

Lehrstuhl für Produktentwicklung

Simulation von Produktkosten in der Entwicklungsphase

Christian Reischl

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hartmut Hoffmann
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath,
Universität Fridericiana zu Karlsruhe

Die Dissertation wurde am 13.12.2000 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen
am 23.04.2001 angenommen.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
1.1	Motivation dieser Arbeit	1
1.2	Problemstellung	2
1.3	Ziele und Aufbau	5
2	Aktueller Status von Engineering Systemen	8
2.1	2D oder 3D CAD Systeme	8
2.2	Produktdatenmanagement	11
2.3	betriebswirtschaftliche Standardsoftware aus Engineeringsicht	15
2.4	Relationale Datenbanken als neutrale Schnittstelle zur CIM Integration	15
2.4.1	Koppelung über Schnittstellen	16
2.4.2	Gemeinsamer Zugriff auf ein Datenbanksystem	17
2.5	Integrierte Systeme Chancen und Risiken	19
3	Grundlagen der Kalkulation in der Produktentwicklung	21
3.1	Prinzipielle Methoden zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation	21
3.1.1	Qualitative Verfahren	22
3.1.2	Quantitative Verfahren	23
3.1.2.1	Nicht rechnergestützte Verfahren	23
3.1.2.2	Rechnergestützte Verfahren	24
3.1.2.3	Direkte Vergleiche von Systemen der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation	32
3.2	Der Einfluß von Gemeinkosten auf die Konstruktionsbegleitende Kalkulation	40
3.2.1	Die differenzierende Zuschlagskalkulation	40
3.2.2	Berechnung von Gemeinkosten in der differenzierenden Zuschlagskalkulation	42
3.2.3	Gemeinkostenmanagement in der Produktentwicklung	44
3.2.4	Verursachungsgerechte Kostenzuordnung mit der Prozeßkostenrechnung	48
4	Simulation von Produktkosten in der Produktentwicklungsphase am Beispiel von XKIS	51
4.1	Entwicklungsstadien von XKIS	51
4.2	Fertigungssimulation als ein Weg zur Ermittlung von Fertigungskosten	56
4.2.1	Ermittlung von Materialkosten in der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation	57
4.2.2	Ermittlung der Fertigungslohn- und der Fertigungsgemeinkosten	58
4.3	Erkennung und Analyse von 3D Geometriemodellen als Basis für die Produktkosten-simulation	68
4.3.1	Programmgesteuerte Featurestrukturanalyse	69
4.3.2	Nutzen einer Parametrisierung für die integrierte Prozeßkette	73
4.3.3	Nutzen einer Parametrisierung für die Konstruktionsbegleitende Kalkulation	76

4.4	Erfahrungen aus der praktischen Anwendung eines Systems zur Konstruktions- begleitenden Kalkulation	77
4.4.1	Auswirkungen bei Änderung von Fertigungsstrukturen	77
4.4.2	Unterstützung bei Make or Buy Entscheidungen	79
4.4.3	Entscheidungshilfe bei konstruktiven Problemen	80
4.4.4	Verwaltung von Rohteilen mit XKIS	82
4.5	Nutzung von vorhandenen Kosteninformationen	84
5	Einflüsse auf die Konstruktionsbegleitende Kalkulation im praktischen Einsatz	90
5.1	Organisatorische Einflüsse	90
5.2	Die Rolle der Anwender	92
5.2.1	Vermittlung des Themenbereichs Konstruktionsbegleitende Kalkulation	92
5.2.2	Benutzerfreundliche Hard- und Softwaresysteme	93
5.2.3	Intensive Schulungen für Softwaresysteme	95
5.3	Einfluß der firmenspezifischen EDV auf die Konstruktionsbegleitende Kalkulation ..	96
5.4	Konstruktionsbegleitende Kalkulation und konventionelle Kostenrechnung	97
5.5	Übertragbarkeit der gewonnenen Ergebnisse auf andere Unternehmen	97
6	Wirtschaftlichkeit	99
6.1	Einsparpotentiale durch die Verwendung der XKIS Wiederholteilsuche	99
6.2	Identifizieren und Kalkulieren von Bauteilen im CAD System	102
7	Zusammenfassung und Ausblick	105
7.1	Überblick und Ergebnisse	105
7.2	Ausblick	108
8	Anhang	109
8.1	Überblick über die Funktionalität der CAD integrierten Kalkulation	109
8.2	Darstellung der featurebasierten Wiederholteilsuche	112
8.3	Migration komplexer EDV Systeme	113
9	Literaturverzeichnis	117

1 Einleitung

1.1 Motivation dieser Arbeit

Die Unternehmen des deutschen Maschinenbaus haben sich in den letzten Jahren sowohl in den internen Abläufen als auch im Verhältnis zum Markt, Wettbewerber und Kunden deutlich verändert. Die zunehmend vom globalen Wettbewerb geprägte Branche ist trotz der großen Anstrengungen in den letzten Jahren die sich in deutlichen Produktivitätszuwächsen auswirkten nach wie vor unter einem starken Innovations- und Kostendruck. Allen Diskussionen um den Industriestandort Deutschland zum Trotz ist der Maschinenbau getragen von boomenden Exportgeschäften immer noch auf einem stabilen Wachstumsniveau, haben die Produktivitätssteigerungen der letzten Jahre ihre Wirkung bewiesen und die internationale Konkurrenzfähigkeit des Standortes nachgewiesen. Dennoch zwingt der globale Wettbewerb die heimischen Unternehmen zur weiteren Steigerung der Produktivität (GRABOWSKI 1997). Viele ehemals profitable Geschäftsfelder sind inzwischen an andere international agierende Nationen verloren worden (EHRENSPIEL ET AL. 1998 S. 1). Geschäftsfelder, die teilweise nur aufgrund organisatorischer, teilweise auch kulturell bedingter Schwächen abgegeben wurden, und nur noch schwer wieder zurückzugewinnen sind. Die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen kann auf vielen dieser ehemals großen Geschäftsfelder nachgewiesen werden (vgl. MÄNNEL 1997 S. 6). Immer gibt es Unternehmen in allen Branchen, die offensichtlich durch konsequentes Management auch gravierenden Nachfrageschwankungen durch die Gewinnung neuer, teilweise anderer, Märkte entgegenwirken. Hemmend wirkt speziell am Standort Deutschland der Kostennachteil durch die hohen Ausgaben für die „Ressource“ Mitarbeiter. Zum einen ist das Lohn- und Gehaltsniveau in unserem Land überdurchschnittlich hoch, zum anderen sind die Ausgaben für die soziale Absicherung von Beschäftigten erheblich höher als im globalen Vergleich. Diesen Nachteilen im Wettbewerb stehen aber, wie die letzten Jahre gezeigt haben viele Faktoren gegenüber, die deutlich für den Standort Deutschland sprechen (vgl. SCHÜTTE 1998). So ist das Ausbildungsniveau der Beschäftigten auch im internationalen Vergleich als hoch anzusehen, so daß speziell Unternehmen im Hochtechnologiebereich am Standort Deutschland eine hervorragende Ausgangsposition haben und speziell für den Maschinenbau eine große Auswahl an bestens ausgebildetem Personal vorhanden ist.

Dennoch stellen diese Marktgegebenheiten insbesondere die global agierenden Unternehmen vor neue Herausforderungen. Um sich gegen internationale Mitbewerber behaupten zu können sind neue Methoden für eine weitere Optimierung der Geschäftsprozesse und für ein durchgängiges Kostenmanagement (vgl. auch SPATH ET. AL. 1997) zu entwickeln. Diese Arbeit soll einen Überblick über den Themenbereich Konstruktionsbegleitende Kalkulation geben und zusätzlich auch praxisrelevante Methoden aufzeigen, die eine Prozeßoptimierung in den frühen Phasen der Produktentstehung ermöglichen. Zudem soll die Arbeit auch einen Einblick in die Entwicklung und in die praktische Nutzbarkeit eines Werkzeugs zur Kosten- und Fertigungssimulation in der Produktentwicklungsphase bieten.

1.2 Problemstellung

Die Notwendigkeit eines durchgängigen Kostenmanagements ist in vielen Unternehmen erkannt worden. Nach der Definition von FRANZ (1997) versteht man unter Kostenmanagement die gezielte und systematische Steuerung der Kosten mit dem Ziel, durch konkrete Maßnahmen die Kosten von Produkten, Prozessen und Ressourcen so zu beeinflussen, daß ein angemessener Unternehmenserfolg erzielt und die Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig verbessert wird. Die Forderung nach kostengünstigen Produkten führt dabei direkt zum sogenannten „Dilemma der Produktentwicklung“ (EHRENSPIEL ET AL. 1998, S.10) das in Bild 1.2-1 schematisch dargestellt ist:

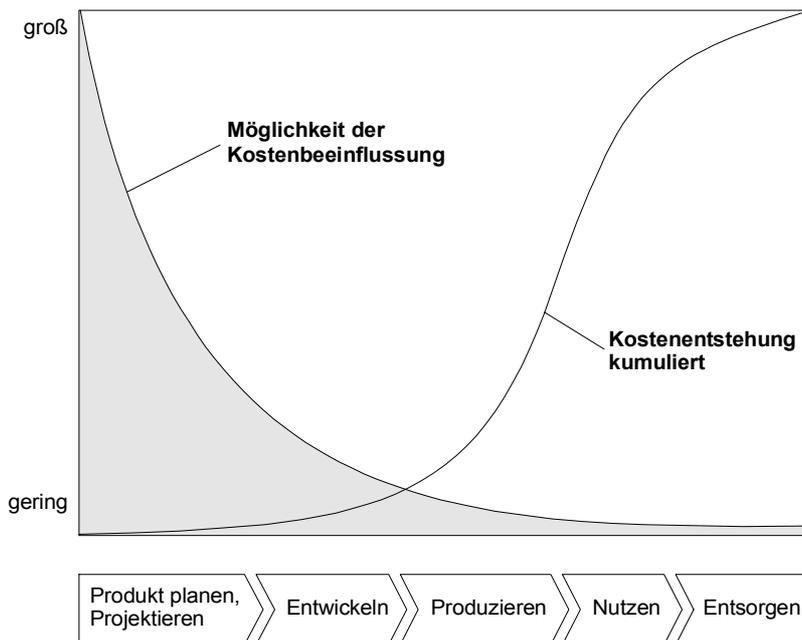


Bild 1.2-1: Möglichkeit der Kostenbeeinflussung und Kostenfestlegung während des Produktlebenslaufs

Über den gesamten Produktlebenslauf entstehen Kosten. Dabei fällt der größte Teil der Kosten erst ab der Teileproduktion an. Im Gegensatz zur Kostenentstehung ist die Kostenbeeinflussung in den frühen Phasen der Produktentwicklung am größten und nimmt in den späteren Phasen des Lebenszyklus stark ab. Das hat zur Folge, daß ein Einsatz von Methoden und Werkzeugen zur Kostensenkung vor allem in der Entwicklungsphase erfolgen muß (vgl. dazu auch MÄNNEL 1994)!

Die bekannteste Methode der letzten Jahre im Bereich des frühzeitigen Kostenmanagements stellt wohl das seit den 60er Jahren in Japan entstandene „Target Costing“ dar. TANAKA (1989) stellt den Einfluß von Kostenzielvorgaben in der Entwicklungsphase eines neuen Produkts dar. HORVATH (1992) und SEIDENSCHWARZ (1993) leiten daraus drei Phasen im Target Costing ab:

- Kostenzielfindung
- Kostenzielspaltung
- Kostenzielverfolgung

Die Definition eines Kostenziels für ein Produkt kann wie in Bild 1.2-2 ersichtlich ist, auf unterschiedliche Arten erfolgen.

Verfahren der Zielkostenfestlegung	Benennung bei Sakurai	Benennung bei Seidenschwarz
Subtraktionsmethoden	Top-down-/Gewinnplanungsmethode	Market into Company
		Out of Competitor
Additionsmethoden	Bottom-up-/Technikplanungsmethode	Out of Company
		Out of Standard Costs
Kombinationsmethode	Kombinationsmethode	Into and Out of Company

Bild 1.2-2: Benennung der Verfahren der Zielkostenfestlegung bei Sakurai 1989 und Seidenschwarz 1993 (aus RÖSLER 1996, S.23)

Häufig beruhen Kostenzielvorgaben auf vorhandenen Kostenstrukturen von Vorgängerprodukten. Jedoch sind auch Kostenbenchmarks mit Wettbewerbern üblich oder auch Marktanalysen, um das Kaufverhalten von Kunden besser bewerten zu können. Eine detaillierte Übersicht über die Methoden zur Kostenzielfindung findet sich bei STÖBER (1999) oder RÖSLER (1996).

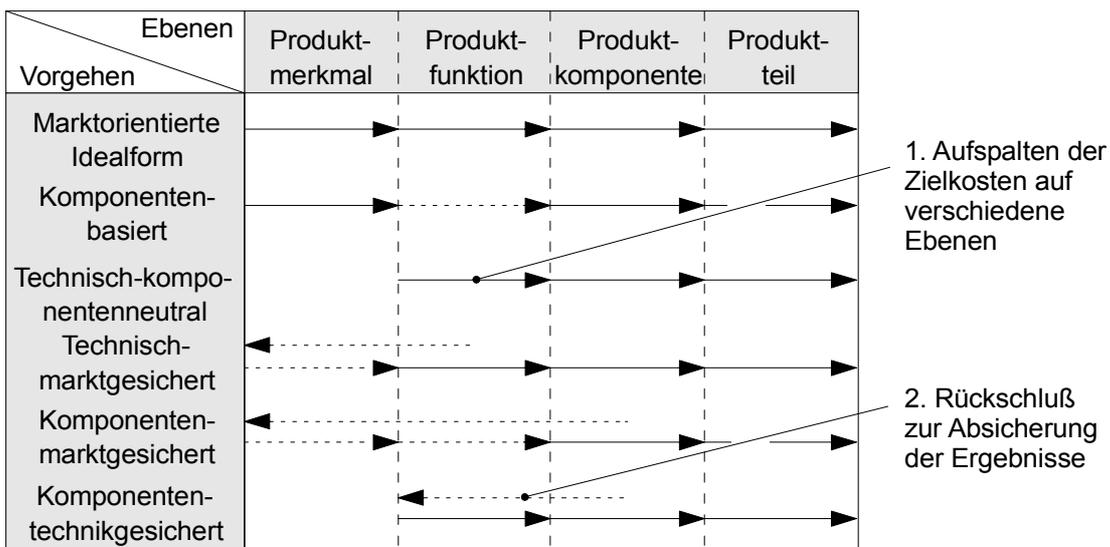


Bild 1.2-3: Vorgehensweisen zur Zielkostenspaltung (SEIDENSCHWARZ 1993, S. 157)

Auch zur Zielkostenspaltung stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung, die es ermöglichen, die Zielkosten für ein Gesamtprodukt auf unterschiedliche Ebenen aufzugliedern (vgl. Bild 1.2-3). Analog zur Zielkostenfindung finden sich auch Informationen zur Zielkostenspaltung bei SEIDENSCHWARZ 1993, TANAKA 1989 oder STÖBER 1999.

Der Schwerpunkt in dieser Arbeit liegt in der Kostenzielverfolgung, die meist den größten Aufwand und die größten Probleme in der kostenzielorientierten Produktentwicklung bereitet. Während zur Kostenzielfindung und zur Kostenzielspaltung auch in den frühen Phasen des Produktlebenszyklus ausreichende Informationen zur Verfügung stehen ist die Abschätzung von Produktkosten in der Produktentwicklungsphase häufig mit Schwierigkeiten verbunden, so daß für eine Kostenzielverfolgung in diesen frühen Phasen geeignete Methoden und Werkzeuge entwickelt und angewendet werden müssen, um schon in diesem Stadium möglichst genaue Kostenprognosen treffen zu können. Die Anforderung an Methoden der konstruktionsbegleitenden Kalkulation lautet in Analogie zum Dilemma der Produktentwicklung daher: Eine möglichst präzise Vorkalkulation aus unpräzisen (weil nicht endgültig bestimmten) Eingangsinformationen geometrischer und nichtgeometrischer Art abzuleiten. Diese Anforderung deckt den Zielkonflikt auf, den konstruktionsbegleitende Kalkulationssysteme zu bewältigen haben: Trotzdem in frühen Phasen noch nicht alle Produktparameter fixiert sind sind für einen Kostenzielabgleich konkrete und noch dazu möglichst präzise Kostenaussagen notwendig. Hinderlich stellt sich in diesem Zusammenhang die Bottom-Up Vorgehensweise der Kalkulation an sich dar, die dem üblichen Vorgehen von Konstrukteuren in den frühen Phasen nicht entspricht wie auch in Bild 1.2-4 deutlich wird:

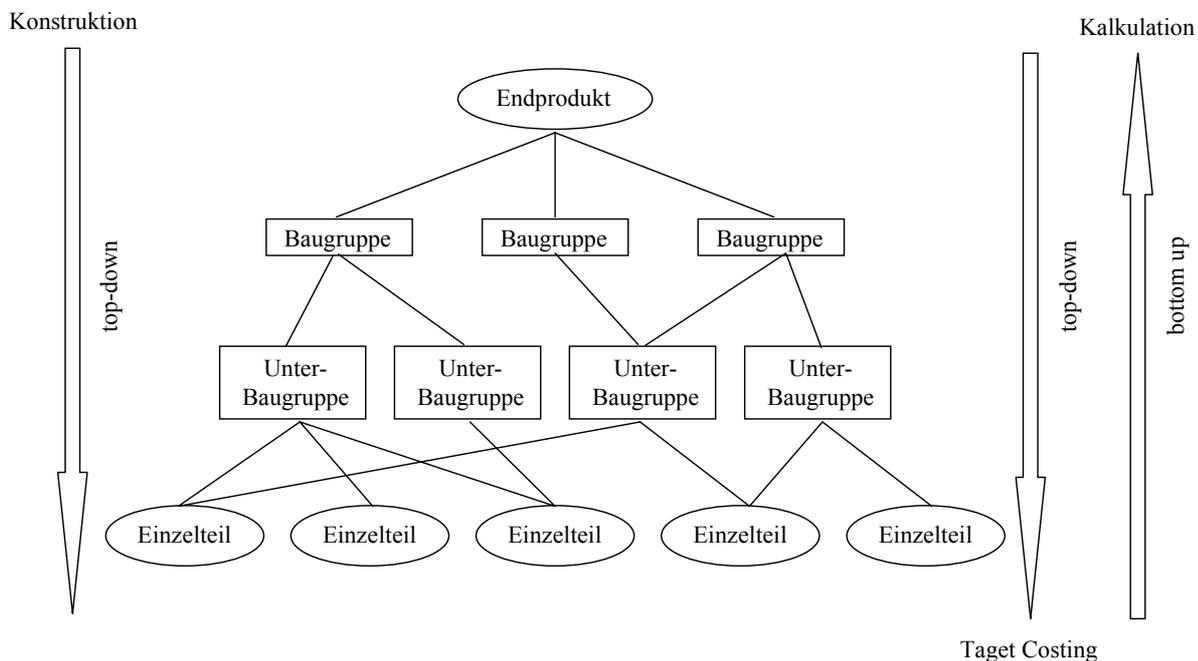


Bild 1.2-4: Arbeitsweise in der Produktentwicklung, in der Kalkulation und beim Target Costing

1.3 Ziele und Aufbau

Diese Arbeit soll eine Möglichkeit aufzeigen, wie ein System zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation aufgebaut wird, um die angesprochene Problemstellung zu bewältigen. Die Arbeit entstand in enger Zusammenarbeit des Lehrstuhls für Produktentwicklung (Technischen Universität München) mit der ZF Passau GmbH. Der Industriepartner des Projektes entwickelt und fertigt Antriebstechnik für Arbeitsmaschinen und komplette Achssysteme für die Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie. Das Unternehmen ist weltweit tätig. Beispielprodukt für das gemeinsame Forschungsprojekt sind Land- und Baumaschinenachsen, die in kleineren Stückzahlen gefertigt werden und in einer Vielzahl von Varianten angeboten werden. Ziel des Projektes war es, ein rechnerbasiertes System zur frühzeitigen Kostenermittlung und zur Verringerung der Teilevarianz zu entwickeln und für den flächendeckenden Einsatz in der Produktentwicklung vorzubereiten.

In Kapitel 2 findet sich eine knappe Beschreibung der in der Produktentwicklung unterstützend eingesetzten EDV-Systeme - häufig als 'Engineering Systeme' bezeichnet - die direkten oder indirekten Einfluß auf die Konstruktionsbegleitende Kalkulation haben oder haben könnten, um die Zusammenhänge bei der Umsetzung am Beispiel eines konkreten Systems (XKIS - **e**xtendiertes **K**osten**i**nformationssystem) leichter abschätzen zu können. In Kapitel 3 folgt eine Übersicht über die aktuell bekannten Werkzeuge zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation mit einer kritischen Würdigung von Versuchen einer allgemeingültigen Bewertung der Systeme. Aus den gewonnenen Erkenntnissen leitet sich eine Checkliste ab, die Entscheidungsträgern bei der Auswahl eines geeigneten Kalkulationssystems behilflich sein soll. In diesem Kapitel wird auch versucht, einen Überblick über die Kalkulationsmethoden differenzierende Zuschlagskalkulation und Prozeßkostenrechnung zu geben und die Problematik der Gemeinkosten in der betrieblichen Kostenrechnung zu verdeutlichen.

Kapitel 4 beschäftigt sich mit der Umsetzung der beschriebenen Aufgabenstellung im Pilotunternehmen. Dabei liegt der Schwerpunkt in der Beschreibung neuer Methoden zur Gewinnung von Geometrieinformationen aus CAD Systemen und der Verarbeitung dieser Informationen für die Prognose der Produktkosten. Diese Methoden zur rechnerbasierten Interpretation von räumlichen Geometrieelementen stellen einen wesentlichen Unterschied zu den bisher bekannten – und in Kapitel 3 dargestellten - Kalkulationsverfahren dar. Einer Beschreibung der grundlegenden Funktionalität des wissensbasierten Systems XKIS unter besonderer Berücksichtigung der erweiterten Möglichkeiten des Systems durch die Anbindung an ein featurbasiertes 3D CAD-System folgt exemplarisch eine Darstellung von Pilotprojekten, in denen die Einsatzfähigkeit des Systems und der Nutzen des Systems für die frühen Phasen der Produktentwicklung verdeutlicht wird.

Die unterschiedlichen Einflußfaktoren auf die Konstruktionsbegleitende Kalkulation werden im Kapitel 5 erläutert. Die Einführung derartig komplexer Systeme in eine bestehende Unternehmensstruktur stellt sich in der Praxis als ein Spannungsfeld dar, das von sehr unterschiedlichen Einflußparametern geprägt ist. So ergeben sich nicht nur Schwierigkeiten mit der Akzeptanz des Werkzeuges im Unternehmen, sondern es müssen auch organisatorische Randbedingungen und die bestehenden Möglichkeiten der EDV-Einbindung berücksichtigt werden. Diesem Abschnitt folgt in Kapitel 6 der Versuch einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Systeme zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation im Allgemeinen und für XKIS im Besonderen. Diese Wirtschaftlichkeitsbetrachtung stellt sich naturgemäß problematisch dar, da viele

zu berücksichtigende Einflüsse sich in den indirekten Produktkostenanteilen niederschlagen und mit herkömmlichen Methoden nicht direkt erfaßt werden können. Daher wird in diesem Kapitel der Schwerpunkt nicht darin liegen, präzise Einsparpotentiale im „Pfennigbereich“ zu errechnen sondern allgemein die Berechtigung derartiger Systeme durch eine qualitative Aussage über Kostensenkungspotentiale unter Beweis zu stellen.

In Kapitel 7 werden die erreichten Ergebnisse zusammengefaßt und ein Überblick über weitere lohnende Ansatzpunkte zur Verbesserung der Kostentransparenz in frühen Phasen verschafft.

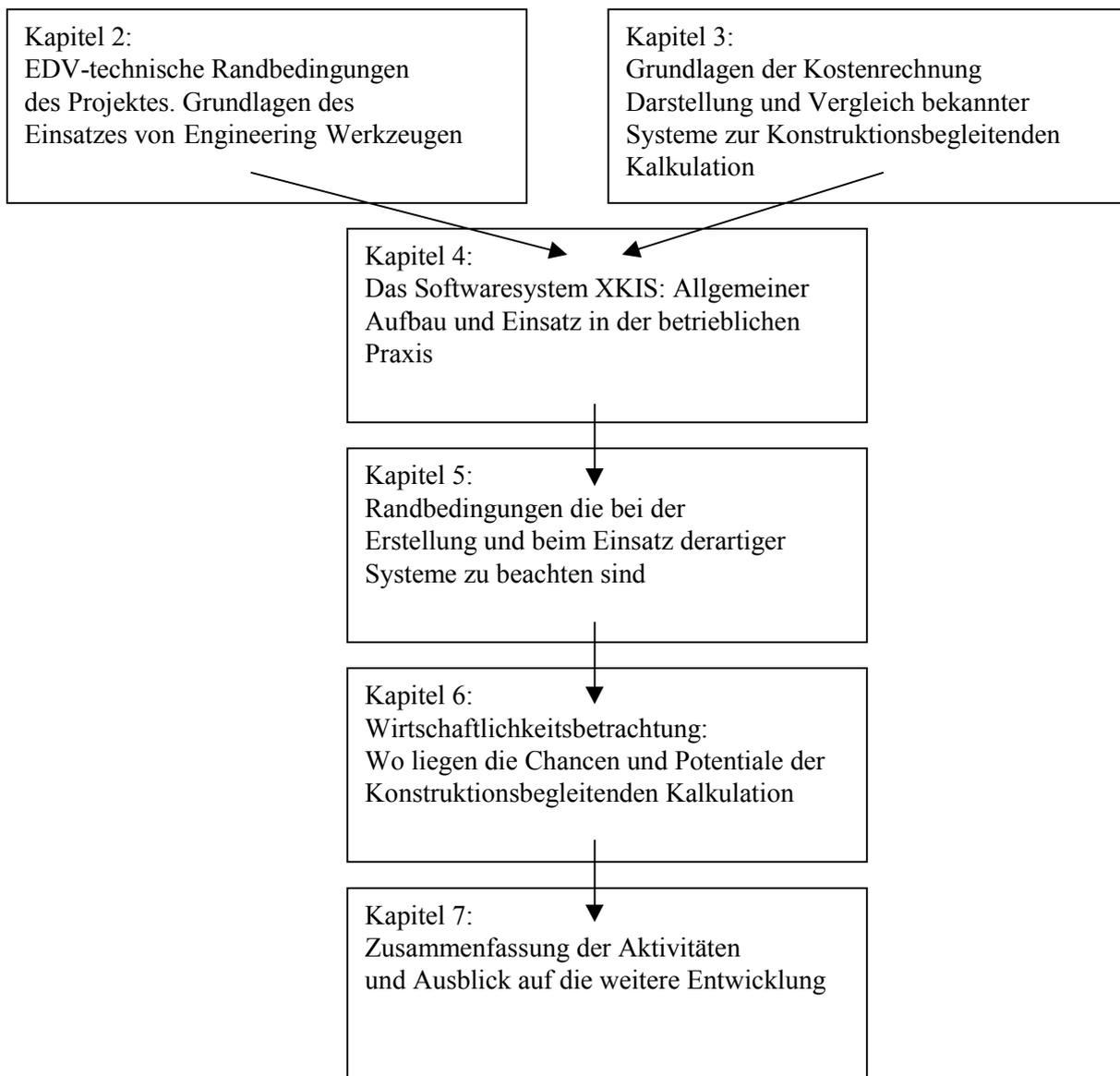


Bild 1.3-1: Struktur dieser Arbeit

2 Aktueller Status von Engineering Systemen

Die Hardware und Software-Ausstattung der Unternehmen unterliegen einem stetigem Wechsel. Die Intervalle, in denen die Systeme wirtschaftlich genutzt werden können verringern sich deutlich. Im Bereich der Hardware-Ausrüstung der Unternehmen werden die früher in vielen mittleren und großen Unternehmen eingesetzten Großrechnersysteme mit einem zentral gewarteten Mainframe-Rechner mehr und mehr durch dezentral organisierte Client Server Systeme häufig auf UNIX oder mittlerweile auch Windows NT-Plattformen ersetzt (vgl. WESSNER 1997). Die Umstellung von jahrzehntelang gepflegten Altsystemen (vgl. BRUDER 1998), die häufig nach jahrelangen Programmieranstrengungen die komplette Fabriksteuerung übernommen haben, auf dezentrale Architekturen erfordert immense Aufwendungen an Personalkapazitäten in unterschiedlichsten Unternehmensbereichen und an einzusetzendem Kapital. Beschleunigt wurde diese Tendenz zusätzlich durch die befürchteten Auswirkungen des Jahrtausendwechsels, der die vorzeitige Ablösung vieler Anwendungen notwendig machte. Die Schätzungen von unabhängigen Experten bezüglich der notwendigen Aufwendungen zur Behebung der aktuellen Herausforderungen an die Informatikabteilungen der heimischen Industriebetriebe divergieren derart weit, daß auch grobe Kostenschätzungen nur sehr unvollkommen sind (vgl. INPUT 1997). Diese Tendenzen bieten zwar einerseits Risiken, andererseits können die Unternehmen die notwendigen Investitionen für die Aufrechterhaltung und Modernisierung der EDV-gesteuerten Ablaufverwaltung nutzen, um die Produktivität durch weiter optimierte Prozeßfolgen zu erhöhen. In der Folge werden aus Engineering-Sicht die wesentlichen Werkzeuge beschrieben, die einen direkten oder indirekten Einfluß auf die Konstruktionsbegleitende Kalkulation haben oder haben können.

2.1 2D oder 3D CAD Systeme

Der Fortschritt im Bereich des Computer Aided Design ist signifikant. Etwa seit 1975 werden in deutschen Unternehmen wirtschaftliche und technisch ausgereifte CAD Systeme für die Produktentwicklung verwendet (vgl. WEULE 1997). In diesen ersten Jahren der Anwendung waren zweidimensionale Systeme vorherrschend, die als „elektronisches Reißbrett“ charakterisiert werden können. Während sich anfangs die CAD Einführung auf die Automobil- und Luftfahrtindustrie nebst Zulieferindustrien konzentrierte, sind heute die Vorteile des CAD-Einsatzes in nahezu allen technischen Branchen unbestritten. Die Entscheidung für die Einführung von CAD Systemen basiert dabei auf einer Vielzahl von Gründen. Der größte Vorteil einer CAD Anwendung dürfte in der Entwicklungszeitverkürzung, der Reduzierung von Entwicklungskosten und damit in einer Erhöhung der Produktivität liegen. Dazu muß beachtet werden, daß eine Optimierung der Entwicklungsprozesse nicht nur durch informationstechnische Maßnahmen erreicht werden kann, sondern vor allem durch organisatorische Maßnahmen, die mit einer Systemeinführung einhergehen müssen. Der VDMA ermittelte in einer Studie, daß durch den CAD Einsatz besonders in der Variantenkonstruktion Beschleunigungsfaktoren von durchschnittlich 3 erreicht werden konnten (bei einer Bandbreite zwischen 1,5 und 5,0). Einige weitere, empirisch ermittelte Faktoren der Produktivitätssteigerung bei diversen Anwendungen zeigt Bild 2.1-1:

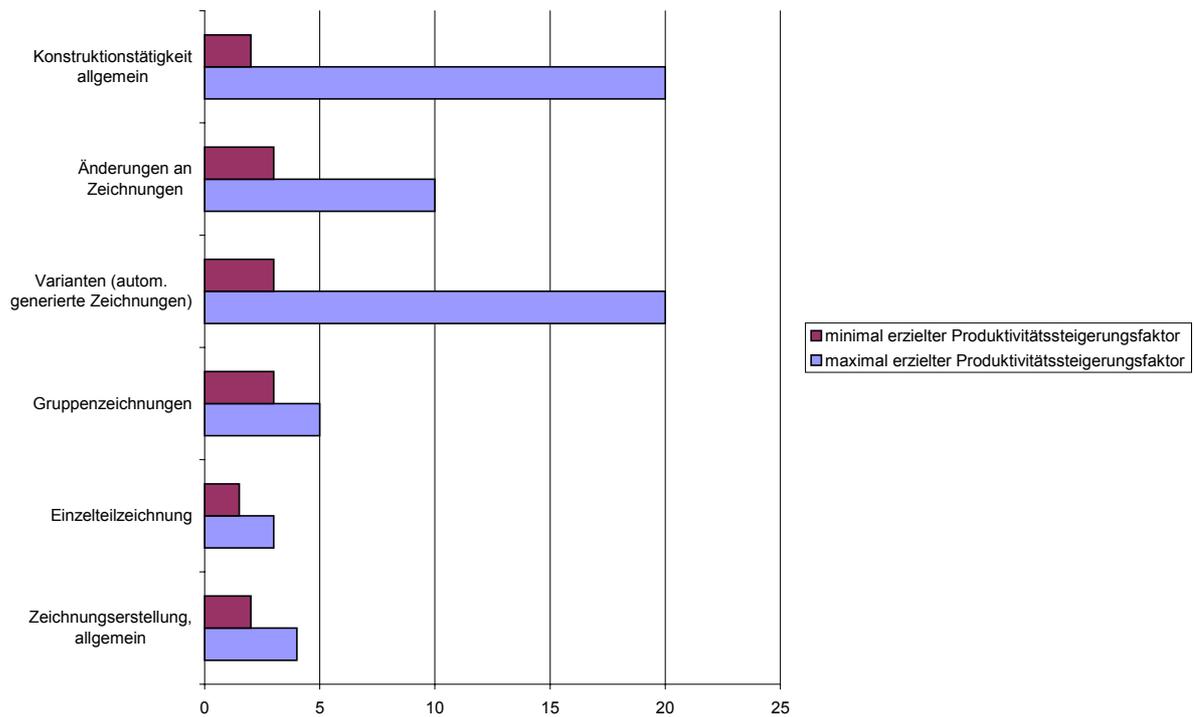


Bild 2.1-1: Produktivitätssteigerung durch CAD Einsatz (VDI 1994) [VDI 2216]

Einen wesentlichen Einfluß auf die zeit- oder kostensenkende Wirkung des CAD Einsatzes in der Produktentwicklung hat die Art der CAD Anwendung. So muß zwischen einer 2D und einer 3D Modellierung unterschieden werden. Dem unterschiedlichen Nutzen beider Modellierungsarten stehen auch deutlich unterschiedliche Aufwände gegenüber. Der erhöhte Aufwand von 2D auf 3D kann bei schwierigeren Anwendungen durchaus zwischen 30% und 100% (WEULE 1997 S. 41) betragen. Der Nutzen von voll parametrisierten CAD Systemen mit einer assoziativen Modellierung ist bei Konstruktionsänderungen besonders hoch. Dazu ist jedoch ein hoher Aufwand bei der ersten Modellierung nötig, wenn bei der späteren Erzeugung von Varianten der angestrebte Nutzen realisiert werden soll. Eine wesentliche Einflußgröße für den unterschiedlichen Zeitbedarf bei der konventionellen oder parametrisierten Geometrieerstellung ist die Teilekomplexität. Parametrische Systeme eignen sich hervorragend bei der Bearbeitung von Teilen mit geringer Komplexität. Dieser Vorteil verringert sich entsprechend bei zunehmender Komplexität.

Einen hohen Produktivitätsvorsprung realisieren erfolgreiche Unternehmen durch eine 100%ige digitale Produktbeschreibung in 3D Volumendarstellung. Damit kann der Änderungsaufwand reduziert werden, Physische Modelle durch Simulation ersetzt und damit die Kosten für Prototypen reduziert und die Produktentwicklung verkürzt werden. Bei Boeing konnte durch die vollständige digitale Beschreibung der Boeing 777 mit einem Datenvolumen von 3,5 TeraByte allein in der Modellfertigung 30000 Stunden eingespart werden (nach WEULE 1997). Diese bemerkenswerten Einsparungspotentiale legen nahe, daß ein Systemumstieg von 2D zu 3D Modellierung zur Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen einen wertvollen Beitrag liefern kann. Umso unverständlicher ist die Tatsache, daß gerade deutsche Unter

nehmen kaum dazu zu bewegen sind, einen Systemumstieg zu wagen, und auch nach einer Entscheidung für ein 3D CAD System häufig nur halbherzig mit der zukunftssträchtigen Technologie arbeiten. In diesem Zusammenhang kann auch festgestellt werden, daß die innerbetriebliche Organisation von Softwareeinführungen oder Softwaremigrationen häufig nicht der Komplexität dieser Thematik gewachsen ist. Viele Firmen leisten sich über viele Jahre eine Parallelpflege von Alt- und Neusystemen (häufig von 2D und 3D Systemen), wodurch die vielen positiven Aspekte, die sich aus einer geschlossenen 3D Prozeßkette ergeben nicht zur Wirkung kommen können. Ungenügend vorbereitete und nicht durchgängig gelebte CAD Einführungen wirken sich so in vielen Fällen negativ aus, wenn die zeitintensivere Solidmodellierung keine Kosten- und Zeitvorteile in nachgeschalteten Unternehmensbereichen erzielen kann. Die durchschnittliche CAD Durchdringung, also der Anteil an Arbeiten in der Produktentwicklung, der mit CAD Unterstützung durchgeführt wird, liegt weltweit derzeit bei den führenden Industrieunternehmen zwischen 70% und 90%. Der Anteil der 2D Anwendung in Deutschland liegt zur Zeit bei ca. 60-70%, während der Anteil von 2D Anwendungen in den Vereinigten Staaten bereits auf ca. 37% gefallen ist (SCHARF 1997, VAJNA 1998). Der geringe Grad an Integration der Entwicklungsprozesse, der in der deutschen Industrie zu beobachten ist, hängt mit dem niedrigen Anteil an 3D-Installationen direkt zusammen.

Der Ausbau des CAD Einsatzes und der Umstieg auf die Produktentwicklung mit Hilfe digitaler Prototypen (vgl. auch Bild 2.1-2) ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die deutsche Industrie, um bei Qualität und Kosten weltweit konkurrenzfähig zu bleiben.

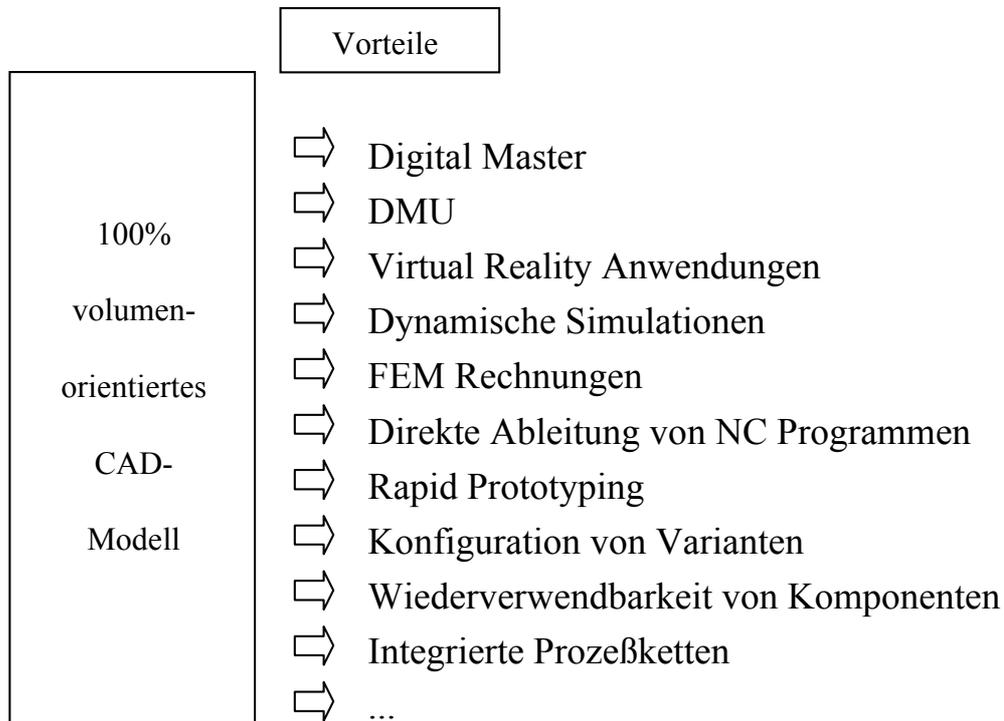


Bild 2.1-2: Vorteile einer volumenorientierten CAD Modellierung (nach WEULE 1997)

Durch den hohen Anteil an 3D Installationen in der deutschen Automobilindustrie ist eine flächendeckende Verbreitung von 3D Systemen wahrscheinlich, da auch Zulieferer mehr und mehr dazu gedrängt werden, 3D Daten zu liefern (siehe BRUDER 1998 S.192). Dabei werden zunehmend auch native CAD Daten im System des Auftraggebers erwartet während Step Daten zu den Mindestanforderungen gehören. Dies begründet sich im Bestreben, möglichst viele Produkteigenschaften schon im Rechnermodell zu eruieren (etwa mit Hilfe von digitalen Zusammenbauten - DMU), ohne Zulieferteile aufwendig selbst modellieren zu müssen. Bei Unternehmen die einen großen Anteil an Zukaufteilen verarbeiten stellt die Zusammenführung der CAD Modelle einen erheblichen Aufwand dar, wenn unterschiedlichste CAD Systeme berücksichtigt werden müssen.

2.2 Produktdatenmanagement

Um die Verwaltung und Pflege von Produktinformationen unterschiedlichster Applikationen in einen eindeutigen und unternehmensweiten – damit auch für die Unterstützung von weltweit verteilten Produktentwicklungen geeigneten - Datenfluß einzubinden werden EDM (Engineering data management) oder PDM (product data management) Systeme eingesetzt. Der Umfang der Systeme kann sehr stark variieren, von einer einfachen CAD-Modellverwaltung bis hin zu komplexen Firmendatenmodellen (vgl. Bild 2.2-2), in denen alle projektbezogenen Daten und Dateien verwaltet werden.

Eine grundlegende Funktion von PDM Werkzeugen ist die Verwaltung von CAD-Zeichnungen und Modellen. Dies beinhaltet sowohl eine Versionsverwaltung mit Änderungsständen wie auch eine Unterstützung beim verteilten Entwickeln in Teams, die häufig auch an unterschiedlichen Unternehmensstandorten tätig sind. Zusätzlich decken PDM Systeme im CAD Umfeld auch Sicherheitsaspekte mit ab, so daß einerseits nur berechtigte Personen Zugriff auf bestimmte Modellstände haben und andererseits die unbeabsichtigte gleichzeitige Bearbeitung desselben Modells an unterschiedlichen Arbeitsplätzen verhindert wird. Aufgabe der PDM Systeme ist es in der Folge auch, einen benutzerfreundlichen Zugriff auf diese Dateien mit umfangreichen Suchfunktionalitäten zu bieten. Zusätzlich zu den systemspezifischen CAD Dateien (native Dateien) werden in manchen Unternehmen auch Rasterdateien redundant verwaltet. Dies kann mehrere Vorteile bieten:

Da in den meisten Unternehmen verschiedene CAD Systeme genutzt werden, und zudem auch noch manuell erstellte Zeichnungen existieren, die weiter gepflegt werden müssen, bietet sich die Verwaltung in einem neutralen Format – das von mehreren Systemen aus gelesen werden kann - an. Klar definiert muß hingegen das Änderungswesen sein, geändert wird im Normalfall ausschließlich auf Originaldokumenten, gleichgültig, ob dies manuelle Zeichnungen oder CAD Dateien sind. Rasterdateien dienen nur zur Information!

Rasterdateien haben den Vorteil, daß 2D Zeichnungen plattformübergreifend visualisiert werden können: Entwickler sind in der Lage, die Dateien an ihren Workstations über viewer darzustellen, andere Abteilungen haben die Möglichkeit, diese Dateien auch an anderen EDV-Plattformen ohne große Anforderungen an Hard und Software darstellen und nach Bedarf auch in Papierform auszugeben. Diese Möglichkeiten bieten insbesondere Vorteile für die Kommunikation zwischen Entwicklungsbereichen und Fertigungsbereichen. Neuere Systeme

bieten zudem einen Zugriff über Intranet-Funktionalitäten an, damit können die Rasterdateien prinzipiell auf allen verfügbaren Hardware-Plattformen (was bei heterogenen Firmennetzen ein wesentlicher Vorteil ist) über Browser aufgerufen und visualisiert werden. Damit werden auch die nicht direkt am Produktentwicklungsprozeß beteiligten Fachbereiche in die Lage versetzt plattformunabhängig und ohne CAD-System auf die Zeichnungsinformationen zugreifen. Eine Intranet-Lösung würde dies auch für Unternehmen, die an mehreren – auch global verteilten - Standorten tätig sind ermöglichen (vgl. KNECHTEL 1997). Nachteilig für Intranet Lösungen wirken sich insbesondere die Dateigrößen von Rasterdateien aus, die auch komprimiert je nach Zeichnungsinhalt sehr umfangreich sein können. In diesem Fall spielen die Übertragungsraten der Firmennetze eine große Rolle für die Systemperformance, bei intensiver Nutzung solcher Intranetlösungen kann es zu schwerwiegenden Performance-Problemen in den unternehmensinternen Rechnernetzen kommen. Eine wesentliche Rolle im Umfeld der Rasterdateinutzung spielen die Datensicherheitsstrategien von Unternehmen. Die Bereitstellung von technischen Dokumenten an jedem Arbeitsplatz birgt große Gefahren. Die Dokumente könnten prinzipiell ohne große Hemmschwelle und unkontrolliert auf elektronischem Weg (email) oder über Datenträger (Disketten, CD, ...) das Unternehmen verlassen. Hier müssen neue Sicherheitskonzepte entwickelt und umgesetzt werden, um die großen Potentiale die eine dezentrale Dokumentenbereitstellung bietet nicht durch mögliche Schäden bedingt durch Datentransfers an Dritte aufzuheben (siehe ERDRICH 1997).

Aufwendigere Lösungen der Dokumentenverwaltung beinhalten auch die für Fertigungsprozesse notwendigen Unterlagen, wie etwa NC-Programme oder Arbeitsplandaten oder Prüfpläne. Diese erweiterten Funktionalitäten sind hinsichtlich der Möglichkeiten zum Know-How Transfer zwischen Engineering Abteilungen als sehr positiv zu bewerten. Damit steht den Entwicklern ein direkter Weg offen, Rückschlüsse aus laufenden und abgeschlossenen Projekten zu ziehen, unabhängig von persönlichen Kontakten zu anderen Fachabteilungen. Zudem ist es möglich, alle einer Sachnummer zugeordneten Dokumente am eigenen Arbeitsplatz darstellen zu lassen und diese Informationen unternehmensweit verfügbar zu halten (vgl. GÖTTSCHE 1997).

Die Möglichkeiten, auch weitere Datensätze, Dokumente oder Multimediale Objekte in den EDM/PDM Systemen zu hinterlegen sind vielfältig. Manche EDM Systeme unterscheiden die verwalteten Informationen in Dokumentdaten und in Artikeldaten. Als Dokumentdaten bezeichnet man alle Informationen, die für die Verwaltung von Darstellungsformen relevant sind. Hierunter fallen etwa 2D Zeichnungen oder auch 3D Modelle. Zugehörige Informationen sind beispielsweise der Ersteller oder die Dokumentenart (Bauteil, Baugruppe, ...) oder die Anzahl der Zeichnungsblätter und das Format und selbstverständlich der Ort wo das Dokument verwaltet wird. Weitere Dokumentdaten könnten Berechnungsmodelle oder Auslegungsrechnungen sein, die in Papier- (= rasterbar) oder Dateiform vorliegen.

Unter Artikeldaten versteht man alle Informationen die das Bauteil konkret betreffen. Hierunter fallen etwa der Verwendungsnachweis in Baumustern oder der Werkstoff und Grobabmessungen. Wichtig ist die Möglichkeit, bestimmten Artikeln über Beziehungen spezielle Dokumente zuzuordnen zu können. Durch diese Verknüpfung zwischen Artikel- und Dokumentenstämmen ergeben sich positive Effekte für einen kombinierten Datenaustausch von CAD Dokumenten und Stamm- oder Strukturdaten.

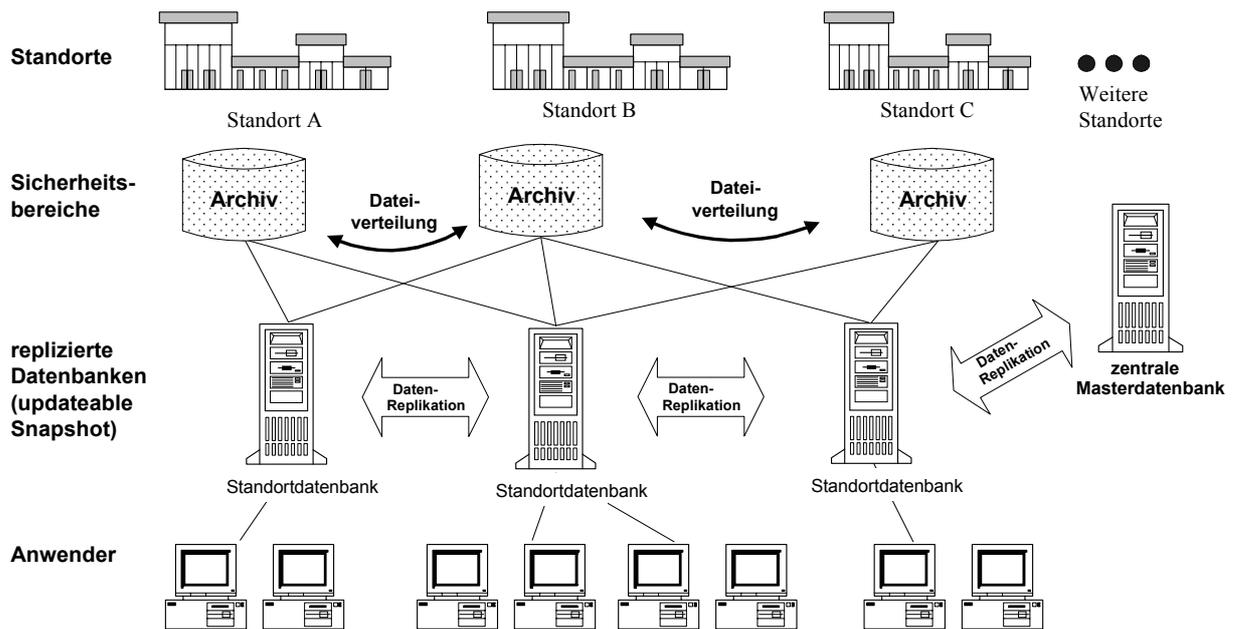
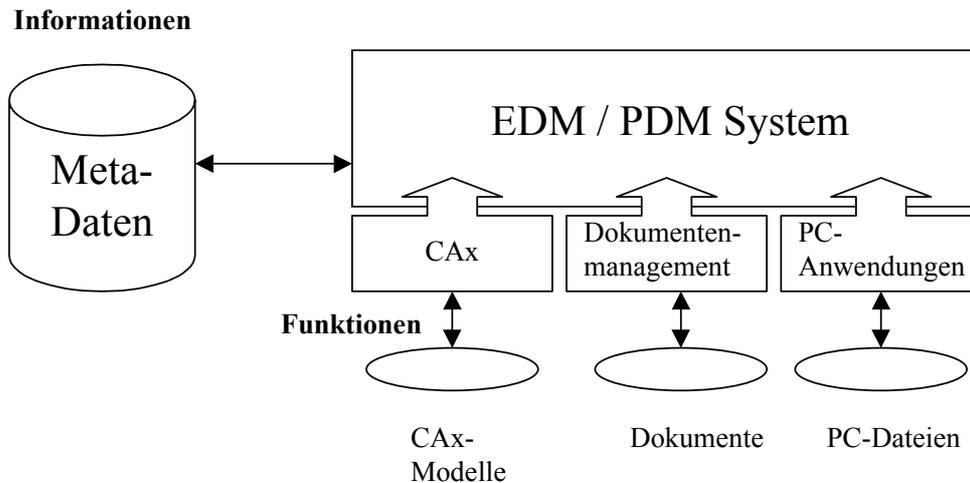


Bild 2.2-1: Schematische Darstellung einer File- und Datenreplikation über mehrere Standorte hinweg (nach BANHOLZER 1999)

Neueste PDM Ansätze bieten zur Bereitstellung von Dokumenten an verschiedenen Standorten Replikationsmechanismen an. Unter Replikation versteht man den automatischen Versand und Abgleich von Metadaten und Dokumentendateien über Unternehmensgrenzen hinweg. Dieser Dienst ist immer dann sinnvoll und notwendig, wenn ein Unternehmen an mehreren Standorten am gleichen Projekt arbeitet. Dies kann der Fall sein, wenn eine verteilte Produktentwicklung betrieben wird, aber auch, wenn Produktzeichnungen für die Fertigung an unterschiedlichen Standorten benötigt werden. Über Masterserver wird in einer Replikationsumgebung die Aktualität von Daten und Dokumenten gesteuert. Wird an einem Standort ein aktualisierter Datensatz oder ein aktualisiertes Dokument erkannt, so werden Metadaten und Dokument automatisiert an alle anderen betroffenen Standorte weitergeleitet. Somit haben mehrere Unternehmensstandorte mindestens tagesaktuell einen identischen Dokumenten- und Metadatenbestand.



