPPE) der SAP AG oder der Produkt-, Prozess-, Ressource-Integration der Firma DELMIA, vergleichen, enthält jedoch zwei wesentliche Unterschiede. Zum einen handelt es sich bei IPDM um einen systemunabhängigen Ansatz, der zwar weitgehend die Notation der SAP AG verwendet, jedoch losgelöst von der physischen Implementierung zunächst die Ausgangssituation prozessübergreifend und semi-formal beschreibt. Zum anderen benutzt IPDM eine neue Art der zugrunde gelegten Produktstruktur bzw. -dokumentation, die sog. Verbindungsdokumentation. D. h., dass anstatt der klassischen Stücklistenstruktur ein Dokumentationsverfahren entwickelt wurde, das in der Lage ist, die Bauteilinformation so zur Verfügung zu stellen, dass kein Informationsverlust durch etwaige Aggregationen, wie sie z. B. in einem Stücklistenbaum auftreten würden, entsteht. Daneben werden Prozessinformationen direkt und im Zusammenhang mit den betroffenen Bauteilen dokumentiert.

3.5.1 Verbindungsdokumentation

Das Herzstück des IPDM-Ansatzes ist eine neuartige Dokumentation in Form der Verbindungsdokumentation. Die Verbindungsdokumentation erzeugt im Vergleich zu den herkömmlichen Dokumentationsformen eine geänderte Sichtweise auf das Produkt, dessen Aufbau und der zum Aufbau des Produktes notwendigen Prozesse. Die bisherige Vorgehensweise zur Produktdokumentation in Form eines klassischen Stücklistenbaumes verknüpft zwei oder mehrere Einzelteile zu einem aggregierten Bauteil, dem sog. Zusammenbau (ZB) (vgl. Bild 3-15). Der Zusammenbau kann zum Beispiel der Output einer Vormontage aber auch eines einzelnen Arbeitsganges sein und wird seinerseits in einer nächsten Stufe quasi als neues Einzelteil behandelt. Die ursprünglichen Einzelteilinformationen und –bezüge gehen somit im Prozess bzw. auf der nächsten Hierarchieebene der Dokumentation verloren. Die Zusammenbauten werden in der Produktdokumentation vor allem verwendet, um das Produkt fertigungsorientiert strukturieren zu können.

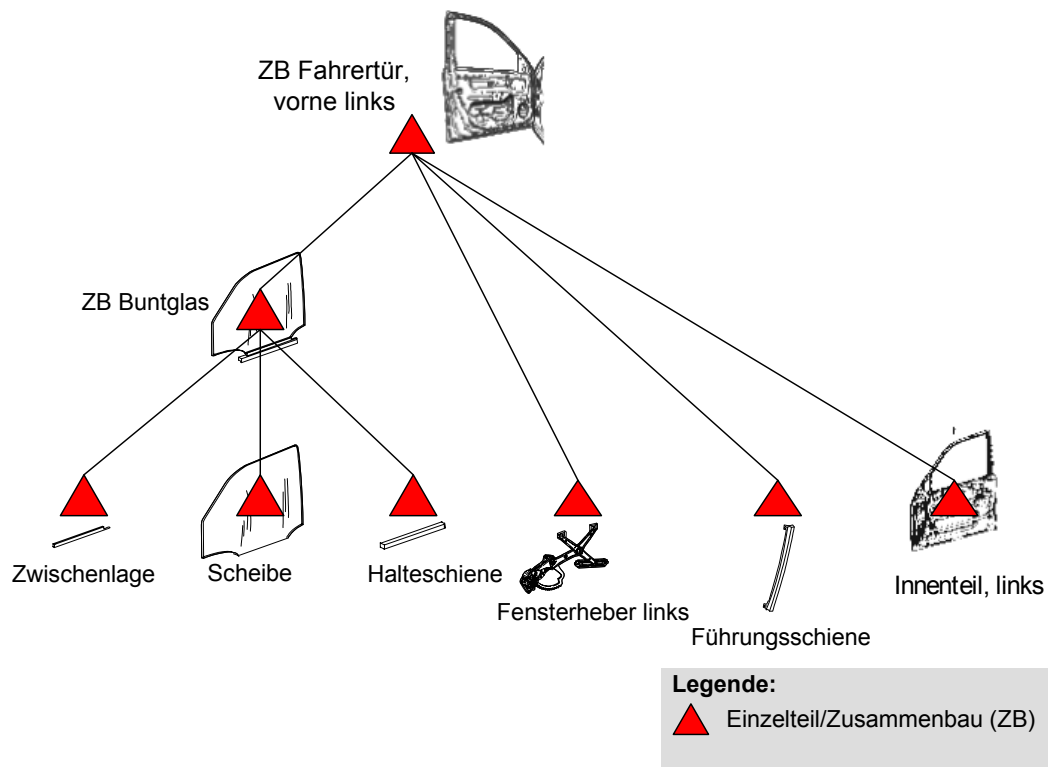


Bild 3-15: Herkömmliche Dokumentation am Beispiel PKW-Fahrtür

Die Verbindungsdokumentation arbeitet anstatt mit einer hierarchischen mit einer flachen Struktur, deren Hauptmerkmal der Einzelteilbezug ist. Zunächst werden zwei oder mehrere Einzelteile nicht zu einem Zusammenbau sondern zu einer Verbindung verknüpft. An dieser Stelle besteht zunächst zwischen herkömmlicher und Verbindungsdokumentation hinsichtlich der Detaillierung noch kein wesent-

licher Unterschied. Wenn jedoch diese aggregierte Menge von Einzelteilen dann in einen nächsten Fertigungsschritt eingeht, wird anstatt auf die zusammenfassende Verbindung auf das vom Fertigungsschritt konkret betroffene Einzelteil Bezug genommen (vgl. Bild 3-16).

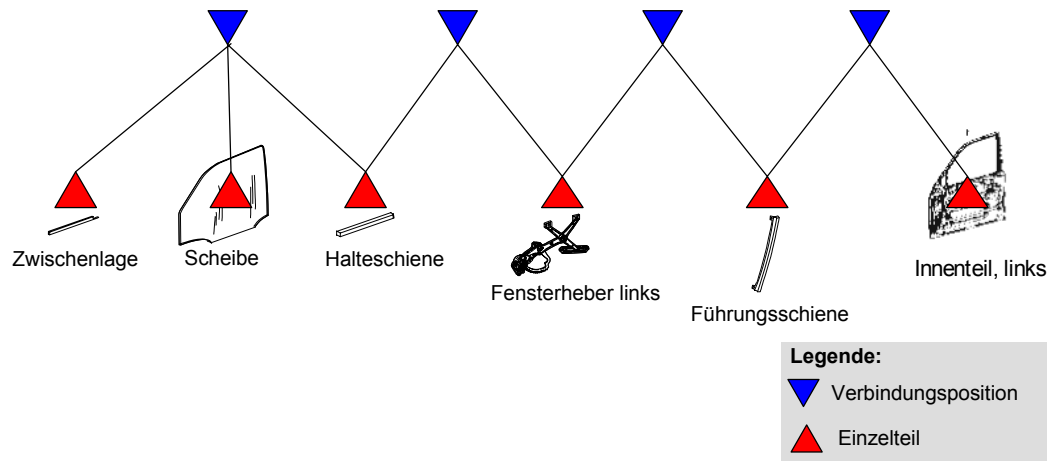


Bild 3-16: Dokumentation auf Basis Verbindungspositionen am Beispiel PKW-Fahrertür

Für ein einzelnes Bauteil heißt das, dass es in beliebig viele Verbindungen eingehen kann und jede Zuordnung auf Einzelteilebene entsprechend dokumentiert ist. Bei Anwendung der Verbindungsdokumentation entsteht daher keine hierarchische Stücklistenstruktur, sondern das Produkt wird als flaches Netz aus Einzelteilen (Teilepositionen) und Verbindungen (Verbindungspositionen) abgebildet (vgl. Bild 3-17)¹⁶.

16. Die Begriffe Einzelteil, Einzelteilposition und Teileposition werden oftmals synonym verwendet. Aus Dokumentationssicht kennzeichnet der Zusatz „-position“ eine bestimmte Strukturstufe, unter der dann verschiedene Positionsvarianten vorhanden sein können. So wäre beispielsweise bei der Dokumentation eines PKW das Lenkrad eine Teileposition, während die konkreten Ausführungen Lederlenkrad oder Holzlenkrad entsprechende Teilpositionsvarianten wären. Diese Systematik in der Bezeichnung wird bei der Verbindungsdokumentation übernommen.

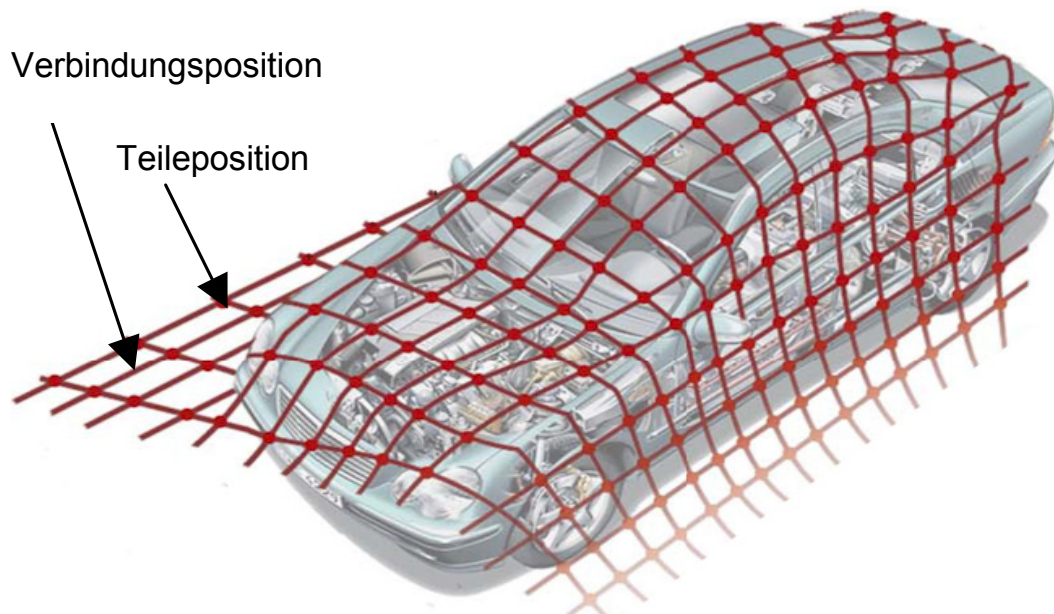


Bild 3-17: Das Produkt als Netz

Auf Basis der Dokumentation von Einzelteilen und Verbindungen lässt sich der Herstellprozess modellieren und abbilden. Zu diesem Zweck umfasst die Verbindungsdokumentation zusätzlich die Möglichkeit, die Reihenfolge der Verbindungserstellung als sog. Vorranggraph zu integrieren. Der Vorranggraph beschreibt die zwingend notwendige logische Reihenfolge bei der Verbindungserstellung (vgl. Bild 3-18). Die Verbindungsposition ist dabei das zentrale Informationselement, das die zu verbindenden Einzelteile wie auch die eventuellen Vorgänger- und Nachfolger-Verbindungen kennt.

Die für den Herstellprozess relevanten Informationen können mit Hilfe der Struktur von Einzelteilen und Verbindungen verwendungsrichtig und vollständig zugeordnet werden. Das heißt, dass alle Informationen mit Einzelteilbezug auch dem Einzelteil zugewiesen werden, während die Verbindungsposition alle Informationen enthält, die zur Verbindung der Einzelteile notwendig sind. Dies können beispielsweise Arbeitsplan-, Betriebsmittel- oder Layout-Informationen sein.

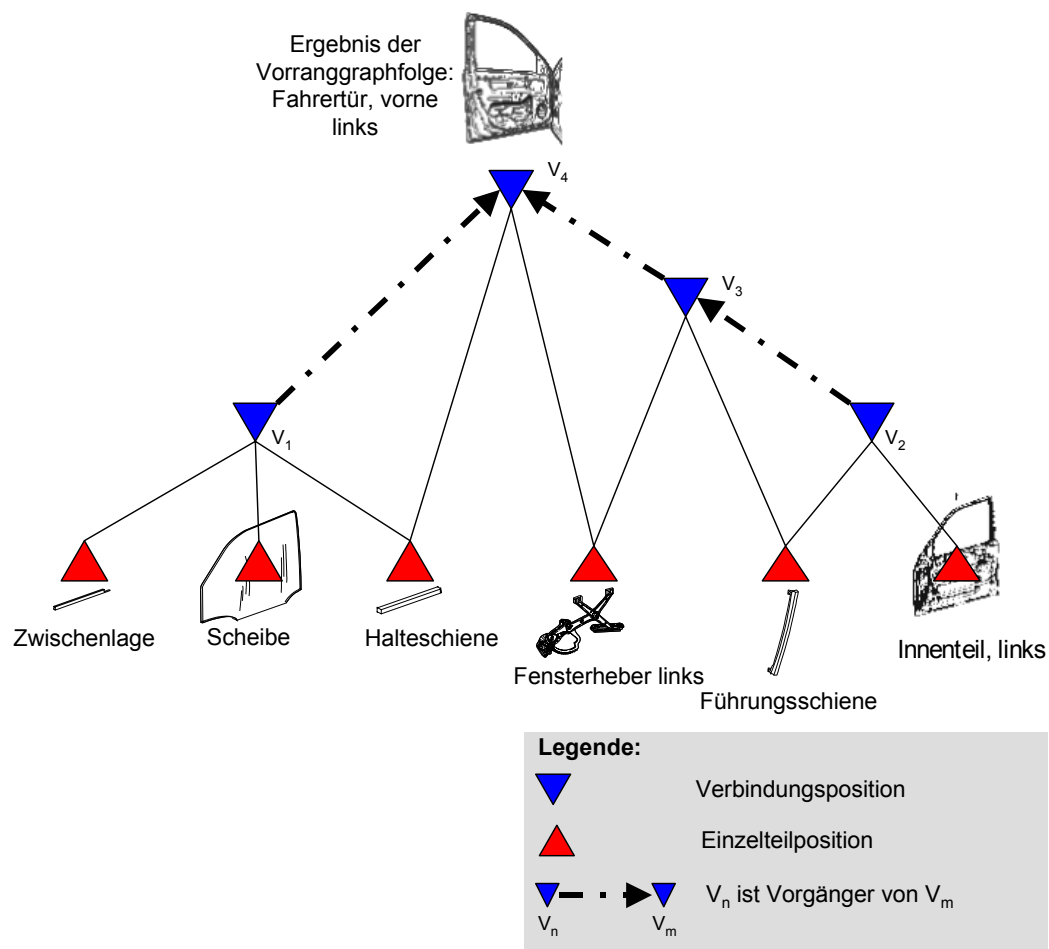


Bild 3-18: Verbindungsdokumentation und Vorranggraph

3.5.2 Objektmodell

Das Objektmodell der Verbindungsdokumentation beinhaltet alle Objekte, die aus Sicht des Produktes und des Prozesses notwendig sind, um Informationen vollständig, integriert und i. S. des Produktentstehungsprozesses übergreifend ablegen zu können. Dabei bilden die Teile- und Verbindungspositionen die zentralen Zuordnungskriterien, denen die relevanten Informationen in Form von Attributen und Objekten zugeordnet werden. Das Objektmodell ist im Hinblick auf seine Erweiterbarkeit flexibel handhabbar. Wichtig für diese Erweiterungen des Modells ist jedoch der führende Charakter („Schlüsselbegriff“) der beiden Objekte Verbindungsposition und Teileposition, da ansonsten die prozessübergreifende Eindeutigkeit nicht gewährleistet ist. Im Rahmen der Entwicklungsarbeit zum integrierten Prozess- und Datenmodell haben sich die weiteren Objekte Betriebsmittel, Verfahren und Fabrik-Layout als sinnvoll erwiesen (vgl. Bild 3-19).

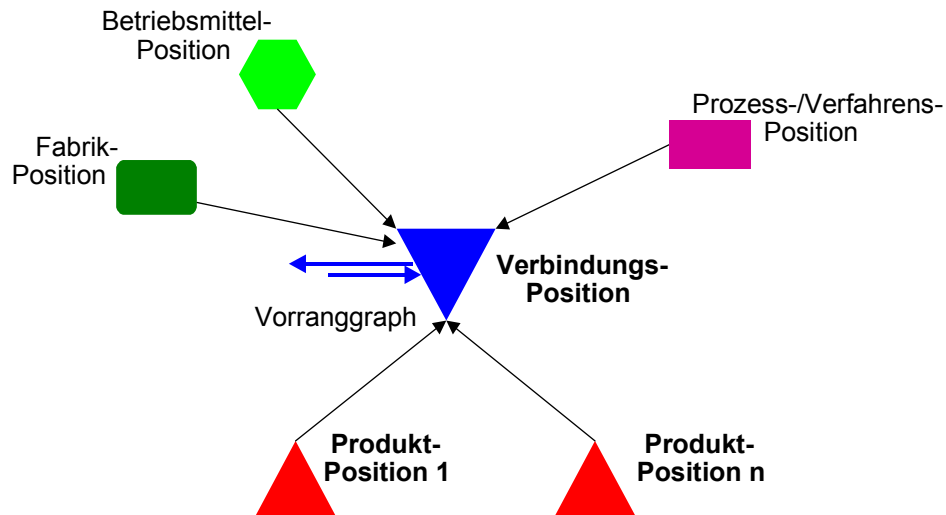


Bild 3-19: Vollständiges Objektmodell einer Verbindungsposition

Im Folgenden werden die einzelnen Bestandteile des eingeführten Objektmodells näher beschrieben:

- **Prozess-/Verfahrensposition:** Die Prozess-/Verfahrensposition beschreibt alternative Verfahren zur Realisierung der Verbindung auf die sie referenziert. Inhalt kann beispielsweise ein Arbeitsplan sein, der weiter in einzelne Arbeitsvorgänge strukturiert ist.
- **Betriebsmittelposition:** Die Betriebsmittelposition dokumentiert die zur Herstellung der Verbindung notwendigen Betriebsmittel und Ressourcen, wie zum Beispiel einen Druckluftschrauber oder Drehmomentschlüssel im Montageprozess.
- **Fabrikposition:** Die Fabrikposition legt fest, wo im Fabriklayout, d.h. an welchem Bandabschnitt, an welcher Maschine, die Verbindungsposition hergestellt wird.
- **Verbindungsposition:** Eine Verbindungsposition bündelt die verschiedenen Objekte (Positionen) einer Verbindung. Die Verbindungsposition ist das zentrale Objekt der Verbindung.

Die Verbindungsdocumentation hat sich auch aus dem Missstand entwickelt, dass sich in der klassischen Stücklistendokumentation viele Informationen der Zuordnung einer einzelnen Teileposition entziehen, sondern sich vielmehr auf eine Verbindung aus zwei oder mehreren Teilen im Sinne eines Prozessschrittes beziehen. Dennoch gibt es nach wie vor Informationen, die direkt einem Teil zugeordnet werden können und müssen, wie z. B. verschiedene Montagetätigkeiten (Arbeitspläne). Daher muss im Objektmodell neben der Zuordnung von Objekten zur Verbindungsposition nach wie vor eine Zuordnungsmöglichkeit zur Teileposition existieren (vgl. Bild 3-20).

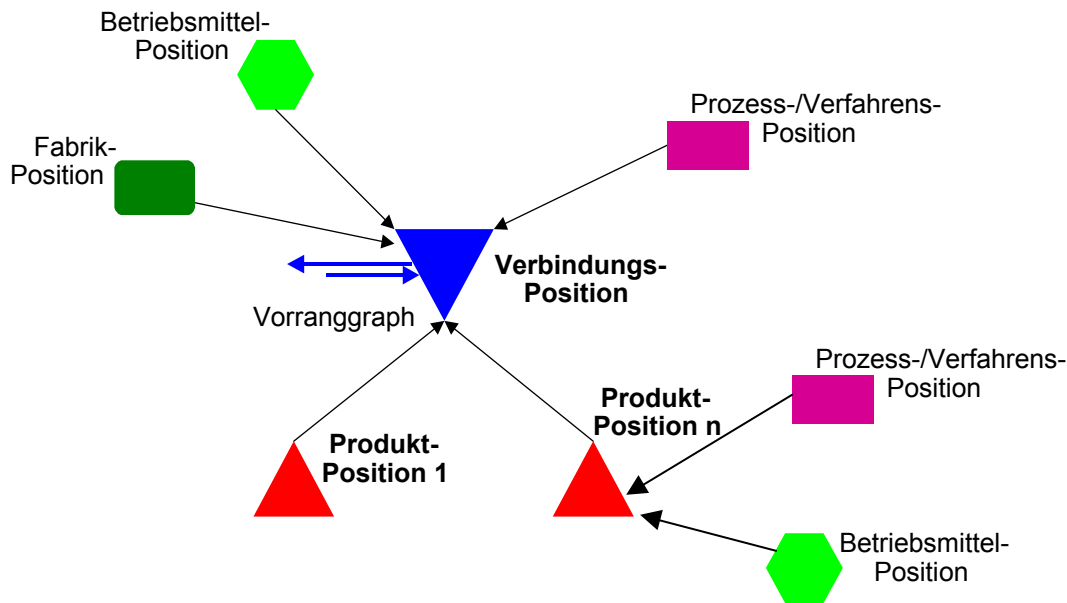


Bild 3-20: Direkte Anbindung von Objekten an die Produktposition

3.5.3 Basisebene des Objektmodells und Aggregation

Das integrierte Prozess- und Datenmodell geht in seiner Betrachtungsweise immer von der kleinstmöglich sinnvollen Einzelteilebene aus, die dann zur Produktnetz-bildung herangezogen wird. Im Falle einer Serienproduktion mit einem hohen Anteil von fremdgelieferten Teilen, wie dies z. B. bei einem Automobilhersteller der Fall ist, versteht man als Basisebene der Teilepositionen die hausinterne Konstruktionstiefe. Dies kann sowohl ein Einzelteil als auch ein komplett angelieferter Zusammenbau eines Lieferanten, z. B. ein Scheibenwischermotor, sein.

Aus Sicht des Fertigungsprozesses kann es jedoch auch bei Anwendung der Verbindungsdocumentation notwendig sein, dass eine Aggregation bestimmter Einzelteile zu Zusammenbauten vorgenommen wird. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn in Vormontagen hergestellten Zwischenprodukte als so genannte Zusammenbauten weitergeführt werden, die dann quasi als eine einzelne Teileposition in den weiteren Herstellprozess eingehen. Die Aggregation von Teilepositionen zu Zusammenbauten sieht das integrierte Prozess- und Datenmodell ebenfalls vor. Die Bildung erfolgt im Vergleich zur herkömmlichen Produktdokumentation über die Verbindungsposition. Wenn also Teilepositionen über eine Reihenfolge von Verbindungspositionen verbunden werden sollen, dann erzeugt die letzte Verbindung den dazugehörigen Zusammenbau (vgl. Bild 3-21). Grundlage für die korrekte Bildung eines Zusammenbaus besteht darin, dass im Zusammenbau die jeweiligen Verbindungen der relevanten Sequenz bekannt sind. Der große Vorteil der Bildung von Zusammenbauten im integrierten Prozess- und Datenmodell ist

die Bedarfsorientierung. Zusammenbauten werden tatsächlich nur dort gebildet, wo sie entsprechend spezieller Anforderungen aus Sicht des Prozesses notwendig sind.

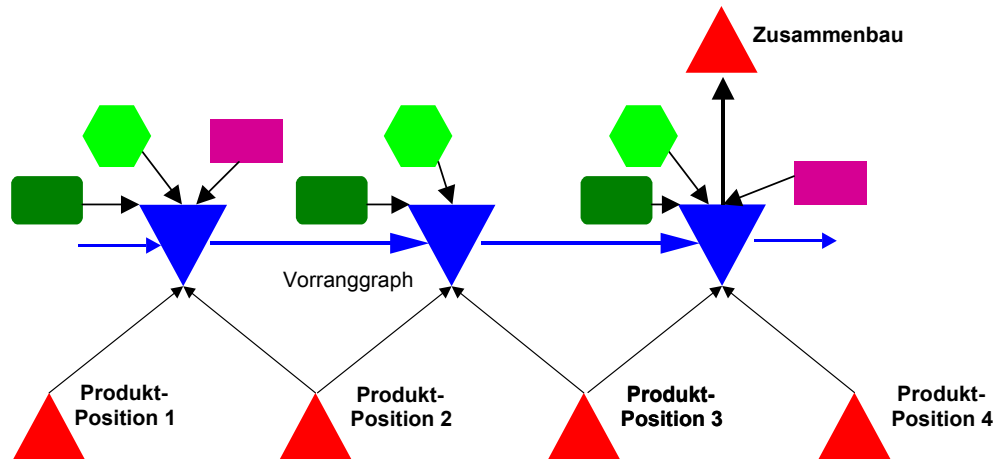


Bild 3-21: Systematik der Vorranggraphdokumentation

3.5.4 Variantenbildung

Die Produktion variantenreicher Produkte stellt besondere Anforderungen an die integrierte Modellierung von Produkten und Prozessen. Gerade für das Produkt „Auto“ kann der Kunde unter einer Vielzahl von Ausstattungsvarianten wählen. Der Sachverhalt der Variantenabbildung und –auswahl findet daher ebenfalls im Objektmodell des integrierten Prozess- und Datenmodells seinen Einfluss.

Die Variantenauswahl/-bildung erfolgt im Sinne der Dokumentation über eine Code-Systematik. Dabei stellt der Code (Regelement) eine unter Verkaufs-, Funktions- und Steuerungsgesichtspunkten gebildete Verschlüsselung von Verkaufsbegriffen (Sonderausführungen) dar. Die Codes werden vom Kunden insofern bestellt, als dass die im Verkauf vorgegebenen Konfigurationsmerkmale in die Dokumentationssprache übersetzt werden. Das bedeutet, dass für jedes Konfigurationsmerkmal ein Code vorhanden ist.

Eine Coderegeln entsteht nach den Grundsätzen der Booleschen Algebra aus den Codes und den Booleschen Operatoren (UND, ODER und UND NICHT). Die Coderegeln im Produktnetz bestimmen, unter welchen Code-Bedingungen ein Teil in eine Fahrzeug- oder Aggregatebaureihe einzubauen ist. Die vom Kunden in Form seines konkreten Auftrages gewählten Ausstattungsvarianten (Codes) determinieren die Auswahl der für die Herstellung des Fahrzeuges erforderlichen Teile und Baugruppen aus der Stückliste. Die Besonderheit im integrierten Prozess- und Datenmodell ist die Möglichkeit der code-basierten Steuerung aller Objekte (vgl.

Bild 3-22). Dies bedeutet, dass Codes nicht nur an den Teilepositionen dokumentiert werden, sondern an allen Objekten, bei denen dies aus Verkaufs-, Funktions- und Steuerungsgesichtspunkten notwendig ist. So können beispielsweise im IPDM über die Codes des Kundenauftrages, die zu seiner Erstellung notwendigen Prozess-/Verfahrens-, Betriebsmittel- oder Fabrik-Position ermittelt werden.

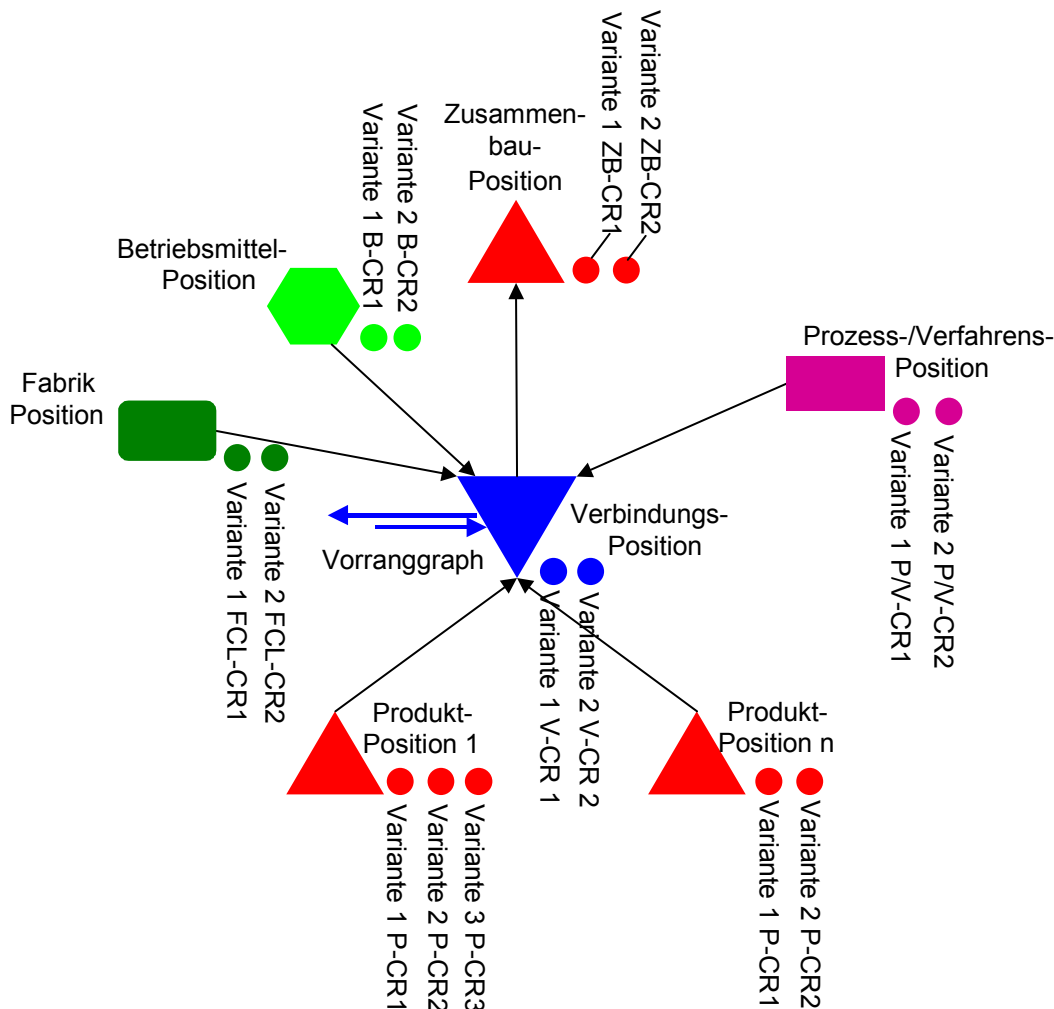


Bild 3-22: Positionsvarianten des Objektmodells

Im Folgenden werden die einzelnen Positionsvarianten des Objektmodells näher beschrieben:

- **Produktpositionsvarianten:** Bei Produkt-Positionsvarianten handelt es sich um konkrete Ausprägungen (Positionsvarianten) einer verwendungsspezifischen Produkt-Position. Über das an den Positionsvarianten dokumentierte Beziehungswissen in Form der Code-Regeln wird eine konkrete Variante selektiert. Für das Beziehungswissen an den Varianten werden die technischen Codes verwendet. Länderspezifische Codes wer-

den nur dann berücksichtigt, wenn diese Codes funktionspezifisch sind. VerkaufsCodes werden nicht berücksichtigt. Änderungen an einer Positionsvariante können über die entsprechende Produkt-Position an die Verbindungsposition weitergereicht werden. Die Verbindungsposition ermöglicht eine Steuerung unter anderem von Änderungen.

- **Prozess-/Verfahrensvariante:** Eine Prozess-/Verfahrens-Variante wird durch eine Sequenz von Prozessschritten, sog. Activities, realisiert. Es besteht die Möglichkeit einer direkten Beziehung zwischen Activity und Produkt-Position. Über die an der Verfahrens-/Prozess-Variante dokumentierte Code-Regel wird eine konkrete Variante selektiert. Analog zu den Produkt-Positionsvarianten können damit ebenso technische Änderungen über die Verbindungsposition gesteuert werden.
- **Betriebsmittelpositionsvarianten:** Bei Betriebsmittelpositionsvarianten handelt es sich um konkrete Ausprägungen einer verwendungsspezifischen Betriebsmittelposition. Über das an den Positionsvarianten dokumentierte Beziehungswissen wird eine konkrete Variante selektiert. Änderungen an den Positionsvarianten können ebenfalls über die Verbindungsposition gesteuert werden.
- **Fabrikpositionsvarianten:** Bei Fabrikpositionsvarianten handelt es sich um konkrete Ausprägungen einer verwendungsspezifischen Fabrikposition. Über die an den Positionsvarianten dokumentierten Code-Regeln wird eine konkrete Fabrikpositionsvariante selektiert. Die Positionsvariante kann beispielsweise durch eine Station abgebildet werden. Änderungen an den Positionsvarianten können analog zu den oben genannten Positionsvarianten über die Verbindungsposition gesteuert werden.
- **ZB-Positionsvarianten:** ZB-Positionsvarianten entstehen durch die Auswertung und Analyse der von dem Zusammenbau zusammengefassten Einzelpositionen bzw. ihrer Code-Regeln. Das heißt, es werden die jeweiligen Coderegeln der einzelnen Objekte untersucht, inwieweit sie zu neuen ZB-Positionsvarianten führen oder aber durch bestehende Varianten bereits abgebildet sind. Zusätzlich erfolgt eine Berücksichtigung von weiteren Code-Restriktionen, wie sie z. B. aus fertigungstechnischer Sicht bestehen können. Der gesamte Vorgang der Auswertung und Analyse wird auch als Plausibilisierung bezeichnet. Über das an den ZB-Positionsvarianten plausibilisierte Beziehungswissen in Form von Code-Regeln wird dann im Falle eines Kundenauftrages eine konkrete Variante selektiert.
- **Verbindungspositionsvarianten:** Die Gesamtheit der Verbindungs-Positions-Varianten ergibt sich durch die Plausibilisierung der maximalen Anzahl theoretischer Varianten einer Verbindung. Im Sinne des

integrierten Prozess- und Datenmodells wird die maximale Anzahl aller theoretisch möglichen Varianten einer Verbindung erzeugt, indem die Positionsvarianten der verschiedenen Positionen des Objektmodells einer Verbindung miteinander kombiniert werden.

Das folgende Bild 3-23 stellt ein exemplarisches Beispiel der Verbindungsdokumentation unter Verwendung von Bauteil- und Verbindungsinformationen vor.

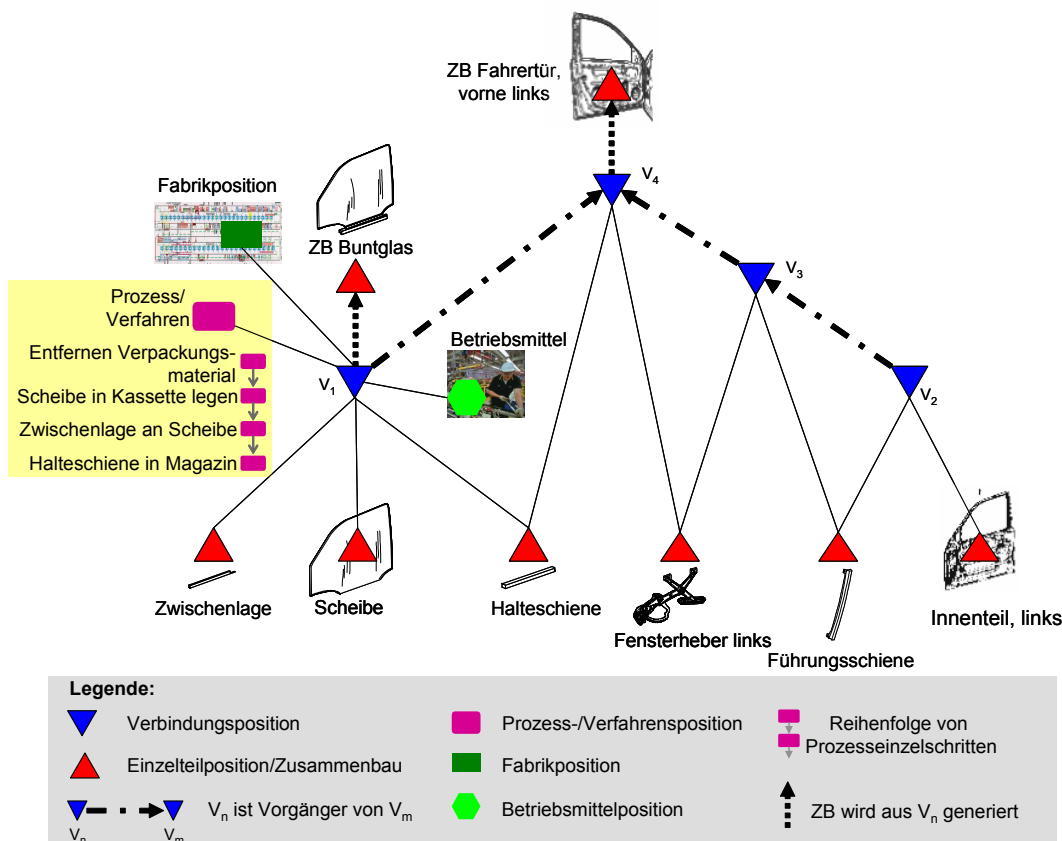


Bild 3-23: Verbindungsdokumentation am Beispiel einer PKW-Seitentür

3.5.5 Generierungsalgorithmen

Zur näheren Erläuterung der Notwendigkeit einer automatisierten Generierung von Zusammenbauten ist es erforderlich, einen Blick auf die bisher angewandte Systematik zu werfen. Heutzutage erfolgt die Konstruktion eines Zusammenbaus wie auch die Dokumentation der entsprechenden Code-Regeln mit Hilfe einer Top-Down-Vorgehensweise ausgehend vom Zusammenbau zu den Einzelteilen. Diese Vorgehensweise impliziert bei komplexen und mehrstufigen Zusammenbauten ein großes Fehlerpotenzial bezüglich der korrekten Bildung von Codere-

geln. Fehlerhafte Coderegeln führen wiederum zu Problemen, da aufgrund des integrativen Ansatzes nachfolgende Prozesse mit falschen Informationen versorgt werden. Im Extremfall können solche Fehler im Produktionsprozess zu Problemen bei der Produktionssteuerung, zu falsch bestellten und gelieferten Teilen sowie letztendlich zu Produktionsausfällen führen.

