

ENTWICKLUNG EINES MODULAREN SYSTEMS FÜR DIE PROJEKTIERUNG UND ANGEBOTSKONSTRUKTION

Von der
Fakultät für Maschinenwesen der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des
akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur Rainer Koch
aus Halle/Saale

Referent: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. W. Eversheim
Korreferenten: Prof. Dr.-Ing. G. Menges
Prof. Dr.-Ing. H. G. Baumann

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Mai 1985

VORWORT

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL) der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

Herrn Professor Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. W. Eversheim, Mitglied des Institutsdirektoriums und Leiter des Lehrstuhls für Produktionssystematik an diesem Institut, danke ich für seine wohlwollende Unterstützung, großzügige Förderung und wertvollen Hinweise, die die Durchführung dieser Arbeit ermöglicht haben.

Herrn Prof. Dr.-Ing. G. Menges danke ich für die Übernahme des Korreferates und sein Interesse an dieser Arbeit.

Ebenso gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. H. G. Baumann, Direktor bei der Mannesmann Demag AG, für die Betreuung der Arbeit und sein Engagement bei der Praxiseinführung des entwickelten Systems.

Herrn Dipl.-Ing. H.-J. Knappe danke ich für die wertvollen Hinweise und Anregungen bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Mein Dank gilt weiterhin Frau MA K. Kopp, Herrn Dipl.-Inform. N. Lütkemeyer, Herrn Dipl.-Ing. S. Marks, Herrn MA M. Meinberg und besonders Herrn Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. U. Platz für ihren Einsatz bei Konzeption und Realisierung des entwickelten Programmsystems. Herrn Dr.-Ing. K.-H. Looschelders und Herrn Ing.(grad.) W. Panko, Mitarbeiter der Mannesmann Demag AG, danke ich für die Betreuung der Systemerprobung in der Praxis. Nicht unerwähnt bleiben soll auch das große Engagement der Herren cand. ing. Th. Liermann und cand. ing. G. Müller bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Schließlich bedanke ich mich bei allen, die durch ihr freundschaftliches und kollegiales Verhalten zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Reiner Koch

INHALT

1.	Einleitung	1
2.	Planungsabläufe bei der Projektierung von komplexen Industrieanlagen	8
2.1	Begriffserklärung und Eingrenzung der Aufgabenstellung	8
2.2	Analyse unterschiedlicher Projektierungsmethoden	12
2.3	Abgrenzung der Haupt-Planungsabschnitte	20
3.	Analyse der Aufgabeninhalte	25
3.1	Beschreibung der analysierten Projektierungsobjekte	25
3.2	Auslegung der Anlage	30
3.3	Teilsystembezogene Detailplanungen	40
3.4	Layoutplanung	44
3.4.1	Layoutentwurf und Optimierung	45
3.4.2	Transportablauforientierte Layoutbewertung	50
3.5	Bewertung der Analyseergebnisse	57
4.	Grobkonzept für das Projektierungssystem	60
4.1	Anforderungen an das Systemkonzept	60
4.2	Arbeitstechnik für das Projektierungssystem	63
4.3	Ermittlung einer geeigneten Systemarchitektur	65
4.3.1	Aufbau modularer Systeme	67
4.3.2	Methodenbanksysteme	69
4.4	Systemkonzept	71
5.	Detaillierung des Systemkonzeptes	78
5.1	Anwendungsspezifische Daten- und Informationsbestände	78
5.2	Strukturierung der projektspezifischen Ergebnisdaten	83
5.3	Entwicklung der Steuerungs- und Kontrollmechanismen	87
5.4	Berechnung verzweigter Stoff-/Energieflüsse	93
5.4.1	Berechnungsverfahren für verzweigte Stoff-/Energieflüsse	95
5.4.2	Abstimmung der Funktionsträger bei verzweigten Stoff- und Energieflüssen	100
5.5	Systemkomponenten für die Auslegung und die Datenverwaltung	103
5.5.1	Gestufte Verfahrensauswahl	104
5.5.2	Stoff-/Energieflußberechnung	106
5.5.3	Abstimmung und teilsystembezogene Berechnungen	110

6.	Wiederholelementsuche	114
6.1	Elementbeschreibungen und Suchvorgänge	114
6.2	Anbindung an das Projektierungssystem	119
7.	Layoutplanung	122
7.1	Graphisch interaktive Layoutplanung und -analyse	122
7.2	Aufbau eines Layoutplanungs-Bausteins	126
7.3	Systembaustein für die transportablauforientierte Layoutbewertung	127
7.3.1	Bewertung verfügbarer Planungsverfahren	130
7.3.2	Funktionen des Systembausteins "transportablauf- orientierte Layoutbewertung"	133
8.	Nutzung des Gesamtsystems und Entwicklungsmöglichkeiten	140
9.	Zusammenfassung	143
10.	Literatur	

1. EINLEITUNG

Der vor einigen Jahren begonnene Wandel der ursprünglich von den Anbietern beherrschten Märkte zu Käufermärkten hat sich auch in neuerer Zeit fortgesetzt /1/ (Bild 1-1). Für die Anbieter bedeutet dies, in immer stärkerem Maße auf die Wünsche und Vorstellungen

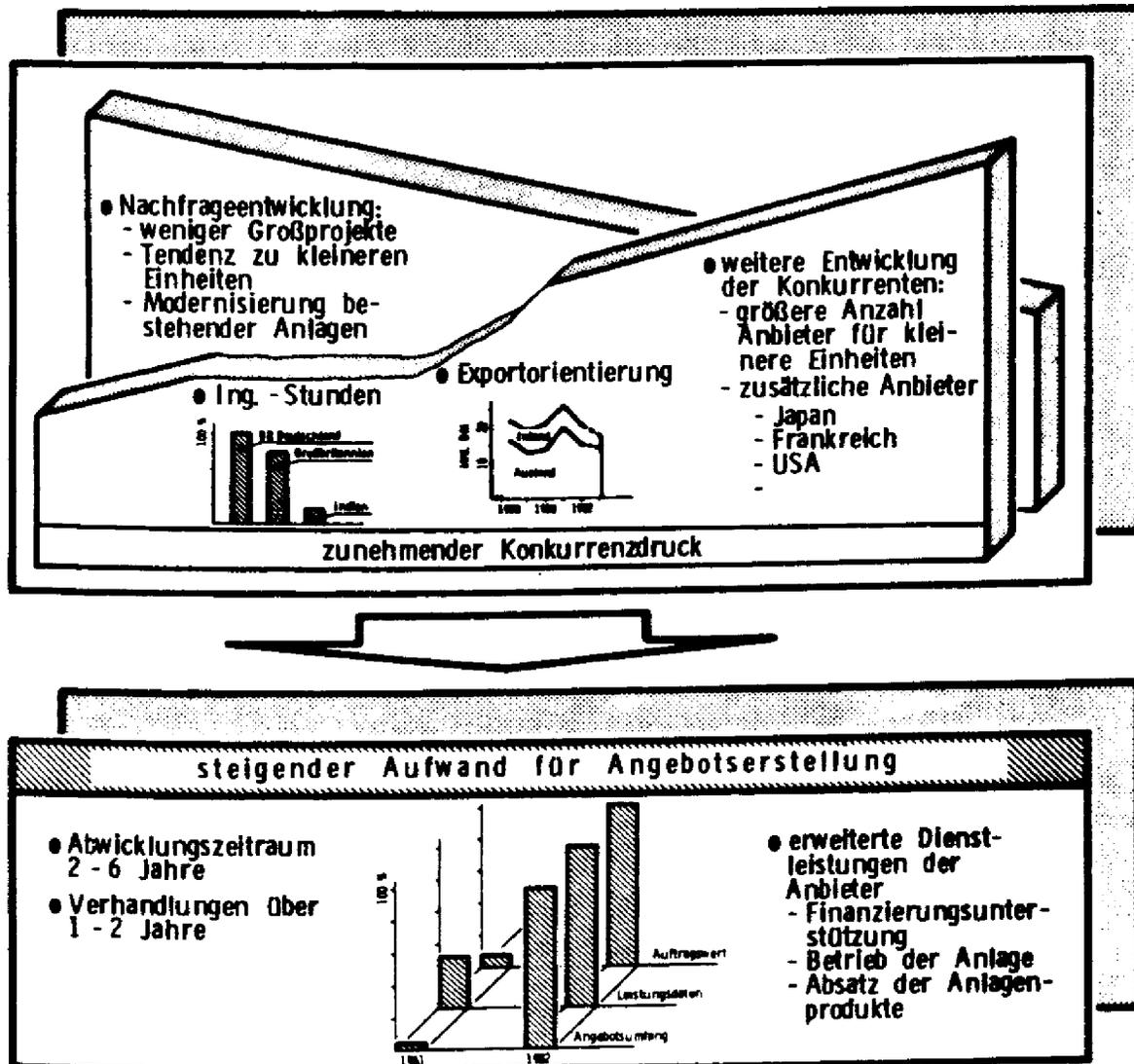


Bild 1-1: Situation des industriellen Anlagengeschäftes

der potentiellen Kunden eingehen zu müssen. Dies führt speziell bei komplexen technischen Produkten, z.B. Industrieanlagen und Maschinensystemen, zu einem erheblichen Aufwand bei der Angebotserstellung, da die Anfrager individuelle, auf ihre Problemstellungen zugeschnittene Lösungen erwarten und verlangen /2-4/. Dadurch ist für die Anbieter, speziell im Bereich des Industrieanlagenbaus, eine sehr ungünstige

Situation entstanden, die sich durch folgende Merkmale charakterisieren läßt /5-9/:

- o Die typische Zeitdauer für die Projektabwicklung liegt zwischen 2 und 6 Jahren.
- o Zusätzlich notwendige Vorverhandlungen erstrecken sich über 1 bis 2 Jahre.
- o Die Kosten für die Angebotserstellung und nachträgliche Änderungen erreichen dabei Größenordnungen von 1 bis 2 % des Auftragswertes.
- o Der Anteil der Großprojekte sinkt, da statt dessen Modernisierungen und Neubauten kleinerer Einheiten erfolgen.
- o Dadurch wächst für die etablierten Firmen des Großanlagenbaus die Zahl der Konkurrenten, weil derartige Projekte auch für kleinere Anbieter interessant sind.
- o Kleinere Firmen können bei derartigen Projekten preisgünstiger anbieten, weil sie nicht den für Großgeschäfte notwendigen Verwaltungs- und Kostenapparat haben.
- o Der Anteil des Exportgeschäftes wächst.
- o Infolgedessen müssen die Anbieter häufig zusätzliche Leistungen übernehmen, z.B. Finanzierungsunterstützung, Unterstützung beim Betrieb der Anlage und sogar den Absatz der Anlagenprodukte.

Häufig führen diese Vorleistungen jedoch nicht zu den erwarteten Aufträgen. Die potentiellen Kunden fragen im allgemeinen bei mehreren Anbietern an und ziehen bei der endgültigen Auftragsvergabe noch andere, vom Anbieter kaum beeinflussbare Entscheidungskriterien heran. Zu nennen sind hier insbesondere politische Randbedingungen, Zahlungserleichterungen durch staatliche Kredite oder Subventionen und die Gewährung von Kompensationsgeschäften /10/.

Als Beispiel sei hier die Projektierung eines Stahlwerkes für Indien genannt, die sich über einen Zeitraum von 5 Jahren erstreckte und immer noch nicht abgeschlossen ist /7/. Das Projekt mit einem Gesamtvolumen von ca. 6 Mrd. DM sollte sich selbst finanzieren, und zwar durch den Wegfall von Importen und die Verpflichtung des Anbieters, die überschüssige Produktion international zu vermarkten. Obwohl der notwendige Kredit durch mehrere Länder abgesichert und der Vertrieb der Produktionsüberschüsse organisiert waren, kam der Auftrag nicht zustande. Ein neuer Konkurrent bot gleichzeitig mit seiner technischen Lösung auch eine Finanzierung durch staatlich verbürgte Entwicklungsgelder mit geringen Zinssätzen an. Wegen des damit ver-

bundenen Kostenvorteils von ca. 500 Mio. DM sollte der Auftrag dort plziert werden. Beim endgültigen Vertragsabschluß zeigte sich jedoch, daß der Konkurrent die zugesagten Bedingungen nicht halten konnte. Damit besteht - abgesehen von den zwischenzeitlich aufgewendeten Kosten für die Angebotserstellung - wieder die ursprüngliche Situation.

Ein erheblicher Anteil des Planungs- und Projektierungsaufwandes wird also vergeblich geleistet; die oft erheblichen Kosten dafür müssen auf andere Aufträge umgelegt werden /6/.

Ungünstig für die Unternehmen in der Bundesrepublik wirkt sich auch die Höhe des Lohnkostenniveaus aus (Bild 1-1). Setzt man die Kosten für einen Ingenieur aus der Bundesrepublik mit 100% an, so ergibt sich für einen britischen Ingenieur vergleichbarer Qualifikation ein Index von 80%, für einen indischen Ingenieur sogar nur ein Index von 15% /8/.

Um trotzdem umfangreiche Planungsleistungen mit vertretbarem Aufwand erbringen zu können und somit konkurrenzfähig zu bleiben, müssen - speziell bei hohem Lohnkostenniveau - effiziente Hilfsmittel eingesetzt werden. Ein Unternehmen kann sich zusätzliche Wettbewerbsvorteile verschaffen, wenn es durch geeignete Rationalisierungsmaßnahmen schneller und flexibler auf Kundenanfragen und -wünsche reagieren kann.

In zunehmendem Maße wird angestrebt, neben konventionellen Hilfsmitteln und Methoden /11-14/ auch EDV-Systeme für diese Aufgaben zu entwickeln und einzusetzen, um die Kosten und die Bearbeitungszeiten für die Angebotserstellung und Projektierung zu reduzieren /8,15/. Dadurch soll - wie auch beim EDV-Einsatz in anderen planenden Bereichen - die Qualität der Ergebnisse verbessert werden. Insbesondere gilt dies für die

- Ausführlichkeit,
- Genauigkeit,
- Planungssicherheit und
- äußere Form der Dokumentation /16-20/.

Obwohl nicht allein für die spätere Auftragsvergabe entscheidend, ist die Ausarbeitung der technischen Lösung von zentraler Bedeutung. Sie bildet im allgemeinen die Basis für alle weiteren Komponenten des

Angebotes, d. h. Kalkulation, Liefertermin und juristische Konditionen /13/.

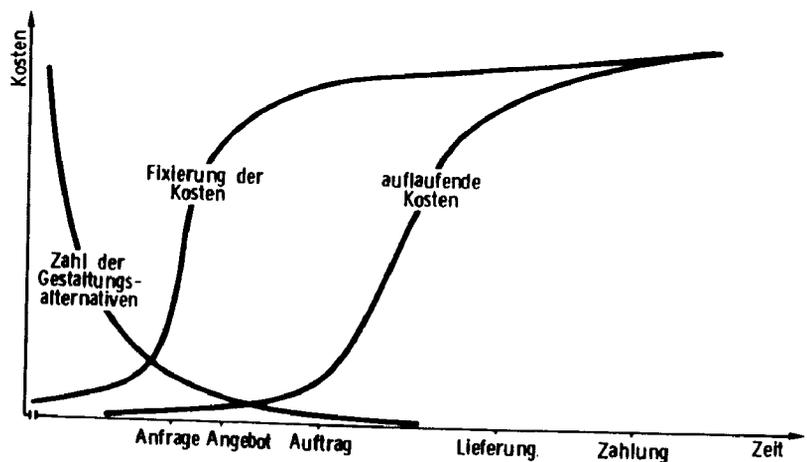


Bild 1-2: Zeitliche Entwicklung von Kosten und Gestaltungsalternativen im Anlagengeschäft (nach /21/)

Speziell zu Beginn der Bearbeitung bestehen noch besonders viele Gestaltungsalternativen, insbesondere, wenn die Anfrage nur wenige konkrete Anforderungen enthält. Im Zuge der Lösungsfindung werden dann verschiedene technische Alternativen ausgesondert bzw. konkretisiert. Gleichzeitig werden die zu erwartenden Kosten in erheblichem Umfang fixiert (Bild 1-2) /21/. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, diese frühe Phase des Absatzprozesses möglichst gut aufzubereiten und zu unterstützen.

Bisher für die Projektierung und Angebotserstellung eingesetzte EDV-Systeme lassen sich in drei Gruppen einordnen (Bild 1-3):

- Spezialexsysteme für umfangreiche Einzelaufgaben,
- unspezifische Systeme, wie z.B. Textverarbeitungssysteme und CAD-(Computer Aided Design-) Systeme, und
- firmenspezifische Systeme für die Angebotserstellung.

Spezialexsysteme existieren insbesondere im Bereich der Verfahrenstechnik /22,23/, z.B. für Mengen- und Energiebilanzen, für die verfahrenstechnische Auslegung, Rohrleitungsplanung und -materialefassung, Planung von Meß-, Steuer- und Regelungsanlagen.

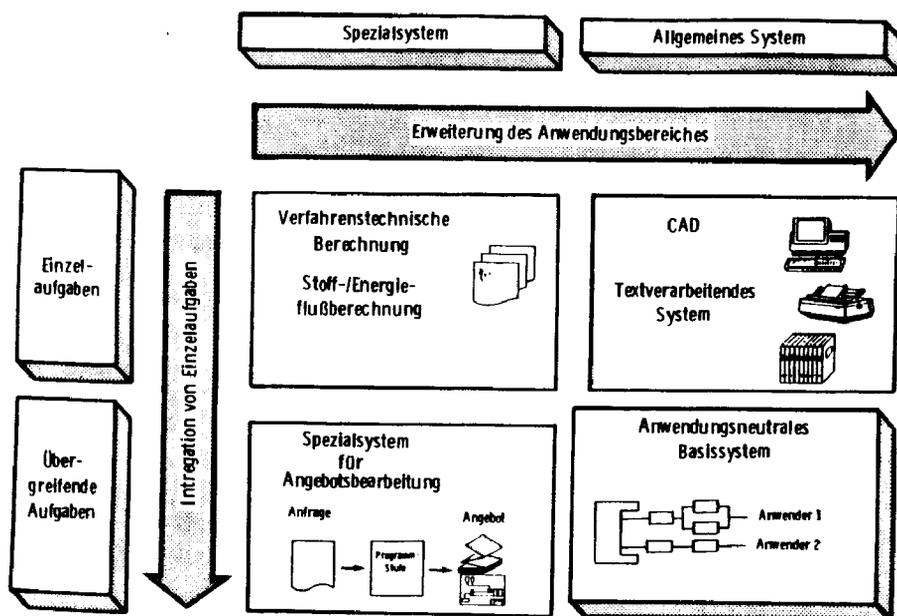


Bild 1-3: Einordnung von EDV-Systemen für die Projektierung und Angebotserstellung

Ein Haupteinsatzgebiet von CAD-Systemen bei der Planung komplexer Anlagen liegt beim Zeichnen verfahrenstechnischer Schemata /24, 25/. Im allgemeinen wird dabei nur die Zeichnungserstellung und -änderung erleichtert; die Ankopplung zugehöriger Berechnungen oder die Bearbeitung von kompletten Aufstellungsentwürfen stellen bisher noch Ausnahmen dar /26-30/. Erhebliche Verbesserungen der Arbeitstechnik bringen solche Systeme auch im Bereich der Elektrokonstruktion /25,31-33/. Die Erstellung der Angebotstexte läßt sich durch Textverarbeitungssysteme wesentlich beschleunigen. Durch standardisierte Textbausteine ist dabei ein erheblicher Teil des Aufwandes für das Konzipieren und Formulieren der Texte einsparbar /3,34,35/. Zusätzlich bringen derartige Systeme auch Vorteile bei der Kommunikation mit Außenstellen /36,37/.

Systeme, die im Unterschied zu den genannten nicht nur einzelne, sondern mehrere Teilaufgaben unterstützen /38,39/, stehen bisher nur in geringem Umfang und für spezielle Anlagenarten zur Verfügung. Da für derartige Systeme im allgemeinen auch nur eine insgesamt relativ geringe Nutzungshäufigkeit zu erwarten ist und während der Pro-

grammlebensdauer häufig Änderungen infolge veränderter technologischer Auslegungskriterien notwendig werden, verzichten viele Unternehmen auf Entwicklung und Einsatz derartiger Systeme. Der finanzielle und zeitliche Entwicklungsaufwand reduziert sich jedoch erheblich für das einzelne Unternehmen, wenn statt eines vollständigen Programmsystems nur betriebsspezifische Programme und Auslegungsalgorithmen zu entwickeln sind. Zielsetzung dieser Arbeit soll deshalb sein, ein entsprechendes anwendungsneutrales Basissystem zu konzipieren, das sich mit möglichst geringem Aufwand an unterschiedliche Projektierungsaufgaben anpassen und stufenweise ausbauen läßt.

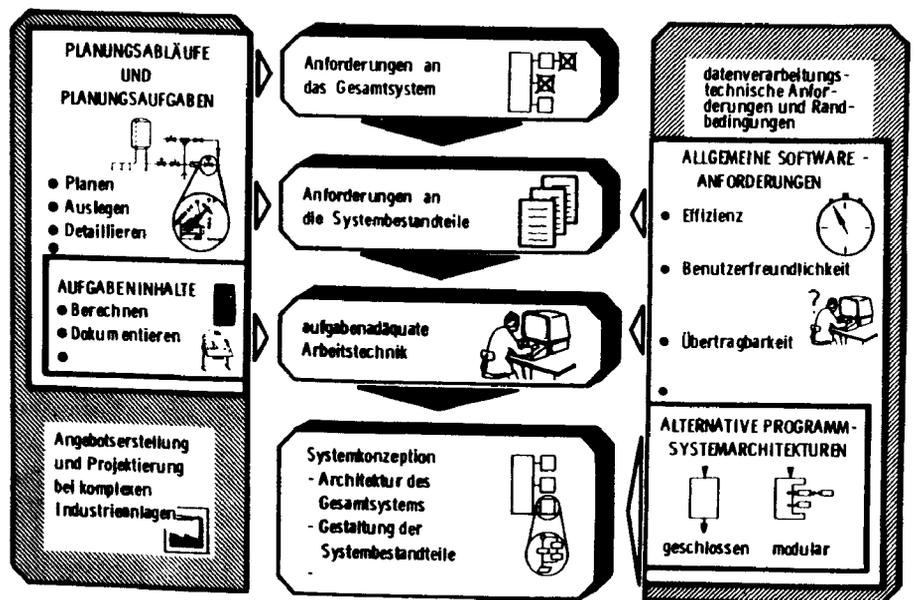


Bild 1-4: Einflußgrößen und Planungsstufen bei der Entwicklung des Projektierungssystems

Bei der Entwicklung eines derartigen Systems ist hauptsächlich von den Abläufen und Arbeitsinhalten bei der Angebotserstellung und Projektierung sowie von allgemeinen Regeln und Möglichkeiten für die Gestaltung von EDV-Systemen auszugehen /40,41/. Stufenweise kann dann die Systemkonzeption von einem groben Anforderungsprofil an das Gesamtsystem bis hin zur Gestaltung der einzelnen Systembestandteile detailliert werden (Bild 1-4).

Im wesentlichen sind dabei zwei Faktoren zu beachten, die die Über-

tragbarkeit eines Programmsystems und dessen Flexibilität hinsichtlich der bearbeitbaren Aufgaben bestimmen:

- der vorhandene Funktionsumfang des Systems und
- die Struktur des Systems sowie die daraus resultierenden Hilfsmittel und Möglichkeiten zur Erweiterung und Anpassung.

Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit soll deshalb sein, ein Konzept für ein komfortables, anwendungsneutrales Basissystem für die Projektierung und Angebotserstellung abzuleiten. Um den notwendigen Funktionsumfang und die Datenstrukturen für das System abzugrenzen, müssen zunächst die Abläufe und Tätigkeitsinhalte bei der Projektierung komplexer Anlagen und Maschinensysteme analysiert werden. Aufgrund dieser Analysen lassen sich dann - unter Berücksichtigung der Randbedingungen und Anforderungen bei einer EDV-gestützten Bearbeitung - die Konzepte für das Gesamtsystem und seine Bestandteile entwickeln und im Rahmen einer Pilotanwendung erproben.

2. PLANUNGSABLAUFE BEI DER PROJEKTIERUNG VON KOMPLEXEN INDUSTRIEANLAGEN

Der Begriff Projektierung wird häufig in unterschiedlichen Zusammenhängen und mit unterschiedlicher Bedeutung verwendet. Um die Aufgabenstellung für das hier zu entwickelnde Projektierungssystem eingrenzen zu können, ist zunächst eine Begriffsklärung durchzuführen. Davon ausgehend werden dann typische Vorgehensweisen und Projektierungsmethoden hinsichtlich ihrer Abläufe und Arbeitsinhalte untersucht, um den notwendigen Leistungsumfang des Projektierungssystems festzulegen.

2.1 BEGRIFFSKLÄRUNG UND EINGRENZUNG DER AUFGABENSTELLUNG

Projektieren steht häufig als Synonym für die technische Angebotsbearbeitung bzw. -konstruktion und bezeichnet die Erarbeitung einer technischen Lösung in der Phase der Angebotserstellung /42/. Beim eigentlichen Konstruieren reichen die Tätigkeiten von der Entwicklung eines Lösungsprinzips bis hin zur Erstellung der Ausführungsunterlagen, z.B. den Detailzeichnungen für die Einzelteile /43/. Im Unterschied dazu ist der Detaillierungsgrad der erzeugten Informationen und Unterlagen bei der Projektierung und Angebotserstellung meist geringer - speziell bei Kontakt- und Richtangeboten /42/. Häufig werden auch weitere im Zuge einer Angebotserstellung notwendige Aufgaben, insbesondere

- Konzipieren und Entwerfen der technischen Lösung,
- technisches und wirtschaftliches Bewerten,
- Erstellen der Grundlagen für die Vorkalkulation,
- Festlegen der Gewährleistungen und
- Ausarbeiten des Angebotes

in den Begriff mit einbezogen /44/. Wie bereits in Kap. 1 gezeigt, hat die technische Lösung eine zentrale Bedeutung. Deshalb liegt auch der Schwerpunkt dieser Arbeit darin, ein System zu entwickeln, das diese Planungsaufgabe unterstützen kann. Im folgenden soll zunächst der Anwendungsbereich für das System ausgehend von einer Typisierung der Projektierungsaufgaben definiert werden.

Eine Projektierungsaufgabe ist durch drei wesentliche Merkmale zu

kennzeichnen (Bild 2-1):

- die grundsätzliche Aufgabenstellung, d. h. Neubau, Umbau etc.,
- den Industriebereich, zu dem das Projektierungsobjekt gehört und
- die Komplexität des Projektierungsobjektes.

Die grundsätzlichen Aufgabenstellungen bei der Projektierung, auch als Projektierungsgrundfälle bezeichnet /45/, sind die vollständige Neuerrichtung, die Erweiterung und die Erneuerung bzw. Modernisierung. Alle drei Projektierungsgrundfälle treten bei der Erstellung von Angeboten für Industrieanlagen auf und müssen deshalb bei den folgenden konzeptionellen Überlegungen einbezogen werden.

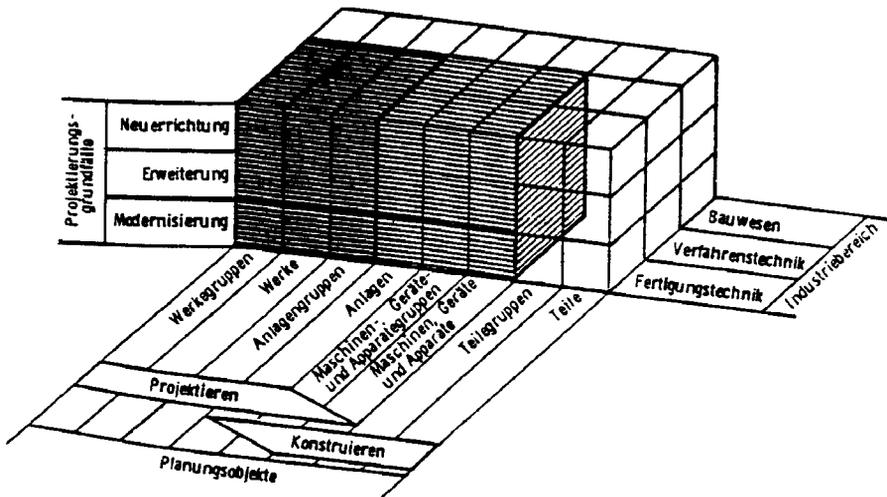


Bild 2-1: Eingrenzung der Aufgabenstellung für das Projektierungssystem

Als unterschiedliche Industriebereiche (Zielstellungen bei der Projektierung /45/) sind zu erkennen:

- Bauwesen,
- Verfahrenstechnik und
- Fertigungstechnik.

Im folgenden sollen nur noch die beiden letztgenannten Bereiche betrachtet werden, da hierbei noch vergleichbare Aufgabenstellungen zu

erwarten sind. Die Projektierung von Bauwerken kann demgegenüber wegen der grundsätzlich anderen fachlichen Ausrichtung bei den weiteren Analysen unberücksichtigt bleiben.

Die Komplexität eines Projektierungsobjektes bezeichnet die Gesamtheit aller Eigenschaften eines technischen Systems, die im allgemeinen aus der Anzahl der enthaltenen Funktionen resultiert /46/. Die technischen Systeme sind zerlegbar, auch ihre Bestandteile können wieder technische Systeme sein. Untergeordnete Systeme werden als Teilsysteme bezeichnet, das ursprüngliche System heißt Gesamtsystem /47/. Durch die Gliederung des Gesamtsystems in seine Teilsysteme und deren Untergliederung in ihre jeweiligen Teilsysteme entsteht eine eindeutige, hierarchische Struktur, in die sich die unterschiedlichen Systeme einordnen lassen. Je tiefer ein technisches System gegliedert werden kann, desto höher ist normalerweise seine Komplexität. Die Komplexitätsebenen, in die technische Systeme eingeordnet werden, und die praktisch den Gliederungsebenen entsprechen, sind:

- Werkegruppen,
- Werke,
- Anlagengruppen,
- Anlagen,
- Maschinen-, Geräte- und/oder Apparategruppen,
- Maschinen, Geräte und/oder Apparate sowie
- Teilegruppen und
- Teile.

Jedes nachgeordnete technische System ist dabei ein Teilsystem des jeweils vorgeordneten.

Das Projektieren kann, in Abhängigkeit von dem geforderten Detaillierungsgrad des Angebotes und der Komplexität des zu bearbeitenden Objektes, von der Werkegruppen-Ebene bis hin zu einzelnen Teilen des technischen Systems reichen /46/. In der Phase vor der Auftragserteilung werden häufig nur die wesentlichen, technisch kritischen oder kostenbestimmenden Elemente einbezogen /47/. Der Schwerpunkt der Projektierungstätigkeiten liegt also überwiegend bei Objekten höherer Komplexität.

Aufgrund dieser Überlegungen ergibt sich der in Bild 2-1 markierte Anwendungsbereich für ein Projektierungssystem. Um die Anforderungen an dieses System abzuleiten, sind zunächst die einzelnen Phasen

der Projektierung zu erfassen und zu systematisieren. Aus den inhaltlichen Analysen der einzelnen Phasen sowie allgemeinen Anforderungen ergeben sich dann die sinnvollen Arbeitstechniken und die notwendigen Systemfunktionen (Bild 2-2).

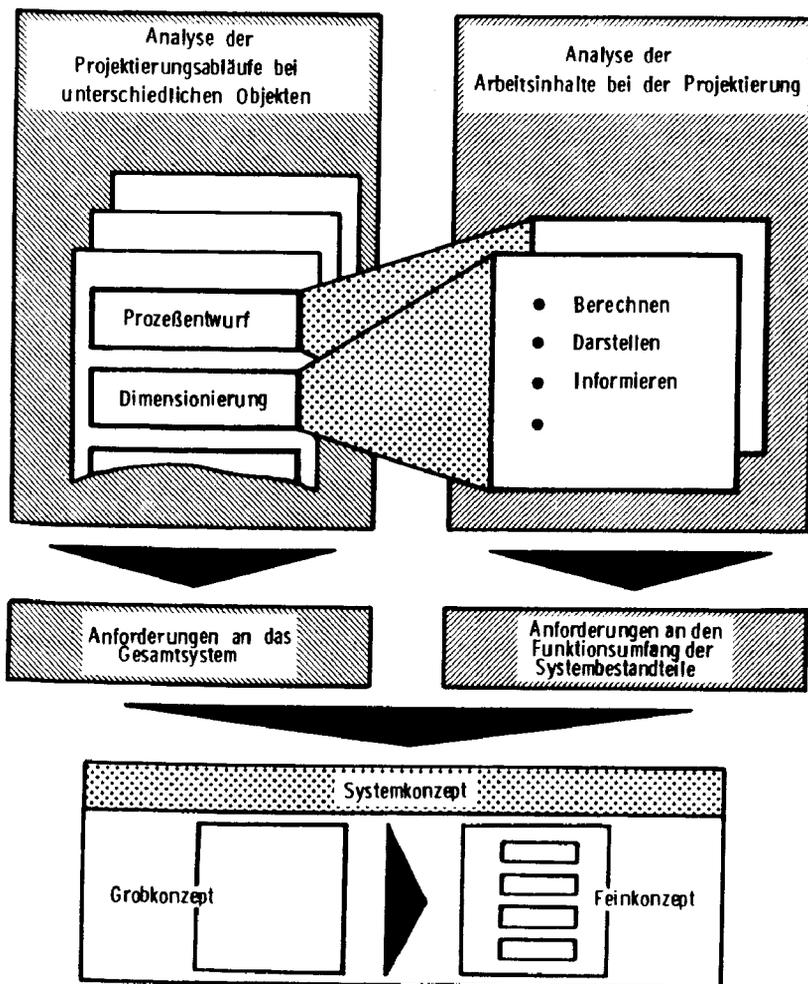


Bild 2-2: Ermittlung von Anforderungen für die Systemkonzeption

Grundsätzlich ist davon auszugehen, daß die Projektierungsabläufe für unterschiedliche Anlagenarten prinzipiell gleichartig sind /48/. Dies gilt überwiegend für den Gesamtlauf, d.h. die prinzipielle Reihenfolge der

einzelnen Projektierungsabschnitte. Um diese Abschnitte genauer abzugrenzen, sollen zunächst unterschiedliche Projektierungsmethoden und -abläufe analysiert und bewertet werden.

2.2 ANALYSE UNTERSCHIEDLICHER PROJEKTIERUNGSMETHODEN

Grundsätzlich gleicht das systematische und methodische Projektieren anderen Methoden der systematischen Lösungsfindung bei der Entwicklung technischer Produkte /38/. Das den meisten dieser Methoden gemeinsame Prinzip besteht darin, die gesuchte technische Lösung stufenweise zu konkretisieren /43,48-56/. Dieses Prinzip gilt für die Ausarbeitung der gesamten Lösung ebenso wie für die enthaltenen Teillösungen. Aufgrund der stufenweisen Konkretisierung wird das Spektrum verfügbarer Lösungsmöglichkeiten in allen Planungsphasen auf ein überschaubares Maß begrenzt. Außerdem bleiben die Zuordnungen und Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen übersichtlich, auch wenn mit zunehmender Detaillierung der Gesamtlösung sowie mit der detaillierteren Betrachtung der Lösungselemente das Volumen der zu verarbeitenden Daten stark anwächst.

Bei der Projektierung von Industrieanlagen und Fertigungsstätten ist im allgemeinen ein noch wesentlich größeres Informationsvolumen zu handhaben. So wurden z.B. allein bei der Rohrleitungsplanung für ein deutsches Kraftwerk ca. 75000 Stücklistenpositionen erstellt /57/. Ursachen dafür sind die hohe Komplexität solcher Systeme und die daraus resultierende Anzahl enthaltener Teilsysteme. Durch ein systematisches und methodisches Vorgehen läßt sich auch hier erreichen, daß die Lösungsfindung und die Handhabung der Ergebnisse erleichtert werden. Der Vielfalt von Projektierungsaufgaben und -möglichkeiten entsprechend existieren auch verschiedene Projektierungsmethoden, z.B.

- eine allgemeine, nicht auf bestimmte Anlagenarten oder Komplexitätsebenen zugeschnittene Systematik /46/,
- Vorgehensweisen für die Projektierung verfahrenstechnischer Anlagen /23,24,58/,
- Methoden für die Projektierung von Fertigungsstätten /59/,
- die stufenweise Auswahl geeigneter Fertigungsmittel ausgehend von Werkstücken und Bearbeitungsaufgaben /60, 61/ und
- die Kombination einer Anlage aus vorhandenen Bausteinen /62/.

Im folgenden sollen die allgemeine Projektierungssystematik sowie zwei auf spezielle Projektierungsobjekte ausgerichtete Methoden analysiert werden. Zielsetzung ist dabei, die spezifischen Merkmale der einzelnen Vorgehensweisen zu ermitteln und hinsichtlich der daraus resultierenden Anforderungen an ein geeignetes Projektierungssystem zu bewerten.

Die einzelnen Schritte der allgemeinen Methode zum systematischen Projektieren und Konstruieren zeigt Bild 2-3. Der Begriff der Projektierung gilt hierbei im weiteren Sinne, d.h., neben der Ausarbeitung der technischen Lösung sind auch Tätigkeiten zur Vorbereitung der kaufmännischen und juristischen Inhalte des Angebotes einbezogen. Diese Systematik wurde bereits bei der Entwicklung eines Programmsystems für die Projektierung von Verzinkungslinien zugrunde gelegt /38,44,47/. Der vorgeschlagene Ablauf /46/ ist unabhängig von der Komplexität der projektierten technischen Systeme. Die Kombination dieser Hauptschritte mit der bereits vorgestellten Gliederung und Einordnung der technischen Systeme nach Komplexitätsebenen führt zu einer starken und eindeutigen Strukturierung des Projektierungsprozesses. Dadurch bleibt der Ablauf auch bei technischen Systemen hoher Komplexität sehr übersichtlich. Unabhängig von der jeweils zugrundegelegten Komplexitätsebene wird immer vom

- Abstrakten zum Konkreten,
- Gesamten zum Einzelnen und
- übergeordnet zum untergeordnet komplexen System

vorgegangen. Eine derartige Strukturierung des gesamten Projektierungsablaufes wird als wesentliche Voraussetzung angesehen, um EDV-Systeme für solche Aufgaben zu entwickeln /44/. Bei dieser Systematik wird die Wiederverwendung vorhandener technischer Lösungen und Lösungselemente betont. Bedingung dafür ist, daß auch diese entsprechend ihrer Komplexität eingeordnet sind. Nachdem die quantitativen und qualitativen Anforderungen an die technischen Systeme ausreichend konkretisiert sind - im allgemeinen nach der Festlegung der konstruktiven Wirkzusammenhänge -, soll jeweils der Vergleich mit vorhandenen technischen Lösungen derselben Komplexitätsebene erfolgen. Zeigen sich dabei Möglichkeiten zur Wiederverwendung, ist eine weitere Detaillierung der betreffenden Teilsysteme nicht mehr erforderlich. Aufgrund der Daten der wiederverwendbaren identischen oder ähnlichen Lösungen lassen sich trotzdem ausreichend genaue Aussagen über die technische Durchführbarkeit des Projektes, das Investitionsvolumen, Lieferzeiten etc. treffen. Für nicht vorhandene Teilsysteme kann nach

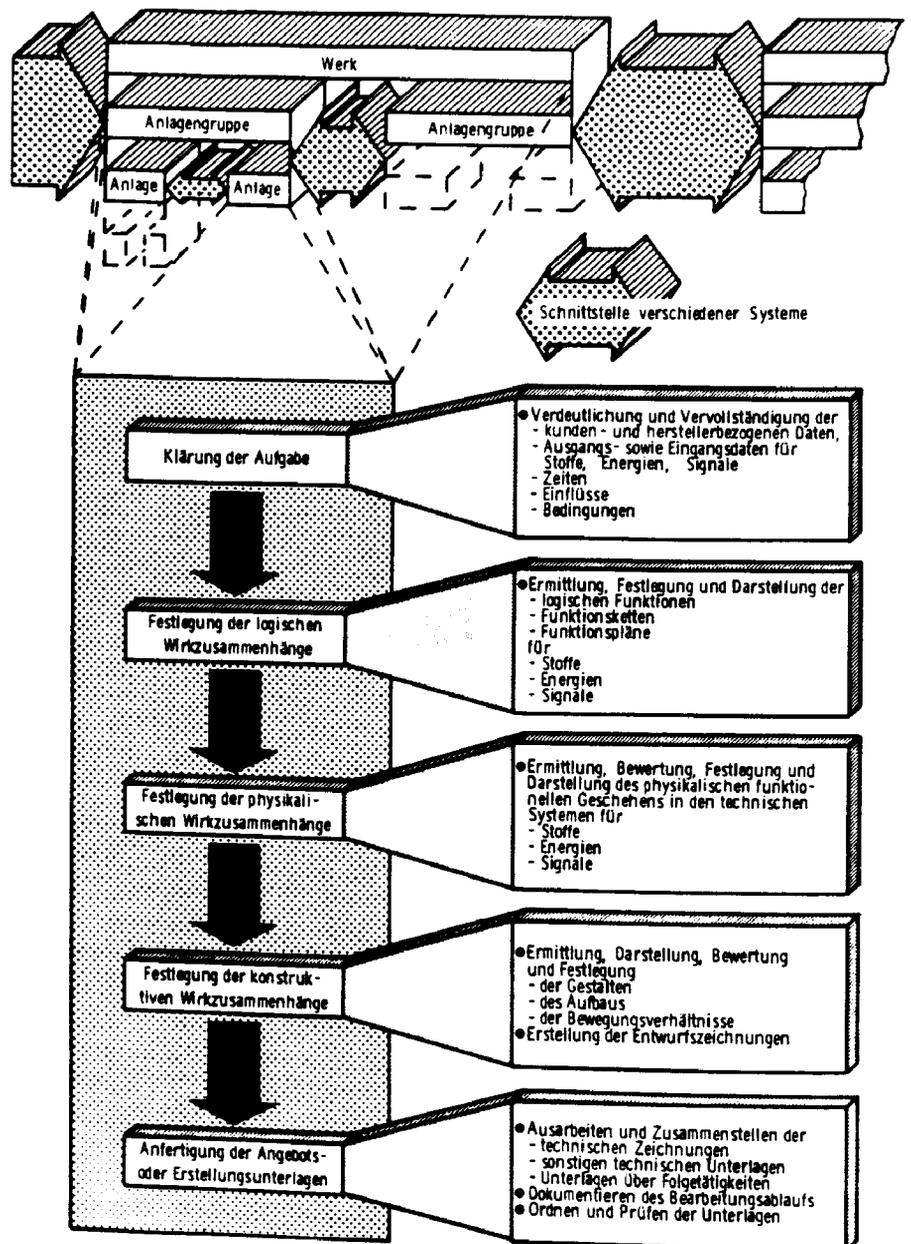


Bild 2-3: Hauptschritte beim systematischen Projektieren und Konstruieren (nach: /44/)

der Bearbeitung der entsprechenden Projektierungsschritte der Rückgriff auf Teilsysteme der nachgeordneten Komplexitätsebene erfolgen.

Zusammengefaßt weist die vorgestellte Systematik folgende Merkmale auf, die bei der Konzeption des Projektierungssystems berücksichtigt werden müssen:

- stufenweise Konkretisierung der Lösung,
- klare Strukturierung der Projektierungsabläufe auch bei hochkomplexen technischen Systemen und
- Wiederverwendung vorhandener Lösungen.

Bild 2-4 zeigt das Vorgehen bei der Planung verfahrenstechnischer Anlagen /16,58/. Im allgemeinen werden dabei gedanklich zwei Hauptabschnitte unterschieden:

- Basic-Engineering und
- Detail-Engineering.

Das Basic-Engineering beinhaltet die verfahrenstechnische Auslegung der einzelnen Grundoperationen und deren Kopplung. Maßgeblich bei der Auswahl der verfahrenstechnischen Grundoperationen sind die projektspezifischen Randbedingungen wie Rohstoffeinsatz, Energienutzung, ökonomische Bedingungen etc. /16/. Um die Ergebnisse in überschaubarer Form zu dokumentieren, werden graphische Darstellungen und alphanumerische Beschreibungen kombiniert. Hervorzuheben ist, daß die dabei erstellten Fließbilder (Bild 2-5) hinsichtlich ihrer Ausführung und ihrer Informationsinhalte in starkem Maße genormt sind /63/. Die in den Normen festgelegten Mindestinformationsinhalte und vorgesehenen Zusatzinformationen verdeutlichen die stufenweise Konkretisierung der Planung und den jeweiligen Informationszuwachs.

Neben den Beschreibungen und Berechnungen der chemischen und physikalischen Abläufe in der Gesamtanlage werden während des Basic-Engineerings auch erste Unterlagen über die technische Ausführung der geplanten Anlage erstellt. Dazu gehören technische Datenblätter für die einzusetzenden Maschinen und Apparate, Rohrleitungs- und Instrumentenfließbilder unterschiedlicher Detaillierungsgrade /58/ sowie Layout-Entwürfe und gegebenenfalls erste Anlagenmodelle. Die Gegenüberstellung der Planungsschritte und der erzeugten Unterlagen (Bild 2-4) läßt eine deutliche Trennung der Auslegungsrechnungen für die Gesamtanlage (verfahrenstechnische Berechnung) und der Berechnungen zu den

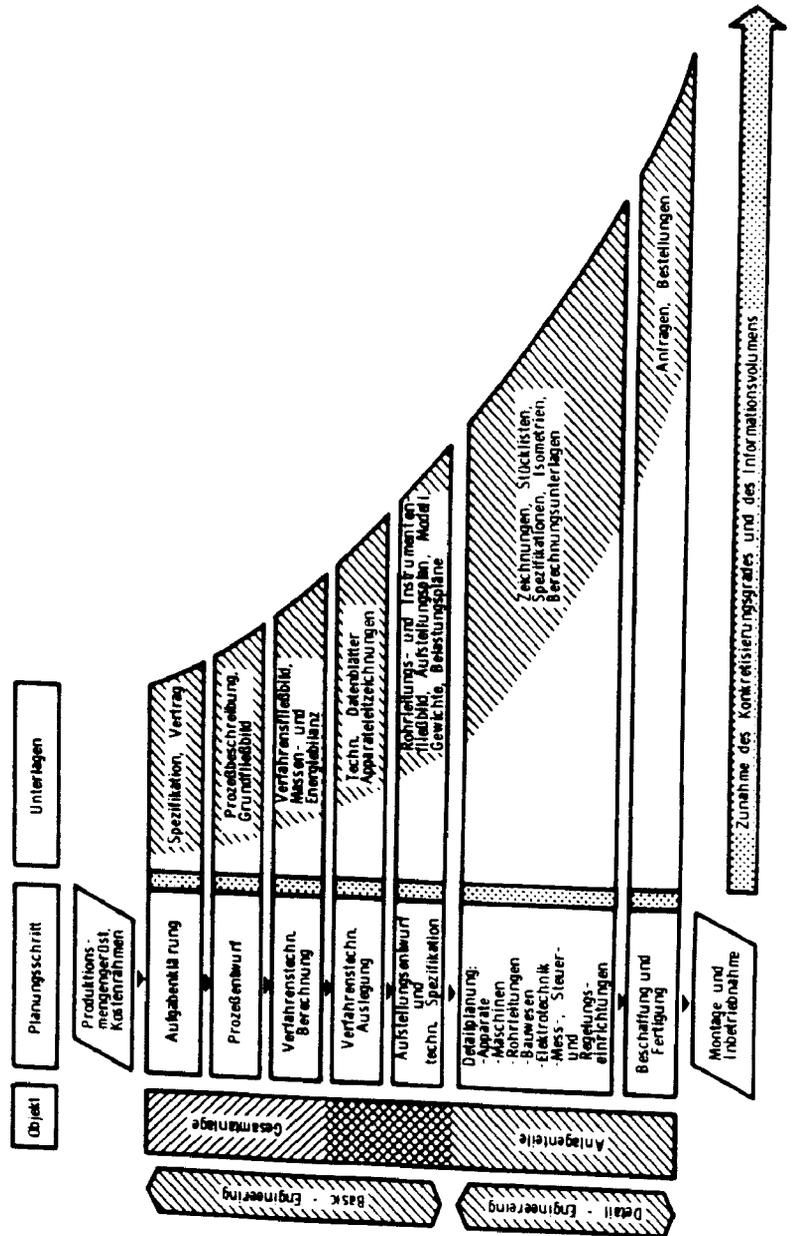


Bild 2-4: Projektierungsschritte bei verfahrenstechnischen Anlagen

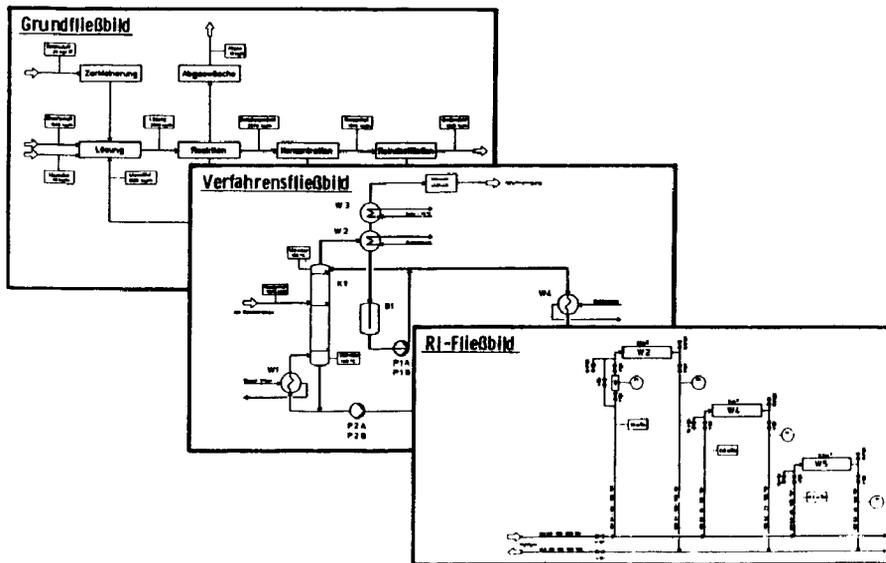


Bild 2-5: Fließbilder verfahrenstechnischer Anlagen (Ausschnitte)

einzelnen Apparaten (technische Spezifikation) erkennen. In der Phase des Detail-Engineerings erfolgen dann die detaillierte Berechnung und Konstruktion der zuvor festgelegten Anlagenteilsysteme.

Vorteilhaft bei der zuletzt beschriebenen Vorgehensweise ist die gestufte Verfahrensauswahl, bei der zunächst nur eine grobe funktionale Beschreibung des Produktionsablaufs entsteht, bevor die tatsächlich zu berücksichtigenden technischen Verfahren festgelegt werden. Wesentlich sind auch die hier vorgeschlagenen Schritte zur quantitativen Auslegung:

- Massen- und Energiebilanz für die Gesamtanlage,
- verfahrenstechnische Auslegung und
- technische Spezifikation der einzelnen Teilsysteme.

Für die im Rahmen des Detail-Engineering zu bearbeitenden Aufgaben besteht demgegenüber keine entsprechend klare Strukturierung.

