

Heft 73

A.-W. Scheer
M. Bock, R. Bock

**Expertensystem zur
konstruktionsbegleitenden Kalkulation**

November 1990

GLIEDERUNG:

1. Motivation für konstruktionsbegleitende Kalkulation	1
2. Möglichkeiten der konstruktionsphasenorientierten Kalkulation	4
3. Einsatz eines Expertensystems zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation	11
3.1. Aufbau und Arbeitsweise des Systems in der Planungsphase des Konstruktionsprozesses	13
3.2. Aufbau und Arbeitsweise des Systems in der Konzipierungsphase des Konstruktionsprozesses	24
3.3. Aufbau und Arbeitsweise des Systems in der Gestaltungsphase des Konstruktionsprozesses	26
3.4. Systemarchitektur der Expertensystem-Shell	28
3.5. Schnittstellen der Expertensystem-Shell	30
3.5.1. Schnittstelle zu PPS	31
3.5.2. Schnittstelle zu CAD	32
3.5.3. Weitere Schnittstellen	37
3.6. Der Shell-Charakter des Systems	38
4. Erweiterungsmöglichkeiten	39
4.1. Generelle Zielsetzung einer Weiterführung des Projektes	42
4.2. Grobkonzept einer Wissenserwerbskomponente	43
4.3. Untersuchung der Übertragbarkeit der Lösungsstrategien auf alternative Aufgabenschwerpunkte	50
Literatur	

1. Motivation für konstruktionsbegleitende Kalkulation

Innerhalb des Entwicklungsprozesses eines Produktes spielt die Konstruktion eine zentrale Rolle. Ausgehend von einer Produktidee des Marketings bzw. eines Kundenwunsches erarbeitet die Konstruktion Lösungsprinzipien für die gestellten Anforderungen an das neue Produkt. Dazu werden die zu Beginn meist vagen und groben Daten der Anforderungsliste sukzessive zu einer detaillierten Geometriedarstellung des Produktes verfeinert.

Neben der reinen Zeichnung legt die Konstruktion aber auch Daten fest, die die Basis der ebenfalls technisch orientierten Funktionen Arbeitsplanung und Fertigung sowie den begleitenden dispositiv planerischen Prozessen der Produktionsplanung und -steuerung sind. Die von der Konstruktion erstellte Konstruktionsstückliste ist die Grundlage für den Aufbau der Fertigungsstückliste, die wiederum zur mengen- und zeitmäßigen Disposition innerhalb eines PPS-Systems verwendet wird. Die ermittelten geometrischen Ausmaße und die ausgewählten Fertigungsverfahren fließen in die Arbeitsplanerstellung ein, in der die detaillierten Fertigungsschritte und ihre zeitliche Abfolge definiert werden und eine Zuordnung zu Betriebsmitteln erfolgt. Die Qualitätssicherung verwendet die Zeichnungen und Arbeitspläne zum Entwickeln von Prüfplänen, die zur Prüfung meßbarer Qualitätseigenschaften eines Produktes dienen. Stücklisten und Arbeitspläne sind Basis zur Berechnung der erwarteten Herstellkosten eines Erzeugnisses im Rahmen der Vorkalkulation. Die Entscheidung für den Einsatz von bestimmten Materialien in der Konstruktion fließt insbesondere in die Materialwirtschaft eines PPS-Systems ein. Demzufolge legt die Konstruktion, wie in Abbildung 1 verdeutlicht, viele Daten fest, die in den nachfolgenden Arbeitsschritten der Produktentwicklung als Richtwerte betrachtet werden.

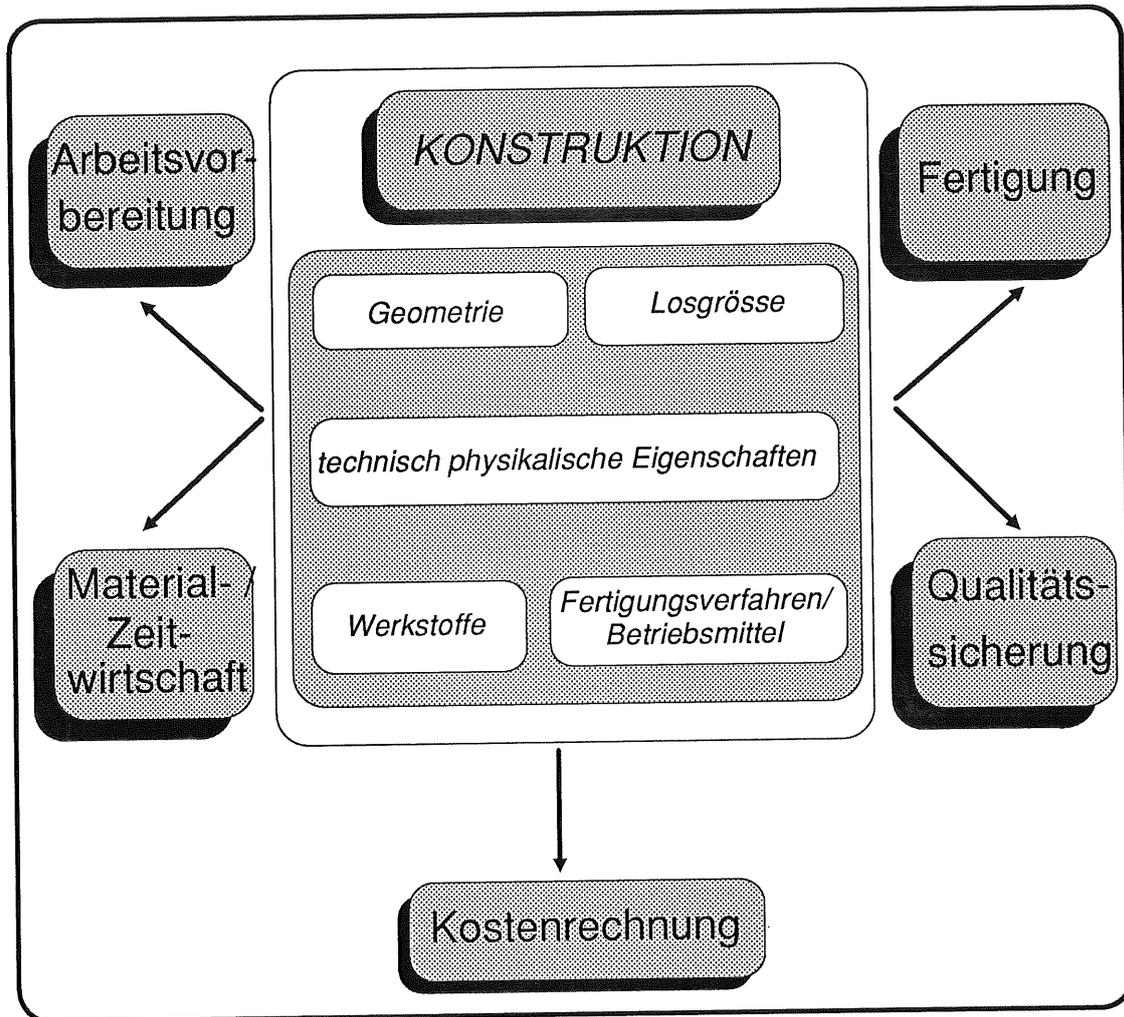


Abb.1: Einfluß von in der Konstruktion relevanten Daten auf nachgelagerte Arbeitsschritte

Der Konstruktionsprozeß stellt somit einen idealen Zeitpunkt zur Modifikation dieser Daten und Einflußfaktoren im Hinblick auf eine optimale Gestaltung der nachgelagerten Arbeitsschritte dar.

Dies erfordert jedoch, daß Kenntnisse über die gesamten Abläufe innerhalb eines Betriebes in der Konstruktion vorhanden sein müssen. Das Nichtbeachten von betrieblichen und technischen Randbedingungen aus nachgelagerten Arbeitsschritten kann zu Zyklen zwischen den Bearbeitungsschritten und damit zu einer unnötigen Verzögerung des Produktentwicklungsprozesses führen (Abbildung 2). Da die Entwicklungszeit bis zur Marktreife eines Produktes (time to market) immer stärker zu einem wichtigen Wettbewerbsfaktor wird, muß die Vermeidung solcher Zyklen und somit die Beachtung von Anforderungen aus späteren Arbeitsschritten bzw. die Berücksichtigung der Auswirkungen von Entscheidungen innerhalb des Konstrukti-

onsprozesses auf nachgelagerte Arbeitsschritte zu einer zentralen Aufgabe während der Produktentwicklung werden [Scheer, A.-W., Information Management ..., 1989].

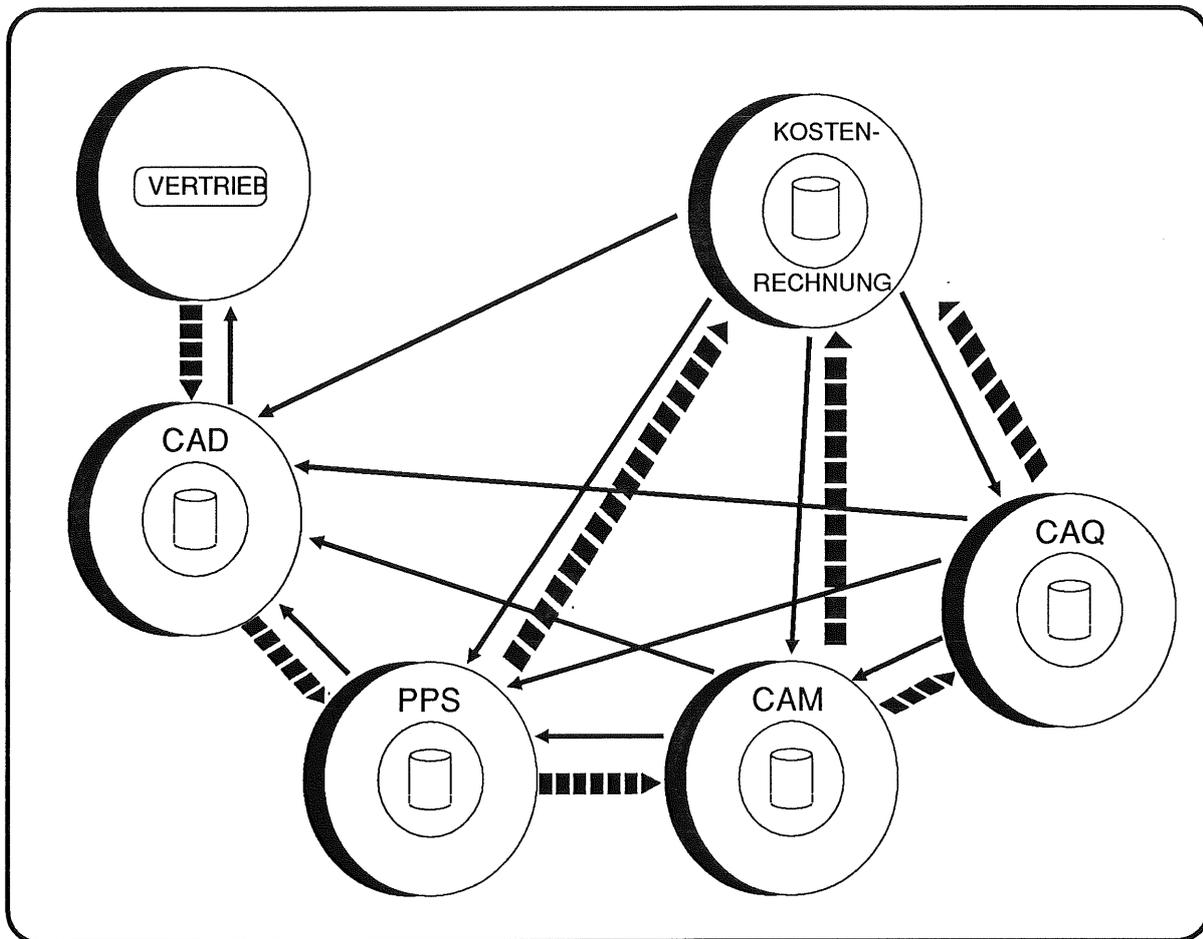


Abb.2: Zyklen im Produktentwicklungsprozess

Die hohe Bedeutung der Beachtung kalkulatorischer Randbedingungen in der Konstruktion liegt darin begründet, daß die Zyklen zwischen Konstruktion und Kalkulation besonders langfristig sein können. So kann eine kostenmäßig ungünstige Entscheidung des Konstrukteurs, die erst während der Kalkulationsphase erkannt wird, im schlechtesten Fall zu einer vollständigen Wiederholung der Konstruktion und damit auch der Arbeitsplanung führen. Diese Situation tritt vor allem bei komplizierten Produkten auf, bei denen die Modifikation eines geringen Teils der Konstruktionslösung schon erhebliche Folgeänderungen nach sich ziehen kann. Zyklen können jedoch nicht nur zwischen der Konstruktion und nachgelagerten Abteilungen auftreten, sondern sie entstehen auch innerhalb des Konstruktionsprozesses selbst.

2. Möglichkeiten der konstruktionsphasenorientierten Kalkulation

Der Konstruktionsprozeß gliedert sich nach der DIN 2222 [VDI-Richtlinie, 1977] in vier Phasen. Ausgangspunkt der ersten Phase (Planungsphase) ist die Anforderungsliste des Betriebes, in der technisch physikalische Eigenschaften, spezielle Kundenwünsche und betriebliche Randbedingungen aufgelistet sein können. Auf dieser Basis legt der Konstrukteur Gesamtfunktionen für das Produkt fest. In der zweiten Phase (Konzipierungsphase) spaltet er die Gesamtfunktionen in Teilfunktionen auf, ordnet diesen Lösungsprinzipien zu und wählt aus allen Lösungsprinzipkombinationen die Beste aus. In der Gestaltungsphase erfolgt die eigentliche Zeichnungserstellung. In der letzten Phase, der Ausarbeitungsphase, wird die Bemaßung in die Zeichnung integriert, und es werden Detaillierungsarbeiten vorgenommen.

Die Konstruktion ist ein Prozeß, in dem ausgehend von wenigen, zum Teil vagen und unterspezifizierten Daten durch sukzessive Verfeinerung immer mehr Informationen zusammengestellt werden. Je später die Überprüfung der Kostengerechtigkeit innerhalb der vier Phasen der Konstruktion stattfindet, desto schwieriger sind kostensenkende Maßnahmen durchführbar, da die Freiheitsgrade des Konstrukteurs mit zunehmender Spezifikation des Designs sinken. Um auch die Zyklusbildung innerhalb des Konstruktionsprozesses zu vermeiden, muß die Kalkulation konstruktionsphasenorientiert durchgeführt werden (konstruktionsbegleitende Kalkulation). Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die beiden Begriffe "konstruktionsbegleitend" und "konstruktionsphasenorientiert" werden im Folgenden synonym verwendet.

Eine konstruktionsbegleitende Kalkulation muß in allen Phasen mit den Daten arbeiten, die bis zu dem entsprechenden Zeitpunkt des Konstruktionsprozesses festgelegt wurden. Dies bedeutet, daß die Auswertung von Kalkulationsformeln auf der Basis der zur Verfügung stehenden Daten durchgeführt werden muß. Da verschiedene Kalkulationsverfahren einen unterschiedlichen Datenbedarf besitzen, muß in vielen

Fällen in jeder Phase ein neues Verfahren zum Einsatz kommen. Prinzipiell gliedert sich die konstruktionsbegleitende Kalkulation in jeder Phase in die Teilaufgaben "Bereitstellen von Kosteninformationen", "Kostenberechnung" und "Kostenminimierung".

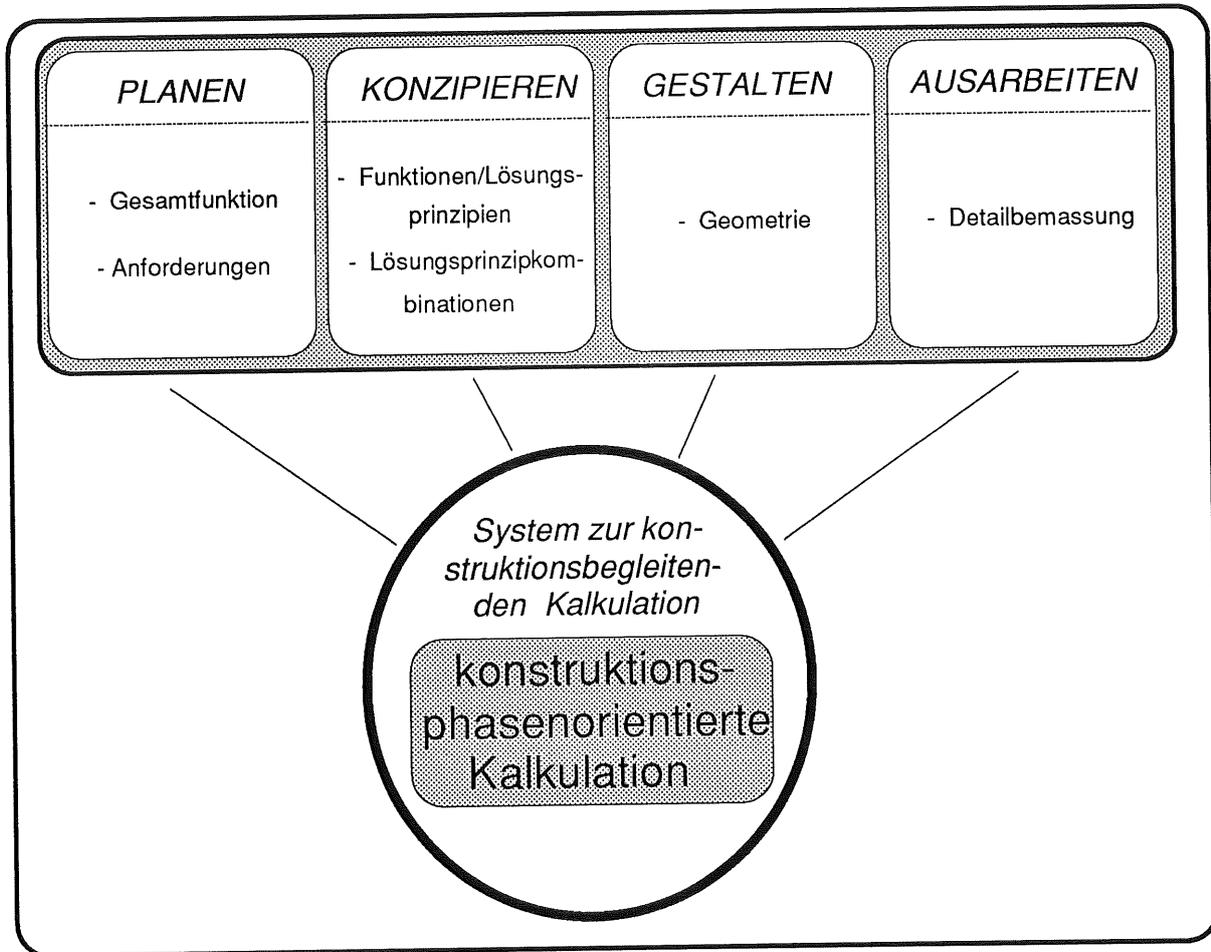


Abb. 3: konstruktionsphasenorientierte Kalkulation

Im Rahmen der Bereitstellung von Kosteninformationen können Daten in Form von absoluten Kostenwerten und von Relativkosten sowie Wissen über die Art und den Einfluß von kostenrelevanten Faktoren verfügbar gemacht werden. Zur Durchführung der Kostenberechnung sind viele unterschiedliche Verfahren bekannt [Scheer, A.-W., 1985][Ehrlenspiel, K., 1985]. Diese unterscheiden sich nicht nur in ihrem Datenbedarf sondern auch in den zugrundeliegenden Methoden für das Erstellen von Kalkulationsformeln, in der berechenbaren Kostenart, in der Genauigkeit der Ergebnisse und in ihrer Eignung für verschiedene Konstruktionsprobleme [Ahlers, J., Gröner, L., Mattheis, P., 1986]. Prinzipiell unterscheidet man pauschale (heuristische) und analytische Verfahren (Abbildung 4).

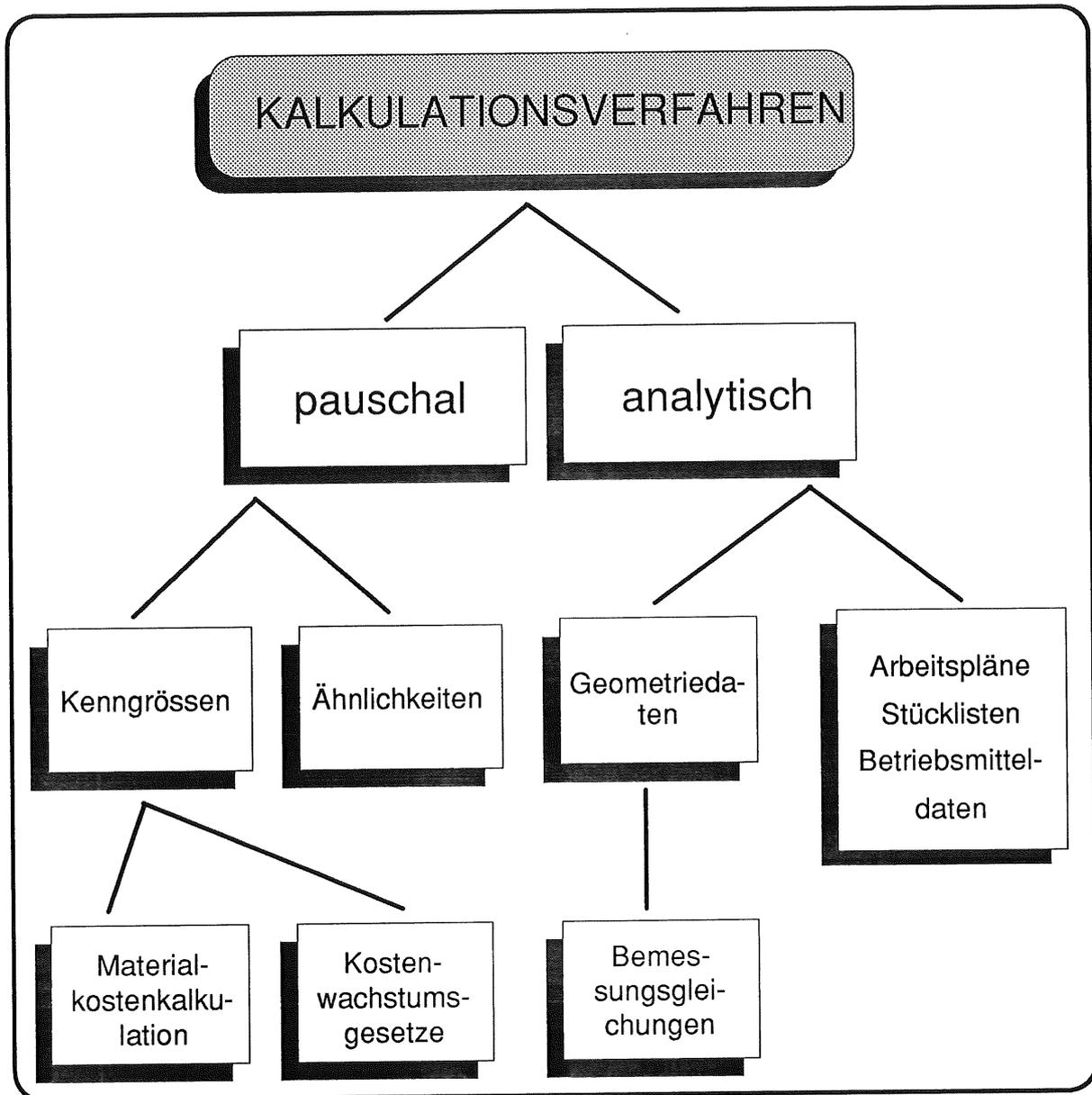


Abb. 4: Klassifikation von Kalkulationsverfahren (vgl. Scheer, A.-W. 1985)

Die pauschalen Verfahren treffen Kostenaussagen auf einem hohen Abstraktionsniveau. Sie benötigen wenige Daten für ihre Auswertung, beispielsweise Kenngrossen wie das Drehmoment oder das Gewicht eines Produktes. Sie sind jedoch nur für eine eng eingegrenzte Produktpalette einsetzbar und liefern ein unsicheres Ergebnis. Während die Abbildung 5 Beispiele für mögliche Sachmerkmale von Kenngrossenkalkulationen aufzeigt, beinhalten die Abbildungen 6 und 7 allgemeine Formeln für Kostenwachstumsgesetze und Materialkostenkalkulationen.

