

Nr. 50

A.-W. Scheer

**Konstruktionsbegleitende
Kalkulation in CIM-Systemen**

August 1985

Gliederung

- A. Integration betriebswirtschaftlicher und technischer Funktionen als zentraler Bestandteil des Computer Integrated Manufacturing (CIM)
 - I. Komponenten des Computer Integrated Manufacturing
 - a) Produktionsplanung und -steuerung (PPS)
 - b) Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM)
 - c) Datenbeziehungen
 - II. Stand der Integration

- B. Die Konstruktion als Entscheidungszentrum über Produktkosten
 - I. Aufgaben der Konstruktion
 - II. Kostenrelevante Entscheidungsalternativen im Bereich der Konstruktion
 - a) ... bei konventioneller organisatorischer Gliederung zwischen Konstruktion und Arbeitsvorbereitung
 - b) ... bei organisatorischer Integration von Konstruktion und Arbeitsvorbereitung

- C. Verfahren der konstruktionsbegleitenden Kalkulation
 - I. Übersicht
 - II. Kalkulationsverfahren
 - a) Pauschale Kalkulationsverfahren
 - 1. Kenngrößen
 - 2. Kalkulation aufgrund von Ähnlichkeiten
 - b) Analytische Kalkulationsverfahren
 - 1. Kalkulation anhand von Geometriedaten
 - 2. Kalkulation anhand von Fertigungsgrunddaten

- D. Architektur eines Systems zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation in einer CIM-Umgebung

- E. Zusammenfassung

A. Integration betriebswirtschaftlicher und technischer Funktionen als zentraler Bestandteil von CIM

Unter Computer Integrated Manufacturing (CIM) wird die Integration betriebswirtschaftlicher und technischer Datenverarbeitungssysteme verstanden. Integration bedeutet, daß alle Funktionen aufeinander aufbauen und eine logisch einheitliche Datenorganisation besteht. Dieses beinhaltet z.B., daß Daten möglichst redundanzfrei verwaltet werden und Datenänderungen, die an einem Arbeitsplatz erfaßt werden, sofort auch an anderen Arbeitsplätzen zur Verfügung stehen.

Neben der Datenintegration wird auch eine Funktionsintegration angestrebt. Unter Funktionsintegration wird verstanden, daß die stärkere Unterstützung des Sachbearbeiters durch Instrumente der Informationstechnologie den Funktionsumfang seines Arbeitsplatzes erweitern kann. Dieses bedeutet konkret, daß eine größere Anzahl von Teilfunktionen einer arbeitsteilig gegliederten Vorgangskette an Arbeitsplätzen reintegriert werden kann.

Die wesentlichen Vorteile einer integrierten Datenverarbeitung liegen in einer starken Beschleunigungsmöglichkeit von Vorgängen, da Übergangszeiten zwischen der Weitergabe von Informationen durch Nutzung einer gemeinsamen Datenbasis weitgehend entfallen. Das gleiche wird auch durch eine stärkere Integration von Teilfunktionen an Arbeitsplätzen erzielt, da bei einer einheitlichen Bearbeitungsweise Übergangszeiten zwischen den Teilschritten nicht mehr auftreten. Gleichzeitig entfallen bei einer Funktionsintegration Einarbeitungszeiten an den einzelnen Teilschritten. In Abb. 1 ist die grundsätzliche Wirkungsweise für eine arbeitsteilig gegliederte Kette sowie für eine daten- und funktionsintegrierte Kette dargestellt.

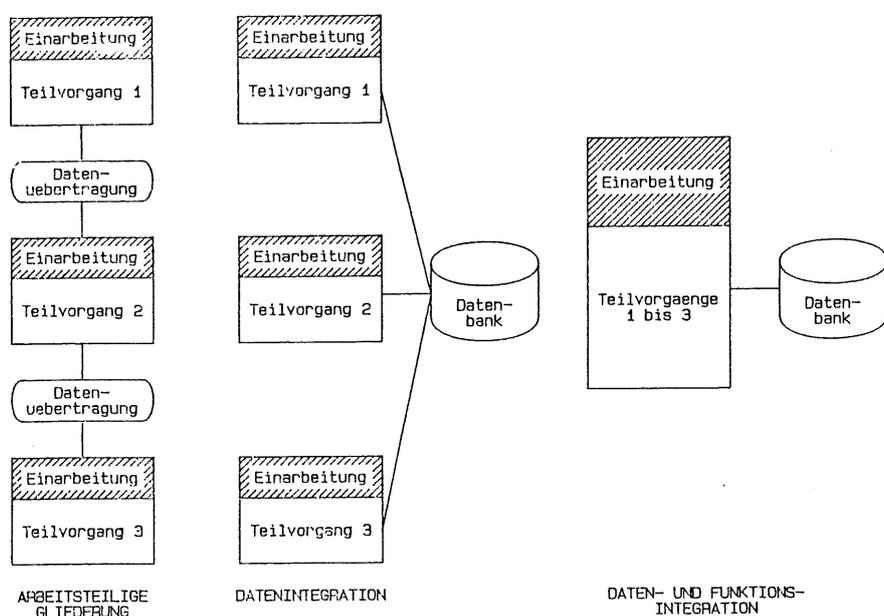


Abb. 1: Integrationsstufen von Vorgangsketten

I. Komponenten des Computer Integrated Manufacturing

Das Computer Integrated Manufacturing besteht aus dem mehr betriebswirtschaftlich-planerisch orientierten Produktionsplanungs- und -steuerungssystem (PPS) und dem mehr technisch orientierten Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM)-System (vgl. Abb. 2).

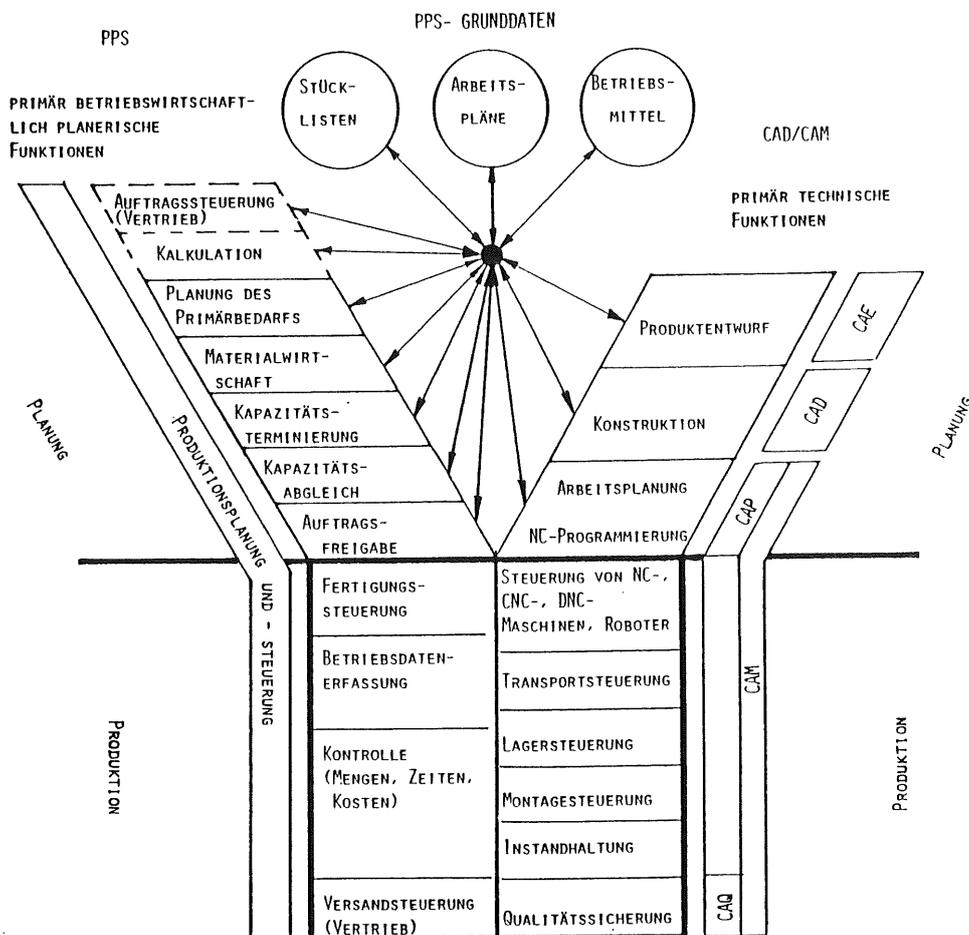


Abb. 2: Informationssysteme im Produktionsbereich

a) Produktionsplanung und -steuerung (PPS)

EDV-Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung werden seit 20 Jahren in integrierter Form eingesetzt. Sie reichen von der Unterstützung der Auftragsbearbeitung über die Planung des Primärbedarfs für Enderzeugnisse, die Materialwirtschaft, die Zeitwirtschaft bis zur Auftragsfreigabe, in der anstehende Produktionsaufträge nach Prüfung der Verfügbarkeit von Material, Werkzeugen und Komponenten für die Fertigung freigegeben werden.

Im Rahmen der kurzfristig orientierten Fertigungssteuerung werden Reihenfolgeoptimierungen durchgeführt. Im Rahmen der Betriebsdatenerfassung werden Ist-Werte über Auf-

träge, Betriebsmittel und Arbeitskräfte als Grundlage kurzfristiger Steuerungsaktivitäten erhoben. Nach Abschluß der Fertigungsaufträge werden die Endprodukte wiederum dem Vertrieb zum Versand übergeben.

Die genannten Planungsstufen bauen aufeinander auf. Sie werden in vielen Standardsystemen von einer einheitlichen Datenbasis begleitet. PPS-Systeme haben Schrittmacherdienste beim Einsatz von Datenbanksystemen geleistet.

b) Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM)

Unter Computer Aided Engineering (CAE) und Computer Aided Design (CAD) werden die Unterstützung von Entwurf und Konstruktion verstanden. Hierzu zählen die Verwaltung von Zeichnungen und deren Erstellung an speziellen Grafikarbeitsplätzen im Dialog.

Das Computer Aided Manufacturing beschreibt die computergestützte Fertigung auf maschinennaher Ebene. Hierzu zählen die Steuerung von Werkzeugmaschinen, Robotern, Transportanlagen und Lagereinrichtungen.

Die Integration von CAD/CAM bedeutet, daß die bei der Zeichnungserstellung anfallenden Geometriedaten direkt in Steuerungsanweisungen (NC-Programme) für Produktionsanlagen umgesetzt werden. Hierbei müssen meist Zwischenschritte durch Einsatz von Pre- und Postprozessoren durchgeführt werden, um ein zunächst in einer allgemeingültigen Programmiersprache entwickeltes Steuerungsprogramm auf speziellen Produktionsanlagen einsetzen zu können.

c) Datenbeziehungen

Obwohl in Theorie und Anwendung die beiden Informationssysteme zunächst isoliert entwickelt worden sind, bestehen enge Datenverflechtungen zwischen dem mehr betriebswirtschaftlich orientierten Planungsbereich und dem technischen EDV-System. Die wesentlichen Datenflüsse zwischen Teilfunktionen dieser Informationssysteme sind in Abb. 3 und 4 angegeben. Gleichzeitig ist eingetragen, welche Entscheidungen in den einzelnen Planungsstufen zu treffen sind, um dadurch die Bedeutung der Daten als Grundlage für Entscheidungen des jeweils anderen Informationsbereiches deutlich werden zu lassen.