Informationen

- **Produktinformationen**
 - Stammdaten
 - Fertigungshinweise
 - Produktstrukturen
 - Sachmerkmale
- **CAX-Informationen**
 - Formelemente
 - Features
 - Strukturen
 - Dokumenteninformationen

Funktionen

- **Check in / Check out**
- **Zeichnungskopf lesen/schreiben**
- **Stücklisten lesen**
- **Produktstrukturen lesen**
- **Teile einsetzen**
 - Bibliotheksteile, Makros
 - Normteile, Katalogteile
 - CAD-Profile
- **CAD Strukturen lesen & manipulieren**
- **Integration in die CAX-Makrosprache**
 - Aufruf von EDM/PDM-Funktionen innerhalb von Makros
 - Bidirektionaler Informationsaustausch
 - Abfrage- und Suchfunktionen
- **Kontrolliertes Kopieren und Verteilen von CAX-Modellen**

Vorteile/Nutzen

- **Automatisches und sicheres Verwalten der redundanten Informationsteile**
 - Zeichnungskopf - Stammdaten
 - Fertigungshinweise - Stempel
- **Automatisierungsroutinen mit integrierten EDM-Funktionen**
 - Freibgabe im Batch mit automatischem Update des Zeichnungskopfes
- **Suchen und sicheres Verwenden von Norm- / Wiederholteilen**
- **Automatischer & sicherer Austausch von Stücklisteninformationen**
 - ein- und mehrstufig
- **Sichere Nutzung von CAX-Modellen über verschiedene Entwicklungs-/**
- **Fertigungsstandorte hinweg**
- **Verkürzung der Entwicklungszeit**
- **Reduzierung der Teilevielfalt**
- **Verbesserung der Qualität**

Bild 2.2-2 Aufbau und Nutzen einer CAX-EDM-Integration (Applicon GmbH Rüsselsheim)

2.3 betriebswirtschaftliche Standardsoftware aus Engineeringsicht

Die Schnittstelle zwischen Engineeringsystemen und kaufmännischen oder dispositiven Systemen ist nach wie vor sehr eingeschränkt. Meist sind es gewachsene Betriebsstrukturen die seit jeher auf einer deutlichen Trennung zwischen den eher technisch und den eher betriebswirtschaftlich orientierten Abteilungen beruhen (vgl. EHRENSPIEL 1998). Mit Hilfe moderner Management Verfahren wird zwar mehr und mehr versucht, innerhalb von interdisziplinär arbeitenden Teams betriebswirtschaftliches Wissen und Kosteninformationen in die früheren Phasen der Produktentstehung zu transferieren, jedoch sind auf dem Weg zu mehr Transparenz zwischen Technik und Betriebswirtschaft noch viele Hindernisse auszuräumen. Ein Datenaustausch zwischen den in unterschiedlichen Abteilungen genutzten EDV-Werkzeugen findet trotz eines starken Trends zur Standardisierung und zu komplexen integrierten Lösungen noch selten statt und beschränkt sich meist auf einen Transfer von Stücklisten- oder Sachstamminformationen zwischen EDM/PDM Systemen (vgl. SAP 1998-4) und betriebswirtschaftlicher Standardsoftware. Dabei könnte eine weitere Verknüpfung der Werkzeuge zu deutlichen Produktivitätserhöhungen führen, da viele ähnliche Informationen von allen Fachabteilungen benötigt werden. Betriebswirtschaftliche Standardwerkzeuge sind in der Lage, neben Marketing und Controlling auch Vertriebsmitarbeiter und Entwickler sowie Fertigungsplaner weitreichend zu unterstützen. Beginnend mit der Zielkostenermittlung (beispielsweise anhand von Vorgängerprodukten oder anderen Baureihen) über das Prozeßmanagement zur DIN/ISO gerechten Produkterstellung bis hin zur Organisation der Zulieferkette und der Zeit und Kapazitätsplanung können betriebswirtschaftliche Werkzeuge sinnvoll schon in frühen Phasen eingesetzt werden. Notwendig dazu ist die Schaffung geeigneter Schnittstellen, um eine möglichst direkte Kommunikation zwischen den unterschiedlichen EDV-Systemen zu schaffen.

Im Bereich der Produktentwicklung haben sich die großen Anbieter von Standardsoftware in erster Linie auf die Abbildung von Prozeßmanagement Abläufen beschränkt (vgl. SAP 1998-3). So bieten die Programmodule vor allem Vertriebs- und Verkaufsunterstützung mit Projektstrukturplänen und Terminverfolgung, bieten also in erster Linie eine Hilfe für Projektmanager und Projektleiter, weniger für Entwickler und Konstrukteure. Zunehmend werden aber auch Kosten und Ressourcenplanungen in einem detaillierten prozeßorientierten Ablauf abgebildet. Damit stellen die Werkzeuge eine wirkungsvolle Unterstützung für alle Projektmitglieder dar. Zusätzlich haben sich Module zum Konfigurationsmanagement von Komplettaggregaten mittlerweile ihren Weg in die Entwicklungsabteilungen gebahnt (siehe auch SAP 1998-1). Aktuell bemühen sich verschiedene Anbieter von betriebswirtschaftlicher Standardsoftware um eine Integration von PDM Modulen. Die Bedeutung des Marktsegments Produktdatenmanagementsysteme wird damit weiterhin an Bedeutung gewinnen und die Integrationsmöglichkeiten der Systeme deutlich zunehmen.

2.4 Relationale Datenbanken als neutrale Schnittstelle zur CIM Integration

Unter CIM Integration ist der rechnergestützte Informationsfluß in allen an der Produkterstellung beteiligten Unternehmensbereichen zu verstehen. Dies umfaßt die Integration aller

CAX-Komponenten (im wesentlichen CAD, CAM, CAP, CAQ, PPS und BDE). Die Softwaretools, die für die CIM Komponenten eingesetzt werden, sind in der Regel als Einzellösung sehr ausgereift, die Kommunikation der Einzellösungen untereinander ist aktuell noch nicht zufriedenstellend gelöst. Für die Kommunikation der Systeme bieten sich prinzipiell zwei unterschiedliche Lösungsansätze an:

- Direkte Koppelung der Systeme untereinander über Schnittstellen
- Gemeinsamer Zugriff auf ein Datenbanksystem

2.4.1 Koppelung über Schnittstellen

Für die industrielle Praxis sind viele verschiedene Schnittstellenformate für den Datenaustausch definiert worden. Je nach Anwendungsfall kommen die unterschiedlichen Formate zum Einsatz, wobei mit einem Teilverlust von Informationen gerechnet werden muß. Einen Überblick über die Vielfalt und Anwendungsbereiche der unterschiedlichen Schnittstellenformate bietet Bild 2.4-1:

Schnittstelle	Bereich	Land	Normung
AIS	CAD-CAD	USA	
APT	CAP-CAM	USA	ISO/TC184/SC3, DIN 66246
CGM	Grafik	International	ANSI X3.122, ISO 8632
CLDATA	CAP-CAM	USA	ISO 4343, DIN 66215
DXF	CAD-CAD, CAD-sonst.	USA	
FEMDAT	CAD-CAD	USA	
IGES	CAD-CAM, CAD-sonst.	USA	ANSI Y 14.26 M
SET	CAD-CAD, CAD-sonst.	F	ANFOR Z68-300
SQL	Datenbank	USA	ISO DIS 9075
STEP	CAD-CAD, CAD-sonst.	International	ISO/TC184/SC4/WG1 Neu: ISO 10303
VDAFS	CAD-CAD, CAD-sonst.	D	DIN 66301
VDAIS	CAD-CAD, CAD-sonst.	D	VDA/VDMA-Einheitsblatt 66319
VDAPS	CAD-CAD, CAD-sonst.	D	DIN 66304

Bild 2.4-1: Ausschnitt der Normungsbestrebungen für Schnittstellen (nach CRONJÄGER 1990)

In der Automobil und Zulieferindustrie haben sich in der Vergangenheit vor allem IGES (Initial Graphic Exchange Specification) und VDAFS (Verband der deutschen Automobilindustrie-Flächenschnittstelle) als Standards durchsetzen können. Mittlerweile sind aber auch Step-Prozessoren als leistungsfähiges Schnittstellenformat speziell für 3D Volumenmodelle

anerkannt. Mit Step ist es im Gegensatz zu den bisher verwendeten Formaten möglich, auch Strukturdaten oder organisatorische Informationen wie etwa Farben oder Stücklisten zu übertragen. Die heimische Automobilindustrie hat sich 1998 eindeutig zum Step Standard bekannt, der Austausch von administrativen und geometrischen Daten wird verstärkt im neutralen Step Produktdatenstandard (AP 214) erfolgen. Dabei hat sich dieser Industriezweig sowohl bei den verfügbaren Kommunikations-Produkten auf Basis von Step als auch beim allgemeinen Wissensstand zur Nutzung dieser neuen Technologie einen deutlichen Vorsprung im Vergleich zu den japanischen und US-amerikanischen Automobilherstellern von ca. zwei Jahren erarbeitet (vgl. PROSTEP 1998).

2.4.2 Gemeinsamer Zugriff auf ein Datenbanksystem

Aus der unter 2.4 angesprochenen Definition eines CIM Konzeptes ergibt sich die Forderung, große Datenvolumen zwischen CIM-Einzelkomponenten zu bewegen. Dies stellt zum einen Forderungen an das unternehmensinterne Rechnernetz, zum anderen auch an die Systematik der Verwaltung und an die Zugriffszeiten die benötigt werden, um an archivierte Datensätze zu gelangen.

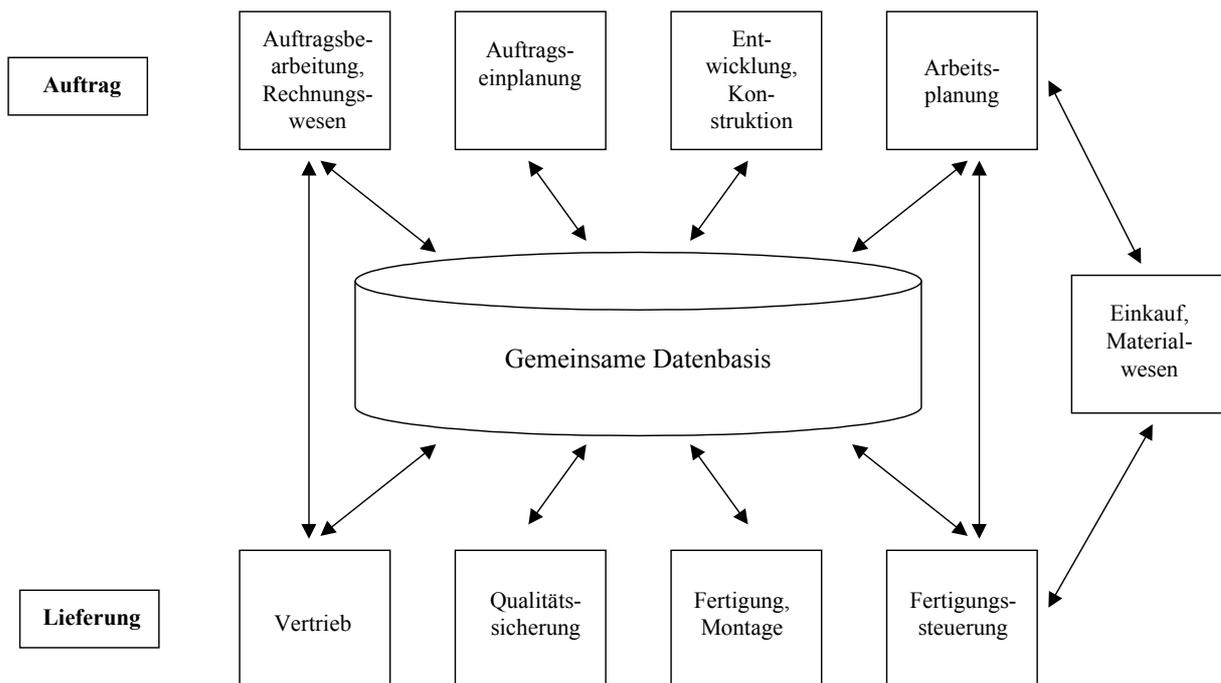


Bild 2.4-2: Kopplung von CIM Komponenten über eine gemeinsame Datenbasis (nach CRONJÄGER 1990)

Diese Aufgabenstellung legt den Einsatz von Datenbanksystemen nahe. Datenbanken ermöglichen es, einen konsistenten Zusammenhang von Einzelinformationen darzustellen und zu verwalten. Die Zugriffszeiten auf die in Datenbanken verwalteten Informationen sind häufig deutlich kürzer, als auf die in Fileform hinterlegten Datenspeicher der Einzelkomponenten.

Aus der Informationsverarbeitung sind unterschiedliche Datenbankmodelle bekannt. Wesentlich sind hierarchische Modelle, relationale Modelle (vgl. NIJSSEN 1989) und objektorientierte Modelle (vgl. ATKINSON 1989).

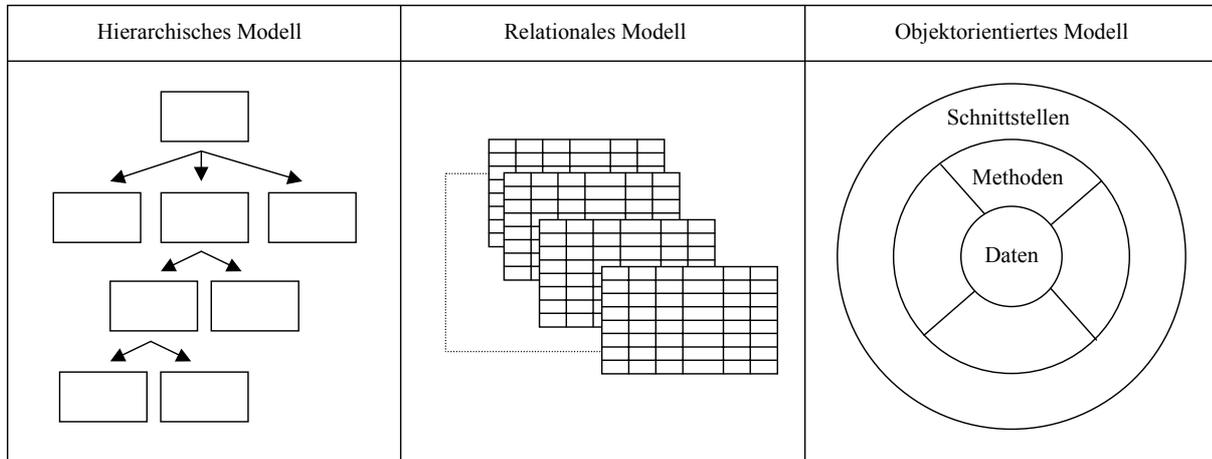


Bild 2.4-3: Gebräuchliche Datenbankmodelle

Das hierarchische Datenbankmodell geht von einer Baumstruktur aus. Das Konzept eignet sich für Beziehungen, bei denen sich aus einem Oberbegriff viele Unterbegriffe ableiten lassen. Allerdings können bei hierarchischen Strukturen keine Beziehungen zwischen einzelnen in verschiedenen Ebenen abgespeicherten Daten hergestellt werden. Hierarchische Modelle sind sehr starr und unflexibel aufgebaut und verwalten einen großen Teil der Daten redundant. Positiv ist die kurze Zugriffszeit auf die abgelegten Daten, da der Zugriffspfad über Strukturen vordefiniert ist. Relationale Modelle bieten dem Nutzer einen wesentlich komfortableren Zugriff, da die vorhandenen Daten zu unterschiedlichsten Auswertungen kombiniert werden können. Relationale Datenbanken stellen dagegen deutlich größere Anforderungen an die verwendete Hardware, da für eine Datenbankabfrage unterschiedlichste Tabellen durchsucht werden müssen.

Die Kommunikation zu relationalen Datenbanken und unter relationalen Datenbanken ist durch den SQL Standard normiert. Die Technik der relationalen Datenbanken gilt als sehr ausgereift, es stehen Produkte für beliebige Hardware-Plattformen zur Verfügung. Die Kommunikation zwischen relationalen Datenbanken unterschiedlicher Hersteller ist möglich, solange der ANSI SQL Standard eingehalten wird. Zusätzlich stehen zahlreiche Middleware Systeme für die Kommunikation auch über die Hardware-Plattformen hinweg zur Verfügung.

In der Praxis hat sich das relationale Datenmodell in vielen Anwendungsgebieten am Markt durchgesetzt, vor allem dann, wenn es um große Mengen gleich und einfach strukturierter Daten geht. Für Anwendung mit hochkomplex strukturierten Objekten ist das relationale Modell allerdings wenig geeignet, da es nur atomare Datenstrukturen kennt und nur über relationale Operatoren verfügt.

Im objektorientierten Datenmodell ist das Objekt die zentrale Einheit. Ein Objekt ist durch Attribute beschrieben und es sind bestimmte Operationen über einem Objekt definiert. Der

Aufbau eines Objekts ist für andere Objekte verborgen. Objekte haben die Möglichkeit zu kommunizieren, also über Schnittstellen Nachrichten auszutauschen. Die Reaktion eines Objekts auf eine Nachricht ist in den Methoden festgelegt. Über die Methoden können auch die Daten im Inneren des Objekts verändert werden. Mit Hilfe der Objektorientierung ist es für den Datenbankentwickler möglich, sehr komplexe Strukturen relativ einfach rechnerisch abzubilden, zumal sich die objektorientierte Programmierung sehr nah am menschlichen Problemlösungsverhalten anlehnt.

Trotz der komfortablen Arbeitsweise mit objektorientierten Datenbanken haben sich bis heute für technische Anwendungen hauptsächlich relationale Datenbanken in der praktischen Anwendung behaupten können.

2.5 Integrierte Systeme Chancen und Risiken

Wie bereits oben beschrieben bedingt der CIM Gedanke eine weitreichende Integration unterschiedlichster Unternehmensprozesse. Die Integration der in diesen Prozessen genutzten CA-Systeme kann häufig nicht allein über Standard-Schnittstellen erfolgen, sondern es sind teilweise sehr aufwendig gestaltete unternehmensspezifische Schnittstellenprogramme notwendig, wie auch Bild 2.5-1 verdeutlicht.

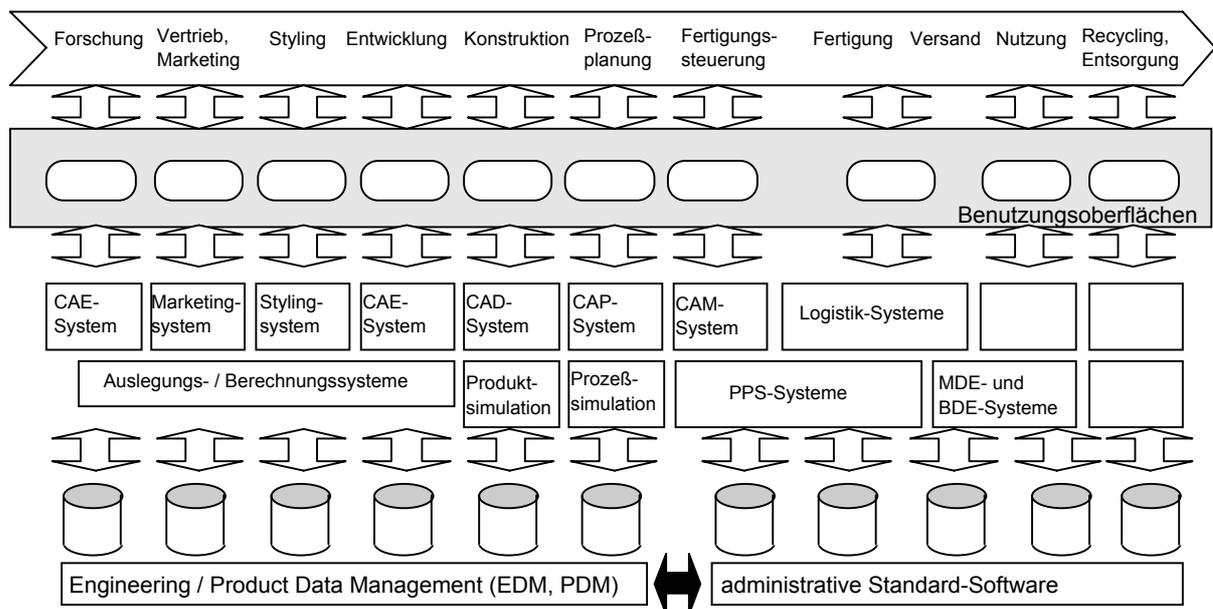


Bild 2.5-1: Einbettung von CAD/CAM Systemen in die betriebliche Informationsverarbeitung (Vajna 1998)

Diese spezifischen Lösungen bieten wesentliche Vorteile. Die Verknüpfung der Einzelkomponenten kann sehr speziell an die vorhandenen Prozeßketten angepaßt werden. Damit ist ein Unternehmen nicht gezwungen, die in der Praxis bewährten Abläufe aufgrund mangelnder Softwareunterstützung zu verändern, sondern kann die EDV-Unterstützung entsprechend den unternehmensintern vorhandenen Prozessketten optimieren. Diese flexible Integration er

möglichst häufig eine deutliche Senkung der Durchlaufzeiten und kann zur Steigerung von Produkt- und Prozeßqualität führen. Zudem hat ein hoher Grad an Integration der Systeme meist auch mehr Anwenderakzeptanz zur Folge, wenn mehrfache Dateneingaben in unterschiedlichen Systemen durch die Verknüpfung der Einzelsysteme untereinander entfallen. Daten werden nur noch an einer konkreten Stelle erfaßt und gepflegt und stehen danach unterschiedlichsten Applikationen in unterschiedlichsten Unternehmensbereichen zur Verfügung. Dies stellt insbesondere in der Einführungsphase von neuen Systemen ein Nutzenpotential für die Anwender dar, das im Falle eines ergonomischen Softwareaufbaus zu einer hohen Akzeptanz bei den Benutzern führen wird.

Negativ wirkt sich allerdings der hohe Aufwand bei Releasewechslern der verwendeten Softwareprodukte aus. Eigenentwickelte Schnittstellenprogramme sind in diesem Fall mit oft nicht unerheblichem Aufwand zu aktualisieren oder teilweise neu zu entwickeln. Weitaus gravierender sind noch die Aufwände, die beim Wechsel einer integrierten CAx-Komponente anfallen (vgl. Kapitel 8.3). In diesem Fall verursacht der Aufwand für die Neu- oder Umgestaltung der Schnittstellen einen schwer kalkulierbaren Anteil für die Kosten/Nutzen - Analyse. Der hohe Grad an Integration der Einzelkomponenten setzt damit in besonderem Maße eine sorgfältige Auswahl der CAx Systeme vor der Beschaffung voraus, damit ein möglichst langfristiges Konzept wirtschaftlich realisiert werden kann. Ein Hauptaugenmerk ist dabei auf die PPS Systeme zu legen, da in diesen meist weitaus mehr firmenspezifische Eigenschaften abgebildet sind als in anderen Komponenten. Diese Systeme, die den Materialdurchsatz durch eine Unternehmen steuern und regeln sind damit ganz besonderen Auswahlkriterien bei einer eventuellen Neubeschaffung auszusetzen. Bei PPS Systemen können nicht durchdachte Umstiegskonzepte katastrophale Auswirkungen bis hin zu Lieferausfällen und Produktionsstillständen haben. Die Integration von PPS Systemen in ein CIM Konzept muß daher neben der Systemauswahl ebenfalls sorgfältigst geplant und durchgeführt werden.

3 Grundlagen der Kalkulation in der Produktentwicklung

Die möglichst frühzeitige Ermittlung von Produktkosten stellt für viele Unternehmen ein Problem dar. Kostensenkungspotentiale sind um so größer, je früher im Produkterstellungsprozeß sie erschlossen werden.

Auch die Methode des Target Costing kann letztlich nur dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn die Kostenziele schon in der Konstruktionsphase abgeglichen werden. Jeder spätere Eingriff in die Produktgestaltung ist nur noch unter zusätzlichem Zeit und Kostenaufwand realisierbar, späte Änderungskosten neutralisieren häufig die mögliche Produktkostensenkung wie es die „rule of ten“ andeutet:

Die „rule of ten“ wurde aus den Erfahrungen der Praxis heraus formuliert. Sie soll das exponentielle Wachstum der Kosten über dem Produktlebenslauf vermitteln. Änderungen sind umso kostenintensiver, je später sie erfolgen. Wenn eine Änderung während der Aufgabendklärung 1 DM kosten würde, wären es während der Konstruktion 10 DM, während der Fertigungsvorbereitung 100 DM, während der Fertigung 1000 DM und nach der Auslieferung 10000 DM (EHRENSPIEL 1998)!

Umso erstaunlicher ist es, daß die Konstruktionsbegleitende Kalkulation nach wie vor nicht flächendeckend in Industrieunternehmen verbreitet ist, obgleich verschiedenste Forschungseinrichtungen schon seit mehreren Jahren einsatzfertige Kalkulationssysteme anbieten können. Die Gründe für diesen Umstand sind wohl unterschiedlicher Natur und können in organisatorische und unternehmenspolitische Gründe unterschieden werden. Ein organisatorischer Grund ist sicherlich die nach wie vor sehr verbreitete konventionelle Vorkalkulation, die auf Basis eines Grobarbeitsplanes – dabei wird häufig der Arbeitsplan eines ähnlichen Teils zugrundegelegt – meist erst nach Detaillierung der Konstruktion erstellt wird. Der Zeitpunkt, zu dem erste Kalkulationen erfolgen, ist somit von vornherein sehr spät angesiedelt, meist in der Fertigungsvorbereitung, wodurch durchaus schon kostspielige Produktänderungen aus Kostengründen anfallen können. Die in vielen Unternehmen streng definierte Trennung von technischem und kaufmännischem Wissen tut dazu ein übriges. Es ist häufig unternehmenspolitisch nicht erwünscht, Konstrukteuren Kosten Know-How zukommen zu lassen und das Wissen über die Produktkosten wird andererseits auch von Konstrukteursseite noch zu wenig gefordert.

3.1 Prinzipielle Methoden zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation

Man unterscheidet prinzipiell qualitative und quantitative Verfahren der Kalkulation. Während mit den qualitativen Verfahren keine konkreten Kostenaussagen getroffen werden können, sondern nur Tendenzen der Kostenauswirkung konstruktiver Maßnahmen ersichtlich werden, liefern die quantitativen Verfahren konkrete in Geldeinheiten ausgedrückte Resultate.

3.1.1 Qualitative Verfahren

Zu den bekanntesten qualitativen Verfahren gehören die Gut/Schlecht Beispiele (Bild 3.1-1) die auch in vielen Lehrbüchern (EHRENSPIEL 1998, PAHL 1997) Erwähnung finden.

Gestaltungsregel	schlechter	besser
1. Geringe Modellkosten (bei wenigen Abgüssen u. kleinen Teilen)		
einfache Modelle und Kerne aus Ebenen, Quadern und Zylindern (v. a. bei kleinen Bauteilen und geringen Stückzahlen $S = 1$ bis 3)		
ungeteilte Modelle , möglichst ohne Kerne ("Rippenguß statt Hohlguß"), wenig Gußkästen		
Aushebeshrägen (1:10 bis 1:50) von Teilfuge schon in der Form vorsehen (DIN 1511) für einfaches Modell-/Kernausheben		
Hinterschnidungen und damit Steckteile meiden		
statt "Rechts- und Links-"Ausführung nur ein symmetrisches Modell bzw. wahlweise anzustekende Teile sparen		

Bild 3.1-1: Gut/Schlechtbeispiele am Beispiel von Gußmodellen

Anhand der Schautafeln mit je einer kostengünstigen und einer kostenintensiven Detailgestaltung erhält der Benutzer praxisrelevante Hinweise zur Unterstützung seiner Tätigkeit. Die Beispiele können zum Teil allgemeingültig formuliert sein, teilweise gibt es auch firmeninterne Regelungen für kostengünstiges Konstruieren, die in diese Schautafeln mit aufgenommen werden können. Ähnliche Hinweise für die Kostenintensität einer Konstruktion liefern Relativkostenkataloge. Zur Ermittlung von Relativkosten werden Kostenverhältnisse von unterschiedlichen konstruktiven Alternativen gebildet. Diese Verhältnisse können unterschiedlichster Herkunft sein. Häufig werden Werkstoffkosten zueinander in Relation gesetzt wie in Bild 3.1-2 zu sehen, alternativ sind auch relative Kosten unterschiedlicher Fertigungsverfahren ein oft genutztes Entscheidungskriterium.

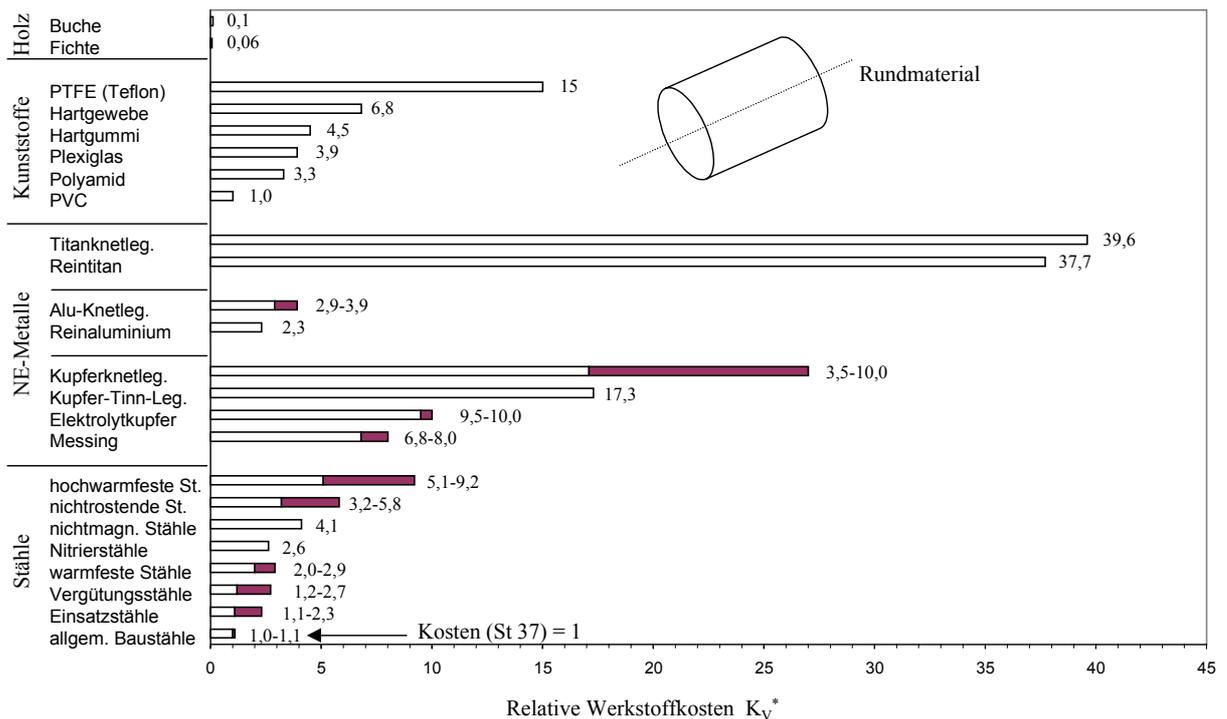


Bild 3.1-2: Werkstoffrelativkosten für Rundmaterial nach VDI 2225

Auch standardisierte Kostenstrukturen bestimmter Produktspektren zählen zu den quantitativen Kalkulationsverfahren. Zur Ermittlung der Kostenstruktur werden Verhältnisse von Teilen einer Kostensumme gebildet. Kostenstrukturen beziehen sich meist auf Kostenarten wie den relativen Anteil der Materialkosten, der Anlagenkosten oder der Personalkosten und auf Kostenabhängigkeiten bezogen betrachtet.

3.1.2 Quantitative Verfahren

Alle quantitativen Verfahren haben als Gemeinsamkeit, daß Sie auf Basis von Berechnungen oder mit statistischen Verfahren versuchen, aus bestimmten Eigenschaftsmerkmalen eines Produktes auf die Selbstkosten, Herstellkosten oder sogar Lebenszykluskosten des Produktes zu schließen.

3.1.2.1 Nicht rechnergestützte Verfahren

Nicht rechnergestützte Systeme bieten dem Entwickler die Möglichkeit, mit einfachen Berechnungsverfahren oder „Faustformeln“ (Kurzkalkulationen) Produktkosten in frühen Phasen der Konstruktion abzuschätzen. Einzelne Methoden finden auch bei den rechnergestützten Verfahren - zumindest in Teilbereichen - weitere Anwendungsgebiete.

Häufig angewendet werden Gewichtskostenkalkulationen, bei denen die Herstellkosten eines Produkts auf die Masse des Produkts bezogen werden. Die Gewichtskostenkalkulation ist prinzipiell anwendbar, wenn das Produktspektrum eines Unternehmens homogen ist (ähnliche Stückzahlen, ähnliche Produkte) und die Materialkosten einen großen Anteil an den Produkt

kosten haben. Klassische Beispiele für die Anwendbarkeit dieser Methode liefern Stahlbau oder der materialintensive Maschinen- und Vorrichtungsbau. Die Produktkosten ermitteln sich mit Hilfe der Gewichtskostenkalkulation aus der Multiplikation von Produktmasse und Gewichtskostensatz.

Ähnlich einfach in der Anwendbarkeit ist die Materialkostenmethode, die zugrundelegt, daß für ein bestimmtes Produkt das Verhältnis von Materialkosten zu Fertigungskosten (= der Materialkostensatz) meist gleichbleibend ist. Für neue Varianten dieses Produktes ermitteln sich die Herstellkosten aus dem Verhältnis von Materialkosten zu Materialkostensatz.

Eine weitere Methode der Kurzkalkulation, die auch noch ohne größere EDV Unterstützung greifbare Ergebnisse liefert sind Kostenwachstumsgesetze. Diese ermöglichen es, innerhalb einer Produktbaureihe die Herstellkosten anhand einer geometrischen Ähnlichkeit oder einer geometrischen Halbähnlichkeit zu ermitteln. Interessant ist die Verwendung von Kostenwachstumsgesetzen, weil bereits in sehr frühen Phasen der Konstruktion eine Abschätzung der wichtigsten Kostenbestandteile eines Neuentwurfs ermittelt werden können. Der formelmäßige Zusammenhang lautet für geometrisch ähnliche Produkte:

$$HK_{1n} = \frac{FKr_0}{n} \cdot \Phi_L^{0,5} + FKe_0 \cdot \Phi_L^2 + MK_0 \cdot \Phi_L^3 \left[\frac{DM}{Stück} \right]$$

Sind die Kostenbestandteile des Grundentwurfs (mit FKr_0 = Fertigungskosten aus Rüstzeiten des Grundentwurfs, FKe_0 = Fertigungskosten aus Einzelzeiten des Grundentwurfs und MK_0 = Materialkosten des Grundentwurfs) bekannt, werden nicht nur die Herstellkosten des Folgeentwurfs (HK_{1n}) transparent, sondern auch die Fertigungskosten aus Rüstzeiten und Einzelzeiten sowie die Materialkosten des Folgeentwurfs ermittelbar. Mit Hilfe differenzierter Kostenwachstumsgesetze können zudem die Fertigungskosten konkreter Fertigungsprozesse abgeschätzt werden, diese unterscheiden sich jedoch teilweise deutlich im Exponenten des Stufensprungs (Φ). Dieser kann abhängig vom Fertigungsverfahren Werte zwischen eins und drei annehmen und so zu einer hohen Streuung der Einzelergebnisse führen. Leider ist das Verfahren nur mit Einschränkungen verwendbar: Komplexe Baureihen verhalten sich häufig nicht geometrisch ähnlich oder halbähnlich, auch wenn sie sich äußerlich gleichen. Zudem ist es nötig eine relativ detaillierte Kostenstruktur eines Basisentwurfs vorliegen zu haben, um eine Kalkulation anstoßen zu können. Eine genauere Beschreibung zur Anwendung von Kostenwachstumsgesetzen findet sich bei EHRENSPIEL (1998).

3.1.2.2 Rechnergestützte Verfahren

Komplexe EDV Lösungen zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation werden nach 1980 in der Literatur erwähnt (u.a. TÖNSHOFF 1981, PRICE 1985, PRICE 1989, FERREIRINHA 1985). Bemerkenswert ist dabei, daß die ersten Systeme dieser Art ausschließlich in ingenieurwissenschaftlichen Arbeiten entwickelt worden sind. Wirtschaftswissenschaftliche Bemühungen auf diesem Sektor oder fachrichtungsübergreifende Arbeiten werden hauptsächlich seit 1990 (u.a. bei FISCHER 1992, RECHBERG 1997, MÄNNEL 1997) erwähnt.

Mit zunehmender Leistungsfähigkeit der Rechner wurden auch die Systeme zur Kalkulation immer umfassender. Aus einfachen Tabellenkalkulationssystemen entstanden hochintegrierte Softwaresysteme, die häufig eine Koppelung unterschiedlicher Einzelkomponenten analog zum CIM Gedanken schafften. Die Aussagefähigkeit der Kalkulationsresultate stieg dadurch deutlich an, die Prozeßketten von Konstruktion bis Produktion durch den Einsatz der Werkzeuge zum Teil deutlich verkürzt.

Trotz des gemeinsamen Ziels der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation sind die Systeme sehr unterschiedlich aufgebaut und versuchen mit teils grundlegend unterschiedlichen Methoden dieses Ziel zu erreichen.

Viele Systeme, die an Forschungsinstituten entwickelt wurden kamen bedauerlicherweise nicht über das Prototypenstadium hinaus, bedingt durch mangelndes Interesse der Industrie oder aufgrund zu eingeschränkter Funktionalitäten der Software. Bild 3.1-3 zeigt schematisch eine grobe Auswahl an Systemen zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation in unterschiedlicher Ausprägung mit dem Versuch einer Ordnung gemäß dem verwendeten Kalkulationsverfahren:

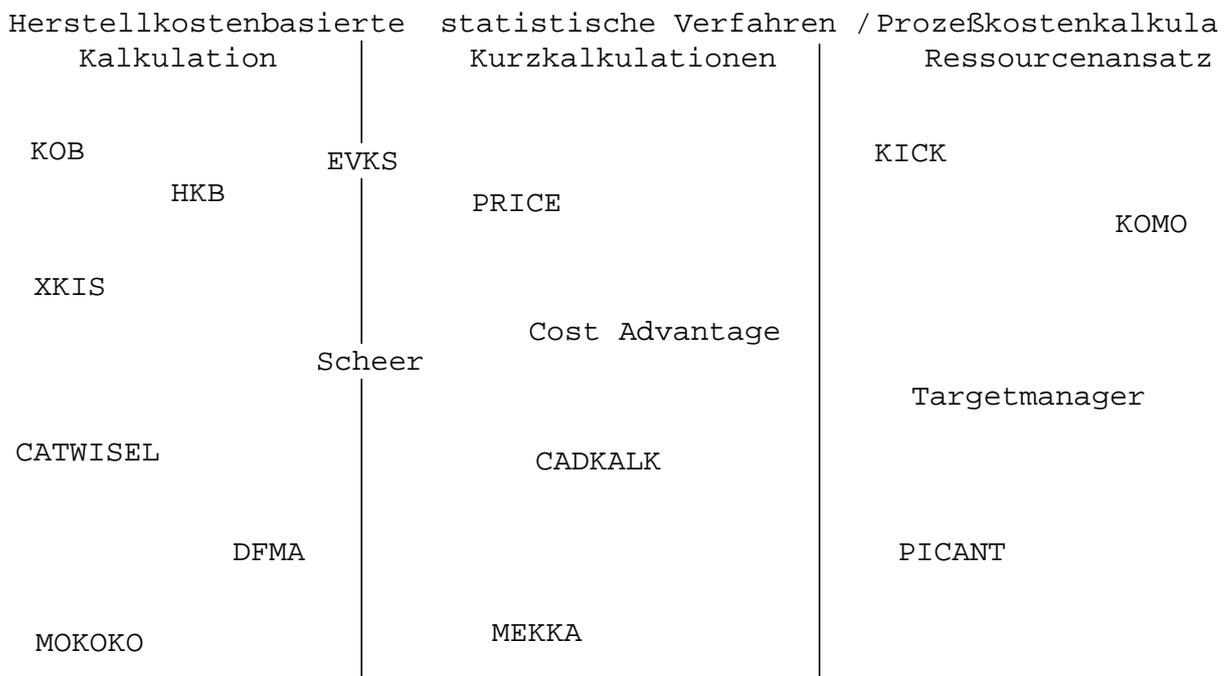


Bild 3.1-3: Versuch einer Gliederung einiger bekannter Systeme zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation anhand des zugrundeliegenden Kostenrechnungsverfahrens

PRICE (programmed review of information for costing and evaluation)

PRICE ist ein Kostenschätzsystem, das ursprünglich für die US-amerikanische Luft- und Raumfahrtindustrie entwickelt wurde. Seit ca. 1975 wird PRICE vermarktet und wird in der produzierenden Industrie praktisch eingesetzt.

Im Gegensatz zu zahlreichen parametrischen Kostenmodellen, die jeweils auf ein bestimmtes Produktspektrum ausgelegt sind, wurde PRICE-H (H=Hardware) als ein universelles System

konzipiert. PRICE wurde so ausgelegt, daß Kostenrechnungen mit einem Minimum an Hardware Informationen durchgeführt werden können (PRICE 1989). Damit eignet sich PRICE prinzipiell für eine Anwendung in besonders frühen Phasen der Produktentwicklung. Die Anwendung von PRICE ist nur von geschultem Personal möglich, da für die Kostenprognose einzelne Parameter (wie etwa Komplexitätsfaktoren) festgelegt werden müssen, die einen großen Wertebereich annehmen können und so das Kostenrechnungsergebnis nachhaltig beeinflussen. PRICE benötigt für die Kostenabschätzung Regressionsformeln (CER = cost estimation relationship), die durch bestehende Projektdaten ermittelt werden und durch „Rückwärtsrechnen“ von aktuell abgeschlossenen Projekten laufend aktualisiert werden. Ein Beitrag zur Praxisanwendung von PRICE findet sich bei RECHBERG 1997.

DFMA (design for manufacturing and assembling)

Das von Boothroyd entwickelte System ermittelt die Kosten von Produkten mit Hilfe eines mit Kosten bewerteten Arbeitsplanes. Dazu werden vom Benutzer die für Fertigung und Montage nötigen Prozesse ermittelt. Für die frühzeitige Anwendung hält DFMA aber auch Erfahrungswerte für die Kalkulation bereit. Hervorzuheben ist die Analysemöglichkeit der Konstruktion und der Prozeßwahl. Durch vom System interaktiv gestellte Fragen werden alternative konstruktive Lösungen gesucht, die eine Kostensenkung durch vereinfachte Fertigung oder kostengünstige Montage ermöglichen (vgl. BOOTHROYD DEWHURST INC.). Die Kalkulation der Bauteile erfolgt durch die Bewertung der gewählten Fertigungs- und Montageprozesse mit Kosten, analog zu der in Europa üblichen Herstellkostenrechnung.

PICANT (process integrated cost analysis tool)

Das System PICANT wurde von 5 Unternehmen der europäischen Luft- und Raumfahrtindustrie in Zusammenarbeit mit dem Institute of Structures & Advanced Materials der Universität Patras und dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik an der Universität Karlsruhe entwickelt, um bereits in frühen Phasen die Kosten von sehr komplexen Produkten abzuschätzen. Entsprechend dem Prozeßkostenansatz werden sämtliche am Produkterstellungsprozeß beteiligten Kostenstellen manuell erfaßt. Diesen Teilprozessen werden über Kostenschätzbeziehungen (CER vgl. oben) produktparameterbezogene Kosten zugewiesen. Die Prozeßfolge zur Produkterstellung wird über eine Prozeßhierarchie aufgeschlüsselt, die alle Tätigkeiten des Unternehmens darstellt. Zur Bildung der Kostenschätzbeziehungen werden kostentreibende Produktmerkmale bestimmt und mittels multipler Regression in Beziehung zueinander gebracht. PICANT bietet zusätzlich zur manuellen Eingabe der benötigten Prozesse auch ein Regelwerk, das diese Aufgaben übernimmt. Zudem bietet PICANT die Möglichkeit einer automatischen Datenübernahme aus beliebigen im Netz verfügbaren DV Programme, unter anderem auch von CAD Systemen. Zur regelmäßigen Aktualisierung der verwalteten CER's enthält PICANT ein Werkzeug zur Rückführung von IST - Daten (vgl. hierzu SPATH, EITRICH 1995, EITRICH 1996 S. 128ff, WIRTZ 1996).

XKIS (extendedes Kosten-Informationssystem)

Das am Lehrstuhl für Produktentwicklung an der Technischen Universität München entwickelte System orientiert sich sehr ausgeprägt an den Bedürfnissen der Konstrukteure. XKIS ist komplett in das gewohnte CAD System implementiert (aktuell ist XKIS für die CAD Systeme CADAM und Pro/ENGINEER verfügbar) und stellt auch die Kostenrechnungsergebnisse direkt am CAD-Bauteil oder in Diagrammform dar, wie Bild 3.1-4 zeigt.

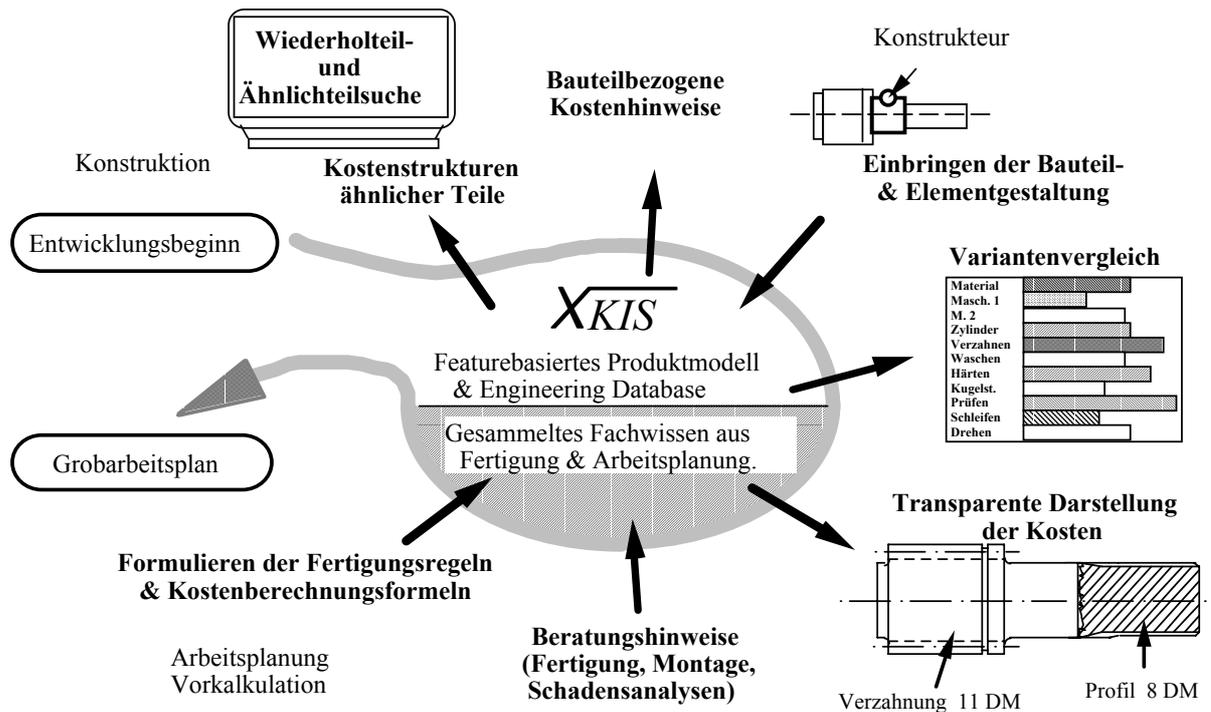


Bild 3.1-4: XKIS Funktionalitäten zur Unterstützung von konstruktiven und arbeitsplanerischen Funktionen (STEINER 1996)

Aus den Geometrie- und Technolgie-daten die ein Produkt beschreiben erstellt XKIS automatisch einen groben Arbeitsplan und bewertet die für die jeweils benötigten Fertigungsprozesse ermittelten Fertigungszeiten mit Kosten. Zur Ermittlung der Selbstkosten nutzt XKIS die im Maschinenbau häufig anzutreffende differenzierende Zuschlagskalkulation. Zusätzlich bietet XKIS ein Modul zur featurebasierten Wiederholteilesuche, um der Variantenvielfalt in Unternehmen entgegenzuwirken (vgl. auch STEINER 1996, SCHAAL 1992).

KICK (Konstruktionsintegriertes computerunterstütztes Kosteninformationssystem)

KICK entstand als eine fachübergreifende Entwicklung von Ingenieuren und Betriebswirten an der Gesamthochschule Paderborn. Basierend auf einem Prozeßkostenansatz werden einem Produkt regelbasiert „Vorgangsobjekte“ zugeordnet. Diese Vorgangsobjekte entsprechen den zur Produkterstellung notwendigen Ablauf im Unternehmen. Den Vorgangsobjekten werden unter Berücksichtigung von Herstellungsentscheidungen die zu verwendenden Ressourcen zugeordnet. Die Bewertung der beanspruchten Ressourcen mit Kosten führt zu den ge

wünschten Prozeßkosteninformationen wie in der groben Struktur von Bild 3.1-5 zu erkennen ist (vgl. auch FISCHER 1994, MÖLLER 1997).

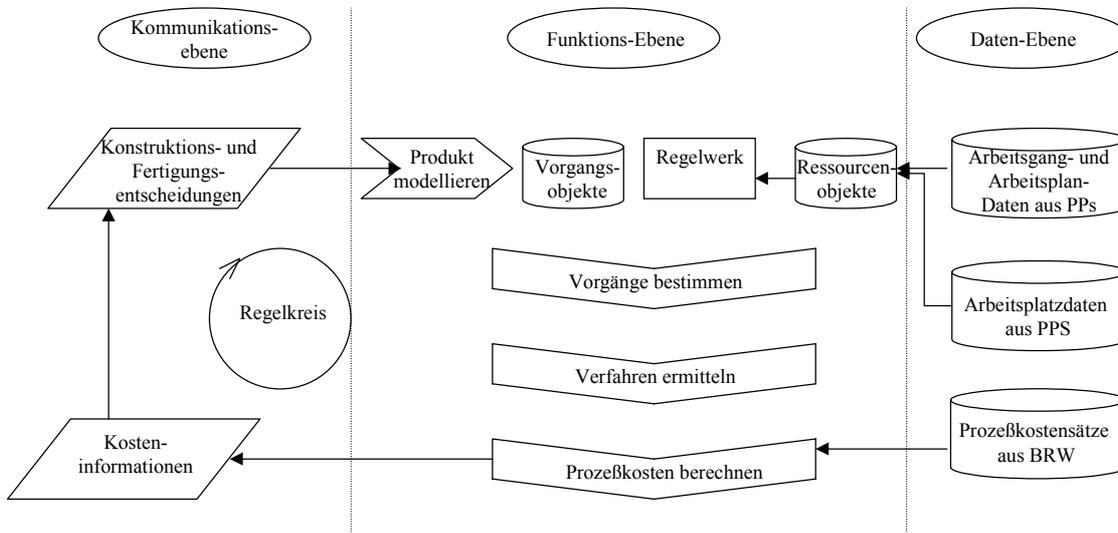


Bild 3.1-5: Grobstruktur des Systems KICK (nach FISCHER ET AL. 1994)

EVKS (Entwicklungsbegleitendes Vorkalkulationssystem)

EVKS hat die herausragende Eigenschaft, den gesamten Entwicklungsprozeß mit Kostenprognosen unterstützen zu können. In den frühen Phasen der Konstruktion dienen Nachkalkulationen von ähnlichen Produkten die in Kostenfamilien zusammengefaßt wurden. Mit Hilfe von Regressionsformeln werden diese bekannten Kostendaten zur Kostenprognose für neue Produkte dieser Kostenfamilie verwendet.

In späteren Phasen der Konstruktion werden sukzessive alle Einzelteile und Baugruppen des Produktes kalkuliert. Die Berechnung der Kosten erfolgt dabei über Kostenwachstumsgesetze oder Funktionskostenbetrachtungen. Die zur Kalkulation notwendigen Informationen können direkt aus PPS- Kostenrechnungs- und CAD-Systemen übernommen werden. Weitere Informationen zu EVKS finden sich bei GRÖNER 1991.

HKB (Herstellkostenberechnung)

Das an der ETH Zürich Anfang der 80'er Jahre entwickelte HKB-System unterstützt den Konstrukteur vor allem in den späteren Phasen der Konstruktion, wenn die wesentlichen geometrischen und technologischen Eigenschaften eines Produkts bereits festgelegt sind. Die Kostenrechnung erfolgt durch Bewertung eines Arbeitsplanes - der Arbeitsplan wird bei der Anwendung fallspezifisch, interaktiv erstellt - die Kostenrechnungsmethode ist die differenzierende Zuschlagskalkulation, die Zuweisung der Gemeinkosten erfolgt über Zuschlagssätze. Die Herstellkosten können auf Teilebasis schnell ermittelt werden, wenn Merkmale wie Gestalt, Werkstoff, Abmessungen, Toleranzen und Oberflächen bekannt sind. HKB erlaubt eine Dateneingabe manuell über Eingabemasken, es sind auch ASCII Schnittstellen zu einigen

CAD Systemen verfügbar (vgl. auch MIRAKON 1994). Mit HKB können unmittelbar Dreh-, Fräs-, Guß-, Schweiß-, Schmiede-, Blech- und Kunststoffteile, die ca. 80% der Gesamteile eines Produktes ausmachen berechnet werden (nach FERREIRINHA 1987). In aktuellen Praxisberichten wurde das Modul zur Kostenanalyse verbunden mit einer Prozeß-FMEA (Fehlermöglichkeits und Einflußanalyse). Dabei greifen beide Anwendungen auf eine einheitliche Prozeß-Struktur zu (FERREIRINHA 1999).

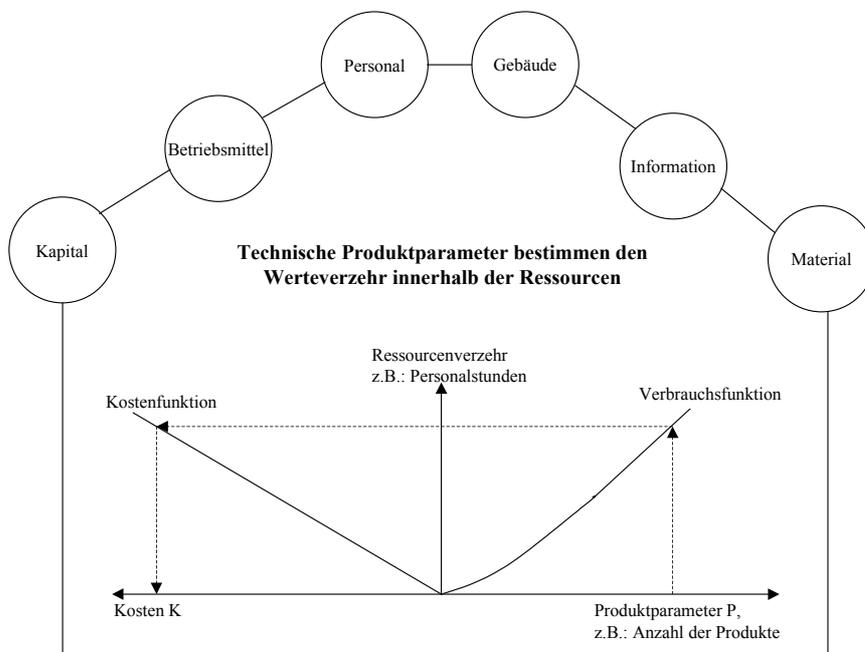
CATWISEL

CATWISEL beruht auf einem speziell für den Getriebebau entwickelten Expertensystem. Grundlage für die Wissensverarbeitung mit CATWISEL ist die Definition von technologieorientierten CAD-Funktionselementen für Getriebebauteile und speziell für Gehäuse.