KENNGRÖSSENKALKULATION

Prinzip:

Die Herstellkosten werden über funktionale Abhängigkeiten zwischen Kenngrößen (Sachmerkmalen) und den Kosten hergeleitet.

Beispiele ausgewählter Sachmerkmale:

- Gewicht (Kräne)
- Tragfähigkeit (Verpackungsmaterial)
- Fördervolumen (Pumpen)
- Leistung (Motoren)

Abb. 5: Beispiele für Sachmerkmale von Kenngrößenkalkulationen

KOSTENWACHSTUMSGESETZE

Prinzip:

Auf der Basis eines repräsentativen Grundentwurfs geometrisch ähnlicher bzw. geometrisch halbähnlicher Produkte werden über Formeln Schlüsse auf die Herstellkosten von Folgeentwürfen gezogen.

$$S_L = \frac{\text{Länge}_i}{\text{Länge}_o}$$

$$HK = \underbrace{\frac{Rk_o}{n}}_{RK} * S_L^{0,5} + \underbrace{Fk * S_L^2}_{FK} + \underbrace{MK_o * S_L^3}_{MK}$$

abhängig von Baugrösse und Stückzahl	oberflächen- proportional (bei verschiede- nen Fertiguns- verfahren auch längen- oder volumenproportional)	volumen- proportio- nal
--	--	-------------------------------

Abb. 6: allgemeine Formel für Kostenwachstumsgesetze

MATERIALKOSTENKALKULATIONPrinzip:

Die Materialkosten werden durch
Volumenberechnung der verschiedenen
Materialien und Multiplizieren mit dem
Materialpreis eines Grundentwurfs
(DM / cm³) berechnet.

Voraussetzungen:

- ähnliche Produkte
- konstantes Verhältnis von Material-
und Fertigungskosten

$$mk_o = \frac{Mk_o}{Hk_o} = \text{const}$$

$$Hk_i = \frac{Mk_i}{mk_i}$$

Beispiel: Bauindustrie

m² umbauter Raum → Hk

Abb. 7: allgemeine Formel für Materialkostenkalkulation

Die analytischen Verfahren haben einen hohen Datenbedarf. Häufig muß die Geometrie des Produktes bekannt sein. Die Kostenaussagen, die sie liefern, sind aber entsprechend genauer.

Da heuristische Verfahren teilweise die Kostenstruktur eines Produktes verdecken und meist nur auf spezielle Produktgruppen mit einem bestimmten Eigenschaftsprofil zugeschnitten sind, können diese zur Kalkulation konstruktiver Alternativen im Allgemeinen nicht eingesetzt werden. Somit sind diese Verfahren meist ungeeignet, Maßnahmen zur Kostensenkung zu bewerten. Die Abbildung 8 beinhaltet eine Zusammenfassung der Eigenschaften heuristischer Kalkulationsverfahren.

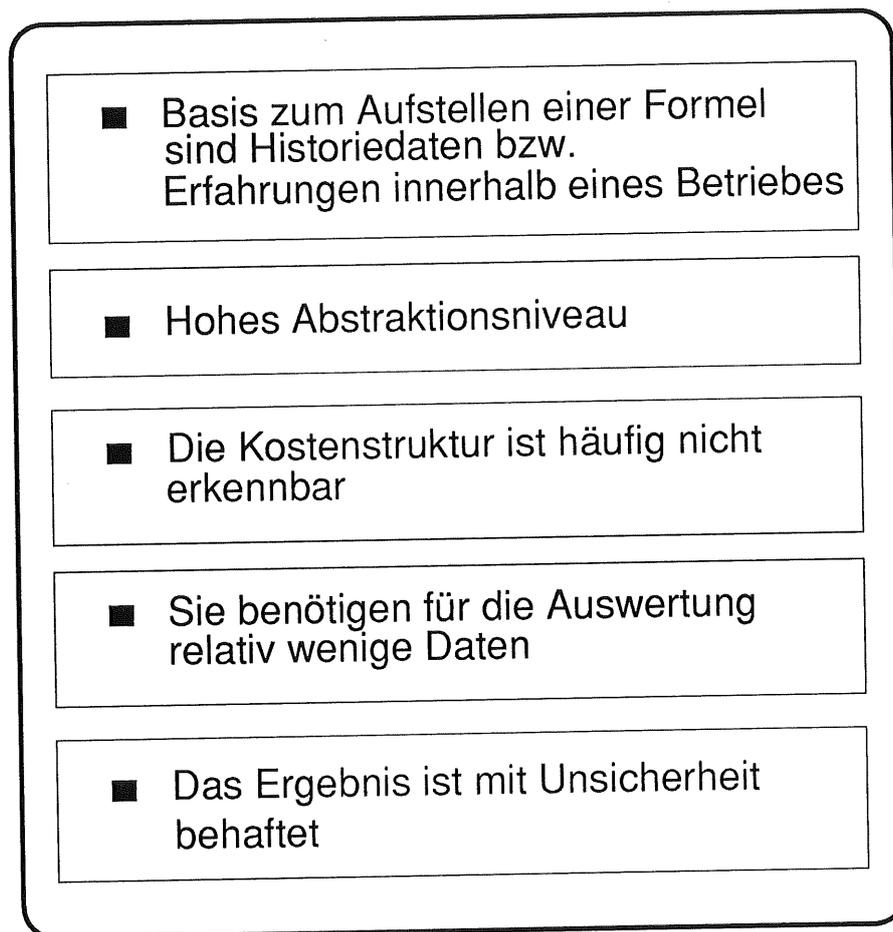


Abb. 8: Eigenschaften heuristischer Kalkulationsverfahren

3. Einsatz eines Expertensystems zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation

Zur Lösung der Teilaufgabe "kostengerechtes Konstruieren" innerhalb des Konstruktionsprozesses wurde die nachfolgend beschriebene Konzeption eines Expertensystems (Expertensystem-Shell) zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation entwickelt und implementiert.

Grundsätzlich sollte eine Expertensystemshell zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation folgende Anforderungen erfüllen:

- Bereitstellen und Anwenden von produkt- bzw. betriebsabhängigem und -unabhängigem Wissen aus der Konstruktion und der Kalkulation:

Das Konstruktionswissen dient dazu, die Kenntnisse eines erfahrenen Konstrukteurs weiter zu vermitteln. Dieses Wissen wird zunächst dazu verwendet, ausgehend von den Anforderungen an ein neues Produkt, bereits realisierte Konstruktionslösungen zu suchen, die die gestellten Anforderungen in ähnlicher Weise erfüllen. Darüber hinaus wird dieses Wissen zur Modifikation der aufgefundenen ähnlichen Konstruktionslösungen benötigt. Das Kalkulationswissen beinhaltet Daten, Methoden und Verfahren aus der Kostenrechnung, die der Ermittlung kostenrelevanter Faktoren und der Auswahl und Anwendung eines für einen aktuellen Fall geeigneten Kalkulationsverfahrens dienen.

- Zugriff auf Daten der im Betrieb vorhandenen Datenbanken:

Das Expertensystem benötigt eine Vielzahl von Daten und Informationen, wie Stücklisten und Arbeitspläne, die meist bereits in Datenbanken verschiedener Systeme gespeichert sind. Um eine redundante Speicherung zu vermeiden und die Aktualität der Daten zu garantieren, müssen für das Expertensystem Zugriffsmöglichkeiten auf die Datenbestände der entsprechenden Systeme existieren.

- Einsatzbarkeit während des gesamten Konstruktionsprozesses:

Das System soll Konstruktionsphasen begleitend Daten unterschiedlicher Genauigkeit verarbeiten und dabei nicht spezifizierte Daten ableiten. Dies bedeutet, daß der Inferenzprozeß der Expertensystem-Shell konstruktionsphasenabhängig arbeiten muß.

- Leistung aktiver Hilfestellung:

Ziel des Systems ist die Interpretation der Ergebnisse aus der Anwendung von Kalkulationsverfahren und eine situationsgerechte Kostenoptimierung. Aufgaben sind dabei das Auffinden von Kostenschwerpunkten, die Suche nach technisch sinnvollen Alternativen und deren kostenmäßige Bewertung.

- flexible Einsatzbarkeit:

Das System soll leicht an produktspezifische und betriebliche Situationen anpaßbar sein. Diese Forderung ist durch die Konzeption des Systems als Expertensystem-Shell erfüllt. Die Shell beinhaltet überbetriebliches und produktunabhängiges Wissen. Die Wissenserwerbskomponente erlaubt es, das betriebs- und produktspezifische Wissen aus der Konstruktion, der Kalkulation, der Arbeitsplanung, der Fertigung und der Materialwirtschaft in die Wissensbasis zu integrieren.

Zusammenfassend besteht die Hauptaufgabe des Systems darin, einen Konstrukteur während den ersten drei Phasen des Konstruktionsprozesses mit Kosteninformationen zu versorgen. In der letzten Konstruktionsphase findet kein kalkulatorisch relevanter Informationsgewinn mehr statt. Dabei wird davon ausgegangen, daß in der vierten Phase keine Gestaltungsmerkmale mehr festgelegt werden. Das System muß Kenntnisse über die in jeder Phase der Konstruktion zur Verfügung stehenden Daten haben, Zusammenhänge zu den auf diesen Informationen basierenden Kalkulationsverfahren herstellen und nicht vorhandene Informationen ableiten können. Aus den Aufgaben heraus ergibt sich eine konstruktionsphasenorientierte Arbeitsweise und Ablaufstrategie des Expertensystems, die nachfolgend beschrieben werden. Alle dabei verwendeten Beispiele beziehen sich auf die Produktgruppe "Welle mit verschiedenen Formen der Drehmomentaufnahme und -abgabe".

3.1. Aufbau und Arbeitsweise des Systems in der Planungsphase des Konstruktionsprozesses

Ziel des Systems in der Planungsphase ist es, mit wenigen, noch relativ groben und vagen Daten der betrieblichen Anforderungsliste möglichst genaue Kostenaussagen abzuleiten. Die Abbildung 9 zeigt ein Beispiel einer möglichen Anforderungsliste. Aufgrund ihres geringen Datenbedarfs bieten sich zunächst die heuristischen Verfahren für eine Anwendung in der ersten Phase an. Da diese jedoch nur für eine eng eingegrenzte Produktgruppe Gültigkeit besitzen, ist das Auffinden einer ähnlichen Produktgruppe (Produktgruppenähnlichkeitsvergleich) auf der Basis der Anforderungsliste des neuen Produktes und den Anforderungen (Sachmerkmalen) von bereits konstruierten und produzierten Produkten erforderlich.

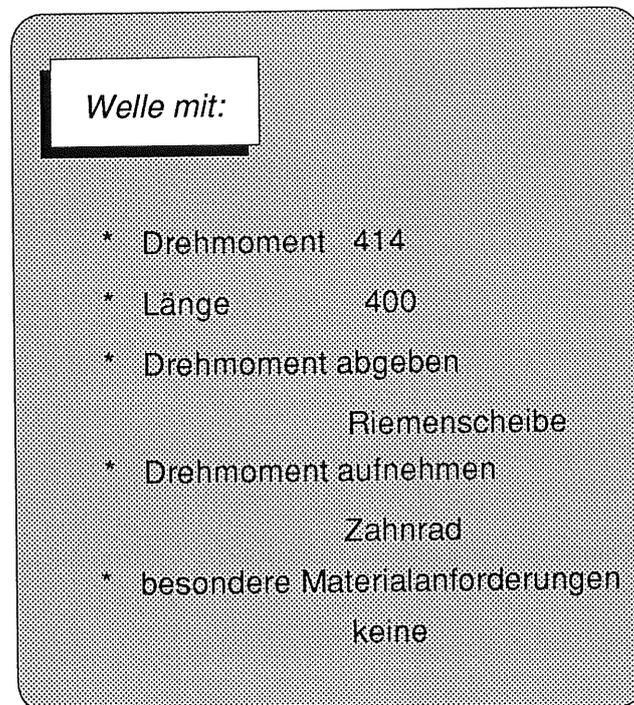


Abb. 9: Beispiel einer Anforderungsliste

Die Durchführung des Produktgruppenähnlichkeitsvergleiches setzt voraus, daß eine Klassifizierung von Produkten nach Sachmerkmalen erfolgt ist und Produkte mit gleicher Basisstücklistenstruktur zu Produktgruppen zusammengefaßt wurden. Zu

3. Einsatz eines Expertensystems zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation

einer Basisstücklistenstruktur gehören in diesem Zusammenhang nur diejenigen Teile einer Stückliste, die die grundlegende Struktur bzw. den grundlegenden Aufbau eines Produktes ohne Beachtung wahlfreier Teile widerspiegeln. Beispielsweise gehört ein zweiter Außenspiegel an einem Fahrzeug nach dieser Definition nicht zur Basisstückliste des Fahrzeuges. In der in Abbildung 10 dargestellten Hierarchie sind in allgemeiner Form alle in einem Betrieb bereits realisierten konstruktiven Alternativen, differenziert nach dominanten produkt- und kostenbestimmenden Kriterien und betrieblichen Randbedingungen dargestellt.

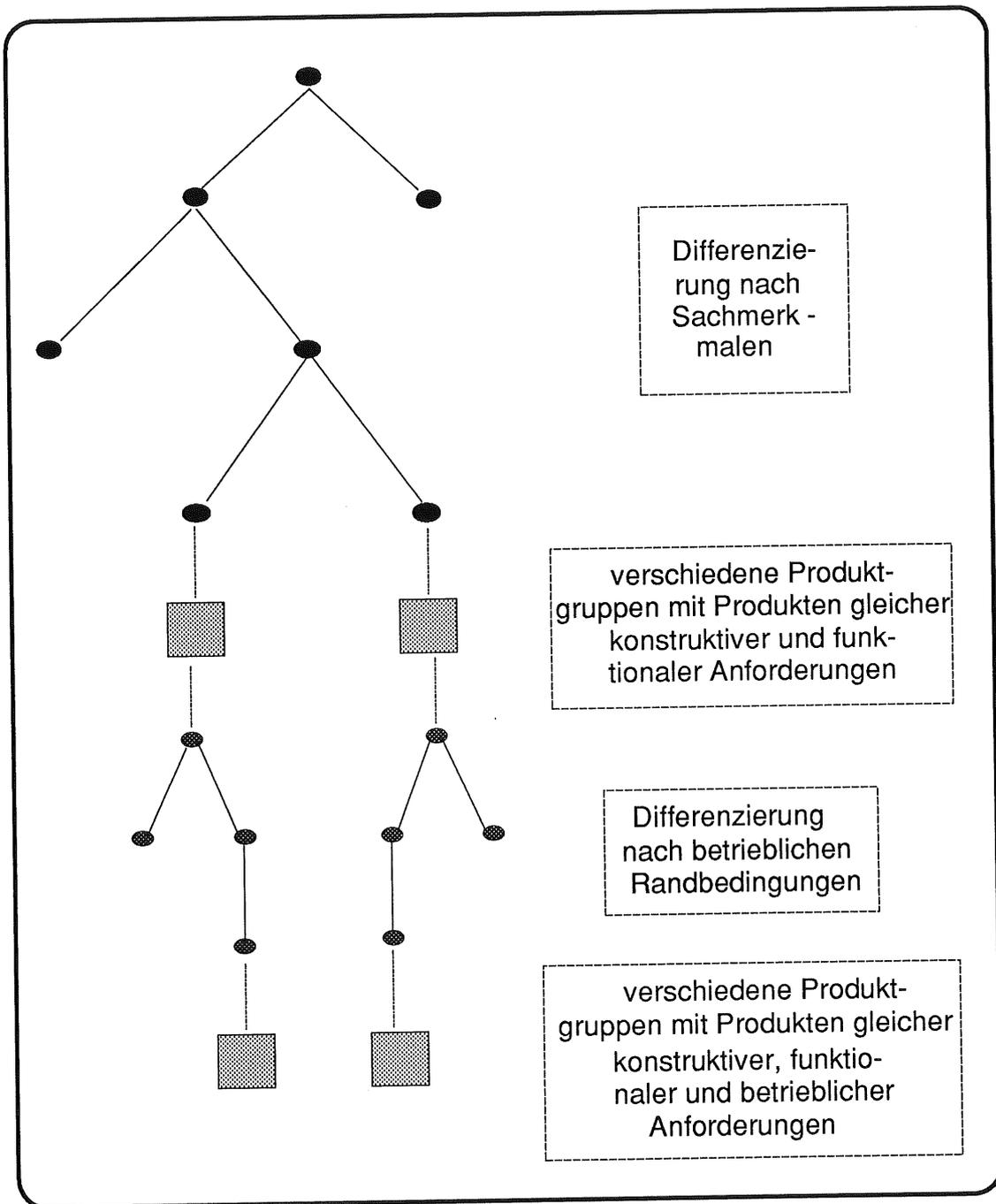


Abb. 10: Die Produktgruppenhierarchie

Übertragen auf die Produktgruppe "Welle" könnte die Produktgruppenhierarchie den in Abbildung 11 dargestellten Aufbau haben.

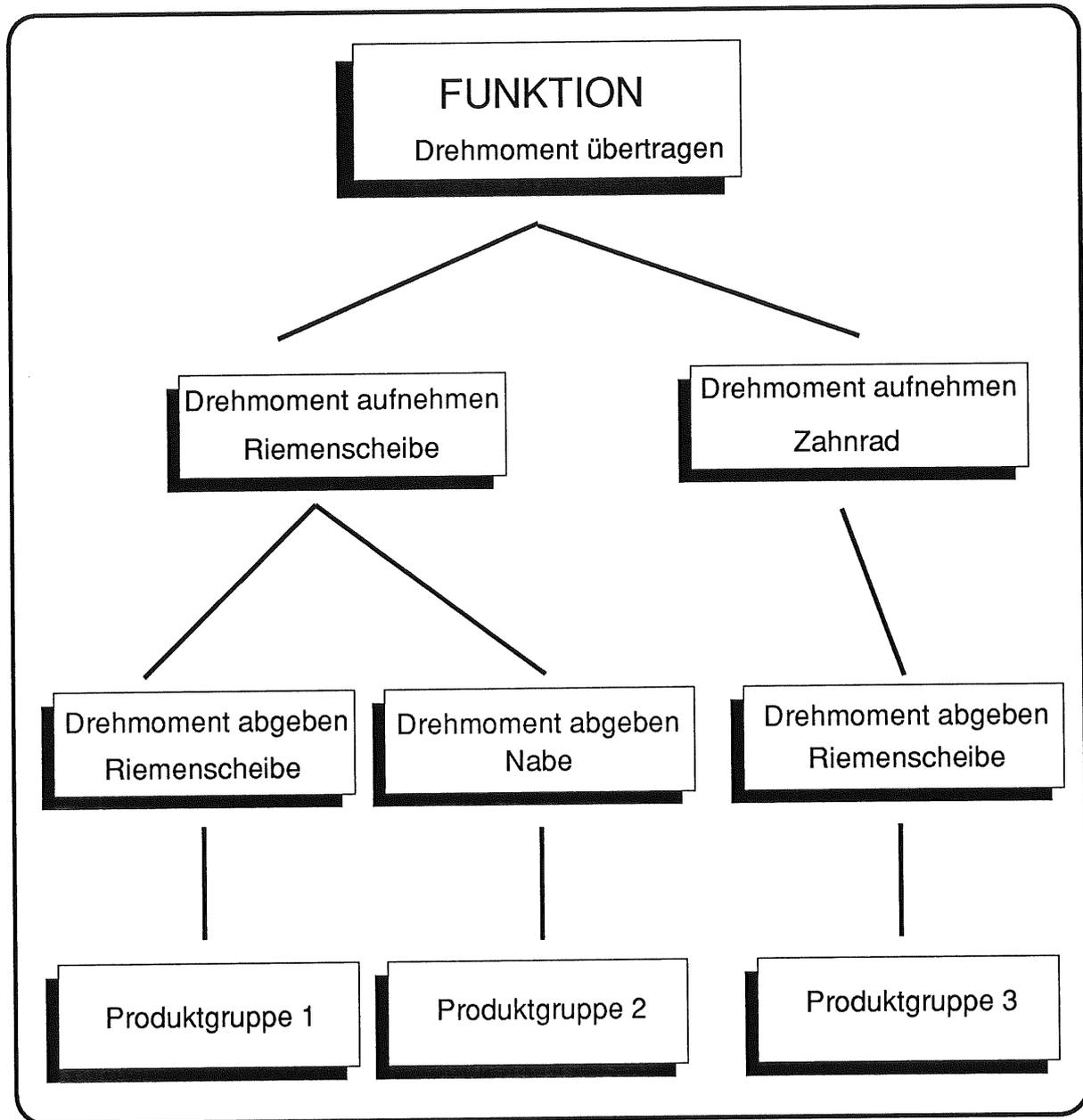


Abb. 11: Produktgruppenhierarchie für die Produktgruppe "Welle"

Innerhalb des Ähnlichkeitsvergleiches dienen spezielle Konstruktionsregeln dazu, konstruktive Abhängigkeiten zwischen Sachmerkmalsausprägungen zu erfassen und zu berücksichtigen. Ergebnis einer erfolgreichen Ähnlichkeitssuche ist die Stückliste des neuen Produktes (Abbildung 12), da die Produktgruppenhierarchie ausgehend von den Stücklisten und den Sachmerkmalen bereits konstruierter Produkte aufgebaut wurde.