Im Rahmen des integrierten Prozess- und Datenmodells wird daher von einer Bottom-Up-Sicht ausgegangen, d. h., dass die Generierung der Coderegeln am Zusammenbau von den jeweiligen Einzelteilen ausgeht. Durch diese Art der Generierung ist die Vollständigkeit der Code-Regel an den Zusammenbau-Positionsvarianten sichergestellt.

Über die Verbindungsdokumentation werden die zur Bildung des Zusammenbaus beteiligten Objekte identifiziert. Diese Objekte müssen nicht notwendigerweise Teile sein, sondern können auch andere coderegeln gesteuerte Objekte beinhalten. Die Coderegeln am jeweiligen Objekt werden benutzt, um die Coderegeln am dazugehörigen Zusammenbau zu erzeugen.

Der Vorteil der automatischen ZB-Generierung über Verbindungen besteht darin, dass jeder im Prozess entstehende Zusammenbau von Teilen über die Verbindungsdokumentation bestimmt werden kann, unabhängig davon ob dieser im Rahmen der Produktdokumentation bereits explizit dokumentiert ist oder nicht. Somit können aufwendige Recherchen oder Nachdokumentationen vereinfacht werden.

Um die große Anzahl der theoretisch möglichen ZB-Varianten einzuschränken, werden bei der automatischen Generierung sowohl Belange der Einsatzplanung und -steuerung als auch vertriebsseitige Restriktionen berücksichtigt. Dies bedeutet, dass bestimmte Code-Kombinationen des Zusammenbaus von vornherein ausgeschlossen und damit eliminiert werden.

3.5.6 Anlauf-/Änderungsmanagement

Auf Basis des integrierten Prozess- und Datenmodells kann ein umfassendes und durchgängiges Anlauf- und Änderungsmanagement realisiert werden. Grundlage dafür ist die im Kontext von IPDM entwickelte Sichtweise der „Kammlinie am Teil“ (vgl. Bild 3-24). Diese geht davon aus, dass nicht der komplette Teileumfang eines Produktes einen Anlauf-/Änderungsprozess durchläuft, sondern jedes einzelne Bauteil aufgrund seiner spezifischen Ausprägungen (Qualitätsstand, Gültigkeiten usw.) entlang des kompletten Produktlebenszyklus eine Vielzahl von Änderungen erfährt. Der Reifegrad des Gesamtproduktes ist daher nur so hoch wie der Reifegrad der jeweiligen Bauteile.

Die Sichtweise „Kammlinie am Teil“ impliziert vor allem organisatorische Änderungen im Prozess zwischen Produktentwicklung und Produktion. Während in der klassischen Betrachtungsweise der Entwicklungsstatus eines Produktes zu einem bestimmten Zeitpunkt komplett abgeschlossen ist und es Produktionsreife erlangt hat, benötigt die teilebezogene Betrachtung ein ständiges Zusammenspiel zwischen Entwicklung und Produktion.

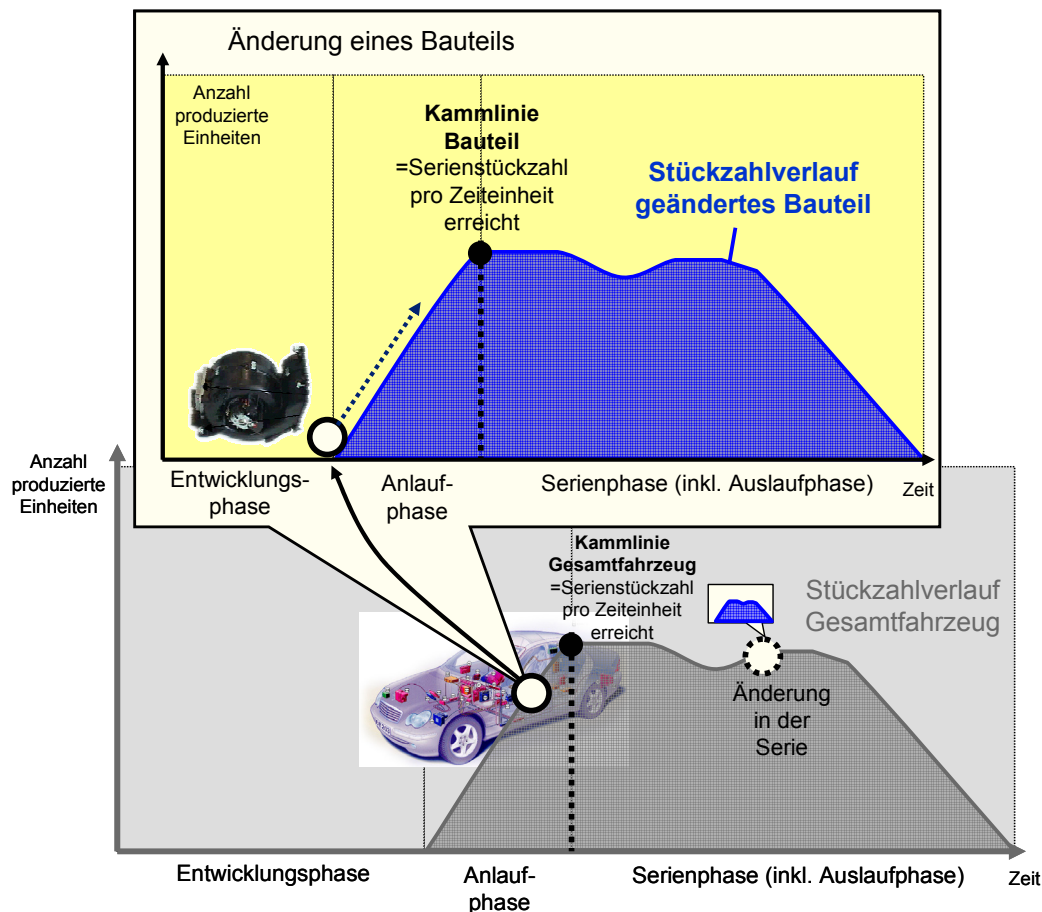


Bild 3-24: Kammlinie am Teil (nach [DC02])

Darüber hinaus bleibt die Änderung eines einzelnen Bauteils nur selten ohne Auswirkung auf andere Bauteile oder Sachverhalte, so dass die eindeutige Identifikation des zu ändernden Umfangs eine der zentralen Fragestellungen innerhalb des Änderungswesens ist. Durch die vollständige Abbildung der Produkte, Prozesse sowie deren physische bzw. direkten Abhängigkeiten ist es im Rahmen des integrierten Prozess- und Datenmodells möglich, den von einem Änderungsimpuls ausgehenden Änderungsumfang beliebig detailliert zu ermitteln. Das Anlauf-/Änderungsmanagement bezieht sich, ähnlich wie dann auch die Einsatzsteuerung, nicht mehr nur auf die reinen Bauteiländerungen, sondern bezieht alle im Informationsnetz vorhandenen Objekte in seine Betrachtung ein. Sämtliche Objekte kön-

nen jeweils von einer Änderung betroffen sein, wie auch selber eine Änderung im Netz auslösen. So gibt es im Sprachgebrauch des IPDM neben der „klassischen“ bauteilinduzierten Änderung, wie z. B. durch das Hinzufügen eines neuen Bauteils oder die konstruktive Änderung eines bereits bestehenden Bauteils, auch eine prozessinduzierte Änderung, beispielsweise durch Ergänzung einer neuen Prozessvariante.

3.5.7 Integrationsplattform logische Matrix

Das Objektmodell des integrierten Prozess- und Datenmodells umfasst die Gesamtheit aller relevanten Objekte und deren Verknüpfungen untereinander. Um aus dieser Gesamtheit Objekte über eine Code-Regel-Systematik für bestimmte Auftragskonfigurationen auszuwählen, ist es notwendig, das Modell mit entsprechenden Auftragsdaten zu versorgen. Zu diesem Zweck werden alle Objekte bzw. deren Attribute und Ausprägungen in einer flachen¹⁷ Liste (Zeilen) dargestellt. Dieser Liste werden dann die Aufträge in Form von Spalten gegenübergestellt. Die so entstehende Matrix stellt die produktbeschreibenden Informationen aus der Entwicklung, die produkt-, kosten- und standortspezifischen Verfahrens- und Fabrikdaten sowie die Auftragsdaten aus dem Vertrieb in einem gemeinsamen Datenmodell prozessübergreifend zur Verfügung (vgl. Bild 3-25).

17. Eine flache Liste stellt die relevante Einzelteilebene der Stücklistenstruktur in Listform ohne mögliche Aggregationen dar.

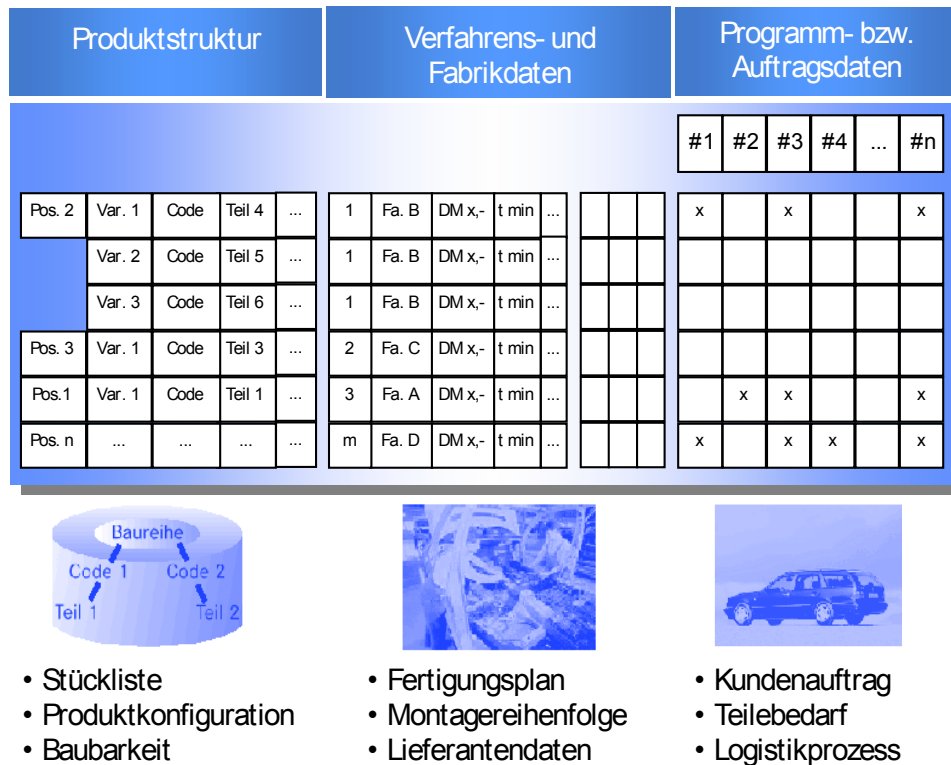


Bild 3-25: Die Matrix des integrierten Prozess- und Datenmodells

Die Matrix wird in ihrer Grundform in die drei Bereiche Produktstruktur, Verfahrens-/Fabrikdaten und Programm-/Auftragsdaten unterteilt:

- **Produktstruktur:** Die Produktstruktur bezeichnet den linken Teil der Matrix, in dem die Gesamtheit aller Einzelteilpositionsvarianten verzeichnet ist. Jede Zeile enthält eine Einzelteilpositionsvariante in Form eines bestimmten Bauteils mit einer spezifischen Sachnummer. Zusätzlich werden neben den Strukturmerkmalen der Stückliste die Sachnummerinformationen, Coderegeln und Gültigkeiten der Einzelteilposition dargestellt.
- **Verfahrens- und Fabrikdaten:** Die Verfahrens- und Fabrikdaten umfassen alle prozesseitigen Informationen, die zur Verarbeitung der Einzelteile der Produktstruktur relevant sind. Dies sind u. a. Fertigungsplan- und Lieferantendaten sowie die Montagereihenfolge. Die konkrete Darstellung von Attributen (Fertigungszeiten, -kosten usw.) in der Matrix hängt vom jeweiligen Betrachtungsfokus ab.
- **Programm- bzw. Auftragsdaten:** Der rechte Teil der Matrix umfasst die Daten des Produktionsprogramms. Hier werden die einzelnen Kundenaufträge in Form von Spalten dargestellt. Jeder Auftrag enthält Informationen darüber, welche konkreten Varianten (Codes) der Kunde ausgewählt hat. Mit Hilfe dieser Auftragskonfiguration werden dann die dazu notwendigen

Einzelteile in den Zeilen ausgewählt. Der Vorgang der Einzelteilbestimmung wird als sog. Trefferbildung bezeichnet, da durch Vergleich der Code-Information des Kundenauftrages mit denen der Produktstruktur ein Trefferfeld zwischen Spalten und Zeilen der Matrix ermittelt wird. Die Zeilensumme für eine bestimmte Zeile über alle Aufträge ergibt den Bedarf für eine Einzelteilposition über alle Aufträge (vgl. Bild 3-26). Die Spaltensumme für eine bestimmte Spalte ergibt hingegen den Teilebedarf über alle Teile für den einzelnen Auftrag. Die Trefferbildung kann auf Basis beliebiger Plan-Produktionsprogramme wie auch mit Hilfe realer Kundenaufträge durchgeführt werden. Sie dient der Ermittlung des logistischen Teilebedarfes, auf dessen Basis beispielsweise die Bestellung der Teile beim Lieferanten oder der Anstoß der Eigenfertigung erfolgt.

Produktstruktur					Verfahrens-und Fabrikdaten					Programm-bzw. Auftragsdaten						Zeilen- summe		
										#1	#2	#3	#4	...	#n			
Pos. 2	Var. 1	Code	Teil 4	...	1	Fa B	DM x,-	t min	...			x		x			x	Σ
	Var. 2	Code	Teil 5	...	1	Fa B	DM x,-	t min	...									
	Var. 3	Code	Teil 6	...	1	Fa B	DM x,-	t min	...									
Pos. 3	Var. 1	Code	Teil 3	...	2	Fa C	DM x,-	t min	...									
Pos.1	Var. 1	Code	Teil 1	...	3	Fa A	DM x,-	t min	...				x	x			x	
Pos. n	...	...	...	...	m	Fa D	DM x,-	t min	...			x		x	x		x	
										Σ							Spalten- summe	

Bild 3-26: Zeilen- und Spaltensumme in der Matrix

Die Zusammenführung von Produktstruktur-, Prozess- und Auftragsdaten in Form einer übergreifenden Matrix ist die Basis für die schnelle und eindeutige Ermittlung von Produktvarianten mit dem Ziel einer Teilebedarfsermittlung. Darüber hinaus kann die Trefferbildung nicht nur zur Ermittlung des primären Teilebedarfs eingesetzt werden, sondern in gleicher Weise zur Bestimmung aller Werte die als Attribut mit der jeweiligen Zeile verknüpft sind. So ist es beispielsweise möglich, auch Kosten- oder Fertigungszeitinformationen zu ermitteln und über einen Auftrag zu summieren.

Je nach dem welche Attribute in der Trefferbildung einbezogen werden, kann die Auftragsreihenfolge unter Berücksichtigung bestimmter Restriktionen optimiert werden. Dies passiert durch einen einfachen Spaltentausch im Programm-/Auftragsdatenbereich der Matrix. Eine solche Optimierung kann zum Beispiel angewendet werden, wenn eine durchschnittliche Fertigungszeit für einen bestimmten Zeitraum nicht überschritten und eine gleichförmige Auslastung erreicht

werden soll. In diesem Fall würden mehrere Aufträge, die viele kundenspezifische Varianten enthalten und eine hohe Fertigungszeit besitzen, nicht in direkter Abfolge in die Produktion eingeplant, sondern entsprechend über einen Zeitraum verteilt werden.

Die systemtechnische Realisierung, also die physische Implementierung der logischen Matrix bzw. des logischen Datenmodells, kann durchaus auf verteilten Systemen erfolgen (vgl. Bild 3-27), da das gemeinsame logische Datenmodell eine definierte Weiterverarbeitbarkeit zur Folge hat. Zwischen den einzelnen Systemen ist lediglich eine Redundanzfreiheit der gelieferten Daten sicherzustellen. Dies setzt die Festlegung der Verantwortung für die Dateneinträge der einzelnen Spalten und Zeilen der Matrix voraus. Grundsätzlich bleibt jedoch festzuhalten, dass die physische Implementierung lediglich eine Ebene der Umsetzung der Integration von Produkt- und Prozessdaten darstellt, welche zur Abbildung aller Funktionen dient, die mit Hilfe der IT abgewickelt werden können. Um diesen Anteil von Funktionen zu identifizieren, ist es notwendig, ausgehend von der Organisation, die Prozesse und deren zugrunde gelegten Funktionen zu analysieren und eine entsprechende Einteilung in IT-technisch abbildbare und nicht abbildbare Funktionen vorzunehmen.

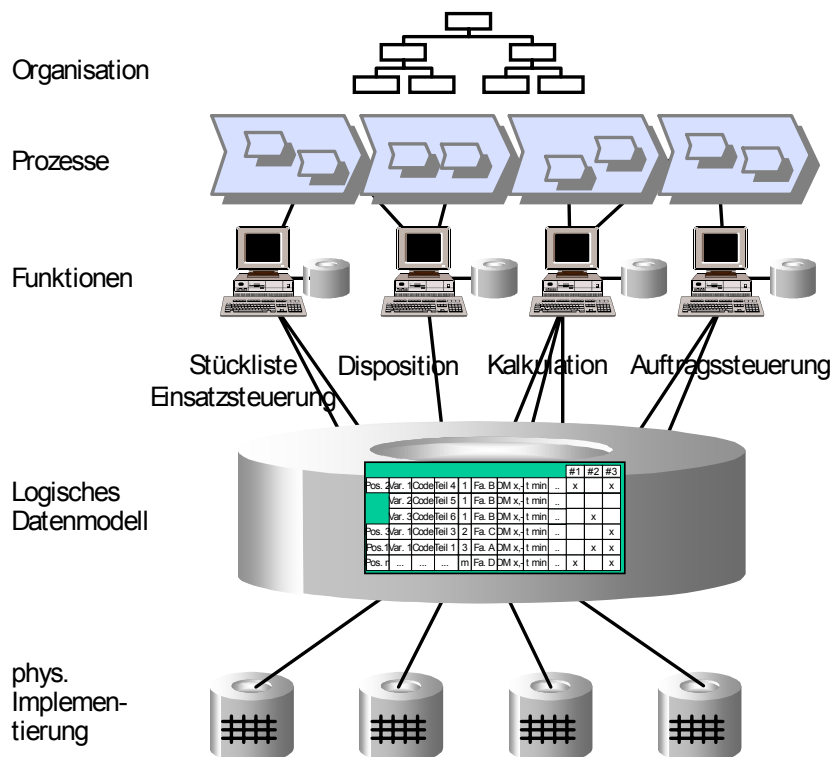


Bild 3-27: Schichten der Implementierung

3.6 Management technischer Änderungen

3.6.1 Grundlagen des Änderungswesens

Der Begriff der Änderung wird in der DIN 6789-Teil 3 definiert als „Festlegung eines neuen anstelle des bisherigen Zustandes“, wobei das Änderungswesen bzw. der Änderungsablauf in der DIN 199-Teil 4 dargestellt ist. Die Art und der Umfang dieser Definitionen führen in der Praxis jedoch zu zahlreichen Anwendungsproblemen [Con97], so dass CONRAT folgende Definition heranzieht:

„Als technische Änderungen [...] werden alle nachträglichen Änderungen an freigegebenen (d. h. verbindlich festgelegten) Arbeitsergebnissen innerhalb eines zusammenhängenden technischen Entwicklungsprozesses betrachtet. Sie beinhalten immer eine Änderung der technischen Dokumentation bzw. Datenbasis, schließen aber auch alle damit zusammenhängenden Produkt- und Prozessänderungen ein. Sie sind nach gültigen Normen prüfungs-, genehmigungs- und dokumentationspflichtig.“ [Con97]

AßMANN hingegen erweitert die Gültigkeit der Definition von technischen Änderungen auch auf die dem Entwicklungsprozess nachgelagerten Phasen des Produktlebenszyklus. Er bezieht im Vergleich zu CONRAT alle freigaberelevanten Änderungen des Produktlebenszyklus inklusive der Produktpflege und Upgrades ein, weist in diesem Zusammenhang jedoch auf die Notwendigkeit einer fallspezifischen kritischen Erörterung hin [Ass00].

Aufbauend auf den Definitionen von CONRAT und AßMANN fokussiert diese Arbeit auf folgende Charakteristika von technischen Änderungen:

- Änderungen können während des gesamten Produktlebenszyklus stattfinden.
- Änderungsobjekte können Produkte und Prozesse sein.
- Eine Änderung umfasst auch immer eine Änderung der Dokumentation und Datenbasis.
- Änderungen beziehen sich auf das Erreichen vereinbarter Arbeitsziele wie auch auf neue Varianten.

Änderungen können während des gesamten Produktlebenszyklus stattfinden

Die Produkteigenschaften lassen sich in den ersten Phasen des Produktlebenszyklus, also in der Planung und Konstruktion, am stärksten und mit dem geringsten Änderungsaufwand beeinflussen [Ehr03]. Die Vorverlagerung von Änderungen

ist, neben der Vermeidung, daher ein zentraler Ansatzpunkt für die Strategien des Änderungsmanagements in Bezug auf die Reduzierung von Änderungskosten [Ass98]. Ein effizientes Freigabe- und Änderungsmanagement ist dabei einer der zentralen Stellhebel in der Entwicklungsprozessgestaltung [Web99]. Jedoch sind die Erkenntnisse über die festzulegenden Produkteigenschaften gerade in diesen frühen Phasen am geringsten [Ehr03]. EHRENSPIEL spricht in diesem Zusammenhang auch von einem Paradoxon der Konstruktion [Ehr03].

Die starke Parallelisierung der Entwicklungstätigkeiten, durch z. B. das Simultaneous Engineering (SE), hat zu einer Verkürzung der Produktentwicklungszeiten geführt [Ker98, Ehr03]. Damit ist der Konstruktionsprozess näher an den Markteintritt herangerückt und die Kundenanforderungen sind sicherer zu prognostizieren [Wil93, Ehr03]. Trotzdem ist davon auszugehen, dass auch nach Durchschreiten der Serienreife eines Produktes, in der sog. Nachentwicklung, Änderungen notwendig werden [Ger98]. Diese Änderungen machen laut einer von CONRAT durchgeführten Umfrage 25 Prozent der Gesamtheit aller technischen Änderungen aus, wobei der für sie notwendige Personalaufwand deutlich höher ist, als bei Änderungen bis zum Zeitpunkt der Serienreife [Con97]. Die Unternehmen sind also gezwungen, ihre Serienprodukte kontinuierlich den Marktanforderungen anzupassen (vgl. Bild 3-28) [EG+98].

Die hohe Dynamik des Marktes hat zum Beispiel in der Automobilindustrie dazu geführt, dass während des Produktlebenszyklus über definierte Produktattraktivierungs- bzw. pflegemaßnahmen („Face Lift“) versucht wird, den geänderten Kundenanforderungen Rechnung zu tragen. Ebenfalls erlaubt die steigende Nutzung mittlerweile ausprägbarer Elektronikkomponenten („Flashtechnologie“) eine nachträgliche Implementierung verbesserter Funktionssoftware respektive gänzlich neuer Funktionsumfänge in ein bestehendes Fahrzeug [WK99].

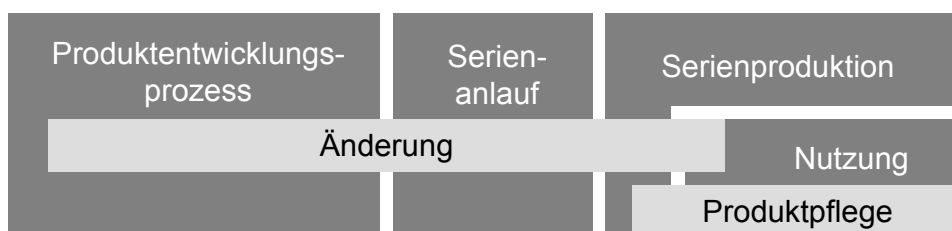


Bild 3-28: Änderungen als Bestandteil des Produktentwicklungsprozesses [Ass00]

Neben den kundeninduzierten Änderungen im Sinne einer Produktpflege, ist die Phase der Nachentwicklung durch produkt- und prozessseitige Optimierungen geprägt. Einerseits ist die „eigentliche Serienreife“ bezüglich der aufgestellten Zeit-, Qualitäts- und Kostenziele auch nach dem Serienproduktionsbeginn möglicherweise noch nicht erreicht, andererseits werden verschiedene Optimierungspos-

tenziale im Sinne des Lernkurveneffektes erst nach Überschreiten der sog. Kammlinie, d. h. nach Ende des Produktionshochlaufes, ersichtlich. Auf diesen Änderungen liegt insofern ein besonderer Augenmerk, als dass sie einen wesentlichen Beitrag für die Definition von Nachfolgeprodukten und –produktionsprozessen liefern können. Der Informationsrückfluss aus Produktion und Nutzung ist ein wichtiger Bestandteil zur Anhebung des Erkenntnisniveaus in frühen Phasen der Produktentwicklung [Ehr03].

Änderungsobjekte können Produkte und Prozesse sein

Im klassischen Änderungswesen steht vor allem die Betrachtung des Produktmodells im Vordergrund. Die enge Verzahnung zwischen Produkten und Prozessen, die bereits im Entwicklungsprozess festgelegt wird, macht jedoch eine um die Prozessaspekte erweiterte Betrachtung der Änderungen notwendig [Con97]. Technische Änderungen können also prinzipiell alle Objekte und Merkmale betreffen, die im Entwicklungsprozess gestaltet werden, d. h., Produkt- wie auch Prozessbestandteile und deren technische Dokumentationen [Con97]. Der Prozess kann, ähnlich dem Produkt, Änderungen hervorrufen (Ursache) [GS98] und selber von Änderungen betroffen sein (Auswirkung) [Kle98]. Von Relevanz sind an dieser Stelle auch Änderungen an Produkten und Prozessen über die gesamte Wertschöpfungskette. Bislang werden Änderungen insbesondere durch die Hersteller koordiniert, durch die Einbindung in Entwicklungskooperationen, wie es z. B. mit System- oder Modullieferanten der Fall ist, ist es jedoch notwendig, die Änderungen auch aus dieser Sicht zu beurteilen [EWS97]. SCHOLZ-REITER et al sprechen in Zusammenhang von der Notwendigkeit und einem der Hauptansatzpunkte eines kollaborativen Änderungsmanagements [SH+03].

Eine Änderung umfasst auch immer eine Änderung der Dokumentation und Datenbasis

Der Definition von CONRAT folgend, schließt eine technische Änderung zum einen immer eine Änderung der technischen Dokumentation und Datenbasis, zum anderen aber auch die damit zusammenhängende Produkt- und Prozessänderung ein [Con97]. Die technische Dokumentation und Datenbasis findet sich im digitalen Abbild des Produkt- und Prozessmodells wieder, so dass sich eine technische Änderung in zwei Komponenten aufteilt, nämlich in die reale Änderung des Produktes bzw. Prozesses und in die Änderung des digitalen Abbildes. Das digitale Abbild ist die Grundlage der Kommunikation und Dokumentation von Änderungen. Gerade die späte Kommunikation von Änderungen ist für einen enormen Zeitdruck in den betroffenen Organisationseinheiten verantwortlich und führt nicht zuletzt zu Terminverzügen bzw. zu Fehlern [KW02]. Zwischen den beiden Komponenten reale Änderung und Änderung der Dokumentation bzw. Datenbasis

können unterschiedliche Konstellationen bestehen. So sind beispielsweise Änderungen des digitalen Abbildes denkbar, die keine Änderungen der realen Welt nach sich ziehen, wie z. B. die Korrektur einer Bezeichnung im 3-D-Modell. Andererseits kann es Änderungen der realen Produkte und Prozesse geben, die nicht dokumentiert werden. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn in einem sehr frühen Entwicklungsstadium mit unterschiedlichen Produktkonzepten gearbeitet wird, die schnell und pragmatisch geändert werden müssen, z. B. bei der Design-Auswahl eines Produktes.

Im Gegensatz dazu werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit diejenigen Änderungen betrachtet, die beide Komponenten, also reale Produkt- und Prozessänderung mit gleichzeitiger Änderung des digitalen Produkt- und Prozessabbildes, umfassen und damit der Definition von CONRAT entsprechen.

Änderungen beziehen sich auf das Erreichen vereinbarter Arbeitsziele wie auch auf neue Varianten

In vielen Definitionen werden Änderungen als wesentlicher Teil eines definierten Entwicklungsprozesses betrachtet, der mit der Serienreife bzw. -produktion des Produktes abgeschlossen ist. Innerhalb dieses Entwicklungsprozesses werden Arbeitsziele verbindlich festgelegt. Alle Änderungen beziehen sich daher auf das Erreichen dieser festgelegten Arbeitsziele. Durch die bereits angesprochene, ständige Anpassung des Produktes an die veränderten Kundenanforderungen und die Optimierung bestehender Produkte und Prozesse, ist jedoch mit neuen Arbeitszielen zu rechnen, die nicht mehr Bestandteil des definierten und abgeschlossenen Entwicklungsprozesses sind. Gerade im Bereich der variantenreichen Serienproduktion, wie z. B. dem Automobilbau, werden einzelne Produktvarianten im Entwicklungsprozess geplant, fließen aber erst lange nach Serienbeginn in die Produktion ein.

3.6.2 Integriertes Änderungsmanagement

Das klassische Änderungswesen war seit je her zu einem großen Teil eine Domäne der technischen Disziplinen. Die Abwicklung des Änderungsvorganges stützte sich vor allem auf konventionelle Werkzeuge, wie z. B. ein papiergebundenes Formular- und Freigabewesen.

Erst in jüngerer Vergangenheit begann die Forschung mit einer interdisziplinären Betrachtung des Problems, insbesondere unter Einbeziehung betriebswirtschaftlicher und organisationstheoretischer Sichtweisen sowie unter Zuhilfenahme der aktuellen Informations- und Kommunikationstechnologien. Ausfluss dieser Bemühungen war der an der Technischen Universität München durchgeführte Sonderforschungsbereich 336 „Integration von Konstruktion und Planung“, in dessen

Verlauf der Begriff des integrierten Änderungsmanagements maßgeblich entwickelt wurde. Das (integrierte) Management steht dabei für die Forderung nach einer aktiven und positiven Herangehensweise an das Thema Änderungen, dessen innovative Wirkung als wesentlicher Bestandteil des Entwicklungsprozesses in der Praxis vielfach nicht erkannt wird. Allerdings sind Änderungen nicht generell zu tolerieren, sondern vielmehr mit Hilfe einer differenzierten Analyse in fehler- und neuerungsbedingte bzw. vermeidbare und unvermeidbare Umfänge zu trennen. Fehlerbedingte Änderungen können nach CONRAT als Zeichen ineffektiver Prozesse angesehen werden, neuerungsbedingte Änderungen sind hingegen kein Zeichen für Ineffektivität [Con97]. Die Entscheidung von beeinflussbaren Änderungsvorhaben kann nur aufgrund einer detaillierten und umfassenden Kenntnis ihrer Auswirkungen auf die Zielgrößen Zeit, Kosten und Qualität erfolgen.

Änderungen am Produkt und die dafür notwendigen Prozesse machen mittlerweile in vielen Unternehmen 30-50 Prozent, teilweise auch bis zu 70 Prozent der zur Verfügung stehenden Entwicklungskapazitäten aus [LR98]. Die Auslöser für eine Produktänderung können dabei sehr unterschiedlich sein. Geänderte Rahmenbedingungen, neue Gesetze und Vorschriften oder aber Entwicklungsfehler aufgrund kurzer Entwicklungszyklen sind nur eine kleine Auswahl möglicher Änderungsgründe.

Zahlreiche Fallstudien und Umfragen bildeten die empirische Grundlage für die Entwicklung des integrierten Änderungsmanagements, das ausgehend von acht ermittelten Problemfeldern insgesamt acht Aktionsfelder entwickelte (vgl. Bild 3-29) [AC98]. Jedes der acht Aktionsfelder ist wiederum in drei Bausteine, Management und Organisation, Mensch sowie Methoden und Hilfsmittel, aufgeteilt. Bausteine und Aktionsfelder können nicht getrennt voneinander betrachtet werden, sondern beeinflussen sich im hohen Maße gegenseitig [AC98]. Während die Aktionsfelder der prozessualen Sichtweise auf einen durchgängigen Änderungs- und Entwicklungsprozess entsprechen, stehen die Bausteine jeweils für die konkreten Ansatzpunkte innerhalb eines jeden Prozessabschnitts.

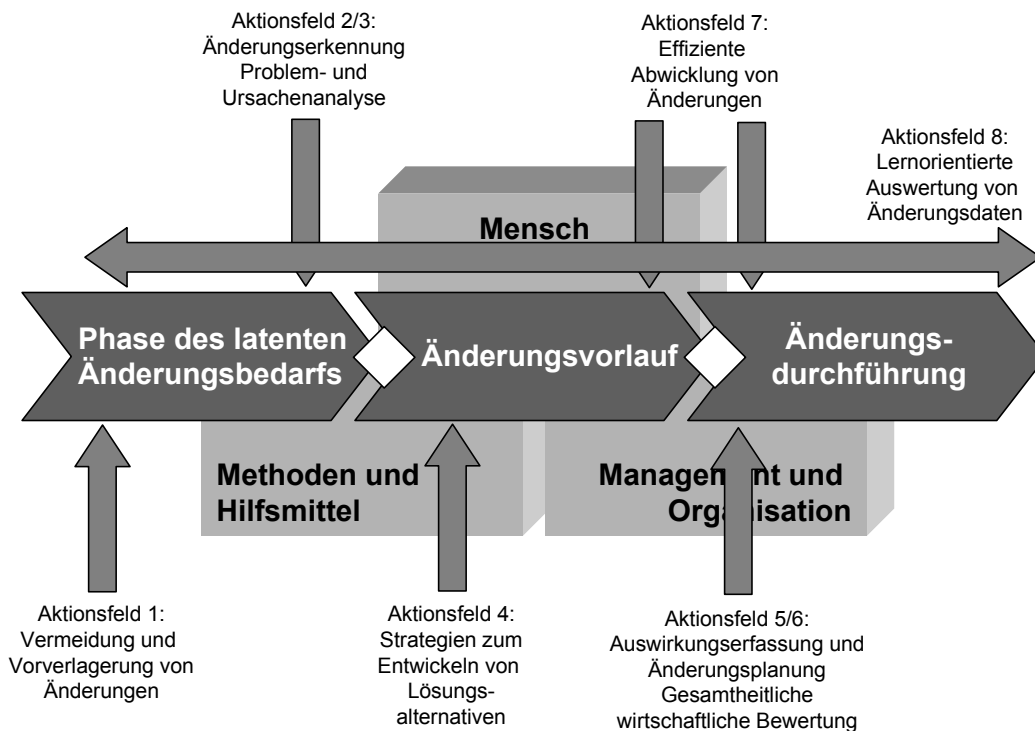


Bild 3-29: Schematischer Zusammenhang zwischen Bausteinen und Aktionsfeldern beim integrierten Änderungsmanagement [RLZ98]

Die Zielsetzungen des integrierten Änderungsmanagements lassen sich mit Verbesserungen in den folgenden Dimensionen beschreiben [RLZ98]:

- Zeit (Verbesserte Durchlaufzeit von Änderungen),
- Kosten (Reduktion der Zahl der Änderungen, Vermeidung unwirtschaftlicher Änderungen, effizientere Abwicklung),
- Qualität (Ursachenbehebung anstatt Symptombekämpfung),
- Flexibilität (Reaktion auf veränderte Anforderungen) und
- Humansituation (Akzeptanzsteigerung, Motivation).

3.6.3 Wirtschaftliche Bewertung von Änderungen

3.6.3.1 Art und Umfang der Betrachtung

Änderungsentscheidungen wirken sich auf Zeit, Qualität und Kosten aus. den Auswirkungsrahmen einer jeden unternehmerischen Entscheidung bildet. Die Kostendimension im Sinne einer wirtschaftlichen Bewertung besitzt dabei eine zentrale Rolle, da Qualität wie auch Zeit oftmals mit Hilfe von Kostenfaktoren quantifiziert werden und damit wiederum Bestandteil der Dimension Kosten sein

können. Grundsätzlich bleibt jedoch anzumerken, dass eine Bewertung von Änderungen neben monetären Aspekten auch immer die nicht monetären Aspekte berücksichtigen muss [Rie98].