Eine elementare Datenbeziehung zwischen PPS und CAD/CAM ist die Verwaltung von Stücklisteninformationen. Mit der Konstruktion eines Teils durch Festlegung der Geometrie in Form von Zeichnungen wird auch die Strukturbeziehung zwischen Komponenten und dem zu konstruierenden Objekt dargestellt, die Grundlage einer einstufigen Stücklistenbeziehung sind. Diese Datenverbindungen werden häufig als zentraler Verknüpfungspunkt zwischen CAD/CAM und PPS genannt. Daneben werden aber aus entschei-

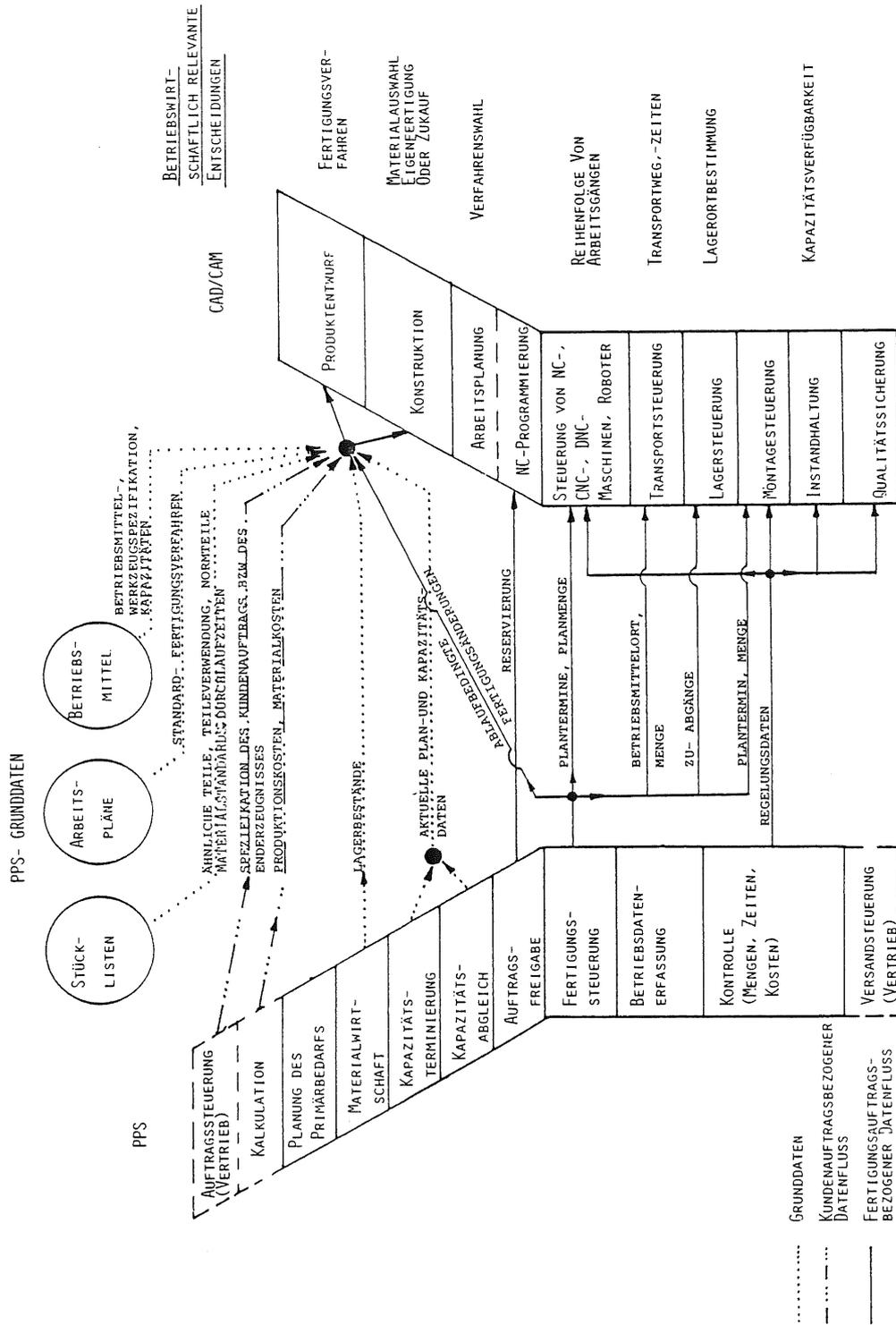


Abb. 3: Datenfluß: PPS zu CAD/CAM

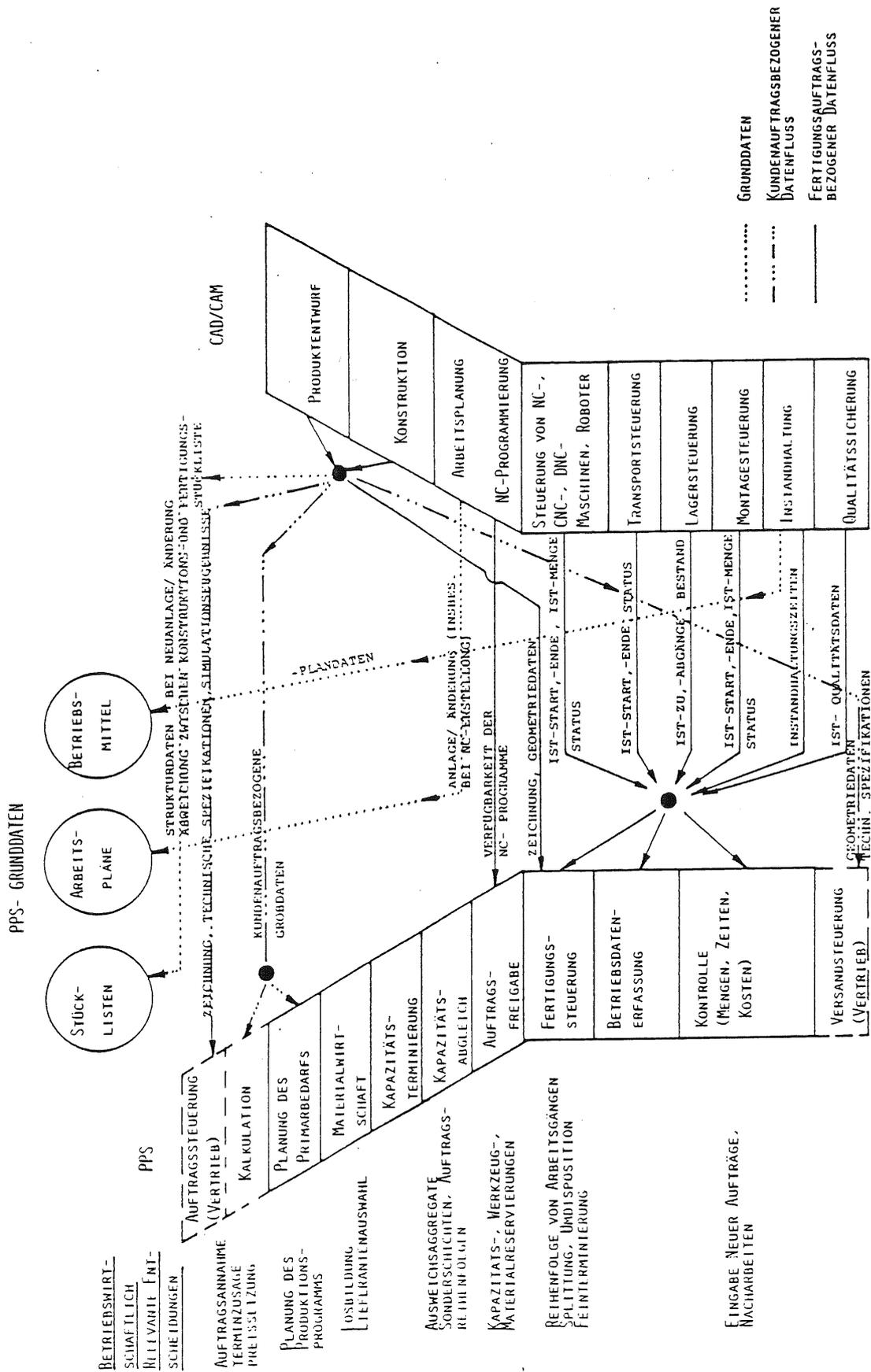


Abb. 4: Datenfluß: CAD/CAM zu PPS

dungsbezogener Sicht weitere Datenbeziehungen sichtbar. Beispielsweise müssen in Konstruktionsvorgänge Informationen über Verfügbarkeiten aus Materialwirtschaft und Zeitwirtschaft einfließen, wenn eilbedürftige Aufträge konstruiert werden.

Aber auch der umgekehrte Datenfluß aus Richtung CAD/CAM zu PPS ist wesentlich. Beispielsweise werden im Rahmen von Betriebsdatenerfassungssystemen immer mehr Daten aus Produktionsanlagen durch automatische Informationsgeber übernommen.

II. Stand der Integration

Obwohl aus daten- und entscheidungsorientierter Sicht enge Beziehungen zwischen den beiden Informationssystemen bestehen, ist der Stand der Integration gegenwärtig noch nicht befriedigend. In Abb. 5 sind einzelne Stufen der Integration dargestellt. In Stufe 1 wird lediglich ein organisatorischer Zusammenhang hergestellt, indem von einem Arbeitsplatz (z.B. in Konstruktion oder Arbeitsvorbereitung) mit zwei getrennten Terminals auf beide Systeme zugegriffen werden kann.

In der Stufe 2 wird durch Ausnutzung der Eigenschaften von Mikrocomputern als offene Systeme eine Verknüpfung hergestellt, indem der Mikrocomputer mit beiden Systemen verbunden wird. Durch Nutzung der Fenstertechnik sowie der verschiedenen Hardware-Schnittstellen kann eine Integration bis hin zum Datenaustausch durchgeführt werden, ohne daß die Basissysteme selbst verändert werden müssen.

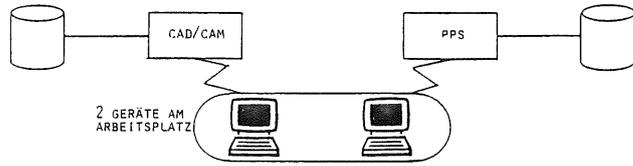
In der dritten Stufe wird eine Dateischnittstelle zwischen beiden Systemen aufgebaut. Hierzu muß allerdings das datenspendende System und/oder das datenempfangende System geändert werden. Die Übergabe von Datensätzen kann dabei auch im "quasi"-Dialog stattfinden. Allerdings bereitet diese Schnittstelle erhebliche Schwierigkeiten, da eine einheitliche Datenintegrität über beide Systeme gewährleistet werden muß. Dieser Fall wird gegenwärtig von einer Reihe von Software- und Hardware-Anbietern als wesentliche Verknüpfungsmöglichkeit verfolgt.

Die gemeinsame Nutzung einer einheitlichen Datenbasis der Stufe 4 stößt auf Schwierigkeiten, weil zur Zeit beide Informationssysteme in der Regel unterschiedliche Organisationsformen der Daten benutzen und dieses z.T. auch auf unterschiedlicher Hardware.

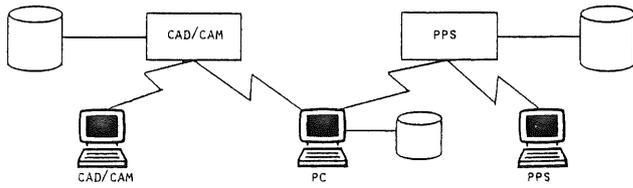
Die fünfte und höchste Stufe der Integration sieht vor, daß beide Systeme nicht nur auf eine gleiche Datenbasis zugreifen, sondern darüber hinaus auch direkt miteinander kommunizieren. Dieses bedeutet z.B., daß der Dialogprozeß eines Systems einen anderen Dialogprozeß des anderen Systems aufruft, das Ergebnis der gestarteten Transaktion abwartet und nach Übernahme der Ergebnisdaten die eigene Transaktion fortsetzt. Eine solche Anwendungs-zu-Anwendungs-Integration ist aber aufgrund der historisch gewachsenen getrennten

Entwicklung beider Systemrichtungen z.Z. nicht gegeben.

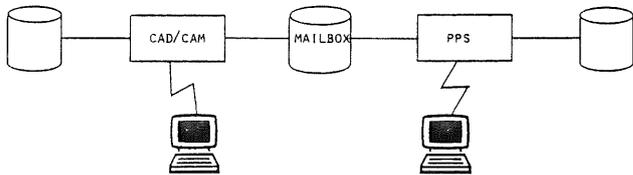
1. STUFE:
ORGANISATORISCHE VERBINDUNG
EDV - TECHNISCH UNVERBUNDENER
SYSTEME



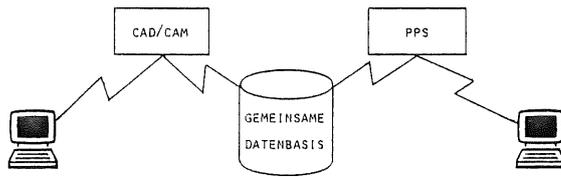
2. STUFE:
INTEGRATION DER UNVERBUNDENEN
SYSTEME DURCH TOOLS
(PC, QUERY, ...)



3. STUFE:
DATEITRANSFER ZWISCHEN
DEN SYSTEMEN



4. STUFE:
GEMEINSAME DATENBASIS
DER SYSTEME



5. STUFE:
ANWENDUNG- ANWENDUNG-
BEZIEHUNG DURCH
PROGRAMMINTEGRATION

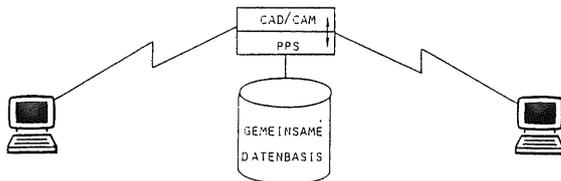


Abb. 5: Integrationsgrade und -möglichkeiten

und zur Suche kostengünstigerer Alternativen anzuregen.

Durch den zunehmenden Einsatz von computerunterstützten Systemen in Konstruktion und Fertigung (CAD/CAM) wird der Einfluß der Konstruktion auf die Festlegung der Kosten noch erhöht.