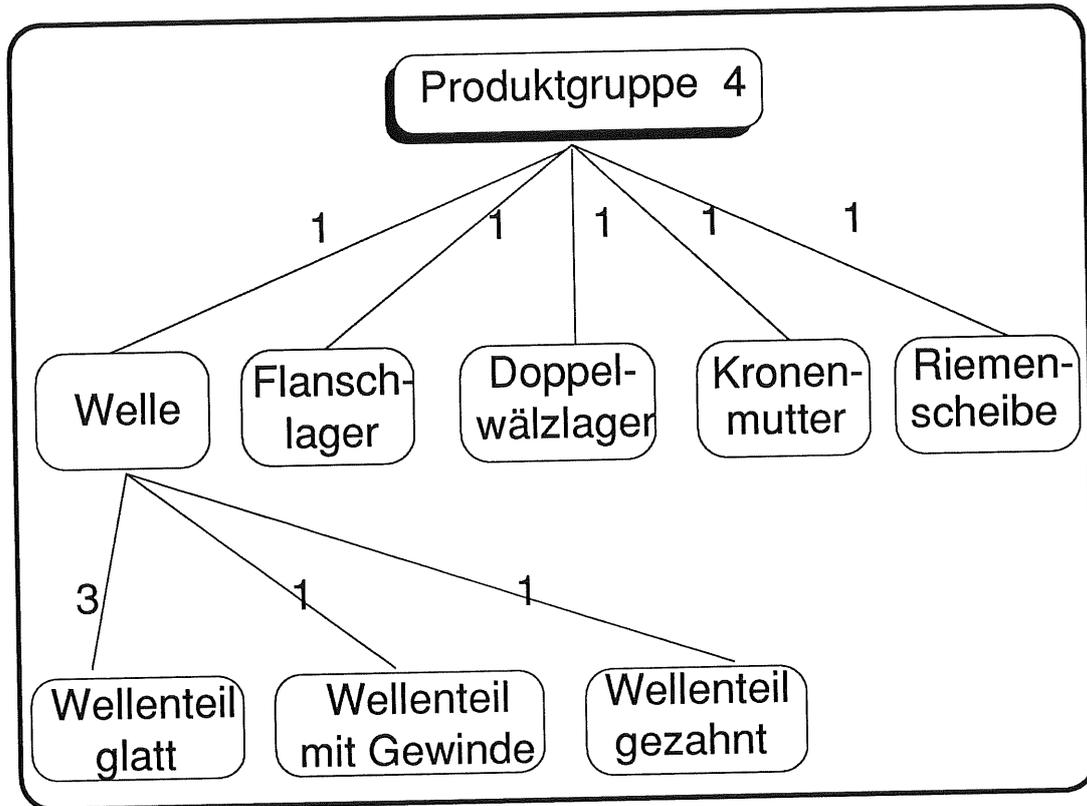


Abb.12: Die Stücklistenstruktur

Zusammenfassend bestehen die Zielsetzungen der Klassifizierung von Produkten in Form einer Produktgruppenhierarchie und der Ähnlichkeitssuche über dieser Produktgruppenhierarchie in der

- Zusammenfassung von bereits konstruierten Produkten mit
 - gleichen/ähnlichen konstruktiven Eigenschaften,
 - gleicher/ähnlicher Kostenstruktur,
 - gleichen/ähnlichen Fertigungsverfahren,
 - gleichen/ähnlichen Funktionen,
 - gleichen/ähnlichen Anforderungenzu Produktgruppen,
- Zuordnung neuer Produkte zu existierenden Produktgruppen in Form eines Vergleiches von Produkteigenschaften, Funktionen, Anforderungen und Randbedingungen,

- Ableitung von Materialien, Fertigungsverfahren und Kostenstrukturen bei positivem Vergleich, wobei innerhalb der Inferenzstrategien
- Top-Down-Analysen durch die Produktgruppenhierarchie,
- Pattern-Matching auf der Basis unterspezifizierter bzw. relativer Angaben,
- Berücksichtigung konstruktiver Randbedingungen verwendet werden.

Die Unterschiede zwischen dem hier beschriebenen Klassifizierungssystem und Sachmerkmalsleistungssystemen liegen in der

- Möglichkeit der Definition von Abhängigkeiten zwischen den Sachmerkmalen (Klassifizierungen),
- der hierarchischen Anordnung der Klassifizierungsmerkmale mit Vererbungsmöglichkeiten,
- der Möglichkeit der Definition von Funktionen zur Beschaffung aktueller Werte und
- der automatischen Analyse durch die Inferenzkomponente.

An einen erfolgreichen Ähnlichkeitsvergleich, was für die erste Phase bedeutet, daß es sich bei dem neu zu konstruierenden Produkt um eine Variante eines bereits konstruierten Produktes handelt, schließt sich die Auswahl und Anwendung von pauschalen Kalkulationsverfahren an. Zur Ermittlung der anwendbaren Kalkulationsverfahren dient die in Abbildung 13 dargestellte Kalkulationsverfahrenshierarchie.

Da in einem konkreten Fall mehrere Verfahren anwendbar sein können, wird anhand von speziellen Priorisierungsregeln entschieden, welche Kalkulationsformel Kostendaten mit der höchsten Genauigkeit liefert.

Das Aufstellen der Kalkulationsformeln, das oft sehr umfangreiche statistische Auswertungen notwendig macht, wird derzeit nicht von der Expertensystem-Shell unterstützt. Die Berechnung der Kosten mit der entsprechenden Formel erfolgt unter Beachtung der vagen und unterspezifizierten Informationen der Anforderungsliste, falls diese nicht mit Hilfe von Konstruktionsregeln konkretisiert werden konnten.

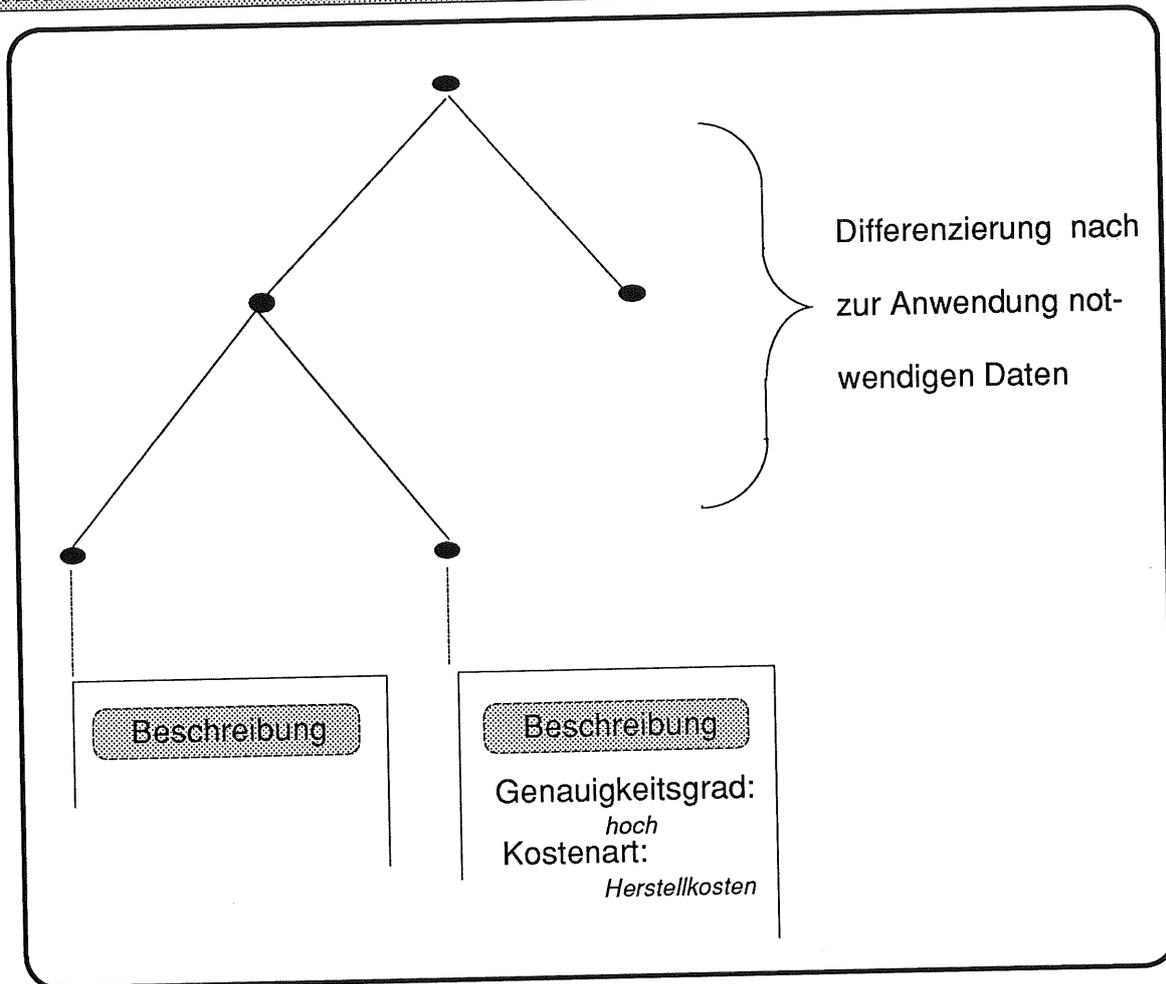


Abb. 13: Kalkulationsverfahrenshierarchie

Eine sehr wichtige Aufgabe des Expertensystems besteht in der Leistung aktiver Hilfestellung in Form von Vorschlägen zur Kostensenkung, insbesondere dann, wenn das Kostenziel nicht erreicht werden konnte. Zu diesem Zweck müssen alternative konstruktive Lösungen generiert und bezüglich ihrer Kosten mit Hilfe von Kalkulationsverfahren bewertet werden. Heuristische Verfahren sind wegen den bereits aufgeführten Gründen hierzu ungeeignet, so daß die Kalkulation mit genauen Verfahren erfolgen muß. Da die Anwendung dieser Verfahren auf der realen Gestalt eines Produktes basiert, wird in einem weiteren Schritt versucht, die genauen geometrischen Ausmaße des Produktes automatisch zu generieren. Wenn dies nicht möglich ist, muß der Konstrukteur die entsprechenden Ausmaße festlegen. Grundlagen für eine automatische Generierung sind die Basisstückliste der ähnlichsten Produktgruppe und Generierungsregeln. Die durch eine automatische Generierung erzeugten Geometriedaten können dann über ein Kopplungsprogramm an das CAD-System übermittelt und dort zur automatischen Modifikation der Konstruktionszeichnung des ähnlichsten Produktes verwendet werden.

Beispiel einer Generierungsregel:

FALLS

das geforderte Drehmoment den Wert X hat,

DANN

hat der geforderte Mindest-Durchmesser der Welle den Wert

$$(x * 100)^{1/3} / 1,52$$

Eine erfolgreiche Generierung der geometrischen Ausmaße erlaubt nun die Anwendung von genaueren Kalkulationsverfahren, die auf Geometriedaten basieren. Die Kosten von Varianten, die sich von der Basisstückliste nur dadurch unterscheiden, daß zusätzliche Teile in das Produkt integriert werden, die keine Auswirkungen auf die eigentliche Struktur des Produktes haben (z.B. der zweite Außenspiegel bei einem Fahrzeug), müssen zusätzlich noch ermittelt und zu den berechneten Kosten aus der Anwendung des Kalkulationsverfahrens addiert werden.

Um genaue Kalkulationsverfahren anwenden zu können, d.h. um insbesondere die genauen erwarteten Herstellkosten innerhalb des Kalkulationsschemas aus Abbildung 14 berechnen zu können, müssen alle Daten vorhanden sein, die zur Ermittlung der Materialeinzelkosten, Materialgemeinkosten, Fertigungseinzelkosten und Fertigungsgemeinkosten benötigt werden.

Während sich die Materialeinzelkosten aus der Geometrie aller Baugruppen und Einzelteile sowie aus den zu verwendeten Rohstoffen berechnen lassen, müssen zur Berechnung der Fertigungseinzelkosten die relevanten Fertigungsdaten festgelegt werden (Abbildung 15).

Der Ähnlichkeitsvergleich liefert neben der ähnlichsten Produktgruppe auch automatisch einen ähnlichen Arbeitsplan (der Arbeitsplan des ähnlichsten Produktes), der aus der Betriebsdatenbank entnommen werden kann. Durch Modifikation dieses Arbeitsplanes entsprechend den generierten geometrischen Ausmaßen eines Produktes sind somit alle Daten vorhanden, um mit Hilfe von Verfahren aus der Kostenrechnung die exakten Herstellkosten des Produktes zu berechnen. Die Modifikation des Arbeitsplanes kann mit Hilfe heuristischer Regeln, Formeln oder interaktiv mit dem Experten erfolgen. Da es zu jeder Stückliste verschiedene Arbeitspläne geben kann, ist das Verfahren auch geeignet, alternative Arbeitspläne zu kalkulieren und damit Vorschläge für eine kostengünstigere Fertigung zu machen.

3. Einsatz eines Expertensystems zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation

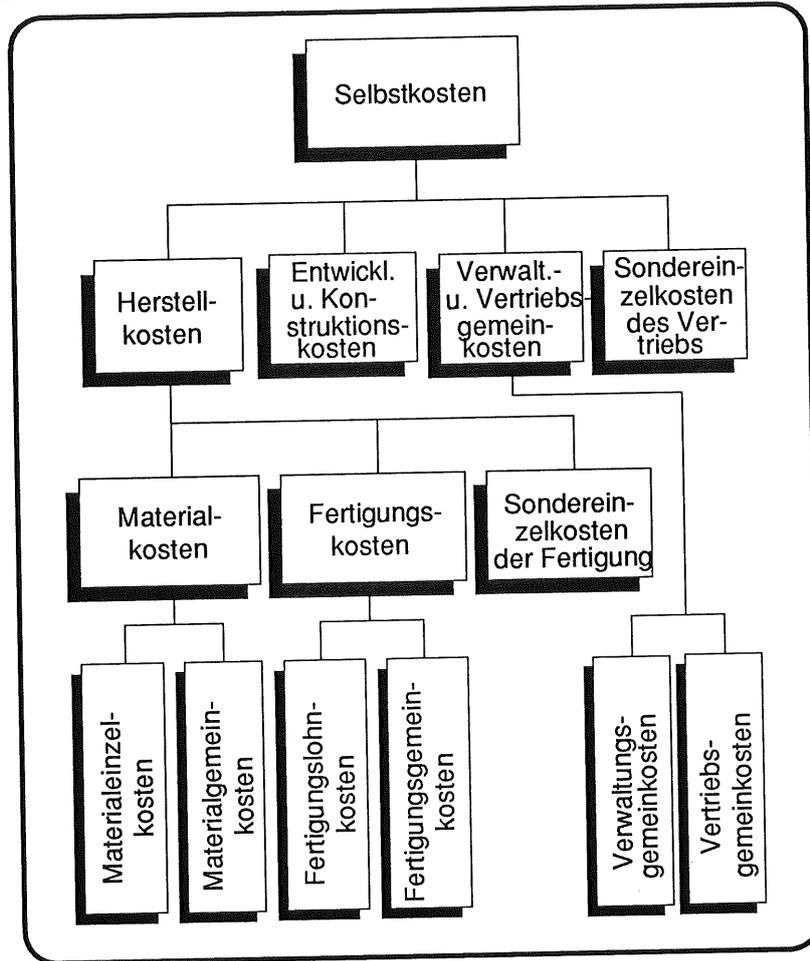


Abb. 14: Das Kalkulationsschema (aus: Ehrlenspiel, K.: Kostengünstig Konstruieren)

Material-einzelkosten	Material-gemeinkosten	Fertigungs-einzelkosten	Fertigungs-gemeinkosten
<ul style="list-style-type: none"> ■ Zeichnung, Volumen ■ Materialien 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zuschläge 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fertigungslöhne/ Maschinensatze ■ Fertigungszeiten ■ Fertigungsverfahren, Betriebsmittel ■ Zeichnungen Volumen, Oberflächen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zuschläge

Abb. 15: Berechnungsgrundlage der Herstellkosten

Die ermittelten Daten (das ähnliche Produkt, die benötigten Rohstoffe und Fertigungsverfahren und deren Kosten) bieten eine geeignete Grundlage zur Kostenoptimierung. In einem ersten Schritt muß entschieden werden, wo die Kostenschwerpunkte liegen. Das Ergebnis davon dient der Beurteilung, welche Baugruppen und Einzelteile in erster Linie kostenverursachend sind, und welche kostensenkenden Maßnahmen sich bezüglich Materialien und Fertigungsverfahren eignen. Mit Hilfe eines Materialklassifikationssystems, in dem Rohstoffe nach technisch physikalischen Eigenschaften geordnet sind, kann die Auswahl der substituierbaren Rohstoffe erfolgen. Beispiele für die Klassifizierung von Rohstoffen (Materialien) und Fertigungsverfahren sind in den Abbildungen 16 und 17 aufgezeigt.

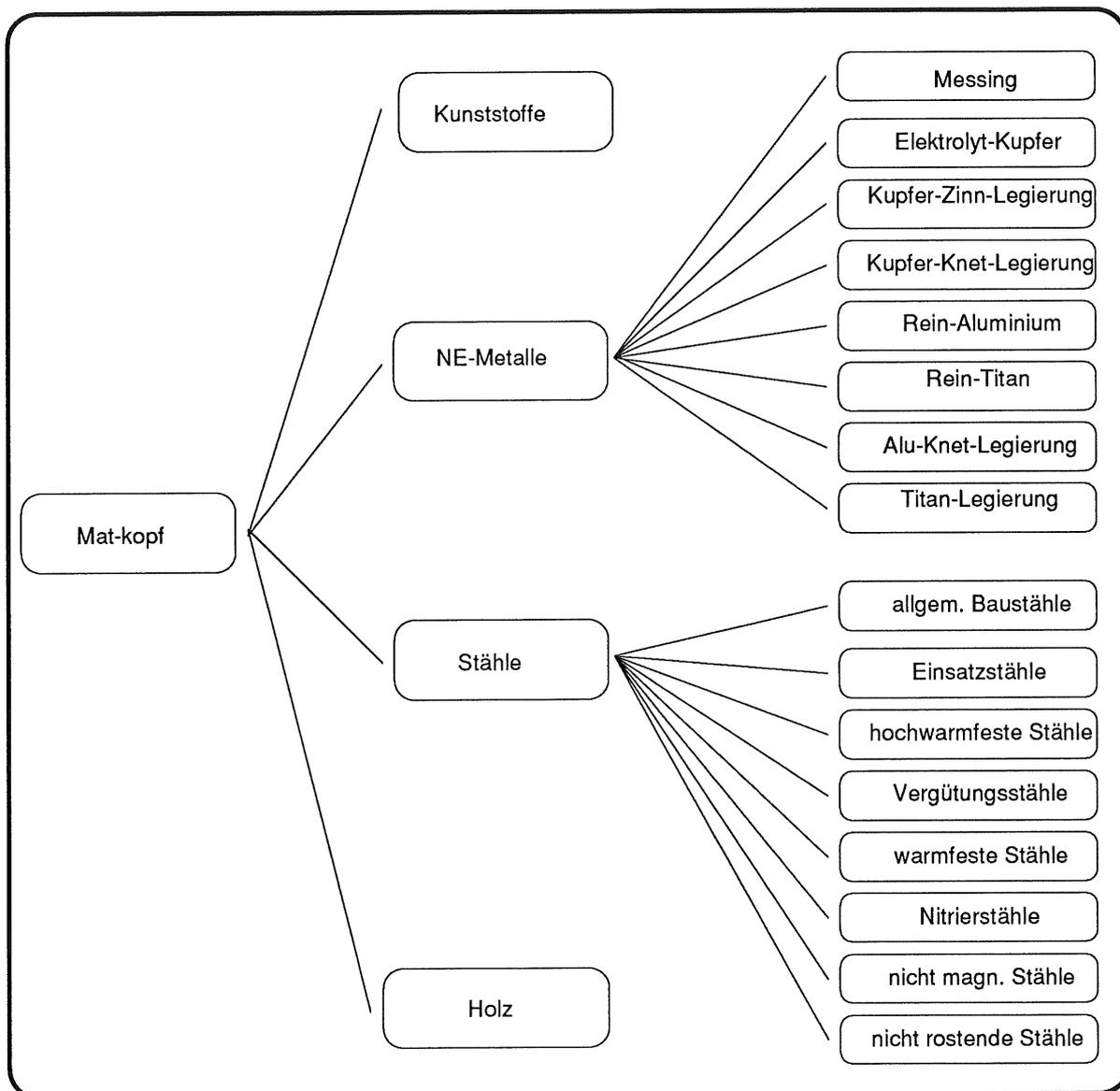


Abb. 16: Rohstoffklassifizierung

3. Einsatz eines Expertensystems zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation

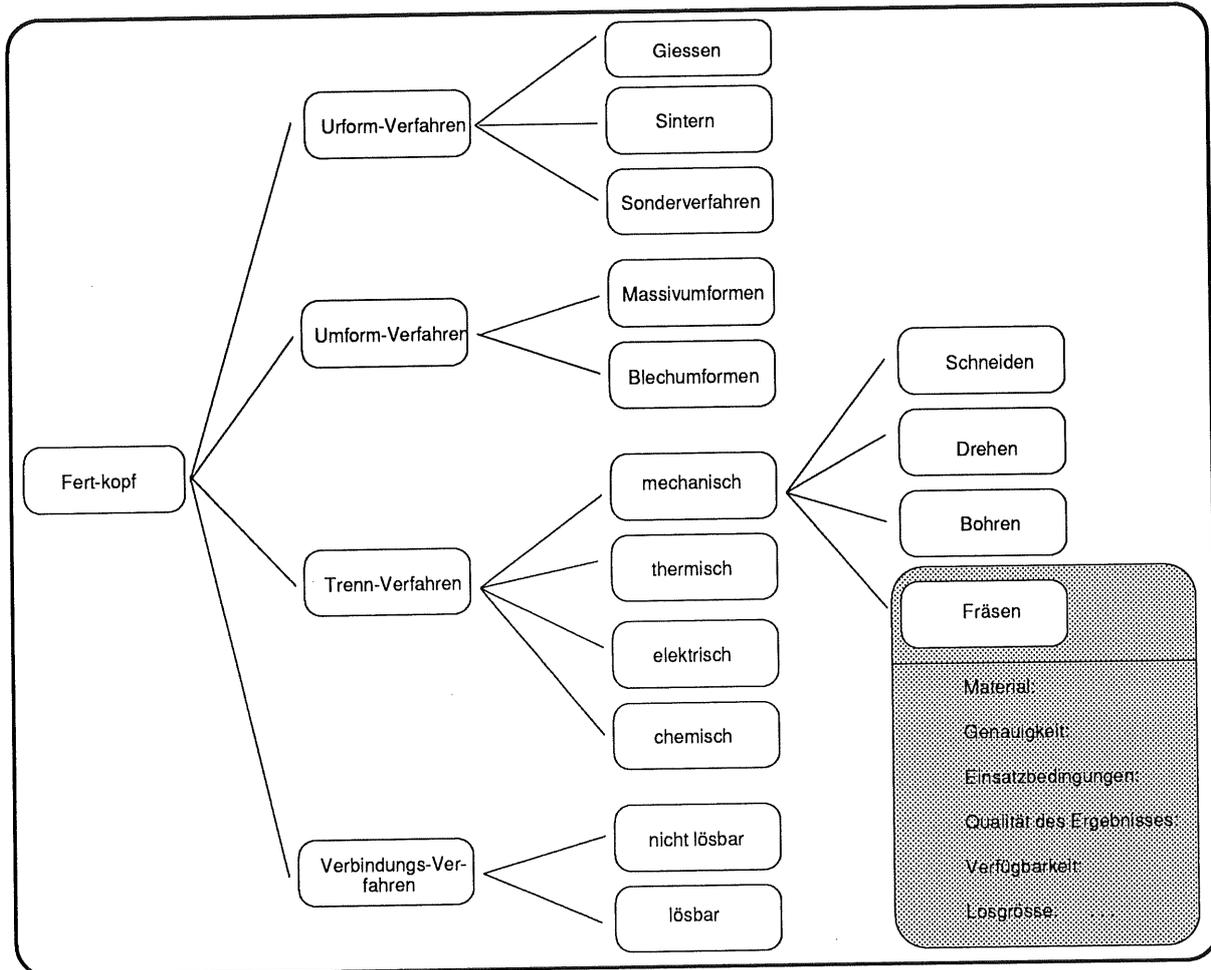


Abb. 17: Fertigungsverfahrensklassifizierung

Relativkosten, die sachmerkmalsabhängig ausgewertet werden, geben den Grad der Kosteneinsparung an. Reine Relativkostenzahlen bieten keine ausreichende Entscheidungsunterstützung, da beispielsweise ein Material zwar grundsätzlich teuer sein kann, aber durch Volumeneinsparungen aufgrund seines Härtegrades vor allem bei großen Baugruppen kostensenkend wirken kann. Diese können daher lediglich zur Auswahl derjenigen alternativen Rohstoffe verwendet werden, die die Basis einer genauen Kostenanalyse bilden sollen. Die Optimierung von Fertigungskosten bedeutet entweder das Auffinden eines kostengünstigeren Varianten-Arbeitsplanes, das Ersetzen von Fertigungsverfahren durch kostengünstigere oder die Realisierung eines Fertigungsverfahrens mit alternativen Betriebsmitteln. Dazu müssen die Fertigungsverfahren ähnlich der Rohstoffe klassifiziert werden. Der gesamte Optimierungsprozeß von Material- und Fertigungskosten ist in Abbildung 18 dargestellt.