RIEDEL erachtet darüber hinaus eine Erweiterung der Betrachtungsdimensionen Zeit, Qualität und Kosten um den Wettbewerbsfaktor „Flexibilität“ für sinnvoll, da Änderungen sowohl Handlungsschnelligkeit wie auch Handlungsspielraum beeinflussen können [Rie98]. Im Automobilbau ist der Bereich Elektrik-/Elektronikteile ein Beispiel dafür, dass eine hohe Flexibilität, sprich die möglichst späte Ausgestaltung des Elektrik-/Elektronik-Grundkonzeptes, durch die kurzen Kostendegressionszyklen in diesem Bereich zu Einsparpotenzialen führt [WK99].

Zur vollständigen Auswirkungserfassung anhand der genannten Dimensionen ist es notwendig, auch die beteiligten Elemente zu kennen, um sie einer entsprechenden Bewertung zu unterziehen. Ausgangspunkt ist dabei vor allem das Produkt und sein technisches Umfeld, auf dieser Grundlage können dann organisatorische Auswirkungen abgeschätzt werden, um betroffene Organisationseinheiten und Prozesse bestimmen zu können [Kle98].

Die wirtschaftliche Bewertung von Änderungen wird in der Theorie sehr unterschiedlich gehandhabt. Während in der Betriebswirtschaft der Begriff der Änderungskosten noch weitgehend unbekannt ist [Con97], so verwendet ihn die Ingenieurwissenschaft gemein hin für die monetären Auswirkungen technischer Änderungen. Die Definition und der tatsächliche Umfang der Änderungskosten sind dabei jedoch sehr unterschiedlich. Die Kostenerfassung im Zusammenhang mit technischen Änderungen konzentriert sich bislang schwerpunktmäßig auf die unmittelbar in der Produktion auftretenden Zusatzkosten, das tatsächliche Spektrum der kostenrelevanten Änderungsauswirkungen sieht jedoch anders aus [CR98]. Zur Erfassung des tatsächlichen Spektrums sind nach CONRAT und RIEDEL zwei grundlegende Voraussetzungen notwendig:

- Eine erweiterte Auffassung der relevanten Kosteneffekte sowie
- eine gesamtheitliche Prozesssicht der technischen Änderungen.

Neben der direkt mit der Änderung in Verbindung stehenden Kosten ist unter der erweiterten Auffassung der relevanten Kosteneffekte die zusätzliche Berücksichtigung der indirekten Kostenwirkungen zu verstehen. Dies können zum einen zeitlich verlagerte Kosten sein, die im Sinne von sog. „Sunk Costs“ aus dem Betrachtungsrahmen fallen oder zum anderen Koordinations- und Informationskosten der diversen Prozessbeteiligten. Ergänzend dazu sind im erweiterten Kostenbegriff auch diejenigen Kosten enthalten, die weniger den Ressourcenverbrauch als vielmehr qualitative Effekte von Änderungen darstellen, wie z. B. Kosten für Quali-

tätsmängel im Zusammenhang mit Änderungen oder änderungsbedingte Imageverluste am Markt [CR98].¹⁸

Die gesamtheitliche Prozesssicht der technischen Änderungen als zweite Voraussetzung für die Erfassung des gesamten Spektrums von Änderungskosten hilft, die suboptimale weil abteilungsspezifische Sichtweise aller am Änderungsprozess Beteiligten zu verhindern. Zusätzlich unterstützt ein gesamtheitliches Prozessmodell bei der Identifikation und Allokation aller mit der Änderung im Zusammenhang stehenden Kosten. Aufbauend auf beiden Voraussetzungen haben CONRAT und RIEDEL das sog. Prozessmodell der Änderungskosten entwickelt (vgl. Bild 3-30).

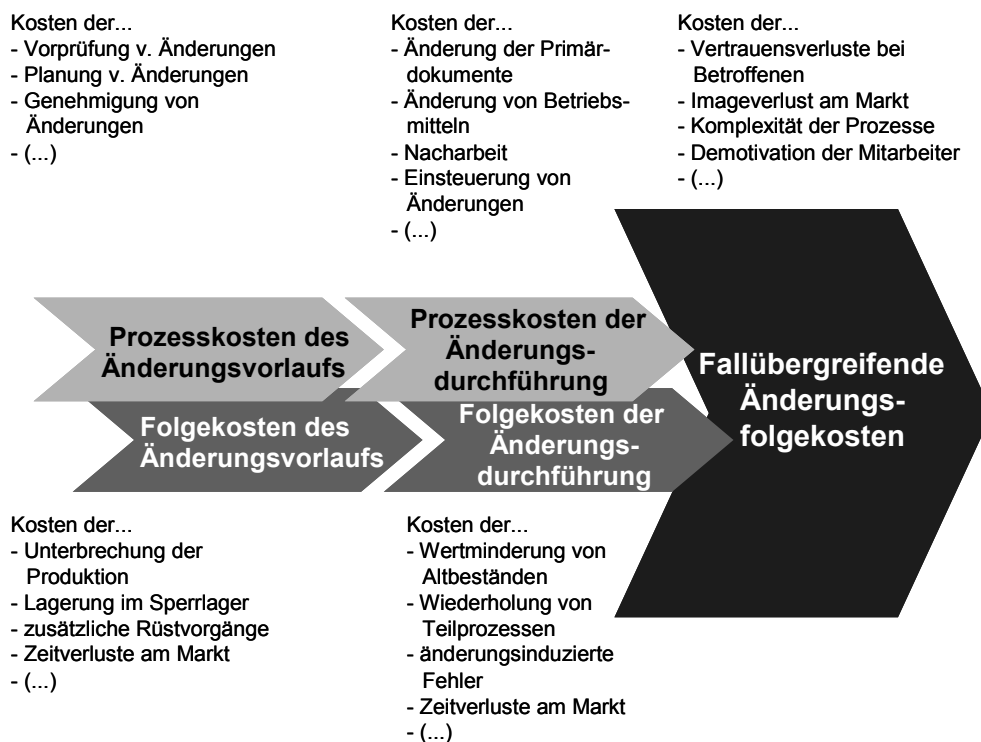


Bild 3-30: Prozessmodell der Änderungskosten [CR98]

Dabei unterscheidet CONRAT zwischen den (tatsächlichen) Einzel- und Gemeinkosten von Änderungen. Unter Änderungseinzelkosten sind diejenigen Kosten zu verstehen, die einer spezifischen Änderung verursachungsgerecht zugerechnet werden können [Con97]. Dagegen lassen sich Änderungsgemeinkosten (Fallübergreifende Änderungsfolgekosten) lediglich der Gesamtheit aller Änderungen zuordnen, nicht jedoch dem einzelnen Änderungsfall [Con97].

18. CONRAT betrachtet unter dem Begriff „Änderungskosten“ alle prinzipiell bewertbaren Güterverzehr, die im Zusammenhang mit einer Änderung entstehen. Hierbei sind neben den unmittelbar quantifizierbaren Kostenwirkungen auch qualitative kostenrelevante Effekte von Änderungen berücksichtigt. [Con97]

Die vorliegende Arbeit folgt dem von CONRAT erwähnten erweiterten Kostenbegriff bei der Bewertung von Änderungen und geht dabei aufbauend auf den vorher gemachten Ausführungen auf folgende Spezifika von Änderungskosten ein:

Zeitlicher Horizont

Änderungskosten können im direkten zeitlichen Zusammenhang mit dem Änderungsprozess wie auch zeitlich verlagert im Sinne von Folgekosten entstehen.

Prozessualer Horizont

Änderungskosten entstehen durch die direkt mit dem Änderungsprozess im Zusammenhang stehenden Tätigkeiten. Daneben sind aber zahlreiche Prozessabschnitte indirekt betroffen, die nicht Bestandteil des eigentlichen Änderungsprozesses sind.

Quantifizierbarkeit

Wie bereits erwähnt sind nicht alle Auswirkungen von Änderungen in direkter Weise kostenmäßig quantifizierbar, sondern können sich ebenso in qualitativen Effekten realisieren.

Dominanz der Gemeinkosten

Produktänderungen und damit Änderungskosten schlagen sich insbesondere auf der Gemeinkostenseite nieder, d. h. die Anzahl der Änderungen ist ein Gemeinkostentreiber [Hor93]. Unter Berücksichtigung der in Kapitel 3.1 gemachten Definition technischer Änderungen, die eine Änderung der Produktvarianten in die Betrachtung einbezieht, kann sogar von einer Dominanz der Gemeinkosten gegenüber den Einzelkosten gesprochen werden, wobei die Bewältigung zusätzlicher Varianten vor allem in den planenden und steuernden Bereichen zu einem Mehraufwand führt [EK93].

Um die wirtschaftlichen Effekte technischer Änderungen möglichst vollständig zu erfassen, stellt sich bei der Forderung nach einer erweiterten Kostenauffassung die Frage nach der Nutzen- bzw. Erlöswirkung von Änderungen¹⁹. Erlöse werden durch technische Änderungen beeinflusst und zwar einerseits im Sinne von Erlös-

19. Die Erlöswirkung von Änderungen und deren Relevanz für eine wirtschaftliche Bewertung sei an dieser Stelle der Vollständigkeit halber genannt, eine ausführliche Betrachtung würde jedoch den Umfang dieser Arbeit sprengen.

schmälerungen, z. B. aufgrund von Sonderrabatten und Preisnachlässen, und andererseits im Sinne von Erlössteigerungen, insbesondere für den Fall der neuerungsbedingten Änderungen [Rie98]. Änderungsbedingte Erlöswirkungen lassen sich nur mit einer eigenen Systematik und mit einem vergleichsweise hohen Aufwand erfassen. Nicht jede Veränderung am Produkt besitzt eine eigene Erlöswirkung respektive einen direkten Zusammenhang mit den Erlösen. Dennoch ist es wichtig, gerade bei umfangreichen Änderungen im Sinne zusätzlicher und für den Kunden merkbarer Produktvarianten, die Wirkung auf den Kundennutzen möglichst genau zu kennen, auch wenn eine monetäre Quantifizierbarkeit nicht immer gegeben ist. Dies geschieht zumeist mit Hilfe von Kundenbefragungen und der Anwendung statistischer Methoden, wie z. B. dem Conjoint Measurement²⁰.

3.6.3.2 Kostenrechnungsverfahren

Bei technischen Änderungen handelt es sich im Vergleich zum Prozess der Produkterstellung um indirekte, unterstützende Prozesse mit einem hohen Anteil an Koordinations- und Informationsaufwand. Diese Charakteristik lässt die Änderungsprozesse in das Spannungsfeld der wissenschaftlichen Diskussion um klassische Kostenrechnungssysteme rücken, sprich die Beantwortung der Frage nach der Anwendbarkeit dieser Systeme bei indirekten Prozessen und einem hohen Gemeinkostenanteil. Klassische Kostenrechnungssysteme wurden für die Produktion entwickelt [HM89] oder anders gesagt, für eine Welt, in welcher Einzel- bzw. variable Kosten gegenüber Fix- und Gemeinkosten dominierten [BS98, SS96]. Das heißt, für die Fertigungsaufträge ist ein Mengengerüst durch Stücklisten und Arbeitspläne vorgegeben, während die Kosteneinflussfaktoren in Forschung und Entwicklung, Beschaffung, Logistik, Arbeitsvorbereitung, Produktionsplanung und -steuerung, Qualitätssicherung, Auftragsabwicklung, Vertrieb, Versand und Rechnungswesen weitgehend unbekannt sind [May91]. Die aktuelle Situation in den Unternehmen ist jedoch vielfach durch einen steigenden Anteil von Gemeinkosten in sog. „indirekten Leistungsbereichen“ [HM89, SS96, Coe99] und eine veränderte Wertschöpfungsstruktur (höhere Variantenvielfalt und Fertigungsflexibilität) [Coe99] gekennzeichnet. Demzufolge verlieren einfache traditionelle Kostenrechnungsverfahren an Aussagekraft [SS96].

Aus dieser Situation heraus ist die Forderung nach einer Erweiterung bzw. Ergänzung traditioneller Kostenrechnungssysteme entstanden. Ein wesentlicher Ansatz, der daher in den letzten Jahren vermehrt Eingang in die betriebliche Praxis und die wissenschaftliche Diskussion gefunden hat, ist der der Prozesskostenrech-

²⁰ Das Conjoint Measurement ermittelt diejenigen Merkmale und Merkmalsausprägungen eines Produktes, die die Kaufentscheidung des Kunden beeinflussen [GEK01, BE+00]. Auch die Preissetzung für Sonderausstattungen kann mit dieser Methode unterstützt werden [MT96].

nung²¹ [SS96]. Die Prozesskostenrechnung kann als neuer Ansatz verstanden werden, die Kostentransparenz in den indirekten Leistungsbereichen zu erhöhen, einen effizienten Ressourcenverbrauch sicherzustellen, die Kapazitätsauslastung aufzuzeigen, die Produktkalkulation zu verbessern und damit strategische Fehlentscheidungen zu vermeiden [HM89]. MÄNNEL bezeichnet daher die Prozesskostenrechnung ihrem primären Ansatz nach als eine ressourcenorientierte Kapazitäts-, Aktivitäts- und Prozessrechnung [Män98]. Sie will über den meist kostenrechnerisch gut abgebildeten Produktionsbereich hinausgehend vornehmlich für die personalintensiven Dienstleistungsbereiche unterschiedliche Arten der Ressourcennutzung in ihrer Struktur und ihrem Volumen aufdecken, um letztlich jene Kosteneinflussgrößen zu identifizieren, die als Kostentreiber (Cost Driver) den Kostenanfall determinieren [Män98]. Bei der Prozesskostenrechnung handelt es sich jedoch nicht um ein völlig neues Kostenrechnungssystem, sondern um eine Systematik, die sich der traditionellen Kostenarten- und Kostenstellenrechnung bedient [HM89]. Das heißt, traditionelle Kostenarten- und Kostenstellenrechnungen sowie die Verrechnung direkter Kosten bleiben unverändert, lediglich die Verteilung der indirekten Kosten in den verschiedenen Kostenstellen wird geändert (vgl. Bild 3-31) [Sei98].

21. Im Zusammenhang mit der Prozesskostenrechnung taucht oftmals der englische Terminus „Activity Based Costing (ABC)“ auf. Activity Based Costing und Prozesskostenrechnung bezeichnen zwei unterschiedliche Varianten der gleichen Grundidee, d.h. der Idee, Kostenmanagement auf Prozesse zu fokussieren statt auf funktionale Organisationseinheiten [Gai98; DG00]. Das Hauptziel des Activity Based Costing besteht darin, die Produktionsgemeinkosten (als Vollkosten) den Produkten durch differenziertere Bezugsgrößen verursachungsgerechter zuzurechnen als dies bei anderen Kostenrechnungssystemen erfolgt [DG00]. Die Prozesskostenrechnung überträgt diese Idee auf Verwaltungsbereiche im weitesten Sinne [DG00].

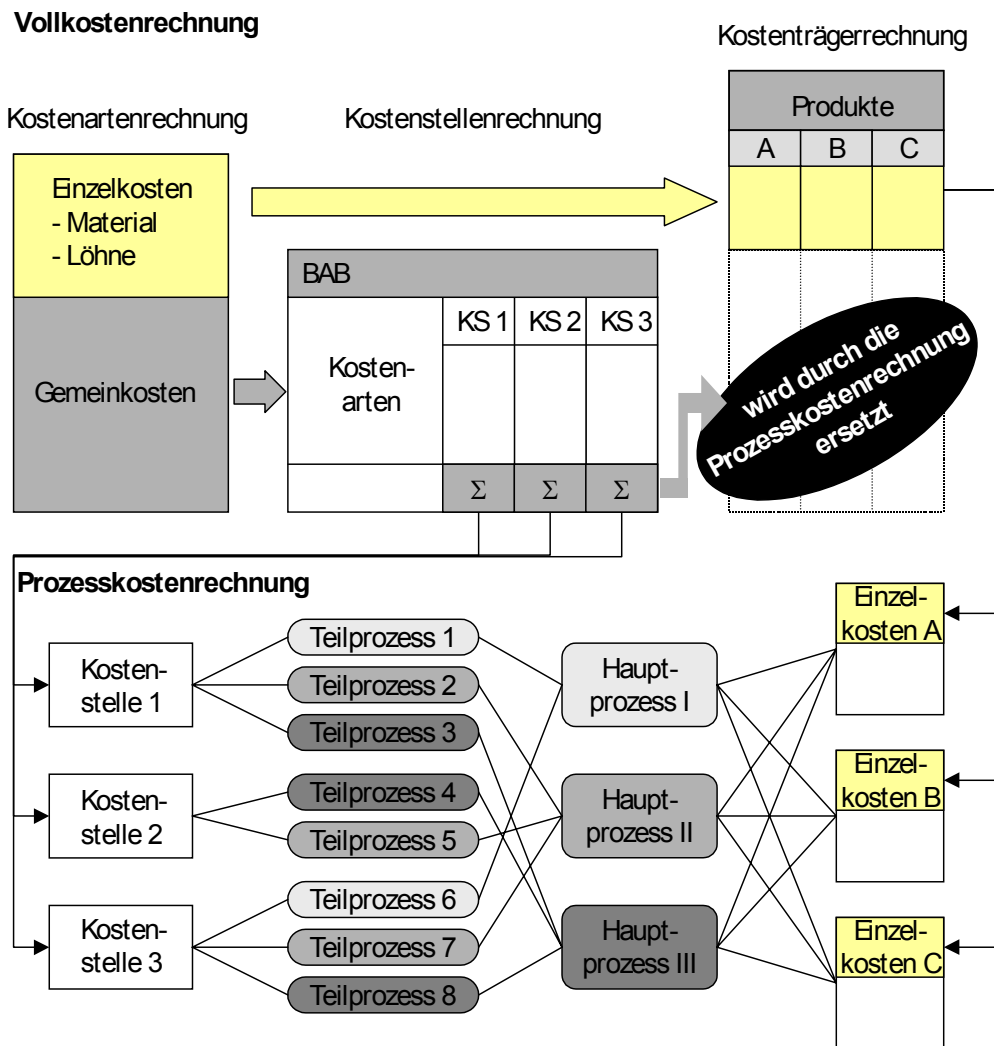


Bild 3-31: Aufbau der Vollkosten- und der Prozesskostenrechnung [Sei98]

Das bereits in Bild 3-30 dargestellte Prozessmodell der Änderungskosten orientiert sich am Leitgedanken der Prozesskostenrechnung [Rie98]. Die wesentlichen Vorteile einer prozessualen Kostenerfassung für das Anwendungsfeld des Änderungsmanagements sind dabei [Rie98]:

- Organisationsübergreifende Einbindung aller an einer Änderung beteiligten Ressourcen (Vollständigkeitsaspekt) und Aufbrechen der undifferenzierten Abteilungs- bzw. Kostenstellensicht (Detaillierungsaspekt).
- Definition relevanter Bezugsgrößen und verursachungsgerechter Zuordnung der Kosten entsprechend der Leistungsanspruchnahme; Zuordnung der Kosten zu einem bestimmten Prozessschritt im Änderungsablauf und damit auch zu dem jeweiligen Änderungsfall.
- Berücksichtigung von Kostensegmenten, die unmittelbar durch die Ausprägung eines Prozesses beeinflussbar sind; dazu gehören z. B. Lagerhal-

tungskosten, Zinsbindungskosten usw.. Diese werden im Prozessmodell der Änderungskosten als Folgekosten verstanden.

- Anschauliche Ableitung der Änderungskosten aus den durch eine Änderung verursachten Zusatzaktivitäten im Unternehmen.

3.6.3.3 Produktkostenkalkulation/-management

Die Rolle der Kostenrechnung und mit ihr der Kostenrechnungsverfahren hat sich in den letzten Jahren stark verändert. An die Stelle des Kostencontrollings aus Abweichungen rückt in der Bedeutung die frühzeitige Beeinflussung der Kosten. MÄNNEL bezeichnet diese neue Rolle als das sog. Kostenmanagement [Män98].

Das Streben nach einer markt- und kundennahen Produktion zur Befriedigung der Kundenwünsche bedeutet, dass sich Unternehmen in ihrer strategischen Grundausrichtung an den kaufentscheidenden Kriterien der Abnehmer orientieren [Män98]. Die Schaffung und Verteidigung von nachhaltigen Wettbewerbsvorteilen (mit den Grundtypen Kosten- oder Nutzenvorteile gegenüber dem Konkurrenten) erfordert eine genaue Kenntnis der „richtigen“ betrieblichen Kosten als Schlüsselfaktoren für die erfolgreiche Durchführung der Geschäftsstrategien [Coe99]. Die Entwicklung der Prozesskostenrechnung ist daher ein Ergebnis der stärkeren Strategieorientierung der Kostenrechnung [Coe99].

Stand vormals die Ermittlung der Selbstkosten als langfristige kostenmäßige Preisuntergrenze im Vordergrund, so hat sich mittlerweile die Erkenntnis ausgebildet, dass der vom Markt her gegebene bzw. strategisch von der marktorientierten Preispolitik gewollte Preis das hinnehmbare Kostenniveau determiniert [Män98]. Dieser Paradigmawechsel ist einer der maßgeblichen Gründe dafür, dass die kostenpolitische Unternehmenssteuerung schon sehr frühzeitig einsetzen muss, dann nämlich, wenn sich eine Produktidee konkretisiert, wenn Produkte entwickelt und konstruktiv festgelegt werden [Män98].

Entscheidungen im Bereich der Konstruktion und Entwicklung haben Auswirkungen auf die in allen Phasen des Produktlebenszyklus entstehenden Kosten [FHK98]. Zum Zwecke der möglichst frühzeitigen Kenntnis von Produkt- und Produktionskosten haben sich daher unter dem Oberbegriff „Entwicklungsbegleitende Kalkulation“ verschiedene qualitative und quantitative Verfahren entwickelt. Qualitative Verfahren, wie z. B. die Verwendung von regelbasiertem Expertenwissen, Gut-/Schlecht-Beispielen und Relativkosten, dienen dabei weniger der direkten Kostenschätzung, sondern Unterstützen bei der Vorauswahl wirtschaftlicher Produktlösungen [Str01]. Die quantitativen Verfahren liefern hingegen direkte Kosteninformationen [Str01], wobei sich die Vorgehensweise und die Aussagegenauigkeit von den klassischen Kostenrechnungsverfahren wesentlich unterscheidet. Grundlage aller entwicklungsbegleitenden Kostenermittlungen sind

zwar die im Betrieb vorhandenen Kalkulationsverfahren, ihre vollständige Anwendung würde aber für die schnell aufeinander folgenden Entscheidungen im Entwicklungsprozess zu lange dauern [Ehr03]. Daher handelt es sich bei der entwicklungsbegleitenden Kalkulation vor allem um eine grobe aber wichtige Unterstützung der wirtschaftlichen Produktvorauswahl, die eine fundiertere Basis für nachfolgende Betrachtungen liefert [Str01].

Durch sinnvolle Ergänzungen, wie beispielsweise der dynamischen Investitionsrechnung oder der Prozesskostenkostenrechnung bzw. –prognose, lässt sich darauf aufbauend ein produktlebenszyklusorientiertes Controlling realisieren [FK+94a, Str01]. Darüber hinaus kann insbesondere durch die Einbeziehung marktorientierter Zielkosten frühzeitig ein nicht kundenorientiertes „Over-engineering“ des Produktes vermieden werden [FK+94b].

3.7 Komplexitätsmanagement

3.7.1 Grundlagen des Komplexitätsmanagements

In der Theorie haben sich in jüngerer Vergangenheit zahlreiche Konzepte zum Thema „Komplexitätsmanagement“ entwickelt. Die Spannbreite reicht dabei von den systemorientierten gesamtheitlichen Ansätzen, wie z. B. MALIK [Mal96], BLISS [Bli98] oder VON DER WETH [Wet01] bis hin zu eher spezifischen Betrachtungen im Sinne einzelner Unternehmensfunktionen/-prozesse, wie z. B. die Produktionslogistik bei WESTPHAL [Wes01].

Die Forderung nach umfassenden Komplexitätsmanagementkonzepten entsteht in der betrieblichen Praxis vor allem vor dem Hintergrund, dass die Komplexität in vielen Unternehmen ein Maß erreicht hat, das die Kontroll- und Koordinationskosten aus dem Ruder laufen lässt [SS01]. Dabei ist die strategische Fokussierung der vielfältigen Aktivitäten und Geschäftsfelder auf ein gemeinsames Ziel zum Problem geworden [SS01]. SCHUH/SCHWENK definieren den Begriff „Komplexitätsmanagement“ wie folgt:

„Komplexitätsmanagement umfasst die Gestaltung, Steuerung und Entwicklung der Vielfalt des Leistungsspektrums (Produkte, Prozesse und Ressourcen) im Unternehmen. Durch die Verstärkung und Dämpfung der Komplexität wird die Fähigkeit angestrebt, die Vielfalt in allen Wertschöpfungsstufen so zu beherrschen, dass ein maximaler Beitrag zum Kundennutzen bei gleichzeitig hoher Wirtschaftlichkeit des Leistungserstellers erzielt werden kann.“ [SS01]

Das zentrale Element der Unternehmenskomplexität ist die Produktkomplexität [KLG03, SS01]. So konkretisiert sich beispielsweise der Umfang des Begriffs „Komplexitätsmanagements“ im Maschinen- und Automobilbau auf die Bezeichnung einer Disziplin, die sich mit der ständig anwachsenden Bauteilvielfalt im Unternehmen auseinandersetzt, d.h. Strategien zur Beherrschung der Vielfalt in verschiedenen Bereichen aufzeigt, die Vielfalt zu bewerten und nach Möglichkeit abzubauen versucht [EE+01]. Wesentliches Problem für die Unternehmen im Zusammenhang mit der Produktkomplexität ist die fehlende Transparenz der Kosten, die infolge der Ausweitung der Produktvarianten durch die Effizienzverluste im Leistungserstellungsprozess anfallen [SSS98]. Die Exoten des Produktspektrums werden daher typischerweise zu Preisen unterhalb der tatsächlich verursachten Kosten verkauft (vgl. Bild 3-32) [SSS98].

3.7.2 Komplexitätsmanagementkonzepte/ -methoden

Theorieseitig existieren mehrere Konzepte für ein praxisorientiertes Komplexitätsmanagement bzw. das Management der Produktkomplexität im engeren Sinne. EWERSHEIM/SCHENKE/WARNKE sprechen in diesem Zusammenhang auch von Ansätzen zum Management der technischen Komplexität [ESW98]. Gemeinsam ist diesen Ansätzen, dass ihr Hauptaugenmerk auf der Beherrschung der Produktkomplexität liegt. Hinsichtlich der übrigen genannten Anforderungen bestehen teilweise jedoch große Unterschiede.

So bewegen sich viele Ansätze im Bereich der operativen Methoden, die zwar kurzfristig geeignet sind, die Produktkomplexität zu verändern, aber keine direkte Integration in ein strategisches Gesamtkonzept im Sinne einer langfristigen Komplexitätsbeherrschung bieten. Im BMBF-Leitprojekt „Innovative Technologien und Systeme für die virtuelle Produktentstehung (iViP)“ wurde im Cluster „Innovative Gestaltungswerkzeuge“ u. a. das Thema Komplexitätsmanagement intensiv betrachtet. Dabei wurde die in Bild 3-33 ersichtliche Einteilung praxisorientierter Methoden zum Management der Produktkomplexität entwickelt.

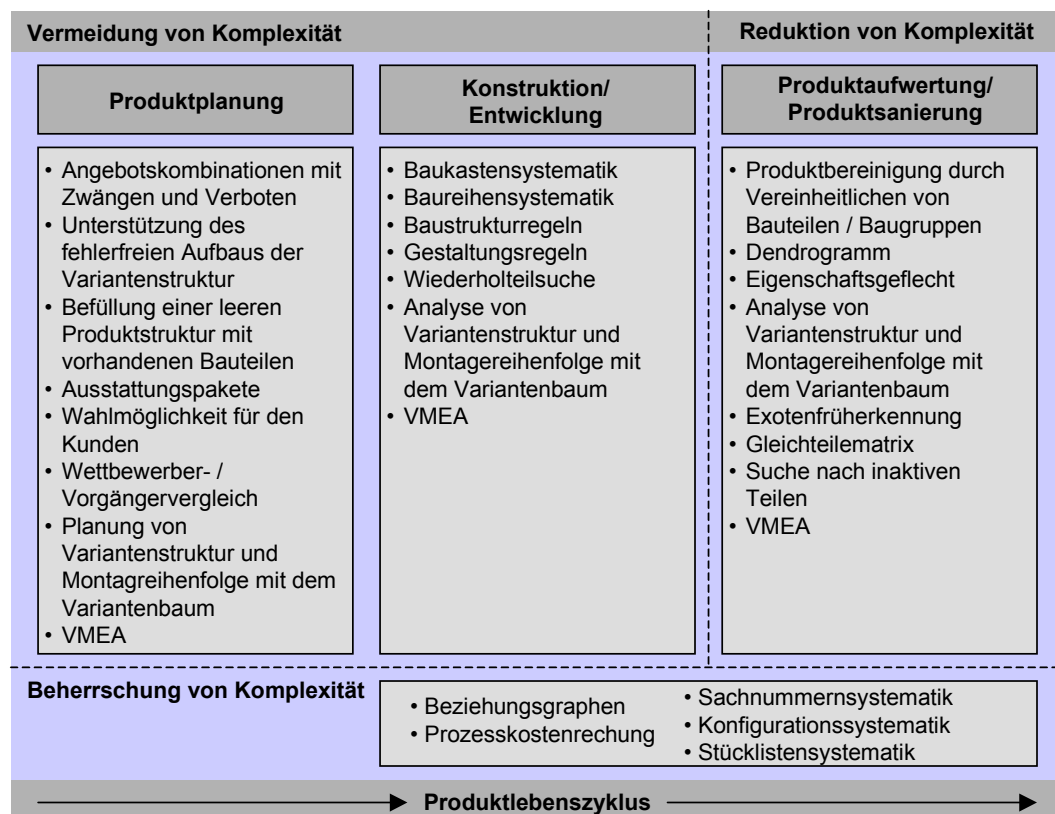


Bild 3-33: Methoden des Managements der Produktkomplexität [EE+03]

Umfassende und zugleich praxisorientierte Komplexitätsmanagementkonzepte gibt es dagegen nur wenige. Ausnahmen bilden beispielsweise die Arbeiten von SCHUH/SCHWENK [SS01] und von WILDEMAN [Wil00].

3.7.2.1 Durchgängiges Komplexitätsmanagement nach WILDEMAN

WILDEMAN verfolgt mit seinen Arbeiten zum durchgängigen Komplexitätsmanagement das Ziel, die vorhandenen Methoden bzw. das vorhandene Know-how in Sachen Komplexitätsmanagement aufzunehmen und anhand von Beispielen der praktischen Umsetzung näher zu bringen [Wil00]. Dazu analysiert er die Ursachen der Komplexitätsentstehung und differenziert in die sog. Komplexitätstreiber (vgl. Bild 3-34).

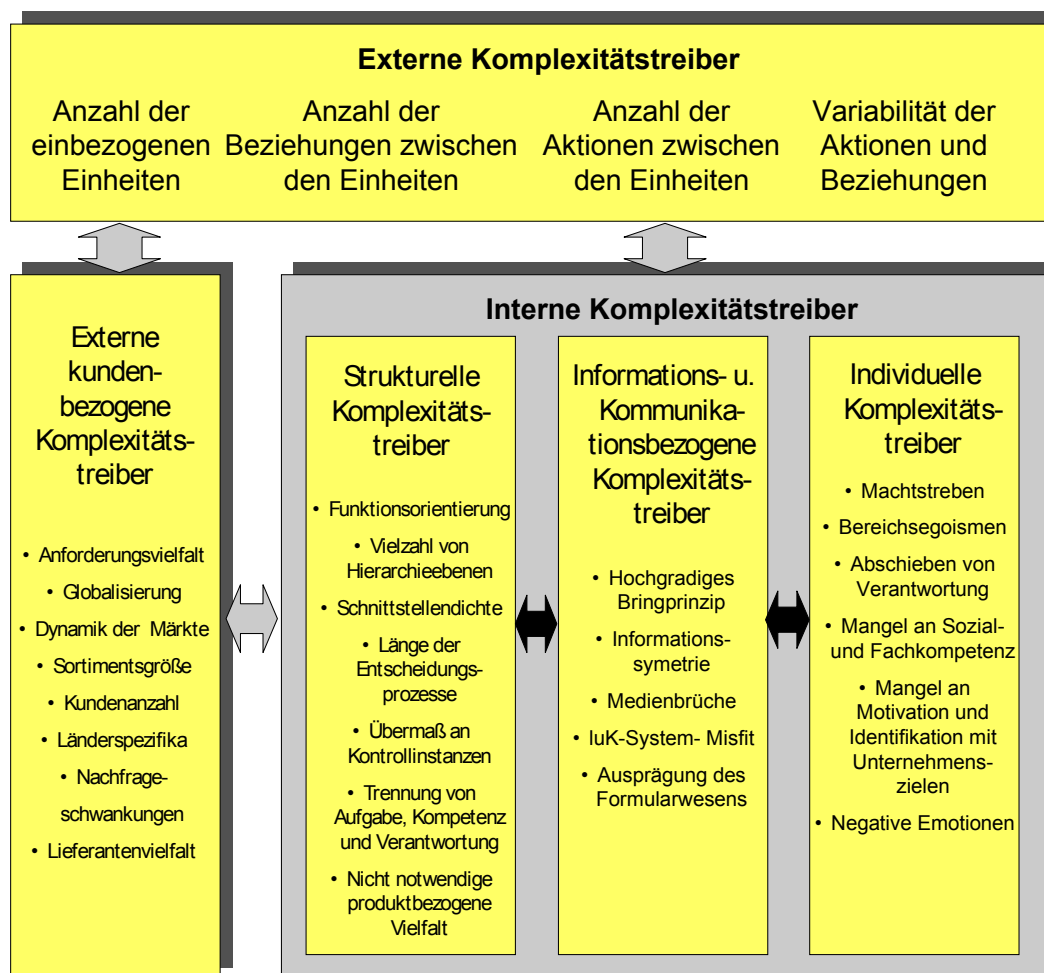


Bild 3-34: Klassifizierung von Komplexitätstreibern [Wil98]

Die Komplexitätstreiber wirken in unterschiedlicher Stärke auf alle Unternehmensbereiche, d. h., punktuelle Maßnahmen würden die Komplexität nur bedingt

beeinflussen [Wil99]. WILDEMANN sieht daher die Notwendigkeit für ein durchgängiges Komplexitätsmanagement, das er vor dem Hintergrund des zeitlichen Horizonts in die bereits bekannten drei Methoden „Komplexität reduzieren“, „Komplexität vermeiden“ und „Komplexität beherrschen“ einteilt [Wil98, Wil00].

Unter Berücksichtigung der Komplexitätstreiber werden zur durchgängigen Umsetzung der zeitlich orientierten Methoden einerseits spezifische Instrumente für die einzelne Unternehmensfunktion, wie z. B. Vertrieb oder Entwicklung, zugeordnet. Andererseits beinhaltet das durchgängige Komplexitätsmanagement auch funktionsübergreifende Instrumente im Sinne des Produktes und der Komplexitätsbewertung. WILDEMANN spezifiziert darüber hinaus viele der im durchgängigen Komplexitätsmanagement gebräuchlichen Instrumente und Methoden in seinen Teilbetrachtungen der Themenbereiche Änderungsmanagement [Wil94b, Wil02] und Variantenmanagement [Wil94a].

In der vorliegenden Arbeit sollen an dieser Stelle im Hinblick auf die Zusammenhangsdarstellung zwischen Änderungsmanagement und Komplexitätsbewertung insbesondere die funktionsübergreifenden Instrumente zur Management der Produktkomplexität bzw. zur Komplexitätsbewertung sowie die entwicklungsspezifischen Methoden beispielhaft vorgestellt werden.

Komplexität der Produkte

Unter dem Stichwort „Komplexität der Produkte“ wird im durchgängigen Komplexitätsmanagement die Beeinflussung der Variantenvielfalt bestehender wie auch geplanter Produkte verstanden. Ziel ist es, die vorhandene Komplexität bei den bestehenden Produkten zu beherrschen und als wichtigste, aber auch schwierigste Strategie, bei neuen Produkten bereits im Produktentstehungsprozess Komplexität zu vermeiden [Wil00].

- **Produktordnungssysteme:** Nach WILDEMANN spielen die Produktordnungssysteme bei der präventiven Vermeidung von Komplexität im Produktentstehungsprozess eine wichtige Rolle [Wil00]. Produktordnungssysteme bilden das bestehende und geplante Produktprogramm strukturiert ab und bilden die Basis für die technische Umsetzung der einzelnen Produkte und Produktgruppen [Wil00]. Die Strukturierung der Produkte bzw. Produktgruppen erfolgt dabei über die Zuordnung von definierten Eigenschaften (vgl. Bild 3-35).