Im folgenden wird der Frage nachgegangen, über welche Einflußgrößen die Konstruktion auf Kostenstrukturen einwirken kann. Dabei wird zunächst von der klassischen Aufteilung zwischen Konstruktion und Arbeitsvorbereitung ausgegangen. In einem zweiten Schritt werden die organisatorischen Konsequenzen einer integrierten CAD/CAM-Umgebung auf die Beeinflussungsmöglichkeiten der Kosten aufgezeigt.

I. Aufgaben der Konstruktion

Aufgabe der Konstruktion ist der Entwurf neuer Erzeugnisse bzw. die Änderung bestehender Erzeugnisse. Hierzu werden verschiedene Entwurfstechniken eingesetzt, wie sie z.B. in Standardwerken der Konstruktionslehre (vgl. Hansen, 1968 u. 1974, Pahl/Beitz, 1977, Rodenacker, 1976) dargestellt sind. Die einzelnen Aufgaben der Konstruktion sind in der VDI-Richtlinie, VDI 2222, Bl. 1, Konstruktionsmethodik, festgelegt. Das gesamte Aufgabengebiet kann in eine Konzipierungsphase und eine Entwurfsphase, in denen die kreativen Fähigkeiten vorherrschen, und in eine Ausführungsphase, in der die Geometriedaten zur Beschreibung des entworfenen Produktes detailliert definiert werden, unterteilt werden. Zur Darstellung der Geometrie werden Zeichnungen verwandt. Ein Beispiel ist in Abb. 6 angegeben.

Neben der Darstellung der Geometrie sind auf der Zeichnung auch Angaben über besondere Fertigungsanforderungen, z.B. hinsichtlich Toleranzen oder Oberflächengüten, sowie die benötigten Werkstoffspezifikationen angegeben.

II. Kostenrelevante Entscheidungsalternativen im Bereich der Konstruktion

Die Festlegung der Gestalt des zu konstruierenden Werkstückes durch Geometriedaten sowie die Definition von Fertigungsanforderungen und Materialanforderungen bestimmen in hohem Maße die konkrete Fertigung des Werkstückes und damit dessen Kosten (vgl. Abb. 7). Dabei werden alle relevanten Kostenarten der Fertigung wie Materialkosten, Betriebsmittelkosten, Lohnkosten und Sondereinzelkosten der Fertigung berührt.

Mit Festlegung der Materialanforderungen sowie der Spezifikationen bestimmter Oberflächengüte werden der einzusetzende Rohstoff und die dafür benötigten Vorarbeiten (z.B. zur Anfertigung eines Rohlinges) bestimmt. Gleichzeitig kann hierbei auch bereits vorbestimmt sein, ob eine Komponente, die der Konstrukteur innerhalb einer komplexeren

B. Die Konstruktion als Entscheidungszentrum über Produktkosten

Während die Kosten der Konstruktion lediglich einen kleinen Prozentsatz innerhalb der Gesamtkosten eines Produktes ausmachen, wird nach übereinstimmender Aussage der Fachliteratur und empirischen Untersuchungen im Rahmen der Konstruktion der überwiegende Anteil der Kosten (man spricht von 70 bis 80 %) festgelegt. Dieses geschieht, wie noch im einzelnen gezeigt wird, indem die Wahl zwischen Eigenfertigung und Fremdbezug von Komponenten durch die Konstruktion vorbestimmt wird, das Fertigungsverfahren über die Definition entsprechender Fertigungsanforderungen bestimmt sowie der Materialeinsatz durch Vorgabe von Spezifikationen festgelegt werden.

Mit diesem hohen Prozentsatz der Kostenfestlegung ist allerdings noch nicht automatisch zu verbinden, daß im Bereich der Konstruktion über Anfall oder Nichtanfall dieser Kosten frei entschieden werden kann. Dieses ist vielmehr eine Frage der Freiheitsgrade bzw. der Entscheidungsalternativen, die in diesem Bereich gegeben sind. Aber auch hier zeigt sich, daß tendenziell mehr Freiheitsgrade im Bereich von Konstruktion und Entwicklung gegeben sind als in den mehr betriebswirtschaftlich orientierten Planungs- und Dispositionsfunktionen der Material- und Zeitwirtschaft. Während im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung hauptsächlich über die Wahl der Losgröße Lagerkosten und Auflagekosten beeinflußt werden können und im Rahmen der Kapazitätsterminierung sowie der Fertigungssteuerung Maschinenbelegungszeiten und Durchlaufzeiten variiert werden können, sind im Bereich der Konstruktion durch die angeführte Festlegung von Fertigungsverfahren, Materialarten, Wahl von Eigenfertigung und Fremdbezug wesentlich grundsätzlichere und damit wirkungsvollere Eingriffsmöglichkeiten in die Kostenstruktur gegeben.

Es ist für die Betriebswirtschaftslehre bezeichnend, daß sie dieses Phänomen der Kostenbeeinflussung bisher kaum behandelt hat. So setzt die klassische Kostenrechnung in der Regel erst nach Vorliegen des Produktionsprogramms und damit nach Abschluß der Konstruktionsphase ein. Sie besitzt ihren Schwerpunkt in der Planung und Kontrolle der Fertigung selbst, wie sie aber von der Konstruktion bereits vorbestimmt ist.

Als wesentliches Instrument zur Beeinflussung der Kosten konstruktiver Entscheidungen wird häufig die Wertanalyse angesehen. Sie ist aber nicht Bestandteil der betriebswirtschaftlichen Kostenrechnung. Die Wertanalyse geht von einer Funktionsgliederung der Erzeugnisse aus und fragt jeweils nach den kostengünstigsten Realisierungsmöglichkeiten. In der Regel setzt sie aber erst nach Abschluß der Konstruktionstätigkeiten ein, indem fortlaufend bereits bestehende Produkte analysiert werden. Sie ist weiterhin auf einzelne konkrete Produkte bezogen, und damit sind ihre Ergebnisse nicht allgemein anwendbar. Auch ist ihr Erhebungsaufwand relativ groß (Kreisfeld, 1985, S. 6).

Es ist deshalb zu fordern, in den Konstruktionsprozeß Kosteninformationen einfließen zu lassen, um den Konstrukteur auf die Kostenwirkungen seiner Entscheidungen hinzuweisen

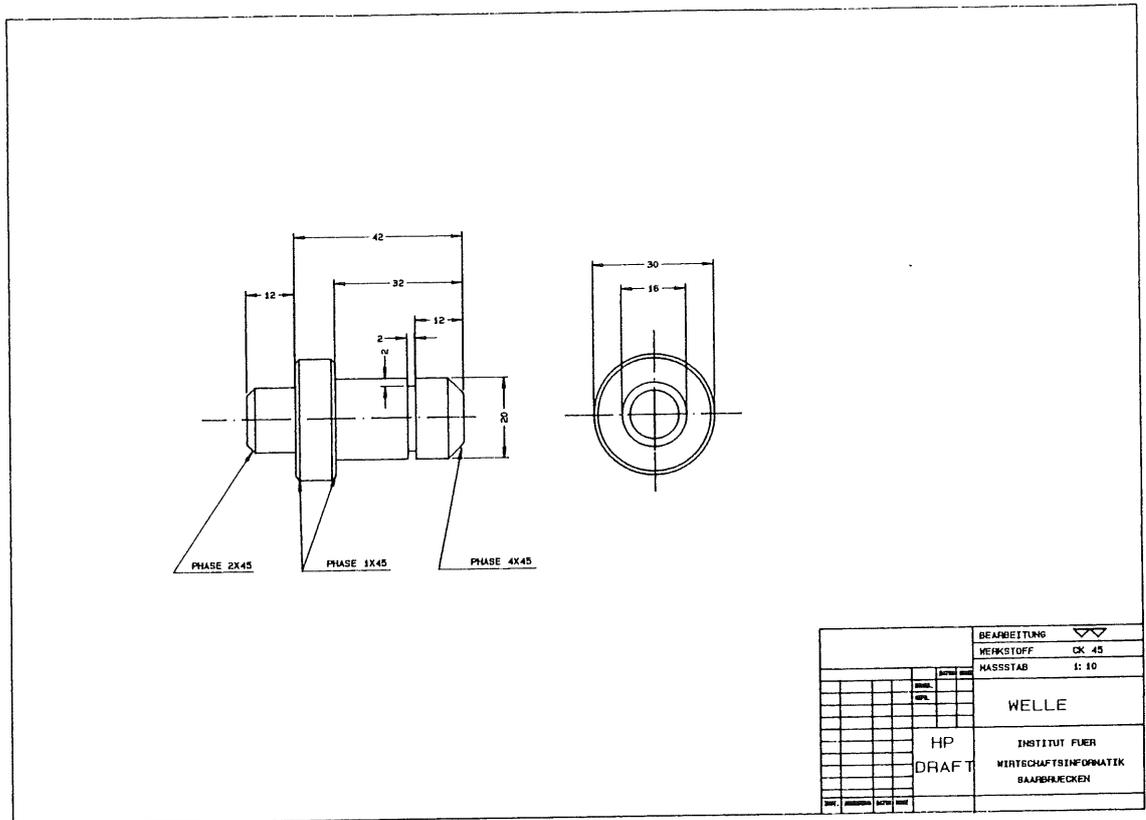


Abb. 6: Konstruktionszeichnung

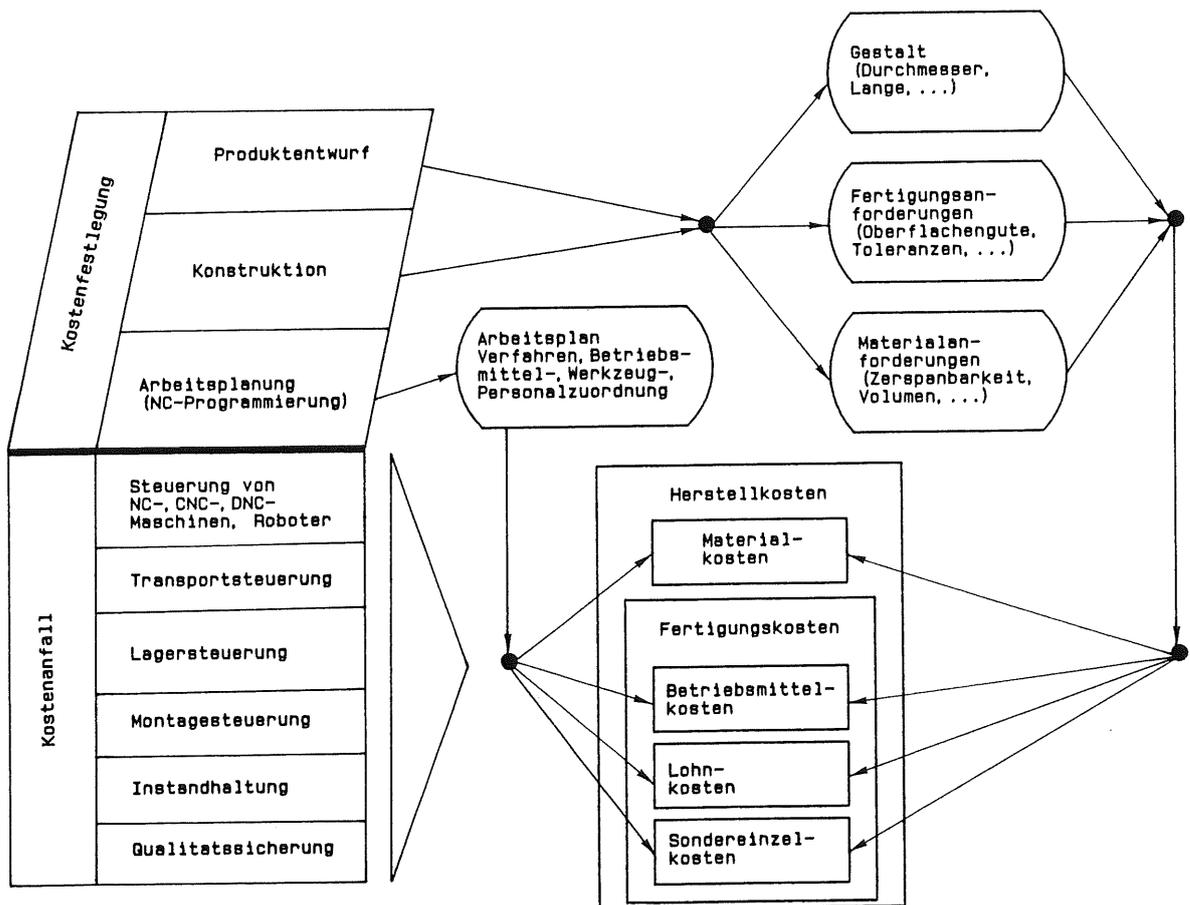


Abb. 7: Kostenbestimmungsfaktoren im CAD/CAM-Bereich

Baugruppe benötigt, fremdbezogen werden kann oder aufgrund seiner besonderen Spezifikationen eigenerstellt werden muß. Damit ist auch die Entscheidung zwischen Eigenfertigung und Fremdbezug teilweise in den Bereich der Konstruktion gelegt.