Neben Geometrieinformationen werden auch Funktionen und Technologien mit abgebildet. In Hinblick auf eine fertigungs-, montage-, und kostengerechte Gestaltung des Getriebes wird die aktuelle Konstruktion durch das Expertensystem überprüft. Werden Regeln verletzt, so wird der Anwender informiert. Die Kostenrechnung erfolgt über ein externes CAP System, dessen errechnete Fertigungszeiten von CATWISEL zur Kostenermittlung herangezogen werden (vgl. IAF 1995-1).

KOMO (Kostenmodell)

Das an der RWTH Aachen entwickelte System KOMO bewertet Produkte anhand des Verzehr an Unternehmensressourcen während der Produkterstellung. Als Ressourcen werden wie in Bild 3.1-6 dargestellt Betriebsmittel, Kapital, Personal, EDV und Gebäude unterschied-



den.

Bild 3.1-6: Elemente des Ressourcenmodells (nach EVERSHEIM 1997)

Die Zuordnung des Ressourcenverzehrs zu Produkten erfolgt über eine Verbrauchsfunktion und eine Kostenfunktion. Die Verbrauchsfunktion beschreibt den Betrag des Ressourcenverzehrs ermittelt durch eine Beziehung aus Produktparametern. Die Kostenfunktion weist dem Ressourcenverzehr einen bestimmten Kostenbetrag zu. Mit Hilfe eines Variantenbaumes versucht KOMO den Eingabeaufwand für eine Neukalkulation gering zu halten. Durch den wechselnden Einsatz von Variantenbaum und Komo wird es möglich, sukzessive eine kostengünstige und zugleich variantenorientierte Produktgestalt zu entwickeln.

MOKOKO (Montage-, fertigungs-, und kostengerechte Konstruktion)

MOKOKO wurde am IAO der Fraunhofergesellschaft in Stuttgart entwickelt. Das System besteht aus einer objektorientierten Datenbank, die an ein CAD System gekoppelt ist. Zur Kalkulation werden die Materialkosten eines Bauteils anhand der CAD Daten abgeschätzt. Anhand von MTM-Zeiten oder über Regressionsgleichungen können Fertigungs und Montagezeiten abgeschätzt werden, anhand derer auf die Produktkosten geschlossen werden kann. Die Kalkulation kann direkt vom CAD System aus angestoßen werden. Ein hinterlegtes Regelwerk ermöglicht es nachträglich noch die Konstruktion zu überprüfen und zu optimieren. Zudem stellt MOKOKO dem Konstrukteur umfassendes Know How aus den Produktionsbereichen zur Verfügung wie die verfügbaren Anlagen, Layouts, Arbeitsplätze, Werkzeuge und Tätigkeiten. Dies wirkt sich insbesondere bei räumlich weit auseinanderliegenden Produktentwicklungs- und Produktionsbereichen positiv aus. Weitere Informationen zu MOKOKO finden sich bei BOPP 1995.

KOB (Konstruktionsbewertung)

Das am Institut für Produktionstechnik ifp entwickelte KOB ermöglicht es, anhand weniger Bauteilparameter die voraussichtlichen Fertigungskosten zu quantifizieren. Mit Hilfe einer Arbeitsplan- und Bauteilanalyse werden Verknüpfungen zwischen Bauteilgeometrie und Technologiedaten zu Fertigungsprozessen und Fertigungszeiten hergestellt. Durch eine hinterlegte Betriebsmittelzuordnung können letztlich die Kosten für die Arbeitsschritte und in der Summe für das Bauteil ermittelt werden.

Das System KOB ist in einem Standard-Kalkulationsprogramm (MS Excel¹) realisiert worden. Verknüpfungen zu anderen DV Systemen bestehen nicht, die Datenerfassung erfolgt über mehrere Eingabeebenen (DEBUSCHEWITZ 1995).

Cost Advantage

Das in den USA entwickelte System ist in ein CAD System (Pro/ENGINEER) eingebettet. Damit erhält der Benutzer die Möglichkeit, die Featurestruktur seines 3D Produktmodells online in das Kalkulationssystem zu übernehmen. Eine Wissensbasis prüft die Bauteildaten hinsichtlich der generellen Fertigbarkeit, über Regressionsgleichungen werden abhängig von

¹ Excel ist ein eingetragenes Warenzeichen der Microsoft Corporation

den Produktparametern Kosten ermittelt. Zusätzlich bietet Cost Advantage ein Informationssystem zur kostengünstigen Produktgestaltung für den Konstrukteur (COGNITION 1995).

Expertensystem Shell

Mit Hilfe des Expertensystems ist es möglich, in unterschiedlichen Phasen der Konstruktion unterschiedliche Kalkulationsverfahren heranzuziehen. Dabei unterscheiden Priorisierungsregeln welches Verfahren zu welchem Zeitpunkt das aussagekräftigste Ergebnis liefert. Prinzipiell stehen Zuschlagskalkulation und Kurzkalkulationen zur Verfügung. Als Kostenrechnungsergebnis liefert das System Herstellkosten, schlüsselt aber nur nach Material und Fertigungseinzelkosten auf.

Eine Einbindung der betrieblichen DV-Systeme ist prinzipiell möglich, so können Daten von PPS und CAD-Systemen eingebunden werden, aber auch statistische Verfahren oder Klassifizierungssysteme.

Ein Vorteil des Systems liegt in der Generierung von Vorschlägen zum Kostensenken. Dazu werden verschiedene konstruktive Lösungen erarbeitet und bezüglich ihrer Kosten bewertet. Zusätzliche Informationen zur Expertensystem Shell finden sich in BOCK 1991 und BERKAU 1997.

TARGETMANAGER

Das System TARGETMANAGER wurde als Target Costing-Standardsoftware zum Aufbau eines marktorientierten Zielkostenmanagement entwickelt. Damit ist die Konstruktionsbegleitende Kalkulation nur ein Bestandteil des Systems, das zudem für die Marktdatenverwaltung, Projektkostenmanagement, Wirtschaftlichkeitsrechnung, Zielkostenspaltung und Zielkostenkontrolle eingesetzt wird. Das Modul zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation setzt auf einem Prozesskostenansatz auf. Mit Hilfe eines weiteren Softwaremoduls (PROZESSMANAGER) werden die zur Produkterstellung notwendigen Teilprozesse ermittelt und mit Kosten bewertet. Für die Bewertung der Fertigungskosten bietet TARGETMANAGER eine Schnittstelle zu Arbeitsplanungssystemen (vgl. auch RENNER 1997).

Schon dieser grobe Überblick über die bekannteren Systeme der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation zeigt, daß eine Klassifizierung der Systeme sicherlich genauso schwierig zu handhaben ist, wie ein Vergleich dieser Werkzeuge. In der Literatur finden sich entsprechend wenige direkte Vergleiche der Systeme untereinander, auch bedingt durch mangelnde Informationen über die einzelnen Werkzeuge. Dennoch wurden bereits erste Versuche einer Bewertung vorgenommen, die in der Folge kurz vorgestellt und kritisch gewürdigt werden sollen.

3.1.2.3 Direkte Vergleiche von Systemen der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation

Die große Anzahl der in Praxis und Forschung verfügbaren Systeme zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation legt es nahe, Benchmarks zwischen den einzelnen Systemen vorzunehmen. Zwei bekanntere Ansätze stammen von SCHOLL (1998) und HEINE (1995):

3.1.2.3.1 Systemvergleich von Scholl

Der Vergleich nach Scholl betrachtet die Systeme KICK, KOMO, XKIS, PRICE, DFMA und Target Manager. Zur Bewertung der Systeme wird eine aus 8 Bedingungen zusammengesetzte Anforderungsliste definiert, die zum besseren Verständnis von Bild 3.1-7 kurz erläutert werden:

- Differenzierte Kostenprognosen:

Die Kalkulation sollte sich nicht auf die Herstellkosten beschränken, um die nicht direkt am Produkterstellungsprozeß beteiligten Unternehmensbereiche erfassen zu können. Wünschenswert ist eine Selbstkostenrechnung, optimal eine Prozeßkostenbetrachtung.

- Durchgängigkeit:

Zum Abgleich mit Zielkosten sollen Kosteninformationen während des gesamten Konstruktionsprozesses geliefert werden. Die Kalkulationsmethoden müssen sich dabei dem Grad der Produktfestlegung flexibel anpassen können.

- Frühzeitige Anwendung:

Der Zeitpunkt zu dem kostenbedingte Änderungen an einer Konstruktion vorgenommen werden müssen sollte möglichst in den frühen Phasen der Konstruktion liegen, um den Aufwand der Änderung möglichst gering halten zu können. Daher müssen Kosteninformationen in frühen Phasen vorliegen.

- Breiter Anwendungsbereich:

Die Kostenrechnungsmethoden sollen in unterschiedlichsten Unternehmen unabhängig vom Produktspektrum anwendbar sein. Zudem sollen sowohl Neu- als auch Anpassungs- und Variantenkonstruktionen bewertet werden können.

- Verhaltensbeeinflussung:

Die Kalkulationsresultate müssen dem Konstrukteur Hinweise geben, welche Teile seiner Konstruktion er anpassen muß um kostengünstiger zu werden.

- Geringer Erstellungs- und Pflegeaufwand:

Die Wirtschaftlichkeit des Systems in der Erstellung und Wartung muß gewährleistet sein.

- Einfachheit und Transparenz:

Das Kalkulationsverfahren muß durchschaubar sein, um dem Konstrukteur die kostenmäßigen Auswirkungen seiner Entscheidungen transparent zu machen. Eine einfache Anwendung ist ein Erfolgskriterium für Kalkulationssysteme.

Kostenmodell \ Anforderung	det. Prognosen	differenzierte Kuka	pauschale Kuka	Bemessungsgleichung	Kostenwachstumsgesetze	Suchkalkulation	KICK	KOMO	XKIS	PRICE	DFMA	Target Manager
Verursachungsgerechte Kostenzurechnung												
Differenzierte Kostenschätzung												
Durchgängigkeit												
Frühzeitige Anwendung												
Breiter Anwendungsbereich												
Verhaltensbeeinflussung												
geringer Pflegeaufwand												
Einfachheit und Transparenz												

Legende gegeben teilweise gegeben nicht gegeben

Bild 3.1-7: Systemvergleich nach SCHOLL (1998)

Scholl bewertet, inwieweit diese Anforderungen durch die Systeme erfüllt werden. Daß anhand dieser Bewertungskriterien ein gewisser Entscheidungsspielraum gegeben ist, ist selbstverständlich. Dies führt auch dazu, daß Bewertungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten (vgl. HORVATH 1996 S. 62 und SCHOLL 1998 S. 54) zu leicht unterschiedlichen Bewertungsergebnissen geführt haben. Die in Bild 3.1-7 und in Bild 3.1-8 mitbeinhalteten Kurzkalkulationsverfahren sind kritisch zu würdigen, da diese eigentlich auf anderen Grundlagen aufbauen als die Rechnerwerkzeuge zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation. Ein Vergleich mit diesen Systemen ist daher problematisch.

Bemerkenswert ist, daß eine Gewichtung der Anforderungen nicht vorgenommen wird, die Anforderungen werden daher als gleich wichtig angesehen.

3.1.2.3.2 Der Systemvergleich von Heine

Mit ganz ähnlichen Anforderungen versucht Andreas Heine eine Bewertung der Systeme zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation. Er bewertet die Eignung der Systeme für die Konstruktionsbegleitende Kalkulation mit einer Bewertungsskala von 0 (Sehr wenig geeignet) bis 6 (sehr gut geeignet) anhand der 6 Anforderungen:

- Anwendungsbreite:

Diese Anforderung beinhaltet den Grad der Übertragbarkeit der jeweiligen Methode auf andere Anwendungsgebiete, aber auch die technischen und organisatorischen Einflüsse auf die Systemeinführung.

- Einsatzzeitpunkt:

Der Produktentwicklungsprozeß gliedert sich laut VDI 2222 in die Phasen Aufgabenklärung, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten. Je früher im Produktentwicklungsprozeß Kostenaussagen getroffen werden können, desto leichter sind Änderungen noch zu berücksichtigen.

- Genauigkeit:

Die Bewertung erfolgt entsprechend dem vom Systemlieferanten angegebenen Kalkulationsgenauigkeiten, wobei meist die relative Ergebnisgenauigkeit (zu den Ergebnissen der Nachkalkulation) genannt wird, teilweise aber auch die relative Standardabweichung.

- Erstellungs-, Aktualisierungs- und Anwendungsaufwand

Dieses Kriterium beinhaltet den Zeit und Kostenaufwand für Installation, Initialisierung, Wartung und Anwendung des Systems.

- Informationsgehalt

Damit wird die Eignung des Systems bewertet, dem Konstrukteur die wesentlichen Einflußgrößen auf die Produktkosten transparent zu machen und auch Hinweise zur kostengünstigeren Gestaltung zu liefern.

- Anwenderfreundlichkeit

Die Nutzung eines Systems zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation steht und fällt mit der Akzeptanz im Unternehmen. Dabei ist eine gute Bedienbarkeit und eine weitreichende Unterstützung des Anwenders während der Nutzung des Systems eine wesentliche Anforderung.

Auch der Vergleich von Heine nimmt keine Gewichtung der Anforderungen vor. Durch das Notenschema der Bewertung ist aber von vornherein eine feinere Abstufung möglich als mit den Bewertungen von Scholl.

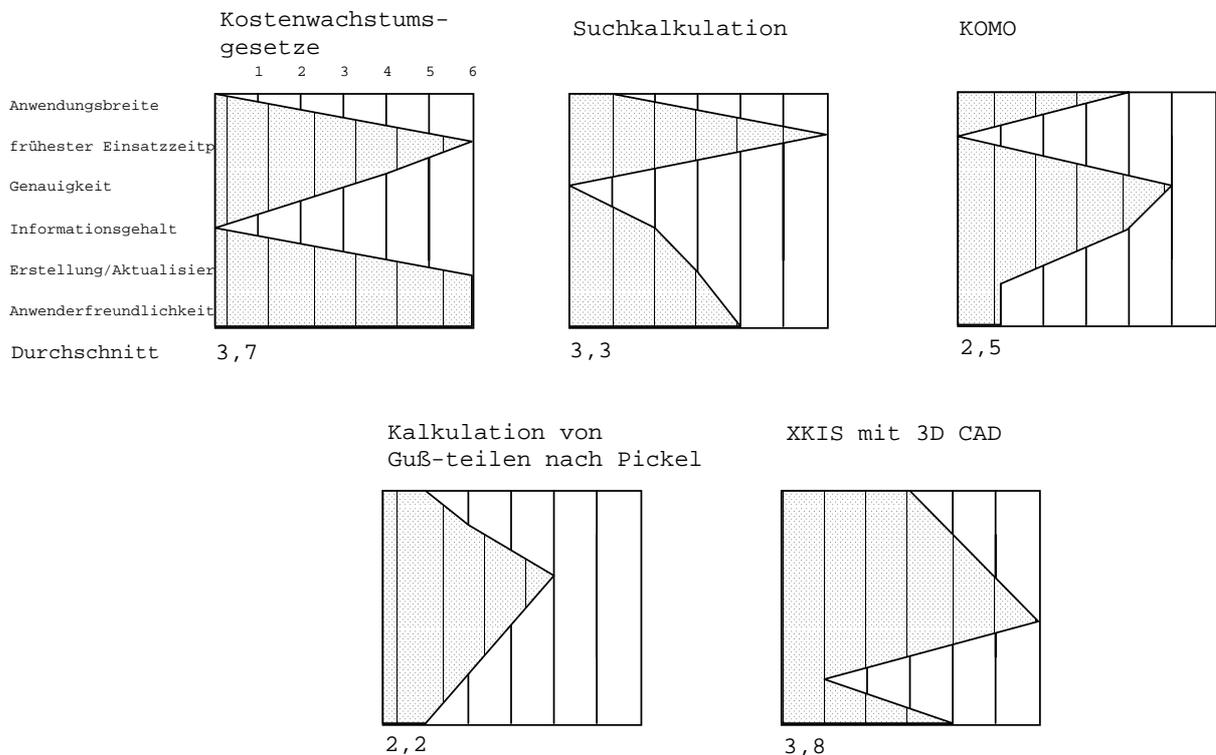


Bild 3.1-8: Systemvergleich nach HEINE (1995)

Auf den ersten Blick mag es erstaunlich wirken, daß Heine trotz relativ ähnlicher Anforderungen zu einem deutlich anderem Ranking der Systeme kommt als Scholl wie in Bild 3.1-8 deutlich wird.

Besonders auffällig ist, daß gerade ein System (KOMO) das im Vergleich von Scholl als besonders geeignetes Werkzeug erscheint, im Vergleich von Heine mit einer der niedrigsten Durchschnittsbewertungen abschneidet, während ein anderes System (XKIS) bei Scholl relativ schwach bewertet wird und nach Heine mit guten Bewertungen überzeugt.

Worin liegen die Gründe für derart signifikanten Unterschiede?

Ein Hauptgrund für die schwierige Bewertung von Systemen zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation ist sicherlich die mangelnde Verbreitung und die wenige Praxiserfahrung, die mit den vorhandenen Systemen gewonnen werden konnte. Viele der Software-Lösungen sind auf sehr spezielle Anforderungen hin optimiert und liefern in einem relativ engen Spektrum sehr gute Ergebnisse, die von anderen Systemen nicht erreicht werden können.

Durch die mangelnden Praxiserkenntnisse werden bei den Bewertungen im wesentlichen die Veröffentlichungen der Softwarevertriebsfirmen oder der beteiligten Forschungsinstitute herangezogen. Diese Veröffentlichungen sind inhaltlich sicherlich fundiert, ob die unter Labor

bedingungen entwickelten Systeme aber den Anforderungen der industriellen Praxis hinsichtlich Systemstabilität und Implementierbarkeit entsprechen können, ist bei einer theoretischen Betrachtung der Systeme nicht bewertbar.

Zudem ist es nicht ausreichend, die verschiedenen Werkzeuge nach den oben angeführten Kriterien zu bewerten. Die Anforderungen an derartige Systeme sind in hohem Maße von firmenspezifischen Einflüssen abhängig.

So ist beispielsweise die Anforderung, ein System zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation sollte prozeßkostenbasiert kalkulieren nicht sinnvoll, wenn im Unternehmen eine andere Kalkulationsmethode für die Vor- und Nachkalkulation eingesetzt wird. Die mit dem konstruktionsbegleitenden System ermittelten Kosten sind dann nicht mehr mit den Resultaten der betrieblichen Kostenrechnung vergleichbar und bieten damit auch keine geeignete Grundlage für ein erfolgreiches Kostenmanagement. Die verwendete Kalkulationsmethode (die in einigen Systemen ohnehin nicht mehr statisch auf eine Methode festgelegt ist) darf also nur insofern ein Bewertungskriterium sein, daß ein durchgängiges Kostenmanagement von der Vorkalkulation bis zur Nachkalkulation möglich ist.

Ein weiteres Problem stellt die subjektive Bewertung dar. Es existieren für spezielle Anforderungen keine allgemeingültigen und objektiven Bewertungsmöglichkeiten. Der Grad der Erfüllung von Anforderungen ist damit eine an den jeweiligen Anwendungsfall angepasste Größe.

Anhand dieser Problemstellung sind Vorschläge zu erarbeiten, wie sich Entscheidungsträger bei der Auswahl von Systemen zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation orientieren können.

1) Zu welchem Zeitpunkt soll die erste Kostenprognose erstellt werden?

Die Forderung nach einer möglichst frühzeitigen Abschätzung von Produktkosten ist generell berechtigt. Je früher im Produktentwicklungsprozeß Änderungen hinsichtlich der kostengerechten Produktgestaltung eingeleitet werden können, umso weniger Aufwand (an Zeit und Kosten) bedeuten diese Eingriffe. Es kann jedoch andererseits auch nicht sinnvoll sein, gravierende Eingriffe aus Kostengründen in den sehr frühen Phasen zu veranlassen, wenn das Kalkulationsergebnis aufgrund einer noch unscharfen Produktbeschreibung zu ungenau ist. Dieses Vorgehen könnte zu schwerwiegenden Fehlentscheidungen führen.

Aus diesem Grund bieten sich die Verfahren die in den frühen Phasen der Produktentwicklung ansetzen vor allem bei sehr homogenen Produktstrukturen an. Wenn die Produkte ähnlich zu Vorgängerprodukten gestaltet sind, ist es durchaus möglich, mit wenigen beschreibenden Produktparametern über „cost estimation relationships“ eine für die Entscheidungsfindung hinreichend genaue Kostenprognose zu erhalten und somit frühzeitig Kostengesichtspunkte in die Entwicklung einfließen lassen.

Bei heterogenen Produktstrukturen oder Einzelfertigern sind frühzeitige Kalkulationen auch sinnvoll, jedoch muß berücksichtigt werden, daß die Kalkulationsresultate sehr unscharf sein können. Zu einer Entscheidungsfindung müssen diese Resultate sehr kritisch betrachtet und diskutiert werden. In diesen Anwendungsbereichen zeigen sich dadurch sehr große Schwankungen in den Kalkulationsergebnissen zwischen der Konzeptphase und der Detaillierungs

phase. Sinnvollerweise beschränkt sich die Kalkulation in frühen Phasen auf Hauptbestandteile oder Kostentreiber der Konstruktion. Der Einsatz einer Analysemethode zum Finden der Kostentreiber bietet sich bei den heterogenen Produktspektren an. Besonders die ABC Analyse (Paretoanalyse) hat sich beim kostengünstigen Konstruieren bewährt (vgl. hierzu EHRENSPIEL 1998 S.73)

2) Welches Kalkulationsschema ist im Unternehmen vorherrschend?

Für eine optimale Unterstützung des Kostenmanagements sollten die Methoden der Kalkulation in den einzelnen Phasen der Produkterstellung weitgehend identisch sein. Dies ist zum einen hilfreich, um die Genauigkeit der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation anhand der Nachkalkulation verifizieren zu können, zum anderen auch um die Kalkulationsergebnisse (und damit auch die Auswirkung von konstruktiven Änderungen auf die Produktkosten) durchgängig vergleichen zu können. Dies sollte nicht zu Mißverständnissen führen: Es macht durchaus Sinn, Kontrollrechnungen zeitweise mit anderen Kalkulationsverfahren vorzunehmen. Damit ist zumindest eine größenordnungsmäßige Verifizierung der Kalkulationsergebnisse möglich. Es ist bei der durchgängigen Nutzung der Zuschlagskalkulation im Unternehmen vorteilhaft, als Kontrollrechnung auch Prozeßkostenbetrachtungen an den Produkten vorzunehmen. Dies kann dazu beitragen, die Variantenvielfalt im Unternehmen besser einzuschätzen, als dies mit der Zuschlagskalkulation der Fall ist. Dabei muß die unterschiedliche Betrachtungsweise der Kosten berücksichtigt werden die im Falle einer Vergleichsrechnung mehr allgemeiner und qualitativer zu sehen ist. Für den Kostenzielabgleich im Produkterstellungsprozeß dagegen muß das verwendete Kalkulationsverfahren über den kompletten Prozeß gleich bleiben!

3) Wie integriert sich das System in die vorhandene EDV-Landschaft?

Die oben kurz beschriebenen Rechnerwerkzeuge sind für die unterschiedlichsten EDV-Plattformen entwickelt worden, wobei die einzelnen Systeme meist nur für eine Plattform konzipiert sind. Dies ist insbesondere bei heterogenen EDV-Netzen ein Nachteil. Die Bandbreite reicht von großrechnerbasierten bis hin zu PC-basierten in Standard-Kalkulationssoftware integrierten Lösungen. Daneben verfügen viele Systeme auch noch über Schnittstellen zu anderen Programmen, etwa CAD-Systemen oder Datenbanken. Dann ist darauf zu achten, daß zum einen alle im Unternehmen genutzten Systeme unterstützt werden – bzw. bei Beschaffung neue zusätzliche Schnittstellen entwickelt werden und daß im Unternehmen ausreichend Know How in diesen Systemen vorhanden ist. Die vom Kalkulationssystem benötigte Hard- und Software sollte nach Möglichkeit bereits im Unternehmen verfügbar sein, da die Einführung eines neuen Programmsystems auf einer neuen EDV-Plattform – auch ohne die Betrachtung der Anschaffungs- und Wartungs- und Pflegekosten – zu ernststen Akzeptanzproblemen führen wird. Schnittstellen zu PPS-Systemen sollten bereits im Vorfeld intensiv auf Verwendbarkeit getestet werden, da die meisten PPS Systeme stark unternehmensspezifisch angepaßt sind.

4.) Welche Auswirkungen hat die Einführung auf die Unternehmensorganisation?

Eine sinnvolle Konstruktionsbegleitende Kalkulation erfordert abteilungsübergreifendes Handeln. Kostenrechnungsspezialisten müssen in jedem Fall in das Projekt „Konstruktionsbegleitende Kalkulation“ miteingebunden sein. Die Kostenrechner sind verantwortlich für die firmenspezifischen Anpassungen der Kostenrechnungsmethoden und für die Unterweisung der Konstrukteure in Anwendung des Systems und Interpretation der Ergebnisse. Bei Systemen, die mittels eines bewerteten Arbeitsplanes Kosten ermitteln ist zusätzlich noch die Einbeziehung von Fertigungsplanern erforderlich, die dafür Sorge tragen, daß die von den Systemen ermittelten Fertigungsprozeßpläne mit der betrieblichen Realität übereinstimmen. Die Berücksichtigung von Konstrukteuren und Entwicklern versteht sich angesichts des Themenbereichs von selbst. Diese Zusammenarbeit unterschiedlichster Abteilungen eines Betriebs erfordert häufig eine Umstrukturierung bestehender Prozeßabläufe. Eine streng sequentielle Abarbeitung von Projekten ist mit zunehmendem Integrationsgrad nicht mehr möglich. Eine Parallelisierung von Prozessen bietet dagegen Vorteile, die sich nicht nur in der frühzeitigen Verfügbarkeit von Kosteninformationen äußert, sondern sich auch positiv auf Durchlaufzeiten und Produktqualität wie Prozeßqualität auswirkt. Das Zeit- und Kostensenkungspotential durch abteilungsübergreifende Zusammenarbeit liegt auch in der Vermeidung unnötiger Iterationsschleifen zwischen unterschiedlichen Abteilungen. Dennoch gilt:

Je mehr Unternehmensteile miteinbezogen werden, umso genauer ist auf die Zeit- und Kapazitätsplanung bei der Einführung eines Systems zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation zu achten. Wie in 5.1 genauer beschrieben ist, muß auch berücksichtigt werden, daß bei einer Erhöhung des Aufwands bei der Produktentwicklung entsprechende Kapazitätsanpassungen vorgenommen werden müssen. Der Einsatz eines Systems zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation vermeidet unnötige Iterationsschritte zwischen den an der Produkterstellung beteiligten Funktionen und erschließt dadurch ein erhebliches Kostensenkungspotential.

5.) Wie verhalten sich die Kosten im Verhältnis zum Nutzen des Systems?

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung muß auf das eigene Unternehmen bezogen sein. Allgemeine Hinweise auf potentielle Einsparvolumen durch die Systemhersteller können kein Maßstab für die Systembewertung sein. Bereits bei der Planung der Einführung eines Kalkulationssystems sollte feststehen, für welches Produktspektrum die Anwendung sinnvoll ist. Die Nutzen-Potentiale können über Richtwerte aus der Vergangenheit oder aus den Ergebnissen von Wertanalysen grob abgeschätzt werden. Auf der Seite der Kosten sind die Anschaffungskosten eines Systems sicherlich nicht hauptausschlaggebend. Die Kosten für die Systemeinführung und Pflege werden die Beschaffungskosten bei weitem übertreffen. Die Systemeinführung beinhaltet dabei nicht nur Installation und Schulungsmaßnahmen! Kalkulationssysteme sind sehr stark unternehmensspezifisch ausgerichtet. Die Abbildung der im Betrieb üblichen Kalkulation im Softwaresystem erfordert bei vielen der vorgestellten Systeme erhebliche Aufwände. Daher sollten die Zeitpläne und Kapazitätspläne sowie die Budgets für die Einführung möglichst detailliert ausgearbeitet werden.

6.) Ist die Software benutzerfreundlich?

Die Einführung eines Systems zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation ist ein Eingriff in die vorhandenen Abläufe der Produktentwicklung. Zusätzlich zur reinen Konstruktionstätigkeit und den sonstigen Aufgaben des Konstrukteurs wird ein weiteres Tätigkeitsgebiet eingelastet. Damit sind Akzeptanzprobleme von vornherein möglich und wahrscheinlich. Zudem sind Konstrukteure in Ihrer Ausbildung häufig nur sehr bedingt mit dem Thema Kostenrechnung konfrontiert worden. Die Anwendung der Systeme sollte daher ohne größere Einarbeitung möglich sein. Das spricht für Systeme mit grafischen Oberflächen. Jedoch haben auch Systeme, die in die gewohnte Oberfläche eines CAD-Systems eingearbeitet wurden deutliche Vorteile. Der zusätzliche Aufwand, den die Konstruktionsbegleitende Kalkulation für den Konstrukteur bedeutet darf bei künftigen Kapazitätsplanungen nicht außer Acht gelassen werden.

7.) Wird der Konstrukteur bei der Suche nach kostengünstigen Lösungen unterstützt?

In den frühen Phasen der Konstruktion bilden quantifizierte Kostenaussagen nur den ersten Schritt zum kostengünstigen Produkt. Noch wichtiger als das Kalkulationsresultat ist es, dem Konstrukteur anschaulich zu machen, welche Details der Konstruktion kostengünstiger gestaltet werden können und sollen und in der Folge auch, wie man diese Details kostengünstiger gestalten kann.

8.) Kann auf die Kalkulationsresultate fachbereichsübergreifend zugegriffen werden?

Im Zuge des Kostenmanagements ist es notwendig, Kalkulationsergebnisse zu kommunizieren. Da das Kostensenken prinzipiell Teamaufgabe ist, muß gewährleistet sein, daß alle beteiligten Fachbereiche eines Unternehmens Zugriff auf identische Kosteninformationen haben. Optimal für die Anwender ist es, wenn sie von räumlich getrennten Arbeitsplätzen (auch von unterschiedlichen Standorten) auf ein zentral gepflegtes und aktualisiertes System zugreifen können. Anhand dieser gepflegten Kalkulationsergebnisse können anschließend Kostensenkungsmaßnahmen abgesprochen werden oder Kostenzielabgleiche durchgeführt werden.

Die Bewertung von Systemen kann anhand dieser Anforderungen – die keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit erheben - vorgenommen werden. Die Ergebnisse sind in jedem Fall nur firmenspezifisch und nicht allgemeingültig übertragbar. Entsprechend den Anforderungen eines Unternehmens können diese Bewertungen auch zusätzlich gewichtet werden.

3.2 Der Einfluß von Gemeinkosten auf die Konstruktionsbegleitende Kalkulation

Die Übersicht über die rechnerintegrierten Kalkulationssysteme weist als besonders auffälligen Unterschied der Systeme die zugrundeliegende Kalkulationsmethode auf. Während sich manche Werkzeuge der klassischen Zuschlagskalkulation bedienen, nehmen viele der neuentwickelten Systeme die Methode der Prozeßkostenrechnung auf. Dieser Umstand führt zwangsläufig zur Überlegung, ob die differenzierende Zuschlagskalkulation noch ein zeitgemäßes Werkzeug darstellt. Worin liegen die Unterschiede dieser Kalkulationsmethoden?

3.2.1 Die differenzierende Zuschlagskalkulation

Die Zuschlagskalkulation stellt die in der Praxis derzeit am weitesten verbreitete Kalkulationsmethode dar. Dieses Kalkulationsverfahren differenziert Einzel und Gemeinkosten und ordnet diese als gesonderte Kategorien den Kostenträgereinheiten zu. Die Differenzierung dieser Kategorien sollen im Grobschema von Bild 3.2-1 verdeutlicht werden. Eine detailliertere Darstellung nach VDMA findet sich in Bild 4.2-1. Als Einzelkosten versteht man diejenigen Kostenbeträge, die sich unmittelbar einem konkreten Kostenträger (beispielsweise einem Bauteil) zuordnen lassen. Im Gegensatz dazu lassen sich Gemeinkosten nicht direkt einem Kostenträger zuordnen.

Kalkulationsbestandteile	Zuschlagssumme	Zuschlagsbasis
Materialeinzelkosten (1)	-	-
+ Materialgemeinkosten (2)	Gemeinkostensumme der Materialstellen	Materialeinzelkosten
= Materialkosten (3)	-	-
Fertigungseinzelkosten (4)	-	-
+ Fertigungsgemeinkosten (5)	Gemeinkosten der Fertigungsstellen	Fertigungseinzelkosten
+ Sondereinzelkosten der Fertigung (6)	-	-
= Fertigungskosten (7)	-	-
= Herstellkosten (8)	-	-

+ Verwaltungsgemeinkosten (9)	Gemeinkostensumme der Verwaltungsstellen	-
= Herstellungskosten (10)	-	-
+ Vertriebsgemeinkosten (11)	Gemeinkostensumme der Vertriebsstellen	Herstellkosten
+ Sondereinzelkosten des Vertriebs (12)	-	-
=Selbstkosten (13)	-	-

Bild 3.2-1: Schema der Zuschlagskalkulation

Die Berechnung der Herstellkosten erfolgt bei der differenzierenden Zuschlagskalkulation durch die Addition von Material- und Fertigungskosten (3,7). Dabei setzen sich die Materialkosten aus den Anteilen aus Einzelkosten und Anteilen aus Gemeinkosten (1,2) zusammen. Unter Materialeinzelkosten versteht man die Kosten die sich aus dem Verbrauch an Material direkt ermitteln lassen. Die Materialgemeinkosten berücksichtigen anteilmäßig die Kosten, die dem Material nicht direkt zugewiesen werden können, wie etwa Lagerkosten, Zinsen für das gebundene Kapital oder Kosten die im Rahmen von qualitätssichernden Maßnahmen entstehen wie Laborkosten für chemische oder physikalische Werkstoffprüfung. Die Fertigungskosten beinhalten die Fertigungslohnkosten, Fertigungsgemeinkosten und Sondereinzelkosten der Fertigung. Die Fertigungslohnkosten errechnen sich aus den Stückzeiten der Fertigung und den entsprechenden Werkerstundensätzen. Unter den Fertigungsgemeinkosten werden in erster Linie Maschinenkosten, aber auch Raumkosten und weitere nicht direkt zuordenbare Kostenanteile erfaßt. Da in vielen Firmen durch einen hohen Automatisierungsgrad der Anteil der Maschinenkosten die Fertigungslohnkosten übersteigen, sind Fertigungsgemeinkostensätze von 200% - 500% durchaus üblich (EHRENSPIEL 1998, S.377). Kosten für bei bestimmten Arbeitsgängen benötigte Vorrichtungen, die einem speziellen Kostenträger zugeordnet werden können, werden durch Sondereinzelkosten der Fertigung (6.) gesondert erfaßt.

Werden den Herstellkosten Verwaltungsgemeinkosten addiert, so spricht man von Herstellungskosten (10.). Durch Addition von Herstellungskosten (10), Vertriebsgemeinkosten (11) und den Sondereinzelkosten des Vertriebs werden die Selbstkosten (13) eines Produktes errechnet. Alle Gemeinkostenzuschläge werden üblicherweise einmal jährlich vorausplanend für das folgende Geschäftsjahr auf Basis der vorhandenen Informationen ermittelt.

3.2.2 Berechnung von Gemeinkosten in der differenzierenden Zuschlagskalkulation

Die einfachste Methode zur Ermittlung von Gemeinkosten (GK) – Zuschlagssätzen geht von den Informationen der Istkostenrechnung aus, wobei zwischen summarischer und differenzierter Verfahrensweise unterschieden wird. Bei der summarischen Verrechnung, wie sie häufig in kleinen Betrieben angewendet wird, werden wie in Bild 3.2-2 ersichtlich, gesamtbetriebliche Gemeinkosten in einer Summe prozentual auf eine einzige Verrechnungsbasis (Zuschlagsgrundlage) bezogen. Dazu dienen im Regelfall die Fertigungslöhne, da in Kleinbetrieben die Lohnintensität überwiegt. In der Kostenträgerrechnung werden demnach die gesamtbetrieblichen Gemeinkosten mittels dieses einzigen Zuschlagssatzes auf Basis einer Zuschlagsgrundlage verrechnet.

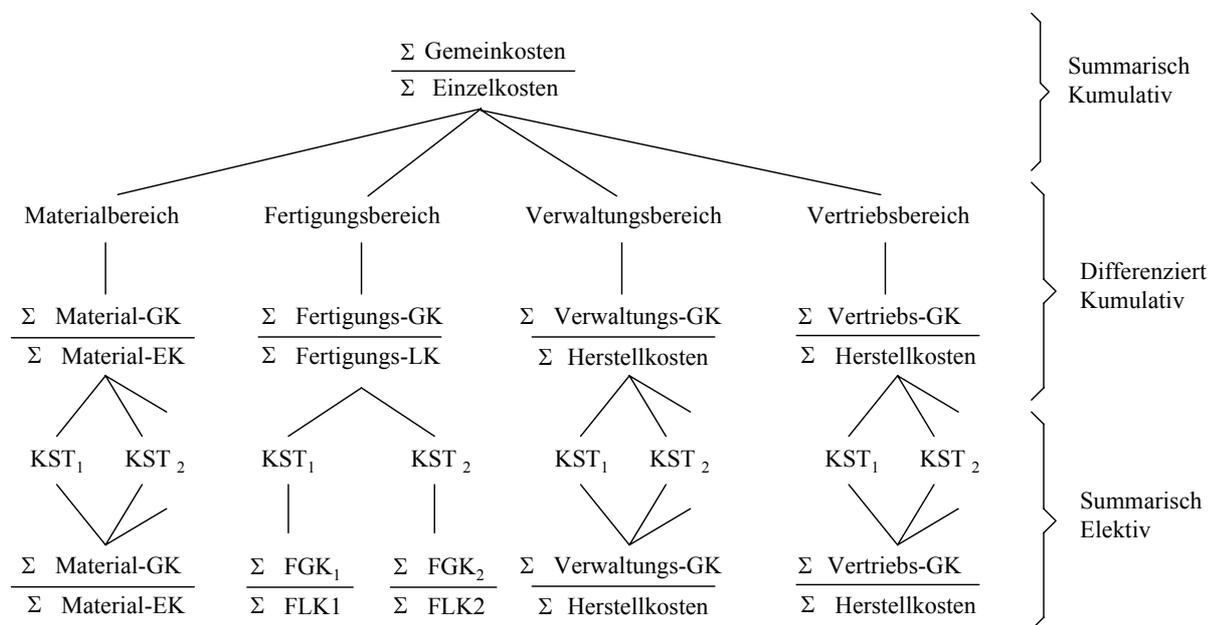


Bild 3.2-2: Gliederung der Gemeinkostenzuschlagssätze (nach VORMBAUM 1992)

Die differenzierte Gemeinkostenverrechnung setzt den Betriebsabrechnungsbogen (BAB) voraus, in dem mit Hilfe der Kostenstellenrechnung die Aufgliederung der betrieblichen Gemeinkosten in Material-, Fertigungs-, Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten erfolgt. Als Zuschlagsgrundlagen der GK-Berechnung dienen beim Material die Materialeinzelkosten, in der Fertigung die Fertigungslohnkosten und im Verwaltungs-/Vertriebsbereich die Herstellkosten. Die Planung der Normal- oder Soll-GK-Zuschlagssätze werden vom Kostenrechner vorausplanend bestimmt und anschließend innerhalb eines Jahres (nur in seltenen Fällen erfolgt während eines Jahres eine neue Festlegung der GK) für Kalkulation und Preisbildung verwendet. Grundlage des Planungsvorgangs sind neben Vergangenheitsdaten auch die zum Zeitpunkt der Planung überschaubaren Zukunftsperspektiven. Mittels der Normal-GK-Zuschlagssätze sollen Gemeinkosten verrechnet und über Preise refinanziert werden, die im

zukünftigen Kalkulations- und Abrechnungszeitraum anfallen. Eine Sonderstellung bei der Bildung von GK-Zuschlagssätzen nimmt das Fixkostenproblem ein, das auf eine korrekte Behandlung der in den Gemeinkosten anteilig enthaltenen fixen Kostenarten ausgerichtet ist. Die abgeleiteten GK-Zuschlagssätze sind was die Höhe der variablen Kosten und die Verteilung der Fixkosten betrifft von der Beschäftigungssituation im Untersuchungszeitraum geprägt. Während variable Gemeinkosten sich proportional zur Beschäftigungssituation verhalten, würden im Falle einer Verwendung gleichbleibender Zuschlagssätze in beschäftigungsmäßig voneinander abweichenden Perioden das Erscheinungsbild der Fixkostendegression oder Fixkostenprogression (abhängig von einer Erhöhung oder einer Senkung der Beschäftigtenzahl) Fehler durch die Proportionalisierung der Fixkosten entstehen. Zur Vermeidung dieser Fehlerquelle können Gemeinkostenzuschläge abhängig von der Beschäftigtenzahl definiert werden. Die elektiven Zuschlagskalkulation unterscheidet sich von der differenzierten durch eine weitere Untergliederung nach Kostenstellen. Gleichwohl wird nicht für jede Kostenstelle ein gesonderter Zuschlagssatz gebildet, sondern die abrechnungstechnische Verfeinerung schlägt sich in erster Linie im Fertigungsbereich nieder. Die Verwendung der Fertigungslohnkosten als Bezugsbasis zur Verrechnung der Gemeinkosten des Fertigungsbereiches erweist sich als problematisch, da die Fertigungslöhne häufig nur einen geringen Anteil an den Fertigungskosten ausmachen und große Teile des Produktionsprozesses weitgehend betriebsmittelgesteuert ablaufen. Aus diesem Grund werden zur verursachungsgerechteren Kostenzuordnung im Bereich der Fertigungsgemeinkosten Maschinenstundensätze definiert und verrechnet. Die zuschlagsweise Verrechnung der Material-, Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten werden dadurch nicht berührt. Der Maschinenstundensatz entspricht also Fertigungsgemeinkosten, die auf Stundenbasis direkt einem Kostenträger zugerechnet werden können. Übrig bleiben dann Restfertigungsgemeinkosten, die alle Maschinen einer Fertigungskostenstelle betreffen und damit gleichmäßig auf alle Kostenträger umgelegt werden (nach LOOS 1992).

Die Zuschlagskalkulation ist ein Verfahren der Vollkostenrechnung. Entsprechend den oben angeführten Grundlagen kann die differenzierende Zuschlagskalkulation nur unter der Betrachtung bestimmter Randbedingungen sinnvoll eingesetzt werden. Durch die pauschale Beaufschlagung von Produkten mit Gemeinkostensätzen ist eine verursachungsgerechte Zuordnung nicht möglich. Dies führt bei komplexeren Produktspektren jedenfalls dazu, daß manche Produkte mit zu hohen Gemeinkosten belegt werden und manche mit zu niedrigen. Über die Summe aller Produkte ist dies unkritisch, problematisch kann es jedoch werden, wenn auf Basis der mit der Zuschlagskalkulation errechneten Kosten „falsche“ Entscheidungen getroffen werden. Werden in einem Unternehmen gemeinkostenintensive (Sondermaschinen, Einzelkonstruktionen, ...) und gemeinkostenarme (Standardprodukte, Baukastensysteme, ...) Produkte hergestellt und mittels einer Zuschlagskalkulation bewertet, so kommt es unweigerlich dazu, daß die gemeinkostenintensiven Produkte von den gemeinkostenarmen Produkten quersubventioniert werden. Dies hat zur Folge, daß die beim Kunden erlösbaren Preise geringer sind, als die mit der Zuschlagskalkulation ermittelten Kosten im Unternehmen. Das Produkt scheint damit negativ zum Unternehmensergebnis beizutragen, obwohl es einer verursachungsgerechten Kostenzuordnung eigentlich Gewinne schreibt!

Zusätzlich wirkt es sich bei der Zuschlagskalkulation negativ aus, daß die zu produzierenden Stückzahlen nur bedingt ins Kalkulationsergebnis einfließen können. Die Losgröße tritt nur

bei der Ermittlung der Rüstzeiten in Erscheinung und hat damit nur einen geringen Einfluß auf die Kalkulation. Eine Folge dieser Unschärfe ist es, daß eine neu erstellte Bauteilvariante oft kostenmäßig gleich bewertet wird wie eine bereits vorhandene, ohne Rücksicht auf neu generierte Aufwände in der Konstruktion, Arbeitsplanung und weiterer nachgelagerter Unternehmensbereiche. Damit ist es Entwicklern auf Basis der Zuschlagskalkulation nicht möglich, die Vorteile von Baukästen oder einer Teilewiederverwendung zu erkennen. Zudem sind Fälle bekannt, in denen Baukastensysteme nicht genügend Abnehmer fanden, nur weil die Kostenvorteile des Baukastens durch zu hohe Gemeinkostenzuschläge verringert oder aufgehoben wurden und damit nicht an die Kunden weitergegeben werden konnten (vgl. EHRENSPIEL 1998 S. 387 f).

3.2.3 Gemeinkostenmanagement in der Produktentwicklung

Die Höhe der Gemeinkosten wird in erheblichem Maß schon in den frühen Phasen der Produktentwicklung festgelegt. Dies betrifft nicht nur die Entwicklungs- und Konstruktionskosten, sondern in erster Linie die Fertigungsgemeinkosten, die mit einem Anteil von durchschnittlich etwa 30% an den Herstellkosten gleich nach den Materialeinzelkosten den zweitgrößten Kostenblock darstellen (vgl. Bild 4.2-1). Dazu bieten sich unterschiedliche Ansätze:

Vermeidung von Varianten

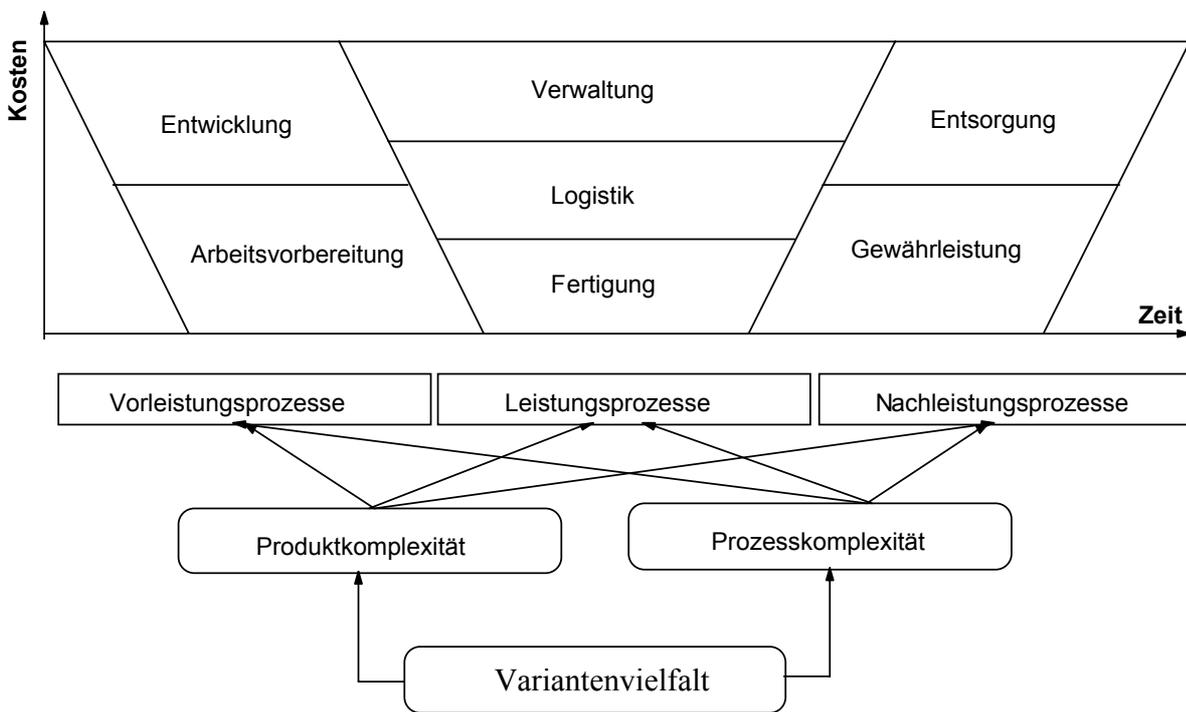


Bild 3.2-3: Produktkomplexität und Variantenvielfalt als Kostentreiber in sieben Gemeinkostenbereichen (FISCHER 1993)

Das Thema Variantenreduktion wirkt abgedroschen und banal, die Auswirkungen der Variantenvielfalt in der Industrie sind dennoch - wie in Bild 3.2-3 ersichtlich wird - dramatisch und werden häufig nicht mit der notwendigen Priorität verfolgt.

Üblicherweise gibt es in Industrieunternehmen keine Unternehmensfunktion von der Entwicklung und der Konstruktion über Beschaffung und Produktion bis zum Versand, die die Problematik der Variantenkosten als bedeutungsvoll und vorrangig zu lösen anstrebt – abgesehen von Normenabteilungen, die meist auf untergeordneter Ebene tätig sind und wenig direkten Einfluß ausüben können. Vertriebsabteilungen sind immer an einer Sortimentserweiterung und einer Produktdifferenzierung sowie der Erfüllung von Kundenwünschen interessiert. In den Produktentwicklungsabteilungen versuchen Konstrukteure lieber neue Produkte zu entwickeln, als sich mit der Wiederverwendung und Standardisierung von Vorhandenem zu beschäftigen. Alle anderen am Produkterstellungsprozeß Beteiligten haben auf die Variantenvielfalt so gut wie keinen Einfluß mehr, obwohl dort der höchste Kostenanteil erzeugt wird. Viele Unternehmen schaffen es daher nicht, die Probleme - die mit der Vielfalt und Ähnlichkeit auf allen Erzeugnisebenen einhergehen - in den Griff zu bekommen, da eine Gesamtbeurteilung fehlt. Im Einzelfall hat jede Variante und jedes noch so ähnliche Rohmaterial eine erklärende Geschichte und eine plausible Rechtfertigung. Die Befriedigung von Kundenwünschen, häufigste Ursache der Variantenvielfalt erzeugt meist erheblich mehr Aufwände als die Abwicklung eines „Seriengeschäfts“. WILDEMAN (1990) spricht bei der Steigerung der Variantenzahl von einem umgekehrten Erfahrungskurvengesetz. Mit jeder Verdoppelung der Varianten steigen die Kosten um 20-30% (WILDEMAN 1990 S. 37) Nach HICHERT (1985) entstehen Vielfaltsprobleme fast immer aus vier komplexen Problemfeldern:

1. Sortiment (Produktanzahl, Variantenumsatz, ...)
2. Kunden (Kleinkunden, Bestellgrößen, ...)
3. Teile (Teile- und Materialvielfalt, Baukastensysteme, ...)
4. Aufträge (kleine Fertigungs- und Beschaffungsaufträge, Kapazitätsausfall)

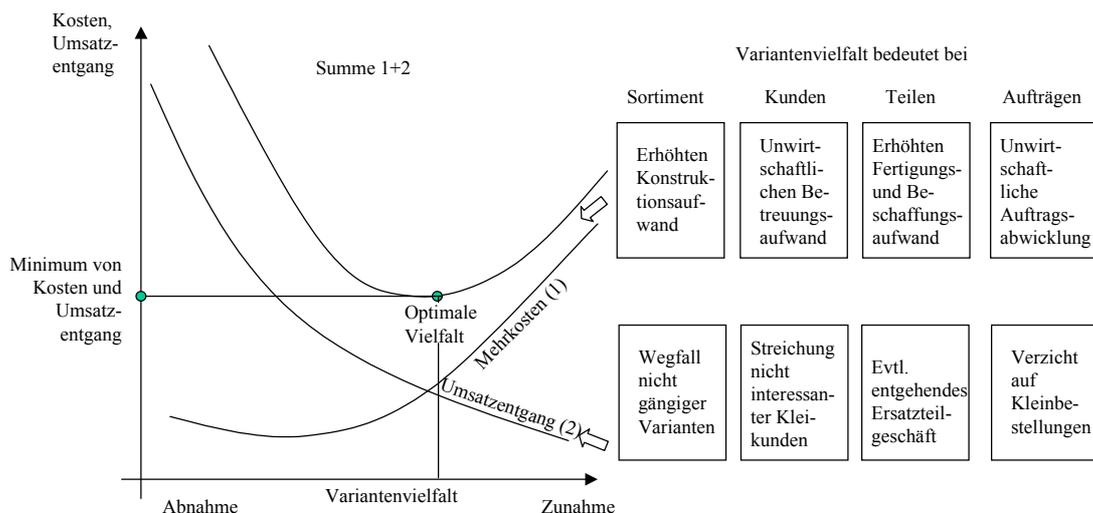


Bild 3.2-4: Bestimmung der optimalen Vielfalt (nach HICHERT 1985)

Aus der Berücksichtigung dieser Problemfelder kann eine optimale Variantenvielfalt (vgl. dazu auch WESTKÄMPER 1993) für Unternehmen bestimmt werden, aus der auch die Verbesserungspotentiale zur aktuellen Situation ersehen werden können.