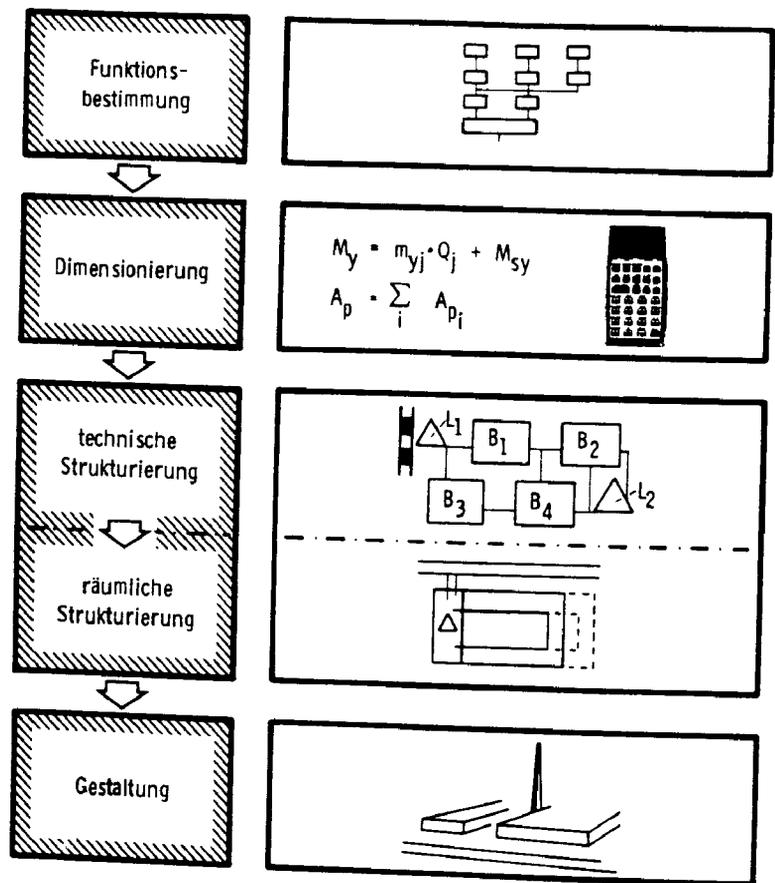


Bild 2-6: Gesamtprozeß der Betriebsprojektierung (nach /59/)

Die Planungsschritte einer Vorgehensweise für die Projektierung von fertigungstechnisch orientierten Produktionsstätten zeigt Bild 2-6 /59/. Den ersten Planungsschritt stellt die Funktionsbestimmung dar. Diese Bezeichnung faßt alle Tätigkeiten zusammen, um die

- Voraussetzungen,
- Verfahren,
- Arbeitsmittel und
- Folge der Operationen

festzulegen, durch die die Werkstoffe und Werkstücke in die gewünschten Endprodukte umzuwandeln sind.

Beim anschließenden Dimensionieren werden die quantitativen Beschreibungsgrößen ermittelt, d.h. die Kapazitäten, das Betriebsverhalten, die Energieeinsätze, evtl. auch die benötigten Flächen oder der Raumbedarf.

Das Strukturieren umfaßt zwei Teilaufgaben, das technische und das räumliche Strukturieren. Die technische Struktur ist standortunabhängig und beinhaltet die für die Produktion notwendigen Beziehungen zwischen den einzelnen Teilsystemen und Elementen einer Produktionseinheit bzw. eines Produktionssystems. Diese Sollbeziehungen können im Austausch von Stoffen, Material und Energien, aber auch im Informationsaustausch oder aufgrund des Personaleinsatzes bestehen /59/. Die Umsetzung der technischen Struktur unter Berücksichtigung der Material- und sonstigen Flüsse sowie der realen Bedingungen des Standortes erfolgt bei der räumlichen Strukturierung.

Den letzten Planungsschritt bildet das Gestalten. Dabei wird unter Berücksichtigung von Randbedingungen und Einflußgrößen wie Bauwerk, Verkehrswege, Ver- und Entsorgungseinrichtungen, Sicherheitsbestimmungen usw. die detaillierte Ausführung und Einrichtung der Fertigungsstätte festgelegt.

Aus dieser Vorgehensweise lassen sich nur wenige Anforderungen für ein Projektierungssystem ableiten. Hauptursache dafür ist, daß unter den Begriffen Funktionsbestimmung und Dimensionierung eine Vielzahl von Einzelaufgaben und Planungen zusammengefaßt werden. Hervorzuheben ist aber, daß schon relativ früh, nämlich nach der Dimensionierung, eine Layoutplanung stattfindet. Für das Projektierungssystem bedeutet dies, daß eine gewisse Flexibilität hinsichtlich des Gesamttablaufs bestehen sollte.

Basierend auf den beschriebenen Methoden soll ein Planungsmodell für die rechnerunterstützte Projektierung entwickelt werden. Von besonderer Bedeutung ist dabei, daß sich das Planungsmodell für lineare wie auch für verzweigte Anlagenstrukturen anwenden und leicht auf unterschiedliche Anlagenarten und Komplexitätsebenen übertragen lassen muß. Im Sinne einer sprachlichen Vereinfachung werden bei den folgenden Beschreibungen häufig die Begriffe komplexes technisches System oder Gesamtsystem mit Anlage bzw. untergeordnetes System oder Teilsystem mit Teilanlage gleichgesetzt. Dies erleichtert es dann auch, die Funktionen technischer Systeme von den Funktionen des Projektierungssystems sprachlich abzugrenzen.

2.3 ABGRENZUNG DER HAUPT-PLANUNGSABSCHNITTE

Die Analyse der Projektierungsmethoden verdeutlicht wesentliche Aspekte, die auch bei der Konzeption eines allgemein anwendbaren Projektierungssystems zu berücksichtigen sind:

- Aufgliederung der Gesamtaufgabe in die Planung hierarchisch geordneter Teilsysteme unterschiedlicher Komplexität;
- systematische Lösungsfindung durch stufenweise Konkretisierung von der Aufgabenstellung hin zur konstruktiven Auslegung der Anlage und ihrer Teilsysteme;
- gleichartige Planungsabläufe für alle Komplexitätsebenen;
- gestufte quantitative Auslegung insbesondere bei verzweigten Anlagenstrukturen;
- Nutzung von Schemata für die Darstellung der Planungs-Zwischenergebnisse;
- Einsparung von Planungsaufwand durch Wiederverwendung vorhandener Lösungen und Lösungselemente.

Ausgehend davon werden im folgenden ein Grob Ablauf für die Projektierung sowie die zugehörigen Haupt-Planungsabschnitte definiert.

Ziel des ersten Schrittes bei der Projektierung ist die Festlegung des Produktionsablaufs. Wie z.B. bei der Planung verfahrenstechnischer Anlagen soll dies in zwei Stufen erfolgen. Vorteil dieser Vorgehensweise ist, daß das jeweils benötigte und zu verarbeitende Informationsvolumen auf ein überschaubares Maß begrenzt bleibt. Der erste Schritt beinhaltet dabei lediglich eine grobe Beschreibung des Produktionsablaufs. Dazu werden Teilfunktionen, die die Herstellung der gewünschten Produkte ermöglichen, ausgewählt und kombiniert. Abschließend erfolgt eine Konkretisierung, indem für jede einzelne Teilfunktion ein Funktionsträger ausgewählt wird, der diese Funktion erfüllt. Der Begriff Funktionsträger steht hier als Synonym für ein technisches Verfahren bzw. eine Produktionsmittelart, ist also eine qualitative Aussage. Im Hinblick auf die Planung verzweigter Anlagenstrukturen ist es sinnvoll, die geplanten Produktionsabläufe nicht verbal zu beschreiben. Besser eignen sich Blockschaltbilder oder ähnliche Schemata, in denen die Folge und die Kombination der Teilfunktionen bzw. Verfahren dargestellt sind.

Hinsichtlich der quantitativen Auslegung von Anlagen mit verzweigten Material- und/oder Energieflüssen ergeben die betrachteten Methoden

nur relativ allgemeine Hinweise für ein zweckmäßiges Vorgehen. Bei der Projektierung verfahrenstechnischer Anlagen sind jedoch vier wesentliche, aufeinander aufbauende Planungsschritte zu erkennen, die sich verallgemeinern lassen (Bild 2-7).

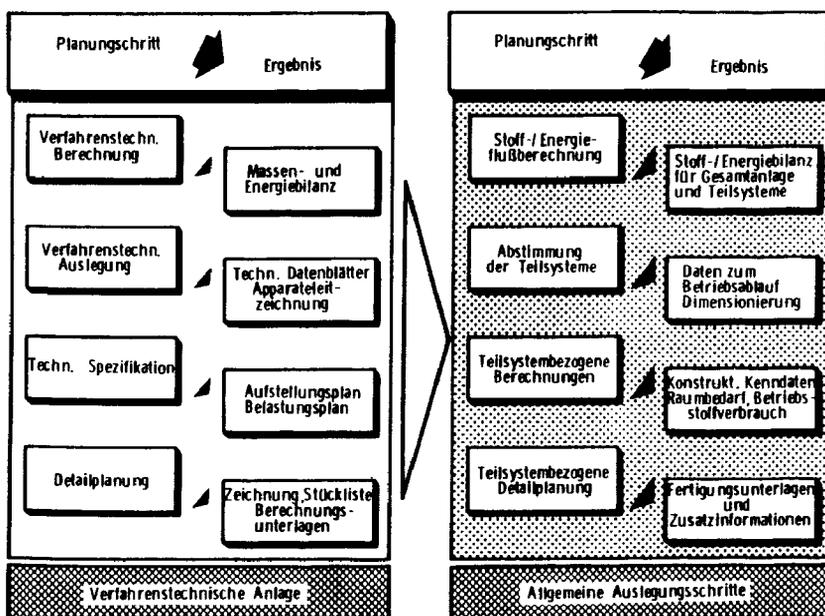


Bild 2-7: Abgrenzung der Planungsschritte bei der Ermittlung quantitativer Auslegungsdaten

In den drei Schritten Stoff-/Energieflußberechnung, Abstimmung der Teilsysteme, teilsystembezogene Berechnungen und der zuvor durchgeführten gestuften Verfahrensauswahl werden qualitative und quantitative Auslegungsdaten zur Gesamtanlage und ihren Teilsystemen ermittelt. Diese Arbeitsschritte beziehen sich auf die technische Lösung und nur auf die eine, jeweils relevante Komplexitätsebene. Für die weiteren Analysen und konzeptionellen Überlegungen werden diese Arbeitsschritte unter dem Begriff Auslegung zusammengefaßt.

Beim zuletzt genannten Schritt, den teilsystembezogenen Detailplanungen, zeigen sich erhebliche Unterschiede zu den vorher betrachteten. In diesem Schritt werden einerseits Planungen zu Teilsystemen nachgeordneter Komplexitätsebenen durchgeführt und andererseits organisatorische

und kommerzielle Daten ermittelt. Hierbei bestehen unterschiedliche Möglichkeiten:

- der Übergang auf eine nachgeordnete Komplexitätsebene, auf der dann die einzelnen Projektierungsschritte erneut durchzuführen sind (vgl. Kap. 2.2, /46,47/);
- der Einsatz spezieller Systeme z.B. für die Rohrleitungsplanungen, für die Planung der Meß-, Steuer- und Regelungsanlagen, für Termin- und Kapazitätsplanungen usw. (vgl. Kap.1.);
- die Nutzung der Daten vorhandener und bereits projektierter technischer Lösungen sowie der zugehörigen organisatorischen und kommerziellen Daten (vgl. Kap. 2.2, /38,46,47/).

Dieser Planungsschritt läßt sich also hinsichtlich der Abläufe und Zielsetzungen nicht so eindeutig abgrenzen wie die zuvor betrachteten. Im Prinzip erfolgt hier eine Selektion von Daten, aufgrund derer sich detaillierende Planungen durchführen lassen. Wegen dieses speziellen Merkmals sollen die teilsystembezogenen Detailplanungen einen eigenständigen Haupt-Planungsabschnitt innerhalb des Projektierungsablaufes darstellen (Bild 2-8).

Ein weiterer wesentlicher Abschnitt der Projektierung ist die Aufstellungs- oder auch Layout-Planung. Dieser Planungsabschnitt wird bei den analysierten Projektierungsmethoden unterschiedlich in den Gesamtplanungsablauf eingeordnet, und zwar vor /16,59/ oder im Zusammenhang mit teilsystembezogenen Detailplanungen /38,46,47/. Im Hinblick auf die Angebotserstellung ist es vorteilhaft, zunächst die Möglichkeiten zur Wiederverwendung ähnlicher technischer Lösungen zu ermitteln. Damit stehen dann gleichzeitig Daten über die äußere Gestalt der Teilsysteme zur Verfügung, die sich für die Layoutplanung nutzen lassen. Aus dieser Einordnung resultieren jedoch keine Nachteile oder Nutzungseinschränkungen, da grundsätzlich davon auszugehen ist, daß Rücksprünge und iterative Durchläufe durch die einzelnen Haupt-Planungsabschnitte notwendig sind, um eine Projektierungsaufgabe zu lösen.

Es wurde bereits erwähnt, daß sich eine technische Lösung auch durch Konkretisieren läßt, daß für die Teilsysteme eine Projektierung auf einer nachgeordneten Komplexitätsebene durchgeführt wird. Dabei bleiben die bisher definierten Haupt-Planungsabschnitte und der Gesamtplanungsablauf bestehen. Als Eingangsinformationen lassen sich dann die bis dahin bei der Projektierung festgelegten und ermittelten Daten au

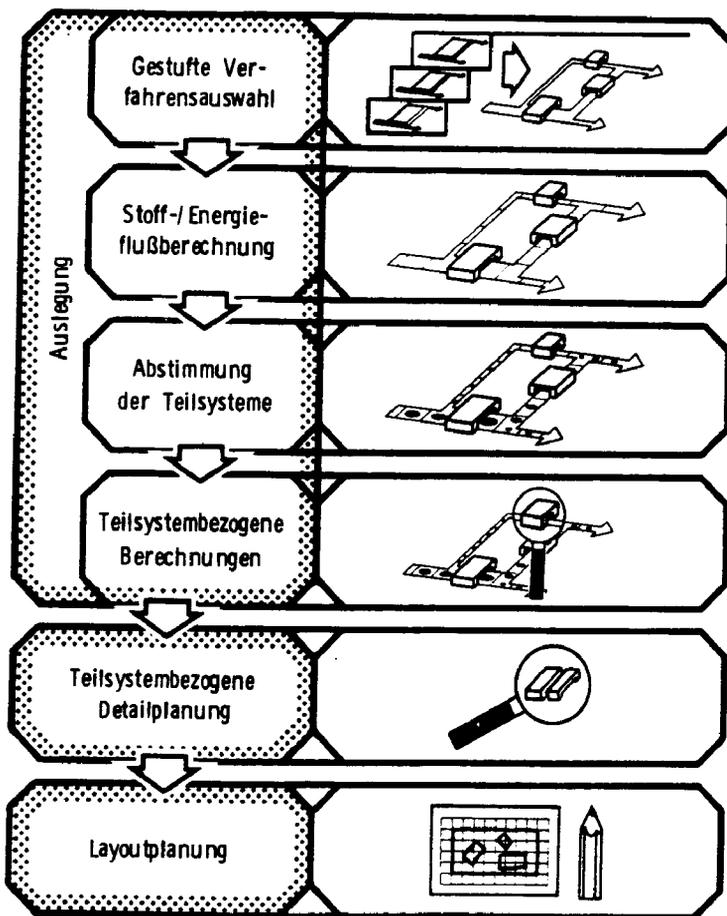


Bild 2-8: Haupt-Planungsabschnitte des konzipierten Projektierungssystems

der übergeordneten Ebene übertragen (Bild 2-9). Insbesondere sind dies die Kennzeichnung der Teilsystemart sowie bereits berechnete Daten über das Zusammenwirken mit anderen Teilsystemen.

Das zugrundezulegende Planungsmodell ist damit im wesentlichen charakterisiert. Welche funktionalen Anforderungen im einzelnen an ein Projektierungssystem und an seine Bestandteile zu stellen sind, sollen auf die Arbeitsinhalte der einzelnen Haupt-Planungsabschnitte bezogene Analysen zeigen.

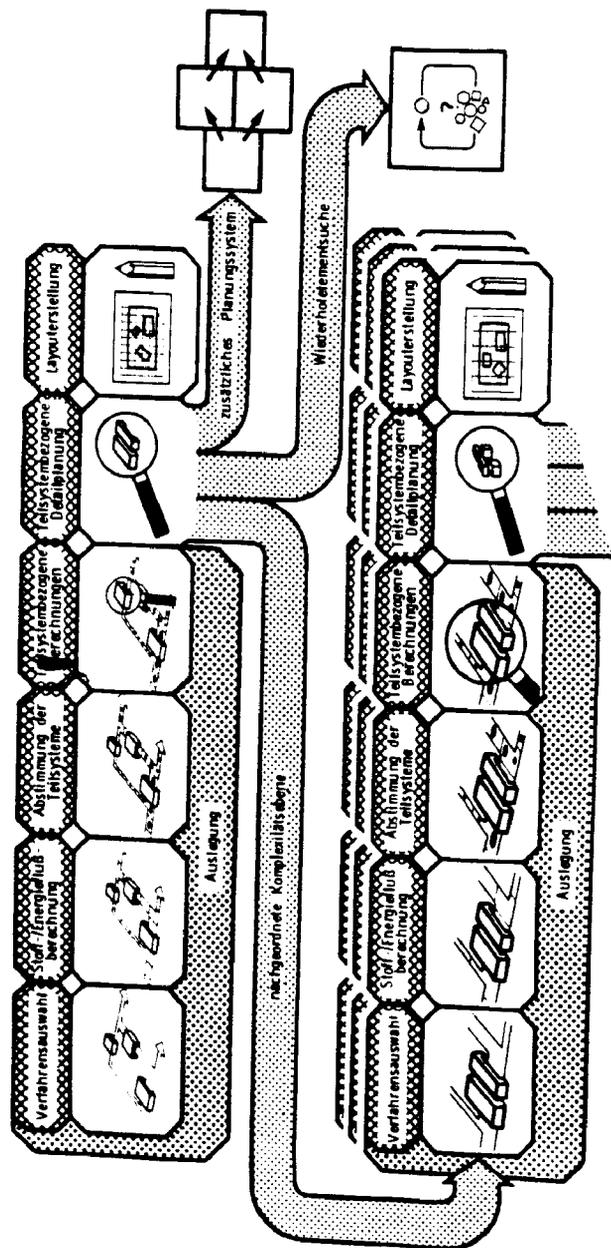


Bild 2-9: Struktur und Verknüpfungen des Planungsmodells für die Projektierung

3. ANALYSE DER AUFGABENINHALTE

Ähnlich wie bei der Abgrenzung der Haupt-Planungsabschnitte sollen im folgenden die einzelnen Aufgabeninhalte hinsichtlich ihrer Relevanz und Gültigkeit für unterschiedliche Anlagenarten analysiert werden. Die Analysen sollen zeigen, wo bei den einzelnen Aufgaben die Tätigkeitsschwerpunkte liegen und wie sich diese durch ein Projektierungssystem unterstützen lassen. Dabei werden folgende Merkmale erfaßt:

- benötigte und verarbeitete Daten- bzw. Informationsbestände;
- durchzuführende Tätigkeiten und angewendete Algorithmen.

Zusätzliches Analysekriterium ist, ob anwendungsspezifische oder anwendungsneutrale Daten bzw. Algorithmen genutzt werden (Bild 3-1).

Zielsetzung bei der Einordnung der einzelnen Aufgabeninhalte in das so gebildete Raster ist, die anwendungsspezifischen Daten, Informationen und Algorithmen von anwendungsneutralen Aufgaben und Tätigkeiten zur Verarbeitung der spezifischen Daten und Algorithmen abzugrenzen. Daraus lassen sich dann Anforderungen hinsichtlich des notwendigen Funktionsumfangs und der Erweiterungsmöglichkeiten des Projektierungssystems ableiten. Die Verarbeitung anwendungsneutraler Daten und Informationen durch neutrale, allgemeine Algorithmen wird in diesem Zusammenhang nicht weiter betrachtet, weil sich daraus keine besonderen Anforderungen für die Systemkonzeption ergeben.

Die folgenden Analysen beziehen sich überwiegend auf das Objekt der Pilotanwendung, die Projektierung von Stahlwerken. Um die Analyseergebnisse abzusichern, werden die vorgefundenen Planungs- und Berechnungsinhalte hinsichtlich ihrer Gültigkeit für andere Projektierungsobjekte geprüft. Diese Analysen bilden dann die Basis, um das detaillierte Konzept für das Projektierungssystem zu entwickeln.

3.1 BESCHREIBUNG DER ANALYSIERTEN PROJEKTIERUNGSOBJEKTE

Vor der inhaltlichen Analyse der einzelnen Haupt-Planungsschritte sollen kurz die betrachteten Anlagenarten und Betriebsabläufe beschrieben werden. Im einzelnen sind dies

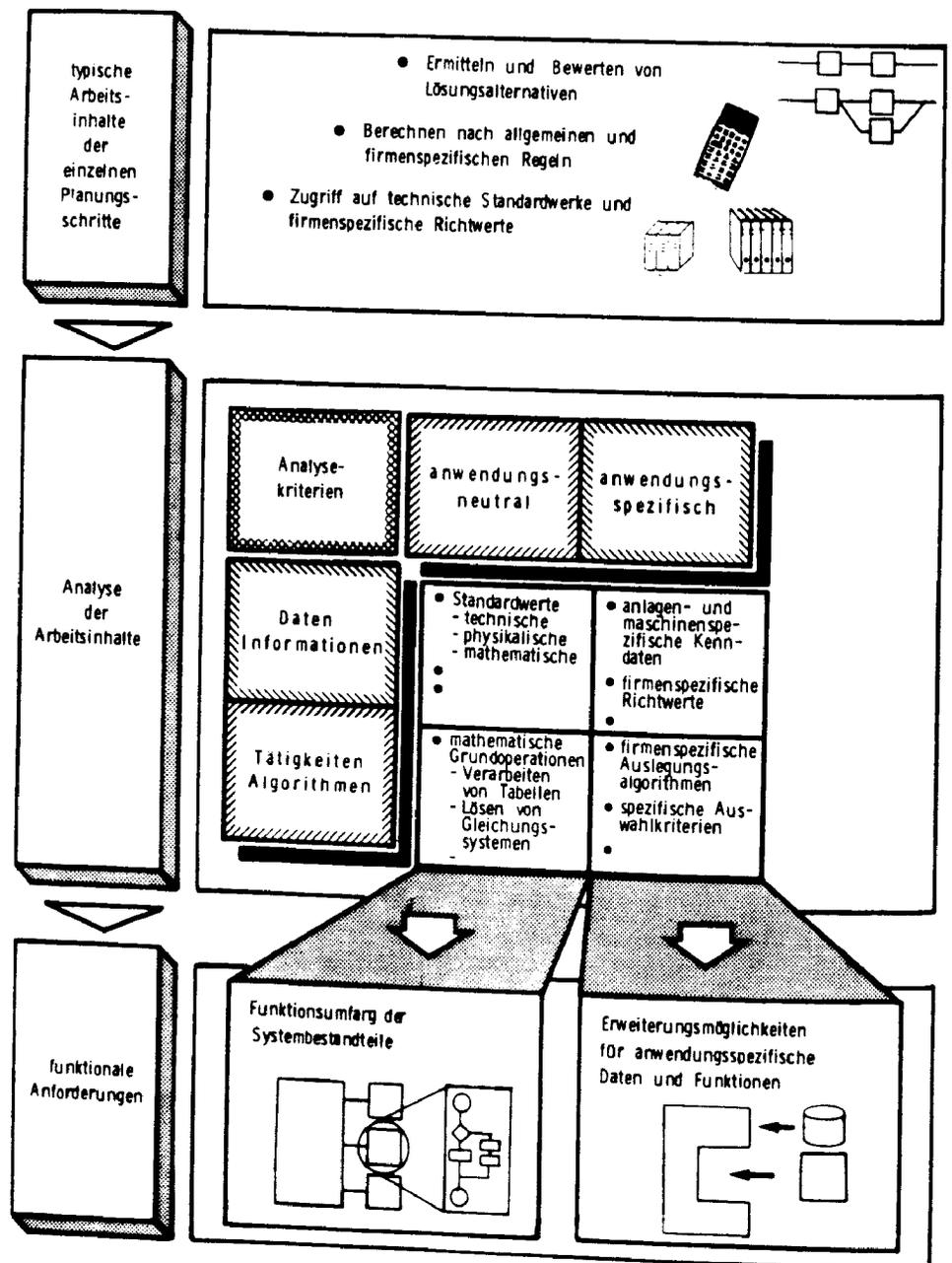


Bild 3-1: Analyse der Planungstätigkeiten und -inhalte

- ein Stahlwerk,
- eine Adjustageanlage und
- eine Mahlanlage eines Zementwerkes.

Stahlwerke und Adjustageanlagen sind komplexe technische Systeme aus dem Bereich der Hüttenindustrie. Systeme dieser Komplexität werden häufig auch als integrierte technische Systeme oder integrierte Anlagen bezeichnet. Integrierte Systeme sind ihrerseits Teilsysteme eines übergeordneten Gesamtsystems. So ist z.B. ein Stahlstrang-Gießbetrieb integrierter Bestandteil eines Stahlwerkes. Das integrierte Stahlwerk ist dann seinerseits Bestandteil einer Werkegruppe.

Im Stahlwerk (Bild 3-2) werden Schrott und Eisenschwamm in Schmelzöfen - z.B. Elektrolichtbogenöfen - eingesetzt und zu Flüssigstahl erschmolzen. Nach Ablauf der Schmelzzeit und der metallurgischen Veredelungsprozesse wird der Flüssigstahl in ein Transportgefäß abgegossen. In diesem Gefäß wird das Material dem Gießbetrieb übergeben und dort zu Blöcken oder Strängen vergossen /64,65/.

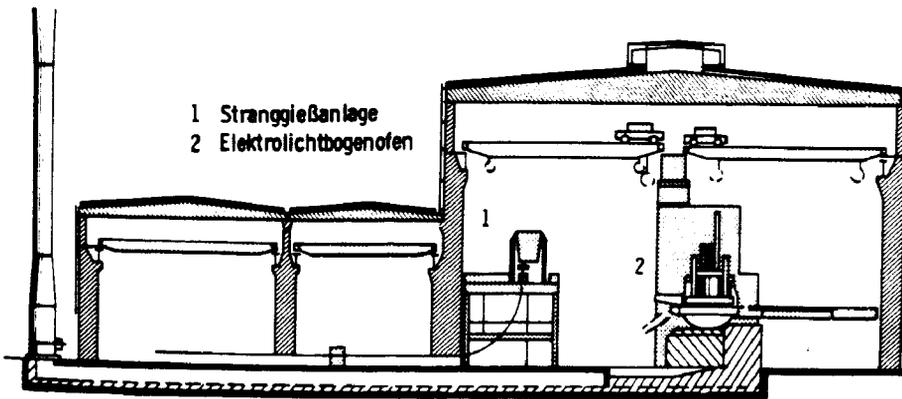


Bild 3-2: Seitenriß eines Stahlwerkes (Quelle: Demag)

Adjustage ist ursprünglich definiert als Zurichterei eines Walzwerkes. In der heutigen Hütten-technik umfaßt der Begriff Adjustage alle Bearbeitungen, die an einem Halbzeug oder Fertigprodukt nach dem Verlassen des Walzwerkes erfolgen, die aber nicht zum eigentlichen Walzpro-

zeß gehören. Mit Einführung der Stranggußtechnik wurde der Begriff Adjustage auch für alle Bearbeitungen des gegossenen Materials übernommen, die mit dem eigentlichen Gießprozeß nichts zu tun haben /66/.

Hauptaufgabe einer Adjustage ist nicht der Transport oder Materialfluß, sondern Bearbeitung bzw. Nachbehandlung von Material, wie Prüfen, Putzen, Flämmen, Messen, Richten usw. (Bild 3-3). Die Transportaufgabe ergibt sich erst aus der Notwendigkeit des Materialflusses innerhalb einer Adjustage. Materialien, die bearbeitet werden,

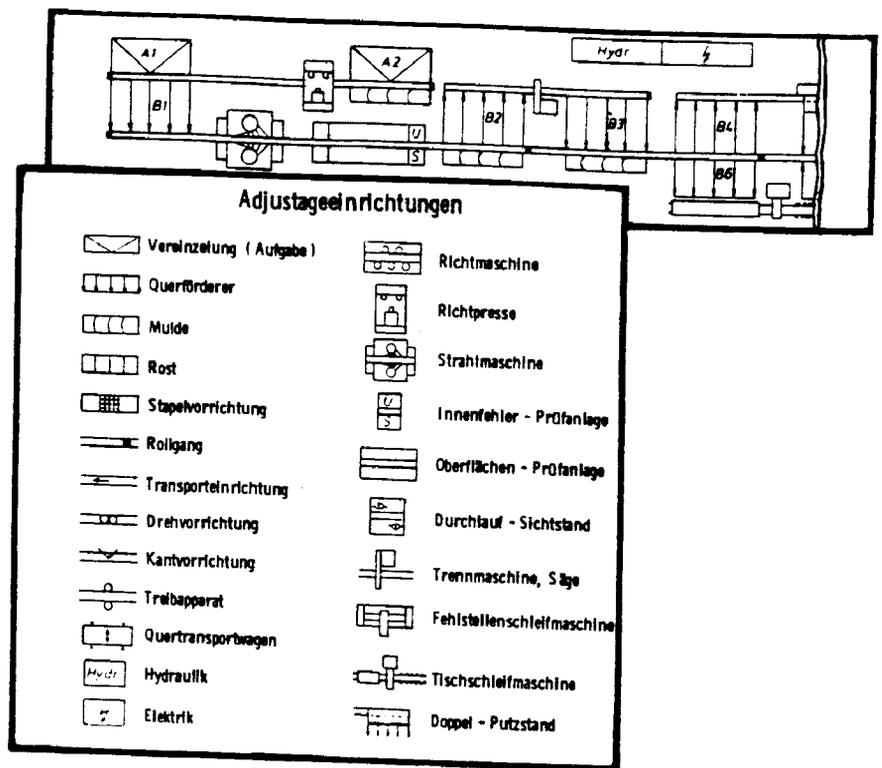
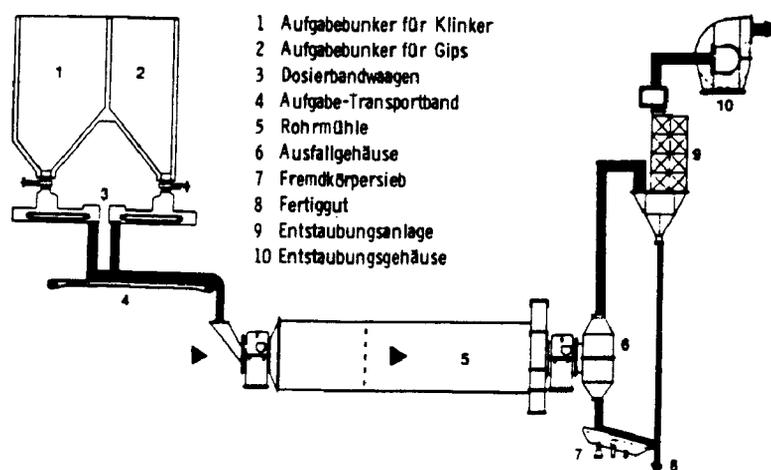


Bild 3-3: Adjustageanlage und Adjustageeinrichtungen (Beispiel: Prüf- und Putzlinie) /66/

sind im allgemeinen Halbzeuge wie Brammen oder Knüppel und Fertigprodukte wie Rohre, Vierkantstahl, Flachstahl, Schienen und Profile aller Art.

Mahlanlagen werden bei der Zementherstellung zur Aufbereitung des Zementrohmaterials - z.B. Kalkstein, Ton und verschiedene Zuschlagstoffe - eingesetzt /67/. Nach dem Brennen dieses Rohmehls in einem Drehofen oberhalb der Sintertemperatur wird der dabei entstandene Klinker mit Gips vermischt zu Zement gemahlen. Je nach Zementsorte werden noch weitere Komponenten zugemischt.

Bei der Zementherstellung sind Mahlanlagen als integrierte Verfahrensstufen des Gesamtprozesses anzusehen. Sie können aber auch als eigenständige Anlagen Endprodukte erzeugen. Mahlanlagen liefern z.B. dort, wo Kohlefeuerungen eingesetzt werden (Kraftwerke, Heizanlagen, Zementwerke u. ä.), den benötigten Kohlenstaub.



- 1 Aufgabebunker für Klinker
- 2 Aufgabebunker für Gips
- 3 Dosierbandwaagen
- 4 Aufgabetransportband
- 5 Rohrmühle
- 6 Ausfallgehäuse
- 7 Fremdkörpersieb
- 8 Fertiggut
- 9 Entstaubungsanlage
- 10 Entstaubungsgehäuse

Bild 3-4: Verfahrensschema für eine Zementmahlanlage nach dem Durchlaufsystem (nach: KHD HUMBOLDT WEDAG, Köln)

Ein Beispiel eines relativ einfachen Mahlsystems für die Zementherstellung, eine Durchlaufmahlanlage, zeigt Bild 3-4. Die Komponenten Klinker und Gips werden aus den Aufgabebunkern über Dosierbandwaagen und das Aufgabetransportband zur Rohrmühle gefördert und dort gemahlen. Im Ausfallgehäuse findet eine erste Abscheidung durch Gravitation statt. Nachdem Fremdkörper über ein Sieb aus dem Prozess entfernt sind, gelangt das Fertiggut über Förderaggregate zu den Zementsilos. Die Entstaubungsanlage reduziert dabei die Umweltbelastung durch Mahlstäube und die Prozeßverluste.

3.2 AUSLEGUNG DER ANLAGE

Bei der Angebotserstellung darf vorausgesetzt werden, daß der Anfrager selbst die wesentlichen Anforderungen an die Anlage, d.h. Produkte, Qualitäten, Abmessungskombinationen, festlegt /68/. Änderungsvorschläge für diese Vorgaben erfolgen seitens des Anbieters nur dann,

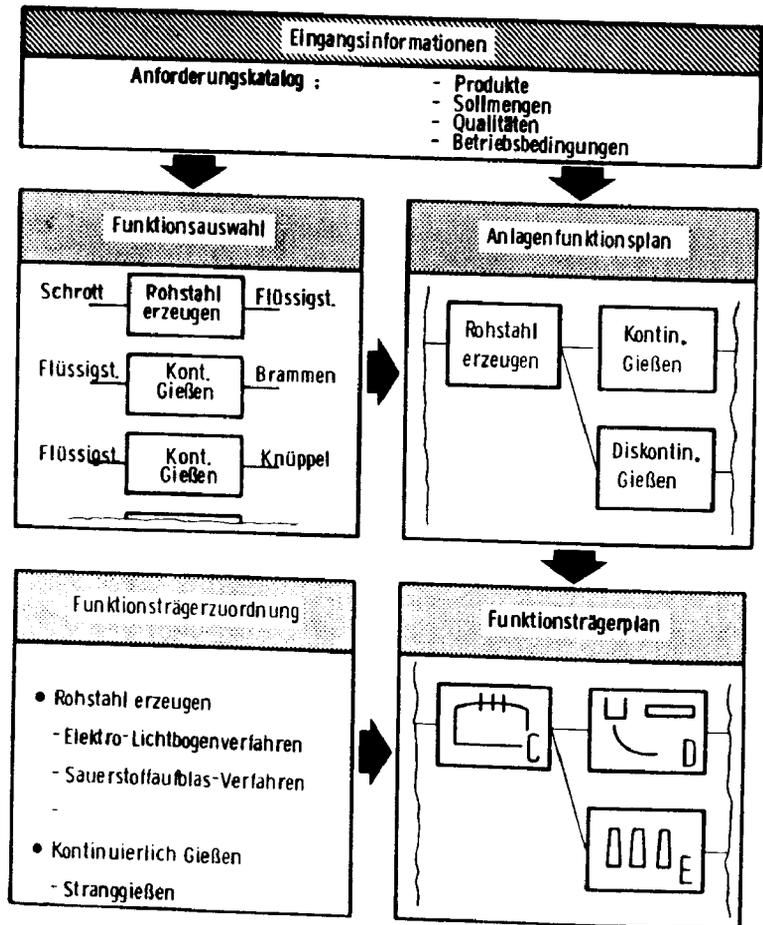


Bild 3-5: Gestufte Verfahrensauswahl (Beispiel: Stahlwerk)

wenn diese zu technisch oder wirtschaftlich günstigeren Betriebsbedingungen der Anlage führen; grundsätzliche Änderungen sind im allgemeinen nicht zu erwarten. Basierend auf diesen Eingangsinformationen können die Verfahren und Betriebseinrichtungen ermittelt werden, mit

denen die verlangten Endprodukte herzustellen sind. Das bereits erwähnte Prinzip der gestuften Verfahrensauswahl läßt sich auch für den Anwendungsfall Stahlwerk sinnvoll nutzen (Bild 3-5) /64/.

Für jedes der geforderten Endprodukte ergibt sich aus der Menge der Anlagenteilfunktionen eine einzelne Kette von Funktionen, die durch ihr Zusammenwirken die beabsichtigte Produktion ermöglichen. Die Kopplungsbedingung für die Funktionen ist bei stoffumsetzenden technischen Systemen, daß das Produkt der vorangehenden Funktion gleich dem benötigten Einsatzstoff für die nachfolgende ist. In diese Betrachtungen lassen sich auch die Energieflüsse in einer Anlage einbeziehen; die Arten der umgesetzten Energien und Energieträger dienen dann als Kriterien für die Koppelbarkeit bzw. die Folge der einzelnen Funktionen. Durch Zusammenfassen gleicher Funktionen, die in unterschiedlichen produktbezogenen Ketten enthalten sind, entsteht dann der Funktionsplan für einen Mehrproduktbetrieb. Dieser gibt die technische Grundstruktur der geplanten Anlage mit den Haupt-Stoff-/Energieflüssen qualitativ wieder.

Im allgemeinen lassen sich auch hier jeder einzelnen Funktion verschiedene technische Verfahren (Funktionsträger) zuordnen. Die Auswahl des Verfahrens erfolgt unter Berücksichtigung der geforderten Produktqualitäten und der erwarteten Betriebsbedingungen. Nach Abschluß dieses Planungsschrittes liegt der Funktionsträgerplan vor, der die vollständige Verfahrensfolge innerhalb der Gesamtanlage beschreibt; Bild 3-6 zeigt ein solches Schema, das neben den Hauptstoffflüssen auch wesentliche Energieflüsse wiedergibt.

Eine gestufte Verfahrens- bzw. Funktionsträger-Auswahl ist auch bei Mahl- und Adjustageanlagen sinnvoll (Bild 3-7). Besondere Anforderungen zeigen sich bei der Planung der Adjustagen. Dabei sind Transportvorgänge zu berücksichtigen, die die einzelnen Bearbeitungsfunktionen direkt verketteten und die damit integrale Bestandteile des Produktionsprozesses darstellen. Für die Auswahl der geeigneten Funktion bzw. des Funktionsträgers ist dabei nicht allein das zu transportierende Zwischen- oder Endprodukt maßgeblich. Wesentlich stärker wirken sich häufig zusätzliche Forderungen wie Materialschonung, geringe Geräusentwicklung etc. aus. Weiterhin können einige der Transporteinrichtungen verschiedene Funktionen erfüllen, z.B. Transportieren, Speichern, Speichern und gleichzeitiges Transportieren. Außerdem werden häufig Funktionen wie Messen oder Prüfen parallel zu Transportvorgängen durchgeführt (Bild 3-3).

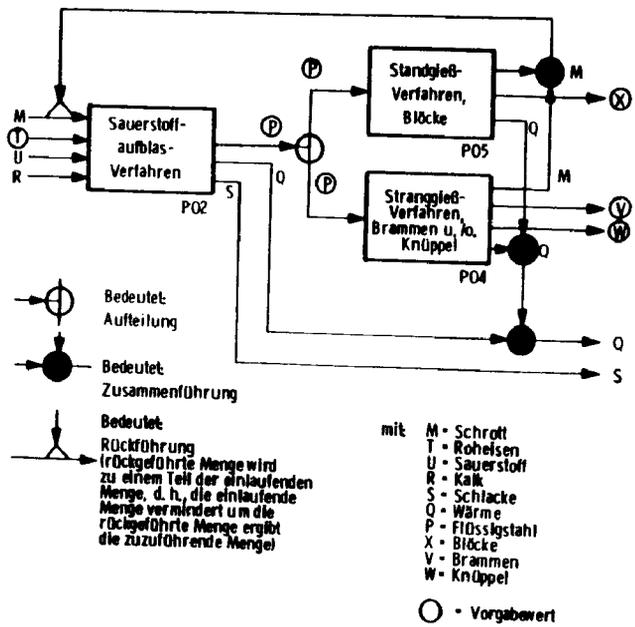


Bild 3-6: Material- und Energieflüsse in einem Stahlwerk /69/

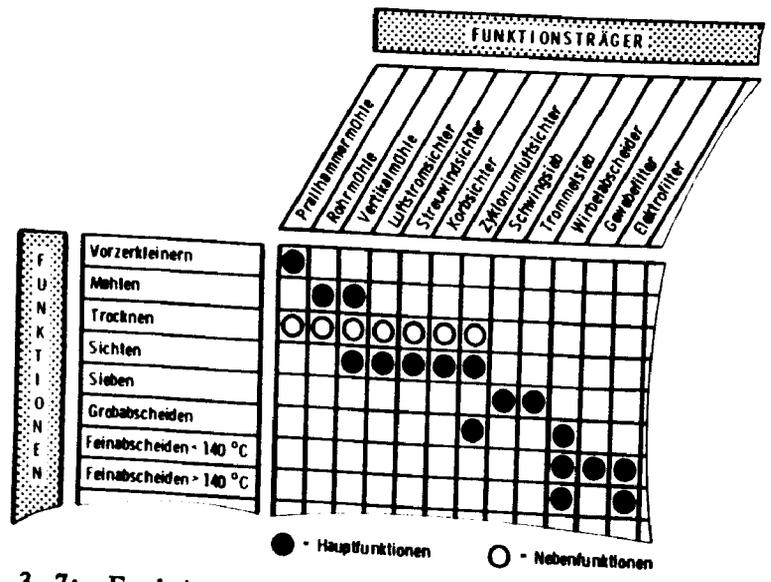


Bild 3-7: Funktions- und Funktionsträgerzuordnung für Mahlanlagen

Die Funktionsermittlung und Verfahrensauswahl lassen sich bei den beschriebenen Aufgabenstellungen durch Lösungskataloge und Tabellen vereinfachen. Diese sollten Zuordnungen von Produkten und Einsatzstoffen zu Funktionen und Funktionsträgern sowie Hinweise zu deren spezifischen Merkmalen und Anwendungsgrenzen enthalten.

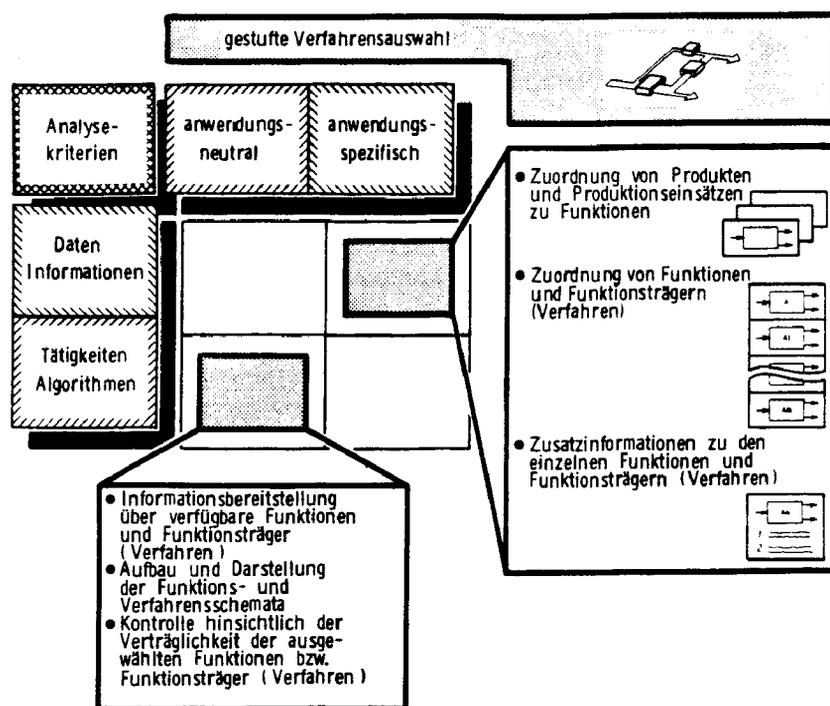


Bild 3-8: Einordnung des Planungsabschnittes "Gestufte Verfahrensauswahl"

Damit ergibt sich für diesen Planungsschritt folgende Einordnung in das gegebene Merkmalsraster (s. a. Bild 3-1):

- o Die Zuordnungen von Einsatzstoffen, Produkten, Funktionen, Verfahren usw. sind eindeutig anwendungsspezifische Daten bzw. Informationen.
- o Anwendungsunabhängig sind Tätigkeiten und Aufgaben wie Verwalten und Bereitstellen der Zuordnungstabellen, Darstellen der Schemata, Kontrollieren der Verfahrensfolgen (Bild 3-8).

Bei der konventionellen Bearbeitung wird der beschriebene Planungsabschnitt häufig nicht vollständig durchlaufen. Statt dessen bezieht man sich auf vorhandene Funktions- oder Verfahrensschemata, die gegebenenfalls durch Variieren an die aktuelle Projektierungsaufgabe angepaßt werden. Diese bilden dann die Basis für die quantitativen Anlagenauslegungen.

Die Stoff-/Energieflußberechnung hat - insbesondere bei komplexen Anlagen - eine wesentlich höhere Bedeutung, als es Bild 3-6 für das Beispiel des Stahlwerkes erkennen läßt. Es existieren hierfür unterschiedliche Modelle und Möglichkeiten zur konventionellen oder EDV-gestützten Bearbeitung /70-77/. Dabei werden sowohl Daten zu den einzelnen Stoff-/Energieströmen als auch Daten zu den Teilsystemen und Apparaten ermittelt. Die verfügbaren Programmsysteme sind auch bei detaillierten Berechnungen für sehr komplexe Anlagen anwendbar, wegen der verwendeten Lösungsprinzipien und Algorithmen treten dabei jedoch erhebliche Programmlaufzeiten auf.

Ein Programmteil für die Berechnung verzweigter Stoff- und Energieflüsse wurde bereits bei der Abgrenzung der Haupt-Planungsabschnitte des Projektierungssystems als notwendiger Bestandteil der Auslegung definiert. Er erscheint als unverzichtbar, wenn sich das zu entwickelnde Projektierungssystem auch für komplexe Anlagen mit verzweigten Stoff-/Energieflüssen anwenden lassen soll. Die anwendungsspezifischen und die neutralen Bestandteile eines derartigen Programmabschnittes sind in Bild 3-9 zusammengestellt.

Die im Zuge der Stoff- bzw. Energieflußberechnung ermittelten Daten bilden die Basis für weitere detaillierende Berechnungen. Auch diese werden zunächst am Beispiel der Stahlwerke beschrieben.

Bestimmend für den Betriebsablauf im Stahlwerk ist das Zusammenwirken der Schmelzöfen - organisatorisch und für die Betrachtungen als Schmelzbetrieb zusammengefaßt - mit dem Gießbetrieb. Es wird beeinflusst durch die Größe der übergebenen Chargen, d.h. der Menge an Flüssigstahl pro Gießgefäß, und die Chargenfolgezeit, d.h. die zeitlichen Abstände zwischen zwei Chargen. Ist die Menge Flüssigstahl pro Charge zu groß, so kann diese nicht vollständig weiterverarbeitet werden. Eine zu geringe Chargengröße führt zu hohem Transportaufwand und möglicherweise unwirtschaftlichem Betrieb.

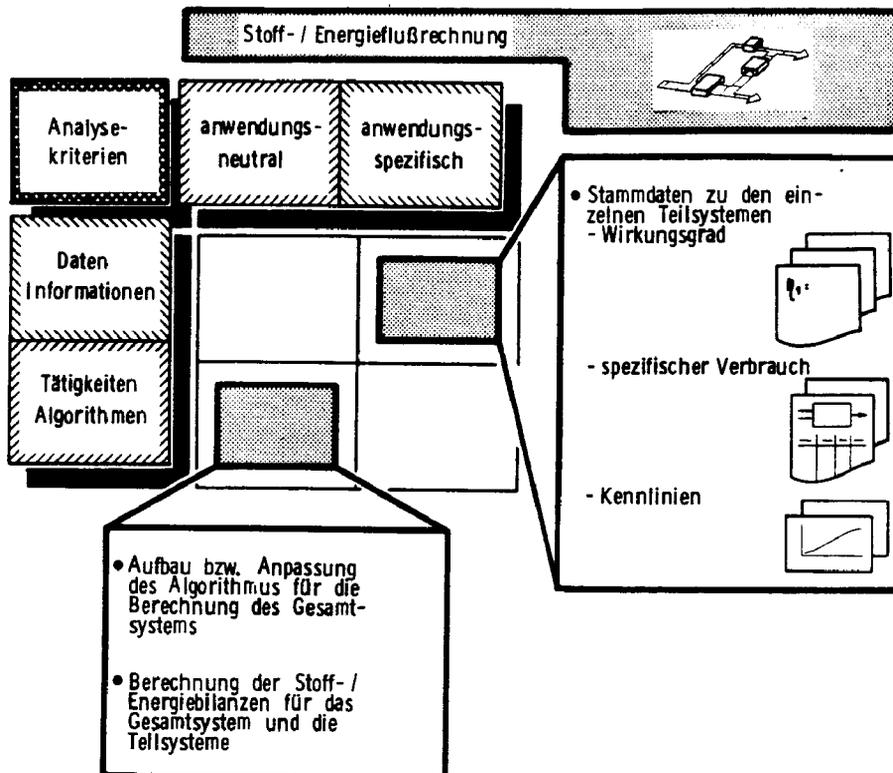


Bild 3-9: Einordnung der Stoff-/Energieflußrechnung

Zielgrößen bei der Auslegung des Schmelzbetriebes sind deshalb:

- eine geringe Anzahl Schmelzöfen und
- große Chargen.

Diese Zielgrößen werden u. a. durch folgende Einflüsse bestimmt:

- geforderte jährliche Produktionsmenge,
- jährliche Nutzungszeit des Betriebes,
- erforderliche Schmelz-, Rüst-, und Nebenzeiten je Schmelzaggregat (Schmelzzeit ist im wesentlichen werkstoffabhängig)

Ergebnisse der Auslegung sind dann Anzahl und Größe der Schmelzöfen und die Chargenfolgezeit (Bild 3-10).

In der Stranggießanlage wird der Flüssigstahl in einem kontinuierlichen Prozeß zu Halbzeug - je nach Abmessungen Knüppel oder Brammen genannt - vergossen. Überschreitet die Gießzeit die maximale

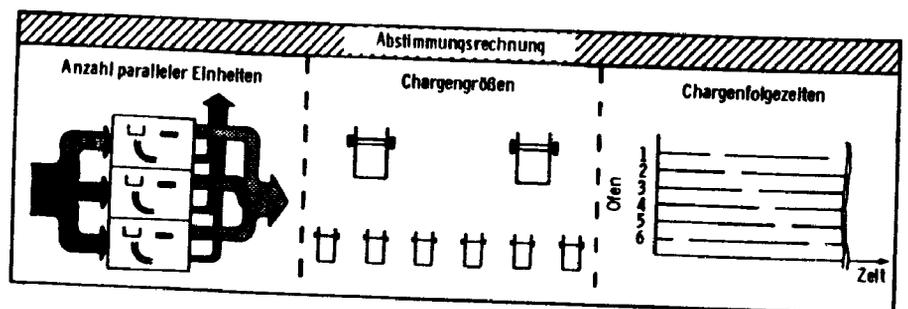


Bild 3-10: Ergebnisse der Abstimmung (Beispiele)

Gefäßentleerungszeit, nach der eine einwandfreie Verarbeitung des Flüssigstahls nicht mehr erfolgen kann, muß eine kleinere Chargengröße gewählt werden. Um die geforderte Jahresproduktion trotz verringerter Schmelzengewichte bei gleichen Schmelzzeiten zu erbringen, ist eine größere Anzahl entsprechender Öfen einzuplanen. Andererseits kann auch - insbesondere in der Angebotsphase - in Zusammenarbeit mit dem potentiellen Kunden ein anderes Produktionsmengengerüst erarbeitet werden, das z.B. die Produktabmessungen mit kritischen Gießzeiten nicht mehr beinhaltet.

Diese bei einer groben Beschreibung durchaus algorithmierbar erscheinenden Berechnungsabläufe weisen eine Vielzahl heuristischer Einflüsse, Entscheidungen und Vorgaben auf. Dazu gehören Maßnahmen zur Umplanung des Betriebsablaufes, zur Änderung der Produktionsbedingungen oder zur Veränderung des Mengengerüsts. Außerdem sind die Berechnungen sehr allgemein beschrieben. Firmenspezifisch werden häufig auch energetische oder weitere metallurgische Betrachtungen einbezogen.

Nach der Abstimmung werden häufig noch ergänzende Berechnungen durchgeführt, die die ausgearbeitete Lösung näher kennzeichnen. Als Beispiele sind hier zu nennen:

- Ver- und Entsorgung (Energie und Betriebsstoffe)
- Raumbedarfsbetrachtungen,
- Festigkeitsanalysen,
- Berechnung von Betriebs- und Verarbeitungskosten.

