



---

**Forschungszentrum Karlsruhe**  
Technik und Umwelt

---

**Wissenschaftliche Berichte**  
FZKA 5637

**Ein integrierter Ansatz zur  
Analyse und Bewertung  
von Geschäftsprozessen**

**F. Neuscheler**

Institut für Angewandte Informatik

**August 1995**

---



Forschungszentrum Karlsruhe  
Technik und Umwelt  
Wissenschaftliche Berichte  
FZKA 5637

Ein integrierter Ansatz zur Analyse und Bewertung  
von Geschäftsprozessen

Frank Neuscheler

Institut für Angewandte Informatik

Von der Fakultät für Maschinenbau der Universität Karlsruhe (TH)  
genehmigte Dissertation

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe  
1995

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

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

ISSN 0947-8620



# Ein integrierter Ansatz zur Analyse und Bewertung von Geschäftsprozessen

## Zusammenfassung

Die Modellierung der Geschäftsprozesse und Prozeßketten ist Voraussetzung und zentraler Bestandteil einer Geschäftsprozeßoptimierung. Existierende ganzheitliche Unternehmensmodellierungsansätze bilden mit Hilfe von Modellsichten die Prozesse ab, um die Komplexität der Anwendungen zu reduzieren. Eine Bewertung des Istzustands sowie von Sollkonzepten erfolgt durch Kennzahlen, die als Attribute den Prozessen und Objekten in den Modellsichten direkt zugeordnet sind. Durch die Modellsichten sind die Analyse- und Bewertungsparameter über die Sichten verteilt und damit für den Anwender schwer zugänglich und auszuwerten. Zusammenhänge zwischen den Kennzahlen (etwa zwischen Zeiten, Kosten und der Qualität) können nicht dargestellt werden. In der Regel besteht des weiteren kein Zusammenhang zwischen den Analyse- und Optimierungszielen sowie den Attributen der Objekte und Prozesse.

Als neuer Faktor der Unternehmensmodellierung wird in der Arbeit eine ökonomische Modellsicht vorgestellt, die alle relevanten quantitativen Analyse- und Optimierungskriterien von Unternehmensmodellen beinhaltet und in Form von Kennzahlen konzentriert. Die Generierung von Kennzahlensystemen wird zum integrierten Bestandteil der Unternehmensmodellierung und wird parallel zur Modellierung der Geschäftsprozesse ausgeführt. Der Anwender kann somit den Aggregationsgrad der benötigten Informationen durch die Generierung von Kennzahlensystemen explizit bestimmen. Zur Analyse der dynamischen Aspekte von Geschäftsprozessen wird die Simulation verwendet.

Es wurden sechs Konstrukte definiert, die eine detaillierte Beschreibung von Kennzahlensystemen mit Hilfe von Templates ermöglichen sowie eine multi-dimensionale Zuordnung von Kennzahlen zu den zu bewertenden Objekten erlauben. Als Ergänzung zu den Konstrukten wurde eine graphische Beschreibungssprache mit fünfzehn Elementen zur Generierung von Kennzahlensystemen entwickelt.

Der Ansatz kann zur Bewertung einzelner Geschäftsprozesse, kompletter Prozeßketten, von Produkten und Ressourcen beziehungsweise Technologien verwendet werden. Als Anwendungsbereiche sind daher neben der Geschäftsprozeßoptimierung, die Prozeßkostenrechnung sowie die Wirtschaftlichkeitsanalyse zu nennen. Weitere Anwendungsgebiete sind die Definition von Kennzahlensystemen für Führungsinformationssysteme sowie das Benchmarking.

## **An Integrated Approach for the Analysis and Evaluation of Business Processes**

### **Abstract**

Modelling of business processes and process chains is the prerequisite and central constituent of business process optimization. To reduce the complexity of the applications, the processes are mapped by the existing holistic enterprise modelling approaches using model views. The actual state and nominal concepts are evaluated by benchmarks which are directly assigned to the processes and objects in the model views as attributes. As a result of the model views, the analysis and evaluation parameters are distributed over the views and, hence, difficult to access and evaluate by the user. Connections among the benchmarks (e.g. among time, costs and quality) cannot be represented. Moreover, there is usually no connection between the analysis and optimization objectives and the attributes of the objects and processes.

As a new factor of enterprise modelling, an economic model view shall be presented. It contains all relevant quantitative analysis and optimization criteria of enterprise models and concentrates them in the form of benchmarks. The generation of benchmark systems becomes an integrated constituent of enterprise modelling and is executed parallel to the modelling of business processes. By the generation of benchmark systems, the degree of aggregation of the information required can thus be determined explicitly by the user. Simulation is applied for the analysis of the dynamic aspects of business processes.

Six constructs have been defined, which allow a detailed description of benchmark systems by means of templates as well as a multi-dimensional assignment of benchmarks to the objects to be evaluated. In addition, a graphic description language has been developed, which includes fifteen elements for the generation of benchmark systems.

The present approach can be applied for the evaluation of individual business processes, complete process chains, products and resources or technologies. Besides business process optimization, process cost calculation and profitability analysis represent possible fields of application. Other fields are the definition of benchmark systems for management information systems as well as the benchmarking concept.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2 STAND DER TECHNIK</b> .....	<b>7</b>
2.1 Die Modellierung komplexer Systeme .....	7
2.1.1 Modellierungsmethoden .....	10
2.1.2 Methodiken zur ganzheitlichen Unternehmensmodellierung .....	14
2.2 Methoden und Konzepte zur Beurteilung und Bewertung von Alternativen .....	21
2.3 Methoden zur Optimierung von Systemen .....	29
<b>3 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG</b> .....	<b>34</b>
<b>4 DAS KONZEPT</b> .....	<b>37</b>
4.1 Anforderungen an die ökonomische Sicht.....	37
4.1.1 Einzelanforderungen an die ökonomische Sicht.....	37
4.1.2 Allgemeine Anforderungen an die ökonomische Sicht .....	38
4.2 Auswahl des Unternehmensmodellierungskonzepts .....	39
4.3 Analyse und Optimierung mit der ökonomischen Sicht.....	41
4.4 Anforderungen an ein rechnerunterstütztes Werkzeug.....	43
<b>5 DIE MODELLIERUNGSKONSTRUKTE</b> .....	<b>45</b>
5.1 Die Modellklasse EV-Kennzahl .....	48
5.1.1 Das Konstrukt KennzahlenObjekt .....	49
5.1.2 Das Konstrukt ElementareKennzahl .....	52
5.1.3 Das Konstrukt KennzahlenModul.....	53
5.2 Die graphische Beschreibungssprache zur Modellierung von Kennzahlen.....	54
5.3 Die Modellklasse EV-Entität.....	58
5.3.1 Das Konstrukt ÖkonomischesObjekt.....	59
5.3.2 Das Konstrukt ÖkonomischesModul.....	62
<b>6 METHODEN ZUR MODELLERSTELLUNG UND BEWERTUNG</b> .....	<b>64</b>
6.1 Schnittstellen der ökonomischen Sicht zu den qualitativen Modellsichten .....	64
6.1.1 Die Schnittstelle zur Funktionssicht .....	64
6.1.2 Die Schnittstelle zur Informationssicht .....	72
6.1.3 Die Schnittstelle zur Ressourcensicht.....	74
6.1.4 Die Schnittstellen zur Organisationssicht .....	76
6.2 Vorgehensweisen zur Generierung der Modelle .....	79
6.2.1 Techniken zur Generierung der Requirements Definition Modelle.....	80
6.2.2 Techniken zur Generierung der Design Specification Modelle.....	80
6.2.3 Techniken zur Generierung der Implementation Description Modelle.....	82
6.3 Die Bewertungs- und Analysesystematik .....	82
<b>7 SOFTWARE-TECHNISCHE UMSETZUNG</b> .....	<b>85</b>
7.1 Auswahl der Modellierungsmethode und des Simulationskonzepts .....	86
7.2 Implementierung der Funktionssicht .....	90
7.2.1 Implementierung von Domains.....	90

7.2.2 Implementierung von Domain Processes .....	91
7.2.3 Implementierung von Business Processes .....	93
7.2.4 Implementierung von Enterprise Activities .....	94
7.2.5 Implementierung von Functional Operations .....	95
7.2.5.1 Standard Functional Operations .....	95
7.2.5.2 Spezielle Functional Operations .....	95
7.3 Implementierung der Ressourcensicht .....	96
7.3.1 Das Konstrukt Resource .....	96
7.4 Implementierung der Informationssicht .....	98
7.4.1 Das Konstrukt Object View .....	98
7.5 Implementierung der ökonomischen Sicht .....	100
7.5.1 Das Konstrukt KennzahlenModul .....	101
7.5.2 Das Konstrukt KennzahlenObjekt .....	102
7.5.3 Das Konstrukt ElementareKennzahl .....	103
7.5.4 Das Konstrukt ÖkonomischesModul .....	104
7.5.5 Das Konstrukt ÖkonomischesObjekt .....	104
7.6 Die Simulationssteuerung .....	106
<b>8 BEISPIELHAFTER EINSATZ.....</b>	<b>108</b>
8.1 Betriebliche Ausgangssituation .....	108
8.2 Aufbau der Modelle während der Istanalyse .....	109
8.3 Das Simulationsmodell .....	114
<b>9 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>125</b>
<b>10 LITERATUR .....</b>	<b>129</b>
<b>ANHANG A: FORMALE SPEZIFIKATION DER KONSTRUKTE IN EXPRESS ...</b>	<b>137</b>
<b>ANHANG B: DIE KENNZAHLEN WÄHREND DER ISTANALYSE.....</b>	<b>143</b>
<b>ANHANG C: DAS SIMULATIONSMODELL .....</b>	<b>147</b>
<b>ANHANG D: DIE GRAPHISCHE AUSWERTUNG DER SIMULATIONSÄUFE ...</b>	<b>154</b>

## Abkürzungen

$\mu$	Erwartungswert einer Normalverteilung
$\sigma$	Standardabweichung einer Normalverteilung
ARIS	Architektur Rechnerintegrierter Informationssysteme
AZA	Ausführungszeit eines Fertigungsauftrags
AZP	Ausführungszeit eines Produkts
BBA	Bearbeitungsbeginn eines Fertigungsauftrags
BDE	Betriebsdatenerfassung
BEA	Bearbeitungsende eines Fertigungsauftrags
BKA	Bearbeitungskosten eines Fertigungsauftrags
BKKA	Bearbeitungskosten eines Kundenauftrags
BM	Benchmark
BP	Business Process
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAQ	Computer Aided Quality Assurance
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CIMOSA	CIM Open System Architecture
d	day
DLAL	durchschnittliche Lagerauslastung
DMAL	durchschnittliche Maschinenauslastung
DMAL <sub>x</sub>	durchschnittliche Maschinenauslastung der Ressource x
DP	Domain Process
DZA	Durchlaufzeit eines Fertigungsauftrags
DZAGr	Durchlaufzeitgrad eines Fertigungsauftrags
DZKA	Durchlaufzeit eines Kundenauftrags
DZKAPI	Durchlaufzeit eines Kundenauftrags in der Planung
DZKAPr	Durchlaufzeit eines Kundenauftrags in der Produktion
DZKAVs	Durchlaufzeit eines Kundenauftrags im Versand
DZKAVt	Durchlaufzeit eines Kundenauftrags im Vertrieb
E/R	Entity Relationship
EA	Enterprise Activity
EA	Zeitpunkt des Eingangs eines Fertigungsauftrags in die Produktion
EDV	Elektronische Datenverarbeitung

---

EE	EconomicEntity (ÖkonomischeEntität)
EIS	Executive Information System
EM	EconomicModule (ÖkonomischesModul)
EMDPsProd	ÖkonomischesModul, das ÖkonomischeObjekte beinhaltet, die von den Domain Processes des Domains <i>Produktion</i> getriggert werden
EnO	Enterprise Object
ENV	European Norm Vor
EO	EconomicObject (ÖkonomischesObjekt)
EOPKK	ÖkonomischesObjekt, das die komplette Geschäftsprozeßkette der Kundenauftragsabwicklung betrachtet
EOPS	ÖkonomischesObjekt das jede Stunde getriggert wird
EOPT	ÖkonomischesObjekt das jeden Tag getriggert wird
EOPW	ÖkonomischesObjekt das jede Woche getriggert wird
ESPRIT	European Strategic Program for Research and Development in Information Technology
ESS	Executive Support System
EV	Economic View
FFS	flexibles Fertigungssystem
FO	Functional Operation
GADZ	gewichtete Fertigungsauftragsdurchlaufzeit
GS	Geleistete Stunden einer Maschine in einem definierten Betrachtungszeitraum
i	Anzahl während eines Simulationslaufs berücksichtigter Kundenaufträge
ICAM	Air Force Integrated Computer Aided Manufacturing
IDEF	Integrated computer aided manufacturing DEFinition models
IE	Information Engineering
ILB	Ist-Bestand eines spezifischen Lagers
ILBG	Gesamter Ist-Bestand aller Lager
ILBP	Der IstLagerbestandProdukt definiert die Menge an Produkten auf Lager
ILBPr	Menge an Produkten im Produktlager
ILBTb	Menge an Produkten im Tambourlager
ILBxL	Menge an Produkten im Maschinenlager x
ISO	International Organization for Standardization
IT	Information Technology
KAprdliste	Die Menge der Produkte eines Kundenauftrags

---

KB	Kapitalbindung der gelagerten Waren
KM	Klebmaschine
LTA	(Soll-) Auslieferungstermin eines Kundenauftrags
LTAA	Liefertermin-Abweichung eines Kundenauftrags
LZA	Liegezeit eines Fertigungsauftrags
m	Anzahl sämtlicher Fertigungsaufträge in einer Betrachtungsperiode
MAZAG	mittlere Ausführungszeit aller Fertigungsaufträge
MAZEP	mittlere Ausführungszeit eines Endprodukts
MAZEP <sub>x</sub>	mittlere Ausführungszeit eines Endprodukts vom Typ x
MBKEP	mittlere Bearbeitungskosten eines Endprodukts in DM/t
MBKEP <sub>x</sub>	mittlere Bearbeitungskosten eines Endprodukts vom Typ x
MDE	Maschinendatenerfassung
MDZAG	mittlere Durchlaufzeit aller Fertigungsaufträge
MDZAG <sub>r</sub>	mittlerer Durchlaufzeitgrad eines Auftrags
MDZEP	mittlere Durchlaufzeit eines Endprodukts
MDZEP <sub>x</sub>	mittlere Durchlaufzeit eines Endprodukts vom Typ x
MDZKA	mittlere Durchlaufzeit eines Kundenauftrags
MIS	Management Information System
MKS	Maschinenkostensatz
MLK	maximale Lagerkapazität
MVS	maximal verfügbare Arbeitsstunden pro Maschine
n	Anzahl an Fertigungsaufträgen eines Auftragsstyps in einer Betrachtungsperiode
NC	Numerical Control
OV	Object View
PB	Prozeß-Beginn
PE	Prozeß-Ende
PK	Prägekalender
PKP	Prozeßkosten pro Produkt
PM	Papiermaschine
PR	prozedurale Regel
prodliste	Die Menge der Produkte eines Auftrags
PT	Papiertyp
PZ	Prozeß-Zeit
RM	Rollmaschine

RU	Resource Unit
SA	Structured Analysis
SA/RT	Structured Analysis Real Time
SADT	Structured Analysis and Design Technique
SK	Satinierkalender
SM	Streichmaschine
SQ	Sortierquerschneider
t	Tonne



## 1 Einleitung

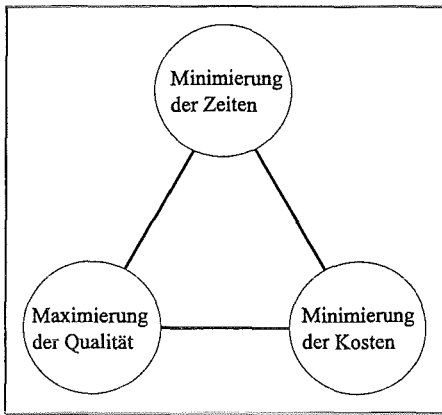
Die Globalisierung des Wettbewerbs bei gleichzeitig stagnierenden Märkten führte in vielen Branchen zu wachsender Konkurrenz zwischen Unternehmen aus den traditionellen Industrieländern wie der Bundesrepublik Deutschland und Billiganbietern aus Südostasien und zunehmend Osteuropa, die sich in einem immer härter werdenden Preisdruck ausdrückt. Als Folge des internationalen Wettbewerbs und des raschen technischen Wandels werden die Produktlebenszyklen immer kürzer [Wien-91].

Die wirtschaftliche Entwicklung des Übergangs vom Verkäufermarkt zum Käufermarkt zwingt die Unternehmen zu einer immer größeren Anpassungsfähigkeit gegenüber aktuellen Kundenwünschen. Die Produktion sieht sich mit einer zunehmenden Variantenvielfalt der Produkte sowie deren steigender Komplexität konfrontiert (vgl. [Warn-92, Bull-94]). Bei der Mehrzahl der deutschen Maschinenbauer dominiert etwa die Einzel- und Kleinserienfertigung mit einem 80% Anteil gegenüber standardisierten Produkten [VDIZ-94]. Die Unternehmen müssen schnell auf Nachfrageverschiebungen reagieren können, was wiederum einen großen Druck auf die Durchlaufzeiten in der Produktion ausübt.

Die gestiegenen Anforderungen bezüglich Qualität, Lieferzeiten und Service lassen sich immer weniger durch einen höheren Preis abfangen, da der Kunde zunehmend weniger bereit ist, für Mehrleistungen einen höheren Preis als den der Konkurrenz zu bezahlen. Gerade die Unternehmen in der Bundesrepublik haben jedoch hohe unbeeinflussbare Kosten. Die Löhne und Gehälter vor allem bei Berücksichtigung der Lohnnebenkosten, liegen an der Spitze der internationalen Skala der Industrieländer [Wien-91].

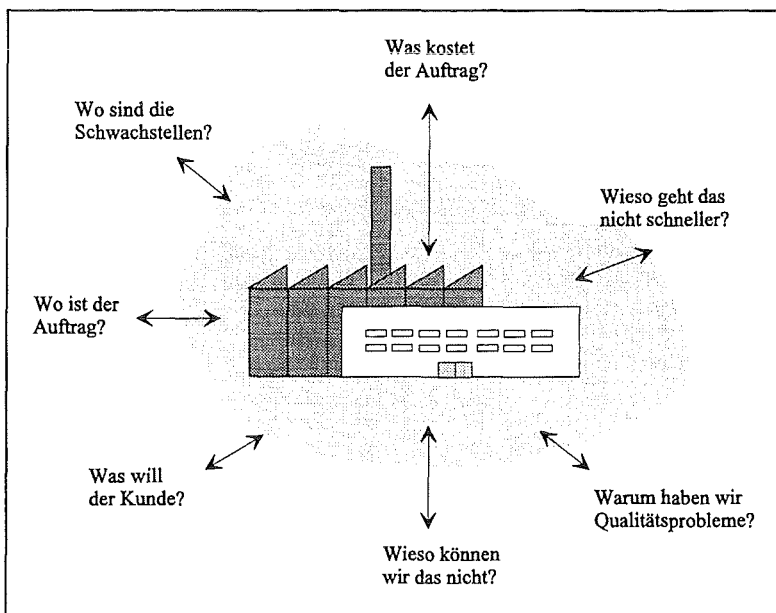
Die Unternehmen sehen sich damit dem Problem gegenübergestellt, die drei gegenläufigen Zielsetzungen, Minimierung der Kosten, Maximierung der Qualität und Minimierung der Durchlaufzeiten zu erfüllen (siehe **Abb. 1-1**).

In den 80 er Jahren wurde versucht, durch massiven Technologieeinsatz wie CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing), PPS (Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme), LANs (Local Area Networks) und Datenbanken die Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern [West-92, Sond-94]. Erste maßgeschneiderte Integrationslösungen etwa zwischen CAD/CAM, CAP/PPS und PPS/CAM wurden realisiert. Als ultimatives Ziel wurde CIM (Computer Integrated Manufacturing) die Daten- und Funktions-Integration im Unternehmen angesehen.



**Abb. 1-1:** Das magische Dreieck

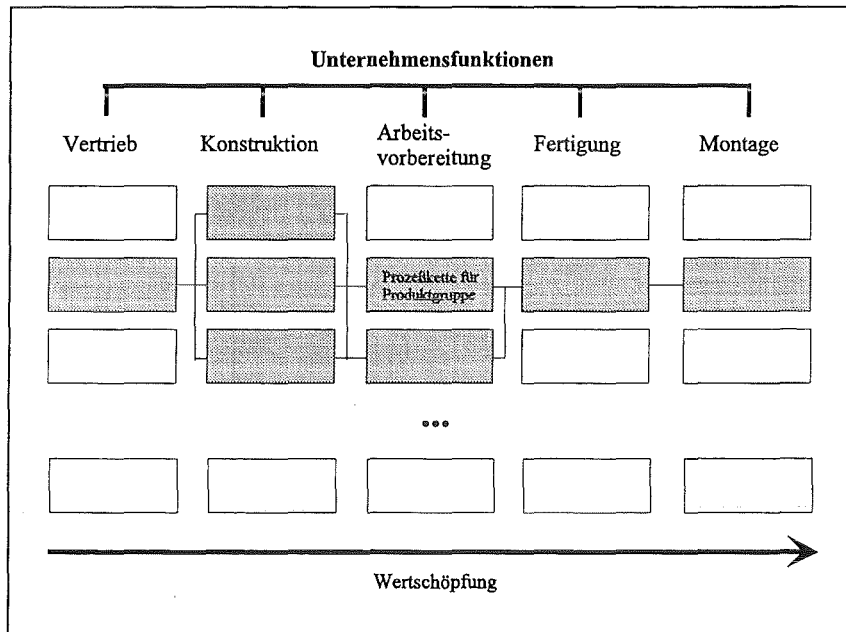
Durch die Automatisierung, und den dadurch gestiegenen Aufwand in den dispositiven Bereichen (etwa die Produktionsplanung oder die NC-Programmierung im Rahmen der Arbeitsvorbereitung), sowie die tayloristische Arbeitsteilung hat die Komplexität der Abläufe, Entscheidungswege und Datenbestände erheblich zugenommen. Bei den meisten Betrieben läßt die Transparenz der Abläufe und damit die Kenntnis der wirklich notwendigen Geschäftsprozesse, trotz oder vielleicht gerade wegen der mit immensem Aufwand eingeführten BDE/MDE-Systeme, sehr zu wünschen übrig (siehe **Abb. 1-2**).



**Abb. 1-2:** Mangelnde Transparenz im Unternehmen [EvKH-94]

Weitere Wettbewerbsverbesserungen können nun vor allem durch effizientere organisatorische Unternehmensstrukturen erreicht werden. Eine Optimierung der Unternehmens muß dabei entsprechend den Prozeßketten erfolgen. Unter einer Prozeßkette wird die funktionsüber-

greifende Abwicklung einer Aufgabe, losgelöst von der funktionalen Aufbauorganisation, verstanden (siehe **Abb. 1-3**). Die zu erfüllende Aufgabe steht im Mittelpunkt der Betrachtung. Das Ziel ist dabei, sowohl die direkten als auch die indirekten Bereiche, die nach GROB bei den Großunternehmen (am Beispiel von Siemens) bereits über 50% der anfallenden Kosten ausmachen (siehe [Grob-93]), im Unternehmen zu berücksichtigen.



**Abb. 1-3:** Prozeßorientiertes Denken versus funktionsorientiertes Denken

Die Restrukturierungsmethoden, welche die Prozeßketten betrachten, wie Lean Production, Concurrent Engineering, Business Reengineering oder Total Quality Management (siehe hierzu [Bull-94, Klev-94, HaCh-94]), werden allgemein unter dem Begriff Geschäftsprozeßoptimierung (Business Process (Re-) Engineering ) zusammengefaßt [AlAn-94].

Die Reorganisation der Prozesse beginnt zunächst mit einer Istanalyse, in der die betrieblichen Aktivitäten mit ihren Ein- und Ausgangsgrößen transparent gemacht werden. EVERSHEIM et al. [EvKH-94] schreiben dazu:

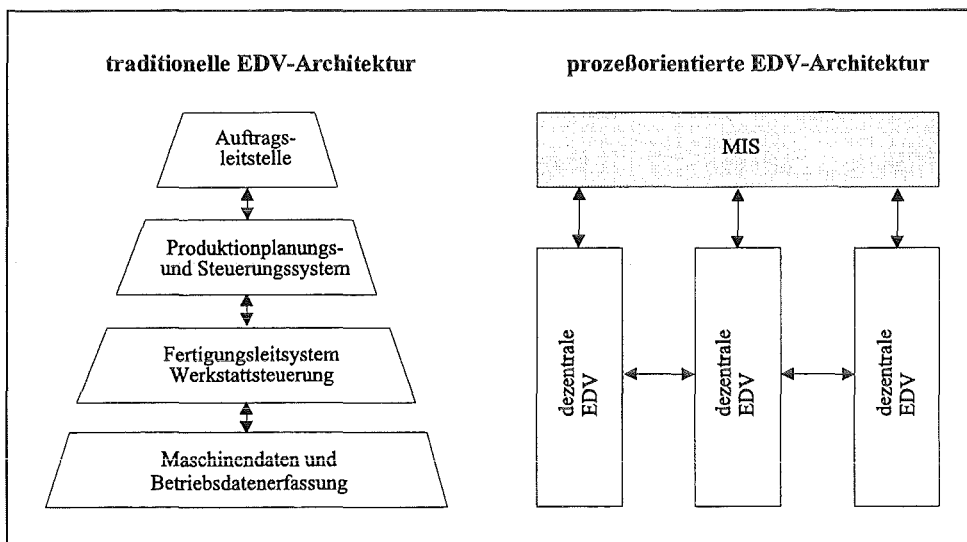
„Erst wenn die tatsächlich ablaufenden Prozesse im Unternehmen bekannt sind, können sinnvolle Maßnahmen abgeleitet werden, die über eine erneute, lediglich auf dem Papier festgeschriebene Reorganisation hinausgehen.“

Die Optimierungsbereiche werden abgegrenzt und die Optimierungsziele (beispielsweise die Minimierung der Durchlaufzeiten) definiert. Die Optimierungsziele können etwa durch einen Branchenvergleich mit Hilfe des Benchmarkings ermittelt werden. Auswahlkriterien für die

Prozesse und Bereiche können dabei nach HAMMER und CHAMPY die Bedeutung für den Kunden, die Machbarkeit und die Erfolgchancen sein [HaCh-94].

Im Rahmen einer ersten Grobanalyse (etwa mit Hilfe der Metaplan-Technik) werden die Prozesse, ihre Teilprozesse und ihre Ablauflogik identifiziert. Anschließend erfolgt eine detailliertere Beschreibung der Prozesse sowie ihrer Inputs und Outputs.

Nach der Istanalyse erfolgt die Aufstellung des Sollkonzepts, das aus den Zielvorgaben abgeleitet wird. Neben der organisatorischen Strukturierung muß die Informationstechnologie-Architektur des Unternehmens (siehe **Abb. 1-4**) ebenso überdacht und an die Bedürfnisse der geschäftsprozeßorientierten Organisation des Unternehmens angepaßt werden.



**Abb. 1-4:** Traditionelle versus prozeßorientierte Datenverarbeitung (vgl. [Webe-94])

Bei einer prozeßorientierten EDV-Architektur agieren kleinere sich selbstkontrollierende DV-Einheiten als offene Systeme. Eine dezentrale DV-Einheit ist verantwortlich für eine komplette Produktgruppe. Die Koordination erfolgt über ein Management Information System (MIS), das als schlanke Steuerungseinheit agiert [Webe-94].

Durch Ableitung und Berechnung von Kenngrößen wird der Istzustand und werden die Alternativen des Sollkonzepts bewertet.

Geeignete Größen zum Erkennen von Optimierungspotentialen im Rahmen der Geschäftsprozeßoptimierung sind nach MÜLLER die *mittlere Prozeßdurchlaufzeit* und *mittleren Prozeßkosten* (vgl. [Müll-93]). Die Kennzahlen geben einen Anhaltspunkt, ob der Prozeß, beziehungsweise die Prozeßkette, einer tiefergehenden Analyse bedarf. Für Kundenaufträge und interne Aufträge werden Kennzahlen wie *Termintreue*, *Durchlaufzeiten* und *Auftragskosten*

benötigt. Bei den Produkten, die von den Prozessen verarbeitet werden, ist meistens eine Erfassung der anfallenden Kosten im Rahmen der Istkostenrechnung notwendig, beziehungsweise eine Abschätzung der voraussichtlichen Produktkosten etwa bei der Vorkalkulation. Die Produktkosten werden bei der traditionellen Kostenrechnung durch direkte Zuordnung der Einzelkosten sowie der Zuordnung nicht verursachungsgerechter Gemeinkostenzuschlagssätze etwa im Rahmen der flexiblen Plankostenrechnung [Kilg-80] ermittelt. In Abhängigkeit der Losgrößen, Variantenvielfalt und Komplexität der Produkte kann auch eine Bewertung mit Hilfe der Prozeßkostenrechnung [Coop-90] erfolgen. Die verwendeten beziehungsweise benötigten Ressourcen werden in Bezug auf ihre *Kapazitätsauslastung* analysiert. Eine Bewertung von Ressourcen in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit von Investitionsentscheidungen erfolgt durch Wirtschaftlichkeitsanalyseverfahren und wird z.B. mit Hilfe des Kapitalwertverfahrens [Wild-87, Wöhe-84] betrachtet.

Abschließend wird die neue Aufbau- und Ablauforganisation implementiert sowie eine kritische Analyse der ausgearbeiteten Lösung mit Hilfe eines Soll-Ist-Abgleichs durchgeführt, und die erkannten Problemfelder korrigiert. Um die Einhaltung der definierten Ziele während des Betriebs sicherzustellen, ist es wichtig, daß sowohl die Mitarbeiter in der Produktion als auch die Führungskräfte aussagekräftige aktuelle Kennzahlen zur Verfügung gestellt bekommen, damit sie ihre Arbeit effizient erledigen können.

Von besonderer Bedeutung für die Geschäftsprozeßoptimierung ist die Unternehmensmodellierung (vgl. [Wien-91]) mit der die aktuelle Situation im Unternehmen und die zu optimierenden Anwendungen formal beschrieben werden. Mit Hilfe der Unternehmensmodellierung lassen sich „schon bei der Betrachtung der erstellten Prozeßpläne, ... Schwachstellen im Ablauf erkennen und mögliche Verbesserungsmaßnahmen abbilden“[Müll-93]. Neben einer qualitativen Beschreibung der Prozesse muß der Anwender ebenso die Möglichkeit haben die beispielsweise oben genannten Kennzahlen formal beschreiben zu können um eine quantitative Analyse und Bewertung der Geschäftsprozesse durchführen zu können.

Im Rahmen dieser Arbeit soll ein integrierter Ansatz ausgearbeitet werden, der die Modellierung, Analyse und quantitative Bewertung von Geschäftsprozessen umfaßt und als Hilfestellung für die Geschäftsprozeßoptimierung dient. Es soll des weiteren ein Werkzeug entwickelt werden, das den Anwender bei der Modellerstellung unterstützt. Zum einen ist die Unternehmensmodellierung effizient nur mit einem Werkzeug zu bewältigen etwa in Bezug auf die schnelle Umsetzbarkeit und Bewertung der Modelle, zum anderen soll die Implementierung des Werkzeuges dazu dienen, den Ansatz zu validieren.

In Kapitel 2 wird zunächst der Stand der Technik im Bereich Modellierung, Bewertung und Optimierung von Prozessen und Objekten im Unternehmen analysiert.

In Kapitel 3 wird ein Fazit aus der Analyse des Stands der Technik gezogen. Darauf aufbauend erfolgt die Konkretisierung der Problemstellung sowie der Ziele der Arbeit.

Ausgehend von den genannten Zielen der Arbeit wird in Kapitel 4 das Konzept vorgestellt und die Anforderungen an den methodischen Ansatz und das rechnerunterstützte Werkzeug definiert.

In Kapitel 5 werden die Modellierungskonstrukte definiert und formal spezifiziert sowie eine graphische Modellierungsmethode vorgestellt.

Die Schnittstellen der Modellierungskonstrukte zu einem existierenden Unternehmensmodellierungskonzept werden in Kapitel 6 dargestellt. Danach wird auf die Generierung der Modelle während der verschiedenen Modell-Lebenszyklusphasen eingegangen. Anschließend werden Methoden zur Bewertung von Geschäftsprozessen durch die definierten Modellierungskonstrukte definiert.

Die software-technische Implementierung des Ansatzes in Form eines rechnergestützte Prototyp wird in Kapitel 7 behandelt.

In Kapitel 8 wird die beispielhafte Anwendung des integrierten Ansatzes zur Analyse und Bewertung von Geschäftsprozessen auf eine betriebliche Problemstellung beschrieben.

Abschließend folgt die Zusammenfassung der Arbeit und ein Ausblick.

## 2 Stand der Technik

Aufbauend auf der Untersuchung existierender Ansätze zur Beschreibung, Analyse, Bewertung und Optimierung komplexer Systeme werden die Schwachstellen der Ansätze und Methoden herausgearbeitet.

Zunächst wird auf Methoden zur Modellierung komplexer Systeme im Unternehmen eingegangen.

### 2.1 Die Modellierung komplexer Systeme

Zur Beschreibung, Planung, Analyse und Simulation komplexer Anwendungen im Unternehmen werden Modelle verwendet. Modelle liefern ein reduziertes Abbild der Wirklichkeit. Die Abbildung eines Systems durch ein Modell ist nach WIENDAHL dann erforderlich, „wenn direkte Untersuchungen am realen System nicht möglich oder unwirtschaftlich sind“ [Wien-91].

Im Bereich der Produktion werden Modelle z.B. zur Steuerung, zur Terminplanung, Leistungsbestimmung und Abbildung der Interaktionen im System, Bestimmung der Typen und Anzahl von Werkzeugen und der Kapazität von Puffern sowie der Planung der optimalen Anordnung von Maschinen [Nich-91] oder im Rahmen der CIM-Planung [SaLi-94] eingesetzt.

Unter der Unternehmensmodellierung wird nach STUCKY die „formale Beschreibung aller relevanten Informations-, Ablauf- und Organisationsaspekte“ verstanden. Die Unternehmensmodellierung besteht aus der Modellierung und Analyse der Geschäftsprozesse und der Informationsmodellierung [Stuc-94].

Bei der Geschäftsprozeßmodellierung stehen die Prozeßlogik und die steuerungsrelevanten Informationen im Vordergrund [Stuc-94]. In der Literatur existieren zahlreiche Definitionen für einen Geschäftsprozeß [FeSi-93, Stuc-94, EvKH-93, AMIC-92, Dern-93]. Keine davon berücksichtigt alle Aspekte eines Geschäftsprozesses. Es soll deshalb eine neue Definition erfolgen, die einen Geschäftsprozeß folgendermaßen charakterisiert:

Ein Geschäftsprozeß stellt eine logische Einheit dar. Ein Prozeß verfügt über einen definierten Start-Zeitpunkt und End-Zeitpunkt. Prozesse umfassen eine Menge von Vorgängen bzw. Teilprozessen zwischen denen inhaltliche Zusammenhänge bestehen. Für die Ausführung der Prozesse werden Ressourcen benötigt. Die Prozesse benötigen Daten zur Durchführung und können ihrerseits neue Daten generieren. Prozesse können einen Steuerungs-Input haben und ein Ereignis erzeugen. Für die Durchführung der Prozesse sind Organisationseinheiten bzw. Mitarbeiter verantwortlich.

Ein Geschäftsprozeß ist damit einem Produktionssystem vergleichbar, bei dem eine Veränderung von Material und Informationen mit Hilfe von Ressourcen erfolgt. Die vom Prozeß benötigten beziehungsweise hergestellten Produkte können aus Informationen, aus Material oder aus beidem bestehen (vgl. [SpMJ-93]). Geschäftsprozesse werden unabhängig von Organisation und Systemgrenzen nach rein funktionellen Gesichtspunkten beschrieben [Wien-91]. Die Anordnung von Geschäftsprozessen zu Prozeßketten erfolgt entsprechend der Wertschöpfung. Motiviert wurden die Arbeiten im Bereich der Unternehmensmodellierung nach WIENDAHL:

„durch die gestiegene Bedeutung der Entwicklung von bereichsübergreifenden Unternehmenskonzepten einerseits und Computer-Applikationen zur Unterstützung und Integration von Unternehmensfunktionen andererseits“ [Wien-91].

Anwendungsbereiche der Unternehmensmodellierung sind daher die:

- Organisatorische Gestaltung des Unternehmens (etwa Lean Production, Concurrent Engineering, Fraktale Fabrik, TQM).
- Analyse und Transparenz der Abläufe (etwa für die Zertifizierung nach ISO 9000).
- Auswahl von Anwendungssoftware (etwa PPS, Auftragsabwicklung).
- Spezifikation und Integration von Anwendungssystemen wie CAD/CAM, CAP/PPS.
- Schulung von Mitarbeitern.

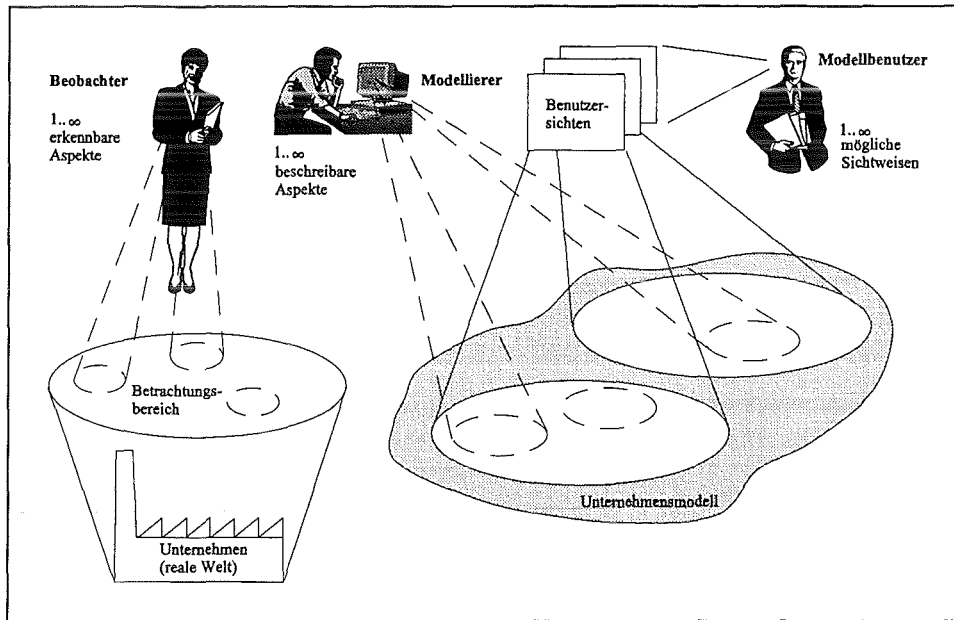
Zur Zeit wird vom Unterkomitee 5 (Architecture and Communications) des ISO Technical Committees 184 (Industrial Automation Systems and Integration) ein Rahmenwerk zur Unternehmensmodellierung erarbeitet, das als Richtlinie für die Entwicklung von Konstrukten und Diensten zur Modellausführung dienen soll [ISO-94]. Im Rahmenwerk erfolgt eine Standardisierung der Begriffe sowie die Behandlung der Grundprinzipien der Unternehmensmodellierung, etwa in Bezug auf die Phasen der Modellgenerierung, und der Abbildung realer Systeme auf Modelle.

Die Vorgehensweise bei der Modellerstellung und dem System-Betrieb ist allgemein durch einen 4 Phasenansatz beschreibbar, der den Prozeß vom „Herausfinden, was zu tun ist“ über das „Herausfinden, wie es zu tun ist“ bis zur Realisierung definiert [SpMJ-93]:

- Analyse
- Design
- Implementierung
- Betrieb



Mit Hilfe von Anwendersichten kann der Gesamtzusammenhang komplexer Systeme in verschiedene Teilmengen zerlegt werden, die spezifische Anwendungsaspekte betrachten (siehe **Abb. 2-1**). Das Konzept der Anwendersichten erlaubt dem Modellierer mit einer Untermenge des Modells zu arbeiten. Dies führt zu einer verminderten Komplexität für den Benutzer, wobei die Sichten redundanzfrei voneinander bearbeitet werden können.



**Abb. 2-1:** Vom Unternehmen zum Unternehmensmodell (vgl. [ISO-94])

Die Beschreibung komplexer Systeme kann dabei nach dem top-down oder bottom-up Ansatz erfolgen [Wien-91]. Bei dem top-down Ansatz (oder auch analytische Vorgehensweise) wird von der Betrachtung des Gesamtsystems ausgegangen, das dann hierarchisch zerlegt und so schrittweise detailliert wird. Beim bottom-up Verfahren (oder auch synthetische Vorgehensweise) wird von der Beschreibung (kleiner) Teilsysteme ausgegangen und durch schrittweise Synthese der Teilsysteme das Gesamtmodell erstellt.

Eine Modell-Bildung erfordert geeignete Modellierungsmethoden [SpMJ-93]. SCHNEIDER [Schn-91] definiert eine Methode als:

„Planmäßig angewandte, begründete Vorgehensweise zur Erreichung von festgelegten Zielen (im allgemeinen im Rahmen festgelegter Prinzipien).“

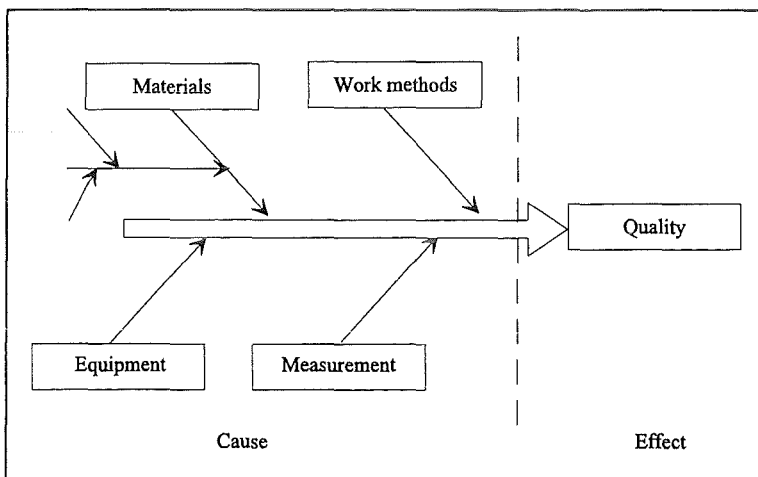
Zur Beschreibung der Geschäftsprozesse, Informationen und dynamischen Aspekte im Unternehmen wurde eine Vielzahl von Darstellungsmethoden entwickelt. Im folgenden sollen kurz die gebräuchlichsten Methoden im Bereich der Unternehmensmodellierung vorgestellt werden.

### 2.1.1 Modellierungsmethoden

Im Rahmen der **Geschäftsprozessmodellierung** werden die Prozesse, Tätigkeiten oder Funktionen eines Systems und ihre Interaktionen untereinander beschrieben.

Mit Hilfe von **Baumdiagrammen** (wie sie z.B. bei Projektstrukturplänen oder Organigrammen eingesetzt werden) wird die Struktur von Funktionen und Prozessen hierarchisch in Form von Bäumen dargestellt.

**Ishikawa Diagramme** [Ishi-83] werden im Bereich des Total Quality Management zum Erkennen von Störungsursachen bei Prozessen eingesetzt (siehe **Abb. 2-2**). Dies geschieht durch systematische Strukturierung der Problemursachen, um daraus Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten. In Form von Assembly Line Diagrammen können Ishikawa Diagramme zur Darstellung von Prozeßketten (durch sequentielle Anordnung der Prozesse) verwendet werden.



**Abb. 2-2:** Ishikawa Diagramm [Ishi-83]

Mit Hilfe von **Prozeßkettendiagrammen** werden die Prozesse einer Prozeßkette nach dem Kriterium der Wertschöpfung angeordnet [ScSi-94]. Die sogenannten Prozeßkettenelemente können weiter hierarchisch zerlegt, und mit Kennzahlen wie Durchlaufzeiten oder Beständen quantifiziert werden. Die Methode erlaubt einen schnellen Überblick über die wertschöpfenden Prozesse, zum Beispiel bei einer ersten Grobanalyse im Rahmen des Business Process (Re-) Engineering.

Die **SA Methode** (Structured Analysis) ist in der Industrie weit verbreitet [Kron-93] und hat sich als Quasi-Standard für den System- und Softwareentwurf durchgesetzt [Schu-92]. Die Datenflußdiagramme des Konzepts bestehen aus den Elementen Prozeß, Speicher und Datenquelle. Der Daten- oder Materialfluß wird durch gerichtete Kanten dargestellt. Das zu unter-

suchende System wird in hierarchisch strukturierte Teilaufgaben (Prozesse) zerlegt, die von Hierarchiestufe zu Hierarchiestufe verfeinert werden. Die Prozesse werden auf jeder Hierarchiestufe mit den zugehörigen Datenflüssen zu einer netzartiger Systemstruktur verbunden.

Die IDEF<sub>0</sub> (Integrated computer aided manufacturing DEFinition models) Methode wurde im Rahmen des ICAM Programms (Air Force Integrated Computer Aided Manufacturing) der amerikanischen Luftwaffe entwickelt [ICAM-81]. Das Ziel des Programms war, die Verbreitung integrierter CAM Systeme in der amerikanischen Industrie, speziell im Bereich der Luft und Raumfahrttechnik. IDEF<sub>0</sub> entspricht den Aktivgrammen der SADT Methode<sup>1</sup>, die zur Modellierung des Daten- und Materialflusses dienen. IDEF<sub>0</sub> benutzt das Objekt „Tätigkeit/Funktion“, das im Rahmen einer top down Vorgehensweise verfeinert wird. Die IDEF<sub>0</sub> Methode zeichnet sich durch Einfachheit, Übersichtlichkeit und Beschränkung auf eine geringe Anzahl unterschiedlicher Symbole aus. SARKIS und LIN etwa setzen IDEF<sub>0</sub> ein, um ihre Methode zur Implementierung von CIM-Systemen zu beschreiben [SaLi-94].

Die wichtigen Aspekte von Nebenläufigkeiten und Alternativen lassen sich mit den beschriebenen Methoden nicht darstellen.

Ein Konzept speziell zur Modellierung und Analyse von Geschäftsprozessen und -ketten wurde von TRÄNCKNER an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen entwickelt [Trän-90]. Das Ziel war die Definition einer praxisnahen Methode, welche die Abläufe der technischen Auftragsabwicklung möglichst realitätsnah abbilden kann und gleichzeitig eine einfache Modellerstellung erlaubt.

Die Beschreibungssprache des Konzepts setzt sich aus 14 Basiselementen, den sogenannten Prozebelementen, zusammen. Die Prozebelemente werden in direkte und indirekte Elemente unterteilt. Direkte Elemente werden zur Beschreibung der direkten Prozesse (wie Konstruktions-, und Montageelemente) verwendet, die unmittelbar zur Wertschöpfung beitragen. Indirekte Prozebelemente dienen zur Beschreibung der indirekten Prozesse (z.B. zur Beschreibung der Kommunikation und des Transports), die nur mittelbar zur Wertschöpfung beitragen. Die Prozeßverkettung erfolgt mit Hilfe der Verkettungstypen „einfache Kettenschaltung“, „OR-Verzweigung“, „AND-Verzweigung“, beziehungsweise „OR-Zyklus“. Den Verzweigungen können Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Je nach Verkettungstyp erfolgt eine Auftragsplittung oder Auftragszusammenführung. Eine Quantifizierung der Prozesse und Prozeßketten kann durch Zuordnung von Liege- und Durchlaufzeiten erfolgen.

---

<sup>1</sup> Die SADT (Software Analysis and Design Technique) Methode wurde von der Firma Sof-Tech als manuelles Hilfsmittel für die Konzeption großer EDV-Systeme entwickelt [Schu-92].

Das Konzept ist gut geeignet zur Analyse (im Sinne einer Transparenzerhöhung) und Gestaltung der technischen Auftragsabwicklung. Eine Optimierung der Abläufe wird erleichtert durch das Erkennen der wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten in der Prozeßkette, sowie dem Auftreten von Doppelarbeiten und Liegezeiten. Im Rahmen einer tiefergehenden Unternehmensmodellierung und Analyse ist der Ansatz jedoch nicht einsetzbar, da eine Modellierung von Daten, Ressourcen und organisatorischen Strukturen nicht berücksichtigt wird.

Die von den Geschäftsprozessen benötigten Objekte und Informationen werden im Rahmen der **Informationsmodellierung** spezifiziert. Mit Hilfe der Informationsmodellierung lassen sich beispielsweise Produkte und Aufträge oder Maschinen innerhalb eines Unternehmens beschreiben.

Die am weitesten verbreitete Beschreibungssprache für semantische Datenmodelle ist das **Entity Relationship Modell (ERM)** nach CHEN [Chen-76]. Die Methode unterscheidet zwischen Entities, Attributen und Beziehungen. Im Lauf der Jahre wurde ERM vielfach weiterentwickelt und um Konstruktionsoperatoren, Kardinalitäten, existentielle und identifikatorische Abhängigkeiten erweitert. Ein Vertreter dieser **erweiterten Entity Relationship Modelle (eERM)** ist beispielsweise das SAP-ERM Konzept der SAP AG in Walldorf [Sche-94].

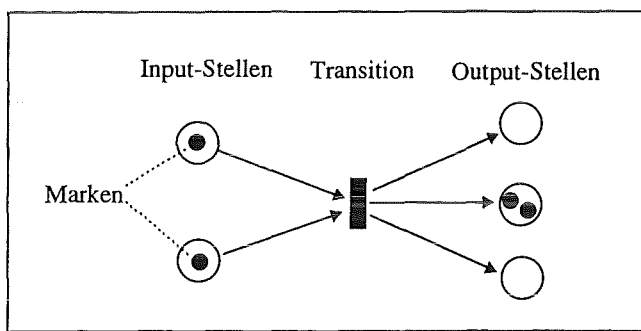
Im Rahmen des ICAM-Projekts wurden die Informationsmodellierungsmethoden **IDEF<sub>1</sub>** und **IDEF<sub>1x</sub>** entwickelt. IDEF<sub>1</sub> basiert auf dem Entity Relationship Modellierungskonzept, während IDEF<sub>1x</sub> zur Modellierung der logischen Struktur relationaler Datenbanken verwendet wird [SaLi-94].

Die textuelle Informationsmodellierungssprache **EXPRESS** ist Bestandteil des ISO 10303 Standards STEP [ISO-92] für den Produktdatenaustausch. Die Beschreibungssprache wird für die weitergehende formale Spezifikation der Datenstrukturen (logical layer) in STEP verwendet. Beziehungen zwischen Objekten werden über Attribute von Entities oder über zusätzliche Entities hergestellt. EXPRESS ist objektbasiert [Ande-92] und gut geeignet zur formalen Spezifikation von Objekten. Beispielsweise wurden die standardisierten STEP-Produktmodelle (Partialmodelle) sowie die Konstrukte von Unternehmensmodellierungsmethoden wie CIMOSA [AMIC-92] und IUM [IEM-94] in EXPRESS definiert. **EXPRESS-G** ist eine Untermenge von EXPRESS für den graphischen Entwurf von semantischen Datenmodellen mit Hilfe der Konstrukte Entity Data Type, Relationship und Data Type.

Das **dynamische Systemverhalten** von Unternehmensmodellen kann in Form von Verhaltensmodellen mit Modellierungssprachen wie IDEF<sub>2</sub>, SA/RT und Petrinetzen beschrieben werden.

Die **SA/RT** Methode (Structured Analysis Real Time) kommt vor allem in Case Tools zum Einsatz, die auf der SA Methode basieren. Als Beschreibungsmittel werden Kontrollflußdiagramme oder endliche Automaten eingesetzt [Balz-93].

Im Gegensatz zur **IDEF<sub>2</sub>** Methode, die ebenfalls im ICAM-Projekt entwickelt wurde und kaum Bedeutung gefunden hat, werden **Petrinetze** häufig zur Verhaltensmodellierung verwendet. Petrinetze sind gerichtete Graphen. Die statische Ablaufstruktur des Systems wird durch gerichtete Kanten und zwei disjunkte Klassen von Knoten, den Stellen und Transitionen dargestellt. Zur Abbildung des dynamischen Ablaufs werden Marken (Tokens) den Stellen zugeordnet, die über die Transitionen weitergereicht werden (siehe **Abb. 2-3**).



**Abb. 2-3:** Die Konstrukte der Petri-Netze

Petrinetze werden nach ihren Kanten und Markeneigenschaften in einfache Petrinetze [Pete-81] (etwa Bedingungs/Ereignis-Netze oder Stellen/Transitions-Netze) und erweiterte Petrinetze [JeRo-91] (wie Prädikat/Transitionsnetze und Farbige Petrinetze) unterteilt. Bei einfachen Petrinetzen können die dynamischen Netzeigenschaften (etwa Erreichbarkeit, Lebendigkeit oder Verklemmungsfreiheit) mit Hilfe von Erreichbarkeitsgraphen oder Methoden der linearen Algebra ermittelt werden [Abel-90]. Aufgrund ihrer Flexibilität sind Petrinetze ein geeignetes Mittel zur Modellierung und Simulation komplexer CIM-Strukturen und werden beispielsweise zur Steuerung und Diagnose von Produktionsanlagen eingesetzt [Weck-91, DHPS-93].

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die vorgestellten Modellierungsmethoden jeweils bestimmte Aspekte der Unternehmensmodellierung abdecken. Ablauforganisatorische Alternativen lassen sich nur schwer abbilden [MeJJ-94], und die Modellierung von Ressourcen

wird nicht unterstützt [SpMJ-93]. Eine Integration zwischen den Daten und Funktionsmodellen wird bis auf IDEF<sub>0</sub> nicht unterstützt. Dies kann leicht zu Redundanzen, Inkonsistenzen und Widersprüchen zwischen den Daten und Funktionsmodellen führen, sobald sie sich auf eine gemeinsame Anwendung beziehen.

Bis auf den Ansatz von Tränckner fehlen des weiteren vordefinierte Konstrukte, welche die Modellerstellung erleichtern, etwa zur Abbildung von Funktionen und zur Strukturierung von Informationen.

Benötigt werden abgeschlossene und konsistente **Modellierungsmethodiken** unter Verwendung von standardisierten Modellierungskonstrukten, die eine Vielfalt an Informationen und Abbildungsanforderungen von einzelnen Bereichen im Unternehmen berücksichtigen.

### 2.1.2 Methodiken zur ganzheitlichen Unternehmensmodellierung

Unter Methodik wird nach SCHNEIDER der „Einsatz von Methoden“ verstanden im Gegensatz zur Methodologie „der Lehre über Methoden“ [Schn-91]. Diese beiden Begriffe werden im Bereich der Unternehmensmodellierung oft verwechselt oder falsch eingesetzt.

Die Modellierungsmethodiken integrieren verschiedene Methoden zur Funktions-, Daten- und dynamischen Modellierung zu Methodenbündeln. Die Zielsetzung ist dabei, alle Phasen des Prozeß-Lebenszyklus durchgängig in Bezug auf die Geschäftsprozesse, zugehörigen Informationen (etwa über Produkte oder Aufträge), Ressourcen, Informationssysteme sowie Aspekte der Ablauf- und Aufbauorganisation mit geeigneten Methoden zu unterstützen.

Aufgrund der großen Anzahl und Vielfalt der Konzepte aus der Industrie und Forschung ist eine umfassende Darstellung aller vorhandenen Ansätze im Rahmen der Arbeit nicht möglich<sup>2</sup>. Im folgenden werden verschiedene nationale und europäische Unternehmensmodellierungsansätze kurz vorgestellt. Die Ansätze wurden ursprünglich für den Aufbau von Informationssystemen beziehungsweise zur CIM-Planung und Implementierung entwickelt. Sie können nach objektorientierten Ansätzen (SOM, IUM) und ereignisgesteuerten prozeduralen Ansätzen (CIMOSA, ARIS, IE) unterschieden werden.

