



KfK 2831 B  
September 1979

# **Rechnergestützte Anlagenplanung: Systemanalyse und Lösungsansätze für den EDV-Einsatz**

K. Leinemann  
Institut für Reaktorentwicklung

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE  
Institut für Reaktorentwicklung

KfK 2831 B

Rechnergestützte Anlagenplanung:  
Systemanalyse und Lösungsansätze für den EDV-Einsatz

K. Leinemann

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH

Rechnergestützte Anlagenplanung:

Systemanalyse und Lösungsansätze für den EDV-Einsatz.

### Zusammenfassung

Um einen allgemeinen Lösungsansatz und die Randbedingungen für ein EDV-System zur Unterstützung der Anlagenplanung zu ermitteln, wurde eine Systemanalyse durchgeführt.

Es wird eine Planungsablaufstruktur vorgestellt, die die einzelnen Planungstätigkeiten und die jeweils zu bearbeitenden Daten verknüpft. Als wesentliches Element der Integration einzelner Teilsysteme zur rechnerunterstützten Anlagenplanung wird eine zentrale Datenbank angesehen, für die typische Anforderungen genannt werden und ein einfaches konzeptuelles Schema vorgeschlagen wird. Die Grundzüge eines Systems zur interaktiven Entwurfsunterstützung werden kurz am Beispiel der funktionalen und der räumlichen Anlagenplanung erläutert.

Die Analyse führt zu dem Schluß, daß ein System zur interaktiven graphischen Manipulation von netzförmig strukturierten Daten, das in verschiedenen Phasen der Anlagenplanung eingesetzt werden kann, die Basis für eine rechnerunterstützte Anlagenplanung bilden sollte.

**Computer Aided Plant Engineering:  
An Analysis and Suggestions for Computer Use.**

**Abstract**

To get indications to and boundary conditions for computer use in plant engineering, an analysis of the engineering process was done. The structure of plant engineering is represented by a network of subtasks and subsets of data which are to be manipulated. Main tool for integration of CAD-subsystems in plant engineering should be a central database which is described by characteristic requirements and a possible simple conceptual schema. The main features of an interactive system for computer aided plant engineering are shortly illustrated by two examples. The analysis leads to the conclusion, that an interactive graphic system for manipulation of net-like structured data, usable for various subtasks, should be the base for computer aided plant engineering.

## Gliederung

1. Einleitung
2. Systemanalyse
  - 2.1 Problembezogene Planungsablaufstruktur
  - 2.2 Struktur einzelner Planungsphasen
  - 2.3 Datendarstellung
  - 2.4 Existierende EDV-Systeme für die Anlagenplanung
3. Integration von EDV-Systemen für Teilbereiche
  - 3.1 Allgemeines
  - 3.2 Zentrale Datenbank
    - 3.2.1 Aufbau einer Datenbank
    - 3.2.2 Konsistenzbedingungen
    - 3.2.3 Spezifische Merkmale und Forderungen
    - 3.2.4 Ein konzeptuelles Schema einer Anlage
4. Konzepte für die Realisierung von CAD-Systemen für Teilbereiche der Anlagenplanung
  - 4.1 Funktionale Anlagenplanung
  - 4.2 Räumliche Anlagenplanung
5. Schlußfolgerungen, Ziele
6. Literatur

## 1. Einleitung

Unter einer Anlage wird in dieser Arbeit eine Menge von Apparaten zur Stoff-, Energie- und Informationsumwandlung verstanden, die durch Leitungen zum Stoff-, Energie- und Informationstransport verbunden sind. Die Anlagenplanung befaßt sich mit der Ermittlung einer geeigneten funktionalen und räumlichen Struktur einer solchen Anlage, die eine vorgegebene Gesamtfunktion unter vorgegebenen Randbedingungen erfüllt.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, ein Konzept für einen EDV-Einsatz im Bereich der Anlagenplanung zu finden. Dazu wurde eine Analyse des Planungsprozesses durchgeführt, die folgende Fragen beantworten sollte:

- . Welche Planungsschritte sind durchzuführen und wie sind sie aus der Sicht der Datenverarbeitung zu charakterisieren? Welche Daten sind zu bearbeiten, welche Operationen sind erforderlich?
- . Welche Teilaufgaben werden bereits durch die EDV unterstützt?
- . Wie kann die Integration verschiedener EDV-gestützter Planungsphasen erreicht werden?
- . Welche Forderungen sind an eine zentrale Datenbank für den Anlagenentwurf zu stellen?
- . Wie sollte ein EDV-System zur Entwurfsunterstützung aufgebaut sein?
- . Welche Planungstätigkeiten sollten vordringlich unterstützt werden?

Um den Umfang der Analyse einzuschränken, wurden nur die technischen Entwurfstätigkeiten betrachtet, kaufmännische und organisatorische Aufgaben bei der Anlagenplanung wurden nicht berücksichtigt.

Die durchgeführten Untersuchungen stehen in Zusammenhang mit Arbeiten des Projektes CAD [ 26 ] und des DECHEMA-Arbeitskreises "Rechnerunterstützte Anlagenplanung", wo entsprechende Fragestellungen bearbeitet werden.

## 2. Systemanalyse

Die Systemanalyse geht von zwei Aspekten aus: Der Planungsablauf wird einerseits problembezogen, andererseits im Hinblick auf die allgemeinen Arbeitsabläufe und Entwurfstätigkeiten untersucht [ 1,2 ].



## 2.1 Problembezogene Planungsablaufstruktur

Ein Anlagenplanungsprozeß im Sinne dieser Arbeit ist der Prozeß, durch den aus der verfahrenstechnischen Spezifikation einer Anlage alle Daten ermittelt werden, die für den Bau und den Betrieb einer Anlage erforderlich sind. Die Spezifikation umfaßt die funktionale Beschreibung durch hinein- und herausführende Stoff-, Energie- und Informationsströme und technische, kaufmännische, umweltbezogene und planerische Randbedingungen.

Bei der Anlagenplanung werden fünf Grundabschnitte unterschieden (Abb. 1):

- (1) Prozeßentwurf
- (2) funktionaler Anlagenentwurf
- (3) räumlicher Anlagenentwurf
- (4) Anlagendetaillierung
- (5) Anlagensicherheitsuntersuchung

Bei den Schritten (1), (2), (3), (5) wird die Anlage als Ganzes bearbeitet, im Schritt (4) werden fachspezifische Teilbereiche unterschieden.

- (4.1) Bau-Stahlbau
- (4.2) Rohrleitungen
- (4.3) MSR-Technik (Meß-, Steuer-, Regeltechnik)
- (4.4) Elektrische Energietechnik

Im Prozeßentwurf wird ein Netz verfahrenstechnischer Funktionen aufgebaut, bestehend aus Funktionselementen des Stoff- und Energieumsatzes wie Destillation, Reaktion, Waschen, Zerkleinern etc. und Verbindungen zum Transport von Stoffen und Energie. Ergänzend zur Struktur des Prozesses werden die Größen der Stoff- und Energieströme und die zur Durchführung des Prozesses erforderlichen Betriebsbedingungen (Temperaturen, Drucke etc.) festgelegt.

Der darauffolgende Entwurfsschritt, der funktionale Anlagenentwurf befaßt sich mit der technischen Ausrüstung, die für die Durchführung des vorher festgelegten verfahrenstechnischen Prozesses erforderlich ist. Es geht also darum, den einzelnen Prozeßfunktionen konkrete Apparate und Maschinen zuzuordnen, sie durch Stoff- und Energieleitungen zu verbinden und durch eine geeignete Meß-, Steuer- und Regeltechnik (MSR-Technik) dafür zu sorgen, daß die festgelegten Betriebsbedingungen eingehalten werden. Im einzelnen werden in diesem Schritt folgende Daten erarbeitet:

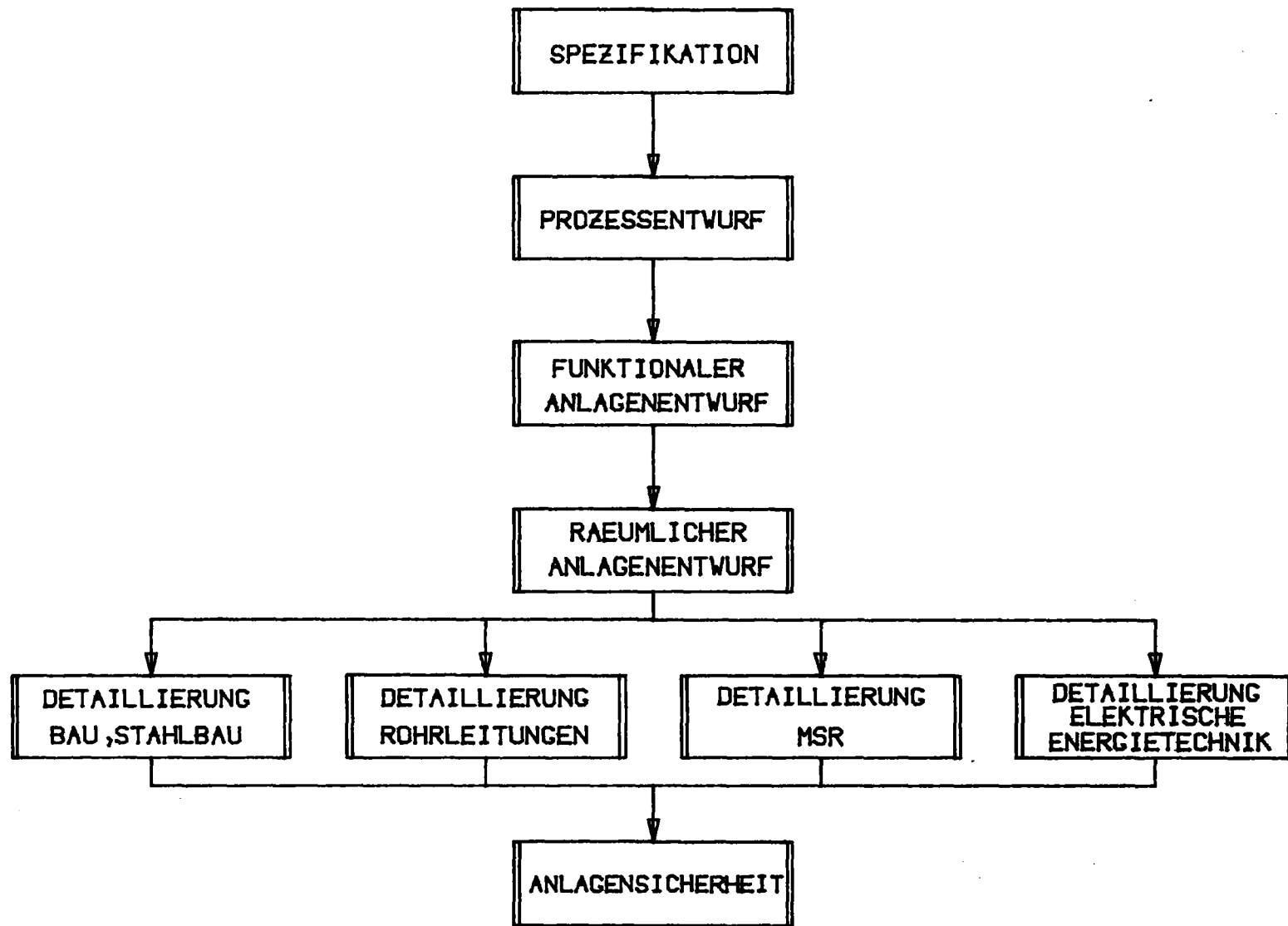


ABB. 1: PLANUNGSABLAUFSTRUKTUR (UEBERSICHT)

- . alle Apparate, Maschinen, Rohrleitungen und Armaturen
- . Nennweite, Druckstoffe, Werkstoff und Ausführung der Rohrleitungen,
- . Angaben zur Isolierung von Apparaten, Maschinen und Rohrleitungen,
- . Aufgabenstellung der Meß-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR-Technik),
- . kennzeichnende Größen von Apparaten und Maschinen,
- . Benennung und Durchflüsse bzw. Mengen der Stoffe und Energieträger,
- . Lösungswege der MSR-Technik.

Ausgehend von dieser funktionellen Struktur einer Anlage werden beim räumlichen Anlagenentwurf die Anlagenkomponenten im vorgegebenen Raum positioniert, ihnen werden also geometrische Daten zugeordnet.

Die funktionale und räumlich-abstrakte Beschreibung der Anlage wird in der Phase der Anlagendetaillierung soweit konkretisiert, daß ein Bau möglich ist. In dieser Phase erfolgt die Bearbeitung in fachspezifischen Teilphasen, da unterschiedliche technische Fachbereiche betroffen sind: Bautechnik, Meß- und Regeltechnik, Rohrleitungstechnik, Elektrotechnik.

Den Abschluß der Anlagenplanung bildet die Untersuchung der Anlagensicherheit, die im Chemieanlagenbereich allerdings erst langsam an Bedeutung gewinnt, während sie in der Planung kerntechnischer Anlagen seit Jahren von großer Wichtigkeit ist. Diese Phase der Anlagenplanung umfaßt neben den sicherheitstechnischen Problemen auch die der Umweltbelastung durch die verschiedensten Emissionsquellen.

In dieser Bearbeitungsphase wird, ausgehend von den vorliegenden Anlagendaten, ein Modell der Anlage erstellt, das Aussagen über die Sicherheit abzuleiten gestattet und Hinweise auf geeignete Konstruktionsänderungen gibt.

Der in Abb. 1 angegebene Planungsablauf bedeutet nicht, daß eine Planungsphase vollständig abgeschlossen werden muß, bevor die folgende begonnen werden kann. Es ist im allgemeinen so, daß in einer Phase erst einmal vorläufige Daten ermittelt werden, mit denen dann in den Folgephasen vorerst gearbeitet wird. Die vorläufigen Ergebnisse einer Phase werden dann aufgrund der Ergebnisse von Folgephasen verbessert und weiter detailliert, so daß ein Endergebnis erst durch eine mehrfache Iteration entsteht. Über den Umfang derartiger Iterationsschleifen läßt sich keine allgemeingültige Aussage treffen. Das iterative Vorgehen bedingt, daß die Anlagendaten mit einer Eigenschaft gekennzeichnet werden müssen, die eine Aussage über ihren Wert macht. Die Daten sind beispielsweise als vorläufig oder als endgültig zu betrachten. Diese Tatsache hat Auswirkungen auf Konsistenzüberlegungen für Datenbanken, die in diesem Bereich eingesetzt werden sollen (s. Abschn. 3.2).

## 2.2 Struktur der einzelnen Planungsphasen

Die einzelnen Planungsphasen lassen sich unter dem Aspekt des Datenflusses und der Art der durchzuführenden Operationen nach einem einfachen Schema strukturieren (Abb. 2).

Die zentrale Operation jeder Planungsphase ist die Synthese, d.h. die Erzeugung neuer Anlagendaten aus der Spezifikation, den Daten der Vorphasen und Planungshilfsdaten wie Elementkataloge, Entwurfsregeln (Handbücher) bzw. bekannten Problemlösungen. Eng verknüpft mit dieser Tätigkeit sind die Bewertung und Beurteilung der Syntheseergebnisse, das Fällen von Entwurfsentscheidungen und evtl. Änderungen.