Für Entwickler und Konstrukteure bedeutet dies aus der Verantwortung für die in nachgeschalteten Bereichen verursachten Kosten heraus, möglichst auf Standards zu achten und weitestgehend mit vorhandenen Bauteilen oder Baugruppen zu arbeiten, oder Produkte von vornherein über Baukästen aufzubauen. Die Auswirkung der Variantenvielfalt in der gesamten Produkterstellung ist vielfältig. Eine neue Variante löst eine Anzahl an Prozessen aus, die sich in Gemeinkosten auswirken, wie Bild 3.2-5 andeutet (vgl. hierzu auch EVERSHEIM ET AL. 1988). Die Möglichkeiten einer Standardisierung können unterschiedlich ausgeprägt sein:

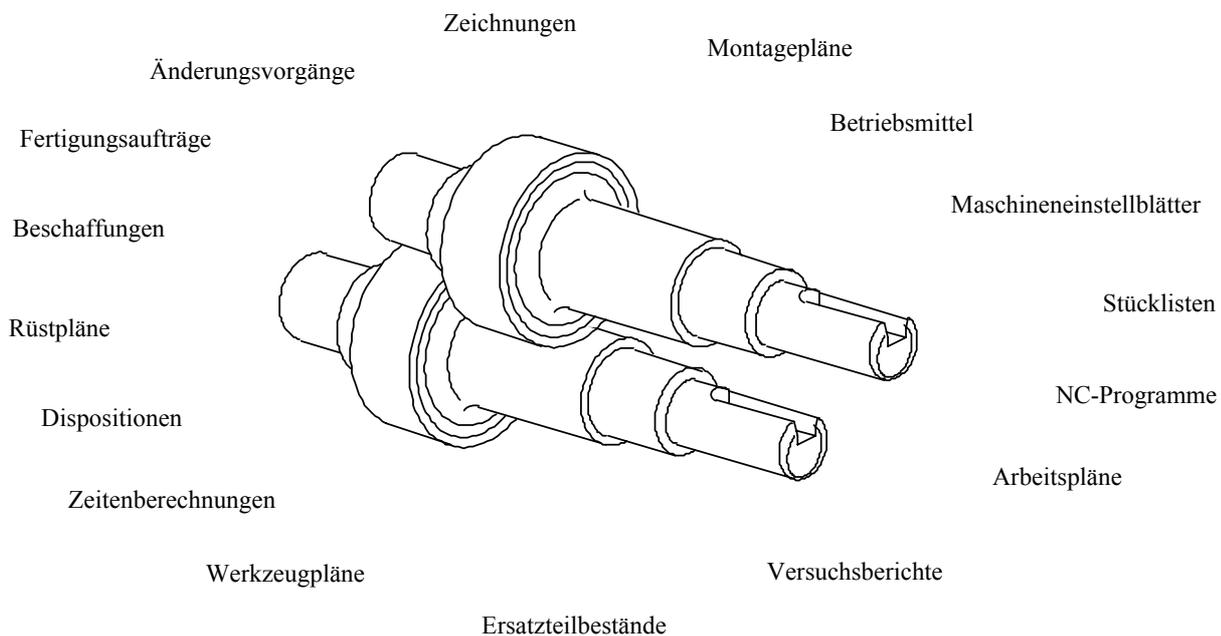


Bild 3.2-5: Ausschnitt der durch die Generierung einer neuen Variante angestoßenen Aktivitäten (nach STEINER 1996)

Eine Baugruppen oder Teilestandardisierung wird sicherlich die größte Kostenwirksamkeit bedeuten, da damit eine weitgehende Vermeidung unnötiger Unternehmensprozesse erzielt werden kann. Auf Baugruppen- und Teileebene bietet es sich sogar an, das bestehende Produktspektrum zu durchforsten, ob es nicht möglich ist Kleinserienteile und Baugruppen zu ersetzen. Damit erschließen sich – trotzdem bereits viele Kosten im Produkterstellungsprozeß entstanden sind – noch Kostensenkungspotentiale im Fertigungsbereich durch die Vermeidung von Rüstkosten bei Kleinserien und geringere Herstellkosten durch steigende Losgrößen bei Standardteilen. In Fällen, die keine komplette Weiterverwendung von ganzen Teilen ermöglichen würde sich sogar eine Standardisierung auf Gestaltzonenebene gemeinkostensenkend auswirken. So können beispielsweise bei einer Normierung von Lagersitzdurchmessern an Verzahnungsteilen bestimmte Vorrichtungen wiederverwendet werden, oder auch Teile von NC Programmen modular ohne Mehraufwand auf neue Bauteile übertragen werden. Ähnlich verhält es sich, wenn Gestaltzonen, die bestimmte Werkzeuge verlangen normiert werden

können, damit werden Werkzeugwechselzeiten an Maschinen verringert und die Kosten für Beschaffung und Lagerung/Verwaltung von Werkzeugen vermieden. Auch wenn das Kostenvermeidungspotential in diesen Fällen nicht so hoch ist wie bei einer Wiederverwendung auf Teile oder Baugruppenbasis, so lohnen sich Aufwände auch auf dieser elementaren Ebene.

Vermeidung von Produktänderungen in späten Phasen der Produktentwicklung

Ähnlich gemeinkostenwirksam wie die Variantenvielfalt wirken sich Änderungen in späten Phasen aus. Dabei werden Änderungskosten ebenfalls nicht direkt einem Kostenträger zugewiesen, sondern werden über die Gemeinkosten pauschaliert verrechnet. Als Änderungen sind in der Folge sowohl Änderungen, die im Prototypen- oder Vorserienstatus vorgenommen werden definiert als auch in besonderem Maße Änderungen an Serienteilen. Die lawinenartig anwachsenden Kosten von Änderungen sind in der Industrie bekannt, die „rule of ten“ ist ein in der Praxis verifizierter Begriff (vgl. Kapitel 3). Die Konsequenz kann nur lauten, die Änderungsaktivitäten in den frühen Phasen der Produkterstellung bündeln. Eine Kostensteigerung und Aufwandssteigerung am Anfang der Entwicklung kann eine 20-30%ige Verringerung der Herstellkosten und um 30-50% geringere Produkterstellungszeiten bis zum Serienanlauf bringen (vgl. WEULE 1997). Dies scheint vordergründig den Bemühungen der Industriebetriebe zu widersprechen, die sich für eine Verkürzung der Produktentwicklungszeiten einsetzen um die „Zeit zum Markt“ möglichst gering zu halten. In Wirklichkeit muß diese Aufwandssteigerung in frühen Phasen keinen Zeitnachteil bedeuten: Durch ein straffes Projektmanagement und Einbeziehung von nachgeschalteten Bereichen schon in den frühen Phasen (Simultaneous Engineering) ist es möglich, frühzeitig kostenintensive Fehler zu vermeiden. Notwendig ist die sinnvolle Besetzung eines interdisziplinären Teams, das von der ersten Produktidee bis zur Realisierung Qualitäts- Kosten- und Zeitvorteile erzielen kann. Die Parallelisierung der Produkt- und Produktionsentwicklung ist nur ein Beispiel, wie interdisziplinäres Arbeiten zur Produktivitätssteigerung beitragen kann. Natürlich kann nicht jede Änderung vermieden werden, weil es immer Auswirkungen von konstruktiven Entscheidungen gibt, die erst später erkennbar werden. Dennoch gibt es nach LINDEMANN (1998) mehrere Strategien, um bestimmte Auswirkungen schon frühzeitig zu erkennen:

- Präventive Qualitätssicherung:

Änderungen können in die frühe Phase der Produktentwicklung vorverlagert werden, wenn frühzeitig fundierte Aussagen über die Qualität des Produkts existieren. Dazu können die bekannten Qualitätsphilosophien Total Quality Management (TQM) oder Quality Function Deployment (QFD) angewendet werden

- Eigenschaftsfrüherkennung:

Dazu werden Analysemethoden und -werkzeuge in den Produktentwicklungsprozeß integriert, um Produkteigenschaften frühzeitig zu erkennen. In der frühen Phase der Entwicklung werden Funktionsweise und Wirkprinzip des Produkts festgelegt. Untersuchungen in diesem Umfeld erwiesen, daß schon einfache manuell gefertigte Modelle aussagekräftige Ergebnisse hinsichtlich der abzusichernden Produkteigenschaften geben können.

- Nutzung von Erfahrungswissen:

Die Vorverlagerung von Erkenntnisprozessen basiert auf der Verlagerung der Informationsgewinnung in frühe Phasen. Dazu müssen die Produkteigenschaften durch interdisziplinäre Zusammenarbeit im Unternehmen schon in der frühen Phase der Produktentwicklung bewertet werden. Insbesondere die Einbeziehung der Fachbereiche Service und Vertrieb ist von entscheidender Notwendigkeit, da diese Bereiche direkten Kundenkontakt haben.

Bild 3.2-6 verdeutlicht, wie sich Änderungen in die frühen Phasen der Produkterstellung verlagern lassen:

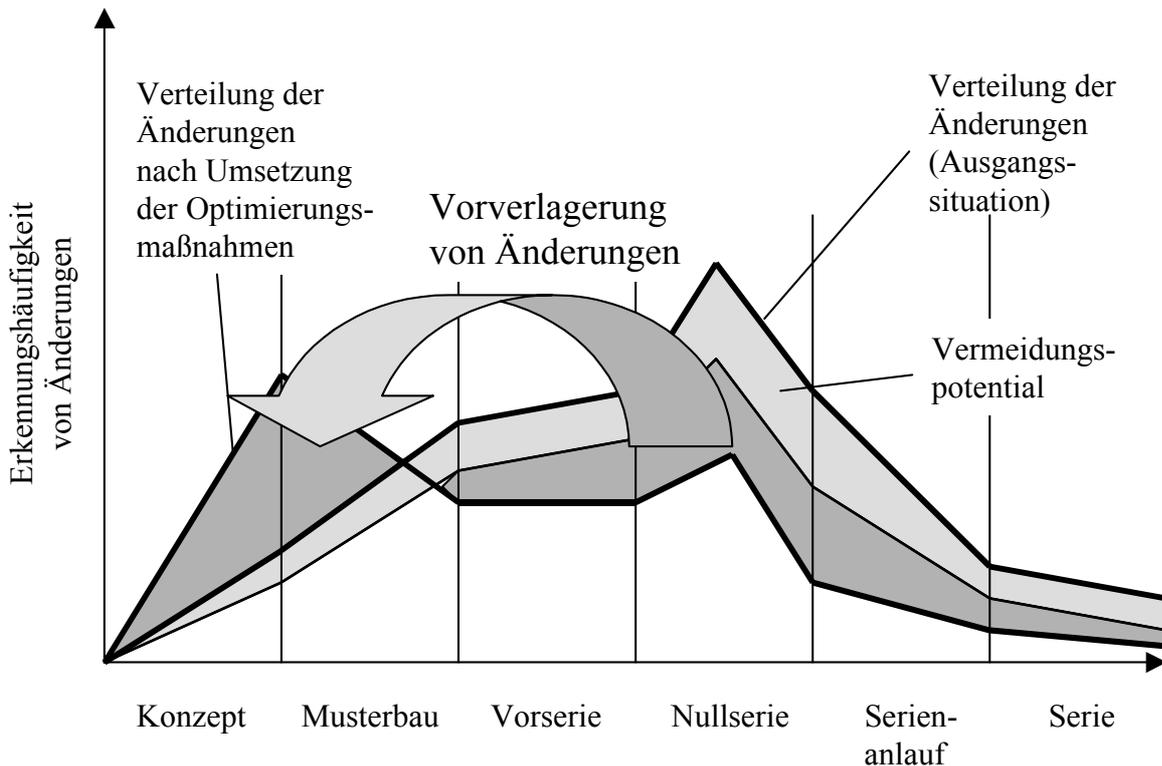


Bild 3.2-6: Ziel der Vorverlagerung von Änderungen ist es, Möglichkeiten zur Erkennung von Änderungen in den frühen Phasen zu schaffen (nach Lindemann 1998).

3.2.4 Verursachungsgerechte Kostenzuordnung mit der Prozeßkostenrechnung

Die Problematik der pauschal zugewiesenen Gemeinkosten hat in den letzten Jahren zur Entwicklung eines neuen Kostenrechnungsverfahrens geführt, das versucht mehr Kostenanteile direkt einem Kostenträger zuzuordnen als dies in der Zuschlagskalkulation der Fall ist. Nach einer Untersuchung des Lehrstuhls für Produktentwicklung bei mehreren Herstellern der Antriebstechnik betrug der Anteil der Gemeinkosten an den Selbstkosten bis zu 50% und mehr (EHRENSPIEL 1995 S. 610). Das bedeutet, daß die Hälfte der Selbstkosten eines Produkts diesem nicht direkt zugeordnet werden kann! Dies führt in der Theorie der Prozeßkostenrechnung zu zwei Kritikpunkten an den heutigen Kostenrechnungsverfahren: Zum einen wird die Lohnzuschlagskalkulation der Vollkostenrechnung bemängelt. Durch die intensive Produkti

onsautomatisierung sind Fertigungslöhne nur noch ein ungenügendes Mittel für die produktbezogene Kostenverursachung. Diese Kritik ist vornehmlich auch in den Vereinigten Staaten verbreitet, da dort noch viele Unternehmen auf Basis von direct labor kalkuliert (vgl. COOPER 1988, STEWART 1995). Weiterhin wird die Behandlung der der Fertigung vor- und nachgelagerten Dienstleistungsbereiche wie Disposition, Fertigungsvorbereitung und –steuerung, Lagerwesen und Transporte betrachtet. Dort dominieren in der Vollkostenrechnung die pauschalen Verrechnungen. Durch eine verbesserte Durchdringung der Gemeinkostenbereiche soll die Prozesskostenrechnung sowohl eine bessere Steuerung dieser Bereiche ermöglichen als auch eine genauere Produktkalkulation (vgl. JONES 1991). Das Vorgehen bei der Prozeßkostenrechnung kann nach WEBER (1997) in fünf Teilschritte unterteilt werden:

1. Prozeßanalyse:

Je Gemeinkostenbereich sind diejenigen Dienstleistungen zu definieren, deren Erfüllung der Bereich dient. Dabei helfen Methoden wie die Gemeinkostenwertanalyse oder das Zero-Base Budgeting. Am Beispiel der Fertigungssteuerung kann es sich bei den Dienstleistungsarten etwa um die Prozesse „Montageaufträge disponieren, Teile abrufen oder Fertigungsablauf Montage überwachen“ handeln.

2. Zuordnung von Kosten zu Prozessen:

Jedem Prozeß werden die in ihm verursachten Kosten zuzuordnen. Je mehr Kostenverbunde bestehen, desto umfangreicher ist die Kostenzuordnung. In vielen Beispielen finden sich deshalb erhebliche Kostenschlüsselungen.

3. Bestimmung der Kostentreiber (cost driver)

Für alle Prozeßarten sind die Faktoren zu ermitteln, die die Inanspruchnahme der Leistungen bestimmen. Am vorigen Beispiel wäre dies für die beiden ersten Prozesse die Zahl der zu bearbeitenden Fertigungsaufträge. Für Überwachungsaufgaben (Fertigungsablauf Montage) finden sich kaum Kostentreiber. Diese Prozesse werden in der Prozeßkostenrechnung auch als leistungsmengenneutral bezeichnet.

4. Prozeßkostenermittlung:

Für die Kostentreiber sind die jeweiligen Mengenausprägungen (z.B. Zahl abgewickelter Fertigungsaufträge) zu ermitteln. Dies bedeutet zusätzlichen Erfassungs- und Planungsaufwand, da diese Informationen bisher nur selten erfaßt oder geplant worden sind. Wie in anderen Bezugsgrößenkalkulationen auch werden Kosten je Prozeßmengeneinheit ermittelt. Es gibt unterschiedliche Auffassungen, ob man in diese Prozeßkosten pro Prozeßeinheit auch die Kosten der leistungsmengenneutralen Prozesse einbeziehen muß oder nicht.

5. Prozeßkostenkalkulation

Hier werden die Prozeßkosten den Produkten im Rahmen der Kostenträgerrechnung belastet. Hierzu muß festgehalten werden wieviel Prozeßmengeneinheit jedes Produkt in Anspruch genommen hat. Auch damit sind erhebliche Erfassungs- und/oder Planungskosten verbunden.

Die Prozeßkostenrechnung ist in der Wissenschaft nicht unumstritten. Befürworter der Prozeßkostenrechnung betonen die bei zunehmendem Wettbewerb unerläßliche verursachungsgerechte Kalkulation (vgl. FRANZ 1997) und die Vermeidung strategischer Fehlentscheidungen durch verursachungsgerechte Zuordnung von Kosten zu Produkten. Der Vorteil der Pro

zeßkosten ist in den erweiterten Möglichkeiten der Reaktion eines Unternehmens auf intern und extern induzierte Kostenstrukturverschiebungen zu sehen. Zudem erhöht die Prozeßkostenrechnung nicht nur die Transparenz der „tatsächlichen“ Kostensituation speziell in indirekten Unternehmensbereichen (siehe HORVATH 1991), sondern kann zudem einen Beitrag zum effizienten Ressourcenverbrauch und einer Maximierung der Kapazitätsauslastung leisten (vgl. CORSTEN 1997). Die zunehmende Transparenz kann nach JOHNSON (1988) zudem in einer Prozeßbetrachtung die Identifizierung von wertschöpfungserhöhenden und wertschöpfungsneutralen Prozessen wie Nacharbeit oder Gewährleistung erleichtern.

Kritiker der Prozeßkostenrechnung wie WEBER (1997) oder SEICHT (1997) führen an, daß die Prozeßkostenrechnung kaum neue kostenrechnerische Konzepte enthält. Besonders nachteilig stellt sich dar, daß die in der Prozeßkostenrechnung postulierte höhere Detaillierung bisher keinen Wirtschaftlichkeitsnachweis erbracht hat. Es wird vermutet, daß die Prozeßkostenrechnung als Element der laufenden Kostenrechnung zu aufwendig ist und nur fallweise eine breitflächige Realisierungschance in Unternehmen haben wird. SEICHT vertritt gar die Ansicht daß die Prozeßkostenrechnung eine Genauigkeit suggeriert, die sie als entscheidungs- und kontrollorientierte Rechnung nicht hat. Folglich könne mit den Zahlen einer Prozeßkostenrechnung auch keine optimalen Programmplanungsentscheidung vorbereitet werden.

Sicherlich hat die Diskussion um die Prozeßkosten aber dazu geführt, den Gemeinkostenbereichen eine stärkere kostenrechnerische Aufmerksamkeit zukommen zu lassen. Sie hat damit zu einer „Aufbruchstimmung“ in der Kostenrechnung geführt, in der im unternehmerischen Umfeld die eingeführten Konzepte lange Jahre nicht mehr verändert worden sind (WEBER 1997 S. 3137).

4 Simulation von Produktkosten in der Produktentwicklungsphase am Beispiel von XKIS

Nach einem kurzen Überblick über die Entwicklungsgeschichte eines konkreten Systems zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation, das ursprünglich an der Technischen Universität München entwickelt wurde und dann den Übergang in die industriellen Pilotanwendung fand, sollen in diesem Abschnitt die Potentiale der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation und eine Möglichkeit zur Ermittlung von Produktkosten in frühen Phasen dargestellt werden. Ein Kernthema dieses Kapitels ist die Einbindung des Kalkulationssystems in ein 3D CAD System und die Chancen die eine parametrisierte 3D Modellgenerierung für die Konstruktionsbegleitende Kalkulation und die innterbetrieblichen Prozeßketten bieten.

4.1 Entwicklungsstadien von XKIS

Die Entwicklung von wissensbasierten Systemen zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation begann in Deutschland in den 80'er Jahren. Der Lehrstuhl für Produktentwicklung an der Technischen Universität München entwickelte damals etwa zeitgleich mit der eidgenössischen Universität Zürich (vgl. HKB, Kapitel 3.1.2.2) ein neuartiges System zur frühzeitigen Ermittlung von Produkt-Herstellkosten. Basierend auf den Arbeiten von HILLEBRAND 1991 entstand ein erster Prototyp des Kosteninformationssystems KIS.

KIS war zu dieser Zeit eines der ersten rechnergestützten Systeme zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation. Dabei beinhaltete diese erste Version sowohl ein Modul zur alphanumerischen Erfassung von Produktdaten, als auch eine Schnittstelle zu einem volumenorientierten CAD-System. Das Produktmodell wurde bereits nach dem Grundsatz der Featuretechnologie aufgebaut und lieferte damit die Grundlage für eine grobe, automatisch erstellte Fertigungsplanung des Produktes. Die aus der Fertigungsplanung ermittelten Zeitbestandteile (analog den von REFA vorgegebenen Strukturen) konnte das System in entsprechende Kostenelemente umsetzen. Die dazu notwendige Datenhaltung erfolgte über eine relationale Datenbank.

Auf den Grundlagen von HILLEBRAND baute SCHAAL (1992) auf. Schaal schuf Module zur wissensbasierten Kalkulation von Bauteilen. Die automatische Grobarbeitsplanung wurde weiter detailliert und lieferte durch die regelbasierte Verarbeitung sehr genaue Fertigungszeiten- und Kostenprognosen. Um eine stabile, auch industriell nutzbare Version dieses erweiterten Kosteninformationssystems (XKIS) zu generieren, portierte SCHAAL XKIS auf eine Großrechnerumgebung. Damit war eine zu dieser Zeit noch weit verbreitete Rechnerumgebung gefunden, die wegen der großen Rechenkapazität auch für CAD-Anwendungen gut geeignet war. SCHAAL entwickelte den vollständigen alphanumerischen Teil von XKIS. Dieser beinhaltete die Regelbasis zur Arbeitsplanung und die erforderlichen Masken und Schnittstellen zur Datenerfassung und zum Editieren der gespeicherten Informationen. Zusätzlich beinhaltete dieser alphanumerische Teil von XKIS auch schon das Kalkulationsmodul das sich in ähnlicher Form auch heute noch im Einsatz befindet. Damit war es möglich, auf Basis manuell erfaßter Geometriedaten Arbeitspläne erstellen zu lassen und zugehörige Kosten zu ermitteln.

Gemeinsam mit STEINER (1996) fand die Systemeinführung bei einem Pilotanwender (ZF Passau GmbH) statt. STEINER entwickelte eine umfangreiche Schnittstelle zum CAD System CADAM, so daß XKIS neben der alphanumerischen Anwendbarkeit auch komplett in den Arbeitsplatz des Konstrukteurs eingebunden war.

Alle XKIS Funktionalitäten konnten aus CADAM heraus aufgerufen werden, die Produktdatenerfassung erfolgte online aus dem CAD Modell heraus und wurde über die Schnittstellenprogramme in einer relationalen Datenbank abgelegt. Weiterhin ergänzte Steiner ein Wiederholteilsuchsystem, so daß auf Basis der schon mit XKIS bearbeiteten Teile - mit Suchkriterien in nahezu beliebiger Detaillierung - nach bereits vorhandenen Bauteilen einschließlich der zu den Teilen gehörenden Kostenstrukturen gesucht werden konnte. Durch die seit STEINER erstmals differenzierte graphische (= CAD) und alphanumerische (= 3270 Terminals) Anwendbarkeit des Systems konnten sowohl die mit graphischen Arbeitsplätzen ausgestatteten Entwicklungsabteilungen alle XKIS Module nutzen, wie auch die mit alphanumerischen Arbeitsplätzen arbeitenden Abteilungen wie Fertigungsplanung, Wertanalyse und Vorkalkulation.

Ab 1995 beginnt die Einbindung von XKIS in ein 3D CAD System. Damit wird XKIS in die Lage versetzt, die deutlich erweiterten Möglichkeiten moderner Konstruktionssoftware für die Konstruktionsbegleitende Kalkulation und die Geometrie- und Produktdatenverwaltung zu nutzen. Im Gegensatz zu den unterstützten 2D Systemen die für eine automatische Datenextraktion nicht geeignet sind, bieten 3D Systeme Möglichkeiten und Werkzeuge an, die in der CAD-Datenbank featurebasiert verwalteten Informationen über Schnittstellen auszulesen und in einer für andere Applikationen verarbeitbaren Form zu hinterlegen. Die seit 1995 neuerstellte CAD Kopplung von XKIS bietet bei weitem mehr Funktionalitäten als die ersten Ansätze zu diesem Thema von HILLEBRAND (1991) und WOLFRAM (1994). Der „automatische“ CAD-Anschluß (HILLEBRAND 1991 S. 162 f) ist darauf beschränkt, nur die baugrößenbeschreibenden Geometriedaten Volumen, Maximalmaße und Oberfläche an das Kalkulationssystem weiterzugeben. Diese Grobabbmessungen sind jedoch nicht für eine detaillierte Kalkulation von komplexeren Bauteilen hinreichend, so daß vom Benutzer noch viele zusätzliche Informationen von Hand nachzutragen sind. WOLFRAM nutzt bei der Umsetzung seines Systems FEKIS vordefinierte Gestaltzonen. Diese sogenannten benutzerdefinierten Gestaltzonen ermöglichen zwar einen einfachen Austausch der geometriestimmenden Parameter an das Kalkulationssystem, schränken aber den CAD Anwender stark ein und verhalten sich bei kleinen Änderungen an den Gestaltzonen sehr unflexibel. Für alle kostenrelevanten Gestaltzonen müssen auch benutzerdefinierte CAD-Features zur Verfügung stehen, was die Übersichtlichkeit des CAD Systems deutlich verringert. Die CAD Kopplung von XKIS ermittelt – wie in Kapitel 4.3 noch näher erläutert wird - die Featurestruktur und alle benötigten Featureinformationen eines Bauteils durch eine intelligente Programmlogik. Dazu werden im Sinne einer „Feature Recognition“ alle möglichen Informationsquellen eines 3D CAD Systems ausgenutzt, wie Featureinformationen, Flächen- und Kanteninformationen, geometrische Lagen von Punkten sowie die Beziehungen und Lage der Elemente untereinander.

Aktuell besteht XKIS aus den Hauptmodulen:

- Featurebasiertes Wiederholteilsuchsystem
- Geometrierfassung von Bauteilen und Baugruppen

- Konstruktionsbegleitende Kalkulation

Die Konstruktionsbegleitende Kalkulation stellt dabei das umfangreichste Modul und stützt sich - wie in Bild 4.1-1 ersichtlich ist – auf das Produktdatenmodell, das Unternehmensdatenmodell und die Regelbasis.

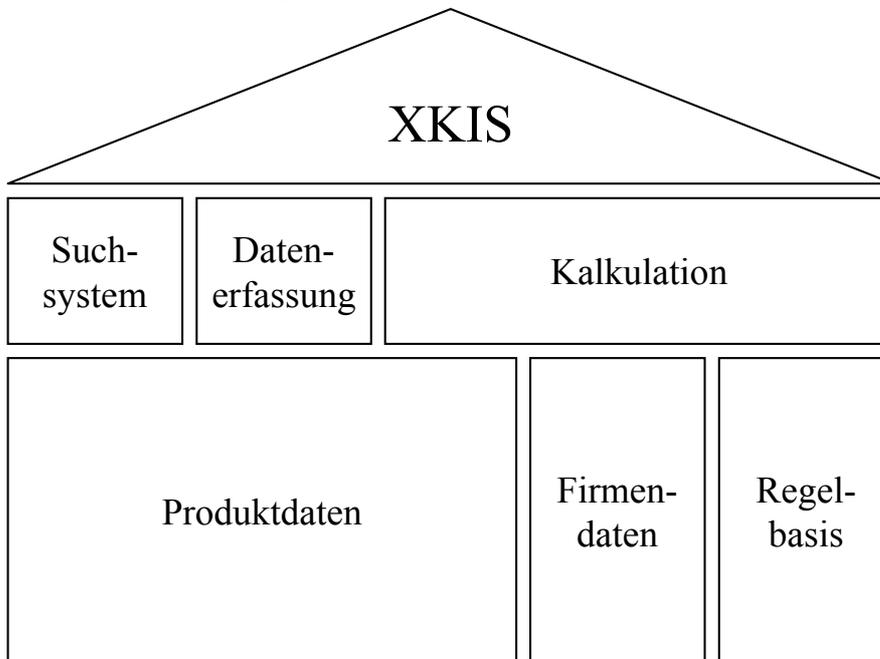


Bild 4.1-1: Grobstruktur des Systems XKIS mit Softwaremodulen und zugrundeliegender Datenverwaltung

Die zur Kalkulation notwendigen Produktinformationen sind in einer Produktdatenbank featurebasiert hinterlegt, und stehen in diesem hohen Detaillierungsgrad auch dem Wiederholteilsuchsystem zur Verfügung. Dem CAD - Featureansatz angelehnt werden die hinterlegten Bauteilinformationen in strukturierter Form gegliedert (vgl. Bild 4.1-2). Die Strukturierung erfolgt dabei „bottom up“, das bedeutet ausgehend vom Elementarfeature über die Bauteilarten hin zu den Baugruppendaten (vgl. auch REISCHL 1996). Featuredaten sind im Sprachgebrauch von XKIS alle technologischen und geometrischen Informationen die eine Gestaltzone hinsichtlich ihrer Fertigbarkeit beschreiben. Am Beispiel eines Features „Geradverzahnung“ wären geometrische Daten beispielsweise Modul, Zähnezahl oder Außendurchmesser. Am gleichen Feature würde ein Verweis auf eine zusätzliche Oberflächenbeschichtung wie etwa Phosphatieren als technologische Information gelten. Dem Bauteil hingegen sind all diejenigen Daten zugeordnet, die sich nicht speziell auf ein besonderes Feature beziehen lassen, sondern für viele oder alle Gestaltzonen zutreffen. Beispielfhaft kann man die mittlere Rauhtiefe, Einsatzhärtetiefe oder die Grobabmessungen maximale Länge oder maximaler Durchmesser als bauteilspezifische Informationen betrachten. Die Verwaltung der Baugruppeninformationen ist ebenfalls in zwei Bestandteile untergliedert, in die besonderen geometrischen Informationen der Baugruppe und in die Entwicklungsstückliste, die die Verknüpfung von Einzelteilen oder Unterbaugruppen zu einer Hauptbaugruppe definiert. Die Gewinnung der Geometrieinformationen kann wahlweise interaktiv durch Tastatureingaben

erfolgen, oder bei geeigneten CAD Systemen auch vollautomatisiert durch ein Geometrieerkennungsmodule, das im CAD-System eingebettet ist erfolgen (vgl. dazu Kapitel 4.3)

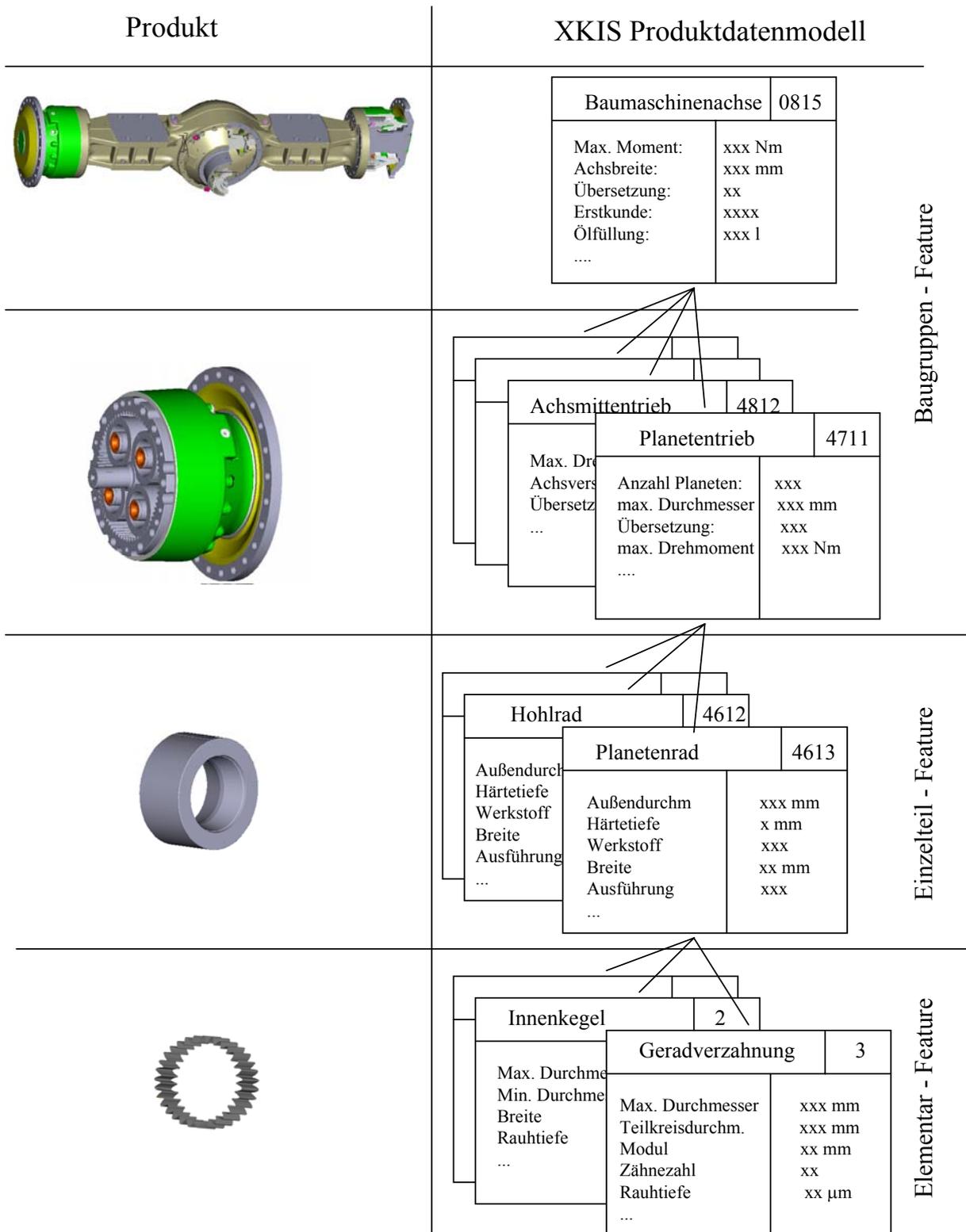


Bild 4.1-2: Gegenüberstellung von Produkt und Produktdatenmodell mit Featurestruktur in XKIS

Zur Arbeitsplanerzeugung sind nicht allein Werkstückinformationen erforderlich, sondern auch Informationen über die zur Verfügung stehenden Fertigungsprozesse und Betriebsmittel, über Werkzeuge und Vorrichtungen. Diese Informationen werden im Firmendatenmodell von XKIS verwaltet. Auch zu den Betriebsmitteln sind ähnlich detaillierte Informationen (soweit sie für die Arbeitsplanung notwendig sind) hinterlegt. Für die Verwaltung wurde ein Klassenkonzept definiert, das in der Lage ist, die Fertigungsstrukturen in einem Industrieunternehmen abzubilden. Das Datenbankmodell der Firmendatenverwaltung ist aufgrund seiner Komplexität stark an die Methoden der objektorientierten Datenhaltung angelehnt.

Zur Wissensverarbeitung des Arbeitsplanungs-Wissens nutzt XKIS ein selbstentwickeltes Modul. Mit Hilfe von Regeln und Entscheidungstabellen ist das System XKIS in der Lage, auch aufwendige Fertigungsfolgen an bestimmten Gestaltzonen (wie etwa unterschiedlichste Verzahnungsverfahren) abzuarbeiten.

4.2 Fertigungssimulation als ein Weg zur Ermittlung von Fertigungskosten

Im Maschinenbau ist die differenzierende Zuschlagskalkulation (vgl. Bild 4.2-1) nach wie vor die verbreitetste Kalkulationsmethode. Um ein durchgängiges Kostenmanagement grundsätzlich möglich zu machen, ist auch das XKIS-Modul zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation auf dieser Methode aufgebaut. Der deutliche Kostenschwerpunkt bei der Zuschlagskalkulation liegt im Bereich der Herstellkosten, die laut VDMA (1990) etwa 72% der Selbstkosten verursachen. Innerhalb der Herstellkosten sind die wesentlichen Kostenfaktoren die Materialeinzelkosten mit durchschnittlich 52% Anteil an den Herstellkosten und die Summe aus Fertigungslohn- und Fertigungsgemeinkosten mit ca. 42% Anteil.

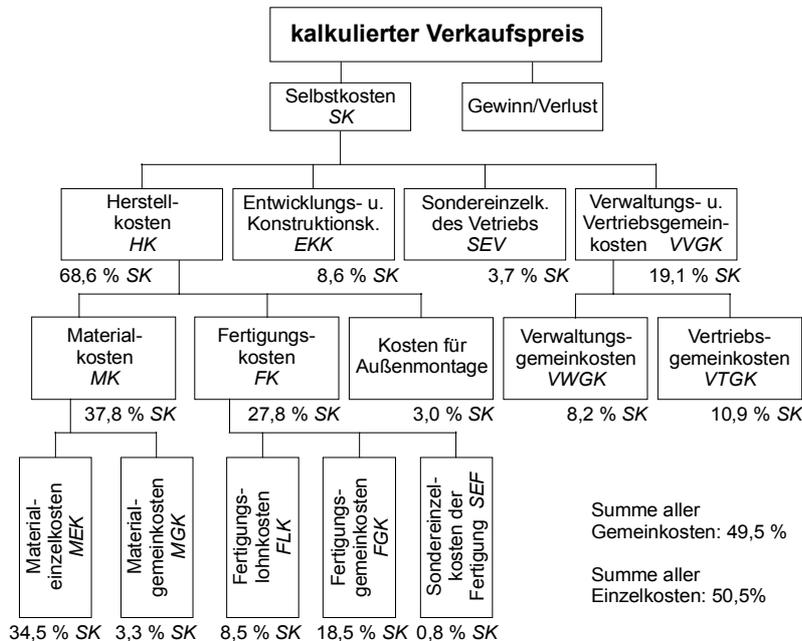


Bild 4.2-1: Kalkulationsschema der differenzierenden Zuschlagskalkulation nach VDMA 1995

Damit sind die wesentlichen Einflußgrößen der differenzierende Zuschlagskalkulation festgelegt, die auch im Kalkulationsmodul zu berücksichtigen sind.

4.2.1 Ermittlung von Materialkosten in der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation

Die Ermittlung der Materialkosten scheint vordergründig problemlos zu sein. Im Praxisbetrieb ergeben sich aber Problemstellungen, die einer besonderen Berücksichtigung bedürfen:

So ist bei Schmiedeteilen aber auch bei einfacheren Gußteilen häufig die Geometrie eines Rohteils nicht bekannt. Konstruiert wird zunächst die Geometrie des Fertigteils. Wird das Rohteil bei einem Lieferanten bezogen, so legt häufig dieser die Rohteilgeometrie anhand der Fertigteilgeometrie fest. Der Schluß von einer Fertigteilgeometrie auf eine Rohteilgeometrie ist damit während des Produktentwicklungsprozesses schwierig.

Viele Kalkulationssysteme ermitteln die Materialkosten mit Hilfe eines Gewichtskostensatzes. Dabei werden die Gewichtskostensätze als Mittelwert aus den Daten der Einkaufsabteilungen gewonnen (Gewichtskostensatz = Kosten für das Rohteil / Masse des Rohteils). Für ähnlich aufgebaute Schmiederohlinge ist dieses Verfahren durchaus zielführend, jedoch ist zu beachten, daß durch Sonderkonditionen im Einkauf häufig signifikante Abweichungen auftreten können. Die geordnete oder selbst hergestellte Stückzahl ist zusätzlich zur Bauteilmasse eine weitere kostentreibende Einflußgröße, die bei der Ermittlung der Teilekosten heranzuziehen ist. Rohlinge, die sich wesentlich voneinander unterscheiden müssen unter Umständen mit unterschiedlichen Gewichtskostensätzen kalkuliert werden, wenn der Lieferant oder die eigene Fertigung einen zusätzlichen Bearbeitungsprozeß (wie etwa Lochen) oder eine andere Fertigungstechnologie anwendet.

Weitaus komplexer stellt sich die Problematik bei der Ermittlung von Rohteilkosten für Gußteile dar. Die Kosten bei Gußteilen sind stark einzelfallabhängig. Die Bauteilgestalt muß sehr detailliert erfaßt sein, zudem müssen auch gießereispezifische Besonderheiten der Gestalt berücksichtigt werden wie etwa Hinterschneidungen, Einhaltung von Ausformschrägen, oder die Anzahl der benötigten Kerne. Die automatische Interpretation der Gußteilgestaltung ist insbesondere bei aufwendigen Gehäusen nicht mit vertretbarem Aufwand möglich. Die Problematik der Ermittlung von Gußteilkosten hat bereits zur Entwicklung von speziellen Kalkulationssystemen geführt (vgl. IAF 1995-2) die jedoch nur bei sehr speziellen Anwendungsgebieten (Getriebegehäuse) erfolgreich eingesetzt werden konnten und nicht auf andere mögliche Anwendungen (etwa bei deutlichen Größenunterschieden der Gehäuse) übertragbar waren.

Um die Materialkosten von Guß- und Schmiedeteilen mit einer für die Konstruktionsbegleitenden Kalkulation hinreichenden Genauigkeit ermitteln zu können sind demzufolge Kompromisse erforderlich. Angestrebt wird bei der Anwendung von XKIS eine maximale Abweichung vom Nachkalkulationsergebnis in Höhe von 5% für ein detailliertes CAD-Modell – nur in den noch früheren Phasen sollen größere Abweichungen toleriert werden. Die Kalkulation der Materialkosten soll einerseits möglichst übersichtlich und nachvollziehbar sein, andererseits sollten sich die Kalkulationsresultate möglichst nah an die realen Kosten annähern. Bei der Umsetzung in XKIS wurde dieser Zielkonflikt durch eine Abhängigkeit der Rohteilkosten

von Werkstoff, Losgröße und Masse der Teile mit ausreichender Genauigkeit gelöst. Zusätzlich können auch nach Bedarf weitere Einflußgrößen wie Teileklasse oder einzelne Geometriedaten zur Ermittlung von pauschalen Zuschlägen zur Gewichtskostenkalkulation herangezogen werden. Die Rohteilgeometrie, die zum Errechnen des Rohteilvolumens und der Rohteilmasse herangezogen wird, ermittelt XKIS durch die Definition eines mittleren Aufmaßes auf die zu bearbeitenden Gestaltzonen (Features). Dieses Vorgehen liefert hinreichend genaue Materialkostenprognosen, solange das definierte mittlere Aufmaß nicht deutlich überschritten wird. Der Entwickler hat zusätzlich die Möglichkeit, bei bekanntem Rohteil das Aufmaß für jede einzelne Gestaltzone zu definieren, und auf diese Weise eine sehr gute Näherung an das reale Rohteilvolumen oder die reale Rohteilmasse zu erhalten. Auf diese Weise ist in den meisten Fällen eine Prognose der Rohteilkosten im Rahmen der für die Kalkulation nötigen Genauigkeit.

4.2.2 Ermittlung der Fertigungslohn- und der Fertigungsgemeinkosten

Das in der Folge beschriebene Modul zur Ermittlung von Fertigungszeiten und Fertigungskosten geht in wesentlichen Zügen aus den Arbeiten von SCHAAL (1992) und STEINER (1996) hervor. Im Rahmen des hier beschriebenen Forschungsabschnittes wurde dieses Modul gepflegt und weiterentwickelt. Insbesondere wurde als zusätzliche Funktionalität die Möglichkeit einer Kalkulation von Baugruppen ergänzt. Zum besseren Verständnis der Problemstellungen bei der automatischen Arbeitsplanung sollen in diesem Abschnitt auch die bereits vorhandenen Funktionalitäten von XKIS kurz beschrieben werden.

Bei der Berechnung der Fertigungszeiten und Fertigungskosten nutzt XKIS das wissensbasierte Modul mit den Regeldaten in Verbindung mit dem Firmendatenmodell. Das wissensbasierte Modul ist in der Lage, Expertenwissen von Arbeitsplanern zu verwalten und zu verarbeiten. Die Wissensverwaltung erfolgt analog zu der Bauteilstrukturierung über eine Featurestruktur. Für jede elementare Gestaltzone, die aus dem CAD System heraus mit geometrischen und technologischen Daten erfaßt wird, existiert ein „Regelbaum“, der die einzelnen Schritte zur Fertigung dieser Gestaltzone beschreibt. Der Weg von den Geometriedaten eines Bauteils zum automatisch erstellten Grobarbeitsplan ist an das methodische Vorgehen, das ein Arbeitsplaner zur Arbeitsplanerstellung anwenden würde angelehnt. Vereinfachend kann das Vorgehen, das ein Arbeitsplaner bei der Bearbeitung eines Bauteils wählen würde in ein Schema – bestehend aus vierzehn Arbeitsschritten – zusammengefaßt werden. Die Folge der Arbeitsschritte ist für die automatische Bearbeitung in XKIS zwingend in der in Tabelle 4.2-1 dargestellten Reihenfolge abzuarbeiten, auch wenn diese Reihenfolge in einzelnen Schritten vom Vorgehen bei der traditionellen Arbeitsplanung abweichen können.

Arbeitsplanung und Vorkalkulation (klassisch)	Vorgehen in XKIS
1. Ausgangsteil festlegen	Laden von Baugruppen- Bauteil- oder Featureinformationen
2. Volumen/Massenermittlung	Berechnen von Einzel- und Sammelvolumen

	Massenermittlung
3. Folge der Arbeitsgänge festlegen	Bearbeitungsprozeßfolge festlegen
4. Maschinenauswahl	Auswahl von geeigneten Maschinen und spätere Vereinheitlichung
5. Teilarbeitsgänge auswählen	Festlegung der Operationen je Bearbeitungsprozeß
6. Werkzeuge zuordnen	Auswahl geeigneter Werkzeuge
7. Teilarbeitsgänge detaillieren	Schnittfolge und Operationsdetails festlegen
8. Prozeßdaten ermitteln	Bestimmung der Zerspanungsparameter
9. Vorgabezeiten errechnen	Berechnung von Haupt- Neben- und Rüstzeiten; Berücksichtigung von maschinen- oder werkzeug- oder prozeßabhängigen Zeitanteilen
10. Vorrichtungen (Fertigungshilfsmittel) wählen	Auswahl von Vorrichtungen, wenn diese für die Vorkalkulation relevant sind
11. Zuschlagssätze berücksichtigen	Einfluß möglicher Zuschlagssätze
12. Kostensätze heranziehen	Ermittlung der zugehörigen Kostensätze für Maschinen, Werker, Abteilungen, ...
13. Berechnung der Herstellkosten	Summieren von Materialkosten und Fertigungskosten
14. Dokumentation der Resultate	Arbeitsplan in Dateiform abbilden, Kosten nach Fertigungsprozessen und nach Gestaltungen gliedern

Tabelle 4.2-1: Gegenüberstellung von herkömmlicher Arbeitsplanung und Kostenrechnung und Bearbeitung bei der automatischen Arbeitsplanung mit XKIS (stark vereinfacht nach STEINER 1996 S. 89)

Neben dem wissensbasierten Modul bildet das komplexe Firmendatenmodell die zweite wesentliche Grundlage für die automatische Grobarbeitsplanerstellung. Das Firmendatenmodell beinhaltet alle für die Planung notwendigen Informationen über Maschinenpark, Werkzeuge, Spannmittel, die Methode der Geometriebeschreibung (das Featuremodell) und die für die Kalkulation notwendige Kostenrechnungsmethode, sowie die für die Berechnungen nötigen Formeln. Diese Daten werden wahlweise von XKIS selbst verwaltet oder über Schnittstellen von anderen Systemen übernommen. Die Entscheidungsfindung des Systems sei zunächst allgemein und in der Folge an einem konkreten Beispiel kurz erläutert. Die rechnerinterne Darstellung der Regelverarbeitung ist sehr detailliert und übersichtlich in Steiner (1995) dargestellt.

Die Regeln zur Arbeitsplanung sind prinzipiell als „wenn-dann“ Beziehungen ausgeführt. Dabei ist der Bediener der Wissensverwaltung – in der Nomenklatur der Wissensverarbeitung

häufig als „Wissensingenieur“ bezeichnet – in der Formulierung der Regeln sehr flexibel. Es besteht daher prinzipiell auch die Möglichkeit, Methoden zur „unscharfen“ Regelformulierung einzusetzen (vgl. auch ENDEBROCK 1999 und WOLFRAM 1994). Zunächst wird der „Regelkörper“ definiert. Der Regelkörper besteht aus Bedingungsteil und Aktionsteil, wobei beide Teile nur mit Hilfe von Variablen gestaltet werden. Diese Variablen können beim Anlegen des Regelkörpers beliebig verknüpft werden. Ein typisches Beispiel für die XKIS-Syntax eines Bedingungsteil wäre:

```
If A=? & B<C & (D<=? | E<B) & F=4
```

Dabei steht „if“ für den Start der Bedingung. Die Bezeichnungen „A bis E“ sind lediglich Synonyme für konkrete Produktmerkmale oder Prozeßmerkmale, die aus einer dynamisch nach dem Fortschrittsstand im Regelbaum erzeugten Merkmalsliste ausgewählt werden. Die Synonyme können entweder miteinander, oder mit durch ein „?“ gekennzeichneten Variablen - denen erst in den Regelinstanzen Werte zugewiesen werden - oder mit Konstanten in Relation gesetzt werden. Diese Relationen werden durch die Operatoren „=“ (ist gleich), „!=“ (ist ungleich), „>“ und „<“ (größer und kleiner) definiert. Die Verknüpfung der Relationen erfolgt durch die Booleschen Operationen „&“ (und) sowie „|“ (oder). Für die Bearbeitung von Textinformationen und für komplexere mathematische Aufgabenstellungen stehen zusätzliche Funktionen und die dazugehörigen Funktionsinterpreter zur Verfügung. Ein Beispiel für den Aktionsteil einer Regel (hier für die Prozeßauswahl) ist:

```
Then next_process=?
```

Der Aktionsteil enthält immer eine konkrete Wertezuweisung. Dies können endgültige Regelentscheidungen sein, oder auch Zwischenergebnisse.

Mit Hilfe dieser Syntax ist es möglich, komplexe technische Entscheidungen in eine relativ kurze und dadurch sehr gut rechnerverarbeitbare Form zu bringen. Der tatsächliche Inhalt der Regel wird in den Instanzen des Regelgrundkörpers definiert. In den Instanzen einer Regel werden noch undefinierte Variablen mit Werten belegt, so daß die Gültigkeit der Regel geprüft werden kann, zudem wird in der Instanz eindeutig das Ergebnis des Aktionsteils festgelegt. Dabei können im Aktionsteil einer Regel mehrere Aktionen festgelegt werden. Die zunächst aufwendig erscheinende Methode der Instantiierung der Regeln hat in der Praxis mehrere gravierende Vorteile. Viele Regeln unterscheiden sich nur in sehr kleinen Details voneinander. In diesem Fall können durch einen geschickt angelegten Regelgrundkörper ohne großen Aufwand neue Bedingungen und Aktionen generiert werden. Diese Aufteilung nach Grundkörper und Instanz entspricht damit im Wesentlichen den Grundgedanken der Modularisierung in der Softwareentwicklung. Bei komplexen Produktspektren innerhalb eines Betriebes ist es mit Hilfe der Regelinstantiierung zudem möglich, die Regelbasis übersichtlich zu strukturieren und so im Änderungs- oder Ergänzungsfall einen schnellen Zugriff auf die entsprechenden Regeln zu haben. Zudem bietet die Gestaltung von Regelgrundgerüst und Regelinstanz die Möglichkeit, die Berechnungszeit eines Arbeitsplanes zu reduzieren. Während die Regelgrundkörper grundsätzlich bei jedem Planungsdurchlauf abgearbeitet werden, ist dies bei den Instanzen nur solange der Fall, bis eine Instanz den Bedingungsteil der Regel erfüllt.

Im Laufe der Abarbeitung des in Bild 4.2-3 dargestellten Ablaufs kann der Bedingungsteil der Regel unterschiedliche Merkmale beinhalten. Die Produktmerkmale stehen – soweit sie

zum aktuellen Zeitpunkt bekannt sind – stets zur Verfügung, zusätzlich aber auch Parameter, die im Verlauf des Regelbaumes bereits festgelegt wurden (wie etwa Maschinendaten oder Werkzeugdaten). Demzufolge erhöht sich die Anzahl der zur Regelformulierung verfügbaren Merkmale, je weiter man im Planungsablauf vorgestoßen ist.

Beim Start einer Kalkulation in XKIS werden zunächst alle Bauteil und Featureinformationen geladen (1). Ein Teil der Informationen ist durch die Erfassung der Geometrie- und Technologiedaten bereits vorhanden, ein weiterer Teil muß erst durch Berechnung oder durch Regelverarbeitung ermittelt werden. So werden unter anderem die Volumina der einzelnen Gestaltzonen durch Berechnungsformeln aus den bekannten (im CAD oder manuell erfaßten) Bauteildaten ermittelt. Dabei haben die Einzelvolumina teilweise positive Vorzeichen, teilweise auch negative Vorzeichen. Die Vorzeichen drücken aus, ob ein Material vorhanden ist (positiv) oder ob Material zerspannt wird (negativ). Damit werden beispielsweise die Lagersitze eines Kegelritzels mit positivem Vorzeichen versehen, wohingegen die Schmierbohrungen des Ritzels als negative Volumina gewertet werden. Das Volumen des Gesamtbauteils ermittelt sich dann aus der Summe dieser Einzelvolumina (2). Mit Hilfe der aus dem Firmendatenmodell ermittelten Werkstoffdichte kann in der Folge die zur Ermittlung der Materialkosten nötige Bauteilmasse (vgl. Kap. 4.2.1) berechnet werden. Daran anschließend erfolgt für jede einzelne Gestaltzone die Auswahl der Bearbeitungsprozeßfolge (3). Die Regeln zur Auswahl der Fertigungsprozesse können je nach Anwendungsfall von unterschiedlichen Einflußgrößen abhängen. Häufig sind Grobabmessungen und Teileklassen ein wesentliches Kriterium zur Fertigungsprozeßwahl. So werden etwa Drehprozesse (wie Einspindel oder Mehrspindeldrehen) abhängig von der Bauteillänge ausgewählt – bedingt durch die eingeschränkten Drehlängen auf Frontladerdrehmaschinen. In diesem Beispiel würde eine Regelinstanz die Verwendbarkeit einer kostengünstigen weil mit geringen Fertigungszeiten behafteten Mehrspindeldrehmaschine prüfen, während eine weitere Regelinstanz einen Einspindeldrehprozeß wählen würde, falls eine mehrspindlige Bearbeitung aus Gründen der Bauteilabmessung oder anderer Gründe nicht möglich wäre.

Häufig sind die Fertigungsfolgen bereits nach der Auswahl eines Fertigungsprozesses vorgegeben, so ist beispielsweise bei Härtereprozessen die Festlegung eines Härteverfahrens (das bedeutet die Auswahl eines Pfades in einem automatisierten Härtereprozess) ausschlaggebend für alle Wärmebehandlungsprozesse innerhalb des gewählten Verfahrens. Auf einen Prozeß zum Aufkohlen des Werkstückes folgen diverse Glüh- und Kühlprozesse, die ohne weitere Regeln als Folge eines anfänglich gewählten Prozesses durchlaufen werden.

Die Auswahl der Prozesse erfolgt in XKIS meist nach Kostengesichtspunkten. Dabei ist es nicht auszuschließen, daß bestimmte Prozesse zwar im Prinzip als kostengünstig betrachtet werden können, jedoch nur unter bestimmten Randbedingungen. Die Auswahl von Prozessen kann damit erfordern, unter der Annahme eines konkreten Fertigungsprozesses einen Simulationslauf zu versuchen, der möglicherweise ergibt, daß der gewählte Fertigungsprozeß im Einzelfall nicht die kostenoptimale Lösung darstellt. Dies ist insbesondere dann möglich, wenn für einen Fertigungsprozeß kostenintensive Werkzeuge verwendet werden, deren Beschaffung jedoch erst ab bestimmten Grenzstückzahlen wirtschaftlich sinnvoll ist. Die Implementierung beim Pilotunternehmen hat dies beispielsweise bei der Auswahl von bestimmten Verzahnungsprozessen notwendig gemacht. Hier existieren kostengünstige weil mit niedrigen Durchlaufzeiten behaftete Verfahren, bei denen die Neubeschaffung von Werkzeugen

gen nur unter Berücksichtigung von Grenzstückzahlen wirtschaftlich sinnvoll ist. Dazu wird die Fertigungsprozeßfolge zunächst mit dem günstigsten Verfahren geplant, sollte sich bei der Auswahl der Werkzeuge herausstellen, daß für das zu fertigende Feature kein geeignetes Werkzeug vorhanden ist und die Neubeschaffung eines Werkzeuges nicht lohnend ist, so wird die Auswahl der Fertigungsprozesse - nach der Substitution des unrentablen Verfahrens durch ein gleichwertiges - nochmals durchgeführt.