Die Geometriedaten bilden Anforderungen für den Betriebsmitteleinsatz, indem z.B. bestimmte Durchmesser für Bohrungen definiert werden. Mit den in Frage kommenden Betriebsmitteln und Werkzeugen ist gleichzeitig auch der Einsatz von Personal vorbestimmt.

Die konstruktiven Anforderungen an die Fertigung begründen (z.B. durch die Forderung besonderer Vorrichtungen) Sondereinzelkosten der Fertigung.

a) ... bei konventioneller organisatorischer Gliederung zwischen Konstruktion und Arbeitsvorbereitung

Die geschilderten Entscheidungsprozesse mit ihren Kostenwirkungen werden bei einer konventionellen Trennung zwischen Konstruktion und Arbeitsvorbereitung nicht direkt in der Konstruktion sichtbar, weil der Konstrukteur organisatorisch von Fertigung und den Produkten getrennt ist und somit die von ihm bestimmten Kosten nicht "sieht". Formal endet der Verantwortungsbereich der Konstruktion mit Anfertigung der Zeichnung und Definition der Konstruktionsstückliste. Beides wird dann der Arbeitsvorbereitung zur Festlegung des Arbeitsplanes und der Fertigungsstückliste übergeben, so daß hier eine nähere Beziehung zum Produktionsprozeß und seinen Kosten besteht. Hierbei ist allerdings zu beachten, daß der Arbeitsvorbereitung durch Zeichnung und Konstruktionsstückliste bereits erhebliche Vorgaben gemacht werden, an die sie sich halten muß. Trotzdem bestehen weitere Freiheitsgrade bei der Ausfüllung dieser Vorgaben. Aus diesem Grunde ist in Abb. 7 auch eine Einwirkung der Arbeitsplanerstellung auf alle Kostenkomponenten angegeben worden. Ein klassischer Arbeitsplan, der aus mehreren Arbeitsgängen besteht und die Betriebsmittelzuordnung festlegt, ist in Abb. 8 angegeben.

Falls ein Teil nach unterschiedlichen Fertigungsverfahren gefertigt werden kann, bestehen im Bereich der Arbeitsvorbereitung Freiheitsgrade zur Kostengestaltung. Hier werden auch das Personal zugeordnet und damit die Lohnkosten bestimmt. Gleichzeitig werden die benötigten Werkzeuge und damit Werkzeugkosten sowie Sondereinzelkosten der Fertigung näher bestimmt.

Durch die Festlegung der Fertigungsstückliste wird der zeitliche Anfall des Materials definiert und somit der Materialwirtschaft und insbesondere dem Einkauf Vorgabedaten geliefert, die die Materialkosten beeinflussen.

Auch besitzt die Arbeitsvorbereitung durch die Zusammenstellung von Fertigungsaufträgen zu Losen Einfluß auf anfallende Rüstkosten sowie über die Zusammenstellung von größeren Einheiten ähnlich zu fertigender Arbeitsgänge Einfluß auf Lernvorgänge im Bereich der

IFW		Arbeitsplan		Blatt: 1 V.				
Benennung: Bohrspindel BEP25		TA: 76 Zeichg.nr.: 11002.76144 Losgrosse 2		Datum: 02-Mar-77 Name: NU				
Material: 01		Abmessung: 628.0 * 45.0		Rohgewicht: 7.8				
Avo-Nr.	Abt.	Arbeitsgang	Werkzeuge und Vorrichtungen	Maschine	N	S	TR	TE
10 1	50	Saegen		8224			16	3.08
20 1	10	Laengsdrehen und/oder Plandrehen, glatt	Backenfutter harte Backen ////	1061	492	0.12	63	0.41
2	10	Zentrieren Abgesetzte Welle drehen Einstechen	Backenfutter harte Backen ////	1061	492	0.27	69	12.27
3	10	Laengsdrehen und/oder Plandrehen, glatt	Backenfutter harte Backen ////	1061	615	0.24	58	12.88
4	10	Laengsdrehen und/oder Plandrehen, glatt	Backenfutter weiche Backen ////	1061	492	0.12	80	16.14
5	10	Zentrisch bohren oder Ausdrehen glatt Zentrieren	Backenfutter weiche Backen ////	1061	492	0.12	74	16.14
		Zentrisch bohren oder Ausdrehen glatt Einstechen						

Abb. 8: Klassischer Arbeitsplan

Fertigung, die sowohl Lohnkosten als auch Betriebsmittelkosten beeinflussen.

Wird bei Einführung eines CAD-Systems die klassische Einteilung zwischen Konstruktion und Arbeitsvorbereitung eingehalten, so wird von dem CAD-System vor allen Dingen die Zeichnungserstellung unterstützt. Gleichzeitig kann durch das leichtere Berechnen von Alternativen auch eine Optimierung des Produktentwurfes durchgeführt werden. Diese Optimierung ist aber in der Regel auf technische Kenngrößen ausgerichtet, indem z.B. über Einsatz der "Finite Elemente"-Technik Belastungsberechnungen bei Einsatz unterschiedlicher Materialalternativen oder anderer konstruktiver Eigenschaften simuliert werden.

Durch Einsatz eines NC-Programmiersystems im Bereich der Arbeitsvorbereitung bei Voraussetzung entsprechender Fertigungsanlagen wird aus der Zeichnung und aus Technologiedaten ein NC-Programm erstellt. Dieses kann z.T. auch den Arbeitsplan ersetzen, da in einem NC-Programm in sehr detaillierter Form die einzelnen auszuführenden Arbeitsoperationen eines Arbeitsganges definiert sind (vgl. Abb. 9).

```

1 PARTNO/D-WELLE
2 MACHIN/PP1
3 MACHIN/ZEISIG
4 MACHOT/30. 120. 0.1. 3.5. 3000. 0.8. 200

5 CONTUR/BLANCO
6 BEGIN 0.0 YLARGE. PLAN. 0
7 RTG/DIA. 100
8 RTG/PLAN. 330
9 RTG/DIA. 0
10 TERMCO

11 SURFIN/FIN
12 CONTUR/PARTCO
13 L 1 = LINE/50. 25. 90. 30
14 FASE = LINE/(POINT/310. 22). ATANGL. 45
15 M0. M1. BEGIN/20.0.YLARGE.PLAN.20.BEVEL.3.ROUGH
16 RGT/DIA.40.FOUND.2
17 LFT/PLAN.50
18 RGT/L1
19 FWD/DIA.60.ROUND.4
20 LFT/PLAN.130
21 RGT/DIA.70.ROUND.2
22 LFT/PLAN.160
23 RGT/(LINE/160.40.210.45)
24 M2.FWD/DIA.90
25 RGT/PLAN.230.ROUND.2
26 LFT/DIA.80
27 RGT/PLAN.250.ROUND.4
28 LFT/(LINE/250.35.280.30)
29 RGT/PLAN.280.ROUND.2
30 LFT/DIA.50
31 RGT/FASE.ROUGH
32 M 3.RGT/PLAN.310.ROUGH
33 M 4.RGT/DIA.0
34 TERMCO

35 PART/MATERL..203
36 CSRAT/50
37 CLDIST/2
38 OVSIZ/FIN.1
39 PLANE = TURN/SO.CROSS.TOOL.100.1.SETANG.180.ROUGH
40 SCHRU = CONT/SO.TOOL.200.2.SETANG.110.ROUGH.LONG
41 SCHL1 = CONT/SO.TOOL.200.2.SETANG.110.FIN.OSETNO.7

42 CHUCK/11.50.200.30.104.55
43 CLAMP/50
44 COOLANT/ON
45 WORK/PLANE
46 CUTLOC/BEHIND
47 CUT/M3.TO.M4
48 WORK/SCHRU.SCHL1
49 FDSTOP/PLAN.207
50 CUT/M3.RE.M2
51 FDSTOP/NOMORE
52 CHUCK/222.50.200.30.94.70
53 CLAMP/245.INVERS
54 WORK/PLANE
55 CUTLOC/BEHIND
56 CUT/M1.RE.M0
57 WORK/SCHRU.SCHL1
58 CUT/M1TO.M2
59 WORK/NOMORE
60 FIN

```

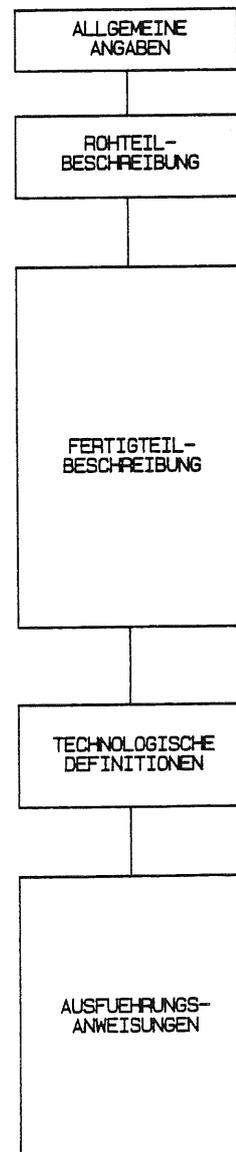


Abb. 9: NC-Programm

Durch die Integration von CAD und CAM, bei der die Geometriedaten des CAD-Systems automatisch an das Erstellungsprogramm für die Steuerung von NC-Maschinen weitergegeben werden, wird die Beeinflussung der Fertigung durch die Konstruktion enger.

Es wird allerdings angemerkt, daß in der Regel nicht das gesamte NC-Programm aus den Geometriedaten erstellt wird. Auch sind nicht alle im Bereich von CAD erstellten Informationen (z.B. Schraffuren) für die Steuerung der Produktionsanlagen notwendig. Aus diesem Grunde ist ein weiterer manueller Eingriff in den Prozeß CAD/CAM erforderlich. Hinzu kommt, daß häufig zunächst ein in allgemeiner Programmiersprache erzeugter Steuerungscode vorliegt, der dann durch den Einsatz weiterer Postprozessoren unter Nutzung der individuellen Technologiedaten an die konkreten Betriebsmittel angepaßt wird (vgl. Abb. 10).

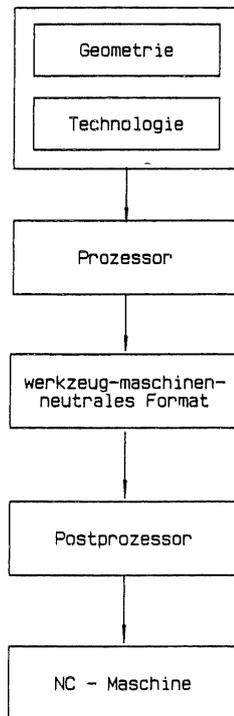


Abb. 10: Informationsfluß Konstruktion-NC-Maschine

b) ... bei organisatorischer Integration von Konstruktion und Arbeitsvorbereitung

Der Einsatz einer integrierten CAD/CAM-Informationsverarbeitung kann bei Beibehaltung der klassischen Aufgabenteilung zwischen Konstruktion und Arbeitsvorbereitung durchgeführt werden. In diesem Fall bestehen mit Entwicklung, Konstruktion und Arbeitsvorbereitung drei Zentren der Kostenfestlegung.

Eine konsequente Ausnutzung des Integrationseffektes erfordert allerdings auch eine engere organisatorische Regelung der Bereiche.

Durch die Nutzung von Geometriedaten eines CAD-Systems zur Erzeugung eines NC-Programmes im Bereich von CAM werden die Vorteile der Datenintegration nur dann voll realisiert, wenn bereits bei der Konstruktion auf die fertigungstechnischen Möglichkeiten Rücksicht genommen wird. Da bei einem höheren Automatisierungsgrad der Fertigung häufig eine geringere Flexibilität bei der Ausführung von Arbeitsoperationen besteht, müssen die Eigenschaften der Betriebsmittel, Werkzeuge usw. bereits von der Konstruktion miteinbezogen werden. Diese Entwicklung wird durch den Begriff der fertigungsorientierten Konstruktion gekennzeichnet und ist in Abb. 11 schematisch dargestellt.