Das **Information Engineering (IE)** Konzept von MARTIN [Mart-89] dient zur methodischen Software-Entwicklung und Informatik-Planung, kann aber auch zur Unternehmensmodellierung verwendet werden. MARTIN verwendet 4 Beschreibungsebenen und lediglich 2 Mo-

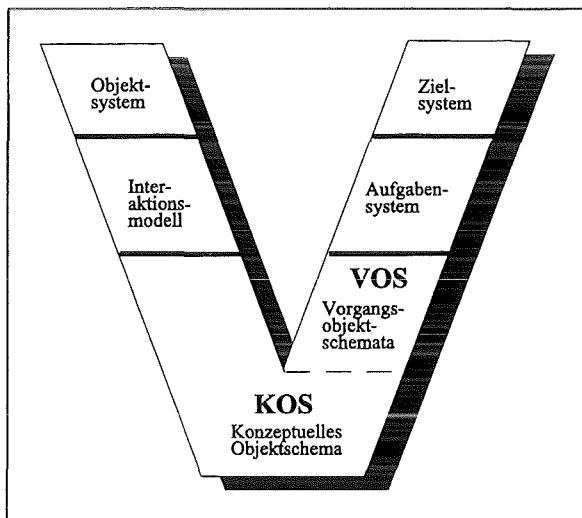
---

<sup>2</sup> Eine umfassende Bewertung und Analyse von Architekturen zur Unternehmensmodellierung und Integration aus Europa und den USA erfolgte durch Williams et al. [Will-93] im Rahmen einer Taskforce der IFIP/IFAC (International Federation for Information Processing/ International Federation of Information Processing).

dellsichten. Die 4 Beschreibungsebenen liefern ein Konzept der systematischen Vorgehensweise, während in der Aktivitätensicht (activities view) die Funktionalität der Geschäftsprozesse (functions, business processes) mit ihren Eingängen und Ausgängen (entity types), der Ort ihrer Ausführung (locations) und die Organisationsstruktur modelliert wird. Die eigentliche Modellierung der Daten erfolgt wiederum in der Datensicht (data view). Hier werden Aspekte wie Mitarbeiter, Produkte und Ressourcen spezifiziert. Mit Hilfe von Matrizen erfolgt eine Zuordnung zwischen den Konstrukten der Daten- und Aktivitätensicht. Die Methode leitet den Modellierer schrittweise durch die 4 Beschreibungsebenen (Information Strategy Planning, Business Area Analysis, System Design, Construction) von der Definition der Anforderungen bis zur Implementierung der Anwendung. Das Information Engineering Konzept bietet eine gute methodische Vorgehensweise für die Generierung von Anwendungsentwicklungen (Lücken im Informationsfluß können durch das Matritzenkonzept gut erkannt werden). Die semantische Ausdrucksfähigkeit ist jedoch eingeschränkt, da keine vordefinierten Modellierungskonstrukte existieren.

FERSTL und SINZ verfolgen mit dem **Semantischen Objektmodell** (SOM) einen objektorientierten Ansatz zur Geschäftsprozeßmodellierung [FeSi-93, Sinz-94]. SINZ definiert einen Geschäftsprozeß als „Netz von betrieblichen Objekten und betrieblichen Transaktionen“, wobei er unter einer Transaktion den „Austausch von Leistungen und/oder Nachrichten zwischen betrieblichen Objekten im Rahmen der Sachzielerfüllung der Unternehmung“ versteht [Sinz-94]. Geschäftsvorgänge sind für die Durchführung einer Aufgabe eines Objekts im Zusammenhang mit der Abwicklung einer oder mehrerer Transaktionen verantwortlich. SOM verwendet drei Modellerstellungsebenen, die im sogenannten V-Modell beschrieben werden (siehe **Abb. 2-4**), und zwei Modellierungssichten. Die statische strukturorientierte Sicht dient zur Beschreibung der Transaktionen zwischen den Objekten, in der dynamischen verhaltensorientierten Sicht werden die Ereignisse beschrieben, die zwischen den Objekten auftreten. Der Ansatz zeichnet sich durch eine durchgängige Orientierung der Geschäftsprozesse an der Sachzielerfüllung der Unternehmung aus und verfügt über eine minimale Anzahl von Modellierungs-Objekten. Dies erleichtert den Umgang mit den Modellen. Die für die Unternehmensmodellierung wichtigen Aspekte der Organisation und Ressourcen werden jedoch nicht berücksichtigt.

Der objekt-orientierte Ansatz der **integrierten Unternehmensmodellierung** (IUM) des Fraunhofer-Instituts für Produktionsanlagen und Produktionstechnik (FhG-IPK) verwendet ebenfalls nur 2 Sichten [SpMJ-93, MeJH-93].



**Abb. 2-4:** Das SOM-Vorgehensmodell [Sinz-94]

Die Beschreibung der Funktionen der Objekte erfolgt im Funktionsmodell. Mit Hilfe des generischen Aktivitätenmodells werden die 3 Hauptkonstrukte Aktion, Funktion und Aktivität beschrieben, die sich hinsichtlich des Beschreibungsumfangs unterscheiden. Eine Aktion beschreibt eine funktional zu erfüllende Aufgabe. Werden Informationen definiert, die von der Aktion verarbeitet und transformiert werden, so entsteht daraus eine Funktion. Eine Aktivität entsteht, wenn zusätzlich Ressourcen und Steuerungsinformationen für eine Funktion definiert werden. Im Informationsmodell werden die von den Prozessen benötigten und verarbeiteten Informationen modelliert. Basierend auf der generischen IUM Objektklasse wurden die 3 Unterklassen Produkt, Ressource und Auftrag abgeleitet. Die Modelle werden mit Hilfe vordefinierter Konstrukte und Schemata generiert, die Erstellung von Referenzmodellen ist Bestandteil der Methodik. Die funktionale Modellierung ist eingeschränkt, da keine Ereignisse verwendet werden. Eine explizite Einbeziehung eines Organisationsmodells wird nicht vorgenommen, das Organisationsmodell ist Bestandteil des Ressourcenmodells [IEM-94]. Der Prozeßlebenszyklus ist nicht Bestandteil der Methode.

**ARIS** die Architektur integrierter Informationssysteme von SCHEER [Sche-92b, Sche-94] dient zur Spezifikation und Ableitung implementierbarer Unternehmensmodelle. Das Konzept verfügt über 3 Beschreibungsebenen und 4 Modellsichten (siehe **Abb. 2-5**). Die Funktionalität der Geschäftsprozesse wird in der Funktionssicht modelliert, während die Bildung der Geschäftsprozeßketten durch Verknüpfung der Funktionen mit Ereignissen und Informationen erfolgt (SCHEER bezeichnet diese als „erweiterte Ereignisgesteuerte Prozeßketten“) in der Steuerungssicht. Die Ressourcen werden nicht in einer eigenen Sicht betrachtet. Sie werden in der Funktionssicht und Organisationssicht mit berücksichtigt.



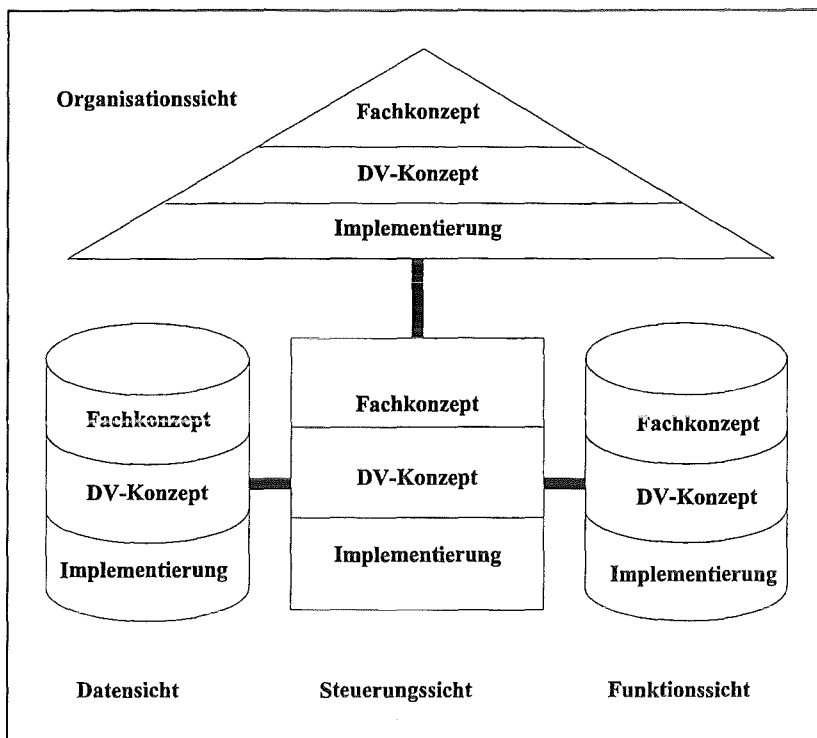


Abb. 2-5: Das ARIS Konzept [Sche-92b]

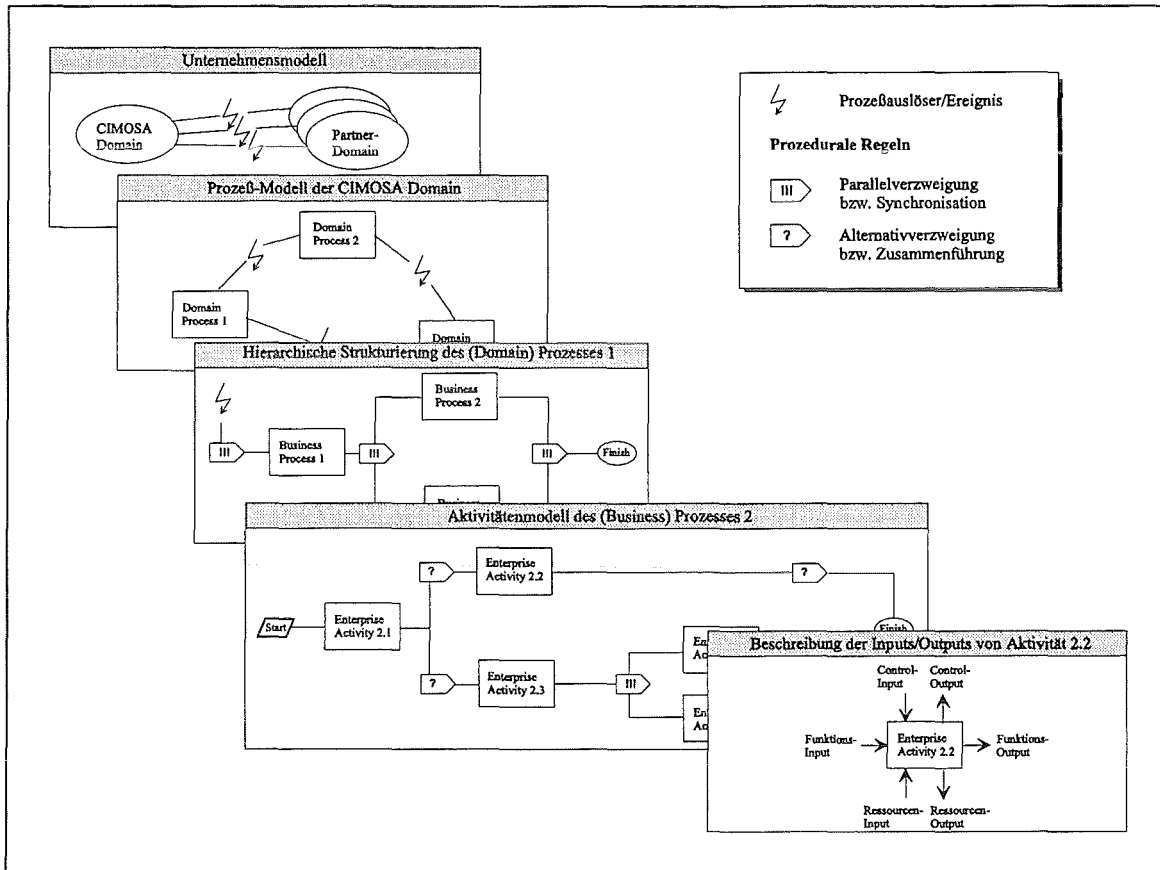
Obwohl die Entwicklung von Referenzmodellen nicht Bestandteil der ARIS-Methodik ist, existieren in der Zwischenzeit eine Vielzahl von Referenzmodellen [Sche-94] z.B. für die Beschaffungs- und Vertriebslogistik oder die Fertigung.

Einen Ansatz zur ganzheitlichen Unternehmensmodellierung bietet **CIMOSA** (CIM Open System Architecture), auf das nun näher eingegangen werden soll. Das Konzept wurde vom AMICE-Konsortium in mehreren ESPRIT<sup>3</sup> Verbundprojekten (No. 688, 5288 und 7110) entwickelt. Die Ziele waren, ein gemeinsames CIM-Verständnis zwischen Anwendern und Herstellern zu erreichen sowie CIM-Standards festzulegen [AMIC-92, AMIC-93]. Die verschiedenen Aspekte der Modellerstellung sind in einem Modellierungsrahmenwerk (Modelling Framework) zusammengefaßt, das als Grundlage für die nationale und internationale Standardisierung (Europäische Vor-Norm ENV 40003) dient.

CIMOSA verwendet eine prozedurale ereignisgesteuerte Planungsmethode. In der Modellsichtendimension (generation dimension) erfolgt die vollständige Beschreibung der Geschäftsprozesse in vier Sichtweisen. Die Funktionssicht (Function View) beschreibt die Funktionalität der Geschäftsprozesse (siehe Abb. 2-6). Die entsprechenden Daten werden in der Informationssicht (Information View) beschreiben. Die Ressourcensicht modelliert die benötigten Be-

<sup>3</sup> ESPRIT steht für European Strategic Program for Research and Development in Information Technology.

triebsmittel, Anwendungsprogramme und Anforderungen an die Mitarbeiter, während die Aufbau- und Ablauforganisation in der Organisationssicht (Organisation View) beschrieben werden. Die Verbindung zwischen den verschiedenen Sichten geschieht durch die Definition von Inputs und Outputs für die Prozesse und Aktivitäten in der Funktionssicht.



**Abb. 2-6:** Das Prinzip der CIMOSA Geschäftsprozess-Modellierung

In der Architekturdimension<sup>4</sup> (instantiation dimension) existieren 3 Ebenen von unterschiedlichen Modell-Detaillierungsgraden. Sie reichen von generischen Bausteinen (generic constructs), über vordefinierte Modelle (partial models) bis zu spezifischen Modellen (particular models). SCHEER [Sche-92] schreibt hierzu:

“In dieser Sichtweise kommt zum Ausdruck, daß im Rahmen von CIMOSA zunächst generelle Bausteine als Standards definiert werden sollen, die dann zu branchenbezogenen Referenzmodellen zusammengestellt und zum Schluß zur Entwicklung unternehmensindividueller Lösungen herangezogen werden sollen”.

<sup>4</sup> Unter einer Architektur wird die Beschreibung der einzelnen Bausteine eines Systems hinsichtlich ihrer Art, funktionalen Eigenschaften und ihres Zusammenwirkens verstanden (vgl. SCHEER [Sche-92]).

CIMOSA definiert in der Modellierungsdimension (derivation dimension) den kompletten Lebenszyklus der Modelle in 3 Ebenen. Auf der Anforderungsdefinitionsebene (requirements definition) erfolgt die Grobspezifikation der Anwendung durch Erstellung eines ersten unvollständigen Modells sowie die Definition und Zerlegung der Unternehmensziele. Auf der Entwurfsspezifikationsebene (design specification) wird dieses erste Modell zu einem logischen Modell detailliert und die Benutzeranforderungen optimiert. Auf der Realisierungsbeschreibungsebene (implementation description) werden implementationsabhängige Informationen (etwa Kanäle und Initialisierungsdateien) über die Betriebsmittel hinzugefügt.

Der Hauptunterschied von CIMOSA gegenüber anderen Modellierungskonzepten besteht darin, daß die Modelle nicht nur zur Dokumentation oder Simulation dienen, sondern direkt zur Abwicklung, Überwachung und Informationsversorgung der Prozeßketten verwendet werden können. Dies geschieht mit Hilfe eines Modellinterpreters, der sogenannten integrierenden Infrastruktur (*Integrating Infrastructure*). Die integrierende Infrastruktur besteht aus einer Reihe verteilter Dienste etwa zur Steuerung und Ausführung der Geschäftsprozesse (Business Services) zum transparenten Austausch und zur Verwaltung der Informationen (Information Services) sowie zum Steuern und Scheduling der Ressourcen (Presentation Services). Dazu wird das lauffähige Modell on-line mit Hilfe der integrierenden Infrastruktur an bestehende CAx-Systeme, Anwendungsprogramme, Datenbanken, Maschinensteuerungen und Handarbeitsplätze angebunden.

CIMOSA wurde in einer Reihe nationaler und internationaler Projekte validiert. In den ESPRIT Projekten VOICE (Validating OSA in Industrial CIM Environments) und VOICE II wurden CIMOSA Pilotimplementierungen in unterschiedlichen industriellen Anwendungen sowie Dienste der integrierenden Infrastruktur und Werkzeuge entwickelt (siehe **Abb. 2-7**). An der Universität Karlsruhe wurde im Rahmen eines Forschungsschwerpunktprogramms von Baden-Württemberg die Verwendbarkeit des CIMOSA Modellierungskonzepts überprüft [GSRS-93].

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß bei allen vorgestellten Unternehmensmodellierungskonzepten das Modell so verfeinert werden kann, daß es als Programmiervorlage für eine software-technische Implementierung verwendet werden kann. CIMOSA ist der einzige Ansatz, der auch eine Abarbeitung der Modelle behandelt. Die Integration der Sichten zu einem Gesamtmodell ist durch Input-Output-Beziehungen gelöst worden. Die Problematik der Phasenübergänge und Brüche zwischen den verschiedenen Beschreibungsebenen und Sichten (Methodenintegration) konnte jedoch noch nicht zufriedenstellend gelöst werden.

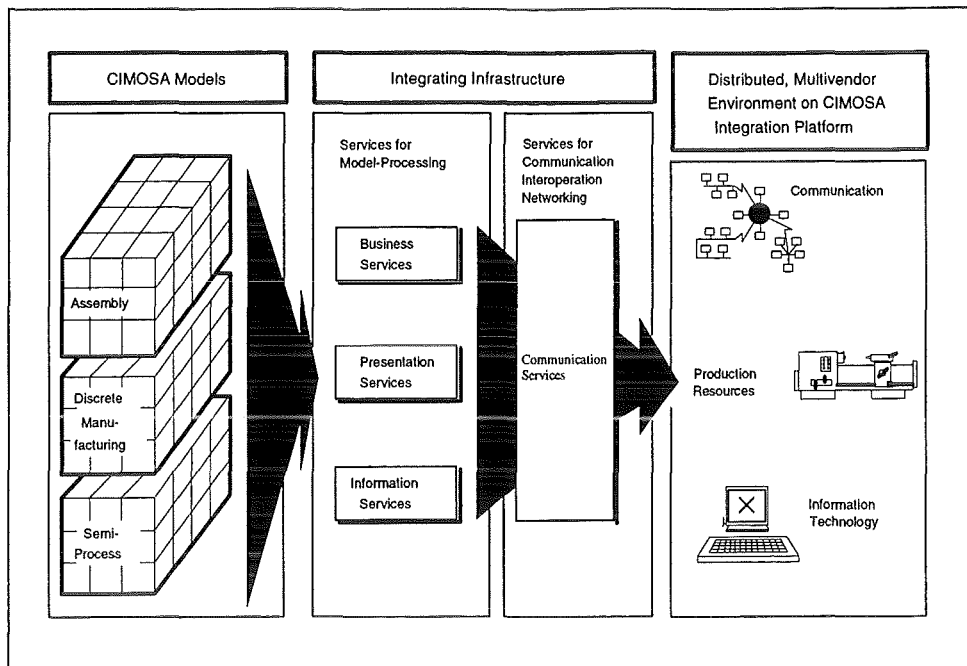


Abb. 2-7: Die VOICE Validierungsarchitektur [VOIC-94]

Die Komplexität der Modelle erfordert eine rechnerbasierte Unterstützung der Modellerstellung. Wiendahl bemerkt hierzu:

„Wegen der großen Zahl der Aktivitäten und Informationsflüsse, die modelliert werden müssen, und der vielfachen Modifikationen, die am Ist- und am Soll-Modell zu erwarten sind, ist eine rationelle Bearbeitung dieser Aufgabe nur mit Hilfe des Rechners möglich“ [Wien-91].

In der Forschung (etwa PROPLAN<sup>5</sup>, GTVOICE<sup>6</sup> und MO<sup>2</sup>GO<sup>7</sup>) und auf dem Markt (etwa ARIS<sup>8</sup> und Bonapart<sup>9</sup>) existieren daher bereits zahlreiche Werkzeuge zur Unternehmensmodellierung, wobei der Einsatz der Werkzeuge aufgrund ihrer Neuheit noch nicht weit verbreitet ist [AlAn-94]. Die meisten Werkzeuge bieten zwar optimale qualitative Analyse und Dokumentationsmöglichkeiten, Abstriche müssen nach AL-ANI jedoch „vor allem bei den quantitativen Analysefunktionen gemacht werden“ [AlAn-94]. Dies liegt daran, daß die meisten Werkzeuge aus dem Bereich der CASE-Tools kommen. Es müssen eventuell mehrere

<sup>5</sup> PROPLAN wurde am WZL der RWTH-Aachen entwickelt und basiert auf dem Ansatz von Tränckner.

<sup>6</sup> Das CIMOSA Modellierungswerkzeug GTVOICE wurde im Rahmen der ESPRIT Projekte VOICE (EP 5510) und VOICE II (EP 6682) entwickelt.

<sup>7</sup> MO<sup>2</sup>GO wurde am Fraunhofer-Institut IPK in Berlin entwickelt und basiert auf dem IUM-Ansatz.

<sup>8</sup> Das ARIS Toolset basiert auf dem ARIS-Konzept und ist ein Produkt der IDS Prof. Scheer GmbH, Saarbrücken.

<sup>9</sup> Bonapart ist ein Produkt der UBIS (Unternehmensberatung für integrierte Systeme) und basiert auf Petri-Netzen.

Werkzeuge eingesetzt werden, zum Beispiel Datenbanken oder Tabellenkalkulationsprogramme zur quantitativen Analyse und Geschäftsprozeßmodellierungswerkzeuge zur qualitativen Darstellung der Prozesse. Bei der Übertragung der Informationen von einem auf das andere Tool kann dann ein erhöhter Zeit- und Kostenaufwand auftreten [AlAn-94].

## 2.2 Methoden und Konzepte zur Beurteilung und Bewertung von Alternativen

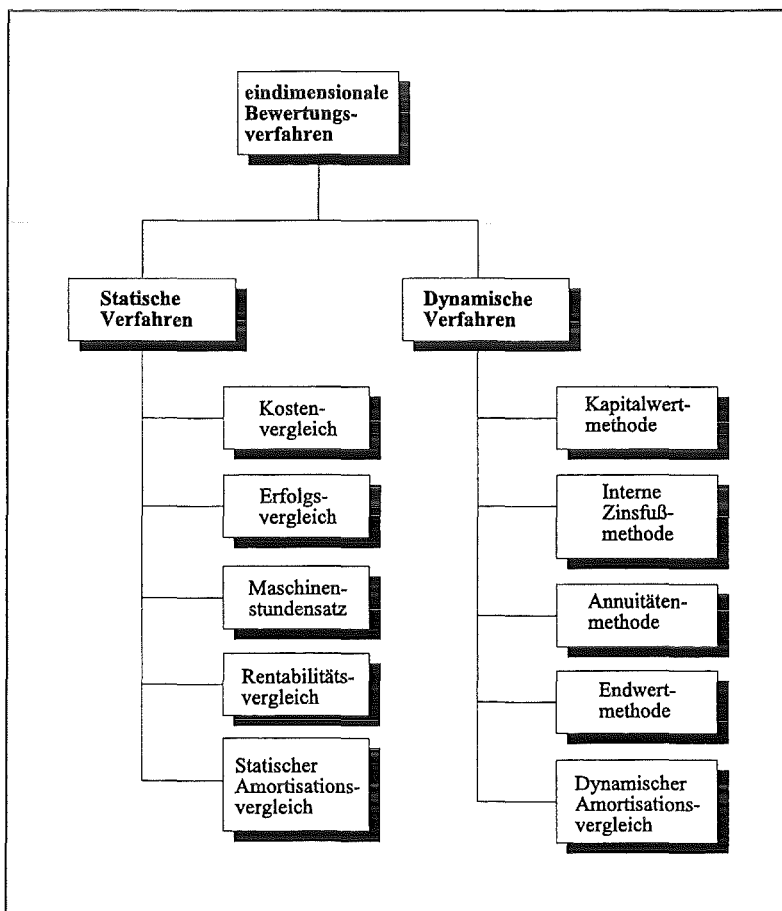
Bei einer geschäftsprozeßorientierten Umgestaltung müssen Verfahren zur Charakterisierung von Lösungsalternativen als Entscheidungshilfe zur Lösungsauswahl eingesetzt werden, damit eine Optimierung der Geschäftsprozesse erfolgen kann. Hierzu müssen die verschiedenen alternativen Produkte, Ressourcen und Prozesse in Bezug auf den Erfüllungsgrad der definierten Ziele bewertet werden. Manche Aspekte der Bewertung treten dabei temporär in der Restrukturierungsphase auf, andere dagegen kontinuierlich während des Betriebs.

Eine eindimensionale Bewertung von Produkten nach Kosten erfolgt mit Hilfe der **Kostenrechnung**. Die verursachungsgerechten Einzelkosten werden den Produkten direkt zugeordnet, während die nicht verursachungsgerechten Gemeinkosten bei der Mehrproduktfertigung mit Hilfe von Bezugsgrößen und Zuschlägen, beispielsweise mit der Deckungsbeitrags- oder flexiblen Plankostenrechnung, auf die Produkte umgelegt werden [Wöhe-84, Kilg-80]. Die Bezugsgrößen (wie etwa die Umrüst- und Maschinenstunden) variieren dabei automatisch mit der produzierten Menge. Dies führt dazu, daß die Produktkosten verzerrt werden, sobald einige für das Produkt notwendige Aktivitäten nicht mit dem Produktionsvolumen korrelieren wie z.B. Planungs-, Steuerungs-, Überwachungs- und Qualitätssicherungs-Vorgänge. Das Verhältnis zwischen Produktpreis und der Losgröße oder Bestellmenge kann dann nicht mehr eindeutig bestimmt werden. Dies ist nach COOPER umso krasser, je kleiner die Losgrößen, je größer die Variantenvielfalt und je komplexer die Produkte sind [Coop-90]. Exotische Varianten werden zu billig und Standardprodukte zu teuer berechnet.

Resultierend aus dieser Problematik wurde in den USA die Prozeßkostenrechnung (oder nach COOPER [Coop-90] Activity Based Costing) entwickelt. Alle im Unternehmen erbrachten Leistungen (vor allem in den Gemeinkostenbereichen) werden als Aktivitäten oder Prozesse definiert und in ihren Zusammenhängen erfaßt. Mengenproportionale Kosten werden weiterhin mit der Bezugsgröße (die bei Activity Based Costing als cost driver bezeichnet werden) direkte Arbeitsstunden verrechnet, während Aktivitäten, die nicht proportional zur Produktionsmenge verlaufen, über mengenunabhängige Bezugsgrößen den Produkten zugeordnet werden (etwa Rüststunden und die Anzahl der Rüstvorgänge). Die Prozeßkostenrechnung ist gut geeignet zur Bewertung der indirekten Bereiche und zur Effizienzbeurteilung von Wertschöp-

fungsketten. Als Kritikpunkt ist bei diesem Verfahren einzuwenden, daß eine große Zahl von Bezugsgrößen notwendig ist, um ein genaues Ergebnis zu bekommen, was einen hohen Planungs- und Erfassungsaufwand zur Folge hat.

Eine eindimensionale quantitative Bewertung von Ressourcen erfolgt durch die „klassischen“ statischen und dynamischen Methoden der **Wirtschaftlichkeits-** beziehungsweise **Investitionsrechnung** (siehe **Abb. 2-8**). Die Wirtschaftlichkeit wird durch die ein- und ausgehenden Zahlungsströme, und je nach Verfahren zusätzlich mit Hilfe des Zinsfußes sowie der Investitionsdauer ermittelt. Eine Investition in eine Ressource wird dabei als vorteilhaft angesehen, wenn ein Überschuß der Einzahlungen über die Auszahlungen die Amortisation sowie eine angemessene Verzinsung des eingesetzten Kapitals bringt (vgl. [Wöhe-84]).



**Abb. 2-8:** Statische und dynamische Investitionsrechnungsverfahren

Ist eine multi-dimensionale Bewertung erforderlich und sind die Kriterien quantifizierbar, können **Kennzahlensysteme** (siehe **Abb. 2-9**) verwendet werden, die verschiedene Bewertungs- und Analyse Kriterien kombinieren.

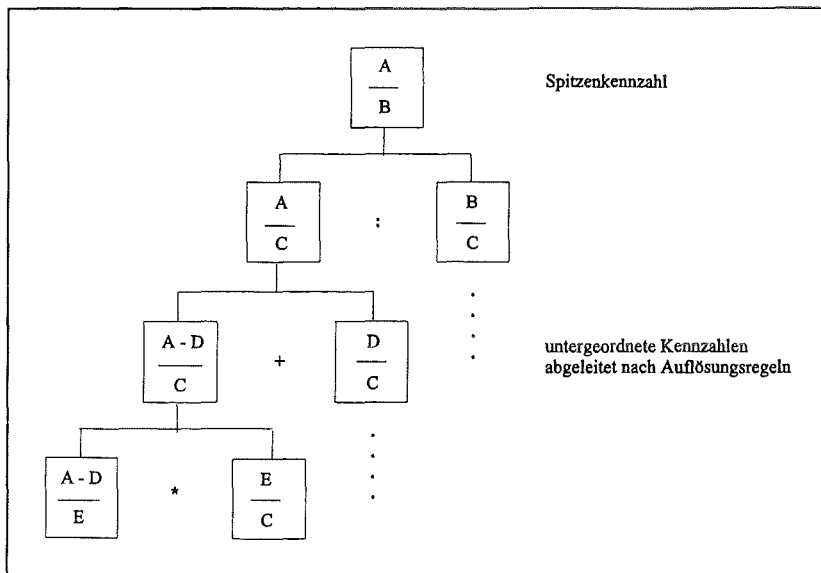


Abb. 2-9: Prinzipieller Aufbau eines Kennzahlensystems nach DIEBOLD [Dieb-84]

Ein Kennzahlensystem wird von LACHNIT [Lach-76] folgendermaßen definiert:

„Ein Kennzahlensystem besteht aus einer geordneten Gesamtheit von Kennzahlen, die in sachlich sinnvoller Beziehung zueinander stehen, sich gegenseitig ergänzen und als Gesamtheit dem Zweck dienen, den Betrachtungsgegenstand möglichst ausgewogen und vollständig zu erfassen.“

HEINRICH [Hein-92] versteht unter einer Kennzahl

„eine Zahl über Daten mit konzentrierter Aussagekraft zur Diagnose, Planung, Überwachung und Steuerung eines Systems, sie ist (meist) Verhältniszahl oder absolute Zahl.“

Als bekanntestes Kennzahlensystem ist das DuPont-Kennzahlensystem zu nennen, das primär Kontrollaufgaben im Finanzbereich erfüllt. Maßgröße für die Beurteilung der Effektivität eines Unternehmens ist die Rentabilität<sup>10</sup> (Return On Investment) [Geiß-86].

Eigenschaften einer Kennzahl sind ihr Informationscharakter, die spezifische Form der Information und die Quantifizierbarkeit [Hein-92], wobei eine gute Kennzahl sich nach GROCHLA et al. durch eine konsistente Form, Aussagecharakter, Zielbezug sowie ihren Entscheidungs- und Informationsbezug auszeichnet [GFPV-83].

In der Literatur existieren zahlreiche Klassifikationsmöglichkeiten von Kennzahlen je nach verwendetem Anwendungsbereich. Die nachfolgende Tabelle zeigt eine mögliche Gliederung nach GEISS, der Kennzahlen durch 7 Merkmale charakterisiert (siehe **Tab. 2-1**).

<sup>10</sup> Das in den USA weit verbreitete Verfahren des Return on Investment (Rückfluß des investierten Kapitals) vergleicht in seiner einfachsten Form den erwarteten Jahresgewinn alternativer Investitionsobjekte bezogen auf das investierte Kapital [Wöhe-84].

**Tab. 2-1:** Klassifikation von Kennzahlen [Geiß-86]

Merkmale	Ausprägungen
Informationsbasis	Rechnungswesen Voranwendungen
statistische Form	absolute Zahlen <sup>11</sup> Verhältniszahlen  Indexzahlen Beziehungszahlen Gliederungszahlen
Inhalt	monetäre Größen nicht monetäre Größen
Kennzahlenbenutzer	interne Empfänger externe Empfänger
Bezugsobjekt	gesamtbetrieblich teilbetrieblich
Modus	normativ deskriptiv
Zeitbezug	kurzfristig mittelfristig langfristig

Anhand der zwei Merkmalsausprägungen Informationsbasis und Inhalt ist die betriebswirtschaftliche Zielsetzung von GEISS zu erkennen. Die verwendeten Merkmale lassen sich jedoch generisch zur Spezifikation für jede Kennzahl im Unternehmen verwenden.

Eine Analyse der Kennzahlen im Hinblick auf die Rückverfolgung von Problemursachen erfolgt durch die Kennzahlenanalyse. Bei der Kennzahlenanalyse werden die Kennzahlen eines Kennzahlensystems je nach Problemstellung sukzessive zerlegt und die entsprechenden Werte betrachtet.

HEINRICH [Hein-92] schreibt zur Vorgehensweise bei der Kennzahlenanalyse:

„Um die Ursachen von Abweichungen und Trends erkennen zu können, muß die Aufspaltung jeder Kennzahl möglich sein, bis man auf der untersten Ebene des Kennzahlensystems angelangt ist.“

Ein traditionelles Anwendungsgebiet von Kennzahlen im Unternehmen sind Führungsinformationssysteme wie Management Information Systems (MIS) oder Executive Information Systems (EIS). Führungsinformationssysteme stellen globale Kennzahlen zur Verfügung, die

<sup>11</sup> Die absoluten Zahlen können wiederum in Summen, Differenzen und Mittelwerte unterteilt werden.



für den Erfolg des Unternehmens entscheidend sind. SEMPF verwendet hier den Begriff der „Kennzahlenfabrik“ [Semp-94], in der den Entscheidungsträgern alle relevanten Informationen über die erbrachten Leistungen und die damit verbundenen Kosten aus den verschiedenen Funktionsbereichen bereitgestellt werden. Die Abläufe werden nicht mehr aus dem „hohlen Bauch heraus“ gesteuert, sondern basierend auf den Werten der Kennzahlen nach dem Prinzip des „Führen[s] mit Zahlen“ [Jopp-94].

Eine kontinuierliche Aktualisierung der Kennzahlen erfolgt durch die on-line Kopplung der Führungsinformationssysteme an die Datensysteme des Unternehmens [Awad-88], wobei auch ein Zugriff auf externe Daten (etwa Preistrends) möglich ist [Voge-94].

Executive Information Systems decken die taktischen und strategischen Komponenten im Bereich des Controllings ab. Sie verdichten die wertbezogenen (betriebswirtschaftlich relevanten) Daten aus der Kostenrechnung (etwa der flexiblen Plankosten- und der Fixkostendeckungsrechnung) oder der Buchhaltung zu aussagekräftigen Kennzahlen für die Unternehmensleitung (siehe hierzu auch [Reic-93]). Werden zusätzlich methodische Unterstützungen zur Entscheidungsfindung angeboten (wie statistische Auswertungen und Optimierungsrechnungen) so werden die EIS zu Executive Support Systems (ESS) [Sche-94].

Management Informationssysteme wurden ursprünglich als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung für Topmanager konzipiert, heute werden sie als Werkzeuge für Führungskräfte auf allen Hierarchiestufen [KVB-94] der operativen Bereiche des Unternehmens eingesetzt. In der Produktion (Fertigung, Montage, Qualitätswesen) werden beispielsweise Kennzahlen zur Beurteilung und Analyse der Leistungsfähigkeit der Produktionsbereiche hinsichtlich Produktivität, Qualität, Flexibilität und Ressourceneffizienz sowie zur Steuerung der Abläufe eingesetzt.

WIENDAHL schlägt als Ergänzung zum Kosten- und Qualitätskontrollsystem den Aufbau eines permanenten Kontrollsystems in der Fertigung basierend auf den Kennzahlen Bestand, Leistung, Durchlaufzeit und Terminabweichung vor. Die Kennzahlen sollen periodisch aus den Basisdaten eines BDE/MDE Systems errechnet werden. WIENDAHL verwendet hier den Begriff der „logistische[n] Realitätsprüfung“ [Wien-87]. Hierzu muß ein Modell existieren, das die Relationen zwischen den Kennzahlen des Fertigungsablaufs erkennen läßt. Betriebskennlinien stellen diesen Zusammenhang zwischen der Leistung eines Arbeitssystems und verschiedenen Durchlaufzeitgrößen als Funktionen der Bestände her. Besonders bei der variantenreichen Einzel- und Serienfertigung sind Betriebskennlinien ein geeignetes Mittel zur Bestimmung der optimalen Losgröße, des Kapazitätsbedarfs sowie der Abschätzung von Rationalisierungspotentialen [FaGr-94].

FASTABEND und GROßKLAUS [FaGr-94] erweitern den Ansatz der Betriebskennlinien durch die Berücksichtigung von Kosten und Erlösgrößen. Bestände werden über die Kapitalbindung, Durchlaufzeiten über Fehlmengenkosten und die Leistung über erzielbare Erlöse bewertet. Hierdurch können die Entscheidungsalternativen im Rahmen eines „logistikorientierten Controllings“ ökonomisch evaluiert werden.

GROTH stellt ein generisches Kennzahlensystem zur Ursachenanalyse für gute beziehungsweise schlechte Produktivitätswerte in der Fertigung vor [Grot-92]. Die Kennzahlen sind nach den Bereichen Personal, Organisation und Technik untergliedert, welche als die innerbetrieblichen Einflußgrößen auf die Produktivität ausgemacht wurden. GROTH berücksichtigt den wichtigen Aspekt, daß Unternehmen über unterschiedliche Präferenzen und Organisationsstrukturen verfügen und daher maßgeschneiderte Kennzahlensysteme benötigen. Er paßt hierzu ein generisches Kennzahlensystem mittels Kennzahlenauswahl und Gewichtung an die unterschiedlichen Fertigungsbetriebe an.

GROCHLA et al. schlagen eine Reihe von Kennzahlen zur Steuerung und Analyse der Funktionen der Materialwirtschaft vor. Durch Angabe der Berechnungsformel, der Gliederungsmöglichkeiten (z.B. nach Lieferanten), der Erhebungszeitpunkte/Zeiträume, des Kennzahlzwecks, des Anwendungsbereichs (für wen sind die Informationen bestimmt), der Basisdaten (etwa von der Bestellkarte), der Vergleichsgrundlagen (beispielsweise der Zeitvergleich) und der Interpretation werden die Kennzahlen spezifiziert [GFPV-83].

SPECHT und FEHLER stellen ein Konzept der schrittweisen Datenverdichtung und Datenverfeinerung im Rahmen der Informationsaufbereitung für Mitarbeiter von Produktionsgruppen vor [SpFe-94]. Ein Kennzahlensystem soll wirtschaftlich und organisatorisch relevante Information an die Mitarbeiter von Gruppen liefern, damit diese die Auswirkungen ihres Handelns erkennen können. Ein objekt orientierter Problemanalyseansatz unterstützt den Anwender bei der Problemwahrnehmung, Indikation, Problemerkennntnis und Diagnose.

Kennzahlensysteme werden auch zur Planung, Analyse und Steuerung des DV-Einsatzes verwendet [Hein-92]. DIEBOLD [Dieb-84] hat ein formales Beschreibungsverfahren zur Generierung von Kennzahlensysteme entwickelt. Auf jeweils zwei gegenüberliegenden Seiten wird eine Kennzahlengruppe zum einen graphisch dargestellt und zum anderen textuell erläutert. Die graphische Darstellung beinhaltet die Bezeichnung, Bestandteile der Kennzahl, einfache Operationen zur Ermittlung der Kennzahl, den Schlüssel zur Identifikation sowie den Aussagebereich. Die textuelle Beschreibung beinhaltet Informationen über die Interpretation, die Aussage und Art der Messung. Um ein durchgängiges Kennzahlensystem zu bekommen, das

von einem Rechner ausgewertet werden kann, unterscheidet DIEBOLD in Hauptkennzahlen mit gewollter Aussage und Hilfskennzahlen, die nur zur Wahrung des Zusammenhangs des Kennzahlensystems dienen und nicht interpretiert werden. Als Kritik an der formalen Beschreibungssprache ist anzumerken, daß nur einfache Operatoren verwendet werden können. Die Definition komplexer Funktionen wird nicht berücksichtigt. Des weiteren wird nicht darauf eingegangen, für wen im Unternehmen die Kennzahlen von Interesse sind.

Das von der Schweizerischen Vereinigung für Datenverarbeitung (SVD) entwickelte Kennzahlensystem wird ebenfalls zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von DV-Anwendungen verwendet. Die Kennzahlen sind in Tabellen nach Leistungskennzahlen, Strukturkennzahlen, Kostenkennzahlen und Nutzenkennzahlen sowie nach ihrer Aussagefähigkeit für das Informationsmanagement, die Benutzer und die EDV-Abteilung geordnet [SVD-81].

Als Fazit kann festgehalten werden, daß Kennzahlen sich sehr gut zur Bewertung quantitativer Kriterien eignen sofern die Kennzahlen konsistent und zweckorientiert sind, über aktuelle Daten verfügen<sup>12</sup> und durch qualifizierte Mitarbeiter analysiert werden. Kennzahlen sind des weiteren nur aussagekräftig, wenn Vergleichsmaßstäbe existieren. Diese können innerbetrieblich (Vergangenheitswerte) oder außerbetrieblich sein. Der außerbetriebliche Vergleich ist in der Fachliteratur in letzter Zeit unter dem englischsprachigen Begriff Benchmarking bekannt geworden, worunter die Orientierung „am Besten“ verstanden wird [Bull-94]. Beim Benchmarking ist darauf zu achten, daß die Kennzahlen nach den gleichen Grundsätzen ermittelt wurden, ansonsten können Fehler beispielsweise aufgrund unterschiedlicher Kosten- und Leistungsrechnung erfolgen [EvLP-94, Hein-92]. Die verwendeten Kennzahlensysteme orientieren sich an der traditionellen funktionellen Organisationsform und lassen bis auf den Ansatz von DIEBOLD eine formale Beschreibung vermissen. Qualitative Aspekte können nicht direkt dargestellt werden, sie müssen mit geeigneten Methoden zuerst quantifiziert werden, damit sie bei einer Bewertung berücksichtigt werden können.

Zur Bewertung multidimensionaler und qualitativer Kriterien sind die **Nutzwertanalyse** und verwandte Methoden Verfahren mit praktisch universeller Verwendbarkeit. Die Nutzwertanalyse ist nach BRAUCHLIN [Brau-90] eine Methode

„zur Bewertung einer endlichen Menge von Alternativen bei Vorliegen einer Mehrfachzielsetzung, wobei nicht nach einem einzigen Faktor optimiert wird, sondern auf analytischem Wege mit Hilfe von Nutzensvorstellungen ein Gesamtoptimum gesucht wird“.

---

<sup>12</sup> Der Aspekt des Datenschutzes darf dabei nach SPECHT und FEHLER nicht vernachlässigt werden [SpFe-94].

Als Kritik ist einzuwenden, daß die Nutzwertanalyse eine Scheingenauigkeit und Scheinobjektivität liefert mit der Möglichkeit der subtilen Manipulation. Es entsteht die Gefahr von Fehltritten durch subjektive Gewichtung [Brau-90].

Zu erwähnen sind des weiteren mehrdimensionale **Bewertungsmethodiken**, die Verfahren zur Bewertung von qualitativen Kriterien (wie die Nutzwertanalyse oder Wirkketten) als auch quantitativen Kriterien (etwa die Kapitalwertmethode) kombinieren. Kombinierte Verfahren werden im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse von komplexen Automatisierungs- und Umstrukturierungsvorhaben verwendet, da hier die traditionellen statischen und dynamischen Investitionsrechnungsverfahren nicht ausreichen um den Nutzen von CIM [ScUp-88, PaWK-90], FFS [Wild-87, AlWi-86] oder beispielsweise Concurrent Engineering [ReHu-93] darzustellen.

Als Beispiel für ein kombiniertes Verfahren sei das Wirtschaftlichkeitsmatrixverfahren (siehe **Abb. 2-10**) nach RALL und BAUER [RaBa-90] zur Bewertung von CIM-Investitionen angeführt.

Ebene \ Kriterium	.1	.2
	monetär bewertbare Kriterien	qualitative Kriterien
1 objektbezogene Wirtschaftlichkeit	1.1	1.2
2 subsystembezogene Wirtschaftlichkeit	2.1	2.2
3 unternehmensbezogene Wirtschaftlichkeit	3.1	3.2
4 gesellschaftliche Wirtschaftlichkeit	4.1	4.2

**Abb. 2-10:** Wirtschaftlichkeitsmatrix nach RALL und BAUER [RaBa-90]

Mit Hilfe eines Ebenenansatzes wird das CIM-System zunächst isoliert betrachtet und mit einem quantitativen Verfahren bewertet. Tritt ein negatives Ergebnis auf, so erfolgt eine zusätzliche qualitative Bewertung. Bei einem erneuten negativen Ergebnis wird die Berechnung abgebrochen. Bei einem positiven Ergebnis werden die qualitativen Argumente (etwa mit der

Nutzwertanalyse) quantifiziert und fließen in eine erneute quantitative Bewertung auf der nächst höheren Ebene ein (etwa die Auswirkungen des Systems auf die Produktion). Das Verfahren wird solange fortgesetzt, bis in Spalte 1 entweder ein positives Ergebnis oder in Spalte 2 ein negatives Ergebnis auftritt. RALL und BAUER liefern somit einen Rahmen für die systematische Vorgehensweise zur strukturierten Erfassung der Auswirkungen der Anwendung auf das Unternehmen.

Die Erfassung sämtlicher Abläufe innerhalb der verschiedenen Ebenen kann durch die Unternehmensmodellierung oder funktionale formale Beschreibungssprachen geschehen. SCHEER setzt dazu das Unternehmensmodellierungskonzept ARIS ein, um die Funktionalität und die Auswirkungen eines CIM-Systems auf das gesamte Unternehmen zu beschreiben. Im ESPRIT Projekt Cimple (No. 5424) wird IDEF<sub>0</sub> zur Abbildung der funktionalen Zusammenhänge verwendet und die Funktionen auf der untersten Ebene mit Kosten und Leistungsdaten aus einer Datenbank bewertet [Cimp-92].

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß mehrdimensionale Bewertungsmethodiken vor allem zur Wirtschaftlichkeitsanalyse komplexer Technologien verwendet werden. Sie bieten eine systematische Vorgehensweise zur strukturierten Erfassung sämtlicher Effekte, die sich auf die Wirtschaftlichkeit auswirken [Schu-92]. Durch die Integration quantitativer und qualitativer Bewertungsmethoden besteht jedoch die Gefahr des „Schön-Rechnens“ von Investitionen.

### 2.3 Methoden zur Optimierung von Systemen

Bei der Modellerstellung oder während des Systembetriebs ist der Nachweis zu liefern, daß das vorgeschlagene System oder die Strategie für den Betrieb im Vergleich zu anderen möglichen Alternativen die bestgeeignete ist. Die Anwendung ist demnach nach bestimmten Kriterien zu optimieren. SCHNEIDER [Schn-91] versteht unter Optimierung:

“die Auswahl jener Alternative(n), die unter dem bzw. den möglichen Umweltzuständen bei einer gegebenen Präferenzfunktion den höchsten Nutzen liefert.”

Bei der geschäftsprozeßorientierten Restrukturierung müssen zwei Arten von Optimierungszielen unterschieden werden. Zum einen kann eine Optimierung der statischen Systemstruktur erfolgen z.B. in Bezug auf die Anzahl und den Typ der verwendeten Ressourcen oder der möglichen Ablaufstruktur (etwa parallel oder sequentiell). Zum anderen kann durch eine optimale Parameterkombination der Ablauf der Geschäftsprozesse optimiert werden (Reihenfolgeoptimierung).

In kurzer Darstellungsform wird im folgenden ein Überblick über ausgewählte Verfahren zur Suche nach Optimallösung erstellt. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang die analytischen und heuristischen Verfahren, evolutionäre Algorithmen sowie die Simulation, wobei die Verfahren beliebig kombinierbar sind (vgl. [KuRW-93]).

**Analytische Verfahren** werden im Rahmen des Operation Research eingesetzt. Voraussetzung für eine analytische Optimierung ist, daß sich ein System mathematisch beschreiben läßt. Zu nennen sind beispielsweise das Simplex-Verfahren zur linearen Optimierung sowie das Gomorry- oder das Branch und Bound-Verfahren für die ganzzahlige Optimierung [Müll-73].

**Wissensbasierte Verfahren** verwenden methodische Anleitungen für eine nicht mathematische Suche nach einem Optimum unter Nutzung von empirischem Wissen. Wissensbasierte Systeme sind als Konsultationshilfe für den Planer sehr geeignet, indem sie helfen, Planungsfehler aufzudecken, „dem Ziel einer rechnergestützten, möglichst automatischen Optimierung komplexer Produktionssysteme ist man jedoch nur wenig näher gekommen“ [KuRW-93]. Sie neigen tendenziell zu lokalen Optima, und der gesamte Optimierungsprozeß kann nicht durchgängig durch Regeln hinterlegt werden.

Die **Evolutionstrategien** nutzen die Ergebnisse der biologischen Evolutionsforschung und wurden in den 70er Jahren von I. Rechenberg [Rech-73] und H.P. Schwefel [Schw-81] entwickelt. Sie unterscheiden sich von den Genetischen Algorithmen nach J.Holland [Holla-75] im wesentlichen in der Kodierung der genetischen Informationen und in der Ausprägung der genetischen Operatoren [ASIM-93]. Beim Start einer Optimierung wird eine Population von Zufallslösungen (Elternpopulation) erzeugt und einzeln bewertet. Die Auswertung der verschiedenen Lösungen erfolgt relativ zu Zielfunktion und Randbedingungen zur Bestimmung der jeweiligen Lösungsstrategie. In der nachfolgenden Selektion erfolgt die Auswahl einer Lösungsmenge (Nachkommen) durch Vergleich der Zielfunktionswerte (Fitness). Beim Rekombinationsprozeß werden aus verschiedenen Lösungen durch Austausch und Neuzusammensetzung von Lösungsinformationen neue Lösungen gebildet. Bei der anschließenden Mutation erfolgt ein zufälliges Ändern vorhandener Lösungsbausteine und Erzeugen neuer Lösungsbausteine „damit wird die Varianz der Population erhöht und dem durch die Selektion verursachten Konvergenzdruck entgegengewirkt“ [KuRW-93]. Evolutionäre Algorithmen sind problemunabhängig und liefern trotzdem im Mittel gute Ergebnisse, wobei sie nicht so effizient sind wie Algorithmen, die für ein bestimmtes Problem entwickelt wurden [KuRW-93]. Sie haben sich als ausgesprochen robuste Verfahren zur Parameteroptimierung erwiesen [ASIM-93] und werden beispielsweise zur Optimierung der Auftragsplanung und -steuerung eingesetzt [KuRW-93].

Die **Simulation** wird "vor allem dann eingesetzt, wenn analytische und numerische Methoden versagen, weil die Probleme der Praxis zu komplex sind, um sie als ein mathematisch exakt lösbares Problem darstellen zu können bzw. weil stochastische Einflüsse abzubilden sind" [Schu-92, Müll-73].

Simulation wird in der VDI-Richtlinie 3633 [VDI-83] verstanden als

"...die Nachbildung eines dynamischen Prozesses in einem Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind."

Mit Hilfe der Simulation kann das Verhalten komplexer Systeme bei wechselnden Einflußgrößen analysiert werden, um so zu gesicherten Aussagen über das reale Verhalten des Systems zu kommen [Weck-91]. Unterschiedliche Problemstellungen können durch Variation des Systemaufbaus, der Parameter, Randbedingungen und Störgrößen im Modell betrachtet werden.

Die Simulation wird in vielen technischen und wirtschaftlichen Bereichen des Unternehmens zur Betrachtung und Bewertung von Alternativen, der Durchführung von Schwachstellen- und Engpaßanalysen sowie der Leistungsbewertung und Kapazitätsbestimmung von fertigungs-, material- und informationsflußtechnischen Systemen eingesetzt. Anwendungsbeispiele sind die Unternehmensplanung, Materialflußplanung, Layoutplanung, die Arbeitsgestaltung, Montageplanung, Robotereinsatzplanung, Produktionssteuerung oder die Mitarbeiterschulung [Weck-91, Krüg-75, KuRW-93, MüKF-91, SeFW-93]. Meist wird dabei ein ereignisdiskretes Modell mit stochastischen Einflüssen verwendet.

SCHULER entwickelte ein Verfahren [Schu-92], das die Simulation zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Lösungsalternativen bei der Planung integrierter technischer Informationssysteme einsetzt. Im Rahmen der Arbeit werden alternative CAD-NC Prozeßketten betrachtet, die durch Variation der zu konstruierenden Produkte sowie der Kosten und Zeiten bewertet werden. Die Simulation erfolgt mit Petrinetzen. Die benötigten Information werden von SCHULER, vergleichbar mit den Unternehmensmodellierungsansätzen, in ein Funktionsmodell, Ressourcenmodell, Verfahrensmodell und Auftragsmodell unterteilt.

REIMANN und HUQ [ReHu-93] setzen die Simulation zur Vorhersage der Auswirkungen neuer Produktions- und Organisationskonzepte auf die Produktlebenszykluskosten ein. Am Beispiel von Concurrent Engineering wird zunächst ein funktionales Prozeßmodell mit der IDEF<sub>0</sub> Methode erstellt. Den von den Prozessen verarbeiteten Produkten werden mit Hilfe des Activity Based Costing Verfahrens Kosten zugeordnet und die Kosten pro Prozeß iterativ für den ganzen Lebenszyklus errechnet. Anschließend wird das Modell in ein simulierbares

SLAM II Modell transformiert und verschiedene Szenarien bei sich ändernden Kosten durchgespielt.

Ein Problem der Simulation ist die aufwendige Erfassung und Aufbereitung der benötigten Daten. Für jede Simulationsanwendung müssen eigene Daten erfaßt werden, die oftmals redundant und nach kurzer Zeit veraltet sind. SCHMIDT, WECK und WUNDERLICH schlagen daher ein unternehmensweites Datenmodell vor, das in einer Datenbank abgelegt wird, auf das die Simulationsanwendungen zugreifen können [KuRW-93, Weck-91, Wund-93].

SCHMIDT [KuRW-93] stellt hier den Zusammenhang zur Unternehmensmodellierung her:

“Voraussetzung für die Fortschreibung des Datenmodells ist das Vorhandensein eines Prozeßmodells, das den realen Unternehmensprozeß in allen relevanten Einzelheiten abbildet und den physischen Prozeß, der über BDE/MDE an das Datenmodell gekoppelt ist, ersetzt.“

Zur Pflege und Aktualisierung der Daten schlägt SCHMIDT vor, die Anwendungsprogramme des Unternehmens im Rahmen eines CIM-Konzepts mit der Datenbank zu koppeln. Die Anwendungen aktualisieren dann jeweils die Attribute der ihnen zugeordneten Datenobjekte. Hier stellt sich jedoch die Frage, ob ein unternehmenweites Daten- und Prozeßmodell überhaupt in vertretbarer Zeit implementiert und gewartet werden kann.