Als Besonderheit dieser Berechnungen ist festzustellen, daß sie nicht nur von den Ergebnissen der Abstimmung, sondern auch untereinander abhängig sind (Bild 3-11).

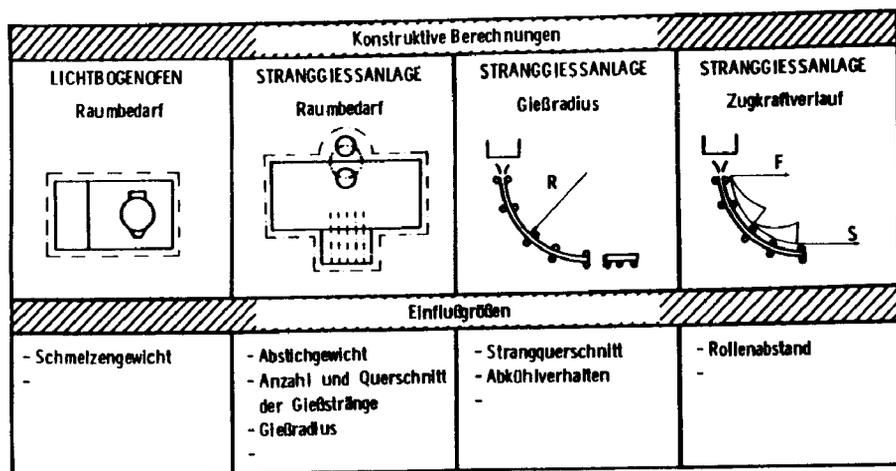


Bild 3-11: Ergänzende Berechnungen und zugehörige Einflußgrößen (Beispiel: Teilsysteme in Stahlwerken)

So wird der notwendige Gießradius einer Stranggießanlage u. a. durch die Strangquerschnitte (Produktabmessungen) bestimmt. Der Raumbedarf für diese Anlage ist wiederum durch den Gießradius mitbestimmt. Einerseits ist - im Hinblick auf die Anforderungen an ein entsprechendes Berechnungsprogramm - nicht davon auszugehen, daß der Raumbedarf immer von Interesse ist, wenn der Gießradius berechnet wird. Andererseits könnte für eine grobe Raum- oder Layoutplanung auch auf eine detaillierte Berechnung des Gießradius verzichtet und statt dessen ein Schätzwert genutzt werden.

Die Analysen zeigen, daß sich auch für Adjustage- und Mahlanlagen die zugehörigen Berechnungen in die beiden Gruppen Abstimmung und teilsystembezogene Berechnungen einordnen lassen (Bild 3-12).

Wesentlich bei der Planung von Adjustageanlagen ist, daß häufig auch Raumbedarfsbetrachtungen bei der Auswahl von Funktionen und Funktionsträgern mitentscheiden /66/. Dabei läßt sich der Raumbedarf für die einzelnen Einrichtungen aufgrund des bearbeiteten bzw. transportierten Materials abschätzen (Bild 3-13).

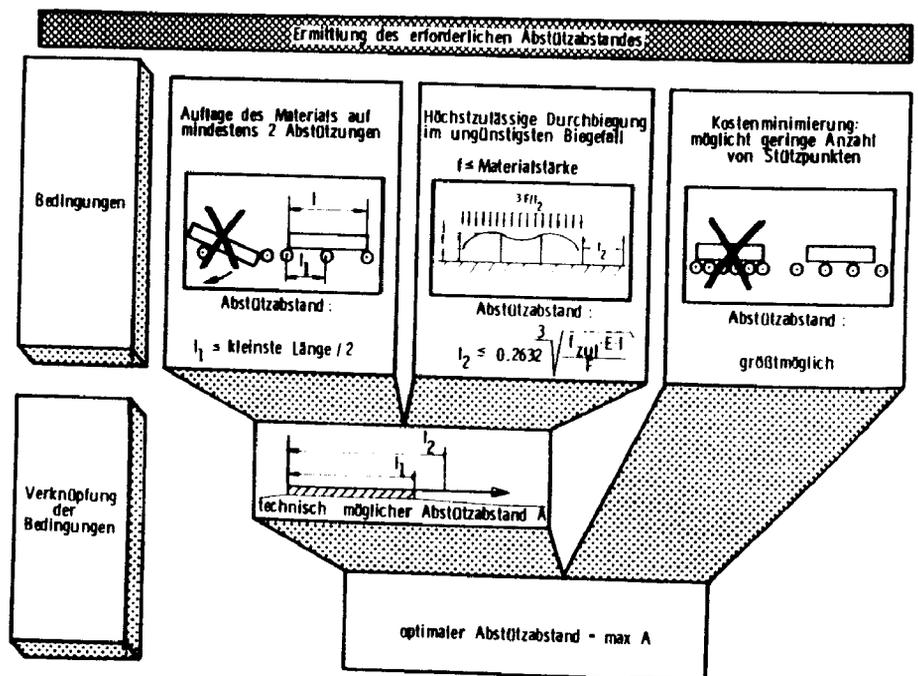


Bild 3-12: Teilsystembezogene Berechnung bei einer Adjustage (Beispiel: Abstützungsabstand)

Es wird also im Prinzip eine vereinfachte Layoutplanung durchgeführt. Für die Konzeption des Projektierungssystems bedeutet dies, daß eine entsprechende Flexibilität bei der Nutzung bestehen muß. Dann ist jedoch durch entsprechende Kontrollmechanismen sicherzustellen, daß übersprungene Abschnitte nachgeholt bzw. beim Abschluß der Planungen Hinweise auf übersprungene Abschnitte erfolgen.

Als Hilfsmittel für die Abstimmung und die zusätzlichen Berechnungen sind Berechnungsformulare /67/ oder entsprechende EDV-Programme nutzbar. Eine wesentliche Fragestellung dabei betrifft deren Umfang und Abgrenzung. Werden sehr komplexe Berechnungsgänge berücksichtigt, ist die Nutzung dieser Hilfsmittel bei einfacheren Aufgabenstellungen ineffizient. Steht statt dessen eine große Zahl einzelner Formulare oder Programme zur Verfügung, müssen die Daten zwischen den einzelnen Berechnungsteilen manuell übertragen werden. Dies beinhaltet erhebliche Fehlermöglichkeiten.

Funktionsträger	Symbole	Berechnungen					A/B (%)	
		= DxL+A	= ML+B	= Trans- portw.	Vorgabe- wert			
Transport in Längsrichtung				●				Länge
Transport in Längsrichtung (reversierbar)		●					C1	Breite
Transport in Querrichtung			●				C2	Länge
Transport in Querrichtung (reversierbar)				●				Breite
Transport vertikal auf					●			Länge
Transport vertikal ab					●			Breite
Transport vertikal auf und ab					●			Länge
Fehler erkennen					●			Breite
Sammeln		●						
Aufgeben		●						

A, B = Zuschläge
C1, C2 = Konstanten
D = max. Materialbreite
ML = max. Materiallänge
● = Berechnungsgrundlage

Beispiel

Bild 3-13: Raumbedarfsschätzungen für Adjustageeinrichtungen und berücksichtigte Einflußgrößen

Die Beschreibungen verdeutlichen, daß die Berechnungsalgorithmen im allgemeinen anwendungsspezifisch sind. Ebenso spezifisch sind auch die Informationen über die logischen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Algorithmen (Bild 3-14). Anwendungsunabhängig sind dagegen Tätigkeiten wie z.B. Übertragen der Daten zwischen den einzelnen Berechnungen oder Kontrolle der Berechnungsreihenfolge. Auch Auswertungen der Berechnungsergebnisse nach bestimmten Kriterien, z.B. Kühlwasserbedarf für die Gesamtanlage, größter elektrischer Anschlußwert, Summe der Betriebs- oder Verarbeitungskosten u. ä., gehören zu den anwendungsunabhängigen Aufgaben.

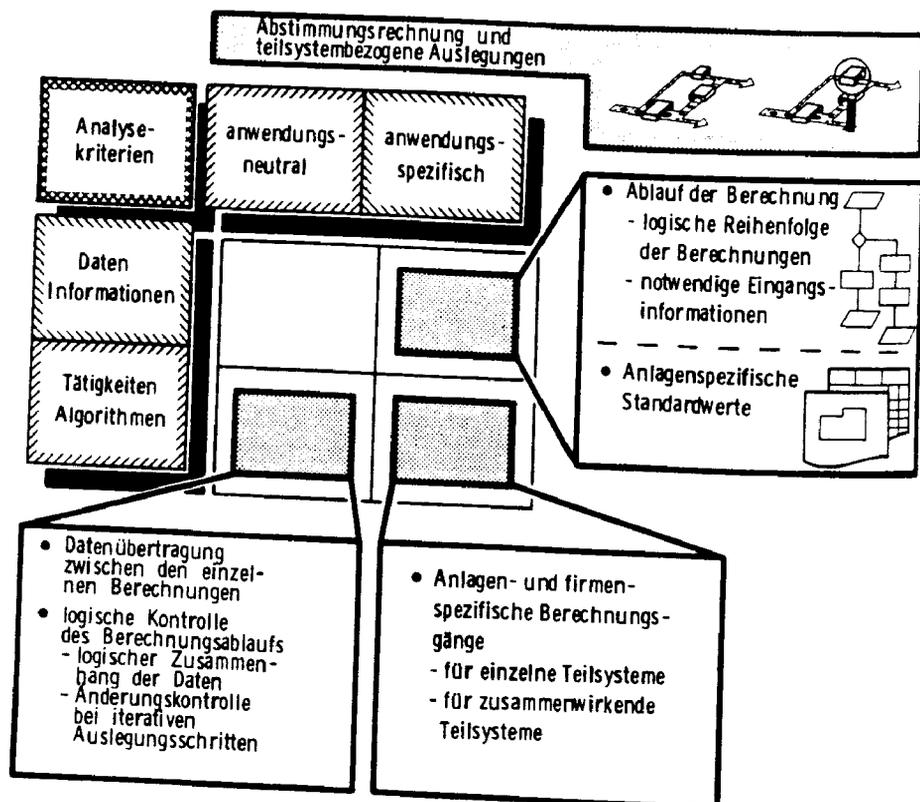


Bild 3-14: Einordnung der Planungsabschnitte "Abstimmung" und "teilsystembezogene Berechnungen"

Die im Zuge der Anlagenauslegung erarbeiteten Informationen über die Arten und Dimensionierungen der notwendigen Betriebseinrichtungen bilden die Basis, um im nächsten Planungsabschnitt weitere, detaillierende Daten für die einzelnen Teilsysteme zu ermitteln.

3.3 TEILSYSTEMBEZOGENE DETAILPLANUNGEN

Hierfür bestehen prinzipiell drei unterschiedliche Möglichkeiten:

- o Der Übergang auf eine nachgeordnete Komplexitätsebene: Auf dieser nachgeordneten Komplexitätsebene sind dann für jedes einzelne zu detaillierende Teilsystem alle Projektierungsschritte nochmals zu durchlaufen. Als Eingangsinforma-

tionen stehen dabei die auf der übergeordneten Komplexitätsebene ermittelten Daten zu den einzelnen Teilsystemen zur Verfügung. Bei dieser Vorgehensweise lassen sich also ergänzende Beschreibungsdaten für die technische Lösung erarbeiten.

- o Der Einsatz zusätzlicher Planungssysteme:
Hier sind zum einen Kalkulations- und Terminplanungssysteme zu nennen, die weitere, für die Angebotserstellung benötigte Daten liefern. Zum anderen können dies Systeme für spezielle technische Planungen sein, z.B. für die Elektrokonstruktion, Rohrleitungsplanung u. ä..
- o Der Rückgriff auf wiederverwendbare technische Lösungen:
Neben detaillierten technischen Daten stehen bei einem erfolgreichen Rückgriff auf eine vorhandene Lösung im allgemeinen auch zusätzliche, für die Terminplanung und Kalkulation nutzbare Informationen bereit.

Aus den beiden erstgenannten Möglichkeiten ergeben sich keine neuen Aspekte für die Systemkonzeption. Sowohl die Anwendbarkeit des Systems für Projektierungsobjekte unterschiedlicher Komplexität als auch die Möglichkeiten zur Datenübergabe zwischen verschiedenen Komplexitätsebenen und an andere Systeme sind als wesentliche Anforderungen festgelegt. Deshalb wird ausschließlich die Wiederverwendung vorhandener ähnlicher Lösungen betrachtet.

Es existieren bereits viele Ansätze, die die Beschreibung wiederverwendbarer Lösungen und geeignete Methoden für den Rückgriff betreffen /3,11,78-82/. Die Anwendbarkeit der einzelnen Methoden wird im wesentlichen von Art und Umfang der beschreibenden Daten, d.h. letztlich von der Komplexität der Wiederholelemente bestimmt /3/. Bei der hier betrachteten Aufgabenstellung und der hohen Komplexität der Elemente lassen sich vorzugsweise Klassifizierungssysteme oder - wie für ähnliche Aufgabenstellungen erprobt - Datei- und Datenbanksysteme nutzen /42,81,82/.

Der Einsatz von Klassifizierungssystemen führt normalerweise zu Informationsverlusten in den Beschreibungen der Wiederholelemente. Zum einen stimmen Bereichsangaben innerhalb des Klassifizierungsschlüssels meist nicht mit den tatsächlichen Einsatz- oder Leistungsbereichen überein. Zum anderen muß die Anzahl der Schlüsselstellen beschränkt werden, um eine gute Handhabbarkeit des Klassifizierungsschlüssels zu gewährleisten /83/.

EDV-unterstützte Systeme gestatten demgegenüber wesentlich detailliertere Wiederholelementbeschreibungen, bei denen sich auch unterschiedliche Datengruppen und -arten berücksichtigen lassen. Notwendig sind/81,84/:

- die technische Benennung des Elementes und eine Identifikation, z.B. Identnummer;
- die Einordnung des Elementes in die Erzeugnisstruktur, d.h. Verweise auf zugehörige Elemente höherer, gleicher und niedrigerer Komplexität;
- eine technische Beschreibung.

Charakteristische Daten		W 77.4			
Anlage		Einlauf			
Maschinengruppe		Abhaspel/Abhaspeldorn			
Bezeichnung	Dim.			Zul. Bereich	
		Min.	Max.	Min.	Max.
Antrieb Lage		neutral		neutral	
Brake Band	mm	610	1550	800	1550
Dicke Band	mm	0,35	3,0	0,2	3,5
Durchmesser Bund innen	mm	610		608	612
Durchmesser Bund innen	mm	/		/	
Durchmesser Bund außen	mm	1100	1900	900	1900
Wechseldorn		nein		nein	
Wickelkopf Wechselbar		ja		ja	
Durchmesser Dorn Spreibereich	mm	59,8	63,8	59,8	63,8
Durchmesser Dorn Spreibereich	mm	/		/	
Durchmesser Dorn Spreibereich	mm	/		/	
Gewicht Bund	t	3	30	1	30
Anzahl Segmente	Stück	1		1	
Aufschubsegment		nein		nein	

Bild 3-15: Beispiel einer Wiederholelementbeschreibung /81/

Die Analyse der technischen Beschreibungen hinsichtlich der dabei vorkommenden Datenarten ergibt folgende Aufstellung (Bild 3-15) /81,84/:

- Absolutwertangaben für Einzelwerte und die zugehörigen Benennungen (Baulänge: 8,2m);
- Bereichsangaben zur Kennzeichnung von Arbeitsbereichen

- (minimale und maximale Bandbreite, Durchmesserbereiche);
- Alternativangaben zur Charakterisierung nicht quantifizierbarer Größen (Antrieb: elektrisch, hydraulisch; Ausführung: normal, geteilt);
- Texte für zusätzliche Informationen (Kommentare, Betriebserfahrungen, Hinweise auf weitere Unterlagen);
- Geometriedaten zur graphischen Darstellung des Elementes (Umrißkonturen, Grundrisse)

Grundsätzlich ist die Wiederverwendung von Elementen hoher Komplexität anzustreben, da dies den größten Nutzen bringt /85/. Die bei der Suche nach solchen Lösungen realisierbaren Arbeitstechniken hängen stark davon ab, wie diese Lösungen beschrieben sind. Besondere Bedeutung hat bei der vorliegenden Aufgabenstellung, daß bei der Suche nur selten Elemente zu ermitteln sind, die alle vorgegebenen Suchkriterien erfüllen können. Hauptursache ist, daß - wie auch bei anderen technischen Objekten - die Wiederholhäufigkeit mit zunehmender Komplexität abnimmt /85/. Ein 1:1-Vergleich der bei der Auslegung festgelegten technischen Anforderungsprofile für die einzelnen Anlagenteilsysteme mit den vorhandenen Lösungen wird deshalb im allgemeinen nicht zum erfolgreichen Rückgriff führen. Es ist also in irgendeiner Form zu definieren, inwieweit bei den einzelnen technischen Merkmalen Abweichungen zulässig sind.

Klassifizierungssysteme erfüllen diese Anforderung insoweit, als daß dabei den einzelnen Schlüsselstellen und -nummern bereits Wertebereiche zugeordnet sind. Wie erwähnt, reicht diese Methode bei der vorliegenden Aufgabenstellung für eine ausführliche Beschreibung der Wiederholelemente nicht aus. Vorteile kann eine numerische Verschlüsselung jedoch bieten, wenn quantitativ nicht erfaßbare Merkmale der Wiederholelemente zu beschreiben sind, z.B. unterschiedliche Antriebsarten, spezielle Bauformen etc..

Zusammenfassend gilt also, daß das Verwalten der Wiederholelementdaten sowie das Auffinden ähnlicher Elemente anwendungsneutrale Tätigkeiten und Aufgaben sind, die für spezifische Datenbestände ausgeführt werden (Bild 3-16).

Trotz der Vielfalt existierender Lösungsansätze ist dabei zu prüfen, inwieweit im Rahmen der hier vorliegenden Aufgabenstellung durch spezielle Suchtechniken und Datenstrukturierungen zusätzliche Vorteile zu erzielen sind.

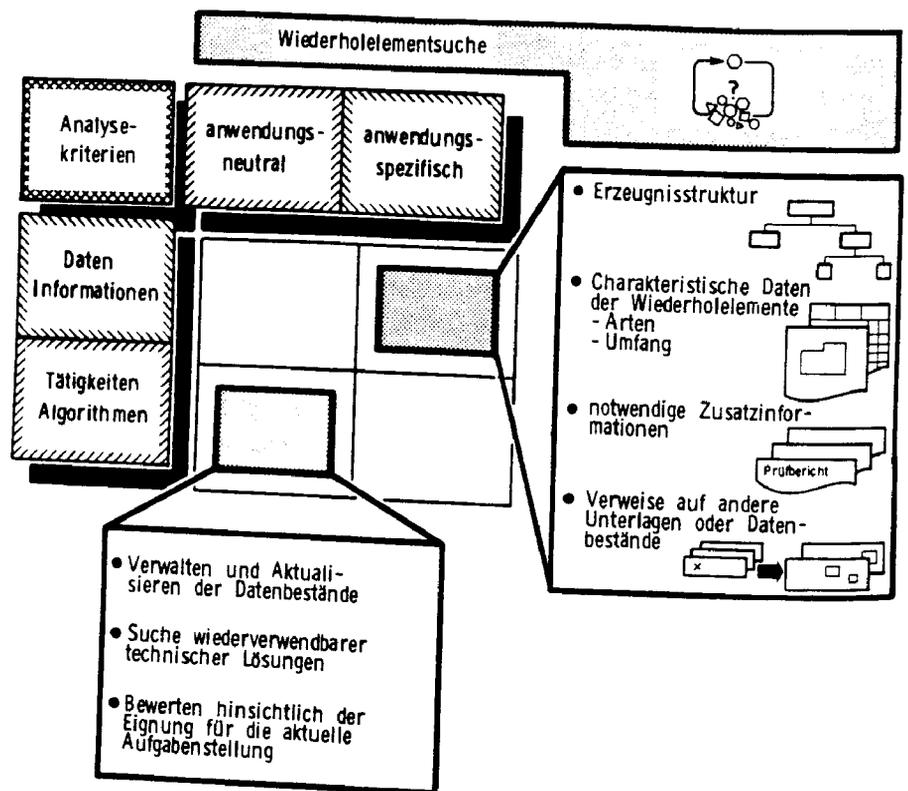


Bild 3-16: Einordnung des Planungsabschnittes "Wiederholelementsuche"

3.4 LAYOUTPLANUNG

Die Projekt- oder auch Layoutzeichnung für die Anlage ist neben den Beschreibungen der verwendeten bzw. geplanten Baueinheiten und Anlagenteilsysteme ein wesentlicher Bestandteil der technisch orientierten Ergebnisdokumentation. An den Planer werden beim Entwurf dieses Layouts hohe Anforderungen gestellt, da die Maschinenanordnung und die daraus resultierenden Transportvorgänge die Herstellkosten der Anlagenprodukte oft in entscheidendem Maße beeinflussen /86,87/. Oft lassen sich geplante Produktionsabläufe und -zeiten auch nur realisieren, wenn das Layout entsprechend gestaltet ist. Im folgenden sollen diese beiden Aspekte der Layoutplanung diskutiert werden:

- der Layoutentwurf und die Optimierungskriterien im allgemeinen sowie
- die transportablauforientierte Layoutbewertung, speziell am Beispiel von Stahlwerken.

3.4.1 LAYOUTENTWURF UND OPTIMIERUNG

Für den Entwurf eines Layouts und dessen Optimierung müssen erhebliche Planungsleistungen aufgewendet werden. Hauptursachen hierfür sind (Bild 3-17) /86,88-91/:

- der hohe Anteil schematischer Tätigkeiten, z.B. für das Anfertigen und Ändern der zeichnerischen Darstellungen,
- die Vielfalt der häufig gleichzeitig zu berücksichtigenden Optimierungskriterien und
- die unzureichende Unterstützung durch Hilfsmittel oder Planungssysteme.

Bereits seit längerer Zeit existieren EDV-Programme, die die Planungstätigkeiten unterstützen bzw. automatisch optimale Maschinenanordnungen ermitteln sollen. Als Optimierungskriterium gilt hierbei im allgemeinen die Minimierung der Transportleistung /86,92,93/. Diese ergibt sich dabei als Produkt aus

- Anzahl der Einheiten, die innerhalb eines definierten Zeitschnittes zu transportieren sind, und
- der Länge der Wege, auf denen die Transporte durchzuführen sind.

Detailliertere Untersuchungen der Planungssysteme und ihrer Anwendungsmöglichkeiten haben jedoch gezeigt, daß sie im allgemeinen nur für einzelne Teilaspekte der Layoutplanung nutzbar sind. Es bestehen folgende Beschränkungen /86,94/:

- o Die Systeme eignen sich hauptsächlich für Neuplanungen; Umstellungsprobleme, die in der Praxis überwiegen, sind damit kaum zu bearbeiten.
- o Es lassen sich entweder Gesamt- oder die Detailplanungen bearbeiten.
- o Wegen der Stapelverarbeitung entsteht vor dem Programmeinsatz ein erheblicher Datenbeschaffungs- und Eingabeaufwand.

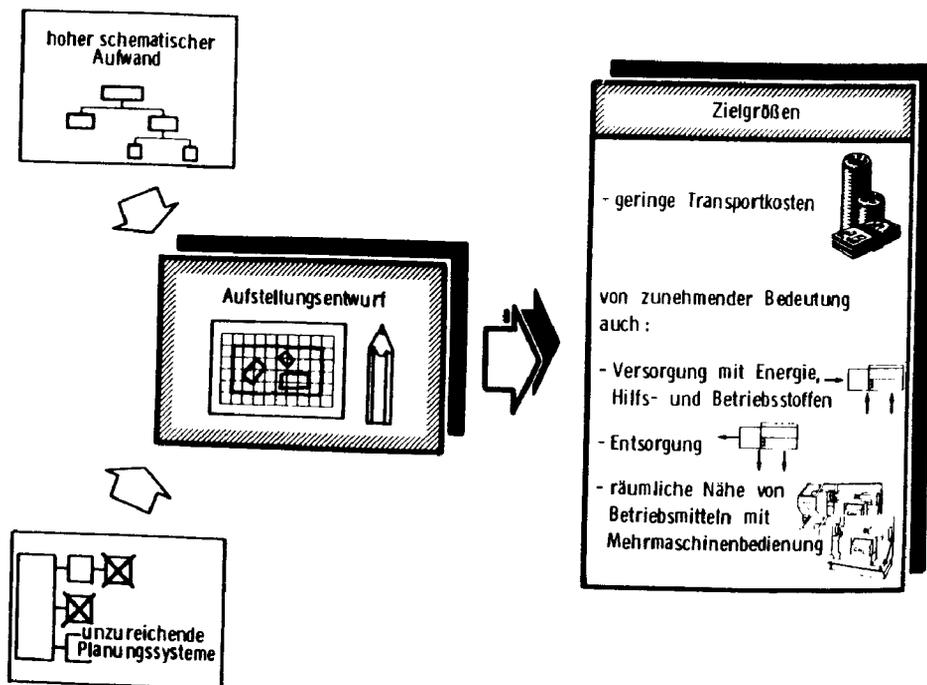


Bild 3-17: Ziele und Randbedingungen bei der Layoutplanung

Alle relevanten Informationen müssen vor Beginn des Programmlaufs zusammengestellt werden, zwischenzeitliche Ergänzungen oder Änderungen sind nicht möglich. Im allgemeinen erfordert es deshalb schon mehrere Programmläufe, um überhaupt alle benötigten und relevanten Eingabedaten zu ermitteln.

- o Trotz allen Aufwandes lassen sich kaum befriedigende Ergebnisse erzielen. Wegen der Vielzahl von Einflußgrößen scheint es kaum möglich, ein Layout gezielt zu beeinflussen. Schon geringfügig veränderte Eingangsdaten führen zu völlig anderen Layoutentwürfen.

Außerdem existiert ein graphisch-interaktiv arbeitendes Layoutplanungspaket, das nur Vorschläge für die günstigste Maschinenanordnung anbietet /86/. Es liegt dann im Ermessen des Planers, die jeweiligen Lösungen anzunehmen und darauf aufbauend weiter zu arbeiten oder Veränderungen vorzunehmen. Auch hier sind einige Restriktionen zu beachten:

- o Als Optimierungskriterium wird standardmäßig nur der Transportaufwand berücksichtigt, Erweiterungen um andere Bewertungskriterien sind gesondert vorzunehmen.
- o Das System ist vorzugsweise für Neuplanungen konzipiert.
- o Die Planungsflächen sind durch Rastereinheiten in einem orthogonalen Koordinatensystem anzugeben; außerdem werden nur rechteckige Grundrisse für die Betriebsmittel zugelassen.

Es zeigt sich zunehmend, daß die bisher angewendeten Planungssysteme und Optimierungskriterien nicht ausreichen, um zweckmäßige Layoutentwürfe zu entwickeln /91/. So bleiben andere Kriterien wie die räumliche Nähe von Betriebsmitteln mit Mehrmaschinenbedienung, Versorgung mit Energie, Hilfs- und Betriebsstoffen oder Entsorgung unberücksichtigt. Diese gewinnen jedoch an Bedeutung, während der Einfluß der Transportstrecke, bedingt durch den Einsatz der EDV bei Steuerung, Überwachung und Automatisierung von Transportsystemen, ständig sinkt.

Weitere Randbedingungen für die Layoutplanung resultieren aus den Entwicklungen und Gesetzgebungen auf den Gebieten Arbeitsschutz und -sicherheit. So ermöglicht die Zentralisierung von belasteten Arbeitsplätzen die gemeinsame Nutzung von Sicherheitseinrichtungen (Brand-, Explosions-, Unfallschutz) oder Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitsplatzqualität.

Auch Veränderungen auf dem Bausektor wie Preisentwicklung, verschärfte Baubeschränkungen und Genehmigungsverfahren, wirken sich aus. Daraus ergeben sich Rückwirkungen auf die Layoutplanung, die sich bei einem materialflußorientierten Layout nur schwer einarbeiten lassen. So kann z.B. eine Aufteilung nach notwendiger Geschoßhöhe, überkranten und nicht überkranten Bereichen, hoher und geringer Bodentragfähigkeit die Baukosten erheblich absenken.

Die vollständige Neuplanung eines Layouts unter Berücksichtigung der genannten Kriterien ist also - auch wegen der unzureichenden Planungshilfsmittel und -systeme - sehr aufwendig. Um diesen Aufwand zu vermindern, orientiert man sich bei der Planung überwiegend an ausgeführten Anlagen, für die bereits Betriebserfahrungen vorliegen. Damit stehen die Grundstrukturen der Produktionsabläufe und Materialflüsse also im wesentlichen schon vor Beginn der Layoutplanungen fest. Die Aufstellungsplanung beschränkt sich dann auf das Anordnen

der geplanten neuen Betriebseinrichtungen unter Berücksichtigung der jeweiligen räumlichen Gegebenheiten. Für wiederverwendete Lösungen liegen die dazu benötigten Informationen wie Abmessungen, zusätzlicher Bedarf für Hilfs- und Nebenflächen usw. vor; für neue Konstruktionen sind die entsprechenden Daten abzuschätzen /95,96/ (vgl. a. Kap. 3.2). Die Ergebnisse der Planung werden dann - je nach Komplexität des Objektes und Verwendungszweck mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad - in maßstäblichen Grundrissen dokumentiert (Bild 3-18). Zusätzlich ist es für Einbauuntersuchungen häufig notwendig, mehrere Ansichten darzustellen.

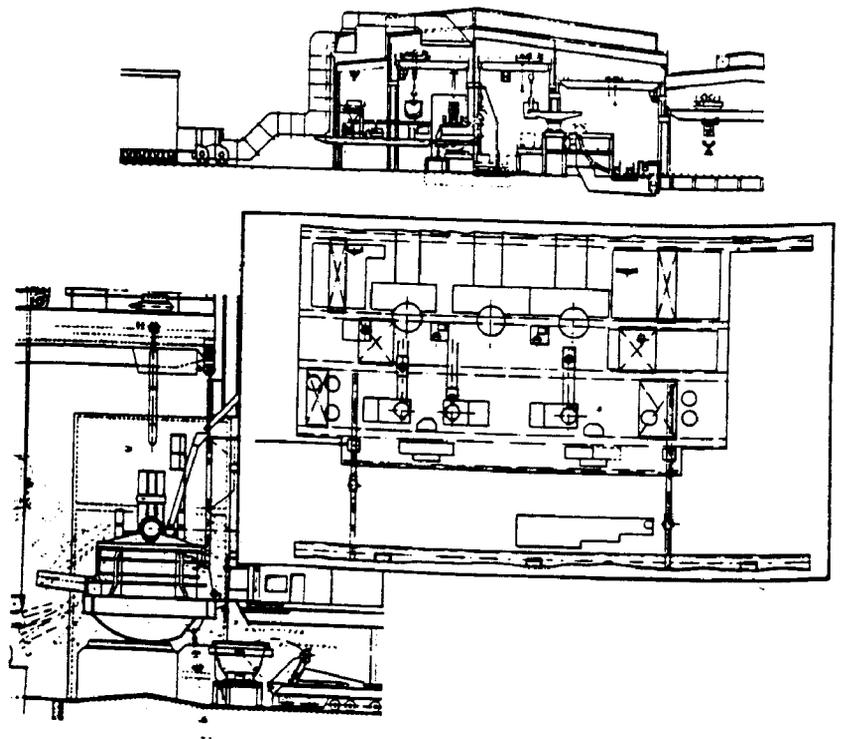


Bild 3-18: Layoutzeichnungen aus dem Bereich der Hüttentechnik (Ausschnitte)

Wenn es sich bei den darzustellenden Betriebseinrichtungen überwiegend um Wiederholelemente bzw. bei der Angebotserstellung um ähnliche Elemente handelt, lassen sich bei der Zeichnungserstellung auch

vorgefertigte Darstellungen nutzen. Beispiele hierfür sind: Einsatz von Klebe- oder Anreibefolien, Reprozeichnen usw.. Alle diese Techniken sind jedoch mit spezifischen Nachteilen hinsichtlich ihrer Flexibilität oder der Qualität der fertigen Zeichnung behaftet /3,80/.

Neben den bereits erwähnten Layoutplanungssystemen existieren verschiedene Systeme, die nur den Entwurf und die Veränderung des Aufstellungsentwurfes vereinfachen /88,97/. Der Planer wird dadurch von schematischen Tätigkeiten wie Zeichnen, Ändern, Reinzeichnen usw. entlastet. Den prinzipiell gleichen Effekt hat der Einsatz von CAD-Systemen für diese Aufgabenstellung /98,99/.

Ermöglicht das CAD-Paket auch Aufbau und Verwaltung von Geometrien in einer dreidimensional orientierten rechnerinternen Darstellung, so erleichtert dies Einbauuntersuchungen und reduziert die Kosten für den Bau von Kontrollmodellen /58,100/. Hinsichtlich der Arbeitstechnik bieten diese Systeme häufig nur einen geringeren Komfort für den Benutzer, weil die Systemfunktionen und der Benutzerdialog weniger auf die Aufgabenstellung "Layoutplanung" zugeschnitten sind.

Zusammenfassend gilt, daß die verfügbaren Layoutplanungssysteme hinsichtlich der materialflußorientierten Optimierung in gewissem Umfang eine Planungserleichterung darstellen. Der hohe Anteil manuell-schematischer Tätigkeiten läßt sich andererseits durch graphisch-interaktiv arbeitende EDV-Systeme reduzieren.

Der betrachtete Planungsabschnitt ist also hinsichtlich der verwendeten Daten, Informationen und Algorithmen wie folgt zu beschreiben (Bild 3-19):

Im wesentlichen werden Geometrieinformationen benötigt, die die verwendeten konstruktiven Lösungen beschreiben und damit eindeutig firmenspezifisch sind. Das Abschätzen der Geometriedaten für neue Konstruktionen kann aufgrund von Erfahrungswerten und durch Skalierung vergleichbarer Konstruktionen erfolgen.

Anwendungsneutral sind dagegen alle Tätigkeiten und Aufgaben, die mit der Verarbeitung der Geometrien zusammenhängen, z.B. Zeichnungserstellung und -änderung sowie Einbauuntersuchungen und quantitative Bewertungen des Layouts.

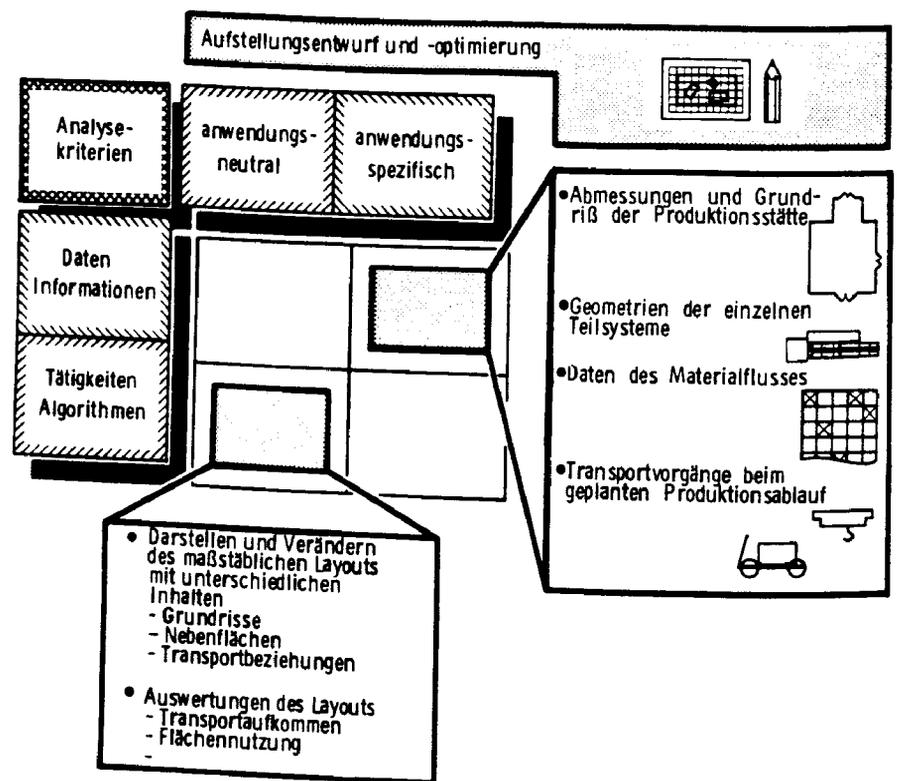


Bild 3-19: Einordnung des Planungsabschnittes "Layoutplanung"

3.4.2 TRANSPORTABLAUFORIENTIERTE LAYOUTBEWERTUNG

Bei den bisher beschriebenen Berechnungen und Anordnungsplanungen wird implizit vorausgesetzt, daß sich der geplante Betriebsablauf mit den einsetzbaren Fördermitteln planmäßig abwickeln läßt. Diese Fragestellung ist jedoch von entscheidender Bedeutung und besteht bei allen diskontinuierlichen Produktionsabläufen bzw. dann, wenn Produktions-einrichtungen nicht durch kontinuierlich arbeitende Transportmittel verbunden sind. Bei derartigen Anlagen ist also eine detailliertere Überprüfung erforderlich.

Die verfügbaren bzw. in Entwicklung befindlichen Modelle und Methoden für die Planung solcher Materialfluß- und Fördersysteme sind

im allgemeinen auf spezielle Arten von Transportmitteln ausgelegt /101-107/. Dies resultiert zu einem erheblichen Teil aus deren spezifischen Eigenschaften bezüglich der

- Transportbereiche, d.h. insbesondere Anzahl der Anfahrpositionen, Entfernungen, mögliche Bewegungsrichtungen, Transportebenen, und der
- Freiheitsgrade bei der Gestaltung der Transportwege, d.h. Bindung an vorgegebene Trassen oder Schienen bzw. Ausweichmöglichkeiten.

Eine Eingrenzung der jeweils verwendeten oder verwendbaren Transportmittel ist deshalb eine wesentliche Voraussetzung für die Auswahl bzw. Entwicklung solcher Planungssysteme.

Bezogen auf die im Rahmen dieser Arbeit detaillierter betrachtete Pilotanwendung Projektierung von Stahlwerken sind im wesentlichen die Brückenkrane, insbesondere die Fragen nach deren Anzahl und Leistungsfähigkeit, zu klären. Häufig finden zwar innerhalb der Stahlwerke noch Übergabewagen und Drehtürme Verwendung; diese stellen jedoch innerhalb der Produktionsabläufe im allgemeinen keine Engpässe dar.

In neuerer Zeit werden auch Untersuchungen über veränderte Konzepte für den Materialfluß in Stahlwerken durchgeführt. Zu nennen sind hier /108-113/:

- Stahlwerke in terrassenförmiger Anordnung, um aufwendige Einrichtungen für den Materialtransport in vertikaler Richtung einzusparen und überwiegend Flurförderzeuge einsetzen zu können;
- neue Krankonzepte, z.B. Rundlaufkran, Auslegerdrehkran und
- neue Hebeeinrichtungen wie Pfannenaufzüge.

Trotz dieser Entwicklungstendenzen scheint das konventionelle Stahlwerklayout mit dem Brückenkran als wichtigstem Fördermittel noch längere Zeit seine Bedeutung zu behalten. Wie erwähnt, betrifft eine Vielzahl von Projektierungsaufgaben nicht den vollständigen Neubau, sondern die Modernisierung von Anlagen. Infolgedessen ist zu erwarten, daß auch zukünftig die mit diesem Anlagentyp verbundenen Anordnungs- und Optimierungsplanungen einen Aufgabenschwerpunkt darstellen.

Ziel der Optimierungen ist, die Anzahl notwendiger Brückenkrane gering zu halten. Andererseits soll deren Auslastung gleichmäßig sein und es wird angestrebt, eine ausreichende Reserve beim Ausfall eines Kranes vorzuhalten. Die Bereitstellung einer zu großen Krankapazität führt zu gegenseitigen Behinderungen sowie zu weniger wirtschaftlichem Betrieb; bei nicht ausreichenden Reserven gefährden schon geringfügige Kranstörungen den Produktionsablauf.

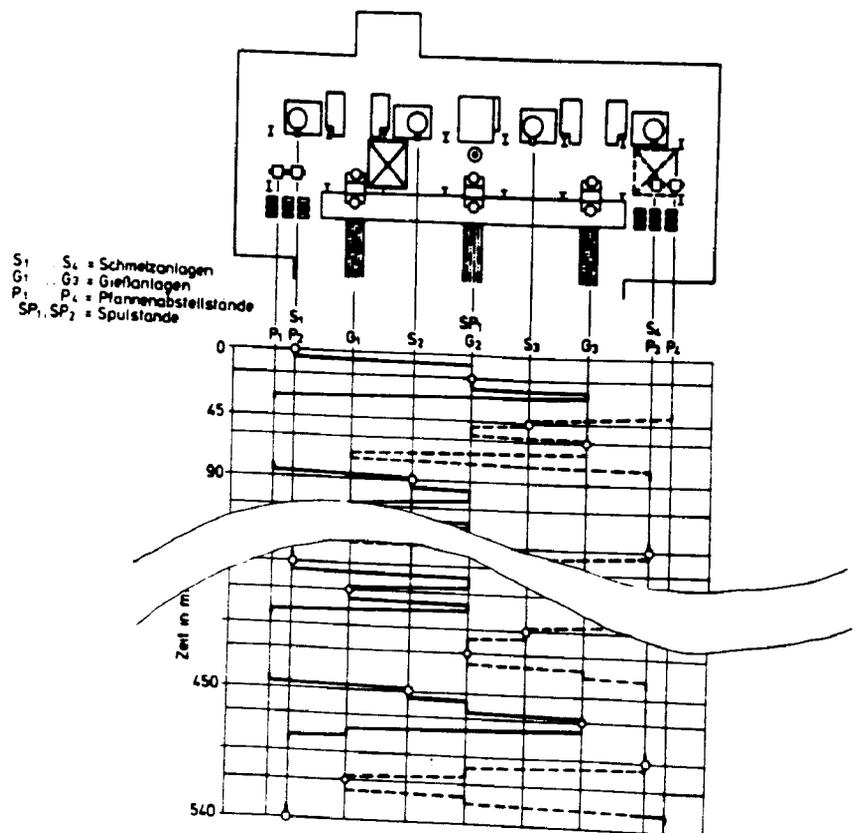


Bild 3-20: Weg-Zeit-Diagramm für Kranfahrten in Stahlwerken (nach: /107/)

Für die beschriebene Aufgabenstellung hat sich folgendes Planungsverfahren als anwendbar erwiesen /107/: Es werden Weg-Zeit-Diagramme entworfen, die alle mit dem Betriebsablauf verbundenen Kranfahrten, Krantätigkeiten, Wartezeiten und Ausweichfahrten wiedergeben (Bild 3-20).

Einige wesentliche Charakteristika dieses Planungsverfahrens sind hier zusammengefaßt (s.a. /107/). Für die Planung werden als Eingangsinformationen benötigt:

- die mit dem geplanten Produktionsablauf verbundenen Transporte und Hilfstätigkeiten,
- verfahrenstechnisch wichtige Teilabläufe,
- die Anordnung der Betriebseinrichtungen,
- die zeitlichen Eckdaten des Produktionsablaufes, z.B. Chargen- (Schmelzen-)folgezeit, Gießzeiten u. ä..

Im Diagramm wird die Darstellung der Produkt- und Fördermittelbewegungen auf eine Richtung, die Längsachse der Produktionshalle, reduziert. Deshalb reicht es auch aus, im Diagramm nur die Lage der

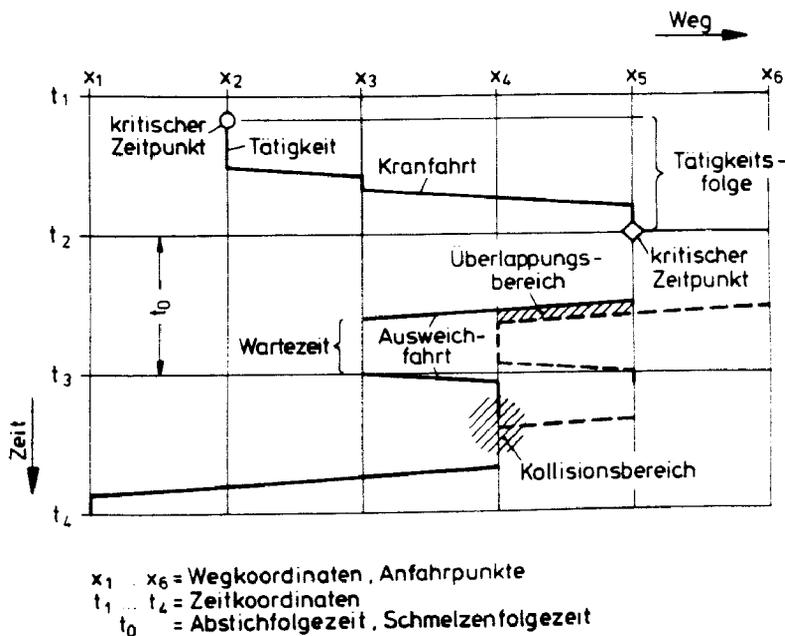


Bild 3-21: Prinzipieller Aufbau eines Weg-Zeit-Diagramms für die Kranbewegungen /107/

Betriebseinrichtungen bezogen auf die Längsachse darzustellen (Bild 3-21). Orthogonal zu diesem vereinfachten Layout verläuft die Zeitachse des Diagramms. Auf ihr sind die wesentlichen Zykluszeiten (Schmelzenfolgezeit, Schmelze-zu-Schmelze-Zeit) markiert.

Vor der eigentlichen zeichnerischen Diagrammerstellung erfolgt noch eine Abschätzung über die Anzahl benötigter Krane und deren Auslastung /114/.

- o Alle von den Kranen durchzuführenden ortsfesten Tätigkeiten werden für einen vollständigen Zyklus festgelegt und aufsummiert.
- o Die zu erwartende Kranauslastung ergibt sich dann als Quotient aus der Summe aller Tätigkeitszeiten und der verfügbaren Krankapazität. Diese errechnet sich aus der Anzahl Krane und der Zyklusdauer.
- o Erreicht die berechnete Auslastung einen Grenzwert, so ist der Betriebsablauf oder die Anzahl der Krane zu verändern.

Nach dieser Abschätzung werden dann die Kranbewegungen unter Last und die Leerfahrten nach ihren Prioritäten im Hinblick auf den Betriebsablauf in das Diagramm eingeplant (Bild 3-22):

- Gruppe 1:
Zyklisch auftretende Krantätigkeiten und -tätigkeitsfolgen, die im unmittelbaren Zusammenhang mit dem Produktionsablauf stehen.
- Gruppe 2:
Zyklisch auftretende Tätigkeitsfolgen, die der Vorbereitung oder dem Abschluß von Tätigkeiten der Gruppe 1 dienen und deshalb innerhalb festgelegter Zeiträume abzuarbeiten sind.
- Gruppe 3:
Tätigkeitsfolgen, die sich bei regelmäßigem Produktionsablauf in größeren Zeitabständen wiederholen.

Hierbei kann auch geprüft werden, inwieweit noch Krankapazitätsreserven für zusätzliche Tätigkeiten bestehen, die z.B. bei Betriebsstörungen durchzuführen sind.

Wegen der Vielzahl von Einflußgrößen und Anforderungen (Bild 3-22) bei der Verteilung der Transportaufgaben auf die einzelnen Krane führt im allgemeinen nur eine iterative Vorgehensweise zu zufriedenstellenden Ergebnissen; die Änderungen des Diagramms sind dabei mit unterschiedlichem Aufwand verbunden. Das Umordnen von Tätigkeitsfolgen bezogen auf den ausführenden Kran oder den zeitli-

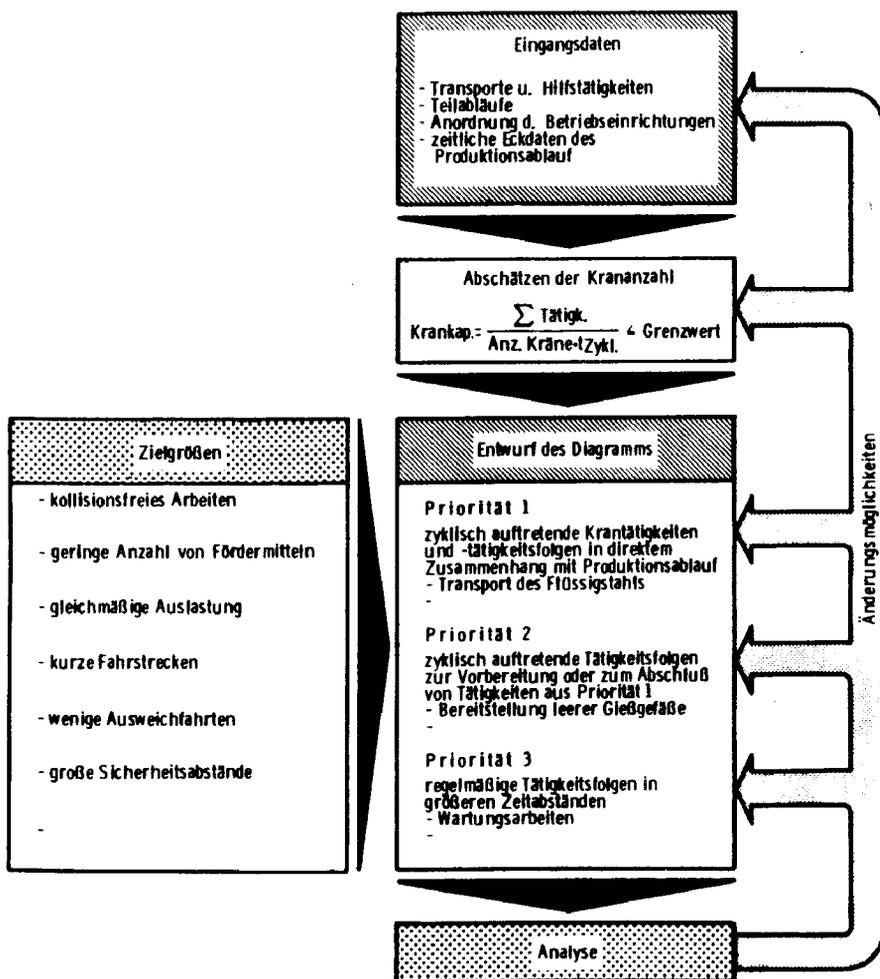


Bild 3-22: Vorgehensweise bei der Erarbeitung der Weg-Zeit-Diagramme

chen Ablauf zieht im allgemeinen nur abschnittsweise Änderungen nach sich. Änderungen der Fördermitteldaten, z.B. Anzahl und Arbeitsgeschwindigkeiten, oder ein verändertes Layout machen häufig die komplette Neuerstellung des Diagramms notwendig. Deshalb wird oft auf die Optimierung von Layouts und Abläufen verzichtet.

Die Analyse des Planungsverfahrens hinsichtlich allgemeiner und spezifischer Daten bzw. Algorithmen zeigt (Bild 3-23): Alle verwendete

ten Bezeichnungen für die Anfahrpunkte und Fördermittel sowie die zugehörigen Daten sind anwendungsspezifisch. Der Anteil allgemeiner Aufgaben und Algorithmen ist demgegenüber erheblich größer. Dazu gehören alle Tätigkeiten, die mit der Erstellung des Diagramms im Zusammenhang stehen, d.h. Berechnen von Fahrzeiten und Auslastungen, Zeichnen und Ändern des Diagramms usw..