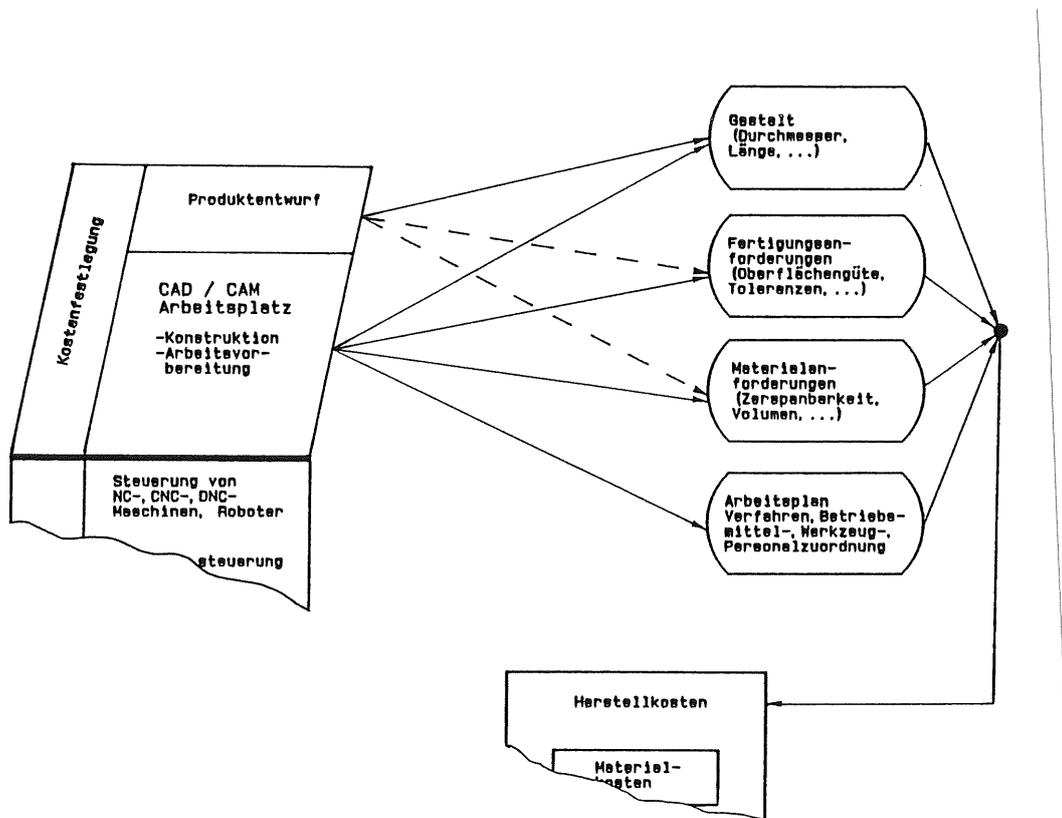


Abb. 11: Fertigungsorientierte Konstruktion

Aufgrund des engeren Zusammenwachsens von Konstruktion und Arbeitsvorbereitung wird zwischen dem Produktentwurf, der weiterhin Aufgabe der Konstruktion bleibt, und einem "Mischarbeitsplatz", der sowohl Aufgaben der Detailkonstruktion als auch der Arbeitsplanung (im Sinne von NC-Programmierung) enthält, dargestellt. Durch die Integration von Detailkonstruktion und Arbeitsvorbereitung werden Abstimmungsprozesse, die bei einer organisatorischen Trennung notwendig wären, vermieden. Als Folge werden die Kostentscheidungen auf die zwei Entscheidungszentren "Produktentwurf" und "CAD/CAM-Arbeitsplatz" konzentriert.

Beim Produktentwurf wird lediglich eine Grobskizze mit den wesentlichen konstruktiven Eigenschaften des Werkstückes festgelegt. Dabei können bereits besondere Fertigungs- und Materialanforderungen aufgezeigt werden. Die überwiegenden kostenwirksamen Detailentscheidungen werden aber dann im Bereich des CAD/CAM-Arbeitsplatzes getroffen (vgl. Abb. 11).

Es ist zu erwarten, daß sich derartige Mischarbeitsplätze mittelfristig durchsetzen werden. Voraussetzung dafür ist, daß auch die entsprechenden CAD/CAM-EDV-Systeme eine solche organisatorische Änderung unterstützen. Gegenwärtig bestehen zwar hauptsächlich getrennte Systeme, neuere Ansätze unterstützen aber eine stärkere Integration. Dieses geschieht z.B. in der Form, daß in CAD-Systeme Funktionen der Fertigung durch Simulation der Ausführung eines konstruierten Vorgangs auf einer Werkzeugmaschine, aufgenommen werden oder aber NC-Programmiersysteme die Eingabe von Geometriedaten und damit konstruktive Elemente erfordern.

Im Grunde genommen bleibt damit nur die organisatorische Frage zu klären, ob mehr CAM-Funktionen in CAD-Arbeitsplätze aufgenommen werden (fertigungsorientierte Konstruktion) oder aber Konstruktionsaufgaben in die Arbeitsvorbereitung übernommen werden (konstruktionsorientierte Arbeitsvorbereitung).

In jedem Falle wird sich aber die Tendenz verstärken, daß sowohl im Grobentwurf eines Produktes als auch bei der Detailkonstruktion und Umsetzung in Fertigungsvorschriften zunehmend Freiheitsgrade zur Gestaltung der Produktkosten ergeben. Durch die enge Beziehung zwischen Konstruktion und Fertigung wird dieses auch soweit gehen, daß bei der Konstruktion eines neuen Erzeugnisses die Betriebsmittel, mit denen das Produkt später gefertigt werden soll, bekannt sein müssen. Dieses bedeutet, daß auch Investitionsentscheidungen bereits in Zusammenarbeit mit den Konstruktionsvorgängen überlegt und ausgeführt werden müssen.

Da CAD/CAM-Systeme als Dialogsysteme ausgelegt sind, ist es prinzipiell möglich, die Kostenwirksamkeit einzelner Konstruktionsschritte bzw. einzelner Schritte der Arbeitsplanerstellung (NC-Programmierung) sofort anzugeben. Daraufhin kann überprüft werden, ob durch andere Alternativen die Kostensituation verbessert werden kann. Dieses setzt aber voraus, daß in die technisch orientierten Dialoge Ergebnisse aus Kalkulationen eingehen.

C. Verfahren der konstruktionsbegleitenden Kalkulation

I. Übersicht

In der betriebswirtschaftlichen Kostenrechnung wird im Rahmen der Kalkulation zwischen Vorkalkulation, Nachkalkulation, Plankalkulation und Selbstkostenpreis-Kalkulation für öffentliche Aufträge unterschieden (Kilger, 1980, S. 289 ff.). Wie der Name bereits sagt, behandelt die Nachkalkulation die Feststellung der Kosten nach Durchführung der Produktion. Die Plankalkulation ermittelt unter Ansatz von Plankostensätzen (die mit Hilfe einer Plankostenrechnung ermittelt werden) für bestimmte Perioden Selbstkosten pro Einheit. Dieses Verfahren ist lediglich in Unternehmungen mit standardisierten Produktarten möglich, da vor Beginn der Planungsperiode alle kalkulationsrelevanten Daten bekannt sein müssen.

Vor allem die Vorkalkulation bietet Ansatzpunkte, um im Rahmen von CAD/CAM-Prozessen Kostendaten in die Entscheidungen über kostenrelevante Parameter eingeben zu können. Gerade dieses Gebiet der Kostenrechnung ist aber in betriebswirtschaftlichen Abhandlungen zur Kostenrechnung nur wenig ausgearbeitet. Hier dominieren vielmehr die Kostenrechnungsverfahren, die bereits von fertigen Datenstrukturen der Produktzusammensetzung und Arbeitsplänen ausgehen.

Im Rahmen der konstruktionsbegleitenden Kalkulation soll aber der Konstrukteur bei jedem Entscheidungsschritt über Festlegung von Formelementen, Fertigungsanforderungen, Materialanforderungen sowie bei der Definition des Arbeitsplanes über Wahl des Fertigungsverfahrens, Zuordnung von Betriebsmitteln, Einsatz von Personal und Werkzeugen auf die kostenmäßigen Konsequenzen hingewiesen werden. Gleichzeitig sollen ihm im Rahmen des Dialogprozesses Alternativen aufgezeigt werden, um eine kostengünstigere Lösung seines Entscheidungsproblems zu erzielen.

Da ein Konstruktionsvorgang im allgemeinen in einer top-down Vorgehensweise durchgeführt wird, sind die Entscheidungsschritte jeweils auf eine Hierarchiestufe innerhalb einer Stücklistenstruktur bezogen. Beispielsweise können auf der ersten Stufe, dem Grobentwurf einer Maschine, in grober Form Motor, Antrieb und Grundmaschine mit ihren besonderen Eigenschaften definiert werden. Im nächsten Schritt werden dann die einzelnen Komponenten, hier z.B. die Grundmaschine (vgl. Abb. 12) in weitere Komponenten wie Maschinenbett und Aufbauten zerlegt. Die Aufbauten werden wiederum in Spannvorrichtung und Hydraulik gegliedert. Dieser Prozeß setzt sich dann bis zu den Einzelteilen und Materialien fort.

Eine Zeichnung erfaßt damit jeweils eine einstufige Baukastenstückliste, wie sie in Abb. 12 umrandet sind.

Im Rahmen der konstruktionsbegleitenden Kalkulation müssen somit auch die Kosteninformationen auf unterschiedlicher Aggregationsebene zur Verfügung gestellt werden, um den Konstrukteur im Rahmen der jeweiligen Entscheidungsproblematik unterstützen zu können.

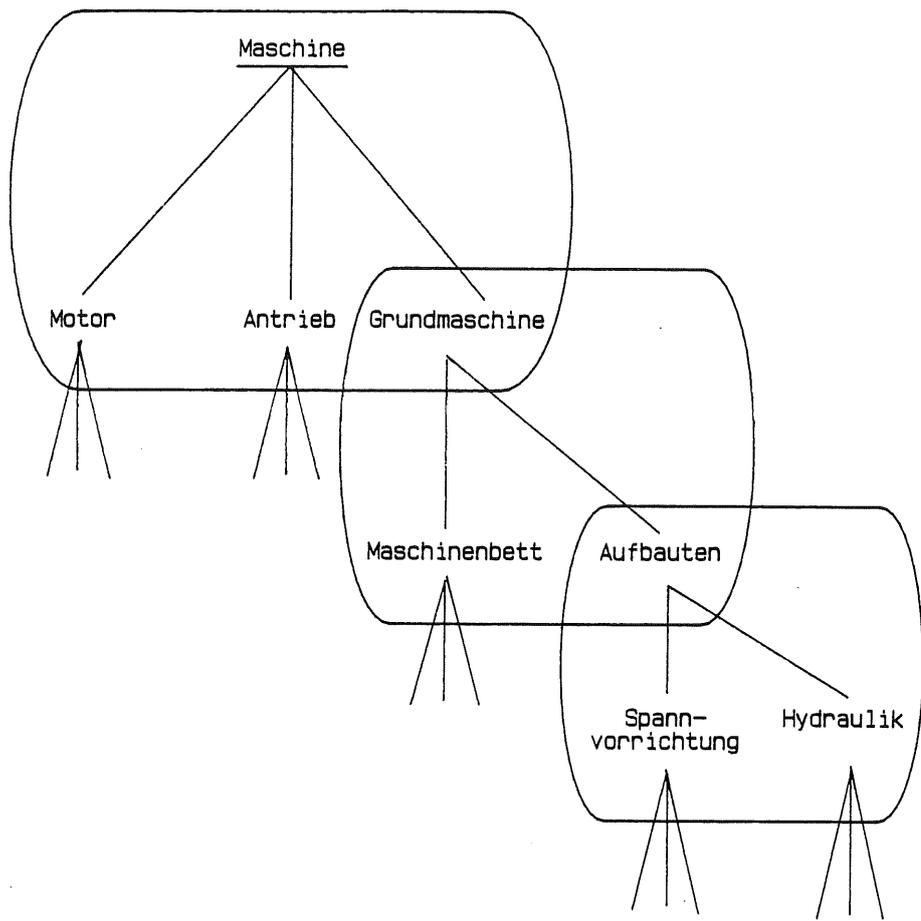


Abb. 12: Top-Down-Vorgehensweise eines Konstruktionsvorgangs

Bei der Diskussion von Kalkulationsverfahren muß unterschieden werden, ob lediglich montageorientierte Konstruktionsvorgänge oder fertigungsorientierte Konstruktionsvorgänge betrachtet werden (vgl. Abb. 13). Montageorientierte Konstruktionen liegen dann vor, wenn im Rahmen einer Baukastenfertigung kundenindividuell Baukasten zu Varianten zusammengesetzt werden. Hierbei können auch zusätzliche kleinere Fertigungsvorgänge wie Bohren, Anpassen oder Lackieren anfallen. Eine umfangreiche Fertigung findet aber zur Erstellung der Varianten nicht mehr statt. Hier ist die Kalkulation darauf auszurichten, die Kosten der Komponenten zu ermitteln und den Montagearbeitsplan kostenmäßig im voraus zu erfassen.

Bei einer Neukonstruktion (z.B. bei Einzelfertigung oder Entwurf eines neuen Serienartikels) müssen dagegen auch die Herstellvorgänge von Komponenten kalkuliert werden.