Auf dem Markt existieren eine Vielzahl von Werkzeugen (siehe **Abb. 2-11**), die nach dem Grad ihrer Flexibilität und Spezialisierung gegliedert werden können.

Die Simulation allein ist kein Optimierungsverfahren, sondern ein Experiment an einem Modell. Eine Optimierung wird erreicht, indem Simulationsexperimente mit unterschiedlichen Varianten des Modells durchgeführt werden und mit Hilfe der Simulationsergebnisse je nach der Anforderung an das reale System die beste Variante ausgewählt wird [Wien-91]. Zum Finden der optimalen Lösung werden ergänzende Methoden wie das Enumerationsverfahren oder Gradientenverfahren [Krüg-75], beziehungsweise Expertensysteme eingesetzt [ASIM-93<sup>13</sup>, ASIM-94].

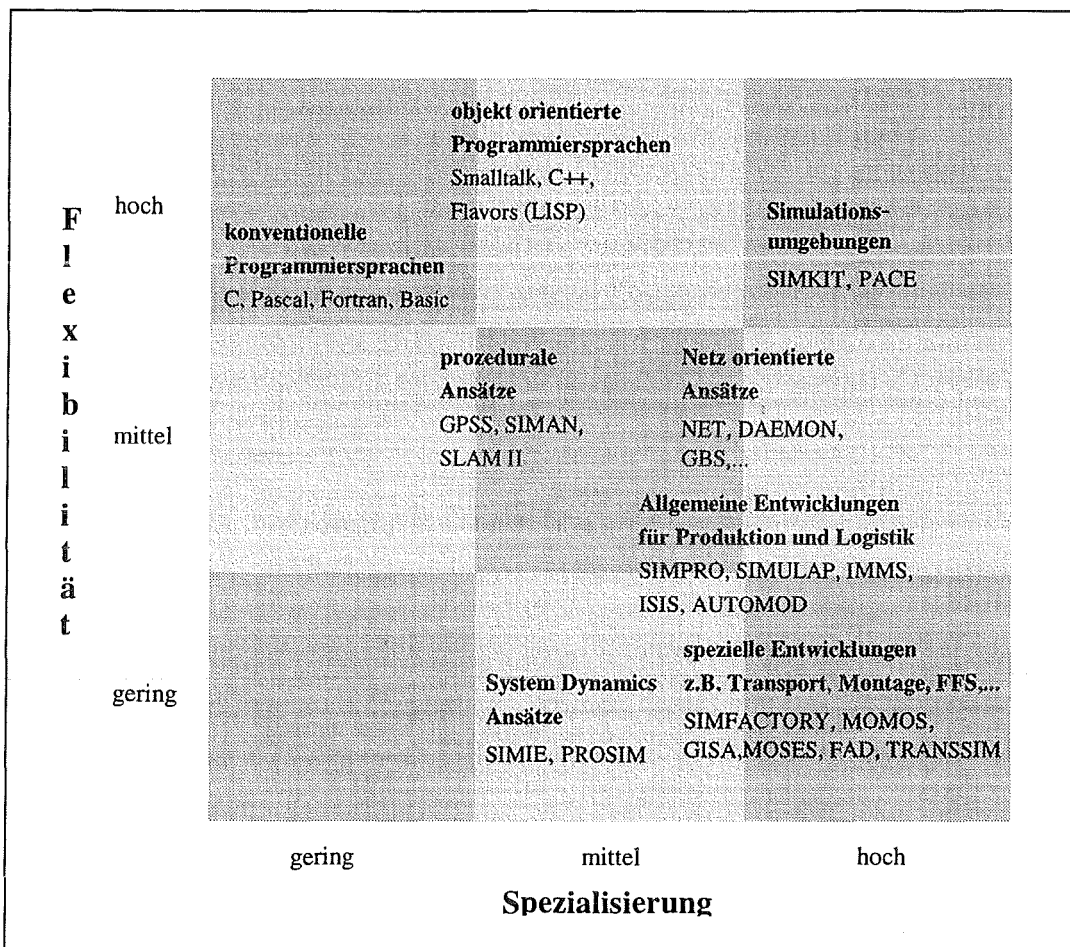
RUMSCHEID etwa kombiniert zur Optimierung des Materialflusses in komplexen Fertigungssystemen die Simulation mit einem Expertensystem. Das wissensbasierte System führt die Experimente automatisch durch Auswahl der Parameter und Starten der Simulationsläufe durch. Die Simulation liefert eine Reihe statistischer Kenngrößen, die dem Expertensystem

---

<sup>13</sup> BEYER befaßt sich eingehend mit dieser Problematik. Er untersuchte die Besonderheiten der Kopplung zwischen der Simulation und Optimierung, unter dem Gesichtspunkt eine automatisierten Abfolge von Simulationsläufen zur Optimierung des Systemverhaltens zu ermöglichen.



wiederum als Grundlage für weitere Experimente dienen. Dieser Kreislauf wird so lange wiederholt, bis ein vorher definiertes Abbruchkriterium erreicht ist [ASIM-93].



**Abb. 2-11:** Gegenüberstellung von Simulationswerkzeugen nach SCHULER [Schu-92]

HADER setzt das regelbasierte System DIM\_EXPERTE<sup>14</sup> zur automatischen Planung und Durchführung von Simulationsläufen ein. Das Ergebnis ist eine semi-optimale Lösung, die entweder übernommen oder vom Menschen weiter optimiert werden kann [ASIM-94]. Beide Systeme minimieren den Zeitaufwand bei der Optimierung.

Im folgenden Kapitel wird ein Fazit aus der Analyse des Stands der Technik in den Bereichen Modellierung, Bewertung und Optimierung von Geschäftsprozessen gezogen. Darauf aufbauend wird die Problemstellung der Geschäftsprozessoptimierung konkretisiert.

<sup>14</sup> DIM\_EXPERTE ist ein prototypisches System, das an der Technischen Universität Chemnitz-Zwickau entwickelt wurde.

### 3 Problemstellung und Zielsetzung

Wie in den vorausgehenden Abschnitten dargelegt wurde, ist die explizite Modellierung der Geschäftsprozesse Voraussetzung und zentraler Bestandteil der Geschäftsprozeßoptimierung. Mit Hilfe der Unternehmensmodellierung werden die Unternehmensabläufe und ihre kausal logischen Abhängigkeiten, der Informationsfluß, die Ressourcen und die organisatorischen Strukturen transparent gemacht.

Die existierenden Unternehmensmodellierungsansätze verwenden Sichtenkonzepte, um die Komplexität der Unternehmensmodelle zu reduzieren. Durch das Modellsichtenkonzept kann der Modellierer mit einer spezifischen Untermenge des Gesamtmodells arbeiten.

Unzureichend berücksichtigt ist noch der Bereich von Zieldefinition und Zielüberwachung. Es wird nicht definiert, wie die Einhaltung der Ziele der Geschäftsprozesse während des Entwurfs und des Betriebs erfolgen soll.

Im Rahmen einer Geschäftsprozeß-Optimierung reicht das alleinige Abbilden der Prozesse jedoch nicht aus. Der Istzustand und die alternativen Sollkonzepte müssen bewertet werden, um eine optimale Lösung zu finden. Die Bewertung von Alternativen ist nach wie vor eine Schwachstelle existierender Ansätze. Methoden etwa zur Bewertung von Produkten und Ressourcen sind bisher nicht Bestandteil von Unternehmensmodellierungskonzepten.

Sollen die Prozesse nach eindimensionalen Kriterien wie Zeiten oder Kosten optimiert werden, reicht ein analytischer Ansatz bei einfachen Modellen oftmals aus. Bei komplexen Modellen mit vielen Abhängigkeiten und mehrdimensionalem divergierendem Zielsystem, etwa der Minimierung der Durchlaufzeiten und Kosten bei Maximierung der Qualität, ist dies nicht möglich. Hier bietet sich die Simulation an, die sich bei vielen ähnlichen komplexen Aufgabenstellungen bewährt hat und für die eine Reihe geeigneter Werkzeuge verfügbar sind.

Die Simulationsläufe führen zu einer großen Zahl von Analyse-Parametern, die Ressourcen, Produkte, Aufträge oder Prozesse bewerten und charakterisieren. Aufgrund der Verwendung von Modellsichtkonzepten sind die Analyse- und Optimierungsparameter auf die Objekte der verschiedenen Modellsichten verteilt und damit schwer zugänglich.

Die verteilten Daten sind nicht aussagekräftig für eine Analyse und Optimierung und müssen durch Aggregation reduziert werden, damit der Modellierer eine einfache und schnelle Bewertung der zu untersuchenden Alternativen durchführen kann.

Aussagekräftige Informationen müssen jedoch nicht nur innerhalb des Modellerstellungsprozesses vorhanden sein, sondern auch während des Betriebs der implementierten Prozesse, um eine permanente Optimierung der Geschäftsprozesse hinsichtlich der Einhaltung der vorher definierten Ziele sicherzustellen.

Ohne unterstützende Software-Werkzeuge ist eine Unternehmensmodellierung und Optimierung der Modelle aufgrund der Komplexität der Modelle und zahlreichen Interdependenzen zwischen den Objekten der verschiedenen Modellsichten nicht effizient realisierbar [Wien-91].

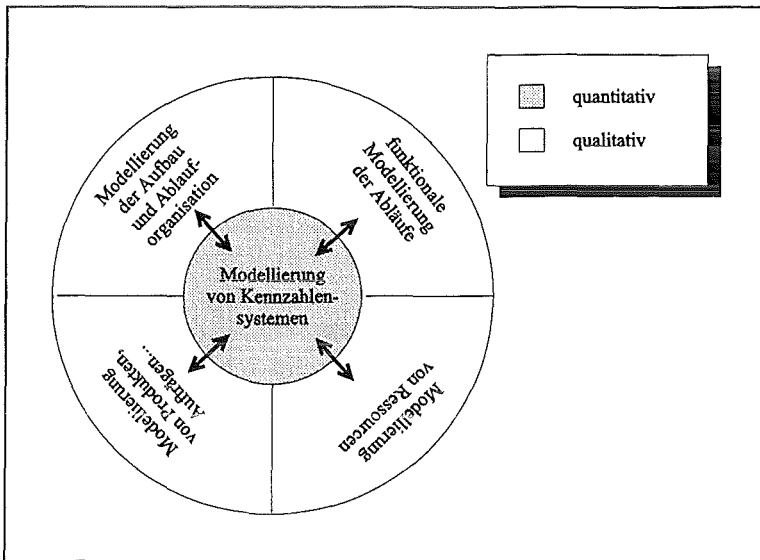
Die auf dem Markt verfügbaren Werkzeuge weisen vor allem Schwachstellen bei den quantitativen Analysefunktionen auf [AlAn-94]. Bei einigen Unternehmensmodellierungswerkzeugen müssen daher zusätzliche Werkzeuge wie zum Beispiel Datenbanken oder Tabellenkalkulationsprogramme zur quantitativen Analyse eingesetzt werden. Andere Werkzeuge verwenden zwar Kennzahlen zur Bewertung von Modellen (etwa das ARIS-Toolset [ARIS-94]), die Kennzahlen sind jedoch implizit im Werkzeug vorgegeben und können nicht vom Modellierer in Abhängigkeit seiner Bedürfnisse modelliert werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die existierenden Unternehmensmodellierungsansätze und -werkzeuge eine gute Beschreibung der qualitativen Zusammenhänge ermöglichen, jedoch vor allem Schwachstellen im Bereich der quantitativen Analyse und Optimierung von Geschäftsprozessen aufweisen.

Ziel dieser Arbeit ist daher, die Entwicklung eines integrierten durchgängigen Ansatzes zur Analyse und Bewertung von Geschäftsprozessen während der Modellerstellung, um die Optimierung der Geschäftsprozesse zu erleichtern. Der Modellierer und Anwender soll zur Erleichterung der Problemwahrnehmung, Indikation, Problemerkennntnis und Diagnose mit den notwendigen Informationen im erforderlichen Umfang sowie mit der benötigten Komplexität versorgt werden.

Hierbei soll, wenn möglich, nicht ein weiteres Unternehmensmodellierungskonzept entwickelt werden, sondern ein bereits existierender Ansatz um quantitative Aspekte erweitert werden (siehe **Abb. 3-1**).

Ein weiteres Ziel ist die Konzeption und prototypische Realisierung eines rechnerunterstützten Werkzeugs, das den Modellierer bei den vorher definierten Aufgaben unterstützen soll. Das Werkzeug soll die qualitative und quantitative Analyse von Geschäftsprozessen ermöglichen.



**Abb. 3-1:** Qualitative und quantitative Modellierungsaspekte

Ausgehend von den genannten Aufgaben sollen nachfolgend das Grundkonzept sowie die Anforderungen an den methodischen Ansatz und das rechnerunterstützte Werkzeug vorgestellt werden.

## 4 Das Konzept

Als neuer Faktor der Unternehmensmodellierung wird in dieser Arbeit eine ökonomische Modellsicht (Economic View) vorgestellt. Die ökonomische Sicht soll die Planungs- und Entscheidungsfindung im Rahmen des Business Process (Re-) Engineering unterstützen sowie eine anwenderorientierte Aufbereitung von Informationen ermöglichen.

Die Modelle der ökonomischen Sicht präsentieren hierzu dem Anwender die relevanten quantitativen Analyse- und Optimierungskriterien von Unternehmensmodellen aggregiert in Form von Kennzahlen. Die bisher auf die Objekte der verschiedenen Sichten verteilten Analyse- und Optimierungskriterien werden infolgedessen wieder zusammengeführt und in Form von Kennzahlen konzentriert. Die Kennzahlenmodellierung zur Verdichtung der anfallenden Kennzahlen ist somit impliziter Bestandteil der Modellierung.

Das Konzept stützt sich dabei auf die im folgenden definierten Anforderungen.

### 4.1 Anforderungen an die ökonomische Sicht

Die Anforderungen an ein Modellierungskonzept zur Aggregation der quantitativen Analyse und Optimierungsaspekte von Unternehmensmodellen lassen sich in Einzelforderungen zur Analyse, Bewertung und Optimierung von Unternehmensmodellen und allgemeine Anforderungen an das Modellierungskonzept unterteilen.

#### 4.1.1 Einzelanforderungen an die ökonomische Sicht

Die Einzelanforderungen für eine Sicht zur Analyse, Bewertung und Optimierung der Geschäftsprozesse ergeben sich, um die in Kapitel 3 aufgezeigten Probleme lösen zu können.

Zur Aggregation und rechentechnischen Verknüpfung der quantitativen Modellaspekte ist der **Aufbau von formal eindeutigen Kennzahlensystemen** notwendig. Die generierten Kennzahlen fokussieren die anfallenden Informationen auf aussagekräftige Zahlen und dienen zum einen zur Unterstützung der Analyse während der Modellerstellung und zum anderen zur Steuerung und Überwachung der implementierten Prozesse. Das Kennzahlenkonzept muß dabei generisch sein und sowohl die Bildung von Verhältnis- als auch absoluten Zahlen erlauben. Eine tiefgehende Analyse der Kennzahlen zum Erkennen von Ursache-Wirkungszusammenhängen kann dann im Rahmen der Kennzahlenanalyse erfolgen.

Zur Bewertung und Analyse von Modellobjekten wie beispielsweise einzelnen Prozessen und Prozeßketten sowie Produkten, Aufträgen und Ressourcen muß eine **Zuordnung der Kenn-**

**zahlen zu den Objekten des Unternehmensmodells** erfolgen. Es muß möglich sein, die Bildung sichtübergreifender Kennzahlen zu erreichen, die bisher durch die Aufteilung der Unternehmensobjekte auf unterschiedliche Modellsichten verlorengehen.

Die ökonomische Sicht muß alle benötigten Zeit-, Häufigkeits-, Mengen- und Kostenkenngrößen sowie Bezugsgrößen und Berechnungsverfahren bereitstellen.

#### **4.1.2 Allgemeine Anforderungen an die ökonomische Sicht**

Die allgemeinen Anforderungen resultieren zum einen aus der Integration des Modellierungskonzepts in eine Unternehmensmodellierungsmethodik zur Beschreibung der qualitativen Aspekte und sollen zum anderen dazu dienen, dem Planer den Umgang mit den Modellen zu erleichtern.

Die Objekte der ökonomischen Sicht müssen über **definierte Schnittstellen zu den Objekten des verwendeten Unternehmensmodellierungskonzept** verfügen. Diese Bedingung muß erfüllt werden, damit eine Bewertung der Objekte möglich ist und um zu einem zusammenhängenden Gesamtbild der betrachteten Anwendung nach der Integration der Sichten zu kommen.

Um eine einfache Integration der Ökonomischen Sicht in unterschiedlichen Unternehmensmodellierungsansätze zu ermöglichen, sollten die Attribute der Objekte der anderen Sichten möglichst nicht geändert werden.

Die **Modellebenszyklusphasen** müssen unterstützt werden, um ein konsistentes Gesamtkonzept zu erreichen.

Die Modellsicht sollte über eine **minimale Anzahl an Konstrukten** verfügen, um dem Modellierer den Umgang mit den Modellen zu erleichtern und den Einarbeitungsaufwand zu reduzieren.

Die Objekte der Modellsicht müssen **hierarchisierbar, modularisierbar und aggregierbar** sein. Die Hierarchisierung von Kennzahlen ermöglicht eine Rangordnung in einem Kennzahlensystem. Die Elemente gleicher Rangordnung bilden dabei eine Hierarchieebene. Eine Kennzahl kann untergeordnete Kennzahlen haben, die zu ihrem Errechnen benötigt werden, und übergeordnete Kennzahlen, die ihrerseits die Kennzahl zum Errechnen ihres eigenen Wertes benötigen. Unter Modularisierung wird die Schaffung kleiner handhabbarer übersichtlicher Einheiten verstanden, die getrennt entwickelt, bearbeitet, erweitert und getestet werden können. Eine Modularisierung ist notwendig, sobald eine große Anzahl von Kennzahlen anfällt und das Kennzahlensystem unübersichtlich wird. In einem Modul kann beispielsweise ein

Teilbaum zusammengefaßt werden. Die Kennzahlen müssen zur Bewertung der Unternehmensobjekte aggregierbar sein, beispielsweise müssen die Prozeßkosten von den Aktivitäten über die Prozesse bis zu den Prozeßketten verdichtet werden können [AlAn-94].

Die Modelle der ökonomischen Sicht müssen mit den Modellen der anderen Sichten zusammen **simulierbar** sein. Die Simulation ist notwendig, um Lösungen bei mehrdimensionalen divergierenden Zielsystemen zu finden sowie um Unsicherheiten berücksichtigen zu können.

#### 4.2 Auswahl des Unternehmensmodellierungskonzepts

Zunächst werden die Anforderungen an ein Unternehmensmodellierungskonzept als Werkzeug für das Business Process (Re-) Engineering aufgezeigt. Anhand der Anforderungen wird dann ein geeignetes Konzept als Basismethode für die ökonomische Sicht ausgewählt.

Grundvoraussetzung ist zunächst, daß die Objekte des Konzepts über Attribute verfügen müssen, mit denen quantitative Aspekte beschreiben werden können, da ansonsten keine Kennzahlen gebildet werden können.

Die folgenden Anforderungen basieren auf der Forderung nach einer möglichst ganzheitlichen Beschreibung der betrachteten Unternehmensbereiche.

1. Es muß eine Modellierung von funktionsübergreifenden Prozessen zum Aufzeigen der Wertschöpfung möglich sein [Klev-94].
2. Bei komplexen Aufgabenstellungen müssen Teilsysteme getrennt modelliert und ohne große Änderungen die Teilmodelle zu einem Gesamtmodell zusammengefügt werden können. Gerade ein Unternehmen wird selten im ganzen modelliert und optimiert, da es zu unübersichtlich ist und sich daher nur schwer verwalten läßt (vgl. [Klev-94]).
3. Die zur Erfüllung der Funktionalität der Prozesse benötigten Ressourcen (etwa Betriebsmittel und Anwendungsprogramme) müssen modelliert werden können. Die Methode muß auch im besonderen den Menschen im Unternehmen berücksichtigen [Klev-94]. Dies gilt zum einen im Sinne seiner Eigenschaften und Qualifikation, zum anderen im Sinne der Aufbau und Ablauforganisation.
4. Die Informationen, Aufträge und Produkte, die von den Prozessen benötigt, beziehungsweise verarbeitet werden, müssen modelliert werden können.
5. Es müssen Konstrukte zur Beschreibung der Sach- und Formalziele sowie von Einschränkungen vorhanden sein, um die Anforderungen und Restriktionen an das System zu formalisieren.

Als geeignetes Unternehmensmodellierungskonzept wurde CIMOSA [AMIC-92, AMIC-93] ausgewählt, da es die oben genannten Anforderungen erfüllt und zusätzlich ein durchgängiges Konzept von der Modellierung der Geschäftsprozesse über die Implementierung bis zum Betrieb der Geschäftsprozesse beinhaltet.

- In der Funktionssicht (Function View) werden die Prozesse definiert. Die Prozesse (Domain Processes) können beliebig in Teilprozesse (Business Processes, Enterprise Activities) zerlegt werden, bis auf der untersten Ebene ein Prozeß durch Pseudo-Programm Code beschrieben wird (Functional Operations). Die Prozesse werden zu Prozeßketten mit Hilfe von Ereignissen (Events) und Verkettungsregeln (Procedural Rules) verknüpft. Die Verbindung zu den anderen Sichten erfolgt durch die Eingänge und Ausgänge (Daten, Ressourcen, Produkte) der Prozesse (siehe Anforderung 1).
- Um den modernen Konzepten der Unternehmensorganisation, die auf flache Strukturen und eigenverantwortliche Organisationseinheiten hinauslaufen, Rechnung zu tragen, wurde in CIMOSA die sogenannte Domain eingeführt. Sie grenzt im Unternehmen einen zur Modellierung und zur modellbasierten Arbeitsorganisation vorgesehenen Bereich ab. Die Domain stellt somit praktisch ein Unternehmen im Unternehmen dar (siehe Anforderung 2).
- Mit den Konstrukten Capability, Resource und Resource Unit in der Ressourcensicht (Resource View) werden die Eigenschaften und Anforderungen an die Mitarbeiter, Betriebsmittel und Anwendungsprogramme beschrieben (siehe Anforderung 3).
- Die Organisationssicht (Organisation View) definiert die Ablauf- und Aufbauorganisation im Unternehmen durch die Konstrukte Organisational Cell, -Units und -Elements (siehe Anforderung 3).
- Objekte wie Aufträge und Produkte werden in der Informationssicht (Information View) mit den Hauptkonstrukten Enterprise Objects, Object Views und Information Elements beschreiben. Die Objekte können dabei mit Hilfe des Attributs *NATURE* als physikalische Objekte oder Informationsobjekte beschrieben werden (siehe Anforderung 4).
- Die Definition der Ziele und Einschränkungen erfolgt durch das Konstrukt Objective/Constraint (siehe Anforderung 5).

Das Ziel dieser Arbeit ist daher die Integration der ökonomischen Sicht als fünfte Sicht (siehe **Abb. 4-1**) in den CIMOSA Planungswürfel (vgl. Kapitel 5 und 6).



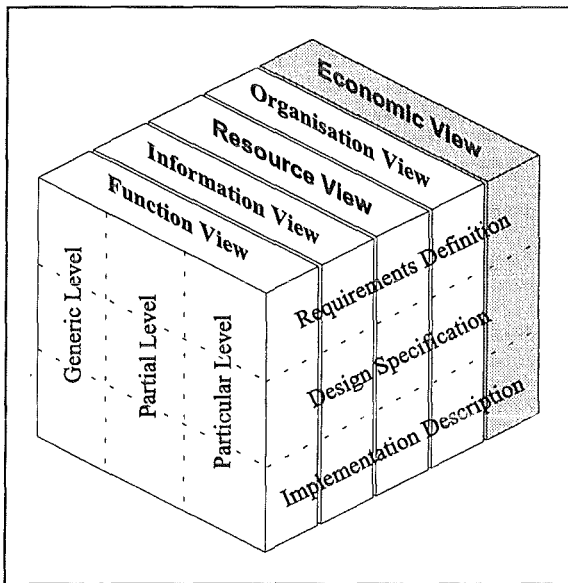


Abb. 4-1: Die Integration der ökonomischen Sicht in das CIMOSA Konzept

### 4.3 Analyse und Optimierung mit der ökonomischen Sicht

Im folgenden soll die Vorgehensweise zur Analyse und Optimierung von Geschäftsprozessen vorgestellt werden (siehe Abb. 4-2).

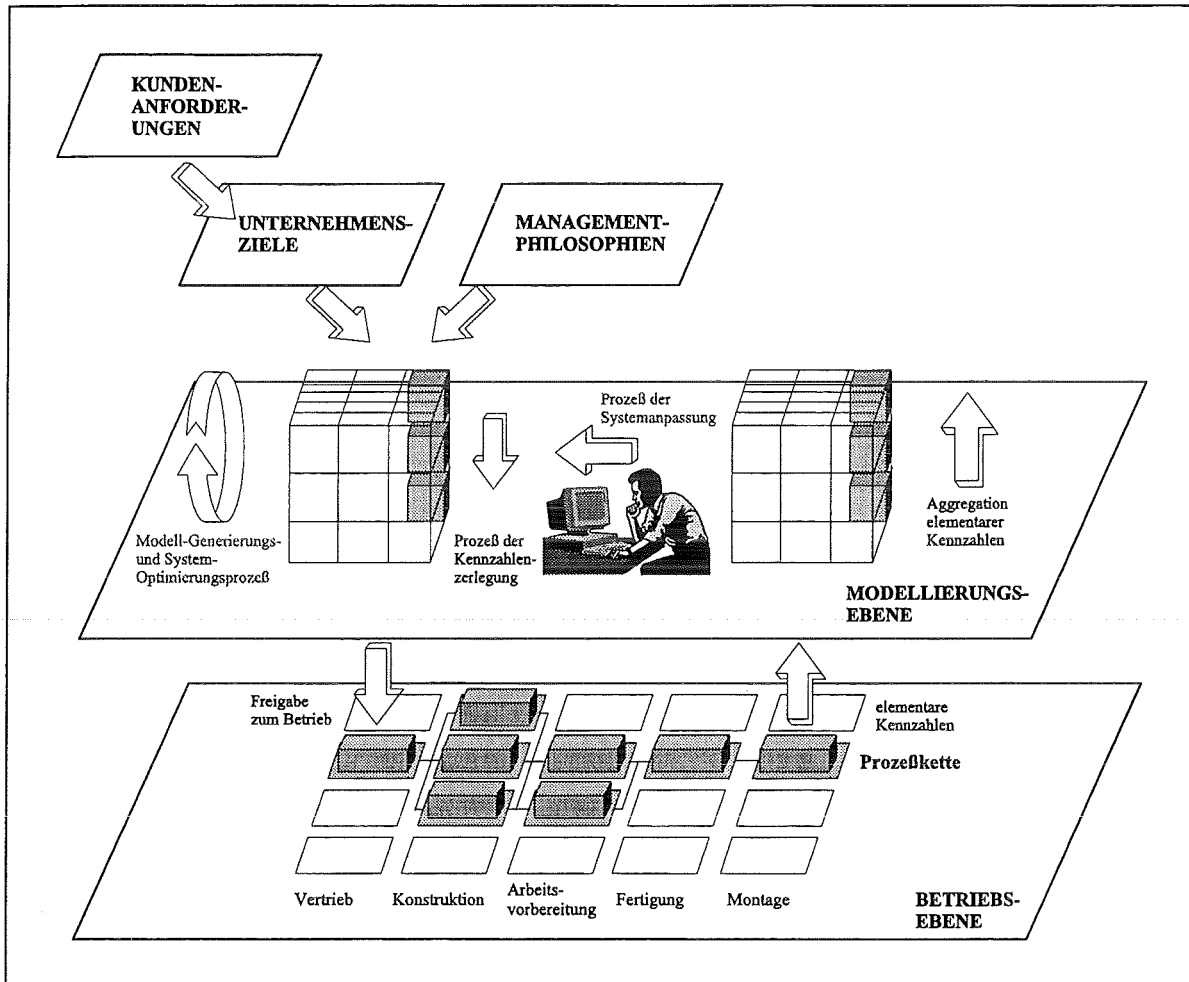
Zunächst werden die Unternehmensziele basierend auf den Kundenanforderungen wie niedrigen Preisen, kurzen Lieferzeiten und hoher Qualität definiert. Unternehmensziele sind etwa die Reduktion der Preise, Minimierung der Fehler, kürzere Durchlaufzeiten beziehungsweise niedrigere Bestände.

Ausgehend von diesen Zielen und zusätzlichen Restriktionen wie begrenztem Budget und existierenden Ressourcen werden die Geschäftsprozeßmodelle generiert. Hierzu werden je nach Problemstellung Management-Konzepte wie Lean Production, Total Quality Management oder Target Cost beziehungsweise Organisationsformen wie die Gruppenarbeit als Anleitung zur Lösung der Probleme verwendet.

Innerhalb der ökonomischen Sicht werden die Ziele auf quantifizierbare Kennzahlen abgebildet etwa Durchlaufzeiten und Produktkosten. Basierend auf diesen Kennzahlen werden Kennzahlensysteme generiert und hierarchisch zerlegt. Auf der untersten Ebene befinden sich letztendlich elementare Kennzahlen wie Ausführungszeiten und Maschinenkosten.

Alternative Geschäftsprozesse werden generiert und im Rahmen der Simulation durch Interpretation der zugeordneten Kennzahlen bewertet. Die Geschäftsprozesse werden hierbei analysiert in Bezug auf variierende Prozeßparameter, Eingänge (etwa Produkte und Ressourcen)

und ihrer Ablauforganisation. Schwache Punkte können erkannt und Verbesserungspotentiale demonstriert werden. Abweichungen können analysiert und bis zu ihren Ursachen zurückverfolgt werden.



**Abb. 4-2:** Die Rolle der ökonomischen Sicht bei der Geschäftsprozessoptimierung

Dieser iterative Prozeß wird solange fortgeführt, bis ein Zustand erreicht wird, der in Übereinstimmung mit den vorher definierten Zielen und Begrenzungen ist. Die ausgewählte Lösung wird implementiert und zum Betrieb freigegeben.

Für eine Optimierung der Geschäftsprozesse reicht dies jedoch noch nicht aus, da das Modell ein idealtypisches Abbild der Wirklichkeit liefert. SEMPf schreibt hierzu:

„Mit einer einmaligen Optimierung der Geschäftsprozesse ist es freilich allein nicht getan. Entscheidend ist, daß man diese auch für die Zukunft im Griff hat und fortlaufend überwacht, also praktisch eine permanente Optimierung betreibt“ [Semp-94].

Die Kennzahlen müssen daher ebenfalls während des Betriebs der Prozesse den Mitarbeitern im Unternehmen für die Überwachung und Kontrolle der implementierten Geschäftsprozesse

zur Verfügung gestellt werden. Dies gilt besonders für Daten, die wirtschaftliche oder technologische Grenzwerte überschreiten [Semp-94]. Diese Daten werden sowohl für den vertikalen Austausch von Informationen etwa im Rahmen eines Management Informations Systems zwischen Mitarbeitern und ihren Vorgesetzten oder dem horizontalen Austausch von Informationen etwa zwischen Mitgliedern einer Arbeitsgruppe benötigt. Die Mitarbeiter brauchen, um sich mit den Auswirkungen ihrer Arbeit auseinander setzen zu können, Informationen über wirtschaftliche Kenngrößen innerhalb ihrer Gruppe ebenso wie über die Verhältnisse im Unternehmen.

Während des Betriebs liefern die Ressourcen die Ist-Daten in Form elementarer Kennzahlen an das implementierte Modell der ökonomischen Sicht. Diese elementaren Kennzahlen werden mit Hilfe der Kennzahlensysteme erneut aggregiert und dem Benutzer zur Überwachung und Steuerung der Prozesse präsentiert.

In Abhängigkeit des auftretenden Problems wird der Benutzer im Rahmen einer Kennzahlenanalyse die Probleme zurückverfolgen oder durch Verfeinerung des qualitativen Modells versuchen, die Probleme zu erkennen.

Falls eine Systemänderung notwendig ist (etwa wegen sich ändernden Anforderungen), muß der Modellierungsprozeß erneut durchlaufen werden.

#### 4.4 Anforderungen an ein rechnerunterstütztes Werkzeug

Ein rechnerbasiertes Werkzeug zur Unterstützung des Planers bei der Geschäftsprozeßoptimierung muß die in Kapitel 3.1 und 3.2 definierten Anforderungen zur Beschreibung quantitativer und qualitativer Modellaspekte erfüllen.

Sowohl die qualitative Darstellung der Prozesse als auch die quantitative Analyse sollten **in einem Werkzeug** realisiert werden (siehe **Abb. 4-3**), um erhöhten Zeit- und Kostenaufwand bei der Übertragung der Informationen von einem auf das andere Tool zu vermeiden.

Zur **qualitativen Analyse und Dokumentation** der Geschäftsprozesse gehört die Generierung der CIMOSA Prozeßmodelle durch Definition der Prozesse, Subprozesse und Aktivitäten sowie die Definition der Prozeßauslöser und Prozeßverknüpfungen. Des weiteren müssen die Zwischen- und Endprodukte der Prozesse, die Ressourcen als auch die Abbildung des Prozeßinformationsbedarfs modelliert werden können. Wünschenswert wäre auch, die am Prozeß beteiligten Organisationseinheiten und die Aufbauorganisation wie auch die Prozeß- und Unternehmensziele abbilden zu können.

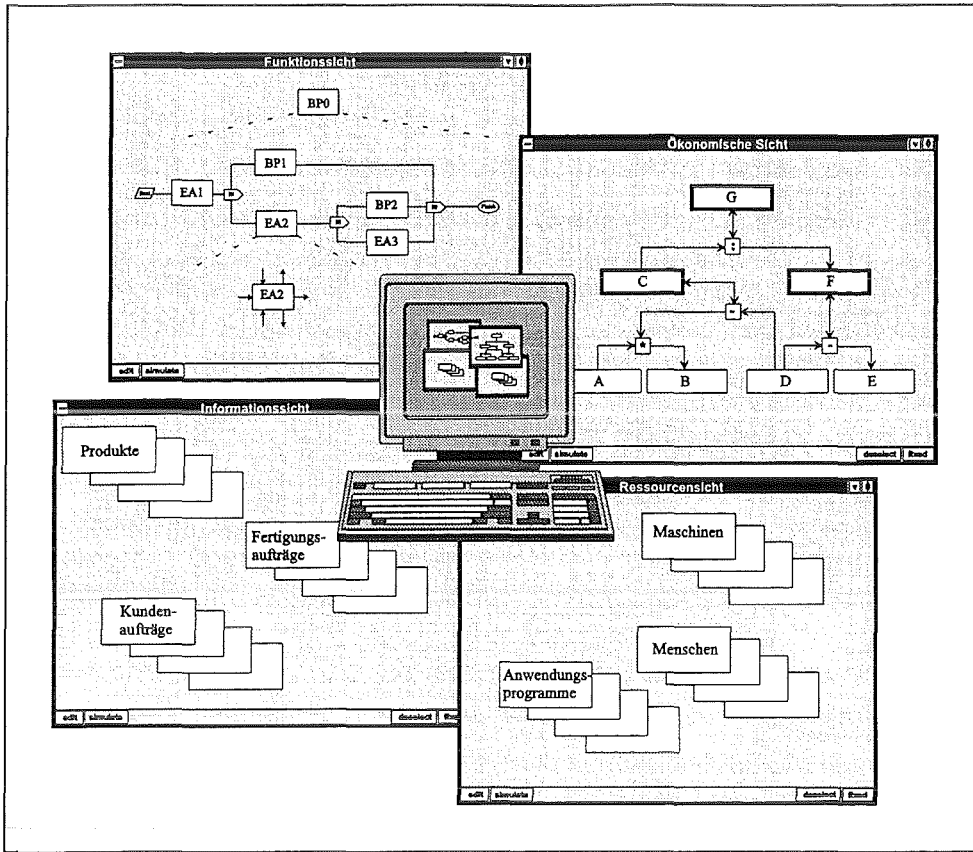


Abb. 4-3: Integration quantitativer und qualitativer Aspekte in einem Werkzeug

Im Rahmen der **quantitativen Analyse der Prozeßdaten** (etwa der Durchlaufzeiten und Prozeßkosten) muß die ökonomische Sicht implementiert werden.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Modelle muß eine **graphisch interaktive Generierung** der Unternehmensmodelle möglich sein.

Das System soll des weiteren über eine **Simulationskomponente** verfügen. Mit Hilfe der Simulationsläufe sollen sowohl die Kennzahlen errechnet als auch die gegenseitige Beeinflussung der Systemkomponenten ermittelt werden.

Im folgenden Kapitel erfolgt die formale Beschreibung der Konstrukte der ökonomischen Sicht.

## 5 Die Modellierungskonstrukte

Ausgangsbasis der Definition der ökonomischen Sicht ist das in Kapitel 3 und 4 vorgestellte Konzept der Trennung von qualitativen und quantitativen Modellaspekten in unterschiedlichen Modellsichten.

Eine „Modellsicht“ soll dabei folgendermaßen definiert werden:

Eine Modellsicht ist eine abgeschlossene Menge von Konstruktklassen. Die Modellsicht wird in einem abstrakten Prozeß durch Beschreibung der Modellkonstrukte geschaffen. Eine Modellsicht zeichnet sich durch ihren Namen und ihre Klassen aus. Die Objektmengen zweier Modellsichten müssen nicht disjunkt sein, d.h. sie können über gemeinsame Elemente verfügen.

Die Aggregation der quantitativen Analyse- und Optimierungskriterien erfolgt in der ökonomischen Sicht in Form von Kennzahlen, während die qualitative Modellierung der Geschäftsprozesse, Ressourcen, Produkte, Aufträge und organisatorischen Strukturen in (je nach Unternehmensmodellierungskonzept beliebig vielen) anderen Sichten erfolgt.

Ressourcen, Produkte, Aufträge, und Prozesse sollen im folgenden unter dem Begriff Unternehmensobjekte zusammengefaßt werden.

Die ökonomische Sicht besteht aus der generischen Klasse EV-Objekt aus dem die Konstruktklassen EV-Kennzahl (Economic Benchmark) und EV-Entität (Economic Entity) abgeleitet werden.

Eine „Konstruktklasse“ dient zur Gruppierung von Modellkonstrukten und ist wie folgt definiert:

Eine Konstruktklasse stellt eine Abstraktion von Modellkonstrukten dar. Die Objektmengen zweier Klassen sind disjunkt, d.h. die Durchschnittsmenge zweier Klassen ist die leere Menge.

Die Konstrukte der generischen Klasse EV-Kennzahl dienen zur Modellierung von Kennzahlensystemen. Die Zuordnung von Kennzahlen zu Geschäftsprozessen und Objekten wie Ressourcen, Aufträgen oder Produkten etwa im Rahmen der Laufzeit (der Simulation oder des Betriebs) erfolgt durch die Konstrukte der generischen Klasse EV-Entität. Die Konstrukte der Klassen sind durch ihre Attribute definiert und in Form von Templates realisiert.

Ein Template stellt ein Schemata zur Beschreibung eines Objekts mit Hilfe seiner Attribute dar. Bei einer software-technischen Implementierung wird im Rahmen des Instanzierungsprozesses durch Ausfüllen des Templates eine Instanz eines Objekts erzeugt. Eine Instanz stellt somit die Realisierung eines Konstrukts dar.

Die Modelle werden entsprechend den verwendeten Modell-Lebenszyklusebenen je nach Aufgabenstellung schrittweise detailliert, bis ein ablauffähiges Modell entstanden ist (siehe Kapitel 6).

Die Konstrukte der ökonomischen Sicht enthalten Grundzüge der Objektorientierung wie die Klassenbildung, die Vererbung, die Aggregation und die Instanziierung.

Die Spezifikation der Modellkonstrukte und ihrer Beziehungen erfolgt mit der formalen Modellierungssprache EXPRESS<sup>15</sup> [ISO-92]. Die graphische Darstellung der Spezifikation erfolgt in der graphischen Notation EXPRESS-G. EXPRESS und EXPRESS-G wurden verwendet, da sie ebenfalls Grundzüge der Objektorientierung [SpMJ-93] enthalten und Bestandteil des internationalen STEP Standards sind. EXPRESS verfügt des weiteren bereits über Konstrukte zur Beschreibung der „Manipulation“ von Daten in Form von Funktionen, Prozeduren und arithmetischen Operationen.

Die verwendeten Symbole und Notationen von EXPRESS-G sind in **Abb. 5-1** dargestellt.

**Abb. 5-2** zeigt die formale Spezifikation der Klassen und Objekte der ökonomischen Sicht in EXPRESS-G.

Das generische Objekt EV-Objekt aggregiert die Eigenschaften sämtlicher Objekte der ökonomischen Sicht und verfügt über identifizierende und beschreibende Attribute.

Eine eindeutige Identifikation der Objekte erfolgt durch die Vergabe eines alphanumerischen Schlüssels (*InstanzIdent*). Eine Beschreibung der Objekte erfolgt durch den *Namen* und ein zusätzliches Kommentarfeld. In das Feld *Beschreibung* können Kommentare und ausführliche Informationen über den Zweck, die Bedeutung und die Besonderheiten des Objekts eingetragen werden. Zur Dokumentation wird der Name des Modellierers sowie seine Abteilung angegeben.

Die Angabe der jeweiligen Modell-Lebenszyklusebene erfolgt mit Hilfe des Attributs *Prozeß-Lebenszyklus*. Wird CIMOSA als Unternehmensmodellierungskonzept verwendet, so erfolgt hier die Auswahl zwischen der Requirements Definition-, Design Specification- und Implementation Description Phase.

---

<sup>15</sup> Die vollständige Beschreibung der Konstrukte in EXPRESS befindet sich in Anhang A.

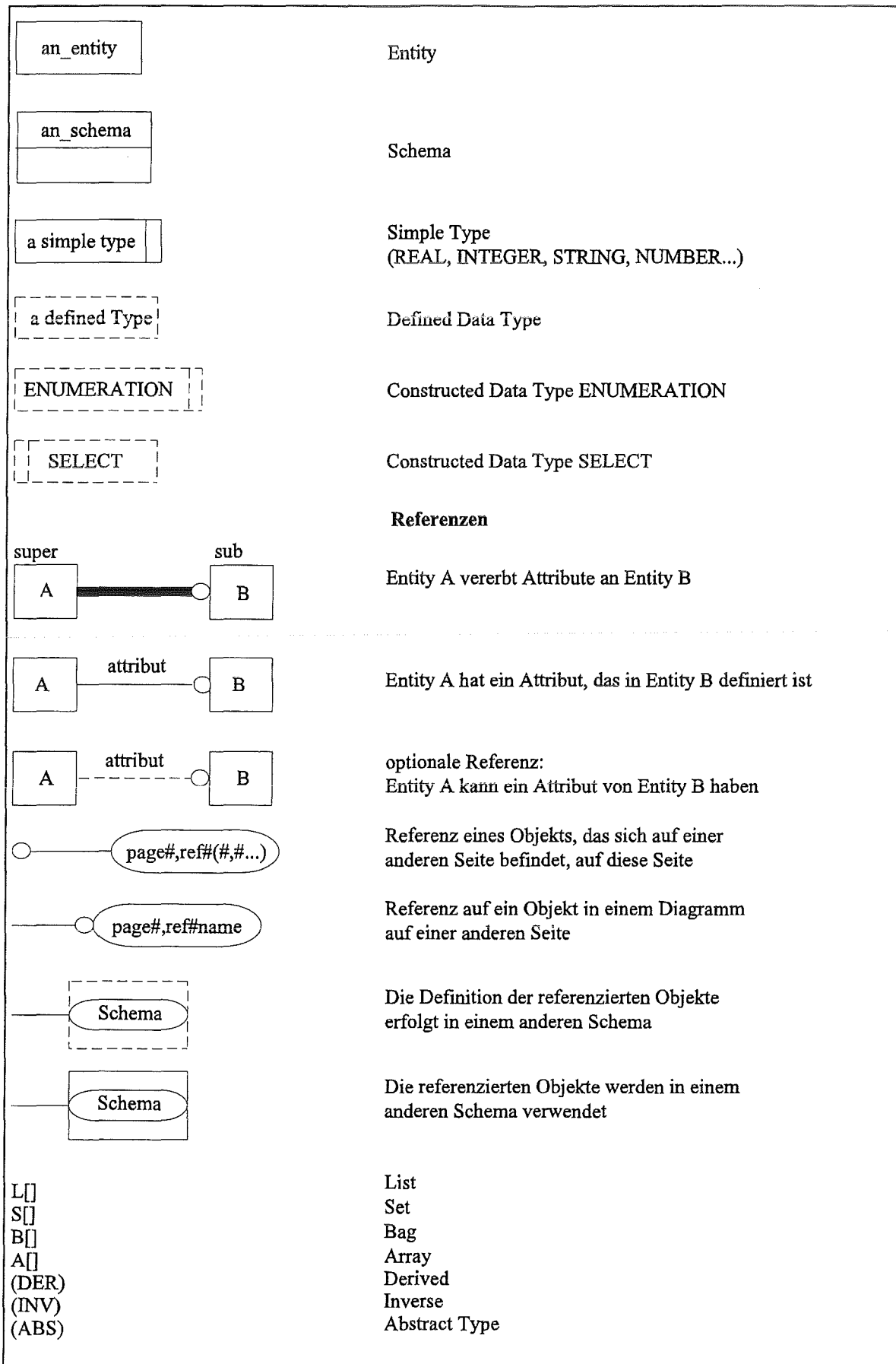
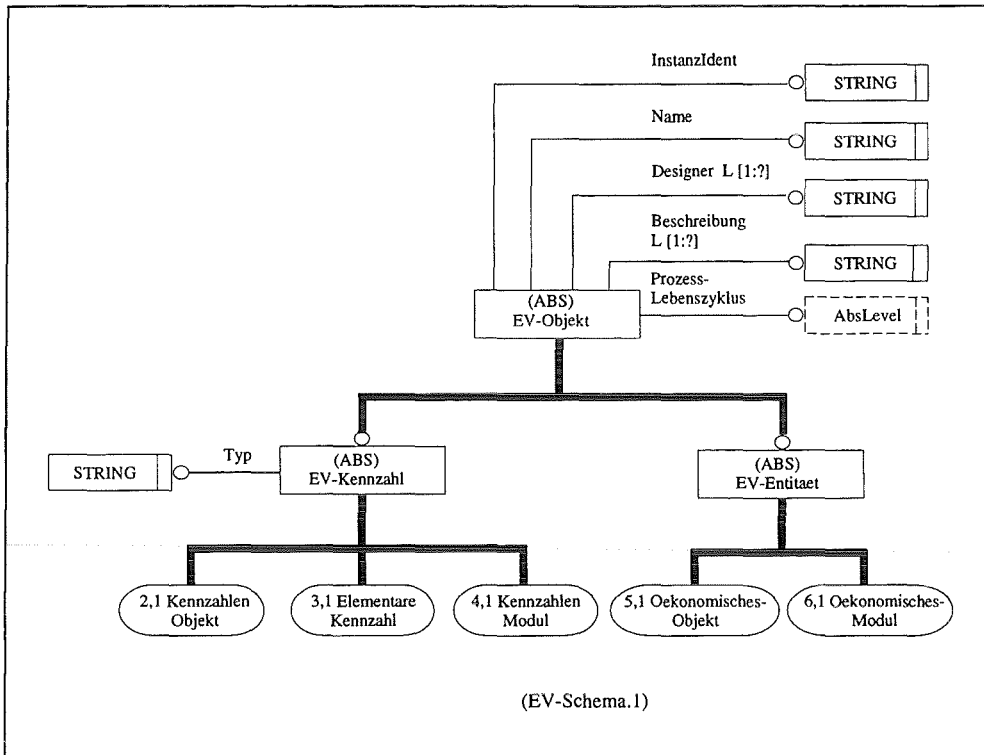


Abb. 5-1: Die Symbole von EXPRESS-G [ISO-92]

### 5.1 Die Modellklasse EV-Kennzahl

Die Modellklasse EV-Kennzahl besteht aus den 3 Konstrukten ElementareKennzahl (elementary benchmark), KennzahlenObjekt (benchmark objekt) und KennzahlenModul (benchmark module) und erbt alle Attribute des EV-Objekts.



**Abb. 5-2:** Die Objekte der ökonomischen Sicht

Kennzahlen charakterisieren einzelne Prozesse und Objekte des Unternehmensmodells sowie beliebige Kombinationen von Objekten und Prozessen. Die Unterscheidung in elementare und nicht-elementare Kennzahlen ergibt sich aus der hierarchischen Gliederung der Kennzahlensysteme. Elementare Kennzahlen können nicht weiter verfeinert werden und referenzieren einzelne Attribute von Prozessen oder Unternehmensobjekten. Nicht-elementare Kennzahlen sind weiteren nicht-elementaren Kennzahlen oder elementaren Kennzahlen zugeordnet und werden aus den untergeordneten Kennzahlen abgeleitet. KennzahlenModule dienen zur Strukturierung von Kennzahlensystemen durch das logische Zusammenfassen von Kennzahlen.

Den Objekten der Modellklasse EV-Kennzahl wird ein Typ zugeordnet. Ein Typ definiert die Art von Objekten aus den qualitativen Sichten die von der Kennzahl bewertet werden sollen. Dies kann eine Instanz sein (etwa ein Kundenauftrag) oder eine Klasse von Instanzen (etwa



generell Ressourcen, ohne sich jedoch auf ein spezifisches Objekt festzulegen. Der Modellierer kann beliebig viele Typen bilden.

### 5.1.1 Das Konstrukt KennzahlenObjekt

Das Konstrukt KennzahlenObjekt dient zur statischen strukturierten Modellierung von Kennzahlensystemen. Relationen zwischen Kennzahlen können dargestellt und hierarchische Kennzahlenbäume zur Verdichtung von Daten aufgestellt werden. Das Konstrukt erbt alle Attribute des EV-Objekts und der Modellklasse EV-Kennzahl.

Abb. 5-3 zeigt die formale Spezifikation des Konstrukts in EXPRESS-G.

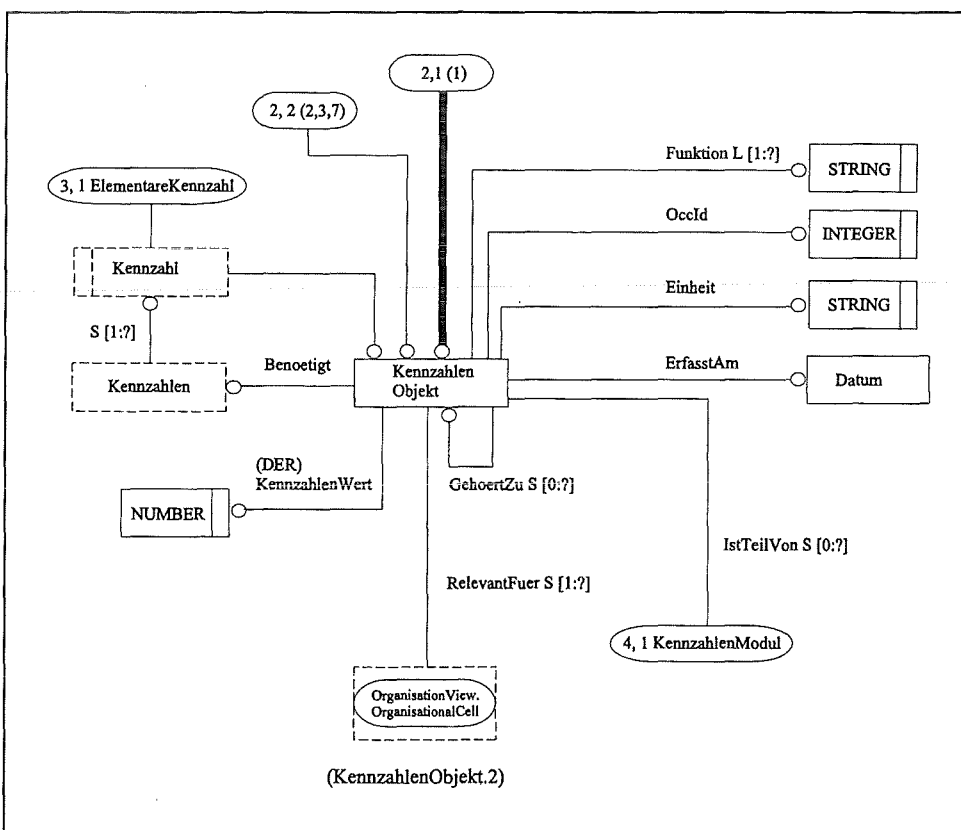


Abb. 5-3: Das Konstrukt KennzahlenObjekt

Der Occurrence Identifikator (*OccId*) ist nur für die Simulation oder den Betrieb interessant und wird vom Werkzeug oder der Anwendung eingetragen. Eine Occurrence ist die parametrisierte Kopie einer Instanz während der Modellausführung zu einem definierten Zeitpunkt.

Die Modularisierung der Kennzahlen wird im Feld *IstTeilVon* durch Zuordnung zu einem KennzahlenModul ausgedrückt, welches das KennzahlenObjekt beinhaltet.

Die Struktur der Kennzahl wird durch ihre übergeordneten und untergeordneten Kennzahlen definiert. Das Attribut *Benötigt* spezifiziert die untergeordneten KennzahlenObjekte oder ElementarenKennzahlen, die zum Errechnen des Kennzahlenwertes benötigt werden. Jedes KennzahlenObjekt besteht aus mindestens einer untergeordneten Kennzahl. Das Attribut *GehörtZu* beinhaltet die übergeordneten KennzahlenObjekte, welche ihrerseits das KennzahlenObjekt zum Errechnen ihrer spezifizierten Kennzahlen benötigen.

Die eigentliche Funktion zum Errechnen der Kennzahl wird im Feld des Attributs *Funktion* als Zeichenkette definiert. Die Definition der Kennzahlenfunktion erfolgt entsprechend der Spezifikation des EXPRESS Konstrukts „function“. Nach der EXPRESS Definition ist eine Funktion ein Algorithmus, der mit Parametern arbeitet und ein einzelnes Endergebnis eines spezifischen Typs liefert. Die Funktion errechnet aus der Liste untergeordneter Kennzahlenwerte und arithmetischer Operationen den gewünschten Kennzahlenwert. **Abb. 5-4** zeigt, wie die Kennzahlenfunktion entsprechend der Spezifikation des EXPRESS Konstrukts „function“ definiert wird. Die eigentliche Funktionsdeklaration in Form von Fallunterscheidungen, Schleifen und arithmetischen Operationen wird durch den Term *stmt* beschrieben.

**Syntax:**

```

205 function_decl = function_head [algorithm_head] stmt {stmt} END_FUNCTION ';' ;
207 function_head = FUNCTION function_id
                    [ ('formal_parameter { ';' formal_parameter } ') ';' ] ':' parameter_type ';' ;
204 formal_parameter = parameter_id { ';' parameter_id } ':' parameter_type.
246 parameter_type = generalized_types | named_types | simple_types.
160 algorithm_head = { declaration } [constant_decl] [local_decl].
187 declaration = entity_decl | function_decl | procedure_decl | type_decl.