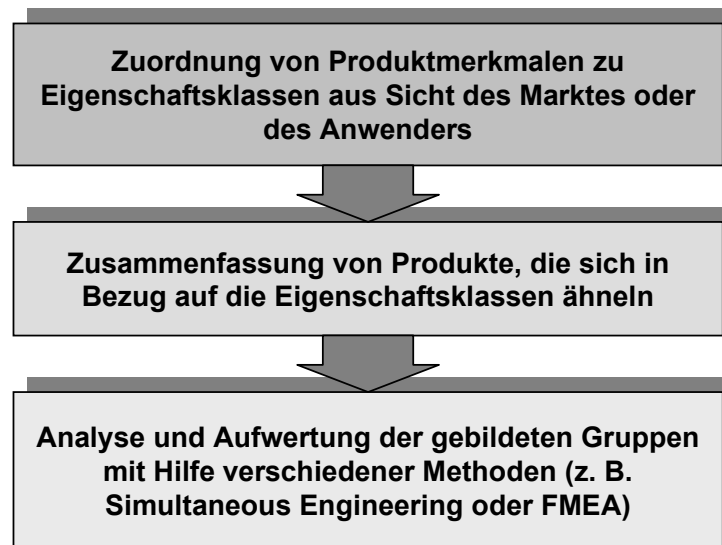


Bild 3-35: Vorgehensweise beim Einsatz von Produktordnungssystemen (nach [Wil99])

- **Life-Cycle Engineering:** Das Life-Cycle Engineering untersucht die Variantenvielfalt auf Produktionsstufen unterhalb der Fertigerzeugnisebene, die vom Vertrieb festgelegt wurde [Wil99]. Ziel ist es dabei, mit unterschiedlichen Tools die Variantenanzahl, z. B. durch Normung von Einzelteilen, Standardisierung von Einzelteilen bzw. Baugruppen sowie durch die Modularisierung, entlang des Produktlebenszyklus zu reduzieren.

Komplexität in der Entwicklung

Die Produktentwicklung ist einer der unternehmerischen Kernprozesse [WH00]. So werden beispielsweise die Eigenschaften und die Vielfalt eines Produktes im Rahmen des Produktentwicklungsprozesses zu einem sehr großen Teil festgelegt. Damit wird bereits über die Produktausprägung ein Großteil der in einer späteren Phase des Produktlebenszyklus anfallenden Kosten determiniert [Bub02]. Aus diesem Grund sind auch aus konstruktionsmethodischer Sicht Maßnahmen zur Vermeidung von Varianten im frühen Produktentwicklungsprozess am effizientesten [EE+01]. Neben der Variantenvielfalt des Produktes, die durch die Erfüllung individueller Kundenanforderungen in den Entwicklungsprozess hineingebracht wird, ist die Verkürzung des Entwicklungsprozesses von komplexitätsrelevanter Bedeutung [Ker98, GR00].

WILDEMANN bedient sich zu diesem Zweck in erster Linie der Methode des Simultaneous Engineering, die aber durch methodische Hilfsmittel, wie z. B. der Conjoint Analyse, dem Quality Function Deployment (QFD), der Failure Mode

and Effects Analysis (FMEA), des Design for Manufacturing (DFM) oder des Design for Assembly (DFA), unterstützt wird [Wil00].

- **Simultaneous Engineering (SE):** Beim Simultaneous Engineering handelt es sich um eine integrierende Vorgehensweise zur zielgerichteten, interdisziplinären Zusammen- und Parallelarbeit von Produkt-, Produktions- und Vertriebsentwicklung mit Hilfe eines straffen Projektmanagements vor dem Hintergrund des gesamten Produktlebenslaufes [Ehr03]. Das Simultaneous Engineering verfolgt die Zielsetzung, durch die frühzeitige Berücksichtigung der Anforderungen aller Bereiche an das zu entwickelnde Produkt sowie an die Produktionsmittel, die Entwicklungszeit bei gleichzeitiger Senkung der Kosten zu verkürzen und damit die Produkt- und Produktionsmittelqualität zu erhöhen [Wil00]. Damit kann nach Meinung von WILDEMANNS das Simultaneous Engineering einen wesentlichen Beitrag zu einem präventiven Komplexitätsmanagement leisten [Wil99].
- **Quality Function Deployment (QFD):** Die Quality Function Deployment ist ein Planungsinstrument, das gewonnene Kundeninformationen im Sinne ermittelter Kundenanforderungen systematisch in konkrete Produkt- und Prozessanforderungen übersetzt, die die Grundlage für die Entwicklung und die Produktion kundenorientierter Produkte bilden [Str01]. Diese präventive Vorgehensweise ist sowohl für Produkte als auch Prozesse möglich [Wil94b, Wil02]. Zielsetzung der QFD ist die Vorwegnahme von Änderungen, um somit Entwicklungszeit und –kosten zu sparen, wobei die Anwendung nicht nur auf den Bereich der Produktentwicklung beschränkt ist [Wil02].
- **Failure Mode and Effects Analysis (FMEA):** Die Anwendung der FMEA oder Fehlermöglichkeiten- und Fehlereinfluss-Analyse (vgl. Bild 3-36) dient nach EHRENSPIEL der Verringerung potenzieller Fehler beim Planen des Gesamtprodukts (System-FMEA), beim Konstruieren von Baugruppen oder Einzelteilen (Konstruktions- oder Produkt-FMEA) und bei der Planung der Produktionsprozesse für das Produkt (Prozess-FMEA) [Ehr03]. Zielsetzung ist das frühzeitige Erkennen und Vermeiden von Problemen und deren Risiken, die die Erreichung der Qualitätsziele gefährden [Str01]. Dabei werden die potenziellen Fehler methodisch analysiert und hinsichtlich ihrer Bedeutung, der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens und der Wahrscheinlichkeit ihrer Entdeckung bewertet [Str01]. Die gleichzeitige wertanalytische und risikobezogene Betrachtung erzeugt eine erhöhte Kostentransparenz und trägt damit auch zu einer kostenoptimalen Gestaltung von Produkten und Prozessen bei [Wil94a]. Im Rahmen der im durchgängigen Komplexitätsmanagement vorausgesetzten Produktordnungsstrukturen kann die FMEA beispiels-

weise zur Verbesserung der Betriebseigenschaften und zur Anmutsoptimierung der ästhetischen Eigenschaften eingesetzt werden [Wil99].

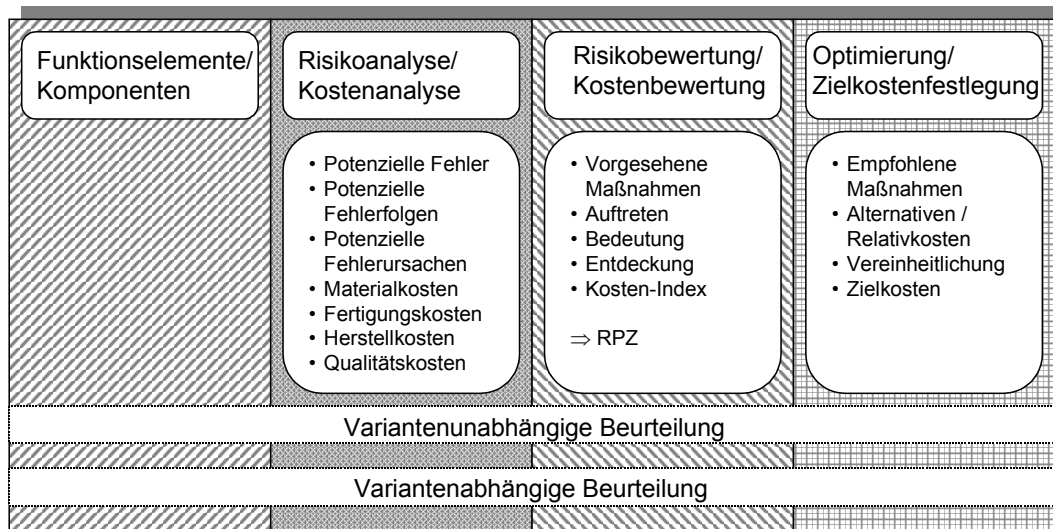


Bild 3-36: Methode der FMEA [Wil00]

- **Design for Manufacturing/Assembly (DFM/DFA):** Mit dem Design for Manufacturing und Design for Assembly werden die im Rahmen des Konstruktionsprozesses zu verfolgenden Hauptforderungen festgelegt, in diesem Fall also die fertigungs- bzw. montagegerechte Gestaltung des Produktes. Die eigentliche und wichtigste Hauptforderung an die Konstruktion ist jedoch die Funktion des Produktes, die bei Zielkonflikten mit anderen Hauptforderungen immer Vorrang besitzt [Ehr03].

Komplexitätsrechnung und –controlling

Zur Lösung von Komplexitätsmanagementproblemen im Sinne einer Vielfaltsoptimierung ist es notwendig, die Kostenkonsequenzen der Komplexität zutreffend abzubilden sowie entsprechende Nutzenwirkungen zu erfassen [Rat93]. Komplexitätskosten sind nach WILDEMANN Kosten, die in allen Unternehmensbereichen über den gesamten Produktlebenszyklus entstehen können und insbesondere die Planung und Steuerung von Prozessen betreffen [Wil00]. Klassische Kostenrechnungsverfahren, zeigen bei einer adäquaten Abbildung der Kostenwirkungen von Komplexität erhebliche Defizite [BS98]. So berücksichtigt beispielsweise die traditionelle Zuschlagskalkulation Kosten, die für die Steuerung von Prozessen anfallen, lediglich in Form pauschaler Gemeinkostenzuschläge auf die Fertigungs- und Materialeinzelkosten [Wil00]. Die traditionelle Zuschlagskalkulation ist daher nicht in der Lage, die mit der Variantenfertigung steigenden Komplexitätskosten verursachungsgerecht auf die Produktvarianten zu verrechnen [HL02]. Darüber hinaus werden zur Steuerung der Komplexität von den Unternehmen hauptsäch-

lich die operativen Instrumente der Kostenrechnung eingesetzt, obwohl die Komplexitätskosten letztlich Resultat taktischer bzw. strategischer Entscheidungen sind [AJ98].

Das integrierte Komplexitätsmanagement setzt daher einerseits operative variantenberücksichtigende Instrumente, wie z. B. das Activity Accounting und die variantenorientierte Kalkulation, ein. Andererseits werden diese Instrumente gemeinsam mit verschiedenen funktionsspezifischen Instrumenten in einem Komplexitätscontrolling in die Controllingsystematik und den Führungsprozess des Unternehmens integriert [Wil00].

- **Activity Accounting:** Beim Activity Accounting handelt es sich um eine variantenorientierte Erweiterung des Activity Based Costing (ABC). Zur Sichtbarmachung der Komplexitätskosten werden die Gemeinkosten mittels einer detaillierten Kostenanalyse nach komplexitätsabhängigen Faktoren bzw. Bezugsgrößen aufgeschlüsselt und verursachungsgerecht der entsprechenden Produktvariante zugeordnet [Wil00].
- **Variatenorientierte Kalkulation:** Das Ergebnis des Activity Accounting ist eine variantenspezifische Betrachtung der Gemeinkosten, das wiederum Einfluss auf die Kalkulation nimmt. Die so entstehende variantenorientierte Kalkulation ist in der Lage, indirekte Kosten verursachungsgerecht zu verrechnen, um so eine Kostentransparenz über die indirekten Kostenstrukturen zu erhalten [Wil00].

3.7.2.2 Integriertes Komplexitätsmanagement nach SCHUH/SCHWENK

Das im Wesentlichen von SCHUH entwickelte integrierte Komplexitätsmanagement ist derzeit eines der wenigen integrierten wie auch ganzheitlichen Konzepte im Bereich des Komplexitätsmanagements. Es basiert auf dem systemorientierten Ansatz des St. Galler Management-Konzeptes (SGMK). Das SGMK gliedert sich in die drei Ebenen des normativen, des strategischen und des operativen Managements (vgl. Bild 3-37) [SSS98]. Die Basis des integrierten Komplexitätsmanagements ist ein geändertes Verständnis von Komplexität und dessen Einbettung in die normative Managementebene. Komplexität ist demnach als disziplinenübergreifende Herausforderung zu verstehen, deren Beherrschung eine strategische Erfolgsposition darstellt. Ziel ist es, Komplexität nicht generell zu verteufeln und zu bekämpfen, sondern sie im Sinne der zugrunde gelegten Wettbewerbsstrategie des Unternehmens zu beherrschen und als Instrument einzusetzen. SCHUH/SCHWENK unterscheiden dabei zwischen den Komplexitätsmanagementstrategien Standardisierung, Individualisierung und kundenindividuelle Massenproduktion [SS01].

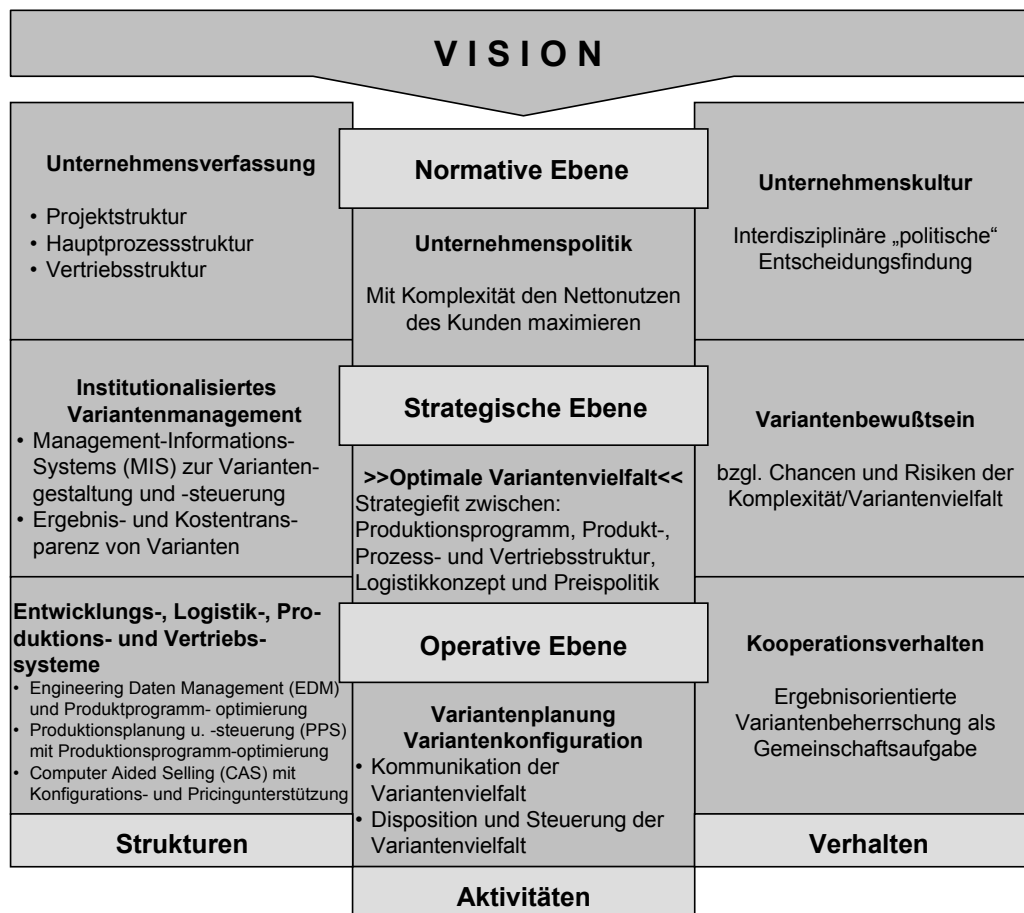


Bild 3-37: Komplexitätsmanagement im St. Galler Managementkonzept [SSS98]

Der zentrale Baustein des Konzeptes ist ein durchgängiges Variantenmanagement. Es dient auf der strategischen Ebene dem Abgleich und der Optimierung zwischen der extern geforderten Komplexität und der hierdurch induzierten internen Komplexität im Leistungserstellungsprozess [SSS98]. Auf der operativen Ebene stellt das Variantenmanagement geeignete Methoden bereit, die es fallweise auszuwählen gilt. Wichtig für die Bestimmung der optimalen Komplexität wie auch für die Auswahl der zu ihrer Erreichung notwendigen Methoden ist nach SCHUH die Berücksichtigung branchen- bzw. unternehmensspezifischer Gesichtspunkte. Daher wird im integrierten Komplexitätsmanagement in die beiden Unternehmenstypen Variantenoptimierer und Variantenkonfigurierer unterschieden, wobei durchaus Mischformen bestehen können. Während der Variantenoptimierer Produkte mit Seriencharakter produziert, bietet der Variantenkonfigurierer eine große Zahl kundenspezifischer Lösungen an. Je nach Typologie ergibt sich eine andere Schwerpunktsetzung bei der Auswahl geeigneter Komplexitätsmanagementaktivitäten (vgl. Bild 3-38). Im integrierten Komplexitätsmanagement richtet sich die Bandbreite der betrachteten Aktivitäten nach ihrer erfolgreichen Anwendung in der Praxis. D. h., es handelt sich um Aktivitäten, die von „Best Practice“-Unternehmen besonders beherrscht werden [SS01].

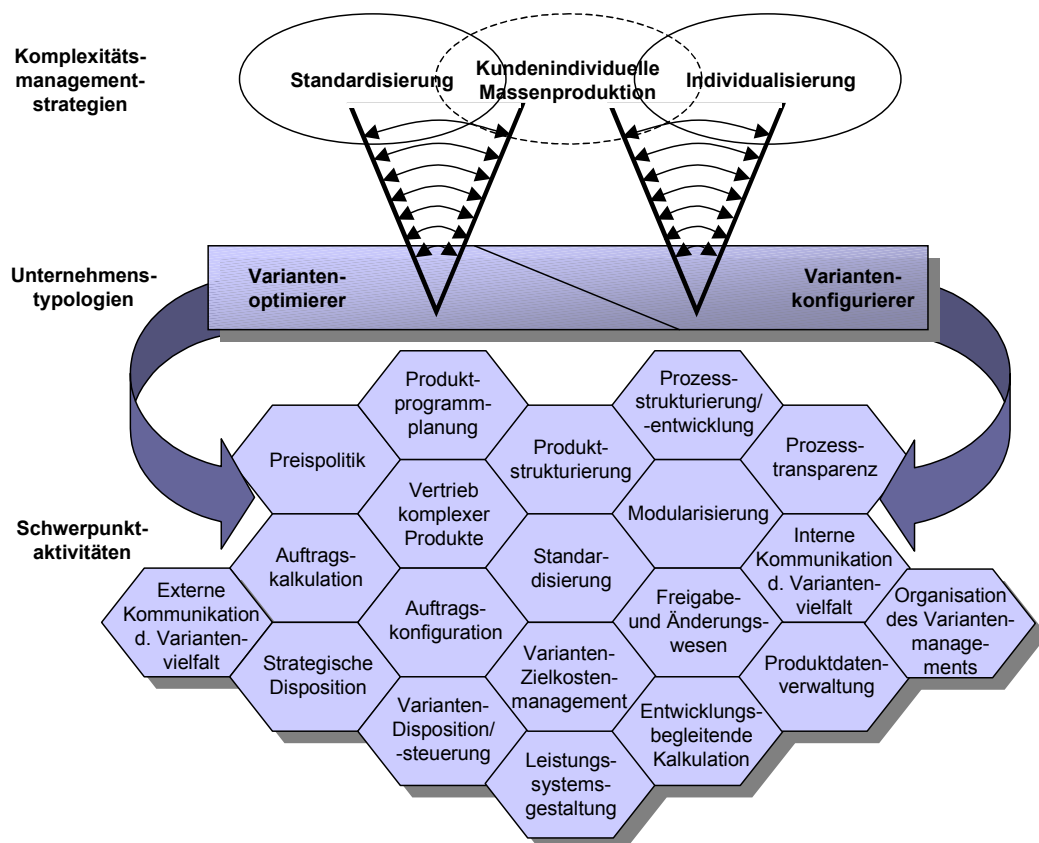


Bild 3-38: Die strategische Ausrichtung bestimmt die operativen Aktivitäten [SS01]

Das integrierte Komplexitätsmanagement teilt diese Aktivitäten in die 5 großen Handlingscluster „Produktvielfalt entwickeln“, „Produktvielfalt bewerten“, „Kommunikation und Vertrieb variantenreicher Produkte“ sowie „Produktvielfalt produzieren“ ein und ordnet entsprechende Methoden bzw. Instrumente zu. Zentraler Ansatzpunkt sind jedoch die beiden Cluster „Produktvielfalt entwickeln“ und „Produktvielfalt bewerten“.

Cluster: Produktvielfalt entwickeln

SCHUH/SCHWENK haben unter der Bezeichnung „Produktvielfalt entwickeln“ insbesondere die Aktivitäten subsumiert, die die Beherrschung der Produktkomplexität mit ihren drei Dimensionen Produktstruktur, Produktprogramm und Produktpflege als Zielsetzung verfolgen. Dabei stehen die Produktstruktur und das Produktprogramm im Vordergrund der Betrachtungen. Die Produktstruktur und deren transparenter Aufbau ist der erste notwendige Schritt, um die Komplexität zu verstehen und auf Basis dieses Verständnisses zu ändern bzw. zu gestalten [SS01]. Im Rahmen des integrierten Komplexitätsmanagements werden zur Analyse und zur Optimierung der Produktvielfalt die beiden Methoden „Variantenbaum“ und die „Variant Mode and Effects Analysis (VMEA)“ angewendet.

- **Variantenbaum:** Der ist eine grafische Aufbereitung der Produktinformationen, die die Teile- und Variantenvielfalt über der Montagereihenfolge darstellt [SS01]. Er trägt damit insbesondere der Forderungen nach einer zur variantenorientierten Produktgestaltung angepassten Erzeugnisgliederung Rechnung [Sch89]. In einem Variantenbaum wird die Entwicklung der Variantenvielfalt von oben nach unten abgebildet, wobei die Anbauteile in ihrer Montagereihenfolge vertikal und die Varianten- und Teilevielfalt horizontal nebeneinander abgebildet wird [Bre97]. Bei der Gestaltung neuer Baugruppen oder Einzelteile können die Variantenbaumdaten entweder aus dem Ist-Zustand schon vorhandener Produkte abgeleitet oder auch ohne Kenntnis der konstruktiven Details planspielerisch prognostiziert werden [Lös01]. D. h., mit Hilfe der Variantenbaumstruktur kann die Produktpalette zunächst im Ist-Zustand durchleuchtet bzw. analysiert und durch die Entwicklung eines neuen Variantenbaums für den Soll-Zustand optimiert werden [Ehr03]. Das Reduzierungspotenzial unnötiger Variantenvielfalt beträgt bei Anwendung des Variantenbaums über 60 Prozent, bei ausgewählten Baugruppen im Automobilbau sogar über 70 Prozent [Sch93].
- **Variant Mode and Effects Analysis (VMEA):** Die Variant Mode and Effects Analysis (VMEA) wurde im Rahmen der Forschungsarbeit an der Rheinisch Westfälischen Hochschule in Aachen entwickelt [EK93]. Sie unterstützt eine systematische Produktplanung und –entwicklung unter Berücksichtigung der (kostenmäßigen) Konsequenzen durch die Auswei-

tung der Variantenvielfalt [SSS98]. Die VMEA beinhaltet folgende Ansätze: Analyse der Variantenvielfalt, variantenorientierte Produktgestaltung und verursachungsgerechte Produktbewertung [ESW98]. Die VMEA ist eine systematische Vorgehensweise, die sowohl die technische als auch die kostenmäßige Beherrschung der Variantenvielfalt sicherstellt [SS01, KLG03]. Zu ihrer Durchführung werden die Unternehmensbereiche Produktprogrammplanung, Produktentwicklung, Produktion und Vertrieb frühzeitig mit einbezogen (vgl. Bild 3-39) [SS01]. Dabei ist es Ziel, die Einzel- und Baugruppenvielfalt auf das funktionstechnisch erforderliche Maß zu beschränken [Cae91].

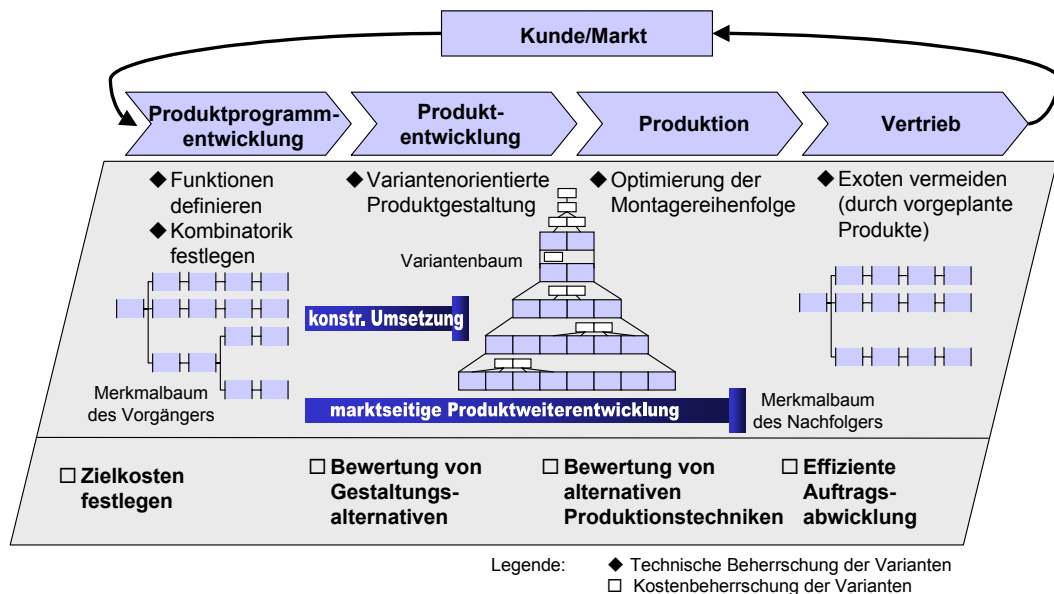


Bild 3-39: VMEA-Methode [KLG03]

Cluster: Produktvielfalt bewerten

Wie bereits eingangs in Kapitel 3.7.1 beschrieben ist die Bewertung der Produktvielfalt eine der zentralen Herausforderungen des Komplexitäts- bzw. Variantenmanagements. Das Dilemma wirtschaftlicher Vielfaltsproduktion besteht darin, dass einerseits die Produktvarianten eines neuen Produktes in einem frühen Planungsstadium noch nicht feststehen und daher nicht bewertet werden können [SS01]. Andererseits führt eine Straffung des Sortiments zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr zu nachweisbaren Einsparungen²², da die notwendigen Ressourcen für das gesamte Produktspektrum bereits geschaffen oder bereitgestellt wurden [SS01]. Zur Beeinflussung der Komplexität bzw. der für den

22. Dieser Effekt wird auch als remanente Wirkung der Komplexitätskosten bezeichnet [RS99, AJ98].

Komplexitätsanfall ursächlichen Faktoren muss das Komplexitätskostenmanagement möglichst ganzheitlich sowie frühzeitig erfolgen [RS99]. Komplexitätskosten sind in der Regel Gemeinkosten, und zwar vorwiegend in indirekten, steuernden Bereichen [AJ98]. Um die Produktvielfalt zu bewerten, ist daher ein Kostenrechnungssystem notwendig, das in der Lage ist, die Komplexitätskosten möglichst vollständig und verursachungsgerecht darzustellen.

Die Bewertung Produktvielfalt wird im integrierten Komplexitätsmanagement mit Hilfe zweier Instrumente unterstützt, dem Target Costing und der ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung (RPK). Beide Instrumente ergeben eine sinnvolle Ergänzung zur VMEA-Methode und ermöglichen die Bewertung von Gestaltungsalternativen hinsichtlich einer wirtschaftlichen Herstellung marktorientierter Produktvielfalt [SS01].

- **Target Costing:** Mit Hilfe des sog. Target Costing²³ werden die Zielkosten eines Produkts schon am Beginn seines Entstehungszyklus bestimmt [Coe99]. Das Target Costing ist dabei kein spezielles Kostenrechnungsverfahren, sondern eine umfassende Planungs- und Steuerungsphilosophie des Produktentwicklungsprozesses [SS01]. Ziel der Vorgehensweise ist es, die Markt- und Kundensicht mittels einer systematischen Gewichtung von Kundenanforderungen (entsprechend des Quality Function Deployment) in die Produktstruktur zu übertragen [ESR99]. Das Target Costing teilt sich in die drei Schritte Zielkostenfindung, Zielkostenspaltung und Zielkostenverfolgung auf [May00]. Dabei steht im Vordergrund, aus den Marktvorgaben (Kundenbedürfnissen), Renditeerwartungen und Möglichkeiten des Unternehmens, die Gesamtkosten auf die Funktionen und Komponenten als Kostenobergrenzen [Hei99] aufzuteilen und Maßnahmen zur Zielerreichung zu erarbeiten [SS01]. Das Instrument des Target Costing ist im integrierten Komplexitätsmanagement ein Bestandteil des sog. Führungskreislaufs, in dem u. a. auf Basis des Target Costing die marktseitig geforderte sowie unternehmensseitig sinnvolle Produktvielfalt auf Enderzeugnisebene festgelegt wird [SS01].
- **Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung (RPR):** Aufgrund der Defizite traditioneller Kostenrechnungsverfahren bei der variantenorientierten Produktkostenbewertung [EK93] bzw. bei der Sichtbarmachung von Komplexitätsphänomenen im allgemeinen [Bat01] wird zur Abbildung von Komplexitätswirkungen die Prozesskostenrechnung als geeignet angesehen [RS99]. Bei der ressourcenorientierten Prozesskostenrech-

23. Target Costing ist ein aus Japan stammendes Kostenmanagement-Konzept, das seit den 70er Jahren in japanischen Firmen konsequent praktiziert wird [Kai95]. Seit den 80er Jahren hat es auch in der englischsprachigen Literatur (vorwiegend von japanischen Autoren geschrieben) Eingang gefunden und ist im deutschsprachigen Raum unter dem Begriff „Zielkostenmanagement“ bekannt geworden [Kai95].

nung handelt es sich um eine Erweiterung der Prozesskostenrechnung mit dem Unterschied, dass bei der RPR auf die pauschale Aggregation der erfassten Teilprozesse zu Prozessketten (Hauptprozessen) verzichtet wird [SS01]. Darüber hinaus werden die Bezugsgrößen (Cost Driver) nicht direkt auf die Kosten bezogen, sondern bilden eine Variable der sog. Verbrauchsfunktion [Kai95]. Die Zuordnung der Kosten erfolgt dann mit Hilfe einer Kostenfunktion, d. h., der über die Verbrauchsfunktion ermittelte Ressourcenverzehr wird mit Hilfe einer linearen Kostenfunktion monetär bewertet [Kai95]. Die systematische Trennung zwischen der Verbrauchs- und Kostenfunktion ermöglicht eine getrennte Anpassung des Modells an reale Veränderungen [SS01]. Im Rahmen des integrierten Komplexitätsmanagements wird eine Anwendung der RPR sowohl in der Auftragskalkulation (Variantenkalkulation) als auch in Entwicklung (Bewertung von Gestaltungsalternativen) und Produktionsplanung (Kosten des Ressourcenverzehrs) vorgeschlagen.

Unterstützende Werkzeuge

Der Erfolg strategischer und operativer Entscheidungen im Komplexitätsmanagement hängt im Wesentlichen von der Qualität der zugrunde gelegten Informationen ab [TW00]. Das heißt, ein Komplexitätsmanagement ist ohne ein entsprechendes Informationsmanagement undenkbar [BR98]. Die Gestalt des betrieblichen Informationssystems determiniert maßgeblich die Informationsflüsse und -bearbeitung [SS01]. Mit dem Einsatz eines einzigen, mächtigen Systems ist es jedoch nicht getan [SS01]. Im integrierten Komplexitätsmanagement existieren daher mehrere Systembausteine mit unterschiedlichen Aufgaben. Kern sind die Produktdaten bzw. das digitale Produkt und das entsprechende Produktdatenmanagementsystem, das bei der Komplexitätsbewältigung als Integrationsplattform dient [SS01]. Darüber hinaus werden die im integrierten Komplexitätsmanagement durch ein eigenes EDV-Tool, dem sog. „Complexity Manager“, unterstützt, da in vielen Informationssystemen wichtige Vielfalts- und Kosteninformationen fehlen. So lassen beispielsweise viele DV-Systeme im Bereich des Rechnungswesens keine Verarbeitung von Prozesskosten zu [KS98].

Die Software „Complexity Manager“ ist ein integriertes Softwaresystem, das aus den drei modularen Bausteinen Variantenmanagement, Prozessmanagement und Prozesskostenmanagement besteht [SS01].

3.8 Resümee und Handlungsbedarf

Nachdem in Kapiteln 3.2 bis 3.5 die Methoden zur Modellierung von Produktdaten und Prozessdaten sowie erste Integrationsansätze zwischen beiden Modellen vorgestellt wurden, waren die darauf basierenden Applikationen Änderungs- und Komplexitätsmanagement Thema der Kapitel 3.6 und 3.7. Hierbei lag ein spezieller Augenmerk auf der wirtschaftlichen Bewertung von Änderungen und von Komplexität. Zusammenfassend lässt sich folgendes festhalten:

Komplexitätsabbildung

Die gesamtheitliche Modellierung von Produkten und Prozessen bildet die Basis für ein Verständnis der Komplexität in Unternehmen. In die vormals spezifischen Einzelmodelle werden vermehrt prozessübergreifende Gesichtspunkte einbezogen. Für den Bereich der Produktmodelle passiert dies vor allem durch die Ausweitung des Wirkungsbereiches der entsprechenden PDM-Systemwelt in Richtung vorgelagerter CAD- und nachgelagerter ERP-Systeme. Die grundsätzlichen Strukturen der Produktdokumentation und –modellierung bleiben zwar unverändert, jedoch werden zusätzliche Daten, wie z. B. CAD-Zeichnungsinformationen, integriert. Ähnlich sieht es aus Sicht der Prozessmodelle aus, wie sie beispielsweise zur Beschreibung des Produktentstehungsprozesses benutzt werden. Sie wurden bisher weitgehend unabhängig von der Produktwelt aufgestellt und sollen zukünftig mehr und mehr die Querverbindungen zu den vorhandenen Produktstrukturen enthalten.

Darüber hinaus sind einige Integrationsansätze von Produkt- und Prozessmodellen entstanden, die mehr als nur eine prozessübergreifende Anwendung von Einzelmodellen darstellen. Ausgangspunkt ist vor allem die durch das Simultaneous Engineering notwendig gewordene Integration der Teilprozesse Produktentwicklung und Produktionsprozessentwicklung. Die Anwendbarkeit dieser Modelle zum Zwecke einer übergreifenden methodischen Integration ist jedoch sehr begrenzt, da ihre Ausrichtung durch die IT-Systeme und durch eine Konzentration auf bestimmte Prozessabschnitte geprägt ist. Das heißt, dass sie systemnahe Modellierungsmethoden gebrauchen oder, wie beispielsweise das iPPE- Konzept der SAP, auf einer bestimmten Systemwelt basieren. Allgemein hin lässt sich feststellen, dass die integrierten Modellierungsmethoden zwar eine gemeinsame Modellierung von Produkten und Prozessen ermöglichen, dazu aber herkömmliche Strukturen verwenden, die im Hinblick der Vollständigkeit und methodischen Integration nur bedingt geeignet sind.

Komplexitätsbewertung und -entscheidung

Die Bewertung und Entscheidung von Komplexität findet in der praktischen Anwendung innerhalb des Managements technischer Änderungen statt. Jede Änderung an Produkten und Prozessen hat einen Einfluss auf die im Unternehmen herrschende Komplexität, so dass die vollständige Abbildung und Bewertung aller Änderungsfälle nach der Maßgabe „Jede Änderung und damit Komplexität ist sinnvoll, die einen betriebswirtschaftlichen Nutzen besitzt“ im Idealfall zu einer Optimierung der Komplexität führen würde.

Die große Anzahl technischer Änderungen wirkt einerseits komplexitätserhöhend, ist andererseits aber Ausdruck der notwendigen Agilität eines Unternehmens im Wettbewerb. Eine umfassende Komplexitätsbewertung wird durch Komplexitätsmanagementkonzepte sichergestellt, wobei die Ausrichtung der verschiedenen Konzepte sehr unterschiedlich ist. Vor allem hinsichtlich der praktischen Anwendbarkeit und der Einbindung in einen strategischen Handlungsrahmen bestehen Defizite.

Komplexitäts- wie auch Änderungskosten sind in ihrem Charakter sehr ähnlich. Es handelt sich beiderseits insbesondere um Gemeinkosten in indirekten Leistungsbereichen, deren Auftreten nur sehr schwer erkennbar ist. Insofern entstand in vielen Konzepten des Änderungs- und Komplexitätsmanagements die Forderung nach einer prozessorientierten Kostenrechnung, die die Nachteile der traditionellen Kostenrechnungsverfahren beseitigen soll. Trotzdem reicht die alleinige Einführung neuer Verfahren zur differenzierten Kostenbetrachtung nicht aus. Es braucht eine vollständige Erfassung aller direkten und indirekten Auswirkungen, die wiederum nur über die direkte Einbeziehung von Kostengrößen und –abhängigkeiten bei der Modellierung der Datengrundlage gewährleistet werden kann. Die bestehende Trennung von betriebswirtschaftlicher Betrachtung und integrierter Modellierung von Produkten und Prozessen sollte daher überwunden werden.