Fein und Feinstbearbeitungen sind häufig von technologischen Daten wie Form- und Lage-toleranzen oder von Rauhtiefenangaben abhängig. In diesen Fällen sind die o.a. Wenn-Dann Beziehungen sehr einfach definierbar

Die Reihenfolge, in der die Regeln zur Prozeßauswahl abgearbeitet werden wird analog zur betrieblichen Arbeitsplanung festgelegt, dazu werden Prioritäten definiert, die diese Reihenfolge abbilden. Damit ist auch gewährleistet, daß der während der automatischen Regelbearbeitung ein grober Arbeitsplan erstellt wird, der nach Unternehmensrichtlinien aufgebaut ist und online eine weiterbearbeitbare Grundlage für die Erstellung des ausführlichen für die Fertigung relevanten Arbeitsplanes darstellt.

Durch die Auswahl eines Fertigungsprozesses ist gleichzeitig auch die Maschinenklasse festgelegt, aus der eine zur Ausführung des Prozesses geeignete Maschine gewählt wird. Die Maschinenwahl erfolgt häufig durch einen Vergleich der Maschinenarbeitsräume mit den geometrischen Abmessungen des Bauteils (4). Damit ist mit Auswahl einer passenden Maschine gleichzeitig die Fertigbarkeit des Bauteils nachgewiesen. Es ist nicht möglich, daß XKIS ein Teil kalkuliert, welches mit den vorhandenen Betriebsmitteln nicht produzierbar ist. Sollte bei der Kalkulation ein unerwarteter Status eintreten, beispielsweise wenn keine geeignet Maschine für einen Fertigungsprozeß gewählt werden konnte oder wenn kein geeignetes Werkzeug zur Fertigung einer Gestaltzone vorhanden ist, wird der Planungsprozeß unmittelbar unter Ausgabe einer entsprechenden Fehlermeldung abgebrochen. Der Konstrukteur kann daraus seinen Handlungsbedarf ableiten und die Konstruktion entsprechend den Erkenntnissen aus der Fertigungssimulation ändern. Damit ist XKIS auch eine Hilfsmittel, um zeit- und kostenintensive Änderungsschleifen, die sich aus der Entwicklung nicht fertigungsgerechter Teile ergeben zu vermeiden.

Die Reihenfolge, in der die Arbeitsräume von Maschinen eines bestimmten Pools von Maschinen ausgewählt werden ist analog zur Prozeßwahl über die Vergabe von Prioritäten geregelt. Gewählt wird zunächst für eine Gestaltzone die Maschine, die aufgrund ihrer Priorität als erste für die Fertigung der Gestaltzone geeignet ist. Von dieser gewählten Maschine werden für die weitere Bearbeitung in XKIS die technologischen Eigenschaften wie Vorschübe, Eilganggeschwindigkeiten oder maximale Zustellung herangezogen. Zu beachten ist, daß XKIS nicht in der Lage ist, Auslastungsgrade von Maschinen mit in Betracht zu ziehen. XKIS wählt jeweils die Maschine für einen Fertigungsprozeß, die aufgrund ihrer Eigenschaften und der ihr zugeordneten Priorität als erste den Anforderungen entspricht. Im Normalfall ist das – da sich die Kosten in der Zuschlagskalkulation proportional zu den Stunden-sätzen verhalten - diejenige Maschine, die den geringsten Maschinenstundensatz aufweist. Diese Einschränkung in der Funktionalität bildet kein Problem, solange für die Fertigung genügend gleichwertige Betriebsmittel vorhanden sind, die auch einen vergleichbaren Maschinenstundensatz aufweisen. Davon ist in mittleren und größeren Betrieben auszugehen. Die in vielen Unternehmen favorisierten flexiblen Fertigungsinseln bieten sich für die auto

matische Arbeitsplanung an, da für die Bearbeitung von Teilefamilien nur eine begrenzte Anzahl an Betriebsmitteln zur Verfügung steht. Damit wird die Auswahl einer geeigneten Maschine im Vergleich zur früher vorherrschenden Werkstättenfertigung, in der für einen Bearbeitungsprozeß eine große Anzahl unterschiedlichster Betriebsmittel bereitstand. Die in Fertigungsinseln platzierten Maschinen haben zudem den Vorteil, daß mit nahezu konstanten Stundensätzen gerechnet werden kann, solange sich die Auslastungsgrade der Inseln nicht eklatant verändern. Dies ist insbesondere dann zu berücksichtigen, wenn sich die Anzahl der Fertigungs-Schichten verändert, da sich die Maschinenlaufzeiten direkt in den Maschinenstundensätzen niederschlagen.

Nach der Festlegung der Maschine erfolgt die Wahl von Fertigungsoperationen (5). Operationen beschreiben die Fähigkeit von Maschinen, mit mehreren Werkzeugen zu arbeiten. Ein typisches Beispiel für Fertigungsoperationen sind die Schrupp- und Schlichtvorgänge beim Drehen von Bauteilen. Beide Operationen erfordern unterschiedliche Werkzeuge und unterschiedliche Zerspanungsparameter. Die Auswahl der Fertigungsoperationen erfordert meist keine Entscheidung anhand von Maschinen oder Werkstückdaten, sie werden für den jeweiligen Fertigungsprozeß und die jeweilige Gestaltzone direkt zugewiesen. Dazu wird der Bedingungsteil der zugehörigen Regel meist ignoriert (= mit dem Wert „erfüllt“ belegt).

Die Auswahl der Werkzeuge (6) für die unterschiedlichen Operationen erfolgt anhand der benötigten Werkstückgeometrie. Dabei werden allerdings für die Vorkalkulation aus der Werkzeugdatenbank des Systems nur diejenigen Werkzeuge exakt nach der Vorgabe ausgewählt, die einen Einfluß auf die Berechnung der Herstellkosten haben. Hat die Werkzeugauswahl keinen oder nur einen geringen Einfluß auf Fertigungszeiten und -kosten, so wird – auch zur Senkung der Kalkulationszeit – ein Ersatzwerkzeuge für „alle“ Anwendungsgebiete gewählt. So ist es für die Kostenrechnung beispielsweise eher unwichtig, welche Wendepatte für den Drehprozeß ausgewählt wird, dagegen hat die Auswahl eines Verzahnungsfräasers oder einer Räumnadel einen großen Einfluß auf die Berechnung der Fertigungszeiten und muß daher möglichst exakt erfolgen.

Nach Auswahl der Werkzeuge sind alle für die Fertigungsplanung (des Pilotunternehmens) relevanten Parameter festgelegt, die auch für die Berechnung der Fertigungszeiten notwendig sind. Die Berechnung der Fertigungszeiten wird in XKIS analog zu den REFA-Grundlagen durchgeführt (vgl. Bild 4.2-2). Dazu werden zunächst die Zerspanungsparameter (8) wie Vorschübe, Schnittgeschwindigkeiten, Zustellung für den Teilarbeitsgang definiert. Die Festlegung erfolgt dabei anhand von mehreren Parametern, die vom Werkstück, vom Werkstoff, von der verwendeten Maschine oder vom verwendeten Werkzeug abhängig sein können. Anschließend erfolgt die Berechnung der Hauptzeiten (9) durch die Ermittlung von Werkzeugverfahrweg und Werkzeugverfahrgeschwindigkeiten. In Ausnahmefällen, die eine direkte Ermittlung der Wege oder Geschwindigkeiten nicht zulassen, können bei der Berechnung der Hauptzeiten auch statistische Verfahren zur Anwendung kommen. Dies ist notwendig, wenn bedingt durch viele Freiheitsgrade an der Werkzeugmaschine (relative Geschwindigkeiten in x,y,z- Richtung an der Maschine und zusätzlich mehrere überlagerte Rotationsbewegungen) die Ermittlung dieser Parameter nicht oder nur sehr schwierig möglich ist. Nach gleichem Prinzip werden auch die Nebenzeiten einer Featurebearbeitung erfaßt. Neben einigen maschinenspezifischen Zeitanteilen (wie das Öffnen und Schließen des Maschinenschutzes oder die

Werkzeugwechselzeit der Maschine) werden auch werkstückabhängige Nebenzeiten wie die Zeit zum Anfahren des Werkstückes im Eilgang berücksichtigt.

Anhand der Werkstückgeometrie und der Werkstückteilkategorie ist es zusätzlich möglich, aus einer Vorrichtungsdatenbank ein geeignetes Fertigungshilfsmittel (10) auszuwählen oder die Kosten für eine neu zu beschaffende Vorrichtung abzuschätzen. Die korrekte Auswahl von Vorrichtungen ist häufig aufgrund der komplexen Geometrie nicht trivial. Zudem werden die Kosten von Vorrichtungen bei vielen Unternehmen nicht den betreffenden Bauteilen zugewiesen, sondern den Maschinen, an denen sie zum Einsatz kommen. Damit ist der Anteil der Vorrichtungen bereits im Maschinenstundensatz integriert. In diesem Fall ist es für die Kalkulation irrelevant, wie präzise die Auswahl der Vorrichtungen erfolgt. Der Anwender muß abwägen, ob es – beispielsweise für eine Weiterbearbeitung des Grobarbeitsplanes - wünschenswert ist, eine Vorrichtungsauswahl durch XKIS dennoch vornehmen zu lassen.

Die bisher erläuterten Vorgehensschritte (1-10) bearbeitet XKIS für alle einzelnen Gestaltzonen. Da bei unterschiedlichen Gestaltzonen durchaus gleiche Fertigungsprozesse geplant werden können, ist es möglich, daß XKIS für jede Gestaltzone unterschiedliche Maschinen wählt. Da dies im Normalfall nicht sinnvoll ist, werden nach der Planung der einzelnen Features die Maschinen vereinheitlicht. XKIS listet alle Maschinen eines Fertigungsprozesses auf und wählt aus der Summe dieser Maschinen eine Maschine aus, die in der Lage ist, alle Teilarbeitsgänge aller Gestaltzonen zu fertigen. Bei der Ermittlung der Summe aller Hauptzeiten und Nebenzeiten eines Prozesses ist es auch möglich, daß einige maschinenabhängige Zeitanteile zu addieren sind. Dies erfolgt in XKIS automatisch für die letztlich vereinheitlichend gewählte Maschine durch die unter den Maschinendaten erfaßten Informationen. Dort können auch Zuschlagssätze definiert sein, die auf die einzelnen Zeitanteile aufgerechnet werden. Darunter fallen häufig Verteilzeitanteile die prozentual verrechnet werden oder Zuschläge wie etwa für die Bedienung mehrerer Maschinen (11). Der Anteil der Rüstzeiten ist meist maschinenspezifisch definiert und kann von XKIS ebenfalls aus der Maschinendatenbank für die jeweils gewählte Maschine gelesen werden. Die Belegungszeit der Maschine je Werkstück ermittelt sich dann (vgl. Bild 4.2-2) aus der Summe der anteiligen Rüstzeit je Werkstück (t_r/n) und der Einzelzeit (t_e).

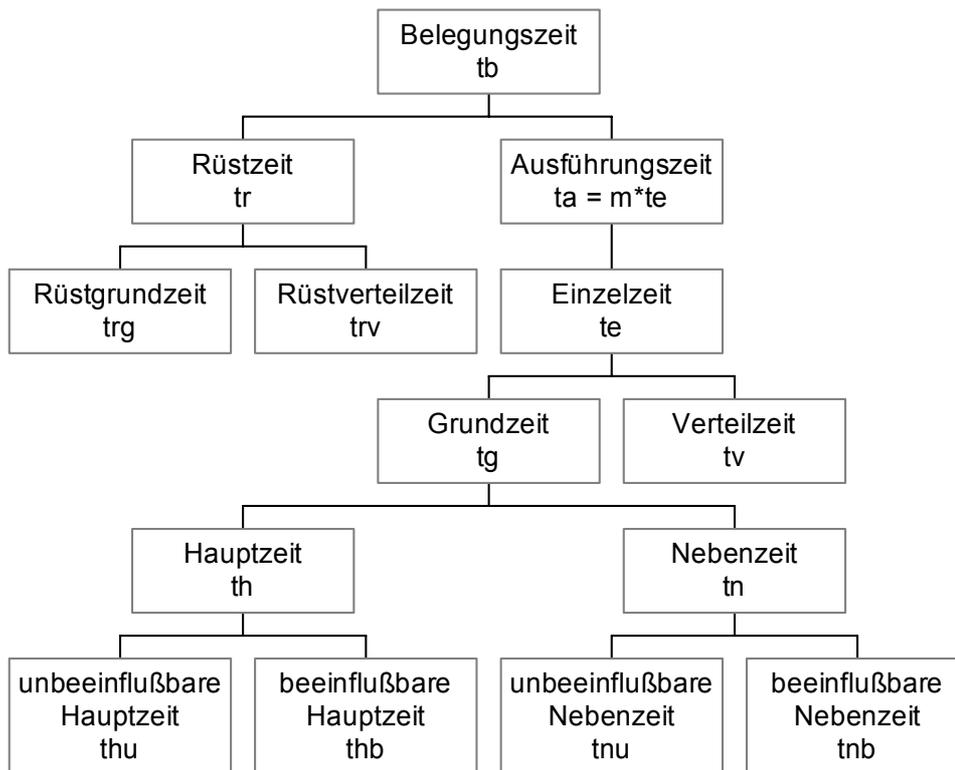


Bild 4.2-2: Zeitanteile nach REFA (1971)

Die Ermittlung der Kostensätze (12) die mit der Belegungszeit je Stück (t_b/n) zu verrechnen sind ermittelt XKIS ebenfalls aus dem Firmendatenmodell. So sind Maschinenstundensätze bei den Maschinendaten hinterlegt, analog werden Abteilungsstundensätze und Werkerstundensätze in einer eigenen Datenbanktable gepflegt. Diese Stundensätze sind einmal jährlich zu überarbeiten und zu pflegen, um stets die aktuellen Kostensätze in der Kalkulation berücksichtigen zu können. Die Summe aus Materialkosten und Fertigungskosten ergibt laut Kalkulationsschema der differenzierenden Zuschlagskalkulation (vgl. Bild 3.2-1) die Herstellkosten des Bauteils (13). Werden auch die Overheadkosten in Form eines prozentualen Zuschlagssatzes in die Kalkulation miteinbezogen errechnen sich die Selbstkosten des Produktes. Die simultan zu Arbeitsplanung und Kalkulation in XKIS erfolgende Dokumentation der Regelentscheidungen in Dateiform (14) kann einerseits zu Kontrollzwecken der Kalkulation eingesetzt werden, kann aber auch die Grundlage für einen komplexeren Arbeitsplan sein. Die Dokumentation der Resultate bietet somit auch Synergieeffekte für Arbeitsplaner.

Diese grobe Beschreibung der Vorgehensweise zur Ermittlung von Fertigungszeiten und Fertigungskosten soll noch verdeutlicht am konkreten Beispiel eines Features „Geradverzahnung“ an einem Sonnenrad (Bild 4.2-3).

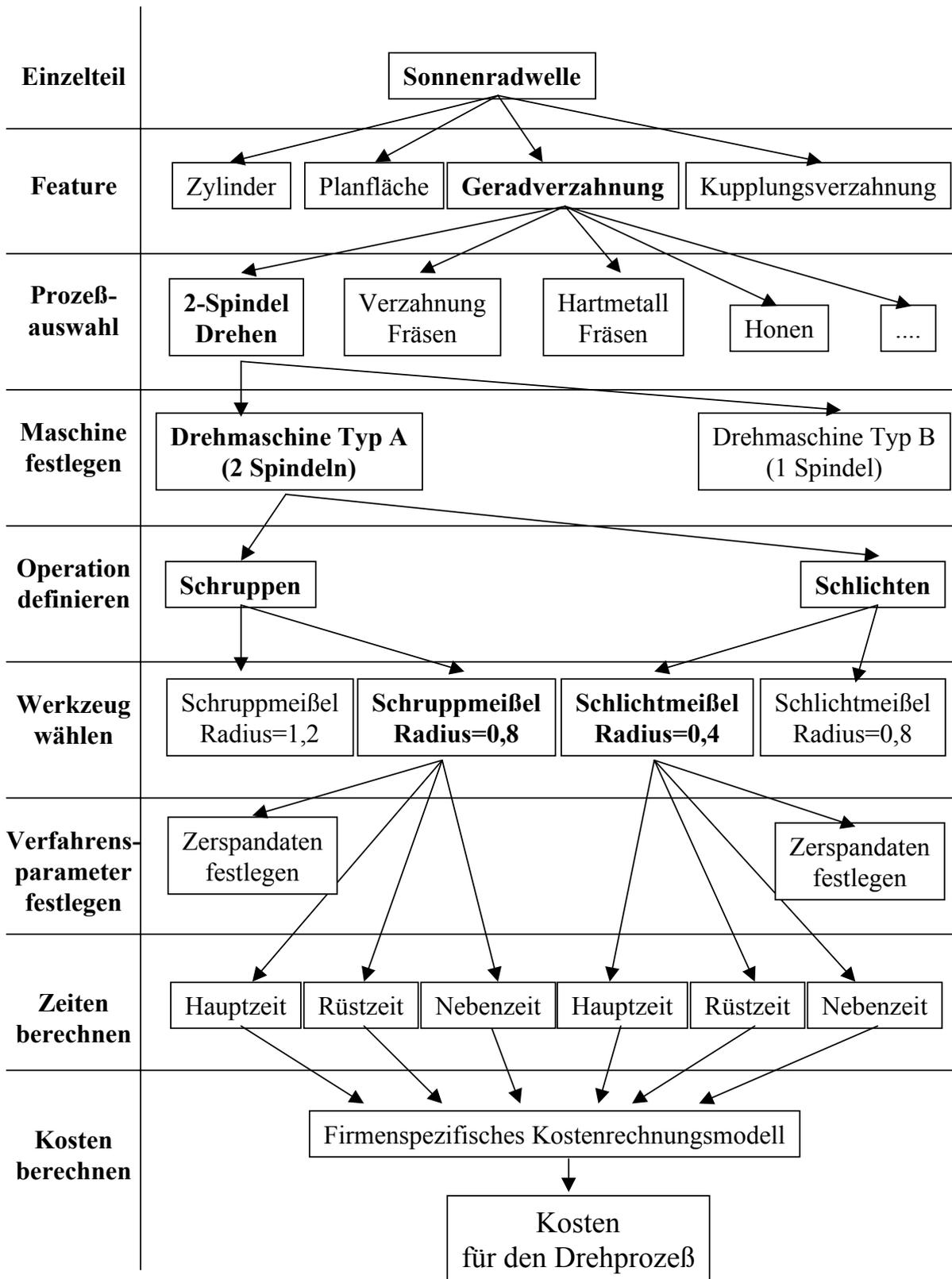


Bild 4.2-3: schematisierter Ablauf einer Kalkulation am konkreten Beispiel der Drehbearbeitung einer Geradverzahnung

Als Grundlage für die Arbeitsplanung des Lagersitzes stehen diejenigen Informationen zur Verfügung, die das Bauteil beschreiben, sowie die detaillierte Beschreibung des Features „Geradverzahnung“, die in diesem Beispiel aus den Einzeldaten: Kopfdurchmesser, Fußdurchmesser, Verzahnungsbreite, Modul, Zähnezahl, Rauhtiefe und Verzahnungsmeßblattnummer besteht. Die Regeln zur Auswahl geeigneter Fertigungsprozesse für die Geradverzahnung stellen den ersten Schritt zur Arbeitsplanerstellung dar. Für diese Geradverzahnung wird zunächst ein Prozeß „Drehen“ geplant, daran anschließend die Prozesse Verzahnungsfräsen, Hartmetallfräsen und Honen. Mit diesen Fertigungsschritten kann eine Gestaltzone Geradverzahnung mit den ihr zugeordneten Geometrie- und Technologieinformationen gefertigt werden. Dabei legt XKIS bei der Planung keine starre Prozeßfolge zugrunde, sondern plant für jedes Feature alle Prozesse entsprechend der beschreibenden Parameter des jeweiligen Features. So entscheidet XKIS bei der Auswahl des Drehprozesses auch, ob der Drehprozeß mit Mehrteilebearbeitung erfolgen kann. Dazu prüft XKIS anhand der Fertigteillänge, ob die Sonnenradwelle, die die Geradverzahnung enthält eine mehrspindelige Bearbeitung zuläßt. Dazu ist zu sagen, daß im Pilotunternehmen verschiedene Drehprozesse gefertigt werden können. Besonders kostengünstig ist die Fertigung auf Zweispindel-Drehmaschinen. Diese Maschinen sind in der Lage, zwei Teile gleichzeitig zu bearbeiten, so daß sich die Fertigungszeiten nahezu halbieren. Da diese Maschinen jedoch von vorne bestückt werden (Frontlader) verfügen sie über keine Einrichtung um längere Bauteile innerhalb der geforderten Fertigungstoleranzen bearbeiten zu können (ein Drehen zwischen Spitzen ist daher nicht möglich). Das hat zur Folge, daß nur Teile bis zu einer festgelegten Bauteillänge für ein Zweispindeldrehen in Frage kommen. Mit Festlegung des Fertigungsprozesses ist gleichzeitig auch die Maschinenklasse definiert, die diesen Fertigungsprozeß erfüllen kann. Aus dem Datenpool der Zweispindeldrehmaschinen wählt XKIS entsprechend den Daten der Sonnenradwelle eine der Maschinen aus, die entsprechend dem Maschinenarbeitsraum und den möglichen Verfahrenswegen dazu geeignet ist, diese Welle zu bearbeiten. Die daran anschließende Zuordnung der Fertigungsoperationen ist für den Drehprozeß trivial: Einer Schruppbearbeitung in der der größte Anteil an Material abgetragen wird folgt eine Schlichtbearbeitung, die eine riefenfreie Oberfläche gewährleistet. Die Zuweisung der Werkzeuge zu den Fertigungsoperationen führt zur Auswahl eines Schruppmeißels und eines Schlichtmeißels. Diese Drehwerkzeuge werden von XKIS mehr nach Zufallsprinzip aus der Werkzeugdatenbank ausgewählt, weil sie keinen direkten Kosteneinfluß und Zeiteinfluß auf das Teil haben. Anders würde sich dies bei kostenintensiven Verzahnungswerkzeugen auswirken – in diesem Fall plant XKIS entsprechend der Geometrie der Verzahnung ein tatsächlich geeignetes Verzahnungswerkzeug, da am Beispiel der Verzahnung auch die Werkzeuggeometrieparameter in die Berechnung der Fertigungszeiten einfließen können. An die Auswahl der Drehmeißel schließt sich die Berechnung der Fertigungszeiten an. Dazu werden zunächst die Prozeßparameter für das Drehen festgelegt: Abhängig vom zu zerspanenden Werkstoff und nicht näher erläuterten Geometrieparametern werden Schnittgeschwindigkeit und Vorschübe und die maximale Zustellung festgelegt. Diese Informationen in Verbindung mit den Geometrieparametern der Verzahnung sind ausreichend, um über formelmäßige Zusammenhänge die Fertigungszeit des Prozesses „Drehen“ für die Gestaltzone „Geradverzahnung“ zu errechnen.

4.3 Erkennung und Analyse von 3D Geometriemodellen als Basis für die Produktkostensimulation

Die Suche nach Möglichkeiten zur rechnerischen Nutzung von „Zeichnungsinformationen“ – in diesem Zusammenhang seien unter Zeichnungsinformationen technische Produktinformationen im allgemeinen verstanden – ist so alt wie die ersten Grundgedanken der rechnerintegrierten Produkterstellung. Die Aufgabenstellung hat sich seit diesen Anfängen nicht wesentlich geändert: Es sind Methoden zu entwickeln, wie technische Informationen aus technischen Dokumenten extrahiert werden können. Unter dem Begriff Dokumente sind sowohl Papierdokumente wie auch Dateien zu verstehen, die sich hinsichtlich der Möglichkeiten zur Gewinnung der Produktinformationen gravierend unterscheiden. Demzufolge müssen unterschiedliche Methoden vorgesehen werden, die eine Datenextraktion aus den Dokumenten ermöglichen. Bei der Entwicklung des Systems XKIS wurden bereits zwei Schnittstellen zur Datenerfassung definiert. Zum einen ein alphanumerisches Modul zur interaktiven Dateneingabe, das sich insbesondere für die Produktdaten auf manuell erstellten Zeichnungen eignet, zum anderen verfügte XKIS bereits über eine Direktschnittstelle zu einem 2D - CAD System. Diese Schnittstelle bot im Vergleich zur Datenerfassung über Tastatureingabe schon mehrere gravierende Vorteile. So sind fehlerhafte Eingaben nahezu ausgeschlossen, wenn CAD - Linienelemente zur Längen- oder Durchmesserermittlung herangezogen werden. XKIS bediente sich dabei mit Hilfe einer CAD - Programmierschnittstelle der CAD Funktionalitäten zum Vermessen von Bauteilen. Als ein Effekt dieser Vorgehensweise verkürzte sich auch die Zeit zur Datengewinnung im Vergleich zur manuellen Dateneingabe wesentlich. Die direkte Kopplung von XKIS mit dem CAD System bot zusätzlich auch eine direkte Verknüpfung der Informationen beider Systeme. Damit wurde bei einer Veränderung der CAD Zeichnung beim folgenden Aufruf von XKIS diese Änderung automatisiert auch in der Produktdatenbank vorgenommen. Die Möglichkeiten einer Extraktion von Produktinformationen aus 2D CAD Systemen blieb aber trotz der angesprochenen Vorteile als sehr beschränkt. Eine automatische Erkennung von Feature-Strukturen anhand von Linienelementen ist nicht ohne großen zusätzlichen Aufwand in der Konstruktionsphase realisierbar. Technologische Produktinformationen wie Rauhtiefen oder Form- und Lage- Toleranzen sind zudem im 2D-CAD den Geometrieelementen gewöhnlich als Textinformationen zugeordnet und über Schnittstellenprogramme weder interpretierbar noch zuordenbar.

Die zunehmende Verwendung von 3D CAD Systemen in der industriellen Praxis ermöglicht es, neuartige Ansätze zur Produktdatenerfassung zu verfolgen. Dies liegt einerseits daran, daß die Geometrie bereits featurebasiert aufgebaut ist, andererseits sind alle wesentlichen Zusatzinformationen eindeutig zuordenbar als zusätzliche Parameter direkt am betreffenden Feature hinterlegt. Die Weiterentwicklung der Produktdatenerfassung in XKIS auf die Verwendbarkeit in 3D Systemen war bei der Systemerweiterung der vergangenen Jahre daher ein Schwerpunkt. Wesentlich für eine Integration von XKIS im CAD System ist die Konformität des Teileaufbaus. Dies bedeutet eine weitestgehende Ähnlichkeit der Featurestruktur der zu bearbeitenden Teileklassen in der XKIS und der CAD - Datenbank, mit der Folge, daß ein System als führendes System definiert werden kann und das zweite System an die Strukturen des führenden Systems anzupassen ist. Die Strukturen von XKIS waren durch die vierjährige

Anwendung im 2D CAD und die durch die automatische Grobarbeitsplanung vorgegebenen Randbedingungen schon weitgehend festgelegt und nur noch unter größerem Aufwand veränderbar, so daß sich XKIS zur Verwendung als führendes System dieser integrierten Lösung angeboten hat. Die Möglichkeiten zur Geometrieerzeugung sind in modernen 3D Systemen so vielseitig, daß auf CAD-Seite leichter Kompromisse bei der Produktdatengenerierung eingegangen werden können. Bei der systemtechnischen Implementierung der automatisierten Erfassung von Featureinformationen in XKIS wurden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt.

4.3.1 Programmgesteuerte Featurestrukturanalyse

Ein Ansatz war es, dem Konstrukteur weitgehende Freiheiten beim Aufbau seiner 3D Modelle zu belassen und über programmierte Logik die Featurestruktur der Bauteile zu erkennen. Diese Methode ist zwar auf einige zu beachtende Randbedingungen angewiesen, ermöglicht es aber durch aufwendige logische Prüfungen von Gestaltzonen oder Flächen (Hüllkonturen) nahezu selbstständig Gestaltzonen mit den dazu im Modell hinterlegten Maßen korrekt zu erkennen. Die Problemstellung der Featureerkennung mag auf den ersten Blick in einem featurebasierten CAD-System trivial erscheinen, ist aber in der Realität ein schwieriges Aufgabengebiet, wenn man sich die unterschiedlichen Möglichkeiten der Geometrieerzeugung in 3D Systemen vor Augen führt. Am Beispiel eines Kegelritzels sei dies schematisch dargestellt:

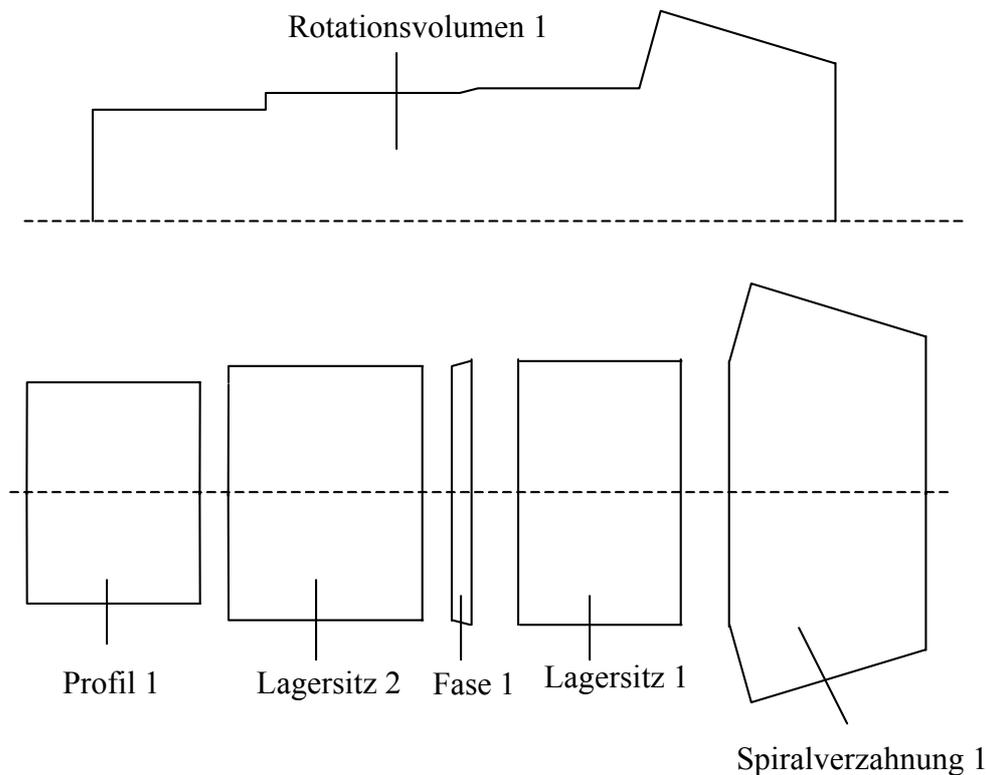


Bild 4.3-1: Schematische Darstellung von unterschiedlichen Strategien der Geometrieerstellung.

Bild 4.3-1 zeigt zwei unterschiedliche Möglichkeiten, eine identische 3D – Darstellung eines Ritzels zu erzeugen. Während in der oberen Darstellung ein Halbschnitt des Teils skizziert wurden und durch Rotation des Schnittes ein Volumenkörper erzeugt wird, wurde in der unteren Darstellung jede Gestaltzone des Bauteils als eigenes Feature im CAD modelliert und zu einem kompletten Bauteil zusammengefügt. Beide Verfahren sind möglich, unterscheiden sich aber in der CAD - internen Informationsverwaltung. Das obere Modell besteht aus nur einem einzigen Feature, zu dem alle Einzelabmessungen als Parameter in der CAD Datenbank hinterlegt sind. Das untere Modell besteht aus fünf Gestaltzonen, wobei die Geometrieparameter eindeutig dem jeweiligen Feature zugewiesen sind. Dieses Modell entspricht prinzipiell bereits dem Aufbau der Bauteile in der XKIS Verwaltung, kann aber durch die Wahl der Bemaßungsparameter weitere Probleme bei der automatisierten Datenextraktion generieren. Schon die unterschiedlichen Vorgehensweisen, die man bei der Generierung eines einfachen Zylinders im 3D CAD anwenden kann, erfordern eine aufwendige Programmlogik, um die für Planung und Kalkulation relevanten Informationen übertragen zu können. Daher empfiehlt es sich für die Vorgehensweise der automatischen Featureerkennung einige Einschränkungen der CAD Funktionalitäten zu vereinbaren:

Es sollten alle zu bearbeitenden Gestaltzonen als eigenständige Gestaltzonen definiert sein. Das bedeutet zum einen, daß jede Gestaltzone für sich zu modellieren ist, zum anderen aber auch, daß Funktionalität zum Mustern von Gestaltzonen oder zum Kopieren und Vervielfältigen von Gestaltzonen nach Möglichkeit nicht genutzt werden sollen. Zudem sollte man bei der Bemaßung und der Methode der Generierung neu erzeugter Gestaltzonen einheitlich vorgehen.

Alle zusätzlichen Informationen die für die Fertigung eines Bauteils relevant sind sollten als Parameter im 3D Modell des Teils hinterlegt sein. Es ist nicht zielführend, wenn diese Informationen als reine Texteingaben in der abgeleiteten 2D Zeichnung hinterlegt sind, da diese Informationen nicht automatisiert ausgelesen und konkreten Gestaltzonen zugeordnet werden können. Das 3D Modell sollte die unternehmensweit einheitliche Basis für alle nachgeschalteten Prozesse darstellen. Im 3D Modell der Einzelteile sind alle produktrelevanten Merkmale in Parameterform hinterlegt. Dies entspricht dem Grundsatz der parametrisierten Produktdarstellung.

Bei sehr komplexen Bauteilen –wie etwa Gehäusen- bietet es sich an, zur Erleichterung die zu bearbeitenden Gestaltzonen zur besseren Unterscheidung von Rohkonturen zu kennzeichnen – etwa durch die Anordnung der Gestaltzonen auf eigenen Folien (Layern) - um die Geometrieerkennung weiter zu vereinfachen.

Die angesprochenen Einschränkungen beziehen sich nicht ausschließlich auf die Konstruktionsbegleitende Kalkulation, sie gelten nahezu allgemein für integrierte Prozeßketten. Ein Hauptproblem innerhalb komplexer CIM Konzepte ist immer die Kommunikation der einzelnen EDV Komponenten untereinander. Im jeweiligen Aufgabenfeld sind die EDV Werkzeuge sehr ausgereift. Eine Verbesserung der Arbeitsabläufe und der Durchlaufzeiten läßt sich aber nur dann erreichen, wenn diese Einzel - Werkzeuge aufeinander abgestimmt sind und eine durchgängige Bearbeitung anhand der vorhandenen 3D Modelle erlauben ohne größere Anpassungsarbeiten. Eine CAD System unabhängige Verwaltung der Geometrie- und Technologiedaten erfordert die Verwaltung in neutralen Datenmodellen. Zur Erkennung von 3D Geometrien existieren in der Literatur unterschiedliche Methoden (vgl. KYPRIANOU 1990,

WILHELM 1989, MABBERG 1992, BÖS 1994), die aber teilweise nur unzureichende Erkennungsgenauigkeiten liefern. Diese Ungenauigkeiten liegen nach WILHELM (1989) hauptsächlich daran, daß die Funktionalitäten des CAD Systems nicht gezielt ausgenutzt werden. Um diese Mängel zu vermeiden, wurden bei der Umsetzung in XKIS zwei Alternativlösungen zur automatischen Featureerkennung unter Nutzung der Funktionalitäten der Programmierschnittstelle des CAD Systems generiert. Diese Lösungen beinhalten Elemente der bekannten Verfahren, nutzen aber weitere Funktionalitäten, die CAD System spezifisch sind. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, daß eine hohe Erkennungsgenauigkeit erzielt wird, ist aber nicht direkt auf unterschiedliche CAD Systeme übertragbar!

Die erste Lösung geht aus von einem für XKIS zunächst unbekanntem Teil, das mit den oben beschriebenen Einschränkungen erstellt wurde. Zur Erkennung der Featurestruktur gibt es unterschiedliche CAD – Elemente die noch unterhalb der Featureebene verdeckt sind. Dies sind beispielsweise Flächen, Kanten und Endpunkte sowie das zur Featureerstellung verwendete Bemaßungsschema. Durch eine Vielzahl an logischen Verknüpfungen aus diesen zusätzlichen Informationen ist es mit einer sehr hohen Trefferquote (bei einer korrekten Anwendung des Erkennungsmoduls mit ca. 90% Erkennungsgenauigkeit) möglich die vom Konstrukteur erstellte Featurestruktur des Teils zu erkennen.

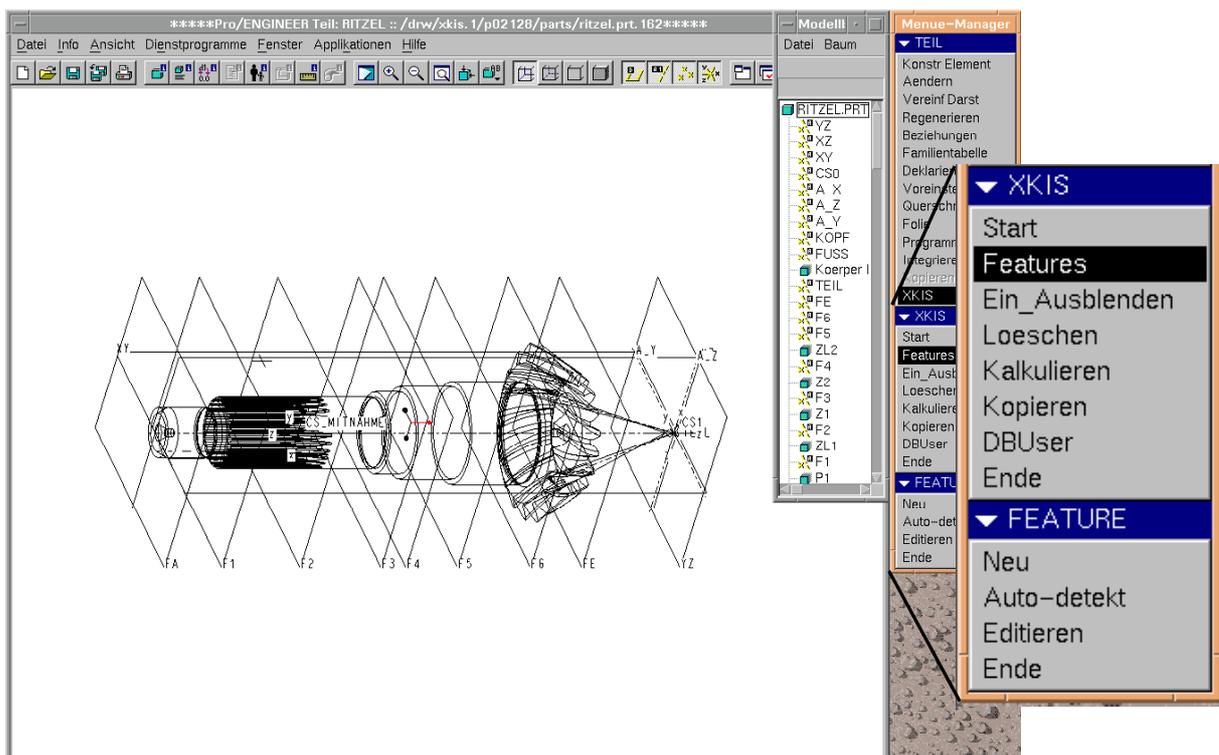


Bild 4.3-2: Integration der Featureerkennung in ein CAD System

Für den Konstrukteur beschränkt sich der Aufwand zur Identifikation eines Bauteils auf die Eingabe oder Selektion von sehr wenigen Bauteilparametern und das anschließende Selektieren des CAD-Menüpunkts „Auto-detekt“ (vgl. Bild 4.3-2) der die automatische Featureerkennung und die Übertragung in die Produktdatenbank von XKIS auslöst. Durch das Einfär

ben des aktuell bearbeiteten Features erkennt der Konstrukteur zu jeder Zeit den aktuellen Fortschrittsgrad der Geometrieerkennung. Sollten noch zusätzliche Informationen benötigt werden, die nicht als Parameter im CAD System hinterlegt worden sind, so wird ein Auswahlmenü eingeblendet, mit dessen Hilfe der Konstrukteur wahlweise per Tastatur Werte eingeben kann oder durch die Selektion von Geometrieelementen bestimmte Maße zusätzlich identifizieren kann.

Die aufwendige Prüfung jeder einzelnen Gestaltzone stellte sich zwar als machbar heraus, war aber hinsichtlich des sehr ähnlichen und homogenen Produktspektrums im Pilotunternehmen beinahe zu aufwendig, was zu einem zweiten Ansatz der Featureerkennung führte:

In vielen Unternehmen haben Anpassungskonstruktionen einen Anteil von 30% - 70% (EHRENSPIEL 1995 S.216) am gesamten Aufwand an Konstruktionstätigkeiten. Speziell Unternehmen der Antriebstechnik bewegen sich eher am oberen Ende dieser Bandbreite, wenn beispielsweise vorhandene Getriebebaureihen zur Erfüllung anderer Leistungsanforderungen geändert werden. Diese Art der Variantenkonstruktion eignet sich wegen der geringen Veränderungen an einem bereits vorhanden Bauteil besonders für eine schematische und rechnergeeignete Verarbeitung, daher wurden für das Forschungsprojekt „Startmodelle“ für Konstrukteure generiert, die eine Bauteilgeometrie bestimmter Teileklassen in gut weiterbearbeitbarer Form zur Verfügung stellen und bereits mit allen wesentlichen Produktparametern versehen sind. Ein Startmodell ist eine standardisierte Produktgeometrie, die eine einfache Generierung von Varianten ermöglicht. Am Beispiel eines Kegelritzels wurde diese Möglichkeit im Rahmen des Forschungsprojektes getestet. Eine Analyse aller Kegelritzels des Pilotunternehmens ergab, daß sich die Kegelritzels in die drei Typen Standardritzel, Zapfenritzel und Sonderritzel klassifizieren ließen.

Davon eigneten sich 2 Typen für die Generierung für die Verwendung von Startmodellen, lediglich der Typ „Sonderritzel“ mit deutlich unterschiedlichen Geometrien konnte nicht sinnvoll mit einem Startmodell unterstützt werden, was aber angesichts eines mengenmäßigen Anteils von unter 10% an der Gesamtzahl an Kegelritzelkonstruktionen kein Problem darstellte.

Wie in Bild 4.3-3 zu sehen ist unterscheiden sich die beiden Ritzeltypen im Wesentlichen nur durch einen zusätzlichen Lagerzapfen bei Typ 1. Dieser Zapfen dient als dritte Lagerstelle bei Ritzeln mit hoher mechanischer Belastung. Diese Lösung wird angestrebt, wenn es der Bauraum nicht erlaubt die auftretenden Momente und Kräfte an den beiden vorhandenen Lagerstellen aufzunehmen. Die Startmodelle bestehen aus den 3D Modellen und der dazugehörigen Zeichnung. Durch die bidirektionale Assoziativität zwischen Zeichnung und Modell ist es damit unter anderem auch möglich durch Änderungen in der 2D Zeichnung des Startmodells quasi im Hintergrund das zugehörige 3D Modell zu ändern. Insbesondere in der Umstiegsphase vom vertrauten 2D CAD System zum neuen 3D System kann ein Startmodell so eine zusätzliche Hilfestellung für Konstrukteure darstellen, indem ihm wahlweise die Möglichkeit einer 2D Modellierung als Frontend ermöglicht wird.

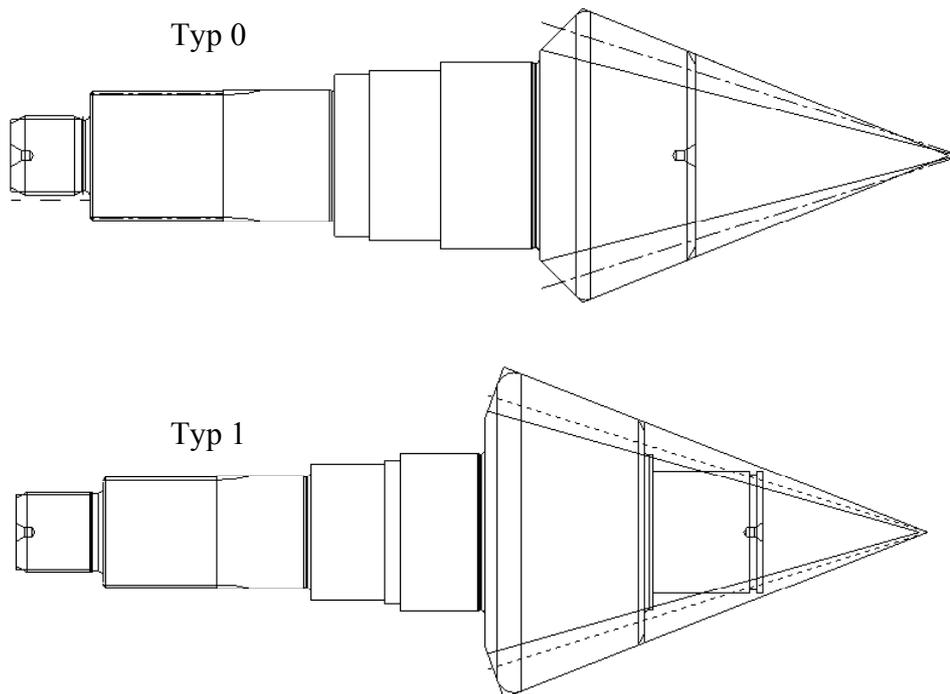


Bild 4.3-3: Darstellung der für die Startteilgenerierung geeigneten Ritzeltypen

Der Zeitvorteil bei Verwendung der Startmodelle im Gegensatz zur jeweils neuen Modellierung der Teile ist erheblich. Hier zeigen sich die Stärken, die 3D CAD Systeme auszeichnen. Zeitsparpotentiale von mehr als 20% liegen durchaus im Bereich des Möglichen. Zusätzlich verbessert sich die Qualität der 2D Dokumente, da die vorbereiteten Zeichnungen der Startmodelle entsprechend den werksspezifischen Normen gestaltet sind.

4.3.2 Nutzen einer Parametrisierung für die integrierte Prozeßkette

Die Potentiale, die 3D CAD Systeme für die Optimierung innerbetrieblicher Abläufe bieten sind erheblich. Je konsequenter diese Potentiale genutzt werden, desto größer sind die Verkürzung der Durchlaufzeiten und die Verringerung indirekter Kostenanteile im Unternehmen. Bild 4.3-4 verdeutlicht die Einbeziehung des 3D Produktmodells in die betriebliche Prozesskette am Beispiel der ZF Gruppe. An dieser Prozeßdarstellung werden auch die Vorteile von Startmodellen deutlich, wie in der Folge allgemein dargestellt werden soll.

Bereits während des Konstruktionsprozesses werden bei der Verwendung eines Startmodells Einsparpotentiale erschlossen. Die Geometrie des zu konstruierenden Bauteils ist im Wesentlichen vorhanden (am Beispiel des Kegelritzels würde nur die Spiralverzahnung und Mitnahmeverzahnung noch fehlen), es ändern sich lediglich bestimmte geometrische oder technologische Parameter. Der Vorgang des Ändern eines Startmodells kann über unterschiedliche Methoden erfolgen. Bei dem verwendeten CAD System besteht eine Option zum programmgesteuerten Manipulieren vorhandener Geometrie. Bei dieser Möglichkeit werden konkrete Parameter interaktiv vom Benutzer abgefragt und in das bestehende 3D Modell

übertragen. Der geübte Benutzer kann so in sehr kurzer Zeit eine notwendige Variante ableiten. Alternativ ist es je nach Funktionalität des CAD Systems auch möglich, bestimmte Maße durch Selektieren auszuwählen und abzuändern. In beiden Fällen wirkt es sich positiv aus, daß das zugrundeliegende Startmodell immer nach dem gleichen Schema aufgebaut ist. Ein Suchen nach dem Bemaßungsschema eines fremden Benutzers entfällt damit. Dies wirkt sich in der Folge auch im Änderungswesen nach erfolgter Freigabe positiv aus, da auch beim Verändern eines vorhandenen Teils in jedem Fall der Aufbau und das Schema des Teils bekannt sind. Bei einer ungünstigen Parametrisierung eines Bauteils kommt es in der Praxis nicht selten vor, daß die Änderung an einem bestehenden Teil zeitaufwendiger ist als die Neuerstellung. Das Startmodell bietet hier auch durch die Assoziativität mit der Zeichnung Vorteile. Trotz vieler Versuche, nur noch mit 3D Modellen zu arbeiten konnten die Zeichnungen nach wie vor noch nicht aus den Unternehmen verbannt werden. Gerade für die Produktionsabteilungen sind 2D Geometrien nach wie vor unersetzlich. Durch eine geschickte Parametrisierung der 3D Modelle ist es ohne größeren Zusatzaufwand möglich, die zugehörige Zeichnung automatisch zu regenerieren und mit den geänderten Parametern des 3D Modells zu versehen. Dazu gehören auch die für die Produktion wesentlichen Zusatzinformationen wie Härteprozesse oder Korrosionsschutzbeschichtungen. Zusätzlich erzeugt der Konstrukteur durch die Anwendung der Startmodelle automatisch und für ihn unbemerkt weitere Parameter, die für die folgenden Prozesse im Produkterstellungsprozess notwendig sind. Durch die Nutzung von Folien, die einzelne Gestaltzonen enthalten und einzeln auszublenden sind wird der Aufwand für die weitere Bearbeitung der 3D Modelle verringert.

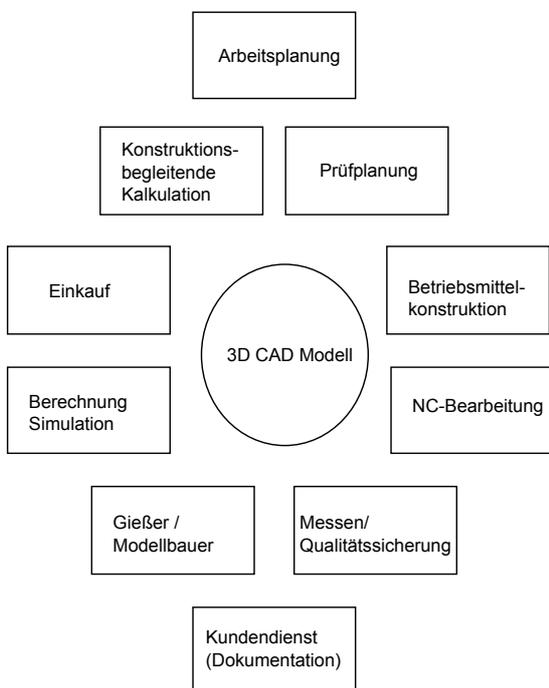


Bild 4.3-4: Integration eines 3D Modells in die betriebliche Prozesskette (ZF 1997)

Um für FEM Analysen nur die kritischen Gestaltzonen zu berücksichtigen werden vom Berechner die eher unkritischen Gestaltzonen ausgeblendet. Damit verringert sich der zur Vorbereitung der Modelle bisher benötigte Zeitaufwand erheblich. Zudem ist auch die Berechnung in einer kürzeren Zeit möglich, was sich insbesondere bei komplexeren Bauteilen positiv auswirkt.

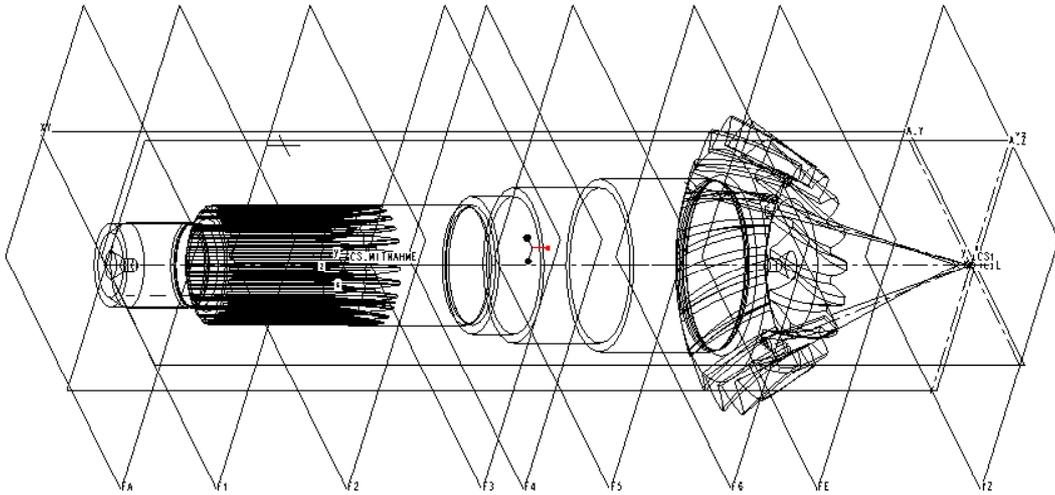


Bild 4.3-5: Drahtgitter-Darstellung eines parametrisierten Kegelritzels

Für den Arbeitsplanungsprozess lassen sich durch die Schaffung von Schnittstellen zum CAD deutliche Vorteile erzielen. Einige marktgängige CAP Systeme arbeiten auf Featurebasis, wobei die featurebeschreibenden Größen häufig per Hand in das System übertragen werden. Die eindeutige Struktur der 3D Startmodelle erlaubt es entweder durch eine direkte Kopplung von CAD und CAP oder über eine relationale Datenbank als neutrale Schnittstelle diese Größen automatisiert oder teilweise automatisiert in das CAP-System zu übertragen. Damit werden auch Falscheingaben oder Inkonsistenzen weitgehend ausgeschlossen. Zu beachten ist, daß für die Fertigungsplanung häufig Bearbeitungszugaben zu berücksichtigen sind. Diese Bearbeitungszugaben, die häufig für bestimmte Fertigungsprozesse konstant sind oder in einem konkreten Wertebereich liegen, können von vornherein im CAD Modell hinterlegt sein und sich entsprechend der Geometrie des Fertigteils (über im CAD System hinterlegte Regeln) selbst anpassen. Diese Eigenschaft ist nicht zuletzt auch notwendig, um aus den 3D Daten die Verfährwege für das NC Programm abzuleiten. Für die direkte Ableitung von NC Programmen ist die Abbildung aller Fertigungsschritte vom Rohteil bis zum Fertigteil notwendig. Von dieser Eigenschaft profitiert selbstverständlich auch die Betriebsmittelkonstruktion, da Vorrichtungen auf die 3D Modelle referenziert werden können. Dabei sind sowohl die Maße des Fertigteils eine mögliche Referenz wie auch die in Layern verborgenen Maße von Bearbeitungszwischenschritten (etwa Maße für Hart- oder für Weichbearbeitung).