```

**Abb. 5-4:** Syntax des EXPRESS Konstrukts Function in Wirth Syntax Notation [ISO-92]

Um die Zeichenkette zur Beschreibung einer Kennzahlenfunktion weiter zu formalisieren, wird eine Funktion  $KF_i$  definiert, welche die Zeichenkette interpretiert und die Zuweisung des Ergebnisses zum Attribut *KennzahlenWert* übernimmt. Die Funktion  $KF_i$  gehört wiederum zu der generischen Klasse KF von Funktionen, deren Inputs und Outputs in EXPRESS definiert wurden. Alle Funktionen der Klasse KF benötigen als Input die Beschreibung der Funktion, der referenzierten KennzahlenObjekte oder ElementarenKennzahlen und der referenzierten Unternehmensobjekte. Die Definition des Funktionsblocks ist anwendungsspezifisch und kann daher in EXPRESS nicht generisch spezifiziert werden.

Die Einheit der Kennzahl wird mit Hilfe des Attributs *Einheit* definiert, während mit dem Attribut *RelevantFür* die organisatorischen Bereiche angegeben werden, für welche die Werte der Kennzahl interessant sind, etwa der Vertrieb oder die Produktion. Wird CIMOSA als Unternehmensmodellierungskonzept verwendet, so wird dies durch Referenzen zu Instanzen des Konstrukts Organisational Cell in der Organisation View realisiert. Im letzten Attribut *ErfasstAm* wird während der Simulation oder der Modellausführung vom Werkzeug (oder der Anwendung) der Zeitpunkt der Werterrechnung der Occurence eingetragen. Dies ist notwendig, falls etwa bei der Simulation eine Selektion von Kennzahlen innerhalb eines definierten Zeitintervalls erfolgen soll. Das Attribut *KennzahlenWert* dient zur Ausgabe der errechneten Kennzahlen während der Laufzeit.

Das folgende Beispiel (siehe **Abb. 5-5**) zeigt ein ausgefülltes KennzahlenObjekt-Template.

<b>KennzahlenObjekt</b>	
InstanzIdent	DZA
Name	AuftragsDurchlaufzeit
Typ	Fertigungsauftragskennzahl
Beschreibung	Die Kennzahl dient zum Errechnen der Durchlaufzeit eines Fertigungsauftrags
ProzessLebenszyklus	Design Specification
Designer	F. Maier
Benoetigt:	LZA, AZA
GehoertZu:	GDZA (gewichtete Auftragsdurchlaufzeit)
IstTeilVon	KennzahlenModul-Zeiten
Funktion:	<pre> FUNCTION auftragsdurchlaufzeit (Auftrag);   LOCAL;   dza : NUMBER;   END_LOCAL;   dza := auftragsausführungszeit (Auftrag) + auftragsliegezeit (Auftrag);   RETURN (dza); END_FUNCTION; </pre>
Einheit	Tage
RelevantFuer	Organisational Cell-Vertrieb, Organisational Cell-Produktion
ErfasstAm	diese drei Werte werden während der Laufzeit vom Werkzeug eingetragen
Occid	
KennzahlWert	

**Abb. 5-5:** Spezifikation des KennzahlenObjekts zum Errechnen der Auftragsdurchlaufzeit

Das KennzahlenObjekt hat den Namen AuftragsDurchlaufzeit mit dem Identifikator DZA und dient zum Errechnen der Durchlaufzeit eines Fertigungsauftrags (siehe Typ). Die Durchlaufzeit wird aus der Liegezeit und Auftragszeit errechnet. Die Ausführungszeit und Liegezeit stellen wiederum Funktionen dar, die basierend aus Bearbeitungsbeginn, Zeitpunkt der Einla-

stung in die Produktion und Bearbeitungsende des Auftrags in den KennzahlenObjekten Auftrags-Liegezeit mit dem Identifikator LZA und Auftrags-Ausführungszeit mit dem Identifikator AZA errechnet werden.

### 5.1.2 Das Konstrukt ElementareKennzahl

Elementare Kennzahlen können nicht weiter verfeinert werden und referenzieren Attribute einzelner Unternehmensobjekte. Der Aufbau des Konstrukts entspricht weitgehend dem KennzahlenObjekt. Das Konstrukt ElementareKennzahl erbt alle Attribute der Objekte EV-Objekt und EV-Kennzahl.

Abb. 5-6 zeigt die formale Spezifikation des Konstrukts in EXPRESS-G

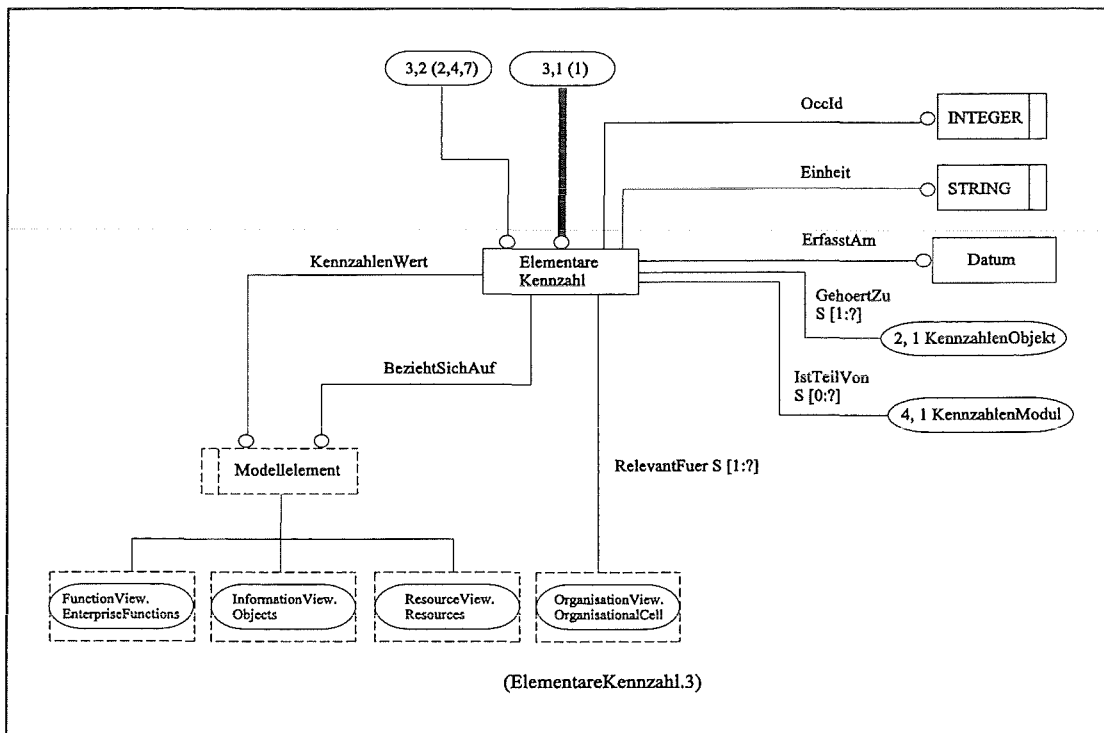


Abb. 5-6: Das Konstrukt ElementareKennzahl

Das Attribut *BeziehtSichAuf* definiert eine einzelne Instanz eines Objekts aus der Informationssicht, einer Ressource oder einer Unternehmensfunktion, von der genau ein Attribut als ElementareKennzahl in der ökonomischen Sicht referenziert wird.

Der *KennzahlenWert* ergibt sich bei einer elementaren Kennzahl durch Referenz auf ein Attribut des in *BeziehtSichAuf* ausgewählten Objekts. Mit Hilfe des Attributs *Einheit* wird die Einheit des Kennzahlenwerts definiert. Die Liste der Identifikatoren von organisatorischen Berei-

chen, für die der Kennzahlenwert interessant ist, wird durch das Attribut *RelevantFuer* ausgedrückt.

Falls die elementare Kennzahl Bestandteil eines KennzahlenModuls ist, wird im Feld des Attributs *IstTeilVon* der Identifikator des KennzahlenModuls angegeben. Im Attribut *GehörtZu* wird eine Liste von KennzahlenObjekten (mit Hilfe ihrer Identifikatoren) angegeben, welche den Kennzahlenwert der elementaren Kennzahl zum Errechnen ihrer Kennzahlenwerte benötigen.

Vom Werkzeug wird wiederum während der Laufzeit der Occurrence Identifikator (*OccId*) und der Zeitpunkt eingetragen, wann der Wert abgefragt wurde (*ErfasstAm*).

### 5.1.3 Das Konstrukt KennzahlenModul

Um komplexe Kennzahlensysteme übersichtlich zu modellieren, können die Kennzahlensysteme hierarchisch strukturiert werden. Dies geschieht mit Hilfe des Konstrukts KennzahlenModul. Ein KennzahlenModul kann wiederum in KennzahlenModule oder KennzahlenObjekte beziehungsweise ElementareKennzahlen verfeinert werden.

Greift ein KennzahlenModul auf KennzahlenObjekte oder ElementareKennzahlen anderer KennzahlenModule zu, so müssen beide KennzahlenModule über entsprechende Schnittstellen verfügen. Eine mögliche Modularisierung kann etwa nach Prozeß-, Produkt-, Auftrags- oder Ressourcen-Kennzahlen erfolgen.

**Abb. 5-7** zeigt die formale Spezifikation des Konstrukts in EXPRESS-G.

Das Konstrukt verfügt, neben den Attributen, die es von EV-Objekt und EV-Kennzahl erbt, über vier weitere Attribute. Mit dem Attribut *IstTeilVon* wird das direkt übergeordnete KennzahlenModul angegeben zu dem das KennzahlenModul gehört. *BestehtAus* definiert die direkt untergeordneten KennzahlenObjekte, ElementarenKennzahlen oder KennzahlenModule, die Bestandteil des KennzahlenModuls sind.

Die Schnittstellen des KennzahlenModuls zu anderen KennzahlenModulen werden durch *ZugriffAufKennzahl* und *LiefertKennzahl* beschrieben. Im Feld des Attributs *ZugriffAufKennzahl* werden KennzahlenObjekte oder ElementareKennzahlen angegeben, die von den KennzahlenObjekten des KennzahlenModuls benötigt werden, jedoch in anderen KennzahlenModulen definiert wurden. *LiefertKennzahl* definiert ElementareKennzahlen oder KennzahlenObjekte, die innerhalb des KennzahlenModuls spezifiziert wurden und von KennzahlenObjekten anderer KennzahlenModule benötigt werden.

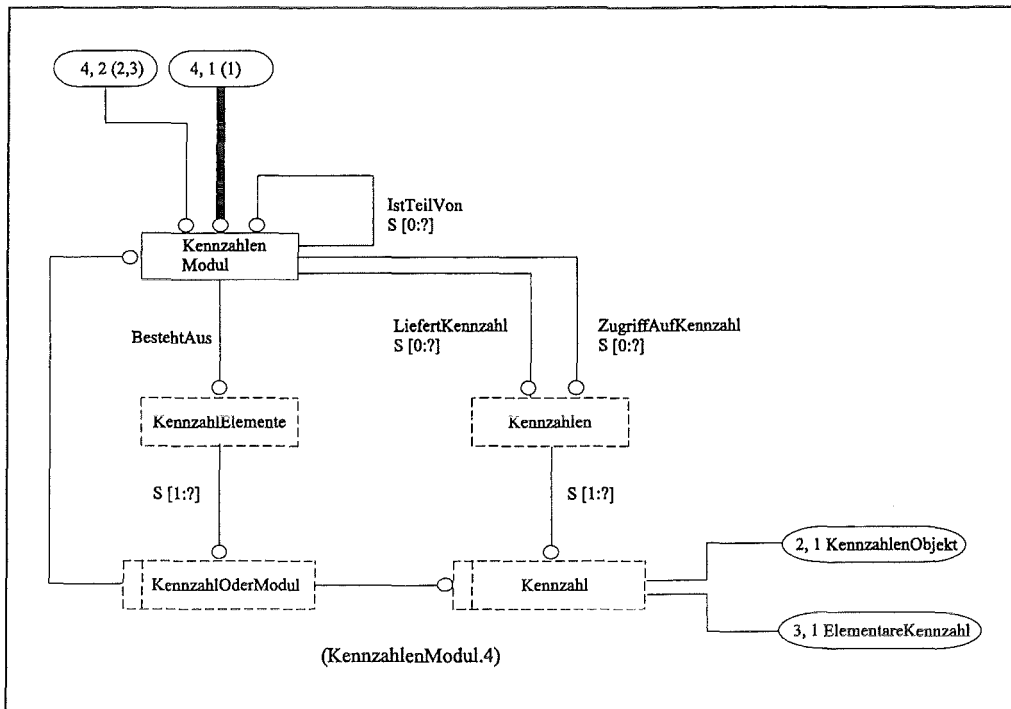


Abb. 5-7: Das Konstrukt KennzahlenModul

## 5.2 Die graphische Beschreibungssprache zur Modellierung von Kennzahlen

Es wurde eine graphische Beschreibungssprache zur Generierung von Kennzahlensystemen definiert, die dem Modellierer den konsistenten Aufbau von Kennzahlensystemen ermöglicht sowie einen Überblick über die generierten Kennzahlensysteme geben soll (siehe Abb. 5-8). KennzahlenObjekte und ElementareKennzahlen werden im folgenden teilweise unter dem Begriff Kennzahl zusammengefaßt.

Die Beschreibungssprache besteht aus zwei Klassen von Elementen, den Kennzahlenelementen und Verknüpfungselementen. Die Kennzahlenelemente bestehen aus ElementarenKennzahlen, KennzahlenObjekten, KennzahlenModulen und KennzahlenReferenzen. Zusätzlich können Konstanten dargestellt werden, die in Rechenoperationen benötigt werden, aber keine Kennzahlen verkörpern (etwa Anzahl der Arbeitstage pro Woche).

Optional kann bei den ElementarenKennzahlen, KennzahlenObjekten und KennzahlenModulen eine detailliertere Darstellung gewählt werden, die neben dem Namen des Elements, den Identifikator und den Typ beinhaltet. Bei den ElementarenKennzahlen und KennzahlenObjekten kann zusätzlich noch die Einheit angegeben werden.

Die Verknüpfungselemente bestehen aus einfachen arithmetischen Operatoren, arithmetischen Funktionen und Konnektoren. Operatoren und arithmetische Funktionen werden durch Kon-

nektoren verbunden. Die Konnektoren bestehen aus einfachen Pfeilen und Doppelpfeilen. Ein Doppelpfeil von einem Operator oder einer Funktion zu einem KennzahlenObjekt stellt eine Wertzuweisung zu dem KennzahlenObjekt dar.

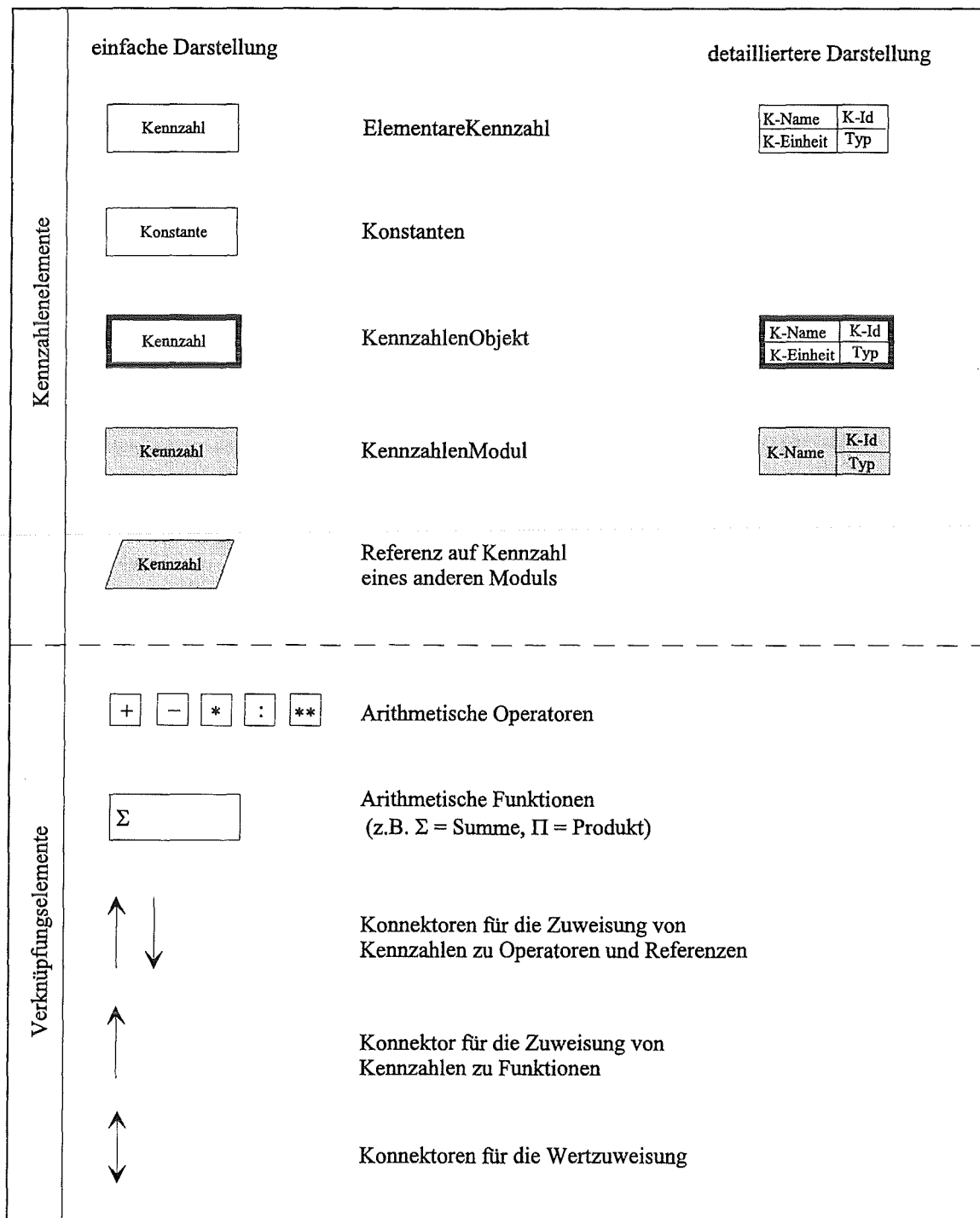
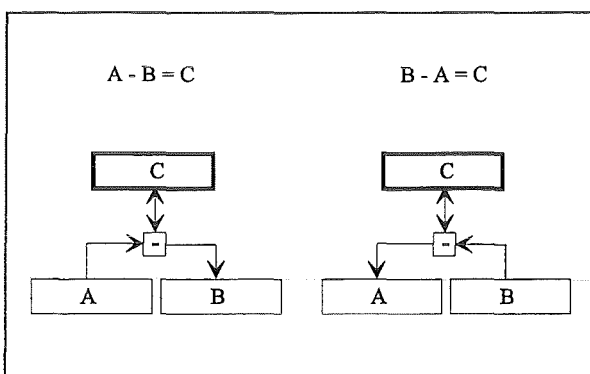


Abb. 5-8: Semiformale graphische Beschreibungssprache zur Modellierung von Kennzahlen

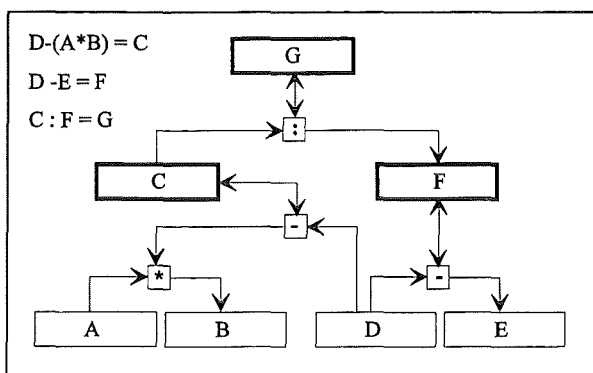
Einfache (binäre) arithmetische Operatoren werden als Quadrate mit dem zugehörigen Operator dargestellt (siehe **Abb. 5-9**). Ein einfacher Operator verknüpft zwei KennzahlenElemente oder KennzahlenObjekte und generiert daraus ein neues KennzahlenObjekt.

Die Reihenfolge der Errechnung wird durch die Richtung der einfachen Pfeile bestimmt. Führt ein Pfeil von der Kennzahl zum Operator, so steht die Kennzahl beim Errechnen vor dem Operator. Führt ein Pfeil vom Operator zur Kennzahl, so steht die Kennzahl beim Errechnen hinter dem Operator ( $A - B$  oder  $B - A$ ). Das Ergebnis der Errechnung wird einem übergeordneten KennzahlenObjekt durch einen Doppelpfeil zwischen Operator und KennzahlenObjekt zugewiesen (siehe Kennzahl C).



**Abb. 5-9:** Beispiel für die Verknüpfung von Kennzahlen durch einfache Operatoren

Operatoren können auch direkt miteinander verbunden werden, falls eine Klammersetzung notwendig ist (siehe **Abb. 5-10**).



**Abb. 5-10:** Beispiel für die Klammersetzung bei einfachen Operatoren

Die Klammersetzung erfolgt durch mehrfaches Verketteten von Operatoren. Die Priorisierung erfolgt dabei von unten nach oben, d.h. der Operator der über einem anderen Operator steht,

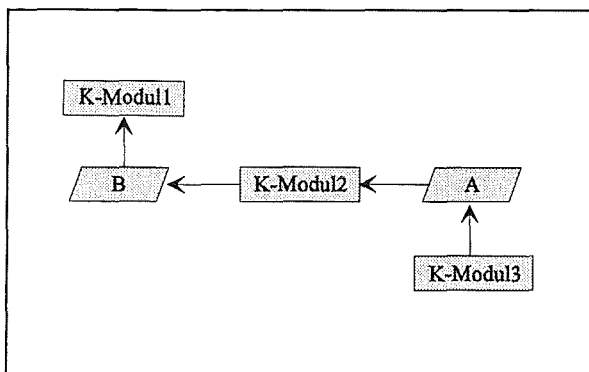


verwendet die Ergebnisse dieses Operators. Ist eine Klammersetzung nicht erwünscht, so können stattdessen Hilfskennzahlen generiert werden.

Wenn die Kennzahlensysteme zu unübersichtlich sind, können sie durch KennzahlenModule strukturiert werden. Ein einfacher Pfeil von einem KennzahlenModul zu einer KennzahlenReferenz bedeutet, daß die referenzierte Kennzahl in diesem KennzahlenModul definiert wurde. Weist ein einfacher Pfeil von einer KennzahlenReferenz zu einem KennzahlenModul, so bedeutet dies, daß im KennzahlenModul auf diese Kennzahl zugegriffen wird.

In der inneren Struktur der KennzahlenModulen erfolgt dann die eigentliche Verarbeitung oder Definition der referenzierten Kennzahlen. Ein einfacher Pfeil von einer Elementaren-Kennzahl oder KennzahlenObjekt zu einer KennzahlenReferenz bedeutet, daß die referenzierte Kennzahl innerhalb eines anderen KennzahlenModuls benötigt wird, aber in diesem KennzahlenModul definiert wurde. Ein einfacher Pfeil von einer KennzahlenReferenz zu einer Elementaren-Kennzahl oder KennzahlenObjekt bedeutet umgedreht, daß die referenzierte Kennzahl in einem anderen KennzahlenModul definiert wurde und in diesem KennzahlenModul wiederverwendet wird.

Das folgende Beispiel in **Abb. 5-11** zeigt drei KennzahlenModule. *KennzahlenModul 2* greift auf eine Kennzahl *A* zu, die in *KennzahlenModul 3* definiert wurde. *KennzahlenModul 2* seinerseits definiert eine *Kennzahl B* auf die in *KennzahlenModul 1* zugegriffen wird.

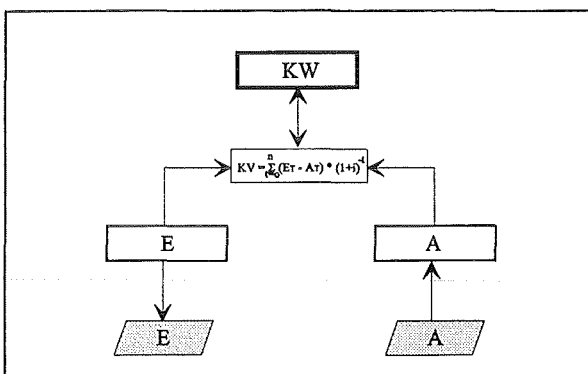


**Abb. 5-11:** Beispiel für den Einsatz von KennzahlenModulen und KennzahlenReferenzen

Funktionen wie Summen oder Produkte werden als Rechtecke mit der zugehörigen Funktion dargestellt (siehe **Abb. 5-12**). Das Element Funktion wird verwendet, wenn eine Verknüpfung von Kennzahlen mit Hilfe der arithmetischen Operatoren nicht möglich ist oder aber zu unübersichtlich wird. Kennzahlen werden mit Funktionen durch Pfeile verbunden, die von der Kennzahl zur Funktion führen. Der Doppelpfeil von der Funktion zum KennzahlenObjekt stellt wiederum die Wertzuweisung dar. Funktionen können als Input 1-n dimensionale Vek-

toren von Kennzahlen haben, die sich jedoch graphisch nicht von den einfachen Kennzahlen unterscheiden.

Das folgende Beispiel zeigt die Errechnung des Kapitalwerts. Der Kapitalwert (KW) wird aus den Einzahlungen (E), Auszahlungen (A) und dem internen Zins errechnet. Die Auszahlungen wurden in einem anderen KennzahlenModul definiert und werden sowohl als Elementare-Kennzahl als auch als KennzahlenReferenz dargestellt. Die Einzahlungen werden in einem anderen KennzahlenModul verwendet, sind aber in diesem KennzahlenModul spezifiziert. Da der interne Zins nicht als Kennzahl oder Konstante verwendet wird, ist er in der Funktion aufgeführt.



**Abb. 5-12:** Beispiel einer arithmetischen Funktion und einer referenzierten Kennzahl

### 5.3 Die Modellklasse EV-Entität

Der Begriff Entität kommt aus der Datenmodellierung (etwa Entity Relationship Diagramme nach CHEN [Chen-76]). SCHNEIDER [Schn-91] definiert eine Entität als:

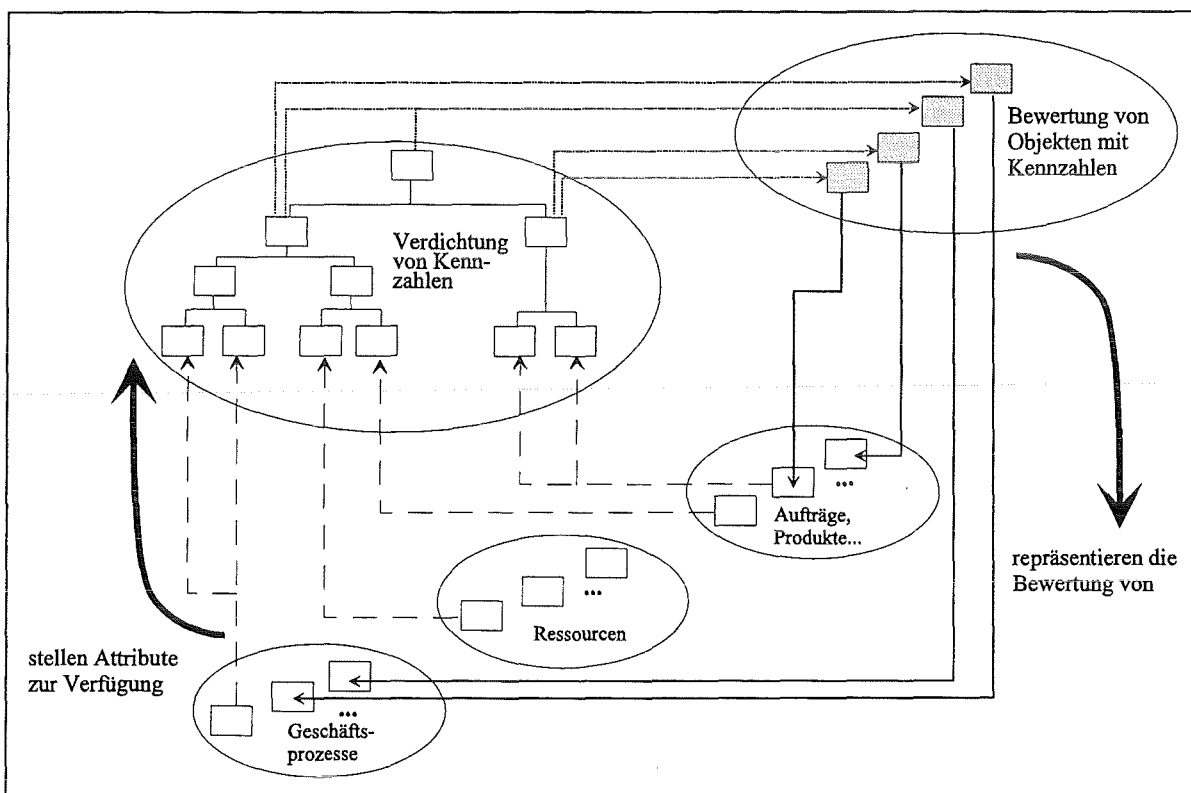
„Element eines Informationsbereichs, über das etwas ausgesagt wird, d.h. über das Information vorhanden ist.“

Unter einer ökonomischen Entität soll in Anlehnung an SCHNEIDER ein Untersuchungsbe-  
reich verstanden werden, der relevante Aspekte des Unternehmensmodells oder der Anwen-  
dung hinsichtlich der Analyse und Optimierung in Bezug auf ein zu bewertendes Objekt ent-  
hält.

Die generische Klasse EV-Entität erbt alle Attribute des EV-Objekts und besteht aus den zwei  
Konstrukten ÖkonomischesObjekt (Economic Object) und ÖkonomischesModul (Economic  
Module).

### 5.3.1 Das Konstrukt ÖkonomischesObjekt

Das Konstrukt ÖkonomischesObjekt dient zur dynamischen Zuordnung von Kennzahlen zu Geschäftsvorgängen, -prozessen und Prozeßketten und Objekten wie Ressourcen, Produkte oder Aufträgen für die Simulation, beziehungsweise den Betrieb. **Abb. 5-13** zeigt den Zusammenhang zwischen der Generierung von Kennzahlensystemen (mit Hilfe der Konstrukte KennzahlenObjekt und ElementareKennzahl) und der multi-dimensionalen Zuordnung von Kennzahlen zu den zu bewertenden Objekten (durch das Konstrukt ÖkonomischesObjekt).

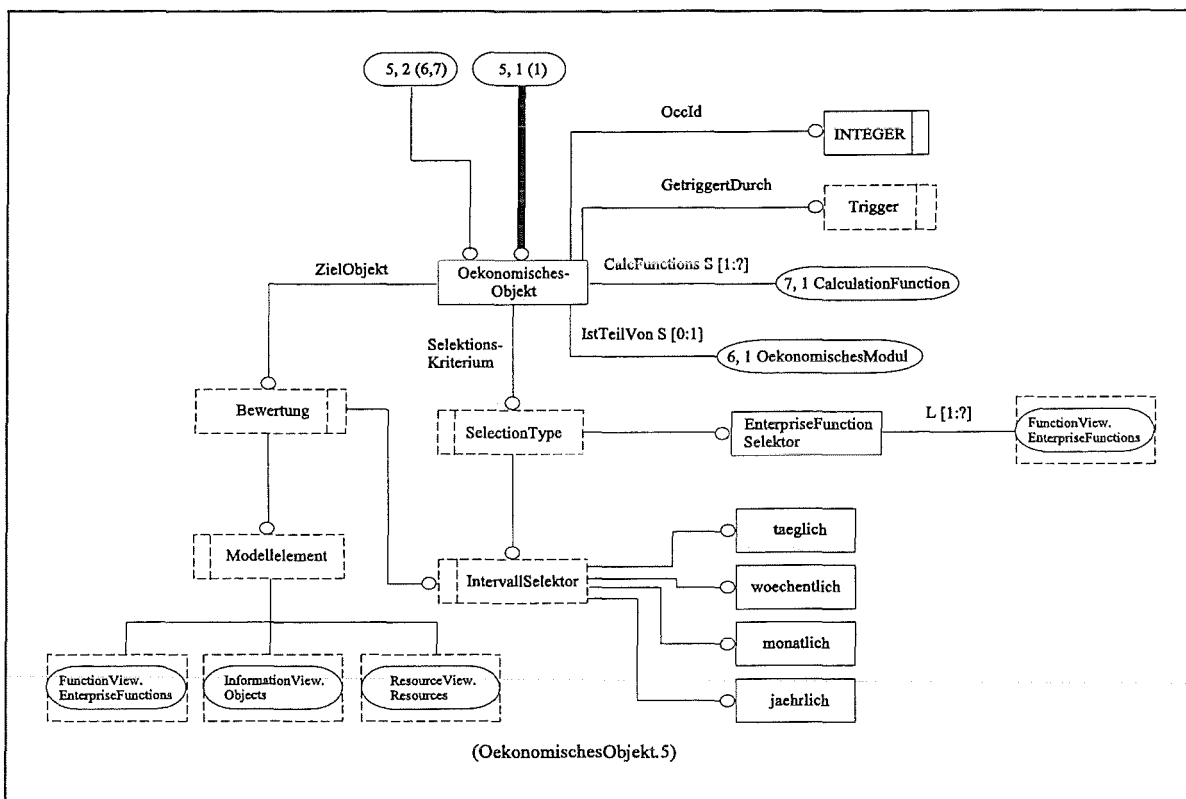


**Abb. 5-13:** Generierung von Kennzahlensystemen und Auswahl von Kennzahlen zur Bewertung

Das betrachtete Objekt wird somit zu einem „ökonomisch relevanten“ Objekt. Jedes ÖkonomischeObjekt stellt einen abgegrenzten Bereich dar, der nicht weiter zerlegt werden kann. Überschneidungen zwischen ÖkonomischenObjekten sind möglich, indem sie die gleichen zu bewertenden Objekte enthalten.

**Abb. 5-14** zeigt die formale Spezifikation des Konstrukts in EXPRESS-G. Das Konstrukt erbt die Attribute der EV-Klasse wie *InstanzenIdent*, *Namen*, *Beschreibung*, *Designer* und *Prozeß-Lebenszyklus*. Der *Occurrence Identifikator (OccId)* zur Identifikation der Occurrence der In-

stanz wird während der Laufzeit wiederum vom Werkzeug oder der Anwendung ermittelt und eingetragen.



**Abb. 5-14:** Das Konstrukt ÖkonomischesObjekt

Das Attribut *GetriggertDurch* legt fest, auf welche Weise das ÖkonomischeObjekt während der Laufzeit zur Errechnung der zugeordneten Kennzahlen angestoßen wird. Ökonomische Objekte können entweder im Sinne einer interrogativen Ablaufsteuerung durch das Auslösen eines Ereignisses (*triggered\_by\_event*) angestoßen werden, etwa das Ende der Ausführung eines zu bewertenden Prozesses, oder im Sinne einer imperativen Ablaufsteuerung durch einen definierten Zeitpunkt (*triggered\_by\_time*), zum Beispiel täglich oder wöchentlich.

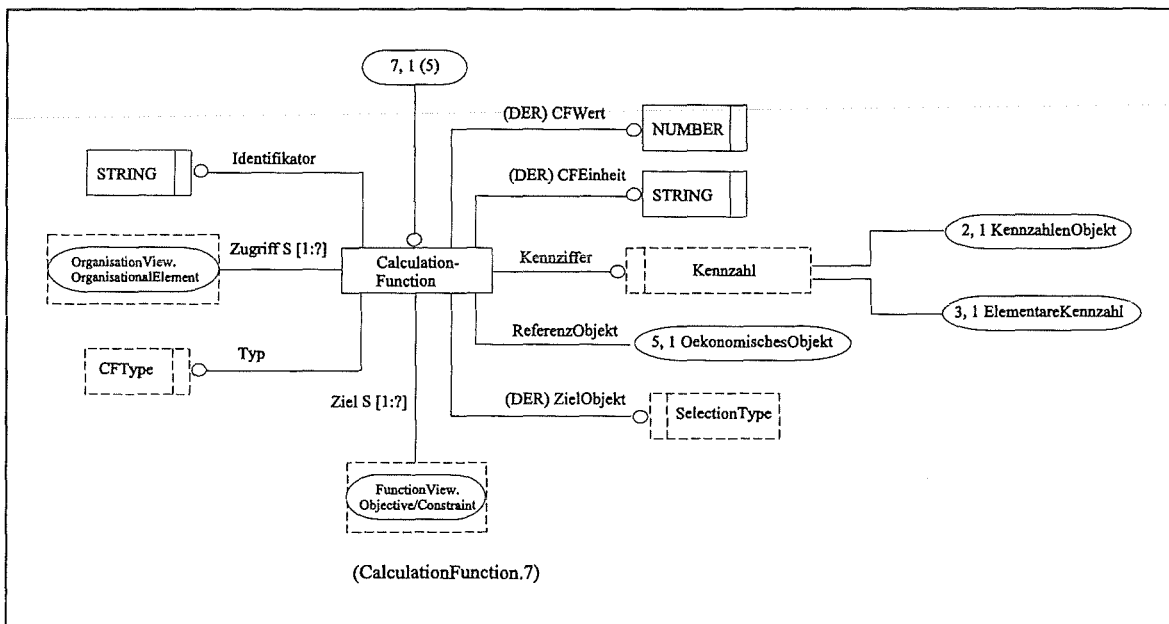
Wird das ÖkonomischeObjekt durch ein Ereignis angestoßen, so wird der entsprechende Prozeß beziehungsweise die entsprechenden Prozesse (bei der Betrachtung einer Prozeßkette) im Attribut *SelektionsKriterium* festgelegt. Erfolgt das Triggern durch ein Zeitintervall, so wird im entsprechenden Attribut angegeben, wann, beziehungsweise wie oft das Triggern erfolgen soll (Angabe des Tags, oder der Uhrzeit).

Das Attribut *IstTeilVon* definiert, falls vorhanden, das übergeordnete ÖkonomischeModul.

Das Attribut *ZielObjekt* definiert für welche Objekt-Occurences während der Laufzeit Kennzahlen ermittelt werden sollen. Erfolgt das Triggern durch ein Ereignis, so wird hier genau

eine Objekt-Instanz aus der Funktions-, Informations- oder Ressourcensicht angeben. Erfolgt das Triggern durch ein Zeitintervall, so wird neben dem zu bewertenden Objekt zusätzlich die Betrachtungsperiode (das Zeitfenster) definiert.

Die Auswahl der zu errechnenden Kennzahlen erfolgt durch Instanziierung des Konstrukts CalculationFunction. Ein ÖkonomischesObjekt hat mindestens eine CalculationFunction, kann aber auch beliebig viele CalculationFunctions enthalten. Der Unterschied zum Attribut Funktion im KennzahlenObjekt besteht darin, daß in der Funktion festgelegt wird, wie eine Kennzahl aus referenzierten Kennzahlen und arithmetischen Operatoren errechnet wird, während in der CalculationFunction die Eingangsvariablen der Funktion anwendungsspezifisch mit konkreten Werten belegt werden. Eine CalculationFunction ist somit eine spezifische Ausprägung einer Kennzahl. **Abb. 5-15** zeigt die formale Spezifikation der CalculationFunction in EXPRESS-G.



**Abb. 5-15:** Das Konstrukt CalculationFunction

Das Konstrukt besteht aus neun Attributen. Eine eindeutige Referenzierung erfolgt durch Zuweisung eines alphanumerischen Identifikators zu dem Attribut *Identifikator*. Durch das Attribut *Typ* kann angegeben werden, ob diese spezifische Kennzahl während der Modellerstellung oder des Systembetriebs benötigt wird. Mit dem Attribut *ReferenzObjekt* wird ein Verweis auf ein ÖkonomischesObjekt gemacht, das die CalculationFunction beinhaltet. Eine CalculationFunction kann sich auf ein definiertes Ziel oder eine Restriktion (Objective/Constraint) beziehen. Dies wird mit dem Attribut *Ziel* definiert. Das Attribut *Kennziffer* referenziert das Kenn-

zahlenObjekt oder die ElementareKennzahl, die zur Bewertung eines Prozesses oder eines Unternehmensobjekts verwendet werden soll.

Zugriffsrechte von Mitarbeitern auf die errechnete Kennzahl können durch das Attribut *Zugriff* definiert werden. Wird CIMOSA als Unternehmensmodellierungskonzept verwendet, so erfolgt hier eine Referenz auf das Objekt Organisational Element der Organisation View.

Das zu bewertende Objekt wird während der Laufzeit durch Wertzuweisung zum Attribut *ZielObjekt* übernommen.

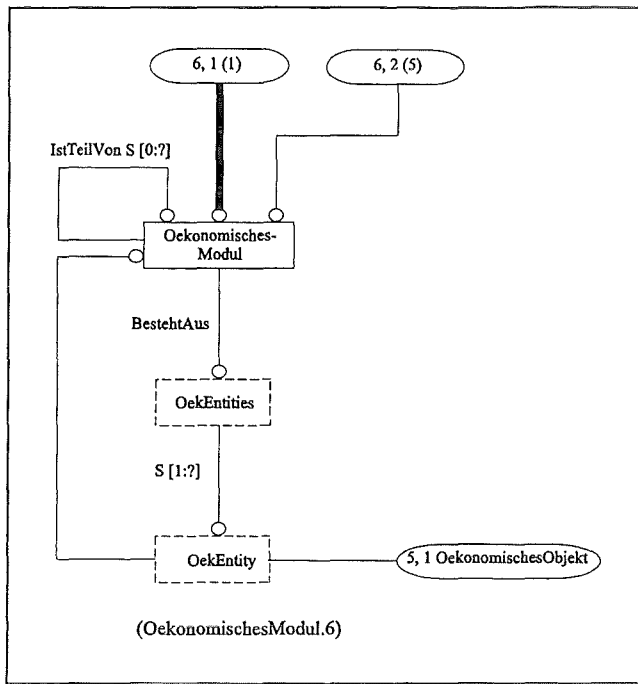
Entsprechend der Vorgehensweise bei der Kennzahlenfunktion existiert wiederum eine Funktion  $CF_i$ , welche die im Template der CalculationFunction eingetragenen Werte interpretiert und als Ergebnis den Wert des Attributs *CFWert* liefert. Die Funktion  $CF_i$  der Funktionsklasse CF benötigt als Input das ausgewählte KennzahlenObjekt oder die ElementareKennzahl und das Objekt, das bewertet werden soll (der Eintrag aus *ZielObjekt*). Die Funktion  $CF_i$  ist wiederum anwendungsspezifisch und kann in EXPRESS nicht generisch definiert werden. Eine spezifische Implementierung der Funktionsklasse CF ruft seinerseits wiederum eine Implementierung der Funktionsklasse KF auf, um die referenzierte Kennzahl für das ausgewählte Objekt errechnen zu können.

*CFEinheit* gibt die Einheit der Kennzahl an. Der Wert des Attributs wird aus dem Eintrag des Attributs *Einheit* im selektierten KennzahlenObjekt oder der ElementarenKennzahl während der Laufzeit abgeleitet.

### 5.3.2 Das Konstrukt ÖkonomischesModul

Das Konstrukt ÖkonomischesModul dient zur Hierarchisierung und Gruppierung von ÖkonomischenObjekten im Sinne ihrer deskriptiven Eigenschaften. Ein ÖkonomischesModul kann wiederum ÖkonomischeModule enthalten. Eine Gruppierung von ÖkonomischenObjekten kann beispielsweise nach den Objekten erfolgen, die sie bewerten oder nach dem Trigger-Kriterium. Jedes ÖkonomischeModul stellt erneut einen abgeschlossenen Bereich dar. Die ÖkonomischenModule dürfen sich keine untergeordneten ÖkonomischenModule oder ÖkonomischenObjekte teilen. **Abb. 5-16** zeigt die formale Spezifikation des Konstrukts in EXPRESS-G.

Das Konstrukt erbt die identifizierenden und beschreibenden Attribute der Klasse EV-Entität. Zusätzlich verfügt es über die Attribute *IstTeilVon* und *BestehtAus*. *IstTeilVon* definiert das direkt übergeordnete ÖkonomischeModul. Mit *BestehtAus* werden die ÖkonomischenModule oder ÖkonomischenObjekte definiert, aus denen das ÖkonomischeModul besteht.



**Abb. 5-16:** Das Konstrukt ÖkonomischesModul

Im folgenden Kapitel sollen die Schnittstellen der Konstrukte der ökonomischen Sicht zu den Objekten der qualitativen Sichten des in Kapitel 4 ausgewählten CIMOSA-Unternehmensmodellierungskonzepts dargestellt werden. Danach wird auf die Generierung der ökonomischen Modelle, in Kombination mit den relevanten Objekten der anderen Sichten, während der verschiedenen Modell-Lebenszyklusphasen eingegangen. Anschließend werden Methoden zur Bewertung von Unternehmensobjekten durch die Konstrukte der ökonomischen Sicht in Kombination mit der Simulation definiert.

## 6 Methoden zur Modellerstellung und Bewertung

Im folgenden Kapitel liegt der Schwerpunkt der Betrachtung auf den Konstrukten zur Beschreibung der Geschäftsprozesse sowie ihrer benötigten Objekte wie Ressourcen, Aufträgen, Produkten oder Informationen.

Zunächst sollen die Schnittstellen zwischen den Konstrukten und Modellsichten zur Beschreibung dieser qualitativen Aspekte und den Konstrukten zur Beschreibung der quantitativen Anwendungsaspekte in der ökonomischen Sicht betrachtet werden.

Die (qualitativen) Konstrukte und ihre Einteilung in Modellsichten, die zur Vereinfachung als qualitative Sichten bezeichnet werden, ist abhängig vom verwendeten Unternehmensmodellierungskonzept. Eine allgemeingültige Definition der Schnittstellen ist daher nicht möglich. Im folgenden sollen die Schnittstellen exemplarisch für das in Kapitel 4 ausgewählte CIMOSA Konzept definiert werden, indem die relevanten Konstrukte identifiziert werden. Die Objekte der qualitativen Sichten sollen dabei möglichst unverändert bleiben, um eine einfache Integration der ökonomischen Sicht in das ausgesuchte Unternehmensmodellierungskonzept zu gewährleisten. Die Eigenschaften und Attribute der identifizierten Objekte müssen dabei von jedem Unternehmenmodellierungsansatz bereit gestellt werden, das zusammen mit der ökonomischen Sicht verwendet werden soll.

Werden zusätzliche Attribute, beziehungsweise Erweiterungen existierender Attribute an den Konstrukten für die Simulation benötigt, so wird dies explizit angemerkt.

### 6.1 Schnittstellen der ökonomischen Sicht zu den qualitativen Modellsichten

Die Konstrukte der qualitativen Sichten beinhalten zum einen die Objekte, die durch die Kennzahlen der ökonomischen Sicht bewertet werden sollen, zum anderen liefern sie die elementaren Kennzahlen an die Konstrukte der ökonomischen Sicht, die dort zu übergeordneten Kennzahlen verdichtet werden.

CIMOSA verfügt über eine Vielzahl an Konstrukten, die sich über die vier Modellsichten und drei Modell-Lebenszyklus-Ebenen (Requirements Definition, Design Specification und Implementation Description) erstrecken.

#### 6.1.1 Die Schnittstelle zur Funktionssicht

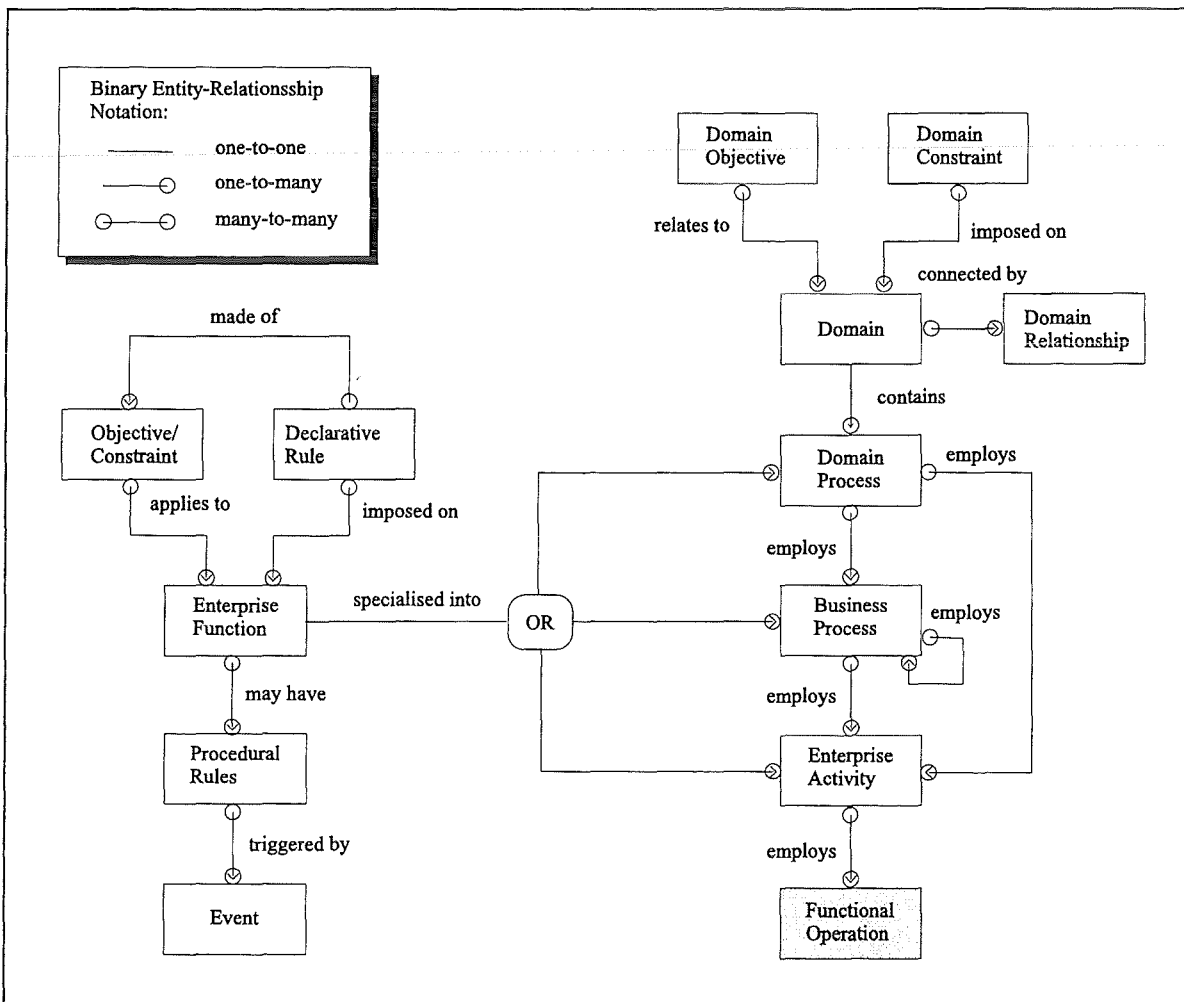
CIMOSA verwendet auf der Requirements Definition Ebene die Konstrukte Domain Process, Business Process und Enterprise Activity (sie werden unter dem Oberbegriff Enterprise



Functions zusammengefaßt), Ereignisse (Events), Verkettungsregeln (Procedural Rules), Ziele/Begrenzungen (Objectives/Constraints), Bereiche (Domains) und Bereichsbeziehungen (Domain Relationships). Ziele und Begrenzungen können durch Regeln verknüpft werden (Declarative Rules). Für die Bereiche können wiederum Ziele und Beschränkungen definiert werden (Domain Objectives, Domain Constraints).

**Abb. 6-1** zeigt die Konstrukte der Funktionssicht in der von CIMOSA verwendeten binären Entity-Relationship-Darstellung. Die Pfeilrichtung zwischen den Entities bestimmt die Zuordnung der Attribute. Das Attribut ist immer dem Entity zugeordnet, von dem der Pfeil ausgeht.

Auf der Design Specification Ebene kommt noch der elementare Vorgang Functional Operation hinzu (er ist in **Abb. 6-1** hellgrau markiert). Konstrukte der Implementation Description Ebene wurden in der Formal Reference Base II für die Funktionssicht noch nicht definiert.



**Abb. 6-1:** Die Hauptkonstrukte der Funktionssicht in binärer Entity-Relationship Darstellung (vgl [AMIC-92])

Wichtig für die ökonomische Sicht sind die nicht-elementaren Geschäftsprozeß-Konstrukte Domain Process, Business Process, Enterprise Activity, der elementare Vorgang Functional Operation sowie das Konstrukt Objective/Constraint.

Das CIMOSA Konzept sieht nur die Prozeßdurchführungszeit als Kennzahl in der Funktions-sicht vor. CIMOSA definiert hierzu das Attribut *Activity Duration* innerhalb der Enterprise Activity beziehungsweise, *Operation Duration* in der Functional Operation. Die Vorgangs-, beziehungsweise Prozeßdurchführungszeit kann als konstanter Wert vom Modellierer vorgegeben oder optional mit Hilfe statistischer Verteilungsfunktionen gestreut werden. Für die Konstrukte Business Process und Domain Process wurden keine Attribute für die Prozeß-durchführungszeit definiert. Die Prozeßdurchführungszeit stellt einen Durchschnittswert über die verwendeten Ressourcen und verarbeiteten Aufträge dar und ist somit auftrags- und res-sourcenunabhängig.

Für eine erste Grobanalyse im Rahmen der Geschäftsprozeßoptimierung ist dieser Wert als elementare Kennzahl ausreichend.

Die statische Betrachtungsweise reicht jedoch nicht mehr aus, wenn im Rahmen einer detail-lierteren Analyse die Prozeßzeiten bei Betrachtung von mehreren Aufträgen und etwaigen Ressourcenengpässen untersucht werden sollen. Hier bietet sich die Simulation als Lösungs-möglichkeit an. Das Attribut zur Definition der Prozeßzeiten muß dann erweitert werden.

Die Ausführungszeit eines Auftrags innerhalb eines elementaren Vorgangs (Functional Ope-ration) ergibt sich aus der Menge zu fertigender Produkte und der Leistung der verwendeten Ressource. Die Maschinenleistung kann ihrerseits wiederum eine unstetige Funktion sein, die von den zu verarbeitenden Produkten abhängt. Das Attribut muß daher um die Definition ei-ner Funktion erweitert werden, welche die Ausführungszeit des elementaren Vorgangs in Ab-hängigkeit des Ressourcen und Funktions- beziehungsweise Steuerungs (Control) -Inputs er-rechnet.

Die Funktion zum Errechnen der Auftragsdurchlaufzeit innerhalb eines elementaren Vorgangs sieht beispielsweise folgendermaßen aus:

$$adz_v(rl, am) = rl * am$$

adz = Auftragsdurchführungszeit

rl = Ressourcenleistung (mittlere Zeit zur Herstellung eines Produkts)

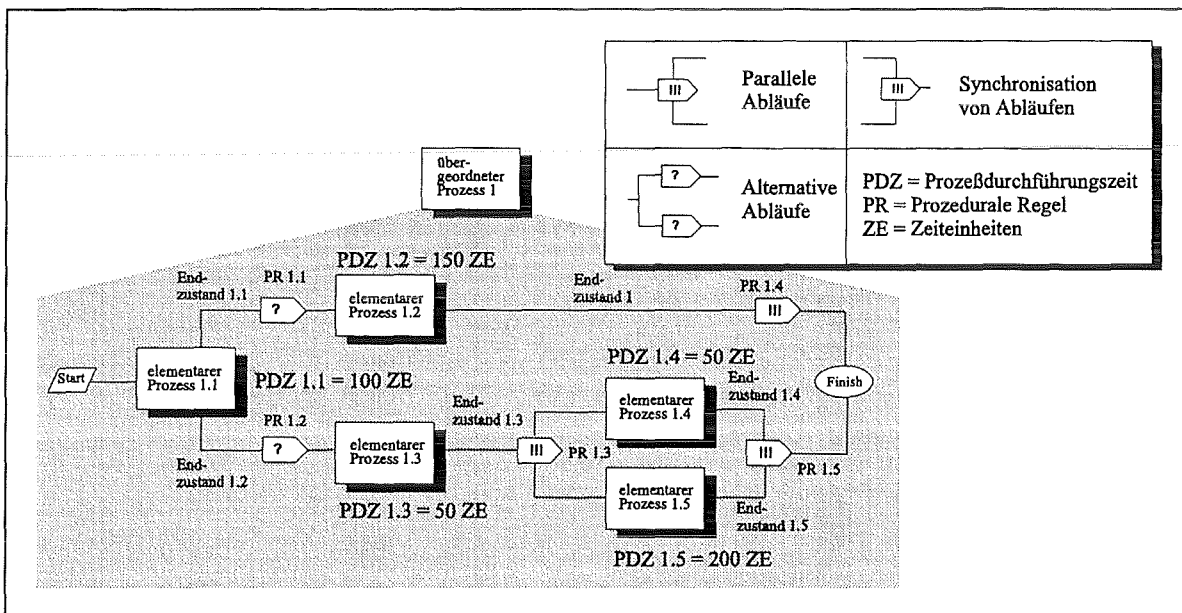
am = Auftragsmenge (in Anzahl Produkten)

v = Vorgang

Die Prozeßdurchlaufzeiten beziehungsweise Auftragszeiten der nicht-elementaren Prozesse Domain Process, Business Process und Enterprise Activity ergeben sich aus den Prozeßdurchlaufzeiten beziehungsweise Auftragszeiten ihrer untergeordneten Prozesse und elementaren Vorgänge sowie in Abhängigkeit der Verkettungsregeln des nicht-elementaren Prozesses (siehe **Abb. 6-2**). Die Verkettungsregeln erlauben die Darstellung alternativer, paralleler und sequentieller Ausführungen von Prozessen. Mit Hilfe der prozeduralen Regeln kann somit eine Auftragsplittung beziehungsweise -zusammenführung dargestellt werden.