Die Betonung von Änderungs- und Komplexitätsmanagement als prozessübergreifende und vorausschauende Konzepte erfordert entsprechende Controllinginstrumente. Das heißt, die reine Betrachtung des Ist-Zustandes entlang des Produktlebenszyklusses ist für eine fundierte Entscheidungsunterstützung nur bedingt aussagekräftig. Demzufolge ist eine Ergänzung durch die Simulation und Bewertung von zukünftigen Änderungen sowie die Sicherstellung von Kosteninformationen bei bereits getroffenen Entscheidungen notwendig, die derzeit in Konzepten des Änderungs- und Komplexitätsmanagements weitgehend fehlt.

Allgemein bleibt festzustellen, dass trotz vieler Gemeinsamkeiten und Synergiepotenziale Änderungs- und Komplexitätsmanagement fast ausschließlich getrennt voneinander betrachtet werden. Dies betrifft den methodischen und strategischen Rahmen wie auch deren Ausgestaltung in operativen Instrumenten.

Handlungsbedarf

Aus diesen Betrachtungen und zur Erfüllung der im Kapitel 2.3 aufgestellten Anforderungen lässt sich folgender Handlungsbedarf ableiten:

- **Integrative und vollständige Modellierung:** Als Basis für das bewertete Änderungs- und Komplexitätsmanagement ist ein integriertes Modell erforderlich, das Prozess- und Produktdaten sowie deren Abhängigkeiten entlang des gesamten Produktlebenszyklus systemunabhängig und vollständig abbildet (*siehe Anforderungen A-2, A-3, A-4 und A-5*). Die Modellierung muss ihrerseits die Definition spezifischer Sichten, die kontextabhängige Betrachtung von Informationen und die Erweiterung um zusätzliche Informationsobjekte zulassen (*A-1, A-2 und A-8*). Die Modellierungssprache ist so zu wählen, dass eine leichte Anwendbarkeit sichergestellt ist (*A-4*).
- **Bewertungsmethode und Controllinginstrumentarium:** Ergänzend zu der vollständigen Modellierung müssen die Auswirkungen von Änderungen des Modells über alle direkt und indirekt beteiligten Informationsobjekte aufgezeigt und analysiert werden können (*A-6*). Die Anwendung prozessorientierter Kostenrechnungssysteme ist durch entsprechende Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher Daten bereits bei der Modellierung in Form entsprechender Attribute zu unterstützen (*A-7*). Unterschiedliche Modellzustände sind mit Hilfe neuer Controllinginstrumente vergangenheits- und zukunftsorientiert zu analysieren (*A-9 und A-10*).
- **Integration des Änderungsmanagements in das Komplexitätsmanagement:** Änderungs- und Komplexitätsmanagement müssen hinsichtlich ihrer Anforderungen an eine gemeinsame Datengrundlage und die betriebswirtschaftliche Bewertung integriert werden (*A-11*). Darüber hinaus ist eine methodische Einordnung des Änderungsmanagements in das Gesamtkonzept des Komplexitätsmanagements vorzunehmen (*A-11*).

4 Konzeption: Weiterentwicklung des integrierten Prozess- und Datenmodells (IPDM)

Aus den im Kapitel 3.4 vorgestellten Methoden zur integrierten Modellierung wird im Folgenden die Methode des integrierten Prozess- und Datenmodells aufgegriffen und weiterentwickelt. Die Grundform der Methode wurde in Kapitel 3.5 aufgezeigt.

4.1 Ausgangspunkt der Weiterentwicklungen

Um auf Grundlage des integrierten Prozess- und Datenmodells eine durchgängige Komplexitätsbewertung durchführen zu können, ist es notwendig, als Ausgangspunkt das Modell in die Ebenen des Komplexitätsmanagements einzuordnen (vgl. Bild 4-1) und unterschiedliche Erweiterungen vorzunehmen. Die Erweiterungen beziehen sich zum einen auf die Modellierungsbasis, das heißt, auf Art und Umfang der Modellierung innerhalb der Abbildungsebene. Zum anderen ist im gleichen Maße die Anwendung, sprich die Applikation des Modells in Bewertungs- und Entscheidungsebene, zu verändern.

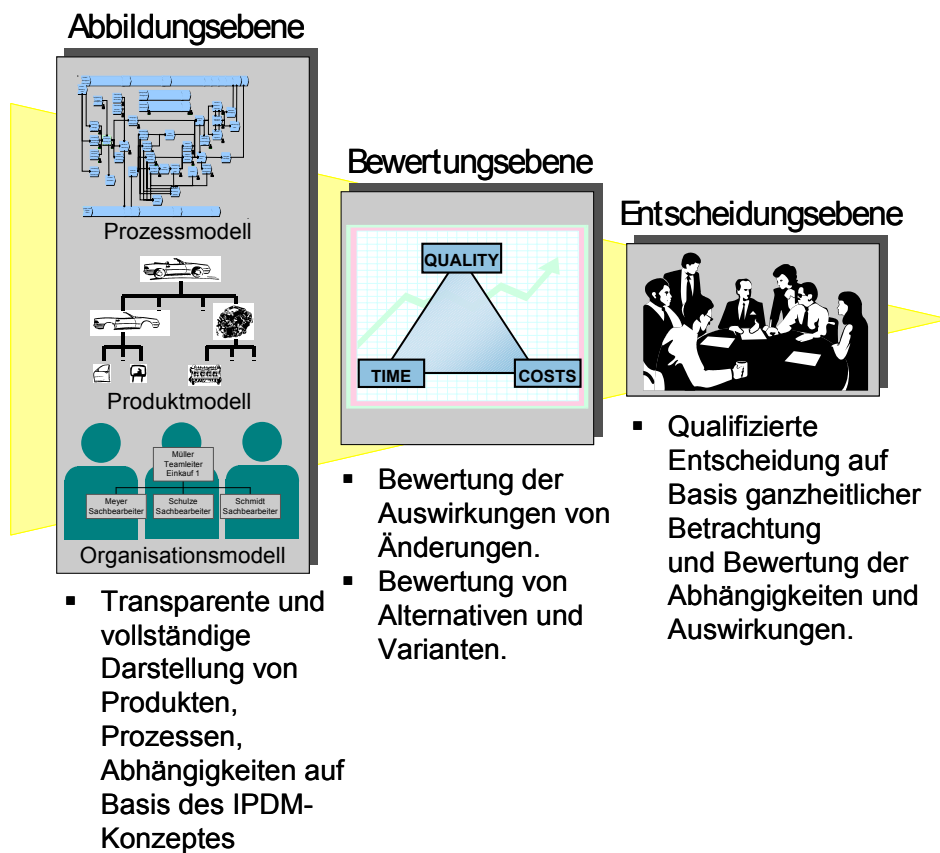


Bild 4-1: Die Ebenen des Komplexitätsmanagements unter Berücksichtigung des IPDM-Konzeptes

4.2 Abbildungsebene: Erweiterung der Modellierungsbasis

Die integrierten Produkt- und Prozessmodelle sind ein Beispiel für innovative Entwicklungen innerhalb des maschinellen Informationssystems, das wiederum selber eine Schlüsselrolle für zukünftige Produktionssysteme einnimmt [SN97]. Die Modelle bilden Produkt- und Prozessstrukturen ab, die einem eigenen Innovationszyklus unterliegen. Für die Modellierung solcher Strukturen bedeutet dies, dass bestehende Modellierungsmethoden einer Überprüfung unterzogen werden müssen, inwieweit sie auch für die Abbildung zukünftiger Produkt- und Prozessstrukturen geeignet erscheinen. Das IPDM-Konzept hat sich nicht zuletzt aus diesem Grund als eines der wenigen integrierten Konzepte von den traditionellen Strukturen getrennt und einen gänzlich neuen Weg beschritten, um Produkte und Prozesse möglichst vollständig und integrativ abzubilden.

Mit der Nutzung der Verbindungsposition als neues Objekt in der Modellierung und als integrativer Träger von Produkt- und Prozessinformationen ist ein wichtiger Schritt in Richtung einer vollständigen Abbildung gemacht. Vollständigkeit bedeutet, dass aktuelle wie auch zukünftige Produkt- und Prozessstrukturen sowie die vorhandenen Abhängigkeiten komplett abgebildet sind.

Trotzdem war die bisherige Sichtweise des integrierten Prozess- und Datenmodells von der Abbildung klassischer Strukturen geprägt. Dass diese Sicht nur noch bedingt den heutigen bzw. zukünftigen Anforderungen entspricht, wird insbesondere bei Betrachtung der veränderten Produktstrukturen klar. Die stark gestiegene Nutzung elektronischer und softwarebasierter Komponenten, die nach einer Studie im Automobilbau von heute 20 Prozent bis zum Jahre 2010 auf etwa 35 Prozent des Produktwertes ansteigen wird [MMC01], hat beispielsweise dazu geführt, dass zusätzliche Abhängigkeiten innerhalb eines Produktes entstehen, die bei einer rein physischen Betrachtung keine Berücksichtigung finden würden. So ist die auf einem Steuergerät aufgespielte Software nicht als physische Verbindung und ebenso wenig als physisches Bauteil zu betrachten. Ergänzend dazu erfordert gerade der Bereich der Software und Elektronik eine Vielzahl spezifischer Produktions- und Prüfprozesse, die in Abhängigkeit vom Produkt dokumentiert werden müssen. Das bedeutet, dass auch für die Abbildung der Wechselwirkungen zwischen Produkten und Prozessen neue Anforderungen bestehen. Um allen Anforderungen Rechnung zu tragen und eine möglichst vollständige Abbildung der betrachteten Sachverhalte zu gewährleisten, wurde das integrierte Prozess- und Datenmodell um zusätzliche Modellierungskonstrukte erweitert.

Das ist zum einen das Objekt der Funktionsbeziehung, das es ermöglicht, Teile bzw. Objekte miteinander zu verbinden, die eine gemeinsame Funktion erfüllen, aber in keinem direkten physischen Zusammenhang stehen. Diese Eigenschaft ist vor allem im Bereich der Elektronik- und Softwaredokumentation notwendig.

Zum anderen wurde ein Objekt entwickelt, das beliebige Abhängigkeiten von Objekten darstellen kann. Dieses Objekt wird als logische Verbindung bezeichnet.

Beide Objekte dienen der Verbesserung der Vollständigkeit des IPDM-Konzeptes und schaffen im Sinne eines durchgängigen Komplexitätsmanagement als Abbildungsebene die Grundlage für die nachfolgenden Ebenen der Bewertung und Entscheidung.

4.2.1 Funktionsbeziehungen

Die Funktionsbeziehungen bezeichnen die funktionalen Verbindungen von Objekten im erweiterten IPDM-Konzept. Funktionale Verbindungen sind dabei Abhängigkeiten von Objekten, die in keinem direkten „mechanischen“ Zusammenhang stehen, sondern sich über ihre Funktionserfüllung beeinflussen. Im Unterschied zu den physischen Verbindungen ergeben sich im Rahmen des Modells rein formal verschiedene Anwendungsregeln. Um auch begrifflich eine klare Abgrenzung zu den physischen Verbindungen zu gewährleisten, wurde anstatt der „funktionalen Verbindung“ bewusst die Bezeichnung „Funktionsbeziehung“ festgelegt. Eine Funktionsbeziehung kann neben den einzelnen Produktpositionen, die gemeinsam eine bestimmte Funktion erfüllen, alle weiteren Objekte umfassen, die die Funktionsbeziehung charakterisieren bzw. zu ihrer Erstellung notwendig sind. Die Funktionsbeziehung erlaubt dabei eine Verknüpfung von Positionen und, im Gegensatz zu den physischen Verbindungen, auch von einzelnen Positionsvarianten (vgl. Bild 4-2).

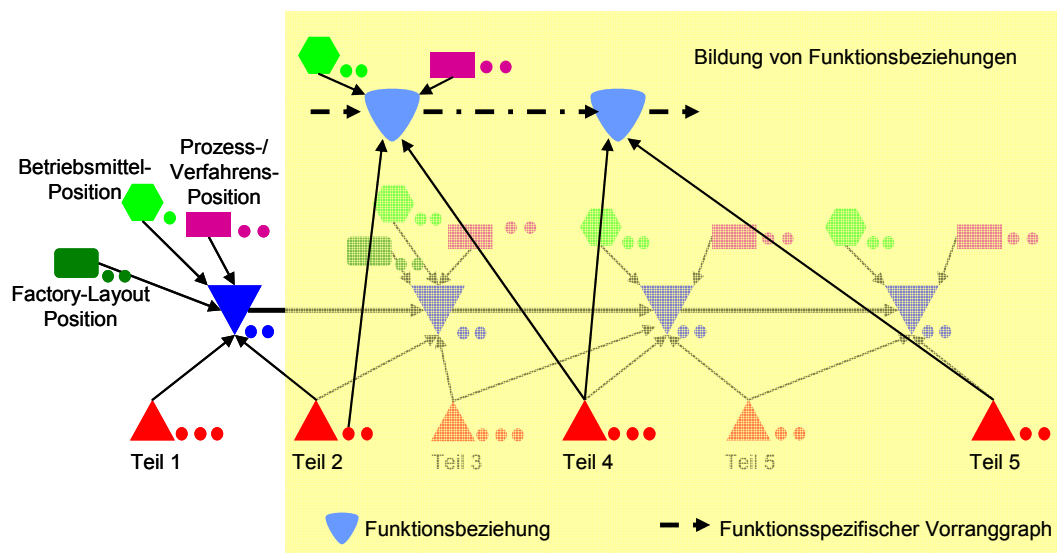


Bild 4-2: Funktionsbeziehungen im integrierten Prozess- und Datenmodell

Die Reihenfolgebildung von Funktionsbeziehungen erfolgt im Rahmen des bereits bekannten Vorranggraphen. Das heißt, dass die Funktionsbeziehung in gleicher Weise in den Vorranggraphen einbezogen wird wie die physische Verbindung. Durch die Einbindung in den Vorranggraphen können auch die Funktionsbeziehungen zu einem sog. „Schlüsselbegriff“ werden. Darüber hinaus ist es jedoch zulässig, eine eigene Reihenfolge der Funktionsbeziehungen mit Hilfe eines funktionsspezifischen Vorranggraphen herzustellen. Weiterhin können Funktionsbeziehungen ohne Einbindung in den allgemeinen oder in einen funktionsspezifischen Vorranggraphen gebildet werden. Diese Funktionsbeziehungen verstehen sich weniger als „Prozessobjekt“, sondern vielmehr im Sinne einer statischen Aggregation nach bestimmten Kriterien. Funktionsbeziehungen werden im erweiterten IPDM-Objektmodell als „auf dem Kopf stehendes Dreieck mit abgerundeten Ecken“ visualisiert.

Innerhalb des Verbindungstyps „Funktionsbeziehung“ können gemäß der im Kapitel 4.2.3 vorgenommenen Hierarchisierung unterschiedliche Verbindungs- bzw. Funktionsarten bestehen. Die Bandbreite der Funktionsbeziehungsarten kann dabei sehr hoch sein. Für den Anwendungsfall des Automobilbaus reicht sie beispielsweise von den allgemeinen Funktionen eines Produktes („Fenster öffnen/schließen“) bis hin zu speziellen funktionalen Abhängigkeiten eines Steuergerätes mit der darauf befindlichen Software.

Anwendungsbeispiel: Dokumentation von Elektrik-/Elektronikteilen

Wie bereits mehrfach erwähnt war die steigende Anwendung von Elektrik-, Elektronik- und auch Mechatronikteilen die Keimzelle zur Entwicklung der Funktionsbeziehungen und damit zur Erweiterung des IPDM-Konzeptes. Zur besseren Verständlichkeit der Funktionsbeziehungen und ihrer Anwendung seien deshalb an dieser Stelle die zugrunde gelegten Merkmale der Elektrik-/Elektronikteile (E/E-Teile) beispielhaft erklärt [DC03a]:

- **E/E-Teile umfassen physische sowie nicht-physische Teile (im Sinne der Dokumentation):** Ein Steuergerät und ein Prüfgerät bilden beispielsweise den physischen Teil, die jeweils aufgespielte Software den nicht-physischen Teil der Verbindung ab. Dieser Sachverhalt wird in klassischen Dokumentationssystemen nicht berücksichtigt, sondern Steuergerät und Software als ein Teil betrachtet.
- **Hohe Varianz:** Die Funktionalität moderner Steuergeräte ist über die Software nahezu beliebig ausprägbar.
- **Hohe Änderungshäufigkeit:** Software besitzt im Gegensatz zu physischen Teilen die Eigenschaft, sich relativ leicht ändern zu lassen. Dementsprechend folgt daraus eine hohe Änderungshäufigkeit in Form neuer Softwarestände.

- **Starke Abhängigkeit zum Prozess:** Eine Verbindung zwischen Steuergerät und Software lässt sich nur durch den Einsatz weiterer Unterstützungswerkzeuge (Betriebsmittel) und –prozesse (Aufspielen der Software) herstellen.
- **Verschiedene Softwarearten:** Neben der Software, die direkt auf dem Steuergerät installiert ist, existieren weitere betrachtungsrelevante Arten. Dies sind u. a. die sog. Bootsoftware, die für das Aufspielen der Steuergerätesoftware zuständig ist, und die Prüfsoftware, die letztendlich die Funktion des Steuergerätes inklusive Software überprüft.
- **Aktive Kommunikation zwischen allen E/E-Komponenten:** Zwischen sämtlichen beteiligten Komponenten sind nicht nur simple Abhängigkeiten vorhanden, sondern diese Abhängigkeiten müssen darüber hinaus bestimmte Kriterien erfüllen. Das heißt, der Datenfluss zwischen den Komponenten muss sichergestellt sein.

Die genannten Merkmale lassen sich mit Hilfe des erweiterten IPDM-Grundkonzeptes im Sinne einer zusammenhängenden und eindeutigen Dokumentation darstellen. Dabei werden Steuergerät und Software als Teilepositionen betrachtet und durch eine Funktionsbeziehung miteinander verbunden. An der Funktionsbeziehung hängen wiederum die Boot- und Prüfsoftware sowie die notwendige Hardware als Betriebsmittelpositionen (vgl. Bild 4-3).

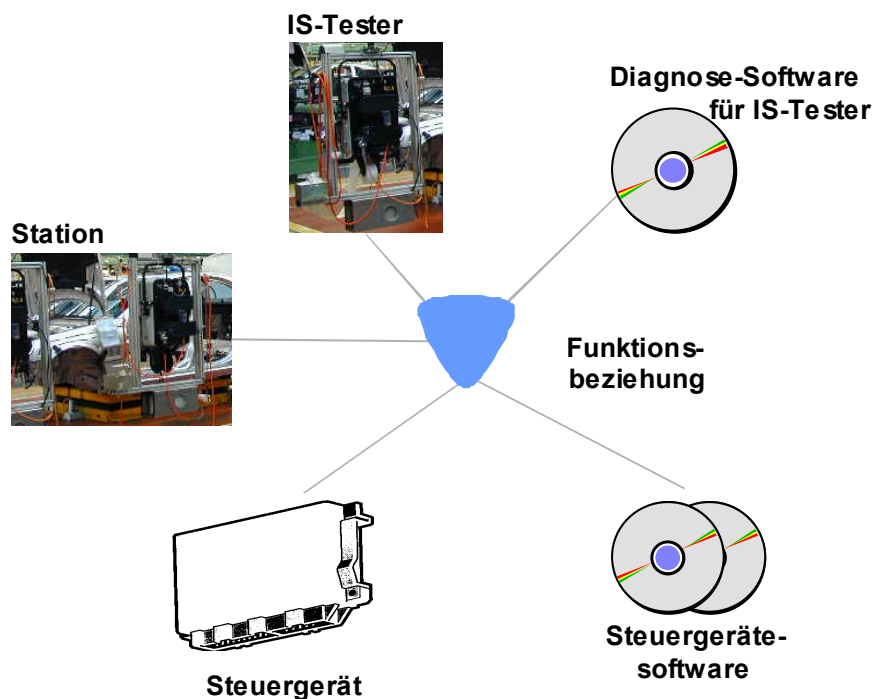


Bild 4-3: Beispiel E/E-Teiledokumentation

4.2.2 Logische Verbindungen

Die logischen Verbindungen wurden zur Abbildung der Sachverhalte entwickelt, die weder mit physischen Verbindungen noch mit Funktionsbeziehungen sinnvoll darzustellen sind. Dies sind vor allem Zusammengehörigkeiten aufgrund bestimmter Eigenschaften oder Kriterien, wie z. B. beim Produkt Auto die Gruppe aller abgasrelevanten Teile oder die Gruppe aller Elektrik-/Elektronikteile. Die Modellierung von logischen Verbindungen (vgl. Bild 4-4) ist im erweiterten IPDM-Konzept flexibel einsetzbar. Es ergeben sich durchaus Überschneidungsbereiche zu den Funktionsbeziehungen, der wesentliche Unterschied ist jedoch, dass die Funktionsbeziehungen als Schlüsselobjekte bzw. –begriffe in den Vorranggraphen einzubinden sind und in diesem Fall einer „strengerer“ Formalisierung unterliegen. Um die freie Anwendbarkeit der logischen Verbindungen zu gewährleisten, sind diese nicht in den Vorranggraphen integrierbar. Eine spezifische Reihenfolgebildung wie auch die Nutzung als „statisches“ Aggregationsobjekt sind aber darüber hinaus möglich.

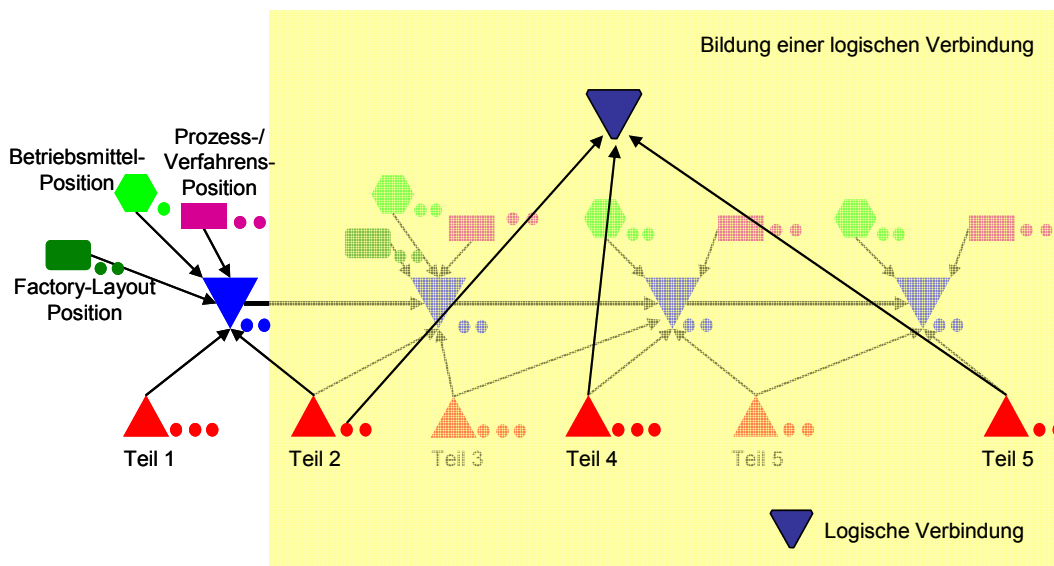


Bild 4-4: Logische Verbindungen

Die Modellierungsregeln von logischen Verbindungen bezüglich der Einbindung von Objektpositionen und –positionsvarianten entsprechen denen der Funktionsbeziehungen. Das heißt, dass Verknüpfungen auf Positionsebene wie auch auf Positionsvariantebene zulässig sind. Die Visualisierung der logischen Verbindungen im erweiterten IPDM-Konzept erfolgt als „auf dem Kopf stehendes Dreieck mit abgeflachten Ecken“.

4.2.3 Klassifizierung der Verbindungsobjekte

Die Erweiterung der Modellierungsbasis mit Hilfe zusätzlicher Verbindungstypen im IPDM-Konzept macht eine Klassifizierung/Hierarchisierung des Begriffes „Verbindung“ notwendig. Sie erlaubt eine genaue Bezeichnung der einzelnen Verbindungskonstrukte im Sprachgebrauch. Die „Verbindung“ ist nach wie vor der Oberbegriff für das allgemeine Objekt, wird jedoch weiter in die Verbindungstypen und in die Verbindungsarten unterschieden. Der Begriff des Verbindungstyps definiert dabei den grundsätzlichen Charakter der Verbindung im Sinne von physisch, funktional oder logisch. Im Rahmen eines Verbindungstypen können dann wiederum mehrere spezifische Verbindungsarten existieren, wie z. B. Schraub- oder Schweissverbindungen für den Bereich der physischen Verbindungen (vgl. Bild 4-5). Unterhalb der Verbindungsart findet dann die eigentliche Instanziierung des Objektes statt.

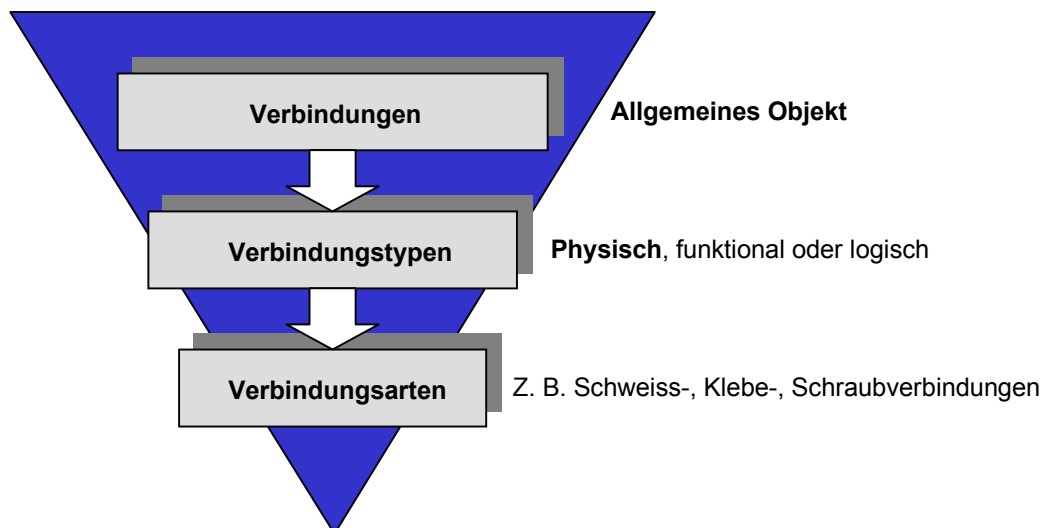


Bild 4-5: Hierarchisierung der Verbindungen

Das allgemeine Objekt „Verbindung“ lässt sich so mit Hilfe dieser Unterteilung hierarchisieren. Durch die Hierarchisierung in Objektklassen und –instanzen ist eine Vererbung bestimmter Objektmerkmale über die einzelnen Hierarchieebenen des Objektmodells hinweg möglich. Die Klasseneinteilung und –zuordnung ist Ergebnis des derzeitigen Erweiterungsstandes des integrierten Prozess- und Datenmodells und erhebt daher nicht den Anspruch einer Vollständigkeit. Je nach Modellierungsaufgabe ist eine Ergänzung der Klassen um weitere Verbindungstypen/-arten möglich.

4.2.4 Erweitertes Objektmodell

Mit den beiden zusätzlichen Konstrukten „Funktionsbeziehungen“ und „Logische Verbindungen“ und den damit zusammenhängenden Modellierungsmöglichkeiten wird der Umfang des integrierten Prozess- und Datenmodells erheblich vergrößert (vgl. Bild 4-6).

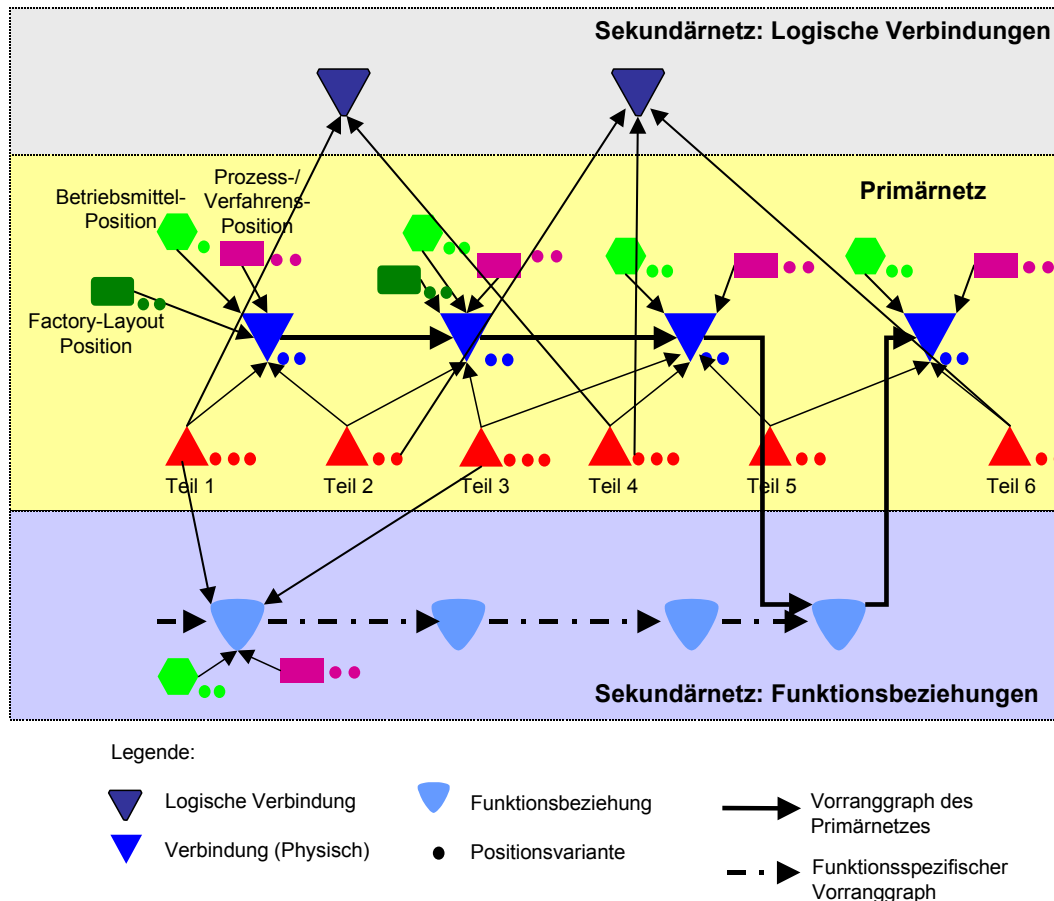


Bild 4-6: Primär- und Sekundärnetze im erweiterten IPDM-Konzept

Der zentrale Kern des Konzeptes ist nach wie vor das aus den Objekten und dem Vorranggraphen entstehende Produkt- und Prozessnetz, das nunmehr auch Funktionsbeziehungen im Sinne funktionaler Verbindungspositionen enthält. Parallel zu dem primären Produkt- und Prozessnetz ergeben sich jedoch über die Nutzung funktions- und eigenschaftsbedingter Vorranggraphen spezifische Netze, die die Komplexität des Gesamtmodells zwar erhöhen, aber die Vollständigkeit der Abbildung sicherstellen. Zur Handhabung der Komplexität ist es wichtig, das primäre Produkt- und Prozessnetz als maßgeblich für alle anderen Netze zu definieren. Die im Primärnetz enthaltenen Verbindungs- und Produktpositionen sind die beiden einzigen Schlüsselbegriffe des Gesamtmodells, an denen sich alle anderen Objekte und Beziehungen ausrichten müssen und die entlang des gesamten Pro-

duktentstehungsprozesses gültig sind. Das heißt, dass durchaus funktionsspezifische Subnetze existieren, die Kommunikation bzw. Verknüpfung mit anderen Bereichen aber ausschließlich über die beiden allgemeingültigen Schlüsselbegriffe stattfindet. Auf diese Weise wird die Eindeutigkeit und die Redundanzfreiheit des erweiterten IPDM-Konzeptes sichergestellt.

Als Beispiel sei an dieser Stelle die Betriebsmittelkonstruktion/-planung genannt. Der Betriebsmittelkonstrukteur ist im Produktentwicklungsprozess im starken Maße davon abhängig, inwieweit ihm zu einem möglichst frühen Zeitpunkt Informationen über die konkrete Ausgestaltung des Produktes und der Prozesse zur Verfügung stehen. Im erweiterten IPDM-Konzept würde er als Ausgangspunkt für seine Konstruktions- und Planungsaktivitäten die Produkt- oder die Verbindungsposition setzen. Das heißt konkret, dass er ausgehend von der Produkt-/Verbindungsposition das Objekt „Betriebsmittel“ erstellt. Die weitere Ausgestaltung des Betriebsmittels in Form einer darunter liegenden Strukturierung und Detaillierung obliegt dann dem Betriebsmittelkonstrukteur/-planer. Wichtig ist lediglich die eindeutige Verknüpfung des Objektes auf der obersten Ebene mit dem Schlüsselbegriff.

Durch diese Vorgehensweise können spezifische Objektstrukturen je nach Bedarf innerhalb der einzelnen Fachdisziplinen, wie z. B. Betriebsmittelkonstruktion oder Fabrikplanung erzeugt werden. Eine übergreifende Zusammenführung der Informationen ist über die einheitlich benutzten Schlüsselbegriffe, an denen sich alle Objektstrukturen ausrichten müssen, sichergestellt.

4.2.5 Funktionale Sichten

Die Erweiterung des integrierten Prozess- und Datenmodells um die Objekte Funktionsbeziehungen und logische Verbindungen schafft neue Möglichkeiten der Modellierung, erhöht aber im gleichen Maße auch ihre Komplexität. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, je nach Anforderung lediglich die relevanten Modellausschnitte betrachten zu können. Dies geschieht mit Hilfe der sog. funktionalen Sichten, die die unterschiedlichen Informationsverarbeitungsaufgaben entlang des Produktentstehungsprozesses möglichst zielgerichtet unterstützen. Für viele dieser Aufgaben sind Ausschnitte des Gesamtmodells ausreichend bzw. erforderlich [Bre99].

Der Begriff „funktional“ bezeichnet dabei gleichermaßen eine bestimmte Funktion, beispielsweise die Arbeitsvorgangsplanung, aber auch eine bestimmte Rolle, wie z. B. die des Produktionsplaners. Die funktionale Sicht berücksichtigt alle relevanten Elemente des Gesamtmodells. Im erweiterten IPDM-Konzept heißt das für den konkreten Anwendungsfall, dass z. B. ein Produktionsplaner auf Informationen des Objektes „Betriebsmittel“ zurückgreifen kann, obwohl dieses primär

vom Betriebsmittelplaner benutzt und gepflegt wird. Auf diese Weise kann die Komplexität des Modells aus Sicht des Nutzers auf ein Mindestmaß reduziert werden.

Funktionale Sichten entstehen im integrierten Prozess- und Datenmodell in erster Linie aus Blickrichtung der im Primärnetz verwendeten Objekte, sprich aus Sicht der Teile-, Betriebsmittel-, Fabrik-Layout-, Verbindungs- und Arbeitsplanpositionen. Darüber hinaus kann aber auf alle Sekundärnetze der Funktionsbeziehungen und logischen Verbindungen Bezug genommen werden. Die Sekundärnetze nehmen insofern eine Schlüsselrolle bei der Bildung funktionaler Sichten ein, als dass sie für sich genommen bereits bestimmte funktionsspezifische Daten darstellen. Insofern stehen dem Nutzer im erweiterten IPDM-Konzept mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, die für die Erfüllung seiner Aufgaben notwendigen Informationen abzubilden bzw. zu betrachten:

- **Abbildung über funktionsspezifische Objekte und Attribute:** Die Nutzung spezifischer Attribute bildet die Grundform zur Abbildung von Anforderungen aus Sicht der Anwendung. Das heißt, dass bestehende Objekte um entsprechende Attribute erweitert werden. Die Steigerung dazu ist dann die Schaffung zusätzlicher, funktionsspezifischer Objekte, wie z. B. ein Objekt „Qualitätsdaten“ für das Qualitätsmanagement. Beides, die Abbildung zusätzlicher Attribute und Objekte, dient zunächst der reinen Integration der relevanten Informationen in das Gesamtmodell ohne Berücksichtigung der entstehenden Komplexität.
- **Bildung von spezifischen Sekundärnetzen über Funktionsbeziehungen und logische Verbindungen:** Funktionsbeziehungen und logische Verbindungen stellen spezifische Anforderungen im Rahmen der in den Kapiteln 4.2.1 und 4.2.2 vorgestellten Anwendungsmöglichkeiten dar. Hier liegt der Fokus vor allem auf dem entstehenden Gesamtnetz und der Abbildung von prozessualen Gesichtspunkten über einen Vorranggraph oder eine funktionale Prozessreihenfolge.
- **Bildung von funktionalen Sichten:** Im Gegensatz zu den beiden vorangegangenen Möglichkeiten, die vor allem die Erweiterung der Abbildungsmöglichkeiten zum Ziel haben und damit die Komplexität des Modells erhöhen, dienen die funktionalen Sichten der reinen Komplexitätsreduktion. Sie beziehen sich auf die Gesamtmenge aller vorhandenen Modellkonstrukte.

Mit der Nutzung der zusätzlichen Abbildungsmöglichkeiten und vor allem mit der Bildung funktionaler Sichten wird gerade für prozessübergreifende Funktionen, wie z. B. die des Änderungsmanagements oder des Produktcontrollings eine zusammenhängende und transparente Betrachtung möglich. Wichtig ist jedoch im gleichen Maße die möglichst vollständige und aufwandsarme „Informationeinspeisung“ in das Modell entlang des Produktentstehungsprozesses.