Alle diese Tätigkeiten scheinen kaum algorithmierbar, sie sind sich noch auf lange Sicht weitgehend dem Planer vorbehalten.

Die Ergebnisdaten einer Phase werden im allgemeinen einer Analyse unterzogen, es werden mit Hilfe dieser Daten Simulationen und Berechnungen durchgeführt, die Kenndaten für eine leichtere Beurteilung einer Synthese liefern.

Ein Teil der Ergebnisdaten wird externen Auftragnehmern zur Verfügung gestellt, beispielsweise dem Bestellwesen. Bei dieser Art der Datenextraktion handelt es sich vorwiegend um eine einfache Auswahl, seltener um eine funktionale Ableitung.

Durch das Schema der Abb. 2 wird auch die bereits erwähnte iterative Vorgehensweise dargestellt: Sowohl die Kenndaten als auch die eigentlichen Ergebnisdaten stehen auch vorangegangenen Phasen zur Verfügung, so daß Entwürfe aufgrund der Ergebnisse nachfolgender Arbeiten noch einmal korrigiert werden können.

Die Abb. 3 zeigt die einzelnen Planungsphasen gemäß vorgestelltem Schema.

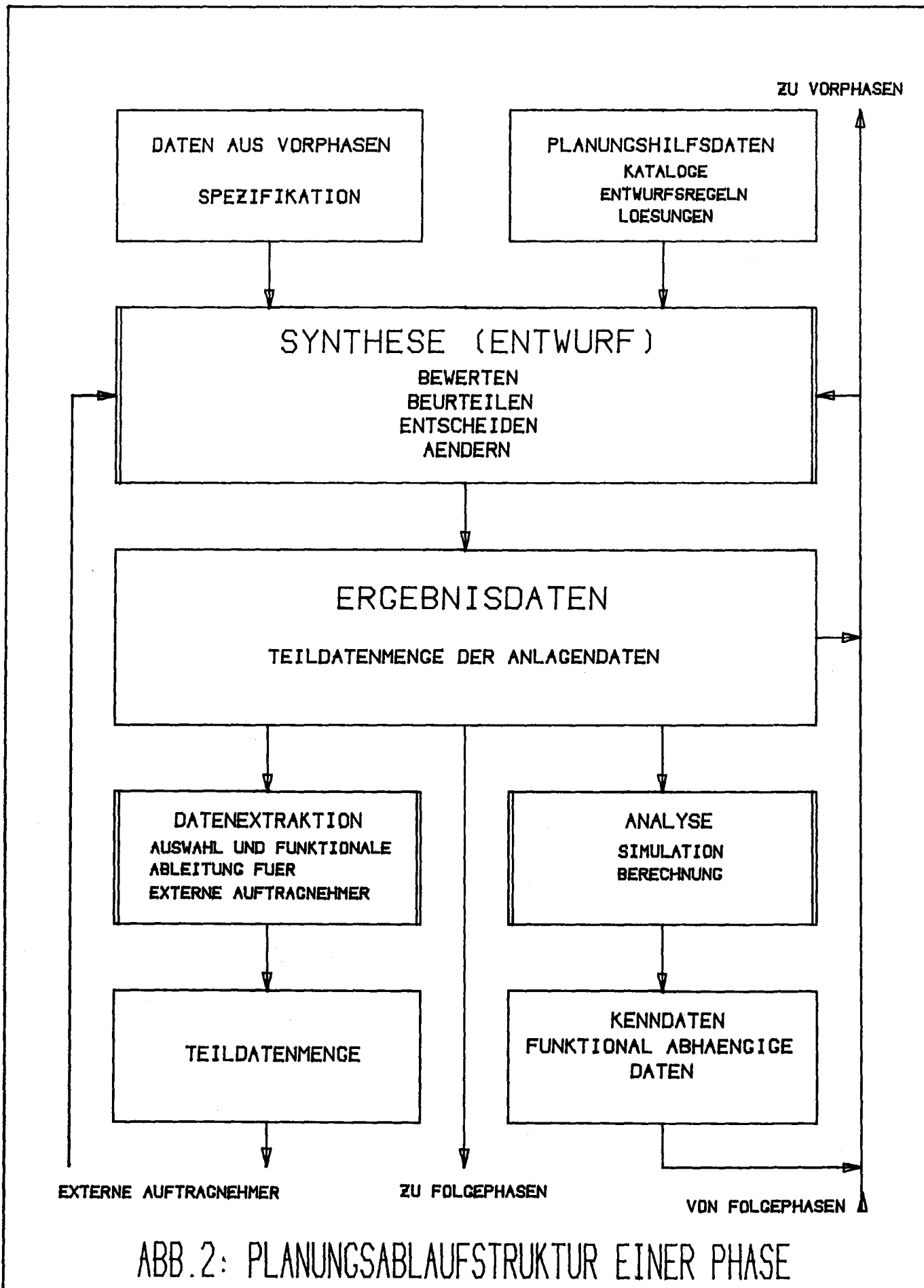


ABB.2: PLANUNGSABLAUFSTRUKTUR EINER PHASE

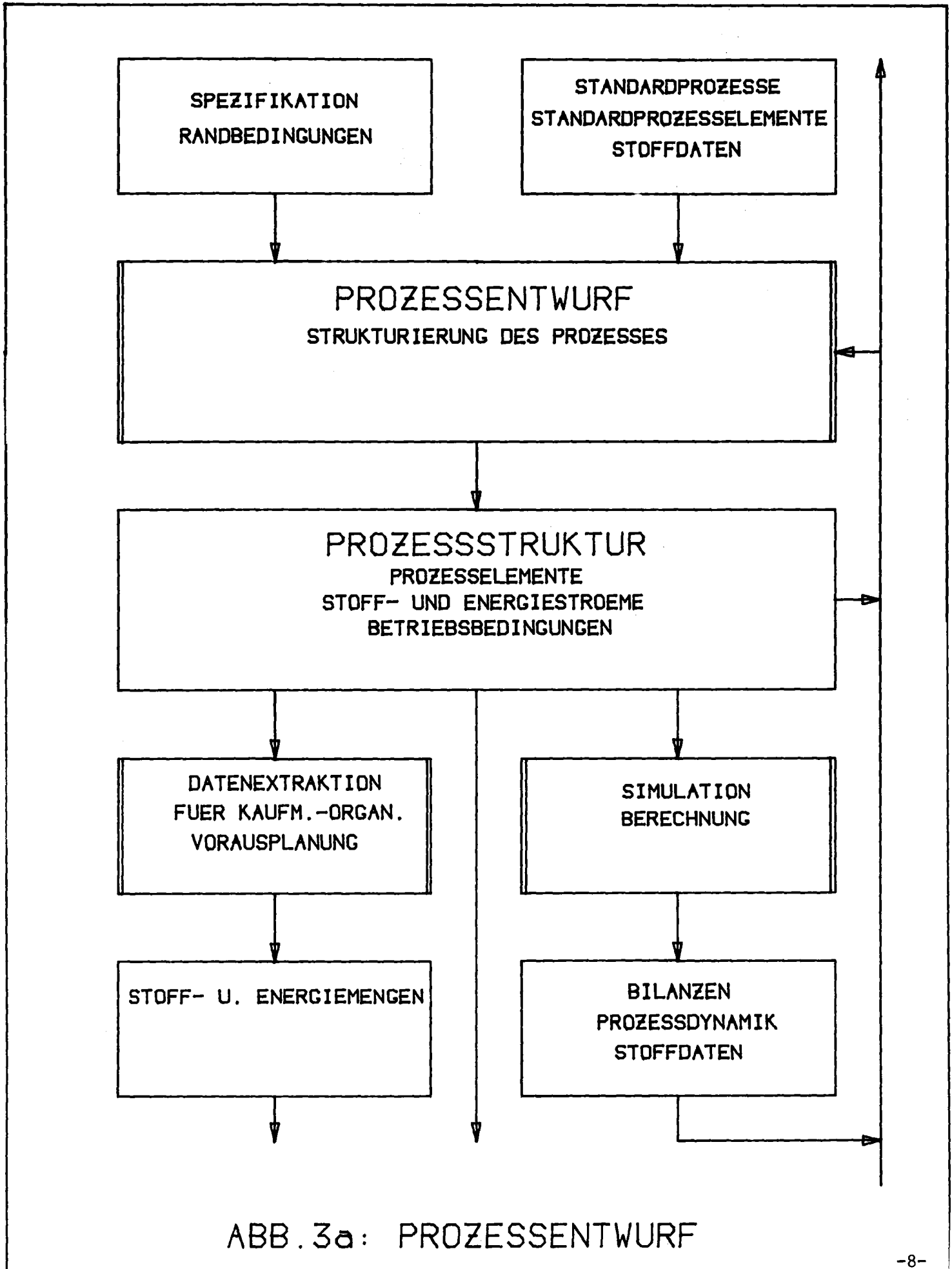


ABB. 3a: PROZESSENTWURF

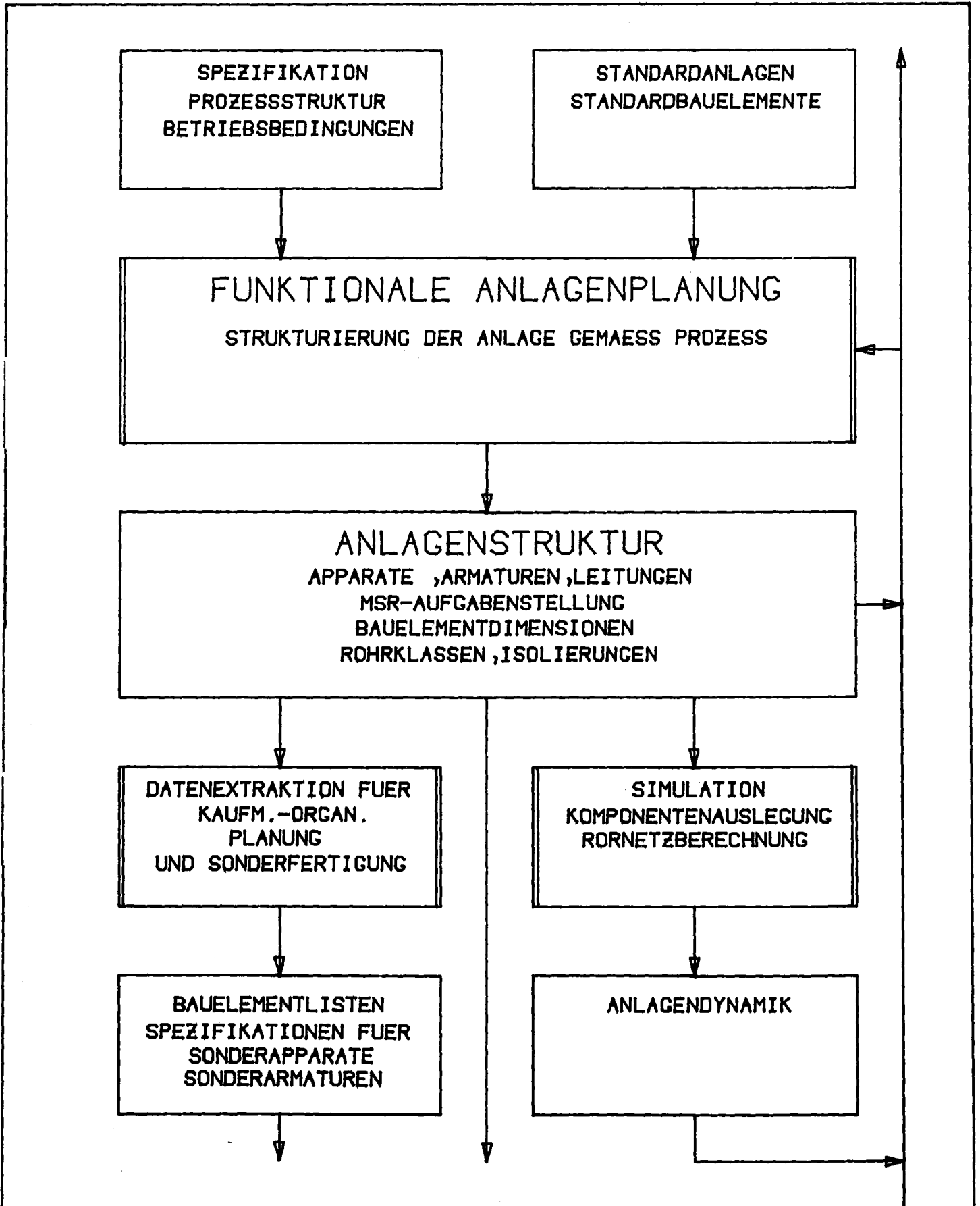


ABB.3b: FUNKTIONALE ANLAGENPLANUNG

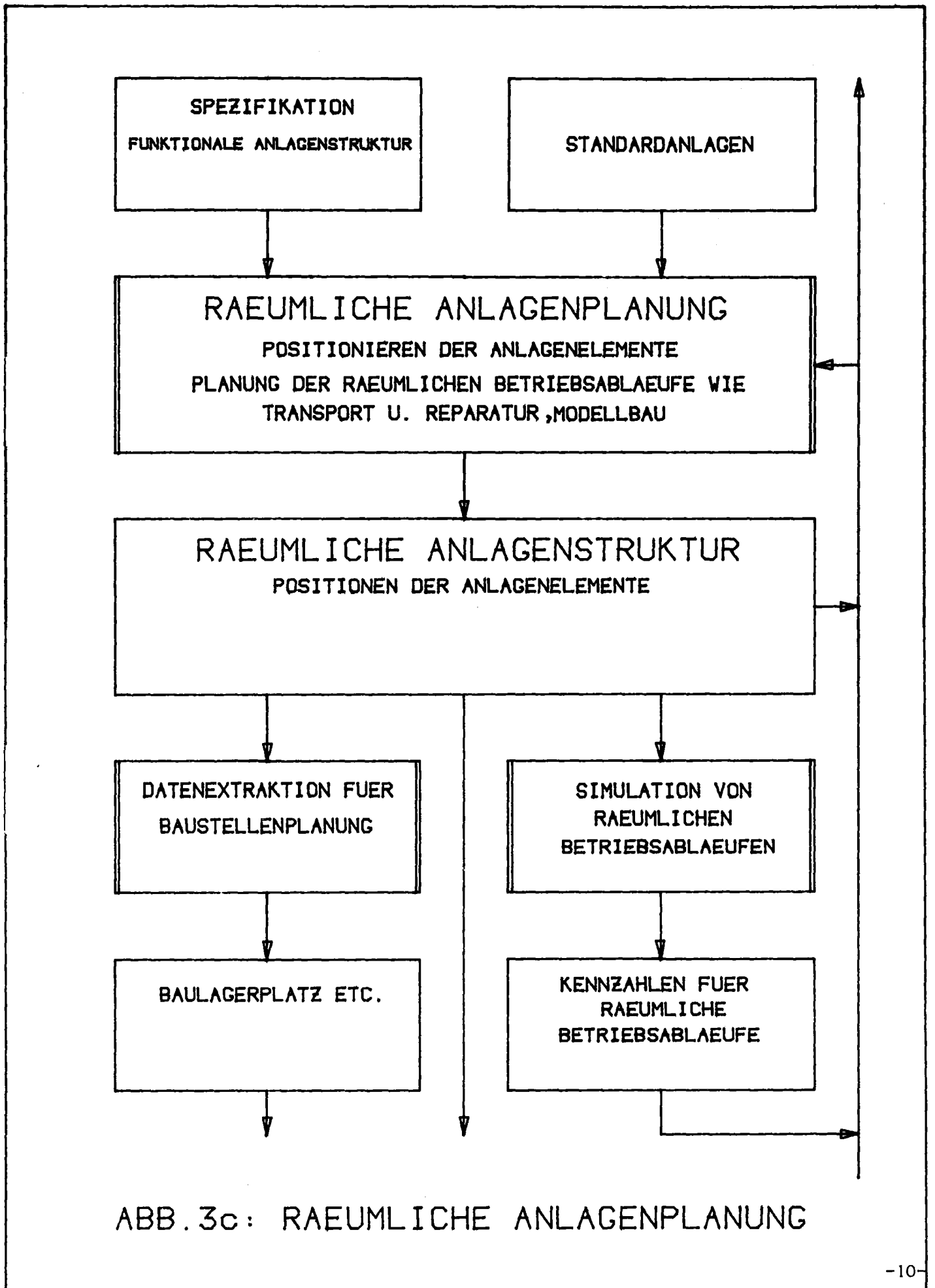


ABB. 3c: RAEUMLICHE ANLAGENPLANUNG



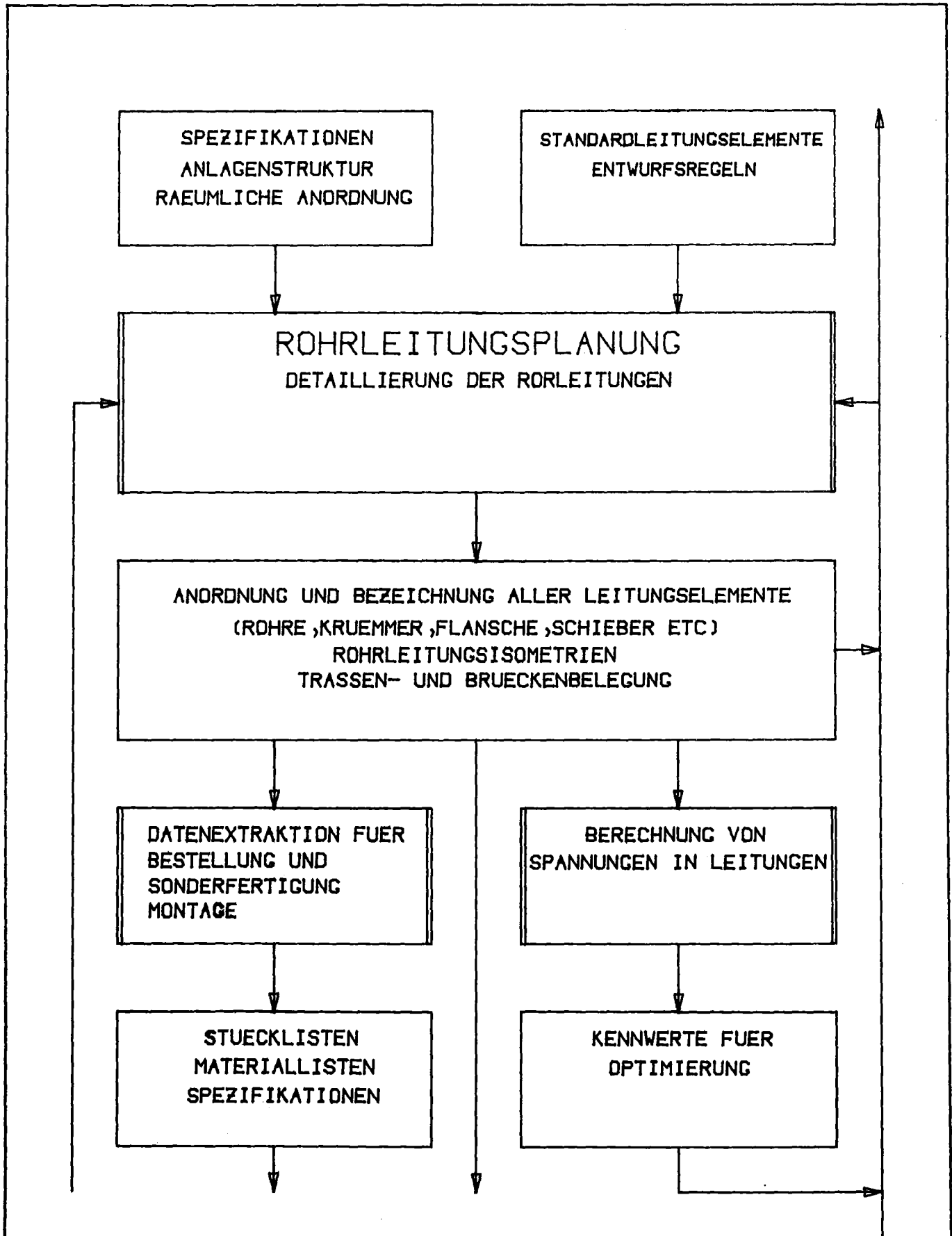


ABB.3d: ROHRLEITUNGSPLANUNG

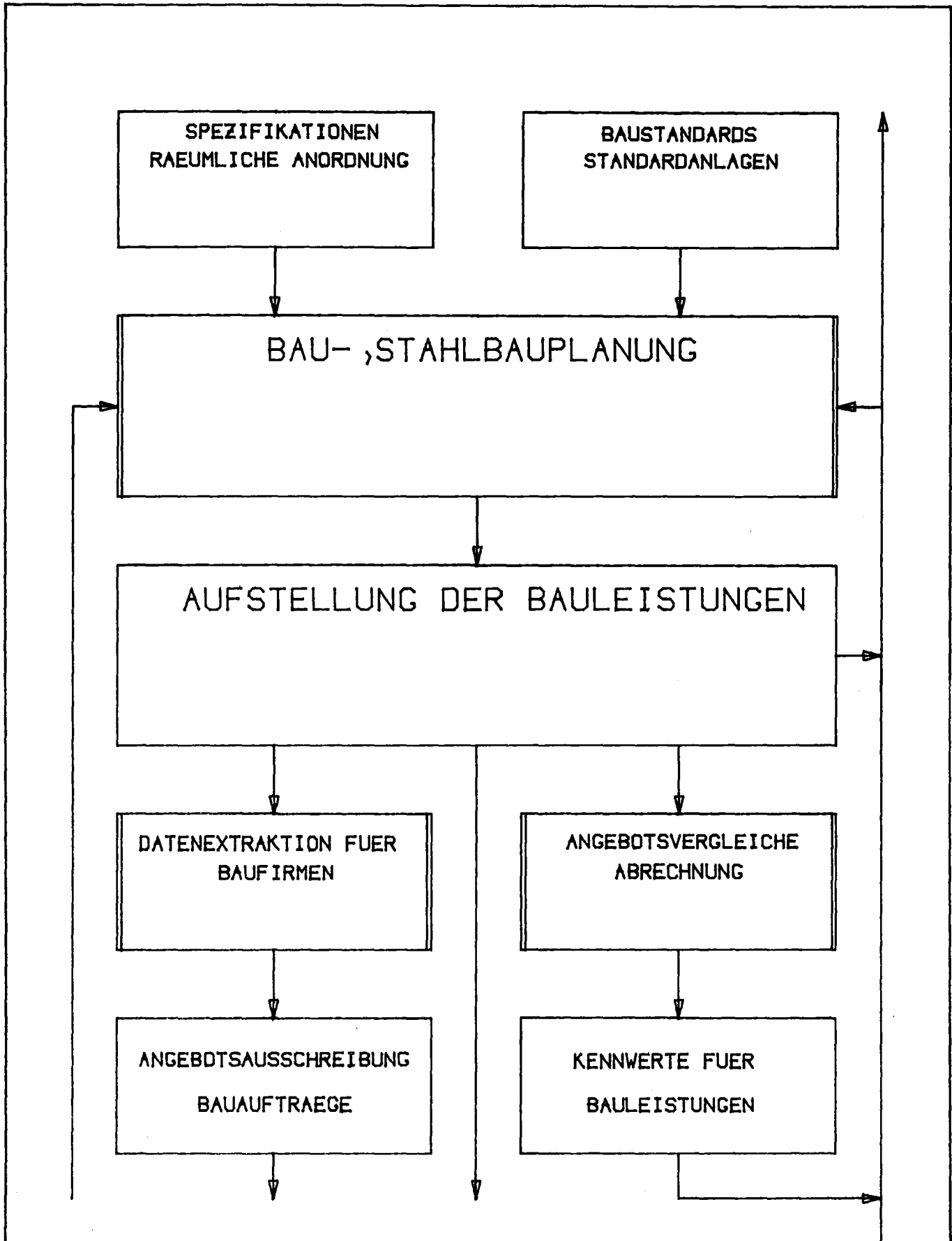


ABB. 3e: BAU-, STAHLBAUPLANUNG

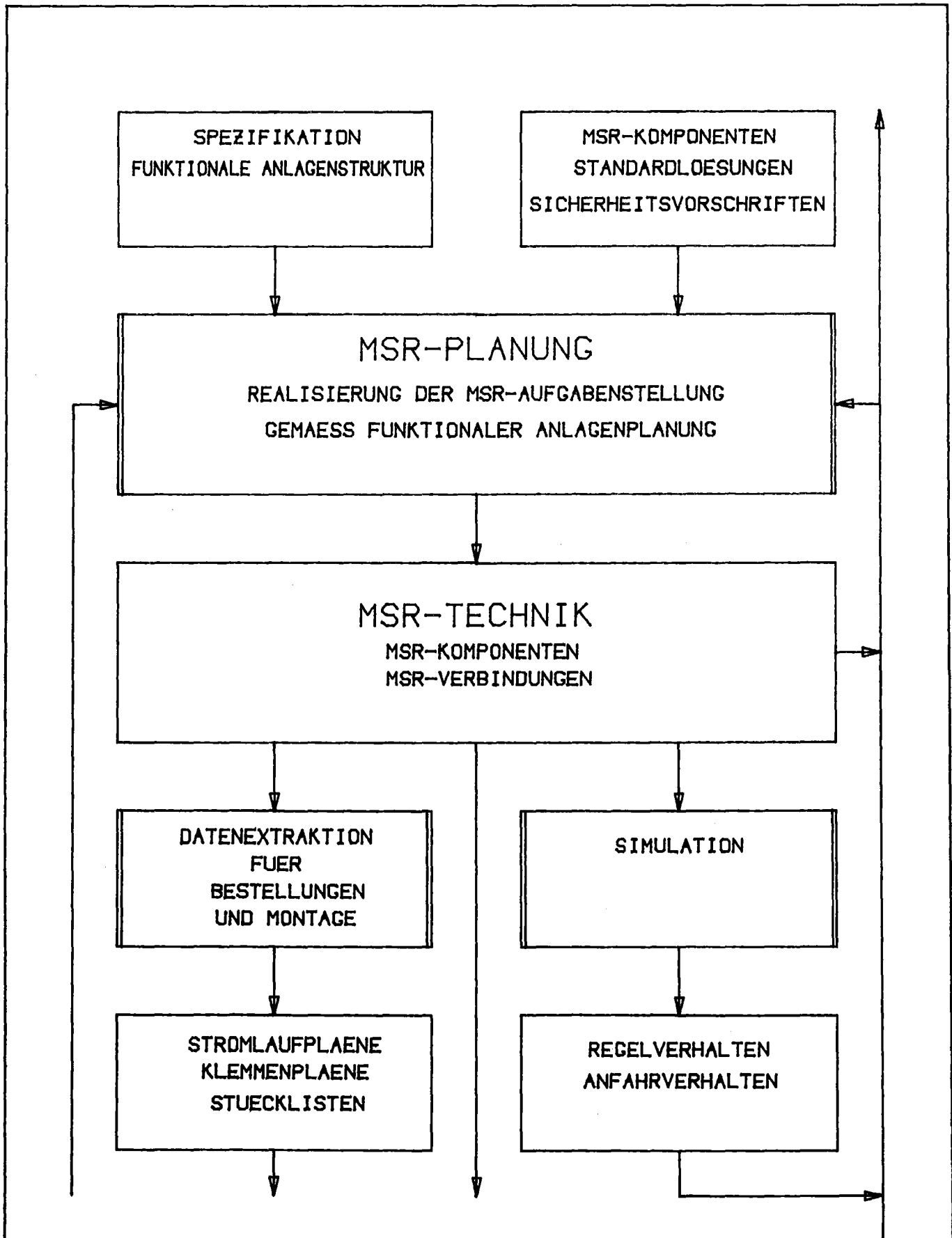


ABB. 3 f: MSR-PLANUNG

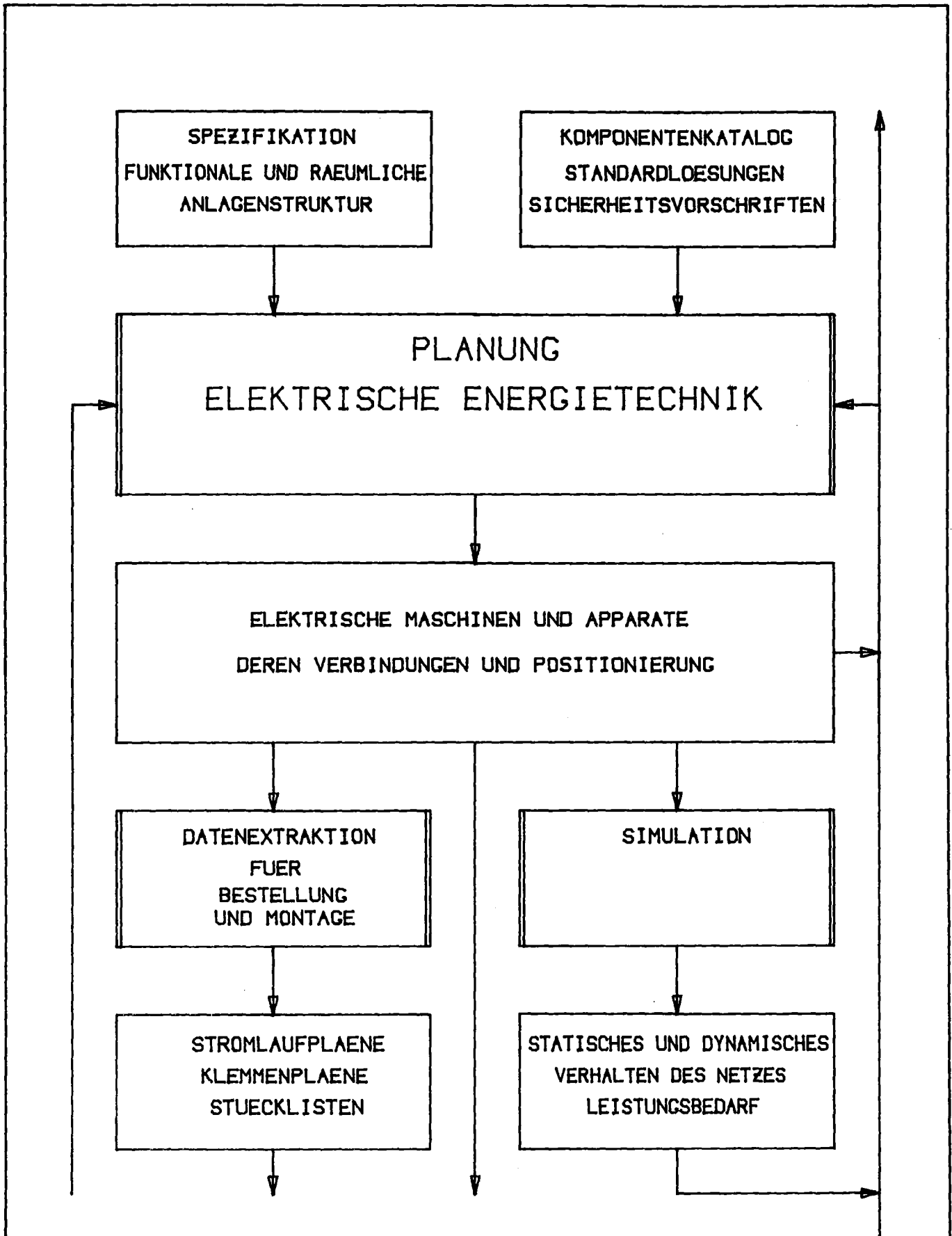


ABB.3g: ELEKTRO-PLANUNG



### 2.3 Datendarstellung

Die Erfassung der Anlagendaten erfolgt bei der herkömmlichen Anlagenplanung durch eine Vielzahl verschiedener Darstellungsmittel, von denen im folgenden einige aufgelistet sind.