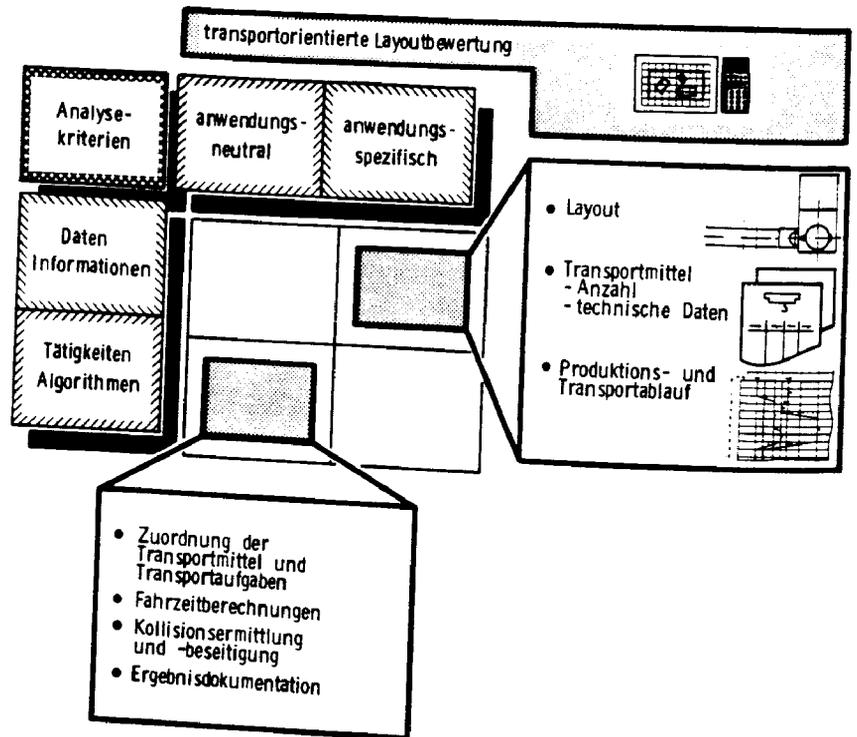


Bild 3-23: Einordnung des Planungsschrittes
"Transportablaufforientierte Layoutbewertung"

Die zuletzt diskutierte Planungsaufgabe und auch das vorgestellte Verfahren sind wesentlich anlagenspezifischer als die zuvor betrachteten Haupt-Planungsabschnitte und Arbeitsinhalte. Bei Verwendung anderer Transportmittel sind z.B. andere Planungsverfahren einzusetzen, bei anderen Anlagenarten sind Transportabläufe von untergeordneter Bedeutung. Demzufolge lassen sich hier auch keine weitergehenden Anforder-

rungen an ein anwendungsneutrales Projektierungssystem ableiten, als daß die Datenübergabe zu spezifischen Planungssystemen möglich sein muß. Diese Anforderung wurde jedoch schon bei der Abgrenzung der Haupt-Planungsabschnitte erhoben.

Damit ist die Analyse der Arbeitsinhalte für alle Haupt-Planungsabschnitte abgeschlossen. Bevor konzeptionelle Überlegungen bezüglich des Projektierungssystems erfolgen, sollen die erarbeiteten Ergebnisse zusammenfassend bewertet werden.

3.5 BEWERTUNG DER ANALYSEERGEBNISSE

Entsprechend der Abgrenzung der Haupt-Planungsabschnitte, die für unterschiedliche Anlagenarten gültig sind, zeigen sich auch bei der detaillierten Analyse der einzelnen Aufgaben allgemeingültige Tätigkeitsinhalte. Zusätzlich werden jeweils noch Daten und Algorithmen verwendet, die für die einzelnen Anlagenarten spezifisch, grundsätzlich jedoch von vergleichbarem Typ und Umfang sind.

Die vorgefundenen Informationsflüsse bestätigen gleichzeitig die Richtigkeit der eingangs definierten Haupt-Planungsabschnitte und der dafür festgelegten Reihenfolge (Bild 3-24); nur so lassen sich korrekte und zusammenhängende Projektierungsergebnisse erzielen.

Vor den teilsystembezogenen Detailplanungen muß also eine ausreichend genaue Auslegung erfolgt sein. Bezogen auf den Layoutentwurf steigt die Planungssicherheit, wenn statt grober Raumbedarfsabschätzungen im Rahmen der teilsystembezogenen Detailplanungen exaktere Grundrisse für die einzelnen Teilsysteme ermittelt werden. Dies schließt nicht aus, daß beim eigentlichen Projektierungsprozeß einzelne Abschnitte zunächst übersprungen werden, um die Lösungsfindung insgesamt zu beschleunigen.

Die Analysen zeigen außerdem, daß mit zunehmender Planungstiefe auch der Anteil anlagenspezifischer Aufgaben und damit auch die Vielfalt an Planungsverfahren zunimmt. Statt der Materialflussoptimierung bei einem Stahlwerk wäre z.B. bei einer verfahrenstechnischen Anlage die Rohrleitungsplanung durchzuführen. Ein Projektierungssystem, das eine hohe Anwendungsbreite haben soll, kann aber auch nicht alle diese Planungsfunktionen, die z.T. einen erheblichen Umfang haben, beinhalten. Zudem existieren auch für viele spezifische Planungsauf-

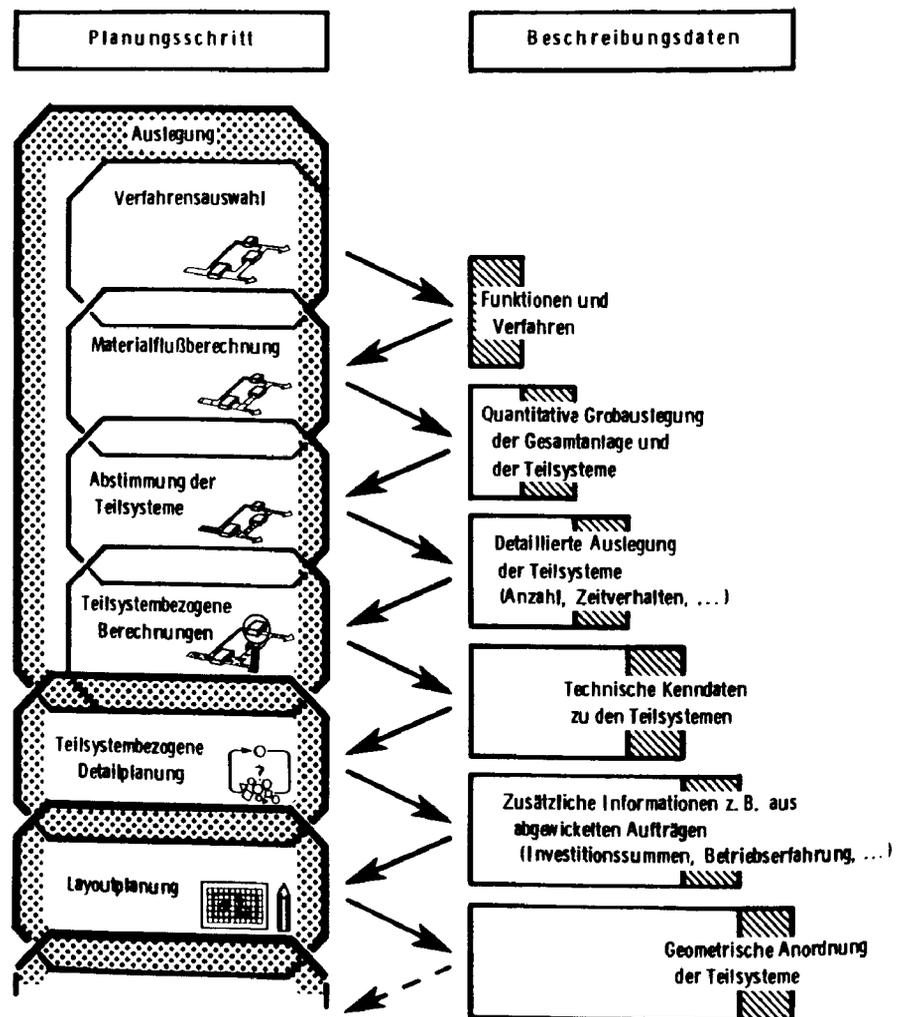


Bild 3-24: Gegenüberstellung von Projektierungsschritten und erzeugten Informationen

gaben bereits entsprechende, häufig sehr komplexe Programmpakete. Eine Neuentwicklung oder Umsetzung erscheint wegen des damit verbundenen Aufwandes zumindest im Zusammenhang mit dem hier zu konzipierenden Projektierungssystem nicht sinnvoll.

Bereits bei den Betrachtungen hinsichtlich der teilsystembezogenen Detailplanungen (Kap. 3.3) zeigte sich, daß auch bei weitergehenden Ana-

lysen der einzelnen Planungsaufgaben keine zusätzlichen Anforderungen an das Projektierungssystem zu erwarten sind als:

- die Anwendbarkeit des Projektierungssystems auf Anlagen unterschiedlicher Art und Komplexität sowie
- die Möglichkeit des Datenaustausches mit anderen Planungssystemen.

Deshalb kann aufgrund der vorgenommenen Analysen und der erarbeiteten Ergebnisse im folgenden die Konzeption des Projektierungssystems erfolgen.

4. GROBKONZEPT FÜR DAS PROJEKTIERUNGSSYSTEM

Um das Konzept für das Gesamtsystem sowie seine einzelnen Bestandteile abzuleiten, werden zunächst die maßgeblichen Anforderungen an das System zusammengestellt. Darauf aufbauend lassen sich grundsätzliche Betrachtungen hinsichtlich der an die Aufgaben angepaßten Arbeitstechniken und des geeigneten Systemaufbaus durchführen. Der Schwerpunkt muß dabei auf Konzepten liegen, nach denen sich Programmsysteme entwickeln lassen, die einfach und mit geringem Aufwand an unterschiedliche Aufgabenstellungen anzupassen sind.

Unter Berücksichtigung der für die einzelnen Planungsabschnitte ermittelten, anwendungsspezifischen Daten und Algorithmen kann dann - gegebenenfalls durch die Kombination unterschiedlicher Strukturen - ein geeignetes Systemkonzept definiert werden.

4.1 ANFORDERUNGEN AN DAS SYSTEMKONZEPT

Die Analysen haben gezeigt, daß bei der Projektierung, speziell zu Beginn der Planungen, erhebliche Freiheitsgrade bei der Ermittlung der technischen Lösung bestehen. Die dabei relevanten Entscheidungskriterien und Einflußgrößen sind häufig nicht in vollem Umfang bekannt bzw. erfaßbar. Hieraus ergeben sich insofern Anforderungen an die Arbeitstechnik des Projektierungssystems, als daß es auch dann nutzbar sein soll, wenn die Eingangsinformationen nicht von vornherein vollständig feststehen.

Um die technische Lösung im Laufe der Projektierung weiter zu konkretisieren, sind häufig iterative Vorgehensweisen anzuwenden. Einerseits muß dazu der Systemaufbau entsprechende Möglichkeiten beinhalten. Andererseits ist auch die Arbeitstechnik so zu gestalten, daß sich der Projektierungsablauf an die einzelnen Aufgabenstellungen anpassen läßt (Bild 4-1).

Das System soll sich für die unterschiedlichen Projektierungsgrundfälle - Neubau, Erweiterung, Umbau - nutzen lassen. Dazu muß es so aufgebaut sein, daß einerseits eine Gesamtanlage, d. h. eine Kombination mehrerer Funktionsträger, zu berechnen ist. Andererseits müssen es Systemaufbau und Arbeitstechnik erlauben, daß auch nur einzelne, vom Umbau betroffene Anlagenteile mit dem notwendigen Detaillierungsgrad berechnet werden können.

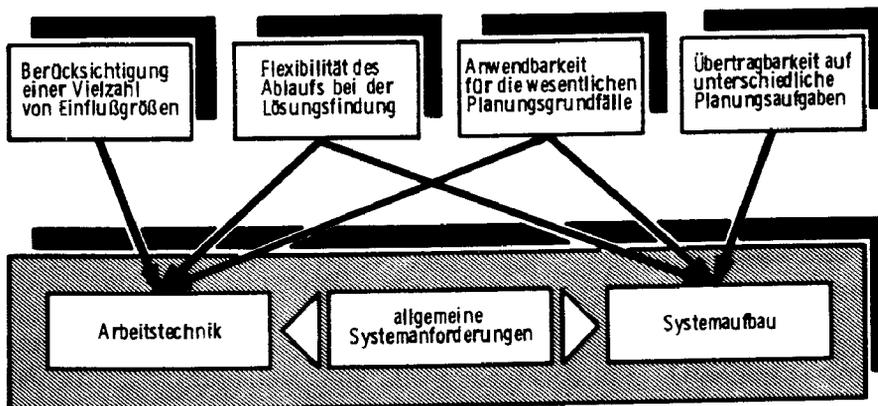


Bild 4-1: Systemanforderungen und beeinflusste Systemmerkmale

Für den eigentlichen Systemeinsatz hat die Forderung nach einer guten Anpaßbarkeit an Projektierungsobjekte unterschiedlicher Art und Komplexität eine geringere Bedeutung. Diese auf den Systemaufbau gerichtete Anforderung ist jedoch ein wesentliches Entwicklungsziel, weil dadurch die Anwendungsbreite des zu konzipierenden Systems bestimmt wird.

Neben den anwendungsorientierten sind noch weitere, allgemeine Anforderungen bei der Systementwicklung zu berücksichtigen. Diese lassen sich unter den Oberbegriffen

- Benutzerfreundlichkeit,
- Erweiterungsfähigkeit und
- geringer Erstellungsaufwand

zusammenfassen /115-119/. Hinsichtlich des Erstellungsaufwandes gilt bei der vorliegenden Entwicklungsaufgabe eine modifizierte Anforderung: Das Projektierungssystem soll nicht nur auf eine Anwendung hin entwickelt werden, sondern an unterschiedliche Planungsfälle anzupassen sein. Der minimale Funktionsumfang des Systems ist also als Schnittmenge der für unterschiedliche Anwendungsfälle ermittelten Einzelfunktionen zu verstehen. Außerdem müssen sich zusätzliche, im Einzelfall benötigte Erweiterungen leicht vornehmen lassen. Um diese Systemeigenschaften zu erreichen, entsteht hier zwangsläufig mehr Aufwand als bei der Entwicklung anwendungsspezifischer Systeme.

Demgegenüber lassen sich die unter den beiden anderen Begriffen zusammengefaßten Anforderungen schon wesentlich eindeutiger aufgliedern (Bild 4-2).

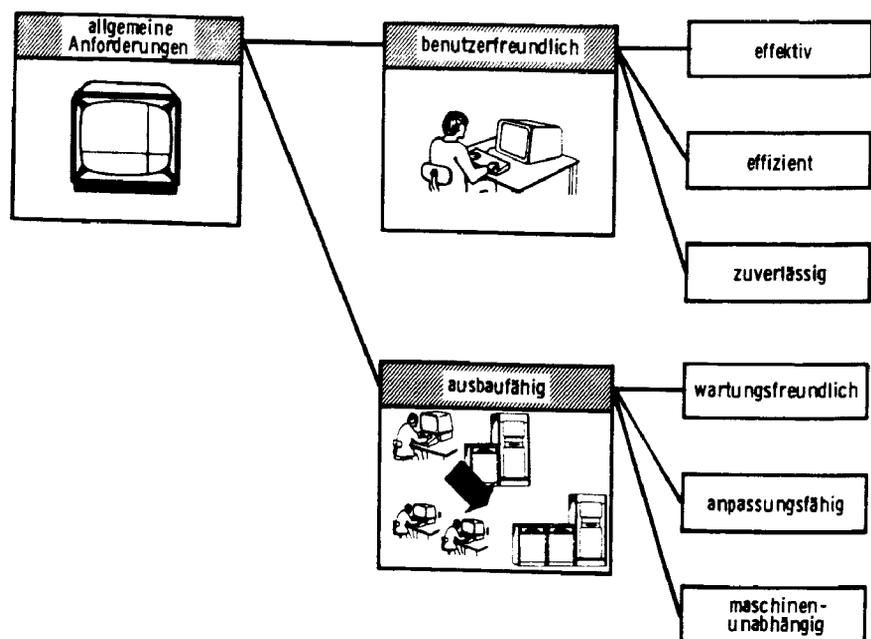


Bild 4-2: Allgemeine Anforderungen für die Systementwicklung

Zu den wesentlichen Gesichtspunkten gehört die Effizienz des Systems, d. h. eine hinsichtlich des Speicherplatzes und insbesondere der Reaktionszeiten optimierte Systemgestaltung. Speziell bei interaktiven Systemen beeinflussen diese Antwortzeiten stark die Akzeptanz. Auch bei der Auswahl von Lösungsalgorithmen für Teilaufgaben ist bei interaktiven Systemen von besonderer Bedeutung, daß diese innerhalb akzeptabler Rechenzeiten ablaufen können.

Auch die Forderung nach der Anpassungsfähigkeit des Systems hat bei der vorliegenden Aufgabenstellung ein besonderes Gewicht. Wie diese Anforderung hier zu erfüllen ist, z.B. durch eine aufgabenorientierte Abgrenzung der einzelnen Programmbausteine oder die Verwendung erweiterungsfähiger Datenstrukturen, sollen spätere Betrachtungen zeigen.

Ausgehend von den hier genannten Anforderungen und den Analyseergebnissen wird zunächst die für ein Projektierungssystem geeignete Arbeitstechnik ermittelt.

4.2 ARBEITSTECHNIK FÜR DAS PROJEKTIERUNGSSYSTEM

Hinsichtlich der Arbeitstechnik bieten sich grundsätzlich zwei Alternativen:

- Stapelverarbeitung oder
- interaktiver Betrieb.

Voraussetzung für die Stapelverarbeitung ist, daß vor dem Programmstart alle Eingabedaten und Informationen zur Ablaufsteuerung zusammengestellt werden können; zusätzliche Eingaben oder Änderungen während des Programmlaufs sind nicht möglich. Diese Verarbeitung läßt sich bei der vorliegenden Aufgabenstellung nicht sinnvoll anwenden. Bereits die Diskussion der verfügbaren Layoutplanungspakete (vgl. Kap. 3.4.1) zeigte, daß sich diese Arbeitstechnik bei komplexen Planungsaufgaben nicht eignet.

Bezogen auf die Projektierung der Gesamtanlage ist noch eine wesentlich größere Zahl von Einflußgrößen und Entscheidungskriterien zu berücksichtigen. Diese Aufgabe läßt sich deshalb auch nicht automatisieren. Voraussetzung hierfür wäre ein geschlossener und eindeutiger Auswahl- und Entscheidungsalgorithmus, aufgrund dessen bei einem vorgegebenen Anforderungsprofil für die Gesamtanlage alle Entscheidungen über die notwendigen Anlagenteilfunktionen und den Berechnungsablauf bei der Auslegung automatisch erfolgen können. Wegen der Vielzahl von Einflußgrößen und Entscheidungsalternativen ist dies nicht sinnvoll, wie eigene Untersuchungen für das Beispiel der Adjusteaganlagen zeigen /66/.

Aus demselben Grund wird auch bei einem in Entwicklung befindlichen EDV-System für vergleichbare Aufgaben - die Planung komplexer Förderanlagen - angestrebt, den Planer in möglichst großem Umfang durch Informationsbereitstellung zu unterstützen und von schematischen Tätigkeiten - Wiederholen von Berechnungsgängen, erneutes Eingeben von Zwischenergebnissen, Dokumentieren der Ergebnisse - zu entlasten. Notwendige Entscheidungen während des Planungsablaufes bleiben dem

Planer überlassen; eine vollständige Automatisierung ist nicht vorgesehen /120/.

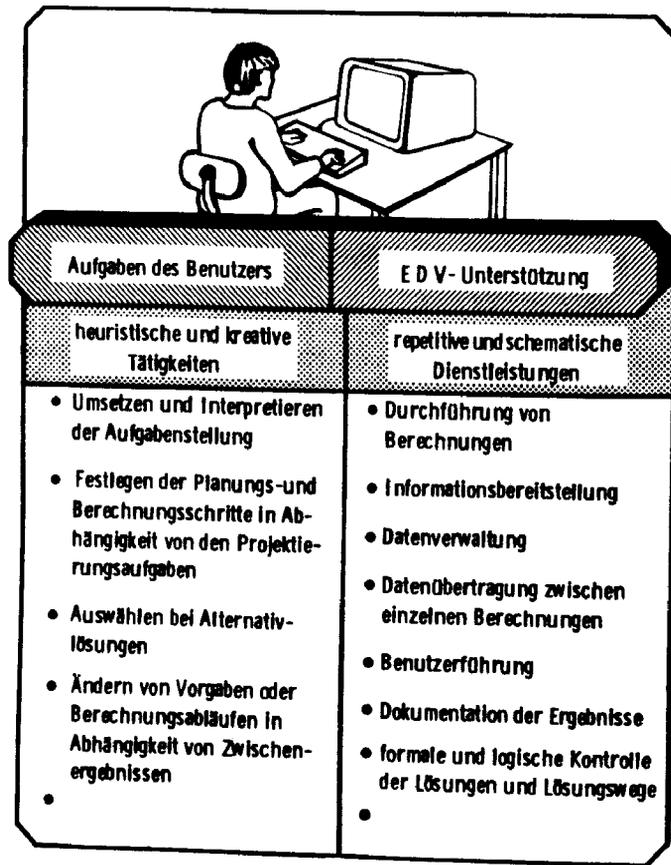


Bild 4-3: Aufgaben bei der Nutzung des Projektierungssystems

Für die Projektierung von Industrieanlagen wird empfohlen, rechnerunterstützte Planungssysteme so zu gestalten, daß sie hinsichtlich der Bearbeitungstiefe, des Bearbeitungsumfangs und der Reihenfolge bei der Bearbeitung von Teilaufgaben möglichst flexibel zu nutzen sind /45/. Dies läßt sich am besten erreichen, wenn nicht nur problembezogene Entscheidungen zu einzelnen Berechnungsaufgaben, sondern zusätzlich auch die Steuerung des Ablaufs interaktiv erfolgen (Bild 4-3).

Insgesamt ist es deshalb zweckmäßig, das Projektierungssystem interaktiv zu gestalten. Dabei müssen umfangreiche und komfortable System-

funktionen zur Verfügung stehen, die die Bearbeitung der Planungsaufgabe wirkungsvoll erleichtern und beschleunigen (Bild 4-3).

Ausgehend von dieser grundsätzlichen Festlegung werden im folgenden geeignete Systemarchitekturen diskutiert und das System-Grobkonzept entwickelt.

4.3 ERMITTLUNG EINER GEEIGNETEN SYSTEMARCHITEKTUR

Für die Gestaltung von aufgabenangepaßten Programmsystemen, auch Anwendersysteme genannt, bestehen drei prinzipielle Möglichkeiten /121/ (Bild 4-4).

- o Typ 1: Abgeschlossene Systeme
Diese sind für einen speziellen Einsatzfall entwickelt und optimal dafür gestaltet.
- o Typ 2: Anpaßbare Systeme
Derartige Systeme bestehen aus drei Komponenten: einer vollständigen, für alle Anwendungsfälle ausreichenden Programm-bausteinbibliothek, Regeln für die Kombination eines Anwendersystems aus den verfügbaren Bausteinen und evtl. zusätzlichen Hilfsmitteln für die mechanisierte Erstellung des Anwendersystems.
- o Typ 3: Erweiterbare Systeme
Deren Bestandteile sind Regelwerke sowie Hilfsfunktionen für den Aufbau und die Nutzung des Anwendersystems. Die zugehörige Programmbausteinbibliothek wird bei der Erstanwendung begründet und wächst im Laufe des weiteren Einsatzes.

Im Hinblick auf die hier vorliegende Aufgabenstellung lassen sich die kurz charakterisierten Systemtypen folgendermaßen bewerten.

- o Systeme des Typs 1 weisen keine ausreichende Flexibilität auf, um sie mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand auf unterschiedliche Aufgabenstellungen übertragen zu können. Dieser Nachteil erklärt sich aus einem wesentlichen Merkmal dieser Systeme, der optimalen Anpassung an einen bestimmten Anwendungsfall.

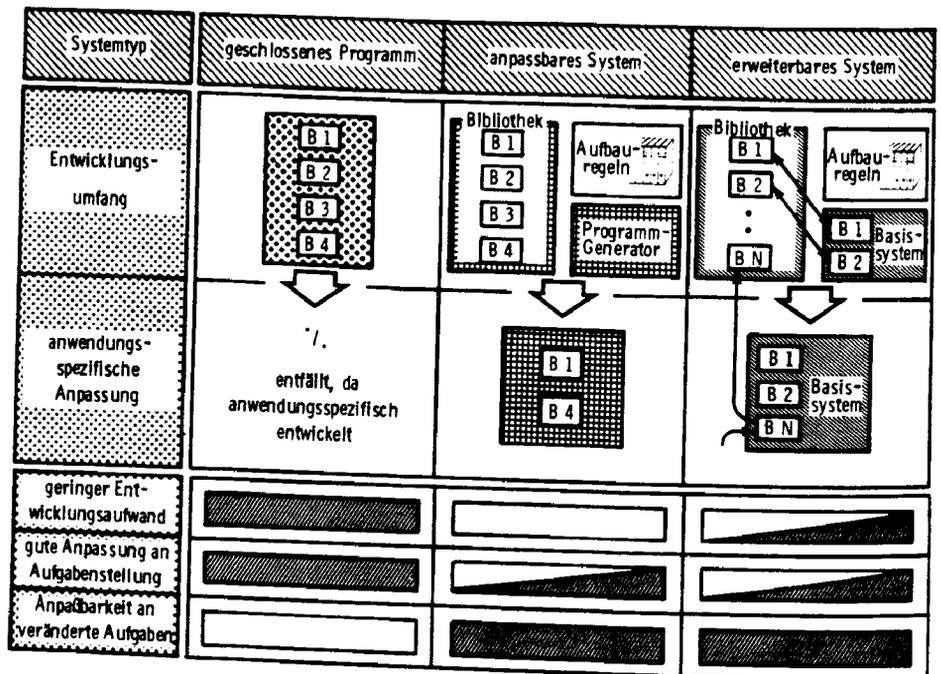


Bild 4-4: Typen von Anwendersystemen und deren Bewertung

- o Die Entwicklung eines Systems vom Typ 2 setzt voraus, daß alle notwendigen Programmbausteine von Anfang an feststehen. Um ein derartiges System aufzubauen, muß im allgemeinen eine Vielzahl unterschiedlicher Algorithmen erfaßt und in das System eingebracht werden. Bezogen auf die Projektierung von Industrieanlagen ist diese Bedingung nicht zu erfüllen. Ursachen hierfür sind einerseits die Vielzahl unterschiedlicher Anlagenarten, andererseits die noch wesentlich größere Zahl der zugehörigen, z.T. firmenspezifischen Auslegungsalgorithmen.
- o Wesentlich besser eignet sich demgegenüber ein System vom Typ 3 für die vorliegende Aufgabenstellung. Nachteil eines derartigen Systems ist zwar, daß der Anwender selbst noch spezifische Bestandteile entwickeln muß. Andererseits kann der Aufwand für den einzelnen Anwender erheblich reduziert werden, wenn ein weitgehend übertragbares Basissystem bereitsteht, das einen erheblichen Anteil der notwendigen Funktionen beinhaltet und außerdem mit geringen Änderungen anzupassen ist.

Charakteristische Beispiele für Systeme des Typs 3 sind Modularsysteme /122/ und Methodenbanken /123/. Beide sollen hinsichtlich ihrer spezifischen Nutzungs- und Erweiterungsmöglichkeiten untersucht werden, um daraus Erkenntnisse für die Gestaltung des Projektierungssystems abzuleiten.

4.3.1 AUFBAU MODULARER SYSTEME

Mit dem Begriff Modularprogramme werden Programmsysteme bezeichnet, die aufgrund spezieller Gestaltungsregeln mit relativ geringem Aufwand an verschiedene Anwendungen anzupassen sind /122/; dazu werden z.B. weitgehend vorgefertigte, anwendungsspezifische und anwendungsneutrale Funktionsmodule ausgewählt und kombiniert. Der Begriff Modul bezeichnet hier eine in sich abgeschlossene Funktionseinheit. Dieser können noch andere Module über- oder untergeordnet sein, die dann zusammen ein selbständig nutzbares Programm ergeben. Je nach Aufgabe werden diese Module unterschieden in

- Steuermodule, die z.B. auch die ablauforientierten Dialoge realisieren,
- Verarbeitungsmodule, die auch verarbeitungsorientierte Dialoge enthalten können, und
- Dienstmodule für Ein- und Ausgabe, Fehlerbehandlung oder Datenverwaltung.

Das prinzipielle Zusammenwirken dieser Module bei einem interaktiven System zeigt Bild 4-5. Die Module sind dabei durch Kontroll- und/oder Informationsflüsse verknüpft /124/. Kontrollflüsse treten häufig im Zusammenhang mit Informationsflüssen auf; ein einfaches Beispiel dafür ist ein Unterprogrammaufruf mit gleichzeitiger Parameterübergabe. Weitere Beispiele für die Verknüpfung von Programmeinheiten durch Kontroll- und Informationsflüsse sind in Bild 4-6 zusammengestellt. Es zeigt darüber hinaus, daß eine Verknüpfung auch alleine über Informationsflüsse erfolgen kann. Dies läßt sich jedoch nur durch globale Datenstrukturen erreichen. Vorteil eines solchen Systemaufbaus ist, daß die einzelnen, so verknüpften Programmeinheiten weitgehend unabhängig voneinander aktualisiert, ergänzt und verändert werden können. Mit der Abgrenzung der einzelnen Module müssen deshalb auch Planungen hinsichtlich der späteren Verknüpfungsmöglichkeiten, letztlich also der Schnittstellen, vorgenommen werden.

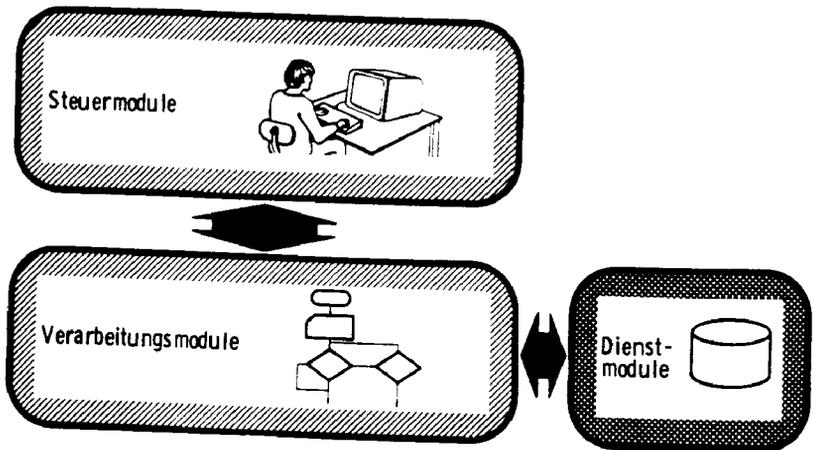


Bild 4-5: Prinzipieller Aufbau eines interaktiven Systems (nach /116/)

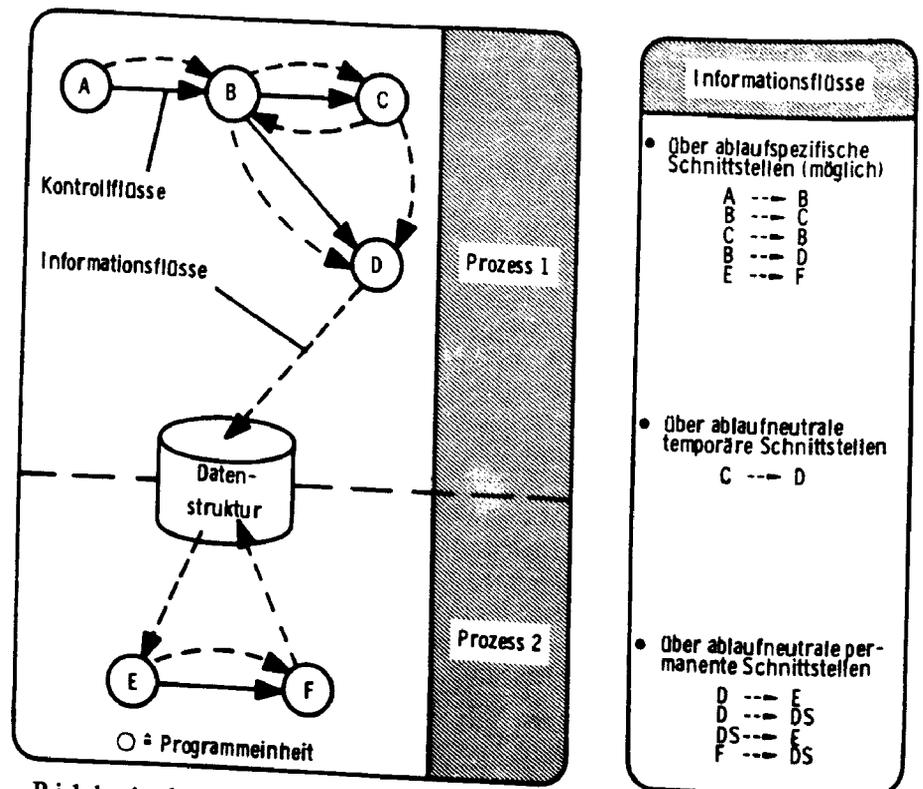


Bild 4-6: Kontroll- und Informationsflüsse (nach /124/)

Als Arbeitshypothese ist zunächst anzunehmen, daß ein entsprechend gestaltetes Modularsystem die Anforderungen hinsichtlich der Übertragbarkeit, der leichten Aktualisierbarkeit und Erweiterbarkeit erfüllen kann. Dafür sprechen andere Entwicklungen /125/ sowie die für die einzelnen Module bestehenden - hier kurz aufgezeigten - Abgrenzungs- und Verknüpfungsmöglichkeiten.

4.3.2 METHODENBANKSYSTEME

Methodenbanksysteme /123/ sind modulare Systeme einer speziellen Form und entsprechen in ihrem grundsätzlichen Aufbau dem eines modularen Dialogsystems (vgl. Bild 4-5). Sie beinhalten als Verarbeitungsmodule eine relativ leicht erweiterbare Sammlung von anwendungsorientierten Programmbausteinen. Die zugehörigen Datenverwaltungs- und Steuermodule erlauben es auch Benutzern ohne umfangreiche EDV-Kenntnisse, sich die jeweils benötigten Bausteine auszuwählen und damit Berechnungsaufgaben zu lösen.

Ein Methodenbanksystem besteht aus den anwendungsspezifischen Bausteinen, der sogenannten Methodenbasis, und dem Grundsystem (Bild 4-7). Ein wesentlicher Bestandteil des Grundsystems ist die Methodenverwaltung. Methodenbasis und Methodenverwaltung werden zusammen als Methodenbank bezeichnet. Im Gegensatz zu den anwendungsspezifischen Methoden lassen sich Verwaltungsfunktionen wie Aufbau einer Methodenbasis, Austauschen oder Ergänzen einzelner Methoden, Kontrolle der Querverweise und Abhängigkeiten zwischen einzelnen Methoden usw. anwendungsneutral realisieren. Für die Kopplung von Methoden zu komplexen Berechnungsgängen, sogenannten Prozeduren, muß dieser Systembestandteil auch die Schnittstellenbeschreibungen zu den einzelnen Methoden - z.B. Listen von Eingabe- und Ergebnisdaten - verwalten und kontrollieren.

Zu den Aufgaben der anwendungsneutralen Ablaufsteuerung gehört, die einzelnen Methoden entsprechend den Benutzereingaben bereit zu stellen und den Datentransfer zu bzw. von den Anwendungsbausteinen abzuwickeln. Auch besondere Verarbeitungsformen wie der Übergang vom Dialogbetrieb zur Stapelverarbeitung können dadurch unterstützt werden.

Das ebenfalls zum Grundsystem gehörende Auskunftssystem unterstützt den Benutzer bei der Systemanwendung. Notwendige Funktionen sind

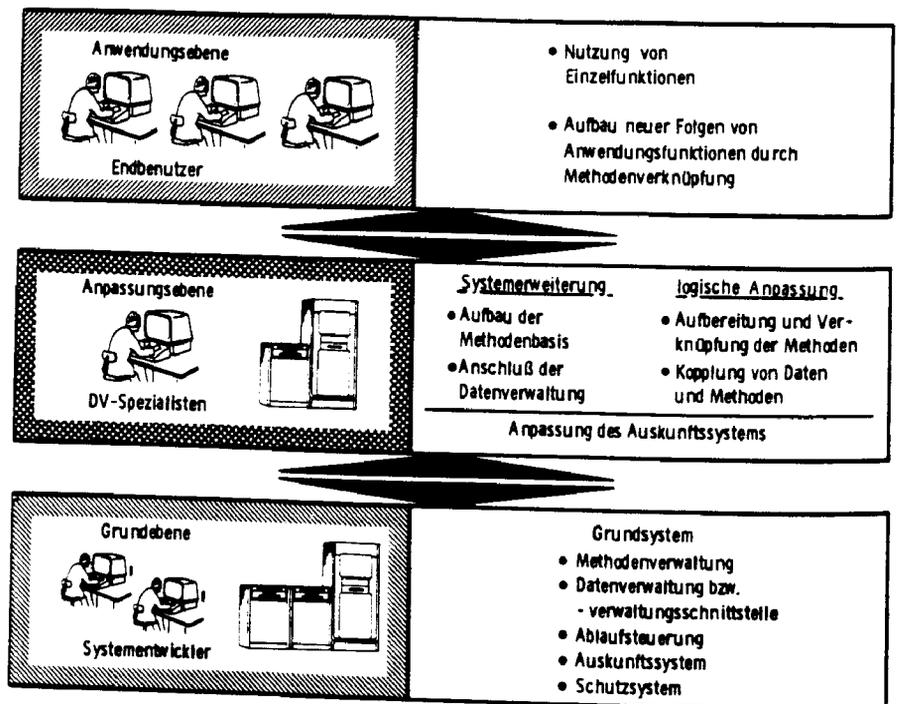


Bild 4-7: Logische Ebenen eines Methodenbanksystems

z.B.: Verwalten der Dialogtexte, Ausgabe von Benutzungshinweisen oder Beispielen, Führung bei der Methodenauswahl. Außerdem ist durch ein Schutzsystem sicherzustellen, daß keine unerlaubten Zugriffe auf gespeicherte Daten erfolgen können.

Um ein solches Grundsystem mit anwendungsspezifischen Komponenten zu erweitern, sind, abgesehen von der Auswahl zu berücksichtigender Methoden, umfangreiche EDV-Kenntnisse notwendig. Im allgemeinen wird deshalb ein EDV-Spezialist und nicht der Endbenutzer diese Anpassungen vornehmen. Die einzelnen Tätigkeitskomplexe dabei sind:

- Auswahl der einzelnen Methoden,
- formale und logische Vereinheitlichung existierender bzw. Entwicklung entsprechender neuer Programmbausteine,
- Verknüpfen der Methoden und der Datenverwaltung,
- Verknüpfen von Methoden zu Standardprozeduren,
- spezifische Ergänzung des Auskunftssystems hinsichtlich der verfügbaren Methoden, deren Anwendungsmöglichkeiten etc.

Dabei muß außerdem eine hinsichtlich der Terminologie und der Arbeitstechnik geeignete Schnittstelle zum Endbenutzer definiert werden. Im allgemeinen sind zwei Gruppen von Benutzern zu berücksichtigen, parametrische und modellierende. Der parametrische Benutzer verwendet im Prinzip nur die vorgefertigten Anwendungsfunktionen und läßt damit seine Eingabedaten verarbeiten. Modellierende Benutzer definieren neue Folgen (Sequenzen, Schleifen, Verzweigungen) aus bestehenden Methoden und Prozeduren, um damit erweiterte Berechnungsaufgaben zu lösen /123,125/.

Ob eine derartige Konzeption auch im Hinblick auf die bei der Projektierung ermittelten Planungsabläufe und -inhalte Vorteile bietet, wird im Rahmen des nun folgenden Systementwurfs bewertet.

4.4 SYSTEMKONZEPT

Bereits einleitend wurde als Zielsetzung definiert, daß ein anpaßbares, erweiterbares Projektierungssystem zu entwickeln ist. Durch eine geeignete Abgrenzung der einzelnen Systembausteine sowie ihrer Funktionsinhalte sollen

- eine gute Übertragbarkeit auf verschiedene Anwendungsbereiche und Projektierungsaufgaben,
- die schnelle Aktualisierbarkeit mit geringem Aufwand sowie
- Möglichkeiten zur Systemeinführung in einzelnen Stufen

erreicht werden.

Analysen von Projektierungsmethoden und detailliertere Betrachtungen der einzelnen Aufgabeninhalte haben gezeigt, daß die Planungsabläufe klar strukturiert sind. Es ergibt sich auch eine eindeutige Reihenfolge, in der die Planungsschritte durchlaufen werden müssen, um eine logisch korrekte Projektierung durchzuführen. Dabei erfolgt eine stufenweise Konkretisierung der Informationen zur Gesamtanlage und ihren Teilsystemen, gleichzeitig wächst das Volumen der beschreibenden Daten (vgl. Bild 3-24). Die Informationen sind dabei logisch miteinander verknüpft bzw. bauen zu einem erheblichen Teil aufeinander auf.

Den definierten Haupt-Planungsabschnitten entsprechend lassen sich auch die wesentlichen Bausteine des Projektierungssystems abgrenzen:

- Auslegung,
- teilsystembezogene Detailplanungen und
- Layoutplanung.

In Anlehnung an die bereits beschriebenen Modularsysteme sollen diese Bausteine im folgenden als Hauptmodule bezeichnet werden. Eine freie Kombinierbarkeit der einzelnen Hauptmodule ist nur von Bedeutung, wenn bei bestimmten Planungsaufgaben einzelne Zwischenschritte übersprungen werden sollen. Sinnvolle Kombinationen können nur sein:

- Auslegung und teilsystembezogene Detailplanungen,
- teilsystembezogene Detailplanungen und Layoutplanung,
- Auslegung und Layoutplanung.

Zusätzlich sollten sich die Hauptmodule einzeln nutzen lassen, um bestimmte Aufgaben wie teilsystembezogene Detailplanungen für ein bereits ausgelegtes, zu erneuerndes Anlagenteilsystem oder eine Layoutplanung z.B. für einen Umbau durchzuführen. Dagegen erscheint eine völlig freie Kombinierbarkeit der Hauptmodule bei der gegebenen Aufgabenstellung nicht vorteilhaft.

Für die Konzeption des Projektierungssystems bedeutet dies, daß zwischen den einzelnen Hauptmodulen permanente, ablaufneutrale Schnittstellen für die Datenübergabe einzurichten sind (vgl. Bild 4-6). Zusätzlich muß ein übergeordnetes Steuermodul sicherstellen, daß die Hauptmodule in der logisch korrekten Reihenfolge genutzt werden. Das Steuermodul muß dies kontrollieren und den Benutzer beim Systemein-
satz entsprechend führen. Die notwendigen Dialogausgaben sollten dabei über ein Dialogmodul abgewickelt werden, das sich dann auch leicht anwendungsspezifisch erweitern läßt. Damit ergibt sich das in Bild 4-8 dargestellte Grobkonzept.

Die Planungsabschnitte "Gestufte Verfahrensauswahl", "Stoff-/Energieflußberechnung" und "Layoutplanung" weisen ein hinsichtlich der Systemkonzeption relevantes, gemeinsames Merkmal auf: Anwendungsspezifisch sind jeweils nur die zu verarbeitenden Daten; die dazu notwendigen Algorithmen sind weitgehend anwendungsneutral. Dies gilt auch für die ausführlicher diskutierte Möglichkeit, detaillierte teilsystembezogene Daten zu ermitteln, für die Wiederholelementsuche. Bei derartigen Bedingungen hat sich ein dateiorientierter Aufbau der Systembestandteile bewährt /126/. Bei Erweiterungen oder Aktualisierungen

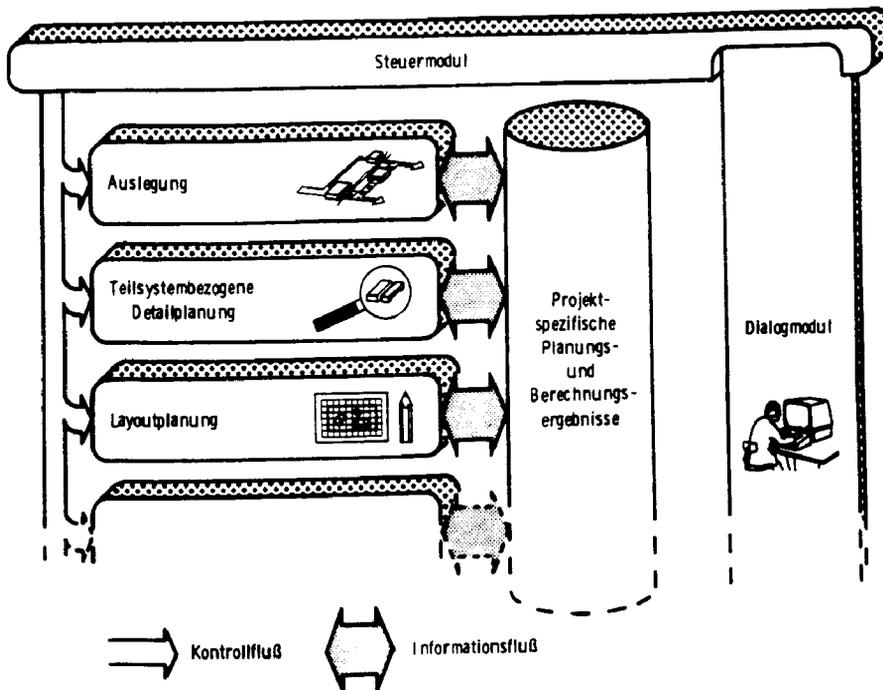


Bild 4-8: Hauptmodule des Projektierungssystems

muß nur der Datenbestand angepaßt werden, Änderungen der Programmabläufe sind im allgemeinen nicht notwendig. Bezogen auf das hier zu entwickelnde System bedeutet dies, daß die als anwendungsneutral erkannten Aufgaben und Algorithmen innerhalb der genannten Planungsabschnitte Bestandteile des Basissystems sein müssen (Bild 4-9). Für den jeweiligen Anwendungsfall sind dann die spezifischen Datenbestände zu ergänzen.

Bei den Berechnungen zur Abstimmung der Teilsysteme und bei den teilsystembezogenen Berechnungen läßt sich ein derartiger Aufbau nicht ohne weiteres realisieren. Die Analysen der Aufgabeninhalte haben gezeigt, daß dabei zwei, bis zu einem gewissen Grad völlig unabhängige Tätigkeitskomplexe bestehen:

- Durchführen der Berechnungen unter Anwendung der - zum Teil verhältnismäßig umfangreichen - spezifischen Algorithmen,

- Übertragen der Ergebnisse zwischen den einzelnen Berechnungen und Kontrolle der Berechnungsabläufe.

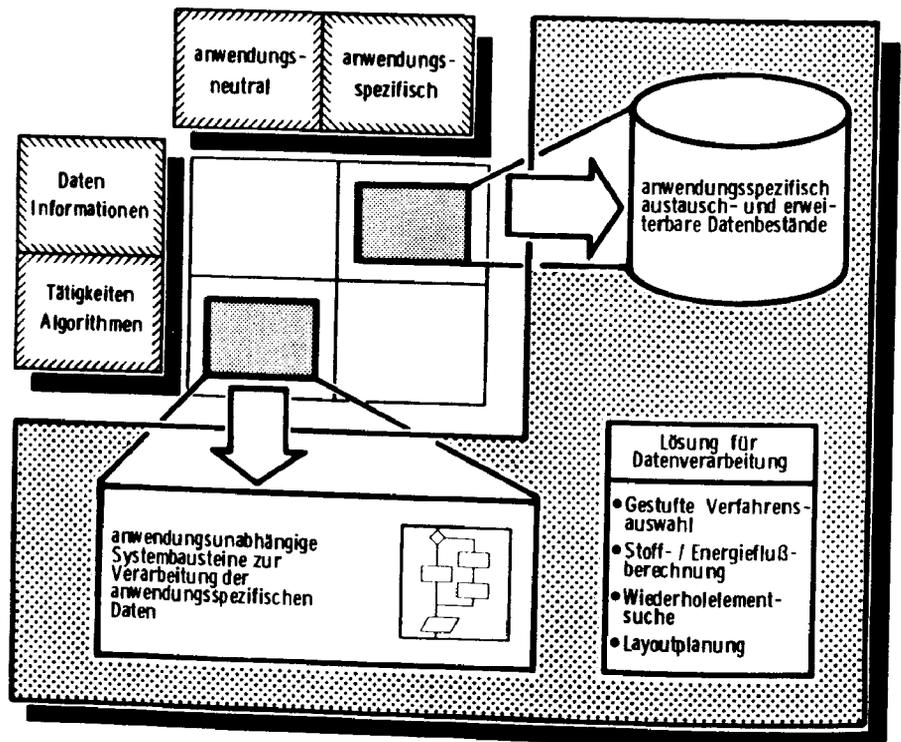


Bild 4-9: Dateiorientierter Aufbau

Für die Umsetzung von anwendungsspezifischen Berechnungsformeln und Entscheidungsabläufen in EDV-Programme befinden sich bereits Lösungen wie Entscheidungstabellentechniken, Formelinterpreter, höhere problemorientierte Programmiersprachen, Programmgeneratoren usw. in Arbeit /127-130/. Bei vielen dieser Lösungen werden die Eingaben zur Beschreibung der Algorithmen interpretativ abgearbeitet. Dem Vorteil, daß die anwendungsspezifischen Algorithmen einfach zu formulieren und zu ändern sind, steht häufig als Nachteil gegenüber, daß die Verarbeitung relativ langsam erfolgt. Für das hier angestrebte interaktive Programmsystem sind solche Lösungsansätze weniger geeignet.

Bei der vorliegenden Aufgabenstellung dürfen auch die schnelle Änderbarkeit und die leichte Umsetzbarkeit der Algorithmen in EDV-Programme als sekundär angesehen werden. Beim Einsatz des Projektie-

nungssystems stehen vielmehr die folgenden Anforderungen im Vordergrund:

- schnelles Berechnen einer Funktionsträgerstruktur bei verändertem Produktionsmengengerüst und
- schnelles Berechnen alternativer Funktionsträgerstrukturen.

Hier eignet sich deshalb ein Konzept, daß einer Methodenbank ähnelt. Der Methodenbasis entspricht in diesem Fall die Menge der anwendungsspezifischen Berechnungsbausteine (Bild 4-10).

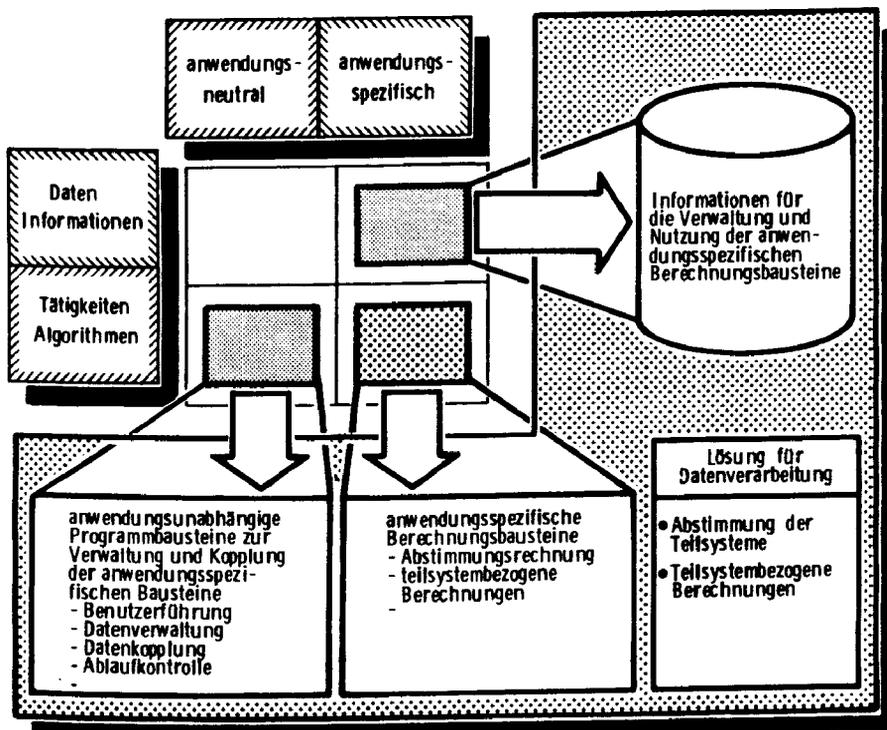


Bild 4-10: Systemkonzept für die Abstimmung und die teilsystembezogenen Berechnungen

Dabei hat jedoch die freie Kombinierbarkeit aller einzelnen Bausteine eine geringe Bedeutung. Wesentlicher für die hier betrachtete Anwendung ist, daß der Benutzer bei der Modellierung der aktuellen Berechnungsaufgabe möglichst weitgehend unterstützt wird. Dazu gehört auch,

daß der Ablauf der Abstimmung und der teilsystembezogenen Berechnungen auf logische Richtigkeit kontrolliert und der Benutzer auf zulässige Berechnungsmöglichkeiten hingewiesen wird. Neben den Berechnungsbausteinen müssen also zusätzliche Informationen zur Verfügung stehen, aus denen sich der jeweils gültige Berechnungsablauf ableiten läßt.