Bei den Kalkulationsverfahren (vgl. Abb. 14) kann unterschieden werden, ob die Kosten für ein Teil oder einen Konstruktionsschritt lediglich pauschal ermittelt werden sollen (ohne die technischen Einzelheiten zu berücksichtigen) oder ob aus geometrischen und fertigungstechnischen Detailinformationen die Kosten analytisch zergliedert werden. Für beide Vorgehensweisen sind Vorschläge ausgearbeitet worden, deren Qualität mehr oder weniger genau beurteilt werden kann.

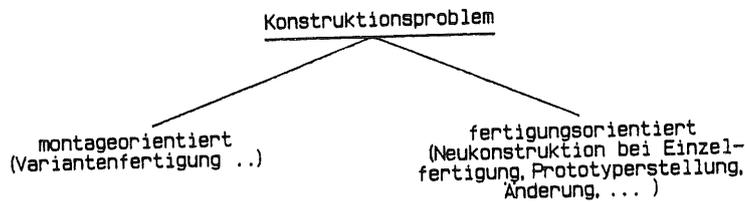


Abb. 13: Konstruktionsprobleme

II. Kalkulationsverfahren

Die in Abb. 14 aufgezeigten Kalkulationsverfahren werden im folgenden vorgestellt. Dabei interessiert hier lediglich die prinzipielle Vorgehensweise und der erforderliche Datenbedarf. Die Unterscheidung, ob eine Vollkosten- oder Grenzkostenkalkulation durchgeführt werden soll, ist unerheblich, da sich der Datenbedarf nicht grundsätzlich voneinander unterscheidet.

Die Verfahren werden bezüglich ihrer Eignung für die unterschiedlichen Konstruktionsprobleme sowie ihrer Einbettung in Dialogsysteme aus dem Bereich CAD/CAM beurteilt.

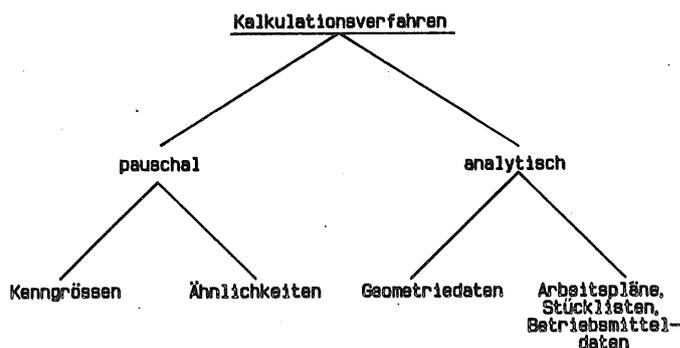


Abb. 14: Kalkulationsverfahren

a) Pauschale Kalkulationsverfahren

Im Rahmen der Pauschalkalkulationen werden anhand einfacher und grober Informationen die gesamten Kosten eines Teils oder eines Konstruktionsschrittes aus Istdatenbeständen übernommen. Diese Istdatenbestände können eigens gepflegte Kenngrößen sein oder aber Istkosten, die im Rahmen der üblichen Grunddatenverwaltung des Fertigungsbereichs gepflegt werden.

1. Kenngrößen

Insbesondere für langfristige Einzelfertigungsvorgänge sind in der Praxis unterschiedliche Kenngrößen entwickelt worden, mit denen Kostenkomponenten geschätzt werden können. Gebräuchlich sind beispielsweise (Kilger, 1980, S. 291) Kenngrößen wie Materialkosten pro kg Maschinengewicht, Fertigungskosten pro Tonne Tragkraft einer Krananlage, Herstellkosten pro Bruttoregistertonne oder Herstellkosten pro m³ umbauten Raumes. Der Ansatz derartiger Kenngrößen innerhalb eines CAD-Dialogsystems setzt somit voraus, daß für den zu konstruierenden Vorgang der Wert der Bezugsgröße ermittelt werden kann. Im Rahmen des Grobentwurfs muß beispielsweise, wenn eine Maschine nach ihrem Gewicht kalkuliert wird, das ungefähre Gewicht abgeschätzt werden können. Ähnlich verhält es sich bei Ansatz anderer Kennziffern.

Diese Vorgehensweise, so ungenau sie zunächst erscheinen mag, kann aber durchaus der Stufe des Aggregationsniveaus des Entwurfsprozesses entsprechen. Beispielsweise ist bei einer Kalkulation auf der ersten Stufe des Konstruktionsvorganges (vgl. Abb. 12) bereits eine ungefähre Angabe über das zu erwartende Gewicht der Maschine möglich, während detailliertere Informationen, z.B. über Arbeitspläne usw., noch nicht verfügbar sind.

Trotzdem bleibt festzuhalten, daß der Ansatz von Kenngrößen lediglich grobe Anhaltspunkte für Kosten sein kann.

2. Kalkulation aufgrund von Ähnlichkeiten

Weicht eine konkrete Konstruktion nur in Einzelheiten von einer bereits früher ausgeführten ab, so können die angefallenen Istdaten auch für die gerade auszuführende Konstruktion maßgeblich sein. Bezüglich der Messung von Ähnlichkeiten sind hierbei kostenmäßige Ähnlichkeiten relevant. Dieses bedeutet, daß solche Teile oder Arbeitspläne "ähnlich sind", die sich **kostenmäßig** gleichen. Dabei können ihre fertigungstechnischen Abläufe oder ihre Teilezusammensetzung durchaus abweichen. Eine solche Vorgehensweise kann beispielsweise im Rahmen einer Variantenkonstruktion durchgeführt werden, indem recht früh die Anzahl der Montageschritte und eine grobe Vorstellung über zusätzliche Anpassungsvorgänge vom Konstrukteur abgeschätzt werden. Im Rahmen der Kalkulation

kann dann auf die Daten der Baukästen zugegriffen werden und ihre Kosten über die gespeicherten Herstellkosten aggregiert werden. Anschließend werden dann die Daten eines "ähnlichen" Montage-Arbeitsplanes der zur Grundlage der Ermittlung der Montagekosten gewählt und die gesamten Herstellkosten errechnet.

Die Übernahme von Daten ähnlicher Vorgänge kann sich sowohl auf der Ebene der Teile (Suche kostenähnlicher Teile) als auch auf Arbeitspläne (Suche kostenähnlicher Arbeitspläne) beziehen. Um die Suche zu unterstützen, ist entweder ein Klassifizierungssystem oder ein statistisches Verfahren (z.B. Clusteranalyse) erforderlich.

Obwohl dieses Verfahren bei Vorlage kleinerer konstruktiver Änderungen erfolgversprechend sein kann, wird es dem Gesamtspektrum der Konstruktionsvorgänge nicht gerecht.

b) Analytische Kalkulationsverfahren

Im Rahmen der analytischen Kalkulationsverfahren wird ein systematisches Kalkulationsschema zugrunde gelegt, bei dem aus vorliegenden Einzelinformationen die Gesamtkosten ermittelt werden. Hierbei ist zu unterscheiden, ob lediglich geometrische Informationen aus dem Konstruktionsbereich Basis der Kalkulation sein sollen oder auch Fertigungsdaten wie Stücklisten, Arbeitspläne und Betriebsmitteldaten zur Verfügung stehen.

1. Kalkulation anhand von Geometriedaten

Bei diesem Verfahren werden lediglich die im Rahmen der Konstruktion anfallenden technischen Informationen genutzt, um daraus auf die Herstellkosten des Erzeugnisses zu schließen. Allerdings müssen zur Umsetzung der Geometriedaten Funktionen vorhanden sein, die die Geometriedaten in die Sphäre der Werteansätze transformieren. Ein Modell der Vorgehensweise ist hierzu von Kreisfeld entwickelt worden. Der grobe Ablauf ist in Abb. 15 dargestellt. Grundgedanke des Ansatzes ist, daß mit Hilfe statistischer Schätzverfahren (Regressionsanalysen) der Zusammenhang zwischen Fertigungskosten und geometrischen Eigenschaften von Teilen ermittelt werden kann. Obwohl der Ansatz von Kreisfeld zunächst nur auf abgespannte Rotationsteile ausgerichtet ist, kann die Vorgehensweise doch als allgemein angesehen werden.

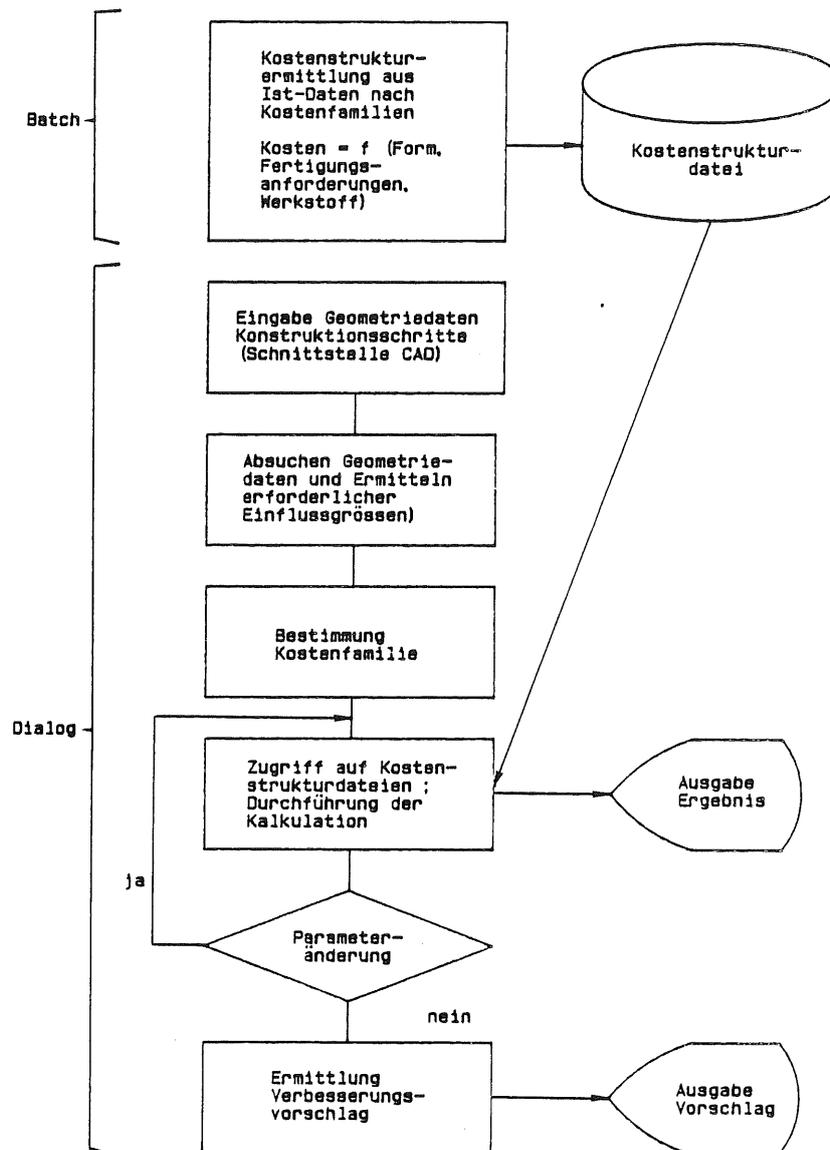


Abb. 15: Kalkulation anhand von Geometriedaten

Die generelle Kostenfunktion lautet, daß die Fertigungskosten von den von der Konstruktion beeinflussbaren Parametern: Form, Fertigungsanforderungen und Werkstoff bestimmt werden. Die drei Größen werden dabei durch folgende Angaben operationalisiert:

Form: Länge,

Durchmesser des axialen Flächenelements,
 maximaler Durchmesser des radialen Flächenelements,
 minimaler Durchmesser des radialen Flächenelements,
 Kennziffer für die Lage des Flächenelementes (0 = außen, 1 = innen).

Fertigungsanforderungen: Maßgenauigkeit, Formgenauigkeit, Lagegenauigkeit, Oberflächengüte. Diese Komponenten werden zu einem Fertigungsanforderungswert zusammengefaßt.

Werkstoff: Aluminium (unlegiert), Zink, Messing, Stahl (unlegiert), C-Stahl (bis 0,25 % C), Grauguß (aluminiumlegiert) Buntmetall . . . (insgesamt 9 Zerspanbarkeitsklassen).

Die Kostenfunktion wird anhand von Regressionsanalysen über das Datenmaterial von Nachkalkulationen bestimmt, und die Regressionskoeffizienten werden in einer Kostenstrukturdatei gespeichert. Um möglichst homogene Ergebnisse zu erzielen, die auch einen hohen Prognosewert der Fertigungskosten zulassen, werden die Ansätze innerhalb von Kostenfamilien berechnet, also für Teile mit ähnlicher Kostenstruktur.

Die Aufarbeitung des Istmaterials zu der Kostenstrukturdatei kann periodisch in Batchläufen durchgeführt werden.