- Grund-, Verfahrens-, R&I-Fließbild
- Technische Datenblätter
- Apparatelisten
- Armaturenlisten
- Stutzentabellen
- Stücklisten
- Anstrichlisten
- Dämmlisten
- Funktionspläne
- Klemmenbelegungspläne
- Stromlaufpläne
- Fehlerbäume
- Konstruktionszeichnungen (Ansichten, Schnitte)
- Aufstellungspläne
- Isometrien (Rohrleitungsisometrien)
- Texte (z.B. Betriebshinweise)
- Diagramme (z.B. Anfahrkurven)

Diese Dokumente erfüllen in der konventionellen Anlagenplanung die Aufgaben der Datenspeicherung und der Datenpräsentation. Bei Einsatz der EDV entfällt die Aufgabe der Datenspeicherung, da sie von der EDV übernommen wird. Die Präsentation der Daten sollte aber in der gewohnten Form erfolgen, da sie sich als zweckmäßig erwiesen hat. Dazu werden die Präsentationsformen klassifiziert, um einen sinnvollen EDV-Einsatz für die Datenpräsentation zu ermitteln.

Präsentationsklassen:

- Symbolschemata
- Tabellen
- Formulare
- geometrische Zeichnungen
- Diagramme
- Texte.

Symbolschemata (symbolische Zeichnungen) dienen der Darstellung von Objekten

und deren Verknüpfungen, dabei werden die Objekte (z.B. Apparate, Operationen, Ereignisse etc.) durch Symbole und die Verknüpfungen durch Verbindungslinien dargestellt. Die Geometrie einer solchen Zeichnung hat keine problembezogene Bedeutung.

In Tabellen werden die Attributwerte einer Vielzahl von Objekten mit gleichem Attributsatz dargestellt.

Formulare geben die Attribute und die zugehörigen Werte eines Objektes wieder.

Die Geometrie dieser drei Darstellungsmittel dient lediglich der klaren Gliederung und der Zuordnung von Informationen.

Unter dem Begriff geometrische Zeichnungen werden Aussichten, Schnitte und dergl. zusammengefaßt, also Zeichnungen, deren Geometrie problembezogen ist.

In Diagrammen werden funktionale Zusammenhänge beliebiger Größen zeichnerisch dargestellt.

Da für die EDV-gestützte Anlagenplanung eine Datenbearbeitung in den genannten Formaten in fast jeder Phase erforderlich ist, sollte ein Standardpaket zur Verfügung stehen, das Generatoren, Interpretierer und Editoren für diese Formate enthält.

#### 2.4 Existierende EDV-Systeme für die Anlagenplanung

Zur Unterstützung der Anlagenplanung ist bereits eine Reihe von Programmen im Einsatz, die im folgenden in das vorgestellte Schema des Planungsprozesses eingeordnet werden. Die Liste der Programme ist nicht vollständig, sie enthält auch keine Wertung.

##### Prozeßentwurf

Programmsysteme für den Bereich des Prozeßentwurfs simulieren den Prozeß mit Hilfe der verschiedensten Grundoperationen. Es sind Analyseprogramme, die der Optimierung des Prozeßablaufs, der Mengen- und Energiebilanzierung, der Berechnung der Betriebsparameter und der Stoffdaten dienen.

Einige dieser Programme unterstützen die Eingabe und Ausgabe durch graphische Techniken, indem Prozeßfließbilder zur Modellierung verwendet werden.

Beispiele für Programme dieser Art sind [2,3,4,5,6,7,8,22]:

CONCEPT, MAHEBA, SCHEMATA, PACER, GEMICS, FLOW PACK, DISTPACK, UNICORN, PRIMER, ESSPROSS, SPEEDUP, GENIE, TISFLOW, CHESS, Uhde-Prozeßcompiler, INSYPS, AGPSS.

#### Funktionaler Anlagenentwurf

Für diesen Bereich existieren Programme für die Komponentenauslegung (Wärmetauscher, Kolonnen, Öfen, Sprühtürme etc.) und die Rohrnetzberechnung hinsichtlich der Mengen- und Strömungsverhältnisse. Unterstützt wird die Arbeit in diesem Bereich auch durch allgemeine Systeme zum Zeichnen von Fließbildern.

Programme dieser Art sind:

HTRI, HTFS/CED, GANESI, ROHRNETZ.

#### Räumlicher Anlagenentwurf

Die Unterstützung dieses Bereiches durch die EDV beschränkt sich auf wenige Programme, die vor allem die Wegesuche für Rohrleitungen unter vorgegebenen Randbedingungen durchführen. Teilweise wird eine allgemeine Raumplanung unterstützt, indem die 3D-Koordinaten sämtlicher Objekte der Anlage erfaßt und Ansichten und Schnitte kompletter Anlagen oder Teilanlagen generiert werden.

Im allgemeinen erstellen die auf die Behandlung von Rohrleitungen beschränkten Programme die Isometrien, sie ermitteln die räumliche Anordnung der Rohrleitungselemente unter Berücksichtigung ihre Abmessungen.

Programme dieses Bereiches sind [4,9,10]:

PDMS, IPAC, ISOPEDAC, PICS.

Diese Programme beschränken sich allerdings nicht auf die Raumplanung, sondern übernehmen vor allem Aufgaben der Detailplanung.

Eine wichtige EDV-Hilfe für die Raumplanung sind reine, problemunabhängige zwei- und dreidimensionale Zeichnungssysteme.

Wichtigstes konventionelles Hilfsmittel ist das konkrete Anlagenmodell.

#### Detailplanung

Für die detaillierte Planung der Bauten, Rohrleitungen, der Meß-, Steuer-, Regel- und Elektrotechnik gibt es eine Vielzahl von Programmen mit folgenden allgemeinen Aufgabenstellungen:



- Materialerfassung
- Erstellen von Stücklisten
- Materialbewirtschaftung
- Erstellung von Werkstattunterlagen für Sonderfertigung
- Erstellen von Montageanweisungen
- Erstellen von Ausschreibungs- und Bestellunterlagen
- Kostenermittlung
- Erstellen von Stromlauf- und Klemmenbelegungsplänen
- Angebotsvergleich, Abrechnung
- Berechnungen von physikalischen Größen (Spannungen, Druckabfall, Kräfte etc.).

Beispielprogramme [ 3,4,9,10 ]:

PDMS, IPAC, ISOPEDAC, PICS, ROHR, ROSI, KOROSOP, CAPS, ISOM, PIPE-STRESS, PIFLEX, Bautext, IDEAL.

### Anlagensicherheit

Programme dieses Bereiches unterstützen die Erstellung eines sicherheitstechnischen Anlagenmodells (Emissionsquellen, Fehlerbäume) und die Analyse dieser Modelle (Schall bzw. Schadstoffausbreitung, Anlagenbetriebssicherheit).

Beispiele [ 3,11 ]: TÜV-Essen, Lockheed.

### Allgemeine Systeme

Neben den problembezogenen Entwicklungen sind auch EDV-bezogene Systeme, sog. integrierte Systemkerne, deren Hauptelement eine Datenbank ist, entwickelt worden [ 21,23 ]. Sie werden bisher vornehmlich für den Prozeßentwurf eingesetzt.

### 3. Integration von EDV-Systemen für Teilbereiche

Da die Einführung der EDV-Hilfsmittel in die Anlagenplanung schrittweise erfolgte und auch weiterhin schrittweise erfolgen wird, ist es von großer Bedeutung dafür zu sorgen, daß die Zusammenarbeit einzelner EDV-Pakete problemlos möglich ist. In den folgenden Abschnitten werden daher einige Probleme der Integration von Teillösungen der rechnergestützten Anlagenplanung erläutert.

### 3.1 Allgemeines

Aus der vorangegangenen Analyse des Planungsprozesses ergeben sich folgende Schlüsse:

- (1) Da der Planungsprozeß ein stark iterativer Prozeß ist, wird in fast allen Planungsphasen auf Ergebnisse anderer Phasen (vorangehender oder auch folgender, falls bereits vorläufige Ergebnisse vorliegen) in irgend einer Form zugegriffen: daher ist eine zentrale Datenbasis die natürliche und zweckmäßige Form der Datenverwaltung im Gegensatz zu einem bisher praktizierten Dateitransfer (Dateifolge, Dateikette). Eine derartige zentrale Datenbasis sollte in Form eines Datenbanksystems realisiert werden, auf dessen Vorteile und Probleme im folgenden noch näher eingegangen wird. Eine zentrale Datenbasis stellt das wichtigste Element einer Integration von Teilsystemen dar.
- (2) Neben der funktionellen Integration durch eine zentrale Datenbasis sollte die formale, EDV-technische Integration vorangetrieben werden. In diesen Bereich gehören Bemühungen, Standard-Software Funktionen, die, wie die Analyse zeigt, in allen Planungsphasen benötigt werden, durch geeignete Schnittstellen abzugrenzen (durch Daten und darauf definierte Operationen oder nur durch Daten). Dadurch sinkt der Wartungsaufwand für ein Gesamtpaket, Änderungen und Ergänzungen werden vereinfacht.

Folgende Standard-Software sollte durch geeignete Schnittstellen zur Verfügung stehen:

- Graphik (z.B. GKS nach DIN 12\_7)
- Geometrie (z.B. Geometrie-Baustein PCAD 13\_7)
- Kommunikationsverwaltung (Kommando- und Menügeneratoren und Interpreter, Formular- und Tabellengeneratoren und Interpreter)
- Datenverwaltung (z.B. DBTG gemäß PCAD 14\_7)
- Nachrichten- und Fehlerverwaltung
- Programmiersprache <sup>1)</sup>

---

#### 1) Anmerkung:

Geeignete Programmiersprachen für die Implementierung von CAD-Systemen sind PASCAL und PL1. Vorhandene FORTRAN-Pakete können aus beiden Sprachen heraus aufgerufen werden (notfalls durch Compiler-Erweiterung). Eine Verwendung von FORTRAN für neue Projekte ist nur schwer zu vertreten, da inzwischen auch entspr. Compiler für "Kleinrechner" auf dem Markt sind, Speicherplatzrestriktionen nicht mehr das entscheidende Gewicht haben und Software-Kosten durch ungeeignete Programmiersprachen nicht noch weiter erhöht werden sollten.

### 3.2 Zentrale Datenbank

#### 3.2.1 Aufbau einer Datenbank

Unter einer Datenbank wird im folgenden die Menge der Benutzerdaten zusammen mit der zu ihrer Manipulation zur Verfügung stehenden Software und den festgelegten Manipulationrestriktionen verstanden.

Ein solches System läßt sich da sinnvoll einsetzen, wo die Beschreibung der zu bearbeitenden Daten weitgehend unveränderlich ist. Das ist im Bereich der Anlagenplanung gegeben, wo ja bereits bei der konventionellen Bearbeitung mit festen Formularen und Tabellen für die Anlagenbeschreibung gearbeitet wird. Eine Anlage ist durch einen festen Attributsatz beschrieben, bei der Planung einer Anlage werden den Attributen dann Werte zugeordnet.

Die Verwendung eines Datenbanksystems als zentrale Datenbasis hat folgende Vorteile [15]:

- geringe (nützliche) oder keine Redundanz
- Konsistenz der Daten, da alle Operationen mit den Daten zentral nach einer Vorschrift kontrolliert werden
- Datenunabhängigkeit, da der Zugriff auf die Daten nur über die Datenbanksoftware erfolgt und die Datentypen und ihre Verknüpfungen implementierungsunabhängig definiert werden
- hohe Verfügbarkeit sämtlicher Daten zu jedem Zeitpunkt und für jeden Anwender
- Datensicherheit durch zentral durchgeführte Sicherungs-Maßnahmen.

Der Aufbau eines Datenbanksystems soll im folgenden kurz erläutert werden, um die weitere Diskussion über den Datenbankeinsatz in der Anlagenplanung zu erleichtern (Abb. 4). Dabei wird keine Gesamtdarstellung gegeben, für die auf die zahlreiche Literatur verwiesen wird [15,16,17,18], sondern es werden nur in diesem Zusammenhang relevante Dinge erläutert.