Grundsatz: „Informationen dort aufnehmen, wo sie entstehen.“

Nach dem Grundsatz „die Informationen dort aufzunehmen, wo sie entstehen“ wird das IPDM-Modell von Prozessschritt zu Prozessschritt mit Informationen angereichert. Auf Basis dieser Vorgehensweise ist es notwendig, für die spätere funktionale wie auch allgemeine Betrachtung Informationen frühzeitig zu modellieren bzw. aufzunehmen (vgl. Bild 4-7). Vereinfacht ausgedrückt müssen nachfolgende Prozessschritte ihren Informationsbedarf an die vorgelagerten Prozesse weitergeben, um dann später auf einen entsprechenden Datenbestand zurückgreifen zu können.

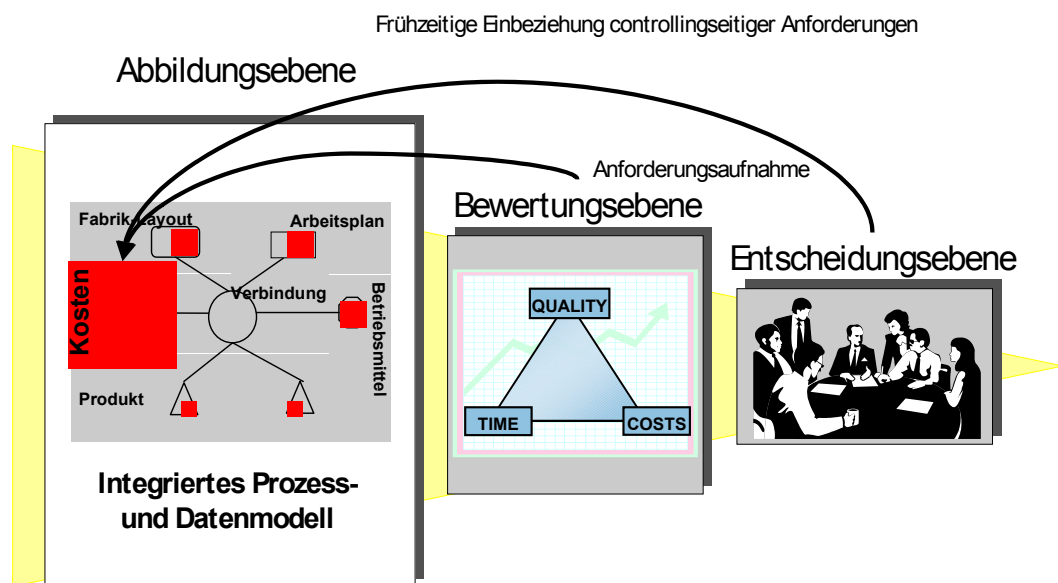


Bild 4-7: Frühzeitige Einbeziehung von Modellierungsanforderungen am Beispiel Komplexitätsmanagement

Beispiel für funktionale Sichten: Controllingsicht

Die Abbildung einer funktionalen Controllingsicht steht an dieser Stelle stellvertretend für die Integration betriebswirtschaftlicher Daten in das IPDM-Konzept. Ausgangspunkt ist die bereits im ursprünglichen Konzept vorhandene Konzentration auf die Produktkostenkalkulation in Form von Material- und Fertigungskosteninformationen. Im erweiterten IPDM-Konzept werden darauf aufbauend alle anderen Objekte ebenfalls mit der Möglichkeit ausgestattet, entsprechende Kosteninformationen aufzunehmen. Allein durch die im Vergleich zu einem reinen Produktmodell größere Anzahl an unterschiedlichen Objekten ist es möglich, Kosten zu integrieren, die ansonsten aufgrund fehlender Zuordnungskriterien im großen Bereich der Gemeinkosten untergehen würden. Die Verbindungsposition als integrierendes Element bündelt die Kosteninformationen im Sinne eines Prozess-

kostensatzes. Aufgrund der durchgängigen Modellierung lassen sich damit die Kosten begleitend zum Produktentstehungsprozess zielgerichtet „sammeln“ (vgl. Bild 4-8).

Eine Kostensammlung kann auf Objektpositions- als auch auf Objektpositionsvariantenebene stattfinden. Das heißt, es können pro Objekt allgemeingültige sowie variantenspezifische Kostensätze dargestellt werden.

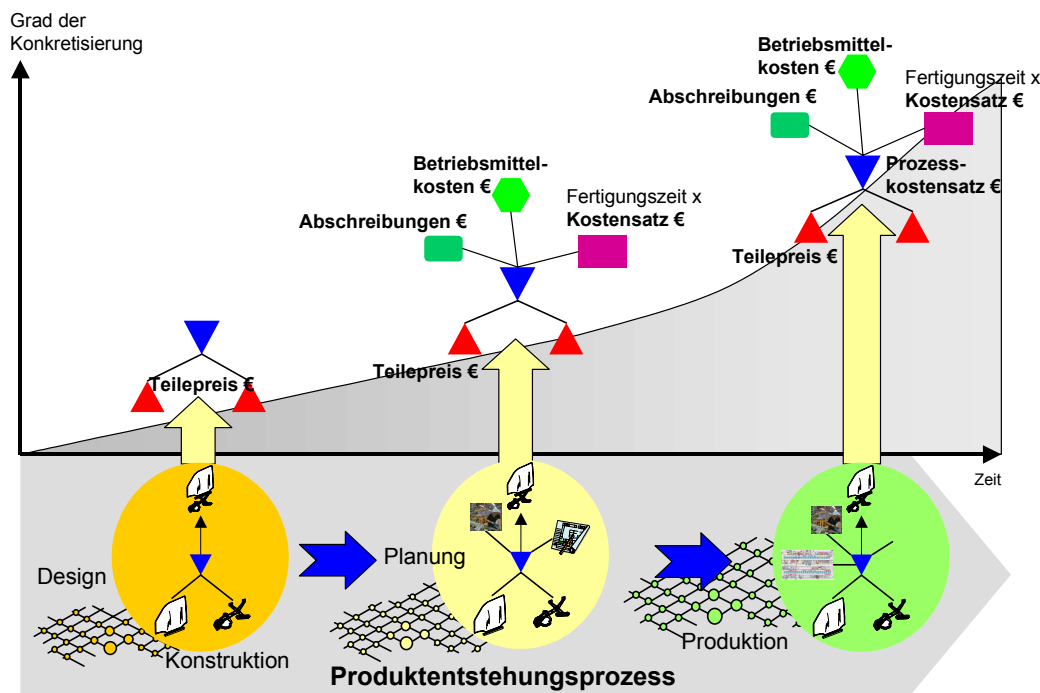


Bild 4-8: Abbildung von Kosteninformationen entlang des Produktentstehungsprozesses

Die Kostengrößen werden dabei in unterschiedlichen Dimensionen aufgenommen, da der Aussage- bzw. der Genauigkeitsgrad in den verschiedenen Phasen des Produktentstehungsprozesses durchaus sehr unterschiedlich ist. So wird gerade in frühen Phasen der Konstruktion vielfach mit relativ groben Planwerten gearbeitet, die sich dann erst im späteren Verlauf, vor allem in der Produktion, in konkreten Ist-Werten realisieren. Mit Hilfe der softwaretechnischen Umsetzung des integrierten Prozess- und Datenmodells sowie seiner Erweiterungen sind zusätzlich die einzelnen Werte in ihren Dimensionen zu archivieren, um auch der Sicherung von kostenbezogenen Wissen und Erfahrung Rechnung zu tragen.

Die zweite Möglichkeit der funktionsspezifischen Sicht auf das Gesamtmodell im erweiterten IPDM-Konzept ist, wie bereits beschrieben, die Modellierung funktionaler Sekundärnetze. Im Fall der funktionalen Controllingsicht könnte dies beispielsweise ein Sekundärnetz für die Produktkostenkalkulation sein, das einerseits alle für einen Kalkulationssachverhalt relevanten Daten des Primärnetzes bündelt,

andererseits aber auch eigene Informationen beinhaltet. Die Reihenfolge der Funktionsbeziehungen für die Produktkostenkalkulation kann dann den Kalkulationsprozess abbilden.

4.3 Bewertungsebene: Ansatz eines ganzheitlichen Änderungsmanagement

Während sich die Erweiterungen des integrierten Prozess- und Datenmodells in der ersten Ebene des Komplexitätsmanagements vor allem auf die Vollständigkeit der Modellierung beziehen, so geht es in der Bewertungsebene um die Anwendung des Modells vor dem Hintergrund des Änderungsmanagements.

Das heißt, dass auf Basis der kompletten Abbildung ein mehrstufiges Änderungsmanagement entwickelt wird, das bei jeder Veränderung des Modells eine umfassende und anwendungsspezifische Auswirkungsanalyse beinhaltet. So können für einen bestimmten Änderungssachverhalt alle direkt und indirekt beteiligten Informationsobjekte identifiziert werden. Darüber hinaus erfolgt eine zusätzliche Modellweiterentwicklung durch die Integration weiterer Objekte und Attribute, die das effiziente und vollständige Änderungsmanagement unterstützen.

Wenn im erweiterten IPDM-Konzept von einem ganzheitlichen Änderungsmanagement gesprochen wird, dann geht dieser Begriff über das reine Management technischer Änderungen hinaus. Er bezeichnet vielmehr das prozessübergreifende Management aller Modelländerungen unabhängig von ihrem Entstehungshintergrund. Im Gegensatz zum Management rein technischer Änderungen, das vor allem das Produkt im Sinne geänderter Bauteile im Vordergrund sieht, werden beim Management von Modelländerungen im erweiterten integrierten Prozess- und Datenmodell alle Objekte gleichberechtigt und entlang der Prozesskette betrachtet. Diese Sichtweise hat zur Folge, dass alle Objekte zu jedem Prozessschritt Änderungsauslöser wie auch –betroffene sein können.

Das durch die Verbindungsmodellierung erzeugte Produkt- und Prozessnetz ist wesentliche Basis dafür, Änderungen und deren Auswirkungen ebenso vollständig zu modellieren wie das zugrunde gelegte Gesamtmodell. In einem Netz lässt sich die Auswirkung der Veränderung eines Knotens (=Objekt) „Ziehen am Knoten“ (vgl. Bild 4-9) über die Verknüpfungen des Knotens mit anderen Knoten nachvollziehen. Dies entspricht der ersten Stufe des ganzheitlichen Änderungsmanagements im IPDM-Konzept, das zunächst zu einem geänderten Objekt die direkt bzw. physisch abhängigen Objekte ermittelt und analysiert.

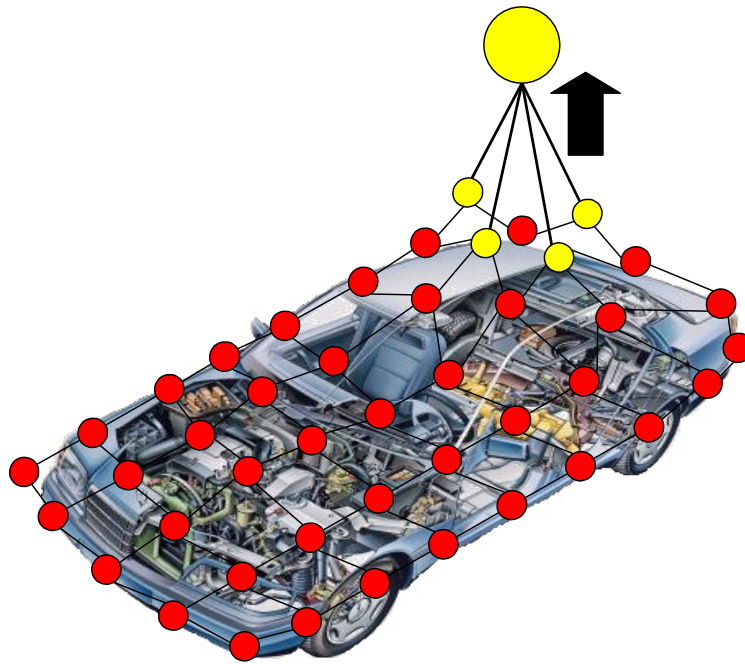


Bild 4-9: Systematik „Ziehen am Knoten“

Die Analyse bedeutet in diesem Fall, dass bei jedem der direkt abhängigen Objekte eine Information ermittelt wird, ob und unter welchen Restriktionen das Objekt von der Änderung betroffen ist. Falls das Folgeobjekt betroffen ist, dann setzt sich die Änderungskette entsprechend fort, in dem wiederum die direkt abhängigen Objekte ermittelt und analysiert werden. Die Länge einer solchen Änderungskette ist nicht begrenzt. Sie kann im Extremfall das komplette Modell durchlaufen. Änderungsketten breiten sich jedoch im integrierten Prozess- und Datenmodell nicht gradlinig und einzeln, sondern durch die Einbindung eines Objektes in eine Vielzahl direkter Abhängigkeiten gleichzeitig und in Form von Änderungswellen aus (vgl. Bild 4-10). Das heißt aber auch, dass Objekte von Änderungswellen aus unterschiedlichen Richtungen, also mehrfach, getroffen werden können.

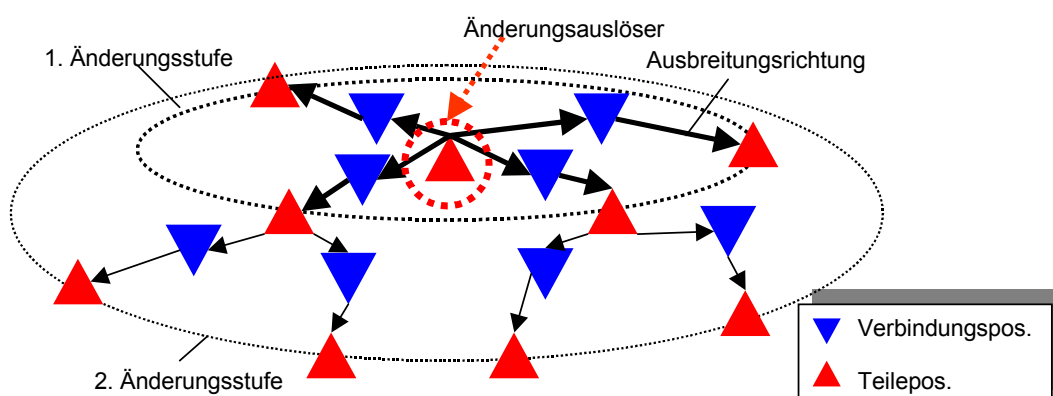


Bild 4-10: Ausbreitung der Änderungswellen

Die Erweiterung des IPDM-Konzeptes um Funktionsbeziehungen und logische Verbindungen bzw. um sekundäre Netze bildet nun die Basis für die zweite Stufe des Managements von Modelländerungen. In der zweiten Stufe werden bei Änderung eines Objektes auch alle funktionalen und logischen Verknüpfungen im Sinne indirekter Abhängigkeiten in die Betrachtung einbezogen (vgl. Bild 4-11).

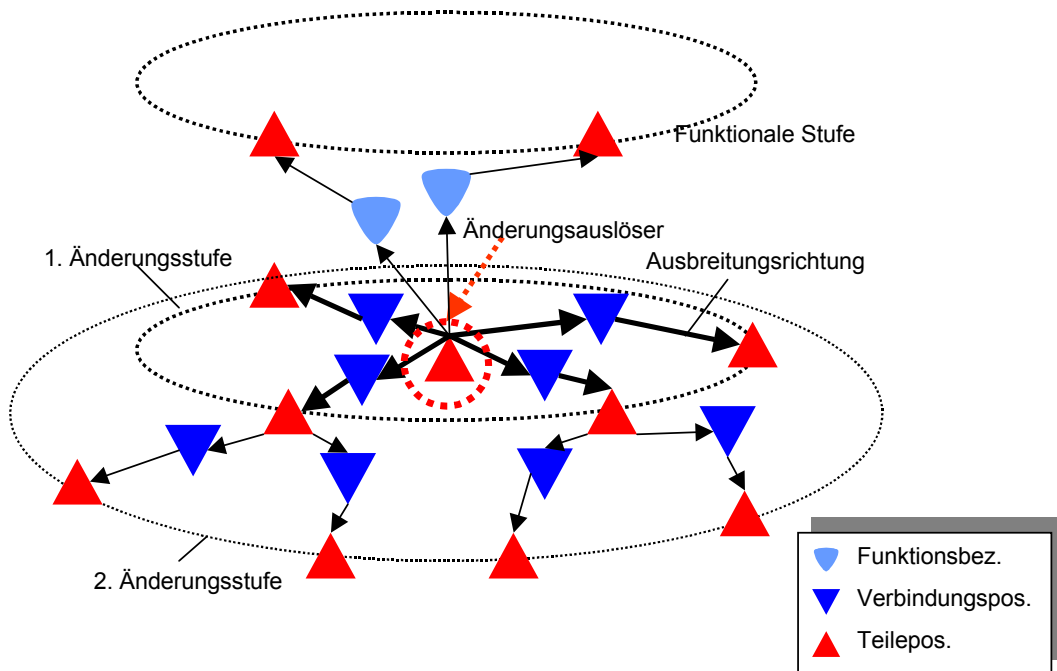


Bild 4-11: Änderungswellen unter Einbeziehung der Funktionsbeziehungen

Die von dem Objekt ausgehende Änderungswelle setzt sich somit auch über mögliche Sekundärnetze fort. Um nicht der Situation zu unterliegen, letztlich jedes Objekt des Modells einmal oder sogar mehrfach im Rahmen einer Änderung analysieren zu müssen, gilt es, je nach Anwendungsfall entsprechende Detaillierungskriterien/-anforderungen zu definieren. Die Detaillierungskriterien/-anforderungen besitzen die Aufgabe, die Anzahl der zu durchlaufenden Analysestufen zu begrenzen („Analysetiefe“). Darüber hinaus ist es sinnvoll, Änderungsauslöser zu klassifizieren, damit von vornherein die Menge an unterschiedlichen Auswirkungsrichtungen eingeschränkt wird („Analyserichtung“). Die Klassifizierung richtet sich nach der Art des geänderten Objektattributes oder der Objekteigenschaft. So macht es beispielsweise bei der lediglich physischen Änderung (z. B. Abmaße) eines Bauteils wenig Sinn, seine Funktionsbeziehungen bezüglich elektronischer Zusammenhänge zu untersuchen.

Wie bereits eingangs erwähnt, hängt die Ganzheitlichkeit des Änderungsmanagements im erweiterten IPDM-Konzept nicht nur mit der Vollständigkeit zusammen, sondern bezieht sich ebenso auf seine Unabhängigkeit von bestimmten Prozessschritten. Die Benutzung eines einheitlichen Modells im Sinne einer methodi-

schen Integration erlaubt in gleicher Weise die prozessübergreifende Änderung und Änderungsbetrachtung. Die Verknüpfungen stellen sicher, dass nicht jede Prozessfunktion sein spezifisches Modell suboptimal verändert, sondern Änderungen immer vor dem Hintergrund der Optimierung des Gesamtmodells durchgeführt werden. Im speziellen Fall der technischen Änderungen bedeutet dies eine eindeutige organisatorische Zuordnung bereichsübergreifender Verantwortlichkeiten, die im IPDM-Grundkonzept mit der „Kammlinie am Teil“ bezeichnet wird. Im neuen Umfang des erweiterten IPDM kann in diesem Zusammenhang von der „Kammlinie am Objekt“ gesprochen werden, da durch die ganzheitliche Betrachtung die Reduzierung des Änderungsmanagements auf die reine Teilewelt entfällt.

Management technischer Änderungen

Trotz des im Sinne des Gesamtmodells ganzheitlichen Änderungsmanagements werden in der Realität die technischen Produktänderungen nach wie vor eine besondere Rolle spielen. Eine der größten Herausforderungen ihrer Bewältigung ist, abgesehen von der Beeinflussung der Ursachen ihres Auftretens, die Kenntnis ihrer Folgen für Produkt und Prozesse. Dazu kommt durch die große Anzahl zu realisierender technischer Änderungen im Produktlebenszyklus die Herausforderung, den gesamten Änderungsprozess möglichst effizient zu gestalten.

Das Management technischer Änderungen folgt in seiner Verfahrensweise dem ganzheitlichen Änderungsmanagement. Das heißt, dass ausgehend von der Änderung einer konkreten Teileposition zunächst alle Objekte ermittelt werden, die in direkter oder aber in funktional/logischer Beziehung dazu stehen. Insbesondere die über Verbindungspositionen physisch verbundenen Einzelteilpositionen lassen sich ohne weiteres maschinell ermitteln, ein Vorgang der in klassischen Stücklistensystemen aufgrund der vorhandenen Aggregationen nur durch die unmittelbare Unterstützung von Expertenwissen stattfinden kann. Somit wird frühzeitig und automatisiert ein erster Hinweis über den physischen Änderungsumfang gegeben. Ähnlich verhält es sich mit den funktional/logischen Abhängigkeiten, die in gleicher Weise maschinell unterstützt ermittelt werden können. Wichtig ist hierbei jedoch die bereits beschriebene Eingrenzung des Detaillierungsgrades der Abhängigkeitsermittlung.

Die vollständige Ermittlung des Auswirkungsumfanges einer Änderung besitzt auch aus ablauforganisatorischer Sicht eine hohe Relevanz, da mit den betroffenen Objekten auch entsprechende organisatorische Verantwortlichkeiten verbunden sind, die sich nicht selten in völlig unterschiedlichen Prozessabschnitten befinden. Mit Hilfe des ermittelten Änderungsumfanges können diese Organisationseinheiten per Workflow in den Änderungsprozess einbezogen werden, in dem sie eine Rückmeldung geben, inwieweit und in welcher Form die jeweiligen Objekte von einer Änderung betroffen sind. So können auch beispielsweise mögliche Ände-

rungsbedarf über Änderungsplanung und -realisierung bis hin zur Erfahrungsweitergabe an den „nächsten“ Änderungsprozess wirkt.

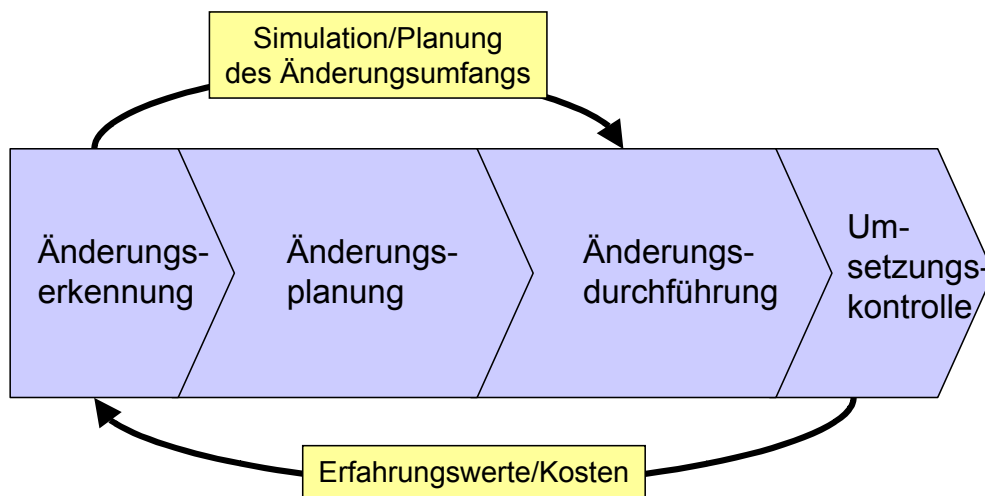


Bild 4-13: Der Änderungskreislauf im erweiterten IPDM-Konzept

Die Elemente des Kreislaufs lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- maschinell unterstützte Ermittlung/Planung des Änderungsumfanges.
- workflowbasierte Ergänzung durch zusätzliche Informationen.
- Einbeziehung aller relevanten Restriktionen im Sinne Einsatzsteuerung.
- Feedbackschleife/Wirkungscontrolling (z. B. Erfahrungen oder Ist-Kosten) nach Änderungsrealisierung.

4.4 Entscheidungsebene: Integration von Änderungs- und Komplexitätsmanagement

Das erweiterte IPDM-Konzept betrachtet das Änderungsmanagement als den operativ wirksamen Teil des Komplexitätsmanagements. Grundlegend für dieses Verständnis sind drei Erkenntnisse:

- Das Unternehmen ist ein komplexes Gesamtsystem, bestehend aus einer Vielzahl unterschiedlicher Elemente und deren Abhängigkeiten.
- Das erweiterte integrierte Prozess- und Datenmodell ermöglicht eine vollständige Modellierung der Produkte, Prozesse und deren Abhängigkeiten.
- Komplexitätsmanagement hat das Ziel, den optimalen Komplexitätsgrad zu erreichen.

Daraus folgt, dass auf Basis des vollständigen Modells als Abbild der Ist-Welt, jede Modelländerung bezüglich ihrer Wirkung auf die Gesamtkomplexität bewertet werden muss, um so bei positiver Bewertung eine schrittweise Komplexitätsoptimierung herbeizuführen. Optimierung heißt an dieser Stelle nichts anderes, als die Differenz zwischen Komplexitätsnutzen und -kosten zu maximieren. Wichtig ist dabei die genaue Kenntnis der durch die Änderung des Modells verursachten Kosten sowie Nutzen. Das Gesamtmodell hat letztlich dann einen komplexitätsoptimalen Zustand erreicht, wenn keine weitere Modelländerung existiert, die einen positiven Nutzen beinhaltet. Der Ausgangspunkt der Modelländerungen kann dabei eine konkrete Ursache („laufendes Komplexitätsmanagement“) oder eine Plansituation („vorausschauendes Komplexitätsmanagement“) sein.

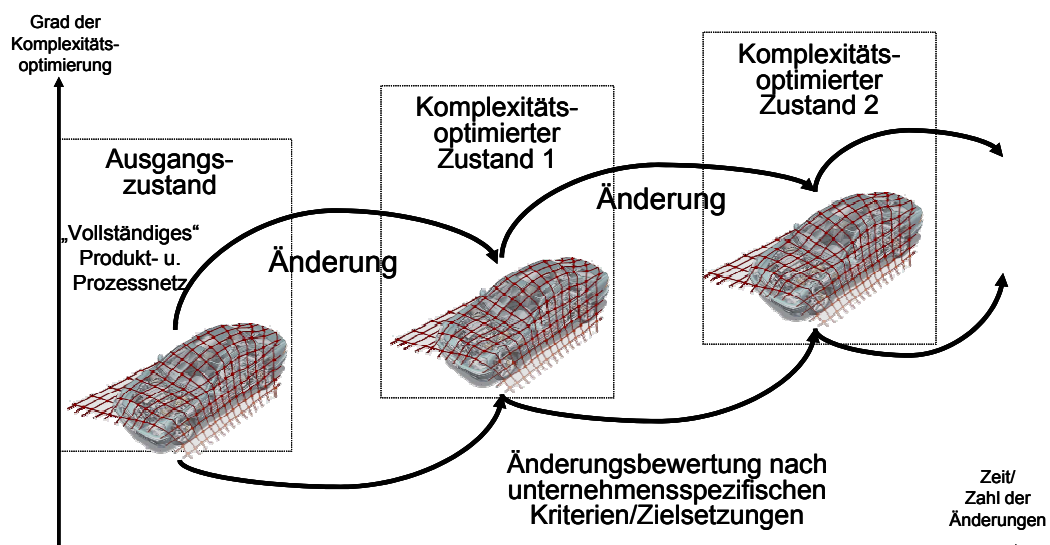


Bild 4-14: Komplexitätsoptimierung auf Basis des Änderungsmanagements

Laufendes Komplexitätsmanagement

Das laufende Komplexitätsmanagement basiert auf dem bereits beschriebenen Prozess der Änderungen bzw. technischen Änderungen. Ausgehend von einem konkreten Änderungsbedarf an Produkten oder Prozessen wird im Verlauf der Änderungsplanung die Änderung auch hinsichtlich Komplexitätskosten und -nutzen bewertet. Was folgt, ist die Entscheidung zur Durchführung oder zur Streichung dieser Änderung, wobei in der Praxis durchaus eine Vielzahl von Fällen bestehen, bei denen die Änderungen trotz fehlenden positiven Nutzens durchgeführt werden. Dies ist beispielsweise bei konstruktiven Fehlern am Produkt der Fall, die durch entsprechende Änderungen behoben werden müssen. Der Komplexitätszustand des Gesamtmodells unterliegt somit ständigen Schwankungen und unvermeidlichen Verschlechterungen, die mit Hilfe des integrierten Änderungs- und Komplexitätsmanagements aber zumindest bewertbar sind.

Vorausschauendes Komplexitätsmanagement

Das Arbeiten mit Modellen bietet im Vergleich zur direkten Umsetzung den Vorteil, unterschiedliche Handlungsalternativen im Modell ressourcenarm durchzuspielen und zu analysieren. Das vorausschauende Komplexitätsmanagement nutzt diesen Sachverhalt, in dem es bestimmte Änderungen des erweiterten integrierten Prozess- und Datenmodells simuliert und vor dem Hintergrund ihrer Wirkung auf die Komplexität bewertet (vgl. Bild 4-15). Einer positiven Bewertung würde dann die Realisierung der entsprechenden Änderung folgen. Mit Hilfe des vorausschauenden Komplexitätsmanagements ist man also in der Lage etwaige Zustände des Modells zu bewerten, noch lange bevor sie in der Wirklichkeit eintreten. So entsteht ein agiles und zugleich operativ einsetzbares Komplexitätsplanungsinstrument.

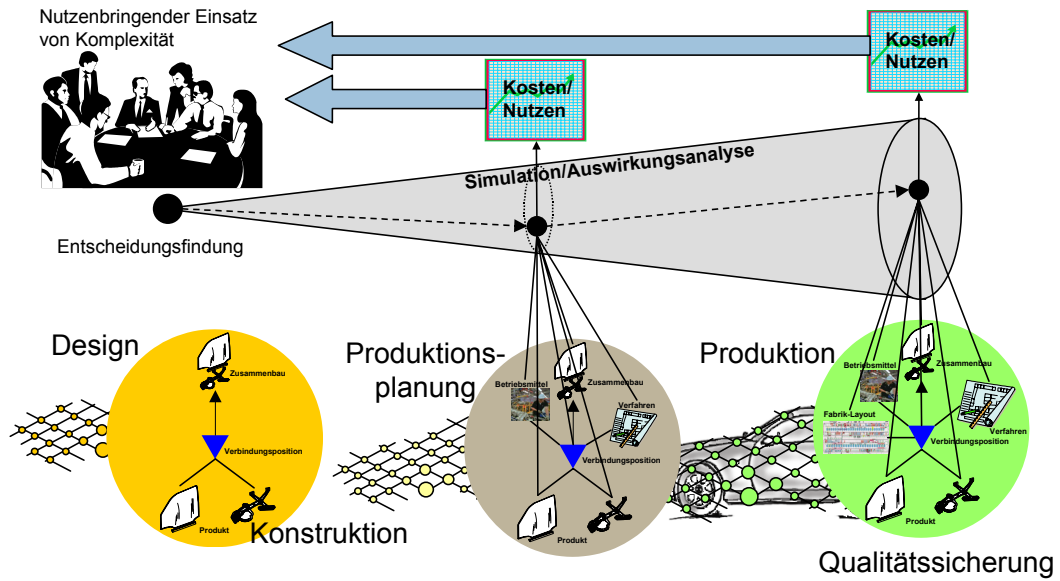


Bild 4-15: Vorausschauendes Komplexitätsmanagement im Produktentstehungsprozess

5 Validierung: Bewertetes Änderungsmanagement am Beispiel eines Automobilherstellers

Zum besseren Verständnis des Anwendungshintergrundes wird zunächst ein kurzer Blick auf die konkrete Ist-Situation der Änderungsprozesse und deren Spezifika bei der DaimlerChrysler AG geworfen. Danach erfolgt die beispielhafte Anwendung des bewerteten Änderungsmanagements auf Basis des erweiterten IPDM-Konzeptes.

5.1 Änderungsprozesse bei der DaimlerChrysler AG

Auch die Änderungsprozesse bei der DaimlerChrysler AG haben durch die Verkürzung der Entwicklungszeiten und durch das flexible Reagieren auf sich ändernde Kundenanforderungen eine zentrale Rolle übernommen. Bei der Betrachtung dieser Prozesse sind insbesondere folgende Merkmale kennzeichnend:

- **Beteiligte Organisationseinheiten:** Änderungsprozesse beziehen sich nahezu auf den kompletten Produktentstehungsprozess. Demzufolge sind bei der DaimlerChrysler AG die unterschiedlichsten Organisationseinheiten, wie z. B. Entwicklung, Produktionsplanung, Einkauf, Qualitätsmanagement oder Logistik, mit der Planung und Durchführung von Änderungen betraut. Die einzelnen Organisationseinheiten befinden sich zum Teil an einem zentralen Standort und zum Teil an den dezentralen Produktionsstandorten. Eine weitere wesentliche „Interessengruppe“ ist die der Lieferanten, da diese mittlerweile fast 70 Prozent des Gesamtteilebedarfs eines Autos decken, produzieren und oft sogar entwickeln.
- **Formalisierungsgrad:** Der Änderungsprozess besitzt einen hohen Formalisierungsgrad in Form unterschiedlicher Formulare, Anträge, Dokumente und Ablaufvorschriften.
- **Änderungsobjekt:** Das Änderungsobjekt ist ausschließlich das Produkt, das heißt, die zu seiner Produktion notwendigen und dokumentierten Rohstoffe, Einzelteile oder Baugruppen.
- **DV-technische Unterstützung:** Die DV-technische Unterstützung umfasst vor allem die klassischen Dokumentationssysteme. Darüber hinaus sind erste Instrumente für eine Workflow-Unterstützung im Einsatz, um so den Anteil an Papierdokumenten zu verringern.
- **Änderungsmanagement:** Das Management der Änderungen sowie ihrer Prozesse versteht sich vor allem als Ausführungsmanagement im Sinne der Koordination von Terminen, Ressourcen usw. Eine vorausschauende und übergreifende Änderungsplanung findet derzeit nicht statt.

- **Änderungsbewertung:** Die kostenseitige Bewertung von Änderungen findet durch Einbeziehung von Experten der beteiligten Disziplinen, wie z. B. Einkauf, Rechnungswesen und Logistik in einer frühen Phase der Änderungsprozesse statt. Der Augenmerk liegt durch den hohen Anteil an Zukaufteilen auf Mehrkosten, die sich vor allem im Preis oder in den externen Transportkosten des eingekauften Teiles realisieren. Ergänzend werden eigene Mehrkosten, beispielsweise durch zusätzliches Personal oder einen erhöhten internen logistischen Aufwand, betrachtet. Zur Kalkulation ganzer Varianten oder Produkte wird auf die traditionellen Verfahren der Zuschlagskalkulation in Form eines Standardkalkulationsschemas zurückgegriffen. Eine genauere Betrachtung variantenabhängiger Gemeinkostenumfänge findet nicht statt. Je nach Detaillierung und Positionierung im Produktentstehungsprozess unterscheidet sich die Kalkulation in Kostenstatus und -trends sowie Vor- und Nachkalkulation.

Der Gesamtprozess der Produktentstehung wird bei der DaimlerChrysler AG in die beiden Teilabschnitte Produktentwicklung und Serienprozess eingeteilt. Die Produktentwicklung definiert dabei den Prozess von der Produktidee bis hin zu seinem abgeschlossenen Produktionshochlauf, auch Kammlinie genannt. Der Serienprozess beginnt mit dem Erreichen der Kammlinie in der Produktion und endet mit dem Auslauf des Produktes.

5.1.1 Änderungen im Entwicklungsprozess

Die Entwicklungsprozesse innerhalb der DaimlerChrysler AG werden für den Bereich der Mercedes Car Group durch das Mercedes-Benz Development System (MDS) beschrieben und standardisiert. Das MDS strukturiert Projekte zur Neuproduktentwicklung mit Hilfe definierter Meilensteine und Meilensteinkriterien (vgl. Bild 5-1). Innerhalb dieser Meilensteine sind neben den technischen Entwicklungsprozessen, Reifegraden und Qualitätsanforderungen auch die Dokumentation der Produkte und die Änderungsprozesse geregelt.

Die Verantwortlichkeit für die Einhaltung des MDS liegt in dem jeweiligen Entwicklungsprojekt, das sich in verschiedene organisatorische Teilbereiche aufteilt, die wiederum interdisziplinär, d. h., mit Experten aus Entwicklung, Produktionsplanung, Produktion, Controlling usw., besetzt sind.