Voraussetzungen für die detailliertere Konzeption dieses Systembausteins sind eine entsprechende Systematisierung und Aufbereitung der einzelnen funktionsträgerbezogenen Berechnungen sowie die Erarbeitung der notwendigen Systemfunktionen zu deren Verwaltung und Handhabung. Dazu gehören z.B.:

- die Bereitstellung der für die aktuelle Funktionsträgerstruktur notwendigen und verfügbaren Berechnungsalgorithmen,
- die automatische Übertragung der Berechnungsergebnisse zwischen den einzelnen Algorithmen,
- eine logische Kontrolle des Berechnungsablaufes und
- die Führung des Benutzers.

Aufgrund der bisherigen Festlegungen bezüglich der Gesamtstruktur und des Aufbaus der einzelnen Komponenten ergibt sich das in Bild 4-11 dargestellte Systemkonzept.

Dieses Konzept bildet die Basis bei der weiteren Betrachtung hinsichtlich der Datenstrukturen, der Informationsflüsse und des jeweils notwendigen Funktionsumfangs der einzelnen Systemmodule.

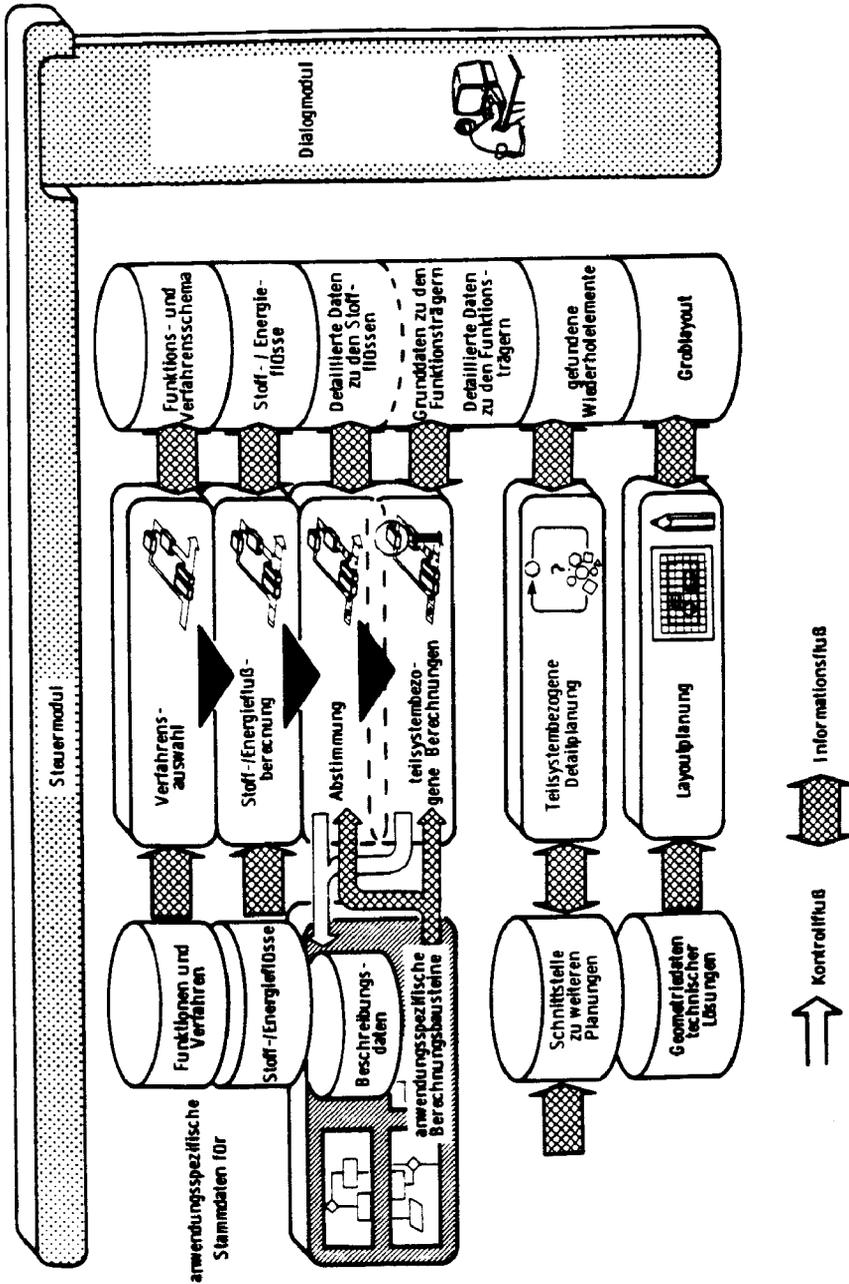


Bild 4-11: Gesamtkonzept für das Projektierungssystem

5. DETAILLIERUNG DES SYSTEMKONZEPTE

Das Gesamtkonzept (Bild 4-11) läßt drei wesentliche Bereiche erkennen, die im Hinblick auf die Detaillierung des Systemkonzeptes weiter zu betrachten sind:

- die anwendungsspezifischen Datenbestände und Berechnungsalgorithmen,
- die anwendungsneutralen Systemkomponenten zur Verarbeitung und Verwaltung der anwendungsspezifischen Informationen und
- die jeweils projektbezogenen Ergebnisdatenbestände.

Von besonderer Wichtigkeit ist dabei der erstgenannte Bereich. Von der Strukturierung und Zuordnung dieser Stammdaten und Algorithmen hängt ab, inwieweit und mit welchem Aufwand sich das Projektierungssystem anwendungsspezifisch aktualisieren und erweitern oder auf andere Planungsaufgaben übertragen läßt.

In engem Zusammenhang hiermit steht die Strukturierung und Verwaltung der projektbezogenen Ergebnisdaten, die - ebenso wie Stammdaten - Eingangsinformationen für anwendungsspezifische Berechnungsalgorithmen sind. Wegen der engen Verflechtung beider Bereiche soll zunächst ein dafür geeignetes Daten- und Berechnungsmodell entwickelt werden. Aufgrund dessen ergibt sich dann der erforderliche Leistungsumfang der anwendungsneutralen Systemkomponenten.

5.1 ANWENDUNGSSPEZIFISCHE DATEN- UND INFORMATIONSBESTÄNDE

Die für die Ableitung der Modul- und Datenstruktur wesentlichen Ergebnisse aus der Analyse des Hauptplanungsschrittes Auslegung seien hier noch einmal kurz zusammengefaßt.

- o Die für die gestufte Verfahrensauswahl benötigten Zuordnungen von Funktionen, Verfahren bzw. Funktionsträgern, Stoff- und Energieflüssen u. ä. sind anwendungsspezifische Stammdaten.
- o Bei der Stoff-/Energieflußberechnung werden ebenfalls anwendungsspezifische Stammdaten verarbeitet. Diese sind den Informationen für die gestufte Verfahrensauswahl untergeordnet, da

diese Berechnung erst erfolgen kann, wenn die Verfahrensfolge in der geplanten Anlage feststeht.

- o Die Algorithmen für die Abstimmung der Funktionsträger oder für zusätzliche Berechnungen lassen sich so abgrenzen, daß sie den einzelnen Funktionsträgern zuzuordnen sind.
- o Diese einzelnen Berechnungen dürfen nur in einer definierten Folge durchgeführt werden, wenn der logische Zusammenhang zwischen den Ergebnissen gesichert sein soll.
- o Die Eingangs- und Ausgangsschnittstellen für die Funktionsträger bzw. die Berechnungen sind die Stoff-/Energieflüsse bzw. deren Beschreibungsdaten.
- o Bei den funktionsträgerbezogenen Berechnungen werden Schnittstellendaten ermittelt und verändert (Abstimmung) oder als Basisdaten für detaillierende Auslegungen genutzt.
- o Neben den Schnittstellendaten werden Daten zur Beschreibung der Funktionsträger erzeugt und verarbeitet.

Damit ergibt sich für die Zuordnung der anwendungsspezifischen Informationen und Algorithmen die in Bild 5-1 dargestellte hierarchische Struktur. Der Gesamtfunktion bzw. Kennzeichnung der Anlagenart ordnen sich die einzelnen Teilfunktionen unter. Zu diesen Teilfunktionen gehören noch Zusatzinformationen, die Aussagen über die Kombinationsmöglichkeiten und die zugehörigen Stoff-/Energieflüsse enthalten. Jeder Teilfunktion sind wiederum die enthaltenen Teilfunktionen der nächst niedrigen Gliederungsebene sowie geeignete Funktionsträger zugeordnet. Zu den einzelnen Funktionsträgern gehören dann die Basisdaten für die Stoff-/Energieflußberechnung und die spezifischen Berechnungsalgorithmen.

Im Hinblick auf einen Anwendungsfall, d. h. die Betrachtung einer bestimmten Anlagenart und Komplexitätsebene ergeben sich dann folgende Möglichkeiten, diesen Informationsbestand zu erweitern oder zu aktualisieren:

- Austausch oder Ergänzung aller zu einer Teilfunktion gehörenden Informationen;
- Aufnahme von neuen Funktionsträgern mit allen notwendigen Zusatzinformationen;
- neue oder veränderte Berechnungsalgorithmen zu einem einzelnen Funktionsträger.

Für die Systemkonzeption folgt daraus, daß alle auf eine Komplexitätsebene bezogenen Informationen den entsprechenden Teilfunktionen untergeordnet werden können. Aufgrund der Verweise zwischen Teilfunktionen, die zu unterschiedlichen Komplexitätsebenen gehören, sind dann auch die zugehörigen Informationsbestände verknüpft (Bild 5-2). Trotz der relativ einfachen Struktur werden die Nutzungsmöglichkeiten für das Projektierungssystem also nicht auf einzelne Komplexitätsebenen eingeschränkt.

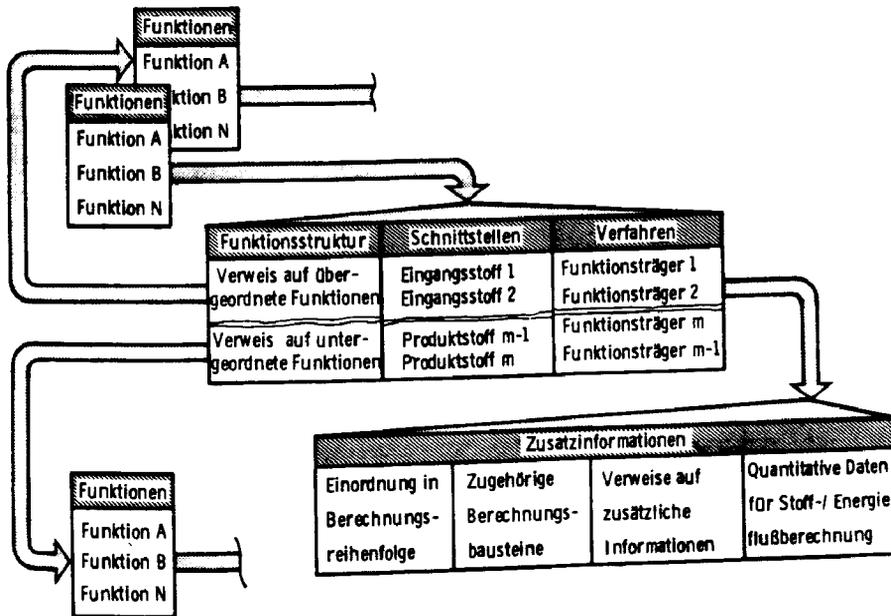


Bild 5-2: Strukturierung der anwendungsspezifischen Stammdaten für das Projektierungssystem

Die definierten Stammdaten enthalten alle für die gestufte Verfahrensauswahl und die Stoff-/Energieflußberechnung benötigten Informationen. Die Algorithmen für die Abstimmung der Teilsysteme und für die teilsystembezogenen Berechnungen können aus bereits erörterten Gründen (Umfang, Verarbeitungsmöglichkeiten) nicht in diesem Datenbestand enthalten sein. Es besteht nur die Möglichkeit, Informationen über verfügbare Berechnungsalgorithmen und deren Nutzung aufzunehmen. Welche Informationen dazu benötigt werden, läßt sich erst festlegen, wenn für diese Komponenten des Projektierungssystems ein detaillierteres Konzept existiert.

Grundsätzlich ist bereits festgelegt, daß sich der Aufbau von Abstimmung und teilsystembezogenen Berechnungen am Methodenbankkonzept orientieren kann. Dazu werden die Berechnungsalgorithmen so abgegrenzt und in Berechnungsprogramme umgesetzt, daß sie jeweils einer Berechnungsaufgabe für einen Funktionsträger entsprechen (Bild 5-3). Hierdurch ergibt sich eine Vielzahl einzelner, unverbundener Berechnungsbausteine.

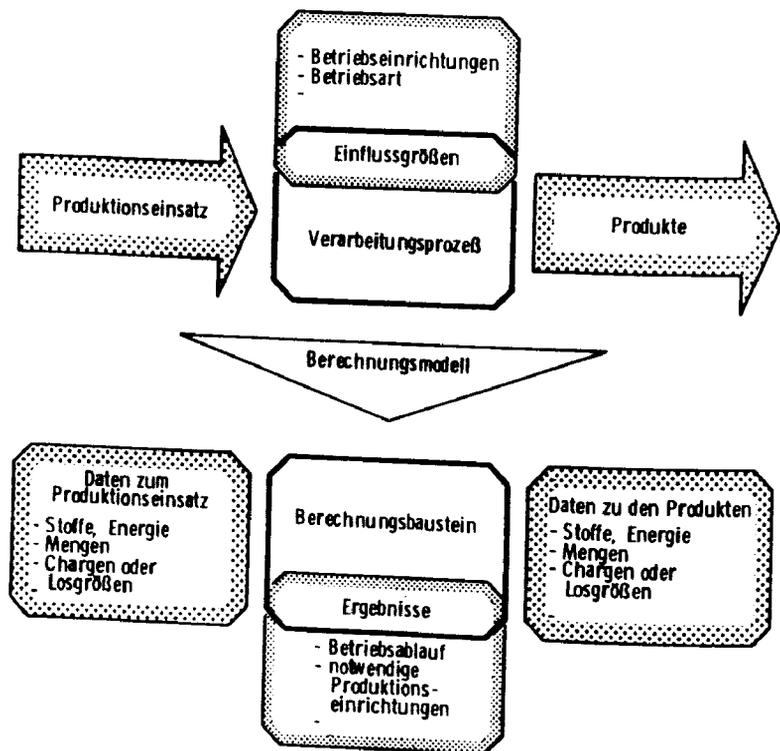


Bild 5-3: Abgrenzung der anwendungsspezifischen Berechnungsbausteine

Diese Abgrenzung führt zu einer hohen Flexibilität hinsichtlich der berechenbaren Funktionsträgerstrukturen. Die Bausteine lassen sich dann sowohl separat für die Auslegung einzelner Teilsysteme als auch kombiniert für die Auslegung kompletter Anlagen mit allen Teilsystemen nutzen. Auch der Aufwand für die Auslegungsrechnungen und der Detaillierungsgrad der Ergebnisse sind dann sehr einfach zu beeinflussen, indem bei einer aktuellen Projektierungsaufgabe nur eine Auswahl

der zur Verfügung stehenden Berechnungsbausteine genutzt wird. Voraussetzung für die effiziente Nutzung eines solchen Systems ist jedoch, daß die einzelnen Berechnungsbausteine durch geeignete Datenstrukturen und Ablaufsteuerungen zu verknüpfen sind. Dabei sollen ein hoher Komfort und eine ausreichende Benutzerführung geboten werden. Diese Aufgaben müssen durch anwendungsneutrale Systemkomponenten abgewickelt werden, die den Benutzer von solchen Datenverwaltungsaufgaben freihalten und ihn möglichst noch bei der korrekten Durchführung der Auslegungsrechnung unterstützen. Darüber hinaus muß die Datenstruktur auch Schnittstellen beinhalten, über die Daten an andere Planungsmodule übergeben werden können.

Analog der Analyse der Projektierungsabläufe und der Arbeitsinhalte werden auch im folgenden die Datenstruktur und die Ablaufsteuerung am Beispiel einer stoffumsetzenden Anlage diskutiert; weitere Anwendungsmöglichkeiten werden in einem späteren Kapitel betrachtet.

5.2 STRUKTURIERUNG DER PROJEKTSPEZIFISCHEN ERGEBNISDATEN

Aufgrund der Unterscheidung der Datengruppen in

- Schnittstellendaten, die im hier betrachteten Anwendungsfall die Stoff/Energieflüsse zwischen den Anlagenteilsystemen beschreiben, und
- teilsystem- bzw. funktionsträgerspezifische Daten, die als Zwischen- oder Endergebnisse von Berechnungen entstehen,

läßt sich eine aufgabenangepaßte logische Datenstruktur definieren (Bild 5-4). Für jeden Stofffluß wird bei der Abstimmung der Teilsysteme ein eigener Beschreibungsdatensatz eingerichtet - hier Kopplungsdaten genannt. Diese Datensätze koppeln die Berechnungen zu jeweils zwei Funktionsträgern. Alle Daten, die einen Fluß beschreiben, gehören zu den Kopplungsdatensätzen und können damit zwischen den Berechnungsbausteinen für die beiden Funktionsträger ausgetauscht werden. Außerdem ist allen Berechnungsbausteinen zu einem Funktionsträger ein gemeinsamer Ergebnisbereich zugeordnet, in dem die berechneten, charakterisierenden Daten abgelegt werden.

Die logische Unterscheidung der Datenbestände einerseits in Kopplungsdaten und andererseits in Ergebnisbereiche für die elementbeschrei-

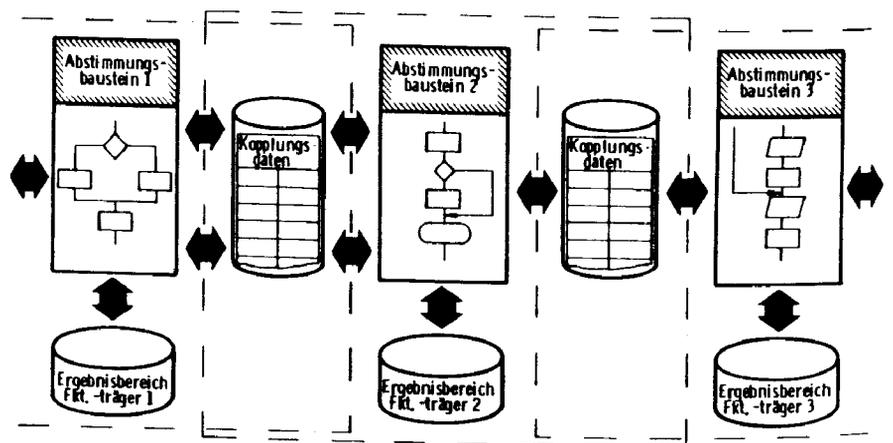


Bild 5-4: Datenstruktur für die Verknüpfung der Berechnungsbausteine

benden Daten liefert bereits wesentliche Kriterien für die Gestaltung der Schnittstellen zwischen den einzelnen anwendungsspezifischen und -neutralen Komponenten des Programmsystems /131/. Dabei ist zu beachten, daß ein Ausbau des Systems um weitere Berechnungsbausteine gegebenenfalls auch die Erweiterung der Kopplungsdatensätze erforderlich macht. Dies gilt besonders bei der Ausdehnung des Projektierungssystems auf untergeordnete Komplexitätsebenen, wenn die einzelnen Elemente nicht mehr ausschließlich durch Stoffflüsse verknüpft sind. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß diese Kopplungsdaten wie auch die Ergebnisse von unterschiedlichem Typ sein können, d. h.:

- Zahlenwerte oder
- textliche Beschreibungen.

Dabei sind noch

- Einzelwerte,
- Listen und
- Tabellen mit mehreren Ordnungskriterien

zu unterscheiden (Bild 5-5). Eine Tabelle mit einem Ordnungskriterium ist z.B. die Aufteilung einer Produktionsmenge nach verschiedenen Werkstoffen.

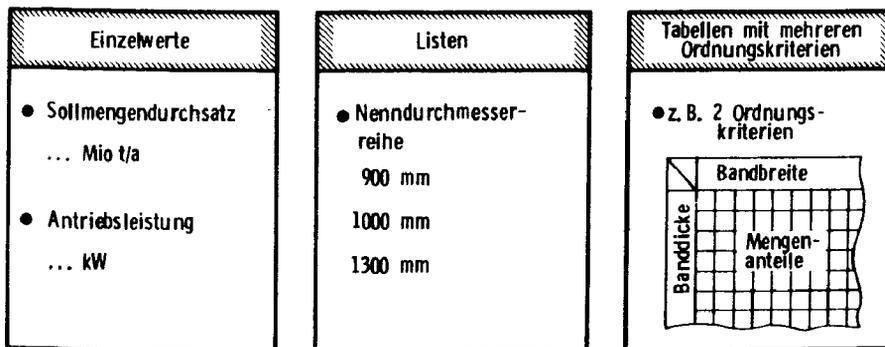


Bild 5-5: Beispiele für die zu berücksichtigenden Datentypen

Die Anzahl der Ordnungskriterien kann für die Systementwicklung auf maximal drei begrenzt werden, da umfangreichere Zuordnungen im allgemeinen nicht mehr zu überblicken sind und deshalb auch bei der konventionellen Projektierung kaum angewendet werden. Um komplexere Abhängigkeiten und Zuordnungen darzustellen, lassen sich auch mehrere Tabellen logisch verbinden.

Die Verarbeitung dieser Daten ist eindeutig als Aufgabe der anwendungsspezifischen Berechnungsbausteine einzustufen. Aufgabe des anwendungsneutralen Basissystems muß demgegenüber sein, diese Daten zu verwalten, zu speichern und zwischen den einzelnen Bausteinen zu transferieren.

Deshalb sind noch eine Systematik für Aufbau und Gestaltung der anwendungsspezifischen Berechnungsbausteine sowie möglichst komfortable Schnittstellen für deren Einbindung in das Gesamtsystem zu definieren. Erst dann ist es möglich, daß die Systemanwender wie bei Datenbanksystemen /132/ ohne Kenntnis der internen Datenverwaltung selbst aufgabenspezifische Bausteine ergänzen können. Damit sind dann auch für diese Komponenten des Projektierungssystems die Anforderungen hinsichtlich der einfachen Erweiterbarkeit und Übertragbarkeit auf andere Anwendungen zu erfüllen. Die Anpassung vorhandener wie auch die Entwicklung neuer Bausteine läßt sich entscheidend vereinfachen, wenn dies weitgehend unabhängig vom Gesamtsystem erfolgen kann. Grundsätzlich ermöglicht die hier vorgenommene logische Abgrenzung der einzelnen Berechnungen und der zugehörigen Datengruppen diese Vorgehensweise. Dabei ist außerdem zu berücksichtigen, daß die logische Trennung der Schnittstellen- und der Ergebnisdaten bezo-

gen auf den einzelnen Berechnungsbaustein keine Bedeutung hat. Die unterschiedlichen Datengruppen können deshalb im Ergebnisbereich zusammengefaßt werden. Das anwendungsneutrale Basissystem muß dann jedoch sicherstellen, daß die Kopplungsdaten - aufgrund zusätzlicher Informationen - aus diesem Ergebnisbereich selektiert und an andere Berechnungsbausteine übergeben werden. Bild 5-6 verdeutlicht, wie der einzelne, in sich abgeschlossene Berechnungsbaustein dazu durch Transferprozeduren und Beschreibungsdaten mit dem Gesamtsystem verknüpft ist.

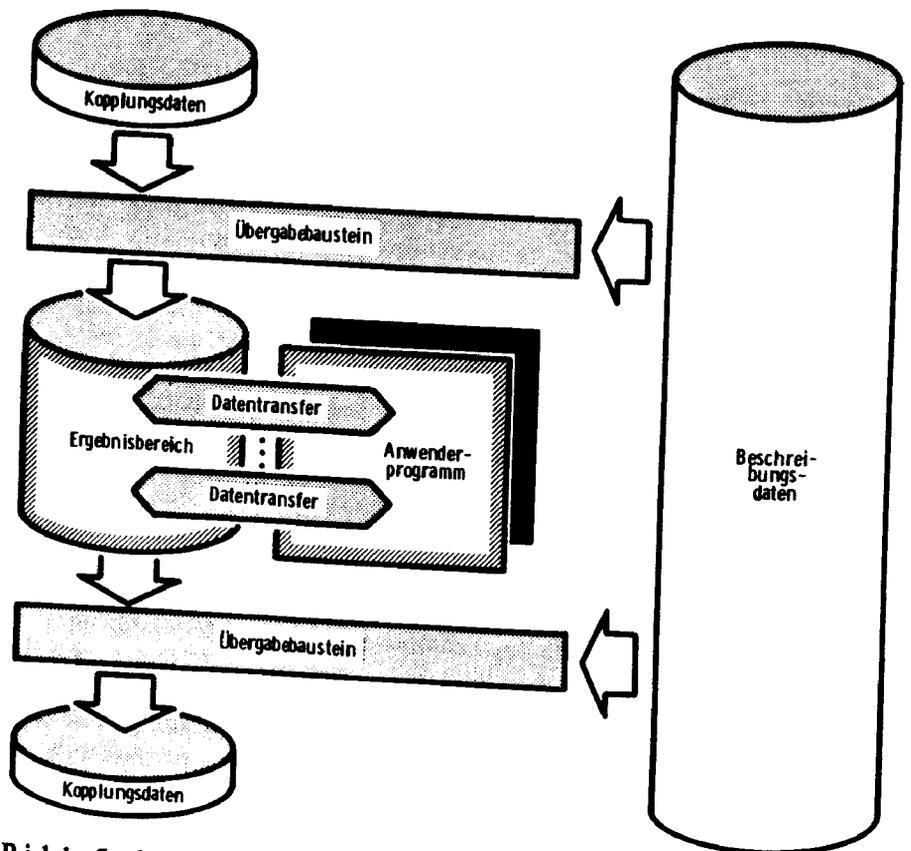


Bild 5-6: Einbindung der anwendungsspezifischen Berechnungsbausteine

Innerhalb der Berechnungsbausteine sind spezielle Prozeduren einzubinden, die den Datentransfer zwischen Baustein und Ergebnisbereich übernehmen. Entsprechend den unterschiedlichen Datenarten - Einzel-

werte, Listen, Tabellen - lassen sich auch jeweils unterschiedliche Prozeduren definieren. Diese Transferprozeduren stellen die jeweils im Berechnungsbaustein benötigten Daten bereit bzw. speichern die Ergebnisse und Zwischenergebnisse ab. Als Identifizierung läßt sich dabei die Benennung der Daten nutzen, z.B. "Stoffart", "Stoffmenge", "Anzahl Gießstränge", "elektrische Anschlußleistung" etc.. Um Daten mit gleicher Benennung auch dann noch eindeutig zuordnen zu können, wenn Gesamtanlagen projektiert werden, sind systemintern weitere identifizierende Merkmale mitzuführen. Diese brauchen jedoch weder bei der Erstellung der Berechnungsbausteine noch bei der Systemnutzung zu erscheinen.

Bei der Einbindung des anwendungsspezifischen Bausteins in das Gesamtsystem sind deshalb nur noch die bereits erwähnten Stammdatensätze zu ergänzen. Deren Informationsinhalte dienen der Steuerung der Datenübergabe zwischen den Berechnungsbausteinen und der Benutzerführung. Dazu ist einzutragen, wie sich der Berechnungsbaustein unter die bereits vorhandenen einordnet, z.B. zu welchem Funktionsträger er gehört. Des weiteren muß festgelegt werden, welche Daten des Ergebnisbereiches zu den Kopplungsdaten gehören. Aufgrund dieser Informationen können dann bei der Systemnutzung die Daten zwischen den einzelnen Berechnungsbausteinen ohne Benutzereingriff übergeben werden.

Die zugehörige Beschreibungssystematik wird bei der folgenden Ermittlung geeigneter Steuerungs- und Kontrollmechanismen deutlich.

5.3 ENTWICKLUNG DER STEUERUNGS- UND KONTROLLMECHANISMEN

Die bisherigen Erläuterungen der Systemkonzeption treffen bei anwendungsspezifischen Berechnungsbausteinen für die Abstimmung der Teilanlagen und bei denen für teilsystembezogene Berechnungen gleichermaßen zu. Um wirkungsvolle Mechanismen zu entwickeln, die die Kontrolle des Berechnungsablaufes auf logische Richtigkeit ermöglichen, sind jedoch Unterscheidungen notwendig.

In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, daß bei dem hier entwickelten Systemkonzept die bei geschlossenen Programmsystemen angewendeten Steuerungs- und Kontrollmöglichkeiten kaum geeignet sind. Die

Austauschbarkeit einzelner Bausteine ist nur dann zu gewährleisten, wenn diese nicht durch feste oder zwangsläufige Aufruffolgen verknüpft sind. Z.B. dürfen im Fehlerfall oder zu Kontrollzwecken keine Sprünge zu Bausteinen erfolgen, die anderen Funktionsträgern oder anderen teilsystembezogenen Berechnungen zugeordnet sind.

Bei dem hier entwickelten System bestehen die Kontrollmöglichkeiten überwiegend in der Überwachung der Aufruffreihenfolge der Berechnungsbausteine und der Datenflüsse, d.h., die Kontrolle muß unabhängig von den einzelnen Auslegungsalgorithmen durch die anwendungsneutralen Systembestandteile erfolgen.

Die Abstimmungsbausteine bilden das Betriebsverhalten der einzelnen Anlagenteilsysteme ab. Dabei müssen Kopplungsdaten - bei der hier als Beispiel betrachteten Anwendung im allgemeinen Daten zu den Stoffflüssen - verarbeitet und auch neu berechnet werden dürfen. Diese Daten betreffen sowohl die eingehenden wie auch die abfließenden Stoffe. Erfolgt bei der Programmnutzung ein Rücksprung zu einem vorher benutzten Baustein, müssen alle darauf aufbauenden Berechnungsergebnisse kontrolliert werden.

Eine logisch korrekte Abstimmung ist also unter folgenden Bedingungen zu erreichen:

- o Die Aufruffreihenfolge der Abstimmungsbausteine für die Funktionsträger muß insgesamt, d.h. auch nach Rücksprüngen, der logisch korrekten Berechnungsreihenfolge entsprechen.
- o Durch einen Berechnungsbaustein dürfen keine Kopplungsdaten verändert werden, die bei der Abstimmungsrechnung zu einem anderen Funktionsträger ermittelt worden sind. Eine Veränderung derartiger Daten ist nur durch einen Rücksprung zu dem betreffenden Abstimmungsbaustein und eine erneute Berechnung zulässig.
- o Es darf pro Funktionsträger nur ein Abstimmungsbaustein existieren.

Die letztgenannte Forderung bedeutet nicht, daß sich nicht verschiedenartige oder unterschiedlich detaillierte Abstimmungsalgorithmen für einen Funktionsträger berücksichtigen lassen. Diese müssen dann lediglich in einem Abstimmungsbaustein zusammengefaßt werden. Um eine hohe Sicherheit bei der Anwendung zu erzielen, sollten dann die verschiedenen Algorithmen zu demselben Ergebnisdatensatz führen bzw.

sollten nicht berechnete Daten als solche gekennzeichnet werden. Ob die erstgenannte Forderung erfüllt ist, läßt sich mittels eines Protokolls über die Nutzungsreihenfolge der Berechnungsbausteine prüfen; **Bild 5-7** zeigt dazu eine Prinzipdarstellung.

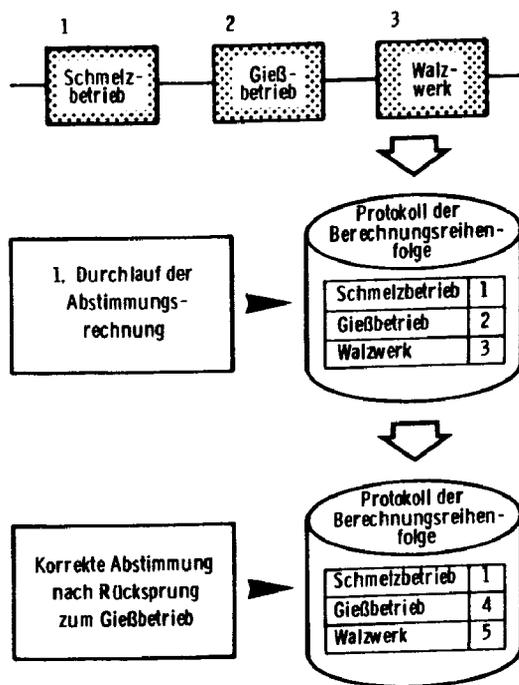


Bild 5-7: Kontrolle der Aufruffolge (Prinzipdarstellung)

Den Abstimmungsrechnungen sind die anwendungsspezifischen Bausteine für teilsystembezogene Berechnungen zu den einzelnen Funktionsträgern untergeordnet. Dafür müssen folgende Bedingungen gelten:

- o Die Berechnungsbausteine dürfen erst aufgerufen werden, wenn die übergeordnete Abstimmungsrechnung abgeschlossen ist. Es soll dabei dem Benutzer überlassen bleiben, ob er zunächst die Abstimmung für alle Funktionsträger der Anlage durchführt oder ob er schon einzelne Berechnungen aufruft, wenn nur die jeweils übergeordneten Abstimmungsbausteine durchlaufen sind.
- o Bei den teilsystembezogenen Berechnungen können die Ergebnisse der Abstimmungsrechnung, d.h. Kopplungsdaten und

funktionsträgerspezifische Ergebnisse, und die Ergebnisdaten anderer teilsystembezogener Berechnungen einfließen. Es dürfen jedoch keine der zuvor berechneten Daten, insbesondere keine Kopplungsdaten, verändert oder ergänzt werden. D.h., Veränderungen von Berechnungsergebnissen sind - wie bei der Abstimmung - nur mittels der Berechnungsbausteine zulässig, die diese Daten als Ergebnisse liefern.

- o Die einzelnen Berechnungsbausteine dürfen nur in der Reihenfolge benutzt werden, die sich aufgrund der logischen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Ergebnissen ergibt.

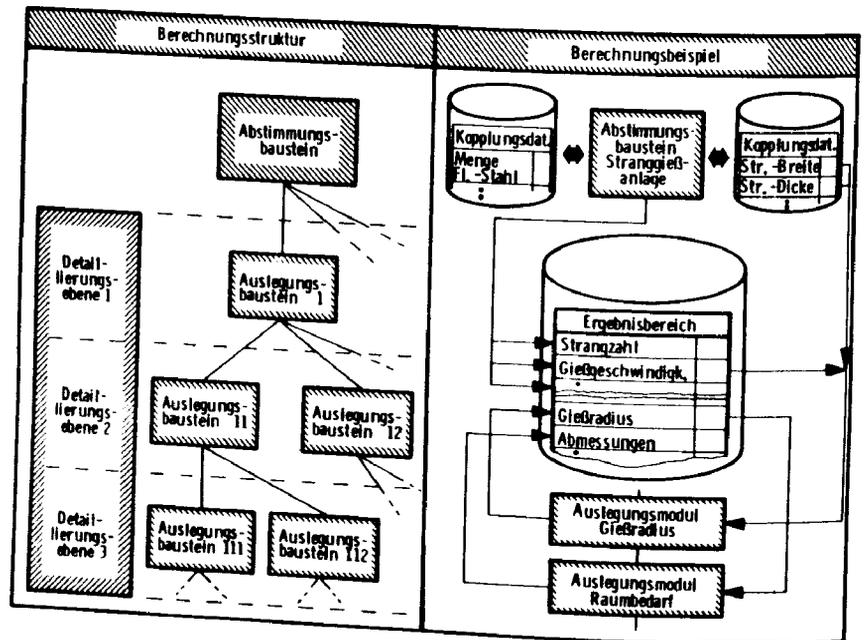


Bild 5-8: Einbindung der Bausteine für teilsystembezogene Berechnungen

Um die Abhängigkeiten der Berechnungsbausteine untereinander und deren Zuordnung zu den Abstimmungsbausteinen systemintern zu dokumentieren, wird diese Hierarchie in einer Beschreibungsdatei abgebildet (Bild 5-8).

Ähnlich wie die Abstimmungsbausteine lassen sich dann auch die teilsystembezogenen Berechnungen nur in einer vorgegebenen Reihenfolge nutzen, zumindest, solange nicht mehrere gleichrangige Bausteine existieren.

stieren. Wie bei der Abstimmung muß das System den Ablauf der Berechnungen protokollieren, um nach iterativen Durchläufen sicherzustellen, daß alle darauf aufbauenden Berechnungen erneut durchlaufen werden und somit der logische Zusammenhang aller Berechnungsergebnisse gewahrt bleibt. Diese Maßnahme ist notwendig, da der Benutzer bei der Vielzahl der im Projektierungsablauf erstellten Daten kaum die Übersicht über den Stand der Bearbeitung und die jeweils zugrundegelegten Daten behalten kann. Gerade dem ungeübten Benutzer können dann leicht Fehler unterlaufen, die dazu führen, daß die einzelnen Berechnungsergebnisse auf unterschiedlichen Basisdaten aufbauen.

Für die Programmnutzung kann zusätzlich vorgesehen werden, daß diese Zwangsführung auch zu unterdrücken ist. Dadurch besteht die Möglichkeit, die Berechnungsbausteine unabhängig von vorgelagerten Berechnungen für einzelne Aufgaben zu nutzen.

Im Zusammenhang mit der Kontrolle der Berechnungsabläufe sind auch die sogenannten Auswertebausteine zu diskutieren, mit deren Hilfe sich einzelne Berechnungsergebnisse zu Kenndaten für die Gesamtanlage zusammenfassen lassen, z.B. der Kühlwasserbedarf für die Gesamtanlage (Bild 5-9). Dazu müssen die entsprechenden Berechnungen zu den einzelnen Funktionsträgern bereits abgeschlossen sein.

Diese Auswertebausteine sind nicht an einzelne Funktionsträger gebunden, die Ergebnisse lassen sich ebenfalls nicht einzelnen Funktionsträgern, sondern nur der Gesamtanlage zuordnen /131/. Beim Aufruf, der nur aus einer übergeordneten Steuerebene erfolgen kann, müssen die gewünschten Daten bestimmt und der Auswertealgorithmus - Summe, Mittelwert, Maximum, Minimalwert etc. - ausgewählt werden. Zugriffskriterium kann auch hier die Benennung des gewünschten Datums sein.

Die berechneten Kenndaten müssen einem gesonderten Ergebnisbereich zugeordnet werden, der für alle zu einer Funktionsträgerstruktur aufgerufenen Auswertebausteine zur Verfügung steht. Als Kennung dieses Ergebnisbereiches kann die des übergeordneten Teilsystems dienen. Die Summe des Kühlwasserbedarfs für den Schmelz- und den Gießbetrieb wäre z.B. dem Ergebnisbereich Stahlwerk zuzuordnen. Verwechslungen mit Berechnungsergebnissen zu übergeordneten Teilsystemen lassen sich dadurch vermeiden, daß für die Ergebnisse von Auswertungen spezielle Benennungen vereinbart werden, etwa "Summe der ...". Bei der Auslegung der übergeordneten Teilsysteme wie auch bei auf die jeweilige

Komplexitätsebene bezogenen Auswertungen sind solche Ergebnisse jedoch uneingeschränkt verwendbar. Dies ermöglicht also auch eine Datenübertragung zwischen unterschiedlichen Komplexitätsebenen. Abgesehen von der Weiterverarbeitung auf übergeordneten Detaillierungsebenen werden die Ergebnisse der Auswertungen nur bei der abschließenden Dokumentation verwendet.

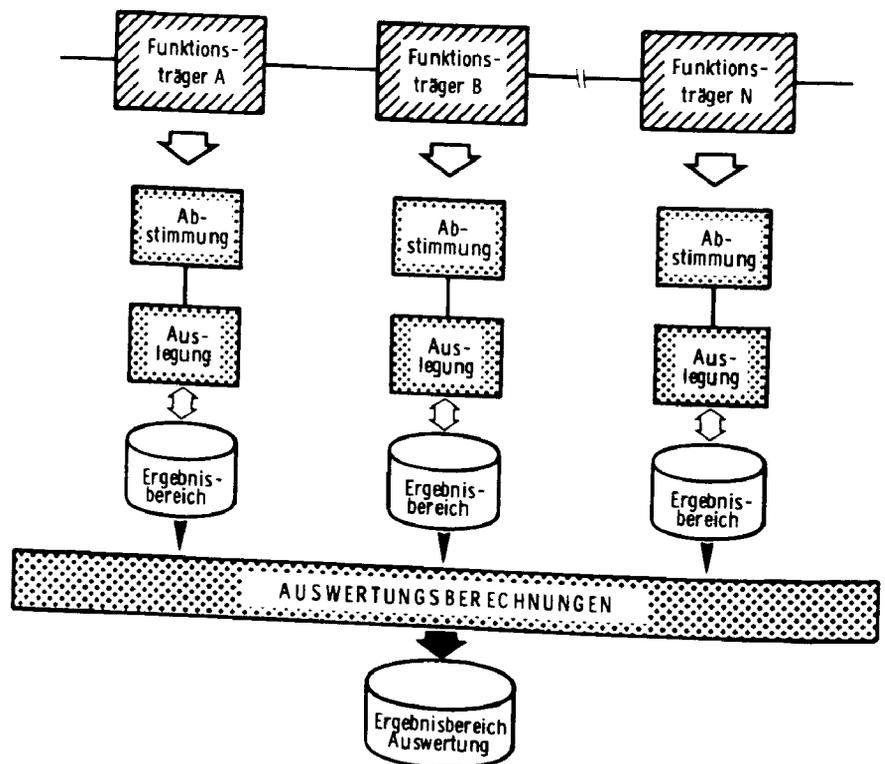


Bild 5-9; Einordnung der Auswerteprogramme

In gleicher Weise lassen sich auch Datensätze zusammenstellen, die als Eingangsinformationen für weitere Planungen dienen, z.B. für teilsystembezogene Detailplanungen.

Die erarbeitete Systematik ist von zentraler Bedeutung für die Datenverwaltung und Ablaufsteuerung bei der Anlagenauslegung. Vor der detaillierteren Beschreibung der Arbeitsweise dieser Systemkomponenten soll noch eine spezielle Aufgabenstellung, die Berechnung verzweigter Stoff-/Energieflüsse, betrachtet werden.

5.4 BERECHNUNG VERZWEIGTER STOFF-/ENERGIEFLÜSSE

Anlagenstrukturen, speziell bei Mehr-Produkt-Betrieben, sind durch eine starke Vernetzung der Teilsysteme gekennzeichnet. Die Aufgabe besteht nun darin, eine allgemeingültige Vorgehensweise zu entwickeln, mit der sich die Zusammenhänge zwischen den Leistungsanforderungen an die Gesamtanlage und an die enthaltenen Teilsysteme beschreiben lassen. Das bedeutet z.B., ausgehend von einem gegebenen Produktionsmengengerüst alle wesentlichen Stoff- oder Energieflüsse im Inneren der Anlage zu bestimmen. Dazu gehören Zwischenprodukte, Nebenprodukte und wiedereinsatzbare Stoffe, Energierückgewinnung sowie die von außerhalb der Anlage zuzuführenden Rohstoffe.

Bei der Ermittlung eines geeigneten Lösungsverfahrens sind insbesondere die bei Verzweigungen und Zusammenführungen der Stoff-/Energieflüsse notwendigen Berechnungsaufgaben zu berücksichtigen. Derartige Aufgabenstellungen treten nicht nur bei komplexen verfahrenstechnischen Anlagen auf. Auch das in Bild 3-6 dargestellte Schema für ein Stahlwerk enthält derartige Strukturen, die in Bild 5-10 gesondert herausgestellt sind und am Beispiel stoffumsetzender Anlagen erläutert werden sollen.

Neben dem linearen Fluß ist zunächst die Zusammenführung zu nennen. Hierbei können zwei unterschiedliche Situationen auftreten.

- o Ein bestimmtes Teilsystem verarbeitet unterschiedliche Einsatzstoffe, die sich gegenseitig substituieren können. Dabei sind dann die unter technischen oder Kosten-Aspekten günstigsten Mengenanteile zu ermitteln.
- o Zwei Teilsysteme produzieren denselben Stoff in unterschiedlichen Mengen. Die Gesamtmenge wird nur in einem nachfolgenden Teilsystem weiterverarbeitet. Aufgabe hierbei ist, die einzelnen Produktionsmengen so festzulegen, daß sich eine möglichst gute Auslastung nicht nur für die direkt beteiligten, sondern für alle zur Gesamtanlage gehörenden Teilsysteme ergibt.

Ebenso kommt es vor, daß ein Produkt eines Teilsystems in mehreren anderen verbraucht wird, also eine Aufteilung stattfindet. Dieses Aufteilen gleichartiger Stoffflüsse ist unbedingt von Produktions- oder Verfahrensabschnitten zu unterscheiden, bei denen Material nach vorgegebenen Kriterien getrennt wird. Für diese Aufgaben, wie z.B. das

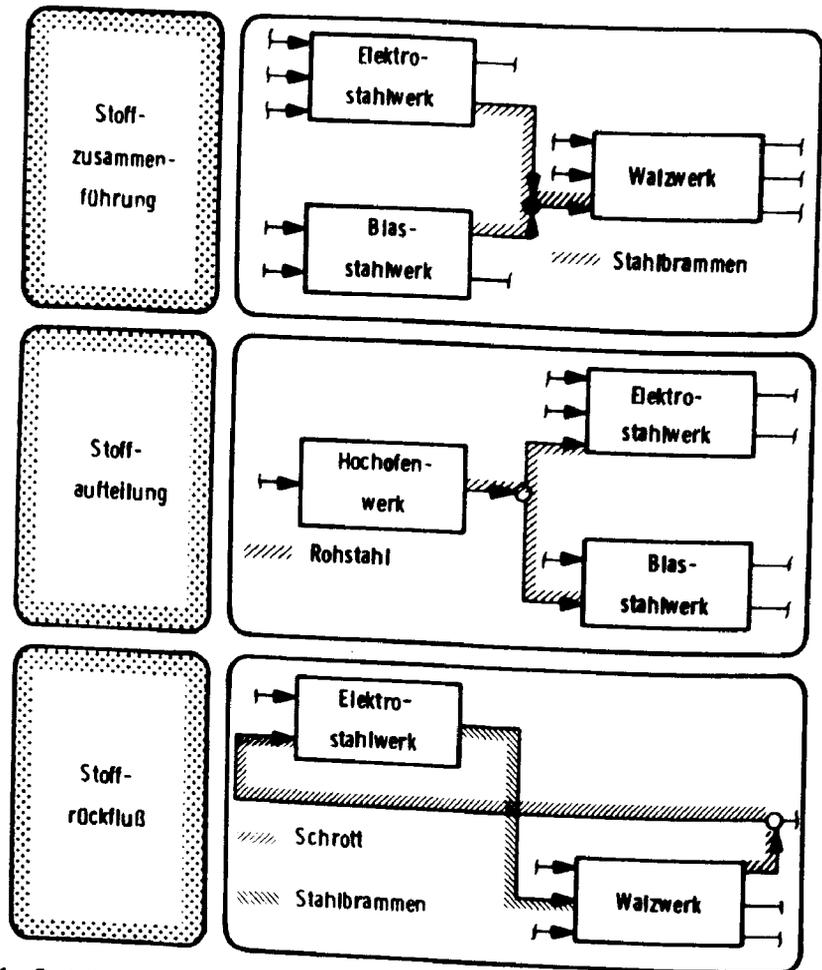


Bild 5-10: Typisierung der Stoffflußstrukturen

Sortieren, müssen eigenständige Anlagenteilfunktionen vorgesehen werden, denen dann auch technische Verfahren und - im Hinblick auf das Projektierungssystem - entsprechende Berechnungsbausteine zuzuordnen sind.

Ein weiteres wesentliches Merkmal von Mehr-Produkt-Anlagen sind Rückführungen. Hierbei wird ein Produkt eines Anlagenteilsystems in einem anderen Betrieb eingesetzt, der in der Verfahrensfolge weiter vorn liegt, damit also selbst ein Vorprodukt für das erstgenannte Teilsystem liefert.

Die hier einzeln betrachteten Strukturen können sich außerdem noch überlagern. Als Beispiel läßt sich hier ein Stahlwerk nennen, in dem bei unterschiedlichen Produktionsabschnitten Schrott anfällt. Eine Forderung könnte nun sein, daß dieser Schrott bei der Produktion in möglichst großem Umfang wiedereingesetzt wird und damit andere Einsatzstoffe substituiert.

Kriterium bei der Auswahl eines Lösungsalgorithmus für die beschriebene Aufgabenstellung muß also sein, daß die genannten Strukturen der Stoff- und Energieflüsse ausreichend berücksichtigt werden.

5.4.1 BERECHNUNGSVERFAHREN FÜR VERZWEIGTE STOFF- /ENERGIEFLUßSTRUKTUREN

Eine nutzbare Strategie für die Auslegung des Gesamtsystems besteht in der sukzessiven Berechnung der einzelnen Funktionsträger. Ausgehend von den Endprodukten der Anlage werden nacheinander die technischen Daten aller Funktionsträger bestimmt. Bei diesem Verfahren können die Stofffluß- und die darüber hinausgehenden Daten für jedes Teilsystem nach sehr komplexen Gleichungen und Nebenbedingungen berechnet werden, wie Beispiele aus dem Bereich der Verfahrenstechnik zeigen (vgl. Kap. 3.2). Bei dem hier vorgestellten Systemkonzept ist ein entsprechendes Vorgehen grundsätzlich auch möglich. Dabei lassen sich dann die den einzelnen Funktionsträgern zugeordneten Berechnungsbau- steine für die Abstimmung weiter verwenden.

Die dargestellten Merkmale von Mehr-Produkt-Betrieben bereiten jedoch bei diesem Verfahren schwerwiegende Probleme. Da bei den auftretenden Verzweigungen die mengenmäßige Aufteilung häufig nicht eindeutig vorherzubestimmen ist, sind an diesen Stellen willkürliche Vorgaben für die weitere Berechnung zu treffen. Der erfahrene Projektingenieur kann hier aufgrund ähnlicher bereits abgewickelter Aufgaben eine sinnvolle Schätzung vornehmen. Von diesen Annahmen hängt es dann ab, ob und wie schnell die weiteren Berechnungen brauchbare Ergebnisse liefern.

Weitere Schwierigkeiten treten bei Rückführungen auf. Hier ergeben sich über den Stofffluß gegenseitige Abhängigkeiten der Ein- und Ausgangsdaten der betreffenden Funktionsträger, die nur noch iterativ zu berechnen sind. Mathematisch handelt es sich dabei um eine Überbestimmung des Berechnungsmodells. Da jeder Iterationsschritt komplexe

Berechnungen für mehrere Funktionsträger beinhaltet, ist zur Einsparung von Rechenzeit und zur Verbesserung des Antwortzeitverhaltens ein Lösungsverfahren mit hoher Konvergenzordnung wünschenswert. Die Bildung einer Iterationsvorschrift, die Konvergenz garantiert und gleichzeitig nur wenige Schritte benötigt, ist allgemeingültig jedoch nicht möglich. Um diese beiden Anforderungen zu erfüllen, müssen mehrere Iterationsverfahren kombiniert werden, was einen hohen Aufwand mit sich bringt /75,133/.

Diese Betrachtungen lassen es sinnvoll erscheinen, für die vorliegende Aufgabenstellung einen anderen Algorithmus zu verwenden. Im Hinblick auf die Zielsetzung, ein interaktiv nutzbares System zu entwickeln, kommen dabei einer hohen Lösungsgeschwindigkeit und leichten Anwendbarkeit sehr hohe Prioritäten zu.

Eine Lösung für eine vergleichbare Aufgabenstellung existiert im Bereich Operations Research zur Betriebskostenzuordnung und -überwachung /134-136/. Dabei werden zunächst für jeden Produktionsausstoß eines Betriebes bzw. eines Anlagenteilsystems die zur Herstellung benötigten Material- und Energieeinsätze und die zugehörigen Kostensätze bestimmt. Diese Material- und Kostenfunktionen werden dann zu einem System linearer Gleichungen zusammengestellt. Das so entstandene Gleichungssystem läßt sich dann nutzen, um eine Überwachung der je Produkt entstehenden Kosten bzw. eine Berechnung der durch eine geplante Produktion entstehenden Kosten durchzuführen.