Auch für qualitätssichernde Maßnahmen sind durchgängig parametrisierte 3D Modelle unersetzlich. So werden besonders in der Prototypenphase 3D Modelle an Modellbauer und Gießer weitergeleitet, die anhand dieser Daten in der Lage sind ohne zugehörige 2D Zeichnungen in kürzester Zeit Gußmodelle zu liefern. Der dadurch erzielte Zeitvorteil für die Prototy

perstellung liegt im Bereich von Wochen. Im Prototypenstadium werden daher häufig keine Zeichnungen mehr erstellt, was bei einem Zeitaufwand von mehreren Wochen nur für die Ableitung von 2D Zeichnungen bei größeren Gehäusen verständlich ist. Um die anhand von 3D Modellen erstellten Gußteile auch im Wareneingang ohne 2D Zeichnung vermessen zu können, ist es aus diesem Grund unverzichtbar, daß Form und Lagetoleranzen und Gußaufmaße im 3D Modell hinterlegt sind. Dem gegenwärtigen Trend der Maschinenbau- und Fahrzeugindustrie zur Verkürzung der Entwicklungszeiten für Prototypen kann auf diese Weise durch den Einsatz geeigneter Werkzeuge Rechnung getragen werden.

4.3.3 Nutzen einer Parametrisierung für die Konstruktionsbegleitende Kalkulation

Analog zum Nutzen für die Prozeßketten konnte gegenüber den ersten Versionen des Kalkulationssystems XKIS durch die Generierung von durchgängig parametrisierten Startmodellen für die Variantenkonstruktion ein deutlicher Zeitvorteil errungen werden. Der Transfer der gestaltbeschreibenden Informationen vom CAD in die Produktdatenbank von XKIS war bislang (im 2D CAD System) geprägt von einem zeitaufwendigen Erfassen von Geometrieelementen durch Selektion von Linienelementen im 2D System und einer alphanumerischen Eingabe von Technologieinformationen, die im CAD nicht direkt einer Gestaltzone zugeordnet werden konnten. Die Nutzung der Informationen, die im 3D System direkt an den jeweiligen Gestaltzonen in Parameterform hinterlegt sind ermöglicht es erstmals, diesen Vorgang weitestgehend zu automatisieren. Damit reduziert sich die zur Erfassung von Bauteilen benötigte Zeit auf einen Bruchteil, was auch wesentlich zu einer höheren Akzeptanz des Systems bei den Anwendern führt. Notwendig sind dazu zwei Einzelmodule, ein Featureinterpreter – unabhängig davon, ob ein parametrisiertes Startmodell untersucht wird oder ein unbekanntes und damit unter Umständen noch nicht vollständig parametrisiertes Neuteil - und ein Modul zur Erfassung und zum Transfer von Daten. Durch den höheren Integrationsgrad zwischen Kalkulationssystem und CAD System erreicht man einen stabileren Datenaustausch der Systeme untereinander und eine komfortablere Anwendung beider Systeme.

Die Interpretation der einzelnen Gestaltzonen verläuft im 3D CAD System nach dem oben beschriebenen Ablauf. Ein Rechnerwerkzeug muß abhängig vom Typ des erzeugten Features und von dessen Bemaßungsschema abschätzen können, mit welcher der in XKIS hinterlegten Gestaltzonen das untersuchte Feature übereinstimmt. Ist eine eindeutige Übereinstimmung gegeben, so werden die Variablen für den Transfer in die Datenbank mit den Geometrie- und Technolgie Daten des Features gefüllt.

Die Konstruktionsbegleitende Kalkulation ist von dieser vereinfachten Geometrieerfassung direkt betroffen. Die Kalkulation von neuen Bauteilen kann nun früher beginnen, auch größere Änderungen an vorhandenen Bauteilen werden aus dem 3D CAD System ohne Verzögerungen direkt an die Produktdatenbank von XKIS weitergeleitet.

Für eine eindeutige Verbindung zwischen Datenbank- und CAD-Modell kann im 3D CAD ein zusätzlicher Parameter definiert werden, der den Datenbankindex eines Bauteils als Wert trägt. Dabei muß eine einheitliche Nomenklatur eingehalten werden, um die automatische Bearbeitbarkeit gewährleisten zu können.

4.4 Erfahrungen aus der praktischen Anwendung eines Systems zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation

Der industrielle Einsatz von XKIS hat einen reichen Erfahrungsschatz für die Anwendbarkeit von Systemen zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation aufgehäuft. Auch während dieser Zeit der praktischen Nutzung wurde das System stetig erweitert und an die Anforderungen der Praxis angepaßt. Dabei haben sich einerseits positive Effekte aus den vorhandenen Systemumfängen ergeben, andererseits wurden mehrere Ansatzpunkte für weitere Funktionalitäten gefunden, die ursprünglich nicht im Vordergrund der Entwicklung standen, aber in der praktischen Anwendung des Systems als sinnvolle Erweiterungen empfunden wurden.

4.4.1 Auswirkungen bei Änderung von Fertigungsstrukturen

In der Anwendung und Pflege der Regelbasis von XKIS wurden in zahlreichen Projekten Erfahrungen gesammelt. Dabei fiel insbesondere die hohe Flexibilität, die mit einem regelbasierten System erreicht werden kann auf. Nachdem die ersten Teileklassen prototypisch für eine Kalkulation in XKIS aufbereitet wurden und die Regelbasis für die Konstruktionsbegleitende Kalkulation dieser Teileklassen gefüllt worden ist, war der große Zeitaufwand zur Erfassung und Speicherung des Arbeitsplanungswissens ein erster Kritikpunkt an XKIS. Der Grund für die damals sehr aufwendige Wissenserfassung lag aber nicht etwa in der Komplexität des Rechnerwerkzeuges, sondern an der schwierigen Zusammenführung des auf mehrere Personen verteilten Expertenwissens für Prozeß-, Maschinen-, und Werkzeugwahl, sowie der Zeitenberechnung. Da die Arbeitspläne bis zu dieser Zeit nicht über standardisierte Rechnerwerkzeuge sondern über ein Editorsystem erstellt wurden, gab es bis zu diesem Zeitpunkt keine rechnerverwertbaren Arbeitsplanungs-Standards. Wie vorteilhaft sich die standardisierte Wissensspeicherung auswirken kann, stellte sich in der Folge heraus:

Zu Beginn der 90er Jahre zeigte sich bei den einheimischen Unternehmen der Maschinenbauindustrie ein deutlicher Nachteil in der Produktivität gegenüber internationalen Mitbewerbern. Dies löste bei vielen Unternehmen weitreichende Restrukturierungsmaßnahmen aus. Neben dem Abbau von Arbeitsplätzen im großen Stil wurden auch Anstrengungen unternommen, um die Prozeßketten in den Betrieben innerhalb relativ kurzer Zeit zu optimieren. Ähnliche Anstrengungen wurden auch im Pilotunternehmen unternommen. Um die Durchlaufzeiten in der Fertigung deutlich verkürzen zu können und um Produktivitätszuwächse zu erreichen wurden neben vielen anderen Maßnahmen auch die Fertigungsstrukturen verändert. Die bisher hauptsächlich nach dem Muster der Werkstättenfertigung organisierten Abteilungen wurden in flexible Fertigungssegmente (siehe Bild 4.4-1) umstrukturiert, die eine Fertigung von Bauteilen mit hohem Materialdurchsatz ohne größere Transportwege ermöglicht.

Von dieser Umstellung war selbstverständlich auch die Fertigungsplanung betroffen. Die neuen Strukturen führten dazu, daß abhängig von der Teilefamilie der Bauteile andere Fertigungsmittel, häufig auch neue Fertigungsverfahren verwendet werden sollten. Um die vorhandenen Arbeitspläne aus dem Editorsystem an die neuen Strukturen anzupassen mußte eine große Anzahl von Arbeitsplänen editiert und von Hand geändert werden.

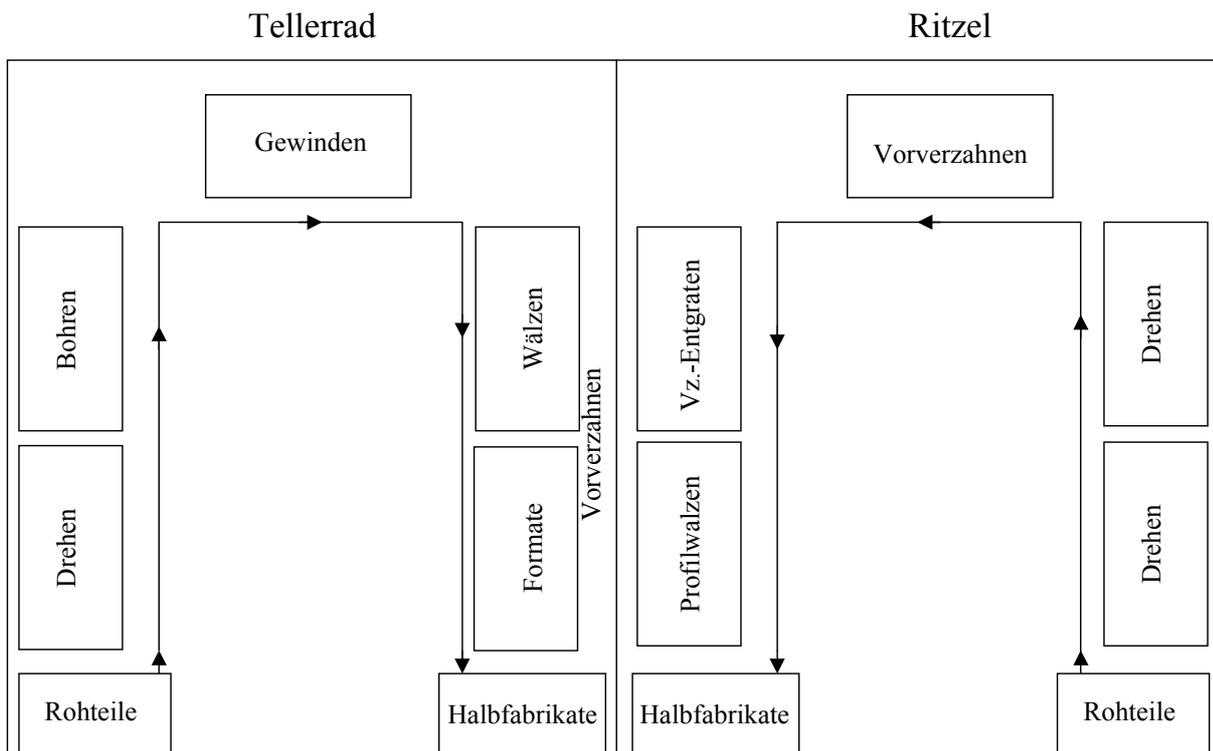


Bild 4.4-1: segmentierte Fertigung am Beispiel der Kegelradweichbearbeitung in der ZF Passau GmbH

Die Auswirkungen auf die regelbasierte Arbeitsplanung von XKIS waren weitaus weniger dramatisch. Die Regeln für die Auswahl der Fertigungsprozesse konnten nahezu unverändert übernommen werden, genauso die Maschinenregeln. Wesentliche Änderungen waren notwendig in der Zuordnung konkreter Maschinen zu bestimmten Teilefamilien. Im Gegensatz zur vorher üblichen Werkstättenfertigung verringerte sich jedoch die Anzahl der Werkzeugmaschinen die für die Fertigung einer Teilefamilie in Frage kommen. Durch die Einschränkungen bei der Auswahl von Werkzeugmaschinen erhöhte sich gleichzeitig die Berechnungsgenauigkeit der Vorkalkulation erheblich. Dieser positive Effekt ist in der verwendeten Kalkulationsmethode begründet: In den Fertigungsgemeinkosten sind im Wesentlichen die Maschinenkosten miteingeschlossen. Diese Fertigungsgemeinkosten werden, wie schon in Kapitel 3.2.2 angesprochen, nicht als Zuschlagssatz erfaßt sondern auch –analog zu den Fertigungslohnkosten– als Einzelkosten dem jeweiligen Kostenträger zugewiesen. In der Werkstättenfertigung war es teilweise möglich, daß einzelne Maschinen im Mehrschichtbetrieb erfaßt waren, andere im Einschichtbetrieb. Diese Nutzungsdauer der Maschinen geht jedoch direkt in die Berechnung des Maschinenstundensatzes mit ein, so daß der Maschinenstundensatz einer im 3-Schichtbetrieb genutzten Maschine nur ca. 1/3 des Stundensatzes eine einschichtig genutzten Maschine beträgt. Bei modernen NC-gesteuerten Maschinen liegen die Maschinenstundensätze zudem meist deutlich über den Fertigungslohnkosten, so daß sich ungenau ermittelte Maschinenkosten in großem Umfang nachteilig auf das Kalkulationsresultat auswirken. Durch die in den Fertigungssegmenten strukturierte geringere Anzahl der zu wählenden Maschinen für einen konkreten Fertigungsprozeß ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, genau die Maschine für die Fertigung eines bestimmten Bauteils zu wählen, die auch

ein Arbeitsplaner nutzen würde. Damit liegen für die Kalkulation auch die genau zutreffenden Stundensätze vor.

4.4.2 Unterstützung bei Make or Buy Entscheidungen

Die Strategie einer Vergabe von Bauteilen an externe Lieferanten bzw. die Verringerung der Fertigungstiefe im Unternehmen kann große Kostensenkungspotentiale erschließen, birgt jedoch auch viele Risiken. Die genaue Kenntnis der Kostensituation bei unterschiedlichen Make-or-Buy Szenarien bildet die Grundlage für erfolgreiche Entscheidungen. Eine Entscheidung zwischen Fremd- und Eigenfertigung ist von mehreren Einflußgrößen abhängig. Grundsätzlich sprechen Aspekte wie der Erhalt technologischer Kernkompetenzen, schnelle Reaktionsfähigkeit und die Unabhängigkeit von Lieferanten für eine Eigenfertigung. Eine Fremdvergabe hingegen bietet Kostenvorteile, erhöhte Flexibilität und ein geringeres Risiko von Überkapazitäten (vgl. DEBUSCHEWITZ 1997). Zur Ermittlung einer optimalen Leistungstiefe existieren unterschiedliche Ansätze. Dabei sind kostenrechnerische Methoden in der Praxis das dominierende Instrument zur Entscheidungsfindung. Hierbei werden im wesentlichen die Fremdbezugskosten den relevanten Kosten der Eigenfertigung gegenübergestellt.

Wichtig ist die Ermittlung des tatsächlichen Kostenspielraums bei einer Fremdvergabe. In der Kostenrechnung ist daher darauf zu achten, langfristige Entscheidungen auf Basis von langfristigen Daten zu treffen. Meist werden lediglich die kurzfristigen variablen Kosten als entscheidungsrelevant betrachtet. Dies ist nur bei kurzfristigen Entscheidungen und freien Kapazitäten sinnvoll (DEBUSCHEWITZ 1997). Unter diesen Randbedingungen bietet die Vorkalkulation von Bauteilen mit XKIS zusätzlich zur Bestimmung der Herstellkosten bei Eigenfertigung eine Hilfestellung für „Make or Buy“ Entscheidungen. Dabei steht nicht ausschließlich die Frage im Vordergrund, ob ein Teil fertigbearbeitet zugekauft wird oder selbstgefertigt wird. Mehr und mehr ist man dazu übergegangen nur noch die Fertigungsprozesse im eigenen Haus durchzuführen, die Know-How trüchtig sind oder Kernkompetenzen des Unternehmens betreffen. Das führt dazu, daß manche Teile nicht mehr als Schmiede- oder Gußrohlinge beschafft werden, sondern als teilbearbeitete Teile, beispielsweise fertiggedreht. Im Extremfall finden nur noch Fein- oder Feinstbearbeitungen an diesen „Weiterbearbeitungsteilen“ statt. Die Entscheidung, ob ein Zukauf kostengünstiger ist als die Eigenfertigung kann mit Hilfe von XKIS schnell und vor allem zu einem frühen Zeitpunkt festgestellt werden.

Die fertigungsprozeßbezogene Ergebnisdarstellung (Bild 4.4-2) ermöglicht auf einen Blick einen Vergleich zwischen eigengefertigtem Teil und Zukaufteil und zwar in nahezu jedem Bearbeitungszustand!

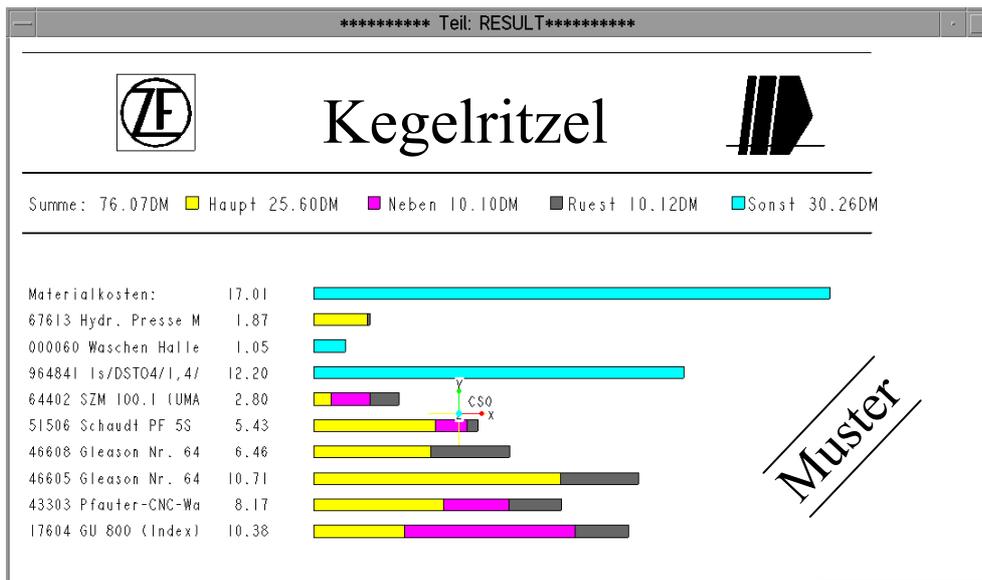


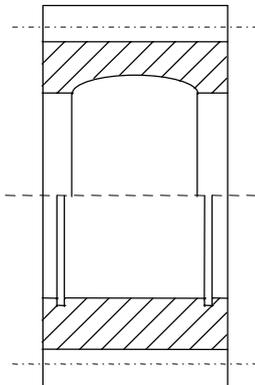
Bild 4.4-2: Fertigungsprozeßbezogene Darstellung der Vorkalkulation

Eine Entscheidung über Eigenfertigung und Fremdbezug anhand von Herstellkosten erscheint vordergründig mangelhaft. MÄNNEL (1997) sieht auch bei Make or Buy Entscheidungen die Notwendigkeit einer prozeß-kostenrechnerischen Kalkulation von Eigenfertigungs und Fremdbezugskosten. Dieser Aufwand scheint aber nur dann sinnvoll zu sein, wenn es um strategische Entscheidungen einer Fremdvergabe von Baugruppen oder gar Komplettmodulen geht, also um eine möglicherweise gravierende Zurücknahme der Fertigungstiefe im Unternehmen. Entscheidungen auf Bauteilebene können mit ausreichender Genauigkeit anhand einer Herstellkostenberechnung getroffen werden.

4.4.3 Entscheidungshilfe bei konstruktiven Problemen

Als Kernkompetenz von XKIS kann man den kalkulatorischen Vergleich von unterschiedlichen konstruktiven Lösungen betrachten. Die Eignung für diesen Einsatzbereich konnte XKIS bei mehreren Projekten unter Beweis stellen. Unter anderem stellte sich für die Produktlinie Achssysteme des Pilotunternehmens die Aufgabe, die Kostenwirksamkeit einer Variation von Planetenradlagerungen zu analysieren. Häufig werden Planetenräder mit Zylinderrollen- oder Nadellagern gelagert. Bei einem Typ von Achsen setzte das Pilotunternehmen Pendelrollenlager ein. Dies begründete sich ursprünglich in der Annahme, daß sich die Lagerbolzen der Planetenradlagerung unter Belastung verformen und der entstehende Winkelversatz im Lauf zum Kantentragen der Verzahnung führen könnte. Negativ an der bestehenden Lösung wirkte sich aus, daß Pendelrollenlager sehr kostenintensive Maschinenelemente sind, die beim hier betrachteten Beispiel im Einkaufspreis um etwa den Faktor fünf über den Kosten vergleichbarer Zylinderrollenlager liegen. Um Bauraum zu sparen dient die Innenkontur des Planetenrades als Lageraußenring. Im Falle der Pendelrollenlagerung war eine Hartfertigung der Innenkontur des Planetenrades nicht im Pilotunternehmen möglich und mußte an Zulieferer vergeben werden. Der Zulieferer wurde beauftragt, die Hartbearbeitung

der Lagerstellen vorzunehmen, die Lagertonnen einzulegen und den Lagerring einzupressen. Die Räder mit integriertem Pendelrollenlager werden dann direkt an die Montagebänder ge-



liefert.

Bild 4.4-3: Unterschiedliche konstruktive Ausführungen eines Planetenrades (oben Pendelrollen; unten Zylinderrollenlager)

Negativ wirkte sich bei dieser Lösung zum einen der aufwendige Transfer der teilbearbeiteten Räder aus, zum anderen auch die kostenintensive Hartbearbeitung der Lagerung. Zudem waren die Räder nicht kurzfristig abrufbar, was eine Reaktion auf kurzfristige Kundenbestellungen erschwerte. Zur Problemlösung wurde ein Projekt definiert, in dem unter konstruktiven und kalkulatorischen Gesichtspunkten die Umstellung von Pendelrollen- auf Zylinderrollenlagerung der Planetenräder erfolgen sollte. Bei der konstruktiven Untersuchung konnte auf Erfahrungswerte aus der Baumaschinengetriebeentwicklung zurückgegriffen werden, wo in einem Versuch ein Pendelrollenlager durch ein Zylinderrollenlager ersetzt wurde. Dabei wurde festgestellt, daß die Zylinderrollenlager weder die Lebensdauer der Verzahnung noch die Lebensdauer des Lagers selbst negativ beeinflussen. Die höhere Lebensdauer der Pendelrollenlager konnte aufgrund ungünstiger Schmierungsverhältnisse nicht erzielt werden. Auch der befürchtete Winkelversatz blieb bei Verwendung der Zylinderrollenlager aus. Zu berücksichtigen ist, daß die Verwendung von Zylinderrollenlagern im Gegensatz zu den montagefertig gelieferten pendelrollengelagerten Planetenrädern zusätzliche Montageprozesse und zusätzliche Zukaufteile in Form von 2 Winkelringen am Planetenrad und von 2 Anlaufscheiben am Außenring (siehe Bild 4.4-3) erfordert. Die prinzipielle konstruktive Machbarkeit war unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen nachgewiesen, so daß im weiteren Vorgehen die Kostenwirksamkeit dieser neuen Variation mit Hilfe von XKIS nachzuweisen war. Die Kosten der pendelrollengelagerten Variante standen fest, die Werte konnten anhand der Nachkalkulation der vorhandenen Konstruktion ermittelt werden.

Die neue Variante wurde anhand eines Entwurfes, der die Einbausituation in die vorhandene Achse darstellte vom CAD System aus in die Prokuktdatenbank von XKIS übertragen. Die Kalkulation der neuen Variante ergab ein deutliches Kostensenkungspotential bei der zylindrischen Innenkontur gegenüber der Kontur des Ausgangsteils. Die Kosten für Zylinderrollenlager ergaben nach Anfrage bei Lieferanten eine Kostenersparnis von 80% gegenüber den Pendelrollenlagern. Zusätzliche Kosten für die Anlaufscheiben und Winkelringe wurden mit Zulieferpreisen angesetzt, die zusätzlichen Montagezeiten für das Einlegen der Zylinderrollenlager

lenlager, der Anlaufscheiben und der Sicherungsringe entsprechend der Vorgabezeiten der Montageplanung mitberücksichtigt.

In der Summe aller Kostenanteile konnte für ein komplett montiertes Planetenrad in zylinderrollengelagerter Ausführung ein Kostensenkungspotential von ca. 15% gegenüber der ursprünglichen Ausführung ermittelt werden, was letztlich auch den Ausschlag für die Änderung der bestehenden Lagerungsart gab.

4.4.4 Verwaltung von Rohteilen mit XKIS

Auch zugelieferte Teile sind von der laufenden Suche nach Kostensenkungspotentialen im Pilotunternehmen betroffen. Dabei wurde mit Hilfe einer umfangreichen Prozeßkostenbetrachtung die Kostenwirksamkeit der Variantenvielfalt von Schmiederohlingen für Planeten und Kegeltriebe aufgedeckt. Bislang war es gängige Praxis für nahezu jedes Fertigteil ein für die Fertigung optimales Rohteil, das bedeutet ein Rohteil mit möglichst wenig Materialaufmaß zu beschaffen. Neben den hohen Kosten für die Beschaffung kleiner Serien waren die Transport und Handlingskosten, Lagerhaltungskosten und Kosten für die EDV-Erfassung und die Kosten für das notwendige Schmiedegesenk (das in das Eigentum des Käufers übergeht) weitere wesentliche Kostentreiber.

Um die Variantenzahl der Rohteile möglichst weit zu verringern, ist eine quantitative Gegenüberstellung der Kosten, die durch die Zerspanung von zusätzlichem Material anfallen und der Einsparpotentiale durch günstigeren Einkauf (Staffelpreise) und vermeidbare Overheadkosten notwendig. Eine mögliche Bezugsgröße zur Abschätzung der Notwendigkeit eines neuen Schmiederohlings ist das gerade noch wirtschaftlich zerspanbare maximale Aufmaß. Diese Größe beschreibt ein durchschnittliches Aufmaß, bei dem der Aufwand zum Zerspanen des überflüssigen Materials gerade dem Einsparpotentialen entspricht. Der Einsatz der Wiederholteilsuche von XKIS bietet sich für 2 Projektphasen zur Rohteilstandardisierung an, zur Vereinheitlichung der vorhandenen Rohteile und zur CAD - gestützten Rohteilsuche für den Konstrukteur.

Für die Vereinheitlichung von Rohteilen werden zunächst alle bestehenden Rohteile datentechnisch erfaßt. Dieser Vorgang kann wie beschrieben durch eine manuelle Dateneingabe erfolgen oder durch die automatische Extraktion von Geometriedaten aus einem featurebasierten CAD System. Durch eine systematische Anwendung der Wiederholteilsuche können die Rohteile in einzelne Gruppen mit ähnlicher Geometrie eingeteilt werden. Die Auswahl der Teile die weitere Verwendung im Produkterstellungsprozeß finden sollen ist aufwendig, aber lohnend, da eine Verringerung der Rohteileanzahl schon in sehr frühen Projektphasen um dreißig Prozent und mehr realistisch möglich ist. Nach der kompletten Integration der Rohteile in das Wiederholteilsuchsystem ist das Augenmerk hauptsächlich auf die Vermeidung unnötiger neuer Varianten zu legen. Dabei kann auch davon ausgegangen werden, daß in Zukunft durchaus auch Fertigteile an die vorhanden Rohteile anpaßt werden, anstelle des sonst in der Praxis üblichen umgekehrten Verfahrens was zu einer nachhaltigen Verringerung der im Betrieb benötigten Rohteilvarianten beitragen wird.

Für die praktische Anwendung der Rohteilsuche nach der Erfassung der notwendigen Rohteile bieten sich unterschiedliche Alternativen an. Der Konstrukteur kann vor der Entwick

lung seines Fertigteils schon die Rohteilsuche im CAD nutzen, um eine Ausgangsgeometrie für das neue Teil als Grundlage zu verwenden. Dazu füllt er im CAD-System eine Maske mit groben Bauteilinformationen wie Werkstoff, Bauteillänge und Bauteildurchmesser.

*****Pro/ENGINEER Zeichnung: PART_FRAME*****

DBUser: XKIS2

Teile Frame

Teile Objektklasse:	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL
Sachnummer:	-----
Konstrukteur:	-----
letzte Aenderung durch:	-----
Teileklasse:	KEGELRITZEL
Material:	----- dyn. Slots: Seite 1
Bemerkung	-----
Wiederverwendung	-----
Aenderungs Index	-----
Zeichnungs K-Stand	-----
Erstverwendung:	-----
Passung d. Aufndur.	-----
Passung d. Spannndu.	-----
Anlage Kopf/Absatz	-----
Abst. Auf/Spann <mm>	-----

x-max Fertigteil <mm> 200 225

z-max Fertigteil <mm> -----

ZF Härtenorm 417 417

Oberflaechenb.<0123> -----

Jahrestueckzahl -----

Typ <01... 9> -----

Spanndurchm. <mm> -----

Stirnmitnehmerd.<mm> -----

TYP : ZEICHNUNG NAME : KEINE GROESSE : A

Geben Sie einen neuen Wert ein [-]:200
 Menüpunkt oder Zeile waehlen
 Notiz-ID 137 in Modell PART_FRAME wird angezeigt.
 Geben Sie einen neuen Wert ein [-]:225
 Menüpunkt oder Zeile waehlen
 Specify: Werte fuer diesen Frame eingeben

HAUPTMENUE
 Modus
 Datenbasis
 Einstellungen
 Verschiedenes
 Pro/E Ende
 Abbruch Fenst
 Wechsel Fenst
 Info
 Ansicht

 Neues Teil
 Neue Baugr.
 XKIS Suche

ZEICHNUNG
 Ansichten
 Blaetter
 Aendern
 Regenerieren
 Detaillierung
 Schnittstellen
 Tabelle
 Folie

XCADSE
 Teilfenster
 Featurefenster
 Gefundene Teile
 DB User

XCSelect
 Spezifizieren
 Naechste Seite
 Vorherige Seite
 Suchen
 Beenden

AUSWAHL
 Auswahl
 Abfrage
 Nach Menue
 Fertig
 Abbruch

Bild 4.4-4: CAD integrierte Maske zur Wiederholteilsuche.

Von den in der Datenbank gefundenen Teilen kann er sich per Mausclick die 3-D Modelle (sofern vorhanden) darstellen lassen. Nach Auswahl einer Rohteilvariante beginnt die eigentlich konstruktive Tätigkeit am Rohteil. Die Konturen des Fertigteils werden durch Schnitte aus der Kontur des Rohteils erzeugt. Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß die Bearbeitung des Teils schon in der Konstruktionsphase simuliert wird. Damit ist zum einen sichergestellt, daß das Rohteil geeignet ist, zum anderen besteht für die Prozeßkette der Vorteil, daß die zur Fertigung notwendigen NC Programme ohne größeren Aufwand aus diesem Modell abgeleitet werden kann. Alternativ ist es auch möglich, daß der Konstrukteur nach der Erzeugung des 3D Fertigteils die Rohteilsuche nutzt und mit den konkreten Daten des Fertigteils ein Rohteil auswählt. Mit einfachen Überblendetechniken kann dann am CAD geprüft werden, ob die Aufmaße des Rohteils für das Fertigteil ausreichend sind. Zum Überblenden der Geometrien sind nicht zwingend 3D Rohteil Modelle notwendig, hier würden auch 2D Geometrien - auch in neutralen Schnittstellenformaten - oder sogar Rasterdaten ausreichen.

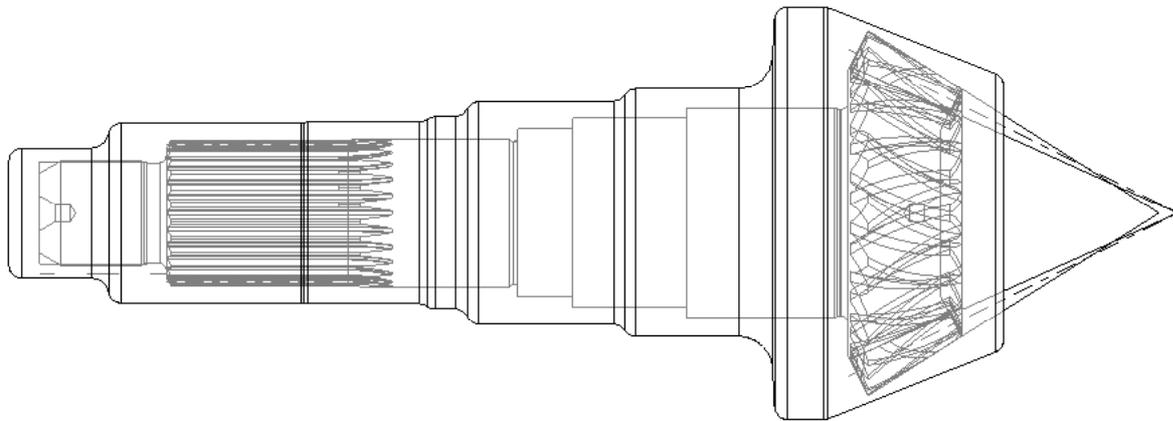


Bild 4.4-5: Auswahl geeigneter Rohteile durch Vergleich der Außenkonturen von Roh- und Fertigteil.

Die geschilderte Vorgehensweise eignet sich zusätzlich zur Auswahl von Rohteilen für die Prototypenfertigung. Auch in diesem Einsatzbereich kann mit hohen Einsparpotentialen gerechnet werden. Häufig werden zur Prototypenfertigung von Stahlteilen Freiformschmiedestücke geordert, auch wenn es vorhandene Serienteile gibt, deren Rohteile für die Fertigung des Prototypenteils ausreichend dimensioniert sind. Diese vermeidbaren Kosten, die im Prototypenstadium nahezu komplett in indirekten Kosten verbucht werden entstehen meist nur dadurch, daß den Konstrukteuren oder den in der Beschaffung beschäftigten Personen häufig keine Informationen über vorhandene Bauteil/Rohteilgeometrien zur Verfügung gestellt werden, oder aufgrund einer nicht hinreichend einschränkenden Teileklassifizierung keine akzeptablen Suchergebnisse erzielt werden können. Dabei entstehen bei der Auswahl von Rohteilen für Prototypenteile nicht nur Kostennachteile, auch Zeitaspekte spielen in diesem Zusammenhang eine Rolle, da auch Freiformschmiedeteile häufig nicht kurzfristig abgerufen werden können.

Eine ähnliche Problematik wie bei Rohteilen gilt es für Weiterbearbeitungsteile zu lösen. WB-Teile werden halbfertig vom Lieferanten bezogen. Dies bedeutet, daß der Lieferant für erste spanabhebende Bearbeitungsprozesse an den Teilen verantwortlich ist und nur noch technologieträchtige Fertigungsprozesse wie etwa Weich/Hartbearbeitung von Verzahnungen im Haus vorgenommen werden. XKIS unterstützt auch die Verwaltung von Weiterbearbeitungsteilen, wobei auch hier wahlweise eine CAD gestützte Datenerfassung und Datenauswertung erfolgen kann oder eine alphanumerische Dateneingabe. Der komfortable Vergleich von Weiterbearbeitungsteil und Fertigteil bei der Teileauswahl spricht aber eindeutig für eine CAD integrierte Lösung.

4.5 Nutzung von vorhandenen Kosteninformationen

Die detaillierte Gliederung der von XKIS ermittelten Herstellkosten bietet eine Grundlage sowohl für eine kostenbezogene Auswertungen des Produktbestandes auf Einzelteil und Bau

gruppenbasis, kann aber auch für Kostenprognosen in der Konzeptphase der Produktentwicklung, wenn nur wenige grobe Produktdaten bekannt sind herangezogen werden.

Kostenbezogene Auswertungen

Um sich auf Basis der Kalkulationen Konstruktionshinweise zum firmenspezifischen Kostengünstigen Konstruieren zu erarbeiten sind kostenbezogene Auswertungen der Herstellkosten über die verschiedenen Teileklassen sinnvoll und notwendig. Dabei sind einerseits die Kalkulationen der Bauteile aussagefähig, andererseits auch die featurebezogenen Kalkulationsresultate. Der direkte Vergleich der Herstellkosten ähnlicher Teile einer Teilefamilie führt zu einer schnellen und direkten Identifizierung kostenintensiver Teile. Um die Gründe für die im Verhältnis zu anderen Teilen abweichenden Kosten zu finden ist eine genauere Untersuchung der Featurestruktur des Teils vonnöten. Dabei ist zu klären, ob das kostenintensive Teil sich bereits in seiner Featurestruktur von den Vergleichsteilen unterscheidet, oder ob die Festlegung konkreter geometrischer oder technologischer Parameter eine unerwünschte Kostenzunahme verursacht. Dabei kann es im Einzelfall auch nötig sein, die von XKIS ermittelten Arbeitspläne zum Vergleich heranzuziehen, um abgrenzen zu können welche Parameter die Kostenzunahme verursacht haben.

Kostenprognosen in den früheren Phasen der Produktentwicklung

Liegen ausreichend viele kalkulierte Teile in der XKIS Datenbank vor, dann sind auch Kostenprognosen in sehr frühen Entwicklungsphasen mit unterschiedlichen Verfahren möglich. In der Folge sollen kurz die Möglichkeiten von Suchkalkulation, Regressionsanalysen und neuronale Netze aufgezeigt werden.

Suchkalkulation

Diese Kalkulationsmethode beruht auf der Erfahrung von Produkten der Vergangenheit. Ihnen liegt die Annahme zugrunde, daß Baugruppen oder Einzelteile ähnliche Kosten verursachen, wenn sie sich in geometrischen oder fertigungstechnischen Merkmalen gleichen (vgl. KÖNIG 1995). Anhand dieser Merkmale erfolgt ein Zugriff auf ähnliche, bereits kalkulierte Teile, deren Kosten ermittelt und an das neue Produkt angepaßt werden. Die Aussagekraft der Prognosen wird von der Qualität der hinterlegten Kosteninformationen und vom verwendeten Suchalgorithmus beeinflußt (SCHOLL 1998). Im Falle von XKIS kommen als Kalkulationsobjekte sowohl Komplettaggregate wie auch Baugruppen oder Einzelteile in Frage (vgl. auch SCHEER ET AL. 1990; 1991). Durch Modifikationen wird die Kostenprognose an das neue Produkt angepaßt. Wesentlich ist die Beschreibung der Merkmale des Kalkulationsobjektes, so daß sich ein Merkmalsraum ergibt, in dem von XKIS automatisiert nach ähnlichen Lösungen gesucht werden kann. Die Kostenermittlung kann dabei unterschiedlich erfolgen (PICKEL 1989):

- a) Kosten des Objektes mit dem geringsten Abstand zum Kalkulationsobjekt im Merkmalsraum werden übernommen (einfache Suchkalkulation):

Nach HILLEBRAND 1990 benötigt man für eine Suchkalkulation eine Sammlung repräsentativer Objekte mit beschreibenden Merkmalen und zugehörigen Herstellkosten. Zudem ist ein Algorithmus zur Berechnung der Objektabstände innerhalb des Merkmalsraums (vgl. Bild 4.5-1) und ein Algorithmus zur Sortierung der Objekte nach ihrem Abstand zum Kalkulationsobjekt nötig. Zur Kalkulation wird das zu kalkulierende Objekt über ausgewählte Merk

male beschrieben. Auf dieser Basis werden die Abstände des Kalkulationsobjekts zu allen Teilen der Objektsammlung berechnet und die Teile entsprechend ihrem Abstand geordnet. Das Objekt mit dem geringsten Abstand gilt als ähnlichstes, die Kosten des Kalkulationsobjekts werden den Kosten des ähnlichsten Objekts gleichgesetzt. Die Kostenzuweisung erfolgt bei der einfachen Suchkalkulation also direkt, ohne eine Berücksichtigung des Abstands von ähnlichstem Objekt und Kalkulationsobjekt. Darin erklären sich auch die Randbedingungen für eine möglichst zufriedenstellende Kalkulationsgenauigkeit:

An allen Stellen des Merkmalsraums ist eine homogen verteilte Objektsammlung und ein geringer Grenzabstand erforderlich. Der Suchraum ist durch die für die Kalkulation verfügbaren Objekte begrenzt, die minimalen und maximalen Kosten können damit nicht überschritten werden. Das bedeutet auch, daß Kalkulationsobjekte deren Merkmale stark von Werten im Merkmalsraum abweichen nicht mit zufriedenstellender Genauigkeit kalkuliert werden können!

Für die Festlegung des Merkmalsraumes stehen unter XKIS alle geometrischen und technologischen Einzelinformationen von Baugruppen, Bauteilen oder Gestaltzonen zur Verfügung, wobei unter Beachtung einer möglichst frühzeitig einsetzenden Kalkulation wenige Grobmessungen ausreichen sollten um die Suchkalkulation anzustoßen.

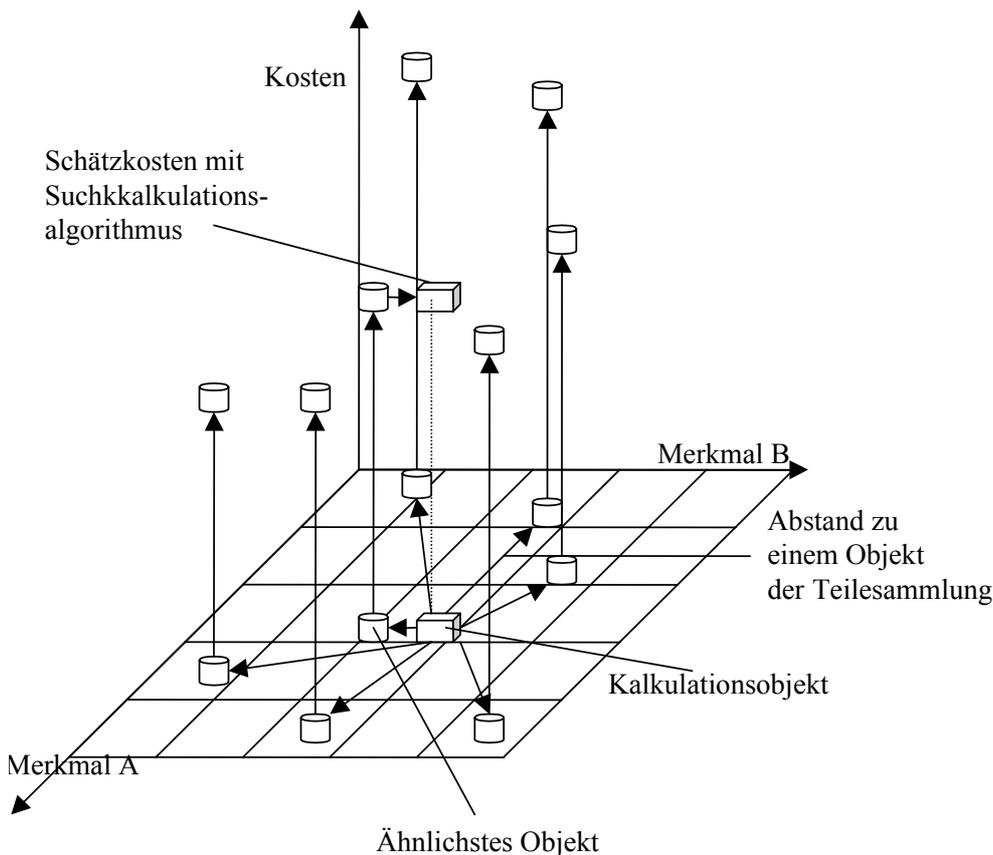


Bild 4.5-1: Darstellung der Suchkalkulation (Pickel 1989)

b) erweiterte Suchkalkulation

Das in der Praxis vorliegende Teilespektrum an Ähnlichteilen läßt sich selten in homogene Gruppen einteilen. Um eine ungleichmäßige Verteilung auszugleichen, bietet es sich an, mehrere dem Kalkulationsteil ähnliche Objekte zur Kalkulation heranzuziehen. Dabei können in der Anwendung zwei Fälle auftreten. Verteilen sich die ähnlichen Objekte um das Kalkulationsobjekt, so kann eine Kalkulation durch Interpolation der Kosten der ähnlichen Teile vorgenommen werden. Der jeweiligen Abstand der ähnlichen Objekte zum Kalkulationsobjekt muß durch die Vergabe einer Gewichtung berücksichtigt werden. Damit ergeben sich die Kosten des Kalkulationsobjektes aus dem gewichteten Mittelwert der Kosten der Ähnlichteile. Liegen die ähnlichen Objekte auf einer Seite des Kalkulationsobjektes, liegt also das Kalkulationsobjekt am Rande des Suchraums, so werden durch eine mit Hilfe der Ähnlichteile bestimmte Fläche die Kosten des Kalkulationsobjektes extrapoliert. In beiden Fällen können die kalkulierten Objekte nach einer Bestimmung ihrer Istkosten in die Datenbasis aufgenommen werden und dienen so einer kontinuierlichen Aktualisierung der Objektsammlung. PICKEL beschreibt zusätzlich zur Suchkalkulation auch ein Hybridmodell, das zusätzlich auch Kostenfunktionen zur Kalkulation heranzieht. Unter Nutzung einer einfachen linearen Regression wird der Einfluß von kostenrelevanten Objektmerkmalen auf die Kosten ermittelt. Die auf diese Weise ermittelte Kostenfunktion ist für eine direkte Kalkulation zwar ungenau, ermöglicht aber in Verbindung mit der Suchkalkulation eine gute Näherung. Für ein Kalkulationsobjekt werden analog zu den geschilderten Verfahren die ähnlichsten Objekte der Objektsammlung ermittelt. Ausgehend von diesen wird mit Hilfe der Kostenfunktion inter- oder extrapoliert. Dieses Verfahren ist nach Pickel unempfindlich gegen Erweiterungen der Objektsammlung und erzielt bessere Kalkulationsergebnisse als einfache Suchkalkulationsmethoden.

Regressionsanalysen

Regressionsanalysen können dazu eingesetzt werden, anhand von Produktmerkmalen Kurzkalkulationsformeln zu ermitteln. Dazu werden meist lineare Regressionen aufgrund der einfacheren Anwendung eingesetzt, für bestimmte Aufgabenstellungen werden auch exponentielle Regressionsanalysen genutzt, die mit einer Exponentialkurve an die Stützwerte anzunähern versuchen. Welche der beiden alternativen Regressionsarten für die gewünschte Anwendung erforderlich ist erkennt man, wenn man die für die Kalkulation relevanten Merkmale einer Objektklasse grafisch darstellt. Liegen die Merkmale linear liefert eine lineare Regression bessere Ergebnisse, liegen sie auf einer Exponentialkurve sollte man zur exponentiellen Regression greifen. Bei den mit XKIS gewonnenen Erfahrungen (vgl. EIGLMEIER 1996) stellte sich heraus, daß die lineare Regression für die Kalkulation der im Pilotunternehmen relevanten Objekte besser geeignet ist. Eine Regressionsfunktion kann die Koeffizienten der bezüglich der bereitgestellten Daten optimal angepaßten Geraden (oder Exponentialkurve) berechnen.

Bei der Ermittlung der Regressionsfunktion wird für jeden Punkt das Quadrat der Differenz, die zwischen dem für diesen Punkt berechneten y -Wert und dessen tatsächlichen y -Wert liegt. Die Summe der quadrierten Differenzen wird Residual Quadratsumme genannt. Danach wird die Summe der quadrierten Differenzen, die zwischen den tatsächlichen y -Werten und dem Mittelwert der errechneten y -Werte liegen. Diese Summe wird als Quadratsumme der Abweichungsquadrate bezeichnet (Regressions-Quadratsumme + Residual-Quadratsumme). Je klei

ner die Residual-Quadratsumme im Vergleich zu der Gesamtsumme der Abweichungsquadrate ist, desto größer ist der Wert des Bestimmtheitsmaßes, das anzeigt, wie gut die aus der Regressionsanalyse resultierende Gleichung die zwischen den Variablen bestehende Beziehung beschreibt. Die Ermittlung von Regressionsformeln und die Ausgabe von Qualitätsbestimmenden Kennzahlen ist heute Standard bei Kalkulationsprogrammen, zudem stehen viele statistische und mathematische Programme zur Verfügung, die diese Funktionalitäten abbilden können. Sollten für manche Anwendungen präzisere Kostenabschätzungen vorgenommen werden, so können bestimmte Merkmale der Objektklasse auch gewichtet werden. Man spricht in diesem Fall von einer lokal gewichteten Regression, die jedoch neben der genaueren Kostenabschätzung einen deutlich höheren Rechenaufwand (vgl. STEINER 1995) aufweist. Die lokal gewichtete Regression ist keine Variante der linearen oder exponentiellen Regression. Sie stammt aus dem Bereich des computergestützten Lernens (MOORE & ATKESON 1992). Der Unterschied zu den beiden oben genannten Verfahren liegt darin, daß die Regressionsformel für jede Berechnung neu erzeugt wird. Dies beinhaltet, daß nur Merkmale von denjenigen Objekten zur Regression herangezogen werden, die möglichst ähnlich dem Kalkulationsteil sind. In dieser Beziehung ähneln sich lokal gewichtete Regression und Suchkalkulation. Eine detaillierte Beschreibung der lokal gewichteten Regression bietet STEINER (1995).

Ein gravierender Nachteil aller statistischen Funktionen ist es, daß das Kalkulationsergebnis nahezu überhaupt nicht interpretierbar ist. Das bedeutet, daß der Konstrukteur keine direkten Schlüsse auf eine kostengünstige Gestaltung seines Entwurfs ziehen kann. Die Bereitstellung von genügend Istdatensätzen ist durch eine direkte Kopplung mit der XKIS Datenbank auch bei Anwendung von Regressionsanalysen eigentlich problemlos, vorausgesetzt, es wurden schon ausreichend viele Objekte der Objektklasse mit XKIS kalkuliert und die Kalkulationsdaten sind nicht veraltet! Vor einem praktischen Einsatz der auf Basis von Regressionsanalysen ermittelten Kurzkalkulationsformeln sollte anhand einer genügend große Anzahl von Testobjekten die Zuverlässigkeit der errechneten Formeln nachgewiesen sein, da durch die mangelnde Interpretierbarkeit der Ergebnisse kaum direkte Vergleiche im laufenden Betrieb möglich sind.

Verwendung neuronaler Netze

Die Anwendung neuronaler Netze sei an dieser Stelle der Vollständigkeit halber mitangeführt. Die Möglichkeiten, die sich durch den Einsatz von neuronalen Netzen auch hinsichtlich der Kalkulation in frühen Phasen ergeben sind sehr vielseitig, bieten aber nicht zwingend Vorteile gegenüber den einfacheren Regressionsanalysen. Neuronale Netze sind in der Lage, nahezu jegliche Art von Daten anzunähern. Besonders geeignet sind neuronale Netzwerke, wenn es um eine Bestimmung komplizierter nichtlinearer Daten geht. Statt eine globale parametrische Regressionsanalyse durchzuführen nutzen sie eine nichtparametrische, lokale Regressionstechnik (ATKESON 1990), vorstellbar als eine aus vielen lokalen Funktionen zusammengestückelte Gesamtfunktion. Den schematischen Aufbau eines neuronalen Netzes verdeutlicht Bild 4.5-2:

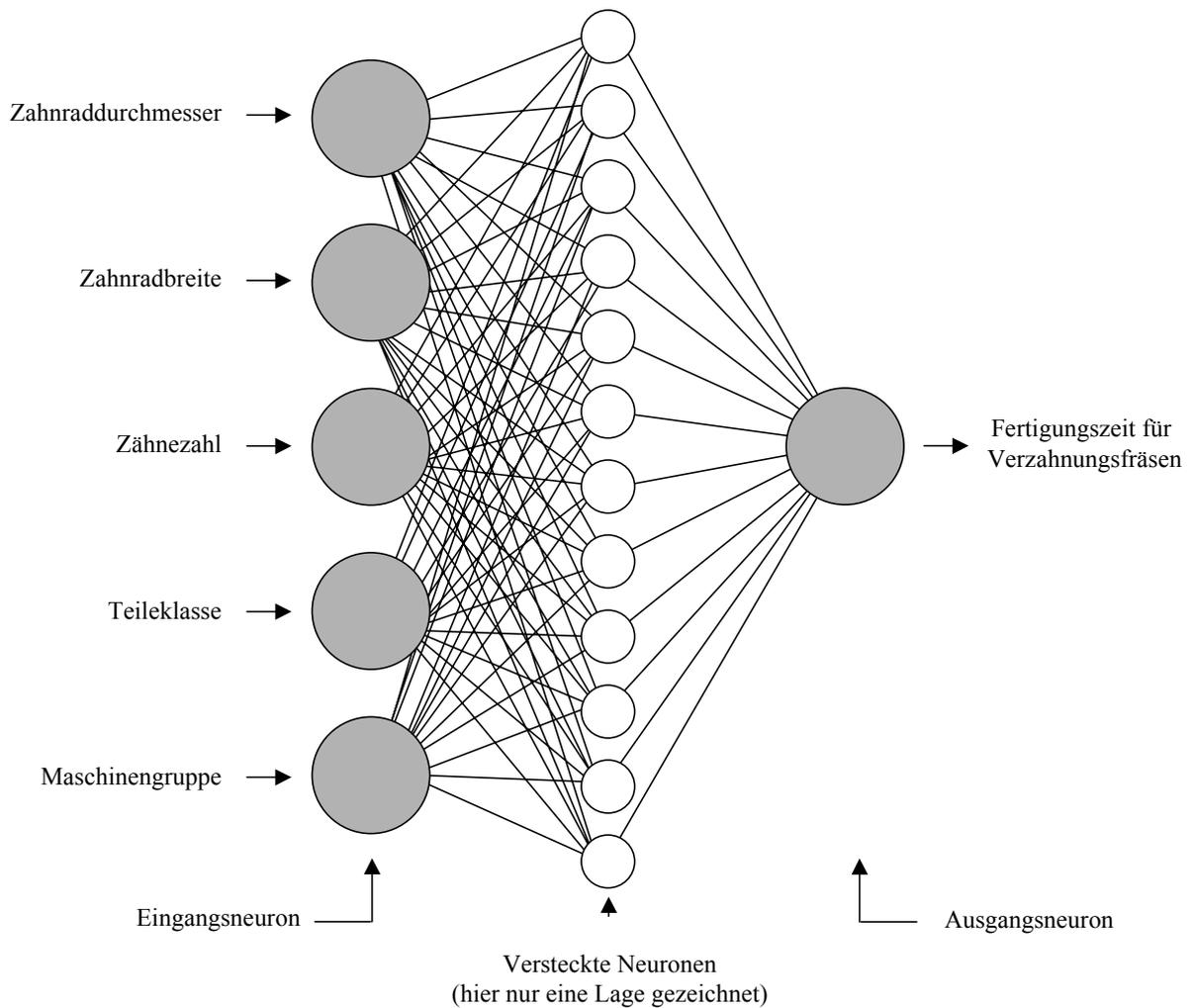


Bild 4.5-2: Prinzipielle Struktur eines mehrschichtigen neuronalen Netzes (nach WOLFRAM 1994)

Neuronale Netze sind nicht von sich aus fähig Probleme zu lösen. Sie werden mit bekannten Daten analog zur Regression trainiert. Anhand der vorgegebenen Daten werden in tausenden von Trainingszyklen (vgl. SCHAAL 1992) interne Gewichtungen der versteckten Neuronen so eingestellt, daß die Resultate der Berechnungen innerhalb der vorgegebenen Fehlertoleranz liegen. Die gewünschte Toleranz bestimmt dabei direkt die Trainingszeit, die auch mit leistungsfähigen Rechnern im Bereich von mehreren Stunden je nach Komplexität der Aufgabenstellung liegen können. Kritisch ist bei der Anwendung neuronaler Netze, daß auch bei diesem Verfahren kein Rückschluß auf kostentreibende Merkmale einer Konstruktion gezogen werden kann.