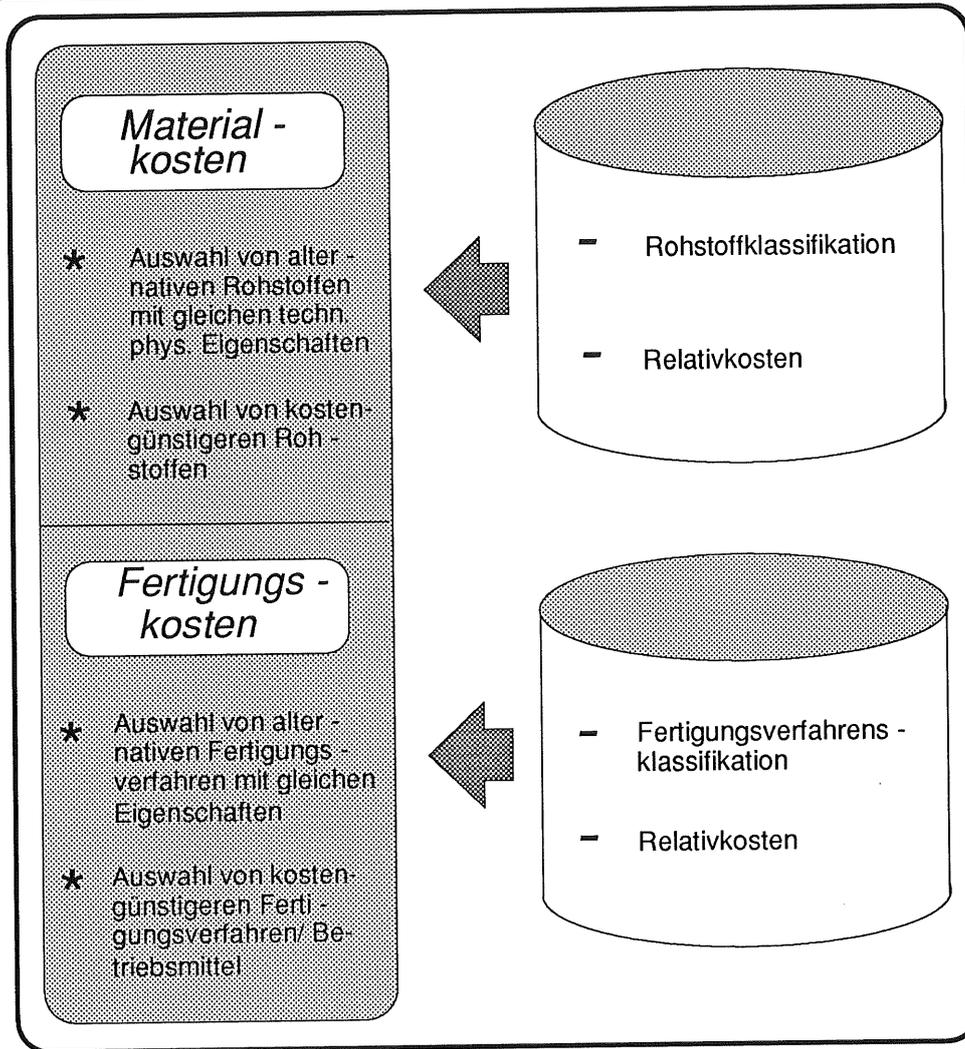


Abb. 18: Kostenoptimierung im Expertensystem

Die Steuerung der Optimierung wird regelbasiert durchgeführt. Beispiel einer Regel zur Kostenoptimierung:

FALLS

die Welle hohen Ansprüchen genügen muß

UND

als Material C 35 verwendet wurde

UND

das Material 40 Mn 4 kostengünstiger ist als C 35,

DANN

priorisiere die Verwendung von 40 Mn 4.

Die bislang beschriebenen Ablaufschritte erlauben es bereits durch die alleinige Angabe einer Anforderungsliste für ein Produkt, diejenigen Daten, die normalerweise erst in den weiteren Konstruktionsphasen festgelegt werden, in der ersten Phase zu ermitteln, und diese zum Zweck der Kostenberechnung des Produktes zu nutzen. Voraussetzung für eine so gestaltete aktive Hilfestellung durch das Expertensystem in der ersten Konstruktionsphase ist, daß das Produkt eine Variante eines bereits konstruierten Produktes darstellt (Variantenkonstruktion). Wenn der Ähnlichkeitsvergleich in der ersten Phase des Konstruktionsprozesses nicht erfolgreich war (d.h. es liegt keine Variante vor), wird in der zweiten Phase versucht, eine Kalkulation auf der Basis von Funktionen und Lösungsprinzipien durchzuführen.

3.2. Aufbau und Arbeitsweise des Systems in der Konzipierungsphase des Konstruktionsprozesses

Ziel des Systems in der Konzipierungsphase ist es, mit den Daten der betrieblichen Anforderungsliste und den Ergebnissen der Planungsphase möglichst genaue Kostenaussagen abzuleiten. Wichtige Informationen ergeben sich aus der Zuordnung von Gesamt- bzw. Teilfunktionen, die das Produkt erfüllen soll, zu technischen Lösungsprinzipien. Diese wiederum können mit einer bestimmten Einzelteil- und/oder Baugruppenkombination realisiert werden. Aufgrund ihres geringen Datenbedarfs bieten sich ähnlich wie in der Planungsphase zunächst verschiedene heuristische Verfahren für eine Anwendung in der zweiten Phase an. Dabei spielen insbesondere die Funktionskostenberechnungen eine Rolle. Da diese jedoch nur für eine eng eingegrenzte Lösungsprinzipkombination Gültigkeit besitzen, ist das Auffinden einer ähnlichen Baugruppenstruktur auf der Basis der Anforderungsliste und den Funktionen des neuen Produktes sowie der Anforderungen (Sachmerkmalen) und Funktionen von bereits konstruierten und produzierten Produkten erforderlich. Dies setzt voraus, daß eine Klassifizierung von Baugruppen nach Funktionen und Sachmerkmalen erfolgt ist, und Baugruppen mit gleicher Stücklistenstruktur zusammengefaßt wurden. In der in Abbildung 19 dargestellten Hierarchie sind in allgemeiner Form alle in einem Betrieb bereits realisierten konstruktiven Alternativen auf funktionaler Ebene, differenziert nach dominanten baugruppenspezifischen und kostenbestimmenden Kriterien und betrieblichen Randbedingungen, dargestellt.

3. Einsatz eines Expertensystems zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation

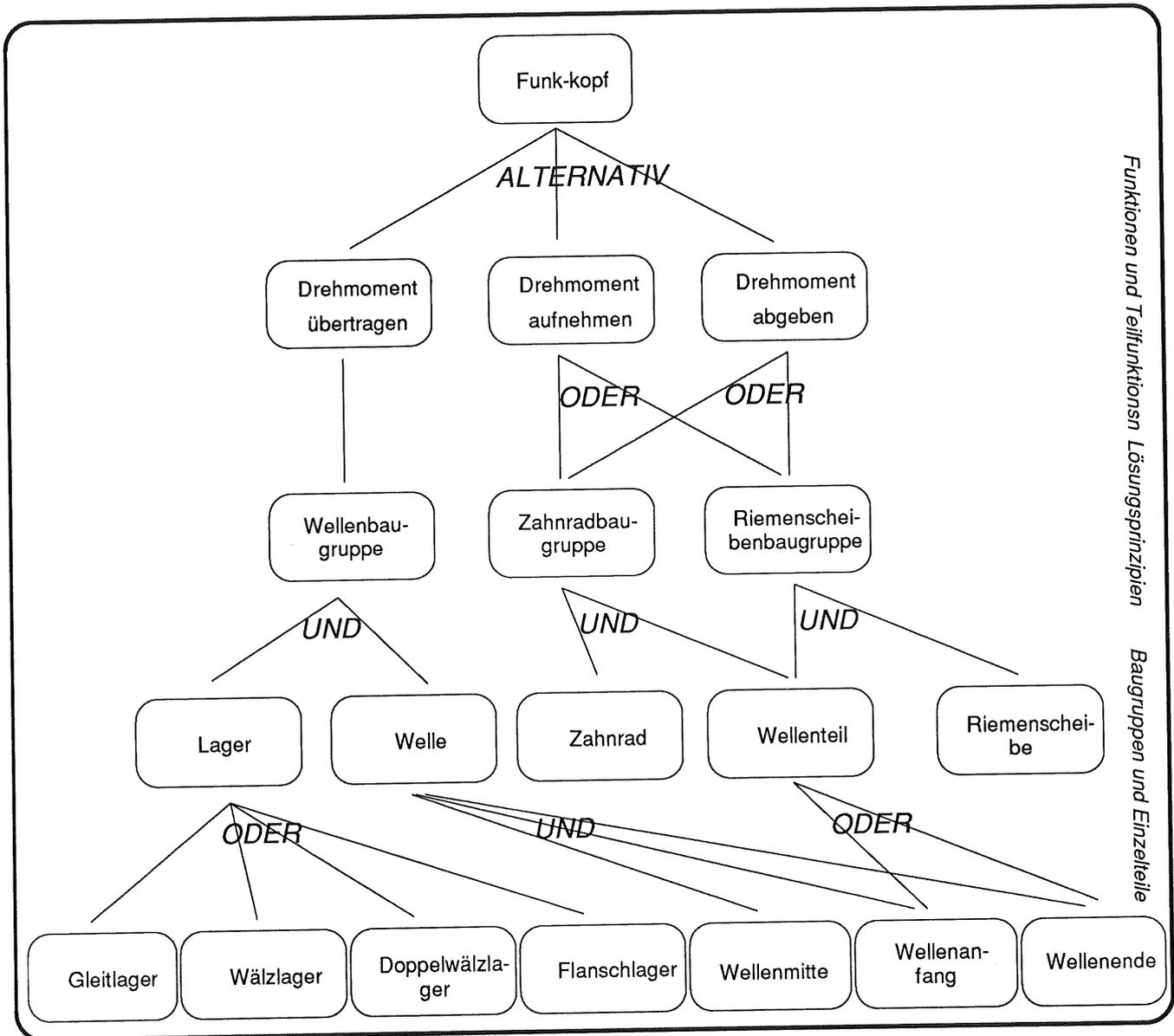


Abb. 19: Die Funktionshierarchie

Ergebnisse der Ähnlichkeitssuche sind die Stücklisten der neuen Baugruppen, die alle Teilfunktionen erfüllen. Nach erfolgreichem Ähnlichkeitsvergleich, dies bedeutet für die zweite Phase, daß es sich bei dem neu zu konstruierenden Produkt um eine Anpassungskonstruktion eines bereits konstruierten Produktes handelt, schließt sich die Auswahl und Anwendung von pauschalen Kalkulationsverfahren an. Die Ermittlung der anwendbaren Kalkulationsverfahren führt in der zweiten Phase direkt zu den Funktionskosten.

Beispiel für eine Funktionskostenberechnung:

Kosten für die Lagerung mit Wälzlagern = x / Anzahl der Einheiten

In einem weiteren Schritt wird versucht, ähnlich wie bereits in der ersten Phase auf Gesamtproduktebene, die geometrische Gestalt der Baugruppen und Einzelteile über Regeln oder interaktiv mit dem Konstrukteur abzuleiten, um anschließend genauere Kalkulationsverfahren und Methoden zur Optimierung anwenden zu können. Die Ablaufstrategie des Expertensystems in der Konzipierungsphase ist in Abbildung 20 zusammengefaßt.

Ergebnis des bisher beschriebenen Prozesses ist das Auffinden und Kalkulieren ähnlicher Baugruppen, die die gestellten Teilfunktionen erfüllen. Für die Kalkulation des Gesamtproduktes (Anpassungskonstruktion) ist die Integration aller Baugruppen zu einer Konstruktionslösung notwendig. Dies ist im Allgemeinen nur mit Hilfe des Konstrukteurs möglich, da die Lage der Baugruppen zueinander verschieden sein kann und ihr Zusammenfügen zu einer Gesamtlösung eventuell neuer Baugruppen und Einzelteile bedarf. Nur falls vollständig auf bereits konstruierte Teile zurückgegriffen werden kann, ist die Kalkulation des Gesamtproduktes möglich. Sind weder in der ersten noch in der zweiten Phase befriedigende Kostenaussagen möglich, so handelt es sich bei dem zu konstruierenden Produkt um eine Neukonstruktion.

3.3. Aufbau und Arbeitsweise des Systems in der Gestaltungsphase des Konstruktionsprozesses

Bevor für eine Neukonstruktion Kosten ermittelt werden können, muß der Konstrukteur die geometrischen Ausmaße des Produktes festlegen. Daran anschließend kann mit Hilfe von auf Geometriedaten basierenden Kalkulationsverfahren eine Kostenermittlung erfolgen. Grundsätzlich gilt für eine Neukonstruktion, daß kaum auf bereits vorhandene Daten zurückgegriffen werden kann. Eine genaue Kostenermittlung, ohne beispielsweise auf bereits vorliegende Arbeitspläne zugreifen zu können, erfordert deshalb sehr viel allgemeines und produktspezifisches Wissen aus den Bereichen Kalkulation, Konstruktion, Arbeitsplanung und Fertigung. Diese ist daher jeweils nur für sehr eingegrenzte Fälle möglich.

3. Einsatz eines Expertensystems zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation

Institut für Wirtschaftsinformatik

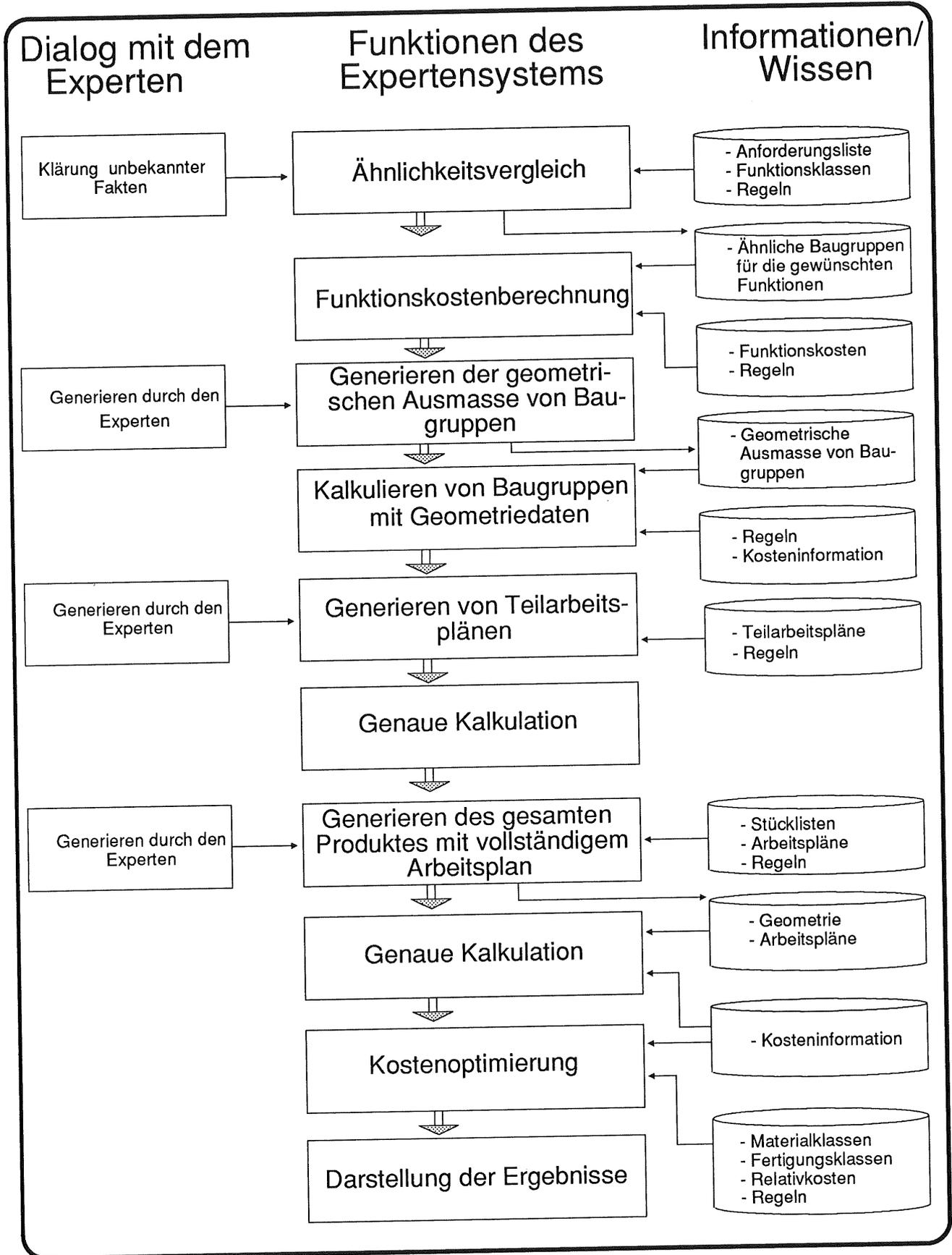


Abb. 20: Ablaufstrategie des Expertensystems in der Konzipierungsphase

Denkbar ist auch eine Form der Kalkulation, die aus Regeln über Geometrie- und Produktinformationen Kostenaussagen ableitet.

3.4. Systemarchitektur der Expertensystem-Shell

Aus den beschriebenen Anforderungen und Aufgaben der Expertensystem-Shell resultiert die in Abbildung 21 skizzierte Systemarchitektur.

Den konstruktionsphasenorientierten Ablauf der verschiedenen Arbeitsschritte steuert die Inferenzkomponente, wobei die notwendigen Interaktionen mit dem Experten zur Laufzeit des Systems von der menue-gesteuerten Dialogkomponente koordiniert werden. Die Inferenzkomponente enthält Strategien für die verschiedenen Teilaufgaben "intelligentes Suchen" (nach ähnlichen Produkten, Baugruppen, Einzelteilen und kostengünstigeren Rohstoffen und Fertigungsverfahren), "Diagnose" (der Kostengerechtigkeit) und "Plangenerierung" (von Zeichnungen und Arbeitsplänen). Jede Teilaufgabe bedient sich dabei eines Klassen- und eines Regelinterpreters.

Die verschiedenen, in Abbildung 22 dargestellten Klassifizierungen für Produkte, Rohstoffe, Kalkulationsverfahren, Funktionen und Fertigungsverfahren werden in objektorientierter Form zusammen mit den unterschiedlichen Regeltypen in der Wissensbasis des Systems gespeichert.

Dabei sind allgemeine Strukturen und Daten vorgegeben, während die produkt- und betriebsspezifischen Daten und Regeln innerhalb des Wissenserwerbs (die Wissenserwerbskomponente muß noch implementiert werden; vgl. dazu die Kapitel 4.1 und 4.2) mit Hilfe der Wissenserwerbskomponente im Dialog mit den Experten erworben oder aus verschiedenen Datenbanken von angeschlossenen Systemen entnommen werden.

3. Einsatz eines Expertensystems zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation

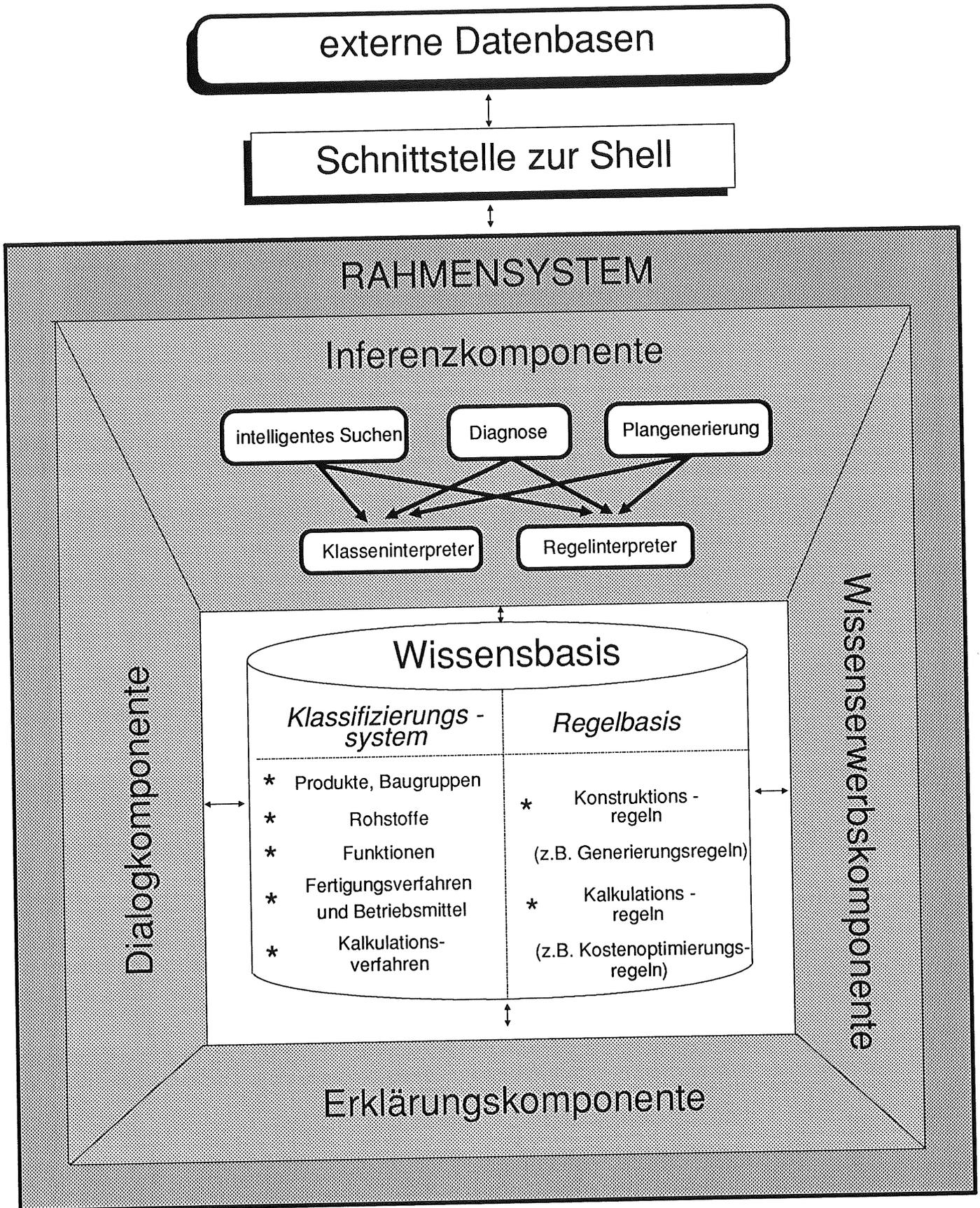


Abb. 21: Systemarchitektur der Expertensystem-Shell

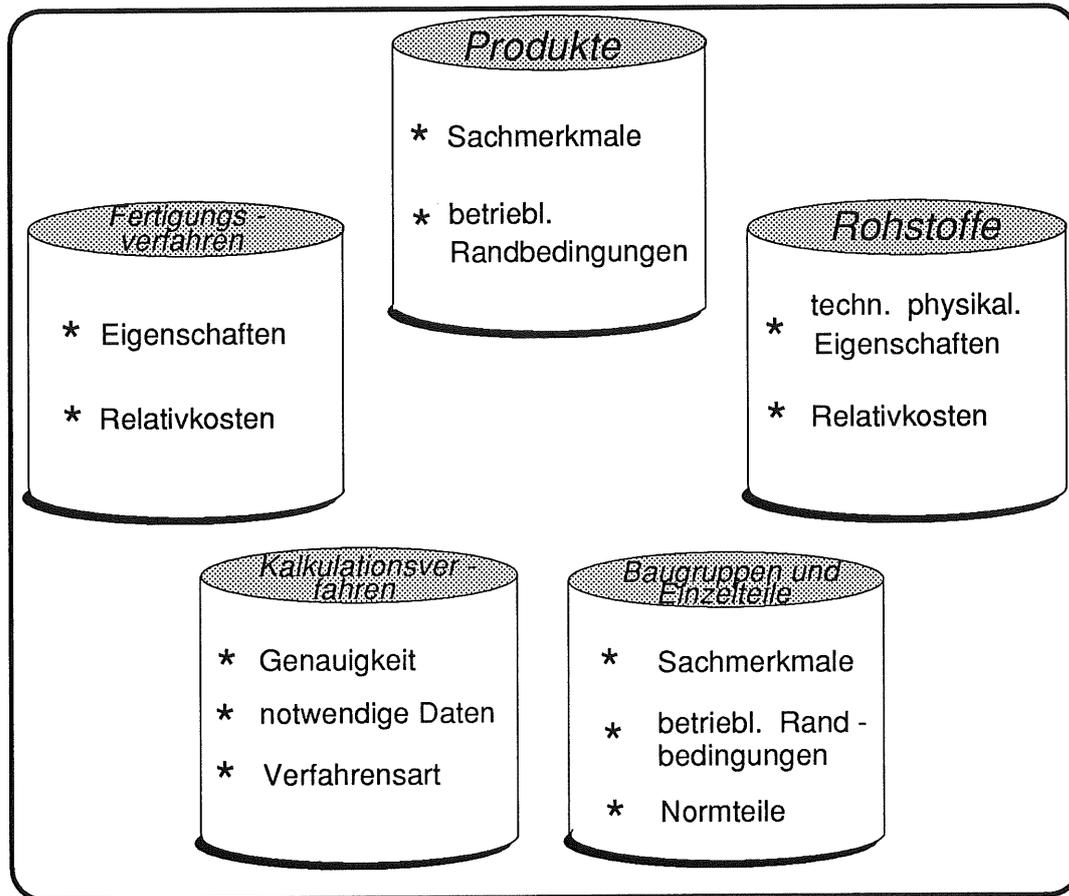


Abb. 22: Klassifizierungssysteme in der Expertensystem-Shell

3.5. Schnittstellen der Expertensystem-Shell zu anderen Software-Systemen

Das Expertensystem benötigt eine Vielzahl von Daten und Informationen, die oft bereits in den Datenbanken von verschiedenen Systemen gespeichert sind (z.B. Stücklisten, Arbeitspläne, Geometriedaten).