In Anlehnung an diese Modelle kann ebenfalls eine Berechnung der Stoff-/Energieflüsse für die einzelnen Funktionsträger und das Gesamtsystem erfolgen. Da die Berechnung der Flüsse mit der Lösung des Gleichungssystems simultan für die gesamte Anlage erfolgt, bietet dieses Verfahren erhebliche Vorteile bei komplexen Fließbildstrukturen. Auch hinsichtlich der Lösungsgeschwindigkeit und der einfachen Anwendbarkeit erfüllt das Verfahren die hier gestellten Anforderungen /137/.

In den Matrizenmodellen werden im Unterschied zu den iterativen Verfahren nur lineare Abhängigkeiten von Einsatz- und Produktionsmengen berücksichtigt. Diese Vereinfachung ist jedoch zulässig, wenn die Ergebnisse durch nachfolgende Berechnungen verifiziert bzw. korrigiert werden. Unter technischen Gesichtspunkten beinhaltet die Reduzierung der Berechnungen auf Gleichungen 1. Grades folgende Annahmen (Bild 5-11) /69/:

- quasikontinuierliche Produktion über einen ausreichend großen Betrachtungszeitraum,
- konstantes Verhältnis von Systemeinsätzen und Produktionsmengen.

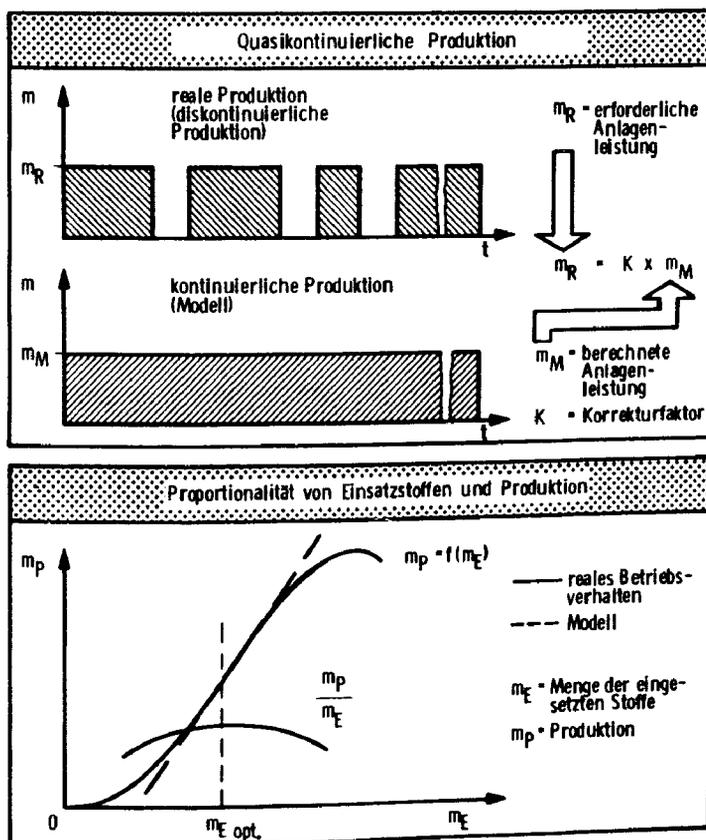


Bild 5-11: Annahmen bei der Anwendung der Matrizenmodelle

Diese Annahmen sind in der frühen Projektierungsphase durchaus zulässig. Das Mengengerüst der Sollproduktion für die zu projektierende Anlage wird im allgemeinen auf einen Zeitraum von einem Jahr bezogen. Dieser Zeitraum ist ausreichend groß, so daß spezifische Situationen wie Stillstandszeiten oder Belastungsspitzen bei der Auslegung der einzelnen Teilanlagen und Maschinen zunächst vernachlässigt werden können. Die effektiv benötigte Produktionsleistung läßt sich dann durch Korrekturfaktoren und detailliertere Berechnungen in späteren

Planungsphasen ermitteln. Außerdem ist in dieser Planungsphase noch nicht zu erkennen, wie die Produktionseinrichtungen dimensioniert werden sollen. Es ist also noch nicht abzusehen, welche und wieviele gleichartige Maschinen vorgesehen werden und welche Auslastungen daraus resultieren. Da sich häufig mit der Auslastung auch der Wirkungsgrad einer Maschine ändert, ist hier die Annahme von Mittelwerten zweckmäßiger, die bei einer technisch und wirtschaftlich günstigen Auslegung zu erwarten sind. Ein Vorteil dieser Betrachtungsweise liegt darin, daß auch andere, dem Stoffdurchsatz proportionale Größen, z.B. Bedarf an Betriebsstoffen, entstehende Verarbeitungskosten usw. in die Berechnungen einbezogen werden können. Der Übersicht halber beschränken sich die folgenden Beschreibungen des Berechnungsmodells auf die Anwendung für die Materialflußrechnung, eine Übertragung auf die anderen genannten Aufgabenstellungen ist jedoch ohne weiteres möglich.

Unter den beschriebenen Voraussetzungen läßt sich im Regelfall für jeden Funktionsträger pro Hauptprodukt eine sogenannte Richteingsatzfunktion bilden /134/. Die einzelnen Schritte dabei sind:

- Festlegen der einzelnen Produkte, Einsatzstoffe, Energien und anderen Größen, die in die Betrachtung einbezogen werden sollen,
- Berechnen der Kennzahlen für den Energie- bzw. Stoffeinsatz bezogen auf eine bestimmte Produktionsmenge,
- Normieren der Verhältniszahlen, so daß der Koeffizient für das Hauptprodukt zu 1 gesetzt wird.

Für einen Elektrolichtbogenofen-Betrieb, der aus 1200 t Schrott und 1100 t Eisenschwamm - direkt reduziertes Eisenerz - die Menge von 2000 t Flüssigstahl produzieren kann, ergibt sich die in Bild 5-12 dargestellte Richteingsatzfunktion.

Zusätzlich müssen zwei Sonderfälle berücksichtigt werden: Wenn zwei oder auch mehr Hauptprodukte eines Funktionsträgers verfahrensbedingt oder aufgrund von Festforderungen in ihrer Produktionsmenge voneinander abhängig sind, bedeutet dies, daß nur noch eine Produktmenge frei wählbar und somit eine unabhängige Variable ist. Um dies abzubilden, müssen die für jedes einzelne Hauptprodukt bestehenden Richteingsatzfunktionen zu einer Richteingsatzfunktion zusammengefaßt werden. Dadurch lassen sich abhängige Produktmengenverhältnisse als abhängige Größen im mathematischen Modell berücksichtigen. Besteht z.B.

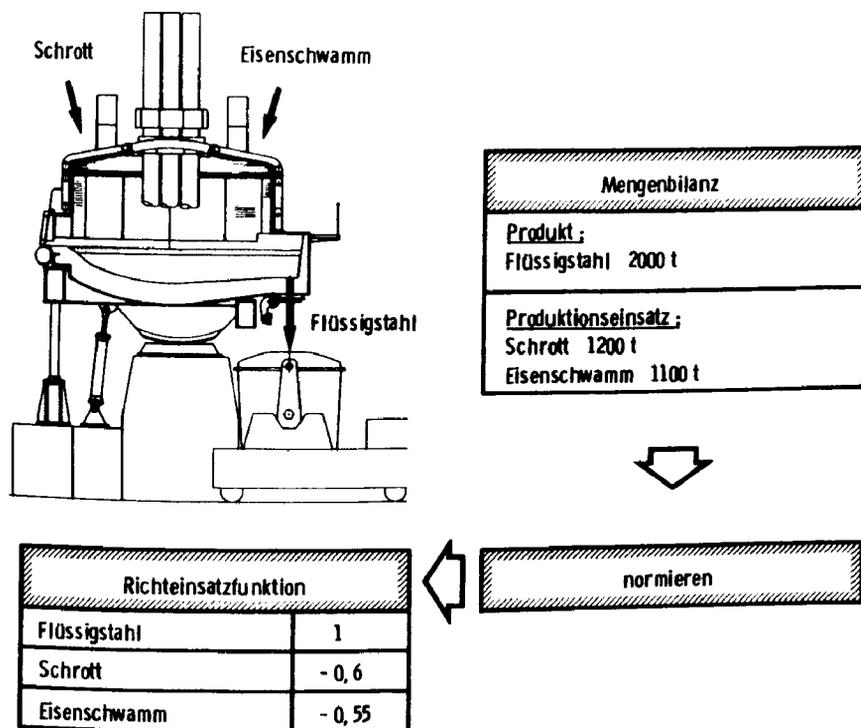


Bild 5-12: Beispiel für eine Richteinsatzfunktion

bei der Planung eines Elektrostahlwerkes die Anforderung, doppelt so viel Stranggußbrammen wie andere Halbzeuge zu produzieren, sind die einzelnen Richteinsatzfunktionen entsprechend Bild 5-13 zusammenzufassen.

Der zweite Sonderfall liegt vor, wenn Einsatzstoffe oder Energieträger für einen Funktionsträger untereinander substituierbar sind. Soll z.B. ein Nebenprodukt eines Produktionsabschnittes möglichst vollständig in einer anderen Teilanlage an Stelle des Haupteinsatzstoffes wiederverwendet werden, so ist eine zusätzliche Richteinsatzfunktion erforderlich. Diese beschreibt dann qualitativ und quantitativ das Substitutionsverhalten der Stoffe /64,138/. So ist z.B. eine entsprechende Richteinsatzfunktion zu ergänzen, wenn bei einem Elektrostahlwerk das Mengenverhältnis von Eisenschwamm- zu Schrotteinsatz nicht fest vorgegeben ist, sondern möglichst der gesamte in der Anlage anfallende Schrott wiedereingesetzt werden soll.

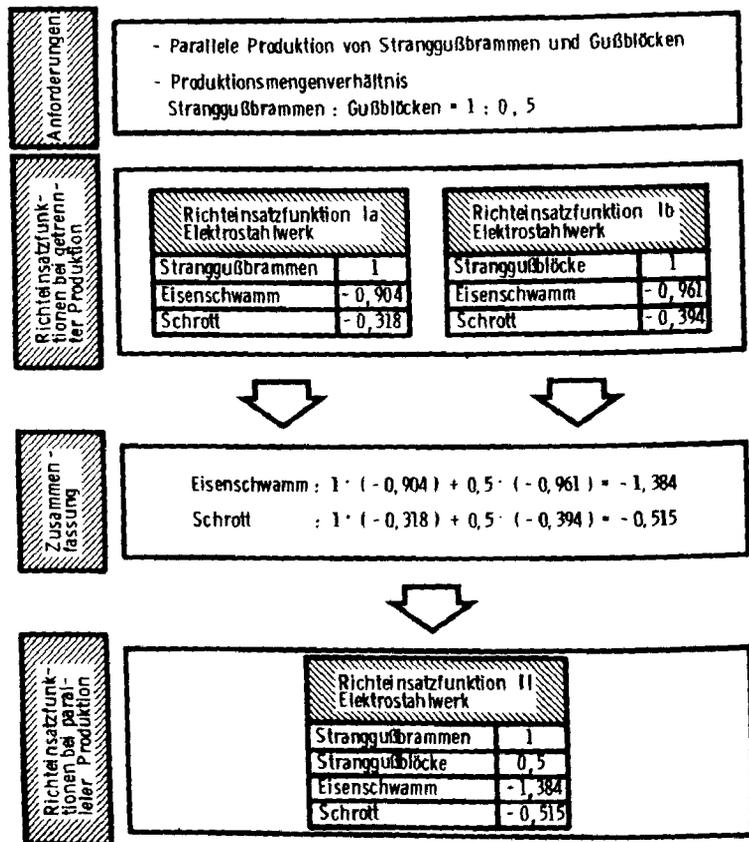


Bild 5-13: Richteinsatzfunktion für eine gekoppelte Produktion

Mittels der entwickelten Vorgehensweise sind also die einleitend beschriebenen Stoff-/Energieflußstrukturen zu berechnen. Diese Daten stehen dann als Eingangsinformationen für die Abstimmung der Funktionsträger zur Verfügung.

5.4.2 ABSTIMMUNG DER FUNKTIONSTRÄGER BEI VERZWEIGTEN STOFF- UND ENERGIEFLÜSSEN

Prinzipiell behält die für die Abstimmung und die teilsystembezogenen Berechnungen definierte Datenstruktur auch dann ihre Gültigkeit, wenn Aufteilungen oder Zusammenführungen von Stoffflüssen zu berechnen

sind. Derartige Substrukturen erfordern jedoch zusätzliche Maßnahmen.

Die - im Rahmen der technologischen Möglichkeiten - freie Kombinierbarkeit der Funktionsträger läßt sich am besten abbilden, wenn die Berechnungsbausteine auf genau einen Fluß von jeder dort verbrauchten und produzierten Stoffart ausgelegt sind. Solange ein Funktionsträger von anderen mit unterschiedlichen Stoffen bzw. Energien versorgt wird, ändert sich also nichts an der bereits definierten Struktur. Das gilt auch, wenn unterschiedliche Stoffe oder Energien an unterschiedliche Funktionsträger abgegeben werden.

Wird dagegen ein Funktionsträger von mehreren benachbarten Teilsystemen mit dem gleichen Stoff versorgt, so muß dieser Sachverhalt durch Umstrukturierungen und Ergänzungen berücksichtigt werden. Dies darf jedoch nicht innerhalb des anwendungsspezifischen Programmbausteins erfolgen, weil dies die bereits definierte, übersichtliche Abgrenzung der Berechnungsbausteine beeinträchtigt. Entsprechendes gilt bei der Aufteilung eines Produktes an mehrere nachfolgende Teilsysteme.

Eine Zusammenführung oder Aufteilung bedeutet aber nicht nur eine einfache Addition bzw. Aufteilung der Stoffmengen. Im allgemeinen werden dabei auch andere Beschreibungsdaten des Flusses - Los- oder Chargengröße, Chargenfolgezeit usw. - beeinflusst. Entscheidend dafür sind die Art des Stoffes und die beteiligten Funktionsträger. So läßt sich z.B. ein flüssiges oder schüttfähiges, kontinuierlich produziertes Gut anders aufteilen als ein diskontinuierlich in festen Mengeneinheiten produziertes Material. In gleicher Weise ist zu berücksichtigen, ob der nachfolgende Produktionsabschnitt eine kontinuierliche Weiterverarbeitung zuläßt oder ob, wie bei einer Stranggußanlage, die vollständige Charge verarbeitet wird.

Es ist also festzuhalten, daß bei einer Aufteilung bzw. Zusammenführung im allgemeinen alle jeweils benachbarten Funktionsträger die Veränderung der Stoffflußdaten beeinflussen. Eine direkte Zuordnung der erforderlichen Algorithmen zu einzelnen Funktionsträgern ist deshalb nicht sinnvoll. Statt dessen müssen separate Berechnungsbausteine zur Verfügung stehen, mit deren Hilfe die Stoffflußdaten zu bearbeiten sind.

Diese zusätzlichen Berechnungsbausteine können allerdings erst dann ergänzt werden, wenn alle in der Anlage auftretenden Hauptstoffflüsse

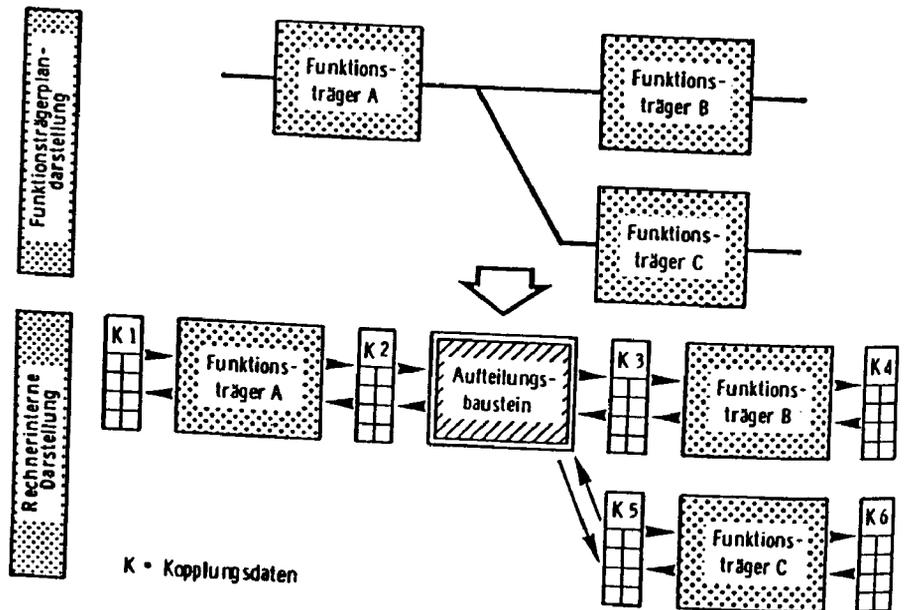


Bild 5-14: Systeminterne Ergänzung des Aufteilungsbausteines

festliegen. Andererseits ermöglichen es die dann vorliegenden Informationen, daß die notwendige Umstrukturierung und Ergänzung des Berechnungsmodells (Bild 5-14) systemintern und ohne zusätzliche Eingaben erfolgen kann.

Mit den Aufteilungs- bzw. Zusammenfassungsbausteinen müssen gleichzeitig zusätzliche Kopplungsdatensätze angelegt werden. Im Unterschied zu den Berechnungsbausteinen existieren dann je Stoffart mehrere Datensätze, die die Kopplung zu den benachbarten Funktionsträgern herstellen. Für diese wird dann pro Stoff nur noch ein Kopplungsdatensatz benötigt, so daß die Berechnungsbausteine in der für unverzweigte Flüsse definierten Form, also unverändert verwendet werden können.

Wegen der Vielzahl von Einflußgrößen bei Aufteilungen und Zusammenführungen - Stoffarten und Funktionsträgerarten - ist die Erstellung aller entsprechenden spezifischen Bausteine mit einem erheblichen Aufwand behaftet. Es erscheint deshalb wesentlich zweckmäßiger, weitgehend anwendungsneutrale Bausteine zu entwickeln, die die Bearbeitung beliebiger Stoffflüsse zulassen. Die eigentliche Veränderung der Materialflußdaten erfolgt dabei im Dialog mit dem Benutzer. Für bei

einzelnen Anwendungen häufig vorkommende Verzweigungsarten lassen sich diese Bausteine dann um spezifische Algorithmen erweitern, die z.B. in Abhängigkeit von den zu bearbeitenden Stoffen angewendet werden und so durch einen benutzer- und aufgabenspezifischeren Dialog die Bearbeitung vereinfachen.

Die hier erarbeitete Lösung beinhaltet als wesentlichen Vorteil, daß die anwendungsspezifischen Berechnungsbauusteine für die Abstimmung der Funktionsträger unverändert bleiben. Deshalb lassen sich auch die anwendungsspezifischen Bausteine uneingeschränkt nutzen, unabhängig davon, ob lineare oder verzweigte Strukturen betrachtet werden.

Das vorgestellte Systemmodell kann also hinsichtlich der Flexibilität bei der Nutzung und Erweiterung die eingangs erhobenen Anforderungen erfüllen. Aufgrund dessen können nun auch die notwendigen anwendungsneutralen Systemkomponenten für die Auslegung und die Datenverwaltung konzipiert werden.

5.5 SYSTEMKOMPONENTEN FÜR DIE AUSLEGUNG UND DIE DATENVERWALTUNG

Zielsetzung bei der Gestaltung der Systemkomponenten muß sein, möglichst viele der allgemeinen und nicht anwendungsspezifischen Planungsaufgaben und -tätigkeiten in das Basissystem zu integrieren. Dabei müssen die Effizienz der einzelnen Komponenten und des Gesamtsystems gewährleistet sein. Zur Gestaltung gehört deshalb auch die Ermittlung effizienter und übertragbarer Lösungswege bzw. aufgabenadäquater Abläufe. Obwohl hier erst an letzter Stelle genannt, ist auch die benutzerorientierte Gestaltung eine Hauptanforderung. Dabei darf vorausgesetzt werden, daß der Benutzer in einzelnen Situationen durchaus auch einen gewissen Mehraufwand oder neue Arbeitstechniken akzeptiert, wenn es ihm insgesamt bei der Aufgabenbearbeitung Vorteile bringt.

Zunächst werden hier nur die Auslegung und die damit im Zusammenhang stehende Datenverwaltung betrachtet. Die Auslegung beinhaltet die Teilaufgaben

- Verfahrensauswahl,
- Stoff-/Energieflußberechnung,
- Abstimmung der Teilsysteme und

- teilsystembezogene Berechnungen.

Bei der Analyse der Aufgabeninhalte der Projektierung (Kap. 3.) wurde festgestellt, daß der Aufbau eines Funktions- bzw. Funktionsträgerplanes nicht unumgänglich ist, andererseits aber ein Hilfsmittel ist, um die Projektierungsaufgabe darzustellen oder zu konkretisieren. Bei dem hier zu entwickelnden Konzept sollen aus diesem Schema - analog einem Schaltplan - Informationen zur Steuerung und Kontrolle der Berechnungsabläufe und für die Datenverwaltung gewonnen werden.

Über diese Datenverwaltung und das übergeordnete Steuermodul lassen sich dann auch die anderen, als wesentliche Systemkomponenten definierten Blöcke "teilsystembezogene Detailplanungen" und "Layoutplanungen" anbinden. Hinsichtlich der Aufgabeninhalte und der Arbeitstechniken unterscheiden sich diese Komponenten erheblich. Außerdem sollen sie auch selbständig nutzbar sein. Aus diesen Gründen werden diese Komponenten später getrennt betrachtet.

5.5.1 GESTUFTE VERFAHRENSAUSWAHL

Die beiden Arbeitsschritte bei der gestuften Verfahrensauswahl sind /139/:

- Auswahl der Anlagenteilfunktionen und Kombination zum Funktionsplan (Bild 5-15) und
- Zuordnung geeigneter Funktionsträger.

Alle Dialoge zur Führung des Benutzers werden dabei über einen alphanumerischen Bildschirm abgewickelt; die Ausgabe der erarbeiteten Schemata erfolgt über einen parallel geschalteten graphischen Bildschirm. Dies ist notwendig, um die bei der vorliegenden Aufgabenstellung zwangsläufig auftretenden verzweigten Anlagenstrukturen übersichtlich darstellen zu können.

Ausgehend von den einzelnen vom Benutzer festgelegten Endprodukten bietet das Projektierungssystem die Teilfunktionen an, die die Herstellung der gewünschten Stoffe ermöglichen. Der Benutzer wählt das ihm geeignet erscheinende Element aus, das dann in den Funktionsplan aufgenommen wird. Dieser Vorgang wiederholt sich dann für die Auswahl der Funktion, die den von der zuletzt ausgewählten Teilfunktion

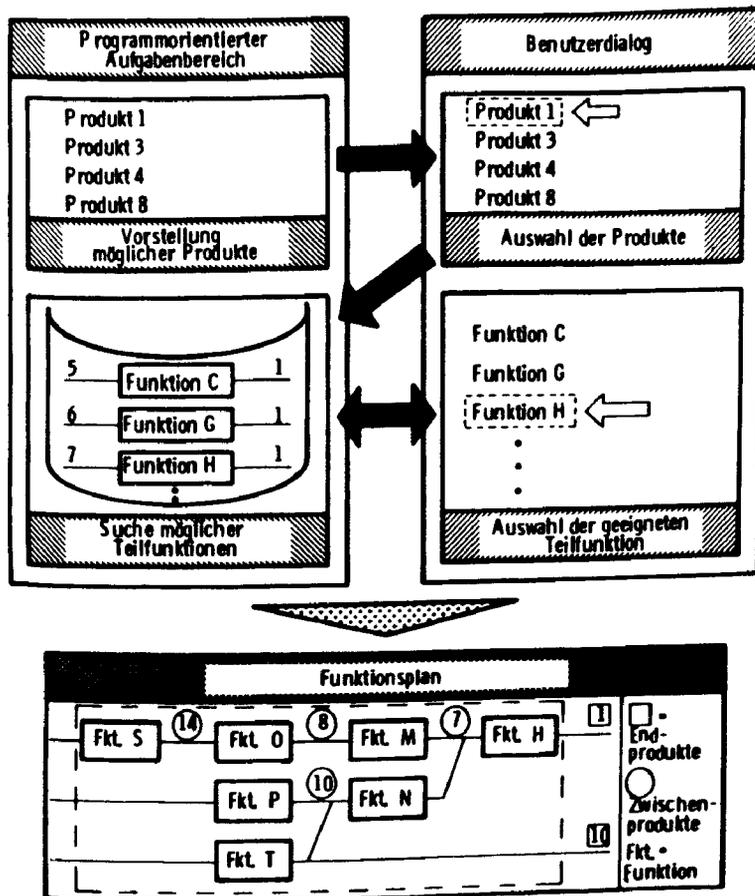


Bild 5-15: Entwurf des Funktionsplanes

benötigten Einsatzstoff liefern soll. Auf diese Weise entsteht ausgehend vom vorgegebenen Endprodukt sukzessiv die Kette der Funktionen, die das Umsetzen der vorgegebenen Rohstoffe in das geforderte Endprodukt ermöglichen.

Das Einfügen von Funktionen, die keine Stoffe oder Energien umsetzen, kann - bei entsprechendem Ausbau des Projektierungssystems - beim Aufbau der produktbezogenen Funktionsketten erfolgen, nachträgliche Änderungen oder Ergänzungen sind möglich. Darüberhinaus ergeben sich für den Benutzer keine Unterschiede beim Einplanen solcher Funktionen.

Nachdem die Funktionsketten für jedes Produkt einzeln erstellt sind, kann der Benutzer identische Funktionen aus verschiedenen Ketten zusammenfassen. Diese Aufgabe wird interaktiv durchgeführt, da es im allgemeinen nicht sinnvoll ist, alle gleichartigen Funktionen durch eine einzige zu ersetzen. Ein Zusammenfassen beinhaltet dabei folgende Berechnungsvorschrift:

Die entsprechenden technischen Systeme sind hinsichtlich der zu verarbeitenden Stoffmengen, des Zeitverhaltens, der Bauart usw. gemeinsam und gleich auszulegen. Führt diese Zielsetzung bei der Auslegung nicht zu befriedigenden Ergebnissen, so muß die Zusammenfassung aufgelöst werden, bevor eine andere Auslegung erfolgen kann.

Im nächsten Schritt werden die einzelnen Funktionen durch die Funktionsträger bzw. Verfahren ersetzt (Bild 5-16). Dazu bietet das Projektierungssystem entsprechend der Zuordnung in den Stammdaten für jede Funktion die jeweils geeigneten Funktionsträger an. Der Benutzer trifft dann seine Auswahlentscheidung aufgrund seiner Kenntnisse über die Planungsrandbedingungen.

Nach dieser Zuordnung ist innerhalb dieses Programmschrittes noch zu bestimmen, für welche Funktionsträger weitere Berechnungen erfolgen sollen. Der Benutzer muß hier nur festlegen, welche Funktionsträger in die Berechnungen einzubeziehen sind. Die Reihenfolge, in der die Berechnungen durchzuführen sind, um logisch korrekte Ergebnisse zu erzielen, kann dann vom Programmsystem aufgrund der den Funktionsträgern zugeordneten Informationen ermittelt und kontrolliert werden /131/. Wenn die Bearbeitung der Pläne abgeschlossen ist, erfolgt automatisch die Sicherung der Beschreibungssätze in einer Datei, die dann auch auszugsweise an die folgenden Berechnungsmodule übergeben wird.

5.5.2 STOFF-/ENERGIEFLUSSBERECHNUNG

Die für die Stoff- bzw. Energieflußberechnung benötigten Richteinsatzfunktionen sind Stammdaten, die zu den einzelnen Funktionsträgern gehören. Für eine aktuelle Berechnungsaufgabe werden sie entsprechend

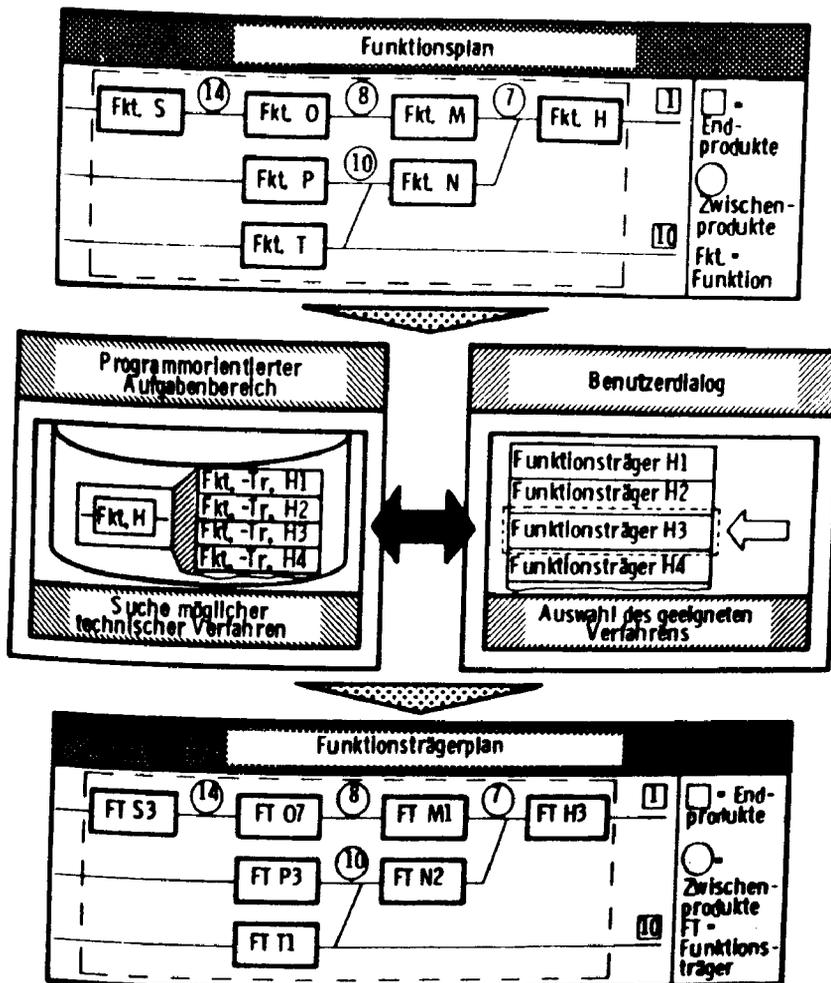


Bild 5-16: Auswahl der Funktionsträger

dem generierten Funktionsträgerplan ausgewählt und zu einem Gleichungssystem zusammengestellt (Bild 5-17).

In diesem Gleichungssystem beschreibt jede einzelne Gleichung die Mengenbilanz für einen Stoff bzw. eine Energieart in der Anlage. Die Variablen in den Gleichungen sind die Durchsätze der verschiedenen Funktionsträger, d. h. die jeweiligen Mengen, die die Funktionsträger verbrauchen oder produzieren; die Koeffizienten zu den Variablen sind

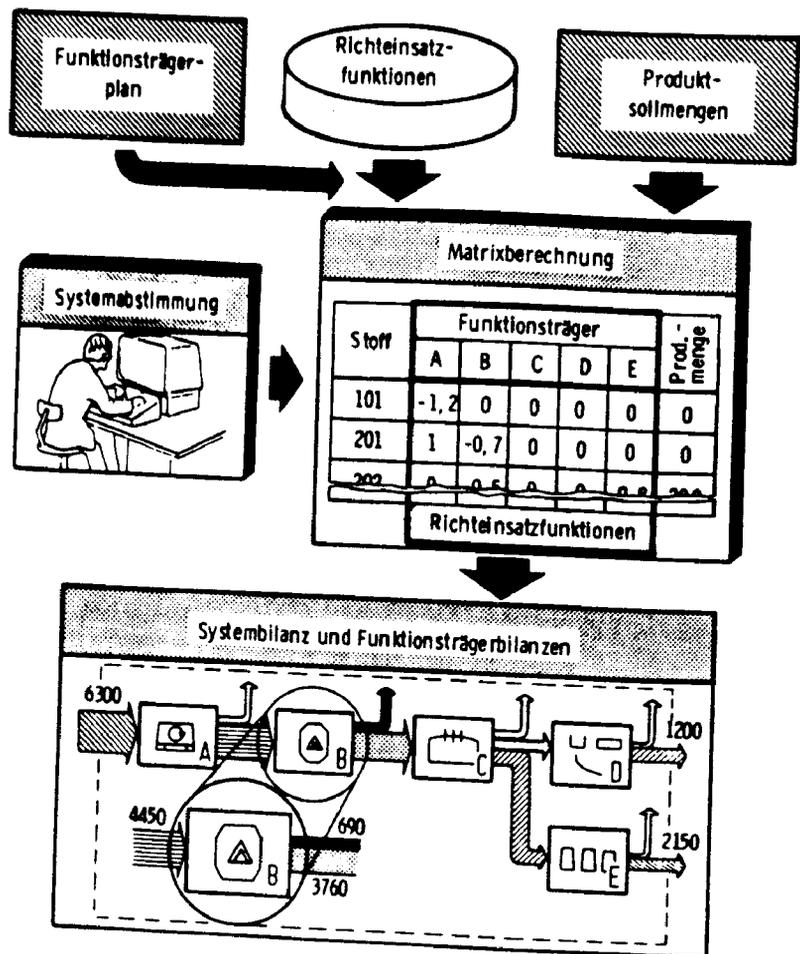


Bild 5-17: Ablauf der Stoff-/Energieflußberechnung

den Richteinsatzfunktionen entnommen. Gibt man nun die geforderten Produktmengen der Gesamtanlage als Absolutwerte vor, so lassen sich durch die Lösung des Gleichungssystems die Bilanz für die Gesamtanlage und die Durchsätze aller einzelnen Funktionsträger ermitteln. Durch die Multiplikation der berechneten Durchsätze mit den jeweiligen Richteinsatzfunktionen ergeben sich dann die Stoffbilanzen für alle Teilsysteme.

Voraussetzung für die eindeutige Lösbarkeit des Gleichungssystems ist, daß die Anzahl der berücksichtigten Stoffe der Anzahl der Richteinsatzfunktionen entspricht. Dies läßt sich auf zwei Arten beeinflussen:

- durch die Anzahl der Vorgaben für Stoffmengen, die die Gesamtsystemgrenzen überschreiten, und
- durch die Anzahl der Richteinsatzfunktionen.

Welche Veränderung im Einzelfall in Frage kommt, ist im wesentlichen durch die Anforderungen an die Gesamtanlage bestimmt. Ein Verzicht auf die Vorgabe für eine Einsatz- oder Produktstoffmenge bedeutet z.B., daß ein in der Anlage erzeugter, wiederverwendbarer Stoff nicht mehr in vollem Umfang wiedereingesetzt werden muß bzw. zusätzlich zugeführt werden darf. Demgegenüber bedeutet die Veränderung der Richteinsatzfunktionen, daß ein verändertes Betriebsverhalten des Funktionsträgers zugrundegelegt wird.

Grundsätzlich ist eine Veränderung der Anzahl von Vorgaben vorzuziehen, da dies - im Gegensatz zur Änderung der Richteinsatzfunktionen - ohne weitere Eingriffe des Benutzers vom System alleine ausgeführt werden kann. Der Benutzer muß lediglich angeben, für welche Produkte die Vorgaben nicht mehr beachtet werden sollen bzw. zusätzliche Vorgaben treffen.

Hält der Benutzer diese von der Handhabung her einfachen Möglichkeiten nicht für geeignet, unterstützt ihn das System auch bei der Veränderung der Richteinsatzfunktionen. Im Vergleich zur erstgenannten Maßnahme erfordert dies einen höheren Kenntnisstand des Benutzers über das Berechnungsmodell und das Betriebsverhalten der einzelnen Funktionsträger.

Ist die Bestimmtheit des Gleichungssystems erreicht, erfolgt dessen Lösung. Dabei zeigt sich der wesentliche Vorteil des linearen Gleichungssystems, da es sich direkt, d. h. ohne Iterationen, lösen läßt. Ein nach einfachen Regeln aufgebautes und deshalb für die Umsetzung in ein Rechnerprogramm besonders geeignetes numerisches Lösungsverfahren ist der Gauß'sche Algorithmus, der auch hier angewendet wird /64,137/. Die damit erreichbaren Rechengenauigkeiten reichen bei der vorliegenden Aufgabenstellung ohne weiteres aus. Außerdem ist eine nachträglichen Erweiterung des betreffenden Programmtells - z.B. durch die Integration von Pivot-Schritten /133/ - bei Bedarf leicht zu realisieren.

Die auf diese Weise ermittelten Stoff- bzw. Energiebilanzen für die Teilanlagen und die Gesamtanlage stellen die Grundlage für die anschließenden detaillierenden Berechnungen dar.

5.5.3 ABSTIMMUNG UND TEILSYSTEMBEZOGENE BERECHNUNGEN

Da für die beiden Haupt-Planungsabschnitte Abstimmung und teilsystembezogene Berechnungen dieselbe Daten- und Systemstruktur gilt, müssen auch die zugehörigen Systemkomponenten auf beide Aufgabenstellungen ausgerichtet werden. Hierbei sind zwei wesentliche Teilaspekte zu unterscheiden:

- die Benutzerführung und -kontrolle bei der Abstimmung und den teilsystembezogenen Berechnungen sowie
- die systeminterne Datenverwaltung für die datenmäßige Kopplung der Berechnungsbausteine, für die Handhabung der Berechnungsergebnisse und für die Ankopplung weiterer Systemkomponenten.

Im Unterschied zu den zuvor beschriebenen Programmteilen werden bei der Abstimmung und den teilsystembezogenen Berechnungen nur geringe Anteile des gesamten Benutzerdialogs durch das anwendungsneutrale Basissystem abgewickelt. Die Dialogausgaben beschränken sich darauf, dem Benutzer die Möglichkeiten für das weitere Vorgehen bei der Berechnung vorzugeben (vgl. Kap 5.3). Entsprechend der bei der Funktionsträgerzuordnung festgelegten Reihenfolge werden die Bausteine für die Abstimmung angeboten (Bild 5-18). Nach dem Durchlaufen eines Abstimmungsbausteins besteht jeweils die Wahl, mit der Abstimmung des nächsten Funktionsträgers zu beginnen oder teilsystembezogene Berechnungen zum gerade betrachteten Funktionsträger durchzuführen. Diese werden dann entsprechend der systemintern festgelegten Hierarchie angeboten. Der Benutzer kann also erst dann auf teilsystembezogene Berechnungen einer unteren Hierarchiestufe zugreifen, wenn die Abstimmung für den betreffenden Funktionsträger erfolgt ist und die übergeordneten Berechnungen durchgeführt sind. Darüber hinaus überwacht das Basissystem, daß nach Rücksprüngen wieder eine logisch korrekte Berechnungsfolge erreicht wird.

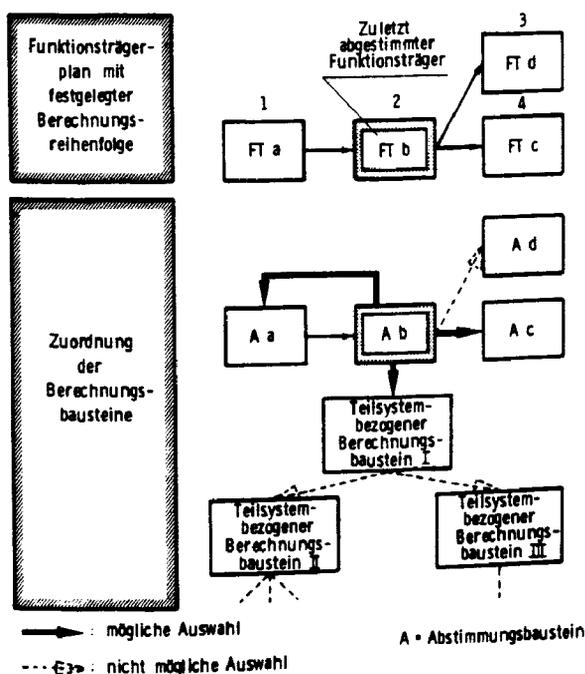


Bild 5-18: Ablaufvorgabe bei den Berechnungen

Alle übrigen Dialoge in diesen Programmteilen gehen von den anwendungsspezifisch zu entwickelnden Berechnungsbausteinen aus. Aufgabe des Basissystems ist dann, die benötigten und erzeugten Daten zu verwalten und bereitzustellen. Im Hinblick auf die interaktive Arbeitsweise des Projektierungssystems muß dies bei geringen Antwortzeiten erfolgen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die völlig ungleichmäßig anfallenden Datenvolumina, die, wie gezeigt, von Einzelwerten bis hin zu komplexen Tabellen reichen.

Lösungen für diese Aufgabenstellung bieten die Verfahren der gesteuerten Daten Speicherung /140,141/. Bei diesen Verfahren wird jedes Datum über einen Schlüssel identifiziert. Aufgrund dieses Schlüssels, der zu jedem Datum eindeutig existiert und so das Datum identifiziert, wird mittels einer Funktion die Adresse bzw. eine Menge möglicher Adressen für dieses Datum innerhalb eines logischen Speicherbereiches (Adreßtabelle) berechnet. Das Datum kann dann auf einem dieser Adreßplätze abgelegt und mittels der Funktion für die Adreßrechnung ohne langwierige Suchvorgänge wieder aufgefunden werden.

Im Rahmen des hier konzipierten Systems stellen systemintern verwaltete Nummern der Stoffflüsse bzw. der Funktionsträger und die Benennung des einzelnen Datums zwei unveränderliche Merkmale für jedes Datum dar, über die es sich eindeutig identifizieren läßt. Zur Vereinfachung und Vereinheitlichung ist es dabei sinnvoll, statt der alphanumerischen Benennungen programmintern Textkennziffern zu verwenden und diesen nur für den Benutzerdialog und die Ergebnisdokumentation die vollständigen Texte zuzuordnen. So lassen sich über die Textkennziffern z.B. vergleichbare Daten für unterschiedliche Funktionsträger zusammentragen oder für den einzelnen Funktionsträger die Eingangsdaten für andere Planungsaufgaben - Wiederholelementsuche, Layoutplanung oder andere, zusätzliche Planungssysteme - zusammenstellen. Dazu dienen dann ähnliche Prozeduren und dieselben Zugriffsmechanismen wie für den Datentransfer zwischen den Berechnungsbausteinen und den jeweiligen Ergebnisbereichen.

Da bei dem hier entwickelten Konzept die Kopplungsdaten und funktionsträgerspezifische Ergebnisbereiche nur noch logisch unterschieden werden, ist es möglich und für die Verarbeitung vorteilhaft, alle Datengruppen systemintern zusammenzufassen (Bild 5-19). Da die Adreßtabelle keine Listen oder Felder enthalten kann, lassen sich bei der hier betrachteten Anwendung lediglich die Verweise auf eine andere Datei ablegen, in der dann die zugehörigen Werte gespeichert sind. Diese Datei wird sequentiell gefüllt und muß deshalb nicht von vornherein in ihrer Länge festgelegt werden. Für die Adreßtabelle gilt dies nicht. Deren Länge muß unter anderem deshalb bekannt sein, weil sie ein eminent wichtiger Bestandteil der Adreßrechnung ist. Diese Größe ist jedoch unbedingt variabel zu halten, wenn nicht durch eine willkürlich gesetzte Begrenzung die Nutzbarkeit des Systems eingeschränkt werden soll.

Um eine den Anforderungen hinsichtlich Funktionalität, Erweiterbarkeit und Verarbeitungsgeschwindigkeit genügende Lösung zu ermitteln, wurden zunächst wesentliche Typen von Verfahren für die gestreute Speicherung (Hashing) untersucht /142/. Vergleich und Bewertung der Verfahren zeigen, daß sich das virtuelle lineare Hashing wegen des direkten Zugriffs auf das gewünschte Datum und der hohen Flexibilität hinsichtlich des Datenvolumens für die vorliegende Aufgabenstellung eignet (Bild 5-20). Nachteile bringt dieses Verfahren jedoch, wenn häufig sogenannte Kollisionsfälle auftreten, d.h., wenn sich für zwei verschiedene Daten dieselbe Adresse ergibt. Bei einigen Verfahren wird dann eine Folgefunktion definiert, nach der eine neue Adresse zu er-

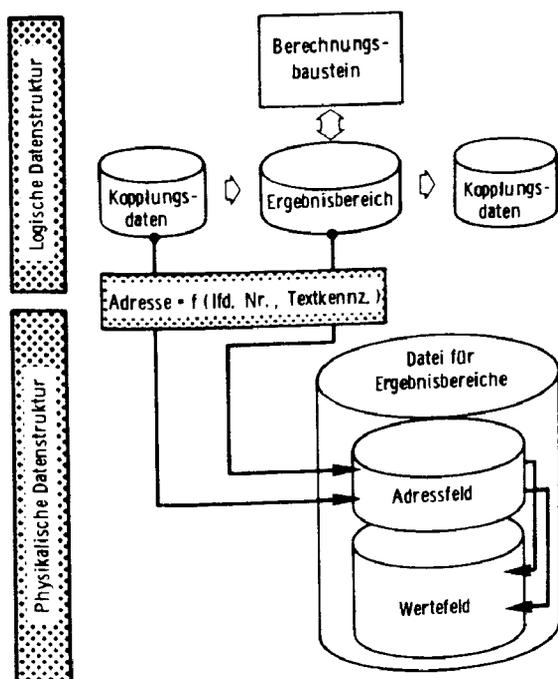


Bild 5-19: Verwaltung der Kopplungs- und Ergebnisdaten

mitteln ist. Bei diesem Verfahren erfolgt jedoch eine Erweiterung der Adreßtabelle, so daß ständige Änderungen des Datenvolumens zu einem verhältnismäßig hohen Anteil von Rechenzeiten für diese Datenverwaltung und - in Einzelfällen - zu relativ geringer Speicherplatzausnutzung führen können. Um diese Nachteile zu reduzieren, wurde hier eine modifizierte Form des virtuellen linearen Hashings entwickelt. Tritt bei diesem ein Kollisionsfall auf, so wird das Datum, das sich nicht mehr unter der berechneten Adresse abspeichern läßt, in einem Überlaufbereich abgelegt. Dabei bleibt die Tabelle unverändert und wird weiter gefüllt. Eine Erweiterung der Hashtabelle erfolgt erst, wenn der Überlaufbereich zu einem gewissen Anteil gefüllt ist. Dabei wird die Adreßrechnung mit einer neuen Hashfunktion vorgenommen. Aufgrund der speziellen Wahl dieser Funktion muß nur für einen definierten Teilbereich der Tabelle eine Umrechnung der Adressen erfolgen; alle anderen Daten werden auf denselben Adreßplatz wie bei der alten Funktion abgebildet.

○ erfüllt
● gut erfüllt

Adressfeldlänge	gestraute Speicherung			
	konstant	dynamische gestraute Speicherung	virtuelles lineares Hashing	modifiziertes virtuelles lineares Hashing
hohe mittlere Speicherplatz-ausnutzung 	○	○	○	●
schneller Zugriff auf gespeicherte Daten 	●	●	●	●
schnelles Ergänzen von Daten (ohne Umsortieren) 	●	●	●	●
variable Speicherkapazität 		●	●	●
Effizienz bei unterschiedlichen Datenvolumina 		●	●	●
Antwortzeit bei Veränderungen der Hashtabelle 			●	●
direkter Datenzugriff (ohne Folgefunktion) 			●	●

Bild 5-20: Bewertung verschiedener Hash-Verfahren

Die relativ aufwendige Datenstruktur für den beschriebenen Abschnitt des Programmsystems wird hauptsächlich durch die große Zahl der Daten notwendig, die bei der detaillierten Projektierung einer umfangreichen Anlage zu verwalten sind. Verstärkt wird die Anforderung nach Speicherplatzökonomie auch dadurch, daß die Daten während der Programmnutzung für Kontrollzwecke und für das vereinfachte Berechnen alternativer Lösungen zweifach vorhanden sein müssen. Auch nach Abschluß der Projektierung ist mindestens ein Datensatz zu archivieren. Die bei dieser Struktur gegebenen Möglichkeiten, andere Planungssysteme anzukoppeln, werden im folgenden am Beispiel der Wiederholelementsuche gezeigt.

6. WIEDERHOLELEMENTSUCHE

Zur Verwaltung und zum Zugriff auf die Beschreibungsdaten von Wiederholelementen eignen sich - wie in Kap. 3.3 erwähnt - Datenbank- oder Dateisysteme. Im Unterschied zu den vorhergegangenen Planungsaufgaben darf vorausgesetzt werden, daß sich auch für die hier vorliegende Aufgabenstellung ähnliche Lösungen anwenden lassen und keine prinzipiell neuen Datenmodelle zu entwickeln sind. Den Schwerpunkt der folgenden Betrachtungen bilden deshalb nicht die datenverarbeitungstechnischen Aufgaben. Wesentlicher sind hier die Anforderungen und Randbedingungen, denen ein entsprechender Programmbaustein genügen muß, wenn er in Verbindung mit dem Projektierungssystem eingesetzt werden soll. Dazu gehören insbesondere

- die Beschreibungsmöglichkeiten für die Wiederholelemente,
- eine aufgabenadäquate Arbeitstechnik und
- die Verknüpfung der Wiederholelementsuche mit den übrigen Komponenten des Projektierungssystems.

Im folgenden sind diesbezügliche konzeptionelle Überlegungen zusammengefaßt.

6.1 ELEMENTBESCHREIBUNGEN UND SUCHVORGÄNGE

Bereits die Analyse dieser Planungsaufgabe hat gezeigt, daß die technischen Daten in unverschlüsselter Form in die Wiederholelementbeschreibung aufgenommen werden sollten, insbesondere wenn sie quantitativ zu erfassen sind. Sinnvollerweise werden dabei jedem Wiederholtelement die exakten Einzelwerte, bei Bereichsangaben die Ober- und die Untergrenzen der Bereiche zugeordnet. Für die Suche nach ähnlichen Elementen folgt daraus, daß die zulässigen Abweichungen nicht mehr Bestandteil der Elementbeschreibung sind, sondern in der Vorgabe für die Suche enthalten sein müssen /84/.

Aus den bisherigen Überlegungen ergeben sich als Beschreibungsdaten für das einzelne Element:

- eine Liste von nicht quantifizierbaren Merkmalen, die auch numerisch verschlüsselt sein können, und

- eine Liste der exakten technischen Daten, die die Benennungen der einzelnen Daten und die zugehörigen Zahlenwerte enthält.

Diese Beschreibung läßt sich ergänzen durch Investitions- und Betriebskosteninformationen, Kommentare und Geometriedaten zum Element bzw. Verweise auf entsprechende Datenbestände. Die letztgenannten Datengruppen stellen jedoch bei der vorliegenden Aufgabenstellung keine Suchkriterien dar. So wird z.B. bei Elementen hoher Komplexität die Elementgeometrie gegenüber den übrigen technischen Anforderungen nur ein sekundäres Kriterium für die Wiederverwendbarkeit sein.

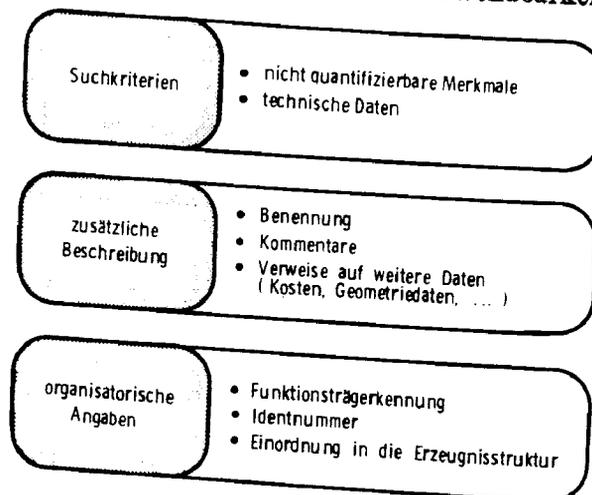


Bild 6-1: Beschreibungsdaten eines Wiederholelementes

Zusätzlich erfordern die Verwaltung und Einordnung eines Elementes noch einige organisatorische Daten, die im folgenden kurz erklärt sind. Dem schnellen Auffinden aller gleichartigen Funktionsträger ohne Berücksichtigung der einzelnen konstruktiven Merkmale dient die Funktionsträgerkennung. Die Eindeutigkeit einer Elementbeschreibung wird dann durch die zugeordnete Identnummer sichergestellt. Außerdem muß noch eine Einordnung des Elementes in die Erzeugnisstruktur erfolgen, d.h., es müssen Verweise auf über-, unter- und gegebenenfalls auch gleichgeordnete Elemente angelegt werden. Bild 6-1 faßt noch einmal alle notwendigen Beschreibungsdaten und -datengruppen zusammen.