5 Einflüsse auf die Konstruktionsbegleitende Kalkulation im praktischen Einsatz

Die Einführung von Systemen zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation ist, wie sich am Beispiel der Einführung von XKIS in der Zahnradfabrik Passau GmbH zeigte eine komplexe Aufgabenstellung, die von mehreren Randbedingungen abhängt. In diesem Kapitel sollen sowohl die organisatorischen Voraussetzungen zur Einführung und Pflege von Kalkulationssystemen angesprochen werden, als auch die Möglichkeiten einer Portierung von Systemen auf andere Anwendungsgebiete

5.1 Organisatorische Einflüsse

Die Einführung komplexer EDV Systeme beinhaltet Problemfelder, die einer sorgfältigen organisatorischen Lösung bedürfen, um die Akzeptanz eines Systems bei den Mitarbeitern nicht zu gefährden. MERAT (1996) stellt anhand der vom VDI Gemeinschaftsausschuß CIM (1990) ermittelten Hemmnisse bei der Rechnerintegration einige der wesentlichen Problemfelder schematisch dar:



Bild 5.1-1: Problemfelder bei der Erstellung und Einführung integrierter Systeme (MERAT 1996)

Ein ähnliches Spannungsfeld ließ sich auch bei der Konzeption, Umsetzung und bei der Systemeinführung von XKIS beobachten. Dabei waren die meisten Herausforderungen, die sich speziell in der Testphase und später in der Einführungsphase ergaben, rein organisatorischer Art. Dies ist jedoch nicht weiter verwunderlich, da Softwaresysteme einen strukturierten und methodischen Ansatz vorgeben, der den bisherigen Ablauf der Produkterstellung in den Unternehmen häufig nicht völlig identisch abbilden kann oder nicht abbilden will. Zudem wir

ken integrierte Softwarewerkzeuge wie XKIS meist über Abteilungsgrenzen hinweg, was häufig bei den Anwendern in den jeweiligen Abteilungen – die jahrelanges Arbeiten innerhalb der Abteilungsgrenzen gewohnt sind - auf Vobehalte stößt. Diese Einflüsse aus der Firmenorganisation können nicht durch ein Softwaresystem allein gelöst werden. In diesem Fall ist eine vorbehaltlose Unterstützung der Entscheidungsträger im Unternehmen nötig, entweder die Unternehmensorganisation schon vor einer Softwareeinführung in einer anderen Weise zu strukturieren (etwa durch interdisziplinäre Teams) oder die Zusammenarbeit unterschiedlichster Fachabteilungen auf andere Weise zu ermöglichen. Den Anwendern muß bei der Einführung eine Sichtweise auf den Gesamtprozeß der Produkterstellung vermittelt werden. Zusätzlich dürfen insbesondere in der Einführungsphase keine Ressourcenengpässe in den von der Einführung betroffenen Abteilungen auftreten. Bei der Einführung von XKIS wurden diese Bedingungen besonders deutlich. Der Aufbau von XKIS erfordert zwingend eine abteilungsübergreifenden Zusammenarbeit um eine Konstruktionsbegleitende Kalkulation zu ermöglichen. Dadurch haben sich Änderungen im bisherigen Ablauf der Auftragsabwicklung ergeben. In XKIS ist eine Zusammenarbeit von Controllern, Fertigungsplanern, Logistikern, Entwicklern und Informatikern notwendig, um ein erfolgreiches Kostenmanagement in den frühen Phasen der Produktentstehung zunächst zu ermöglichen und in der Folge aufrechtzuhalten. Besonders in den Anfängen der Testproduktivstellung für die Konstruktionsbegleitende Kalkulation anhand erster Teileklassen zeigten sich die durch den abteilungsübergreifenden Einsatz entstehenden neuen Herausforderungen. So klagten die Mitarbeiter aus den Entwicklungsabteilungen über den bei ihnen anfallenden Mehraufwand für die Datenerfassung aus dem CAD System, der nach ihrer Meinung nur den nachfolgenden Fachbereichen nutzt. Eine Kostenverantwortlichkeit von Entwicklern und Konstrukteuren war bis dahin im Pilotunternehmen (wie auch in großen Teilen der Branche) noch unüblich, so daß auch der Hinweis auf die frühe Verfügbarkeit von Kalkulationsergebnissen für die Konstrukteure noch nicht überzeugend war. Dabei war es im Zuge der Testproduktivstellung (an wenigen Arbeitsplätzen bei ausgesuchten Mitarbeitern) vorteilhaft, die Projektkoordination nicht in den Fachabteilungen anzusetzen, sondern durch einen „neutralen“ Projektleiter aus der Informatikabteilung abzuwickeln, der die Zuarbeit und Informationen aus den einzelnen Fachabteilungen nach Bedarf anforderte.

Für die Konstruktionsabteilung bedeutet die Einführung der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation einen zusätzlichen Aufwand zur reinen Konstruktionstätigkeit. Die Erfassung der produktspezifischen Daten in der für XKIS nötigen detaillierten Form sowie die Durchführung der eigentlichen Kalkulation erfordert Zeit. Diese Zeit muß den Konstrukteuren von ihren Vorgesetzten zugestanden werden. Ein Kostenmanagement unter Zeitdruck verhindert die Suche nach kostengünstigen Lösungen. Schon vor der Einführung eines Kalkulationssystems sollten die Entwickler und Konstrukteure zum Themenbereich Produktkostenmanagement sensibilisiert werden. Dazu muß in erster Linie die Kostenverantwortung der Entwicklungsabteilungen deutlich herausgearbeitet werden. Dafür bieten sich Weiterbildungsmaßnahmen durch interne Stellen (Controlling, Wertanalyse, etc.) an oder die Einbeziehung externer Schulungsanbieter (Seminare, Inhouse Schulungen). Kalkulationssysteme sollen nicht als zusätzliche Last empfunden werden, sondern als ein brauchbares Werkzeug zum Kostenmanagement. Dabei ist zu beachten, daß besonders in der Einführungsphase einer Konstruktionsbegleitenden Kalkulation ausreichend Schulungskapazitäten zum verwendeten System und anschließend ausreichende Trainingskapazitäten zugestanden werden. Der Konstrukteur

sollte zudem ein Basiswissen über die im Betrieb zur Verfügung stehenden Fertigungsverfahren haben, um die automatisch erstellten Grobarbeitspläne interpretieren zu können, und anhand der Arbeitspläne weitere Optimierungen an seiner Konstruktion vornehmen zu können. Mit der Akzeptanz der Konstrukteure steht und fällt der Erfolg der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation. Mitarbeiter, die vom Nutzen der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation nicht überzeugt sind, werden die Potentiale dieser Systeme nicht ausschöpfen können. Daraus leitet sich auch eine Führungsverantwortung der Führungskräfte in den betroffenen Unternehmensbereichen ab. Ohne eine konsequente Forderung von greifbaren Ergebnissen gerade in der Einführungsphase eines Softwaresystems kann eine Einführungsstrategie nur schwer greifen.

In der Fertigungsplanung entstehen zunächst ebenfalls gravierende Mehraufwände durch die notwendige Erfassung und Verarbeitung des Expertenwissens zur automatischen Arbeitsplanung. Nach der initialisierenden Erstdatenerfassung beschränken sich die notwendigen Aktivitäten der Fertigungsplaner im XKIS Umfeld auf die Pflege und Wartung der erfaßten Informationen. Die Verschiebung von Aktivitäten aus den späteren Phasen der Produkterstellung in die frühen Phasen, wie dies auch bei der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation der Fall ist dürfen in der Ressourcenplanung eines Unternehmens nicht übersehen werden. Dies bedeutet, daß die Leistungen die zusätzlich in frühen Phasen der Produkterstellung notwendig werden üblicherweise eine Verschiebung von Personalkapazitäten in diese Phase zur Folge haben. Eine Verschiebung aus dem Grund, daß in späteren Phasen teilweise weniger Aktivitäten erforderlich werden, und so Kapazitäten freigesetzt werden können. Wird die Notwendigkeit dieser Ressourcenverschiebung nicht erkannt, drohen Akzeptanzschwierigkeiten.

5.2 Die Rolle der Anwender

Die Motivation der Anwender ein neues Rechnerwerkzeug zusätzlich zu den Aufgaben im Tagesgeschäft zu nutzen und zu pflegen ist für den Erfolg der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation ausschlaggebend. Um die Mitarbeiter zur Anwendung von Kalkulationssystemen in der Produktentwicklung zu motivieren sind mehrere Faktoren wesentlich:

- Vermittlung der Notwendigkeit einer Konstruktionsbegleitenden Kalkulation
- Benutzerfreundliche Soft- und Hardwaresysteme
- Intensive Schulungsmaßnahmen für Rechnersysteme
- Sensibilisierung der Mitarbeiter hinsichtlich firmeninterner Rahmenbedingungen

5.2.1 Vermittlung des Themenbereichs Konstruktionsbegleitende Kalkulation

Die Ausbildung von technischen Zeichnern, Konstrukteuren und Entwicklern ist hauptsächlich technisch ausgerichtet. Grundlagen der betriebswirtschaftlichen Kostenrechnung oder Kalkulation können bei den Anwendern der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation nicht vorausgesetzt werden. Daher muß bei den Mitarbeitern zunächst ein prinzipielles Verständnis

für die Grundlagen der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation erzielt werden und für die Notwendigkeit einer Kostenfrüherkennung. Diese Grundlagen können durch interne oder externe Schulungsmaßnahmen und Seminare vermittelt werden. Geschult werden sollten dabei insbesondere die Grundlagen der Kalkulation, unterschiedliche Zeitpunkte der Kalkulation und Hilfsmittel und Methoden zur Kalkulation. Der Nutzen einer möglichst frühzeitigen Kalkulation muß von den Anwendern erkannt werden. Zudem muß eine Verlagerung von Aktivitäten und Prozessen in die frühen Phasen der Prokukterstellung als erstrebenswertes Ziel anerkannt werden.

Die Schulungen für das einzusetzende Rechnerwerkzeug bauen auf den vorher vermittelten methodischen Grundlagen auf. Die Anwender sehen die zeitliche Einordnung des Systems und lernen, die von der Software errechneten Daten auszuwerten und zu interpretieren und in konstruktive Änderungen umzusetzen. Die während der Schulungen oder in der Anfangsphase der Anwendung seitens der Benutzer geäußerten Verbesserungspotentiale sollten sowohl bei der Überarbeitung der Softwaremodule wie auch bei der organisatorischen Maßnahmen berücksichtigt werden, um Akzeptanzproblemen in den ersten Phasen der Systemeinführung schon entgegenzuwirken. Zusätzlich sollte eine ausführliche schriftliche Dokumentation des Systems vorliegen. Mit der anfänglichen Akzeptanz steht und fällt der Einsatz eines Softwaresystems, daher gilt auch hier ein besonders Augenmerk und die größten Anstrengungen auf die frühen Phasen der Softwareeinführung zu legen.

5.2.2 Benutzerfreundliche Hard- und Softwaresysteme

Um den Anwendern einen möglichst einfachen Einstieg in neue Systeme zu ermöglichen sind einige Randbedingungen zu beachten. Zum einen sollten Anwender nicht auf unterschiedlichen Hardware-Plattformen arbeiten müssen, da ein ständiger Wechsel zwischen verschiedenen Systemen die Fehlermöglichkeiten und –häufigkeiten erhöht. Andererseits sollten Softwaresysteme ergonomisch gestaltet sein. Das Standardarbeitsgerät in Konstruktionsabteilungen ist das CAD System. Alle konstruktionsbegleitenden Systeme sollten daher entweder ein ähnliche Arbeitsmethodik („look and feel“) aufweisen oder direkt in die CAD Applikation integriert sein, um vom Anwender möglichst komfortabel und ohne Gewöhnungsprobleme genutzt werden zu können. Zudem sollten Mehrfacheingaben in unterschiedlichen Systemen weitgehend ausgeschlossen sein. Dies führt zwingend zu einer starken Verzahnung unterschiedlichster Cax Systeme, da der Informationsbedarf sich bei den meisten CAx Anwendungen überlappt. Die hohe Integration führt damit zwar zu komplexen Schnittstellen zwischen den Anwendungen, ermöglicht aber andererseits eine Vermeidung von unnötigen Aufwänden in der Produktentwicklung und führt damit auch zu einer höheren Akzeptanz bei den Benutzern.

Die Produktivstellung von komplexen Programmsystemen will wohlgeplant sein. In der Praxis hat sich eine vierstufige Vorgehensweise bewährt:

a) Entwicklungssystem

Zum Entwicklungssystem haben ausschließlich die zur Programmerstellung benötigten Personen (Programmierer) Zugriff. Die Programmstände unterliegen häufigen Änderungen und

sind nicht immer stabil lauffähig. Es ist zu vermeiden, daß spätere Anwender im Entwicklungssystem tätig werden können.

b) Testsystem

Ist ein weitgehend stabiler Programmstand erreicht bietet sich die erste Testphase an. Im Falle von XKIS wurden Praktikanten auf die praktische Erprobung des Systems angesetzt. Aus dieser Testphase kommen Rückmeldungen hinsichtlich Systemstabilität und Änderungen aus Anwendersicht an die Entwickler zurück, die die Änderungen über das Entwicklungssystem wieder ins Testsystem einfließen lassen können.

c) Testproduktivbetrieb

Im Testproduktivsystem wird die Software einem ersten Test durch ausgewählte spätere Anwender unterzogen. Aus dieser Phase können weitere Anwenderanmerkungen an die Entwickler weitergeleitet werden, wobei hier direkter Praxisbezug vorauszusetzen ist im Unterschied zu allgemeinen Anwenderwünschen aus dem Testsystem.

d) Produktivbetrieb

Nach einer erfolgten Freigabe durch die Pilotanwender kann eine Produktivstellung des Systems erfolgen. Dies beinhaltet die flächendeckende Installation der Soft- und Hardware und den Beginn von einführenden Schulungen oder bei Releasewechslern von Update Schulungen.

Bei datenbankgestützten Systemen bietet es sich an alle Programmstände in unterschiedlichen Datenbankinstanzen oder falls möglich in unterschiedlichen Datenbanken abzubilden. Damit können Änderungen an einem Programmstand (problematisch ist in der Beziehung hauptsächlich die Entwicklungsumgebung) ohne Einfluß auf andere Programmstände durchgeführt werden.

5.2.3 Intensive Schulungen für Softwaresysteme

Gleichzeitig mit Beginn des produktiven Einsatzes sollten für alle betroffenen Mitarbeiter Schulungsmaßnahmen einsetzen. Dazu ist es hilfreich neben einer ausführlichen Systemdokumentation auch Schulungsunterlagen zu erstellen, in denen anhand einfacherer Beispiele die Grundlagen der Software möglichst online am System nachvollzogen werden können. Eine Schulungsmaßnahme kann den regelmäßigen Umgang mit einem Rechnersystem zwar nicht ersetzen, sollte aber dem Anwender eine Richtlinie geben, wie und wann die Software optimal eingesetzt werden kann. Aus den Erfahrungen mit XKIS hat sich gezeigt, daß bei einem komplexen Kalkulations- und Arbeitsplanungstool eine Schulung mit einem Trainer möglichst nur in einer Gruppengröße von vier Personen durchgeführt werden soll. Wenn dies gewährleistet werden kann, ist eine Schulungsdauer von 2 Tagen zur Vermittlung der Anwendungsgrundlagen geeignet und ausreichend. Zur weiteren Vertiefung der Anwenderkenntnisse hat sich bewährt, in den ersten Wochen der Anwendung regelmäßige Benutzertreffen (etwa wöchentlich oder vierzehntägig) durchzuführen, in denen die Benutzer einerseits Erfahrungen untereinander austauschen können, andererseits aber auch wichtige Hinweise zur Weiterentwicklung der Software liefern können. Weiterhin hat sich die Ausbildung von Trainern innerhalb abgeschlossener Organisationseinheiten bewährt. Diese Trainer werden intensiv am System ausgebildet und können in Zukunft auch organisatorische Eingriffe im System vornehmen. Sie fungieren zudem innerhalb der Abteilungen als erster Ansprechpartner bei Fragen und Problemen in der täglichen Projektarbeit mit dem neuen System.

5.3 Einfluß der firmenspezifischen EDV auf die Konstruktionsbegleitende Kalkulation

Die meisten der unter Kapitel 3.1 angeführten Methoden basieren auf Rechnerwerkzeugen. Die Einbettung dieser Rechnerwerkzeuge in die firmeninternen Informatikdienste stellt daher ein wesentliches Teilprojekt bei der Einführung von Systemen zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation dar. Insbesondere die Thematik der Datenverwaltung und Datenpflege stellt sich dabei als ein Problemfeld dar. Häufig benötigen die Systeme betriebliche Daten, die bereits in anderen Datenbanken vorliegen und auch von den entsprechenden Fachabteilungen gepflegt werden. Um den Aufwand zur Systemeinführung und Systempflege möglichst klein halten zu können sollten diese vorhandenen Datenbestände genutzt werden. Dazu sind zwei Vorgehensweisen möglich:

- Spiegelung der vorhandenen Datenbestände
- Direkter Zugriff auf die vorhandenen Daten

Die Spiegelung vorhandenen Datenbestände bedeutet die redundante Datenhaltung in unterschiedlichen Datenbanken. Der Vorteil einer Spiegelung liegt darin, daß sie die ursprünglichen Daten nicht verändert. Zudem kann die Datenbasis für die Konstruktionsbegleitende Kalkulation dann auf einem speziellen Datenbankserver verwaltet werden, was die Systemperformance und die Wartungsfreundlichkeit verbessert. Die Nachteile einer duplizierten Datenbank liegen in einer aufwendigen Datenpflege, da etwaige Änderungen nun in zwei (oder mehr) Datenbanken durchzuführen sind oder über Trigger Mechanismen zu berücksichtigen sind.

Der direkte Zugriff auf vorhandene Datenbanken hat demgegenüber den Vorteil einer dezentralen Datenerfassung und Datenpflege durch zuständige Fachkräfte. Um Inkonsistenzen durch fremde Systeme, die auf diese dezentralen Daten zugreifen zu verhindern müssen die Zugriffsberechtigungen für das Lesen und Schreiben von Datensätzen sehr sorgfältig überdacht werden. Zudem ist es notwendig, die firmeninternen Rechnernetze auf den steigenden Bedarf an Datenbankzugriffen auszulegen.

Abhängig vom Integrationsgrad des Systems mit anderen Software Werkzeugen ergeben sich zusätzliche Aufwände bei Systemwechseln oder bei Software-Updates. Am Beispiel der Integration des Systems XKIS wurden zwei Systemwechsel - Szenarien in der Praxis erprobt, einerseits ein EDV-Downsizing Konzept und andererseits der Wechsel von einem 2D Geometriemodellierer (CADAM) zu einem 3D Volumenmodellierer (Pro/ENGINEER). Der erforderliche Arbeitsaufwand für diese massiven Eingriffe in die Funktionalitäten des Kalkulationssystems betrug nahezu 3 Mannjahre. Dieser Aufwand läßt sich damit rechtfertigen, daß derartige Szenarien in der Praxis – trotz der kurzen Innovationszyklen in der Informatik - Industrie – für einen längeren Zeitraum einzigartig bleiben. Bei Systemen, die unter UNIX eingesetzt werden sollte auf ein homogenes Rechnerumfeld geachtet werden, es sollte möglichst nur ein UNIX Derivat auf den Rechnern installiert sein, um Software-Updates problemlos durchführen zu können. Bei heterogenen Netzen ist entsprechend ein größerer Aufwand bei CAD oder Datenbank Releasewechseln zu berücksichtigen.

Grundsätzlich sollte beachtet werden, daß nach Möglichkeit für die Programmentwicklung und für die Entwicklung von Schnittstellen Entwicklungstools eingesetzt werden, die eine

gewisse Hardware- und Betriebssystemunabhängigkeit gewährleisten. Hier bieten sich Produkte wie TCL-TK, Perl oder Java an.

5.4 Konstruktionsbegleitende Kalkulation und konventionelle Kostenrechnung

Die Konstruktionsbegleitende Kalkulation kann für die Produktentwicklung nur dann ein wirkungsvolles Werkzeug sein, wenn die Kalkulationsformeln und die zur Kostenrechnung erforderlichen Parameter einem aktuellen Stand entsprechen. Viele in der Kalkulation herangezogene Kostensätze unterliegen einem ständigen Wandel. So sind beispielsweise die Maschinenstundensätze indirekt proportional zu den genutzten Maschinenstunden pro Jahr. Dadurch können Schichtbetriebsänderungen wie beispielsweise der Übergang von einschichtigem zu zweischichtigem Maschinenbetrieb signifikante Auswirkungen auf die Maschinenstundensätze und damit auf die Kalkulationsresultate haben. Diese Parameter müssen wie bisher für die konventionelle Kostenrechnung auch vom Controlling mindestens einmal jährlich ermittelt und in das Kalkulationssystem übertragen werden. Zusätzlich ist es unerlässlich, in regelmäßigen Abständen Vergleichsrechnungen durchzuführen.

So sollten anhand von stichprobenartigen Prüfungen an einer Reihe unterschiedlicher Bauteile Kalkulationen von Hand mit den automatisch erstellten Kalkulationen abgeglichen werden. Der mangelnde Einfluß der Teilevarianz bei der differenzierenden Zuschlagskalkulation erfordert es auch, den Gemeinkosten ein erhöhtes Augenmerk zukommen zu lassen. Der Anteil der Gemeinkosten an den Herstellkosten muß beobachtet werden und die entsprechenden Zuschläge für die Zuschlagskalkulation mindestens einmal jährlich neu ermittelt werden. Für Teileklassen mit hoher Varianz sollten auch Informationen über die Kosten einzelner Prozesse in der Produkterstellung an die Konstruktionsverantwortlichen weitergeleitet werden, um zusätzlich zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation weiteres Kosten-Wissen in die frühen Phasen zu transferieren. Dazu würden sich Prozeßkostenbetrachtung wie in Kapitel 3.2.4 beschrieben besonders eignen.

5.5 Übertragbarkeit der gewonnenen Ergebnisse auf andere Unternehmen

Die Beschreibung der hohen Integration von XKIS in die Soft- und Hardwarewelten des Pilotunternehmens führt zwangsläufig zu der Frage, ob XKIS in seiner heutigen Ausprägung noch in andere Unternehmen portiert werden kann.

Die Antwort ist eindeutig: Es ist möglich, XKIS auch in anderen Unternehmen einzusetzen. Dazu sind jedoch einige Randbedingungen nicht außer Acht zu lassen:

XKIS muß vom heutigen Umfang der Regelbasis und der Betriebsdatenbank deutlich zurückgeführt werden. Dies bedeutet die Bildung eines Standard-XKIS Systems, das einige wenige Grundlagen zur automatischen Arbeitsplanung und Kalkulation beinhalten. Für eine erfolgreiche Portierung muß damit zunächst erarbeitet werden, welche in XKIS verwalteten Informationen einen allgemeingültigen (oder wenigsten branchenübergreifenden) Charakter haben

und welche Informationen einen betriebsspezifischen Inhalt haben. Vom heutigen Standpunkt aus sollten ca. 20% der in XKIS verwalteten Daten eher allgemeingültigen Charakter haben, 80% der Daten sind firmenspezifisch und müssen bei einer Portierung zunächst neu erarbeitet und erfaßt werden, ehe XKIS in anderen Unternehmen eingesetzt werden könnte. Einen eher allgemeinen Charakter haben unter anderem die Featureklassifikationen und bestimmte Betriebsmittel (Wendeplatten, Bohrer, Drehmaschinen, ...). Die Fertigungsregeln sind dagegen zum allergrößten Teil firmenspezifisch. Entsprechend dem Regelbaum aus Bild 4.2-3 ist es denkbar, bestimmte Prozeßregeln wie die Auswahl von häufig genutzten Fertigungsprozessen noch als default-Regeln im Standardsystem vorzuhalten. Die Maschinenregeln sind dagegen sehr schwierig auf einen Standard zurückzuführen. Denkbar wäre es, einige Standardmaschinenklassen vorzusehen und diese Standards in den Maschinenregeln zu berücksichtigen. Bedenkt man aber, daß die Maschinendatenverwaltung auch Maschinenkosten – abhängig von der Anzahl der Produktionsschichten – oder maschinenspezifische Zeitannteile in den Maschinendatensätzen mitverwaltet werden wird die Problematik einer Standardisierung in diesem Bereich deutlich. Bei der Werkzeugverwaltung und den Werkzeugregeln verhält es sich ähnlich. Auch hier können nur wenige Standardwerkzeugklassen und Standardwerkzeugregeln berücksichtigt werden. Im Gegensatz dazu sind die Kostendaten und die Kostenkalkulationsregeln prinzipiell nicht übertragbar. Diese Informationen enthalten eindeutig Firmen Know How und sind nicht standardisierbar. Seien es kalkulatorische Werkerlöhne oder Gemeinkostensätze oder die zur Berechnung der Fertigungszeiten notwendigen Zerspanungsparameter, all diese Informationen wird kein Unternehmen einem anderen zur Verfügung stellen und auch kein Unternehmen aus irgendwelchen Standardwerten übernehmen wollen. Und darin steckt von vornherein der Aufwand, wenn Systeme wie XKIS in anderen Unternehmen neu eingesetzt werden sollen. Der große Aufwand steckt nicht in der Programmierung von Systemen oder in der Definition von irgendwelchen Standards. Der Aufwand steckt in der Anpassung des Systems an die unternehmensspezifische Entwicklung, Fertigung und Kostenrechnung. Zusätzlich ist auch nicht die Eingabe von Daten oder Regeln der Zeit- und Kostentreiber bei der Systemeinführung, sondern erfahrungsgemäß ist die Sammlung des im Unternehmen vorliegenden Wissens der aufwendigste Teil der Systemeinführung. Die Definition eindeutiger Regeln, die keine „Grauzonen“ in der Entscheidung zulassen und eine eindeutige reproduzierbare Planung zulassen ist ein Meilenstein der Systemeinführung. Die Neuerstellung von Schnittstellen zwischen XKIS und anderen Systemen ist ein eher schnell lösbares Thema. Beispielsweise kann für die Anbindung eines neuen CAD Systems, das aktuell noch nicht unterstützt wird mit ca. einem Mannjahr Aufwand gerechnet werden, die Anbindung vorhandener Betriebsmitteldatenbanken kann im Bereich von 3-6 Mannmonaten abgedeckt werden.

Unter diesen Randbedingungen ist zu vermuten, daß auch eine Portierung des Systems in ein anderes Unternehmen nicht schneller zum break even point führen wird, als im Pilotunternehmen. Gerade die Systemeinführung erfordert einen großen Aufwand, der aber nach Erreichung des Break even sehr große Kostensenkungspotentiale erschließt.

Wirtschaftlichkeit

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Systemen zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation im Allgemeinen und vom oben dargestellten System XKIS im Besonderen ist nicht unproblematisch. In der Literatur finden sich wenige Systeme, bei denen anhand von Praxiserfahrungen Wirtschaftlichkeitsrechnungen oder –abschätzungen vorgenommen wurden. Die Themenstellung der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation ist zwar nicht neu, aber nur wenige Systeme haben den Transfer in ein Industrieunternehmen bewältigt. Auch die Systeme, die diesen Schritt vollzogen haben sind dennoch nicht oder zumindest nicht in Veröffentlichungen nach ihrer Wirtschaftlichkeit bewertet worden. Dies liegt sicherlich auch daran, daß derzeit eingesetzte Kalkulationsmethoden nur teilweise in der Lage sind Einsparpotentiale beim Einsatz von Rechnerwerkzeugen zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation mit Kosten zu bewerten.

STEINER (1995) hat zu Beginn der Produktivstellung des Systems XKIS im Pilotunternehmen versucht, eine Wirtschaftlichkeitsschätzung vorzunehmen. Diese Annahmen sollen hier als Grundlage dienen. Die in der Folge angeführten Abschätzungen wurden für das Pilotunternehmen erstellt – sie sind keinesfalls direkt auf andere Unternehmen übertragbar! Die in Geld ausgedrückten Werte sind in Ihrer Größenordnung realistisch, jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit und der Geheimhaltung gerundet. In Anlehnung an die Vorgehensweise von Steiner werden die beiden Module Kalkulation und Wiederholteilsuche getrennt betrachtet.

6.1 Einsparpotentiale durch die Verwendung der XKIS Wiederholteilsuche

Als Grundlage der Kalkulation sollen zunächst die Randbedingungen sowie die zugrundegelegten Stückzahlen und Kostensenkungspotentiale erläutert werden. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung bezieht sich ausschließlich auf Achsenproduktreihen im Pilotunternehmen. Dabei werden keine Unterscheidungen hinsichtlich der Produktbereiche Landmaschinen, Baumaschinen, Straßenfahrzeuge/Busse und Straßenfahrzeug/PKW vorgenommen. Diese Unterteilung wäre für genaue Aussagen nötig, da sich die Jahresstückzahlen signifikant unterscheiden, spielt aber für die Angabe einer Größenordnung, wie sie hier aus Geheimhaltungsgründen vorgenommen werden soll keine Rolle. Von diesen Achsmodulen sollen wiederum nur die Baugruppen Planetentriebe und Kegeltriebe betrachtet werden. Dies sind bei Achsen diejenigen Baugruppen und Einzelteile die mit der größten Varianz gefertigt werden, da hier die kundenspezifischen Einstellungen wie Übersetzung und Anschluß an den Antriebsstrang vorgenommen werden. In der ZF Passau pro Jahr ca. 100 Kegeltriebe (bestehend aus Tellerrad und Kegelritzel) und ca. 30-40 Planetentriebe (bestehend aus Hohlräder, Sonnenrad, Planetenrad und Planetenträger) neu konstruiert. Dies entspricht ca. 340 Neuteilen in den genannten Produktgruppen. Zusätzlich wird die Geometrie von ca. 500 Kegeltrieben und ca. 100 Planetentrieben im Änderungswesen variiert.

Die Neukonstruktionen unterscheiden sich teilweise nur durch geringe Maßunterschiede oder durch den gewählten Werkstoff voneinander und bilden dennoch eigene Sachnummern. Das tatsächliche Einsparungspotential durch Vermeidung einer neuen Sachnummer (bei Verwen

derung eines vorhandenen Teiles) ist zwar schwer abschätzbar, aber die Einsparungen im Bereich der nicht näher erfaßten Gemeinkosten sind erheblich:

Der Aufwand in der Produktentwicklung verringert sich deutlich. Während eine Wiederholteilsuche innerhalb weniger Minuten durchzuführen ist liegt die Generierung eines neuen Teils – auch wenn lediglich die Geometrie eines vorhandenen Teils angepaßt wird – im Stundenbereich. Zusätzlich entfällt der bei Neuteilen notwendige Freigabeablauf. Im Bereich der Arbeitsplanung bieten sich ähnliche Potentiale, da die Erstellung eines neuen Arbeitsplanes nicht notwendig wird und die NC-Programme für die Fertigung nicht neu generiert werden müssen. Zudem können vorhandene Vorrichtungen verwendet werden, was sowohl konstruktiven Aufwand wie auch den Aufwand zur Vorrichtungsherstellung erspart. Im Einkauf ergeben sich Vorteile durch günstigeren Zukauf der Rohteile wenn Staffelpreise vereinbart werden können, im Bereich Logistik können Lagerhaltungs- und Transportkosten bei Verwendung vorhandener Teile gesenkt werden. In der Produktion entstehen Kostensenkungspotentiale durch die Erhöhung der Losgrößen der vorhandenen Teile, was zu einer Senkung der Rüstzeiten und Rüstkosten und damit der Herstellkosten führt.

Prozeßanalysen, die vom Controlling durchgeführt wurden, haben ergeben, daß durch die Vermeidung einer Einzelteilvariante eines komplexen Verzahnungsteiles ein Kostensenkungspotential von bis zu 50 TDM an Einmalaufwendungen (für Schmiedegesenk ca. 20 TDM, für Vorrichtungen 20 TDM, Konstruktion, Versuch, Teileverwaltung 10 TDM) realistisch ist. Zusätzlich sind Einsparungen durch die oben angesprochene Rüstkostenverminderung über die gesamte Produktlebensdauer zu erwarten (vgl. REISCHL 1996).

Interne Untersuchungen gehen davon aus, daß ca. 5% der Einzelteile weniger pro Jahr neu konstruiert werden müssen, wenn XKIS eingeführt wird. Dies ergibt eine geschätzte Verringerung von Aufwänden von ca. 300 Manntagen pro Jahr bei Kegeltrieben und 200 Manntagen pro Jahr bei Planetenrieben.

Zusätzliche Einsparpotentiale bietet die Suche nach vorhandenen Rohteilen für neu konstruierte Varianten. Diese liegen deutlich unter den Einsparungen für Fertigteile und werden in dieser Wirtschaftlichkeitsrechnung nicht berücksichtigt, da sonst auch der Vergleich mit den von Steiner angenommenen Werten nicht mehr möglich ist. Ebenfalls soll hier die Verringerung der Durchlaufzeiten in den frühen Phasen der Produkterstellung wie oben angedeutet nicht mit Kosten bewertet werden, obgleich die vielzitierte „Zeit zum Markt“ heute ein wichtiger Wettbewerbsfaktor ist. Damit soll aber auch zum Ausdruck kommen, daß die hier vorgenommene Wirtschaftlichkeitsrechnung auf einem sehr konservativen Ansatz beruht und das tatsächliche Einsparpotential sicherlich höher anzusetzen ist.

Selbstverständlich stehen den Einsparpotential auch Ausgaben gegenüber. So erfordert die Erfassung der aktuell in Serie laufenden Planeten- und Kegeltriebteile einen Aufwand von etwa 100 Manntagen (der Gesamtaufwand der Erstdatenerfassung von 200 Manntagen für die mehr als 1000 Einzelteile werden zu gleichen Teilen bei Wiederholteilsuche und Kalkulation berücksichtigt) inklusive der Pflege der Geometriedaten bei technischen Änderungen. Die Entwicklung des Moduls zur Wiederholteilsuche erforderte einen Programmieraufwand von etwa 150 Manntagen wobei durch die direkte Integration der Wiederholteilsuche in ein CAD System ein zusätzlicher Aufwand bei CAD – Releasewechseln, Datenbankreleasewechseln oder Betriebssystemänderungen berücksichtigt werden muß. Aus den Erfahrungen der ver

gangenen Jahre kann man davon ausgehen, daß ein Aufwand an Informatiktätigkeiten in Höhe von etwa 20 Manntagen pro Jahr ausreichend ist. Die Erfassung eines neuen Teils sollte unter Anwendung der automatischen Geometriererkennung auch mit Vor- und Nachbereitung im Schnitt 25 Minuten nicht übersteigen, falls die Konstruktionen nur mit einem 2D System erstellt werden, sind höhere Aufwände zu kalkulieren, im Falle von Planetenträgern bis zu 60 Minuten. Bei 340 Neuteilen in den behandelten Teileklassen bedeutet dies beim derzeitigen Verhältnis von 2D/3D Modellen einen Anteil von ca. 35 Manntagen pro Jahr. Änderungen an bereits identifizierten Bauteilen dürften bei 1500 Änderungen pro Jahr nicht mehr als 20 Manntage Aufwand erzeugen. Die Recherche nach vorhanden Teilen nimmt auch bei sehr intensiven Suchen mit Betrachtung mehrerer 3D Modelle oder 2D Zeichnungen im Schnitt nicht mehr als 30 min in Anspruch. Dies entspricht einem Aufwand von ca. 20 Manntagen bei 340 Neuteilen.

Damit ergeben sich im Vergleich zur ersten Abschätzung nach STEINER (1996) deutliche Unterschiede, die aber in erster Linie aus unterschiedlichen Berechnungsgrundlagen hervorgerufen werden. Anstelle der von STEINER geschätzten 30 Teileklassen die innerhalb eines Zeitraums von mehr als 10 Jahren in XKIS gepflegt werden könnten, sind in dieser Abschätzung nur die in XKIS zum heutigen Zeitpunkt und für alle Achsenbaureihen komplett verwalteten 6 Teileklassen berücksichtigt. Das trotz dieser Einschränkung enorme Einsparpotential von ca. 500 Manntagen pro Jahr bei ca. 100 Manntagen an fixen Aufwänden zeigt den sinnvollen Einsatz eines Wiederholteilsuchsystems.

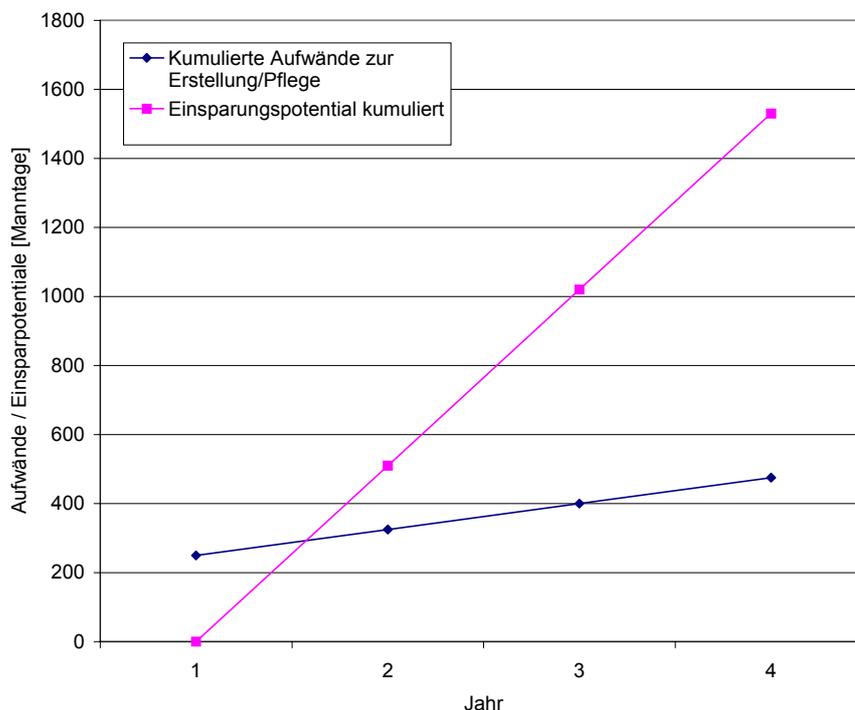


Bild 6.1-1: Einsparpotential bei Einsatz eines Wiederholteilsuchsystems für Verzahnungsteile

Auch die Neuprogrammierung eines Suchsystems mit dem verbundenen erheblichen Aufwand zur Erstdatenerfassung erreicht innerhalb kürzester Zeit den break even point (siehe Bild 6.1-1). Kritisch sei noch angemerkt, daß der Aufwand zum Identifizieren der Teile eigentlich nicht nur der Wiederholteilsuche zugute kommt, sondern ursprünglich zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation genutzt werden soll. Die Wiederholteilsuche nutzt damit nur Informationen die im Prinzip schon vorhanden sind! Positiv im Vergleich zur Berechnung nach Steiner wirkt sich die automatische Featureerkennung im 3D CAD System aus. Mit steigendem Anteil der 3D Entwicklungen senken sich die Kosten für die Datenerfassung nochmals erheblich.

6.2 Identifizieren und Kalkulieren von Bauteilen im CAD System

Steiner beschreibt drei mögliche kostensenkende Einflüsse bei Einsatz eines Systems zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation. Einer resultiert aus der Beschleunigung der Prozeßkette der herkömmlichen Vorkalkulation, ein zweiter aus dem kostensenkenden Effekt am Produkt und ein dritter aus fertigungsgerechteren Produkten und den automatisch erstellten Grobarbeitsplänen. Da die Verkürzung der Durchlaufzeiten analog zur Wiederholteilsuche nur schwer mit Einsparpotentialen bewertet werden kann und auch die fertigungsgerechte Gestaltung der Produkte einen mehr qualitativen als quantitativ bewertbaren Erfolgsfaktor darstellt, werden in der Folge nur konkret mit Geld bewertbare Kostensenkungsmaßnahmen am Produkt betrachtet. Die Einsparpotentiale wurden in mehreren Projekten nachgewiesen und berechnet. Am Beispiel der in Kapitel 4.4.3 untersuchten alternativen Lagerung von Planetenrädern wurde ein Vergleich der mit XKIS errechneten Kostensenkungen mit der konventionellen Kalkulation durchgeführt, die als Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsabschätzung dienen sollen. Die mit Hilfe von XKIS ermittelten Produktkosten wurden von der betrieblichen Kalkulation in der Größenordnung bestätigt, der Zeitunterschied von XKIS-Kalkulation und konventioneller Kalkulation lag im Bereich einiger Wochen! Betrachtet wurden die Planetenradlagerungen bei drei in größeren Stückzahlen produzierten Baumaschinen Achsbaureihen. Dabei wurde in der Summe ein erhebliches Einsparvolumen je Jahr über alle Baureihen ermittelt, wobei die Einsparpotentiale der einzelnen Baureihen in einer Spannweite von 0 – 20% je gelagertem Planetenrad durchaus unterschiedlich waren. Analoge Resultate ergaben die Kalkulationen für eine neuentwickelte Schlepperlenkachse der Produktreihe Agrostee¹. Auch hier wurde ein Kostensenkungspotential bei der Planetenradlagerung errechnet und realisiert. Aufgrund dieser Berechnungsgrundlage kann man für das Produktspektrum des Pilotunternehmens mit den dort üblichen Jahresstückzahlen davon ausgehen, daß das von Steiner angesetzte Einsparpotential in Höhe von 1% des Umsatzvolumens für eine konservative Abschätzung hinreichend ist. Diesem Einsparpotential stehen in Analogie zur Wiederholteilsuche Aufwände gegenüber. So sind ebenfalls ca. 100 Manntage für die Erstdatenerfassung nötig, sowie jährlich anfallende Aufwände für Wartung, Datenpflege der Teiledaten und Systempflege in gleicher Höhe erforderlich. Abweichend von der Wiederholteilsuche sind für das Modul der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation im Lauf von 8 Jahren Entwicklungsaufwände in Höhe von ca. 800 Manntagen angefallen. Zusätzlich muß der

¹ Agrostee ist ein Warenzeichen der ZF AG

Aufwand für die Erstellung der Firmendatenbanken zur Maschinen und Werkzeugverwaltung und für die Sammlung und Verarbeitung des Expertenwissens zur Arbeitsplanung für die genannten Teileklassen mit ca. 600 Manntagen Initialisierungsaufwand kalkuliert werden. Der jährliche Aufwand zur Pflege der Datenbanken und zur Pflege der Regelbasis für die betrachteten Teile dürfte sich zusätzlich im Bereich von 100 Manntagen bewegen. Die Amortisationszeit des Moduls zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation ist damit ungleich länger als bei der Wiederholteilsuche, wie im Bild 6.2-1 schematisch dargestellt.

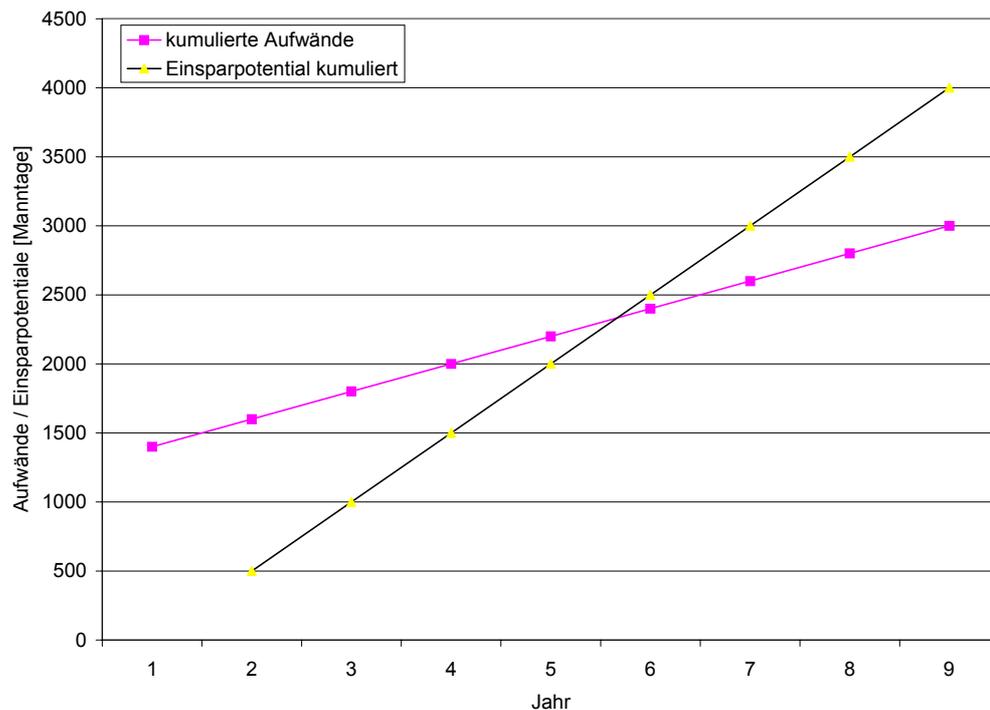


Bild 6.2-1: Kosten/Nutzenbetrachtung des Kalkulationsmoduls von XKIS

Anzumerken bleibt, daß sich der Eingabeaufwand bei der Regelerstellung für neue Teileklassen deutlich verringern wird. Der hohe Kostenaufwand zur Initialisierung des Systems würde sich bei Erweiterung des Systems auf mehr Teileklassen verteilen, was durch die Zunahme des Einsparpotentials bei Einbeziehung weiterer Teileklassen durch zu einem schnelleren Erreichen des Break even points führen würde, der nach dieser Abschätzung bei ca. 5,5 Jahren erreicht wird.

Wenigstens genauso wichtig wie eine Reduzierung der Produktkosten in frühen Phasen ist die Beschleunigung der Produktentwicklung durch die Vermeidung unnötiger Iterationsschleifen aus Kostengründen. Steiner geht hier am Beispiel von Baugruppen von einer Zeitreduktion von ca. 3-4 Wochen gegenüber einem konventionellen Kalkulationsablauf aus:

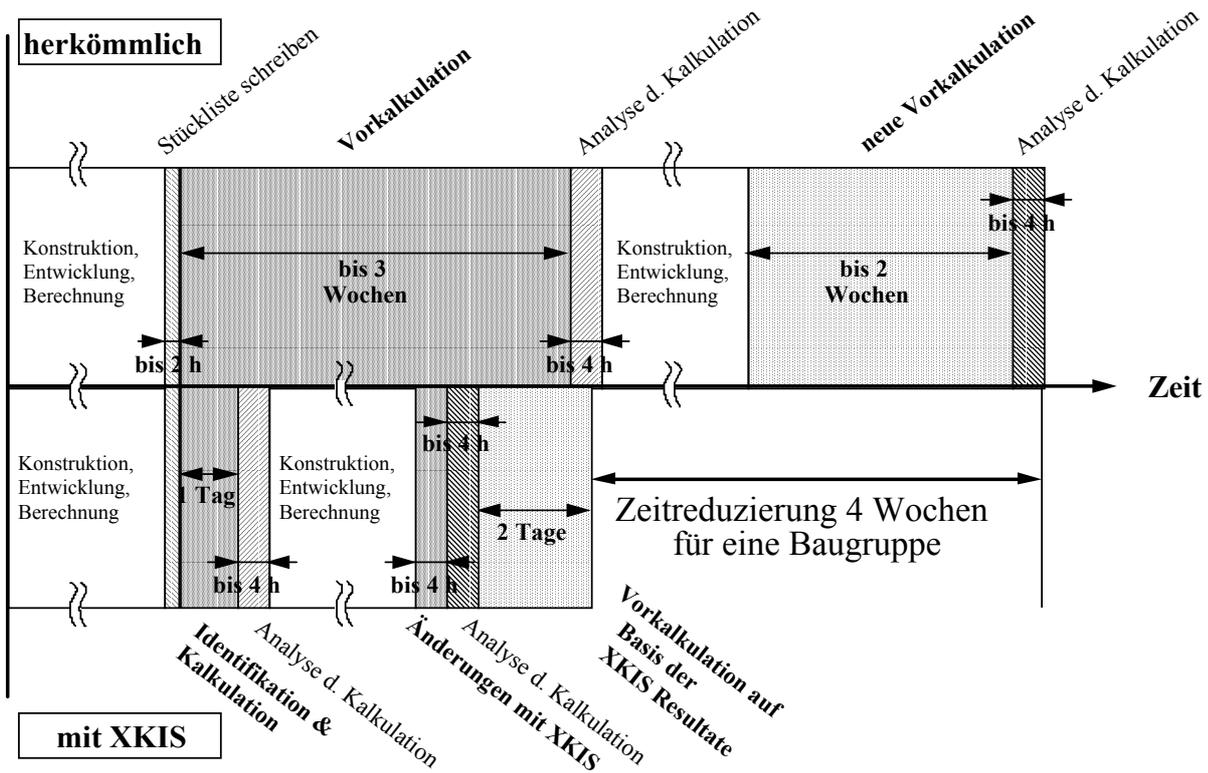


Bild 6.2-2: Entwicklungszeitverkürzung durch Konstruktionsbegleitende Kalkulation (STEINER 1996)

Der von Steiner angesprochene Kostenvorteil durch Zeitersparnis in der Arbeitsplanung kann bislang nicht bestätigt werden. Der von XKIS erstellte Grobarbeitsplan kann einen konventionellen Arbeitsplan (noch) nicht ersetzen. Die vom System vorgenommene Auswahl von Maschinen und Werkzeugen ist zu ungenau, um hier einen direkten Zugriff auf den XKIS Arbeitsplan zu gewährleisten. Am Beispiel der Maschinenauswahl bleiben beispielsweise Auslastungskriterien völlig unberücksichtigt. XKIS wählt damit grundsätzlich die kostengünstigsten Fertigungsprozesse nebst Maschinen, ohne Rücksicht, ob eine Fertigung der geforderten Losgrößen auf diesen Maschinen noch erfolgen kann. Dazu sei auch auf die Beschreibung des Arbeitsplanungsmoduls in Kapitel 4 verwiesen.

Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Überblick und Ergebnisse

Die Notwendigkeit, die Produktkosten in Maschinenbauunternehmen auf ein international wettbewerbsfähiges Niveau zu bringen, ist gerade im Zeitalter globaler Märkte und sich wandelnder Strukturen aktueller denn je. Die Definition von Kostenzielen oder Zielpreisen für Aggregate oder Bauteile ist eine der Grundvoraussetzungen für die Entwicklung kostengünstiger Produkte. Um schon in frühen Phasen der Produktentwicklung erste Kostenzielabgleiche durchführen zu können und unter Vermeidung unnötiger zusätzlicher Kosten noch Eingriffe im Sinne einer kostengünstigen Produktgestaltung vornehmen zu können, ist die Konstruktionsbegleitende Kalkulation ein ganz wesentlicher Teil des Kostenmanagements in den Unternehmen. Vielfach wird auch heute noch die Konstruktionsbegleitende Kalkulation auf Basis von technischen Zeichnungen per Hand durchgeführt. Aufgrund der sich ändernden Abläufe in den Entwicklungsabteilungen insbesondere bei Nutzung von 3D CAD Systemen verschiebt dieses Vorgehen den Zeitpunkt der frühest möglichen Kalkulation schon bis in die Detaillierungsphase, da Entwickler zunächst 3D Modelle generieren und erst gegen Ende der Entwicklung 2D Zeichnungen für die weiteren Prozeßketten (insbesondere in Richtung Arbeitsplanung) ableiten. Diese Verzögerung ließe sich durch den Einsatz von Systemen vermeiden, die anhand der in 3D Modellen enthaltenen Informationen Kalkulationen vornehmen können (vgl. Kapitel 1).

Die Einbindung eines Kosteninformationssystems in die Produktentwicklung erfordert daher zunächst eine Betrachtung der zur Verfügung stehenden Engineering EDV-Systeme und auch eine Betrachtung der im Betrieb angewendeten Kostenrechnungsmethoden. Eine möglichst breite Akzeptanz bei potentiellen Anwendern läßt sich durch einen hohen Integrationsgrad neuer Systeme in die bestehende EDV-Welt erreichen. Um Geometrie- und Technologiedaten eines Produkts gewinnen zu können eignen sich die in den Unternehmen weitverbreiteten CAD-Systeme, für den Zugriff auf bereits datentechnisch verwaltete Informationen bietet sich weiterhin eine Integration des firmeninternen Produktdatenmanagementsystems (PDM-System) an.

Die einer Kalkulation zugrundeliegenden Kosteninformationen können auf verschiedene Weisen gewonnen werden. Zum einen ist eine Kopplung mit betriebswirtschaftlichen Standardsystemen möglich, oder - abhängig von der verwendeten Kalkulationsmethode - eine Integration mit einem Arbeitsplanungssystem (CAP-System). Die Integration unterschiedlicher CAx Systeme kann über verschiedenste Schnittstellen erfolgen. Beispiele einer Integration finden sich in Kapitel 2. Um ein durchgängiges Kostenmanagement zu gewährleisten bietet es sich an, eine konkrete und eventuell auch unternehmensspezifische Kalkulationsmethode für Vorkalkulation, mitlaufende Kalkulation und Nachkalkulation einzusetzen. Zu beachten ist dabei der zunehmende Anteil von Gemeinkosten an den Produktkosten. Die richtige Behandlung von Gemeinkosten stellt eine weitere wesentliche Aufgabe im Kostenmanagement dar. Verschiedene Vorschläge für Kalkulationsmethoden in den frühen Phasen

und für die Ursachen und die Handhabung hoher Gemeinkostenzuschläge finden sich unter Kapitel 3.