Um eine redundante Speicherung der Daten zu vermeiden und die Aktualität der Daten für das Expertensystem zu garantieren, muß dieses Zugriffsmöglichkeiten auf die entsprechenden Datenbestände haben. Dazu dient ein spezielles Kopplungsprogramm, welches die Ergebnisse von Anfragen an die einzelnen Systeme auswertet und in die Wissensbasis integriert. Es kann sich dabei um Anfragen während des Wissenserwerbs oder um Anfragen zur Laufzeit des Expertensystems handeln.

3.5.1 Schnittstelle zu PPS

In der jetzigen Version des Expertensystems erfolgt kein Zugriff auf die Datenbestände eines realen PPS-Systems. Vielmehr wurde das Datenbankschema des PPS-Systems SILINE in dem relationalen Datenbanksystem INGRES abgebildet und für die Belange des Expertensystems erweitert. Über eine spezielle Online-Schnittstelle innerhalb des Kopplungsprogrammes zwischen Common-Lisp (der Implementierungssprache des Expertensystems) und INGRES kann auf nachfolgend aufgelisteten Relationen und deren Daten zugegriffen werden:

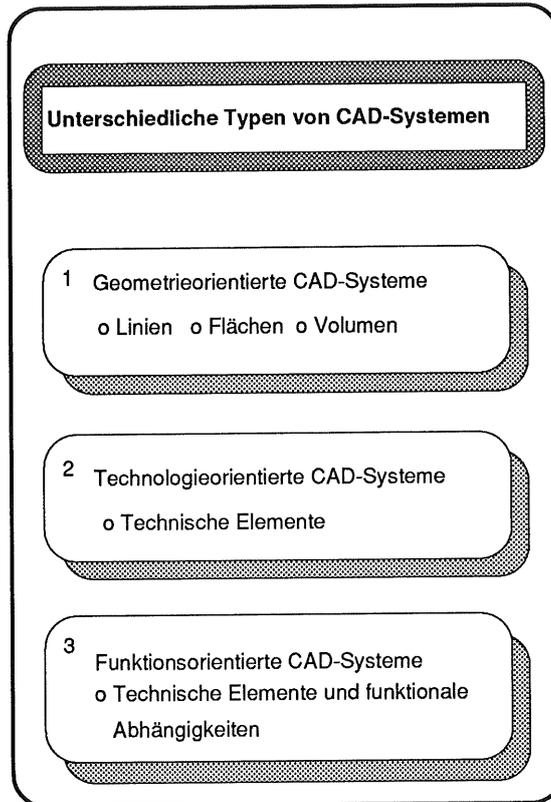
- **Material** (Materialnummer, Materialbezeichnung, Abmessung, Werkstoff, Gewicht, Gewichtseinheit, Teileart, Verrechnungspreis, Dispositionsstufe, Beschaffungsart, Wiederbeschaffungsart)
- **Zeichnung** (Zeichnungsnummer)
- **Material-Zeichnung** (Materialnummer, Zeichnungsnummer)
- **Material-Kalk.daten** (Materialnummer, Einstandspreis, Preiseinheit, Materialkosten, Lohnkosten, Fertigungsgemeinkosten, Herstellkosten)
- **Stückliste** (obere Teilenummer, untere Teilenummer, Menge, Plus-Minus-Kennzeichen, Zuordnung Material Arbeitsgang, Rohabmessung bei Material, Ausschußfaktor)
- **Arbeitsplan** (Arbeitsplannummer, Arbeitsplantyp, Losgröße für Automationsstufe, fixe Durchlaufzeit, variable Durchlaufzeit)
- **Arbeitsgang** (Arbeitsgangnummer, Arbeitsgangbezeichnung)
- **Arbeitsplan-Arbeitsgang** (Arbeitsgangnummer, Arbeitsplannummer)
- **Arbeitsplatzgruppe** (Arbeitsplatzgruppennummer)
- **Werkzeug** (Werkzeugnummer, Werkzeugbezeichnung, Ausweichwerkzeuge, Anzahl der Werkzeuge)
- **Werkzeugeinsatz** (Werkzeugnummer, Arbeitsplatzgruppennummer, Anzahl der Werkzeuge an Arbeitsplatzgruppe)
- **Bearbeitung** (Arbeitsgangnummer, Arbeitsplatzgruppennummer, Übergangszeit vor Rüstzeit, Stückzeit, Personalzeit, Lieferzeit, Lohngruppe Rüstzeit, Lohnart Rüstzeit, Lohngruppe Stückzeit, Lohnart Stückzeit, Kosten für Fremdfertigung, Losgröße für Automationsstufen)
- **Material-Arbeitsplan** (Materialnummer, Arbeitsplannummer)

- **Lager** (Lagernummer)
- **Lagerbestand** (Lagernummer, Materialnummer, Teileort aus Grunddaten, Maßeinheit aus Grunddaten, Dispositionsort aus Grunddaten, Gesamtlagerbestand, Wareneingangsbestand, Werkstattbestand, Verrechnungspreis)
- **Sachmerkmale** (Sachmerkmalsnummer, Sachmerkmalsbezeichnung)
- **Materialklassifizierung** (Sachmerkmalsnummer, Materialnummer)
- **Funktionen** (Funktionsbezeichnung)
- **Lösungsprinzip** (Lösungsprinzipbezeichnung)
- **Materialeinsatz** (Funktion, Lösungsprinzip, Materialnummer)
- **Funktionskosten** (Funktion, Lösungsprinzip, Kosten, Einheit)
- **Rohstoff** (Rohstoffnummer, Rohstoffbezeichnung, Kosten, Einheit, Sachmerkmale, Relativkosten)

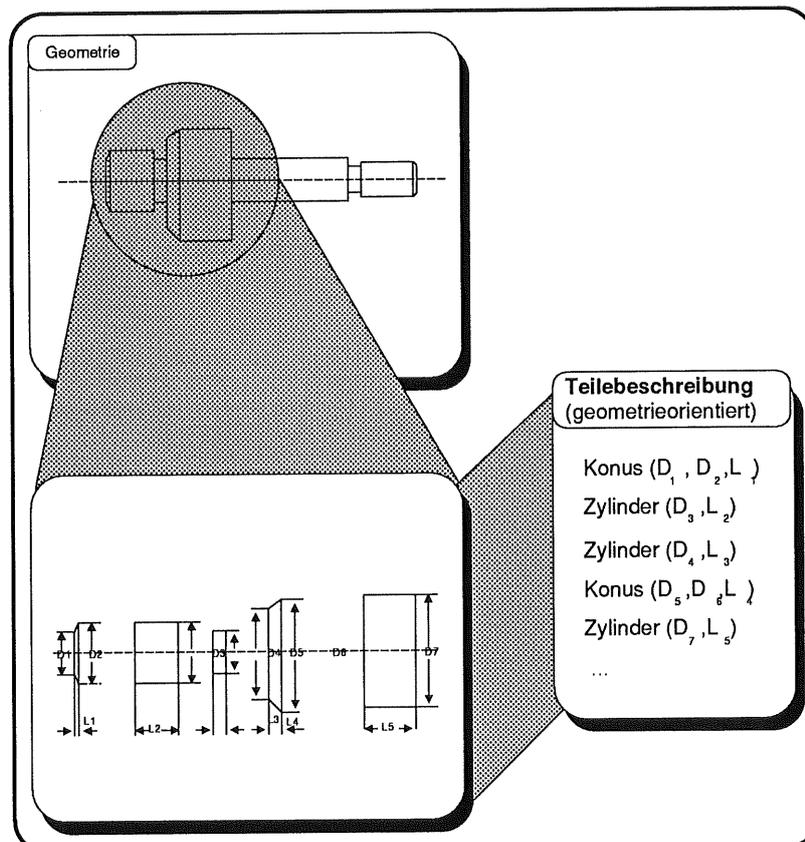
Die in der Relation "Rohstoffe" enthaltenen Daten können alternativ auch in einem Rohstoff- oder Materialklassifizierungssystem gespeichert werden. Gleiches trifft für die Kalkulationsdaten im Kosteninformationssystem zu. Dies ist innerhalb der Abbildung 27 in Kapitel 3.5.3 (Schnittstellen der Expertensystem-Shell) vorgesehen, jedoch nicht implementiert.

3.5.2 Schnittstelle zu CAD

Die Probleme der Kopplung von CAD-Systemen mit Expertensystemen sind sehr vielfältig. Die Gründe hierfür resultieren aus der Tatsache, daß die Expertensysteme zur Verarbeitung von CAD-Daten weitaus mehr Informationen benötigen, wie üblicherweise von CAD-Systemen zur Verfügung gestellt werden. Betrachtet man die drei Typen von CAD-Systemen aus Abbildung 23, so bereiten die geometrieorientierten CAD-Systeme die größten Schwierigkeiten, während die funktionsorientierten CAD-Systeme wesentlich mehr verwertbare Informationen liefern können. Die geometrieorientierten CAD-Systeme speichern die Zeichnungen auf der Basis grundlegender Elemente, wie Kreise und Linien, oder mit auf diesen Grundelementen aufbauenden Elementen wie beispielsweise Zylinder (Abbildung 24).



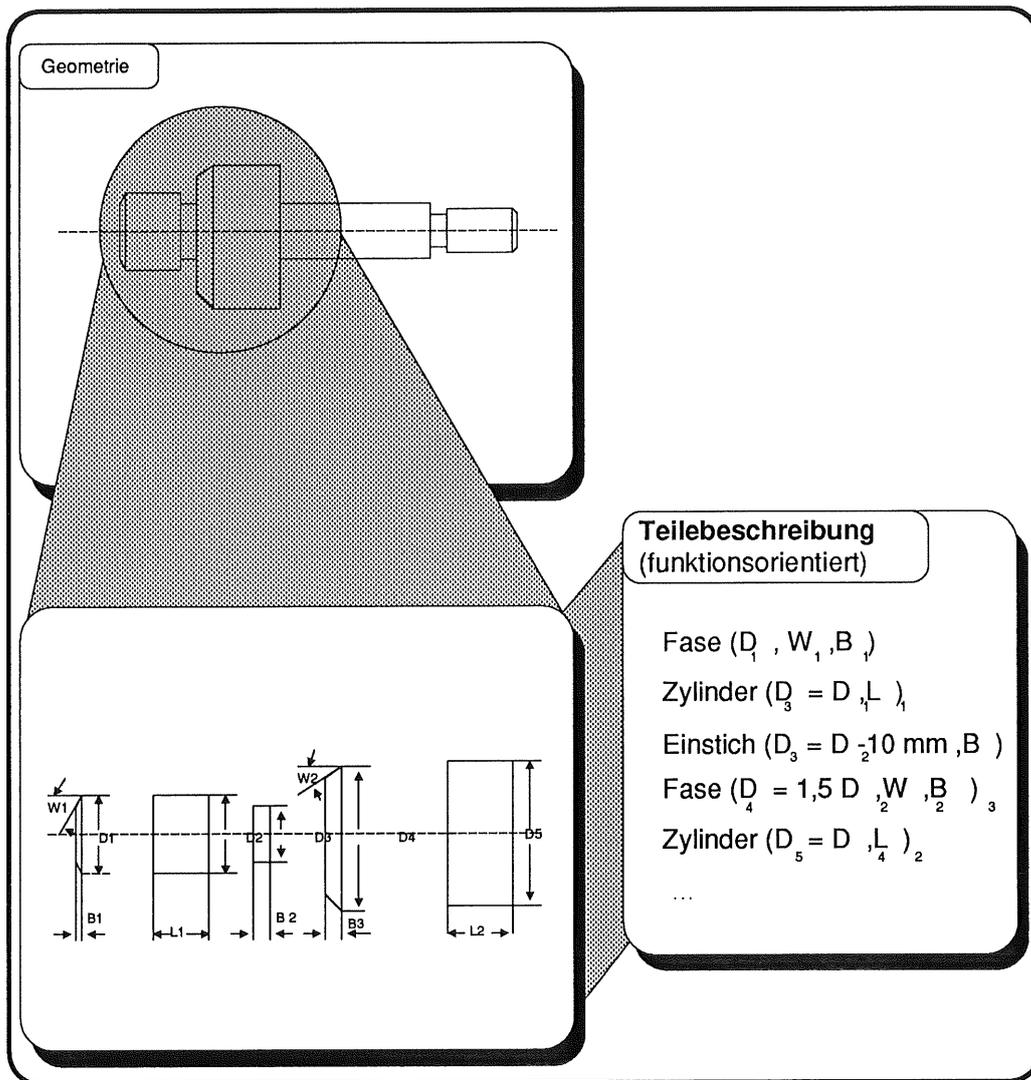
(Quelle: Spenrath, K., Eversheim, W., WZL TH Aachen)
 Abb. 23: Unterschiedliche Typen von CAD-Systemen



(Quelle: Spenrath, K., Eversheim, W., WZL TH Aachen)
 Abb.24: geometrieorientiertes CAD-System

Es ist daher sehr schwierig, automatisch Informationen zu extrahieren, die Rückschlüsse auf die von den Grundelementen repräsentierten technischen Elementen, oder sogar auf Zusammenhänge (Abhängigkeiten) verschiedener Elemente untereinander erlauben.

Zwar bieten die funktionsorientierten Systeme Vorteile, da das Konstruieren bereits mit technischen Elementen erfolgt und funktionale Abhängigkeiten zwischen Elementen mit abgespeichert werden (Abbildung 25), jedoch verlangen viele KI-Unterstützungsfunktionen für die Konstruktion weitergehende Informationen.



(Quelle: Spenrath, K., Eversheim, W., WZL TH Aachen)
Abb. 25: funktionsorientiertes CAD-System

Zur Ermittlung und Bereitstellung dieser weitergehenden Informationen existieren grundsätzlich drei Möglichkeiten:

- Feature - Erkennung,
- Feature - Based - Modelling,
- manuelle Transformation durch den Experten.

Unter einem Feature versteht man ein Objekt, welches als Grundelement der Konstruktion dient und alle zur Weiterverarbeitung relevanten Daten zu dem Grundobjekt enthält. Feature-Erkennung bedeutet nun die nachträgliche Wiedererkennung der Merkmale aus der CAD-Geometrie, während Feature-based-Modelling die Erzeugung der Merkmale bei der Detaillierung beinhaltet [Shah, J., J., Rogers, M., T., 1988]. Da die Feature-Erkennung, wie vorher beschrieben, nur in wenigen Fällen ausreichende Ergebnisse liefert und darüber hinaus einen sehr aufwendigen Prozeß darstellt, liegt die sinnvolle Alternative im Feature-based-Modelling. Für die Konzipierung und Implementierung der Kopplung der Expertensystem-Shell zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation mit einem CAD-System, stand SIGRAPH 2D zur Verfügung, das zu den geometrieorientierten CAD-Systemen gezählt werden kann. In den ersten beiden Phasen des Konstruktionsprozesses bestehen die Aufgaben bezüglich der Expertensystem-CAD-Kopplung in der:

- Übergabe von generierten Geometriedaten für Varianten- und Anpassungskonstruktionen an das CAD-System und der
- Übernahme von Zeichnungsinformationen aus dem CAD-System.

Da in der ersten Phase eine Produktgesamtansicht und in der zweiten Phase eine Sicht auf Baugruppen und Einzelteile verlangt wird, müssen Gesamt- und Teilzeichnungen in Unterbildern abrufbar sein, da Unterbilder die Möglichkeit der Definition und Generierung von Varianten unterstützen. Diese erlauben es, die Veränderung der Geometrie für ähnliche Zeichnungen über Parameter vorzudefinieren. Die eigentliche Erzeugung und Darstellung der Varianten ist dann mit Hilfe von Sigraph-spezifischen Prozeduren, die diese Parameter mit Werten belegen, möglich.

Die Übernahme von CAD-Daten kann aus den genannten Gründen (geometrieorientiertes CAD-System, Feature-Erkennung sehr aufwendig) nicht automatisiert erfolgen. Die benötigten Informationen müssen vom Experten in ein objektorientiertes Produktmodell innerhalb des Expertensystems manuell übertragen werden. Das gleiche Verfahren soll für die Arbeitsweise des Expertensystems in der dritten Phase

des Konstruktionsprozesses angewendet werden, in der die Kalkulation auf der Basis von Geometrie- und Produktinformationen erfolgt.

Die derzeitigen Kopplungsmöglichkeiten der Expertensystem-Shell und dem CAD-System SIGRAPH sind in Abbildung 26 zusammengefaßt.

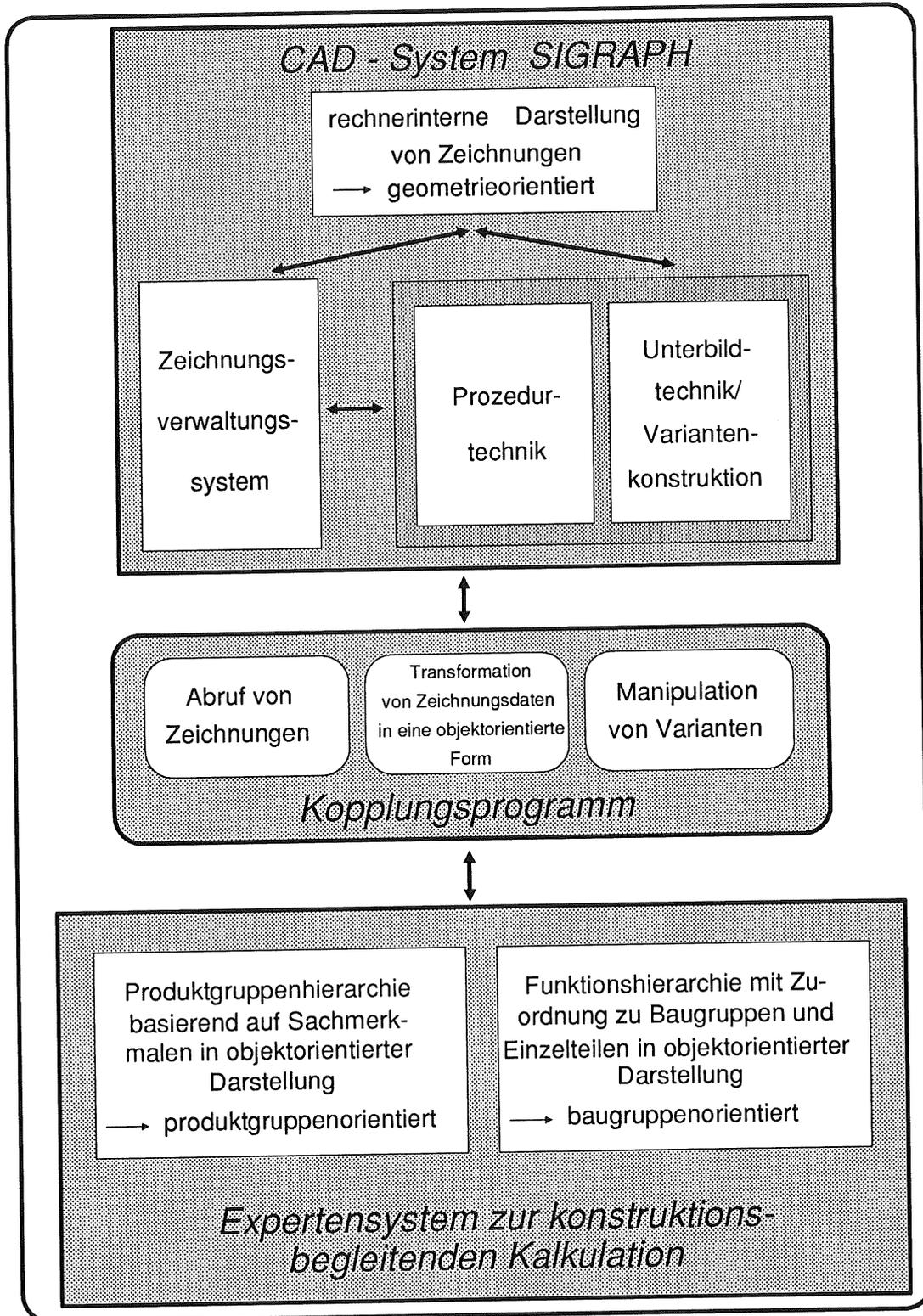


Abb. 26: Kopplung zwischen der Expertensystem-Shell und SIGRAPH

Da der Generierung von Varianten über Prozeduren Grenzen gesetzt sind, und die interaktive Übertragung von CAD-Daten an die Expertensystem-Shell wenig befriedigend ist, sollte für den Fall einer Weiterführung des Projektes über alternative Kopplungsmöglichkeiten nachgedacht werden.