Auf die Daten der Datenbank wird, wie auch aus Abb. 4 hervorgeht, mit Hilfe der Datenbanksoftware zugegriffen. Sie enthält Operationen zum Einfügen, Löschen und Ändern von Daten und Datenbeziehungen und Operationen zum Suchen von Daten aufgrund gewisser Suchkriterien. Die Benutzerprogramme haben nur über diese Datenbanksoftware Zugang zu den Daten. Die Zulässigkeit einzelner Operationen, d.h. ob beispielsweise ein Datum in die Datenbank eingefügt werden darf oder ob eine Datengruppe geändert werden darf, wird von der Datenbanksoftware aufgrund des konzeptionellen Schemas und des dem jeweiligen Be-

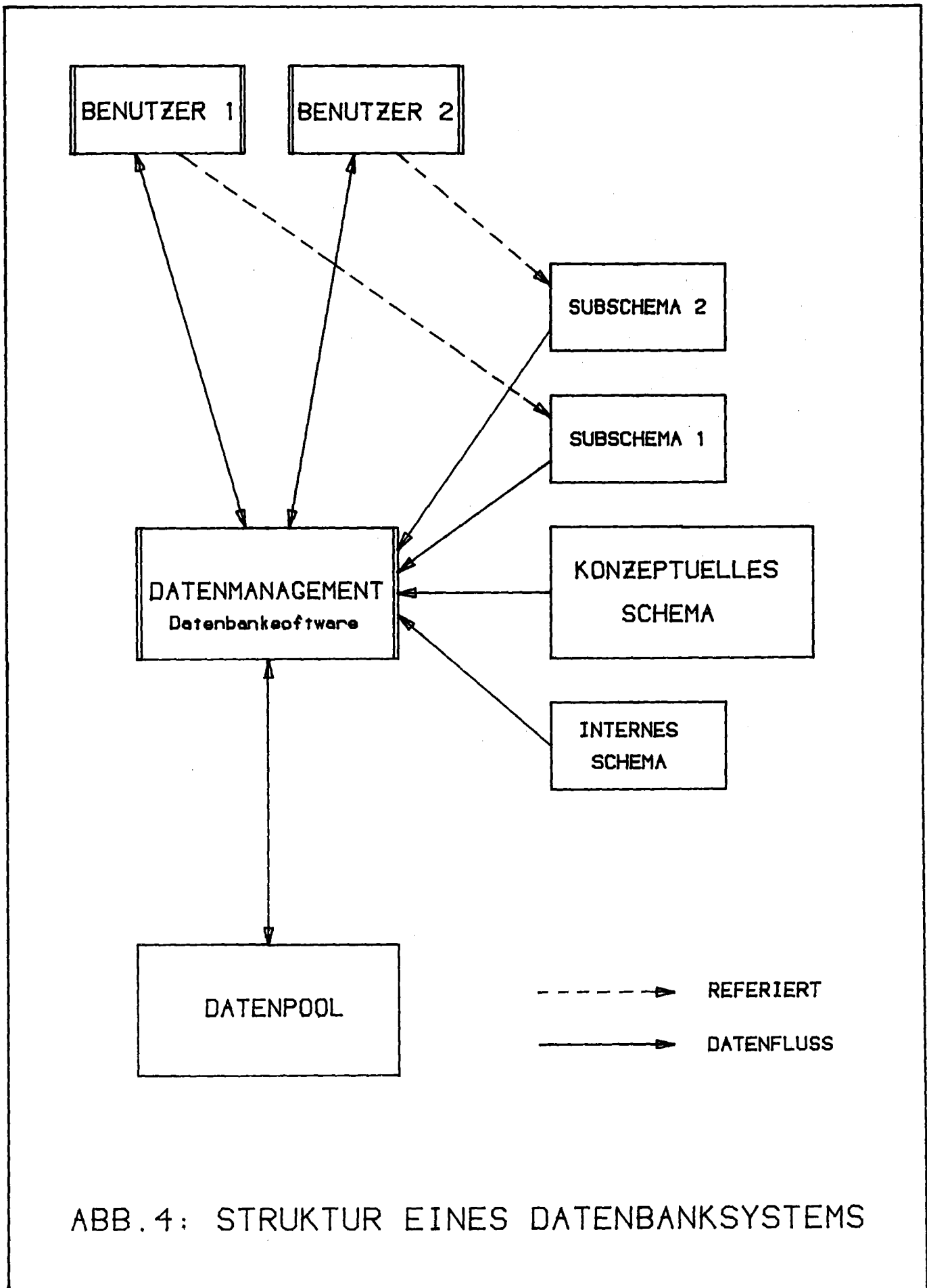


ABB. 4: STRUKTUR EINES DATENBANKSYSTEMS

nutzer zugeordneten Subschemas entschieden. Diese Schemata beschreiben den logischen Aufbau der Daten (den Aufbau der Satztypen und ihrer möglichen Verknüpfungen), die Zugriffsbeschränkungen und Konsistenzbedingungen. Sie legen also den Freiheitsgrad des Benutzers bei der Manipulation der Daten fest.

Das konzeptionelle Schema einer Datenbank ist ein komplettes Modell der realen Welt, also beispielsweise das EDV-Modell einer Anlage in allen den Einzelheiten, die für den gesamten Planungsprozeß von Bedeutung sind. Es enthält alle Anlageninvarianten und Standard-Planungsrestriktionen, soweit sie formalisierbar und durch den Schema-Beschreibungsmechanismus beschreibbar sind. Ein Subschema erfaßt eine Anlage lediglich unter einem Teilaspekt, beispielsweise dem der Bauplanung. Die einzelnen "Benutzer" gemäß Abb. 4 repräsentieren bezüglich des Anlagenplanungsprozesses die einzelnen Planungsphasen. Ein Subschema maskiert aus der Gesamtmenge der Daten und Restriktionen einen Teil heraus, so daß einerseits der Umgang mit den Daten durch größere Übersichtlichkeit und problemgerechte Darstellung erleichtert wird und andererseits auch die Datensicherheit erhöht wird.

Das interne Schema ist für diese Arbeit ohne Bedeutung, in ihm wird die physische Organisation der Daten festgelegt, wodurch beispielsweise die Zugriffseffektivität beeinflußt wird.

Die zentrale Aufgabe beim Einsatz einer Datenbank ist die Erstellung des konzeptuellen Schemas, d.h. konkret im Falle der Anlagenplanung, die Beschreibung der logischen Struktur der Anlage, die Festlegung eines Anlagenmodells.

Dazu sind folgende Fragen zu beantworten:

- Welche Objekte sollen die Anlage darstellen?
- Welche Attribute haben diese Objekte und welche Wertebereiche sind jeweils zulässig?
- Wie sind die Objekte verknüpft, in welchen Beziehungen stehen sie zueinander?
- Welche Konsistenzbedingungen sind zweckmäßig? (Welche sollten im Schema aufgenommen werden, welche überläßt man dem Planer?)

Zu einigen dieser Probleme wird im folgenden Stellung genommen, insbesondere wird auch ein einfaches mögliches Anlagenschema vorgeschlagen.

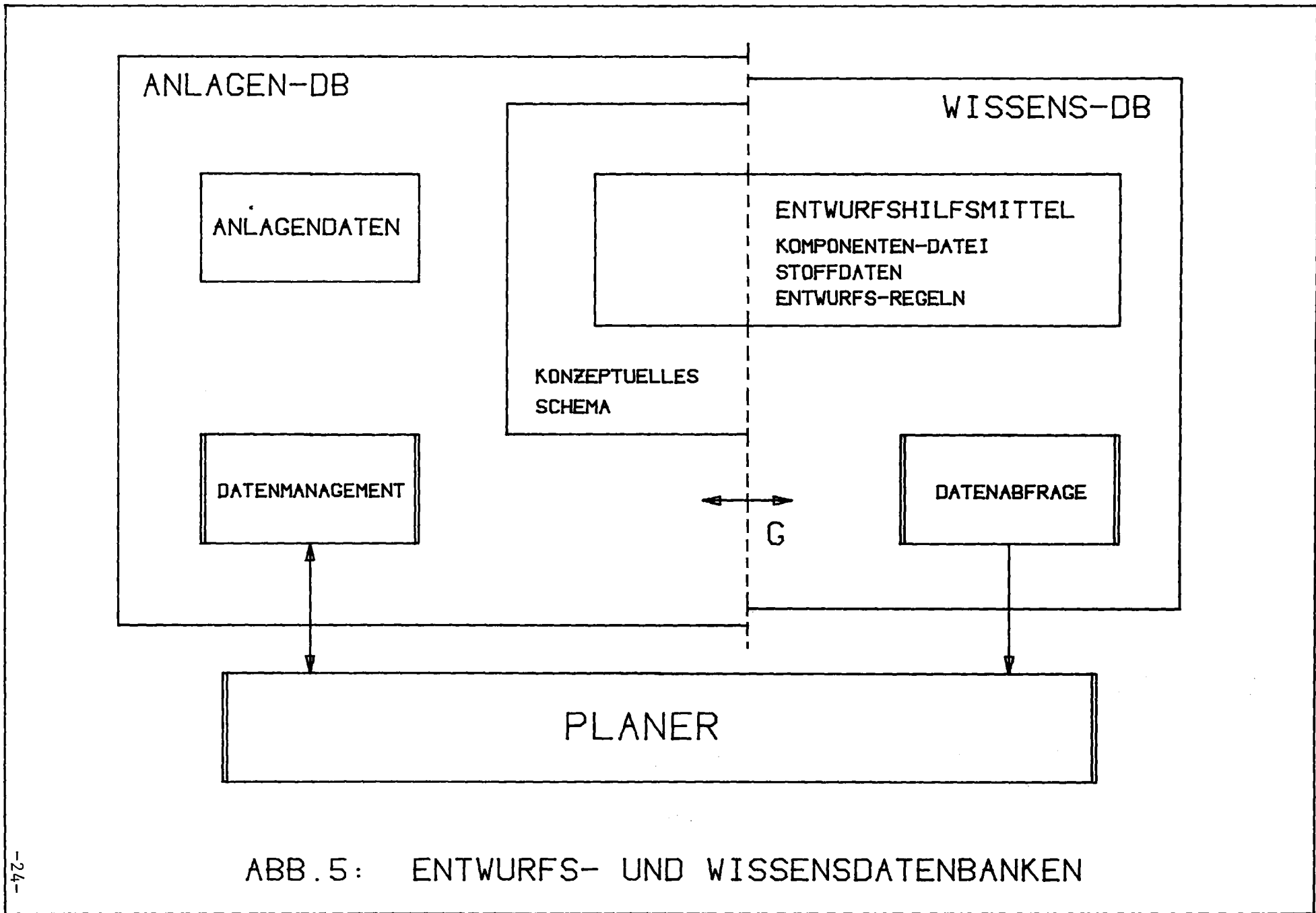


ABB. 5: ENTWURFS- UND WISSENSDATENBANKEN

### 3.2.2. Konsistenzbedingungen

Unter dem Begriff der Konsistenz wird die logische Widerspruchsfreiheit der Daten verstanden. Die Daten einer Anlagendatenbank sind konsistent, wenn sie ein gültiges Modell einer realisierbaren Anlage darstellen. Die Problematik bei der Schemaerstellung liegt nun unter anderem darin, zu entscheiden, wem die Überwachung der verschiedenen Konsistenzbedingungen übertragen werden kann oder soll: dem DB-System oder dem Planer, der die Überwachung an Hand von Regelwerken und seiner Erfahrung durchführt.

Ein erster Schritt zur EDV-Unterstützung der Synthesephase, in der die Konsistenzbedingungen von Bedeutung sind, wäre der Aufbau von zwei Datenbanken (oder zwei Bereichen in einer DB): einer Datenbank, die die Daten der in der Entwicklung befindlichen Anlage enthält und eine Datenbank, die die Entwurfshilfsdaten des Planers enthält, wie Standardkomponenten, allgemeine Stoffdaten, Entwurfsregeln (Abb. 5).

Diese Datenbankinhalte sollten in einer problemgerechten Form abfragbar und darstellbar sein. Der Planer hätte dann dafür zu sorgen, daß die Daten der zu entwickelnden Anlage, also eine Eingabe, den Vorschriften, d.h. den Daten der Wissens-Bibliothek nicht widerspricht. Die DV-Unterstützung bestände im wesentlichen in der hohen Wissens-Verfügbarkeit und einer problemgerechten Präsentation.

Bei einer Weiterentwicklung könnten die Daten der Hilfsmittel-DB immer stärker in das Schema der Anlagen-DB einbezogen werden, womit also die Grenze G in Abb. 5 nach links verschoben würde. Im Grenzfall sollte das Schema alle Informationen umfassen, die der Planer bei einer konventionellen Vorgehensweise seinen Handbüchern und Vorschriftenwerken entnimmt. Das erfordert aber auch eine Änderung der DB-Struktur in Abb. 4: Dem Planer müssen dann bei zunehmendem Schemaumfang Informationen über das Schema entweder durch eine Abfragesprache oder durch schemabedingte Menüs zugänglich gemacht werden.

### 3.2.3 Spezifische Merkmale und Forderungen

Im folgenden werden einige für den Bereich der Anlagenplanung charakteristische Forderungen an Datenbanksysteme erläutert und spezielle Merkmale aufgezählt. Einige dieser Anforderungen gelten sicher auch für den gesamten CAD-Bereich.

(1) Da der Planungsprozeß stark iterativ abläuft, ergibt sich eine hohe Än-

derungshäufigkeit der Daten und ein voll konsistenter Zustand der Daten wird oft nur schrittweise erreicht, so daß Inkonsistenzen vorübergehend toleriert werden müssen. Die Konsistenzüberprüfungen und die Härte der Reaktion auf Konsistenzverletzungen sollten vom Entwurfszustand abhängen. Es sollten verschiedene Klassen von Konsistenzbedignungen unterschieden werden, so daß in Abhängigkeit vom Entwurfszustand unterschiedliche Prüfungen vorgenommen werden. Erst bei Freigabe eines Entwurfs würde dann die volle Konsistenz vom System gewährleistet.

Die Überprüfung der Konsistenz sollte auch für verschiedene Bereiche der Anlage mit unterschiedlichen Konsistenzanforderungen möglich sein: Während gewisse Anlagenteile bereits freigegeben sind, befinden sich andere noch in einem Frühstadium des Entwurfs.

Hinweise auf Konsistenzverletzungen sind eine wesentliche Hilfe für den Planer, wie beispielsweise der Hinweis auf eine noch fehlende Rohrleitung an einem Apparat.

- (2) Da die Schema-Informationen sehr umfangreich und komplex werden können (s. Abschn. 3.2.2), sollte eine Abfrage dieser Schema-Informationen möglich sein, um Benutzeraktivitäten nicht unnötig oft durch Fehlerreaktivitäten unterbrechen zu müssen, wenn dem Benutzer die Restriktionen nicht mehr geläufig sind. Ebenfalls denkbar wäre für dieses Problem eine schemaabhängige Menügenerierung oder ein schemaabhängiges Prompting.
- (3) Da die Komplexität einer Anlage im Vergleich zu kommerziellen Anwendungen sehr hoch ist, d.h. neben einer Vielzahl von Datentypen, insbesondere die Zahl der verschiedenen Datenverknüpfungen sehr umfangreich ist, sollte die Benutzerschnittstelle zum DB-System hin graphisch orientiert sein, da so topologische Zusammenhänge schneller zu übersehen sind. Geeignete Darstellungsformen sind Graphiken, Tabellen und Formulare. Auf Grund der großen Informationsmenge für eine Anlage sollten allerdings die für die Darstellung erforderlichen graphischen Informationen möglichst nicht noch zusätzlich als Objekte gespeichert werden, sie sollten weitgehend aus den problembezogenen Daten durch Algorithmen aufgrund von Typbeschreibungen generiert werden, was z.B. einer automatischen Fließbildgenerierung entspricht [19,20].
- (4) Entsprechend der Zahl der Planungsphasen gibt es eine relativ große Zahl von verschiedenen Benutzer-Sichten (Subschemata) zwischen denen aufgrund des iterativen Planungsablaufs oft gewechselt wird.