Schaltet etwa die prozedurale Regel PR 1.1 in **Abb. 1-3**, so ergibt sich folgende Prozeßdurchlaufzeit für Prozeß 1:  $PDZ\ 1 = PDZ\ 1.1 + PDZ\ 1.2 = 250\ ZE$ .

Schaltet dagegen die prozedurale Regel PR 1.2 in **Abb. 1-3**, so ergibt sich folgende Prozeßdurchlaufzeit für Prozeß 1:  $PDZ\ 1 = PDZ\ 1.1 + PDZ\ 1.3 + \max(PDZ\ 1.4, PDZ\ 1.5) = 350\ ZE$ .



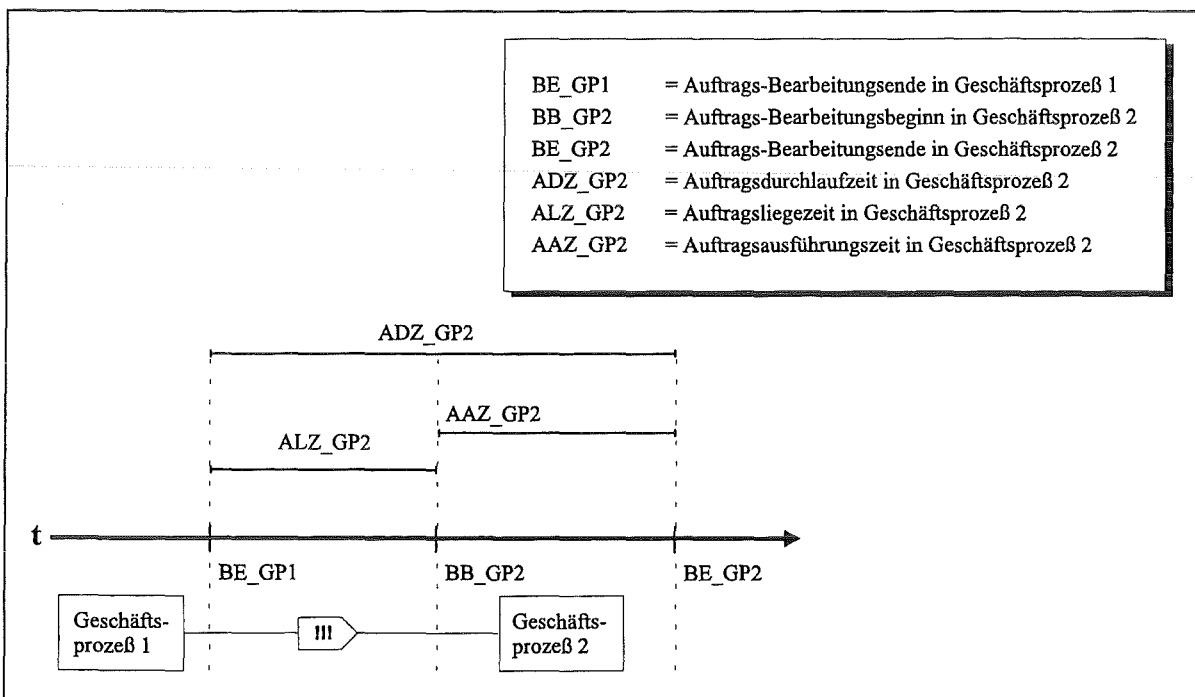
**Abb. 6-2:** Der Einfluß von Verkettungsregeln auf die Ausführungszeit nicht-elementarer Prozesse

Im Rahmen der Simulation lassen sich diese dynamischen Aspekte nicht-elementarer Geschäftsprozesse einfach aus dem Bearbeitungsbeginn und Bearbeitungsende der Geschäftsprozesse errechnen.

**Abb. 6-3** zeigt die Ableitung der Auftragsdurchlaufzeit und Auftragsliegezeit aus dem Bearbeitungsbeginn und Bearbeitungsende der Geschäftsprozesse, welche wiederum durch die Ausführungszeit definiert sind.

Jeder nicht-elementare Prozeß und elementare Vorgang muß daher zusätzlich für die Simulation oder den Betrieb Attribute zur Definition des Prozeß-Beginns und Prozeß-Endes besitzen. Die Werte werden jedoch nicht vom Modellierer vorgegeben, sondern während der Simulation oder des Betriebs ermittelt und stellen elementare Kennzahlen dar, die von Konstrukten der ökonomischen Sicht aggregiert werden. Der Prozeßbeginn definiert ebenfalls den Zeitpunkt der Occurrence Erzeugung während der Modellausführung. Zusätzlich ist ein Attribut zur Identifikation der Occurrence während der Modellausführung notwendig. Der Wert wird ebenfalls automatisch während der Simulation oder des Betriebs generiert.

Das Konstrukt **Objective/Constraint** ist ebenfalls relevant für die ökonomische Sicht. Es ist ein sogenannter *Common Generic Building Block* [AMIC-92] zur Strukturierung der Geschäftsprozesse, das in allen drei Modell-Lebenszyklus-Phasen verwendet wird.



**Abb. 6-3:** Ermittlung von Auftragszeiten innerhalb eines Geschäftsprozesses

Das Konstrukt beschreibt die Ziele und Einschränkungen für Modellierungsbereiche und Geschäftsprozesse beziehungsweise -vorgänge und wird von CIMOSA folgendermaßen definiert [AMIC-92]:

„Objectives describe goals to be fulfilled by a Domain or a Domain Process, Business Process and Enterprise Activity, whereas constraints describe limits imposed on a Domain or a Domain Process, Business Process and Enterprise Activity.“

Ziele und Einschränkungen können entsprechend der hierarchischen Zerlegung der Geschäftsprozesse wiederum in Unterziele und -einschränkungen aufgeteilt werden.

**Abb. 6-4** zeigt das Template des CIMOSA Konstrukts Objective/Constraint. Das Konstrukt kann zur Definition qualitativer und quantitativer Ziele und Einschränkungen verwendet werden, die während der Modellierung (*System Design*) oder des Betriebs (*System Operation*) berücksichtigt werden müssen.

<b>OBJECTIVE/CONSTRAINT</b>	
Type:	[relevant category - select from list <name>]
Identifier	[OC-<Unique Identifier>]
Name:	[name of the Objective/Constraint in the form: <noun1> <noun2> <noun3> where <noun1>: subject of the objective or constraint <noun2>: either <target> or <constraint> <noun3>: object of the objective or constraint]
Design Authority	[name of a person and department with the authority to design/maintain this particular instance]
DESCRIPTION:	[textual description. Mandatory]
SUBJECT:	[<identifier> / <name> of the Enterprise Object instance which is the subject of the objective or constraint. Optional]
TARGET:	[<identifier> / <name> of the Information Element of the Enterprise Object instance which is the target of the objective or constraint. Only used if SUBJECT entry is defined]
VALUES:	[<value1> / <value2> where <value1> = lower limit <value2> = upper limit Note: If only one value is given the <value2> must contain <minimum> or <maximum> or <absolute>. Only used if SUBJECT entry is defined]
VALIDITY:	[data from: <yy.mm.dd> / date to <yy.mm.dd> where any date can be replaced by <unlimited>. Optional]
INHERITED FROM:	[List of <identifier> / <name> of Objective/Constraint instances from which this Objective/Constraint instance is inherited]

**Abb. 6-4** Template des CIMOSA Konstrukts Objective/Constraint [AMIC-92]

Qualitative Ziele und Einschränkungen werden durch Text-Statements ausgedrückt und haben keine Bedeutung für die ökonomische Sicht.

Bei quantitativen Zielen und Einschränkungen existiert eine Referenz zur Informationssicht zu den Konstrukten Enterprise Objects und Information Elements. Eine Investition kann bei-

spielsweise als Enterprise Object modelliert werden mit einem Information Element als Attribut zur Definition der Höhe des Investitionsvolumens.

Für die ökonomische Sicht müssen Analyse- und Optimierungsfunktionen dargestellt werden können, die eine Verknüpfung von Information Elements mit Kennzahlen der ökonomischen Sicht, beziehungsweise zwischen den Kennzahlen untereinander, erlauben.

In den offenen Punkten zum Konstrukt Objective/Constraint der CIMOSA Formal Reference Base II wird dieser Punkt angesprochen [AMIC-92]:

„CIMOSA recognizes that other ways of defining objectives and constraints exist, especially from a mathematical point of view. Further investigation must be made to enlarge the set of objectives and constraints covered by CIMOSA.“

Es wird eine Lösungsmöglichkeit angedeutet, indem die Objectives als Zielfunktion dienen und die Nebenbedingungen durch Constraints dargestellt werden [AMIC-92]:

„Objectives are defined as objective functions which tend to optimize (i.e. maximise or minimise) one or more criteria under some constraints; constraints are defined as numerical expressions on variables of the objective functions“

Da ein Objective (Zielfunktion) oder Constraint (Nebenbedingung) nach der CIMOSA Definition nur jeweils einen Wert (Kennzahl oder Information Element) enthalten kann, muß die Verknüpfung der Kennzahlen und Information Elements mit Hilfe arithmetischer Operatoren in der ökonomischen Sicht (siehe Kapitel 6.2) erfolgen.

Die Schnittstellen zwischen dem CIMOSA Konstrukt Objective/Constraint und der ökonomische Sicht werden durch die Attribute SUBJECT und TARGET gebildet.

SUBJECT referenziert ein Ökonomisches Objekt und TARGET eine CalculationFunction innerhalb des Ökonomischen Objekts. Objectives/Constraints können somit Domainübergreifend definiert werden. Mit dem Attribut TARGET wird eine CalculationFunction ausgewählt.

Durch das Attribut VALUES können Ober- und Untergrenzen für Werte der CalculationFunctions über das Konstrukt Information Element der Informationssicht definiert werden. Das Attribut VALIDITY definiert zeitliche Restriktionen auf den Wert der im Attribut TARGET angegebenen CalculationFunction.

Das folgende Beispiel soll die Anwendung des Konstrukts verdeutlichen. Die Attribute Type, Identifier, Name, Design Authority, DESCRIPTION, VALIDITY und INHERITED FROM wurden hier nicht mit modelliert, da sie für das Beispiel nicht relevant sind.

Die Investition für eine Montagelinie in Höhe von 5.000.000 DM, die mit Hilfe des Ökonomischen Objekts Domain-Fertigung betrachtet wird, muß sich spätestens nach 4 Jahren auszahlen. Der Kalkulationszins soll bei 7 % liegen. Als Kennzahl wird der Kapitalwert genommen der  $\geq 0$  sein muß.

Die Zielfunktion und die Nebenbedingungen sehen folgendermaßen aus:

max. Kapitalwert

u.d.N. Kapitalwert  $\geq 0$ ,

Investitionsbudget = 5.000.000

Amortisationsdauer = 4 Jahre

Kalkulationszins = 7 %

Die Optimierungsfunktion wird dann folgendermaßen modelliert (siehe **Abb. 6-5**, **Abb. 6-6**, **Abb. 6-7**, **Abb. 6-8** und **Abb. 6-9**).

Identifizier	OC-1/Objective
SUBJECT:	EO-Domain1/Fertigung
TARGET:	CF-2/Kapitalwert
VALUES:	max
INHERITED FROM:	NIL

**Abb. 6-5:** Definition der Zielfunktion „max. Kapitalwert“

Identifizier	OC-2/Constraint
SUBJECT:	EO-Domain1/Fertigung
TARGET:	CF-2/Kapitalwert
VALUES:	$\geq 0$
INHERITED FROM:	OC-1/Objective

**Abb. 6-6:** Definition der Nebenbedingung „Kapitalwert  $\geq 0$ “

Identifizier	OC-3/Constraint
SUBJECT:	EnO-IN4481/Investition
TARGET:	IE-111/Investitionsbudget
VALUES:	5.000.000
INHERITED FROM:	OC-1/Objective

**Abb. 6-7:** Definition der Nebenbedingung „Investitionsbudget = 5.000.000“

Identifizier	OC-4/Constraint
SUBJECT:	EnO-IN4481/Investition
TARGET:	IE-111/Amortisationsdauer
VALUES:	4 Jahre
INHERITED FROM:	OC-1/Objective

**Abb. 6-8:** Definition der Nebenbedingung „Amortisationsdauer = 4 Jahre“

Identifizier	OC-4/Constraint
SUBJECT:	EnO-IN4481/Investition
TARGET:	IE-112/Kalkulationszins
VALUES:	7 %
INHERITED FROM:	OC-1/Objective

**Abb. 6-9:** Definition der Nebenbedingung „Kalkulationszins = 7 %“

Objective/Constraint ist somit das einzige Konstrukt der Funktionsicht, bei dem im Template eine Referenz auf Konstrukte der ökonomischen Sicht (das ÖkonomischeObjekt und die CalculationFunction) erfolgen muß.

Durch die Konstrukte der ökonomischen Sicht und das Konstrukt Objective/Constraint ist es nun möglich, Zielfunktionen und Nebenbedingungen für Geschäftsprozeß-Modelle sowie implementierte Geschäftsprozesse zu definieren, die durch die Werte der Kennzahlen der ökonomischen Sicht überprüft werden können.

### 6.1.2 Die Schnittstelle zur Informationssicht

CIMOSA verwendet in der Informationssicht einen Object-Entity-Relationship-Attribute (OERA) Ansatz zur Beschreibung des Datenmodells von Unternehmen [AMIC-92]. Der Ansatz basiert auf der ANSI/SPARC 3-Schema Architektur<sup>16</sup> und besteht aus 14 verschiedenen Konstrukten innerhalb der drei Modell-Lebenszyklusphasen (siehe **Abb. 6-10**).

Auf Requirements Definition Ebene werden zunächst die benötigten Daten und Informationen gesammelt und mit Hilfe eines objekt-orientierten Ansatzes modelliert. Zur Design Specification Ebene hin findet ein Methodenwechsel statt, da hier der Ansatz des semantischen Datenmodells der Entity-Relationship-Attribute-Methode zur Strukturierung des globalen Datenmodells (in Form von Conceptual Schema und External Schemata) verwendet wird. Der Me-

<sup>16</sup> ANSI/X3/SPARC Study Group on Database Management Systems, Interim Report 75-02-08. Erhältlich bei ACM-SIGMOD, Vol.7, No.2, 1975.



thodenübergang stellt für den Datenmodellierer nach wie vor ein Problem dar, da in der Formal Reference Base II von CIMOSA hierzu noch keine geeigneten Methoden und Regeln zur Verfügung gestellt werden.

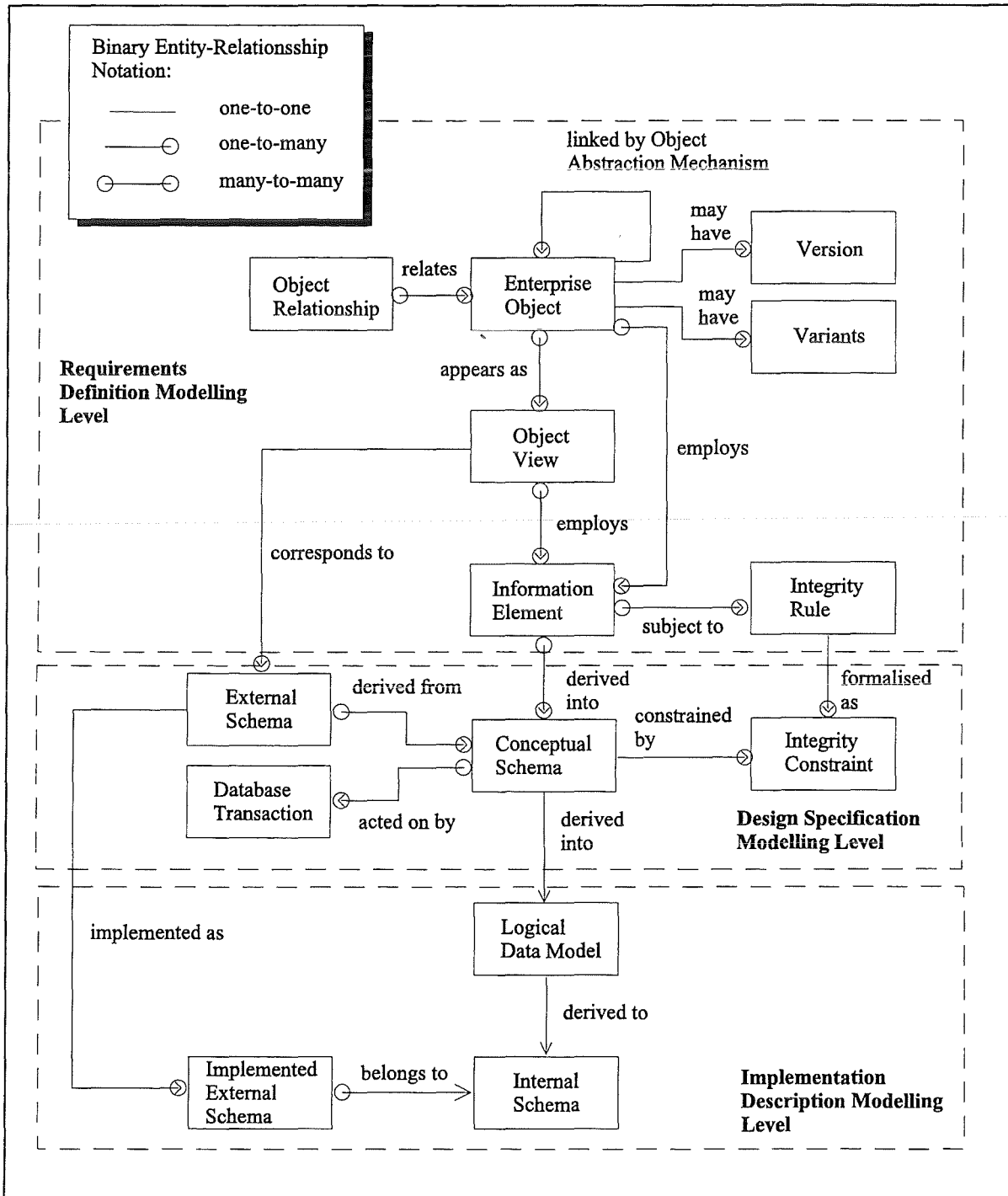


Abb. 6-10: Die Konstrukte der Informationssicht in binärer Entity-Relationship Darstellung [AMIC-92]

Auf der Implementation Description Ebene wird schließlich das Implementationsmodell (Internal Schema), basierend auf dem Konzept relationaler Datenbanken, abgeleitet.

Relevant für die ökonomische Sicht sind die beiden Konstrukte Object View und Information Element. Das Konstrukt Object View ist das Bindeglied zur Funktionssicht. Es definiert die Eingangs- und Ausgangsinformationen und Objekte (bis auf die Ressourcen) der Geschäftsprozesse. Object Views beschreiben spezielle Aspekte von Unternehmensobjekten (Enterprise Objects). Sie können beispielsweise ein Objekt durch seine physikalischen oder informativen Eigenschaften beschreiben. Ein Information Element ist eine elementare (unteilbare) Information. Sie repräsentiert die niedrigste Ebene der Informationszerlegung. Eine Instanz eines Information Elements kann dabei von mehreren Object Views genutzt werden.

Zur Vereinfachung sollen die Begriffe Object View und Information Element sowohl auf Requirements Definition als auch auf Design Specification Ebene verwendet werden. Die Vereinfachung ist insofern zulässig, als daß die Object View auf Design Ebene auf das Konstrukt External Schema abgebildet wird (in Form von Entities), während das Information Element sich in den Konstrukten External Schema und Conceptual Schemata wiederfindet (in Form von Attributen von Entities).

Mit Hilfe der Object View werden Fertigungsaufträge, Kundenaufträge und Produkte modelliert, während Information Elements spezifische Eigenschaften der Object Views wie etwa Mengen und Preise von Produkten darstellen. Die Information Elements liefern somit elementare Kennzahlen für die ökonomische Sicht, etwa den Soll-Auslieferungstermin eines Kundenauftrags, während Object Views durch die aggregierten Kennzahlen der ökonomischen Sicht bewertet werden. Eine notwendige Erweiterung für die ökonomische Sicht stellt die Berücksichtigung statistischer Abweichungen von Attributswerten in den Konstrukten für die Simulation dar.

### 6.1.3 Die Schnittstelle zur Ressourcensicht

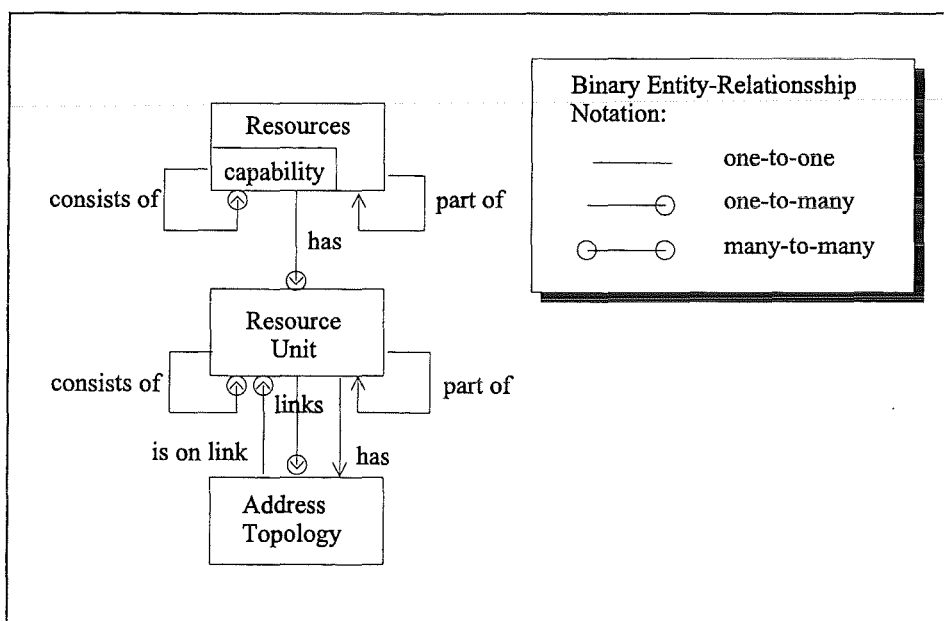
Die Ressourcensicht existiert bei CIMOSA erst ab der Design Specification Ebene und dient zur Modellierung von Ressourcen wie Maschinen, Menschen und Anwendungsprogrammen. Die Aufgabe der Ressourcen ist die Verarbeitung der Funktions-Inputs der Geschäftsprozesse in entsprechende Funktions-Outputs.

Es existieren drei Konstrukte: Resource, Resource Unit und Address Topology (siehe **Abb. 6-11**). Relevant für die ökonomische Sicht sind die beiden Konstrukte Resource und Resource Unit. Das Konstrukt Resource repräsentiert die Verbindung zur Funktionssicht (in Form des Resource Inputs) und stellt eine generische Klasse von Ressourcen dar. Für die ökonomische

Sicht ist es erforderlich zur Identifikation der zu bewertenden Ressourcen, den Resource Units.

Eine Resource Unit stellt eine spezifische Ressource aus einer generischen Klasse von Ressourcen (den Resources) dar. Durch die beiden Attribute STATIC CHARACTERISTICS und DYNAMIC CHARACTERISTICS können Listen quantitativer Kriterien und Eigenschaften von Ressourcen beschrieben werden. Dynamische Eigenschaften ändern sich während der Simulation oder des Betriebs, etwa die aktuelle Kapazität, während die statischen Eigenschaften, etwa der Zeitpunkt der Anschaffung, konstant sind.

Das Konstrukt liefert durch diese Attribute zum einen elementare Kennzahlen für die ökonomische Sicht (etwa die Maschinenleistung, den Anschaffungspreis der Maschine oder den Maschinenkostensatz), zum anderen können die modellierten Objekte mit Hilfe der aggregierten Kennzahlen in der ökonomischen Sicht bewertet werden.

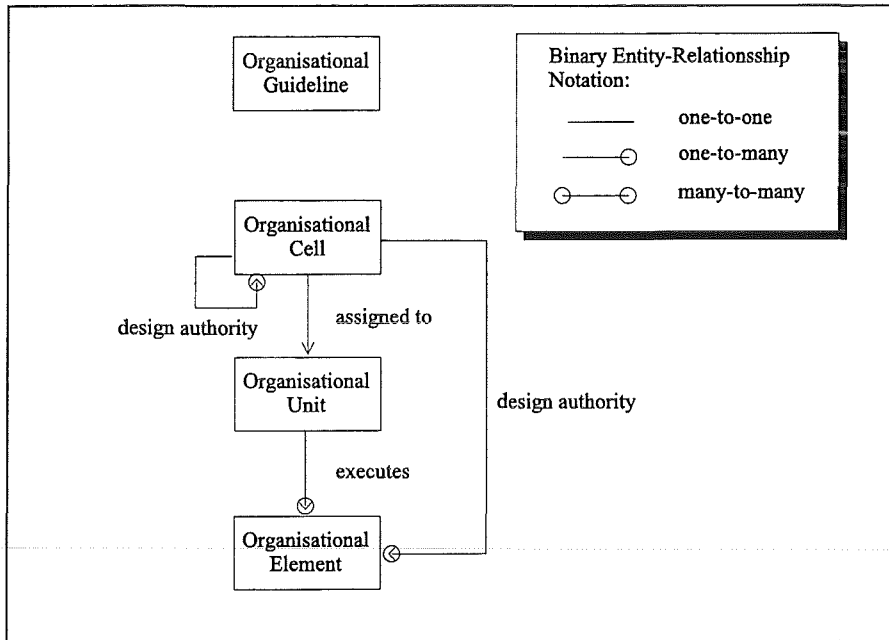


**Abb. 6-11:** Die Konstrukte der Ressourcensicht in binärer Entity-Relationship Darstellung [AMIC-92]

Für die Anwendbarkeit des Konstrukts in der ökonomischen Sicht im Rahmen der Simulation muß die Möglichkeit gegeben sein, die Attribute der Resource Unit um Funktionen zu erweitern, um beispielsweise die Abhängigkeiten der Maschinenleistung von bestimmten Eingangsprodukten darzustellen. Es muß wiederum die Möglichkeit vorgesehen werden, daß die Werte durch statistische Verteilungsfunktionen zufällig variiert werden können.

### 6.1.4 Die Schnittstellen zur Organisationssicht

Die Organisationssicht dient zur Modellierung der Ablauf- und Aufbauorganisation innerhalb der Unternehmen. CIMOSA definiert hierzu die 4 Konstrukte Organisational Guidelines, Organisational Cells, Organisational Units und Organisational Elements (siehe **Abb. 6-12**).



**Abb. 6-12:** Die Konstrukte der Organisationssicht in binärer Entity-Relationship Darstellung [AMIC-92]

Relevant für die ökonomische Sicht sind die beiden Konstrukte Organisational Cell und Organisational Element.

Eine Organisational Cell dient zur hierarchischen Strukturierung eines Unternehmens und stellt einen organisatorischen Bereich (etwa eine Abteilung) dar. Das Konstrukt wird in der ökonomischen Sicht vom Konstrukt KennzahlenObjekt referenziert (durch das Attribut *RelevantFür*) und dient dort zur Definition der organisatorischen Bereiche, für welche die Kennzahl interessant ist (beispielsweise die Produktion oder der Vertrieb). Die Referenz erfolgt somit aus der ökonomischen Sicht.

Das Konstrukt Organisational Element (siehe **Abb. 6-13**) modelliert Verantwortungsbereiche (Areas of Responsibility) beziehungsweise Authorisierungsbereiche (Areas of Authority) und bildet die Schnittstelle der Organisationssicht zu den anderen CIMOSA Sichten.

Die Verbindung zwischen Organisational Cell und Organisational Element erfolgt durch das Konstrukt Organisational Unit, das eine Arbeitsplatzbeschreibung repräsentiert.

Die Aufgabe des Konstrukts in Zusammenhang mit der ökonomischen Sicht ist zu definieren, wer beispielsweise verantwortlich ist, Kennzahlen zu überwachen, oder autorisiert ist, Kennzahlen festzulegen. Die Schnittstelle zur ökonomischen Sicht wird durch das Attribut *COMPRISING* gebildet, indem eine Referenz zu einer spezifischen Ausprägung einer Kennzahl über das Konstrukt CalculationFunction gesetzt werden kann.

ORGANISATIONAL ELEMENT	
Identifier:	[OE-<Unique Identifier>]
Name:	[name of the Organisational Unit in the form: <adjective> <noun> <noun3> where <adjective > qualifying the Organisational Element <noun> related to the scope of the Organisational Element]
Design Authority	[name of a person and department with the authority to design/maintain this particular instance]
DESCRIPTION:	[textual description of the purpose of the Organisational Element]
EXECUTION:	[Indicates the related Organisational Unit which executes the Organisational Element]
COMPRISING:	[list of related Objects (defined in the other views) which are linked to the Organisation View by this Organisational Element]
RESPONSIBILITY:	[list of different types of responsibility given to this Organisational Element - select from list]
AUTHORITY:	[list of different types of authority necessary to fulfill this Organisational Element - select from list]
CONSTRAINT:	[on occurrence of objects in form of <identifier/name>]

**Abb. 6-13:** Das CIMOSA Konstrukt Organisational Element [AMIC-92]

Die folgende Abbildung zeigt die graphische Darstellung der Beziehung zwischen dem Konstrukt Organisational Element und den Konstrukten CalculationFunction und ÖkonomischesObjekt (siehe **Abb. 6-14**).

Beispielsweise können die in **Abb. 6-14** dargestellten Organisational Elements 1 und 2 einem Mitarbeiter (Organisational Unit) innerhalb einer Organisational Cell diverse Zugriffsrechte auf die Kennzahlen Durchlaufzeit (CalculationFunction 1) und Bearbeitungskosten eines Fertigungsauftrags (CalculationFunction 2) innerhalb der flexiblen Fertigungsinsel 1 (ÖkonomischesObjekt 1) zuweisen. Organisational Element 3 definiert zum Beispiel Zugriffsrechte auf die Kennzahl Durchlaufzeit eines Fertigungsauftrags (CalculationFunction 3) innerhalb der flexiblen Fertigungsinsel 2 (ÖkonomischesObjekt 2).

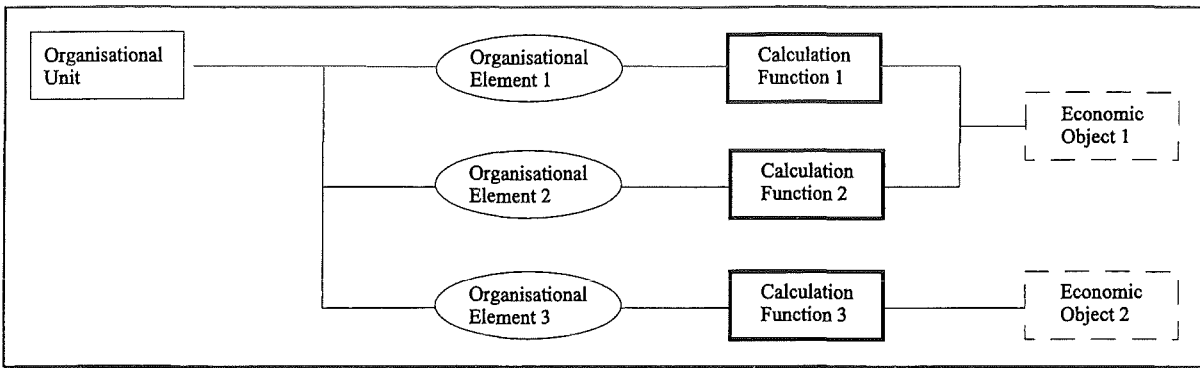


Abb. 6-14: Das Konstrukt Organizational Element und die ökonomische Sicht

Die Referenz erfolgt somit bei diesem Konstrukt aus der Organisationssicht und muß bei der Erstellung der Organizational Elements berücksichtigt werden.

Abb. 6-15 zeigt nochmals zusammenfassend die Schnittstellen zwischen den Konstrukten der ökonomischen Sicht und den Konstrukten und Konstruktklassen (Objects und Enterprise Functions) der qualitativen CIMOSA-Sichten in EXPRESS-G Darstellung.

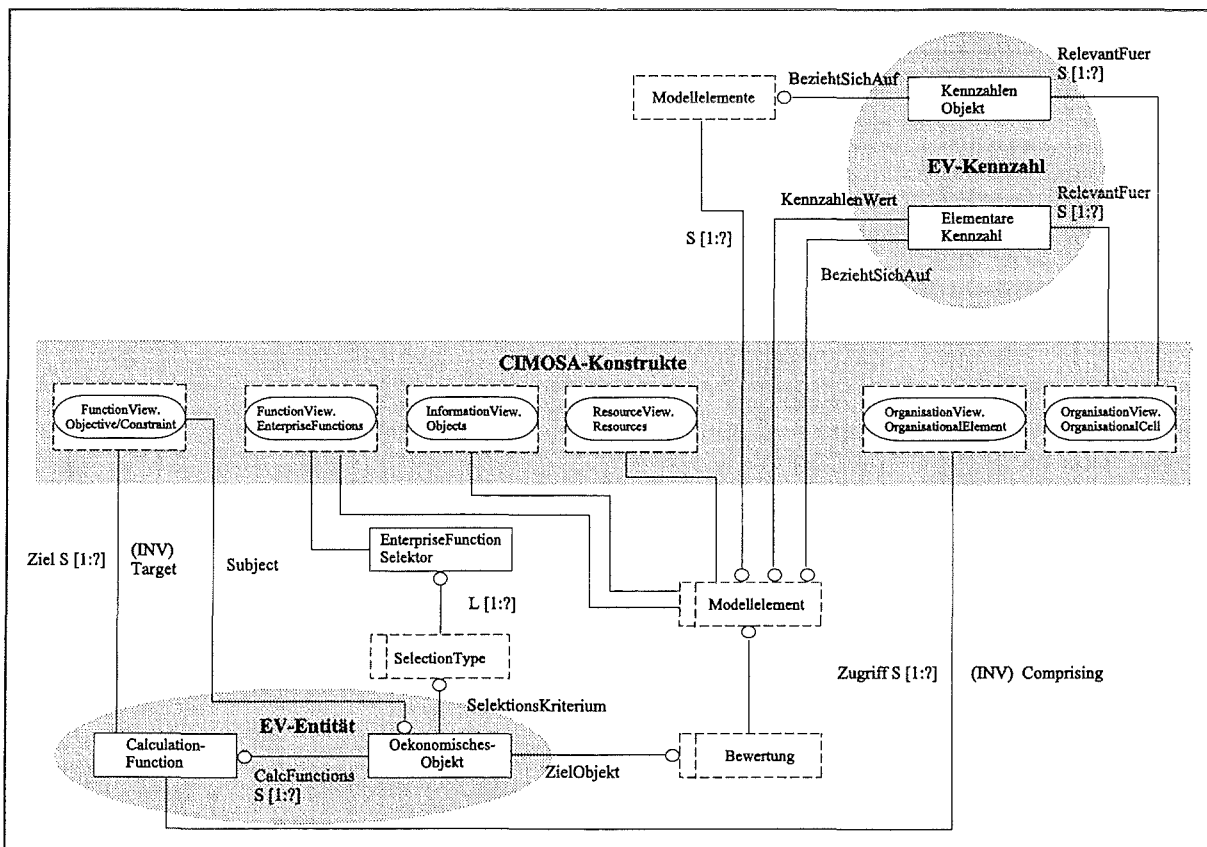


Abb. 6-15: Schnittstellen der Konstrukte der ökonomischen Sicht zu den CIMOSA Sichten

## 6.2 Vorgehensweisen zur Generierung der Modelle

Im folgenden Kapitel soll der iterative Aufbau der Modelle der ökonomischen Sicht sowie der entsprechenden Schnittstellenkonstrukte in den qualitativen Sichten während den Modell-Lebenszyklus-Phasen definiert werden.

Der Lebenszyklus der Modelle der ökonomischen Sicht ist vom Lebenszyklus des verwendeten Unternehmensmodellierungskonzepts, in diesem Fall des CIMOSA Konzepts, abhängig.

Abb. 6-16 zeigt den generellen Ablauf der Erstellung, Analyse, Optimierung, Implementierung und des Betriebs von Geschäftsprozessen, der nun auf die CIMOSA Modell-Lebenszyklusphasen abgebildet werden soll und in Kapitel 6.3 weiter erläutert wird.

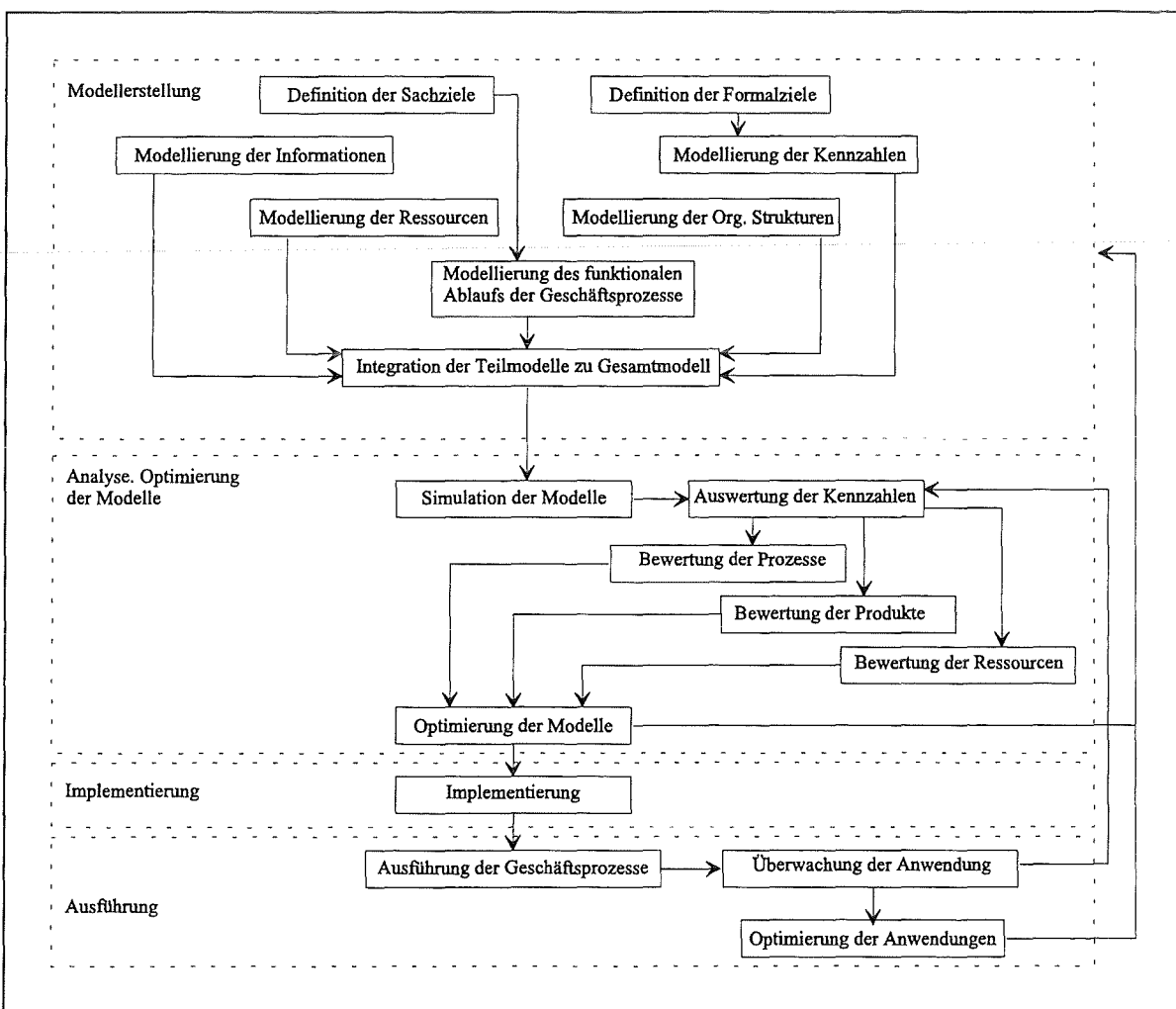


Abb. 6-16: Ablaufschritte zur Optimierung der Geschäftsprozesse

### 6.2.1 Techniken zur Generierung der Requirements Definition Modelle

Auf der Requirements Definition Ebene erfolgt die Grobspezifikation der Modelle, dabei müssen die Modelle noch nicht konsistent sein.

Die Generierung der Modelle geschieht in den folgenden Schritten:

- Definition der Ziele, die vom Modell beziehungsweise der Implementierung erreicht werden sollen beziehungsweise der Einschränkungen, die berücksichtigt werden müssen, durch das Konstrukt Objective/Constraint in der Funktionssicht.
- Die quantitativen Objectives/Constraints werden als Kennzahlen (durch das Konstrukt KennzahlenObjekt) in der ökonomischen Sicht abgebildet. Hierdurch wird ein Bezug zwischen den Zielen und Einschränkungen und den Kennzahlen geschaffen.
- Aufbau der funktionalen Modelle (Domains, Domain Processes, Business Processes und Enterprise Activities) sowie Definition ihrer Inputs und Outputs in Form von Object Views. Modellierung der Inputs und Outputs in der Informationssicht durch Zerlegung der Object Views in Information Elements.
- CIMOSA definiert auf der Requirements Definition Ebene noch keine Konstrukte zur Modellierung von Ressourcen. Um dennoch ein konsistentes Modell für die ökonomische Sicht zu bekommen, müssen die Ressourcen als physikalische Object Views in der Informationssicht modelliert werden und in Form von Control Inputs mit den Geschäftsprozessen verbunden werden.
- Definition der Elementaren Kennzahlen durch Identifikation der entsprechenden Attribute in der Funktions-, Ressourcen und Informationssicht.
- Erstellung der Kennzahlensysteme durch die Verknüpfung von Elementaren Kennzahlen und KennzahlenObjekten (falls notwendig durch die Definition zusätzlicher KennzahlenObjekte).
- Falls erforderlich, Modularisierung der KennzahlenObjekte durch das Konstrukt KennzahlenModul.

Diese Grobmodelle die im Rahmen der Istanalyse oder eines ersten Sollkonzepts erstellt werden, werden auf Design Specification Ebene weiter detailliert und gegebenenfalls simuliert.

### 6.2.2 Techniken zur Generierung der Design Specification Modelle

Die Design Specification Ebene dient zum Aufbau eines konsistenten ablauffähigen Modells. Nach der Modellerstellung kann die Simulation der Modelle erfolgen. Das Modell der ökonomischen Sicht wird dabei in Verbindung mit der Funktions-, Informations-, Ressourcen-



und Organisations-Sicht mit Hilfe der Ökonomischen Objekte simuliert. Durch Variation der Simulationseingangsparameter können alternative Szenarien durchlaufen werden.

Die Generierung der Modelle geschieht in den folgenden Schritten:

- Detaillierung der Funktions- und Informationsmodelle unter Verwendung der definierten CIMOSA Konstrukte (etwa der Functional Operation).
- Ersetzen der physikalischen Object Views zur Modellierung von Ressourcen durch das Konstrukt Resource Unit in der Ressourcen Sicht.
- Referenzierung der nun zusätzlich verwendeten Attribute durch das Konstrukt Elementare Kennzahlen in der ökonomischen Sicht.
- Falls notwendig, Definition zusätzlicher Kennzahlen Objekte um das Kennzahlensystem konsistent zu halten.
- Modellierung der organisatorischen Strukturen durch die Konstrukte der Organisations-sicht.
- Zuordnung von Kennzahlen Objekten zu organisatorischen Bereichen, für welche die Werte der Kennzahlen wichtig sind. Dies geschieht durch Referenzierung der Instanzen des Konstrukts Organisational Cell.
- Verknüpfung der Ziele (Zielfunktion) und Einschränkungen (Nebenbedingungen) zu Optimierungsfunktionen. Abbildung der Optimierungsfunktionen und der Analyseziele auf spezifische Kennzahlen durch das Konstrukt CalculationFunction. Festlegung von zulässigen Wertebereichen für die CalculationFunctions durch das Konstrukt Information Element.
- Definition der Bereiche und Objekte, die betrachtet und bewertet werden sollen, durch Modellierung der Ökonomischen Objekte. Zuordnung von Kennzahlen zu den Ökonomischen Objekten mit Hilfe der CalculationFunctions. Falls neue CalculationFunctions benötigt werden, so ist darauf zu achten, daß diese ebenfalls über eine Referenz zu den Zielen und Einschränkungen verfügen. Dies kann zu einer erneuten Verfeinerung der Ziele und Einschränkungen führen.
- Definition der Zugriffsrechte auf spezifische Kennzahlen durch Zuordnung der CalculationFunctions zu Organisational Elements.
- Identifikation der Kennzahlen, die für die Simulation wichtig sind, und Kennzahlen, die während des Systembetriebs überwacht werden müssen. Dies geschieht durch die Definition der CalculationFunction-Typen.

- Definition der Triggerkriterien der Ökonomischen Objekte, wie etwa die Festlegung der Erhebungszeitpunkte, beziehungsweise -räume.
- Falls notwendig, Modularisierung der Ökonomischen Objekte durch das Konstrukt Ökonomisches Modul.

### 6.2.3 Techniken zur Generierung der Implementation Description Modelle

Die Implementation Description Phase soll nur kurz angedeutet werden. Zum einen wurden in der CIMOSA Formal Reference Base II noch nicht alle Konstrukte für diese Phase definiert, zum anderen liegt der Schwerpunkt der Arbeit in der Bewertung und Optimierung der Modelle und nicht in der Implementierung beziehungsweise Ausführung der Modelle in einer realen Umgebung.

Die Implementation Description Ebene definiert den Übergang vom Modell zur implementierten ausführbaren Anwendung. Das Modell wird um implementations-abhängige Parameter (wie etwa Initialisierungsdaten und Kommunikationskanäle) erweitert. Es werden reale Produkte (Maschinen, Datenbanken, Netzwerke) ausgewählt und die benötigten Dienste der integrierenden Infrastruktur zur Ausführung der implementierten Modelle definiert.

Die Hauptunterschiede für die ökonomische Sicht zur Design Specification Phase bestehen aus den folgenden zwei Punkten:

- Es werden nur Kennzahlen zur Überwachung der implementierten Prozesse verwendet. Die Calculation Functions müssen alle vom Typ „Betrieb“ sein.
- Die elementaren Kennzahlen sind keine Simulationsdaten mehr, sondern werden direkt von realen Ressourcen geliefert. Simulationsparameter wie statistische Abweichung entfallen. Die Daten werden beispielsweise von den Ressourcen in eine Datenbank geschrieben, die durch das implementierte Informationsmodell spezifiziert und ausgewählt wurde.

## 6.3 Die Bewertungs- und Analysesystematik

Im folgenden Kapitel wird die Verwendung der Konstrukte der ökonomischen Sicht zur Bewertung von Unternehmensmodell-Objekten betrachtet. Die Bewertung und Analyse der Objekte erfolgt mit Hilfe der Simulation und der Kennzahlenanalyse.

Zunächst soll der für die Simulation wichtige Unterschied zwischen Instanzen und Occurences nochmals verdeutlicht werden.

Bei der Modellierung werden nur Instanzen von Objekten betrachtet. Die Objekte werden dabei durch Definition ihrer Attribute charakterisiert. Während der Simulation haben die Instan-

zen mehrere Ausprägungen, die als Occurences bezeichnet werden. Den Attributen der Objekte sind jetzt konkrete Werte zugeordnet. Die Werte können entweder als Simulationsinput fest vordefiniert werden, oder während der Simulation dynamisch entstehen, indem sich die Attributwerte über die Zeit ändern.

Von zentraler Bedeutung für die Kennzahlenanalyse und die Simulation ist das ÖkonomischeObjekt. Der Modellierer bestimmt die Tiefe der Kennzahlenanalyse vor der Simulation durch die Auswahl der verwendeten Calculation Functions. In der Regel wird der Modellierer zunächst Spitzenkennzahlen in den ÖkonomischenObjekten festlegen. Erst wenn diese Werte einen vorgegeben Bereich über- oder unterschreiten, wird er detailliertere Kennzahlen auswählen. Dies kann bis zu den elementaren Kennzahlen gehen.

Im ÖkonomischenObjekt sind neben der Auswahl der Kennzahlen die Attribute *Getriggert-Durch*, *SelektionsKriterium* und *ZielObjekt* für die Analyse entscheidend.

Bei allen Kennzahlen, die für Objekte errechnet werden sollen und die an die Ausführung eines bestimmten Prozesses gekoppelt sind, erfolgt die Triggerung durch ein Ereignis (etwa die Auftragsausführungszeit während eines bestimmten Fertigungsschrittes). Hierzu muß eine Kopplung zwischen dem zu bewertenden Objekt und dem triggernden Prozeß erfolgen.

Die Instanz des zu bewertenden Objekts wird im Attribut *ZielObjekt* angegeben. Der Modellierer wählt aus der Menge sämtlicher Prozesse zunächst die Prozesse heraus, die das zu bewertende Objekt entweder als Function oder Resource Input/Output haben. In einem zweiten Schritt wird ein konkreter Prozeß ausgesucht und im Attribut *SelektionsKriterium* als zu triggernder Prozeß angegeben.

Bei vielen Kennzahlen ist eine Zuordnung von Objekt-Occurences zu bestimmten Prozeß-Occurences nicht relevant, sondern die Zuordnung der Objekt-Occurences zur Objekt-Instanz des zu bewertenden Objekts. Dies gilt beispielsweise bei der Errechnung von Durchschnittswerten (etwa die mittlere Auftragsdurchlaufzeit). Der Modellierer wird hier ein ÖkonomischesObjekt aufbauen, das durch eine Zeitvorgabe getriggert wird.

Im Attribut *SelektionsKriterium* wird das Trigger-Intervall angegeben (beispielsweise sollen die Kennzahlen täglich errechnet werden). Die zu bewertenden Objekte werden als Input (entweder als Instanz oder als spezifische Occurence) direkt in der Kennzahlenfunktion des KennzahlenObjekts angegeben. Der Modellierer kann so etwa eine beliebige Anzahl an Ressourcen bewerten, indem er Calculation Functions verwendet, welche auf das gleiche KennzahlenObjekt verweisen, mit unterschiedlichen Parameterausprägungen im ÖkonomischenObjekt verwendet. Im Attribut *ZielObjekt* wird festgelegt, wie groß der Betrachtungszeitraum

sein soll (beispielsweise sollen alle Kennzahlen betrachtet werden, die innerhalb einer Woche angefallen sind).

Auf diese Weise läßt sich auch eine Wirtschaftlichkeitsanalyse von Ressourcen durchführen. Die Kosten der Ressource werden über den Zeitraum der prognostizierten Lebensdauer oder gewünschten Amortisationszeit (beispielsweise jeden Monat) erfaßt.

**Tab. 6-1** zeigt beispielhaft die Zuordnung von Kennzahlen, die für die Geschäftsprozeß-Analyse wichtig sind, zu den zwei Trigger-Ausprägungen des Ökonomischen Objekts.

**Tab. 6-1:** Kennzahlen und die Trigger-Kriterien zu ihrer Errechnung

Kennzahl \ Trigger-Kriterium	Ereignis	Zeit
Auftragsdurchlaufzeit/Prozeß	X	
Auftragsausführungszeit/Prozeß	X	
Auftragsliegezeit/Prozeß	X	
Produktkosten/Prozeß	X	
mittlere Auftragsausführungszeit		X
mittlere gewichtete Auftragsdurchlaufzeit		X
mittlere Prozeßdurchlaufzeit		X
Ressourcenauslastung/Ressource		X
mittlere Prozeßkosten		X
Wirtschaftlichkeit einer Ressource		X

Im folgenden Kapitel wird die software-technische Implementierung des Ansatzes behandelt.

## 7 Software-Technische Umsetzung

Im folgenden Kapitel wird die prototypische software-technische Implementierung eines rechnerunterstützten Werkzeugs vorgestellt, das den Anwender bei der Analyse der Geschäftsprozesse unterstützen soll.

Der Prototyp, der als LeanMcCIM bezeichnet wurde, ermöglicht die Modellierung, Bewertung und Simulation von Geschäftsprozessen und Unternehmensobjekten wie Ressourcen, Aufträgen und Produkten nach dem CIMOSA Konzept. Er wurde zunächst auf einem 386 PC mit 40 MHz und 16 MB Arbeitsspeicher sowie einem Pentium PC mit 90 MHz und 32 MB unter dem Betriebssystem MS-Windows 3.1 entwickelt.

Zur Begrenzung des Implementierungsaufwands wurde auf einige Konstrukte des CIMOSA Konzepts verzichtet, beispielsweise auf die Konstrukte der Organisationssicht sowie das Konstrukt Objective/Constraint. Diese Konstrukte können auf dem Papier modelliert, oder falls erwünscht, in Form von Kommentaren im Werkzeug angegeben werden. Aus dem gleichen Grund wurden die Konstrukte vereinfacht, indem Attribute, die für die Simulation nicht notwendig sind, wie etwa Kommentare (beispielsweise die Angabe des Typs oder eine detaillierte Beschreibung), oder die aufgrund der graphischen Darstellung überflüssig sind (etwa die Angabe der Hierarchie), nicht implementiert wurden. Die Vereinfachungen beeinträchtigen die Validierung des Ansatzes jedoch nicht, wie die Ergebnisse der beispielhaften Anwendung in Kapitel 8 bestätigen.

Der Schwerpunkt des Werkzeugs liegt in der Analyse und Optimierung der Geschäftsprozesse im Bereich der Design Specification Phase. Eine Analyse und Optimierung der Geschäftsprozesse während des Betriebs wurde nicht berücksichtigt. Hierzu wäre der Aufbau einer Demonstrationsanlage mit realen Ressourcen sowie die Implementierung der CIMOSA Integrierenden Infrastruktur notwendig gewesen, was den Rahmen dieser Arbeit gesprengt hätte.

Als Basis für das prototypische Werkzeug soll eine kommerzielle Modellierungs- und Simulationsumgebung verwendet werden, deren Modellierungsmethode an die CIMOSA Modellierung und die ökonomische Sicht angepaßt werden kann. Der Programmieraufwand bei der Implementierung kann so erheblich verringert werden.

Zunächst werden eine geeignete Modellierungsmethode und das Simulationskonzept ausgewählt.

### 7.1 Auswahl der Modellierungsmethode und des Simulationskonzepts

Ein Werkzeug zur Modellierung und Simulation von Geschäftsprozeßmodellen kann auf zwei unterschiedliche Arten aufgebaut werden.