3.5.3 Weitere Schnittstellen

Über die CAD- und PPS-Kopplung hinaus sind Schnittstellen zu Statistik-Programmbibliotheken zum Aufstellen von Kalkulationsformeln, zu Rohstoff-/Materialklassifizierungssystemen sowie zu Kosteninformationssystemen sinnvoll (Abbildung 27). Wie bereits erwähnt, sind derzeit nur die beschriebenen Schnittstellen zu CAD und PPS implementiert.

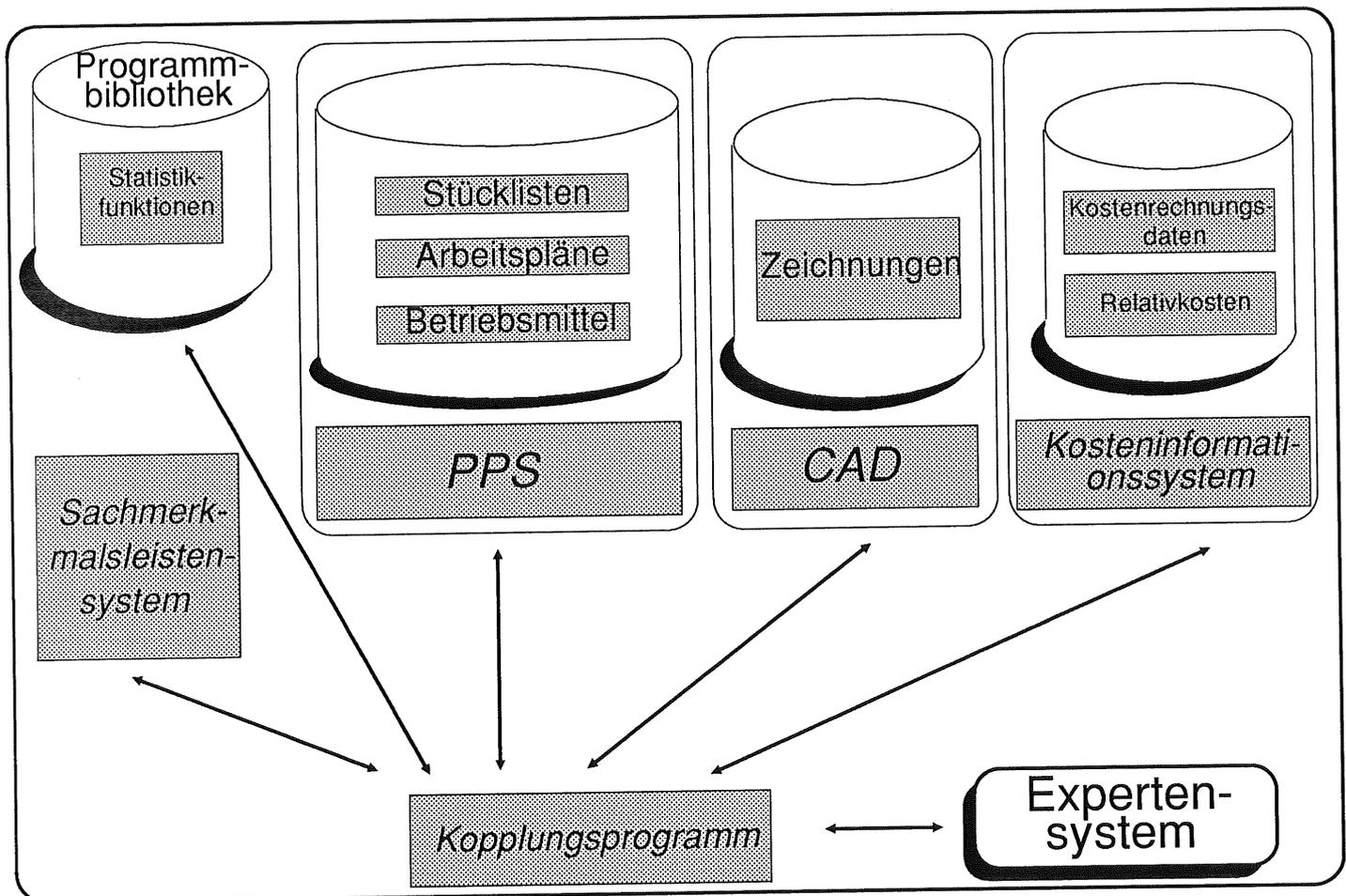


Abb. 27: Schnittstellen der Expertensystem-Shell

3.6 Der Shell-Charakter des Systems

Der Shell-Charakter des Systems ergibt sich aus der festen Implementierung von Modulen und Strategien der Dialog- und der Inferenzkomponente und Schnittstellen zu anderen Systemen. Ebenfalls vorstrukturiert sind der Aufbau und der Inhalt der Wissensbasis, wobei überbetriebliches und produktunabhängiges Wissen bereits in der Wissensbasis enthalten ist. Im Rahmen des Wissenserwerbs (vgl. Kapitel 4.2) müssen lediglich das produkt- und betriebsspezifische Wissen erworben werden.

Der Inferenzmechanismus der Expertensystem-Shell ist zwar fest implementiert, aber insofern variabel, daß er wissensbasissensitiv ist. Dies bedeutet, daß im Fall des Fehlens eines Klassifizierungssystems oder eines Regelpaketes die entsprechenden Auswertungen nicht durchgeführt werden.

Ziel der Implementierung eines Shell-Konzeptes ist die Sicherstellung der Anpaßbarkeit des Systems an verschiedene Betriebe und Produkte. Dabei handelt es sich hier um die Konzeption einer problemorientierten Shell. Dies bedeutet, daß sie insbesondere als Hilfesystem in der Konstruktion einsetzbar ist. Dabei ist die Erweiterung der hier beschriebenen Shell für beispielsweise qualitäts- oder fertigungsgerechtes Konstruieren denkbar, da der Lösung der verschiedenen Aufgaben eine gemeinsame Konzeption zugrunde gelegt werden kann (vgl. Kapitel 4). Demgegenüber existieren auf dem Markt einige generelle Shells, die für viele Probleme einsetzbar sind. Nachteil dieser Shells ist, daß der Aufwand für die Implementierung eines Expertensystems immer noch hoch ist, da die Möglichkeiten eines schnellen problemorientierten Wissenserwerbs nicht gegeben sind, und die Strukturen innerhalb der Wissensbasis und Inferenzkomponente sowie spezielle Schnittstellen zu Systemen, wie CAD oder PPS, nicht vordefiniert bzw. nur rudimentär vorhanden sind. Außerdem fehlt in vielen generellen Shells die Flexibilität, auf die Probleme innerhalb eines speziellen Einsatzgebietes optimal reagieren zu können.

4. Erweiterungsmöglichkeiten

Wie eingangs bereits beschrieben, ist es notwendig nicht nur die Auswirkungen von Konstruktionsentscheidungen auf die daraus resultierenden Kosten zu untersuchen sondern auch die Auswirkungen auf die der Konstruktion nachgelagerten Arbeitsschritte Arbeitsplanung, Fertigung und Qualitätssicherung. Damit ergeben sich neben der Forderung der kostengerechten Konstruktion auch die Forderungen der montage- [Moritzen, K., 1990], fertigungs- [Meerkamm, H., Finkenwirth, K., Röse, U., 1988], qualitäts- [Arnold, R., Bauer, C., 1990], sicherheits- [Strnard, H., Vorath, B., J., 1984] und instandhaltungsgerechten [Lewandowski, K., 1985] sowie material- und kapazitätsgerechten Konstruktion.

In vielen Fällen sind jedoch die Konstrukteure mit diesen über ihre eigentlichen Tätigkeiten hinausreichenden Aufgaben überfordert, da zur Lösung jeder dieser Aufgaben umfangreiches Experten-Know-How aus den verschiedenen Bereichen erforderlich ist. Darüber hinaus ist dieses Wissen in der Regel nicht ohne Interpretation und Transformation im Konstruktionsprozeß direkt einsetzbar, wie bei der Beschreibung der Expertensystem-Shell zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation bereits erläutert. Zur Lösung dieser Problematik sind aus Forschung und Entwicklung eine Reihe von Konzeptionen und Systemen bekannt, die sich meist mit speziellen Problemstellungen aus den oben genannten Bereichen beschäftigen. Oft werden zur Lösung Verfahren und Methoden aus der KI, speziell der Entwicklung wissensbasierter Systeme (Expertensysteme), eingesetzt [Moritzen, K., 1990].

Aufgrund der Komplexität ist jede einzelne Aufgabe für eigene Expertensystementwicklungen ausreichend, die individuell an die jeweiligen Problembereiche angepaßt sind. Demgegenüber lassen sich eine Reihe von Gründe anführen, die für die Entwicklung von Wissensbasierten Systemen für unterschiedliche Aufgabenschwerpunkte aus dem Konstruktionsbereich die Verwendung eines einheitlichen Rahmensystems in Form einer problemorientierten Expertensystemshell sinnvoll erscheinen lassen. Zum einen resultieren diese Gründe aus der Tatsache, daß zur Lösung der verschiedenen Aufgaben zum Teil gleiche Strategien, Wissensinhalte und Schnittstellen zu anderen Systemen zu verwenden sind, die innerhalb eines Entwicklungswerkzeuges bereits vordefiniert und vorstrukturiert werden können (d.h., daß der Entwicklungsaufwand gegenüber einem universellen Entwicklungswerkzeug erheblich reduziert werden kann). Zum anderen bestehen zwischen den einzelnen Auf-

gaben Abhängigkeiten, so daß bei der Verfolgung mehrerer Ziele eine Koordination der Lösungsstrategien erfolgen muß. Im einzelnen lassen sich folgende Gründe anführen:

- Ein großer Teil der Klassifizierungssysteme (vgl. dazu Abbildung 28) können von mehreren Expertensystemen genutzt werden. So dient beispielsweise das Fertigungsverfahrenklassifizierungssystem sowohl der Suche nach Alternativen bei der Überschreitung des Kostenziels als auch dem Auffinden von Verfahren und Betriebsmitteln, für die alle Fertigungsregeln erfüllt sind.
- Die gemeinsame globale Zielsetzung, eine in allen Bereichen optimale Konstruktion zu erreichen, verlangt, daß jedes Teilziel in beliebiger Reihenfolge und Häufigkeit untersucht werden kann. So muß beispielsweise ein aufgrund verletzter Fertigungsrichtlinien oder von Betriebsmittelengpässen modifizierter Arbeitsplan auch wieder im Hinblick auf die dadurch verursachten Kosten beleuchtet werden.
- Einige Teilschritte, wie die Suche nach ähnlichen Produkten und Arbeitsplänen, treten in mehreren Systemen in identischer Form auf.
- Das Auffüllen der Klassifizierungssysteme mit produkt- und betriebsspezifischem Wissen (Wissenserwerb) ist in allen Teilbereichen identisch.
- Da die verschiedenen Ziele konkurrierend sein können, ist eine Interaktion und Koordination zwischen den einzelnen Expertensystemen notwendig. Dies kann am geeignetsten dadurch erreicht werden, daß alle Systeme in ähnlicher Weise implementiert sind, d.h. über eine einheitliche Wissensdarstellung und einheitliche Inferenzstrategien verfügen.
- Die notwendigen Schnittstellen zu den in den einzelnen betrieblichen Teilbereichen eingesetzten EDV-Systeme, wie beispielsweise CAD- und PPS-Systeme, sind unabhängig von der zu lösenden Aufgabe und können daher bereits innerhalb der problemorientierten Shell zur Verfügung gestellt werden.

Demgegenüber ist der Aufwand zur Entwicklung eines Expertensystems mit Hilfe einer weitgehend problemunabhängigen Expertensystem-Shell immer noch sehr hoch, da die Strukturen der Wissensbasis nicht vorstrukturiert sind, die Funktionen der Inferenzkomponente nicht oder nur rudimentär in Form von Basisstrategien vordefiniert und implementiert sind und keine Möglichkeiten eines schnellen problemorientierten Wissenserwerbs zur Anpassung an unterschiedliche Produkte und Betriebe gegeben sind.

Aus oben genannten Gründen wurde aufbauend auf dem bereits als Shell konzipierten System zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation die Konzeption einer problemorientierten Shell zur Konstruktionsberatung entwickelt (Abb. 28).

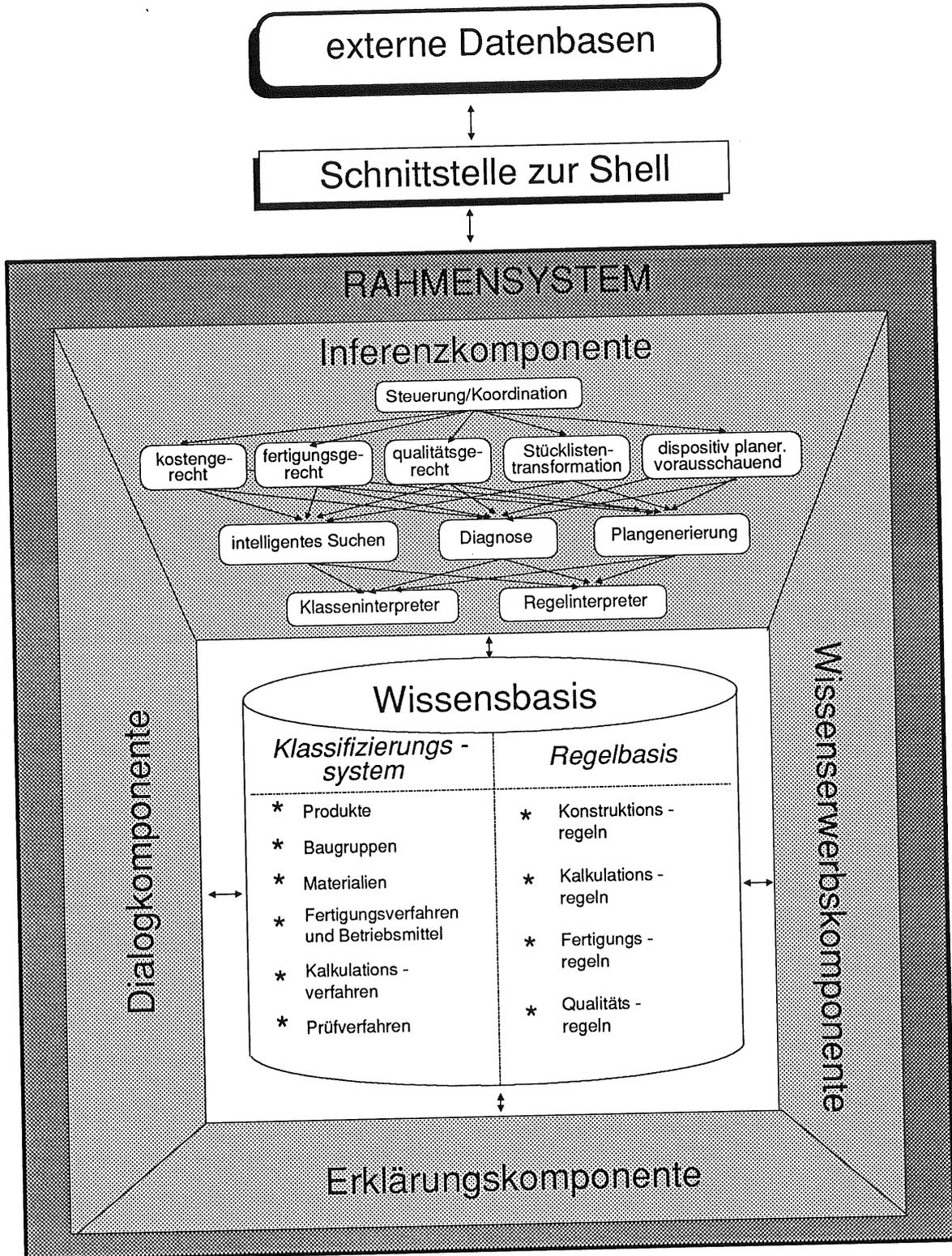


Abb. 28: Architektur einer Expertensystem-Shell zur Konstruktionsberatung

Die generelle Zielsetzung, die mit dem System verfolgt wird, besteht in dem Aufbau eines möglichst universell einsetzbaren Rahmensystems, welches eine schnelle produkt,- betriebs,- problem- und anwenderspezifische Implementierung von wissensbasierten Systemen für den Konstruktionsprozeß erlaubt. Die mit diesem Entwicklungswerkzeug erstellten Expertensysteme dienen der Unterstützung der Konstrukteure bei der Bewertung ihrer Konstruktionsergebnisse in Hinblick auf die Anforderungen nachgelagerter Abteilungen und der direkten Umsetzung der Analyseergebnisse in konkrete Designentscheidungen. Dadurch wird eine grundsätzliche Verbesserung der Qualifikation der Konstrukteure und daraus resultierend im Idealfall eine Verbesserung der Produkt-Qualität und/oder eine Verringerung der Produktkosten und/oder eine Verkürzung des Produktentwicklungsprozesses durch Vermeiden von Zyklen erreicht.

Diese problemorientierte Shell besitzt die für ein Expertensystem typischen Teile Wissensbasis, Inferenz- und Dialogkomponente. Ein vollständig aufgefülltes Klassifizierungssystem beinhaltet Hierarchien für Produktgruppen, Baugruppen, Materialien, Fertigungsverfahren und Betriebsmitteln, Kalkulationsverfahren und Prüfplänen. Die Inferenzkomponente beinhaltet Strategien zur Lösung der Teilaufgaben "kostengünstig Konstruieren", "fertigungsgerecht Konstruieren", "qualitätsgerecht Konstruieren", "instandhaltungsgerecht Konstruieren", "Stückliste generieren" und "Konstruieren mit dispositiv planerischen Aspekten". Das Zusammenwirken der Teilaufgaben wird von einer Steuereinheit koordiniert. Alle Teilaufgaben wenden Mechanismen an zum intelligenten Suchen, zur Diagnose und zum Plangenerieren. Diese unterscheiden sich darin, welchen Teil der Wissensbasis (d.h. welche Klassen- oder Regeltypen) diese zum Evaluieren der Ergebnisse benötigen. Auf der untersten Ebene arbeitet jeder Teil mit einem Klassen- und einem Regelinterpreter.

4.1. Generelle Zielsetzung einer Weiterführung des Projektes

Die generelle Zielsetzung besteht im Ausbau bzw. der Erweiterung des Expertensystem-Shell-Prototypen für konstruktionsbegleitende Kalkulation im Sinne einer flexibel einsetzbaren problemorientierten Shell für unterschiedliche Anforderungen innerhalb des Konstruktionsprozesses. Diese Zielsetzung gliedert sich im Wesentlichen in zwei Aufgabenkomplexe.

- 1: Um eine flexible Einsetzbarkeit einer derartigen problemorientierten Shell zu ermöglichen, was gleichbedeutend ist mit der leichten Anpaßbarkeit an unterschiedliche Produkte, Betriebe, Problemstellungen und Anwender (Konstrukteure), ist es notwendig, daß das System mit einer Wissenserwerbskomponente ausgestattet wird. Diese muß neben dem eigentlichen Erwerb von Daten und Regeln auch die anwendungsspezifische Konfigurierung und Erweiterung der Shell unterstützen.
- 2: In einem zweiten Schritt muß untersucht werden, in welchem Umfang die Module bzw. die Funktionen der Inferenzkomponente, die Inhalte der Wissensbasis, die Schnittstellen zu weiteren Systemen sowie die Elemente der Dialogkomponente (Menus, Windows, Grafiken) des bisher implementierten Prototypen zur Bearbeitung alternativer Anforderungen, wie beispielsweise der fertigungsgerechten Konstruktion ausreichen. Aus dieser Untersuchung sind eventuelle Modifikationen der existierenden Module oder die Implementierung neuer Funktionen abzuleiten.

Die **Zielsetzung** besteht daher in der Detaillierung und Implementierung des im folgenden vorgestellten Grobkonzeptes für eine Wissenserwerbskomponente und in der Untersuchung der Übertragbarkeit vorhandener Lösungsstrategien auf weitere Aufgabenbereiche sowie einer eventuellen Implementierung neuer Lösungsstrategien.

4.2 Grobkonzept der Wissenserwerbskomponente

Innerhalb der Konzeption der problemorientierten Expertensystem-Shell kommt der Wissenserwerbskomponente eine besondere Bedeutung zu, da diese für die produkt-, problem- und betriebsspezifische Konfigurierung der Shell sowie für das Auffüllen der Wissensbasis mit aktuellen Informationen bzw. die Modifikation der Wissensbasis verantwortlich ist [Davis, R., 1981].

Benutzt man zur Darstellung des Aufbaus der Expertensystem-Shell, speziell der Wissensbasis und der Inferenzkomponente die drei Beschreibungsebenen, die allgemein für Informationssysteme verwendet werden können [Scheer, A.-W., 1990], so lassen sich die Aufgaben der Wissenserwerbskomponente den verschiedenen Ebenen zuordnen (Abbildung 30).

<i>* Konfigurierung der Expertensystem-Shell</i>	
Anwender	System
- Festlegung des gewünschten Funktionsumfangs	- Auswahl der Inferenzstrategien - Ermittlung der relevanten Teile des Datenmodells u. des Regelmodells
<i>* Modifikationen an der Wissensbasis</i>	
Anwender	System
- spezielle Anpassungen der Wissensbasis an betriebliche und produktspez. Gegebenheiten	- grafische Darstellung der Wissensbasis
<i>* Auffüllen der Wissensbasis mit Daten</i>	
Anwender	System
- Angabe von Attributwerten bzw. Def. von Anfragen an externe Datenbasen - Definition von Regeln	- Steuerung des Wissenserwerbs - Überprüfung der Vollständigkeit und Korrektheit der Daten
<i>* Pflege der Wissensbasis</i>	
Anwender	System
- Pflege der Datenbasis - Pflege der Regelbasis	- Überprüfung der Vollständigkeit und Korrektheit

Abb.29: Aufgaben der Wissenserwerbskomponente

Die logische Ebene beinhaltet je ein Modell über die Wissensbasis und über die Funktionen der Inferenzkomponente der Expertensystem-Shell. Innerhalb eines Meta- und Koordinationsmodelles sind die Zusammenhänge zwischen Wissensbasis- und Funktionsmodell gespeichert.

Zunächst benutzt die Wissenserwerbskomponente diese Modelle zur produkt- und betriebsspezifischen Konfigurierung der Expertensystem-Shell, da nicht für jeden Einsatz des Systems alle Funktionen sinnvoll oder notwendig sind. Beispielsweise kann in einem Betrieb, in dem Variantenkonstruktionen nur eine untergeordnete Rolle spielen, die Funktion "Produktgruppenähnlichkeitsvergleich", die in erster Linie der Suche von Varianten dient, entfallen. Zu diesem Zweck greift die Wissenserwerbskomponente auf das in Abbildung 31 beispielhaft für die Aufgabe "kostengerechtes Konstruieren" dargestellte Funktionsmodell zu, in dem alle im Expertensystem realisierbaren Funktionen enthalten sind.