Die Beschreibungsdaten lassen sich in zwei Gruppen einteilen, die elementneutralen und die elementspezifischen Daten (Bild 6-2). Die

elementneutralen Daten sind der Funktionsträgerkennung zugeordnet und damit für die verschiedenen Ausführungen eines Funktionsträgers gleich, z.B. für alle Elektro-Lichtbogenöfen verschiedener Bauart und Größe.

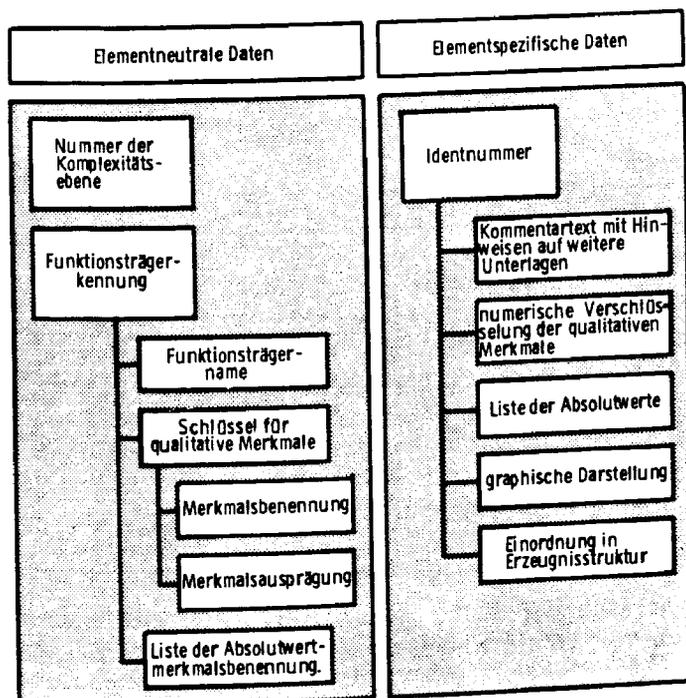


Bild 6-2: Untergliederung der Beschreibungsdaten für Wiederholelemente

Die funktionsträgerspezifischen (elementneutralen) Daten bilden den Schlüssel zu den elementspezifischen Daten, die jeweils nur aus den aktuellen Zahlenwerten bzw. Schlüsselnummern bestehen und alleine wenig aussagen. Alle elementspezifischen Daten beziehen sich jeweils auf ein Element und sind der Identnummer zugeordnet.

Aufgrund dieser Datenstruktur lassen sich nun auch die Möglichkeiten zu deren datenverarbeitungstechnischer Umsetzung /144/ und die geeignete Arbeitstechnik für die Wiederholelementsuche ermitteln.

Bei der hier vorgeschlagenen Datenstruktur bietet sich eine dialogorientierte Arbeitsweise an /84/. Dabei erfolgt eine Modifikation der vorgegebenen Anforderungen - z.B. der Ergebnisse aus der Auslegungsrechnung

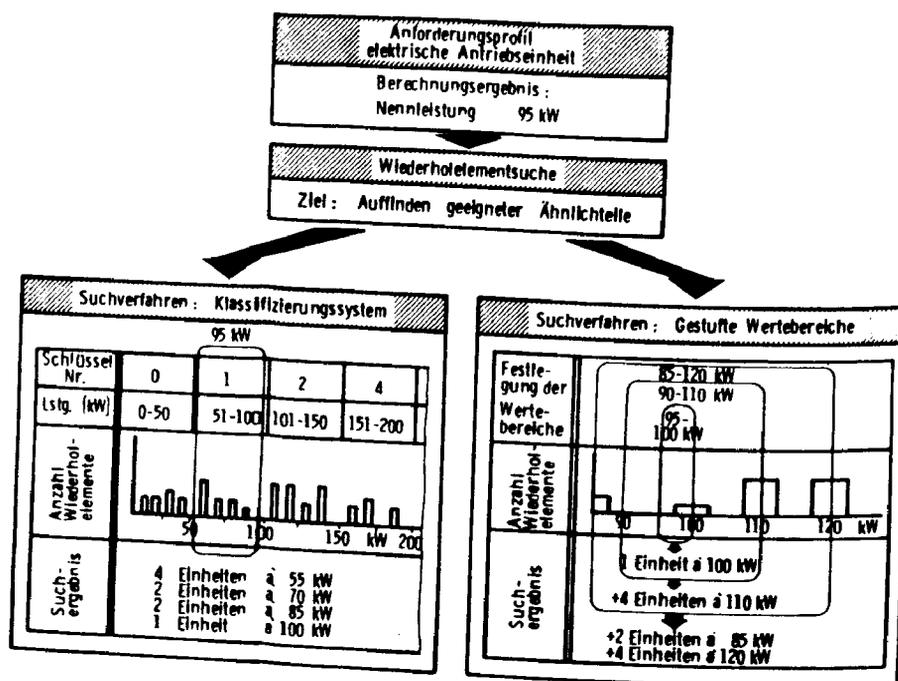


Bild 6-3: Vergleich der Suchergebnisse bei unterschiedlichen Verfahren für die Charakterisierung der Wiederholelemente

nung -, indem statt der berechneten Einzelwerte Bereiche vorgegeben werden, innerhalb derer die Merkmale variieren dürfen. Die Größe des Variationsbereiches drückt dabei implizit die Bedeutung des einzelnen Merkmals im Hinblick auf die Wiederverwendbarkeit des Elementes aus. Ein weiter Bereich zeigt an, daß das betreffende Merkmal die Wiederverwendbarkeit nur wenig beeinflusst; enge Bereiche bedeuten, daß nur geringe Abweichungen zulässig sein sollen. Bild 6-3 zeigt ein Beispiel für diese Suchtechnik. Dabei werden auch die Vorteile gegenüber der Verwendung eines Klassifizierungssystems deutlich.

Aufgaben eines entsprechenden Programmbausteins für die Wiederholelementsuche sind Benutzerführung bei Aufbau und Veränderung der Suchvorgabe sowie Suche und Ergebnisdarstellung. Außerdem sollte ein derartiger Baustein auch die Pflege und Aktualisierung der Datenbestände erleichtern. Die folgenden Ausführungen sollen zeigen, wie sich ein solches System mit dem Projektierungssystem verknüpfen läßt.

6.2 ANBINDUNG AN DAS PROJEKTIERUNGSSYSTEM

Ein Programmbaustein zur Verwaltung und Nutzung der Wiederholelementdaten, der die bereits genannten Merkmale aufweist, läßt sich - wie die Entwicklung einzelner Bausteine zeigt /84,144/ - auch als eigenständiges System realisieren und nutzen. Die Kopplung dieses Systems an das Projektierungssystem erfordert auch keine weiteren Änderungen; lediglich zwei wesentliche Schnittstellen sind zu definieren (Bild 6-4):

- die Erstellung der Suchvorgabe aus den Berechnungsergebnissen der Auslegung und
- die Rückgabe der Suchergebnisse.

Bei der Erstellung der Suchvorgabe lassen sich die Ergebnisse der Auslegung nutzen, die in den einzelnen funktionsträgerspezifischen Ergebnisbereichen abgespeichert sind. Eine vollautomatische Erstellung dürfte jedoch im allgemeinen nicht möglich und bei der hier vorgeschlagenen Arbeitstechnik auch nicht sinnvoll sein. So läßt sich wegen der Struktur und der Freiheitsgrade bei der Auslegung nicht sicherstellen, daß alle bei der Suche erfaßbaren Beschreibungsmerkmale zu einem Funktionsträger in dem entsprechenden Datenbestand enthalten sind.

Zweckmäßig ist deshalb, die im Zuge der Auslegung festgelegten Beschreibungsmerkmale für die Wiederholelementsuche zunächst nur zusammenzustellen. Welche Daten sich dazu aus dem jeweiligen funktionsträgerspezifischen Ergebnisbereich übernehmen lassen, ist in den funktionsträgerspezifischen Wiederholelementdaten niedergelegt (vgl. Bild 6-2).

Die weitere Aufbereitung und Ergänzung dieser Daten erfolgt unterschiedlich in Abhängigkeit von den einzelnen Datenarten

- textlich beschriebene, qualitative Merkmale,
- quantitative technische Einzeldaten und Bereichsangaben.

Dabei können die qualitativen Merkmale in großem Umfang ohne Benutzereingriffe zusammengestellt werden. Mittels der Benennungen (systemintern: Textkennziffern) für diese Merkmale wird auf den funktionsträgerspezifischen Ergebnisbereich zugegriffen. Soweit vorhanden, sind dadurch die zugehörigen Textkennziffern für die Merkmalsausprägungen aufzufinden und in die Suchvorgabe zu übernehmen, not-

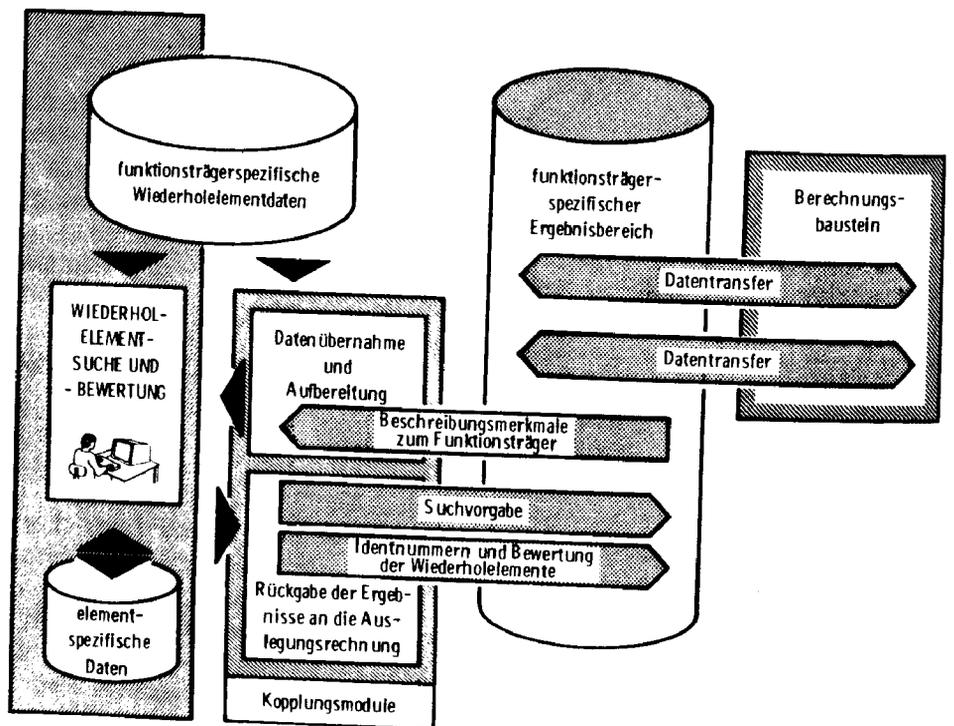


Bild 6-4: Schnittstellen zwischen Auslegung und Wiederholelementsuche

wendige Ergänzungen erfolgen im Dialog.

Auf die berechneten quantitativen Einzeldaten kann in der gleichen Weise zugegriffen werden. Hierbei ist jedoch aus bereits genannten Gründen eine Veränderung, z.B. die Angabe eines Wertebereiches, zu empfehlen. Gleiches gilt für Bereichsangaben, bei denen die übernommenen Werte für die Bereichsgrenzen zu prüfen sind.

Die Integration der Wiederholelementsuche erfordert also die Entwicklung von Kopplungsbausteinen, die die benötigten Daten aus den funktionsträgerspezifischen Ergebnisbereichen übertragen und zur Suchvorgabe umformen. Wesentlich dabei ist, daß die Zugriffe und die Datenverwaltung mittels derselben Mechanismen erfolgen wie bei der Auslegung.

Die auf diese Weise erstellte Suchvorgabe enthält implizit Entscheidungen und Ergänzungen des Benutzers, die nicht nur für die Wiederhol-

elementsuche von Bedeutung sind. Sie sollte deshalb für eine spätere Bewertung oder Prüfung unter einer speziellen Textkennziffer im Ergebnisbereich des betreffenden Funktionsträgers abgelegt werden. Diese Suchvorgabe stellt in ihrer Gesamtheit eine geordnete Menge von Einzeldaten dar. Daher sind auch keine besonderen Maßnahmen erforderlich, und die Suchvorgabe kann wie andere funktionsträgerspezifische Ergebnisse, z.B. Listen und Tabellen, verwaltet werden. Ebenso sind auch die Ergebnisse der Suche, im allgemeinen also die Identnummern der gefundenen Elemente sowie deren Bewertung, im funktionsträgerspezifischen Ergebnisbereich abzuspeichern.

Mit dem erfolgreichen Rückgriff auf vorhandene Lösungen stehen im allgemeinen auch Informationen über die exakte Geometrie der Elemente bzw. genauere Kenngrößen für eine Raumbedarfsabschätzung zur Verfügung. Diese lassen sich beim nächsten Planungsschritt, dem Layoutentwurf und dessen Optimierung nutzen.

7. LAYOUTPLANUNG

Die Analysen dieses Planungsschrittes haben gezeigt, daß bei der Layoutplanung und -optimierung eine Vielzahl von Einflußgrößen und Randbedingungen zu berücksichtigen sind, die sich nicht in einen geschlossenen Optimierungsalgorithmus umsetzen lassen. Als Hilfsmittel für diese Aufgabenstellung eignen sich nur interaktive, graphische Systeme, die hinsichtlich ihres Funktionsumfangs entsprechend gestaltet sind. Zusätzlich müssen sie über Möglichkeiten zur Bewertung des Layouts nach unterschiedlichen Kriterien verfügen bzw. sich entsprechend ausbauen lassen.

Entsprechend den vorgefundenen Aufgabenstellungen sollen zwei weitere Komponenten des Projektierungssystems konzipiert werden:

- ein erweiterbarer Baustein für den interaktiven Layoutentwurf, der bereits wesentliche Möglichkeiten zur Layoutoptimierung beinhaltet, und
- ein Baustein zur transportablauforientierten Layoutbewertung.

7.1 GRAPHISCH INTERAKTIVE LAYOUTPLANUNG UND -ANALYSE

Für die Layoutplanung lassen sich wesentliche Basisinformationen aus den vorangegangenen Projektierungsphasen übernehmen /145,146/. Dies sind zunächst Angaben zum Transportaufwand zwischen den Anlagenteilsystemen, der sich nach Art und Menge aus der Stoffflußrechnung ergibt und bei der Abstimmung der Teilsysteme näher spezifiziert ist.

Bei Teilsystemen, für die wiederverwendbare Lösungen ermittelt wurden, können die Abmessungen der erforderlichen Grundflächen bzw. die Grundrisse unmittelbar aus den Datenbeständen übernommen werden, die den einzelnen Wiederholelementen zugeordnet sind. Es ist jedoch ökonomischer und im Hinblick auf die hier geforderte und erreichbare Planungsgenauigkeit ausreichend, statt dessen Geometrie-Variantelemente für die verschiedenen Funktionsträgerarten zu entwickeln, die dann innerhalb des Layoutplanungssystems die benötigten Elementgeometrien in Abhängigkeit von einigen wesentlichen Wiederholelement-Kenngrößen generieren. Dieses Verfahren bietet sich auch dann an, wenn die Elementgeometrie aufgrund von Kenngrößen abzuschätzen ist, die bei der Auslegung ermittelt werden (vgl. Kap. 3.2).

Der Transfer dieser Kenndaten von der Auslegung zur Layoutplanung kann - in gleicher Weise wie bei der Wiederholelementsuche beschrieben - über Kopplungsmodule erfolgen.

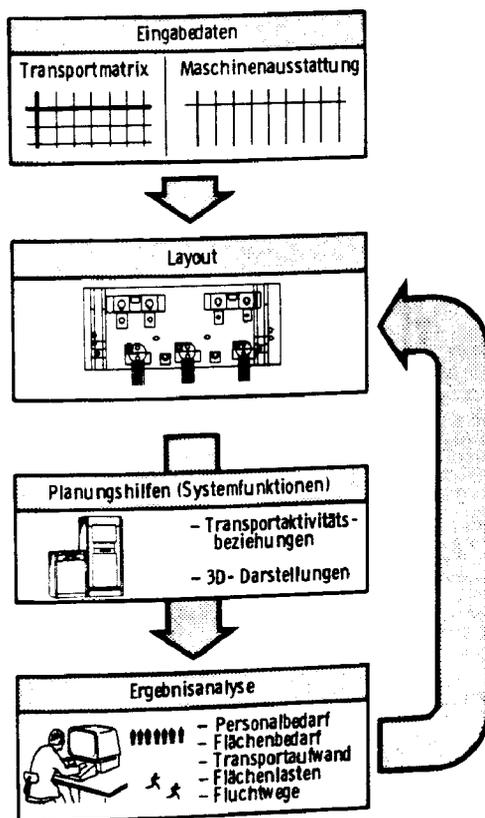


Bild 7-1: Ablauf des Layoutentwurfs

Hauptaufgabe bei der Layoutplanung ist dann, die festgelegten Maschinen oder Teilanlagen innerhalb der verfügbaren Flächen einzuplanen (Bild 7-1). Grundsätzlich darf dabei nur die Anordnung der Einrichtungen verändert werden, um vorgegebene Zielgrößen wie minimalen Transportaufwand, gute Raumausnutzung etc. zu erreichen. Veränderungen an der Maschinenausstattung sind demgegenüber nicht zulässig. Sie führen bezogen auf das Projektierungssystem zu einer Veränderung der bei der Abstimmung festgelegten Daten. Wenn also die Betriebseinrichtungen innerhalb des verfügbaren Areals nicht anzuordnen

sind, muß eine erneute Auslegung zur Bestimmung anderer Arbeitsabläufe und Einrichtungen erfolgen.

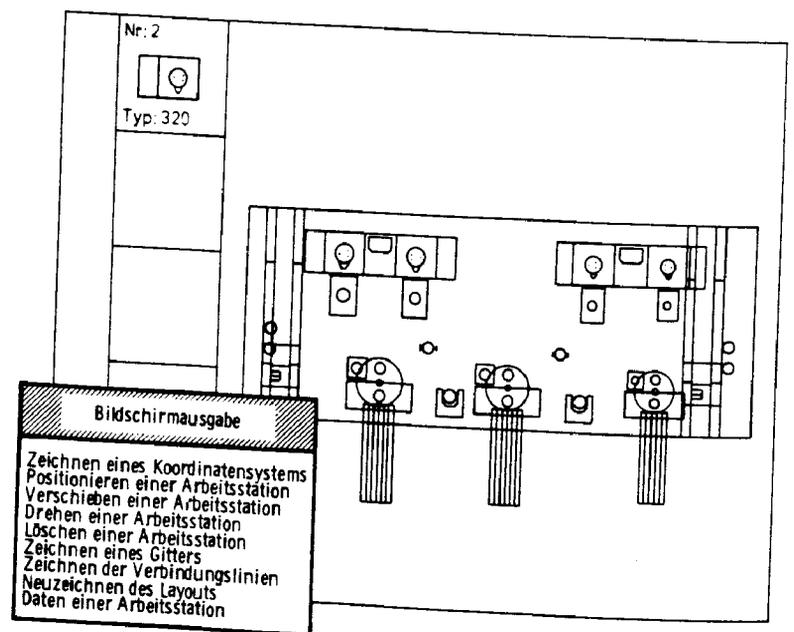


Bild 7-2: Interaktive Layouterstellung

Für den Layoutentwurf werden die zu platzierenden Einrichtungen in einer Menüleiste - im gleichen Maßstab wie das Gesamlayout - am graphischen Bildschirm angeboten (Bild 7-2). Zur Bearbeitung des Layouts und zur Veränderung von Elementpositionen existieren geeignete Systemfunktionen sowie umfangreiche Hilfsfunktionen, z.B. für das Positionieren nach bestimmten Kriterien und für die Ausgabe von Daten zu den einzelnen Elementen /147,148/.

Entsprechend den bereits genannten Anforderungen muß der Aufstellungsentwurf nach unterschiedlichen Kriterien zu bewerten sein (s.a. /149/). Dazu gestattet auch dieses System die Ermittlung des produktionsbedingten Transportaufwandes. Zusätzlich besteht hier die Möglichkeit, auch noch qualitative Kriterien einzubeziehen. Einflußgrößen sind dann neben den Transportmengen auch die Arten der zu befördernden Güter bzw. der damit verbundene technische Aufwand oder Schwierigkeitsgrad. Der gewichtete Transportaufwand ergibt sich, indem den einzelnen Materialmengen und -arten Bewertungsfaktoren zugeordnet wer-

den. Es lassen sich auch über die Materialflüsse hinausgehende Verbindungen zwischen den Teilsystemen berücksichtigen. Hierzu zählen z.B. von verschiedenen Abteilungen gemeinsam genutzte Einrichtungen, Kontakte zu Abteilungen wie Reparaturbetrieben oder auch unerwünschte Beeinflussungen durch störende Emissionen usw.. Ähnlich wie bei den Transportvorgängen läßt sich hier die Intensität der Kontakte bzw. Informationsflüsse definieren (Bild 7-3).

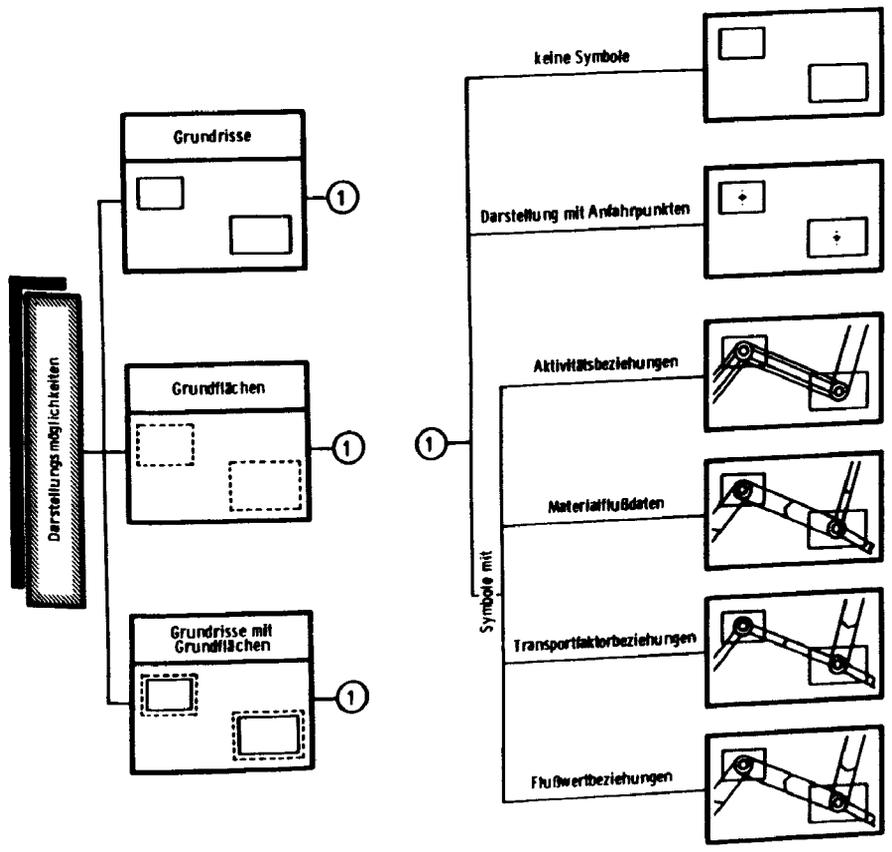


Bild 7-3: Möglichkeiten zur Darstellung des Layouts und der Elementverknüpfungen

Beim graphisch-interaktiven Entwerfen des Layouts werden diese Transport- und Verknüpfungsdigramme mit unterschiedlichen Liniendarstellungen ausgegeben, die Linienbreite ist dabei den einzelnen Transport- bzw. Verknüpfungsintensitäten proportional. Dabei kann die Darstellung

stellung des Layouts aus Symbolen, Maschinengrundrissen, den damit verbundenen Hilfs- und Nebenflächen oder aus Kombinationen der einzelnen Darstellungsarten bestehen (Bild 7-3).

Die genannten Darstellungs- und Bewertungsmöglichkeiten versetzen den Planer in die Lage, den Layoutentwurf stufenweise und gezielt zu verbessern. Von besonderem Vorteil ist dabei, daß Veränderungen des Layouts und deren Auswirkungen sofort und ohne längere Wartezeiten deutlich werden.

7.2 AUFBAU DES LAYOUTPLANUNGS-BAUSTEINS

Auch bei der Entwicklung des Layoutplanungs-Bausteins kam den Anforderungen hinsichtlich Ausbaubarkeit und Übertragbarkeit eine hohe Bedeutung zu. Zur Reduzierung des Entwicklungsaufwandes wurde als Basis ein allgemeines Graphik-Programmpaket verwendet /150/. Die spezifischen Bestandteile für die Layoutplanung - Generieren und Verwalten der Datenbestände für die unterschiedlichen Darstellungsarten und Layoutentwürfe, Aufbau der Arbeitsmenüs und Dialogführung - sind über Schnittstellen mit dem Graphikpaket verbunden. Das verwendete Graphikpaket gestattet den Aufbau von Drahtmodellen und damit auch die Ausgabe beliebiger perspektivischer Darstellungen der projektierten Objekte (Bild 7-4).

Vorteilhaft ist dabei die hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit. Als Nachteil ist zu sehen, daß aufgrund der rechnerinternen Modellierung keine automatische Sichtbarkeitsklärung erfolgen kann. Die günstigste Lösung würde hier ein Graphikpaket darstellen, das für das schnelle, interaktive Arbeiten ein Drahtmodell oder vereinfachtes Volumenmodell anbietet und für detaillierte Untersuchungen, für Kollisionsbetrachtungen und für die Ausgabe der endgültigen Angebotszeichnungen genauere Modellierungen zuläßt.

Anwendungsspezifische Anpassungen und Erweiterungen des Layoutplanungsbausteins sind auf zwei Arten möglich. Selten oder nur für einen Planungsfall benötigte Maschinen und Einrichtungen lassen sich interaktiv aus Grundelementen (Quader, Zylinder, Handrad,...) generieren. Für häufiger benötigte Elemente empfiehlt es sich, Variantenprogramme unter Nutzung der Graphikfunktionen zu erstellen.

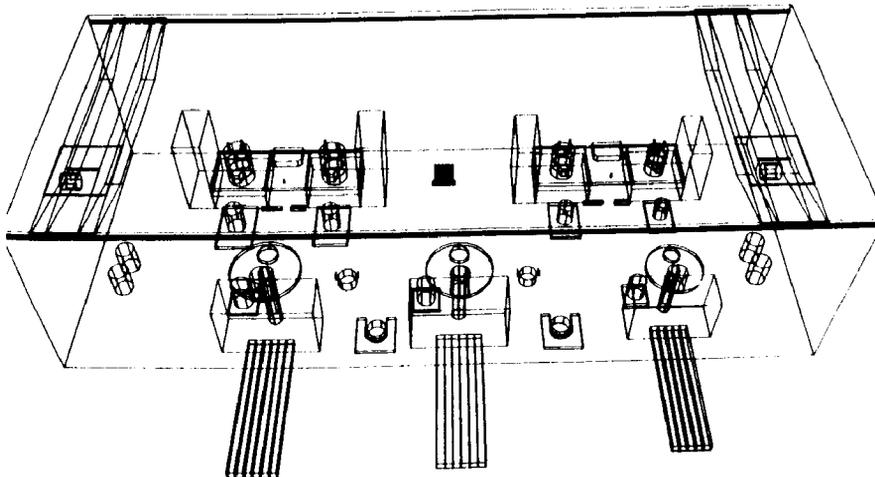


Bild 7-4: Perspektivische Darstellung eines Stahlwerkes

Wie erwähnt, besteht auch hier die Möglichkeit, Auslegungsergebnisse durch entsprechende Kopplungsmodule zu übernehmen. Um eine einheitliche, projektbezogen zentralisierte Datenspeicherung zu erreichen, sollten - wie bei der Wiederholelementsuche - auch hier die Planungsergebnisse an die Auslegung zurückgegeben werden.

Der Baustein für die Layoutplanung stellt die letzte weitgehend allgemeingültige Komponente des hier konzipierten anwendungsneutralen, übertragbaren Systems für die Angebotserstellung und Projektierung dar. Bei den darüberhinausgehenden Planungen nimmt der anwendungsspezifische Anteil immer stärker zu. Als Beispiel für ein derartiges, spezifisches Planungssystem wird im folgenden die Ermittlung der Brückenkrankapazität in Stahlwerken betrachtet.

7.3 SYSTEMBAUSTEIN FÜR DIE TRANSPORTABLAUF-ORIENTIERTE LAYOUTBEWERTUNG

Bereits die Analyse dieses Planungsschrittes zeigte, daß die einsetzbaren Planungsverfahren und Hilfsmittel stark durch die Art der zu berücksichtigenden Transportmittel bestimmt sind. Für die Pilotanwendung dieses Projektierungssystems bedeutet dies, daß ein System für die Planung des Brückenkraneinsatzes in Stahlwerken zu entwickeln ist. Die Nutzungsmöglichkeiten für ein entsprechendes Planungssystem lassen

sich wesentlich erweitern, wenn es nicht nur bei der Projektierung, sondern auch für die Optimierung von Betriebsabläufen in bestehenden Werken einsetzbar ist. Außerdem läßt sich auch hier durch eine strikte Trennung der anwendungsspezifischen Daten und Planungsschritte von den anwendungsneutralen Berechnungsabläufen und Algorithmen erreichen, daß das Planungssystem für vergleichbare Untersuchungen in anderen Arten von Produktionsstätten angepaßt werden kann.

Einflußgrößen auf den Materialfluß	Planungsaufgaben		
	Prozess- verbesserung	Umbau	Neubau
Sortiment	○	○	○
Arbeitsverfahren	○	○	○
Fördergüter	○	○	○
Förder- und Lagerpersonal	●	●	●
Organisation des Förderwesens	●	●	●
Flächen- und Raumnutzung	○	○	●
Fördermittel und Förderhilfsmittel ⁺	○	○	●
Arbeitsablauf	●	●	●
Innerbetriebliche Standorte	○	○	●
Förderwege	●	●	●

Variable Größen
bei der
Planung

Änderungsmöglichkeiten

- - gering
- (mit vertikaler Linie) - mittel
- - gut

⁺ im wesentlichen nur Änderung von Anzahl und technischen Daten

Bild 7-5: Einflußgrößen für die Planungsaufgabe

Ausgehend davon läßt sich die Zahl der bei der Planung von Materialflußsystemen relevanten Einflußgrößen /151/ (Bild 7-5) bereits erheblich reduzieren.

Bei der Bewertung der Einflußgrößen kann vorausgesetzt werden, daß das Sortiment bzw. Produktspektrum durch andere Kriterien als einen günstigen Materialfluß bestimmt ist. Dies gilt gleichermaßen für die Arbeitsverfahren bzw. Produktionseinrichtungen und die Arbeitsabläufe. Auf die Qualität eines Fördersystems wirken sich zweifellos das eingesetzte Personal und die Gesamtorganisation aus, die Berücksichtigung dieser Faktoren innerhalb eines Planungssystems erscheint jedoch problematisch. Die Flächen- und Raumnutzung werden durch das Transportmittel Brückenkran kaum beeinflußt.

Als Freiheitsgrade bei der Planung verbleiben also

- die Anzahl und Leistungsfähigkeit der Krane,
- die Arbeitsabläufe für die Krane,
- in gewissen Grenzen die Standorte der Fertigungseinrichtungen und dadurch bestimmt
- die Förderwege.

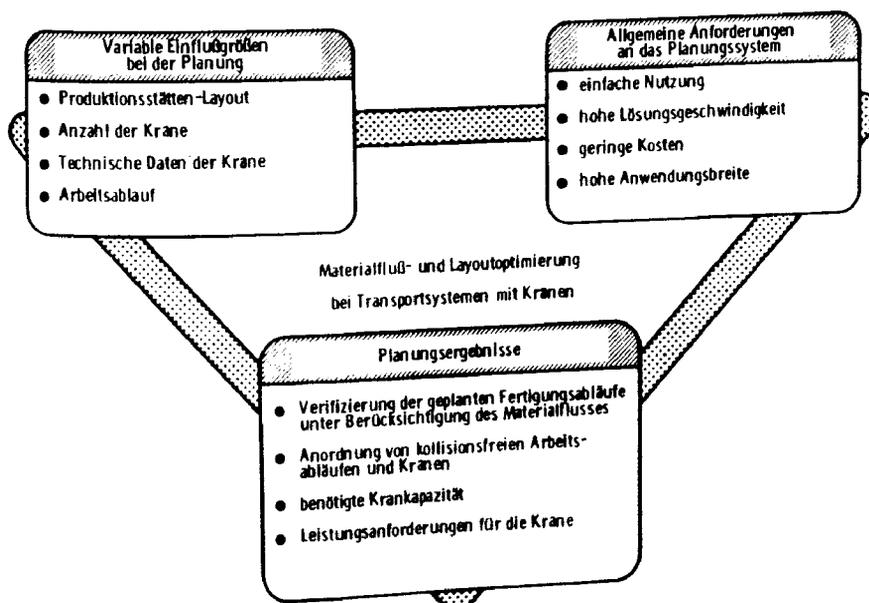


Bild 7-6: Anforderungen an das System für die Planung der Krankapazitäten und Transportabläufe

Im Rahmen einer Neuplanung sind im allgemeinen alle genannten Parameter variabel. Weniger Freiheitsgrade bestehen bei einer in Betrieb befindlichen Fertigungsstätte, in der häufige Betriebsstörungen durch Krankapazitäts-Engpässe eine Überprüfung der Transportvorgänge notwendig erscheinen lassen. Hier muß zunächst vom gegebenen Layout und der vorhandenen Transportkapazität ausgegangen werden.

Aus den hier und in Kap 3.4.2 diskutierten Aspekten für die Materialflußuntersuchungen beim Einsatz von Brückenkränen ergeben sich die in Bild 7-6 zusammengestellten Anforderungen an ein geeignetes Planungssystem, wobei auch die generellen Anforderungen an die Komponenten des Projektierungssystems nochmals aufgenommen sind.

Unter Berücksichtigung dieses Anforderungsprofils werden im folgenden eingeführte Planungsverfahren bewertet. Ziel dabei ist, ein Verfahren zu ermitteln, das sich für die hier zu betrachtende Planungsaufgabe einsetzen läßt, bzw. das als Basis für die Entwicklung eines entsprechenden Systembausteins dienen kann.

7.3.1 BEWERTUNG VERFÜGBARER PLANUNGSVERFAHREN

Für die Planung von Brückenkransystemen sind - wie bereits in Kap. 3.4.2 erwähnt - verschiedene Entscheidungsmodelle entwickelt worden. Diese reichen von analytischen Verfahren auf der Basis der Warteschlangentheorie bis zum maßstäblichen Modell der Fertigungsstätte mit Funktionsmodellen der Transportmittel. Alle diese Verfahren haben spezifische Nachteile hinsichtlich der Genauigkeit, des Aufwandes oder der Anforderungen an den Benutzer /105/.

So erlaubt ein analytisches Modell nur eine geringe Wirklichkeitstreue bei der Abbildung der realen Abläufe. Im allgemeinen lassen sich bei diesem Verfahren nur statistische Mittelwerte für die Einflußgrößen

- Verweilzeiten an den Produktionseinrichtungen,
- Zeitbedarf für Kranfahrten und
- Wahrscheinlichkeiten für die Betriebsbereitschaft der Krane

berücksichtigen /103,104/. Aussagen über die tatsächlichen Abläufe, die Zuordnungen von Kranen und Transportaufgaben sowie die exakten Werte für die Transportzeiten sind nicht zu ermitteln.

Durch Simulationsmodelle lassen sich die Betriebsabläufe wesentlich realitätsnäher abbilden. Nachteile dieses Verfahrens bestehen bei der Ergebnisdarstellung. Häufig werden die ermittelten Abläufe und Planungsergebnisse nur in Form von Tabellen oder Listen dokumentiert. Dies erschwert die Beurteilung und Auswertung; eine Umsetzung in Statistiken führt demgegenüber meist zu Informationsverlusten. Auch die Visualisierung der Ergebnisse am graphischen Bildschirm ist mit spezifischen Nachteilen behaftet. Durch Rasterbildschirme und die Entwicklung entsprechender Prozeduren sind zwar die technischen Voraussetzungen für die sogenannte Animation, d. h. die bewegte Darstellung von Abläufen, geschaffen /152/. Bei der Beobachtung der Simulationen bzw. Simulationsergebnisse für komplexe Transport- oder Produktionssysteme bestehen jedoch sehr schwierige Bedingungen.

- o Eine Vielzahl von Vorgängen läuft gleichzeitig ab.
- o Die Vorgänge sind zum Teil miteinander verflochten bzw. beeinflussen sich gegenseitig.
- o Zyklisch wiederholte, ähnliche Abläufe, die bei der hier betrachteten Planungsaufgabe einen Schwerpunkt bilden, sind dabei kaum erkennbar.

Erkenntnisse und Entwicklungen aus der Leitstandtechnik verdeutlichen, daß in derartigen Situationen die Informationen strukturiert werden müssen, um die Überwachbarkeit der Abläufe sicherzustellen /153/. In einem betrachteten Fall wurden 120 Anzeigeeinheiten in ein hierarchisches System von Überwachungsebenen eingeteilt. Die Anzahl voneinander unabhängiger Informationen pro Ebene belief sich nach der Strukturierung auf maximal 10.

Weitere Nachteile der Simulation bestehen im großen Umfang der benötigten Programmsysteme und deren zur Zeit noch unzureichenden Flexibilität. Trotz modularen Aufbaus läßt sich oft ein erheblicher Anpassungsaufwand nicht vermeiden, da die verfügbaren Simulationspakete entweder sehr allgemein oder aber für spezielle Aufgabenstellungen entwickelt sind /101,102,154-158/. Bezogen auf die hier betrachtete Anwendung müßte ein System also um die Berechnungen der Kranzeiten - Fahr- und Hebezeiten - und um die Steuerungsstrategien und Prioritätsregeln für Kollisionsfälle erweitert werden. Solche Regeln und Algorithmen müssen vor dem Einsatz des Simulationssystems vollständig erfaßt und umgesetzt werden, da nachträgliche Änderungen oder Erweiterungen - wie bei den bereits diskutierten, im Stapelbetrieb zu nutzenden Layoutplanungspaketen - im allgemeinen nicht kurzfri-

stig möglich sind. Die Simulation stellt deshalb relativ geringe Anforderungen an den Nutzer, für die Aufbereitung und Anpassungen sind jedoch umfangreiche Kenntnisse des Simulationssystems und der realen Betriebsabläufe notwendig.

Das dritte genannte Planungsverfahren, das Funktionsmodell, kann wegen des damit verbundenen Aufwandes nur die Ausnahme sein. Dieser Nachteil wird auch durch die Anschaulichkeit und Wirklichkeitstreue des maßstäblichen Modells nicht aufgewogen.

Ein Vergleich dieser Verfahren mit der bereits beschriebenen Methode der Weg-Zeit-Diagramme für die Kranfahrten zeigt, daß diese einige Vorteile bietet (Bild 7-7).

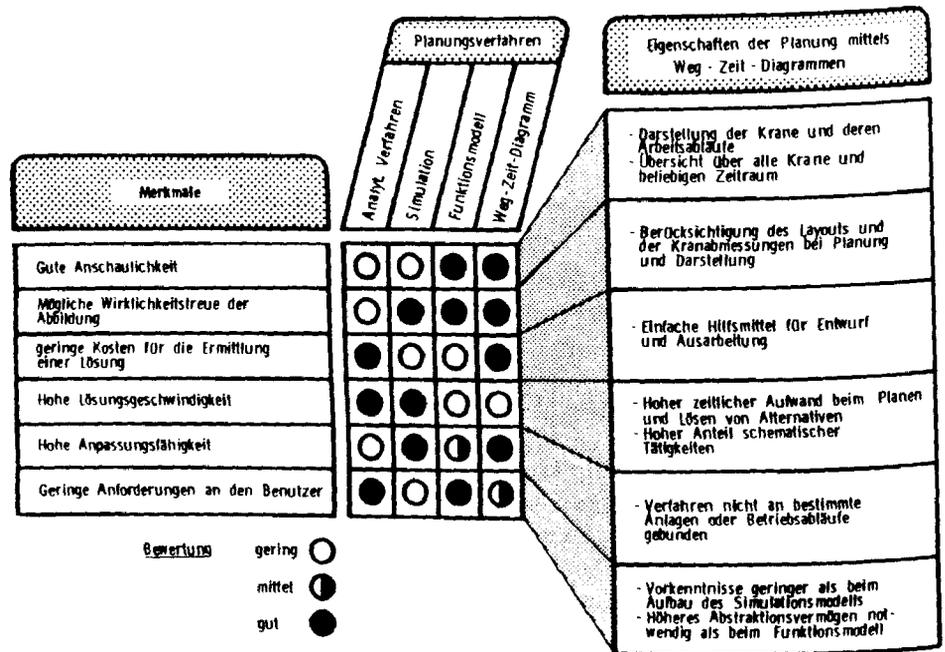


Bild 7-7: Gegenüberstellung der Krankapazitätsplanung mittels Weg-Zeit-Diagrammen und anderer Planungsverfahren

Hinsichtlich der Anschaulichkeit und der Berücksichtigung der realen Betriebsabläufe reicht dieses Planungsmodell aus. Vorteilhaft ist, daß kein Vorbereitungsaufwand, z.B. für den Aufbau eines Modells oder

die Anpassung eines Simulationsprogramms und die Datenaufbereitung, anfällt. Andererseits muß der Planer selbst gut mit den realen Betriebsabläufen in der Produktionsstätte vertraut sein. Der wesentliche Nachteil des Planungsmodells entsteht aus dem - gegenüber der Simulation oder dem analytischen Verfahren - hohen manuellen Aufwand und Zeitbedarf. Prinzipiell ist es jedoch für die betrachtete und für vergleichbare Aufgabenstellungen am besten geeignet. Es soll deshalb als Basis für die Entwicklung eines rechnerunterstützten Planungssystems genutzt werden.

7.3.2 FUNKTIONEN DES SYSTEMBAUSTEINS "TRANSPORTABLAUFORIENTIERTE LAYOUTBEWERTUNG"

Wie bei den anderen Bausteinen des Projektierungssystems erscheint es auch bei der vorliegenden Aufgabenstellung sinnvoll, kein hochautomatisiertes System zu entwickeln. Hauptursache dafür ist, daß die jeweils gültigen Prioritäts- und Ausweichregeln stark vom jeweiligen Planungsfall abhängen. Bei der Vielzahl von Regeln und Maßnahmen erscheint es kaum möglich, die notwendigen Regelwerke ausreichend schnell zu aktualisieren, wenn sie innerhalb des Planungssystems verankert sind. Aus dieser Überlegung resultieren die in Bild 7-8 gezeigten Anforderungen an das Planungssystem.

Eine zentrale Aufgabenstellung bei der Systemkonzeption ist, die rechnerinterne Darstellung der bei der Planung benötigten und verarbeiteten Informationen, d.h.

- Layout,
- Krandaten und
- Transportabläufe,

sowie geeignete Eingabe- und Arbeitstechniken zu definieren. Bei bestimmten Anwendungen, z.B. Optimierung des Betriebsablaufs in bestehenden Anlagen, ist es auch sinnvoll, das System unabhängig von den anderen Bausteinen des Projektierungssystems einzusetzen. Daraus resultiert, daß die für die Planung benötigten Informationen nicht nur aus anderen Modulen zu übernehmen, sondern auch einzeln einzugeben sein müssen. Außerdem müssen Eingabe und Veränderung dieser Informationen während des Diagrammentwurfs mit geringem Aufwand durchführbar sein.

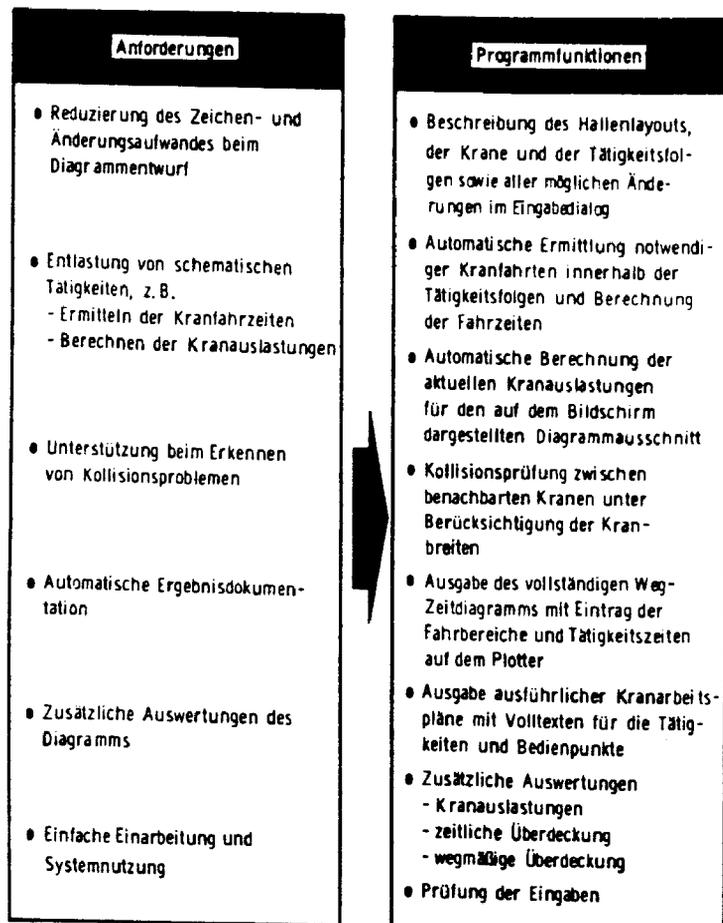


Bild 7-8: Anforderungen an den Baustein zur transportablauforientierten Layoutbewertung

Für das interaktive Arbeiten, z.B. bei der Beschreibung von Werkstücken mit ihren geometrischen und technologischen Daten, haben sich problemorientierte Eingabesprachen bereits bewährt /159/. Dies gilt besonders, wenn die verwendeten Sprachelemente nach mnemotechnischen Kriterien ausgewählt und in ihrer Anzahl überschaubar sind.

Zur Beschreibung des Layouts lassen sich bei der vorliegenden Aufgabenstellung die auch beim konventionellen Diagrammentwurf verwendeten Kurzbezeichnungen für die einzelnen Anfahrpunkte nutzen (vgl.

Bild 3-20). Ergänzt durch Koordinaten für die Lage der Anfahrpunkte in der betrachteten Produktionsstätte genügen diese Angaben über das Layout für die nachfolgenden Planungen.

Die Beschreibungsdaten für die Krane müssen die für die Fahrzeitberechnungen und Kollisionsprüfungen notwendigen technischen Daten, d. h. Kranbreiten sowie Fahr- und Hebegeschwindigkeiten, beinhalten.

Demgegenüber erfordert die Definition einer anforderungsgerechten Eingabesprache für die Krantätigkeiten und -tätigkeitsfolgen weitere Überlegungen. Als Minimalinformationen zur Beschreibung einer Krantätigkeit sind folgende Informationen anzusehen:

- der Ort, an dem die Tätigkeit auszuführen ist,
- die Dauer der Tätigkeit,
- die Art der Tätigkeit und
- die Identifikation des ausführenden Kranes.

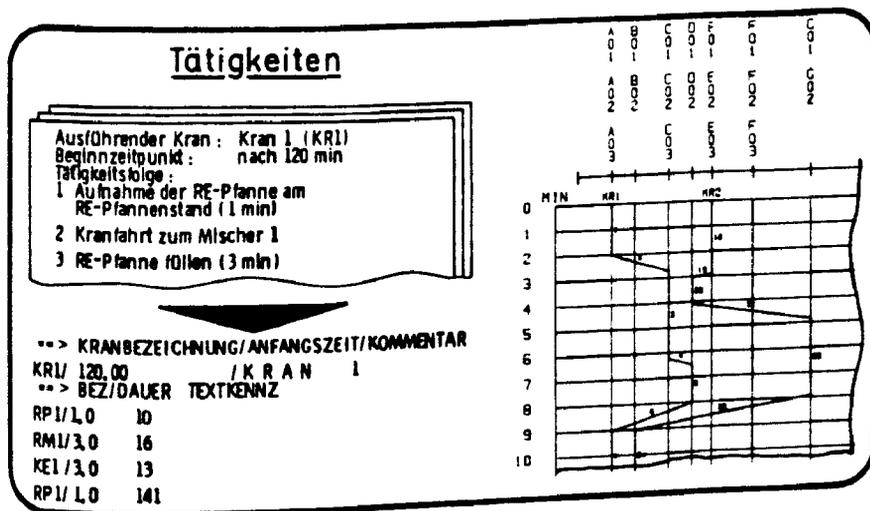


Bild 7-9: Eingabe von Tätigkeitsfolgen

Ein Beispiel für die entsprechend den genannten Anforderungen gestaltete Beschreibungssprache zeigt Bild 7-9. Die wesentlichen Merkmale hierbei sind:

- o Keine Eingabe von Kranfahrten
Notwendige Kranfahrten einschließlich der Fahrzeiten zwischen den einzelnen Tätigkeiten lassen sich aufgrund der Layoutbeschreibung und der Krantätigkeiten automatisch ermitteln; zusätzliche Ausweichfahrten werden allein durch die Angabe von Warteposition und -dauer definiert.
- o Tätigkeiten und Tätigkeitsfolgen unabhängig vom ausführenden Kran und vom Zeitpunkt der Ausführung
Die Beschreibungen der Tätigkeitsfolgen enthalten nur Informationen über die Anfahrpunkte, die geschätzten Tätigkeitsdauern und - über eine Textkennziffer verschlüsselt - die Art der Tätigkeit. Für die Übernahme ins Weg-Zeit-Diagramm muß eine Kopfzeile ergänzt werden, die die Tätigkeitsfolge dem ausführenden Kran zuordnet und den Beginnzeitpunkt festlegt.

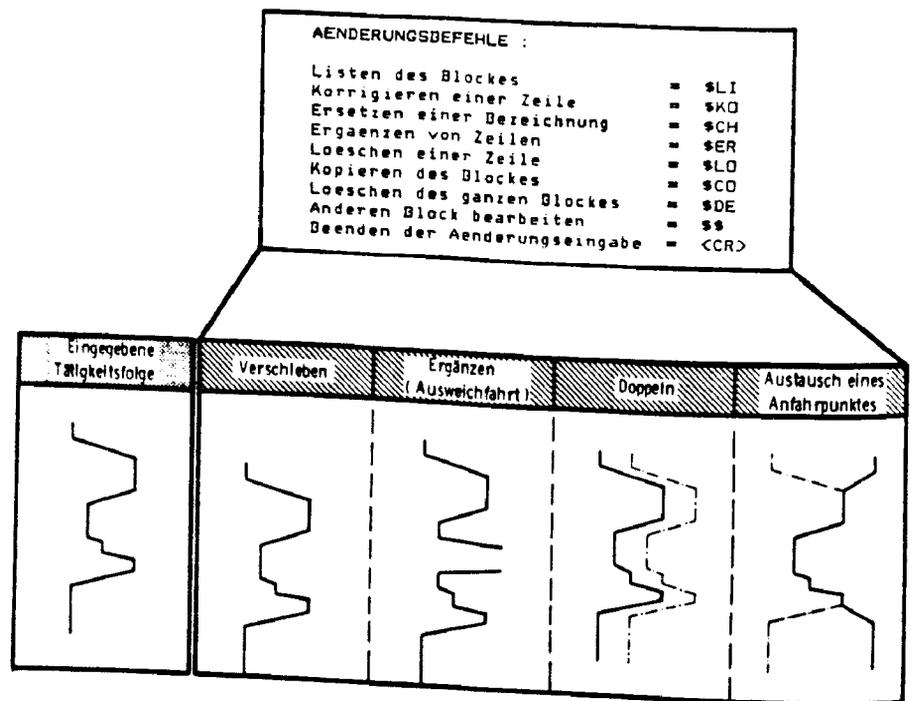


Bild 7-10: Funktionsumfang des Änderungsprozessors

Die entwickelte Beschreibungssprache ermöglicht es, eingegebene Tätigkeitsfolgen zu verändern und wiederzuverwenden, d.h., zu anderen Zeitpunkten oder durch andere Krane zu wiederholen. Die Konzeption und Realisierung eines leistungsfähigen Änderungsprozessors (Bild 7-10), der die notwendigen Benutzerdialoge unterstützt und kontrolliert, bildet deshalb einen weiteren Schwerpunkt der Systementwicklung /160/.