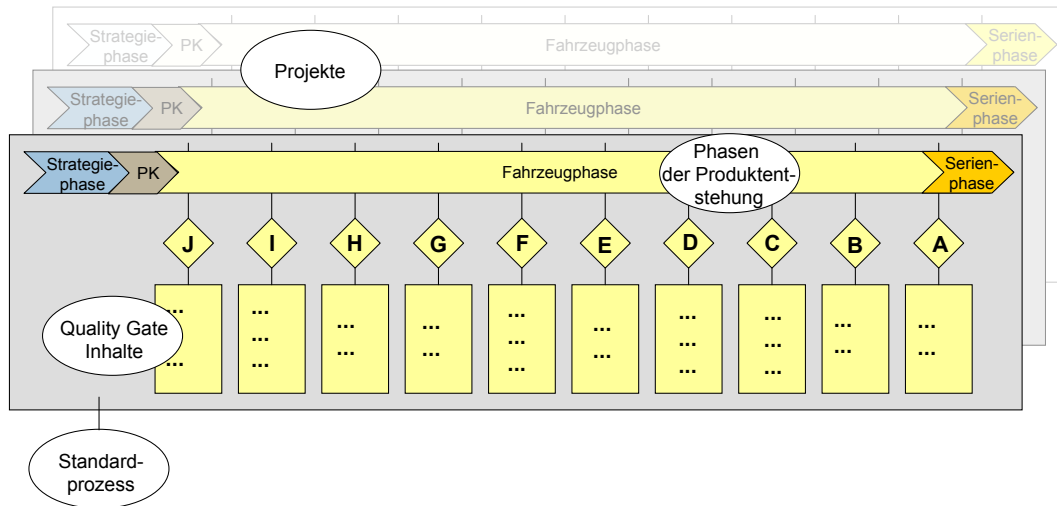


Bild 5-1: Mercedes-Benz Development System (MDS) [DC03b]

Das Änderungswesen ist eine Aufgabe, die von Entwicklung/Konstruktion initiiert wird. Initiiert wird eine Änderung über den sog. Konstruktionsänderungsantrag (KÄA), der dann durch die Entwicklungsabteilung bewertet und entschieden wird. Die Bewertung erfolgt dabei vor allem durch die Befragung der beteiligten Experten. Im Falle der Genehmigung eines Änderungsantrages wird mit Hilfe einer Konstruktionseinsatzmeldung (KEM) die generelle Änderung der entsprechenden Dokumentation angestoßen, wobei die Feinplanung über die sog. Produktionseinsatzmeldung (PEM) vorgenommen wird. Feinplanung bedeutet, dass der Änderung Gültigkeitstermine und Einsatzrestriktionen zugewiesen werden, da beispielsweise Lieferanten für eine geänderte Bauteilversion bestimmte Lieferzeiträume besitzen. Wenn der Gültigkeitstermin einer Änderung erreicht ist, kann sie in die Produktion einfließen, also in Form von Kundenaufträgen produziert werden. Um die Abwicklung der Änderungen zukünftig zu beschleunigen und zu automatisieren, werden derzeit verstärkt Bemühungen in Richtung einer durchgängigen Workflow-Unterstützung gestartet.

Die möglichen Änderungen im Entwicklungsprozess können sehr unterschiedlich sein. Vor allem in den sehr frühen Phasen werden vielfach noch ganze Konzepte hinsichtlich ihrer Änderbarkeit untersucht, wie z. B. die Änderung der werkstoffseitigen Ausführung einer Baugruppe. Die Auswirkungen dieser Art von Änderungen sind naturgemäß relativ weitreichend und können die weitere Änderbarkeit des Produktes einschränken. Das heißt, dass bei Auswahl eines bestimmten Konzeptes, die Konzepte anderer Baugruppen aufgrund ihrer unmittelbaren Abhängigkeit direkt und implizit festgelegt werden. Die größte Herausforderung bei Konzeptänderung ist die Bestimmung eben dieser Abhängigkeiten und der betroffenen Umfänge sowie die Auswirkungen auf den Gesamtentwicklungsprozess.

In späteren Phasen des Entwicklungsprozesses werden vor allem einzelne Bauteile geändert. Hier ist es, ähnlich wie bei den Konzeptänderungen, wichtig, den Auswirkungsumfang und die einzelnen Restriktionen möglichst vollständig zu bestimmen, da jedes dabei nicht erkannte Teil im späteren Verlauf des Produktentstehungsprozesses zu Problemen führen kann. Die Einzelteiländerungen treten im Entwicklungsprozess im Sinne eines steigenden Reifegrades des Produktes in größerer Anzahl auf.

Im Produktentwicklungsprozess werden umfangreichere Betrachtungen der Produktkosten durch die Vorkalkulation vorgenommen, deren Basis die Dokumentation (Stückliste) des Produktes ist. Aufgrund der großen Variantenvielfalt der hergestellten Produkte wurde die Kalkulation jedoch insgesamt vereinfacht, indem nicht jedes Einzelteil, sondern größere Teilumfänge betrachtet und dann entsprechend der jeweiligen Auftragskonfiguration kombiniert werden. So werden beispielsweise pro Fahrzeugbaureihe ein oder mehrere der sog. Grundbaumuster (GBM) und die verschiedenen Sonderausstattungen (SA-Code) einzeln kalkuliert und dann je nach Auftrag summiert. Ein Grundbaumuster ist dabei ein Fahrzeug ohne Sonderausstattungen, wie z. B. Schiebedach oder Klimaanlage.

5.1.2 Änderungen im Serienprozess

Wenn ein Produktprojekt den letzten Meilenstein des MDS-Prozesses erfolgreich passiert hat, dann beginnt die sog. Serienphase des Produktes. Die Serienphase bzw. der Serienprozess obliegt nicht mehr der Verantwortung der Produktentwicklungsabteilungen, sondern der der Produktion. Änderungen am Produkt werden in gleicher Weise bewertet, geplant und durchgeführt, wie bereits im Entwicklungsprozess definiert, d. h., sie werden zunächst von der Entwicklung prozessseitig gestartet bevor sie nach Durchlauf des Genehmigungs- und Terminierungsverfahren in die Produktion einfließen. Die Produktionsbelange werden von der Entwicklung frühzeitig durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit werks- bzw. produktionsseitigen Vertretern berücksichtigt.

Im Serienprozess werden die Einzelteile eines Produktes physisch wie auch hinsichtlich ihrer dokumentierten Daten relativ häufig geändert. Aus diesem Grund ist neben der vollständigen und schnellen Bestimmung der Auswirkungen von Änderungen insbesondere ihre effiziente Planung und Abwicklung wichtig. Um die Stabilität des Produktionsprozesses nicht zu gefährden, gilt es die vielfältigen produktionsseitigen Restriktionen, wie z. B. Liefertermine oder Restbestände, zu berücksichtigen.

Trotz der zentralen Bedeutung der Prozesssicherheit können in der Serienphase Prozessstörungen auftreten, deren Ursache schnellstmöglich lokalisiert werden müssen, um den Produktionsprozess nicht zum Stillstand kommen zu lassen. Zu

diesem Zweck ist es notwendig, eine nachgelagerte Auswirkungsanalyse durchzuführen, die zum Beispiel bei Qualitätsschwankungen die damit im Zusammenhang stehenden Bauteile identifiziert.

Zum Zwecke der Bewertung werden im laufenden Serienprozess die Verfahren der sog. Nachkalkulation herangezogen, die zu bestimmten Terminen den jeweiligen Kostenstand überprüfen sollen. Der Begriff „Nachkalkulation“ deutet an, dass es sich um eine nachgelagerte Kostenbetrachtung von bereits produzierten Bauteilen, Ausstattungen oder Endprodukten handelt. Die Vorgehensweise der Nachkalkulation basiert auf der gleichen Systematik wie die Vorkalkulation, d. h., dass sich auch hier der Gesamtwert einer Kalkulation aus dem Grundbaumuster und den zugeordneten Sonderausstattungen zusammensetzt. Im Unterschied zur Vorkalkulation, die mit geplanten Kostenwerten arbeitet, werden im Fall der Nachkalkulation jedoch die realisierten Ist-Kosten, wie z. B. abgerechnete Fertigungsstunden, verwendet.

5.2 Bewertetes Änderungs-/Komplexitätsmanagement auf Basis des erweiterten IPDM-Konzeptes

Das erweiterte integrierte Prozess- und Datenmodell wurde in der Praxis anhand verschiedener Beispielumfänge und Anwendungsfälle für die Applikation des bewerteten Änderungs-/Komplexitätsmanagements validiert. Durch den prozessübergreifenden Charakter des Modells ist die Betrachtung nicht auf einen bestimmten Abschnitt des Produktentstehungsprozesses begrenzt (vgl. Bild 5-2).

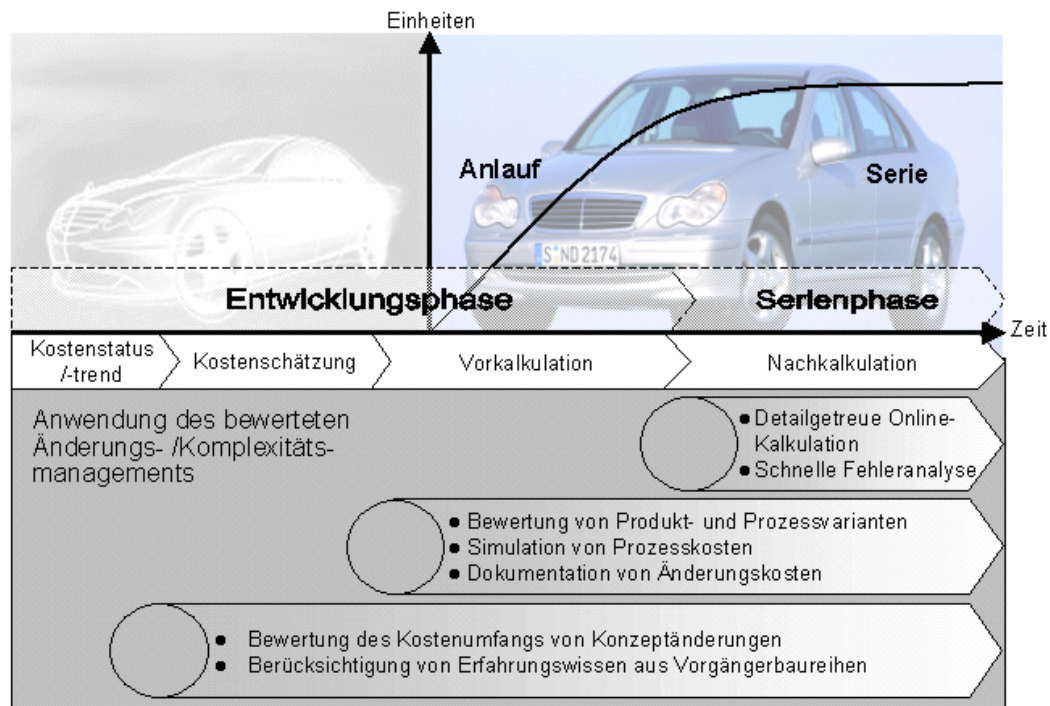


Bild 5-2: Anwendungsbereiche des bewerteten Änderungs-/Komplexitätsmanagements im Verlauf der Produktentstehung

Die einzelnen Anwendungsfälle wirken in ähnlicher Weise prozessbegleitend und werden an dieser Stelle entsprechend des in Kapitel 4.4 vorgestellten Betrachtungshorizontes dem laufenden und dem vorausschauenden Änderungs-/Komplexitätsmanagement zugeordnet. Darüber hinaus wird die Betrachtung des Umfangs der bestehenden Prozessfunktionalitäten durch die Einbeziehung der zusätzlichen und gänzlich neuen Funktionen, die bei Anwendung des erweiterten IPDM-Konzeptes möglich werden, ergänzt. Auf Basis dieser Ergänzung ergibt sich eine Neuorientierung der Prozessfunktionen.

5.2.1 Laufendes Änderungs-/Komplexitätsmanagement

Die Instrumente des laufenden Änderungs-/Komplexitätsmanagements dienen der effizienten Unterstützung und Durchführung änderungsrelevanter Controllingfunktionen in der Serienphase des Produktentstehungsprozesses. Sie zielen vor allem auf die prozessbegleitende Bewertung verschiedener Produktkonfigurationen, auf die Bewertung und Durchführung von Änderungen sowie auf die maschinell unterstützte Analyse bestimmter Beeinträchtigungen des Produktionsprozesses ab. Es handelt sich daher weniger um planerische Werkzeuge der Entscheidungsunterstützung sondern vielmehr um Werkzeuge zur Steigerung der Umsetzungseffizienz und zur Nachbetrachtung entsprechender Entscheidungen.

Detailgetreue Online-Kalkulation

Die Grundlage des laufenden und vor allen Dingen eines bewerteten Änderungs-/Komplexitätsmanagements ist die prozessbegleitende Kalkulation, die letztendlich einen entscheidenden Hinweis für den betriebswirtschaftlichen Nutzen einer Variante eines einzelnen Bauteils, einer Ausstattung oder eines kompletten Produktes liefert. Im Gegensatz zu der bisher praktizierten expliziten Nachkalkulation erlaubt das erweiterte IPDM-Konzept eine integrierte, prozessbegleitende und umfassende Online-Kalkulation. Der Begriff „Online“ steht an dieser Stelle nicht für die Verfügbarkeit der Kalkulation in Gestalt eines bestimmten DV-Systems, sondern für die direkte Integration in den laufenden Prozess der auftragsspezifischen Teilebedarfsermittlung. Herzstück ist dabei die bereits vorgestellte IPDM-Matrix, die zunächst die einzelnen Kundenaufträge mit der Gesamtheit der dokumentierten Einzelobjekte (Positionsvarianten) vergleicht. Die in den Kundenaufträgen enthaltenen Auftragsinformationen (Ausstattungscode) erzeugen dann entsprechende Treffer auf den für sie notwendigen Teilepositionsvarianten, aber auch auf allen anderen Objekten, die dem Ausstattungscode des Auftrags entsprechen. So werden alle Betriebsmittel, Fertigungseinrichtungen (Fabrik-Layout) und Arbeitspläne ausgewählt, die zur Herstellung des Auftrages erforderlich sind. Durch die unmittelbare Dokumentation der Kosten an die Objekte werden durch die Trefferbildung auch gleichzeitig Kostenwerte ausgewählt, die dann für den einzelnen Auftrag summierbar sind (vgl. Bild 5-3). Somit kann eine nachgeschaltete und zusätzliche Nachkalkulation entfallen.

			Weitere Sichten auf andere Attribute							
			Kostensicht auf die Matrix							
				Kundenauftrag 1	Kundenauftrag 2	Kundenauftrag 3	Kundenauftrag 4	Kundenauftrag 5	Kundenauftrag 6	SA-Code
				C1	C2	C1, C3	C4	C3, C4	C1	
▲	Teileposition	C1	0,3 €	X		X			X	
▼	Verbindungsposition	;	10 €	X	X	X	X	X	X	
▲	Teileposition	;	8 €	X	X	X	X	X	X	
▲	Teileposition	;	12 €	X	X	X	X	X	X	
▼	Verbindungsposition	C2/C3	7 €		X	X		X		
▲	Teileposition	C2/C3	3 €		X	X		X		
▲	Teileposition	C2/C3	12 €		X	X		X		
■	Fabrik-Layout-Position	;	18 €	X	X	X	X	X	X	
■	Betriebsmittelposition	;	0,5 €	X	X	X	X	X	X	
■	Arbeitsplanposition	C2/C3	14,5 €		X	X		X		
▼	Verbindungsposition	C4	4,5 €				X	X		
▲	Teileposition	C1	1 €	X		X			X	
Komplettes Produkt- und Prozessnetz			Code-Bedingung		Σ Gesamtkosten für Kundenauftrag 4					

Bild 5-3: Kalkulation auf Basis der IPDM-Matrix

Darüber hinaus erhöht sich der Aussagegehalt der Kalkulation, da zum einen das erweiterte IPDM-Konzept umfangreiche Kosteninformationen an den einzelnen Objekten ablegt, die dann über die Bedarfsermittlung per Matrix abgerufen werden können. Zum anderen wird der Kundenauftrag nicht unspezifisch aus Grundbaumuster und Sonderausstattungen zusammengesetzt, sondern einzelteilbezogen kalkuliert. Das heißt, dass die Wechselwirkungen zwischen den Ausstattungscodes und dem Serienumfang differenziert berücksichtigt werden. So bedeutet beispielsweise die vom Kunden gewählte Klimaanlage einen montagetechnischen Zusatzaufwand, der aber durch den Entfall der serienmäßig im Fahrzeug verbauten Lüftungsanlage teilweise kompensiert wird. Durch die detailgetreue Kalkulation kann die kostenmäßige Wirkung neuer Varianten genau ermittelt und im Rahmen des Komplexitätsmanagements den Nutzenpotenzialen gegenübergestellt werden.

Detailgetreue Online-Kalkulation meint jedoch auch die genaue Bewertung eines Kundenauftrages im Verlauf seiner Produktion. Der Kundenauftrag wird Schritt für Schritt auf Basis der Reihenfolge von Verbindungen produziert, so dass, je

nach dem wo er sich gerade im Prozess befindet, jederzeit der genaue Wert des Teilfertigerzeugnisses prozessbegleitend ermittelt wird.

Schnelle Fehleranalyse

Im tagtäglichen Produktionsgeschehen können trotz aller Prozessabsicherungen Beeinträchtigungen auftreten, die möglichst schnell beseitigt und hinsichtlich ihrer Ursache untersucht werden müssen. Bisher wurde dies zu einem großen Teil von Experten der Produktion und der Dokumentation vorgenommen, die bestrebt waren, aufgrund ihrer Erfahrungen und Kenntnisse die Störungsursache zu finden. Mit dem erweiterten IPDM-Konzept kann eine solche Suche im Sinne einer umgedrehten Auswirkungsanalyse automatisiert unterstützt und beschleunigt werden. Ausgehend von einer identifizierten Funktionsstörung am Produkt werden dabei alle mit dieser Funktion zusammenhängenden Objekte erkannt und somit der Suchraum erheblich und zielgerichtet eingeschränkt. Zusätzlich können über die unterschiedliche Art der Objekte auch verschiedene Ansprechpartner direkt einbezogen werden. Die schnelle Fehleranalyse hat sich als eine sehr wichtige Funktion für den laufenden Prozess herausgestellt, da ein Produktionsstillstand aufgrund der mit ihm verbundenen immensen Kosten auf jeden Fall zu vermeiden ist.

Gerade für den Bereich der Elektrik/Elektronik ist die schnelle Fehleranalyse des erweiterten IPDM-Konzeptes ein wichtiges Hilfsinstrument, da hier Komplexität der Zusammenhänge sehr hoch ist. Bei der Durchführung der produktionsbegleitenden IS-Tests, das heißt, der softwarebasierten Tests der Elektrik/Elektronik-Funktionen, können immer wieder Störungen oder Fehlermeldungen auftreten, deren Ursachen sehr vielfältig sind. Der Prozess der schnellen Fehleranalyse geht nun wie folgt vor: Ausgehend von der fehlerhaften Funktion werden alle beteiligten Soft- und Hardwareumfänge identifiziert und hinsichtlich durchgeführter Änderungen und/oder vorhandener Einsatzrestriktionen untersucht (vgl. Bild 5-4).

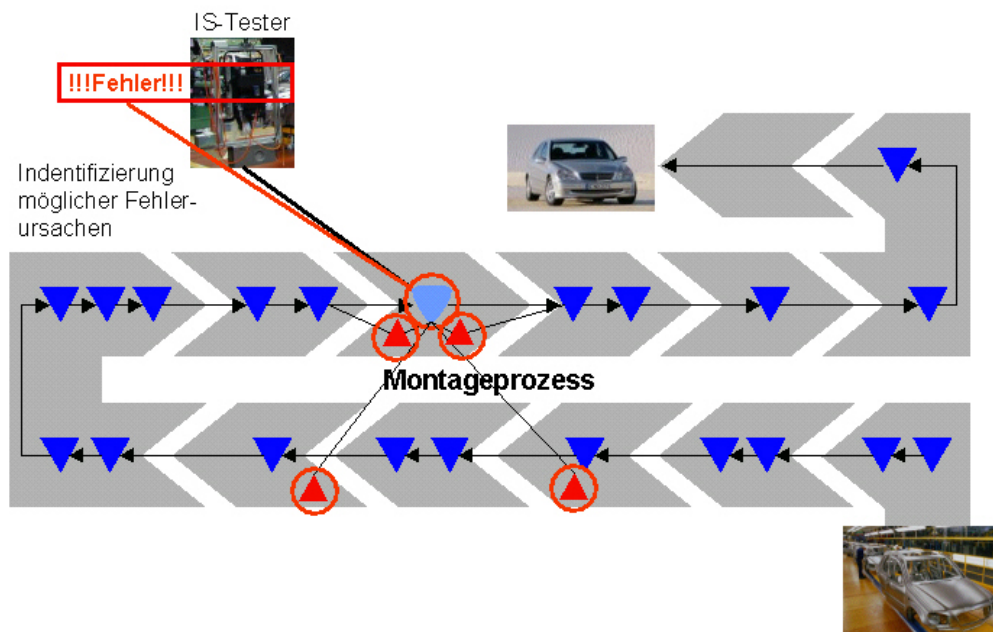


Bild 5-4: Identifizierung möglicher Fehlerursachen im Montageprozess

Oftmals liegt der Grund für eine Fehlermeldung an geänderter Hard- oder Software, z. B. ein neuer Release-Stand einer Steuergerätesoftware, die ohne Berücksichtigung bestimmter Wechselwirkungen und Restriktionen zum Einsatz gekommen ist. Obwohl beispielsweise durch die nachfolgend vorgestellte „Bewertung und Einplanung von Produkt- und Prozessvarianten“ eine gründliche Bestimmung des Änderungsumfanges und der damit zusammenhängenden Restriktionen stattfindet, so ist die schnelle Fehleranalyse ein wichtiges Instrument der operativen, produktionsnahen Bereiche.

Bewertung und Einplanung von Produkt- und Prozessvarianten

Die Bewertung und Einplanung von Produkt- und Prozessvarianten ist einer der Schwerpunkte der laufenden Änderungsplanung und –umsetzung. Sie unterstützt einerseits die produktionsnahen Funktionen, wie z. B. die Einsatzsteuerung, bei der systematischen Erkennung und Koordination bestehender Umsetzungsrestriktionen eines Änderungsvorhabens. Andererseits liefert die vollständige Bewertung von Produkt- und Prozessvarianten die Basis für die im Vorfeld stattfindende Änderungsentscheidung bzw. –entscheidungsvorbereitung.

- **Bewertung von Produkt- und Prozessvarianten:** Die vollständige Ermittlung des Änderungsumfanges und die darauf aufbauende Änderungsbewertung ist Grundlage jeder Änderungsentscheidung. Die Änderungsentscheidung wird von den Entwicklungsabteilungen in Zusammenarbeit

mit den jeweiligen Fachbereichen getroffen. Der Entwickler kann über die vollständige Auswirkungsanalyse alle betroffenen Produkt- und durch die integrative Modellierung jetzt auch Prozessobjekte sicher bestimmen und workflow-gestützt entsprechende Kosteninformationen bei den jeweiligen Experten einholen. Das Ergebnis ist die Änderungsentscheidung für einen definierten Änderungsumfang, der dann in den Einplanungs- und Ausführungsprozess übergeben wird.

- **Einplanung von Produkt- und Prozessvarianten:** Durch die weit reichende Ermittlung des notwendigen Änderungsumfanges werden die dazugehörigen Einsatzrestriktionen abgefragt und ausgelesen. Das Ergebnis ist dann die terminliche Einplanung und Umsetzung der Änderungen. Eine einmalige Einplanung des Änderungsumfanges ist jedoch nicht ausreichend, da alle Umfänge einem ständigen Wandel unterliegen. Deshalb wird auch nach Einplanung über den gesamten Planungshorizont hinweg der Änderungsumfang weiter betrachtet und entsprechend angepasst, wenn sich bestimmte Einflussgrößen ändern. Einplanung bedeutet in diesem Fall also auch Controlling der Einplanung.

5.2.2 Vorausschauendes Änderungs-/Komplexitätsmanagement

Das vorausschauende Änderungs-/Komplexitätsmanagement betrifft den Entwicklungsprozess sowie die Planungsphasen vor der eigentlichen Änderungsentscheidung. Diese Funktion wird derzeit von Expertenteams wahrgenommen, die fallweise befragt werden. Obwohl die Änderungsbewertung eine wesentliche Voraussetzung für die Genehmigung einer Änderung ist, so existiert keine einheitliche und systematische Vorgehensweise. Vorausschauen heißt in der Praxis, sich bei der Bewertung auf die Erfahrungen der Experten zu verlassen, deren Planungsprämissen sich nicht immer entsprechen.

Bewertung von (Konzept-)Änderungen

Obwohl durch den Mercedes-Benz Development System die wesentlichen Eckpfeiler des Produktentwicklungsprozesses festgelegt sind, entstehen im Verlauf eines Neuproduktprojektes immer wieder Anforderungen bezüglich der Änderungen bestimmter Produktmerkmale, -eigenschaften oder -funktionen. Diese Änderungen sind im Sinne von Konzeptänderungen zu verstehen, da sie aufgrund ihrer weit reichenden Auswirkungen einen erheblichen Einfluss auf das Gesamtprodukt und den weiteren Entwicklungsprozess besitzen. Konzeptänderungen werden vor allem dann in Erwägung gezogen, wenn sich durch ihre Umsetzung ein Produkt erfolgreicher vermarkten lässt, es also Kundenanforderungen oder Markttrends besser erfüllt als in der Ausgangskonstellation. Ein einfaches Beispiel für einen solchen Markttrend ist die Verwendung von Klarglasscheinwerfern, die mittler-

weile fast ein Ausstattungsmuss für viele Neufahrzeugprojekte in der Automobilindustrie darstellen. Es stellt sich die Frage, wie bereits laufende Projekte mit solchen Trends umgehen können, damit die Marktchancen des Produktes erhalten bleiben bzw. noch weiter erhöht werden.

Mit der Nutzung des erweiterten IPDM-Netzes kann der Entwickler bei Beantwortung dieser Fragestellung sinnvoll unterstützt werden. Zunächst bestimmt er bzw. ein entsprechender Expertenkreis die Punkte des Netzes, an denen die Konzeptänderung produktseitig zum Tragen kommt. Danach werden auf Basis der vollständigen Auswirkungsanalyse ausgehend von diesen Punkten alle betroffenen Objekte identifiziert. Über einen Workflow lassen sich die objektspezifischen Experten direkt ansprechen und nach den Auswirkungen der Konzeptänderungen befragen. Durch die Einbeziehung aller Objekte, werden insbesondere auch die Abhängigkeiten zu prozessualen Aspekten erfasst und bewertet.

Ingesamt gesehen wird durch die umfassende Bewertung das Risiko einer vor-schnellen und nur wenig fundierten Umsetzung der Konzeptänderung minimiert.

5.2.3 Neue Funktionen

Mit den neuen Funktionen werden Werkzeuge vorgestellt, die im Zusammenhang mit der Umsetzung des erweiterten IPDM-Konzeptes zur Verfügung stehen und die in dieser oder ähnlicher Form im bisher realisierten Änderungsmanagement der DaimlerChrysler AG noch nicht vorhanden sind.

Simulation von Prozesskosten

Die dem integrierten Prozess- und Datenmodell zugrunde liegende Verbindungs-dokumentation ermöglicht in der erweiterten Form die prozessorientierte Aufnahme und Dokumentation von Kosten auf Verbindungspositions- wie auch auf –positionsvariantenebene. Aufbauend auf die Dokumentation kann auch eine simulative Betrachtung der Prozesskosten durchgeführt werden. So kann beispielsweise der für eine geplante Änderung verantwortliche Produktentwickler die Auswirkungen der Änderung planerisch erfassen und dann den Produktentstehungsprozess mit Hilfe eines Durchlaufes der Prozesskette bewerten. Er ist somit in der Lage, die prozessseitigen Auswirkungen von unterschiedlichen Alternativen bezüglich ihrer Kosten zu vergleichen.

Ein zweites großes Anwendungsfeld der Prozesskostensimulation ist die Variation bestimmter Eingangsgrößen. Das heißt, dass ein bestehendes Produkt- und Prozessnetz zum Beispiel mit der Prämisse durchlaufen werden kann, den kostenminimalen Pfad zu finden (vgl. Bild 5-5) bzw. den Pfad der geringsten Fertigungs-

den jeweiligen Produkt- und Prozesselementen verknüpfen. Dabei sind qualitative Aussagen von höchster Wichtigkeit, da sie beispielsweise für die Konzeption von Nachfolgeprodukten von vornherein auf Fehlermöglichkeiten hinweisen und diese zu vermeiden helfen. Die örtliche und organisatorische Entfernung zwischen Produktentwicklung und Serienproduktion kann durch den besseren und kontinuierlichen Informationsfluss verkürzt bzw. so ausgestaltet werden, dass sich beide Prozessfunktionen als gleichberechtigte Partner mit unterschiedlichen Aufgaben verstehen.

5.2.4 Konsequenzen

Durch die Anwendung des erweiterten integrierten Prozess- und Datenmodells und der damit zusammenhängenden Funktionen ergibt sich eine Neuorientierung der bestehenden Änderungsprozesse und deren Einbettung in die Organisation. Entwicklung, Produktionsplanung und Serienfunktionen rücken enger zusammen und besitzen eine gemeinsame Kommunikations- und Informationsplattform. Der Änderungsprozess als solcher verlagert sich in seiner Bewertung und Planung noch weiter in Richtung Prozessbeginn, die Durchführung der Änderung und ihre Nachbetrachtung sind zentrale Aufgabe des Serienprozesses. Der Umfang der Änderungsprozesse erweitert sich auf alle vorhandenen Objekte des Modells, das heißt, auch auf Betriebsmittel, Arbeitspläne usw..

Die Zeit zwischen Planung und Umsetzung einer Änderung lässt sich durch die verbesserte und frühzeitige Auswirkungsanalyse verkürzen. Darüber hinaus verbessert sich die Planungsqualität von Nachfolgebaureihen erheblich, da in den entsprechenden Entwicklungsprojekten nicht nur auf Erfahrungen der Produktion, sondern auch auf Informationen aus allen Prozessabschnitten in definierter Art und Weise zurückgegriffen werden kann (vgl. Bild 5-6).

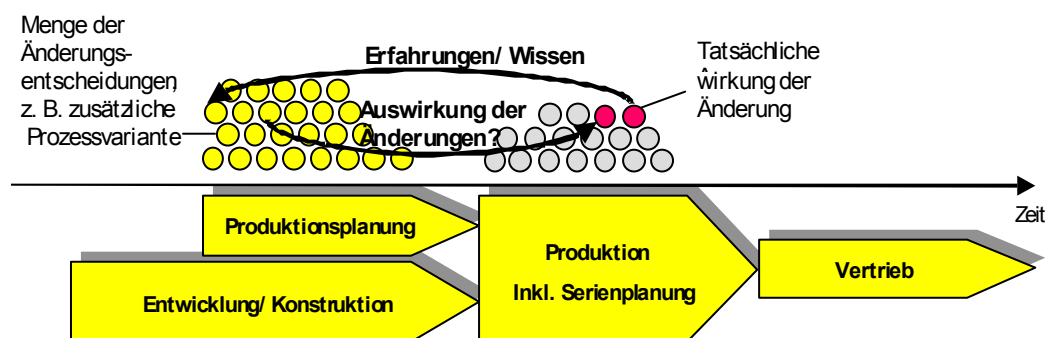


Bild 5-6: Informationsfluss zwischen Produktion und Entwicklung

Durch die direkte und prozessbegleitende Integration von Kostendaten wird das Änderungsmanagement zu einem bewerteten Änderungsmanagement ausgebaut,

das nach dem Grundsatz des erweiterten IPDM-Konzeptes als operatives Komplexitätsmanagement dient.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das bewertete Änderungsmanagement ist ein wesentlicher Ansatzpunkt für die Operationalisierung des Komplexitätsmanagements. Grundlage hierfür ist die möglichst vollständige Modellierung des Unternehmensgeschehens in Form von Produkten und Prozessen. Mit Hilfe zielgerichteter Änderungen lässt sich diese Ausgangsbasis zu einer Komplexitätsoptimierung effizient nutzen.

Das in dieser Arbeit erweiterte integrierte Prozess- und Datenmodell bildet Produkt- und Prozessstrukturen sowie bestehende Abhängigkeiten über ein gemeinsames methodisches Konzept vollständig ab. Dabei wird die Gesamtsicht ausgehend von den physischen bzw. direkten Wechselwirkungen zwischen den Elementen vor allem durch die Einbeziehung der funktionalen und logischen Zusammenhänge komplettiert. Diese Komplettdarstellung ist in der Lage, auch neue Sachverhalte, wie z. B. die Dokumentation von Software- und Elektronikumfangen, einfach zu erfassen, deren Darstellung in traditionellen Methoden zur Prozess- und Produktdokumentation mit Schwierigkeiten behaftet bzw. unmöglich wäre.

Die vollständige Modellierung ermöglicht ein ganzheitliches Änderungsmanagement mit zwei unterschiedlichen Betrachtungszeitpunkten. Einerseits werden laufende Änderungen des Gesamtmodells bezüglich ihres Auswirkungsumfanges analysiert, bewertet und bei deren effizienten Umsetzung unterstützt. Andererseits können am Modell Änderungen simuliert und auf ihre komplexitätsoptimierende Wirkung getestet werden. Das ganzheitliche Änderungsmanagement erlaubt damit die völlig neue Form der vorausschauenden Änderungsprozesse, das Nutzenpotenzial liegt insbesondere in der möglichst frühzeitigen Entscheidungsunterstützung.

Die Entwicklung und Ausgestaltung des Gesamtmodells erfolgt prozessübergreifend entlang des kompletten Produktenstehungsprozesses. Es beinhaltet sowohl technische als auch betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte, die sich wiederum in spezifischen Objekten, Attributen und Sichten innerhalb des Modells realisieren. Die direkte Integration betriebswirtschaftlicher Information und der unmittelbare Produkt- und Prozessbezug machen eine zusätzliche Entwicklung betriebswirtschaftlicher Modelle überflüssig. Auf diese Weise können moderne Kostenrechnungungsverfahren, wie beispielsweise die Prozesskostenrechnung, deren Hauptnachteil die aufwendige Umsetzung in Form eigener Prozessmodelle ist, ohne wesentlichen Zusatzaufwand eingebunden werden. Die damit verbundenen Potenziale für alle übergreifenden Controllingaufgaben sind immens. So können vor allem Gemeinkostenumfänge, wie sie z. B. im Umfeld von Änderungs- oder komplexitätsbeeinflussenden Entscheidungen entstehen, verursachungsgerecht zugeordnet werden. Die Aussagegenauigkeit der Kalkulation wird erhöht und mit zusätzlichen Analysemöglichkeiten der Entscheidungsunterstützung ausgestattet.

Beide Potenzialfelder, ganzheitliches Änderungsmanagement und direkte, prozessuale Integration von betriebswirtschaftlichen Daten, bilden den Grundstock des operativen Komplexitätsmanagements. Das operative Komplexitätsmanagement kann direkt aufgrund der vielfach gut ausgeprägten Prozesse des technischen Änderungswesens in die Unternehmensabläufe integriert werden, ohne dass spezielle Komplexitätsmanagementprozesse definiert werden müssen. Die betriebswirtschaftlichen Daten liefern dabei die entsprechenden Bewertungskriterien, um die Komplexität zielgerichtet zu optimieren.

Das erweiterte IPDM-Konzept integriert somit Änderungs- und Komplexitätsmanagement in einer operativen Basis und bietet über die gesamtheitliche Bewertung von Produkt- und Prozessvarianten die Chance, Komplexität fundiert zu beeinflussen, zu steuern oder zu planen. Gerade im Hinblick auf einen Ausweg aus der oft genannten „Komplexitätsfalle“, d. h., auf die rasant steigende Zahl unterschiedlicher Varianten eines Produktes, deren tatsächlicher Nutzen mit den bisherigen Instrumenten im Verborgenen blieb, erscheint die weitere Ausgestaltung und Anwendung des erweiterten IPDM-Konzeptes als ein erfolgsversprechender Schritt in die richtige Richtung.

Daher sollten sich zukünftige Forschungsarbeiten insbesondere mit IT-technischen Umsetzungen des Modells beschäftigen, z. B. über die Einbindung in kommerzielle Standardsoftware. Darüber hinaus gilt es, die Methode ihrerseits in den Produktentstehungsprozess einzubinden. Das heißt, das integrierte Prozess- und Datenmodell ist für die Prozessfunktionen derart zu konkretisieren, dass parallel zu dem physischen Entstehungsprozess im Rahmen des informatorischen Entstehungsprozesses nach und nach ein vollständiges, virtuelles Abbild des Produktes und der Prozesse geschaffen wird.