Die erste Möglichkeit ist die Kombination verschiedener Methoden und Werkzeuge in Form eines Werkzeug- beziehungsweise Methoden-Baukastens. Diese Vorgehensweise zeichnet sich dadurch aus, daß die Methoden und Werkzeuge maßgeschneidert für die jeweilige Anwendung sind. Die SADT Methode kann beispielsweise zur Beschreibung der funktionalen Aspekte und die E/R Darstellung zur Spezifikation der Daten und Kennzahlen verwendet werden. Eine Kennzahl kann durch ein Entity dargestellt werden, die Verknüpfung zwischen den Kennzahlen wird durch das Konstrukt Relation ausgedrückt. Dynamische Aspekte und die Simulation können in SLAM II oder Petrinetzen realisiert werden.

Ein Beispiel für diesen Ansatz ist die Implementierung eines CIMOSA Werkzeugprotoypts am Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL) der Technischen Hochschule Aachen im Rahmen der ESPRIT-Projekte AMICE (No. 5288 und No. 7110). Es wurde das CASE Tool *Teamwork* zur Modellerstellung sowie das Simulationspaket GISA<sup>17</sup> zur Simulation der Modelle verwendet. Ein weitere Anwendung aus dem Bereich von CIMOSA ist der SEW-OSA Werkzeugkasten [AgCW-94] zur Generierung und Ausführung von Modellen, der an der Universität Loughborough entwickelt wurde. SEW-OSA kombiniert die Methoden stochastische Zeit-Petrinetze, Prädikat/Transitions-Netze, Object Oriented Design sowie das funktionale CIMOSA Modellierungskonzept.

Als Nachteile ist das Erlernen unterschiedlicher Konzepte für den Anwender zu nennen. Zwischen den verschiedenen Methoden während der Modellierung treten Schnittstellenprobleme auf, die zu Inkonsistenzen zwischen den Modellen führen können. Dies gilt ebenfalls für den Phasenübergang von der Modellierung zur Simulation (es muß aus den verschiedenen Modellen ein simulierbares Gesamtmodell gebildet werden).

Die zweite Möglichkeit ist die Verwendung einer durchgängigen Methode während der Modellerstellung und Simulation. Der Modellierer muß bei diesem Ansatz nur eine Methode beherrschen. Durch die Vermeidung von Phasenübergängen zwischen statischer Modellierung und Simulation werden Doppelarbeiten und Übertragungsfehler aufgrund notwendiger manueller Eingriffe bei der Transformation vermieden [Schu-92]. Der Modellerstellungsaufwand

---

<sup>17</sup> GISA steht für Graphisch Interaktive Simulation und Animation und wurde an der Technischen Hochschule Aachen entwickelt.

wird reduziert, da bei der Simulation direkt auf die Planungsmodelle zugegriffen werden kann. Der Nachteil ist, daß nicht alle Aspekte der Anwendung dargestellt werden können.

Bei dieser Arbeit wird auf die Anwendbarkeit des Werkzeugs in der Praxis besonderes Augenmerk gelegt und daher ein integrativer Ansatz für die Modellierung und Simulation verwendet.

Erweiterte Petrinetze sind hierfür besonders geeignet da:

- Petrinetze direkt zur graphischen Modellierung der funktionalem Abläufe und Informationsbeziehungen verwendet werden können.
- Parallele und alternative Prozesse leicht realisiert werden können, womit sich die prozeduralen Regeln von CIMOSA einfach abbilden lassen (siehe **Abb. 7-1**).
- Der Übergang von der statischen zur dynamischen Betrachtung durch Hinzunahme von Marken einfach realisiert werden kann [Schu-92].
- Die Inputs und Outputs der Geschäftsprozesse in Form individueller Marken dargestellt werden können.

Petrinetze wurden aus diesen Gründen bereits mehrfach als alleinige Meta-Modellierungsmethode für die CIMOSA Modellierung verwendet (etwa beim Artifex-Werkzeug [BARC-94] sowie dem McCIM-Werkzeugkasten [DNBK-93]).

Die Modelle der ökonomischen Sicht können ebenso realisiert werden, indem:

- der statische Aufbau von Kennzahlensystemen durch Stellen, Transitionen und Kanten dargestellt wird.
- das Ausrechnen der Kennzahlen durch die Transitionsinschriften erfolgt.

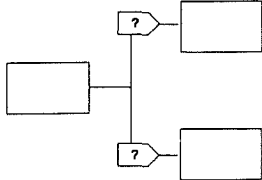
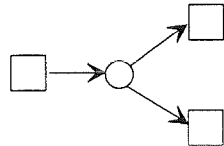
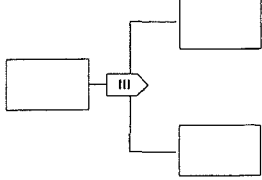
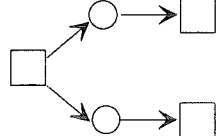
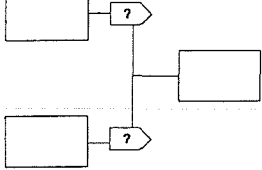
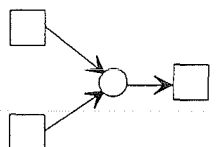
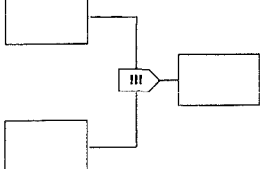
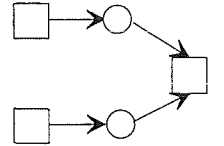
Als Modellierungskonzeption werden daher im folgenden erweiterte Petrinetze zugrundegelegt.

Basierend auf dieser Entscheidung wurde die Modellierungs- und Simulationsumgebung **PACE** ausgewählt. PACE verwendet erweiterte Petrinetze vom Typ der Prädikat/Transitions-Netze und zeichnet sich durch einen objekt-orientierten Ansatz auf der Basis von SmallTalk 80<sup>18</sup> aus. Bei den von GENRICH und LAUTENBACH [GeLa-81] entwickelten Prädikat-Transitionsnetzen werden die Stellen nicht wie bei einfachen Petrinetzen mit „anonymen“

---

<sup>18</sup> SmallTalk 80 wurde am XEROX Palo Alto Research Center entwickelt und verfolgt am konsequentesten den objektorientierten Ansatz. Alle Komponenten wie Zahlen, graphische Symbole, Programme werden durch Objekte repräsentiert [SmTa-92].

Tokens markiert, sondern mit Tupeln, die eindeutig einem bestimmten Objekt zugeordnet werden.

CIMOSA Darstellungs-konvention	Bedeutung der Prozeduralen Regel	Petri-Netz Darstellungs-konvention
	Alternative Abläufe	
	Parallele Abläufe	
	Zusammenlaufen von Alternativen	
	Synchronisation von Abläufen	

**Abb. 7-1:** Abbildung prozeduraler Regeln in der Darstellungskonvention nach KLITTICH [Klit-94] auf Petrinetze

Das Werkzeug umfaßt Funktionen zur graphisch interaktiven Netzmodellierung sowie zur Simulation und Animation des dynamischen Verhaltens. Das Konzept der Petrinetze wurde in einigen Punkten weiterentwickelt. Die wichtigsten Erweiterungen sind die Modellierung von Zeiten, die Möglichkeit der hierarchischen Netz-Strukturierung in Form von Modulen, die objekt-orientierte Beschreibung der Daten und der Kontroll-Logik mit SmallTalk sowie die Verwendung von Inhibitoren<sup>19</sup> [PACE-93]. Durch die Einbindung von SmallTalk Statements

<sup>19</sup> Ein Inhibitor ist ein Eingangskonnektor in eine Transition und wird benutzt, um die Feuerung einer Transition zu verhindern. Eine Transition kann nur gefeuert werden, wenn kein Token in der zuführenden Stelle, die durch den Inhibitor mit der Transition verbunden ist, dem definierten Wert, entsprechend der Kantenbeschriftung, entspricht. [PACE-93].



und Datenstrukturen kann die Anzahl der Petrinetz-Knoten erheblich verringert werden, was zu einer Komplexitätsreduktion in den zu modellierenden Netze führt.

Die Präsentation der Daten erfolgt bei Pace mit einfachen Bar-Charts. Zur Auswertung der Kennzahlen wurde daher das Tabellenkalkulationsprogramm Excel verwendet. Excel bietet neben einer einfachen Makro-Programmierung vielseitige graphische Darstellungsmöglichkeiten für die Ergebnisdaten.

In den folgenden Unterkapiteln soll die Abbildung der benötigten Konstrukte der Funktions-, Informations-, Ressourcen- und ökonomischen Sicht auf Petrinetze und SmallTalk behandelt werden. Das Werkzeug LeanMcCIM bietet hierzu standardisierte Bausteine an, die in Form von Modulen (Subnetzen) implementiert sind (siehe **Abb. 7-2**). Über vordefinierte Ikonen wird die graphische Abbildung von CIMOSA Konstrukten und Konstrukten der ökonomischen Sicht auf Petrinetz-Bausteine erreicht. Die Akzeptanz für den Modellierer wird dadurch erhöht sowie die Modellgenerierungszeit verringert.

Bei einer top down Vorgehensweise (oder hierarchischen Zerlegung) werden die Bausteine durch Anklicken des entsprechenden Moduls aus der Modul-Bibliothek geladen. Ihre Funktionalität wird durch das Laden anderer Module oder die Definition von Transitionen oder Stellen definiert. Bei einer bottom up Vorgehensweise (oder Aggregation) werden zuerst die Objekte definiert und dann zu einem Modul zusammengefaßt sowie die entsprechende Ikone dem Modul zugewiesen. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Schnittstellen zu den anderen Konstrukten eingehalten werden.

Transitionsinschriften und Kantenbeschriftungen wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit in den Abbildungen ausgeblendet, sofern sie nicht für das Verständnis unerlässlich sind.

Die CIMOSA Modellsichten Funktionssicht, Ressourcensicht und Informationssicht sowie die ökonomische Sicht wurden in getrennten Modulen implementiert, die keine Verbindung durch Konnektoren haben (siehe **Abb. 7-2**). Als Schnittstellen zwischen den Objekten der Sichten fungieren globale SmallTalk-Variablen, wodurch die Netze erheblich übersichtlicher gestaltet werden konnten.

Es wurde eine einfache Datenbank aufgebaut, die für die Verwaltung der Occurences zuständig ist. Die variable Datenstruktur **#Database** repräsentiert eine multidimensionale Tabelle, die als globale Variable implementiert wurde. Alle Objekte im Modell können Informationen in der Datenbank lesen sowie Einträge vornehmen. Die Daten können, je nach Anwendungsfall, gleichzeitig mehreren Anwendern zur Verfügung gestellt werden (**#shared**) oder exklusiv an einen Anwender vergeben werden (**#exclusive**). Des weiteren werden in die Datenbank

Konfigurationsdaten über die Ablage von Dateien sowie Parameter, die für die Simulation notwendig sind, wie etwa die Anzahl der gewünschten Simulationsläufe, eingetragen.

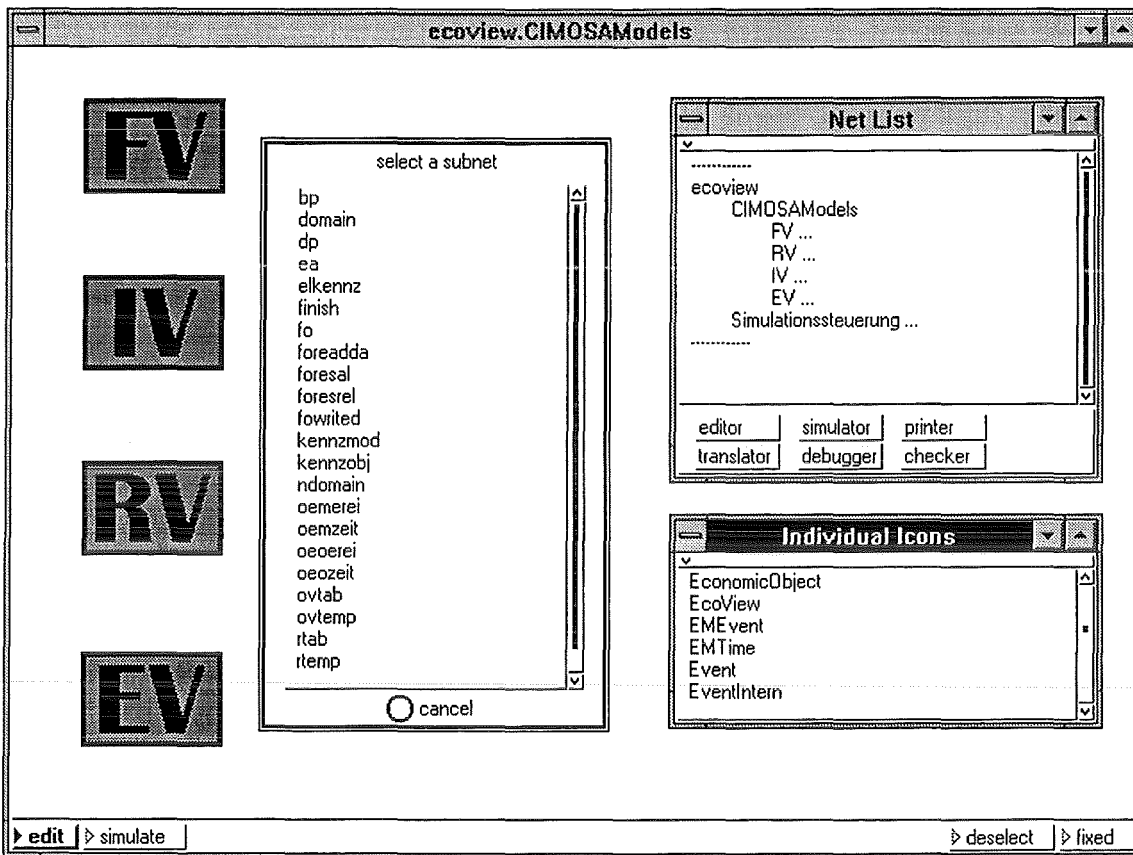


Abb. 7-2: Die Sichten und Konstrukte von LeanMcCIM

## 7.2 Implementierung der Funktionssicht

Die Funktionssicht ist von zentraler Bedeutung für die ökonomische Sicht. Sie integriert die Informationssicht und die Ressourcensicht zu einem Gesamtmodell. Sie liefert elementare Kennzahlen an die ökonomische Sicht und manipuliert die Werte der anderen Sichten (etwa durch die Anwendung statistischer Verteilungsfunktionen). In der Funktionssicht wurden alle CIMOSA Konstrukte implementiert, die für die Beschreibung der Funktionalität von Anwendungen benötigt werden.

### 7.2.1 Implementierung von Domains

**CIMOSA Domains** (Domain) (siehe Abb. 7-3) wurden als Module implementiert, welche bereits einen Domain Process enthalten. **Nicht-CIMOSA Domains** (NDomain), die als durchgestrichene Ovale dargestellt werden, wurden als leere Module implementiert.

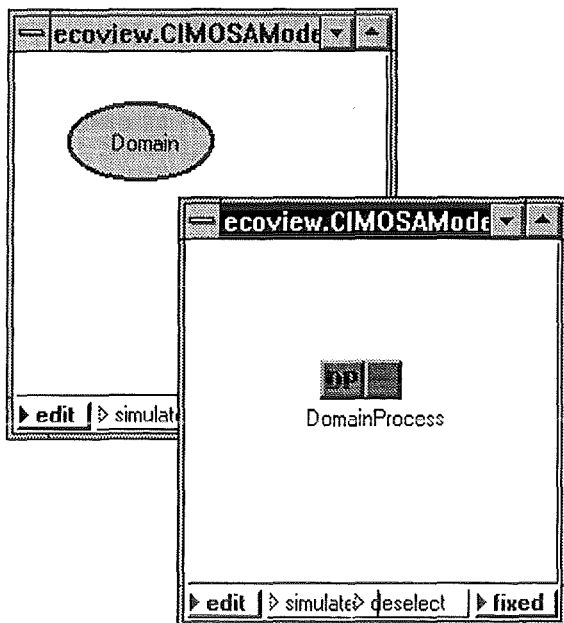


Abb. 7-3: Die Konstrukte CIMOSA Domain

**Externe Ereignisse** werden als gezackte rote Pfeile graphisch dargestellt (siehe Abb. 8-1 auf Seite 110) und werden als Stellen anwendungsabhängig implementiert. Die Ausprägung eines Ereignisses wird als Token implementiert, der beliebig viele Informationen enthalten kann (etwa über Occurences von Produkten oder Aufträgen), die weitergereicht werden. Durch die Zuordnung des Tokens zu einer bestimmten Stelle ist das Ereignis eindeutig definiert.

### 7.2.2 Implementierung von Domain Processes

Das Konstrukt Domain Process (DP) wurde als Modul implementiert, welches bereits über zwei prozedurale Regeln sowie ein Finish-Element, welches das Ende der Bearbeitung des Prozesses darstellt, verfügt (siehe Abb. 7-4).

**Interne Ereignisse** werden als gezackte blaue Pfeile graphisch dargestellt (siehe Abb. 8-2 auf Seite 111). Sie werden für die Kommunikation zwischen Domain Processes benötigt und müssen in Form von Stellen anwendungsabhängig implementiert werden.

Für jeden Domain Process müssen 3 Modulvariablen<sup>20</sup>, *Identifier*, *Class* und *PartOf* definiert werden. Das Attribut *Identifier* weist dem Domain Process einen eindeutigen Namen zu. *Class* dient zur Zuordnung des Geschäftsprozesses zum Typ der Domain Processes. *PartOf*<sup>21</sup>

<sup>20</sup> Eine Modulvariable ist nur innerhalb eines Moduls gültig. Auf diese Variablen können alle SmallTalk Inschriften zugreifen, die in diesem Modul sowie in allen untergeordneten Modulen des Moduls enthalten sind.

<sup>21</sup> CIMOSA erlaubt die Verwendung eines Geschäftsprozesses in mehreren übergeordneten Geschäftsprozessen oder Domains (durch das Attribut Where Used). Für die Simulation muß

dient während der Simulation zum Aufbau der hierarchischen Baumstruktur der Geschäftsprozeß-Occurence und definiert die Zuordnung zum übergeordneten Domain.

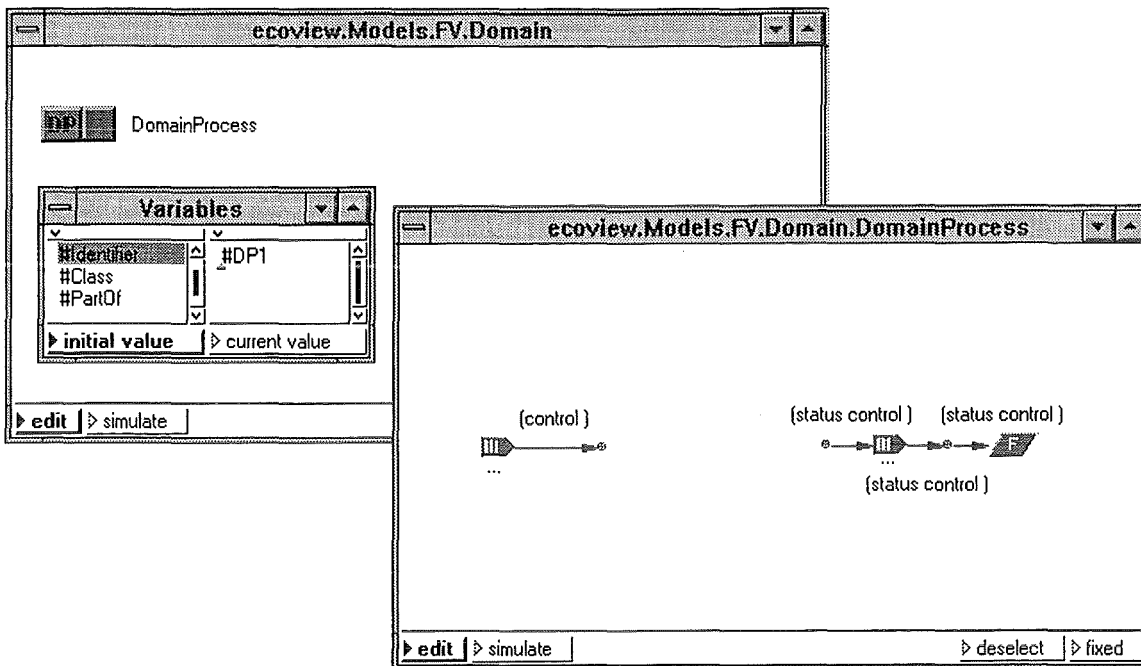


Abb. 7-4: Das Konstrukt Domain Process

Die erste prozedurale Regel (PR) wird für das Starten des Domain Process benötigt und besteht aus einem Modul, das wiederum aus einer Transition besteht. Die prozedurale Regel muß noch mit einem Ereignis verknüpft werden, das auf Domain oder Domain Process Ebene definiert sein muß. Die Informationen, die im Ereignis enthalten sind, werden in die Datenstruktur *control* geschrieben. Die *control* Datenstruktur enthält alle Daten, die zu einer speziellen Occurence einer Enterprise Function gehören und nicht global verwaltet werden können. Die Datenstruktur wird als Attribut eines Tokens an die zugehörigen untergeordneten Business Processes und Enterprise Activities weitergegeben. Die *control* Datenstruktur ist nicht CIMOSA konform, nach der ein Datenaustausch zwischen Geschäftsprozessen nur durch Object Views über die Informationssicht erfolgt. Diese Lösung wäre allerdings durch die zusätzlichen Lese- und Schreibvorgänge erheblich zeitintensiver und würde die Simulationsdauer erhöhen. Das Konzept der ökonomischen Sicht wird dadurch nicht beeinträchtigt. Die Transition speichert des weiteren als elementare Kennzahl den Bearbeitungsbeginn des

---

jedoch eine eindeutige Zuordnung erfolgen, aus diesem Grund wurde der Name des Attributs geändert.

Domain Process in der Datenbank in einer global lesbaren Datenstruktur mit Informationen über die Enterprise Function Occurrences.

In der letzten prozeduralen Regel wird aus den Endzuständen (status) der untergeordneten Geschäftsprozesse der Endzustand des Domain Process ermittelt.

Werden weitere prozedurale Regeln zur Ablaufsteuerung benötigt, so können sie als standardisierte Module geladen werden, die jeweils aus einer Transition bestehen. Der Transitions Code enthält die Implementation der prozeduralen Regeln und hat als Eingangsargument den Endzustand (status) des vorherigen Prozesses sowie die Datenstruktur *control*, die an den nachfolgenden Prozeß übergeben wird.

Das Finish Element (eine Transition) entfernt den generierten Simulationstoken und schickt eine Nachricht an das Modul Simulationssteuerung (siehe Kapitel 7.6), daß der Prozeß beendet ist. Die aktuelle Zeit wird in der Enterprise Function Occurrence abgespeichert. Dieser Wert wird als elementare Kennzahl Prozeß-Ende von der ökonomischen Sicht benötigt.

### 7.2.3 Implementierung von Business Processes

Das Konstrukt Business Process (BP) wird zur Strukturierung von Geschäftsprozessen benötigt. Es entspricht von den zu definierenden Modulvariablen und vom Aufbau dem Domain Process (siehe Abb. 7-4).

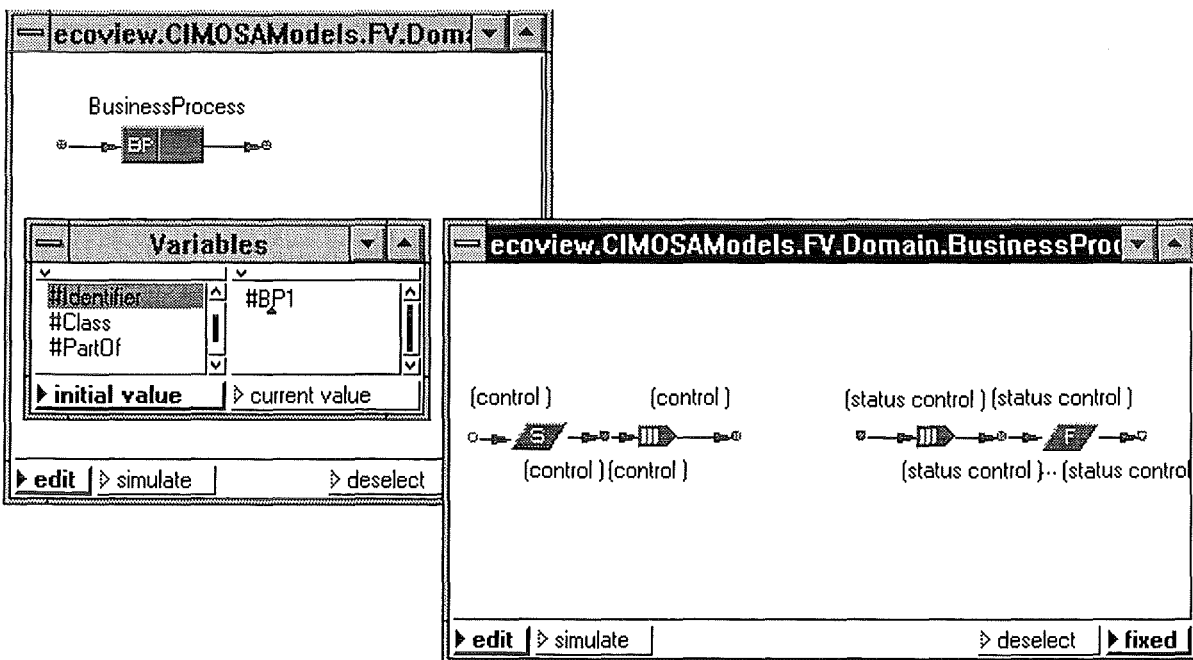
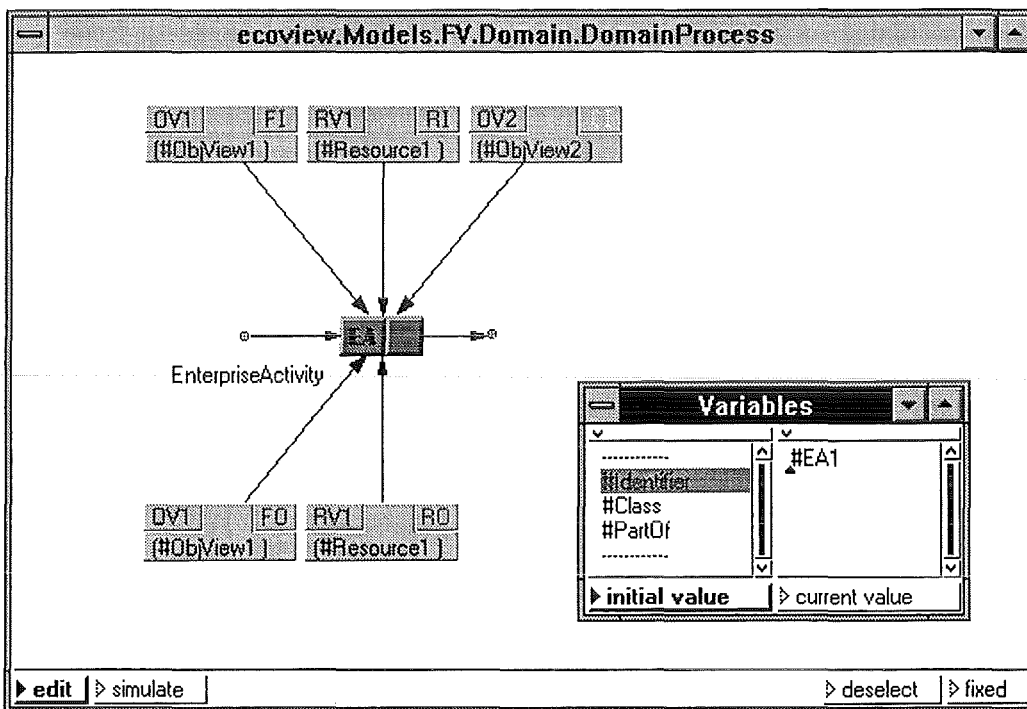


Abb. 7-5: Das Konstrukt Business Process

Im Gegensatz zum Domain Process verfügt der Business Process noch zusätzlich über ein explizites von CIMOSA vorgegebenes Start-Element, das den Bearbeitungsbeginn des Business Processes darstellt. Der Simulationstoken wird vom Finish-Element nicht verbraucht, sondern an den aufrufenden Business Process zurückgegeben.

#### 7.2.4 Implementierung von Enterprise Activities

Das Konstrukt Enterprise Activity (EA) entspricht vom funktionalen Aufbau her und den Modulvariablen dem Business Process (siehe **Abb. 7-6**).



**Abb. 7-6:** Das Konstrukt Enterprise Activity

Zusätzlich verfügt das Konstrukt über vordefinierte Ein- und Ausgänge, welche die Schnittstellen zur Informations- und Ressourcensicht darstellen. In LeanMcCIM werden Ein- und Ausgänge von Geschäftsprozessen erst ab Enterprise Activity Ebene definiert. Die Modelle gewinnen dadurch erheblich an Transparenz ohne an Aussagekraft zu verlieren.

Der Funktions- (FI), Steuerungs- (CI) und Ressourcen-Input (RI) sowie der Funktions- (FO) und Ressourcen-Output (RO) wurden als Stellen implementiert. Der Steuerungs-Output (Control Output) muß anwendungsabhängig modelliert werden, da er als Ereignis bereits im übergeordneten Geschäftsprozeß definiert werden muß. Die eigentlichen Referenzen zu der Informations- und Ressourcensicht erfolgen durch (Initial-) Tokens, welche Instanzen in der Informations- oder Ressourcensicht durch einen Identifikator eindeutig beschreiben.

## 7.2.5 Implementierung von Functional Operations

Die Verarbeitung der in den Enterprise Activities definierten Ein- und Ausgänge erfolgt in den Functional Operations. Sie verfügen neben den aus der Enterprise Activity bekannten Attributen (*Identifier*, *Class* und *PartOf*) über die zwei Attribute *Inputs* und *Outputs* (siehe **Abb. 7-7**) zur Beschreibung der verwendeten Ein- oder Ausgänge. Über diese beiden Modulvariablen erfolgt die Übergabe der Occurrence-Werte an die Informations- und Ressourcensicht während der Simulation.

### 7.2.5.1 Standard Functional Operations

Das Werkzeug LeanMcCIM bietet dem Anwender vier standardisierte Functional Operations zum Lesen und Schreiben von Datensätzen in die Datenbank an, die vom Modellierer anwendungsspezifisch angepaßt werden können (siehe **Abb. 7-7**).

Die **ReadData Functional Operation** wird zum Lesen eines oder mehrerer Datensätze aus der Datenbank verwendet. Sie hat standardmäßig als Eingangsargument einen Function Input, der je nach Anwendung vom Modellierer in einen Control Input geändert werden kann. Die Functional Operation unterstützt den exklusiven Zugriff auf gemeinsam verwendete Daten.

Die **RessourceAllocation Functional Operation** dient zur Zuordnung von Resource Units zu Functional Operations. Sie hat als standardmäßiges Eingangsargument einen Ressource Input und entspricht vom Aufbau her der ReadData Functional Operation. Die Functional Operation sperrt für die Dauer der Benutzung die Ressource für andere Functional Operations durch setzen des entsprechenden Attributs in der Datenbank.

Die **WriteData Functional Operation** hat als standardmäßiges Ausgangsargument einen Function Output und dient zum Schreiben eines oder mehrerer Datensätze in die Datenbank. Mit Hilfe dieser Functional Operation kann die Sperrung exklusiv lesbarer Datensätze in der Datenbank wieder aufgehoben werden.

Die **ReleaseResource Functional Operation** dient zur Freigabe gesperrter Ressourcen nach Beendigung der Ausführung. Sie hat als Ausgangsargument einen Resource Output und entspricht vom Aufbau her der WriteData Functional Operation.

### 7.2.5.2 Spezielle Functional Operations

Neben den obengenannten Standard Functional Operations kann der Anwender beliebige anwendungsabhängige Functional Operations zur Transformation von Eingangs- in Ausgangswerte mit Petrinetzen und SmallTalk Statements modellieren (siehe **Abb. 7-7**). Das Konstrukt FO verfügt bereits über die notwendigen Schnittstellen zu der vorhergehenden sowie nachfolgenden Functional Operation.

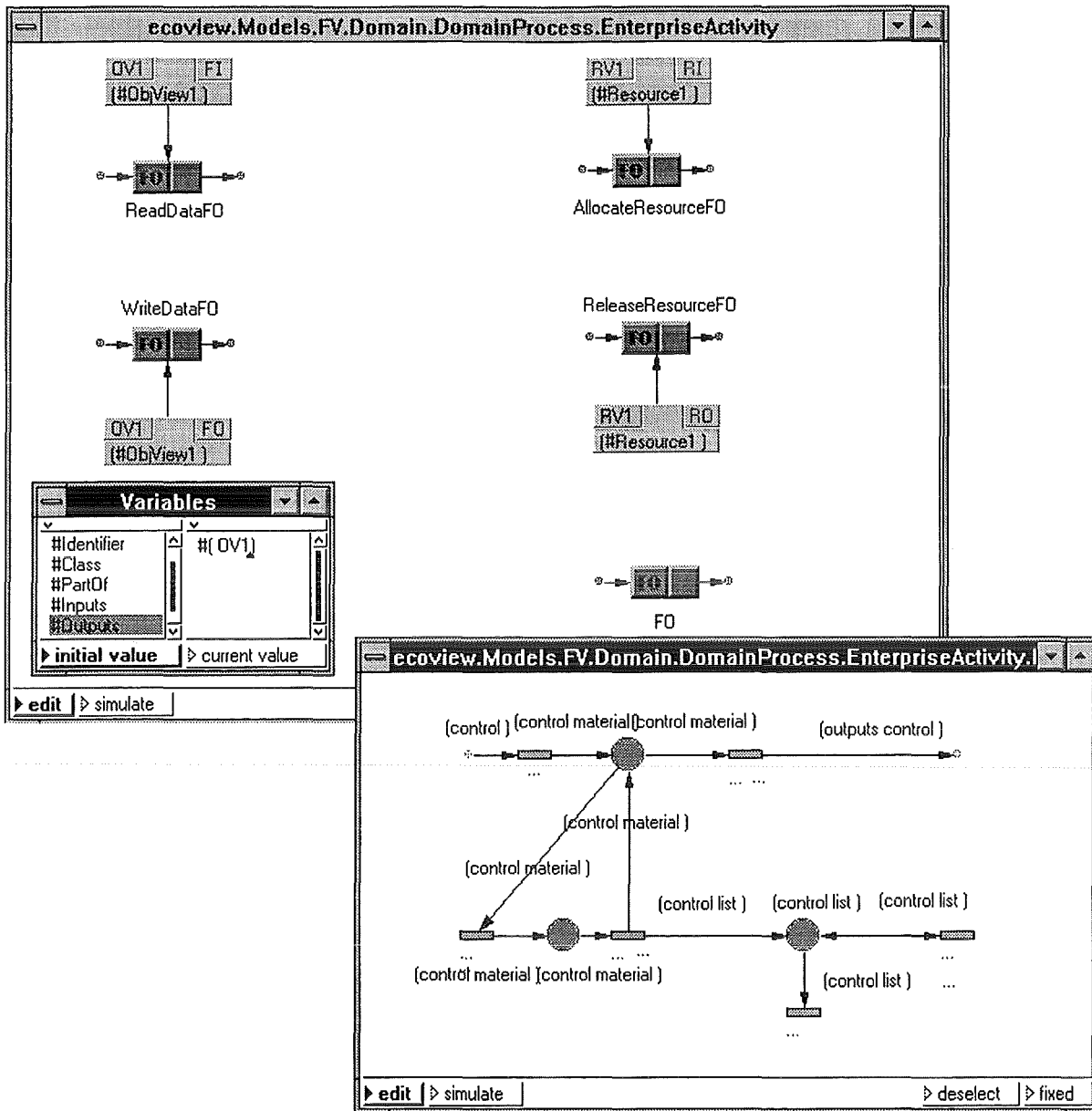


Abb. 7-7: Die Konstrukte zur Modellierung von Functional Operations

### 7.3 Implementierung der Ressourcensicht

Die Ressourcensicht beinhaltet nur wenig Petrinetzfunktionalität. Die Funktionalität ihrer Konstrukte liegt in dem SmallTalk Code.

#### 7.3.1 Das Konstrukt Resource

Das Konstrukt Resource definiert die Menge zulässiger Ressourcen, die in der Funktionssicht als Ressourceneingänge zur Erfüllung der Funktionalität von Enterprise Activities beziehungsweise Functional Operations definiert wurden. Eine Resource kann beliebig viele Re-



source Units beinhalten. Resource Units beschreiben durch die Definition ihrer Attribute reale Ressourcen.

Das Konstrukt wurde als Modul implementiert und besteht aus einer Stelle und einer Transition. Dem Modellierer stehen zwei Ausprägungen des Konstrukts zur Verfügung, welche anwendungsunabhängige Attribute und Befehlszeilen für die Simulation bereits beinhalten.

In dem Konstrukt  $R_{temp}$  (Resource template) werden die Resource Units als SmallTalk Code in der Transition angegeben (siehe **Abb. 7-8**). Die Transparenz der Modelle wird bei einer geringen Anzahl von Resource Units dadurch erhöht.

Jede Resource muß vom Modellierer eindeutig identifiziert werden. Die Vergabe des Resource Identifikators erfolgt mit Hilfe des vordefinierten Attributs *residentifier*.

Für jede Resource Unit wird ein eigener Datensatz generiert, der vom Modellierer durch einen Identifikator ebenfalls eindeutig bestimmt werden muß (*#RUIdentifier*). Der Modellierer kann beliebig viele Eigenschaften von Resource Units definieren (*#Characteristics*), die als elementare Kennzahlen für die ökonomische Sicht benötigt werden. Optional können statistische Verteilungsfunktionen für die Streuung der Werte angegeben werden (*#Deviation*).

Die Transition feuert zu Beginn der Simulation einmal, um die generierten Datenstrukturen in die zentrale Datenbank zu schreiben. Die entsprechenden Befehle zur Übertragung der Daten sowie Datenstrukturen, die für die Simulationssteuerung benötigt werden, sind im Konstrukt bereits als Code enthalten.

Als Alternative kann das Konstrukt  $R_{tab}$  (Resource table) verwendet werden. Die Transition ruft eine extern definierte Tabelle auf, in die der Modellierer die Resource Units und ihre Eigenschaften eingetragen hat. Eine Spalte der Tabelle entspricht einem Instanz-Argument (*#Characteristic<sub>1..N</sub>*), während eine Zeile eine konkrete Resource Unit Occurrence darstellt. Das Konstrukt verfügt ebenfalls über alle Befehle und Datenstrukturen, die für die Übertragung der Datenstrukturen in die Datenbank sowie zur Simulationssteuerung benötigt werden.

Diese Vorgehensweise ist dann sinnvoll, wenn eine große Menge an Ressource Units definiert werden muß, die beispielsweise als Simulationsinput benötigt wird und daher leicht änderbar sein muß. Es empfiehlt sich, daß der Modellierer die verwendeten Attribute zur Beschreibung der Resource Units als Kommentar im Konstrukt angibt, um die Transparenz der Modelle zu gewährleisten.

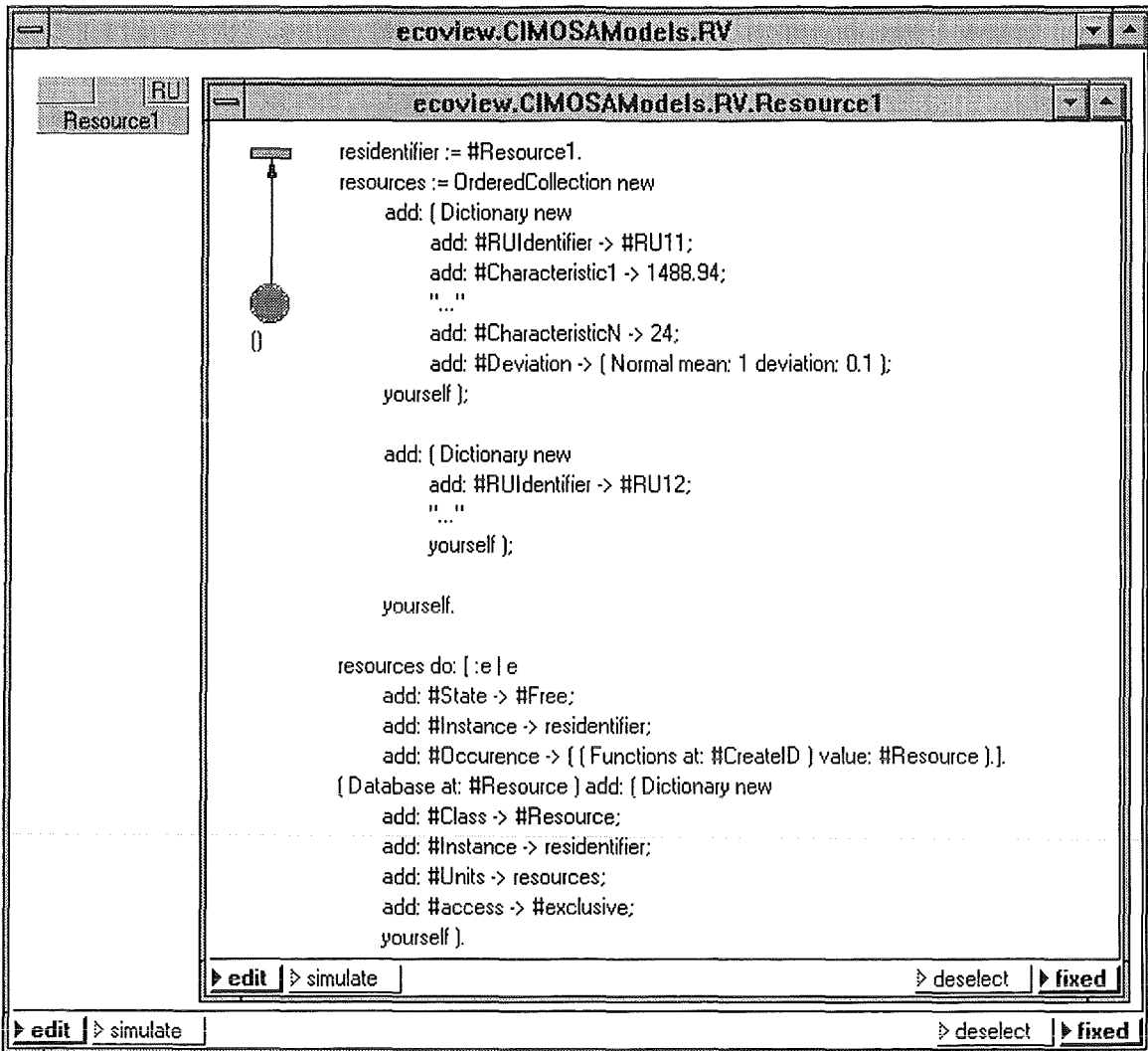


Abb. 7-8: Die Konstrukte zur Modellierung von Ressourcen über den Transitions Code

## 7.4 Implementierung der Informationssicht

Die Informationssicht entspricht vom Aufbau her der Ressourcensicht. Die Funktionalität der Konstrukte liegt wiederum im SmallTalk Code. In der Informationssicht erfolgt die Modellierung der Object Views. Eine Object View wird durch ihre Attribute (Information Elements) beschrieben, die als elementare Kennzahlen für die ökonomische Sicht benötigt werden.

### 7.4.1 Das Konstrukt Object View

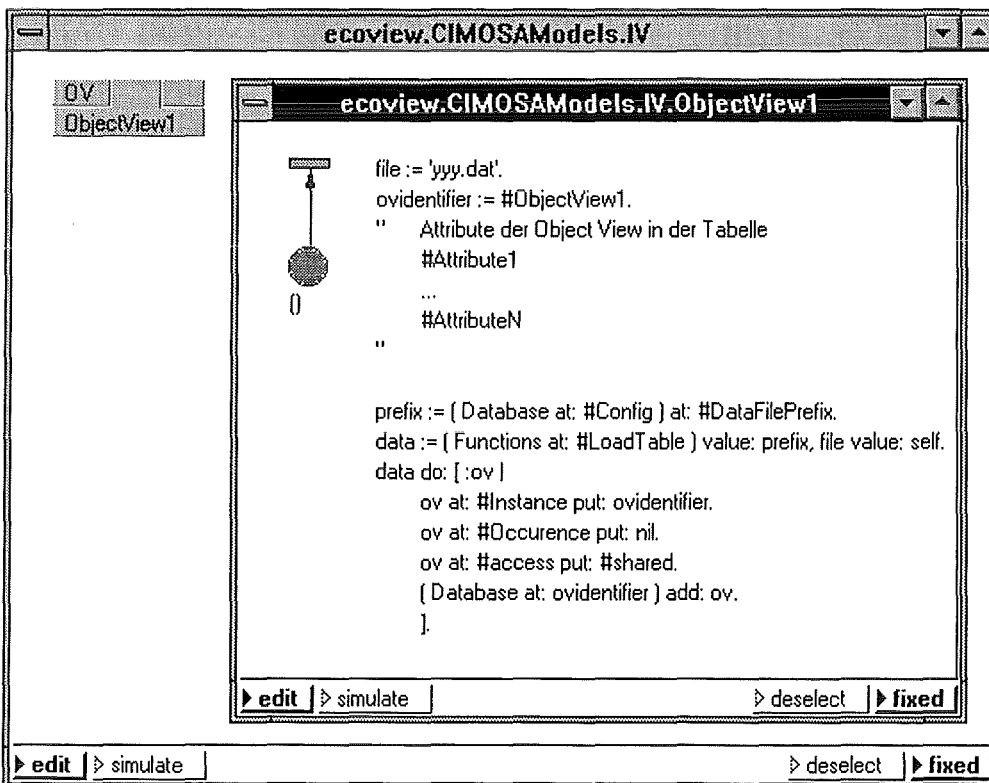
Der Modellierer hat ebenfalls zwei standardisierte Bausteine zur Verfügung, die aus der Modul-Bibliothek geladen werden können.

Die Eingabe der Object View Attribute geschieht beim Konstrukt  $OV_{temp}$  (Object View template) als Code in der zugeordneten Transition. Das Konstrukt verfügt über vordefinierte At-

tribute zur Angabe des Object View Instanz Identifikators sowie der Object View Occurrence Identifikatoren. Die Modellierung der Information Elements erfolgt anwendungsspezifisch.

Das Konstrukt **OV<sub>tab</sub>** (Object View table) wird für die Modellierung von Object Views verwendet, deren Instanzen und Occurrences in externen Tabellen definiert wurden (siehe **Abb. 7-9**). Das Konstrukt eignet sich besonders zur Definition des Simulationsinputs, da hier die Datenmenge oftmals sehr groß ist (etwa alle Aufträge eines Monats). Der Modellierer muß nach der Definition der Tabelle nur noch den Namen der referenzierten Datei im Konstrukt angeben (im Feld *file*) sowie den Identifikator der Object View Instanz im Feld *ovidentifier*. Aus Gründen der Transparenz sollten die in der Tabelle verwendeten Attribute (Information Elements) als Kommentare angegeben werden.

Das Konstrukt beinhaltet wiederum vordefinierte SmallTalk Statements für das Einlesen der Daten aus der Tabelle in eine SmallTalk Datenstruktur sowie die Übertragung der Datenstruktur in die Datenbank.





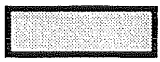

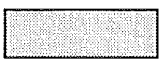








**Abb. 7-9:** Das Konstrukt zur Modellierung von Object Views mit externen Tabellen

### 7.5 Implementierung der ökonomischen Sicht

Die ökonomische Sicht beinhaltet ebenfalls nur wenig Petrinetzfunktionalität. Das Werkzeug wird als graphischer Editor verwendet, während die Funktionalität der Konstrukte in dem SmallTalk Code liegt.

Die Bausteine KennzahlenModul, KennzahlenObjekt und ElementareKennzahl sind als Module implementiert und können aus der Baustein-Bibliothek geladen werden. Die Konstrukte sind standardmäßig in der einfachen graphischen Beschreibungssprache dargestellt (siehe Kapitel 5.3). Für die Änderung der einfachen Darstellung in die erweiterte Darstellung oder umgekehrt stehen dem Modellierer die folgenden Ikonen zur Verfügung (siehe **Tab. 7-1**).

**Tab. 7-1:** Die Symbole der graphischen Beschreibungssprache als Ikonen in LeanMcCIM

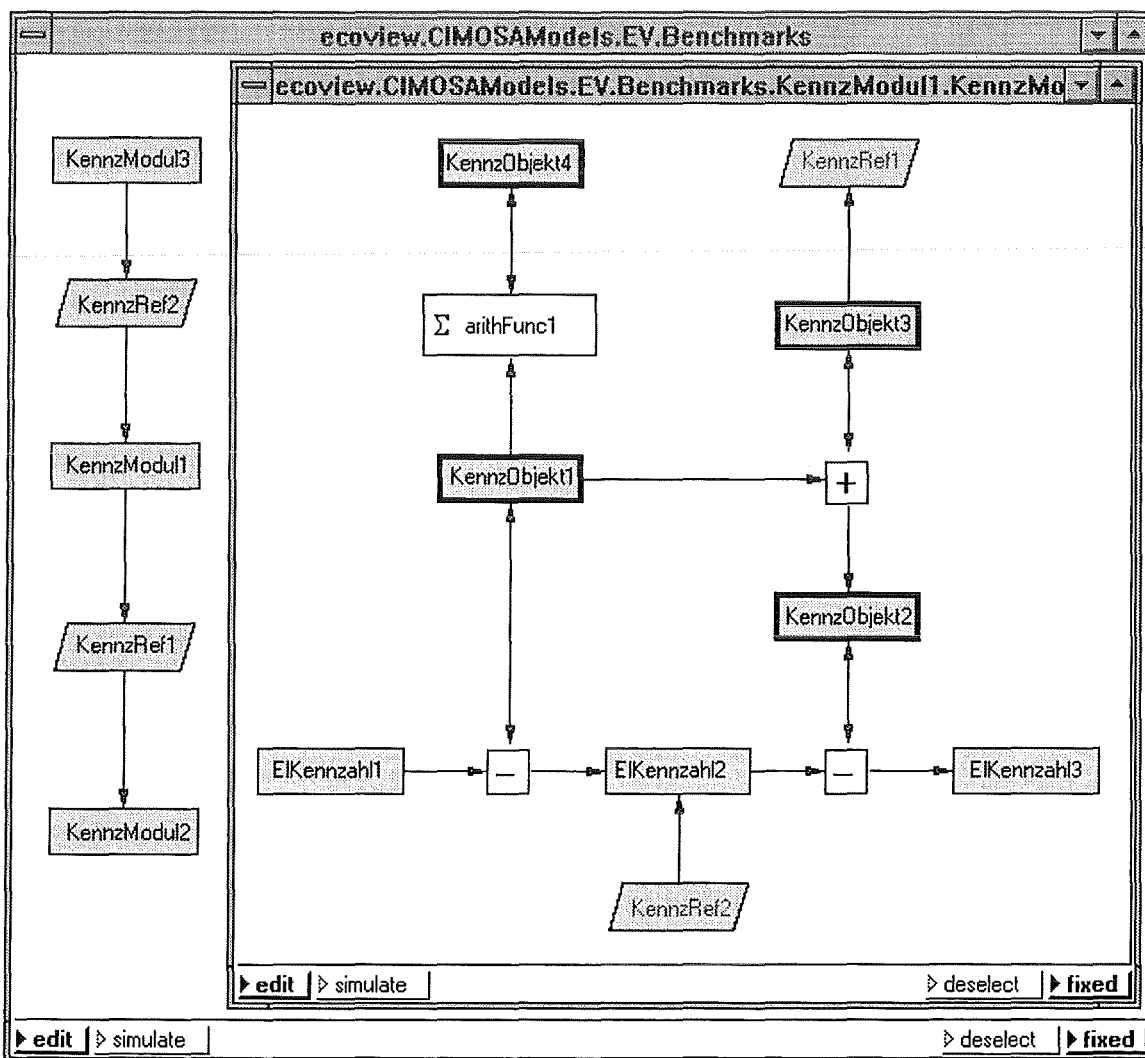
	einfache Darstellung		erweiterte Darstellung	
<b>KennzahlenModul</b>	KzM (gelb)		eKzM (gelb)	
<b>KennzahlenObjekt</b>	KzO (grün)		eKzO (grün)	
<b>ElementareKennzahl</b>	EKz (grün)		eEKz (grün)	
<b>einfache Operatoren</b>	plus			
	minus			
	mal			
	geteilt			
	potenz			
<b>Funktionen</b>	arifunc			
<b>KennzahlenReferenz</b>	KzRef (gelb)			

KennzahlenReferenzen, arithmetische Operatoren und arithmetische Funktionen sind als Stellen implementiert und dienen nur zur graphischen Darstellung. Die Funktionalität der Operatoren und Funktionen liegt in den ElementarenKennzahlen und KennzahlenObjekten.

Als Restriktion ist anzumerken, daß die Konstrukte der erweiterten graphischen Beschreibungssprache bei Zuordnung der Konstrukte zu einem Modul nicht vollständig ausgefüllt werden können. Pace erlaubt nur die Definition einer einzigen zusammenhängenden Zeichenkette zur Benennung von Modulen. Funktionen zur Beschreibung von Modulen werden nicht angeboten. Die erweiterte Darstellung kann somit nur auf Transitionen angewendet werden.

### 7.5.1 Das Konstrukt KennzahlenModul

Das Konstrukt (siehe Kapitel 5.1.3) ist als leeres Modul implementiert. **Abb. 7-10** zeigt das KennzahlenModul *KennzModul1*, das aus KennzahlenObjekten und ElementarenKennzahlen besteht.



**Abb. 7-10:** Strukturierung von Kennzahlen durch KennzahlenModule

Das KennzahlenObjekt *KennzObjekt3* definiert eine KennzahlenReferenz *KennzRef1*, die im KennzahlenModul *KennzModul2* referenziert wird. Die ElementareKennzahl *ElKennzahl2*

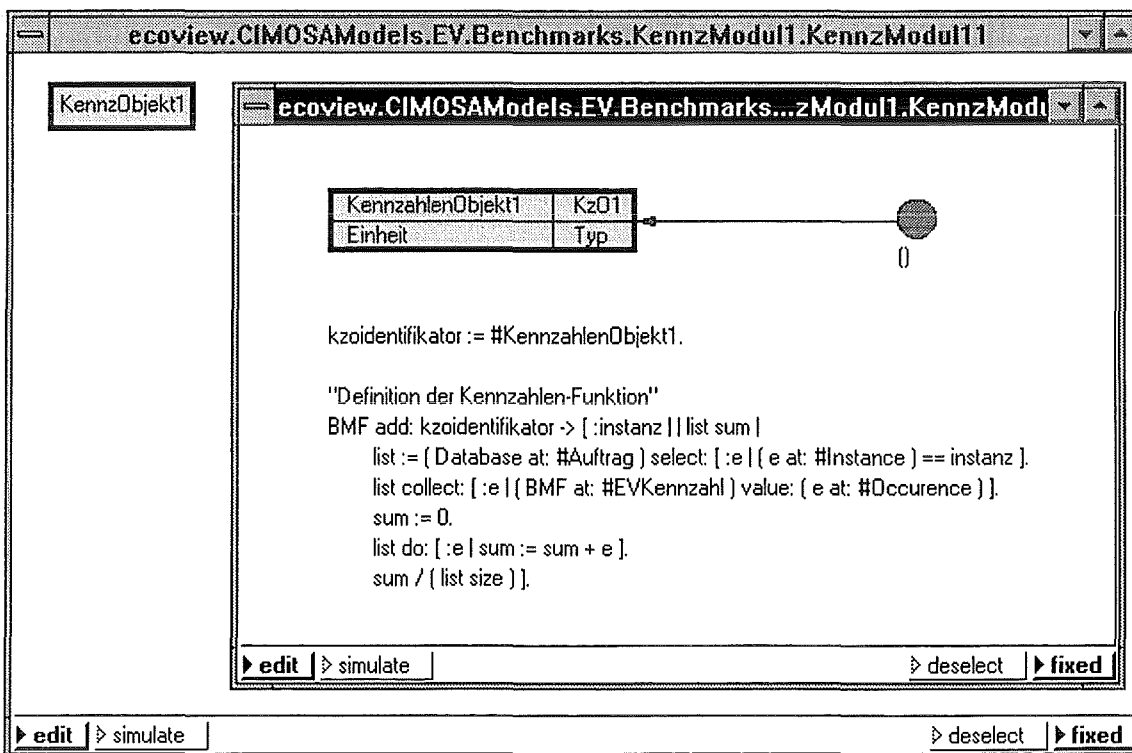
verwendet ihrerseits eine Kennzahl *KennzRef2*, die im KennzahlenModul *KennzModul3* definiert wurde.