Am Beispiel des am Lehrstuhl für Produktentwicklung an der TU München entwickelten Kalkulationssystems wird deutlich, welchen Aufwand die methodische Entwicklung eines geeigneten Rechnerwerkzeuges bedeutet, aber auch welche Chancen sich für die industrielle Anwendung von Kosteninformationssystemen bieten. Bei der Umsetzung des Kalkulationsmoduls wurde das beim Industriepartner ZF Passau GmbH genutzte Kalkulationsschema abgebildet, wobei die Einbindung eines weiteren Schemas systemtechnisch bereits vorgesehen ist. Auf Basis einer differenzierenden Zuschlagskalkulation werden bereits im CAD - System des Entwicklers die Kosten ermittelt, die Bauteile in der Fertigung voraussichtlich verursachen werden. Möglich wird diese Kostenaussage durch die Simulation einer möglichen Fertigungsfolge mit einer kostenmäßigen Bewertung der in der Simulation errechneten Fertigungszeiten (siehe Kapitel 4.2). Bei der Projektumsetzung wurde eine enge Kopplung von CAD und Kalkulationssystem realisiert, die unter anderem eine weitgehend automatisierte Erkennung von 3D Gestaltzonen beinhaltet und damit die Benutzerinteraktionen zur Erkennung von geometrischen und technologischen Bauteilinformationen reduziert. Damit konnte ein Schwachpunkt bisher entwickelter Kosteninformationssysteme beseitigt werden. Der bemängelte zeitliche Aufwand zur mehrfachen Erfassung von Produktdaten wurde mit den neu erarbeiteten Konzepten verringert. Die enge Kopplung zum CAD System löst bekannte Mängel der automatischen Featureerkennung, führt aber auch zu einer erschwerten Portierbarkeit des Systems.

Mit Hilfe des Simulationssystems konnten im Laufe von Pilotprojekten Erfahrungen in der industriellen Praxis gesammelt werden. Aus den Ergebnissen der Pilotprojekte lassen sich mehrere Einsatzgebiete ableiten, in denen Systeme dieser Art sinnvoll eingesetzt werden können:

Das ursprüngliche Ziel einer Unterstützung der Entscheidungsfindung in frühen Phasen der Produktentwicklung wird durch das Werkzeug abgedeckt. Durch die Strukturierung der ermittelten Kosten werden Kostentreiber transparent und kostengünstige Alternativen nahegelegt. Bei längerer Anwendung des Systems wird zudem das Kostenbewußtsein bei Entwicklern geschärft (vgl. auch WIERDA 1988).

Zusätzlich lassen sich mit den Kalkulationsergebnissen Make or Buy Entscheidungen bereits früh treffen. Dies führt dazu, daß Lieferanten schon in den frühen Phasen an der Produktentwicklung beteiligt werden können und somit eine Verkürzung der Produktentwicklungszeiten unterstützt wird.

Zusätzlich zu den originären Zielsetzungen wurden auch Nutzenpotentiale für die Fertigungsplanung sichtbar. So können Änderungen von Fertigungsverfahren oder auch Änderungen in den Fertigungsstrukturen mit Hilfe des regelbasierten Expertensystems zur Grobarbeitsplanung ohne großen Aufwand simuliert werden. Damit sind Fertigungsplaner auch in der Lage verschiedenste Fertigungsverfahren auf Wirtschaftlichkeit in konkreten Anwendungsbeispielen zu prüfen.

Weiterhin dient die featurebasierte Bauteilbeschreibung allen Unternehmensbereichen als Grundlage zur Wiederholteilsuche und stellt damit ein wirksames Werkzeug gegen die zunehmende Variantenvielfalt im Unternehmen zur Verfügung. Die enge Kopplung von Wie

derholteilsuche und CAD System ermöglicht es auch, für neu generierte Bauteile die zur Fertigung von Prototypen oder auch für Kleinserien notwendigen Rohteile aus dem vorhandenen und in der Produktdatenbank hinterlegten Bestand auszuwählen. Die Prüfung der Verwendbarkeit der Rohteile kann dann online am CAD Schirm erfolgen (vgl. Kapitel 4.4).

Der Einsatz eines Systems zur Konstruktionsbegleitenden Kalkulation hat direkte Einflüsse auf die Organisation eines Unternehmens. Tätigkeiten, die bislang in späteren Phasen der Produktentwicklung – häufig auch von anderen Funktionsbereichen - vorgenommen wurden (wie beispielsweise die zur Kalkulation notwendige Grobarbeitsplanung) werden in frühere Phasen verlagert. Dieser Verlagerung von Aktivitäten muß eine entsprechende Anpassung der Kapazitäten in den frühen Phasen folgen.

Zudem ist es notwendig, alle am Prozeß der frühzeitigen Kostenermittlung Beteiligten umfassend auf die neuen Aufgabenstellungen vorzubereiten und in Schulungsmaßnahmen zum methodischen Kostengünstigen Konstruieren und zur Bedienung der verwendeten Softwarehilfsmittel anzuleiten (vgl. Kapitel 5.2.3). Um einen hohen Grad an Anwenderakzeptanz zu erreichen, ist eine Integration des Systems in die bestehenden EDV Systeme des Unternehmens vorteilhaft. Die Konstruktionsbegleitende Kalkulation soll für die Anwender keine unnötigen Mehrfacheingaben von Daten bedeuten. Viele für eine Kalkulation notwendige Informationen sind schon in bestehenden EDV Systemen verfügbar und sollten möglichst online nutzbar sein.

Die beim Einsatz des Systems XKIS gewonnenen Ergebnisse sind zum Teil unternehmensspezifisch, zum Teil direkt auf andere Unternehmen übertragbar. Eine Portierung des Systems in andere Unternehmen kann daher nur teilweise und nur mit standardisierten Funktionalitäten erfolgen. Speziell das Modul zur Grobarbeitsplanung ist stark unternehmensspezifisch geprägt und kann nur mit Regeln für Standardfertigungsprozesse (wie Bohren, Drehen, Fräsen) ausgerüstet sein. Eine Anpassung an unternehmensspezifische Prozesse und Technologien kann dann erst vor Ort im Unternehmen erfolgen. Doch auch der zugegebenermaßen hohe Aufwand für eine Systemportierung zahlt sich bei konsequentem Einsatz der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation aus.

Anhand der in Pilotprojekten gewonnenen Ergebnisse kann man davon ausgehen, daß der in Kosten bewertete Aufwand für die Anpassung des Systems auf spezielle betrieblichen Prozesse innerhalb von ca. 5 Jahren durch Kostensenkungspotentiale aus der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation kompensiert wird. In den Folgejahren können erhebliche Einsparpotentiale erzielt werden, da Kosten für die Systempflege und Erweiterung des bearbeitbaren Produktspektrums deutlich unter dem realisierbaren Kostensenkungspotential liegen. Noch schneller als die Konstruktionsbegleitende Kalkulation amortisieren sich die Aufwendungen für ein Wiederholteilsuchsystem. Die im Pilotprojekt gesammelten Erfahrungen lassen darauf schließen, daß nach ca. 1,5 Jahren (vgl. Kapitel 6.1) der break even zwischen dem Aufwand für die Erfassung von Geometrieinformationen für die Wiederholteilsuche und den Einsparungen aus der Teilwiederverwendung erreicht ist.

7.2 Ausblick

Im Rahmen der Arbeit konnten die Vorteile einer Kopplung eines 3D CAD Systems mit einem Kalkulationssystem nachgewiesen werden. Es war in dieser Arbeit noch nicht möglich, eine komplette Integration eines kostenzielorientierten Produkterstellungsprozesses (vgl. auch REISCHL ET AL. 1997) in einem EDV System zu realisieren. Die Konstruktionsbegleitende Kalkulation ist nur ein Baustein eines unternehmensweiten Kostenmanagementsystems. Ein lohnender weiterer Entwicklungsschritt wäre die Integration der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation in ein Gesamtkonzept zum Kostengünstigen Konstruieren. Dieses Konzept könnte zunächst Methoden und Hilfsmitteln zur Kostenzielfindung und zur Kostenzielspaltung anbieten, in der Folge das Modul der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation zur Kostenzielverfolgung nutzen (auch in unterschiedlichen Phasen der Produktentwicklung) mit einer Erfassung der Historie von Kalkulationsresultaten um die Wirksamkeit der in der Produktentwicklung angewandten und rechnerisch erfassten kostensenkenden Maßnahmen zu dokumentieren. Zudem könnte nach einem erfolgten Serienanlauf von Teilen oder Aggregaten auch die Nachkalkulation in diesem System abgedeckt werden. Damit wäre ein wirksames Kostenmanagement durch den gesamten Produkterstellungsprozeß möglich, welches in einem System alle wesentlichen Kalkulationsdaten darstellen könnte und über verschiedenste datentechnische Filter auch auswerten könnte.

8 Anhang

Dieses Kapitel enthält einen Überblick über die rechnertechnische Umsetzung des Projekts. Aufgrund des Umfangs des Programmsystems sollen an dieser Stelle nur die groben Funktionsumfänge erläutert werden. Das System XKIS ist aktuell in das CAD System Pro/Engineer¹ (Version 20) integriert. Es steht derzeit produktiv auf den UNIX Versionen IBM AIX 4.3.2² und HP UX 10-20³ zur Verfügung. Als Datenbank wird das relationale Datenbanksystem Oracle in der Version 7.3.4⁴ verwendet. Die Schnittstelle zum bestehenden Großrechnersystem ist über das Gateway TG4DRDA der Fa. Oracle realisiert. Am Großrechnersystem werden die Geometrie- und Kalkulationsdaten auf der relationalen Datenbank SQL/DS unter VM/ESA verwaltet.

8.1 Überblick über die Funktionalität der CAD integrierten Kalkulation

Anhand des Hauptmenüs der Geometriedatenerfassung und der Kalkulation in Bild 8.1-1 soll ein grober Überblick der Funktionalitäten vermittelt werden:

Unter dem Menüpunkt Start (1) wird entweder die Datenerfassung für ein nicht in XKIS bekanntes Teil gestartet, oder die zu diesem Bauteil in der Datenbank hinterlegten Informationen editiert. Diese auf das ganze Bauteil bezogenen Informationen wie beispielsweise Härte-tiefe oder Werkstoff werden entweder automatisiert aus dem 3D Modell erfaßt – wenn die Informationen bereits als CAD Parameter definiert sind - oder vom Anwender durch Listenauswahl eingegeben. Erst wenn diese bauteilbeschreibenden Definitionen in der Datenbank hinterlegt sind kann die Erfassung der Elementargestaltungszonen begonnen werden (vgl. zu den Begrifflichkeiten auch Bild 4.1-2). Die Eingabe der Elementarfeaturedaten kann entweder vollautomatisiert über den Menüpunkt „auto detect“ (5) erfolgen, oder für den Fall, daß Gestaltungszonen nicht automatisch erkannt werden, auch durch manuelles Identifizieren. Dabei bedeutet manuell nicht eine eingabe von Werten über Tastatur – der Benutzer wird von XKIS interaktiv aufgefordert bestimmte Geometrielemente mit der Maus auszuwählen, die mit bestimmte Geometrieinformationen behaftet sind. Der Durchmesser eines Lagersitzes wird beispielsweise durch einen Mausclick auf die Zylindermantelfläche des betreffenden Lagersitzes ermittelt. Dabei ist XKIS in der Lage, abhängig von der aktuell geforderten Maßinformation, zu klären, welche Geometriedaten des Features gerade relevant sind. Die gleiche Zy

¹ Pro/Engineer ist ein eingetragenes Warenzeichen der Parametric Technology Corporation

² AIX, VM/ESA und SQL/DS sind eingetragene Warenzeichen der IBM Corporation

³ HP UX ist ein eingetragenes Warenzeichen der Hewlett-Packard Corporation

⁴ Oracle und TG4DRDA sind eingetragene Warenzeichen der Oracle Corporation

lindermantelfläche liefert damit auch die Breite des Lagersitzes, wenn dieses Maß von der XKIS Featureverwaltung gefordert wird.

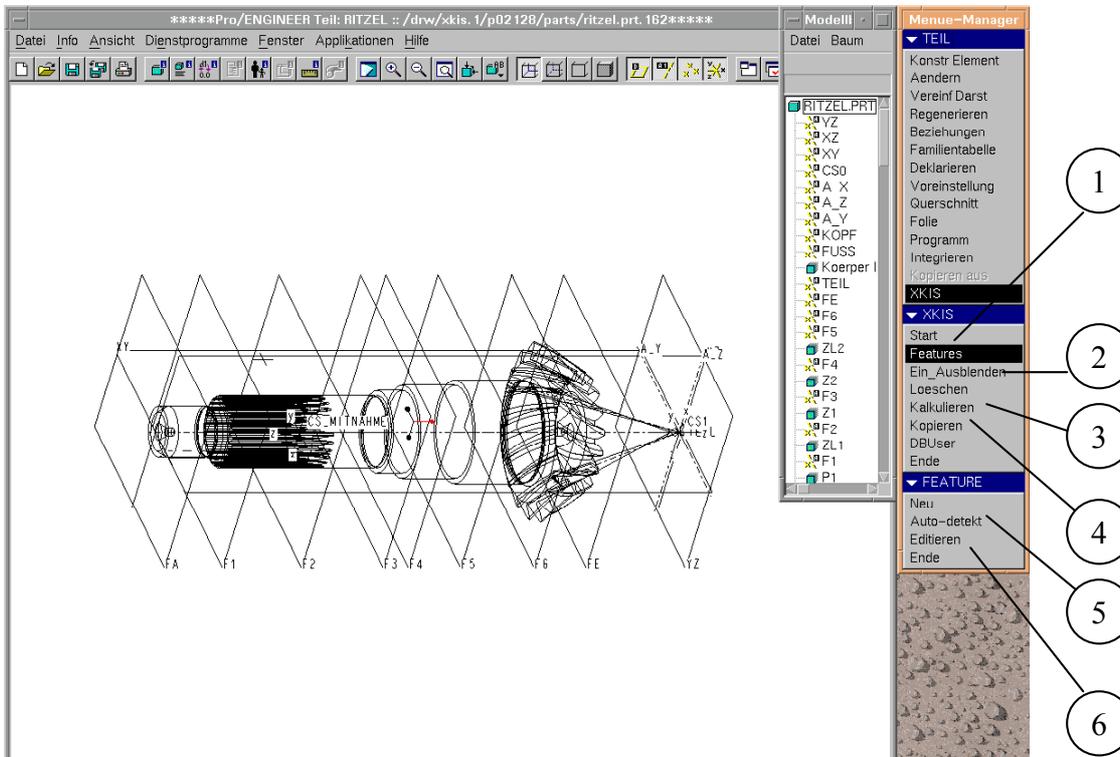


Bild 8.1-1: Darstellung der XKIS Funktionalitäten für Geometrieerfassung und Kalkulation

Der Menüpunkt Ein/Ausblenden (2) ermöglicht es, nicht kostenrelevante Gestaltzonen (wie Radien oder Fasen) vor dem Identifizieren von Elementarfeatures auszublenden. Dies beschleunigt einerseits die Geometriedatenerfassung, ohne das Kalkulationsergebnis wesentlich zu verschlechtern und erleichtert zudem das Auffinden von Kanten zur Maßermittlung.

Die Funktion „Kalkulieren“ (3) startet das Kalkulationsmodul von XKIS. Nach Abschluß der Kalkulation kann der Anwender auswählen, ob er eine fertigungsprozessbasierte Auswertung der Kostensimulation wünscht, oder eine featurebasierte Auswertung. Die fertigungsprozessbasierte Variante listet wie in Bild 8.1-2 ersichtlich ist, alle zur Fertigung des Bauteils nötigen Maschinen mit Maschinennummern auf und gliedert die an der jeweiligen Maschine anfallenden Kosten in die Kosten aus Hauptzeiten, Kosten aus Nebenzeiten und Rüstkosten und weist weitere Kostenanteile wie Materialkosten oder nicht nach Refa Zeitanteilen gliederbare Kosten als sonstige Kosten aus. Am gezeigten Beispiel stellt die Maschine mit der Nummer 17604 eine Drehmaschine dar, bei den Maschinen 46608 und 46605 handelt es sich um Verzahnungsmaschinen.

Die featurebasierte Darstellung versucht soweit möglich die Kostenanteile den definierten Gestaltzonen des Teils zuzuordnen. Dies ist prinzipiell für die Kosten aus Haupt- und Nebenzeiten problemlos, die Kosten aus Rüstzeiten können nur bei bestimmten Fertigungsprozessen genau einer Gestaltzone zugeordnet werden. So sind etwa die Rüstzeiten für den Fertigungs

prozeß Drehen bei einem Kegelritzeln nur schwer den Elementarfeatures zuzuweisen, da die komplette Außenkontur des Ritzels in einem Drehprozeß erstellt wird. In diesem Fall wäre es ein unnötiger Aufwand anhand bestimmter Geometrieigenschaften die Rüstkosten weiter herunterzubrechen. Dies ist auch einer der Hauptgründe dafür, daß häufig die fertigungsprozeßbasierte Darstellung bevorzugt wird.

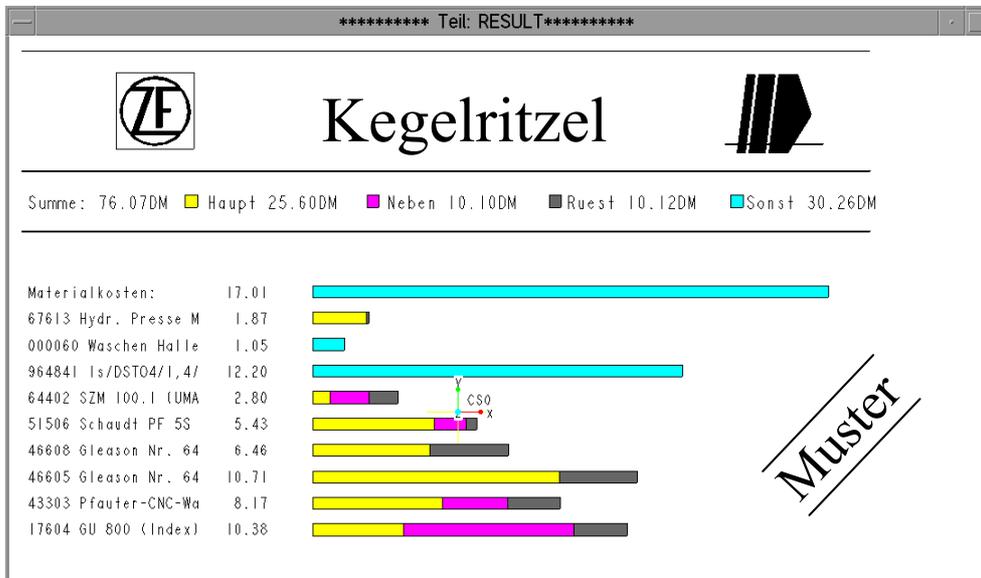


Bild 8.1-2: Kalkulationsergebnis in fertigungsprozeßbasierter Darstellung

Das Kalkulationsergebnis wird im Teilemodus des CAD Systems als „flache“ 3D Darstellung generiert. Damit bieten sich alle Vorteile der CAD Funktionalitäten wie etwa Plotten oder ein Export der Datei in unterschiedlichste Formate. So kann beispielsweise auch eine TIFF Datei dieser Darstellung erzeugt werden und über das PDM System dem kalkulierten Modell zugeordnet werden. Das Kalkulationsergebnis steht dann online allen berechtigten Benutzern in allen Unternehmensbereichen zur Verfügung. Zusätzlich läßt sich damit eine Art Kostenhistorie des Teils aufbauen, wenn mehrere Kalkulation in unterschiedlichen Entwicklungsphasen generiert wurden.

Der Menüpunkt „Kopieren“ dient dazu, in XKIS bereits bekannte Bauteile zu duplizieren. Dies bietet sich vor allem bei sehr ähnlichen Teilen an, die sich in wenigen Einzelinformationen unterscheiden, aber dennoch zwei eigenständige Sachnummern tragen. Ein Einsatzgebiet für diese Funktion findet sich beispielsweise bei zwei unterschiedlich verzahnten Ritzeln, die sich in der Verzahnungsrichtung (links- oder rechtsverzahnt) unterscheiden, aber ansonsten identische Geometriedaten aufweisen. In diesem Fall würde man eine Variante in XKIS erfassen, dann den kompletten Datensatz (also Bauteil- und Elementarfeaturedaten) unter der zweiten Sachnummer duplizieren. Anschließend werden die Daten der Spiralverzahnung editiert (6) und das Merkmal Verzahnungsrichtung korrigiert.

8.2 Darstellung der featurebasierten Wiederholteilsuche

Wie in Bild 8.2-1 zu sehen ist auch die Wiederholteilsuche nahtlos in den CAD Arbeitsplatz eingebunden. Der Konstrukteur hat zu jedem Zeitpunkt seiner Tätigkeit im CAD die Möglichkeit Suchabfragen abzusetzen und gefundene Teile online für seine Konstruktion zu verwenden.

DBUser: gefundene Teile Seite 1 von 3

Sachnummer	Objektklasse	Teileklasse	Konstrukteur	Feat.	CAD
BEISPIELTEIL	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	SONNENRAD		7	C
RITZEL	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	KEGELRITZEL	GREIL	11	C
0815_471_100_ET000	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		10	E
0851_400_588_ET290	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	RITZEL.ROHTEIL		1	E
0851_400_679_ET085	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		5	E
0851_400_680_ET170	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	RITZEL.ROHTEIL		10	E
0851_400_687_ET290	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	RITZEL.ROHTEIL		3	E
0851_400_689_ET290	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		5	E
0851_400_712_ET150	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		9	E
0851_400_724_ET150	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		6	E
0851_400_725_ET220	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	RITZEL.ROHTEIL		1	E
0851_400_751_ET190	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	RITZEL.ROHTEIL		4	E
0851_400_758_ET030	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		4	E
0851_400_759_ET200	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	RITZEL.ROHTEIL		6	E
0851_400_806_ET040	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	RITZEL.ROHTEIL		4	E
0851_400_828_ET060	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		5	E
0851_400_836_ET290	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		5	E
0851_400_891_ET070	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		6	E
0851300625	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD		9	-
0851300777	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD	SCHENKL	14	-
0851300778	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	KEGELRITZEL	SCHNEKL	30	-
0851400581	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	RITZEL.ROHTEIL		4	C
0851400589	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		5	C
0899_417_001_ET150	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		6	E
0899_417_003_ET150	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		5	E
0899_417_004_ET150	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		5	E
1043_434_054_ET290	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	RITZEL.ROHTEIL		13	E
1043_434_068_ET070	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		7	E
1043355109	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD	TIESLER	10	C
1050_435_014_ET050	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		7	E
1050_435_015_ET290	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	RITZEL.ROHTEIL		5	E
1050_435_046_ET310	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD.ROHTEIL		10	E
1050335046	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	TELLERRAD	GAERTNER	13	C
1050435045	ROT.SYM.SCHMIEDETEIL	RITZEL.ROHTEIL		11	C

TYP :2D Name :KEIN. GROESSE :A

Menue-Manager
 ▼ ZEICHNUNG
 Ansichten
 Blaetter
 Regenerieren
 Tabelle
 Folie
 Spezialelemente
 Suchsystem
 ▼ DFTAIL
 Zeigen/Wegnehm
 Erzeugen
 Loeschen
 Bewegen
 Text bewegen
 Ansatz aendern
 Mehrere beweg
 Unterbrechen
 Verkrz/Vering
 Ansicht wechseln
 Pfeil umschalten
 Knick erzeugen
 Ausrichten
 Skizze
 Werkzeuge
 Aendern
 ▼ XCADSE
 Teilfenster
 Featurefenster
 Gefundene Teile
 DB User
 ▼ XCSelect
 Auswählen
 Naechste Seite
 Vorherige Seite
 Drucken
 Beenden
 ▼ AUSWAHL
 Auswahl
 Abfrage
 Nach liveue
 Fertig Ausw
 Abbruch Ausw

Bild 8.2-1: Anzeige des Suchergebnisses im CAD System

Dabei kann der Konstrukteur sowohl nach konkreten Werten oder Wertebereichen in den Teiledaten (1) und der Elementarfeaturedaten (2) suchen lassen. Die Darstellung der gefundenen Teile zeigt die Sachnummer, Objektklasse, Teileklasse, den Namen des Konstrukteurs, die Anzahl der Elementarfeatures und das originäre CAD System an. Die unterschiedlichen Nummernkonventionen der gefundenen Teile im Bild ergibt sich aus einer Normenänderung bei Einführung des 3D CAD Systems. Waren die Dokumentennummern bis zu diesem Zeitpunkt 10 stellig wurden sie ab diesem Zeitpunkt 15 stellig erfaßt. Selbstverständlich hat der Konstrukteur in der Darstellung der gefundenen Teile auch die Möglichkeit detailliertere Informationen abzurufen. Wählt er mit der Maus die Sachnummer eines Teils aus dieser Liste aus, so werden ihm in einem Informationsfenster die Bauteildaten dieses Teils angezeigt. Wählt er die Anzahl der Elementarfeatures, so erhält er ein Auswahlmenü der hinterlegten Elementargestaltungszonen, aus der er auf Wunsch über ein weiteres Informationsfenster auch die

für Elementargestaltungszonen gespeicherten Daten abrufen kann. Möchte der Konstrukteur direkt auf das CAD Modell des Bauteils zugreifen, dann wählt er den Kennbuchstaben des CAD Systems in der letzten Spalte der Anzeige. Am abgebildeten Beispiel steht die Kennung C für das 2D CAD System CADAM¹, E für Pro/Engineer und ein – für manuell erstellte Zeichnungen.

Im Falle der Kennung E würde ein direkter Zugriff auf das PDM System erfolgen und das 3D Modell ausgecheckt und bereitgestellt werden, der Konstrukteur kann das Teil sofort weiterverarbeiten. Manuelle Zeichnungen und Formate anderer CAD Systeme lassen dies nicht zu. In diesen Fällen greift XKIS ebenfalls online auf des Rasterarchiv des Unternehmens zu. XKIS liest aus der Rasterdatenbank das Archivverzeichnis, in dem die Rasterdatei hinterlegt ist, kopiert die Rasterdatei lokal und startet ein externes Anzeigeprogramm, um die Rasterdatei am CAD Schirm anzuzeigen. Eine direkte Verwendung der Rasterimportfilter des CAD Systems stellte sich aufgrund des komprimierten Rasterformats (TIFF G4) als technisch nicht möglich heraus. Das externe Anzeigeprogramm stellt dem Konstrukteur aber zumindest Funktionalitäten zum Ausdruck der gefunden Rasterdateien zur Verfügung.

8.3 Migration komplexer EDV Systeme

Im Rahmen des Forschungsprojektes konnten die Risiken einer Migration von integrierten CAx-Systemen am Beispiel des Wechsels von einem 2D CAD System auf Host – Basis hin zu einem 3D CAD System auf UNIX Ebene untersucht werden. Die Voraussetzungen für diese Migration erschienen dabei im Vorfeld äußerst günstig zu sein, da die Integration des CAD Systems in ein CIM Konzept über eine relationale Datenbank als neutrales Datenaustauschformat führt und die Schnittstellenprogramme modular aufgebaut waren (vgl. Bild 8.3-1)

Die relationale Datenbank diene als integrierende Schnittstelle zwischen CAD System und alphanumerischer Applikation, sowie als systemunabhängige Schnittstelle zu anderen Applikationen. Problemstellung war, die vorhandenen Funktionalitäten auf ein 3D System zu übertragen und für einen Übergangszeitraum aus beiden CAD Systemen heraus alle Applikationen nutzen zu können. Dabei haben sich mehrere Vorgehensweisen angeboten:

- a) Komplette Ablösung des Hostsystems und Neuaufbau auf UNIX Plattform.
- b) Portierung der CAD Schnittstelle und Aufbau einer DB Kommunikation über unterschiedliche Plattformen hinweg.
- c) Portierung von CAD Schnittstelle und Applikation auf UNIX unter Anbindung des Host CAD Systems.

Gegen Lösungsalternative a) sprach der große Aufwand einer Portierung des alphanumerischen Applikationsteiles. Dieser basiert auf einer großen Anzahl an Ein- und Ausgabemasken, die speziell auf alphanumerische Anzeigegeräte (3270 Terminals) abgestimmt sind. Eine Überarbeitung der Programme und Masken auf einen modernen plattformübergreifenden

¹ CADAM ist ein eingetragenes Markenzeichen der IBM Corporation

Standard wie TCL/TK oder Perl ist zwar technisch lösbar, hat aber für die Anwendbarkeit des Systems abgesehen von einer graphischen Oberfläche keine weiteren Vorteile. Zudem sind im Pilotunternehmen auf allen gängigen Plattformen Emulationen für alphanumerische Host-Applikationen vorhanden. Vorteile bietet Alternative a) wegen eines vereinfachten Transfers in andere Unternehmensteile oder andere Unternehmen (Vermarktung).

Das Problem der aufwendigen Portierung des Applikationsteils zur Daten- und Regelpflege spricht auch gegen Alternative c. Zudem ist ein Datenbankzugriff vom Hostsystem auf ein UNIX Datenbanksystem technisch schwieriger zu realisieren als der umgekehrte Weg.

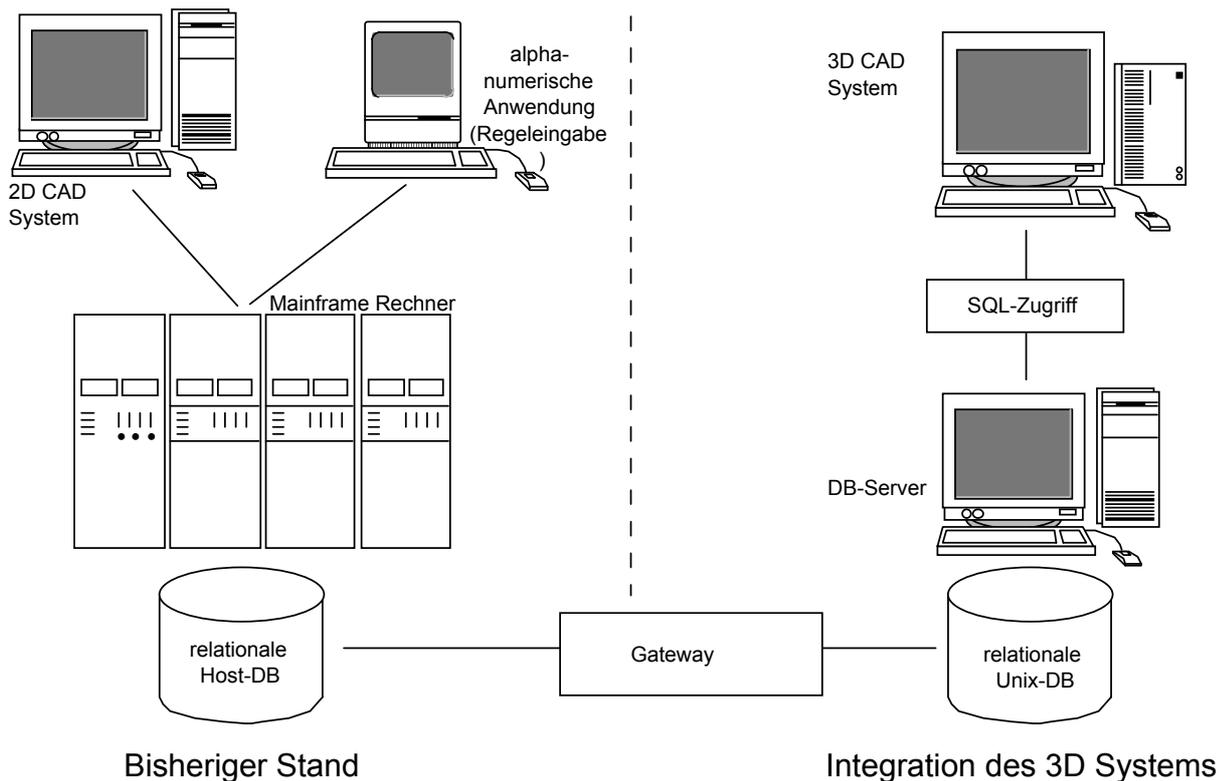


Bild 8.3-1: Integration eines 3D Systems in die bestehende XKIS-Lösung

Umgesetzt wurde aus diesen Gründen die Alternative b). Durch den Wechsel des CAD Systems war es nötig, einen großen Teil der Schnittstellenprogramme neu zu erstellen. Dies lag zum einen am deutlich umfangreicheren Funktionsumfang von 3D Systemen, zum anderen auch daran, daß es keine normierten Programmierschnittstellen zu CAD Systemen gibt. Waren ältere technische Applikationen häufig mit Fortran Programmierschnittstellen versehen, so sind heute C und C++ Schnittstellen auch bei den technischen Anwendungen die Regel. Im Pilotprojekt waren die Programme der 2D Schnittstelle entsprechend den neueren Standards modularisiert aufgebaut, wodurch einzelne Module wieder- und weiterverwendet werden konnten. Dabei muß aber beachtet werden, daß die Aufrufe von Softwarecodes in unterschiedlichen Programmiersprachen (interlanguage calls) häufig Probleme bergen, wie etwa bei der Übergabe von Array Strukturen. Die Portierung von Hostsystemen nach Unix birgt zudem die Gefahr, daß für verschiedene Hardware- und Betriebssystemhersteller (Unix Deri

vate) häufig Anpassungen in den Programmen vorgenommen werden müssen. Der Aufwand zur Portierung erhöht sich deutlich mit der Anzahl der zu unterstützenden Betriebssysteme. Rückblickend kann man sagen, daß die Verwendung der vorhandenen Programmodule in diesem Fall keine Beschleunigung der Programmierarbeiten bewirken konnten. Dies dürfte aber an den ungenormten CAD Schnittstellen gelegen haben, die auch durch den Übergang von 2D zu 3D Geometrieerzeugung gravierende Unterschiede aufwiesen.

Der gleichzeitige Zugriff auf die relationale Großrechner-Datenbank von unterschiedlichen CAD Systemen aus stellte sich ebenfalls problematisch dar. Zunächst angestrebte neutrale Middleware Produkte um die Verbindung zwischen Unix und Host Welt zu schaffen wurden verworfen. Realisiert wurde die Lösung einer Unix Datenbank, die über Gateway Technologie eine Verbindung zur Host-Datenbank schafft. Dazu werden auf Unix Seite Tabellen definiert, die als Synonym einen direkten Link zur „realen“ Datenbank am Host ermöglichen. Eine möglichst optimale Konfiguration dieses Gateways ist jedoch unumgänglich, um die Antwortzeiten zwischen Host und Unix – System erträglich zu halten. Performanceverluste sind jedoch auch bei günstigen Konfigurationen unvermeidlich, aber als unkritisch zu bewerten. Die Systemkonstellation veränderte sich durch diese Portierungsarbeiten wie in Bild 8.3-1 dargestellt.

9 Literaturverzeichnis

APPLICON (HRSG.):

Aufbau und Nutzen einer Cax-EDM-Integration.
Rüsselsheim – Firmenschrift.

ATKESON, C.G.:

Memory-based approaches to approximating continuous Functions.
Cambridge: MIT (1990) The AI-Lab and the Brain and cognitive sciences department.

ATKINSON, M.:

The Object-Oriented Database System.
Manifesto Rapport Technique Altair 30-89 (1989).

BANHOLZER, G.:

CAD Filereplikation und Metadatenreplikation.
Friedrichshafen: ZF 1999 - Firmenschrift.

BECKER, J.:

DV-Verfahren zur Unterstützung frühzeitiger Kosteneinschätzungen.
In: Männel (Hrsg.): Frühzeitiges Kostenmanagement.
Wiesbaden: Gabler 1997.

BERKAU, C.; HIRSCHMANN P.; SCHEER A.-W.:

Kostengerechte Produktentwicklung mit Expertensystemen.
In: Männel (Hrsg.): Frühzeitiges Kostenmanagement.
Wiesbaden: Gabler 1997.

BOCK M.; KRAEMER W.; SCHEER A.-W.:

CIM spezifische Weiterentwicklung von Kosteninformationssystemen.
Kostenrechnungspraxis (1991) 3, S.119–130.

BÖS, K.:

Integration der Qualitätsentwicklung in featurebasierte CAD/CAM Prozeßketten.
Dissertation Universität Karlsruhe (TH), 1994.

BOPP, R.:

Verbundprojekt „MoKoKo“ Montage-, fertigung- und kostengerechte Konstruktion.
Stuttgart: Fraunhofer-Institut.

BOOTHROYD DEWHURST INC.:

How your company can benefit from DFMA.
Internetadresse: <http://www.dfma.com/software/dfaben.html>.

BRUDER, S.:

Einsatz von CA-Technologien in einem mittelständischen Automobilzulieferunternehmen.
In: VDI (Hrsg.): Jahrbuch 98.

Düsseldorf: VDI 1998.

COGNITION CORPORATION.:

Cost Advantage.
Bedford 1995 – Firmenschrift.

COOPER, R.; KAPLAN, R. S.:

Measure Costs Right: Make the Right Decisions.
Harvard Business Review Vol. 66 (1988), Heft 5, S. 96-103.

CORSTEN, H.; STUHMANN, S.:

Grundlagen eines rechtzeitigen Kostenmanagement.
In: Männel (Hrsg.): Frühzeitiges Kostenmanagement.
Wiesbaden: Gabler 1997.

CRONJÄGER, L.:

Bausteine für die Fabrik der Zukunft.
Berlin: Springer 1990.

DEBUSCHEWITZ, M.:

Make or buy Entscheidungen vorbereiten durch Simulation.
Produktion (1997) 22.

DEBUSCHEWITZ, M.:

Fertigungsgerecht konstruieren durch Konstruktionsbewertung.
Dornach: ifp 1995 – Firmenschrift.

EHRENSPIEL, K.; KIEWERT A.; LINDEMANN U.:

Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren.
Berlin: Springer 1998.

EHRENSPIEL, K.:

Integrierte Produktentwicklung.
München: Hanser 1995.

EHRENSPIEL, K.:

Frühzeitige Kostenbeeinflussung durch Produktkosten-Controlling und Simultaneous Engineering.
Kostenrechnungspraxis (1995) 6, S. 313-320.

EIGLMEIER, M.:

Konstruktionsbegleitende Kalkulation und automatische Arbeitsplanung für Bauteile aus der Antriebstechnik.
München: TU 1996 Diplomarbeit.

EITRICH, O.:

Prozeßorientiertes Kostenmodell für die entwicklungsbegleitende Vorkalkulation.
Karlsruhe: TH (1996).

ENDEBROCK, K.; WELP, E.:

Object-oriented product and process modeling for transparent cost estimation.
In: Lindemann et al. (Hrsg.): ICED 99 Proceedings of the 12th international conference on engineering design.
München: TU 1999, S. 493-496.

ERDRICH, K.:

Archivierung von Konstruktions- und Fertigungsdaten.
CAD CAM Report (1997) 8, S.70-77.

EVERSHEIM, W.; CAESAR C.:

Kostenmodell zur Bewertung von Produktvarianten.
VDI-Z (1990) 6, S. 75-79.

EVERSHEIM, W.; SCHUH, G.; CAESAR C.:

Variantenvielfalt in der Serienproduktion
VDI-Z (1988) 12, S. 45-49

EVERSHEIM W.; KÜMPER R.:

Prozeß- und ressourcenorientierte Vorkalkulation in den Phasen der Produktentstehung.
In: Männel (Hrsg.): Frühzeitiges Kostenmanagement.
Wiesbaden: Gabler 1997.

FERREIRINHA, P.:

Herstellkostenberechnung von Maschinenteilen in der Entwurfsphase mit dem HKB Programm.
In: Hubka (Hrsg.): Proceedings of ICED '85.
Zürich: Edition Heurista.

FERREIRINHA, P.:

Rechnerunterstützte Vorkalkulation im Maschinenbau für den Konstrukteur und den Arbeitsvorbereiter mit dem HKB Programm.
In: VDI Bericht Nr. 651 (Hrsg.).
Düsseldorf: VDI 1987, S. 343-350.

FERREIRINHA, P.; DELLA ROSSA, A.:

Knowledge based integration of process-FMEA and cost analysis.
In: Lindemann et al. (Hrsg.): ICED 99 Proceedings of the 12th international conference on engineering design.
München: TU 1999, S. 1459-1464.

FISCHER, J.; KOCH, R.; SCHMIDT-FABER, B.:

Konstruktionsbegleitende Prozeßkostenprognose für den Produktlebenszyklus.
CIM (1992) 5, S. 58-65.

FISCHER, J.; KOCH, R.; SCHMIDT-FABER, B.; HAUSCHULTE, K-B.:

Gemeinkostenvermeiden durch entwicklungsbegleitende Prozeßkostenkalkulation.
In: Horvath (Hrsg.): Marktnähe und Kosteneffizienz schaffen.
Stuttgart: 1993.

FRANZ, K.-P.; KAJÜTER, P. (HRSG.):

Kostenmanagement: Wettbewerbsvorteile durch systematische Kostensteuerung.
Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1997.

GRABOWSKI, H. (HRSG.):

Neue Wege zur Produktentwicklung.
Stuttgart: Raabe 1997.

GRÖNER, L.:

Entwicklungsbegleitende Vorkalkulation.
Berlin: Springer 1991.

GÖTTSCHE, N.:

Unternehmensweite Verwaltung von Produktdaten und -prozessen.
CAD-CAM Report (1997) 1, S. 30-37.

HEINE, A.:

Entwicklungsbegleitendes Produktkostenmanagement.
Wiesbaden: Gabler 1995.

HICHERT, R.:

Probleme der Vielfalt.
Zeitschrift für industrielle Fertigung (1985) 75, S. 235-237.

HILLEBRAND, A.:

Kosteninformationssystem für die Neukonstruktion mit der Möglichkeit zum Anschluß an ein CAD-System.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 4).
Zugl. München: TU Diss. 1990.

HORVATH, P.:

Vergleichende Betrachtung der bekanntesten Kalkulationsmethoden für das kostengünstige Konstruieren.
Kostenrechnungspraxis (1996) 1, S. 53-62.

HORVATH, P.; SEIDENSCHWARZ, W.:

Zielkostenmanagement.
Controlling (1992) 4, S. 142-150.

HORVATH, P.; MAYER, R.:

Prozeßkostenrechnung – der neue Weg zu mehr Kostentransparenz und wirkungsvolleren Unternehmensstrategien.
Controlling 1 (1989) 4, S. 214-219.

HORVATH, P.; SEIDENSCHWARZ, W.:

Die Methodik des Zielkostenmanagement.
Controlling-Forschungsbericht Nr. 33. Lehrstuhl Controlling, Betriebswirtschaftliches Institut Universität Stuttgart. Stuttgart, 1992.

IAF (HRSG):

Catwisel: Wissensbasiertes Konstruktionsverbundsystem für die durchgängige Getriebeprojektierung Stand 1995 (1).

Internetadresse: <http://www.fht-esslingen.de/institute/iaf/catwisel.html>.

IAF (HRSG):

Infoguss: Kosteninformationssystem für die konstruktionsbegleitende Kalkulation von Gußgehäusen Stand 1995 (2).

Internetadresse: <http://www.fht-esslingen.de/institute/iaf/infoguss.html>.

INPUT:

500 Milliarden Dollar für Jahr-2000-Datumsumstellung.

Client Server Computing (1997) 12, S. 14-15.

JOHNSON, H.T.:

Activity-based Information: A Blueprint for World-Class Management Accounting. Management Accountig (1988), S. 23-30.

JONES, L.:

Product Costing at Caterpillar.

Management Accountig (1991), S. 34-42.

KNECHTEL, U.:

Produktdaten-Management im World Wide Web.

CAD CAM Report 1997 6 , S. 116-124.

KÖNIG, T.:

Konstruktionsbegleitende Kalkulation auf der Basis von Ähnlichkeitsvergleichen. Bergisch Gladbach, Köln 1995.

KYPRIANOU, L.:

Shape Classification in Computer Aided Design.

Ph.D. Dissertation, University of Cambridge, 1980.

LINDEMANN, U.; REICHWALD, R.:

Integriertes Änderungsmanagement.

Berlin, Springer 1998.

LINDEMANN, U.:

Der Konstrukteur im Mittelpunkt des Unternehmens?

In: Zeit- und Kostenmanagement in der Konstruktion.

Düsseldorf: VDI-Verlag 1994, S. 1-17. (VDI Bericht 1037).

LOOS, G.:

Ermittlung von Verrechnungs- und Zuschlagssätzen.

In: Männel (Hrsg.): Handbuch für Kostenrechnung.

München: Gabler 1992, S. 523 – 530.

MÄNNEL, W.:

Make or Buy Entscheidungen.
Kostenrechnungspraxis (1998) 6, S. 307-311

MÄNNEL, W.:

Einsatz von Relativkosten-Katalogen für das konstruktionsbegleitende Kostenmanagement.
In: Männel (Hrsg.): Frühzeitiges Kostenmanagement.
München: Gabler 1997

MÄNNEL, W.:

Frühzeitige Kostenkalkulation und lebenszyklusbezogene Ergebnisrechnung.
Kostenrechnungspraxis (1994) 2, S. 106-111.

MABBERG, W.; XU, J.:

Verarbeitung geometrischer Informationen in einer CAD/CAP-integrierten Umgebung.
In: CAD'92 Neue Konzepte zur Realisierung anwendungsorientierter CAD-Systeme, GI-Fachtagung Berlin.
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1992.

MIRAKON (HRSG.):

Herstell-Kosten-Berechnung.
Hittnau: 1994 – Firmenschrift.

MÖLLER, G.:

Umsetzung der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation bei der ZF Friedrichshafen AG mit dem KICK-Modell.
In: Horvath (Hrsg.): Jahrbuch des Controlling 1997.
Stuttgart Handelsblattverlag 1997.

MOORE, A.; ATKESON, C.:

Memory-based Function approximations for learning control.
Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, Artificial Intelligence Laboratory 1992.

NIJSSEN, G. M.; HALPIN, T. A.:

Conceptual Scheme and Relational Database Design: A Fact Oriented Approach.
Englewood Cliffs, N.J., USA: Prentice Hall, 1989.

PAHL, G. ; BEITZ, W.:

Konstruktionslehre.
Berlin: Springer 1997.

PICKEL, H.:

Kostenmodelle als Hilfsmittel zum Kostengünstigen Konstruieren.
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 2).
Zugl. München: TU, Diss. 1982.

PRICE:

Price H Reference Manual.
Firmenschrift 1985.

PRICE:

The Art of Cost Estimating: The Price Way.
Firmenschrift 1989.

PRO STEP PRODUKTDATENTECHNOLOGIE GMBH:

Autoindustrie: Kompatible Produktdaten verbessern die Wettbewerbsfähigkeit.
Pressemitteilung vom 21.12.1998.

RECHBERG, U. V.:

Systemgestützte Kostenschätzung – Eine Controlling Perspektive.
Wiesbaden: Gabler 1997.
Zug.: Koblenz: WHU, Diss. 1997.

REFA:

Methodenlehre des Arbeitsstudiums. Teil 2 Datenermittlung.
München: Hanser 1971.

REISCHL, C.; STÖBER, R.; LINDEMANN, U.:

Design Concurrent Calculation – A Tool for the Target Costing Oriented Design Process.
In: Riitahuhta A. (Hrsg.): Proceedings of ICED 97, Tampere, Finland.
Tampere: University of Technology 1997 Band 2, S. 505-510.

REISCHL, C.:

Implementierung des Kosteninformationssystems XKIS in der Zahnradfabrik Passau GmbH.
Kostenrechnungspraxis (1996) 4, S. 215-221.

RENNER, A.; SUTER R.:

Targetmanager –erste Standardsoftware zur Unterstützung des gesamten Target Costing-Prozesses.
Controlling (1997) 1, S. 64-71.

RÖSLER, F.:

Target Costing für die Automobilindustrie.
Wiesbaden: Gabler 1996.

ROMANOW, P.:

Konstruktionsbegleitende Kalkulation von Werkzeugmaschinen.
München: TU Diss. 1993.

SAKURAI, M.:

Target Costing and how to use it.
Journal of Cost Management for the manufacturing industry (1989) 3, S. 39-50.

SAKURAI, M.; HUANG, P.Y.:

A Japanese Survey of Factory Automation and its Impact on Management Control Systems.
In: Monden, Y.; Sakurai, M. (Ed.) Japanese Management Accounting. A World Class Approach to Profit Management.
Cambridge, Mass.: Productivity Press 1989, S. 261-279.

SAP:

SAP Engineering & Construction.
Firmenschrift 1998-1.

SAP:

SAP R/3 Bill of Materials/PS-Interface.
Firmenschrift 1998-2.

SAP:

R/3 System Project Management.
Firmenschrift 1998-3.

SAP:

SAP's PDM Strategy.
Firmenschrift 1998-4.

SCHAAL, S.:

Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD.
München: Hanser 1992. (Konstruktionstechnik München Band 8).
Zugl. München: TU, Diss. 1986.

SCHARF, A.:

3D-CAD – Stiefkind der deutschen Konstrukteure.
VDI-Nachrichten (1997) 8.

SCHEER, A.-W.; BOCK, M; BOCK, R.:

Konstruktionsbegleitende Kalkulation mit Expertensystem-Unterstützung.
ZwF (1990) 11, S. 576-579.

SCHEER, A.-W.; BOCK, M; BOCK, R.:

Konzeption einer Expertensystem-Shell zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation.
Information Management (1991) 2, S. 50-63.

SCHOLL, K.:

Konstruktionsbegleitende Kalkulation.
München: Vahlen 1998.

SCHÜTTE, C.; WETTACH S.:

Startklar zur Offensive.
Wirtschaftswoche (1997) 4, S. 30-41.

SEICHT, G.:

Moderne Kosten- und Leistungsrechnung: Grundlagen und Praktische Gestaltung.
Wien: Linde 1997.

SEIDENSCHWARZ, W.:

Target Costing: Marktorientiertes Zielkostenmanagement.
München: Vahlen 1993.

SPATH, D.; EITRICH, O.:

Process Integrated Cost Analysis Tool – Picant

In: Interregional Congress on Research and Technological Development in Europe, Conference Proceedings

Stuttgart: 1995

SPATH, D.; MATT, D ; RIEDMILLER, S.:

Vom Markt zum Produkt – Herausforderungen an das Produkt- und Kostenmanagement

In: Tagungsband zur wbk-Herbstveranstaltung 1997.

Karlsruhe: Selbstverlag 1997.

STEINER, M.:

Detailed Cost Estimating.

In: Stewart, R. D., Wyskida, R. M., James, J. (edt.): Cost Estimators Reference Manual.

New York 1995.

STEWART, R. D.:

Rechnergestütztes Kostensenken im praktischen Einsatz.

München: Hanser 1996. (Konstruktionstechnik München Band 22).

Zugl. München: TU, Diss. 1995.

STÖBER, R.:

Zielkostenmanagement in integrierten Produkterstellungsprozessen.

Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München Band 33).

Zugl. München: TU Diss. 1999.

STÖBER, R.:

Managing Target Costs – A Computer Based Tool to Support the Designer in a Design to Cost Process.

In: Riitahuhta A. (Hrsg.): Proceedings of ICED 97, Tampere, Finland.

Tampere: University of Technology 1997 Band 2, S. 505-510.

TANAKA, M.:

Cost Planning and Control Systems in the Design Phase of a New Product.

In: Moden, Y.: Akurai, m (Ed.): Japanese Management Accounting, A World Class Approach to Profit Management.

Cambridge, Mass.: Productivity Press 1989.

TÖNSHOFF H.K., MEYER, K.-D.; PRACK, K.-W.; GERKE, R.:

DREKAL, System zur rechnergestützten Zeit- und Kostenkalkulation bei Rotationsteilen.

Karlsruhe: Universität (1981), Forschungsbericht zum Forschungsvorhaben H-TOE/121 Kernforschungszentrum Karlsruhe.

VAJNA S.:

CAD/CAM Systeme – Leistungsstand und Entwicklungsrichtungen.

In: VDI (Hrsg.): Jahrbuch 98.

Düsseldorf: VDI 1998.

Vajna S.:

Die neue Richtlinie VDI 2219: Praxiserprobte Hinweise zu Einführungsstrategien und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen.

In: VDI (Hrsg.): Beschleunigung der Produktentwicklung durch EDM/PDM- und Feature-Technologie.

Düsseldorf: VDI 1999.

VDI RICHTLINIE 2219:

Einführungsstrategien und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM Systemen (Gründruck).

Düsseldorf: VDI 1999.

VDI RICHTLINIE 2222:

Konstruktionsmethodik. Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen.

Düsseldorf: VDI Verlag 1982.

VDI RICHTLINIE 2225:

Technisch-wirtschaftliches Konstruieren.

Berlin: Beuth 1997.

VDI RICHTLINIE 2219:

Einführungsstrategien und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM Systemen (Gründruck).

Düsseldorf: VDI 1999.

VDI-GEMEINSCHAFTSAUSSCHUB CIM (HRSG.):

Rechnerintegrierte Konstruktion und Produktion.

Düsseldorf: VDI-Verlag 1990 (Band 1: CIM Management).

VDMA (HRSG.):

Kennzahlenkompaß – Informationen für Unternehmer und Führungskräfte, Ausgabe 1995.

Frankfurt: Maschinenbau Verlag 1995.

VORMBAUM, H.; ORNAU, H.:

Kalkulationsverfahren im Überblick In: Handbuch für Kostenrechnung.

In: Männel (Hrsg.): Handbuch für Kostenrechnung.

München: Gabler 1992, S. 533-551.

WEBER, J.:

Definition der Prozeßkostenrechnung.

In: Gabler (Hrsg.): Wirtschaftslexikon.

Wiesbaden: Gabler 1997.

WESSNER, L.:

Schnellstraße zum Enterprise-Computing.

Client Server Computing (1997) 2, S. 73-74.

WESTKÄMPER, E.; BARTUSCHAT, M.:

Produktcontrolling – kostenoptimale Variantenvielfalt.

CIM Management (1993) 4, S. 26-32.

WEULE, H.:

Die Bedeutung der Produktentwicklung für den Industriestandort Deutschland.
In: VDI EKV(Hrsg.): Jahrbuch 97.
Düsseldorf: VDI 1997.

WIERDA, L. S.:

The Way Back: Product Cost and Manufacturability, Information for the Designer in a CAD-Environment
In: VDI Berichte Nr. 700.2
Düsseldorf: VDI 1988.

WILDEMANN, H.:

Kostengünstiges Variantenmanagement.
Io Management Zeitschrift (1990) 11, S. 37-41.

WILHELM, M.C.:

Rechnergestützte Prüfplanung im Informationsverbund moderner Produktionssysteme.
Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), 1989.

WIRTZ J.:

Prozeßorientierte Ablauf- und Kostenanalyse in der Konstruktion und Fertigung von Frästeilen eines Unternehmens der Luft- und Raumfahrtindustrie.
Darmstadt: TH Diplomarbeit 1996.

WOLFRAM, M.:

Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München. Band 19).
Zugl. München: TU Diss. 1994.

ZF PASSAU GMBH:

ZFP: Gruppenarbeit in der PKW-Kegelradfertigung.
Passau 1994 – Firmenschrift.

ZF FRIEDRICHSHAFEN AG:

3D CAD Systeme und deren Wirkung in CAE-Prozeßketten der ZF.
Friedrichshafen 1997 – Firmenschrift.