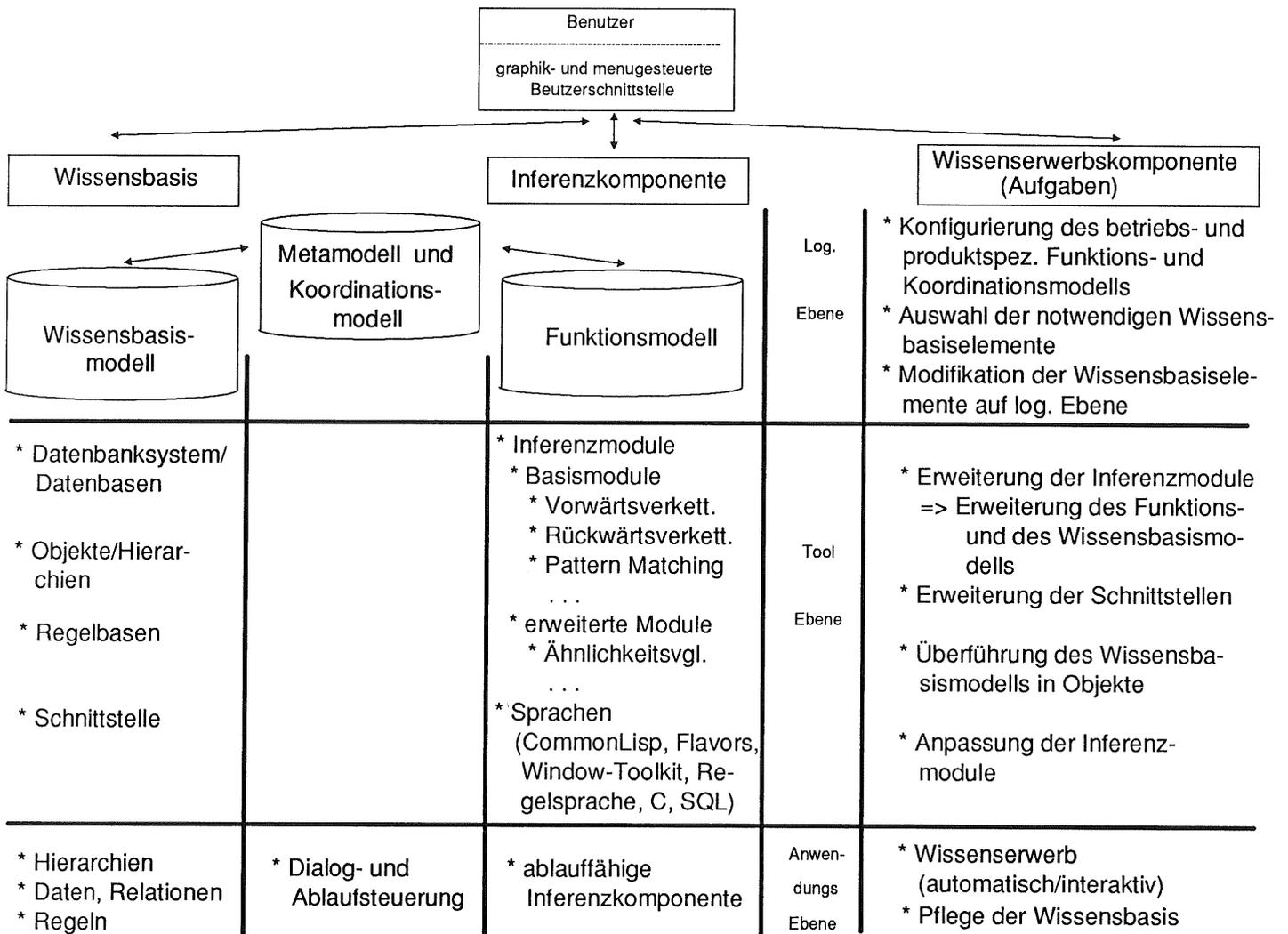


Abb. 30: Modelle auf logischer Ebene

Das Modell besteht aus einem Funktionennetz, in dem Globalfunktionen (z.B. Ähnlichkeitsvergleich für Variantenkonstruktionen) sukzessive in Teilfunktionen untergliedert werden. Die unterste Ebene enthält dann die elementaren Funktionen der Klassen- und Regelinterpretation. Die Wissenserwerbskomponente selektiert mit dem Experten und/oder anhand von Regeln die für die betriebs- und produktspezifischen Aufgaben relevanten Funktionen.

Von dieser Konfiguration der Inferenzkomponente betroffen ist natürlich auch die Wissensbasis, da beispielsweise mit dem Wegfall des Produktgruppenähnlichkeitsvergleiches auch die Produktklassifizierung, d.h. die Produktklassen innerhalb der Wissensbasis und die entsprechenden Regeltypen entfallen können. Da der Zusammenhang über Funktionsmodell und Wissensbasismodell in dem Metamodell gespei-

chert ist, kann die Wissenserwerbskomponente nach erfolgter Konfigurierung der Inferenzkomponente auch die Wissensbasis auf logischer Ebene konfigurieren.

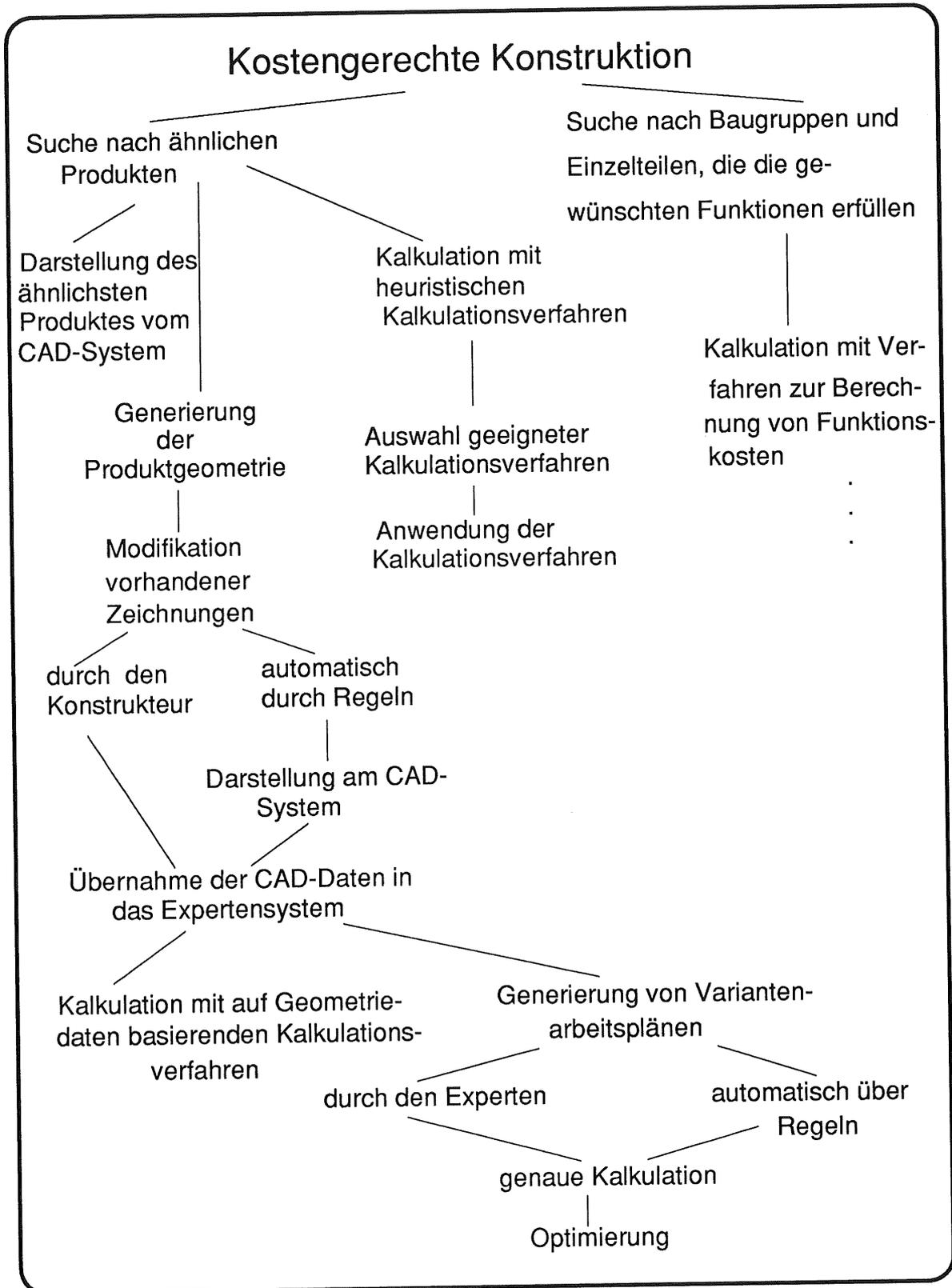


Abb. 31: Das Funktionsmodell für kostengerechtes Konstruieren

Eine weitere Aufgabe der Wissenserwerbskomponente auf der logischen Ebene besteht in der Sicherstellung der Integrität der logischen Strukturen innerhalb der Wissensbasis, wenn der Anwender Modifikationen an diesen Strukturen vornimmt.

Die Hauptaufgabe der Wissenserwerbskomponente auf der Tool-Ebene bildet das Überführen des konfigurierten und eventuell modifizierten Wissensbasismodells in Objektstrukturen innerhalb der objektorientierten Wissensrepräsentationssprache Flavors und der Aufbau von Regelpaketen, die später mit produktspezifischen Daten und Regeln aufgefüllt werden. Dieser Prozeß soll weitgehend automatisiert werden, so daß der Anwender nur die logische Struktur und nicht die interne Repräsentation in der eigentlichen Wissensbasis kennen muß. Darüber hinaus muß die Wissenserwerbskomponente auf dieser Ebene die Integration zusätzlicher Funktionen der Inferenzkomponente und/oder weiterer Schnittstellen zu anderen Systemen unterstützen. Zur Implementierung stehen die Sprachen Common-Lisp, C, Flavors, SQL, alle Basismodule, wie beispielsweise Vorwärtsverkettung, und alle erweiterten Module zur Verfügung.

Auf der Anwendungsebene erfolgt schließlich der eigentliche Wissenserwerb, d.h. das Aufüllen der Wissensbasis mit konkreten Daten und Regeln.

Während für die verschiedenen Klassifizierungssysteme, die zusammen mit den unterschiedlichen Regeltypen in der Wissensbasis des Systems gespeichert sind, allgemeine Strukturen und Daten vorgegeben sind, sollen produkt- und betriebsspezifische Daten und Regeln innerhalb des Wissenserwerbs im Dialog mit dem Experten erworben oder automatisch aus verschiedenen Datenbanken entnommen werden [Davis, R., 1979].

Zur Steuerung des Wissenserwerbs dient innerhalb der Wissenserwerbskomponente das Wissensbasismodell, das die semantische und syntaktische Struktur der eigentlichen Wissensbasis des Expertensystems in Form von Untermodellen enthält.

Neben der prototypischen Darstellung aller potentiell auswertbaren Klassen und Daten, wird auch Wissen über die Art und den Inhalt der verschiedenen Regelbasen im System enthalten sein. Für ein universell einsetzbares System sind Modelle der folgenden Klassifizierungen, Daten und Regeln denkbar:

- Produktgruppen
- Baugruppen
- Funktionen und Lösungsprinzipien
- Sachmerkmale für Produkte

- Sachmerkmale für Baugruppen
- Stücklisten
- Arbeitspläne
- Rohstoffe
- Sachmerkmale und Relativkosten für Rohstoffe
- Fertigungsverfahren
- Sachmerkmale für Fertigungsverfahren
- Kalkulationsverfahren und -formeln und ihr Datenbedarf
- CAD-Daten
- Kostenrechnungsdaten
- Konstruktionsregeln
- Kalkulationsregeln
- Generierungsregeln
- Optimierungsregeln
- Fertigungsregeln
- Qualitätsregeln
- Instandhaltungsregeln

Die einzelnen Modelle können eine sehr unterschiedliche Struktur haben. Während Stücklisten- und Arbeitsplanmodelle die notwendigen Daten angeschlossener Systeme sowie Verweise auf diese Systeme beschreiben, definieren Klassifikationsmodelle die Semantik der Klassen, deren Klassifizierungsmerkmale und deren mögliche Ausprägungen. Die Beschreibung der Regelbasis gliedert sich in die Beschreibung der einzelnen Regeln und der Logik der Regelpakete. Diese kann als Basis zum Auffinden von Verstößen, wie beispielsweise Ringschlüssen, dienen. Die Wissenserwerbskomponente nutzt diese Modelle, um teilweise automatisch, teilweise interaktiv das Expertenwissen in die Wissensbasis zu integrieren. Beispielsweise kann die Produktgruppenhierarchie aus den Stücklisten und den Sachmerkmalen zu den einzelnen Produkten automatisch von der Wissenserwerbskomponente aufgebaut werden.

Für das Auffüllen der Wissens- und Regelbasis mit konkreten Daten und Regeln bzw. deren Modifikation, sollen Möglichkeiten der Aufrechterhaltung der Konsistenz und der Integrität der Wissens- und Regelbasis geboten werden.

Die verschiedenen Modelle (Wissensbasismodell, Funktionsmodell, Meta- und Koordinationsmodell) innerhalb der Wissenserwerbskomponente werden ähnlich zu der Wissensbasis der Expertensystem-Shell in objektorientierter Form gespeichert. Die Abarbeitung der einzelnen Aufgaben der Wissenserwerbskomponente wird von einer speziellen Inferenzkomponente übernommen, die mit einem Klassen- und einem Regelinterpreter arbeitet, wobei die notwendigen Interaktionen mit dem Knowledge-Engineer (in diesem Fall Experte) von einer eigenen Dialogkomponente übernommen werden. Die Methoden zur automatischen Transformation von Daten und Wissen aus externen Datenbanken sowie die Verfahren zur Überführung der logischen Strukturen der einzelnen Modelle der Wissensbasis in Objekte innerhalb der Wissensrepräsentationssprache Flavors werden in Form von Inferenzmodulen implementiert.

Somit stellt die Wissenserwerbskomponente von ihrem Aufbau und ihrer Funktionalität her ein eigenständiges Wissensbasiertes System (Expertensystem) dar (Abbildung 32).

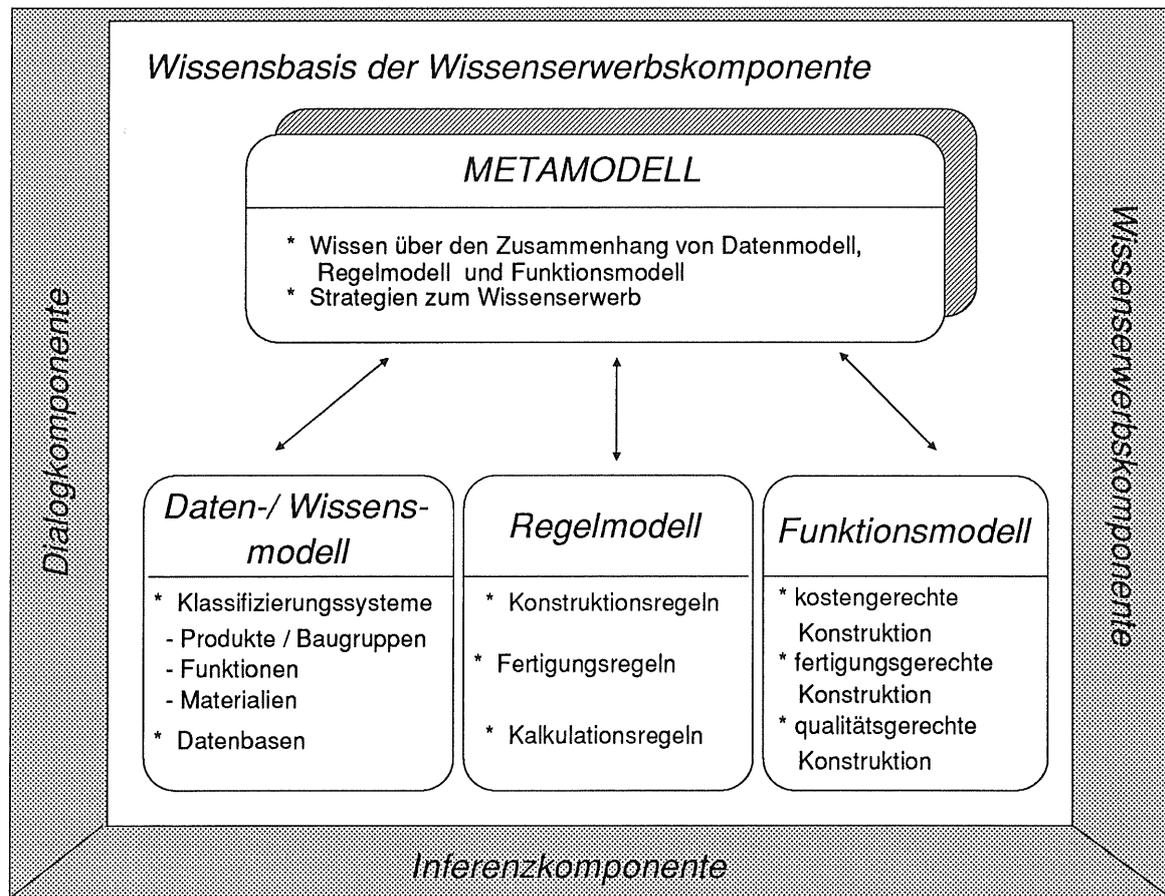


Abb. 32: Architektur der Wissenserwerbskomponente

Zusammenfassend stehen für die Feinkonzipierung und Implementierung der Wissenserwerbskomponente folgende Kriterien im Vordergrund:

- Benutzerfreundlichkeit
- menu- und grafikunterstützte Bedienoberfläche.
- grafische Darstellung der Hierarchien mit Browsingmöglichkeiten.
- automatische Transformation von Hierarchien in die interne objektorientierte Darstellung der Wissensbasis.
- wenn möglich, automatischer Aufbau von Klassifizierungen aus den Datenbeständen externer Datenbanken.
- grafische Darstellung von Ableitungsbäumen zum Austesten einer Regelbasis.
- Erweiterbarkeit:
Es soll möglich sein, daß neue Funktionen und Strategien der Inferenzkomponente und weitere Schnittstellen zu anderen Systemen einfach in das System integriert werden können.
- Anpaßbarkeit:
Da die Expertensystem-Shell als Hilfesystem für den Konstrukteur gedacht ist, soll die Wissenserwerbskomponente die Anpassung der Shell an unterschiedliche Bedürfnisse der Konstrukteure erlauben.

4.3. Untersuchung der Übertragbarkeit der Lösungsstrategien auf alternative Aufgabenschwerpunkte

Parallel zur Implementierung der Wissenserwerbskomponente sollen die bislang größtenteils für die Aufgabe "kostengerechtes Konstruieren" implementierten Module der Inferenzkomponente der Expertensystemshell auf ihre Eignung zur Lösung weiterer Aufgabenschwerpunkte untersucht werden. Dazu ist ein schrittweises Vorgehen geplant. Im ersten Schritt werden die Auswirkungen von Konstruktionsentscheidungen auf nachgelagerte Arbeitsschritte innerhalb des Produktentwicklungsprozesses ermittelt. Die Analyseergebnisse werden dann in einem weiteren Schritt dazu verwen-

det, geeignete Unterstützungsstrategien für den Konstrukteur zu konzipieren. Dazu sind folgende Fragestellungen zu bearbeiten:

- Welche Zugriffe auf Daten aus der Konstruktion nachgelagerten Abteilungen sind notwendig?
- Wie müssen die Daten und Informationen aufbereitet werden, daß diese zur Entscheidungsunterstützung im Konstruktionsprozeß verwendet werden können?
- Wie kann das oft sehr umfangreiche Fach- und Erfahrungswissen aus den verschiedenen Abteilungen im Konstruktionsprozeß verfügbar gemacht werden?
- Zu welchem Zeitpunkt innerhalb des Konstruktionsprozesses können die Daten, Informationen, Heuristiken und Regeln zur Entscheidungsunterstützung eingesetzt werden?
- Welche Komponenten oder Methoden von Anwendungssystemen, wie beispielsweise Qualitätssicherungssystemen, können verwendet werden?

In einem letzten Schritt schließlich soll die Eignung der bereits realisierten Inferenzmodule sowie der Modelle der Wissensbasis zur Bearbeitung der ermittelten Strategien getestet und nach Bedarf modifiziert oder neu implementiert werden. Diese Untersuchung soll sich auf die Basismodule und auf die erweiterten Module beziehen.

Grundsätzlich haben Konstruktionsentscheidungen Auswirkungen auf alle am Produktentwicklungsprozeß beteiligten Abteilungen. Innerhalb des Vorschungsprojektes sollen jedoch schwerpunktmäßig die aus den Abhängigkeiten resultierenden Aufgaben "montage- und fertigungsgerechte Konstruktion", "qualitätsgerechte Konstruktion" und "material- und kapazitätsgerechte Konstruktion" bearbeitet werden.

- Montage- und fertigungsgerechte Konstruktion

Die zunehmende Automatisierung der Fertigung erfordert eine immer frühzeitigere Beachtung fertigungstechnischer Anforderungen. An den Einsatz von Betriebsmitteln sind sehr häufig bestimmte Voraussetzungen bezüglich Materialien oder Ausmaßen von Baugruppen und Einzelteilen geknüpft, die in Fertigungstoleranzen enthalten sind [Meerkamm, H., Finkenwirth, K., Röse, U., 1989]. Eine weitere Forderung des fertigungsgerechten Konstruierens liegt in der Beachtung von Randbedingungen begründet, die aus der Aufeinanderfolge von Fertigungs- oder Montageschritten resultieren und in direktem Zusammenhang mit der Geometrie stehen. So

benötigt beispielsweise ein Bestückungsautomat zum Bestücken von Bauelementen auf einer Leiterplatte einen bestimmten Abstand zu benachbarten bereits gesetzten Bauelementen, um diese bei der Montage nicht zu zerstören. Indirekt spielen auch hier wieder Kosten eine Rolle, denn ein prinzipiell teureres Verfahren kann bei Losgrößen, die über einem verfahrensabhängigen Schwellwert liegen, kostengünstiger als ein billigeres Verfahren sein.

Ziel des fertigungsgerechten Konstruierens ist demnach das frühzeitige Beachten von Fertigungsrichtlinien. Voraussetzung ist die Verfügbarkeit von Kenntnissen über die relevanten Fertigungsverfahren innerhalb eines Betriebes und aller dabei einsetzbaren Betriebsmittel. Um eine genaue Aussage machen zu können, muß der Arbeitsplan generiert werden. Dabei handelt es sich um die gleiche Problemstellung wie die Arbeitsplangenerierung in der kostengerechten Konstruktion. Auch hier ist ein Ähnlichkeitsvergleich von Produkten und Arbeitsplanvarianten notwendig, wobei der genaue Arbeitsplan durch eine regelgesteuerte Modifikation erzeugt werden kann. In manchen Branchen ist dieser Vorgang nicht notwendig, da Heuristiken existieren, die Aussagen von der Geometrie auf die Fertigungsgerechtigkeit treffen, so daß kein detaillierter Arbeitsplan benötigt wird. In beiden Fällen sind Kenntnisse notwendig, die von der Geometrie und den Fertigungsverfahren auf den Einsatz von Betriebsmitteln und auf ihre Reihenfolge im Fertigungsprozeß schließen. Die eigentliche Überprüfung der Fertigungsgerechtigkeit entspricht einer typischen Diagnoseaufgabe. Um einen Fehler zu beheben, muß eine Suche nach Alternativen durchgeführt werden. Mögliche Vorschläge können in der Wahl eines anderen Fertigungsverfahrens oder eines alternativen Betriebsmittels oder in der Variation der Reihenfolge der Fertigungsverfahren liegen. Dieser Vorgang basiert auf der Klassifikation von Fertigungsverfahren. Diese dient dazu, Fertigungsverfahren oder Betriebsmittel zu finden, die den diagnostizierten Fehler beheben und dabei die gleichen Funktionen erfüllen und ähnliche technisch/physikalische Sachmerkmale besitzen.