7 Literaturverzeichnis

- [AA+96] Ambrosy, S. et al.: Integriertes Produkt- und Prozessmodell für Konstruktion und Planung; in: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 91 (1996), Nr. 12, S. 607 - 611
- [Abr96a] Abramovici, M.: Informationsmanagement und –logistik mit Engineering-Data-Management; in: VDI-Berichte Nr. 1289, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996, S. 303 – 322
- [Abr96b] Abramovici, M.: EDM-Systemauswahl: Was zählt ist nicht die Menge der Kriterien; in: EDM-Report 1/1996 (1996), S. 12 – 15
- [AC98] Aßmann, M. / Conrat, J.-I.: Modell eines integrierten Änderungsmanagements; in: Lindemann, U. / Reichwald, R. (Hrsg): Integriertes Änderungsmanagement; Springer Verlag, Berlin, 1998, S. 47 – 59
- [ADJ00] Anderl, R. / Daum, B. / John, H.: Produktdatenmanagement zum Management des Produktlebenszyklus; in: Produktdatenmanagement 1 (2000), S. 10 - 15
- [AG96] Abramovici, M. / Gerhard, D.: Engineering Daten Management (EDM) – Anspruch, Wirklichkeit und Zukunftsperspektiven; in: Industrie Management, Special Engineering Management 1996/97 (1996), S. E11 – E15
- [AGL98] Abramovici, M. / Gerhard, D. / Langenberg, L.: Werkzeuge, Methoden und Standards für die Unterstützung verteilter Entwicklungsprozesse durch EDM/PDM; in: Industrie Management 14 (1998), Nr. 3, S. 20 – 23
- [AJ98] Adam, D. / Johannwille, U.: Die Komplexitätsfalle; in: Adam, D. (Hrsg): Komplexitätsmanagement; Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998, S. 5 – 28
- [AS01] Abramovici, M. / Sieg, O.: PDM-Technologien im Wandel – Stand und Entwicklungsperspektiven; in: Industrie Management 17 (2001), Nr. 3, S. 71 – 75
- [Ass98] Aßmann, G.: Aktionsfelder des integrierten Änderungsmanagements – Aktionsfeld 1: Vermeidung und Vorverlagerung von Änderungen; in: Lindemann, U. / Reichwald, R. (Hrsg): Integriertes Änderungsmanagement; Springer Verlag, Berlin, 1998, S. 107 - 131
- [Ass00] Aßmann, G.: Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung; Dissertation, Technischen Universität München, Herbert Utz Verlag – Wissenschaft, München, 2000
- [Bat01] Battenfeld, D.: Behandlung von Komplexitätskosten in der Kostenrechnung; in: krp-Kostenrechnungspraxis 45 (2001), Nr. 3, S. 137 – 143
- [BB+97] Blohm, H. / Beer, T. / Seidenberg, U. / Silber, H.: Produktionswirtschaft, Verlag Neue Wirtschafts-Briefe, Herne, 1997
- [BD+97] Benn, W.; Dürr, H., Dube, H., et al: ISO 10303 (STEP), Datenaustauschformat oder Modellierungsbasis?; in: Engineering Management 1997/1998 (1997), S. E34 – E37
- [BDM03] Blecker, T. / Düllnig, H. / Malle, F.: Kundenkohärente und kundeninhärente Produktkonfiguration in der Mass Customization; in: Industrie Management 19 (2003), Nr. 1, S. 21 – 24
- [BE+00] Backhaus, K. / Erichson, B. / Plinke, W. / Weiber, R.: Multivariate Analysemethoden; Springer Verlag, Berlin, 2000

- [BF00] Bley, H. / Franke, C.: Integration von Produkt- und Produktionsmodell mit Hilfe der Digitalen Fabrik; in: VDI-Berichte Nr. 1569, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2000, S. 181 - 197
- [Bli00] Bliss, C.: Management von Komplexität; Gabler Verlag, Wiesbaden, 2000
- [BMW98] Buggert, W. / Maier, D. / Wielpütz, A.: Bausteine der Prozessoptimierung; in: Controller Magazin 1/98 (1998), S. 49 - 54
- [BR98] Becker, J. / Rosemann, M.: Informationsmanagement – ein Beitrag zur Beherrschung von Komplexität?; in: Adam, D. (Hrsg): Komplexitätsmanagement; Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998, S. 111 – 124
- [Bre97] Brexel, D.: Methodische Strukturmodellierung komplexer und variantenreicher Produkte des integrativen Maschinenbaus; Dissertation, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe Band 32, Paderborn, 1997
- [Bro99] Brockmann, H.: PDM als Informationsdrehscheibe; in: it.AV 3/99 (1999), S. 18 - 19
- [BS98] Berens, W. / Schmitting, W.: Controlling für das Komplexitätsmanagement: Potentiale des internen Rechnungswesens; in: Adam, D. (Hrsg): Komplexitätsmanagement; Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998, S. 97 – 110
- [BSS97] Boutellier, R. / Schuh, G. / Seghezzi, D.: Industrieller Produktion und Kundenähe – Ein Widerspruch; in: Schuh, G. / Wiendahl, H. P. (Hrsg): Komplexität und Agilität – Steckt die Produktion in der Sackgasse?; Springer Verlag, Berlin, 1997, S. 37 – 63
- [Bub02] Bubeck, D.: Life Cycle Costing (LCC) im Automobilbau – Analyse und Planung von Lebenszykluskosten bei der Entwicklung von Produkten und Produktsystemen, Ansatz zur Integration des LCC innerhalb der ganzheitlichen Bilanzierung; Verlag Dr. Kovac, Hamburg, 2002
- [Bul99] Bullinger, H.-J.: Wissen und Information als Produktionsfaktor; in: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 94 (1999), S. 83 – 84
- [Bul01] Bullinger, H.-J.: Enterprise Process Management – Innovative Unternehmensprozesse zielorientiert gestalten; in: Bullinger, H. J. (Hrsg): Enterprise Process Management – Konzepte, Methoden und Werkzeuge für die Gestaltung moderner Geschäftsprozesse; Tagungsband, Fraunhofer Verlag, 2001, S. 1 bis 14
- [Cae91] Caesar, C.: Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreiche Serienprodukte – Variant Mode and Effects Analysis (VMEA); VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991
- [Coe99] Coenenberg, A. G.: Kostenrechnung und Kostenanalyse; Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1999
- [Con97] Conrat Niemerg, J.-I.: Änderungskosten in der Produktentwicklung; Dissertation; Technischen Universität München, München, 1997
- [CR98] Conrat, J.I. / Riedel, D.: Änderungskosten – Wirtschaftliche Auswirkungen von technischen Änderungen; in: Lindemann, U. / Reichwald, R. (Hrsg): Integriertes Änderungsmanagement; Springer Verlag, Berlin, 1998, S. 35 - 45
- [DC02a] N. N.: Anlauf-/Änderungsmanagement – Kammlinie am Teil; Unveröffentlichter Foliensatz, DaimlerChrysler AG, Bremen, 2002

- [DC03a] Jania, T.: Dokumentation von Elektrik-/Elektronikteilen und Softwarekomponenten; Unveröffentlichte Präsentationsunterlagen, DaimlerChrysler AG, Ulm, 2003
- [DC03b] N. N.: Das Mercedes-Benz Development System; Unveröffentlichte Präsentationsunterlagen, DaimlerChrysler AG, Stuttgart, 2003
- [Dem79] DeMarco, T.: Structured Analysis and Systems Specification; New York, 1979
- [DG00] Däumler, K.-D. / Grabe, J.: Prozesskostenrechnung (I); in: Betrieb und Wirtschaft 4 (2000), S. 128 – 133
- [DHB02] Dombrowski, U. / Horatzek, S. / Bothe, T.: Prozessmodelle sinnvoll einsetzen – Veränderte Rahmenbedingungen erschließen in Unternehmen vielfältige Einsatzgebiete für Prozessmodelle; in: FB/IE 51 (2002), S. 201 – 206
- [Ebe00] Eberle, R.: Variantencontrolling in der Automobil-Industrie; in: krp – Kostenrechnungspraxis 44 (2000), Nr. 6, S. 343 - 350
- [EB+97] Eversheim, W. / Bochtler, W. / Gräßler, R. / Kölscheid, W.: Simultaneous engineering approach to an integrated design and process planning; in: European Journal of Operational Research 100 (1997), S. 327 - 337
- [EE+01] Eberstein v., J. et al.: Komplexitätsmanagement; in: iViP Fortschrittsbericht, 2001, S. 110 - 120
- [EG+99] Eversheim, W. et al.: Integrierte Produktoptimierung; in: VDI-Z 141 (1999), Nr. 3 / 4, S. 86 - 88
- [Ehr03] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit; Hanser Verlag, München, 2003
- [Eig97] Eigner, M.: PDM goes EDM – Die Grenzen zwischen EDM- und PDM-Systemen verwischen immer mehr; in: Arbeitsvorbereitung 34 (1997), S. 150 – S. 152
- [EK93] Eversheim, W. / Kümper, R.: Variantenvielfalt in der Produktion – Ursachen, Lösungsansätze und Erfahrungen. In: DaimlerBenz AG (Hrsg): Variantenbeherrschung in Entwicklung und Produktion; Vortragsveranstaltung zum vierten Technologie-Kolloquium, Stuttgart, 1993
- [EKL00] Ehrlenspiel, K. / Kiewert, A. / Lindemann, U.: Kostengünstig entwickeln und konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung; Springer Verlag, Berlin, 2000
- [ES01] Eigner, M. / Stelzer, R.: Produktdatenmanagement-Systeme – Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management; Springer Verlag, Berlin, 2001
- [ES+99] Eversheim, W. / Sesterhenn, M. / Albin, F. / Reuter, U.: Target Costing im Maschinen- und Anlagenbau am Beispiel der Druckmaschinenindustrie; in: krp – Kostenrechnungspraxis 43 (1999), Nr. 6, S. 345 - 351
- [ESW98] Eversheim, W. / Schenke, F.-B. / Warnke, L.: Komplexität im Unternehmen verringern und beherrschen – Optimale Gestaltung von Produkten und Produktionssystemen; in: Adam, D. (Hrsg): Komplexitätsmanagement; Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998, S. 29 – 46
- [Eve97] Eversheim, W.: Models and Methods for an Integrated Design of Products and Processes; in: European Journal of Operational Research 100 (1997), S. 251 -252

- [EWS97] Eversheim, W. / Warnke, L. / Schröder, T.: Änderungsmanagement in Entwicklungskooperationen; in: VDI-Z 139 (1997), Nr. 3, S. 60 - 63
- [Fau96] Faux, I. D.: Stand der Technik und Ausblick in der rechnergestützten Konstruktion; in: VDI-Berichte Nr. 1289, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996, S. 1 – 20
- [FF+02] Firchau, N. L. / Franke, H.-J. / Huch, B. / Menge, M.: Variantenmanagement: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen erfolgreich beherrschen; in: Franke, H.-J. u. a. (Hrsg): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung; Carl Hanser Verlag, München, 2002, S. 1 – 25
- [FHK98] Fischer, J. / Hauschulte, K.-B. / Koch, R.: Kostenorientierte Komplexitätsoptimierung im Zulieferverbund mit dem Kosteninformationssystem KICK; in: VDI-Berichte Nr. 1434, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1998, S. 213 - 232
- [FK+93] Fischer, J. / Koch, R. / Schmidt-Faber, B. / Hauschulte, K.-B.: Gemeinkosten vermeiden durch entwicklungsbegleitende Prozesskostenkalkulation – Ein Ansatz zur konstruktionssynchronen Prognose von Produktlebenszykluskosten; in: Horvath, P. (Hrsg): Marktnähe und Kosteneffizienz schaffen; Tagungsband, Stuttgart, 1993, S. 259 - 274
- [FK+94a] Fischer, J. et al.: Design to Cost – Entwicklungsbegleitende Prozesskostenprognose und Zielkostenermittlung im Produktlebenszyklus; in: CAD '94 – Produktdatenmodellierung und Prozessmodellierung als Grundlage neuer CAD-Systeme, Tagungsband der Fachtagung der Gesellschaft für Informatik, Paderborn, 1994, S. 463 - 476
- [FK+94b] Fischer, J. / Koch, R. / Hauschulte, K.-B. / Jakuschona, K.: Lebenszyklusorientierte Prozesskostenplanung in frühen Konstruktionsphasen; in: ZWF CIM (1989), Nr. 11, S. 566 – 568
- [Fra94] Franz, S.: Informations-Management als Basis für Prozess-Management; in: Gaitanides, M. u. a. (Hrsg): Prozessmanagement: Konzepte, Umsetzungen und Erfahrungen des Reengineering; Carl Hanser Verlag, München, 1994, S. 225 - 244
- [Fri99] Friedmann, T.: Erfahrungen beim EDM/PDM-Einsatz zur Neugestaltung von Engineering-Prozessen. In: Saynisch, M. / Lange, D. (Hrsg): Änderungsmanagement mit System - Schlüsselfaktor Konfigurationsmanagement; 3. Fachtagung Konfigurationsmanagement, Dokumentations-Band der Tagung, GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e. V., Nürnberg, 1999, S. 87 - 98
- [FS98] Finkeiß, A. / Schweikert, R.: Prozessmanager 3 – Softwareunterstützung beim Prozesskostenmanagement; in: Horváth & Partner (Hrsg): Prozesskostenmanagement; Verlag Vahlen, München, 1998, S. 509 – 528
- [FWM03] Fikouras, I. / Weber, F. / Müller, D. H.: Lean Configuration – Interaktive Konfiguration für E-Commerce; in: Industrie Management 19 (2003), Nr. 1, S. 45 – 48
- [Gai83] Gaitanides, M.: Prozessorganisation: Entwicklung, Ansätze und Programme prozessorientierter Organisationsgestaltung; Verlag Vahlen, München, 1983
- [Gai98] Gaiser, B.: Prozesskostenrechnung und Activity Based Costing; in: Horváth & Partner (Hrsg): Prozesskostenmanagement; Verlag Vahlen, München, 1998, S. 65 – 77
- [Gau03] Gausemeier, J.: Strategisches Produktionsmanagement; Foliensatz zur Vorlesung, Paderborn, 2003

- [Gec02] Geckler, D.: Änderungsschleifen in Fahrzeugprojekten. Simulation – Projektmanagement – Prozessgestaltung; Shaker Verlag, Aachen, 2002
- [GEK01] Gausemeier, J. / Ebbesmeyer, P. / Kallmeyer, F.: Produktinnovation – Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen; Carl Hanser Verlag, München, 2001
- [Gen95] Genderka, M.: Objektorientierte Methode zur Entwicklung von Produktmodellen als Basis integrierter Ingenieursysteme; Shaker Verlag, Aachen, 1995
- [Ger98] Gerst, M.: Aktionsfelder des integrierten Änderungsmanagements – Aktionsfeld 2: Änderungserkennung; in: Lindemann, U. / Reichwald, R. (Hrsg): Integriertes Änderungsmanagement; Springer Verlag, Berlin, 1998, S. 132 – 153
- [GF99] Gausemeier, J. / Fink, A.: Führung im Wandel – Ein ganzheitliches Modell zur Unternehmensgestaltung; Carl Hanser Verlag, München, 1999
- [GH+02] Grosse, A. G. et al.: SFB 346 – Integrationstechnologie als Innovationsmotor für Maschinenbauanwendungen; in: Grabowski, H. (Hrsg): Rechnergestützte Produktentwicklung und –herstellung auf Basis eines integrierten Produkt- u. Produktionsmodells. Ausgewählte Beiträge des Sonderforschungsbereiches 346 der deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG); Shaker Verlag, Aachen, 2002, S. 33 – 42
- [GL02] Grabowski, H. / Leusch, M.: Die Entwicklung des integrierten Produkt- und Produktionsmodells (PPM) des SFB 346 hinsichtlich der Reduzierung der Modellkomplexität; in: Grabowski, H. (Hrsg): Rechnergestützte Produktentwicklung und –herstellung auf Basis eines integrierten Produkt- u. Produktionsmodells. Ausgewählte Beiträge des Sonderforschungsbereiches 346 der deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG); Shaker Verlag, Aachen, 2002, S. 66 – 82
- [GMH95] Grabowski, H. / Meis, E. / Hain, K.: Integriertes Produkt- und Produktionsmodell; in: it + ti – Informationstechnik und Technische Informatik 37 (1995), S. 32 - 38
- [GR00] Gausemeier, J. / Riepe, B.: Komplexitätsbeherrschung in den frühen Phasen der Produktentwicklung; in: Industrie Management 16 (2000), Nr. 5, S. 54 – 58
- [Gra00] Grasmann, M.: Produktkonfiguration auf Basis von Engineering Data Management-Systemen; Dissertation, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe Bd. 75, Paderborn, 2000
- [GS98] Gerst, M. / Stetter, R.: Aktionsfelder des integrierten Änderungsmanagements – Aktionsfeld 3: Problem- und Ursachenanalyse; in: Lindemann, U. / Reichwald, R. (Hrsg): Integriertes Änderungsmanagement; Springer Verlag, Berlin, 1998, S. 154 - 172
- [GSF00] Gausemeier, J. / Seifert, L. / Frank, T.: Electronic Business im Produkterstellungsprozess; in: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 95 (2000), S. 168 – 173
- [GSV94] Gaitanides, M. / Scholz, R. / Vrohling, A.: Prozessmanagement – Grundlagen und Zielsetzungen. In: Gaitanides, M. u. a. (Hrsg): Prozessmanagement: Konzepte, Umsetzungen und Erfahrungen des Reengineering; Carl Hanser Verlag, München, 1994, S. 1 - 19
- [Hah03] Hahn, A.: Integriertes Produktkatalog- und Konfigurationsmanagement; in: Industrie Management 19 (2003), Nr. 1, S. 29 – 32

- [HC94] Hammer, M. / Champy, J.: Business Reengineering: Die Radikalkur für das Unternehmen; Campus Verlag, Frankfurt/M., 1994
- [Hei99] Heina, J.: Variantenmanagement – Kosten-Nutzen-Bewertung zur Optimierung der Variantenvielfalt; Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999
- [HF+99] Haasis, S. / Frank, D. / Rommel, B. / Weyrich, M.: Feature-basierte Integration von Produktentwicklung, Prozessgestaltung und Ressourcenplanung; in: VDI-Berichte Nr. 1497, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999, S. 333 - 348
- [HL02] Huch, B. / Lösch, J.: Methoden der Variantenkostenrechnung; in: Franke, H. J. u. a. (Hrsg): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung; Hanser Verlag, München, 2002, S. 26 - 51
- [HM89] Horváth, P. / Mayer, R.: Prozesskostenrechnung – Der neue Weg zu mehr Kostentransparenz und wirkungsvolleren Unternehmensstrategien; in: Controlling (1989), Nr. 4, S. 214 – 219
- [HM95] Hinterhuber, H. H. / Matzler, K.: Reengineering; in: WISU 2/95 (1995), S. 132 - 139
- [Hoi93] Hoitsch, H.-J.: Produktionswirtschaft: Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre; Verlag Vahlen, München, 1993
- [Hor93] Horváth, P.: Analyse und Steuerung der Variantenvielfalt mit Hilfe der Prozesskostenanalyse. In: Daimler-Benz AG (Hrsg): Variantenbeherrschung in Entwicklung und Produktion; Vortragsveranstaltung zum vierten Technologie-Kolloquium, Stuttgart, 1993
- [ISO96] DIN EN ISO 10007: Leitfaden für das Konfigurationsmanagement; Berlin, 1996
- [Kai95] Kaiser, A.: Integriertes Variantenmanagement mit Hilfe der Prozesskostenrechnung; Rosch-Buch, Hallstadt, 1995
- [KB00] Kaiser, J. / Berninger, A.: Ganzheitliches Änderungsmanagement für verteilte Produktentwicklung mit PDM und ERP am Beispiel der KUKA Roboter GmbH; in: VDI Berichte Nr. 1569, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2000, S. 329 - 340
- [Ker98] Kersten, W.: Reduzierung von Entwicklungszeiten: Ansatzpunkte und Grenzen im industriellen Produktentstehungsprozess; in: Wildemann, H. (Hrsg): Innovationen in der Produktionswirtschaft – Produkte, Prozesse, Planung und Steuerung; TCW-Verlag, München, 1998, S. 413 - 436
- [Ker02] Kersten, W.: Vielfaltsmanagement: Integrative Lösungsansätze zur Optimierung und Beherrschung der Produkte und Teilevielfalt; TCW Transfer-Centrum GmbH, München, 2002
- [Kie91] Kieninger, M.: Realisierung der Prozesskostenrechnung mit dem PC-Programm PROKOS; in: IFUA Horváth & Partner (Hrsg): Prozesskostenmanagement, Verlag Vahlen, München, 1991, S. 129 – 135
- [Kle98] Kleedörfer, R.: Aktionsfelder des integrierten Änderungsmanagements – Aktionsfeld 5: Auswirkungserfassung und Änderungsplanung; in: Lindemann, U. / Reichwald, R. (Hrsg): Integriertes Änderungsmanagement; Springer Verlag, Berlin, 1998, S. 193 – 203
- [KLG03] Krumm, S. / Lorschneider, B. / Große Entrup, N.: Systematische Optimierung der Produktkomplexität; in: Industrie Management 19 (2003), Nr.1, S. 57 – 59

- [KM98] Kröger, U / Monke, E.: Method and System for Resource Requirement Planning and Generating a Production Schedule using a Uniform Data Model; Patentschrift, 1998
- [KM91] Kaplan, R. B. / Murdock, L.: Core Process Redesign; in: McKinsey Quarterly (1991), S. 27 - 44
- [Kre96] Kretzschmar, O.: STEP im Automobilbau – Ergebnisse eines Pilotprojektes; in: VDI-Berichte Nr. 1289, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996, S. 369 - 380
- [KS98] Kagermann, H. / Stuckert, H.: Prozesskostenrechnung mit SAP R/3; in: Horváth & Partner (Hrsg): Prozesskostenmanagement; Verlag Vahlen, München, 1998, S. 483 – 507
- [Kur99] Kurbel, K.: Produktionsplanung und –steuerung. Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen. In: Endres, A. u. a. (Hrsg): Handbuch der Informatik; R. Oldenbourg Verlag, München, 1999, S. 297 – 372
- [KW+02] Kuhn, A. / Wiendahl, H.-P. / Eversheim, W. / Schuh, G.: Schneller Produktionsanlauf von Serienprodukten – Ergebnisbericht der Untersuchung „fast ramp-up“; Karlsruhe, 2002
- [LM99] Lermer, J. / Muschiol, M.: Erfolgreiche EDM/PDM-Systemeinführung durch gestufte Vorgehensweise; in: VDI-Berichte Nr. 1497, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999, S. 311 - 329
- [Lös01] Lösch, J.: Controlling der Variantenvielfalt – Eine koordinationsorientierte Konzeption zur Steuerung von Produktvarianten; Shaker Verlag, Aachen, 2001
- [Mäk96] Mäker, M.: Anwendungsbereiche und Nutzen von Engineering Data Management; in: Industrie Management, Special Engineering Management 1996/97 (1996), S. E37 – E40
- [Män98] Männel, W.: Entwicklungsperspektiven in der Kostenrechnung; Verlag der GAB, Lauf an der Pegnitz, 1998
- [Mal96] Malik, F.: Strategie des Managements komplexer Systeme; Haupt Verlag, Bern, 1996
- [May00] Mayer, R.: Kosteninformationen und Effizienzkriterien für das prozessorientierte Controlling; in: Männel, W. (Hrsg): Kongress Controlling und Kostenmanagement 2000; Verlag der GAB, Lauf an der Pegnitz, 2000, S. 73 - 92
- [May91] Mayer, R.: Prozesskostenrechnung und Prozesskostenmanagement: Konzept, Vorgehensweise und Einsatzmöglichkeiten; in: IFUA Horváth & Partner (Hrsg) Prozesskostenmanagement; Verlag Franz Vahlen, München, 1991, S. 74 – 99
- [MIL92] MIL-STD 973: Configuration Management; Department of Defense (DoD), USA, 1992.
- [MIL97] MIL-HDBK-61: Military Handbook – Configuration Management Guidance; Department of Defense (DoD), USA, 1997
- [MMC01] N. N.: Automobiltechnologie 2010 – Technologische Veränderungen im Automobil und ihre Konsequenzen für Hersteller, Zulieferer und Ausrüster; Studie der HypoVereinsbank und der Mercer Management Consulting, München, 2001

- [MS98] Maurer, G. / Schwickert, J.: Kritische Anmerkungen zur prozessorientierten Unternehmensgestaltung; in: Industrie Management 14 (1998), Nr. 2, S. 9 - 12
- [MT96] Mengen, A. / Tacke, G.: Methodengestütztes Automobil-Pricing mit Conjoint Measurement; in: Bauer, H. H. u. a. (Hrsg): Automobilmarktforschung – Nutzenorientierung von Pkw-Herstellern; Verlag Franz Vahlen, München, 1996, S. 33 - 52
- [Mus00] Muschik, R.: Neue Qualitäten im CAD-Datenaustausch: Vergleich der neutralen Schnittstellen STEP und VDAFS; in: Produktdatenmanagement 1 (2000), S. 14 – 16
- [NP95] Nippa, M. / Picot, A.: Prozessmanagement und Reengineering. Die Praxis im deutschsprachigen Raum; Campus Verlag, Frankfurt/M., 1995
- [Ohl00] Ohl, S.: Prognose und Planung variantenreicher Produkte am Beispiel der Automobilindustrie; Düsseldorf, 2000
- [OK+97] Ott, T. / Kretzschmar, O. / Goldstein, B. / Kiesling, G.: Integrierte Modellierung von Prozess und Produkt im Entwicklungsbereich; in: GiPP-Sonderausgabe 97 der IM Information Management & Consulting (1997), S. 8 - 14
- [PP97] Potthast, P. / Pluszynski, K.: Trends und Kriterien für den Aufbau einer IT-Infrastruktur in EDM/PDM-Projekten; in: Engineering Management 1997/98 (1997), S. E42 – E44
- [Rat93] Rathnow, P.: Integriertes Variantenmanagement – Bestimmung, Realisierung und Sicherung der optimalen Produktvielfalt; Vandenhoeck & Ruprecht Verlag, Göttingen, 1993
- [RB+91] Rumbaugh, J. et al.: Object-Oriented Modelling and Design; Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991
- [Rie98] Riedel, D.: Aktionsfelder des integrierten Änderungsmanagements – Aktionsfeld 6: Gesamtheitliche wirtschaftliche Bewertung und Entscheidung; in: Lindemann, U. / Reichwald, R. (Hrsg): Integriertes Änderungsmanagement; Springer Verlag, Berlin, 1998, S. 204 - 215
- [Rie00] Riedel, D.: Standortverteiltes Änderungsmanagement: Explorative Analyse zur Gestaltung standortübergreifender Produktänderungen; Dissertation, Technischen Universität München, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2000
- [RLZ98] Reichwald, R. / Lindemann, U. / Zanner, S.: Perspektiven für ein integriertes Änderungsmanagement; in: Lindemann, U. / Reichwald, R. (Hrsg): Integriertes Änderungsmanagement; Springer Verlag, Berlin, 1998, S. 257 – 265
- [RMH01] Röder, A. / Murtic, S. / Haasis, S.: Neue Konzepte der Produktdokumentation in der Automobilindustrie – Komplexitätsbeherrschung durch den Einsatz von Verbindungsobjekten; in: VDI-Berichte Nr. 1645, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2001, S. 309 - 324
- [Ros97] Rosenberg, O.: Kostensenkung durch Komplexitätsmanagement; in: Kajüter, F. (Hrsg): Kostenmanagement – Wettbewerbsvorteile durch systematische Kostensteuerung; Schäffer Poeschel Verlag, Stuttgart, 1997, S. 185 – 206
- [RS99] Reiners, F. / Sasse, A.: Komplexitätskostenmanagement; in: krp – Kostenrechnungspraxis 43 (1999), Nr. 4, S. 222 - 232
- [SAP01a] N. N.: „Managing the e-supply chain“ in der Automobilindustrie mit my-SAPTM Automotive; White Paper der SAP-AG, Walldorf, 2001

- [SAP01b] N. N.: mySAP™ Automotive: Integriertes Produkt- und Prozess-Engineering (IPPE); SAP-AG, Walldorf, 2001
- [Say99a] Saynisch, M.: Intensivseminar Teil I: Konzept – Grundlegende und ergänzende Teildisziplinen und Methoden; in: Saynisch, M. / Lange, D. (Hrsg): Änderungsmanagement mit System – Schlüsselfaktor Konfigurationsmanagement; Dokumentationsband der Tagung 22. – 23. Juni 1999 in Stuttgart, GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e. V., Nürnberg, 1999, S. 18 – 35
- [Say99b] Saynisch, M.: Schlüsselfaktor Konfigurationsmanagement (KM) – Lebensfähigkeit in dynamischen, globalen Märkten bei steigender Produkt-Komplexität; in: Saynisch, M. / Lange, D. (Hrsg): Änderungsmanagement mit System – Schlüsselfaktor Konfigurationsmanagement; Dokumentationsband der Tagung 22. – 23. Juni 1999 in Stuttgart, GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e. V., Nürnberg, 1999, S. 101 – 127
- [Sch89] Schuh, G.: Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten – Ein Beitrag zur systematischen Planung von Serienprodukten; VDI-Verlag, Düsseldorf, 1989
- [Sch93] Schuh, G.: Variantengerechte Produktgestaltung / Variantenkosten – Tools und Anwendungserfahrung; in: Daimler-Benz AG (Hrsg): Variantenbeherrschung in Entwicklung und Produktion; Vortragsveranstaltung zum vierten Technologie-Kolloquium, Stuttgart, 1993
- [Sch97] Scheer, A. W.: Wirtschaftsinformatik – Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse; Springer Verlag, Berlin, 1997
- [Sch98] Schimank, C.: Komplexitätsmanagement und Process-Benchmarking; in: Horváth & Partner (Hrsg): Prozesskostenmanagement; Verlag Vahlen, München, 1998, S. 48 – 64
- [Sch98b] Scheer, A. W.: ARIS – Vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem; Springer Verlag, Berlin, 1998
- [Sch99] Schöttner, J.: Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie. Hanser Verlag, München, 1999
- [Sch02] Schuh, G.: Vielfalt in Serie; in: GPS Schuh & Co. GmbH (Hrsg): Tagungsband der 3. Aachener Tagung „Komplexitätsmanagement – Vielfalt in Serie“ am 10./11. Oktober in Vaals (NL) bei Aachen; Aachen, 2002
- [Sei98] Seiler, A.: Ziele und Vorteile der Prozesskostenrechnung; in: IO-Management (1998), Nr. 12, S. 36 - 39
- [SGK02] Scheer, A. W. / Griebel, O. / Klein, R.: Produkt- und Prozessmodellierung; in: Industrie Management 18 (2002), Nr. 1, S. 26 – 30
- [SH99] Spors, K. / Hennig, H.: Verwaltung von bauteilübergreifenden Feature-Informationen; in: VDI-Berichte Nr. 1497, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999, S. 153 - 170
- [SH+03] Scholz-Reiter, B. et al.: Kollaboratives Änderungsmanagement – Bedeutung des technischen Änderungsmanagements im Rahmen des Collaborative Engineering; in: Industrie Management 19 (2003), Nr. 5, S. 46 – 49
- [SJ96] Schuh, G. / Jonas, I.: Beherrschung der Variantenvielfalt; in: Technica (Sonderdruck) Nr. 7/96 (1996)
- [SK89] Scheer, A. W. / Kraemer, W.: Wie beeinflusst CIM das Rechnungswesen?; in: IO-Management Zeitschrift (1989), Nr. 6, S. 81 – 84

- [SK97] Spur, G. / Krause, F. L. (Hrsg): Das virtuelle Produkt: Management der CAD Technik, Hanser Verlag, München, 1997
- [SN97] Spur, G. / Nackmayr, J.: Optionen industrieller Produktionssysteme im Maschinenbau; in: Spur, G. (Hrsg) Optionen zukünftiger industrieller Produktionssysteme – Forschungsbericht, Akademie Verlag, Berlin, 1997, S. 218 – 300
- [Spu97] Spur, G.: Kernfähigkeit Wissensmanagement; in: Schuh, G. / Wiendahl, H. P. (Hrsg): Komplexität und Agilität – Steckt die Produktion in der Sackgasse?; Springer Verlag, Berlin, 1997, S. 89 – 102
- [SS96] Schneeweiß, C. / Steinbach, J.: Zur Beurteilung der Prozesskostenrechnung als Planungsinstrument; in: DBW 56 (1996), Nr. 4, S. 459 - 473
- [SS01] Schuh, G. / Schwenk, U.: Produktkomplexität managen – Strategien, Methoden, Tools; Carl Hanser Verlag, 2001
- [SS02] Schiller, E. / Seuffert, W. P.: Digitale Fabrik bei DaimlerChrysler: Bis 2005 realisiert; in: Automobil Produktion 2/2002 Sonderdruck (2002), S. 4 - 10
- [SSS98] Schuh, G. / Schwenk, U. / Speth, C.: Komplexitätsmanagement im St. Galler Management-Konzept; in: IO-Management (1998), Nr. 3, S. 78 - 85
- [Ste91] Steffen, R.: Verbindung computergestützter Erzeugniskonstruktionen (CAD) mit der Kosten- und Erlösrechnung in CIM-Konzeptionen; in: zfbf Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Fertigung 43 (1991), Nr. 4, S. 359
- [Str01] Stratmann, J.: Bedarfsgerechte Informationsversorgung im Rahmen eines produktlebenszyklusorientierten Controlling; Eul Verlag, Lohmar, 2001
- [SV94] Scholz, R. / Vrohling, A.: Realisierung von Prozessmanagement; in: Gaitanides, M. u. a. (Hrsg): Prozessmanagement: Konzepte, Umsetzungen und Erfahrungen des Reengineering; Carl Hanser Verlag, München, 1994, S. 21 - 36
- [TW00] Thaens, V. / Wasmer, A.: Prozesskostenorientierte Deckungsbeitragsrechnung – Unterstützung eines dauerhaften Komplexitätsmanagements; in: IO-Management (2000), Nr. 12, S. 45 - 50
- [VDA00] N. N.: Auto 2000 – Jahresbericht Verband der Automobilindustrie e. V.; Frankfurt/M., 2000
- [WA+96] Warnecke, G. et al.: Aufbau und Anwendungen eines integrierten Prozessmodells für die Produktion; in: Industrie Management 12 (1996), Nr. 5, S. 21 - 25
- [War97a] Warnecke, H.-J.: Komplexität und Agilität – Gedanken zur Zukunft produzierender Unternehmen; in: Schuh, G. / Wiendahl, H. P. (Hrsg): Komplexität und Agilität – Steckt die Produktion in der Sackgasse?; Springer Verlag, Berlin, 1997, S. 1 – 8
- [War97b] Warnecke, H.-J.: Komplexität - das Paradigma für das 21. Jahrhundert; in: wt Werkstattstechnik (1997), Nr. 87, S. 337
- [Web99] Weber, J.: Optimierung des Serienanlaufs in der Automobilproduktion; in: VDI-Z 141 Nr. 11/12, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999, S. 23 – 25
- [Wen99] Wendenburg, M.: Manche Wünsche bleiben (noch) offen; in: it.av 3/99 (1999), S. 14 – 17

- [Wer03] Werksmeister, C.: Lerneffekte in einer prozessorientierten Variantenkalkulation; in: ZfbF – Zeitschrift für betriebliche Fertigung (2003), Nr. 55, S. 382 - 400
- [Wes01] Westphal, J. R.: Komplexitätsmanagement in der Produktionslogistik: Ein Ansatz zur flussorientierten Gestaltung und Lenkung heterogener Produktionssysteme; Dissertation, Technischen Universität Dresden, Deutscher Universitäts Verlag, 2001
- [Wet01] Weth, R. von der: Management der Komplexität; Huber Verlag, Bern, 2001
- [WH00] Westkämper, E. / Hanselmann, J.: Effektive Wissensnutzung in der Produktentwicklung; in: Industrie Management 16 (2000), Nr. 1, S. 28 - 32
- [Wil93] Wildemann, H.: Optimierung von Entwicklungszeiten: Just-In-Time in Forschung & Entwicklung und Konstruktion; München, 1993
- [Wil94a] Wildemann, H.: Variantenmanagement – Leitfaden zur Komplexitätsbeherrschung; TCW Transfer-Centrum Verlag GmbH, München, 1994
- [Wil94b] Wildemann, H.: Änderungsmanagement – Leitfaden zur Einführung eines effizienten Managements technischer Änderungen; TCW Transfer-Centrum Verlag GmbH, München, 1994
- [Wil98] Wildemann, H.: Komplexitätsmanagement durch Prozess- und Produktgestaltung. In: Adam, D. (Hrsg): Komplexitätsmanagement; Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998, S. 47 – 68
- [Wil99] Wildemann, H.: Komplexität: Vermeiden oder beherrschen lernen; in: Harvard Business Manager 6/1999 (1999), S. 31 - 42
- [Wil00] Wildemann, H.: Komplexitätsmanagement: Vertrieb, Produkte, Beschaffung, F & E, Produktion und Administration; TCW Transfer-Centrum Verlag GmbH, München, 2000
- [Wil02] Wildemann, H.: Änderungsmanagement – Leitfaden zur Einführung eines effizienten Managements technischer Änderungen; TCW Transfer Centrum Verlag GmbH, München, 2002
- [WK99] Wehlitz, P. / Kiesewetter, T.: Konfigurationsmanagement im Bereich Elektrik/Elektronik in der Automobilentwicklung; in: Saynisch, M. / Lange, D. (Hrsg): Änderungsmanagement mit System - Schlüsselfaktor Konfigurationsmanagement, 3. Fachtagung Konfigurationsmanagement, Dokumentations-Band der Tagung; GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e. V., Nürnberg, 1999, S. 176 – 186
- [WP97] Warnecke, H.-J. / Puhl, H.: Komplexitätsmanagement – Mit Systemdenken zur Beherrschung der Komplexität; in: wt Werkstattstechnik (1997), Nr. 87, S. 359 – 363
- [Zäp01] Zäpfel, G.: Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagements; Carl Hanser Verlag, München, 2001
- [ZP00] Zäpfel, G./ Piekarz, B.: Prozesswirtschaftlichkeit: Controlling logistischer Prozesse durch prozessorientierte Leistungsrechnung; in: Wildemann, H. (Hrsg): Prozesswirtschaftlichkeit; TCW Transfer Centrum Verlag GmbH, München, 2000