- (5) Häufige Schemaänderungen sind zu erwarten da sich vor allem die Standardbauelemente aber auch Entwurfsregeln häufig ändern. Daher sollte eine mindestens teilweise Interpretation des Schemas erfolgen, um bei Schemaänderungen ein Compilieren zu vermeiden.
- (6) Auf gewissen größeren Datenmengen operieren sehr rechenintensive Analysealgorithmen. Daher ist es u.U. zweckmäßig, statt spezielle Zugriffspfade bereitzustellen, die erforderlichen Daten zu extrahieren und in der vom Analyseprogramm geforderten physischen Anordnung bereitzustellen. Es sollten also Transformationsprogramme bereitstehen, die es gestatten, temporäre physische Teildatenbanken zu erzeugen und auch wieder in die Mutterdatenbank zu übernehmen.

Die Arbeit mit derartigen Teildatenbanken hätte auch für die interaktive Arbeit den Vorteil der kürzeren Reaktionszeiten, da die Datenmenge kleiner ist, die physische Struktur besser angepaßt ist und die Konsistentenbedingungen weniger umfangreich sind. Die Prüfung der Konsistenz gegenüber den Restdaten der Mutterdatenbank erfolgt erst bei der Rücktransformation [21].

- (7) Das Datenbanksystem sollte die Verwaltung von Entwurfalternativen für Fallstudien gestatten. Die Entwurfalternativen werden für beliebige Teile des Gesamtsystems entwickelt, sie beziehen sich sowohl auf die Struktur als auch auf Objekteigenschaften.
- (8) Im Unterschied zu kommerziellen Datenbankanwendungen ist in der Anlagenplanung die Dialogintensität sehr hoch [21], allerdings aber wohl in der Regel bezüglich kleinerer Bereiche der Gesamtdatenmenge (temporärer Interessenbereich).
- (9) In der Synthesephase richtet der Planer Fragen an die Datenbank, die ihm die Beurteilung des jeweiligen Modellzustandes erleichtern sollen. Die Variationsbreite der Fragestellungen ist dabei sicher groß im Gegensatz zu Fragen, die (aufgrund einer stabilen Aufgabenstruktur) in kommerziellen Systemen gestellt werden, so daß besondere Anforderungen an die Zugriffspfade gestellt werden müssen.
- (10) Für die Datendefinition (Schemadefinition) sollte unbedingt die Rekursion bei der Beschreibung von Objektrelationen zugelassen werden, d.h. der Sonderfall, daß Vorbereichs- und Nachbereichselemente einer Relation vom gleichen Typ sind. Das exemplarische Schema in Abb. 7 zeigt die Häufig-

keit einer derartigen Verknüpfung im CAD-Bereich (auf diese Art und Weise werden z.B. Bäume definiert).

### 3.2.4 Ein konzeptuelles Schema einer Anlage

Für das im folgenden dargestellte konzeptuelle Schema einer Anlage wird beim Anspruch auf Allgemeingültigkeit bzw. Vollständigkeit erhoben, es soll lediglich als Diskussionsgrundlage dienen. Die Detaillierung bezüglich der Objekttypen und der Attribute geht nicht sehr weit, es werden nur Klassen genannt, da nur das Vorgehensprinzip verdeutlicht werden soll.

Eine Anlage wird durch Objekte (Entities, Elemente, Dinge), die durch Attribute charakterisiert werden, und durch Objektverknüpfungen (der Einfachheit halber hier binäre Relationen) beschrieben. Einer derartigen binären Relation wird eine Eigenschaft der Form  $(n_1:n_2, m_1:m_2)$  zugeordnet. Das soll heißen, daß ein Vorbereichselement der Relationen mit mindestens  $m_1$  aber höchstens  $m_2$  Elementen des Nachbereichs und daß ein Nachbereichselement mit mindestens  $n_1$  aber höchstens  $n_2$  Vorbereichselementen verknüpft sein darf (Abb. 6).

#### Anlagenobjekte

Eine Anlage wird modelliert durch die organisatorischen Einheiten des Typs Verfahrensstufe, Teilanlage und Teilbereich durch die eine verfahrenstechnische, eine gerätetechnische und räumliche Gliederung der Anlage vorgenommen wird. Funktional wird die Anlage durch Objekte des Typs Grundoperation, Strom, Apparat, Leitung, Leiter, Armatur beschrieben. In jedem dieser Objekttypen werden im folgenden exemplarisch charakteristische Attribute bzw. Attributklassen aufgeführt, detailliertere Angaben wie beispielsweise zulässige Wertebereiche für Attributwerte, werden nicht gemacht.

#### (1) Anlage

- Besteller
- Betreiber
- Bearbeiter
- Änderungsdatum
- Entwurfsstadium
- Anschlüsse
- Sicherheitskennwerte
- Betriebsdaten
- Konstruktionsklasse

- Gestalt
- Lage

Eine Anlage umfaßt alle Einrichtungen für die Durchführung eines Verfahrens.

(2) Teilanlage

- Bearbeiter
- Änderungsdatum
- Entwurfsstadium
- Anschlüsse
- Betriebsdaten
- Sicherheitskennwerte
- Konstruktionsklasse
- Gestalt
- Lage

Eine Teilanlage umfaßt eine Gruppe von Einrichtungen, die relativ selbständig ist, d.h. zeitweise allein betrieben werden kann.

(3) Verfahrensstufe

- Methode
- Simulationsverfahren
- Massenbilanz/Energiebilanz
- Anschlüsse

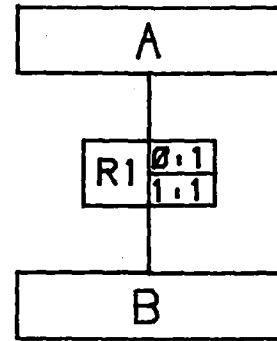
Eine Verfahrensstufe (Verfahrensabschnitt) ist ein in sich überwiegend geschlossenes System von chemischen, physikalischen oder biologischen Vorgängen zur Herstellung oder Beseitigung von Stoffen oder Produkten.

(4) Teilbereich

- Gestalt
- Lage
- Bodendaten (Tragfähigkeit ...)
- Bebauungsauflagen
- Verwendungszweck (Transportweg, Lager ...)

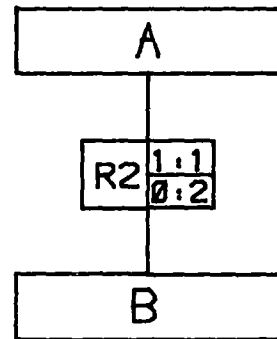
Mit Teilbereich wird ein räumlicher Teil einer Anlage bezeichnet, der hinsichtlich der Aufnahme von Anlagenkomponenten eine Einheit bildet. Er präsentiert in abstrakter Form die Bauten, die in dem Schema-Beispiel

A \ B	1	2	3	4	5	6
1			*			
2	*					
3				*		
4					*	
5		*				



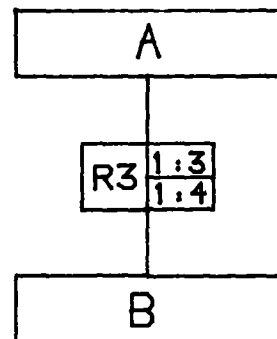
$$R1 \subseteq A \times B, (\emptyset:1, 1:1)$$

A \ B	1	2	3	4	5	6
1						
2	*	*				
3					*	
4				*		
5			*			*



$$R2 \subseteq A \times B, (1:1, \emptyset:2)$$

A \ B	1	2	3	4	5	6
1	*	*	*			
2		*				
3		*	*	*	*	
4	*					*
5				*		



$$R3 \subseteq A \times B, (1:3, 1:4)$$

ABB. 6: DARSTELLUNG VON OBJEKTVERKNUEPFUNGEN

nicht explizit erfaßt werden.

(5) Grundoperation

- Typ (Reaktion, Destillation ...)
- Betriebsbedingungen (Druck, Temperatur ...)
- Methode.

Grundoperationen sind die verfahrenstechnisch einfachsten Vorgänge bei der Durchführung eines Verfahrens.

(6) Strom

- Typ (Stoffart, Energieart)
- Menge/Zeit

Hierbei handelt es sich um den Transport von Stoff und Energie.

(7) Apparat

- Typ (Behälter, Kolonne, Pumpe ...)
- Betriebsdaten (Druck, Temperatur ...)
- Konstruktionsdaten (Werkstoff ...)
- Gestalt (abstrakt, z.B. umhüllender Quader)
- Lage (relativ zur Teilanlage)
- kaufmännische Daten (Lieferant, Preis ...)
- Anschlüsse (Typ, Medium, Betriebsdaten, Konstruktionsdaten, relative Position)
- Sicherheitsdaten

Unter dem Begriff Apparat werden alle Anlagenelemente zusammengefaßt, die dem Stoff-, Energie- und Informationsumsatz dienen, also beispielsweise Behälter, Kolonnen, Pumpen, Abscheider, Wärmetauscher, aber auch die signalverarbeitenden Elemente der MSR-Technik wie Regler, Verstärker.

(8) Leitung

- Typ (Stoff-, Energie-, Signalleitung etc.)
- Klasse (Rohrklasse, Konstruktionsdaten)
- Sicherheitsdaten

Leitungen übernehmen und beeinflussen den Transport von Stoff, Energie und Information. Eine Leitung ist eine geordnete Folge von Leitelementen und Armaturen.

(9) Armatur

- Typ (Ventil, Verzweigung, Meßwertaufnehmer, Stellelement ...)
- Betriebsdaten (Druck, Temperatur ...)
- Konstruktionsdaten (Werkstoff ...)
- Gestalt (abstrahiert)
- Lage
- kaufmännische Daten (Lieferant, Preis ...)
- Anschlüsse (Typ, Medium, Betriebsdaten, Konstruktionsdaten, Position)
- Sicherheitsdaten

Als Armaturen werden die Elemente bezeichnet, die die räumliche Leitung beeinflussen bzw. erfassen.

(10) Leiter

- Typ (Rohr, Kabel, Fittings ...)
- Konstruktionsdaten (Werkstoff ...)
- Betriebsdaten (Druck, Temperatur ...)
- Gestalt
- Lage
- Sicherheitsdaten

Leiter sind die Elemente, die den Transport übernehmen, und deren mechanisches Zubehör.

Die Abgrenzung dieser Begriffe gegeneinander ist natürlich willkürlich, es wäre auch die Verwendung ganz anderer Objekttypen denkbar (mit anderen Attributgruppierungen). Die Bedeutung der gewählten Objekttypen wird im folgenden noch durch die Beschreibung der Objektverknüpfungen verdeutlicht.

Objektbezeichnungen

Die Objektbezeichnungen werden durch binäre Relationen beschrieben (Abb. 6, Abb. 7).

- R1 : Anlage - Verfahrensstufe
- R5 : Anlage - Teilanlage
- R6 : Anlage - Teilbereich

Eine Anlage wird in Verfahrensstufen, Teilanlagen und Teilbereiche gegliedert.

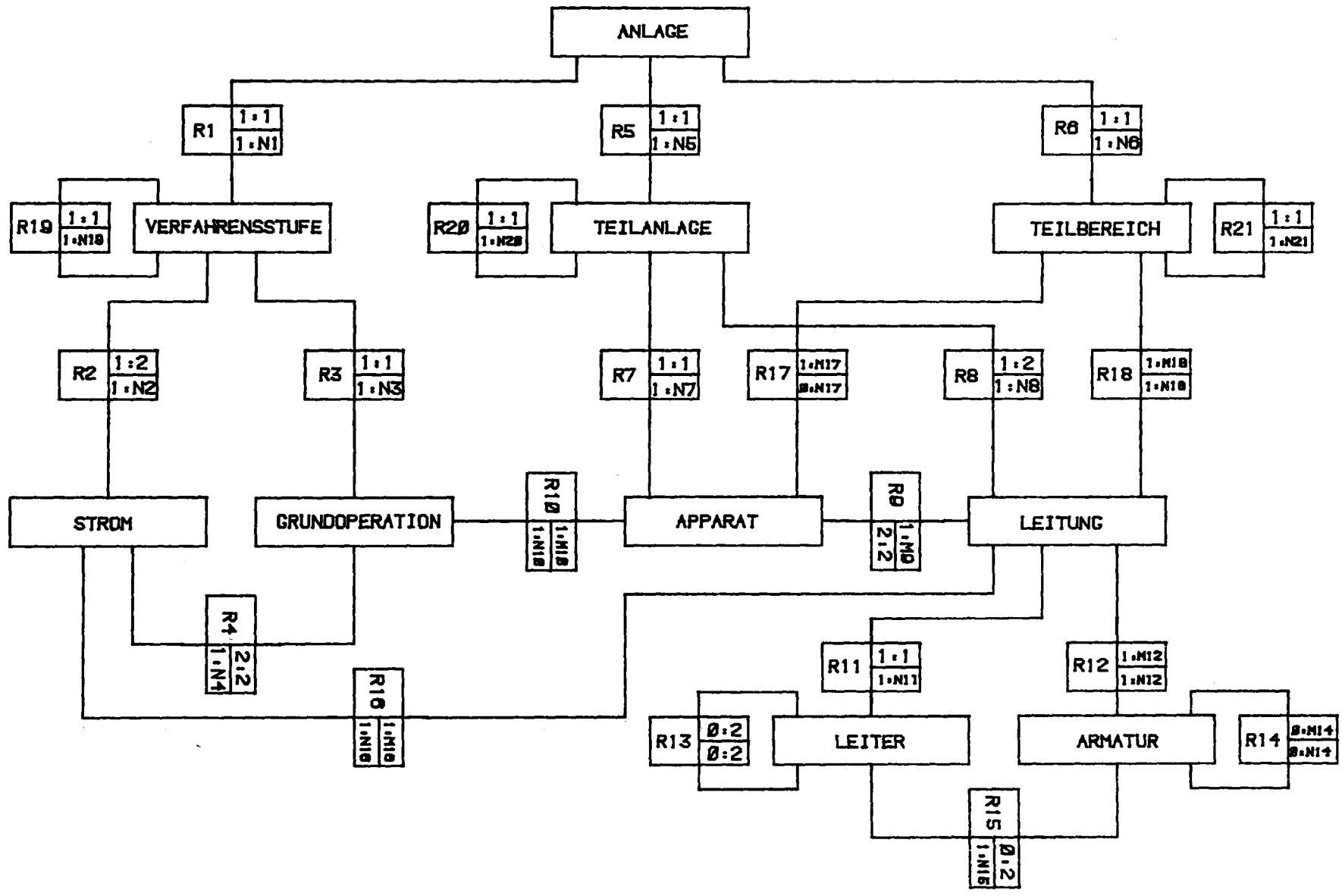


ABB. 7: ANLAGENSHEMA

- R2 : Verfahrensstufe - Strom
- R3 : Verfahrensstufe - Grundoperation
- R4 : Grundoperation -Strom

Eine Verfahrensstufe enthält zwischen 1 und N2 Ströme und zwischen 1 und N3 Grundoperationen. Grundoperationen gehören immer zu genau einer Verfahrensstufe, Ströme zu einer oder zwei Verfahrensstufen, zu zweien, wenn die verbundenen Grundoperationen verschiedenen Verfahrensstufen angehören. Ein Strom verbindet genau zwei Grundoperationen miteinander, einer Grundoperation ist mindestens ein Strom zugeordnet (höchstens N4).