Innerhalb des Konstruktionsdialoges wird zunächst eine Schnittstelle benötigt, um die im Rahmen der Konstruktion angefallenen Geometriedaten in die Werte der Parameter des Kostenmodells zu übersetzen. Sofern Daten fehlen, müssen sie im Dialog zusätzlich eingegeben werden. Anschließend wird das zu konstruierende Teil einer der Kostenfamilien zugeordnet (entweder automatisch oder gegebenenfalls im Dialog). Durch Definition der Parameterwerte und Festlegung der Kostenfamilie kann nun auf die zugehörige, in der Kostenstrukturdatei gespeicherte Regression zugegriffen werden und der Kostenwert nach Einsetzen der Parameter in die Regressionsgleichung leicht ermittelt werden.

Falls Parameteränderungen in ihrem Einfluß auf die Kosten untersucht werden, so ist dieses durch einen einfachen Dialogschritt möglich. Auch errechnet das System selbständig Verbesserungsvorschläge, indem anhand der Höhe der Regressionskoeffizienten der Einfluß einzelner Parameter auf die Fertigungskosten ausgewiesen wird.

Bei der Kalkulation mit Hilfe von Geometriedaten werden lediglich Angaben benötigt, die an einem üblichen Konstruktionsarbeitsplatz anfallen. Fertigungsdaten, wie sie in Systemen der Arbeitsvorbereitung und Produktionsplanung verwaltet werden, werden lediglich als Istdaten statistisch ausgewertet und für die CAD-Kalkulation in gesondert zusammengestellten Dateien gepflegt.

Obwohl für das Verfahren der Begriff "analytisch" gewählt worden ist, wird bezüglich des Kalkulationsvorganges selbst nur eine pauschale Kalkulationsvorschrift (entsprechend dem Regressionsansatz) verwendet. Das Verfahren ist deshalb nur auf der technischen Seite bezüglich seines Detaillierungsgrades als analytisch zu bezeichnen.

2. Kalkulation aus Fertigungsgrunddaten

Das übliche Kalkulationsschema für mehrteilige Produkte erfordert die synthetische Auflösung der Stückliste von den Materialien bis hin zum Enderzeugnis. Gleichzeitig werden pro Teil die Fertigungskosten über gespeicherte Arbeitspläne/Arbeitsgänge errechnet, indem fortlaufend die Fertigungszeiten der Arbeitsgänge mit den Maschinenstundensätzen der entsprechenden Betriebsmittelgruppen multipliziert und addiert werden. Ein Ablaufdiagramm ist in Abb. 16 angegeben (vgl. dazu Scheer, 1978, S. 313 f.).

Nun ist es aber gerade für den Entwurfsprozeß typisch, daß noch keine Arbeitspläne und Stücklisteninformationen für das zu konstruierende Teil vorhanden sind. Lediglich für Komponenten, die als eigengefertigte oder fremdbezogene Baugruppen eingesetzt werden, sind Datensätze angelegt.

Werden allerdings nur kleinere konstruktive Änderungen bei bereits bestehenden Teilen mit entsprechend geringen Auswirkungen auf die Arbeitspläne vorgenommen, können repräsentative Arbeitspläne zur Kalkulation herangezogen werden. In diesem Fall nähert sich das Verfahren der unter a) 2. "Kalkulation mit Ähnlichkeitsdaten" angegebenen Vorgehensweise.

Die Kalkulationsform gewinnt aber dann an Bedeutung, je enger CAD und CAM im Bereich der Generierung von Steuerungsprogrammen zusammenwachsen. Ist eine sofortige Übergabe der Geometriedaten an ein NC-Programmiersystem möglich, so können für die dann festgelegten Arbeitsfolgen auch automatisch Bearbeitungszeiten unter Ansatz von speziellen Algorithmen und Zeittabellen ermittelt werden. Da auch die Zuordnung zu Betriebsmitteln entweder automatisch oder im Dialog leicht möglich ist, können die Zeiten mit den entsprechenden Betriebsmittelstundensätzen multipliziert werden und die Fertigungskosten berechnet werden.

Deshalb besitzt der unter B. II. b) angeführte organisatorische Effekt der Integration von CAD/CAM für die Anwendung dieses analytischen Kalkulationsverfahren erhebliche Bedeutung. Denn nur hier ist bei enger Umsetzung von CAD-Daten in CAM-Daten eine anschließende Zeit- und Kostenkalkulation in einer Dialogfolge möglich.

In Abb. 17 sind die Eigenschaften der Verfahren noch einmal zusammengefaßt. Dabei werden der Genauigkeitsgrad der Kalkulation, die Dialogeignung durch Bereitstellung der benötigten Daten und Unterstützung der erforderlichen Antwortzeiten bewertet sowie der Einsatz für montageorientierte oder fertigungsorientierte Konstruktionsaufgaben angegeben.

	Genauigkeits- grad	Dialog- eignung	Montage- orientiert	Fertigungs- orientiert
Kenngrossen	unbestimmt	ja	bedingt	bedingt
Ähnlichkeits- werte	mittel	ja	ja	bedingt
Geometriedaten	mittel- hoch	ja	ja	ja
Fertigungsdaten	hoch	ja	ja	ja

Abb. 17: Kalkulationsverfahrenvergleich

D. Architektur eines Systems zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation in einer CIM-Umgebung

Da alle vier behandelten Kalkulationsarten innerhalb der verschiedenen Phasen einer Konstruktion sinnvoll sein können, wird vorgeschlagen, sie in einem dialoggestützten System dem Konstrukteur über eine Menuetechnik anzubieten. Für die Lösung von Zuordnungsschritten bei Ähnlichkeitsüberlegungen und Auswahl von Kalkulationsverfahren kann auch der Einsatz eines Expertensystems sinnvoll sein. Eine grobe Systemarchitektur mit den wesentlichen Datenbeziehungen ist in den Abbildungen 18 - 20 eingetragen.

In Abb. 18 sind zunächst die Programmfunktionen zur Erzeugung der spezifischen Kalkulationsdaten angegeben. Mit Hilfe eines Analyseprogramms werden anhand von Nachkalkulationen typische Kenngrößen wie Kosten pro Gewicht, Kosten pro Volumeneinheit usw. für unterschiedliche Teileklassifizierungen berechnet.

Mit Hilfe von Klassifikationssystemen oder statistischen Analysesystemen (Clusteranalyse) werden Ähnlichkeiten der Kostenstruktur von Teilen und Arbeitsplänen erfaßt und einer Ähnlichkeiten-Datei abgelegt. Sie enthält damit Kostengruppen für Teile und Kostengruppen für Arbeitspläne.

Regressionsberechnungen über den Zusammenhang zwischen Geometrieigenschaften und Kosten der Nachkalkulation von Teilen werden in der Kostenstrukturdatei in Form von Regressionskoeffizienten gespeichert.

Die Dateien der linken Seite in Abb. 18 stellen typische Datenstrukturen dar, wie sie im Rahmen von PPS- und CAD/CAM-Systemen benötigt werden. Zur Analyse dieser Daten ist somit der Zugriff auf diese Datenbestände erforderlich. Allerdings kann der Zugriff mit Hilfe von einfachen Dateischnittstellen geschehen, da die Analyseprogramme wegen der großen Anzahl der zu bearbeitenden Datensätze typische Batch-Verarbeitungsformen sind.

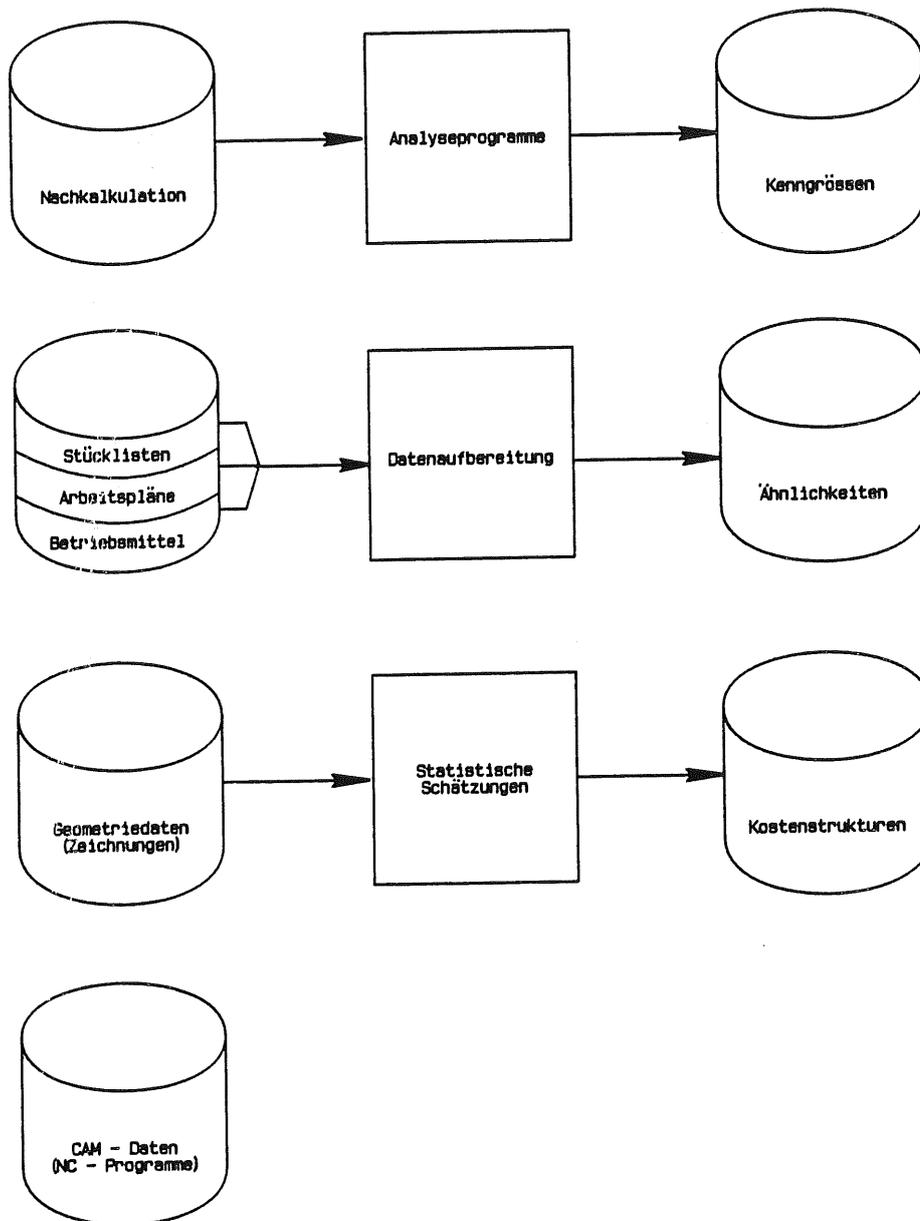


Abb. 18: Programmfunktionen zur Erzeugung spezifischer Kalkulationsdaten

Der Datenfluß für die vier untersuchten Kalkulationsformen ist in den Abbildungen 19 und 20 eingetragen. Hier wird jeweils davon ausgegangen, daß die Kalkulationen im Dialog ausgeführt werden. Je nach der Enge des Zusammenhangs zwischen Geometriedaten und den Kalkulationsdaten bzw. den Daten des Fertigungsbereichs ist eine mehr oder weniger enge Kopplung zwischen CAD/CAM und Kalkulations- bzw. PPS-Daten erforderlich.

Im Rahmen der Kalkulation mit Hilfe von Kenngroßen ist für ein neu zu konstruierendes Teil zunächst der Zugriff auf Ähnlichkeitsinformationen erforderlich, um die Kenngroßen der zutreffenden Klassifikationsgruppe zu identifizieren. Sofern bereits Geometriedaten über das zu konstruierende Teil vorliegen, die Angaben über den Wert des Parameters der Kenngroße (z.B. Gewicht, Volumen usw.) zulassen, können diese Geometriedaten aus dem CAD-System abgeleitet werden. In diesem Fall wäre eine Verbindung zwischen dem CAD-System und den Kalkulationsdialogschritten erforderlich. Stücklisteninformationen können dann herangezogen werden, wenn über Ähnlichkeitshinweise die benötigten Beschreibungsmerkmale aus den Stammdaten ähnlicher Teile abgeleitet werden sollen.

Bei einer Kalkulation mit Hilfe von Ähnlichkeitsdaten wird zunächst über die Ähnlichkeitsdatei ein entsprechendes Referenzobjekt (Teil oder Arbeitsplan) identifiziert. Anschließend können dann die Daten aus den fertigungstechnischen Grunddateien (Stücklisten, Arbeitspläne, Betriebsmittel) entnommen werden oder direkt aus Ergebnisdaten der Nachkalkulation.