Bei der hier entwickelten Form der Eingabe lassen sich auch die Layout- und Krandaten noch nach der Eingabe von Tätigkeitsfolgen verändern. Dies ist möglich, da der Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen Datengruppen durch die Kurzbezeichnungen für die Anfahrpunkte und Krane hergestellt wird bzw. erhalten bleibt, und deshalb das neue, veränderte Diagramm ohne weitere Benutzereingriffe automatisch erstellt werden kann.

Als unbedingt notwendige Systemfunktion ist auch die automatische Prüfung der Kranbewegungen auf Kollisionen eingestuft. Im Gegensatz zur konventionellen Bearbeitung sollte dies nicht nach Ermessen des Planers, sondern bei allen Kranbewegungen erfolgen. Voraussetzung dafür ist, daß ein geeigneter, für einen Dialogbetrieb ausreichend schneller Algorithmus zur Verfügung steht.

Dazu kann folgende Modellvorstellung dienen (Bild 7-11). Die im Diagramm dargestellten Mittelpunktsbewegungen der Krane werden um die Bewegungslinien für deren Eckpunkte ergänzt /161/. Geometrisch bedeutet dies eine Parallelverschiebung der Mittelpunktsbewegung um die halbe Kranbreite nach rechts bzw. links. Die so berandeten Flächen beinhalten alle Positionen, an denen sich die Krane zu den unterschiedlichen Zeitpunkten, d.h. bei Fahrten oder ortsfesten Tätigkeiten, befinden. Um Kollisionen zu ermitteln, reicht es aus, statt der Flächen nur deren Berandungslinien zu untersuchen. Existiert ein Schnittpunkt von deren Berandungslinien, so verlaufen deren Bewegungen nicht kollisionsfrei; die - sehr einfach zu berechnenden - Schnittpunktskoordinaten entsprechen Ort und Zeitpunkt der Kollision.

Der hier entwickelte Algorithmus arbeitet wesentlich genauer als eine Prüfung der Kranpositionen für bestimmte, kurze Zeitabstände, da nicht einzelne Positionen, sondern Ersatzmodelle für den kontinuierlichen Ablauf untersucht werden. Trotzdem sind auch die Anforderungen hinsichtlich des geringen Rechenzeitbedarfs und eines guten Antwortzeitverhaltens zu erfüllen.

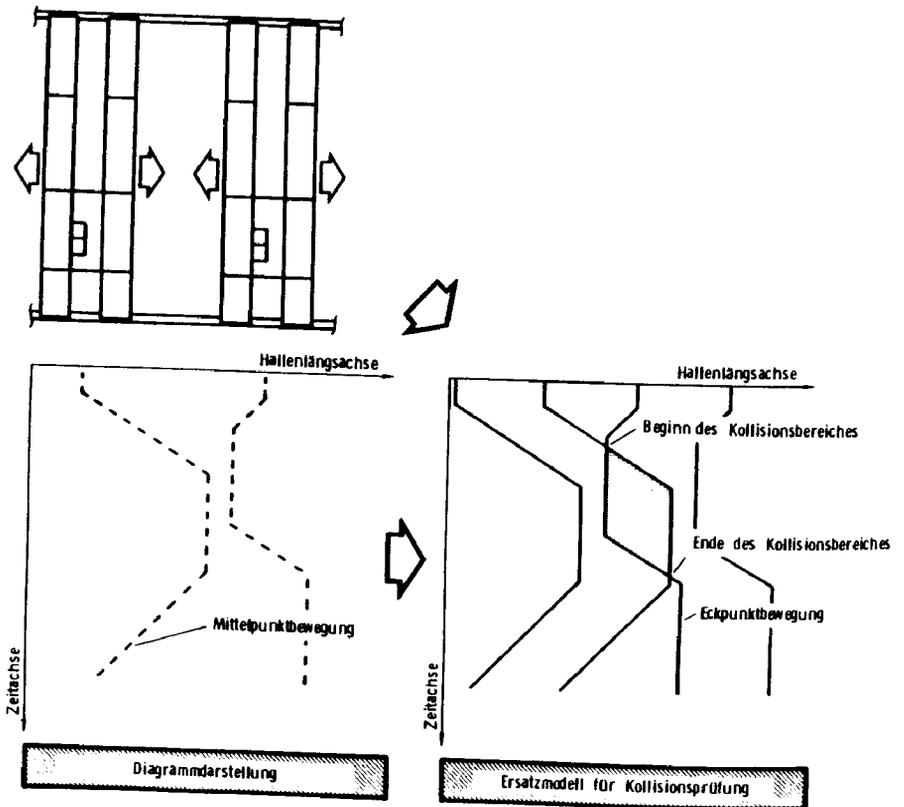


Bild 7-11: Kollisionsprüfung für die Kranbewegungen

Die Betrachtungen verdeutlichen, daß sich ein so gestaltetes System insbesondere für den interaktiven Entwurf der Diagramme eignet (Bild 7-12).

Die Systemfunktionen zum Modifizieren und Wiederverwenden von Layoutdaten und Tätigkeitsblöcken - auch aus früher erstellten Diagrammen - sowie die Änderungsmöglichkeiten für das Layout und die Krاندaten beschleunigen und vereinfachen den Diagrammentwurf und insbesondere die Ausarbeitung von Alternativen. Vorteilhaft sind dabei auch Zusatzfunktionen wie die automatische Berechnung der jeweiligen Kranauslastungen und Diagrammauswertungen nach unterschiedlichen Kriterien. Ein interaktives Arbeiten unter Nutzung der Systemfunktionen dürfte deshalb generell einer detaillierten Vorplanung vorzuziehen sein.

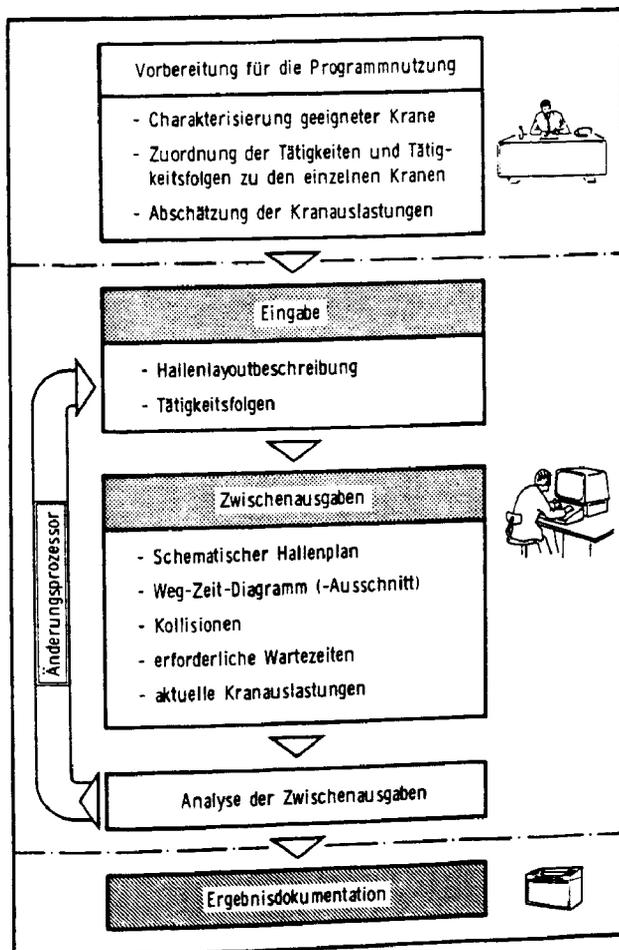


Bild 7-12: Nutzung des Systems zur transportablauforientierten Layoutbewertung

Das Planungssystem ist in der beschriebenen Form selbständig nutzbar. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Daten aus der Layoutplanung direkt zu übernehmen. Wenn darüberhinaus eine Kopplung der Layoutplanung mit der Auslegung besteht, können sowohl die Layoutdaten als auch die benötigten Daten zum Produktionsablauf aus einem zentralen, projektbezogenen Datenbestand übernommen werden. Dies ist im Zuge der weiteren Nutzung und des Systemausbaus zu erwarten.

8. NUTZUNG DES GESAMTSYSTEMS UND ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN

Die beschriebenen Bausteine des Gesamtsystems wurden auf der Datenverarbeitungsanlage des Laboratoriums für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen entwickelt. Praxiserprobung und Pilotanwendung führt ein industrieller Anwender über Datenfernverarbeitung durch.

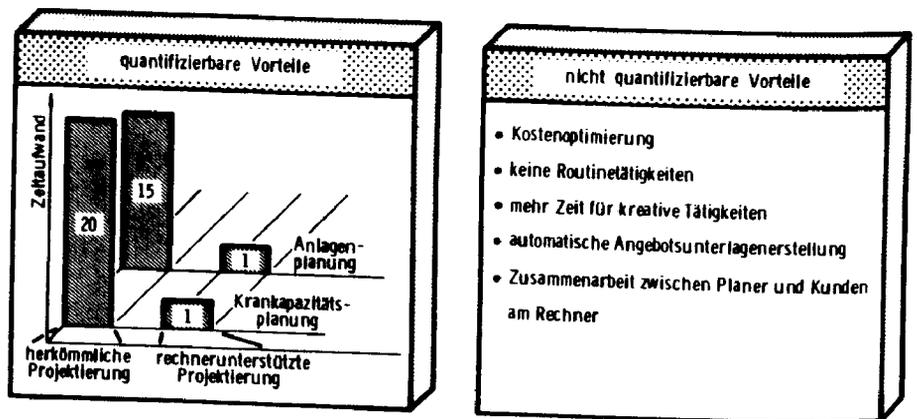


Bild 8-1: Quantifizierbare und nicht quantifizierbare Vorteile beim rechnerunterstützten Projektieren (nach /162/)

Dabei zeigen sich schon jetzt die erzielbaren Arbeitsbeschleunigungen und die qualitativen Vorteile, die aus der rechnerunterstützten Projektierung resultieren (Bild 8-1).

Wesentliche Vorteile für die Aquisition und Angebotsbearbeitung ergeben sich daraus, daß Lösungsalternativen und Auswirkungen von Änderungswünschen des Kunden sehr schnell zu überprüfen sind. Dies kann durchaus auch im Beisein des Kunden und unter seiner Mitarbeit erfolgen. Auch die Studien über den Kraneinsatz in projektierten Stahlwerken erweisen sich als erfolgreich. Im Zuge einer solchen Untersuchung konnte sogar nachgewiesen werden, daß statt der vom Kunden vorgesehenen drei Krane zwei Krane dieselben Aufgaben wesentlich besser erfüllen können. Die Möglichkeit, derartige Studien und Beratungen anzubieten, kann als erheblicher Wettbewerbsvorteil angesehen werden. Aufgrund dessen und der bisher schon erreichten Zeitvorteile bei der Bearbeitung beabsichtigt der Pilotanwender, den Rechereinsatz für die Projektierung weiter zu verfolgen und auszubauen.

Der Baustein für die transportablauforientierte Layoutbewertung wird derzeit noch als selbständiges System, d. h. ohne Kopplung zur Auslegungsrechnung oder zur Layoutplanung betrieben. Weitere Entwicklungsarbeiten sind an diesem Paket nicht mehr zu leisten. Bei den Systembausteinen für die Auslegung erfolgen parallel zum Testbetrieb noch Ergänzungen und Erweiterungen der anwendungsspezifischen Systembestandteile, um diese den Wünschen der Fachabteilungen besser anzupassen. Deshalb sind derzeit noch keine zuverlässigen Kosten-Nutzen-Betrachtungen möglich.

Weitere Arbeitsbeschleunigungen dürften zu erzielen sein, wenn nicht nur die einzelnen Systembausteine als selbständige Einheiten, sondern integriert genutzt werden. So existiert bereits eine Kopplung der Bausteine Layoutplanung und transportablauforientierte Layoutbewertung; diese Kombination wird jedoch frühestens nach dem Abschluß der Entwicklungsarbeiten am Systembaustein zur Auslegung für die Pilotanwendung übernommen.

Grundsätzlich ist festzustellen, daß sich das hier entwickelte System auch auf andere Planungsaufgaben übertragen läßt. Es ist prinzipiell nicht - wie im Falle der Pilotanwendung - an die Planung stoffumsetzender Anlagen und Maschinensysteme gebunden. So liegt es nahe, das System auch für energie- oder signalumsetzende technische Systeme anzuwenden. Voraussetzung dabei ist, daß sich die jeweiligen anwendungsspezifischen Berechnungen in der hier beschriebenen Weise abgrenzen und verknüpfen lassen. Außerdem müssen entsprechende Kopplungsgrößen zu definieren sein, aufgrund derer sich die Verträglichkeit und Aufeinanderfolge der zu projektierenden Teilsysteme bzw. der zugehörigen anwendungsspezifischen Berechnungsbausteine abbilden läßt. Gegenstand weiterer Arbeiten könnte auch sein, ein vergleichbares Berechnungsmodell im Rahmen eines Entwurfssystems für Maschinenbaugruppen abzuleiten. Auch dabei existieren einzelne, bestimmten Funktionsträgern zugeordnete Berechnungen, die bei der Auslegung verknüpft werden müssen /163/.

Kurzfristig wird das System für die Auslegung von Kunststoff-Extrusionsanlagen angepaßt werden. Der besondere Vorteil dieses Entwicklungsprojektes liegt darin, daß bereits erprobte, anwendungsspezifische Berechnungsbausteine in größerer Zahl vorhanden sind /164/.

Mit den hier entwickelten anwendungsneutralen Programmbausteinen für die Angebotserstellung und Projektierung steht zukünftigen Anwendern eine umfangreiche Basis zur Verfügung, die ihnen den Aufbau entsprechender betriebsspezifischer Systeme wesentlich erleichtert. Trotzdem muß darauf hingewiesen werden, daß jeweils noch ein gewisser Aufwand für die Systematisierung und Umsetzung der spezifischen Berechnungen zu leisten ist. Andererseits ist nur bei dieser Vorarbeit ein effizienter und erfolgreicher Systemeinsatz zu erwarten.

9. ZUSAMMENFASSUNG

Zunehmender Konkurrenzdruck zwingt die Anbieter von komplexen Maschinensystemen und Anlagen, sich immer stärker an den Vorstellungen und Änderungswünschen der Anfrager zu orientieren. Dies führt zu einer deutlich erhöhten Anzahl zu bearbeitender Angebote. Trotz des steigenden Angebotsaufwandes ist jedoch nur eine gleichbleibende oder sogar verringerte Zahl von Aufträgen zu erwarten.

Neben konventionellen Hilfsmitteln bietet sich hier der Einsatz von EDV-Systemen an, um den zeitlichen und personellen Aufwand für die Projektierung und Angebotsbearbeitung zu reduzieren bzw. mit gleichem Personalbestand mehr und qualitativ bessere Angebote zu erstellen. Voraussetzungen für den EDV-Einsatz sind dabei, daß sich die Planungsabläufe systematisieren und zumindest teilweise algorithmieren lassen.

Analysen der Planungs- und Projektierungsabläufe zeigen die grundsätzliche Ähnlichkeit der einzelnen Planungsschritte auch für unterschiedliche Anlagenarten. Innerhalb dieser Abläufe sind insbesondere im Bereich Sondermaschinen- und Anlagenbau vielfältige und umfangreiche anbieterspezifische Auslegungsalgorithmen festzustellen. Für das einzelne Unternehmen verursachen jedoch die Umsetzung dieser Algorithmen und der Aufbau eines kompletten Programmsystems einen erheblichen Aufwand. Dem steht eine vergleichsweise geringe Nutzungshäufigkeit sowie die relativ häufige Notwendigkeit zur Aktualisierung infolge technischer Weiterentwicklungen der anzubietenden Produkte gegenüber.

Zur Verbesserung dieser Situation wird ein modulares Planungs- und Projektierungssystem entwickelt, das sich mit geringem Aufwand an spezifische Planungsaufgaben anpassen läßt. Zu den wesentlichen Merkmalen dieses Systems gehören:

- strikte Trennung von betriebsspezifischen und -neutralen Systembestandteilen,
- klare Abgrenzung der einzelnen Planungsmodule, um die Systemeinführung und den Ausbau in angepaßten Abstufungen zu ermöglichen.

Entsprechend den Arbeitsschritten beim konventionellen Projektieren beinhalten die einzelnen Module

- qualitative und quantitative Auslegungen der Gesamtanlage und ihrer Teilsysteme,
- teilsystembezogene Detailplanungen, z.B. durch den Rückgriff auf ähnliche, wiederverwendbare konstruktive Lösungen oder durch zusätzliche Planungssysteme,
- Layoutentwurf und -optimierung nach unterschiedlichen Kriterien.

Dabei ist der Leistungsumfang aller Module auf die unterschiedlichen Anlagenstrukturen, d. h. lineare und verzweigte Stoff- bzw. Energieflüsse, ausgerichtet. Dies wirkt sich besonders bei den Modulen für die Anlagenauslegung und die Layoutplanung aus und erfordert neue Lösungsansätze. Aufgrund der hier vorgenommenen Gliederung der Planungs- und Berechnungsschritte ist ein Berechnungsmodell entstanden, das sich auch bei komplexen Strukturen mit Verzweigungen und Rückflüssen anwenden läßt. Die neuentwickelten Layoutplanungs-Bausteine unterstützen die Prüfung und Bewertung von Layoutentwürfen nach unterschiedlichen Kriterien.

Neben der Ermittlung des notwendigen Leistungsumfanges der einzelnen Module war die Definition der Schnittstellen zu den anwendungsspezifischen Erweiterungen eine wesentliche Entwicklungsaufgabe. Das dazu erarbeitete - methodenbankähnliche - System- und Datenmodell erlaubt es, die betriebsspezifischen Berechnungsbausteine einzeln und weitgehend unabhängig vom Projektierungssystem aufzubauen und zu erproben. Nach Fertigstellung werden diese Bausteine dann ohne Änderungen der betriebsneutralen Bestandteile in das Projektierungssystem eingebunden. Zusätzlich wurde eine Systematik entwickelt, die es erlaubt, trotz der relativ großen Eigenständigkeit der einzelnen Berechnungsbausteine den logisch korrekten Ablauf der gesamten Berechnung zu überwachen und den Benutzer zu führen.

Die Gültigkeit des Konzeptes und die Funktionsfähigkeit der betriebsneutralen Systembestandteile konnte im Rahmen einer Pilotanwendung für Stahlwerke erfolgreich nachgewiesen werden. Als Vorteile zeigen sich dabei insbesondere:

- Reduzierung des Entwicklungsaufwandes für den Anwender,
- leichte Aktualisierbarkeit der anwenderspezifischen Berechnungsbausteine,
- deutliche Verbesserung und Beschleunigung der Planungsabläufe.

Aus diesem Grunde soll das System im Rahmen weiterer Arbeiten auch für die Planung weniger komplexer Maschinensysteme übernommen und angepaßt werden.

10. LITERATUR

- /1/ Eversheim, W. Konstruieren, Planen, Steuern
Vorwort zu den Vorträgen beim
Aachener Werkzeugmaschinen-
Kolloquium, 7./8. Juni 1984
Industrie-Anzeiger, 106. Jg., Nr. 56
vom 13.7.1984, S. 24
- /2/ Eversheim, W. Bearbeitungseinheiten flexibler
Zeit, W. Fertigungsstraßen
Koch, L. F. Industrie-Anzeiger, 106. Jg., Nr. 66
Erkes, K. vom 17.8.1984, S. 18-21
- /3/ Eversheim, W. Organisation in der Produktionstechnik
Band 2: Konstruktion
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1982
- /4/ Backhaus, K. Anfrageselektion
Dringenberg, H. in: "Planung im industriellen
Anlagengeschäft"
Sammelband, hrsg. v. K. Backhaus
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1984
- /5/ Weiss, H. Situation und Perspektiven der deut-
schen Wirtschaft in nationalen und
internationalen Märkten
Tagungsband zur 2. VDI-Vertriebsinge-
nieur-Tagung 1982 "Fortschrittliche
Methoden des Technischen Vertriebs"
VDI-Bericht 461
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1982
- /6/ Autorenkollektiv Rationelle Angebotserstellung und
Anlagenprojektierung
Vortrag zum 16. Aachener Werkzeug-
maschinen-Kolloquium
Industrie-Anzeiger, 100. Jg., Nr. 77
vom 27.9.1978, S. 32-36
- /7/ Müller, H.-G. Anlagentechnik im Hüttenwesen
Vorlesung, RWTH Aachen, 1984

- /8/ Morner, P. Auf Sand gesetzt
Capital 9/83, S. 167-174
- /9/ Weiber, R. Die Nachfrage nach Dienstleistungen
im internationalen Anlagengeschäft
Arbeitspapier Nr. 5/84
Reihe: Arbeitspapiere zur Betriebs-
wirtschaftslehre des industriellen
Anlagengeschäftes
Hrsg.: K. Backhaus
Johannes-Gutenberg-Universität,
Mainz, 1984
- /10/ Hombach, H. Exportkreditversicherung und
Exportfinanzierung
Arbeitspapier Nr. 2/82
Reihe: Arbeitspapiere zur Betriebs-
wirtschaftslehre des industriellen
Anlagengeschäftes
Hrsg.: K. Backhaus
Johannes-Gutenberg-Universität,
Mainz, 1984
- /11/ Fischer, W. Rationalisierung der technischen
Minolla, W. Angebotsbearbeitung
Betriebstechnische Reihe, RKW-REFA
Beuth-Verlag, Berlin, Köln, 1980
- /12/ Grabowski, H. Rationelle Angebotsbearbeitung in
Kambartel, K.-H. Unternehmen mit Auftragsfertigung
Girardet-Verlag, Essen, 1978
- /13/ Eversheim, W. Angebotsabwicklung - Ermittlung der
Koch, R. optimalen Aufbau- und Ablauf-
Radermacher, W. organisation -
Betriebstechnische Reihe, RKW-REFA
Beuth-Verlag, Berlin, Köln, 1982

- /14/ Eversheim, W.
Minolla, W.
Fischer, W. Angebotskalkulation mit Kostenfunktionen in der Einzel- und Kleinserienfertigung
Betriebstechnische Reihe, RKW-REFA
Beuth-Verlag, Berlin, Köln, 1977
- /15/ Brückner, K. Rechnerunterstützte Anlagenprojektierung
Tagungsband zur 1. VDI-Vertriebsingenieur-Tagung "Markt und Ingenieur in den 80-er Jahren"
VDI-Bericht 382
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1980
- /16/ Spur, G. Technischer Informationsfluß beim Einsatz von EDV
wt-Zeitschrift für industrielle Fertigung, 73. Jg., Nr. 7, S. 435-445
- /17/ Baumann, H. G.
Berner, W. Gegebenheiten bei den Anlagen- und Maschinenbauunternehmen - Rationalisierung infolge des Einsatzes der elektronischen Datenverarbeitung und durch das systematische Gliedern technischer Systeme
Fachberichte Hüttenpraxis Metallverarbeitung, Vol. 21, Nr. 2, 1983, S. 95-109
- /18/ Eversheim, W.
Abolins, G.
Koch, R. Einsatzmöglichkeiten für CAD-Systeme in einem Unternehmen des Landmaschinenbaus
Unveröffentlichte Untersuchung, RWTH Aachen, 1983
- /19/ Eversheim, W.
Dahl, B.
Koch, R. Einsatzmöglichkeiten für CAD-Systeme im Konstruktionsbereich eines Sondermaschinenherstellers
Unveröffentlichte Untersuchung, RWTH Aachen, 1983

- /20/ Eversheim, W.
Brachtendorf, Th.
Knauf, A.
Koch, R. CAD-Anwendungsmöglichkeiten in
zwei Produktbereichen eines
Maschinenbauunternehmens
Unveröffentlichte Untersuchung,
RWTH Aachen, 1984
- /21/ Backhaus, K.
Heß, W.
Müller-Hillebrand, H. Ein Vertriebsinformationssystem als
Planungsgrundlage im industriellen
Anlagengeschäft
in: "Planung im industriellen Anlagen-
geschäft", Sammelband, hrsg. v.
K. Backhaus
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1984
- /22/ Autorenkollektiv Rechnerunterstützte Anlagenplanung
Unveröffentlichte Studie,
DECHEMA, Frankfurt/M., 1977
- /23/ Reichert, O. Systematische Planung von Anlagen
der Verfahrenstechnik
Carl Hanser Verlag, München, Wien,
1979
- /24/ Meier, H.
Eigner, M. Einführung und Anwendung von
CAD-Systemen
Carl Hanser Verlag, München, 1983
- /25/ Autorenkollektiv Erfahrungen mit der Auswahl,
Einführung und Anwendung von
CAD-Systemen in der Anlagenplanung
Ergebnisbericht des DECHEMA-Arbeits-
kreises "Rechnerunterstützte Anlagen-
planung"
DECHEMA, Frankfurt/M., 1983

- /26/ Schlingensiepen, J. Ein Beitrag zur interaktiven rechnerunterstützten Anlagenprojektierung mit CAD-Kleinrechner-Systemen, aufgezeigt am Beispiel der Fließbilderstellung und gekoppelter Berechnung von Anlagen zur Papierherstellung
Fortschritt-Berichte der VDI-Z, Reihe 10, Nr. 21
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1983
- /27/ Pike, K. A. Computerunterstütztes Anlagendesign-Management
Chemische Industrie XXXII, Juli 1980, S. 475-478
- /28/ Wilms, J. O.
Behnke, D. CAD im Rohrleitungsbau
ZwF, 78. Jg. (1983), Nr. 5, S. 207-210
- /29/ N.N. Acht Jahre CAD-Erfahrung
- CAD im Anlagenbau
Industrie-Anzeiger, 106. Jg., Nr. 103/104, vom 28.12.1984, S. 60-63
- /30/ Fleischmann, P.
Ast, P. Rechnerunterstützte Angebotserstellung
KEM 1984, April, S. 119-121
- /31/ Thurat, B.
Kraft, R. CAD-System auch für Konstruktionsaufgaben im Schaltanlagenbau
VDI-Z 123 (1981), Nr. 4, Februar, S. 117-119
- /32/ Autorenkollektiv Einsatz von CAD-Systemen
Vortrag beim Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium,
7./8. Juni 1984
Industrie-Anzeiger, 106. Jg., Nr. 56 vom 13.7.1984, S. 24-31
- /33/ Schulz, W.
Koch, R. Erfahrungsbericht über CAD-Anwendungen in den USA
Unveröffentlichter Bericht,
Eislingen/F., Aachen, 1984

- /34/ Geissler, W. Rationelle Angebotserstellung und Textverarbeitung
Tagungsband zur 2. VDI-Vertriebsingenieur-Tagung 1982 "Fortschrittliche Methoden des Technischen Vertriebs"
VDI-Bericht Nr. 461
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1982
- /35/ Hess-Kinzer, D. Maschinenbauunternehmen nutzt EDV
Koppmeyer, W. für Angebote
Neuber, H. Online-adl-nachrichten 1-2/80, S. 46-50
- /36/ Eversheim, W. Aktive Produkt- und Vertriebspolitik
Koch, R. Interner Vortrag, RWTH Aachen, 1984
- /37/ Koch, R. Angebotserstellung bei steigenden Anforderungen und fallenden Chancen
Tagungsband zum AWF-Rationalisierungskongress "PPS '84", Böblingen, 1984
- /38/ Bracke, W. Automatisierte technische Angebotsbearbeitung bei Industrieanlagen
Dissertation, RWTH Aachen, 1978
- /39/ N.N. REPINA
- Rechnerunterstützte Projektierung von Industrieanlagen -
Firmenschrift, Köln, 1984
- /40/ Reinbacher, C. D. Computerprogramme
Fertig kaufen?
Wie macht man es selber?
präzision im spiegel, 1/84
- /41/ Preiss, K. Future CAD-Systems
computer-aided-design, Vol. 15, Nr. 4,
July 1983, S. 223-227

- /42/ Autorenkollektiv Angebotserstellung in der Investitions-
güterindustrie
Reihe: Technischer Vertrieb
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1983
- /43/ N.N. VDI-Richtlinie 2222, Blatt 1:
Konstruktionsmethodik, Konzipieren
technischer Produkte
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1977
- /44/ Looschelders, K.-H. Rechnerunterstütztes Projektieren und
Konstruieren komplexer technischer
Systeme
Dissertation, RWTH Aachen, 1981
- /45/ Rockstroh, W. Die technologische Betriebsprojektierung
Band 1: Grundlagen und Methoden der
Projektierung
VEB Verlag Technik, Berlin, 1980
- /46/ Baumann, H. G. Systematisches Projektieren und
Konstruieren
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg,
New York, und
Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1981
- /47/ Baumann, H. G.
Looschelders, K.-H. Rechnerunterstütztes Projektieren und
Konstruieren
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg,
New York, und
Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1981
- /48/ Aggteleky, B. Fabrikplanung
Carl Hanser Verlag, München, 1970
- /49/ Beitz, W.
Ehrlenspiel, K. Modellvorstellung für Entwicklung
und Konstruktion
VDI-Z 126 (1984), Nr. 7, April (I),
S. 201-207
- /50/ Hansen, F. Konstruktionssystematik
VEB-Verlag Technik, Berlin, 1966

- /51/ Rodenacker, W. G. Methodisches Konstruieren
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg,
New York, 1970
- /52/ Roth, K. Grundlagen methodischen Vorgehens
beim Konstruieren
VDI-Z 121 (1979), Nr. 20, Oktober
(II), S. 989-997
- /53/ Koller, R. Konstruktionsmethode für den
Maschinen-, Geräte- und Apparatebau
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg,
New York, 1976
- /54/ Kesselring, F. Technische Kompositionslehre
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg,
New York, 1956
- /55/ Pahl, G. Konstruktionslehre
Beitz, W. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg,
New York, 1976
- /56/ Eversheim, W. Konstruktionssystematik: Aufgabe
und Möglichkeiten
Habilitationsschrift, RWTH Aachen,
1969
- /57/ Hassels, A. Fortschritte in der rechnergestützten
Wilms, J. O. Auftragsabwicklung im Anlagenbau
ZwF 76 (1981), Nr. 12, S. 566-571
- /58/ Autorenkollektiv Rechnerunterstützte Anlagen-
projektierung
KfK-CAD 141,
Kernforschungszentrum Karlsruhe,
1979
- /59/ Rockstroh, W. Die technologische Betriebs-
projektierung
Band 4: Projektierung des Industrie-
betriebes
VEB Verlag Technik, Berlin, 1981

- /60/ Eversheim, W. Fabrikplanung
Vorlesungsskript, RWTH Aachen, 1982
- /61/ Zeitz, W. Konzept eines Planungssystems zur
rechnerunterstützten Auslegung von
Bearbeitungseinheiten in flexiblen
Fertigungsstraßen
Dissertationsmanuskript,
RWTH Aachen, 1984
- /62/ Koch, R. Untersuchungen zur Nutzbarkeit der
Methode "Bausteinprojektierung" für
die technologische Projektierung be-
trieblicher Transportprozesse
Dissertation, TU Dresden, 1977
- /63/ N.N. DIN 28004: Fließbilder verfahrens-
technischer Anlagen
Teil 1: Fließbildarten, Informations-
inhalt
Teil 2: Zeichnerische Ausführung
Teil 3: Bildzeichen
Beuth-Verlag, Berlin, Köln, 1977
- /64/ Eversheim, W. Rechnerunterstütztes Projektieren von
Koch, R. komplexen Industrieanlagen
Zur Veröffentlichung vorbereiteter Ab-
schlußbericht,
RWTH Aachen, 1983
- /65/ Dehne, W. (Hrsg.) Anlagentechnik in der Stahlindustrie
Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1979
- /66/ Koch, R. Analyse des Projektierungsablaufes bei
Aengeneyndt, D. komplexen Industrieanlagen
Unveröffentlichte Untersuchung,
RWTH Aachen, 1980

- /67/ Koch, R.
Lauer, J. Ermittlung von Einsatzmöglichkeiten für das System ANPRO 2 bei der Projektierung von Mahlanlagen
Unveröffentlichte Untersuchung, RWTH Aachen, 1984
- /68/ Baumann, H. G. Klärung der Aufgabe beim systematischen Projektieren und Konstruieren komplexer technischer Systeme, Teil II
vt "verfahrenstechnik" 13 (1979), Nr. 2, S. 89-94
- /69/ Eversheim, W.
Baumann, H. G.
Koch, R.
Looschelders, K.-H. Rechnerunterstütztes Projektieren von komplexen Industrieanlagen und Hüttenwerken
Unveröffentlichte Programmvorgabe, Aachen, Duisburg, 1982
- /70/ Rautenbach, R.
Büchel, H.-G.
Ulrich, J. Anlagenplanung - Process design
Leitfaden zur Vorlesung, RWTH Aachen, 1982
- /71/ Flatz, W. Equipment Sizing for Multiproduct Plants
Chemical Engineering, February 25, 1980, S. 71-80
- /72/ Sparrow, R. E.
Rippin, D. W. T.
Forder, G. J. MULTI-BATCH: A Computer Package for the Design of Multi-Product Batch Plants
The Chemical Engineer, September 1984, S. 520-525
- /73/ N.N. HTRI
Heat Transfer Research, Inc.
Informationsschrift
South Pasadena, Alhambra (USA), 1976

- /74/ N.N. CHEMSHARE
Solving Process Design Problems by
Simulation
Informationsschrift
Houston (Texas/USA), 1975
- /75/ Futterer, E. Aufbau und Wirkungsweise eines
Programmsystems zur verfahrens-
technischen Berechnung für
Chemieanlagen mittels elektronischer
Rechner
Sonderdruck aus DECHEMA-Mono-
graphien,
Bd. 67, Weinheim, 1971
- /76/ Perkins, J. D. SPEEDUP: A Computer Program for
Sargent, R.W.H. Steady State and Dynamic Simulation
and Design of Chemical Processes
AI ChE Symposium Series, No. 214,
Vol. 78, 1982, S. 1-11
- /77/ Knudsen, R. A. Experience with ASPEN while
Bailey, T. Simulating a New Methanol Plant
Fabiano, L. A. AI ChE Symposium Series, No. 214,
Vol. 78, 1982, S. 38-55
- /78/ Olbertz, H. Das Konstruieren von Baugruppen mit
Hilfe elektronischer Datenverar-
beitungsanlagen am Beispiel geome-
trisch gestufter Kupplungsgetriebe
Dissertation, RWTH Aachen, 1969
- /79/ Grabowski, H. Ein System zur technischen Angebots-
planung in Unternehmen mit auftrags-
gebundener Fertigung
Dissertation, RWTH Aachen, 1972

- /80/ Eversheim, W.
Koch, R. Systematische Angebotsplanung in der Investitionsgüterindustrie
in: "Planung im industriellen Anlagen-
geschäft"
Sammelband, hrsg. v. K. Backhaus,
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1984
- /81/ Eversheim, W.
Bracke, W. Konzeption und Realisierung einer
Datei zur Speicherung konstruktiver
Lösungen bei der Anlagenprojektierung
Abschlußbericht, RWTH Aachen, 1979
- /82/ Felzmann, R. Rechnerunterstützte Angebots- und
Auftragsbearbeitung
Tagungsband zur 2. VDI-Vertriebs-
ingenieur-Tagung "Fortschrittliche
Methoden des technischen Vertriebs"
VDI-Bericht Nr. 461
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1982
- /83/ Opitz, H. Die richtige Sachnummer im
Fertigungsbetrieb
Girardet-Taschenbuch GT 2
Girardet-Verlag, Essen, 1971
- /84/ Koch, R.
Ebbing, G. Realisierung von Programmbausteinen
und Dateistrukturen zur Bereitstel-
lung und Verwaltung von Wiederhol-
elementen
Unveröffentlichte Untersuchung,
RWTH Aachen, 1981
- /85/ Radermacher, W. Entwicklung eines Kosteninformations-
systems für den Konstruktionsbereich
Dissertation, RWTH Aachen, 1982

- /86/ Dangelmaier, W. Interaktive Layoutplanung mit
INTALA - Konzept und Anwendungs-
beispiel -
Tagungsband zur VDI-Fachtagung
"Rechnerunterstützte Fabrikplanung"
VDI-Bericht Nr. 518
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1984
- /87/ Westby, O. Verftsteknikk
Grunnkurs Del 1
Inst. f. Marin Prosjektering
NTH Trondheim/Norwegen
- /88/ Schmigalla, H. Rechnergestützter Arbeitsplatz für
die Projektierung von Ferti-
gungsstätten (RAP)
Tagungsband zur VDI-Fachtagung
"Rechnerunterstützte Fabrikplanung"
VDI-Bericht Nr. 518
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1984
- /89/ Cziudaj, M. Planung der Betriebsmittelanordnung
Maskow, J. für eine Reihenfertigung unter beson-
derer Berücksichtigung der Transport-
funktionen
VDI-Z 121 (1979), Nr. 10, Mai (II),
S. 521-526
- /90/ Papke, H.-J. Handbuch Industrieprojektierung
VEB Verlag Technik, Berlin, 1980
- /91/ Mende, R. Grenzen einer materialflußorientier-
ten Layout-Planung
VDI-Z 126 (1984), Nr. 9, Mai (I),
S. 322-325
- /92/ Eversheim, W. Dynamische Layoutplanung mit Hilfe
Witte, K.-W. der EDV
Industrie-Anzeiger, 99. Jg., Nr. 29
vom 8.4.1977, S. 508-511

- /93/ Moore, J. M. Computer Methods in Facilities
Layout
Industrial Engineering 21 (1980) 9,
S. 82-93
- /94/ Eidt, A. Praxisorientierte Layoutplanung von
Wegner, N. Fabrikanlagen
Stöner, G. Untersuchung der rechnerunterstützten
Optimierungsmethoden
ZwF 72 (1977), Nr. 7, S. 332-339
- /95/ Baumann, H. G. Grundflächenbedarf von Stahlstrang-
Gießanlagen
Draht-Welt 58 (1972), Nr. 2, S. 91-97
- /96/ Baumann, H. G. Stahlstrang-Gießanlagen - Anordnung
Faber, H. D. in Elektro-Stahlwerken
Draht-Welt 57 (1971), Nr. 9,
S. 424-429
- /97/ Jankowski, W. Einsatz eines CAD-Layoutsystems
in einem versorgungsintensiven
Fertigungsbetrieb
- Überlegungen und Erfahrungen -
Tagungsband zur VDI-Fachtagung
"Rechnerunterstützte Fabrikplanung"
VDI-Bericht 518
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1984
- /98/ Eversheim, W. CAD-Einsatz
Abolins, G. Seminar SVBF, Zürich, 1984
Buchholz, G.
Knauf, A.
Koch, R.
- /99/ Spur, G. CAD-Technik
Krause, F.-L. Carl Hanser Verlag, München, Wien,
1984

- /100/ Bohle, D.
Jakobs, G.
Haenisch, K.
Kalbitz, H. Rechnerunterstützte Konstruktion von
Chemieanlagen im 3D-Raum
Konstruktion 33 (1981), Nr. 7,
S. 263-268
- /101/ Kuhn, A. Eine neue Planungsmethodik für Mate-
rialflußsysteme mit Hilfe der Simula-
tion
Sonderheft "Materialflußplanung" der
Zeitschrift "Materialfluß"
Verlag moderne industrie, München,
1979
- /102/ Grosseschallau, W.
Heinzel, R. Materialflußplanung mit Grafik-
Simulation
Management-Zeitschrift io 51 (1982),
Nr. 7/8, S. 307-308
- /103/ Thiel, J. Die erforderliche Krankkapazität in
einer geplanten Montagehalle
dhf 4/75, S. 59-62
- /104/ Lucke, H.-J. Bestimmung der erforderlichen
Brückenkrankkapazitäten in Produk-
tionsbetrieben
Teil 1: Grundlagen
Hebezeuge und Fördermittel 18 (1978),
Nr. 1, S. 10-13
- /105/ Lucke, H.-J. Bestimmung der erforderlichen
Brückenkrankkapazitäten in Produk-
tionsbetrieben
Teil 2: Anwendung experimenteller
Verfahren
Hebezeuge und Fördermittel 18 (1978),
Nr. 2, S. 46-47
- /106/ Bellingkrodt, U.
Jünemann, R. Einsatz eines Rechners zur Simulation
verschiedener Steuerungsvarianten am
Beispiel eines Transportmodells
Angewandte Informatik 1/79, S. 9-16

- /107/ Baumann, H. G. **Bewegungsvarianten bei der Festlegung konstruktiver Wirkzusammenhänge im Rahmen des systematischen Projektierens und Konstruierens technischer Systeme**
 Fachberichte Hüttenpraxis Metallverarbeitung, 18. Jg., Heft 12/80, S. 1140-1149
- /108/ Kruse, K. A. **Entwicklungstendenzen im innerbetrieblichen Transport der Hüttenwerke**
 f + h 20 (1970) Nr. 8, S. 435-437
- /109/ N.N. **Spezialkrane in Hüttenwerken**
 f + h 24 (1974) Nr. 8, S. 791-795
 f + h 26 (1976) Nr. 5, S. 492-493
- /110/ N.N. **Portalhubwagen in der Stahlindustrie**
 f + h 20 (1970) Nr. 5, S. 274-275
- /111/ Prag, L. **Selbstaufnehmende Flurförderzeuge im Transportwesen eines Stahl- und Walzwerkes**
 f + h 25 (1975) Nr. 7, S. 1605 f.
- /112/ Ziegenbalg, G. **Palettentransporter - eine neue Technologie für den gleislosen Transport in Hüttenwerken**
 f + h 27 (1977) Nr.6, S. 577-580
- /113/ N.N. **Innerbetrieblicher Schwertransport in Hütten- und Stahlwerken, Schiffswerften und Bergbaubetrieben**
 dhf 27 (1981), Nr. 12, S. 20
- /114/ Looschelders, K.-H. **Erstellung von Kranfahrtdiagrammen**
 Interne Studie, Duisburg, 1979

- /115/ Dzida, W.
Herda, S.
Itzfeldt, W. D. User-Perceived Quality of Interactive Systems
IEEE Transactions on Software Engineering
Vol. SE-4, No. 4, July 1978,
S. 270-276
- /116/ Sneed, H. Software-Entwicklungsmethodik
Verlagsgesellschaft Rudolf Müller,
Köln-Braunsfeld, 1980
- /117/ Comer, D. Principles of Program Design Induced
from Experience with Small Public Programs
IEEE Transactions on Software Engineering
Vol. SE-7, No. 2, March 1981,
S. 169-174
- /118/ Hurst, T. N.
Ross, B. A. FORTRAN that Travels:
Programming for Portability
CIME, Vol. 3, No. 3, November 1984,
S. 25-27
- /119/ Gewald, K.
Haake, G.
Pfadler, W. Software Engineering - Grundlagen
und Technik rationeller Programm-
entwicklung
Oldenbourg-Verlag, München, 1981
- /120/ Kuhn, A.
Grosseschallau, W. Konzept zur rechnergestützten Planung
komplexer Materialflußsysteme
VDI-Z 124 (1982), Nr. 7, April (I),
S. 269-277
- /121/ Volkmann, W. Anwendersysteme, ihre Entwicklung,
Projektierung und Realisierung
VDI-Z 122 (1980), Nr. 5, März (I),
S. 167-173
- /122/ Steinbuch, P. A. Softwareorganisation
Verlag Gehlen, Bad Homburg v. d.
Höhe, 1981

- /123/ Dittrich, K. R.
 Huber, R.
 Lockemann, P. C. Methodenbanksysteme: Ein Werkzeug
 zum Maßschneiden von Anwender-
 software
 Informatik-Spektrum 2 (1979),
 S. 194-203
- /124/ Henry, S.
 Kofura, D. Software Structure Metrics Based on
 Information Flow
 IEEE Transactions on Software Engi-
 neering
 Vol. SE-7, No. 5, September 1981,
 S. 510-518
- /125/ Steudel, M. Aufbau und Anwendungsmöglichkeiten
 eines modularen Systems zur auto-
 matischen Arbeitsplanerstellung
 Dissertation, RWTH Aachen, 1980
- /126/ Prior, H. Rechnerunterstützte Erstellung von
 Einzelteilzeichnungen
 Dissertation, RWTH Aachen, 1980
- /127/ Thurner, R. Entscheidungstabellen
 Aufbau - Anwendung - Programmie-
 rung
 VDI-Taschenbuch T 33
 VDI-Verlag, Düsseldorf, 1972
- /128/ Heiob, W. Einsatz dialogorientierter Entschei-
 dungstabellentechnik in der Angebots-
 und Auftragsbearbeitung in Unterneh-
 men mit auftragsgebundener Produk-
 tion
 Fortschritt-Berichte der VDI-Z,
 Reihe 10, Nr. 15
 VDI-Verlag, Düsseldorf, 1982
- /129/ Autorenkollektiv Entwicklung eines Formelinterpreters
 Unveröffentlichte Untersuchung,
 RWTH Aachen, 1983

- /130/ Schmeink, H.
Zons, K.-H. Verarbeitung von Tabellen und Funktionen beim Einsatz von CAD/CAP/CAM-Systemen
Planung und Produktion 1/82
- /131/ Koch, R.
Platz, U. Erweiterung und Optimierung der Datenstruktur innerhalb eines Programmsystems zur Projektierung komplexer Industrieanlagen
Unveröffentlichte Untersuchung, RWTH Aachen, 1982
- /132/ Blume, P.
Fischer, W. E. Datenbanksystem für CAD-Anwendungen
KfK-CAD 111,
Kernforschungszentrum Karlsruhe, 1978
- /133/ Jordan-Engeln, G.
Reutter, F. Numerische Mathematik für Ingenieure
BI-Hochschultaschenbuch, Bd. 104,
Mannheim, 1976
- /134/ Wartmann, R. Einführung in die Methoden des Operations Research für Ingenieure
Vorlesungsskript,
Ruhr-Universität Bochum, 1975
- /135/ Pichler, O.
Wenke, K. Anwendung der Matrizenrechnung auf wirtschaftliche und statistische Probleme
Physica-Verlag, Würzburg, Wien, 1966
- /136/ Müller-Merbach, H. Operations Research
Verlag Vahlen, Berlin, Frankfurt/M., 1969
- /137/ Jordan-Engeln, G.
Reutter, F. Formelsammlung zur numerischen Mathematik mit FORTRAN IV-Programmen
BI-Hochschultaschenbuch, Bd. 106,
Mannheim, 1976

- /138/ Koch, R.
Platz, U. Materialflußrechnung bei der rechnerunterstützten Projektierung von Industrieanlagen
Unveröffentlichte Untersuchung, RWTH Aachen, 1981
- /139/ Koch, R.
Platz, U. Gestufte Verfahrensfestlegung bei der rechnerunterstützten Projektierung von Industrieanlagen
Unveröffentlichte Untersuchung, RWTH Aachen, 1982
- /140/ Wirth, N. Algorithmen und Datenstrukturen
Teubner Studienbücher Informatik, Stuttgart, 1975
- /141/ Niemeyer, G. Dateiorganisation und -verarbeitung
Verlag Franz Vahlen, München, 1975
- /142/ Larson, P.-A. Dynamische Hash-Verfahren
Informatik-Spektrum (1983), Nr. 6
- /143/ Kopp, K.
Lütkemeyer, N.
Koch, R. Datenstruktur für die Verwaltung der Projektierungsdaten
Unveröffentlichte Dokumentation, RWTH Aachen, 1984
- /144/ Koch, R.
Brachtendorf, Th. Realisierung eines Systems zur Verwaltung und Nutzung der Daten wiederverwendbarer konstruktiver Lösungen
Unveröffentlichte Untersuchung, RWTH Aachen, 1983
- /145/ Eversheim, W.
Koch, R. Anlagenplanung und Angebotserstellung im Dialog
Tagungsband zur VDI-Fachtagung "Rechnerunterstützte Fabrikplanung"
VDI-Bericht Nr. 518
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1984

- /146/ Eversheim, W.
Koch, R.
Platz, U. Rechnerunterstützte Anlagenprojektie-
rung und Layout-Planung
Industrie-Anzeiger, 105. Jg., Nr. 74
vom 16.9.1983, S. 14-17
- /147/ Koch, R.
Hovik, J. Use of Computer Graphics as a Mean
to Layout and Production Planning of
Shipyards
Unveröffentlichte Untersuchung,
RWTH Aachen, 1982
- /148/ Koch, R.
Marks, S. Graphisches Layout-Analyse-System
Unveröffentlichte Programmdokumen-
tation,
RWTH Aachen, 1985
- /149/ Muther, R. Systematic Layout Planning
Cahners Nooks, Boston (Mass.), 1974
- /150/ Zachrisen, M. GPGS-F User's Guide
Tapir Forlag, Trondheim, 1978
- /151/ N.N. VDI-Richtlinie 3300:
Materialflußuntersuchungen
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1973
- /152/ Dietrich, F. Echtzeit-Animation mit Mikro-
computern
Tagungband zur genauenCAMP '83
VDE-Verlag, Berlin, Offenbach, 1983
- /153/ Henning, K. Entwicklung der Leitstandtechnik
Elektro-Anzeiger, 28. Jg. (1975),
Nr. 1/2, S. 19-24
- /154/ Thomas, F.
Rummert, Th.
Roth, R. Simulation als Planungshilfsmittel
f + h 29 (1979), Nr. 1, S. 20-23

- /155/ Kuhn, A. Eine Planungsmethodik mit Hilfe der Simulation
Sonderheft "Materialflußplanung" der Zeitschrift "Materialfluß"
Verlag moderne industrie, München, 1979
- /156/ Schmidt, B. The Simulation of Discrete-time Systems
- A Critical Assessment of Languages and Packages
Angewandte Informatik, Bd. 23 (1981), Nr. 5, S. 200-203
- /157/ Baeckers, R. Ein Dialogsystem zur praxisorientierten Erstellung von Simulationsmodellen
VDI-Z 124 (1982), Nr. 15/16, August (I,II), S. 593-596
- /158/ Fishman, G. S. Principles of Discrete Event Simulation
John Wiley & Sons, New York, Brisbane, Chichester, Toronto, 1978
- /159/ Grabowski, H.
Eigner, M.
Kaiser, H. Anforderungen an eine benutzerfreundliche Kommunikationsschnittstelle von CAD-Systemen
VDI-Z 123 (1981), Nr. 172, Januar (I,II), S. 5-14
- /160/ Koch, R. Funktions- und Leistungsbeschreibung für das System "Krankapazitätsplanung"
Unveröffentlichte Programmvorgabe, RWTH Aachen, 1980
- /161/ Koch, R.
Meinberg, M. System "Krankapazitätsplanung"
Programmdokumentation, RWTH Aachen, 1983

- /162/ N.N. Bis zu zwanzigmal schneller -
Rechnereinsatz bei der Projektierung
von Stahlwerken
MD-Kurier, Jg. XXVI, Mai 1983
- /163/ Albien, E. Rechnerunterstütztes Konstruieren
- Freie Gestaltung mechanischer
Werkzeugmaschinenbaugruppen -
Dissertation, RWTH Aachen, 1980
- /164/ Autorenkollektiv Programmdokumentation
IKV, RWTH Aachen
(wird fortlaufend aktualisiert)

LEBENS LAUF

- Persönliches:** Dipl.-Ing. Rainer Koch
geb. 24. August 1953 in Halle/Saale
ledig
deutsch
- Eltern:** Richard Koch und Ruth Koch, geb. Pawelzik
- Schulbildung:** 1960 - 1964 Aplerbecker Mark Schule
Städt. Gemeinschaftsschule,
Dortmund 41
- 1964 - 1972 Humboldt-Gymnasium, Dortmund
mathem.-naturwiss. Zweig
- Reifezeugnis vom 18.5.1972
- Studium:** Wintersemester 1972/73 - Sommersemester 1978
Ruhr-Universität Bochum
Fachrichtung: Allgemeiner Maschinenbau
- Zeugnis über die Diplom - Vorprüfung
vom 1.10.1974
- Zeugnis über die Diplom - Prüfung
vom 7.10.1978
- Praktikum:** mehrmonatige praktische Tätigkeit in
verschiedenen Industrieunternehmen
- Berufstätigkeit:** 1.11.1978 bis 31.12.1978
wissenschaftliche Hilfskraft am Laboratorium
für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL)
der RWTH Aachen, Lehrstuhl für Produktions-
systematik
Leiter: o. Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing.
W. Eversheim
- seit 1.1.1979
wiss. Angestellter am selben Lehrstuhl