Bei der Verwendung von referenzierten Kennzahlen in einem KennzahlenModul werden die ElementarenKennzahlen oder KennzahlenObjekte als leere Module implementiert.

### 7.5.2 Das Konstrukt KennzahlenObjekt

Das Konstrukt KennzahlenObjekt (siehe Kapitel 5.1.1) ist als standardisiertes Modul implementiert, das aus einer Stelle und einer Transition besteht. Die Definition der Attribute des Konstrukts erfolgt mit Hilfe des Codes der zugeordneten Transition. Der Anwender definiert in diesem Konstrukt die Kennzahlen-Funktion, die in den ÖkonomischenObjekten als CalculationFunctions aufgerufen und parametrisiert werden (siehe **Abb. 7-11**).

Das Konstrukt enthält ein Feld, in das vom Modellierer der Name der KennzahlenObjekt-Instanz eingegeben werden muß (*kzidentifikator*). Die Definition der Kennzahlen-Funktion erfolgt anwendungsabhängig und kann nicht standardisiert werden.



**Abb. 7-11:** Das Konstrukt KennzahlenObjekt

In der Kennzahlen-Funktion muß definiert werden:

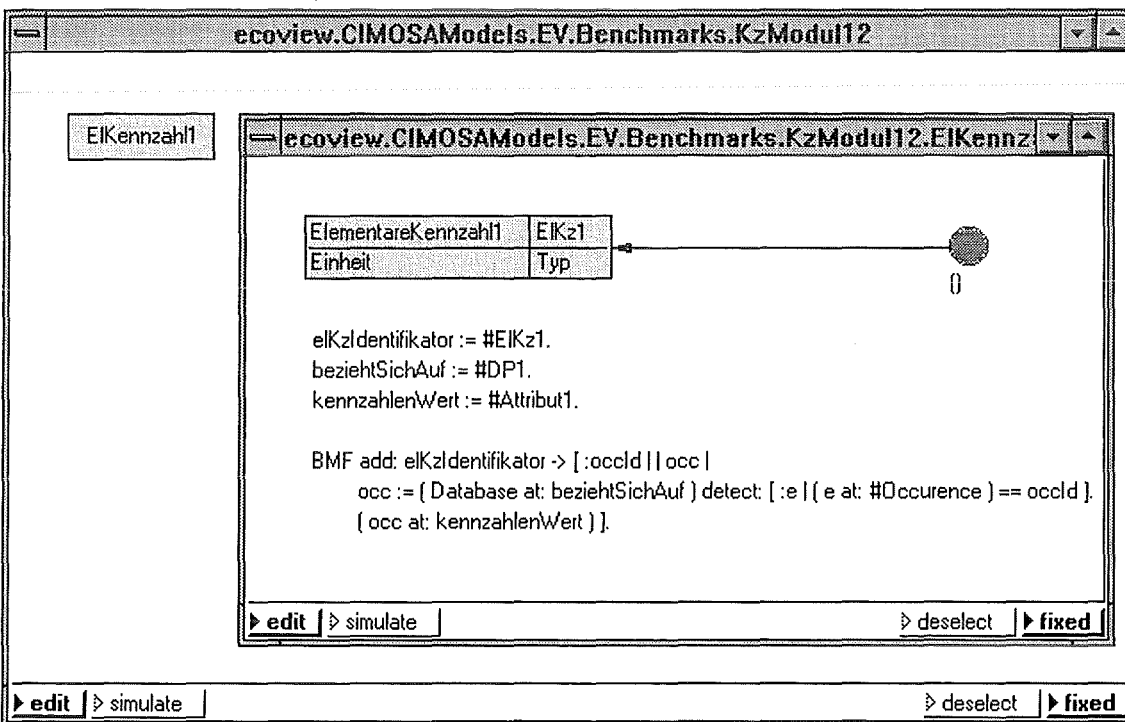
- der Zugriff auf die benötigten Daten
- die Manipulation der Daten

Die Kennzahlen-Funktion wird beim einmaligen Triggern der Transition als globale Variable (BMF) abgespeichert, auf welche dann die Kennzahlen-Funktionen in den übergeordneten KennzahlenObjekten beziehungsweise CalculationFunctions zugreifen können.

Um die Simulation zu beschleunigen, können die Kennzahlenwerte als Attribute der referenzierten Objekte in der Datenbank abgespeichert werden (alle Auftragskennzahlen werden etwa beim Auftrag abgelegt). Die Anzahl der erforderlichen Suchvorgänge kann so minimiert werden.

### 7.5.3 Das Konstrukt ElementareKennzahl

Das Konstrukt ElementareKennzahl (siehe Kapitel 5.1.2) ist ebenfalls als Modul implementiert, das wiederum aus einer Stelle und einer Transition besteht (siehe **Abb. 7-12**). Mit Hilfe dieses Konstrukts stellt der Modellierer die Referenz zu den Attributen der Objekte aus der Informations-, Ressourcen und Funktionssicht her.



**Abb. 7-12:** Das Konstrukt ElementareKennzahl

In das vordefinierte Feld *elKzIdentifikator* wird vom Modellierer ein eindeutiger Identifikator für die Instanz der elementaren Kennzahl vergeben.

Der Modellierer muß definieren, auf welches Attribut er zugreifen möchte und in welchem Objekt sich diese Daten befinden. Das zu suchende Objekt (Suchargument) wird im Feld *be-*

*ziehtSichAuf* angegeben, während das Feld *kennzahlenWert* zur Definition des Attributs des Objekts dient und das gewünschte Suchergebnis darstellt.

Im Konstrukt existieren vordefinierte Funktionen, die das Suchen nach den referenzierten Objekt-Occurrences und den definierten Attributen in der Datenbank übernehmen. Bei veränderter Repräsentation der Daten muß dieser Code eventuell angepaßt werden.

#### 7.5.4 Das Konstrukt **ÖkonomischesModul**

Entsprechend der Vorgehensweise bei der Modellerstellung können **ÖkonomischeModule** (siehe Kapitel 5.2.2) entweder bei einem top down Ansatz als leere Module geladen werden oder beim bottom up Ansatz durch Zusammenfassung mehrerer **ÖkonomischerObjekte** oder untergeordneter **ÖkonomischerModule** generiert werden.

LeanMcCIM bietet verschiedene Darstellungsformen für **ÖkonomischeModule** an in Abhängigkeit ihrer untergeordneten **ÖkonomischenObjekte**. **Abb. 7-13** zeigt ein **ÖkonomischesModul**, das **ÖkonomischeObjekte** beinhaltet, die durch ein Ereignis angestoßen werden. **Abb. 7-14** zeigt ein **ÖkonomischesModul**, dessen **ÖkonomischeObjekte** durch Zeitvorgaben angestoßen werden.

#### 7.5.5 Das Konstrukt **ÖkonomischesObjekt**

Das Konstrukt **ÖkonomischesObjekt** (siehe Kapitel 5.2.1) wurde in zwei Ausprägungen, in Abhängigkeit seiner Triggerung während der Simulation, implementiert. Beide Bausteine sind als Module implementiert, die aus jeweils einer Transition und einer Stelle bestehen. Sie enthalten vordefinierte Statements, die für die Übertragung der eingelesenen Daten in die Datenbank verantwortlich sind.

Das Konstrukt **OeO<sub>ereignis</sub>** dient zur Modellierung von **ÖkonomischenObjekten**, die nach Beendigung einer Enterprise Function getriggert werden (siehe **Abb. 7-13**).

Im Platzhalter des Attributs *#InstanzIdent* wird vom Modellierer ein eindeutiger Identifikator für das **ÖkonomischeObjekt** angegeben. Beim Attribut *#GetriggertDurch* ist bereits standardmäßig *#Ereignis* eingetragen. Die Enterprise Function, die für das Triggern verantwortlich ist, wird im Feld *#SelektionsKriterium* definiert.

Im Attribut *#ZielObjekt* wird die Instanz des zu bewertenden Objekts aus der Funktions-, Ressourcen- oder Informationssicht (beispielsweise ein Auftrag) angegeben, auf das die in den CalculationFunctions ausgewählten Kennzahlen angewandt werden sollen. Die entsprechenden Objekt-Occurrences werden während der Simulation von der Simulationssteuerung geliefert (siehe Kapitel 7.6).

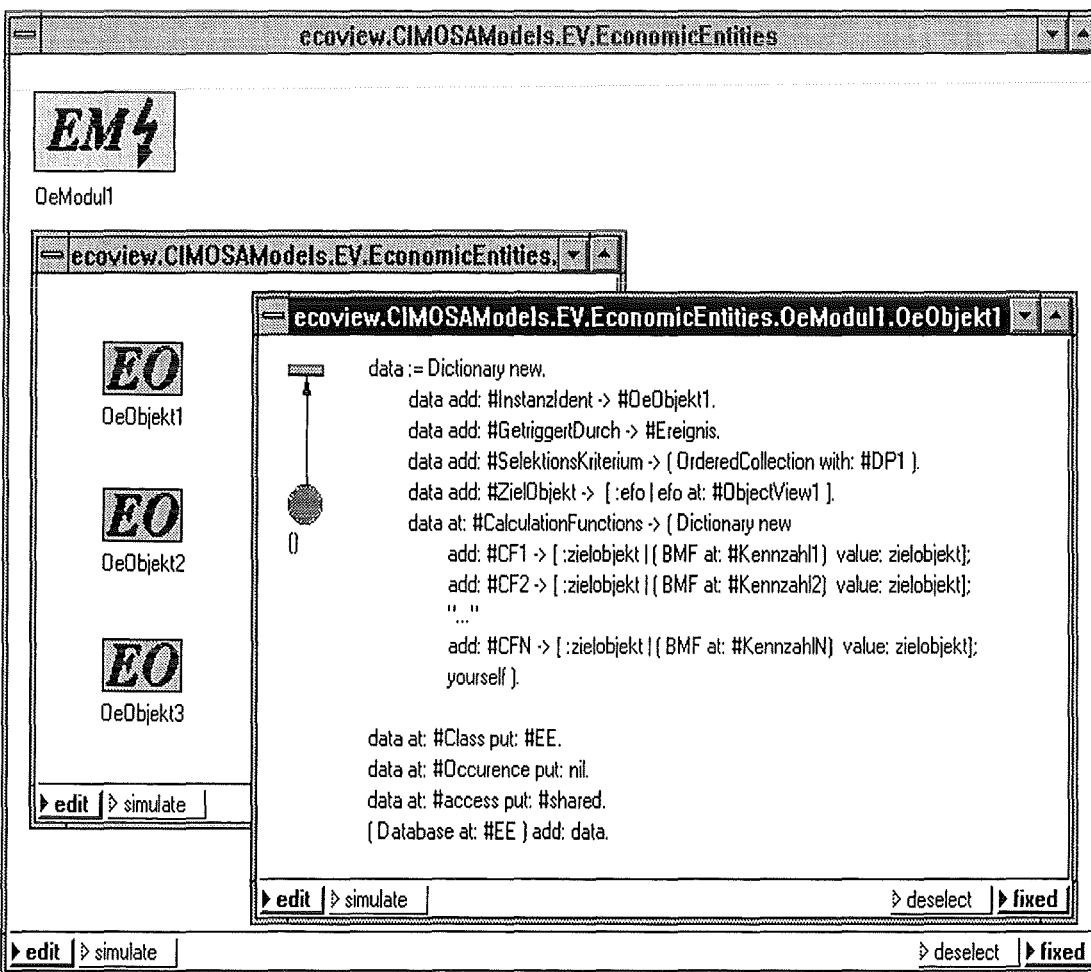


Die Modellierung der CalculationFunctions erfolgt durch Eintragung der gewünschten Kennziffer (durch Angabe ihres Identifikators) in die CalculationFunction (etwa #EVKennzahl1 in **Abb. 7-13**). Wünscht der Modellierer die Bewertung bestimmter Occurrences (beispielsweise einer speziellen Ressource Unit), so muß der Occurrence-Identifikator ebenfalls direkt in der CalculationFunction eingetragen werden.

Die Modellierung von ÖkonomischenObjekten, die durch einen vordefinierten Zeitpunkt oder ein Zeitintervall getriggert werden, erfolgt durch das Konstrukt **OeO<sub>zeit</sub>** (siehe **Abb. 7-14**). Im Feld #GetriggertDurch ist bereits #Zeit eingetragen.

Im Attribut #SelektionsKriterium wird hier das Trigger-Intervall angegeben. Das Trigger-Intervall definiert, wie oft die Werte errechnet werden sollen (etwa jeden Tag).

Beim Attribut #ZielObjekt muß der Betrachtungszeitraum angegeben werden, innerhalb dessen die Kennzahlen errechnet werden sollen.



**Abb. 7-13:** Modellierung der ÖkonomischenObjekte „GetriggertDurchEreignis“

Wird die Betrachtungsperiode größer als das Trigger-Intervall gewählt, so kann eine Errechnung gleitender Durchschnittswerte realisiert werden. Soll nur ein bestimmter Zeitpunkt betrachtet werden, so wird bei der Betrachtungsperiode die kleinste verfügbare Simulations-Zeiteinheit verwendet.

Beide Konstrukte werden als Datenstruktur (#EE) in der zentralen Datenbank abgelegt.

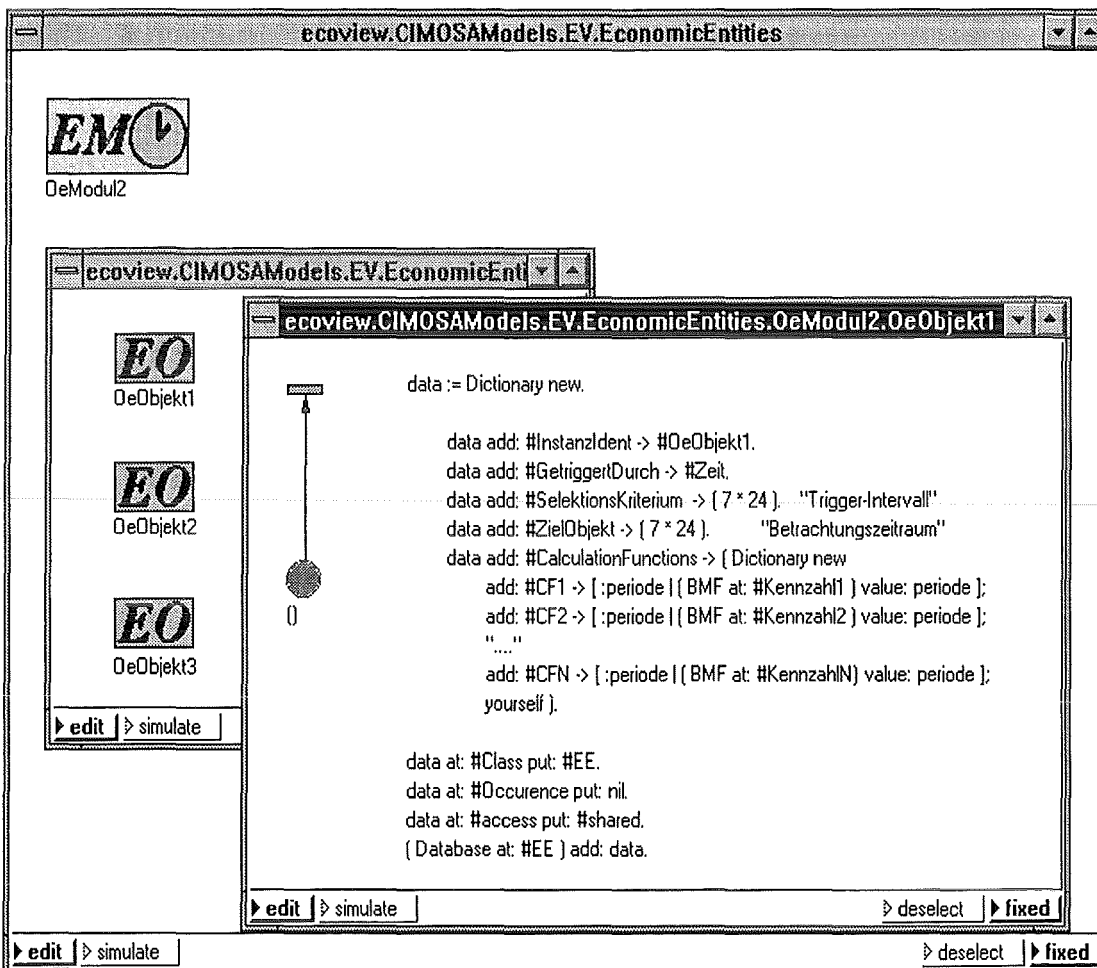


Abb. 7-14: Modellierung der Ökonomischen Objekte „GetriggertDurchZeit“

## 7.6 Die Simulationssteuerung

LeanMcCIM verfügt über ein Modul zur Abarbeitung der Ökonomischen Objekte. Die Simulationssteuerung wurde ebenfalls in Form von Petrinetzen und SmallTalk implementiert. Das Modul besteht seinerseits aus drei Modulen.

Das Modul **PeriodTrigger** dient zum Starten der Ökonomischen Objekte, die durch eine Zeitvorgabe getriggert werden. Die Einträge der Datenstruktur #EE werden zyklisch in der zentralen Datenbank überprüft. Durch Kopieren der Instanzen während der Simulation werden Oc-

Occurrences generiert, für die ein eindeutiger Identifikator in Form einer fortlaufenden Nummer vergeben wird. Die Occurrence wird in einer eigenen Datenstruktur abgelegt (#EO) und anschließend im Modul *CalculateEO* verarbeitet.

Das Modul **EventTrigger** dient zum Starten der Ökonomischen Objekte, die durch Ereignisse getriggert werden. Das Modul überprüft hierzu, ob Ereignisse vorliegen, die zu den Einträgen der Ökonomischen Objekte in der Datenstruktur #EE der zentralen Datenbank passen. Das Modul verfügt über eine Schnittstelle zur Funktionssicht. Es greift auf eine globale Datenstruktur zu, in welche das Bearbeitungsende der Prozesse von den jeweiligen Finish-Transitionen eingetragen werden (siehe Kapitel 7.2).

Hierbei können die folgenden drei Fälle auftreten:

- Ein Ökonomisches Objekt wird durch eine einzelne Enterprise Function getriggert.
- Ein Ökonomisches Objekt wird durch mehrere Enterprise Functions getriggert. In diesem Fall erfolgt die Synchronisation durch eine Warteschlange, in der gewartet wird bis sämtliche Enterprise Functions beendet sind.
- Eine Enterprise Function triggert mehrere Ökonomische Objekte.

Aus den Ökonomischen Objekt-Instanzen werden durch Kopieren wiederum Occurrences erzeugt, die im Modul *CalculateEO* verarbeitet werden.

Das Modul **CalculateEO** dient zum Errechnen der CalculationFunctions in den Ökonomischen Objekten. Das Modul sucht während der Simulation die *ZielObjekt*-Occurrences heraus, die innerhalb der definierten Betrachtungsperiode liegen oder zu einer entsprechenden Enterprise Function Occurrence gehören. Die Enterprise Function Occurrence wird aus der im Ökonomischen Objekt definierten Enterprise Function Instanz abgeleitet (*SelektionsKriterium*). Das Modul ruft die CalculationFunctions auf und trägt die Occurrence Identifikatoren als Argumente in die CalculationFunction ein. *CalculateEO* dient somit dazu, die CalculationFunction auf das selektierte Ziel-Objekt anzuwenden.

Im nachfolgenden Kapitel wird die beispielhafte Anwendung des integrierten Ansatzes zur Analyse und Bewertung von Geschäftsprozessen auf eine betriebliche Problemstellung behandelt.

## 8 Beispielhafter Einsatz

Die praktische Nutzbarkeit des integrierten Ansatzes zur Bewertung und Analyse von Geschäftsprozessen sowie des rechnerbasierten Werkzeug-Prototyps LeanMcCIM soll im folgenden durch ein Experiment nachgewiesen werden das auf einer realen betrieblichen Problemstellung eines mittelständischen deutschen Unternehmens basiert. Die Validierung erfolgte in Kooperation mit dem Produktionswirtschaftlichen Zentrum (PWZ) der Fachhochschule Offenburg.

### 8.1 Betriebliche Ausgangssituation

Das Unternehmen aus der Papierindustrie stellt im betrachteten Geschäftsfeld diverse Naturpapiere (Grundpapiere) her, die zu vielen kundenspezifischen Varianten (etwa in Bezug auf unterschiedliche Papierformate, Grammgewicht und Farbe) veredelt werden.

Das Unternehmen sieht sich mit den folgenden Problemen konfrontiert:

1. Die zunehmende Anzahl der kundenspezifischen Papiervarianten mit kleinen Produktionsmengen in der Papierveredelung führt zu unübersichtlichen Abläufen in der Produktion in Bezug auf die Auftragsverfolgung und Auftragsabarbeitung.
2. Die große Vielfalt an unterschiedlichen Papiervarianten führt zu einem erheblichen Planungsaufwand, bedingt durch Auftragsplitting und Zusammenführung, in der Fertigungsauftragsplanung (Arbeits- und Maschinenplanung).
3. Die Kunden fordern immer kürzere Lieferzeiten.
4. Es existiert eine hohe Kapitalbindung durch Lagerwaren in den Zwischenlagern.
5. Die Zwischenlager reichen kapazitätsmäßig nicht mehr aus und sollen erweitert werden. Investitionen in Höhe von 4.000.000 DM sind zur Lagererweiterung bereits vorgesehen.
6. Die Maschinen sind teilweise schlecht ausgelastet. Besonders der originäre Herstellungsprozeß des Grundpapiers kann nur bei genügend großen Produktionsmengen wirtschaftlich betrieben werden. Die Papiermaschinen zeichnen sich durch hohe Stundensätze und langwierige Umrüstvorgänge aus.

Die Aufgabenstellung von seiten des Unternehmens war daher im Rahmen einer Istanalyse zum einen die qualitativen Abläufe in der Auftragsabwicklung transparent zu machen, wobei der Schwerpunkt der Analyse auf die Produktion gelegt wurde, und zum anderen die quantitativen Einflüsse des Auftragsplittings auf Termintreue, Lagerbelastungen, Kapazitäten und Produktionskosten zu ermitteln. Basierend auf der Istanalyse wurde ein Simulationsmodell

aufgebaut, das die Abläufe in der Auftragsabwicklung mit Hilfe der Animation visualisiert sowie die Durchführung verschiedener Szenarien und Engpaß-Situationen ermöglicht.

## 8.2 Aufbau der Modelle während der Istanalyse

Die benötigten Daten wurden durch Interviews mit den Mitarbeitern, Beobachtung im Unternehmen und durch Auswertung der vorhandenen Maschinen- und Betriebsdaten der zentralen Datenverarbeitung erfaßt. Anschließend erfolgte der Aufbau eines Unternehmensmodells durch Abbildung der Informationen auf die Objekte und Attribute des CIMOSA Konzepts. Der Schwerpunkt der Istanalyse lag im Bereich der Fertigungsprozesse.

Die Modellierung der **ökonomischen Sicht** erfolgte aufgrund der Interdependenzen der Elementaren Kennzahlen parallel zum Aufbau der Modelle der qualitativen Sichten. Die Spezifikation der Kennzahlensysteme wurde mit Hilfe der Templates *Elementare Kennzahl* und *KennzahlenObjekt* der ökonomischen Sicht auf dem Papier durchgeführt. Das Ausfüllen der Templates beinhaltete die Identifikation der referenzierten Attribute in den qualitativen Sichten. *KennzahlenModule* wurden zunächst nicht modelliert. Das Errechnen der Kennzahlen erfolgte vorerst noch in MS-Excel und wurde erst während der Simulation im rechnergestützten Werkzeug *LeanMcCIM* durchgeführt.

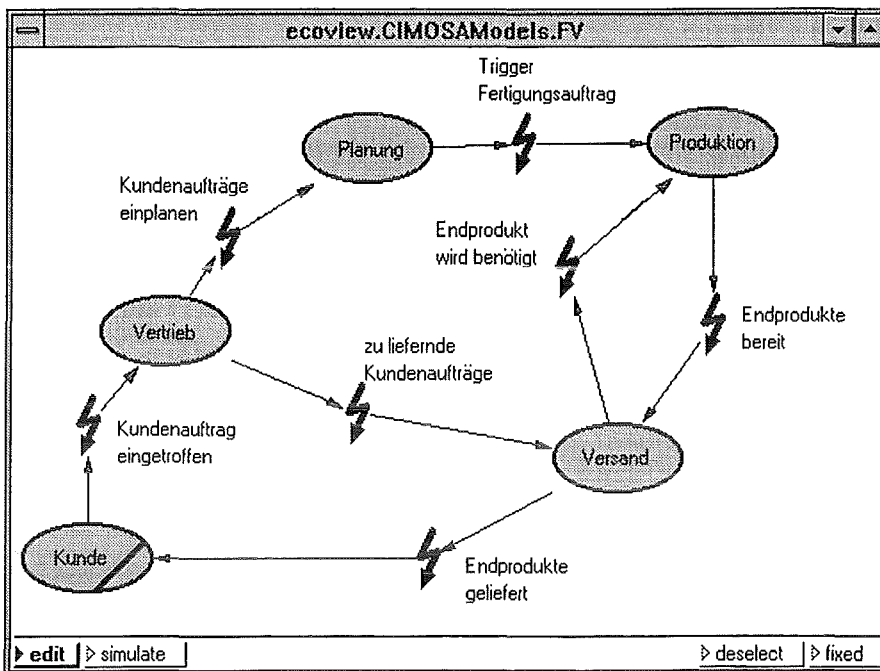
Die ausgefüllten Templates der ökonomischen Sicht sind in Anhang B enthalten. Eine detailliertere Darstellung der Modelle der qualitativen Sichten befindet sich in Anhang C.

Die Bereiche Vertrieb, Versand, Planung und Produktion wurden als eigenständige CIMOSA Domains in der **Funktionsicht** abgebildet. Der Kunde als Endabnehmer wurde als nicht weiter modelliertes Non CIMOSA Domain in die Prozeßkette integriert (siehe **Abb. 8-1**). In den Domains *Vertrieb*, *Planung* und *Versand* wurde die Grundfunktionalität zur Auftragsabwicklung dargestellt, um bei der anschließenden Simulation den Einfluß dieser Bereiche auf die Durchlaufzeit von Kundenaufträgen abbilden zu können.

Aufgrund der Prozeßorientierung der Anwendung wurde die Funktionalität des Domains *Produktion* durch ein Netzwerk von sieben Domain Processes dargestellt, die durch interne und externe Ereignisse synchronisiert werden (siehe **Abb. 8-2**).

Der Domain Process *Lagern* stellt die Lagerverwaltung mit den Grundvorgängen *Ein-* und *Auslagern* dar. Die Domain Processes im Bereich der Papierherstellung und -veredelung sind jeweils gleich aufgebaut und bestehen aus den zwei Enterprise Activities: *Material-Anfordern* und *Fertigung*. Die Unterscheidung der Domain Processes erfolgt durch die zugeordneten Ressourcen. Die Enterprise Activities sind ihrerseits wiederum in Functional Operations un-

terteilt (siehe Anhang C). Bei der nachfolgenden Animation der Modelle kann der Materialfluß auf dieser Ebene visuell verfolgt werden.



**Abb. 8-1:** Die Prozesskette *Auftragsabwicklung* der Anwendung

In der **Informationssicht** erfolgte die Abbildung der Fertigungs- und Kundenaufträge sowie der Produkte und der Lager.

Die Fertigungsaufträge für die jeweiligen Bearbeitungsstationen werden mit der Object View *Auftrag* beschrieben. Hierzu wurden aus den Maschinenbüchern die realen Daten von 3000 Fertigungsaufträgen innerhalb eines Zeitraums von 3 Monaten erfasst und eine Tabelle generiert (ein Ausschnitt der Tabelle, die als Simulationsinput dient, befindet sich in Anhang C). Diese Object View enthält neben den benötigten Informationen zur Ablaufsteuerung (die beiden Attribute *Inputs* und *Outputs* beschreiben die konsumierten und erzeugten Zwischenprodukte), beispielsweise die Attribute (Auftrags)-*Menge* und *Maschinenleistung*, die als ElementareKennzahlen in der ökonomischen Sicht referenziert werden.

Die Fertigungsaufträge konnten in Abhängigkeit ihrer benötigten Bearbeitungsschritte in Fertigungsauftragstypen klassifiziert werden (siehe **Abb. 8-3**), was die Analyse erheblich erleichtert hat. Der Auftragstyp wird als ElementareKennzahl *Papiertyp (PT)* definiert.

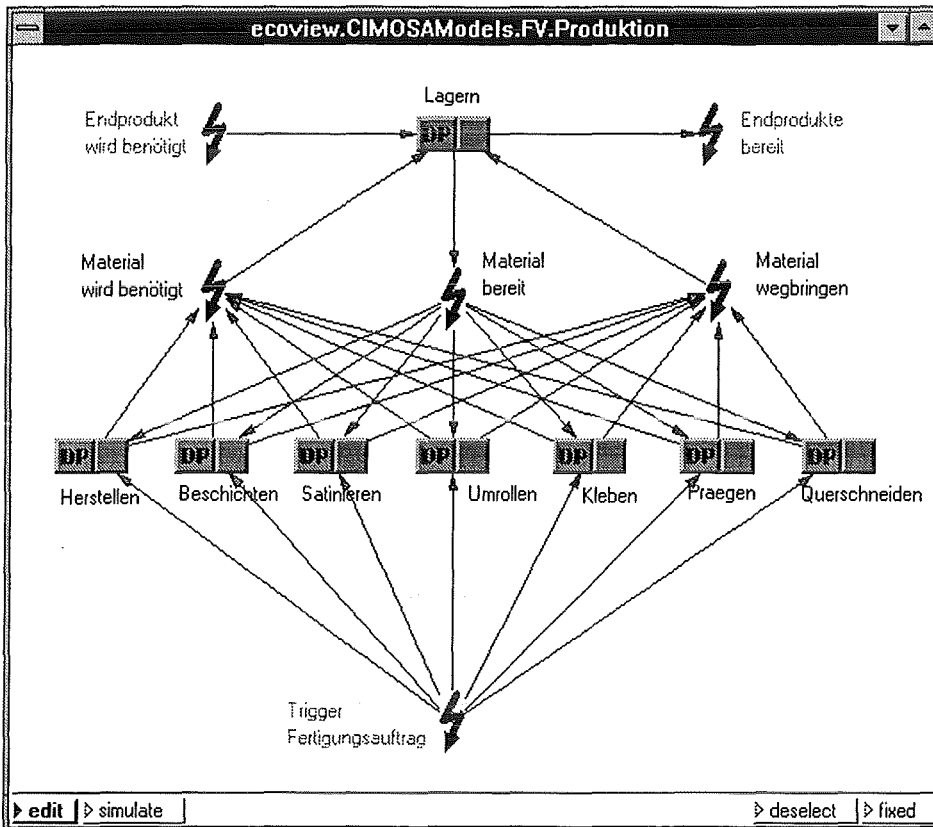


Abb. 8-2: Die Funktionalität des Domains *Produktion* der Anwendung

Zur Untersuchung der Termintreue von Fertigungsaufträgen wurden die Elementaren Kennzahlen *Ausführungszeit (AZA)* und *Durchlaufzeit (DZA)* sowie das KennzahlenObjekt *gewichtete Durchlaufzeit*<sup>22</sup> (*GDZA*) definiert. Die *Ausführungszeit* und *Durchlaufzeit* sind wiederum Attribute der Object View *Auftrag*.

Als KennzahlenObjekte zur Bewertung von Produkten wurden die *mittlere Ausführungszeit (MAZEP)* und die *mittlere Durchlaufzeit (MDZEP)* eines Endprodukt-Typs definiert. Ein Endprodukt entspricht dabei einem Fertigungsauftragstyp. Die Kennzahlen ermitteln den Einfluß der einzelnen Bearbeitungsstationen auf die Ausführungs- beziehungsweise Durchlaufzeit der Endprodukte in der Produktion.

Die Istanalyse zeigte, daß zwischen den betrachteten Fertigungsauftragstypen erhebliche Streuungen der *gewichteten Durchlaufzeiten* auftraten. Am längsten dauerte im Durchschnitt ein Auftrag des Typs A. Dies ist leicht zu erklären, da dieser Auftragstyp die arbeitsintensiv-

<sup>22</sup> Die *gewichtete Durchlaufzeit* nach Wiendahl errechnet sich aus dem Produkt von *Durchlaufzeit* und *Ausführungszeit* [Wien-87]. Zum einen zeigt sie in Form eines Rechtecks bildhaft das Verhältnis von *Liegezeit* zu *Ausführungszeit*, zum anderen kann der Wertschöpfungsanteil des Auftrags durch die Größe der Fläche des Rechtecks leicht veranschaulicht werden.

sten Bearbeitungsstationen Papierherstellen, Umrollen, Kleben, Prägen und Querschneiden durchlaufen muß (siehe **Abb. 8-3**).

In der Object View *KundenAuftraege* werden die Kundenaufträge abgebildet. Im Rahmen der Istanalyse erfolgte keine Bewertung der Kundenaufträge.

Die in der Produktion verarbeiteten und hergestellten Produkte werden in der Object View *Produkt* modelliert. Die Produkte des Unternehmens können dabei in Rollenware (Papierrollen) und Formatware (in Bögen geschnittenes Papier) eingeteilt werden. Im Rahmen der Istanalyse wurden zunächst keine Kennzahlen für Produkte definiert.

Typ \ Domain Process	Herstellen	Beschichten	Satinieren	Umrollen	Kleben	Prägen	Querschneiden
Typ A	■			■			■
Typ B	■			■			■
Typ C	■			■			■
Typ D	■			■			■
Typ E	■			■			■
Typ G	■			■			■
Typ H	■			■			■
Typ M	■	■		■			■
Typ Q	■		■	■			■
Typ S	■		■	■			■
Typ T	■		■	■			■
Typ U	■	■		■			■
Typ W	■			■			■

**Abb. 8-3:** Abarbeitung der wichtigsten Fertigungsauftragstypen in dem Domain *Produktion*

Die Zwischen- und Endprodukt-Lager wurden ebenfalls als Object View (*Lagerinfo*) modelliert. Als ElementareKennzahl für das Lager wurde das Attribut *Istlagerbestand pro Lager (IBL)* definiert. Besonders die Hinzunahme von Eilaufträgen in der Planung führte zu erheblichen Durchlaufzeiterhöhungen der Standardaufträge und zu einem Anwachsen des Zwischenlagerbestands in der Produktion. Dies liegt daran, daß mehr produziert wird als geordert wird, um die Maschinen optimal auszulasten. Ein Lagerzuwachs entsteht in der nach den Push-Prinzip organisierten Produktion ebenfalls, wenn Engpaß-Situationen an den nachfolgenden Bearbeitungsstationen auftreten.



Es wurden sieben verschiedene Typen von Maschinen (Resources) zur Papierherstellung und Papierveredelung in der **Ressourcen Sicht** modelliert, die wiederum in ihren unterschiedlichen realen Ausprägungen (Resource Units) abgebildet wurden. Die Erfassung der Ist-Daten hat gezeigt, daß die Leistung der Maschinen in Abhängigkeit des Sortenspektrums, stark variiert. Dies gilt vor allem für das Grammgewicht, sowie bei der Papiermaschine für die Papierbreite. Aus diesem Grund wurde die ElementareKennzahl *Maschinenleistung* nicht als Attribut in den Resource Units sondern als Attribut (in Form eines Information Elements) in der Object View *Auftrag* modelliert. Vor allem die Klebmaschine, die Prägekalander und die Sortierquerschneider erwiesen sich bei dem untersuchten Auftragsmix als Engpässe. Ihre durchschnittlichen Maschinenleistungen sind erheblich geringer als die der Papiermaschine. Die Leistung der Rollmaschine ist dagegen höher als im Unternehmen bisher angenommen wurde<sup>23</sup>.

Beim Kleben hat sich zudem gezeigt, daß eine bestimmte Sorte von Kundenaufträgen, die 60% der Aufträge an dieser Maschine ausmachen, besonders zeitintensiv sind. Es empfiehlt sich hier die Kostenkalkulation zu überdenken, da bisher keine Unterscheidung zwischen den Auftragsorten getroffen wurde und die Preise aufgrund der Produktmasse ermittelt wurden. Der Verkaufspreis sollte sinnigerweise auf die Ausführungszeit bezogen werden. Diese Auftragsorte soll in der nachfolgenden Simulation mit Kosten bewertet werden, um den Aspekt der Wertschöpfung genauer berücksichtigen zu können.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Istanalyse und Bewertung der Geschäftsprozessekette ergeben hat, daß die der Produktion vorgelagerten Bereiche Produktionsplanung und Vertrieb einen entscheidenden Einfluß auf die Ressourcenauslastung haben. Die Ressourcenauslastung wiederum beeinflußt die Lagerbestände, die Auftragskosten und die Durchlaufzeiten. Durch eine bessere Planung der Fertigungsaufträge und Erhöhung der Kapazitäten an den Engpaßmaschinen ist der geplante Ausbau des Lagers nicht notwendig. Als Ergebnis der Analyse wurde daher die geplanten Investitionen für die Lager zurückgestellt.

Als nächster Schritt wurde ein Simulationsmodell aufgebaut, das den Mitarbeitern in den Bereichen Planung und Vertrieb Aussagen über das dynamische Verhalten der Produktion liefern soll.

---

<sup>23</sup> Im Rahmen einer sinnvollen Zwischenlagerung könnten die Mitarbeiter der Rollenmaschine zusätzliche Aufgaben übernehmen, wie etwa das Transportieren ihres benötigten Materials und somit andere Mitarbeiter entlasten.

### 8.3 Das Simulationsmodell

Als Simulationsinput dienten die 3000 Fertigungsaufträge die während der Istanalyse erfaßt wurden. Für das Simulationsmodell wurde die in Kapitel 5.2 definierte graphische Modellierungssprache angewandt und die Kennzahlensysteme direkt im Werkzeug LeanMcCIM mit Hilfe der definierten Templates implementiert. Die Beschreibung der arithmetischen Funktionen in der graphischen Darstellung wurde dabei soweit möglich, in der folgenden Weise vereinfacht.

Die arithmetische Funktion  $\sum_{i=1}^n \frac{AZA_i}{n}$  wird beispielsweise dargestellt als  $\sum \frac{AZA}{n}$ .

Die Kennzahlen der Istanalyse wurden teilweise weiter detailliert, weiterhin wurden neue ElementareKennzahlen und KennzahlenObjekte definiert sowie das Konstrukt KennzahlenModul verwendet. Zusätzlich erfolgte nun die Definition der ÖkonomischenObjekte und ÖkonomischenModule.

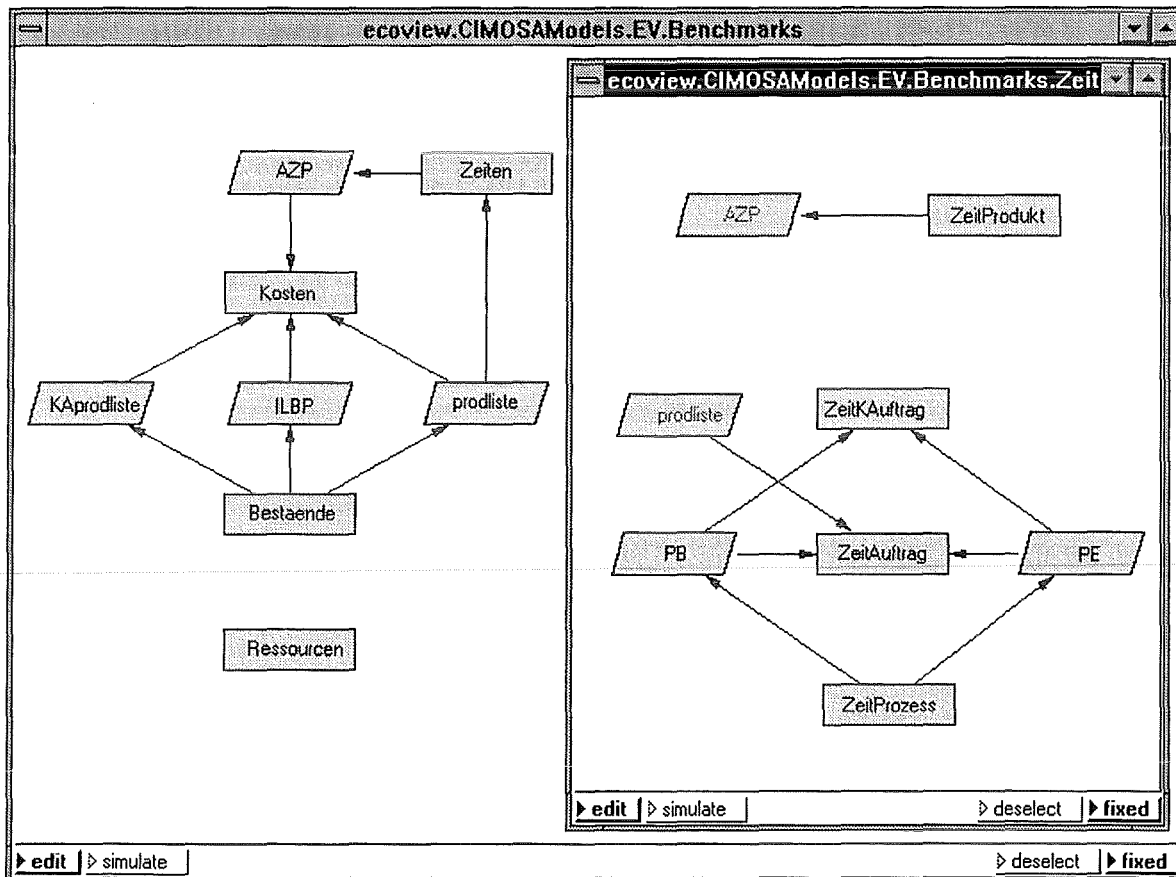
Das qualitative Modell wurde verfeinert und um simulationsspezifische Attribute erweitert. Im Non CIMOSA Domain *Kunde* erfolgt die Auswertung und das Starten der Kundenaufträge nach ihrem Eingangsdatum. Hierzu wurde eine simulationsspezifische Object View *Kundenauftragsmix* definiert, in der die Kundenauftragsidentifikatoren mit ihrem jeweiligen Startzeitpunkt enthalten sind.

Im Domain *Planung* erfolgt die Auswertung und das Starten der Fertigungsaufträge nach ihrem Eingangsdatum, die zur Ablaufsteuerung in der Produktion verwendet werden. Die simulationsspezifische Object View *Auftragsmix* enthält die Identifikatoren der Fertigungsaufträge mit ihrem jeweiligen Bearbeitungszeitpunkt. Die Reihenfolge der Aufträge entspricht dabei dem realen Ausgang aus der Planung. Die Geschäftsprozesse und -vorgänge im Domain *Produktion* liefern den *Prozeß-Beginn* und das *Prozeß-Ende* an die ElementarenKennzahlen der ökonomischen Sicht.

Die Generierung der KennzahlenModule erfolgte in einer kombinierten bottom up und top down Vorgehensweise. Zunächst wurden, aufgrund der Aufgabenstellung und den bereits während der Istanalyse generierten Kennzahlen, die vier KennzahlenModule *Zeiten*, *Bestaende*, *Kosten* und *Ressourcen* (siehe **Abb. 8-4**) definiert. Für die KennzahlenModule wurden nun schrittweise die ElementarenKennzahlen und KennzahlenObjekte sowie die KennzahlenReferenzen spezifiziert.

Es hat sich schnell gezeigt hat, daß eine Aufteilung des KennzahlenModuls *Zeiten* in vier weitere KennzahlenModule *ZeitProzeß*, *ZeitKAuftrag*, *ZeitProdukt* und *ZeitAuftrag* notwen-

dig ist. Im KennzahlenModul *ZeitProzeß* werden die prozeß-spezifischen Kennzahlen zusammengefaßt, in *ZeitKAuftrag* die Kennzahlen zur Beschreibung von Kundenaufträgen, in *ZeitAuftrag* die Kennzahlen zur Beschreibung von Fertigungsaufträgen und in *ZeitProdukt* werden die produktspezifischen Kennzahlen zusammengefaßt.



**Abb. 8-4:** Die KennzahlenModule und KennzahlenReferenzen für die Simulation

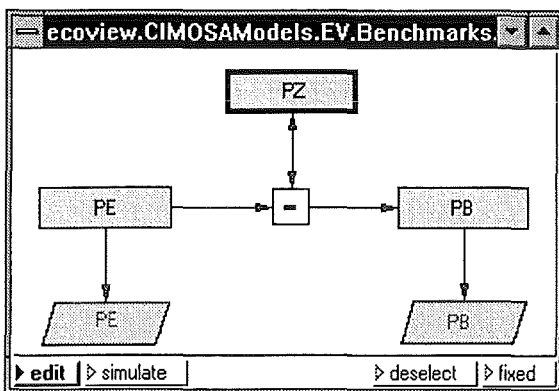
Die KennzahlenModule *Zeiten*, *Bestaende* und *Kosten* sind über die Kennzahlen *Ausführungszeit eines Produkts (AZP)*, *Menge an Produkten eines Fertigungs- und Kundenauftrags (prodliste, KAprodliste)* und *Bestand an Produkten auf Lager (ILBP)* gekoppelt und ergeben somit ein zusammenhängendes Kennzahlensystem. Die Abbildung zeigt ebenfalls die Relevanz der ElementarenKennzahlen *Prozeß-Beginn (PB)* und *Prozeß-Ende (PE)* für die Fertigungs- und Kundenauftragskennzahlen.

Die folgende Tabelle (siehe **Tab. 8-1**) gibt einen Überblick über die während der Simulation insgesamt verwendeten Kennzahlen in der ökonomischen Sicht, auf die im folgenden näher eingegangen werden soll. Einige der abgebildeten Kennzahlen dienen nur zum Errechnen übergeordneter Kennzahlen wie etwa der *Prozeß-Beginn PE*, das *Prozeß-Ende PE* oder die *Ausführungszeit eines Produkts (AZP)*.

**Tab. 8-1:** Zuordnung der im Simulationsmodell verwendeten Kennzahlen zu den KennzahlenModulen

KennzahlenModule		Kennzahlen					
Zeiten	ZeitProzeß	PE	PB	PZ			
	ZeitProdukt	AZP					
	ZeitAuftrag	EA	DZA	BEA	MDZAG	MAZAG	MGDZAG
		LZA	AZA	BBA	GADZ	DZAGr	MAZEP
	MDZEP						
	ZeitKAuftrag	DZKA	MDZKA	LTAA	LTA		
Kosten		PKP	MKS	BKA	BKKA	KB	MBKEP
Bestaende		DLAL	ILB	MLK	ILBP	ILBG	prodliste
		PT	KAprodliste				
Ressourcen		DMAL	MVS	GS			

Als KennzahlenObjekte zur Bewertung der Prozesse in den Domains *Planung*, *Versand* und *Vertrieb* (siehe **Abb. 8-5**) wurde die *Prozeßzeit (PZ)* definiert. Die Kennzahl entspricht der durchschnittlichen Durchlaufzeiten eines Kundenauftrags. Da keine detaillierte Ist-Datenerfassung pro Kundenauftrag vorlag, werden konstante Werte in den entsprechenden Domains vorgegeben. Mit Hilfe einer Normal-Verteilung ( $\mu = 1, \sigma = 0,1$ ) wurden die Werte dann zufällig variiert.



**Abb. 8-5:** Die Kennzahl zur Beschreibung von Prozessen

Zur Beschreibung von Fertigungsaufträgen wurde die ElementareKennzahl *Ausführungszeit* zu einem KennzahlenObjekt aggregiert. Die eigentliche Ausführungszeit pro Auftrag wird in den entsprechenden Functional Operations in der Funktionssicht, basierend auf der Anzahl verarbeiteter Produkte und der aktuellen Maschinenleistung, simulativ ermittelt. Das Kenn-

zahlenObjekt leitet sich in der ökonomischen Sicht aus dem *Bearbeitungs-Beginn* und dem *Bearbeitungs-Ende des Auftrags* ab. Diese beiden Kennzahlen repräsentieren wiederum KennzahlenObjekte. Sie stellen den Bearbeitungs-Beginn des ersten Produkts des Auftrags und das Bearbeitungs-Ende des letzten Produkts des Auftrags dar, und werden mit Hilfe der ElementarenKennzahlen *Prozeß-Beginn* und *Prozeß-Ende* errechnet.

Anstelle der während der Istanalyse verwendeten ElementarenKennzahl (Auftrags-) *Menge* wurde die ElementareKennzahl *Produktliste (prodliste)* definiert. Die Kennzahl beinhaltet eine Liste der einzelnen Produkte des Auftrags. Die Mächtigkeit der Menge entspricht der (Auftrags-) Menge. Die Kennzahl wurde dem KennzahlenModul *Bestaende* zugeordnet.

Die *Liegezeit* wurde als KennzahlenObjekt definiert. Die Kennzahl ergibt sich aus dem oben genannten KennzahlenObjekt *Bearbeitungs-Ende des Auftrags* und der neu definierten ElementarenKennzahl *Eingang des Auftrags in die Produktion*. Die Kennzahl *Eingang des Auftrags* wird als Attribut in die Object View *Auftrag*, nach der Freigabe des Auftrags durch die Planung, eingetragen.

Es erfolgte eine weitere Verdichtung der Daten durch die Definition zusätzlicher KennzahlenObjekte. Um die Streuung einzelner Auftragsstypen bezüglich der Betrachtungsperiode feststellen zu können, wurden die *durchschnittliche Ausführungs- (MAZAG)* und *Durchführungszeit (MDZAG)* sowie die *gewichtete Durchführungszeit (MGDZAG)* aller Fertigungsaufträge definiert.

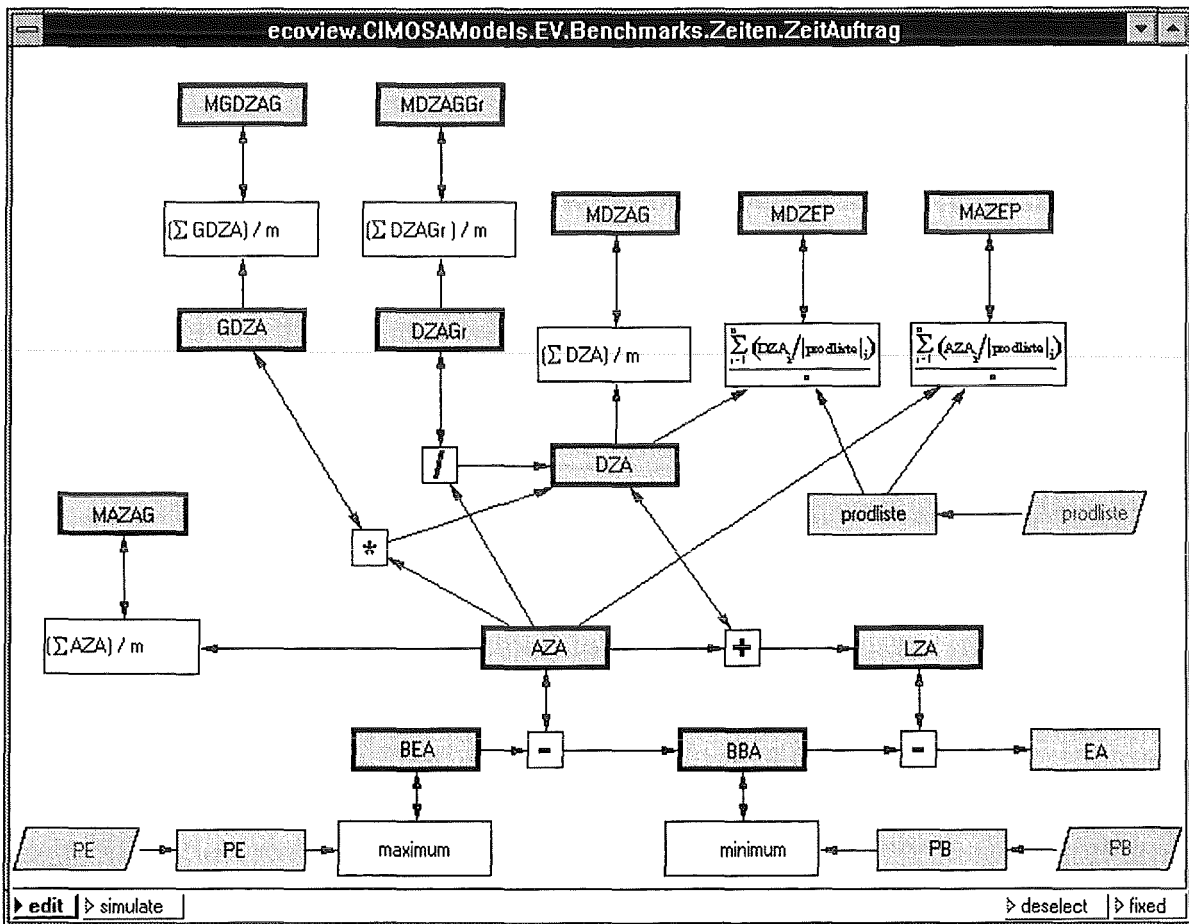
Ein Nachteil der *gewichteten Durchlaufzeit* ist, daß sich die Kennzahl in Tabellenkalkulationsprogrammen nicht als Fläche darstellen läßt. Es wurden daher zwei zusätzliche KennzahlenObjekte, der *Durchlaufzeitgrad eines Fertigungsauftrags (DZAGr)* und der *Durchlaufzeitgrad eines Fertigungsauftragstyps (MDZAGr)*, definiert. Der *Durchlaufzeitgrad* setzt sich aus dem Verhältnis von *Ausführungszeit* zu *Durchlaufzeit* zusammen. Geht der Wert der Kennzahl gegen eins, so ist die Liegezeit im Vergleich zur Ausführungszeit gering. Geht der Wert gegen null, so liegt eine hohe Liegezeit vor. Gegenüber der *gewichteten Durchlaufzeit*, kann allerdings der Wertschöpfungsanteil nicht abgebildet werden. Die Kennzahl bietet sich somit nur als Ergänzung zur *gewichteten Durchlaufzeit* an.

Unverändert übernommen aus der Istanalyse wurden die KennzahlenObjekte *mittlere Ausführungs- und Durchlaufzeit eines Endprodukts (MAZEP und MDZEP)* pro Bearbeitungsstation.

**Abb. 8-6** zeigt das Kennzahlensystem zur Beschreibung von Fertigungsaufträgen.

Die *Durchlaufzeit der Kundenaufträge* durch die Produktion ergibt sich während der Simulation aus den ElementarenKennzahlen *Prozeß-Beginn* und *Prozeß-Ende* und wurde daher als

KennzahlenObjekt definiert (siehe **Abb. 8-7**). Als ElementareKennzahlen wurden die *Kundenauftrags-Produktliste (KAprodliste)* und die *geplanter Liefertermin eines Auftrags (LTA)* definiert und in der Object View *KundenAuftraege* als Attribute implementiert. Die ElementareKennzahl *Kundenauftrags-Produktliste* definiert die Produkte eines Kundenauftrags und wurde als Liste implementiert. Die Mächtigkeit der Menge entspricht wiederum der Anzahl der Produkte. Die Kennzahl wurde dem KennzahlenModul *Bestaende* zugeordnet. Sie wird wiederum für das KennzahlenObjekt *Bearbeitungskosten eines Kundenauftrags (BKKA)* im KennzahlenModul *Kosten* benötigt.