- Qualitätsgerechte Konstruktion

Die Qualität eines Produktes ist ein wichtiger Wettbewerbsfaktor, so daß der Prüfung der Qualität und der Garantievergabe eine wichtige Rolle zukommen. Qualitätskontrollen beziehen sich auf die Materialgüte, auf eine korrekt ausgeführte Fertigung oder allgemeine Qualitätsrichtlinien. Beispiele der letzteren Form sind Regeln zum Vermeiden von Kurzschlüssen beim Platzieren von Bauelementen auf einer Lei-

terplatte. Das Einbeziehen dieser Anforderungen in der Konstruktion kann beispielsweise zu einer direkten Überprüfung von Qualitätsanforderungen, die ausschließlich auf Geometriedaten basieren, innerhalb des Konstruktionsprozesses führen.

Prüfpläne haben eine ähnliche Struktur wie Arbeitspläne. Daher sehen auch die Aufgaben der qualitätsgerechten Konstruktion ähnlich aus wie diejenigen in der fertigungsgerechten Konstruktion. Neben der direkten Überprüfung von auf geometrischen Daten basierenden Qualitätsrichtlinien kann man Prüfpläne generieren. Dazu müssen die in einem Betrieb eingesetzten Prüfverfahren nach der Art der Prüftechnik, nach Funktionen usw. klassifiziert werden.

- Material- und kapazitätsgerechte Konstruktion

Ziel der Konstruktion ist das Erstellen von Zeichnungen, in denen die geometrischen Daten des Produktes festgelegt sind. Dabei wird im Allgemeinen auch eine Stückliste erstellt, die Baugruppen und Einzelteile nach funktionalen Gesichtspunkten aufgliedert. Die in PPS-Systemen verwendete Stückliste betrachtet das Produkt nach fertigungsorientierten Aspekten, da die Bereitstellung von Materialien und Betriebsmitteln für die Fertigung im Fordergrund steht. Häufig sind beide Stücklisten sehr unterschiedlich und meist kann die Konstruktionsstückliste nur mit einem sehr großen Erfahrungswissen sowohl über die funktionalen als auch über die fertigungstechnischen Aspekte eines Produktes in die Fertigungsstückliste transformiert werden.

Stücklisten und Arbeitspläne sind die Basis des gesamten dispositiv planerischen Bereiches. Sie bestimmen den Bedarf an Eigenfertigungs- und Zukaufteilen sowie der benötigten Materialien in der Materialwirtschaft. Dieser Bedarf fließt dann in Beschaffungsaufträge innerhalb des Einkaufs und in Produktionsaufträge ein. Eine wesentliche Rolle spielt dabei der aktuelle Lagerbestand. In der Kapazitätswirtschaft wird aus den Stücklisten und Arbeitsplänen der Bedarf an Produktionseinrichtungen ermittelt, wobei das Hauptziel in einer optimalen Auslastung der Betriebsmittel liegt. Die Konstruktion entscheidet über viele Parameter, die den Entscheidungsrahmen der Sachbearbeiter an PPS-Systemen abstecken. So kann eine ungünstige Wahl des Materials zu einem Engpaß in der Beschaffung führen, wenn dieses beispielsweise auf dem Weltmarkt momentan knapp ist und auf keine Lager-

bestände zurückgegriffen werden kann. Die Wahl für ein bestimmtes Fertigungsverfahren kann bedeuten, daß überlastete Produktionseinrichtungen oder störanfällige Betriebsmittel zum Einsatz kommen müssen. Eine in diesem Sinne vorausschauende Konstruktion kann Verfügbarkeits- und Kapazitätskonflikte umgehen helfen.

Während die bisher erwähnten Aufgabenbereiche die vorhandene Betriebsdatenbank benutzen, um Historiedaten auszuwerten, hat man es hier eher mit dem Einbeziehen möglichst aktueller Daten zu tun. Diese Daten werden in der Konstruktion zu einem frühzeitigen Erkennen von Engpässen in der Beschaffung oder von Kapazitätsauslastungen herangezogen. Im einzelnen können folgende Probleme auftreten:

- Engpässe im Einkauf aufgrund einer veränderten Wirtschaftslage oder sich gewandelten Handelsbeziehungen,
- Engpässe in der Lagerhaltung oder
- erkennbare Kapazitätsauslastungen der benötigten Betriebsmittel.

Das Hilfesystem hat hier die Aufgabe, diese Konflikte zu erkennen und Vorschläge zu ihrer Behebung zu machen. So kann ein Engpaß im Einkauf in manchen Fällen durch eine Eigenfertigung umgangen werden.

Ziel der Konstruktion muß es sein, möglichst viele der beschriebenen Aspekte gleichzeitig zu beachten [Scheer, A.-W., Information Management ..., 1989]. Besondere Probleme können sich dann ergeben, wenn die Ziele gegeneinander konkurrieren. Beispielsweise kann eine Fertigung mit den höchst möglichen Qualitätsanforderungen den Einsatz der genauesten und modernsten Fertigungstechnologie erfordern. Diese Betriebsmittel sind im Allgemeinen teuer und häufig im Einsatz, so daß leicht Engpässe oder zu hohe Kosten entstehen können. Um diese aus den konkurrierenden Zielen resultierenden Konflikte zu lösen, ist das frühe Erkennen der Konflikte und die Anwendung von Wissen über globale betriebsspezifische Strategien und Lösungsmöglichkeiten notwendig.

Literatur

Arnold, R., Bauer, C.:

Qualität in Entwicklung und Konstruktion, Organisation - Maßnahmen, 2.Auflage, Praxiswissen für Ingenieure - Konstruktion, Verlag TÜV Rheinland 1990.

Ahlers, J., Gröner, L., Mattheis, P.:

Konstruktionsbegleitende Kalkulation im Rahmen des Computer Aided Design, Studie des Instituts für Wirtschaftsinformatik für die Siemens AG 1986.

Bock, M., Bock, R., Scheer, A.-W.:

Konzeption eines Rahmensystems für einen universellen Konstruktionsberater, in: Information Management 5(1990)1, IDG Communications Verlag 1990.

Bennett, J., S.:

ROGET: A Knowledge Based System for Acquiring the Conceptual Structure of a Diagnostic Expert System, Journal of Automated Reasoning 1, (D. Reidel Publishing Company) 1985.

Davis, R.:

Interactive Transfer of Expertise: Acquisition of New Rules, Artificial Intelligence, Vol.12, 1979.

Scheer, A.-W.:

Information Management bei der Produktentwicklung, in: Information Management, 4(1989)3, S. 6-11, 1989.

Scheer, A.-W.:

EDV-orientierte Betriebswirtschaftslehre, 4. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1990.

Scheer, A.-W., Bock, M., Bock, R.:

Konstruktionsbegleitende Kalkulation in CIM-Systemen aus betriebswirtschaftlicher Sicht, in: Männel, W.: Perspektiven, Führungskonzepte und Instrumente der Anlagenwirtschaft, Schriftenreihe Anlagenwirtschaft, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1989.

Scheer, A.-W., Keller, G., Bartels, R.:

Organisatorische Konsequenzen des Einsatzes von Computer Aided Design (CAD) im Rahmen von CIM, Veröffentlichungen des Institutes für Wirtschaftsinformatik, Nr. 61, Saarbrücken 1989.

Shah, J.,J., Rogers, R., T.:

Expert form features modelling Shell, in: Computer-Aided Design, vol. 20, number 9, 1988.

Strnard, H., Vorath, B., J.:

Sicherheitsgerechtes Konstruieren, TÜV Rheinland Verlag, Köln 1984.

Spur, G.:

Wissensbasiertes Konstruieren, in: ZwFCIM 85 (1990) 5, Carl Hanser Verlag, München 1990.

VDI-Richtlinie 2222: Konstruktionsmethodik, Düsseldorf 1977.

Davis, R.:

TEIRESIAS: Application of Meta-Level Knowledge, in: Davis, R., Lenat, D.: Knowledge-Based Systems in Artificial Intelligence, McGraw-Hill, New York 1981.

Ehrlenspiel, K.:

Kostengünstiges Konstruieren, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1985.

Eversheim, W., Sossenheimer, K., H., Saretz, B.:

Simultaneous Engineering, in: Industrie-Anzeiger 64/1989.

Lewandowski, K.:

Instandhaltungsgerechte Konstruktion, Schriftenreihe Instandhaltung, TÜV Rheinland Verlag, Köln 1985.

Meerkamm, H., Finkenwirth, K., Röse, U.:

Fertigungsgerechtes Konstruieren mit CAD, Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED'88, Budapest, August 1988.

Moritzen, K.:

Montagegerechtes Entwerfen mit wissensbasierten Systemen, in: ZwFCIM 85 (1990) 5, Carl Hanser Verlag, München 1990.

Scheer, A.-W.:

Konstruktionsbegleitende Kalkulation in CIM-Systemen, Veröffentlichung des Institutes für Wirtschaftsinformatik, Nr. 50, Saarbrücken 1985.

Scheer, A.-W.:

CIM - Der computergesteuerte Industriebetrieb, 4. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1989.

Die Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik (IWi) im Institut für empirische Wirtschaftsforschung an der Universität des Saarlandes erscheinen in unregelmäßiger Folge.

* Die Hefte 1 - 31 werden nicht mehr verlegt.

- Heft 32: A.-W. Scheer: Einfluß neuer Informationstechnologien auf Methoden und Konzepte der Unternehmensplanung, März 1982, Vortrag anläßlich des Anwendergespräches "Unternehmensplanung und Steuerung in den 80er Jahren in Hamburg vom 24. - 25.11.1981
- Heft 33: A.-W. Scheer: Dispositon- und Bestellwesen als Baustein zu integrierten Warenwirtschaftssystemen, März 1982, Vortrag anläßlich des gdi-Seminars "Integrierte Warenwirtschafts-Systeme" in Zürich vom 10. - 12. Dezember 1981
- Heft 34: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert: EPSOS - Ein Ansatz zur Entwicklung prüfungsgerechter Software-Systeme, Mai 1982
- Heft 35: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert: EPSOS-D, Konzept einer computergestützten Prüfungsumgebung, Juli 1982
- Heft 36: A.-W. Scheer: Rationalisierungserfolge durch Einsatz der EDV - Ziel und Wirklichkeit, August 1982, Vortrag anläßlich der 3. Saarbrücker Arbeitstagung "Rationalisierung" in Saarbrücken vom 04. - 06. 10.1982
- Heft 37: A.-W. Scheer: DV-gestützte Planungs- und Informationssysteme im Produktionsbereich, September 1982
- Heft 38: A.-W. Scheer: Interaktive Methodenbanken: Benutzerfreundliche Datenanalyse in der Marktforschung, Mai 1983
- Heft 39: A.-W. Scheer: Personal Computing - EDV-Einsatz in Fachabteilungen, Juni 1983
- Heft 40: A.-W. Scheer: Strategische Entscheidungen bei der Gestaltung EDV-gestützter Systeme des Rechnungswesens, August 1983, Vortrag anläßlich der 4. Saarbrücker Arbeitstagung "Rechnungswesen und EDV" in Saarbrücken vom 26. - 28.09.1983
- Heft 41: H. Krcmar: Schnittstellenprobleme EDV-gestützter Systeme des Rechnungswesens, August 1983, Vortrag anläßlich der 4. Saarbrücker Arbeitstagung "Rechnungswesen und EDV" in Saarbrücken vom 26. - 28.09.1983
- Heft 42: A.-W. Scheer: Factory of the Future, Vorträge im Fachausschuß "Informatik in Produktion und Materialwirtschaft" der Gesellschaft für Informatik e. V., Dezember 1983
- Heft 43: A.-W. Scheer: Einführungsstrategie für ein betriebliches Personal-Computer-Konzept, März 1984
- Heft 44: A.-W. Scheer: Schnittstellen zwischen betriebswirtschaftlicher und technische Datenverarbeitung in der Fabrik der Zukunft, Juli 1984
- Heft 45: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert: EPSOS-D, Ein Werkzeug zur Messung der Qualität von Software-Systemen, August 1984
- Heft 46: H. Krcmar: Die Gestaltung von Computer am-Arbeitsplatz-Systemen - ablauforientierte Planung durch Simulation, August 1984
- Heft 47: A.-W. Scheer: Integration des Personal Computers in EDV-Systeme zur Kostenrechnung, August 1984

- Heft 48: A.-W. Scheer: Kriterien für die Aufgabenverteilung in Mikro-Mainframe Anwendungssystemen, April 1985
- Heft 49: A.-W. Scheer: Wirtschaftlichkeitsfaktoren EDV-orientierter betriebswirtschaftlicher Problemlösungen, Juni 1985
- Heft 50: A.-W. Scheer: Konstruktionsbegleitende Kalkulation in CIM-Systemen, August 1985
- Heft 51: A.-W. Scheer: Strategie zur Entwicklung eines CIM-Konzeptes - Organisatorische Entscheidungen bei der CIM-Implementierung, Mai 1986
- Heft 52: P. Loos, T. Ruffing: Verteilte Produktionsplanung und -steuerung unter Einsatz von Mikrocomputern, Juni 1986
- Heft 53: A.-W. Scheer: Neue Architektur für EDV-Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung, Juli 1986
- Heft 54: U. Leismann, E. Sick: Konzeption eines Bildschirmtext-gestützten Warenwirtschaftssystems zur Kommunikation in verzweigten Handelsunternehmungen, August 1986
- Heft 55: D. Steinmann: Expertensysteme (ES) in der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) unter CIM-Aspekten, November 1987, Vortrag anlässlich der Fachtagung "Expertensysteme in der Produktion" am 16. und 17.11.1987 in München
- Heft 56: A.-W. Scheer: Enterprise wide Data Model (EDM) as a Basis for Integrated Information Systems, Juli 1988
- Heft 57: A.-W. Scheer: Present Trends of the CIM Implementation (A qualitative Survey) Juli 1988
- Heft 58: A.-W. Scheer: CIM in den USA - Stand der Forschung, Entwicklung und Anwendung, November 1988
- Heft 59: R. Herterich, M. Zell: Interaktive Fertigungssteuerung teilautonomer Bereiche, November 1988
- Heft 60: A.-W. Scheer, W. Kraemer: Konzeption und Realisierung eines Expertenunterstützungssystems im Controlling, Januar 1989
- Heft 61: A.-W. Scheer, G. Keller, R. Bartels: Organisatorische Konsequenzen des Einsatzes von Computer Aided Design (CAD) im Rahmen von CIM, Januar 1989
- Heft 62: M. Zell, A.-W. Scheer: Simulation als Entscheidungsunterstützungsinstrument in CIM, September 1989
- Heft 63: A.-W. Scheer: Unternehmens-Datenbanken - Der Weg zu bereichsübergreifenden Datenstrukturen, September 1989
- Heft 64: C. Berkau, W. Kraemer, A.-W. Scheer: Strategische CIM-Konzeption durch Eigenentwicklung von CIM-Modulen von Standardsoftware, Dezember 1989
- Heft 65: A. Hars, A.-W. Scheer: Entwicklungsstand von Leitständen^[1], Dezember 1989
- Heft 66: W. Jost, G. Keller, A.-W. Scheer: CIMAN - Konzeption eines DV-Tools zur Gestaltung einer CIM-orientierten Unternehmensarchitektur, März 1990

- Heft 67: A.-W. Scheer: Modellierung betriebswirtschaftlicher Informationssysteme (Teil 1: Logisches Informationsmodell), März 1990
- Heft 68: W. Krämer: Einsatzmöglichkeiten von Expertensystemen in betriebswirtschaftlichen Anwendungsgebieten, März 1990
- Heft 69: A.-W. Scheer, R. Bartels, G. Keller: Konzeption zur personalorientierten CIM-Einführung, April 1990
- Heft 70: K. Ibach, St. Spang: Zum Entwicklungsstand von Marketing-Informationssystemen in der Bundesrepublik Deutschland, September 1990
- Heft 71: D. Aue, M. Baresch, G. Keller: **URMEL**, Ein **UnteRnehmensModELL**ierungsansatz, Oktober 1990
- Heft 72: M. Zell: Datenmanagement simulationsgestützter Entscheidungsprozesse am Beispiel der Fertigungssteuerung, November 1990
- Heft 73: A.-W. Scheer, M. Bock, R. Bock: Expertensystem zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation, November 1990

Die Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik (IWi) im Institut für empirische Wirtschaftsforschung an der Universität des Saarlandes erscheinen in unregelmäßiger Folge.

* Die Hefte 1 - 31 werden nicht mehr verlegt.

- Heft 32: A.-W. Scheer: Einfluß neuer Informationstechnologien auf Methoden und Konzepte der Unternehmensplanung, März 1982, Vortrag anläßlich des Anwendergespräches "Unternehmensplanung und Steuerung in den 80er Jahren in Hamburg vom 24. - 25.11.1981
- Heft 33: A.-W. Scheer: Disposition- und Bestellwesen als Baustein zu integrierten Warenwirtschaftssystemen, März 1982, Vortrag anläßlich des gdi-Seminars "Integrierte Warenwirtschafts-Systeme" in Zürich vom 10. - 12. Dezember 1981
- Heft 34: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert: EPSOS - Ein Ansatz zur Entwicklung prüfungsgerechter Software-Systeme, Mai 1982
- Heft 35: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert: EPSOS-D, Konzept einer computergestützten Prüfungsumgebung, Juli 1982
- Heft 36: A.-W. Scheer: Rationalisierungserfolge durch Einsatz der EDV - Ziel und Wirklichkeit, August 1982, Vortrag anläßlich der 3. Saarbrücker Arbeitstagung "Rationalisierung" in Saarbrücken vom 04. - 06. 10.1982
- Heft 37: A.-W. Scheer: DV-gestützte Planungs- und Informationssysteme im Produktionsbereich, September 1982
- Heft 38: A.-W. Scheer: Interaktive Methodenbanken: Benutzerfreundliche Datenanalyse in der Marktforschung, Mai 1983
- Heft 39: A.-W. Scheer: Personal Computing - EDV-Einsatz in Fachabteilungen, Juni 1983
- Heft 40: A.-W. Scheer: Strategische Entscheidungen bei der Gestaltung EDV-gestützter Systeme des Rechnungswesens, August 1983, Vortrag anläßlich der 4. Saarbrücker Arbeitstagung "Rechnungswesen und EDV" in Saarbrücken vom 26. - 28.09.1983
- Heft 41: H. Krcmar: Schnittstellenprobleme EDV-gestützter Systeme des Rechnungswesens, August 1983, Vortrag anläßlich der 4. Saarbrücker Arbeitstagung "Rechnungswesen und EDV" in Saarbrücken vom 26. - 28.09.1983
- Heft 42: A.-W. Scheer: Factory of the Future, Vorträge im Fachausschuß "Informatik in Produktion und Materialwirtschaft" der Gesellschaft für Informatik e. V., Dezember 1983
- Heft 43: A.-W. Scheer: Einführungsstrategie für ein betriebliches Personal-Computer-Konzept, März 1984
- Heft 44: A.-W. Scheer: Schnittstellen zwischen betriebswirtschaftlicher und technische Datenverarbeitung in der Fabrik der Zukunft, Juli 1984

- Heft 45: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert: EPSOS-D, Ein Werkzeug zur Messung der Qualität von Software-Systemen, August 1984
- Heft 46: H. Krcmar: Die Gestaltung von Computer am-Arbeitsplatz-Systemen - ablauforientierte Planung durch Simulation, August 1984
- Heft 47: A.-W. Scheer: Integration des Personal Computers in EDV-Systeme zur Kostenrechnung, August 1984
- Heft 48: A.-W. Scheer: Kriterien für die Aufgabenverteilung in Mikro-Mainframe Anwendungssystemen, April 1985
- Heft 49: A.-W. Scheer: Wirtschaftlichkeitsfaktoren EDV-orientierter betriebswirtschaftlicher Problemlösungen, Juni 1985
- Heft 50: A.-W. Scheer: Konstruktionsbegleitende Kalkulation in CIM-Systemen, August 1985
- Heft 51: A.-W. Scheer: Strategie zur Entwicklung eines CIM-Konzeptes - Organisatorische Entscheidungen bei der CIM-Implementierung, Mai 1986
- Heft 52: P. Loos, T. Ruffing: Verteilte Produktionsplanung und -steuerung unter Einsatz von Mikrocomputern, Juni 1986
- Heft 53: A.-W. Scheer: Neue Architektur für EDV-Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung, Juli 1986
- Heft 54: U. Leismann, E. Sick: Konzeption eines Bildschirmtext-gestützten Warenwirtschaftssystems zur Kommunikation in verzweigten Handelsunternehmungen, August 1986
- Heft 55: D. Steinmann: Expertensysteme (ES) in der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) unter CIM-Aspekten, November 1987, Vortrag anlässlich der Fachtagung "Expertensysteme in der Produktion" am 16. und 17.11.1987 in München
- Heft 56: A.-W. Scheer: Enterprise wide Data Model (EDM) as a Basis for Integrated Information Systems, Juli 1988
- Heft 57: A.-W. Scheer: Present Trends of the CIM Implementation (A qualitative Survey) Juli 1988
- Heft 58: A.-W. Scheer: CIM in den USA - Stand der Forschung, Entwicklung und Anwendung, November 1988
- Heft 59: R. Herterich, M. Zell: Interaktive Fertigungssteuerung teilautonomer Bereiche, November 1988
- Heft 60: A.-W. Scheer, W. Kraemer: Konzeption und Realisierung eines Expertenunterstützungssystems im Controlling, Januar 1989

- Heft 61: A.-W. Scheer, G. Keller, R. Bartels: Organisatorische Konsequenzen des Einsatzes von Computer Aided Design (CAD) im Rahmen von CIM, Januar 1989
- Heft 62: M. Zell, A.-W. Scheer: Simulation als Entscheidungsunterstützungsinstrument in CIM, September 1989
- Heft 63: A.-W. Scheer: Unternehmens-Datenbanken - Der Weg zu bereichsübergreifenden Datenstrukturen, September 1989
- Heft 64: C. Berkau, W. Kraemer, A.-W. Scheer: Strategische CIM-Konzeption durch Eigenentwicklung von CIM-Modulen und Einsatz von Standardsoftware, Dezember 1989
- Heft 65: A. Hars, A.-W. Scheer: Entwicklungsstand von Leitständen^[1], Dezember 1989
- Heft 66: W. Jost, G. Keller, A.-W. Scheer: CIMAN - Konzeption eines DV-Tools zur Gestaltung einer CIM-orientierten Unternehmensarchitektur, März 1990
- Heft 67: A.-W. Scheer: Modellierung betriebswirtschaftlicher Informationssysteme (Teil 1: Logisches Informationsmodell), März 1990
- Heft 68: W. Kraemer: Einsatzmöglichkeiten von Expertensystemen in betriebswirtschaftlichen Anwendungsgebieten, März 1990
- Heft 69: A.-W. Scheer, R. Bartels, G. Keller: Konzeption zur personalorientierten CIM-Einführung, April 1990
- Heft 70: St. Spang, K. Ibach: Zum Entwicklungsstand von Marketing-Informationssystemen in der Bundesrepublik Deutschland, September 1990
- Heft 71: D. Aue, M. Baresch, G. Keller: **URMEL**, Ein Unternehmens**MODEL**lierungsansatz, Oktober 1990
- Heft 72: M. Zell: Datenmanagement simulationsgestützter Entscheidungsprozesse am Beispiel der Fertigungssteuerung, November 1990
- Heft 73: A.-W. Scheer, M. Bock, R. Bock: Expertensystem zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation, November 1990