Bei der analytischen Kostenkalkulation auf der Grundlage von Geometriedaten werden die geometrischen Beschreibungsdaten aus dem CAD-System übernommen. Nach entsprechender Aufbereitung dieser Daten und Suche der adäquaten Kostengruppe über die Ähnlichkeitsdatei werden die Regressionsparameter der Kostenstrukturdatei entnommen. Anschließend werden die Kalkulationen durchgeführt und dem Benutzer zur Verfügung gestellt.

Bei der Kalkulation mit Fertigungsdaten, bei der dem üblichen Kalkulationsschema für mehrteilige Erzeugnisse gefolgt wird, können Daten eines "ähnlichen" Teiles benutzt werden, indem anhand der Ähnlichkeitsdatei ein Referenzteil identifiziert wird. Anschließend werden dann Stücklisten, Arbeitsplan und Betriebsmitteldatei für die Kalkulation herangezogen.

Soll eine direkte Kalkulation durch Verknüpfung von Geometriedaten und bereits für das zu konstruierende Teil erzeugten Arbeitspläne ausgeführt werden, so werden entweder die NC-Programme des CAM-Systems so aufbereitet, daß Fertigungszeiten und Betriebsmittelzuordnungen entnommen werden können, oder die Geometriedaten werden mit vorhandenen CAM-Informationen von dem Kalkulationsprogramm selbst noch ausgewertet. Nach Bereitstellung der Fertigungsdaten für die Neukonstruktionen können dann die Fertigungszeiten

mit den Maschinenstundensätzen aus den Betriebsmitteldateien verknüpft werden. Da in der Regel auch bereits vorhandene Komponenten in eine Neukonstruktion übernommen werden, können diese Teile durch Zugriff auf die Stammdaten der Fertigung (Arbeitspläne, Stücklisten, Betriebsmitteldaten) ebenfalls mit eingesetzt werden.

Dieses Verfahren gewinnt bei einer stärkeren Datenverflechtung zwischen CAD und CAM an Bedeutung.

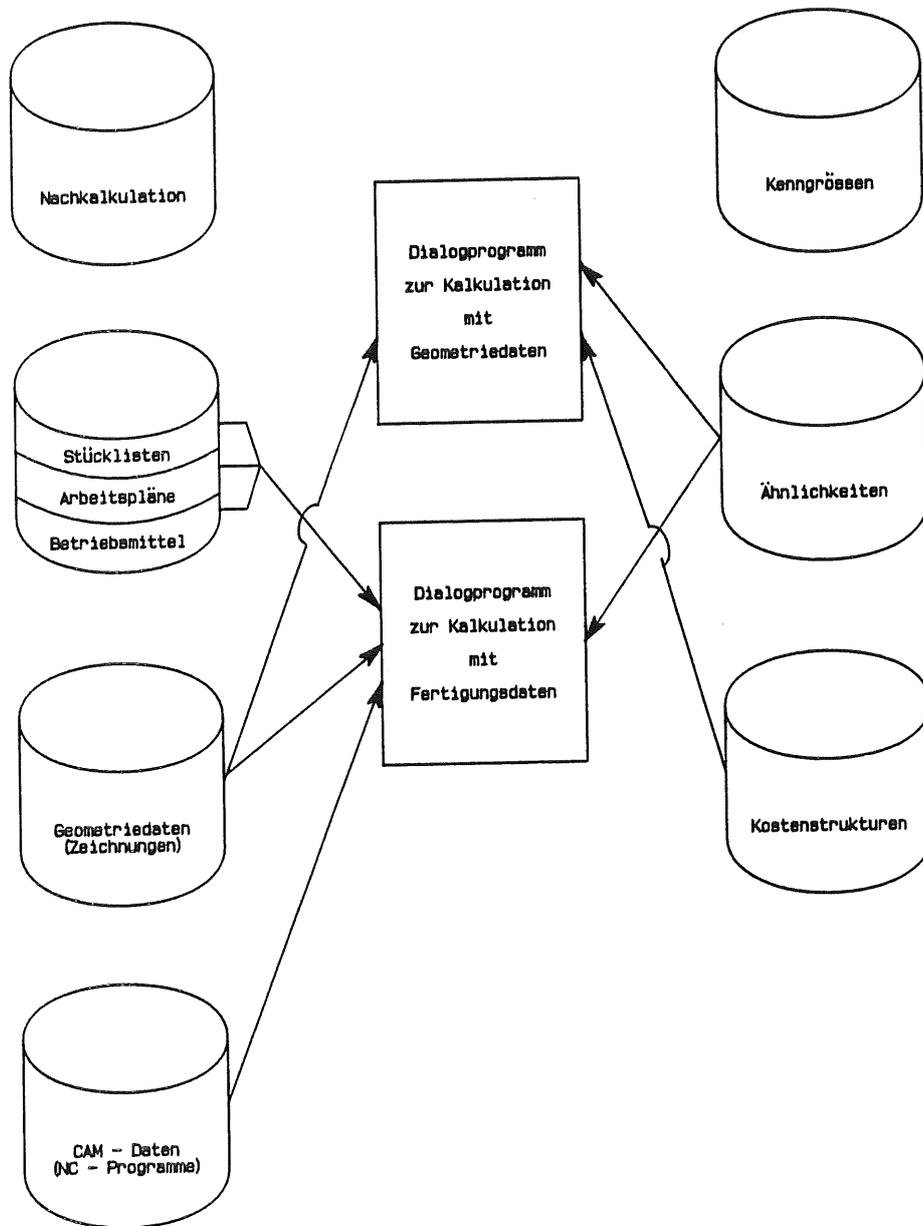


Abb. 19: Datenbasis der Kalkulationsverfahren mit Geometriedaten und Fertigungsdaten

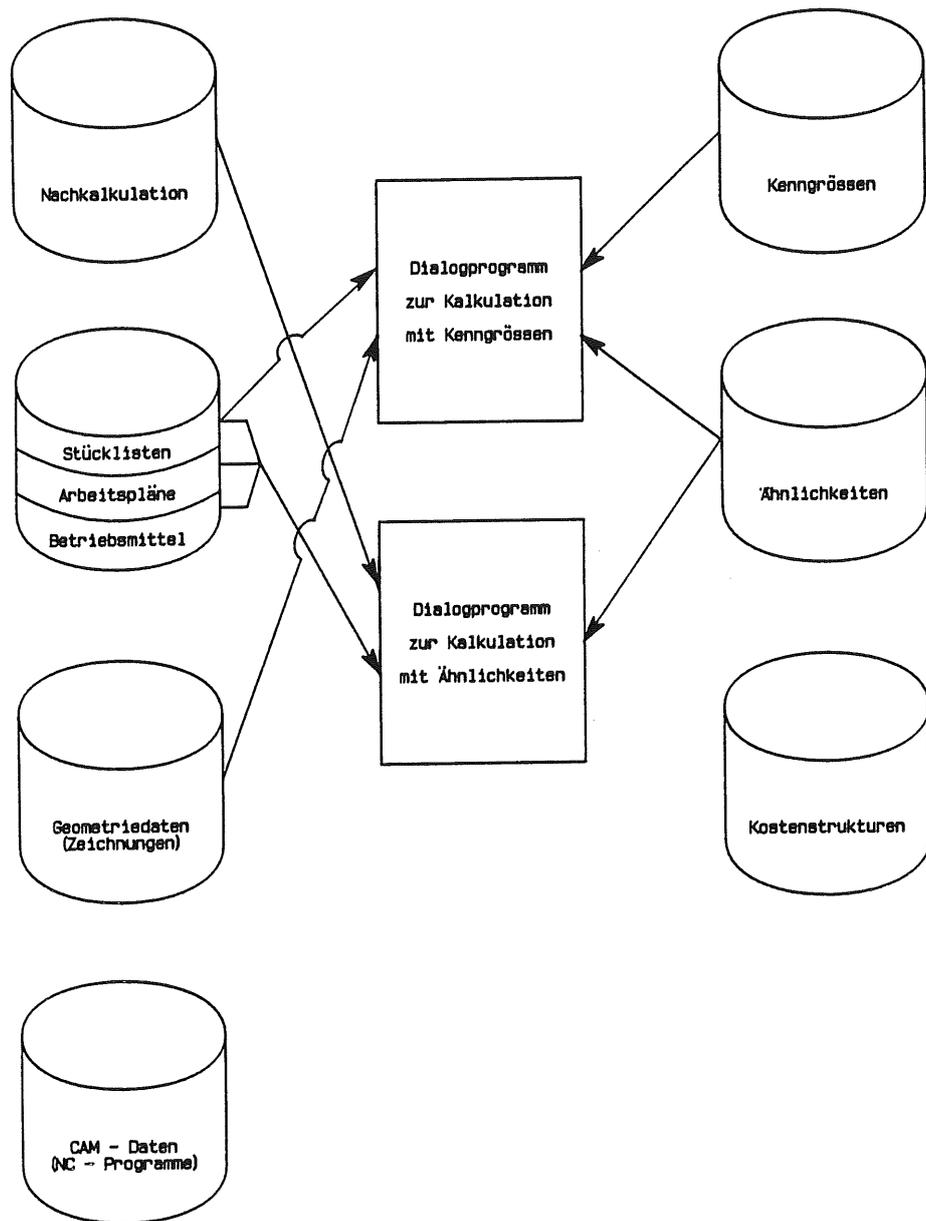


Abb. 20: Datenbasis der Kalkulationsverfahren mit Kenngrößen und Ähnlichkeiten

E. Zusammenfassung

Ausgehend von der Erkenntnis, daß die Konstruktion den überwiegenden Anteil der Kosten eines Produktes bestimmt, wird untersucht, wie im Rahmen einer CIM-Umgebung Kalkulationsverfahren in die Entscheidungsprozesse der Konstruktion eingesetzt werden können.

Dabei wird unterschieden, ob die bisherige klassische Teilung zwischen Konstruktion und Arbeitsvorbereitung (Konstruktion zuständig für Zeichnung und Konstruktionsstückliste; Arbeitsvorbereitung zuständig für Fertigungsstückliste und Arbeitsplanung) beibehalten wird oder aber im Rahmen eines integrierten CAD/CAM-Arbeitsplatzkonzeptes die Bereiche stärker miteinander verwoben werden.

Als zur Verfügung stehende Kalkulationsverfahren werden die Kalkulation mit Hilfe von Kenngrößen, die Kalkulation mit Hilfe von Ähnlichkeitsdaten als pauschale Verfahren sowie die Kalkulation mit Geometriedaten und die Kalkulation mit Hilfe fertigungstechnischer Daten als analytische Kalkulationsverfahren behandelt.

Es zeigt sich, daß die vier einbezogenen Kalkulationsverfahren für unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich Genauigkeit, Daten, Input und Dialogfähigkeit geeignet sind.

Aus diesem Grunde wird ein grober Architekturvorschlag entwickelt, der alle Verfahren integriert und die Datenströme zur Erzeugung von kalkulationsbezogenen Ausgangsdaten sowie für die einzelnen Kalkulationsverfahren benötigten Datenbeziehungen aufzeigt.

Literatur

- Eberlein, W.: CAD-Datenbanksysteme. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1984.
- Eigner, M., Maier, H.: Einführung und Anwendung von CAD-Systemen. München, Wien 1982.
- Encarnacao, J. et al.: CAD Handbuch. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1984.
- Hansen, F.: Konstruktionssystematik. Berlin 1968.
- Hansen, F.: Konstruktionswissenschaft. München 1974.
- Kief, Hand B.: NC-Handbuch '84. Michelstadt 1984.
- Kilger, W.: Einführung in die Kostenrechnung, 2. durchges. Auflage. Wiesbaden 1980.
- Krause, F.-L.: Systeme der CAD-Technologie für Konstruktion und Arbeitsplanung. München, Wien 1980.
- Kreisfeld, P.: Kostenbestimmung mit CAD-Systemen für Rotationsteile. München, Wien 1985.
- Pahl, G., Beitz, W.: Konstruktionslehre. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1977.
- Rodenacker, W.G.: Methodisches Konstruieren. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1976.
- Scheer, A.-W.: Wirtschafts- und Betriebsinformatik. München 1978.
- Scheer, A.-W.: EDV-orientierte Betriebswirtschaftslehre, 2. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1985.
- Spur, G.: CAD-Technik. München, Wien 1980.
- VDI-Richtlinien 2222: Konstruktionsmethodik. Düsseldorf 1977.
- VDI-Taschenbuch T81: Elektronische Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung und -steuerung VIII. Düsseldorf 1978.
- VDMA Systeme zur Rechnerunterstützten Erstellung von Fertigungsunterlagen, Heft 48. Frankfurt 1976.

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

Seit 1983 sind erschienen:

- 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. - 28.9.83
- 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. - 28.9.83
- Heft 42: A.-W. Scheer (Hrsg.), Factory of the Future, Vorträge im Fachauschuß "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 technischer Datenverarbeitung in der Fabrik der Zukunft, Juli 1984
- Heft 45: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert-Biehl, 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