- R7 : Teilanlage - Apparat
- R8 : Teilanlage - Leitung
- R9 : Apparat - Leitung

Eine Teilanlage besteht aus Apparaten und Leitungen (jeweils mindestens 1). Ein Apparat gehört immer zu genau einer Teilanlage, eine Leitung zu einer oder zwei Teilanlagen. Eine Leitung verbindet genau zwei Apparate, zu einem Apparat führt mindestens eine Leitung.

- R11: Leitung - Leiter
- R12: Leitung - Armatur
- R13: Leiter - Leiter
- R14: Armatur - Armatur
- R15: Leiter - Armatur

Eine Leitung wird durch Leiter und Armaturen gebildet, die miteinander verkettet sind. Eine Leitung muß nicht unbedingt Armaturen enthalten, eine Armatur kann im Gegensatz zu einem Leiter zu mehreren Leitungen gehören (Armatur mit mehreren Anschlüssen). Ein Leiter kann bis zu zwei Armaturen verbinden. Von einer Armatur geht mindestens ein Leiter ab, sie kann aber auch direkt mit anderen Armaturen gekoppelt sein. Ebenso können Leiter direkt miteinander verbunden sein.

- R17: Teilbereich - Apparat
- R18: Teilbereich - Leitung

Ein Teilbereich kann Apparate und Leitungen enthalten, Apparate und Leitungen sind immer mindestens einem Teilbereich zugeordnet.

- R10: Apparat - Grundoperation
- R16: Leitung - Strom



Diese beiden Relationen bilden das verfahrenstechnische Modell auf das Aus-  
rüstungsmodell ab. Es handelt sich um eine allgemeine m:n-Abbildung.

Die Verfahrensstufen, Anlagenbereiche und Teilanlagen sind indirekt über die  
Relationen R7, R17, R8, R18, R10, R16 verknüpft.

#### 4. Konzepte für Realisierung von CAD-Systemen für Teilbereiche der Anlagenplanung

Wie aus der Systemanalyse in Abschn. 2 hervorgeht, unterstützen die vorlie-  
genden EDV-Systeme zur Anlagenplanung die Synthesephase des Entwurfs, von  
einigen Ausnahmen abgesehen, kaum oder gar nicht. Gerade aber in diesem Be-  
reich wächst die Menge der Informationen sehr stark, so daß die Datenhand-  
habung zum Problem wird. Der Einsatz der EDV sollte aber bereits dann erfol-  
gen, wenn die Menge der Informationen noch möglichst gering ist, also zu Be-  
ginn der Synthese. Darüber hinaus sollten in Bereichen, in denen in hohem  
Maße menschliche Entscheidungen erforderlich sind, wie in der Synthesephase,  
insbesondere interaktive graphische Systeme eingesetzt werden.

Da sich die Entwurfstätigkeit in absehbarer Zeit wohl kaum algorithmisch dar-  
stellen lassen wird, sind folgende EDV-Techniken zur Unterstützung der Syn-  
thesearbeiten realistisch einsetzbar:

- . Problemgerechte Eingabe der Entwurfsentscheidungen (interaktiv, graphisch).
- . Problemgerechte graphische und alphanumerische Darstellung (Ausgabe) des  
jeweiligen Entwurfsstadiums durch Fließbilder, Tabellen, Formulare, An-  
sichten, Schnitte.
- . Überprüfen der Zuverlässigkeit von Entwurfsentscheidungen und Hinweise  
auf Inkonsistenzen mit Hilfe katalogisierter Standard-Regeln.
- . Schneller, problemgerechter Zugriff auf Standardlösungen.
- . Schneller und problemgerechter Zugriff auf Standard-Komponenten, Vor-  
schriften, Berechnungsmethoden.
- . Unterstützung der typischen Entwurfs-Vorgehensweisen des schrittweisen  
Verfeinerns und des schrittweisen Abstrahierens.
- . Verwaltung von Entwurfalternativen.

Die Struktur eines CAD-Systems für die Anlagenplanung geht aus Abb. 8 her-

vor, in der die wesentlichen Komponenten aufgeführt sind. Kern des Systems ist der sog. Entwurfsprozessor, der Aktivitäten koordiniert und möglichst problemunabhängig konzipiert werden sollte. Ihm untergeordnet sind, falls in der jeweiligen Phase vorhanden, Synthesealgorithmen (z.B. Wegesuche für Rohrleitungen) und Analysealgorithmen (z.B. Bilanzierungen). Alle haben Zugriff auf die zentrale Anlagen-Datenbank. Der Entwurfsprozessor greift für Auskunftszwecke zusätzlich auf die Wissensdatenbank und das Schema der Anlagendatenbank zu. Der Dialog wird vom Dialogprozessor abgewickelt. Folgende Dialogformen sind zweckmäßig: Kommando-Dialog, Graphen-, Tabellen- und Formulardialoge, in denen die Eingabesyntax graphischer Elemente enthält (die Bedeutung von Eingaben hängt vom graphischen Kontext ab) und Menü-Dialoge.

Um die Masseneingabe zu ermöglichen, ist zusätzlich im Batch-Prozessor vorgesehen, über den eine Eingabe durch eine algorithmische, problemorientierte Sprache zur Verfügung steht.

Nach diesen allgemeinen Vorschlägen zur Unterstützung der Entwurfsarbeiten durch EDV-Hilfsmittel werden in den beiden folgenden Abschnitten die problembezogenen Mindestleistungen der Systeme für die funktionale und räumliche Anlagenplanung aufgeführt.

Bei beiden Konzepten wird davon ausgegangen, daß die eigentliche Synthese (der Entwurf) durch den Planer erfolgt und nicht automatisiert wird. Die EDV unterstützt den Planer lediglich durch geeignete Bereitstellung erforderlicher Informationen und die problemgerechte Aufnahme seiner Entwurfsentscheidungen im Dialog. Allerdings sollte ein derartiges System offen sein für die Erweiterung durch Algorithmen, die Teilprobleme der Synthese bearbeiten können wie beispielsweise einfache Raumplanungsprobleme, Wegesuche für Rohrleitungen oder Auswahl von Funktionsträgern für Verfahrensstufen. Die Ergebnisse derartiger Algorithmen können dann im Dialog weiter bearbeitet werden.

Beide Konzepte werden durch das erforderliche Subschema, die für diese Daten zulässigen Operationen und die Art der problemgerechten Datenpräsentation im Dialog umrissen.

#### 4.1 Funktionale Anlagenplanung

Wie bereits vorher gesagt, werden in dieser Phase der Anlagenplanung den Prozeßelementen Funktionsträger zugeordnet, die die gewünschte Funktion apparativ realisieren. Diese Zuordnung ist nicht trivial, da einerseits eine Prozeßfunktion durch eine Apparategruppe realisiert werden kann (1:m-Abbildung,

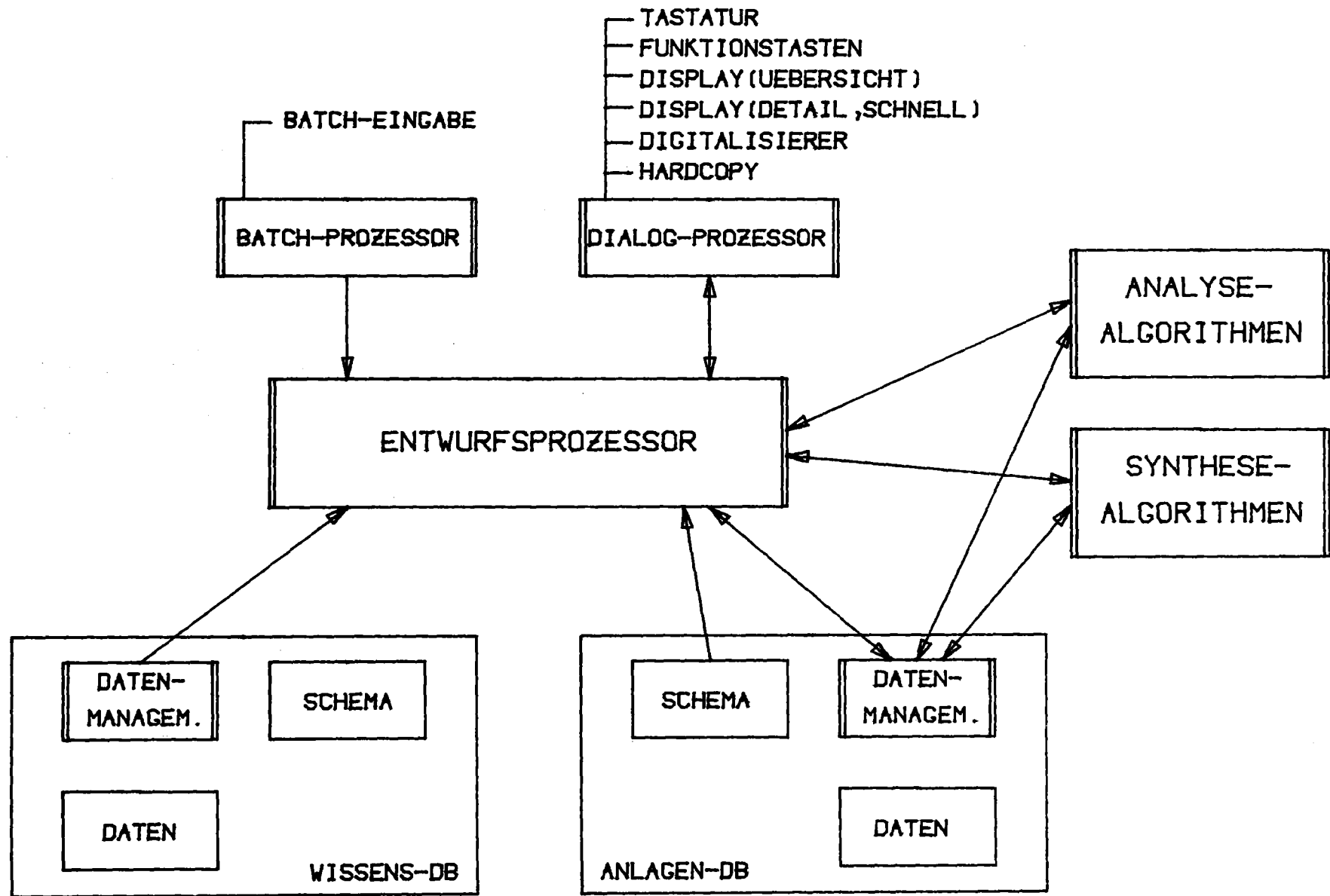


ABB.8: STRUKTUR EINES CAD-SYSTEMS FUER ANLAGENPLANUNG

s. Abb. 7) andererseits eine Vielzahl von Funktionsträgern gleicher Funktion bereitstehen und auch Mehrfachfunktionen eines Apparates möglich sind. Darüber hinaus muß auch durch geeignete Leitungsführung und Leitungsbestückung mit Armaturen der erforderliche Stoff- und Energiefluß gewährleistet werden. Die erforderlichen Betriebsbedingungen werden durch eine geeignete MSR-Technik, die in dieser Phase funktionell festgelegt wird, aufrechterhalten. In der konventionellen Anlagenplanung wird diese Phase mit der Erstellung des R&I-Fließbildes (Rohrleitungs- und Instrumentierungs-Fließbild) umrissen, das zusammen mit Stücklisten als Datenträger und Darstellungsmittel dient.

### Subschema

In der funktionalen Anlagenplanung werden die folgenden Objekttypen bearbeitet:

- Anlage,
- Teilanlage,
- Apparat,
- Leitung
- Leiter,

dazu die Relationen R5, R7, R8, R11, R12, R13, R14, R15, R20 gemäß Abb. 7 bzw. Abschnitt 3.2.4.

Für den lesenden Zugriff müssen darüber hinaus die Objekttypen Verfahrensstufe, Strom, Grundoperation und die Relationen R1, R2, R3, R4, R19 zur Verfügung stehen. Dieser Datenbankteil dient der Darstellung des Ist-Zustandes nach dem Prozeßentwurf, er ist die Basis für den funktionalen Anlagenentwurf.

Die Attributtypen sind beschränkt, Attribute wie Gestalt und Lage sind nicht zugänglich, da sie der Bearbeitung im räumlichen Entwurf vorbehalten sind.

Die Relation Teilanlage-Teilanlage (R20) ermöglicht die für die Arbeitsweise des Ingenieurs typischen Vorgehensweisen des schrittweisen Verfeinerns oder Abtrahierens. Sie muß allerdings auch durch eine geeignete Präsentation unterstützt werden, die es gestattet, eine Teilanlage innerhalb einer anderen Teilanlage abstrakt etwa durch einen Kasten mit Anschlüssen darzustellen.

Zweckmäßige Konsistenzbedingungen, die noch nicht durch das Schema in Abb. 7 zum Ausdruck kommen, wären neben der Vorgabe von Wertebereichen für die einzelnen Attribute beispielsweise: Verbot, einen Apparateeingang mit einem anderen Eingang zu verbinden; Verbot, Anschlüsse, die verschiedener Medien zugeordnet sind, zu verbinden; Plastikbehälter nur in bestimmten Verfahrensstufen einzusetzen.

### Operationen

Mit den zuvor beschriebenen Daten sind folgende Operationen durchzuführen:

(1) Eingabe von Anlagendaten

- Eingeben, Ändern und Löschen von  
Objekten der angegebenen Typen
- Einfügen, Ändern und Löschen der  
Objektverbindungen
- Eingabe und Ändern von Attributwerten
- Definition von Strukturmakros zur  
Erleichterung der Eingabe
- Kopieren von Teilstrukturen

(2) Editieren von Teilanlagen-Darstellungen in Form von Fließbildern  
(Verändern der Graphik).

(3) Verwalten von Entwurfsalternativen.

(4) Ausgabe

- Ausgabe der Verfahrensstufen
- Ausgabe der Teilanlagen
- Ausgabe von Schema-Informationen und von Informationen  
aus der Wissensbibliothek (Standard-Apparate, Rohrleitungsklassen,  
Standard-Armaturen und Leiter, MSR-Bausteine etc.).

(5) Auswertung

- Suchen von Strukturbesonderheiten für die Prüfung  
und Beurteilung der Anlage (z.B. Loops)
- Suche von Konsistenzverletzungen wie beispielsweise vergessene Leitungen
- Erzeugen von Teilmengendaten
  - . (Mengen der Meßstellen, Rohrleitungen, Apparate, Armaturen,  
Behälter, Behälterstutzen etc.)
  - . Spezifikationen der Nicht-Standard-Apparate  
bzw. Armaturen für die Konstruktion
- Dimensionierungsrechnungen.

### Datenpräsentation

Die übliche externe Datendarstellung in dieser Phase erfolgt durch das R&I-

Fließbild. Es gibt die Anlagentopologie (Objektverknüpfungen) graphisch wieder und enthält ergänzend alle oder eine Vielzahl der Objekteigenschaften. Diese werden durch Symbole, Zusatzsymbole oder ergänzenden Text ausgedrückt.

Die Menge der dargestellten Informationen in einem Fließbild hängt von den Fließbild-Abmessungen ab: bei kleiner werdendem Fließbild verschwinden Teile der Gesamtinformation, um die Lesbarkeit zu gewährleisten. Diese Informationsteilmengen können dann auf Wunsch dynamisch gegen aktuell dargestellte ausgetauscht werden.

Klassen von Teilinformationen die zweckmäßig gegeneinander ausgetauscht werden können, sind beispielsweise: Leitungen eines Typs (Energieleitungen-MSR-Leitungen), Konstruktionseigenschaften-Betriebstemperatur etc.

Neben der Darstellung der Datenbankinhalte durch Fließbilder ist die Form der semigraphischen Darstellung durch Tabellen und Formulare möglich.

Alle Darstellungsformen bilden auch den Kontext für die Eingabe (Picken, Formulareingabe, Tabelleneingabe).

#### 4.2 Räumliche Anlagenplanung

Bei der räumlichen Anlagenplanung (Plant Layout) werden die Anlagenkomponenten im vorgegebenen Anlagenraum (Gelände) unter Berücksichtigung gewisser Randbedingungen und Restriktionen positioniert. Die konventionelle Durchführung dieser Aufgabe erfolgt am Reißbrett durch Anfertigen von Rissen (Aufstellungsplan), Schnitten und Ansichten unterstützt durch den Modellbau. Grundlage dieser Planungsphase sind die Daten des R&I-Fließbildes. Da es um die Ermittlung geometrischer Grunddaten geht, werden Leitungen nicht detailliert, dieser Schritt bleibt der Rohrleitungsplanung überlassen. Die Gestalt der einzelnen zu positionierenden Anlagenkomponenten wird stark abstrahiert, die Darstellung erfolgt durch umhüllende Quader, Kugeln und Zylinder.

#### Subschema

Das Subschema für die räumliche Anlagenplanung umfaßt die Objekttypen (Abb. 7):

- Anlage,
- Teilbereich,
- Teilanlage,

und die Relationen R5, R6, R7, R8, R17, R18, R21.

Die Objekte vom Typ Teilbereich werden generiert oder auch verändert, Objekte vom Typ Apparat und Leitung werden innerhalb von Teilbereichen positioniert, d.h. ihrem Attribut POSITION(Lage) wird eine Wertepaar zugeordnet, ihre anderen Eigenschaften bleiben unverändert.

Allerdings wird auch bereits für ein einfaches EDV-System eine Erweiterung der räumlichen Aufgliederung für erforderlich gehalten, vor allem auch im Hinblick auf Algorithmen, die Teilaufgaben des Entwurfs übernehmen.

Es werden daher neben den Teilbereichen noch folgende räumliche Elemente als spezielle Teilbereiche eingeführt.

Leitungskanäle sind Raumbereiche (beschrieben durch Gestalt und Lage) innerhalb eines oder mehrerer Teilräume, in denen Rohrleitungen bevorzugt verlaufen sollten. Der Verlauf der Leitungen innerhalb eines Kanals wird nicht erfaßt, in geometrischer Hinsicht endet eine Leitung an einem Kanaleingang, sie wird erst an einem Kanalausgang fortgesetzt.

Verboträume sind Raumbereiche in Teilräumen in denen keine Leitungen und Apparate angeordnet werden dürfen oder aber auch nur bestimmte Objektklassen verboten sind.

Weitere Konsistenzbedingungen in diesem Bereich sind beispielsweise:

- Apparate und Leitungen dürfen sich nicht durchdringen.
- Apparate müssen von allen Seiten zugänglich sein.
- Behälter des Typs xyz müssen auf dem Boden stehen.
- Batterien dürfen gestapelt werden.
- Apparate vom Typ x und Typ y haben einen Mindestabstand  $\ell$ .
- Rohrleitungen vom Typ A dürfen nicht neben Rohrleitungen vom Typ B verlaufen.

### Operationen

- (1) Einfügen, Ändern, Löschen und Gestalten von Teilbereichen, Leitungskanälen und Verboträumen
- (2) Positionieren von Apparaten, Verlegen von Leitungen
- (3) Ausgabe von Teilräumen mit Apparaten und Leitungen oder ohne diese
- (4) Ausgabe von Teilanlagen mit zugehörigen Teilräumen oder ohne diese

- (5) Berechnung von Flächen, Volumina, Abständen
- (6) Berechnen von Bodenlasten
- (7) Automatische Wegesuche für Leitungen.

### Datenpräsentation

Die Darstellung der räumlichen Gebilde erfolgt bei der Bearbeitung durch Ansichten und Schnitte, die Eingabe geometrischer Größen interaktiv graphisch.

Um die Topologie der Anlage klar vor Augen zu haben, werden parallel dazu die Teilanlagen bzw. die Teilbereiche, die gerade bearbeitet werden in Form von Fließbildern dargestellt, in die die räumliche Anordnung durch Koordinatentripel oder durch Kennzeichnung räumlich zusammengehöriger Elemente eingefügt werden kann.

Eine dritte Art der Präsentation in dieser Phase ist die durch Tabellen, in denen beispielsweise alle Apparate oder Leitungen eines Teilbereiches mit beliebigen Attributen aufgelistet sind.

### 5. Schlußfolgerungen, Ziele

Kern aller Entwurfsaktivitäten im Bereich der Anlagenplanung ist eine manuelle Synthese von problemspezifischen Anlagenmodellen, verbunden mit einer ebenfalls weitgehend manuellen Analyse. Dabei handelt es sich vorwiegend um funktionale Modelle, weniger um geometrische Probleme, so daß vor allem die schematische Präsentation der Daten durch Fließbilder, Stromlaufpläne, Funktionspläne und Logikpläne im Vordergrund steht, ergänzt durch Tabellen und Formulare.

Eine wirkungsvolle Entwurfsunterstützung kann daher durch ein interaktives System erzielt werden, das gerade die manuelle Synthese und Analyse von funktionalen Modellen unterstützt: ein System zur Manipulation von Blockdiagramm-Informationen (Schema-Informationen) , auf das hier nur kurz eingegangen wird.

Da es sich um die Bearbeitung großer Systeme handelt, wird vor allem ein "strukturiertes" Bearbeiten der Aufgaben gefördert, indem vom System verschiedene Abstraktionsstufen verwaltet werden und daher ein schrittweises Verfeinern bzw. Abstrahieren erleichtert wird. Das geplante System hat die Struktur eines Datenbanksystems, d.h. die Datenmanipulationsalgorithmen werden durch ein Schema gesteuert, so daß Konsistenzprüfungen durchgeführt werden können.



Das System kann beliebige Blockbildtypen (wie R&I-Fließbild, Fehlerbaum, Stromlaufplan) bearbeiten, die Umschaltung, die bei dem iterativen Planungsablauf wichtig ist, erfolgt durch den Übergang auf ein anderes Schema.

Im Gesamtrahmen der Anlagenplanung ist ein solches System als Teildatenbank zu sehen, die physisch und logisch einen Teilbereich einer zentralen Datenbank repräsentiert. Eine solche Lösung scheint unumgänglich im Hinblick auf die Effektivitätsforderungen beim interaktiven Betrieb.

Um das Konzept eines derartigen Systems zu verifizieren, um seinen Nutzen in einer realen Entwurfssituation zu untersuchen wird es exemplarisch für die Phase "Anlagensicherheit" auf den Sektor "Fehlerbaumanalyse" eingesetzt. Dieser Anwendungsfall zeichnet sich durch eine relative Einfachheit (beispielsweise im Vergleich zur funktionalen Anlagenplanung) aus, hat aber die gleiche Planungsablaufstruktur. Die Aufgabenstellung ist kurz umrissen folgende: Ausgehend von den Ergebnissen des funktionalen Entwurfs, der Raumplanung und der Detailplanung (R&I-Fließbilder, Pläne, Regelschema etc.) wird die Anlage durch Schadensereignisse und deren Zusammenwirken modelliert. Es wird die logische Verknüpfung derjenigen Elementausfälle erarbeitet, die zu einem unerwünschten Ereignis (z.B. bestimmte Art des Anlagenausfalls) führen. Dieses Modell wird dann analysiert, so daß Aussagen über Eintrittswahrscheinlichkeiten für bestimmte Ereignisse gemacht werden können und besonders sicherheitsrelevante Anlagenbereiche erkannt werden. Obgleich Ansätze für die automatische Generierung von Fehlerbäumen, wie diese sicherheitstechnischen Modelle genannt werden, vorliegen, wird die vollständige, endgültige Modellsynthese noch weiterhin manuell ausgeführt werden, so daß eine Weiterentwicklung interaktiver graphischer EDV-Unterstützung bei diesem Schritt zweckmäßig ist [24]. Für die Analyse werden vorhandene Algorithmen eingesetzt [25].

Mit dieser Pilotimplementierung sollen auch folgende Fragen untersucht werden, die für den Einsatz eines solchen Systems von Bedeutung sind:

- (1) Ist ein Time-Sharing-Betrieb mit einem intelligenten graphischen Terminal für diesen Zweck sinnvoll und effektiv einzusetzen?
- (2) Welche Teilaufgaben sollen dem intelligenten graphischen Terminal übertragen werden?
- (3) Ist eine weitgehende Interpretation des Datenbankschemas, wie es für die Flexibilität eines Systems (Umschalten auf andere Schemata, dynamisches Ändern eines Schemas) wünschenswert wäre, im Dialog effektiv einsetzbar?

- (4) Welche Art von Konsistenzprüfungen sind beim funktionalen Entwurf von Systemen vom Entwurfssystem auszuführen bzw. ausführbar, welche überläßt man zweckmäßigerweise besser dem Planer (weil er sowieso keine oder sehr wenige Fehler macht)?
- (5) Welche Konsistenzprüfungen sollen in der Teildatenbank ausgeführt werden, welche beim Einfügen der Teildatenbank in die zentrale Datenbank?
- (6) Ist eine normgerechte Zeichnung bei Verwendung eines derartigen Entwurfssystems noch erforderlich oder ist sie durch die Vielzahl der Darstellungs- und Abfragemöglichkeiten des EDV-Systems überflüssig, da auch die Kommunikation zweier Planer über den Entwurfszustand mit diesen EDV-Hilfsmitteln erfolgen könnte?
- (7) Untersuchung synergetischer Aspekte:  
Nutzt ein Planer ein solches EDV-Hilfsmittel vom Entwurfsbeginn an oder läßt er einen Grobentwurf, der nach herkömmlicher Art und Weise am Schreibtisch erstellt wurde durch eine Hilfskraft in das System eingeben, um ihn dann interaktiv zu überarbeiten? Wenn ja, was hält ihn davon ab, sofort mit dem EDV-System zu arbeiten?

Die Implementierung des geplanten Systems erfolgt auf einer IBM 370/168 unter MVS-TSO mit einem interaktiven graphischen Terminal TEKTRONIX 4081 bei einer Datenübertragungsrate von maximal 9600 Band.

Literatur:

- [1] DIN 28004
- [2] Persönliche Mitteilungen von DECHEMA-Mitgliedern (unveröffentlicht)
- [3] DECHEMA: Rechnergestützte Anlagenplanung; Eine Projektstudie, Oktober 1977
- [4] Proc. of the Symposium "Computers in the Design and Erection of Chemical Plants", Karlsbad, 31.8.-4.9.1975
- [5] Bluck,D., Sheppard,A.J.:  
Computer Programs in Process Plant Design,  
The Chemical Engineer, (1975) Dec., S.751-1975
- [6] Rosen,E.M., Pauls,C.:  
Computer Aided Chemical Process Design: The Flowtran  
System, Computers and Chemical Engineering, 1(1977) S.11-21
- [7] CONCEPT - Technical Information Booklet, CAD,  
Madingley Road, Cambridge
- [8] Ahluwalia,R.S.:  
Integrated Computer Aided Design System for Process Design,  
Proc. of the IFAC Symp. on Large Scale Systems Theory and Application,  
Undine, Italy, June 16-20,1976
- [9] PDMS - Technical Information Booklet,  
The Chemical Engineering Group,  
Computer Aided Design Centre, Cambridge
- [10] Daniel,P.T.:  
An Integrated System of Pipework Estimating, Detailing and  
Control (ISOPEDAC), The Chemical Engineer, (1971)8, S.297-299
- [11] Bass,L. et al.:  
Fault Tree Graphics, Reliability and Fault Tree Analysis,  
SIAM, Philadelphia, 1975, S.913-927
- [12] Eckert,R., Prester,F.-J., Schlechtendahl,E.G., Wißkirchen,P.:  
Functional Description of the Graphical Core System GKS as a  
Step towards Standardisation, Informatik-Fachberichte Bd. 11,  
S.163-176

- [13] Rothenberg:  
Anforderungen an einen Normbaustein Geometrie, KfK-CAD 36 (1977)
- [14] Fischer, Blume:  
Datenbanksystem für CAD-Anwendungen  
KfK-CAD 111, (1978)
- [15] Date, C.J.:  
An introduction to Database Systems, Addison Wesley, Reading,  
Massachusetts, 1977
- [16] Tschritzis, D.C., Lochovsky, F.H.:  
Data Base Management Systems, New York 1977
- [17] ACM Computing Surveys 8(1976)1
- [18] Olle, W.T.:  
The Codasyl Approach to Data Base Management,  
Chichester 1978
- [19] Leesley, M.E., Buchmann, A.P.:  
Databases for Plant Design, Proc. CAD78-Conference,  
Brighton 14.-16.3.1978, S.270-277
- [20] Eastman, C.M.:  
Databases for physical system design: a survey of US efforts,  
Proc. CAD76-Conference 23.-25.3.76
- [21] Tsubaki, M.:  
DPLS - Database, Dynamic Program Control & Open Ended POL Support,  
Proc. ACM-Workshop on Data Bases for Interactive Design, Waterloo,  
Canada, 15.-16.9.75, S.146-160
- [22] Singh, S.P.:  
A Prototype Interactive Graphical Interface for a Steady State  
Chemical Process Simulator, Proc. Bologna, 21.-23.9.78, S.182-191
- [23] Niida, K., Yagi, H., Umeda, T.:  
An Application of Data Base Management System (DBMS) to Process  
Design, Computers and Chemical Engineering, 1(1977), S.33-40

- [ 24 ] Bass, L., Wynholds, H.W., Porterfield, W.R.:  
Fault Tree Graphics, Reliability and Fault Tree Analysis, SIAM,  
Philadelphia, 1975, S.913-927
- [ 25 ] Caldarola, L., Wickenhäuser, A.:  
The Karlsruhe Computer Programm for the Evaluation of the  
Availability and Reliability of Complex Repairable Systems,  
Nuclear Engineering and Design 43(1977), S.463-470
- [ 26 ] CAD - Berichte: Projektbericht '78, Bereiche Chemie-Apparatebau,  
Schiffbau, KFK-CAD53