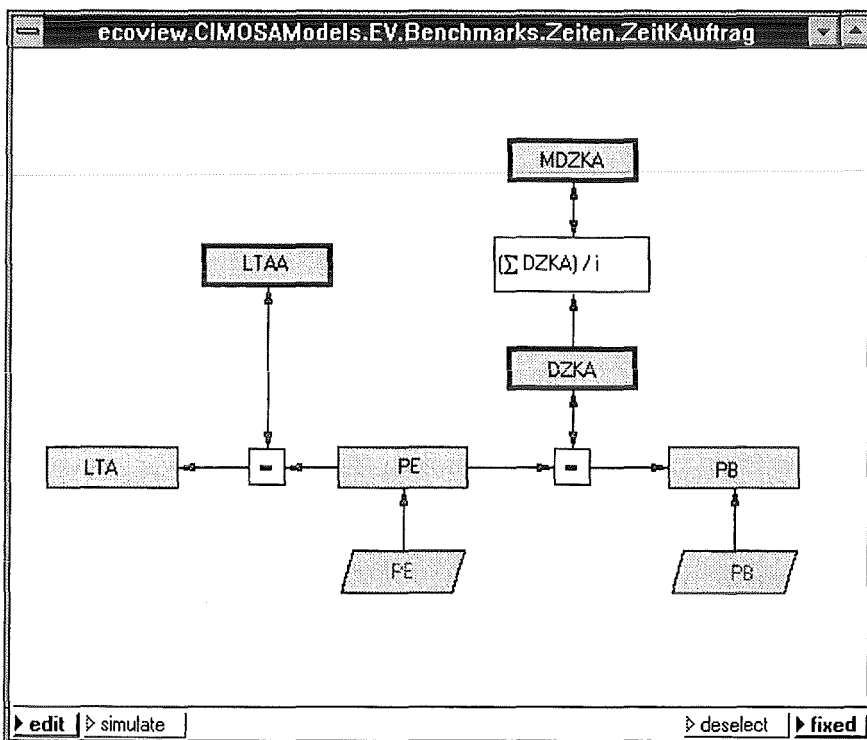
**Abb. 8-6:** Das Kennzahlensystem zur Beschreibung von Fertigungsaufträgen

Die Kennzahl *geplanter Liefertermin eines Auftrags (LTA)* wird für das KennzahlenObjekt *Lieferterminabweichung (LTAA)* benötigt. Die *Lieferterminabweichung* gibt an, ob ein Kundenauftrag termingerecht, zu früh, oder zu spät ausgeliefert wurde. Mit Hilfe dieser Kennzahl soll überprüft werden, ob die Plandaten des Vertriebs genau genug sind.

In den Resource Units wurde eine Gauß-Verteilung definiert ( $\mu = 1, \sigma = 0,1$ ), um Schwankungen der Maschinenleistung abzubilden. Als zusätzliche ElementareKennzahlen wurden die

*maximale Verfügbarkeit* der Maschinen (*MVS*) und die innerhalb eines Simulationszeitraums von der Ressource *geleisteten Stunden* (*GS*) festgelegt (siehe **Abb. 8-8**). Beide Kennzahlen wurden als Attribute in den Resource Units abgebildet und werden für das KennzahlenObjekt *durchschnittliche Maschinenauslastung* (*DMAL*) benötigt. Die Kennzahl dient zum Erkennen von Ressourcenengpässen.

Um die Störungen von Ressourcen berücksichtigen zu können, wurde eine eigene Object View *Stoerungen* für die Simulation definiert. Die Object View wurde als Tabelle implementiert. Für jede Störung wird ein eigener Datensatz (Occurence) definiert, der Informationen über das betreffende Betriebsmittel sowie den Beginn und die Dauer der Störung enthält. Die Störungen können dabei regelmäßig (etwa Schichtwechsel, 2 Schichtbetrieb, Wochenende) oder unregelmäßig auftreten (etwa Wartungstermine).



**Abb. 8-7:** Die Kennzahlen zur Beschreibung von Kundenaufträgen

Als zusätzliches Attribut in den Resource Units wurde der Maschinenkostensatz berücksichtigt, der als gleichnamige Elementare Kennzahl (*MKS*) in der ökonomischen Sicht zum Errechnen der Produktionskosten und der Kapitalbindung in den Lagern benötigt wird. Die Kennzahl ist dem KennzahlenModul *Kosten* zugeordnet.

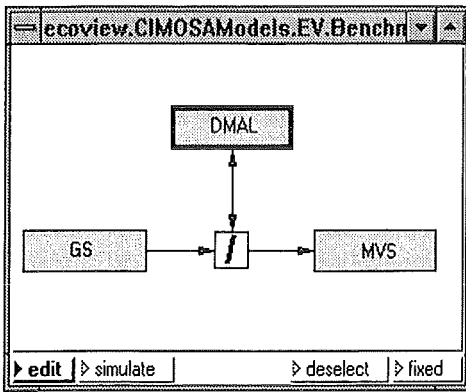


Abb. 8-8: Die Kennzahl zur Beschreibung von Ressourcen

Zur Beschreibung der Produktionskosten wurden die KennzahlenObjekte *Bearbeitungskosten pro Fertigungsauftrag (BKA)*, *Bearbeitungskosten eines Kundenauftrags (BKKA)* und *Bearbeitungskosten eines Endprodukts* (pro Tonne) bezogen auf eine Bearbeitungsstation (*MBKEP*) definiert, um die Wertschöpfung während der Bearbeitungsschritte aufzuzeigen. Über das KennzahlenObjekt *Kapitalbindung (KB)* wird die Höhe des insgesamt in den Lagern gebundenen Kapitals ermittelt (siehe Abb. 8-9).

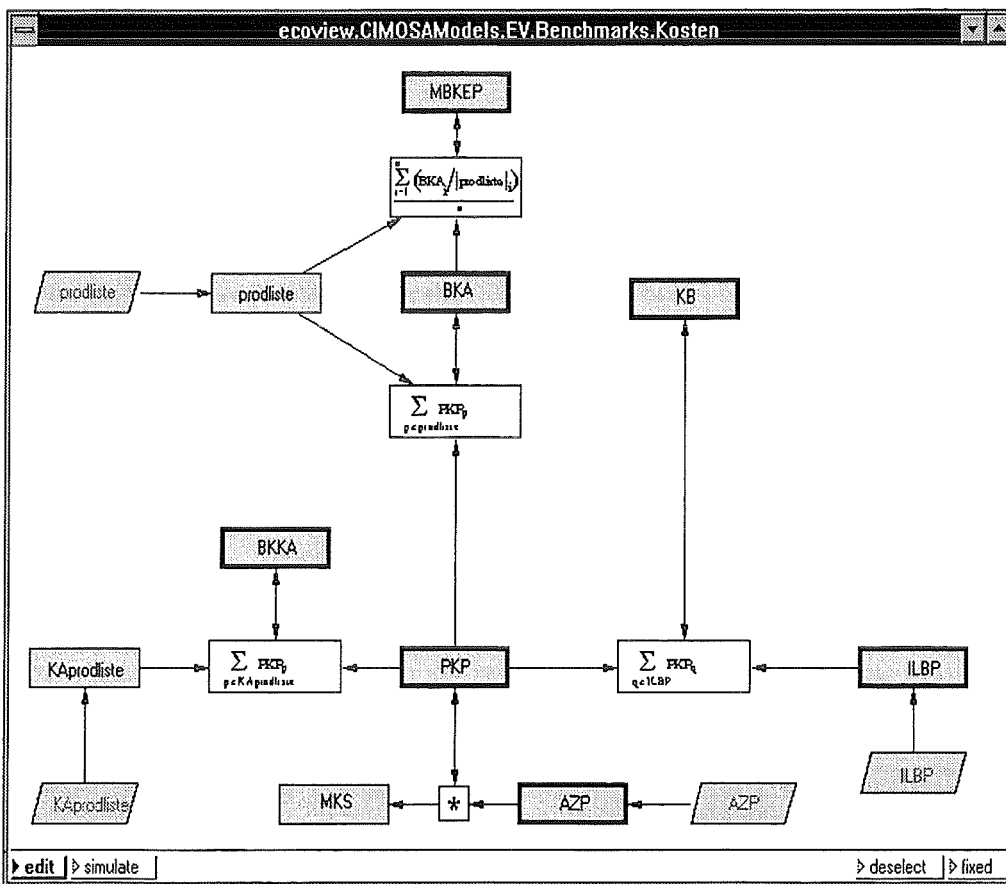
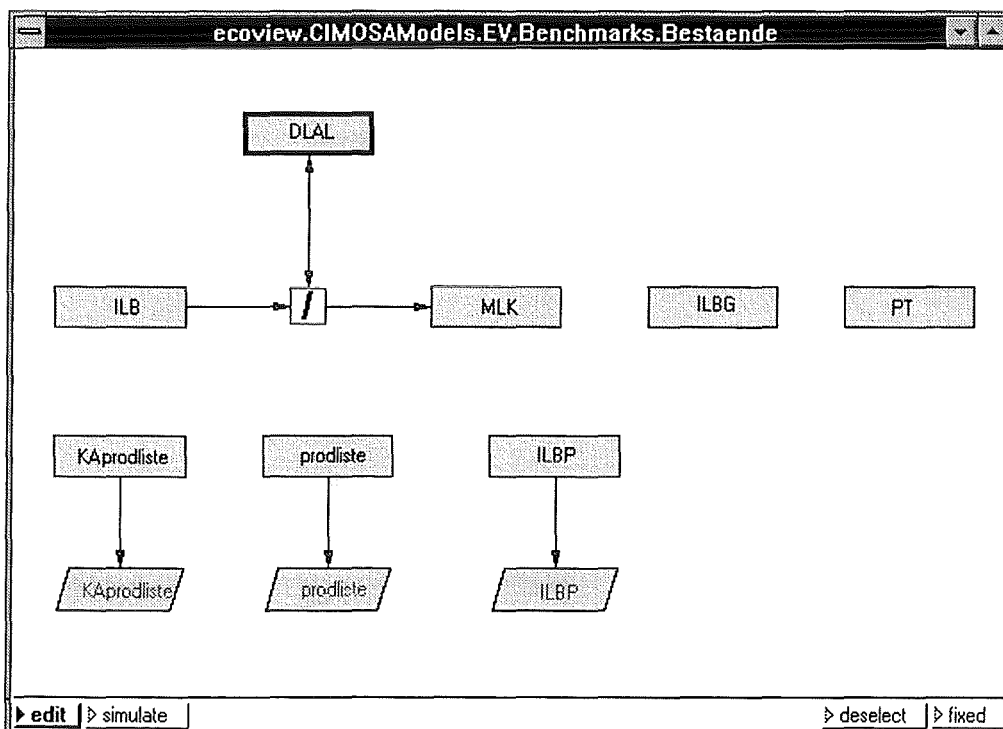


Abb. 8-9: Die Kennzahlen zur Beschreibung der Kostenaspekte



Die Berücksichtigung der Bearbeitungskosten im Simulationsmodell soll als Hilfestellung für die Vorkalkulation dienen. Im Rahmen einer tiefgehenden Activity Based Costing Analyse müßten im Produktionsprozeß noch die Materialkosten und die Rüstzeiten erfaßt werden, sowie geeignete Maßgrößen und Prozeßkostensätze für die vor- und nachgelagerten Prozesse definiert werden, um die wirtschaftliche Auswirkung des Einschlebens von Aufträgen durch zusätzliche Umrüstvorgänge zu erfassen. Erst dann kann festgestellt werden, ob ein Auftrag zu teuer oder zu billig angeboten wird. Vom Unternehmen wurden jedoch noch keine Daten über die Kostenkalkulation und Rüstvorgänge geliefert. Die Simulation kann daher nur erste Anhaltspunkte liefern.

Als Elementare Kennzahlen für das Lager wurden die Attribute *maximale Lagerkapazität (MLK)* und der *aktuelle Lagerbestand pro Produkt (ILBP)* definiert. Die Kennzahl *aktueller Lagerbestand pro Produkt (ILBP)* wird zum Errechnen der Kapitalbindung in der Object View *Lagerinfo* benötigt und entspricht einer Liste, in der sämtliche Produkte enthalten sind. Die Mächtigkeit der Menge entspricht der Anzahl der Produkte auf Lager. Als Kennzahlen Objekte in der ökonomischen Sicht wurden die *durchschnittliche Lagerauslastung (DLAL)*, sowie der *gesamte Bestand aller Lager (ILBG)* definiert (siehe **Abb. 8-10**).



**Abb. 8-10:** Die Kennzahlen zur Beschreibung der Bestände

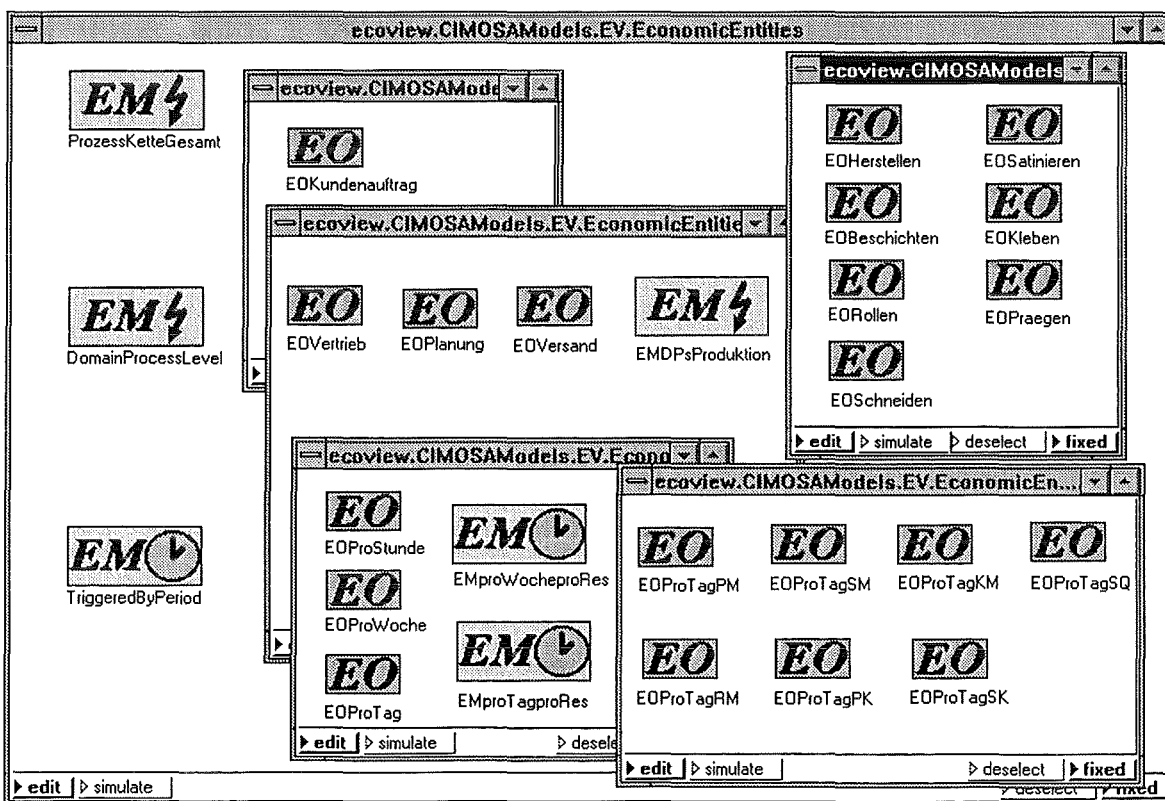
Das Modell wurde so aufgebaut, daß jedes einzelne Produkt (dies entspricht einer Rolle Papier) einzeln verfolgt und bewertet werden kann. Als einzige Elementare Kennzahl zur Bewer-

tung von Produkten wurde die *Ausführungszeit des Produkts (AZP)* eines Auftrags in der Object View *Produkt* als Attribut definiert. Die Kennzahl wird zum Errechnen der *Bearbeitungskosten eines Fertigungsauftrags (BKA)* beziehungsweise *Kundenauftrags (BKKA)* benötigt. Sie ergibt sich aus der auftragsabhängigen Maschinenleistung während der Simulation.

Nach der Generierung der Kennzahlensysteme erfolgte die Zuordnung der Kennzahlen zu den zu bewertenden Objekten Lager, Ressourcen, Prozessen sowie den Kunden- und Fertigungsaufträgen über die Ökonomischen Objekte. Es wurden 3 Ökonomische Module, zur Klassifizierung der Ökonomischen Objekte, definiert.

Das Ökonomische Modul *ProzessKetteGesamt* deckt die gesamte Auftragsabwicklung ab und dient zur Bewertung von Kundenaufträgen. Das Modul beinhaltet das Ökonomische Objekt *EOKundenauftrag*, das die Domains *Vertrieb, Planung, Produktion* und *Versand* umfaßt.

Das Ökonomische Modul *TriggeredByPeriod* enthält drei Ökonomische Objekte, die stündlich, täglich beziehungsweise wöchentlich getriggert werden. Zusätzlich beinhaltet es wiederum die zwei Ökonomischen Module *EMproTagproRes* und *EMproWocheproRes* (siehe **Abb. 8-11**), die jeweils sieben Ökonomische Objekte enthalten. Die Ökonomischen Objekte dienen zur Bewertung der verwendeten Ressourcen.



**Abb. 8-11:** Ökonomische Module und ihre Ökonomischen Objekte

Im ÖkonomischenModul *DomainProcessLevel* erfolgt die Bewertung von Objekten deren Kennzahlen von Domain Processes getriggert werden. Es wurden drei ÖkonomischeObjekte zur Bewertung der Domain Processes in Vertrieb, Planung und Versand definiert. Pro Domain Process in der Produktion wurde ebenfalls ein ÖkonomischesObjekt definiert. Die ÖkonomischenObjekte zur Bewertung der Produktionsprozesse wurden zu dem ÖkonomischenModul *EMDPsProduktion* zusammengefaßt.

**Tab. 8-2** zeigt die Zuordnung von Kennzahlen zu den zu bewertenden Objekten mit Hilfe der ÖkonomischenObjekte. **Abb. 8-12** zeigt beispielhaft die Attribute des ÖkonomischenObjekts *EODPHerstellen* zur Bewertung des Domain Process *Herstellen*.

**Tab. 8-2:** Die Bewertung von Objekten mit Kennzahlen in den ÖkonomischenObjekten

Kz\EOs	EOpW	EOpT	EOpWpR	EOpTpR	EOPS	EODPsProd	EOVertr	EOVers	EOPlan	EOPKK
PZ						FA	FA	FA	FA	
AZA						FA				
DZA						FA				
MAZEP			FA	FA						
MDZEP			FA	FA						
MAZAG	FA	FA								
MDZAG	FA	FA								
GADZ						FA				
MGDZAG	FA	FA								
DZKA							KA	KA	KA	KA
MDZKA							KA	KA	KA	KA
LTAA							KA	KA	KA	KA
BKA						FA				
MBKEP			FA	FA						
BKKA							KA	KA	KA	KA
KB	Lager	Lager								
DLAL	Lager	Lager								
ILB					Lager					
ILBG					Lager					
DMAL	Res	Res								

Kz = Kennzahlen, EOs = ÖkonomischeObjekte, FA = Fertigungsauftrag, KA = Kundenauftrag, Proz = Prozeß, Res = Ressource

Die graphische Auswertung der Simulationsläufe befindet sich in Anhang D. Die Aussagekraft der Simulationsergebnisse ist dabei kritisch zu sehen. Aufgrund der großen Datenmengen und der Komplexität des Unternehmensmodells konnte mit dem verwendeten Intel Penti-

um Rechner und dem Betriebssystem MS-Windows 3.11 lediglich über einen Zeitraum von 11 Tagen simuliert werden, bis die Leistungsgrenze des Rechners und des Betriebssystems erreicht war.

Die Rechenzeit betrug dabei zwischen 9 und 10 Stunden. Um realitätsnahe Vorhersagen über auftretende Liegezeiten und Maschinenauslastungen bei der Berücksichtigung einer Vielzahl von Aufträgen treffen zu können, müßte die Simulationszeit zunächst mindestens einen Monat betragen, bis das System einen stationären Zustand erreicht hat, der das Unternehmens abbildet. Die anschließenden Simulationsläufe sollten, basierend auf diesem Startzustand, über einen weiteren Zeitraum von ein bis zwei Monaten erfolgen, um realitätsnahe Prognosen über die Auftragsabwicklung treffen zu können.

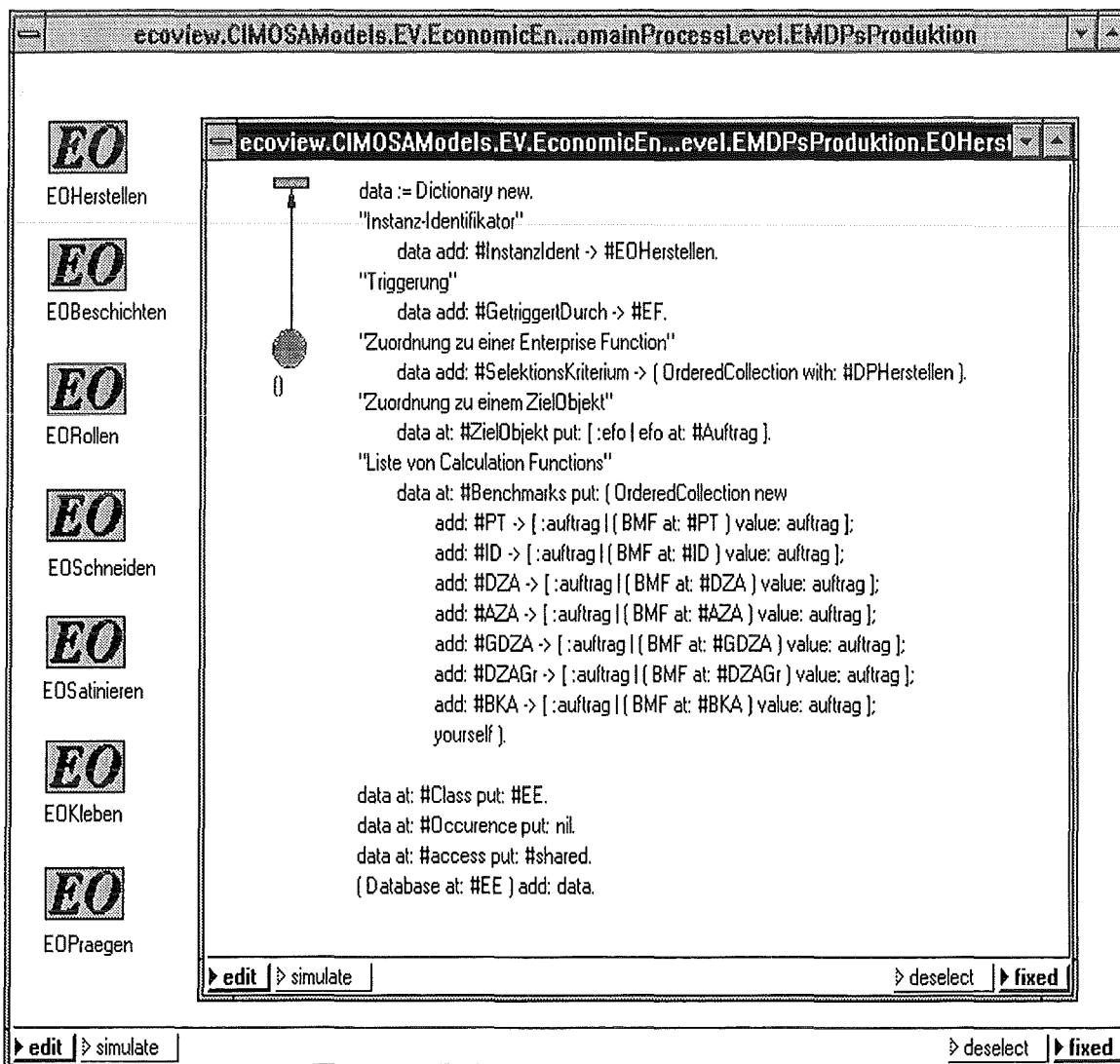


Abb. 8-12: Die Attribute des Ökonomischen Objekts *EODPHerstellen*

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Der zunehmende weltweite Konkurrenzkampf führt zu sinkenden Preisen und wachsenden Qualitätsanforderungen. Die sich schnell ändernden Märkte zwingen die Unternehmen, flexibel auf neue Kundenanforderungen zu reagieren. Unternehmen, die im Wettbewerb bestehen wollen, müssen sich den wechselnden Anforderungen permanent anpassen können. Die kontinuierliche Optimierung der Geschäftsprozesse ist entscheidend für die Zukunftssicherung der Unternehmen, der Wandel durch Reorganisation wird zur Normalität. Die tayloristische Arbeitsteilung sowie der Siegeszug der Automatisierung haben jedoch zu nicht mehr überschaubaren komplexen und inflexiblen Abläufen mit der Gefahr der Pufferbildung geführt. Es sind meist nur noch Ausschnitte des Unternehmens bekannt, während die Gesamtzusammenhänge im Verborgenen bleiben, was wiederum die Reorganisation behindert.

Eine Lösung bietet die ganzheitliche Betrachtung und Optimierung der Abläufe im Sinne von Geschäftsprozeßketten. Mit Hilfe der Unternehmensmodellierung werden die Unternehmensabläufe und ihre kausal logischen Abhängigkeiten, der Informationsfluß, die Ressourcen und die organisatorischen Strukturen transparent gemacht. Die quantitative Bewertung der Prozesse und Unternehmensobjekte erfolgt durch Kennzahlen. Die alleinige statische Betrachtung der Abläufe reicht jedoch oft nicht aus. Die Simulation hat sich hier in vielen Bereichen des Unternehmens bewährt, um das dynamische Verhalten der betrachteten Anwendung etwa in Bezug auf die Auftragsliegezeiten oder Ressourcenauslastung zu ermitteln.

Die Analyse bestehender Modellierungsansätze machte deutlich, daß generische Modellierungsmethoden wie Petrinetze oder SADT zur Beschreibung der Unternehmensabläufe zu wenig Semantik bieten und für die Anwendung im Rahmen der Geschäftsprozeßoptimierung zu unübersichtlich sind. Die Analyse zeigte weiter, daß ganzheitliche Unternehmensmodellierungsansätze, die Sichtenkonzepte verwenden, zur Beschreibung der Anwendungen im Rahmen der Geschäftsprozeßoptimierung geeignet sind. Mit Hilfe der Modellsichten wird die Komplexität der Unternehmensmodelle reduziert. Die Zerlegung in die Modellsichten erfolgt derart, daß die Beziehungen der Komponenten innerhalb der Sichten sehr stark sind, zwischen den Sichten jedoch nur eine lose Kopplung über definierte Schnittstellen besteht.

Während die qualitativen Aspekte ausreichend beschrieben werden können, existieren noch Schwachstellen im Bereich der quantitativen Analyse und Bewertung. Aufgrund der Verwendung von Modellsichten sind die Analyse- und Optimierungsparameter auf die Objekte der verschiedenen Sichten verteilt und für die Analyse insgesamt schwer zugänglich. Die Simula-

tion als Werkzeug zur Analyse und Optimierung wird des weiteren in der Regel nicht explizit in den Konzepten berücksichtigt.

Basierend aus den abgeleiteten Schwachstellen wurden die Anforderungen an ein Konzept zur Analyse und Bewertung von Unternehmensmodellen im Rahmen der Geschäftsprozeßoptimierung definiert. Als neuer Faktor der Unternehmensmodellierung wurde eine ökonomische Modellsicht ausgearbeitet. Die Modelle der ökonomischen Sicht präsentieren dem Anwender die relevanten quantitativen Analyse- und Optimierungskriterien von Unternehmensmodellen aggregiert in Form von Kennzahlen. Die bisher auf die Objekte der verschiedenen Sichten verteilten Analyse- und Optimierungskriterien werden infolgedessen wieder zusammengeführt und in Form von Kennzahlen konzentriert. Die Bildung von Kennzahlensystemen ist somit integrierter Bestandteil der Modellierung. Die Analyse dynamischer Aspekte der Anwendungen erfolgt mit Hilfe der Simulation.

Zur Beschreibung der qualitativen Anwendungskonzepte wurde der CIMOSA Ansatz, basierend auf den erarbeiteten Anforderungen an ein Unternehmensmodellierungskonzept, ausgewählt.

Es wurden fünf Modellkonstrukte definiert und formal spezifiziert. Die Modellierung von Kennzahlensystemen erfolgt durch die Konstrukte KennzahlenObjekt, ElementareKennzahl und KennzahlenModul. Die Konstrukte ÖkonomischesObjekt und ÖkonomischesModul dienen zur dynamischen Zuordnung der definierten Kennzahlen zu den zu bewertenden Objekten während der Modellausführung.

Als Ergänzung zu den Konstrukten wurde eine graphische Beschreibungssprache, zur Modellierung von Kennzahlensystemen definiert. Die graphische Beschreibungssprache ermöglicht einen besseren Überblick über die Kennzahlensysteme und erleichtert damit dem Anwender deren anwendungsspezifische Modellierung. Sie beinhaltet jedoch nicht alle Informationen der Konstrukte und bietet sich als Ergänzung zu den Konstrukten an.

Am Beispiel des CIMOSA Konzepts wurden die Schnittstellen der definierten ökonomischen Modellkonstrukte zu den Konstrukten eines Unternehmensmodellierungskonzepts untersucht. Die Analyse hat gezeigt, daß lediglich zwei CIMOSA Konstrukte eine Referenz zu den Konstrukten der ökonomischen Sicht haben. Die ökonomische Sicht läßt sich somit leicht in den Unternehmensmodellierungsansatz integrieren. Für die CIMOSA Modellkonstrukte wurden des weiteren zusätzliche Attribute für die Simulation definiert.

Zum Aufbau der Modelle wurden Methoden definiert, die den Anwender bei der Generierung der Kennzahlensysteme sowie der Zuordnung von Kennzahlen zu den bewertenden Objekten

unterstützen. Weitere Methoden dienen zur Analyse und Bewertung von Prozessen und Objekten mit Hilfe der Konstrukte der ökonomischen Sicht und der Simulation.

Die Validierung des Ansatzes erfolgte an Hand eines rechnerbasierten Prototyps sowie einer realen betrieblichen Anwendung. Der Prototyp wurde auf Basis einer bestehenden Simulationsumgebung und der Programmiersprache SmallTalk implementiert. Das rechnerbasierte Werkzeug ermöglicht die Modellierung von Unternehmensmodellen in den drei Sichten Funktions-, Informations- und Ressourcensicht sowie die Generierung und Errechnung von Kennzahlen in der ökonomischen Sicht. Zur graphischen Auswertung der Ergebnisse wurde ein kommerzielles Tabellenkalkulationsprogramm verwendet. 2-dimensionale Kennzahlen konnten mit dem Tabellenkalkulationsprogramm jedoch nicht graphisch dargestellt werden. Im Hinblick auf eine allgemeine Einsetzbarkeit des Werkzeugs muß des weiteren die Benutzerfreundlichkeit des Prototyps noch erhöht werden. Beim jetzigen Stand des Werkzeugs müssen die Attributwerte der Konstrukte in Form von Programmiercode eingegeben werden.

Das mit dem Prototypen durchgeführte Praxisbeispiel der Prozeßkette „Kundenauftragsabwicklung“ eines mittelständischen Unternehmens zeigte die Anwendbarkeit des Ansatzes. Zunächst erfolgte eine Istanalyse, der Schwerpunkt lag dabei im Bereich der Fertigung. Anschließend wurde ein Simulationsmodell zur Vorhersage des dynamischen Verhaltens der betrachteten Anwendung aufgebaut. Während der Istanalyse wurden die Konstrukte ElementareKennzahl und KennzahlenObjekt verwendet und die Kennzahlen auf dem Papier modelliert. Die generierten Kennzahlensysteme hatten wegen der bereits vorliegenden Daten eine geringe Tiefe. Eine Modularisierung der Kennzahlen war nicht notwendig.

Die Konstrukte der ökonomischen Sicht dienten während der Istanalyse zum Beantworten der folgenden Fragen:

- Welche Kennzahlen werden benötigt?
- Wie können die Kennzahlen errechnet werden?
- Welche Art (Klasse) von Objekten soll bewertet werden?
- Wo befinden sich die benötigten Informationen?
- Welche organisatorischen Bereiche benötigen die Kennzahlen?

Die Vorteile der ökonomischen Sicht haben sich erst voll bei der anschließenden Simulation gezeigt. Hier wurde definiert, wie die Kennzahlen implementiert werden müssen, damit sie errechnet werden können. Im Rahmen der Simulation wurden die gesamte Prozeßkette, verschiedene Geschäftsprozesse, Ressourcen, Aufträge, Produkte und die Lager analysiert. Viele

Elementare Kennzahlen, die während der Istanalyse als Meßwerte vorlagen, mußten, um sie errechnen zu können, weiter detailliert werden. Es erfolgte außerdem eine weitere Verdichtung der Daten, um Aussagen über die Streuung der Werte zu bekommen. Infolge der großen Anzahl von Kennzahlen, war eine Modularisierung erforderlich.

Mit Hilfe der nun zusätzlich verwendeten Ökonomischen Objekte wurden folgende Fragen beantwortet:

- Welche spezifischen Objekte sollen bewertet werden?
- Wie können die spezifischen Objekte während der Simulation ermittelt werden?
- Wann sollen die Kennzahlen errechnet werden?

Der entwickelte Ansatz stellt einen Beitrag zur Optimierung der Geschäftsprozeßketten dar. Kennzahlen konnten schnell aus den Attributen der qualitativen Modellkonstrukte abgeleitet und implementiert werden. Ihre Aussagekraft auf die referenzierten Objekte konnte mit Hilfe von Simulationsläufen getestet werden. Die Aussagefähigkeit der Simulationsergebnisse in Bezug auf ein Abbild der Realität ist jedoch wegen der geringen Simulationsdauer kritisch zu sehen. Durch die Kennzahlenanalyse können Schwachstellen erkannt und ihre Ursachen zurückverfolgt werden. Als Schwachpunkt der ökonomischen Sicht ist anzumerken, daß eine rein quantitative Analyse und Bewertung nur einen Teilaspekt der Geschäftsprozeßoptimierung berücksichtigt. Qualitative Kriterien wie die Zufriedenheit oder die Arbeitserfahrung von Mitarbeitern werden nicht betrachtet. Die Aussagefähigkeit von Kennzahlen nimmt des weiteren bei zunehmender Verdichtung ab.

Ein weiteres Einsatzgebiet für den Ansatz wäre neben der Geschäftsprozeßoptimierung die Entwicklung von Kennzahlenreferenzmodellen im Rahmen des Benchmarking. Durch die standardisierte Definition von branchenspezifischen beziehungsweise branchenübergreifenden Kennzahlen in Verbindung mit einer standardisierten Beschreibung der Abläufe würden sich bessere Vergleichsmaßstäbe zwischen den anfallenden Kennzahlenwerten ergeben.



## 10 Literatur

- [Abel-90] Abel D.: Petrinetze für Ingenieure - Modellbildung und Analyse diskret gesteuerter Systeme. Springer Verlag, Berlin, 1990
- [AgCW-94] Aguilar M.W.C., Coutts I., Weston R.H.: Model enactment as a basis for rapid prototyping of manufacturing systems. IMSE'94 Conference Proceedings, Grenoble, 12-14 Dezember 1994, (86-96)
- [AIWi-86] Albach H, Wildemann H.: Strategische Investitionsplanung für neue Technologien. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1986
- [AMIC-92] ESPRIT Consortium AMICE (Hrsg.): CIMOSA FRB II, AMICE Deliverables. 2 Bld la Woluwe, 1150 Brüssel, Belgien, 1992
- [AMIC-93] ESPRIT Consortium AMICE (Hrsg.): CIMOSA - Open System Architecture for CIM. Springer Verlag, 1993
- [Ande-92] Anderl R.: Stand der Forschung und Entwicklung von STEP. Tagungsband Anwenderkongreß CAT '92, Müller Adress, Nürnberg, 1992, (13-18)
- [ARIS-94] N.N.: ARIS-Toolset Handbuch, Version 1.0, IDS Prof. Scheer GmbH, Saarbrücken, 1994
- [ASIM-93] N.N.: 6. Workshop des ASIM Arbeitskreises, Simulation und künstliche Intelligenz. Heft 44, Karlsruhe, 22/23. April 1993
- [ASIM-94] N.N.: 7. Workshop des ASIM Arbeitskreises, Simulation und künstliche Intelligenz. Heft 44, Braunschweig, 13/14. April 1994
- [Awad-88] Awad Elias M.: Management Information Systems. The Benjamin Cummings Publishing Company Inc., Menlo Park, USA, 1988
- [AlAn-94] Al-Ani Ayad: GPO-Tools, Projektarbeit bleibt nicht erspart. Diebold Management Report Nr. 5-94, (5-9)
- [Balz-93] Balzert Helmut (Hrsg.): CASE - Auswahl, Einführung, Erfahrungen. BI Wissenschaftsverlag, Mannheim, 1993
- [BARC-94] Bruno G., Agarwal R., Reyneri C., Chiavola B., Varani M.: Making CIMOSA operational. IMSE'94 Conference Proceedings, Grenoble, 12-14 Dezember 1994, (97-106)

- [Brau-90] Brauchlin Emil: Problemlösungs- und Entscheidungsmethodik. Paul Haupt Verlag, Bern, 1990
- [Bull-94] Bullinger (Hrsg.): Neue Impulse für eine erfolgreiche Unternehmensführung, Customer Focus - Business Reengineering. 13. IAO Arbeitstagung, Springer Verlag, Berlin, April 1994
- [Chen-76] Chen P.P.: The Entity Relationship Model (Towards a unified view of data). ACM Transactions on Database Systems No. 1 (1976), (9-36)
- [CIMP-92] N.N.: Das ESPRIT-Cimple Projekt: Auszug aus dem Berichtsband des CIM-Europe Workshop zum Thema: Wirtschaftlichkeit des CIM-Einsatzes im Mittelstand, 1992
- [Coop-90] Cooper R.: Activity Based Costing. Fachbeiträge in KRP 4/90 (210-220), KRP 5/90 (271-279), KRP 6/90, (345-351)
- [Dern-93] Dernbach Wolfgang: Neue Organisationsphilosophie und Informatik: Abschied von alten Zöpfen. DIEBOLD Management Report Nr. 3 - 93, (3-10)
- [DHPS-93] Dicesare, Harhalakis, Proth, Silva, Vernadat: Practice of Petri Nets in Manufacturing. Chapman & Hall, London, 1993
- [Dieb-84] Diebold (Hrsg.): Diebold Kennzahlensystem (DKS), Diebold Deutschland GmbH, 1983
- [DNBK-93] Didic M., Neuscheler F., Bogdanowicz L., Klittich M.: McCIM: Execution of CIMOSA Models. CIM Europe Annual Conference Proceeding, Amsterdam, 1993, (223-232)
- [EvKH-93] Eversheim W., Krumm S., Heuser T.: Prozeßorientierte Auftragsabwicklung. VDI-Z 135 (1993), Nr. 10, (48-51)
- [EvKH-94] Eversheim W., Krumm S., Heuser T.: Ablauf- und Kostentransparenz. CIM-Management 1/94, (57-59)
- [EvLP-94] Eversheim W., Linnhoff M., Pollack A.: Mit Benchmarking zur richtigen Unternehmensstrategie. VDI-Z 136 (1994) Nr.5, (38-41)
- [FaGr-94] Fastabend H., Großklaus A.: Betriebskennlinien als Controllinginstrument der Produktionslogistik. Zwf 89 (1994) 7-8, (373-376)
- [FeSI-93] Ferstl Otto K., Sinz Elmar J.: Geschäftsprozeßmodellierung. Wirtschaftsin-

- formatik 35 (1993) 6, (589-592)
- [Geiß-86] Geiß Wilfried: Betriebswirtschaftliche Kennzahlen -Theoretische Grundlagen einer problemorientierten Kennzahlenanwendung. In Thomas Reichmann (Hrsg.), Schriften zum Controlling, Peter Lang Verlag, Frankfurt, 1986
- [GeLa-81] Genrich H.J., Lautenberg K.: System Modelling with High Level Petri-Nets: Theoretical Computer Science 13, Amsterdam, 1981, (109-135)
- [GFPV-83] Grochla E, Fieten R., Puhlmann M., Vahle M.: Erfolgsorientierte Materialwirtschaft durch Kennzahlen. FBO Verlag, Baden-Baden, 1983
- [Grob-93] Grob R.: Auf die Plätze...fertig...lean! - Gefahren einer Modewelle. ARBEITGEBER 13/14 - 45 - 1993, (491-494)
- [Grot-92] Groth U.: Kennzahlensystem zur Beurteilung und Analyse der Leistungsfähigkeit einer Fertigung. Dissertation, Fortschrittsberichte VDI, Reihe 16, Technik und Wirtschaft Nr. 61, VDI Verlag, Düsseldorf, 1992
- [GSRS-93] Grabowski H., Spath D., Rembold U., Schweizer G.: Strukturierung und Konfigurierung von CIM-Systemen für branchenbezogene Klein- und Mittelbetriebe auf der Basis offener standardisierter Systemmodelle. Projektbericht im Rahmen des Forschungsschwerpunktprogramms Baden-Württemberg, 1993
- [HaCh-94] Hammer M., Champy J.: Business Reengineering. Campus Verlag GmbH, Frankfurt, 1994
- [Hein-92] Heinrich Lutz: Informationsmanagement, Wirtschaftsinformatik. 4.Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 1992
- [Hola-75] Hollander J.H.: Adaptation in natural and artificial systems. The University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 1975
- [ICAM-81] Integrated Computer-Aided Manufacturing (ICAM) Architecture Part II. Volume IV - Function Modeling Manual (IDEF<sub>0</sub>). Materials Laboratory, Air Force Wright Aeronautical Laboratories, Ohio, 1981
- [IEM-94] N.N: Comparison CIMOSA - IEM Modelling Constructs. Contribution of QCIM/WG QEM to CEN TC 310/WG1, Document R0516/0, Vers. 1.4, Juni 1994

- [Ishi-83] Ishikawa K.: Guide to Quality Control, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1983
- [ISO-92] ISO/DIS 10303-11 Industrial automation systems - Product data representation and exchange - Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual, 1992
- [ISO-94] N.N.: Committee Draft 14258: "Industrial automation systems - Systems Architecture - Framework for enterprise modelling", ISO TC 184/SC 5/WG1
- [JeRo-91] Jensen K., Rozenberg G. (Hrsg.): High-level Petri Nets. Theory and Application. Springer Verlag, Berlin, 1991
- [Jopp-94] Joppe J.: Reaktionszeiten werden zum strategischen Faktor. PC-Magazin Nr. 28, 6.Juli 1994, (38-40)
- [Kilg-80] Kilger W.: Einführung in die Kostenrechnung. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1980
- [Klev-94] Klevers Thomas: Business Reengineering - The Challenge. Workshop über Business Reengineering der CIMOSA Association, Aachen, 1994
- [Klit-94] Klittich M.: Modelling of Lean Enterprise Structures. 1st Workshop on Business Process Management Based on CIMOSA, Frankfurt 11. März 1994, (15-28)
- [Kron-93] Kronlöf Klaus :Method Integration - Concepts and Case Studies. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, 1993
- [Krüg-75] Krüger Siegfried: Simulation - Grundlagen, Techniken, Anwendungen. DeGruyter Lehrbuch, Berlin, 1975
- [KuRW-93] Kuhn A, Reunhardt A., Wiendahl H. (Hrsg.): Handbuch Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik. Reihe: Fortschritte in der Simulationstechnik, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 1993
- [KVB-94] N.N.: Akzeptanz von MIS wächst langsam, aber beständig. PC-Magazin Nr. 28, 6.Juli 1994, (32-34)
- [Lach-76] Lachnit Laurenz: Zur Weiterentwicklung betriebswirtschaftlicher Kennzahlensysteme. zfbf 28 (1976), (216-231)

- [Mart-89] James Martin: Information Engineering, Book 2, Planning and Analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989
- [MeJH-93] Mertins K., Jochem R., Hofmann J.: Integrated Enterprise Modelling - Construct Specification. Contribution of QCIM (Germany) to CEN TC 310/WG1, November 1993
- [MeJJ-94] Mertins K., Jochem R., Jäkel F.-W.: Reengineering und Optimierung von Geschäftsprozessen. Zwf 89 (1994) 10, (479-481)
- [MüKF-91] Müller J., Kraatz H., Fink H.: Simulation einer neuen Fahrzeugfabrik. CIM MANAGEMENT, Oldenbourg Verlag, München, 6/91, (10-14)
- [Müll-73] Müller-Merbach H.: Operations Research, 3.Auflage. Verlag Franz Vahlen, München, 1973
- [Müll-93] Müller S.: Entwicklung einer Methode zur prozeßorientierten Reorganisation der technischen Auftragsabwicklung komplexer Produkte. Dissertation, Berichte aus der Produktionstechnik, RWTH Aachen, Shaker Verlag, 1993
- [Nich-91] Nicholson H.: Interconnected Manufacturing Systems - The problems of advanced manufacturing. Peter Peregrinus Ltd., London, 1991
- [PACE-93] N.N.: PACE, Tool Reference Manual, Version 2.1.1 Grossenbacher Elektronik AG, St. Gallen, Schweiz, 1993
- [PaWK-90] Parsaei H., Ward T., Karwowski W.: Justification Methods for Computer Integrated Manufacturing Systems. Elsevier, Amsterdam, 1990
- [Pete-81] Peterson J.: Petri Net Theory and the Modeling of Systems. Prentice Hall, London, 1981
- [RaBa-90] Rall K., Bauer C-H.: Die Wirtschaftlichkeit von CIM "berechnen". VDI-Z 132 (1990), Nr. 10 - Oktober, (54-63)
- [Rech-73] Rechenberg I.: Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution. Frommann-Holzboog, Stuttgart, 1973
- [ReHu-93] Reimann Michael, Huq Feizul: A quantitative analysis approach for assessing the effects that engineering techniques have on product life cycle costs. University of Texas at Arlington, Internal Report, 1993

- [Reic-93] Reichmann Thomas: Controlling mit Kennzahlen und Managementberichten, 3. Auflage. Vahlen Verlag, München, 1993
- [SaLi-94] Sarkis J., Lin L.: An IDEF<sub>0</sub> functional planning model for the strategic implementation of CIM systems. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 7., No. 2 100-115, Taylor & Francis, 1994
- [Sche-92] Scheer A.-W.: Wirtschaftlichkeitspotentiale von CIM, in Görke W. Rininsland H., Syrbe M (Hrsg.). Tagungsband: Information als Produktionsfaktor, Springer Verlag, Heidelberg, 1992, (64-78)
- [Sche-92b] Scheer A.-W.: Architektur integrierter Informationssysteme, 2. Auflage. Springer Verlag, 1992
- [Sche-94] Scheer A.-W.: Wirtschaftsinformatik, Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse, 4. Auflage. Springer Verlag, 1994
- [Schn-91] Schneider H.J.: Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung. Oldenbourg Verlag München, 1991
- [Schu-92] Schuler Joachim: Konzept für ein rechnerunterstütztes Simulationsmodell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Lösungsalternativen bei der Planung einer integrierten technischen Informationsverarbeitung, Dissertation, VDI-Fortschrittsberichte, Reihe 20: Rechnerunterstützte Verfahren, Düsseldorf, 1992
- [Schw-81] Schwefel H.-P.: Numerical Optimization of Computer Models. John Wiley & Sons, Chichester, 1981
- [ScSi-94] Schmidt U., Siemsen J.: Systembeschreibungsmethoden - Simulation erfordert Vorbereitung. CIM MANAGEMENT, Oldenbourg Verlag, München, 6/94, (31-35)
- [ScUp-88] Schreuder, Upmann: CIM Wirtschaftlichkeit - Vorgehensweise zur Ermittlung des Nutzens einer Integration von CAD, CAP, CAM, PPS und CAQ. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1988
- [SeFW-93] Seliger G., Feige M., Wang Y.: Simulationsunterstützte Planung von Gruppenarbeit in der Montage. ZwF88, Carl Hanser Verlag, München 1993, (14-16)
- [Semp-94] Sempf Ulrich: Informatikunterstützung leicht gemacht. Diebold Manage-

ment Report Nr. 4-94, (15-17)

- [Sinz-94] Sinz E.: Objektorientierte Modellierung von Geschäftsprozessen. Unterlagen zum Kolloquium des Instituts für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren der Universität Karlsruhe, 20 Mai, 1994
- [SmTa-92] N.N.: Objectworks\SmallTalk, Release 4.1 User's Guide. ParcPlace Systems, Sunnyvale, USA, 1992
- [Sond-94] Sonderforschungsbereich 187 der Ruhr-Universität Bochum (Hrsg.) in Zusammenarbeit mit der icon Wirtschaftsforschung in Nürnberg: Mitteilungen für den Maschinenbau, Ausgabe 9, 1994.
- [SpFe-94] Specht D., Fehler F.: Organisationsorientierte Informationsverarbeitung für die Gruppenarbeit. Zwf 89 (1994), 7-8, (362-365)
- [SpMJ-93] Spur G., Mertins K., Jochem R.: Integrierte Unternehmensmodellierung. Beuth Verlag, Berlin, 1993
- [Stuc-94] Stucky W.: Unternehmensmodellierung - Grundlagen und Bedeutung für die betriebliche Praxis. Workshop der IHK-Karlsruhe, Informatik-Anwendungen für den Mittelstand, Karlsruhe, 16-17. Juni 1994
- [SVD-81] Schweizerische Vereinigung für Datenverarbeitung (SVD) (Hrsg): EDV-Kennzahlen - Praxisbezogenes Instrumentarium zur Beurteilung der EDV-Wirtschaftlichkeit. Paul Haupt Verlag, Bern, 1981
- [Trän-90] Tränckner J-H.: Entwicklung eines prozeß- und elementarorientierten Modells zur Analyse und Gestaltung der technischen Auftragsabwicklung von komplexen Produkten. Dissertation, Berichte aus der Produktionstechnik, RWTH Aachen, Shaker Verlag, 1990
- [VDI-83] N.N.: VDI-Richtlinie 3633 - Anwendungen der Simulationstechnik zur Materialflußplanung. Beuth Verlag, Berlin, 1983
- [VDIZ-94] N.N.: Mitarbeiter planen die Produktion direkt in der Werkstatt. VDI-Z Jahrgang 48/Nr.47, 1994, (1)
- [Voge-94] Vogel Brigitte: Informationsmanagement - Eine flockige Sache. TopBusiness, Mai 1994, (106-110)
- [VOIC-94] Gransier T. Penny E., Schönewolf W. Blackwell N.: VOICE Final Report, ESPRIT Project VOICE (Validating OSA in Industrial CIM Environments),

Reference Number: R93.156, 1994

- [Warn-92] Warnecke H.J.: Die fraktale Fabrik - Produzieren im Netzwerk. Görke W. Rininsland H., Syrbe M (Hrsg.): Tagungsband: Information als Produktionsfaktor, Springer Verlag, Heidelberg, 1992, (20-33)
- [Webe-94] Weber T.: Kopplung von vernetzten Bereichen der Produktion. Vortragsfolien zum Workshop der IHK-Karlsruhe, Informatik-Anwendungen für den Mittelstand, Karlsruhe, 16-17. Juni 1994
- [Weck-91] Weck M. (Buch Hrsg.) in CIM-Fachmann (Hrsg. I. Bey): Band Simulation in CIM. Springer Verlag, Berlin, 1991
- [West-92] Westkämper: Lean Production oder CIM - Müssen unsere Fertigungskonzepte geändert werden? Tagungsband Produktionslogistik - Wege zu schlanken und dezentralen Strukturen. VDI Berichte 970, VDI-Verlag, Düsseldorf 1992, (1-27)
- [Wien-87] Wiendahl H.-P.: Belastungsorientierte Fertigungssteuerung - Grundlagen, Verfahrensaufbau, Realisierung. Hanser Verlag, München, 1987
- [Wien-91] Wiendahl H.-P. (Hrsg): Analyse und Neuordnung der Fabrik. Springer Verlag, TÜV Rheinland, 1991
- [Wild-87] Wildemann Horst: Investitionsplanung und Wirtschaftlichkeitsrechnung für flexible Fertigungssysteme (FFS). Schäfer Verlag, Stuttgart, 1987
- [Will-93] Williams T.J. et al.: A Technical Report of the IFAC/IFIP Taskforce for Integrated Manufacturing Activities and Enterprises. International Federation of Automatic Control, International Federation of Information Processing, March, 1993
- [Wöhe-84] Wöhe G.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 15. Aufl. Verlag Vahlen, München, 1984
- [Wund-93] Wunderlich Horst: Prozeßorientierte Computersimulationen - Anforderungen an Architektur und Systemtechnik fortschrittlicher Simulationssysteme. at -Automatisierungstechnik 41 (1993) 12, (445 - 450)



**ANHANG A: FORMALE SPEZIFIKATION DER KONSTRUKTE IN EXPRESS****SCHEMA EconomicView;**

REFERENCE from FunctionView  
(EnterpriseFunctions, Objective/Constraint);

REFERENCE from InformationView  
(Objects);

REFERENCE from ResourceView  
(Resources);

REFERENCE from OrganisationView  
(OrganisationalCell, OrganisationalElement);

TYPE AbsLevel = ENUMERATION OF  
(RequirementsDefinition, DesignSpecification, ImplementationDescription);  
END\_TYPE;

TYPE ArgumentListe = SELECT  
(Modellelemente, SelectionType);  
END\_TYPE;

TYPE Bewertung = SELECT  
(Modellelement, IntervallSelektor);  
END\_TYPE;

TYPE CFType = ENUMERATION OF  
(Modell, Betrieb);  
END\_TYPE;

TYPE IntervallSelektor = SELECT  
(taeglich, woechentlich, monatlich, jaehrlich);  
END\_TYPE;

TYPE Jahre = INTEGER;  
WHERE  
zulaessig : SELF >= 1994;  
END\_TYPE;

```
TYPE Kennzahl = SELECT
  (KennzahlenObjekt, ElementareKennzahl);
END_TYPE;
```

```
TYPE Kennzahlen = SET [1:?] OF Kennzahl;
END_TYPE;
```

```
TYPE KennzahlElemente = SET [1:?] OF KennzahlOderModul;
END_TYPE;
```

```
TYPE KennzahlOderModul = SELECT
  (Kennzahl, KennzahlenModul);
END_TYPE;
```

```
TYPE Minuten = INTEGER;
WHERE
  zulaessig : (0 <= SELF) AND (SELF < 60);
END_TYPE;
```

```
TYPE Modellelement = ENUMERATION OF
  (EnterpriseFunctions, Resources, Objects);
END_TYPE;
```

```
TYPE Modellelemente = SET [1:?] OF Modellelement;
END_TYPE;
```

```
TYPE Monate = INTEGER;
WHERE
  zulaessig : (1 <= SELF) AND (SELF <= 12);
END_TYPE;
```

```
TYPE Monatstage = INTEGER;
WHERE
  zulaessig : (1 <= SELF) AND (SELF <= 31);
END_TYPE;
```

```
TYPE OekEntity = SELECT
  (OekonomischesModul, OekonomischesObjekt);
END_TYPE;
```

```
TYPE OekEntities = SET [1:?] OF OekEntity;  
END_TYPE;
```

```
TYPE Sekunden = INTEGER;  
WHERE  
    zulaessig : (0 <= SELF) AND (SELF < 60);  
END_TYPE;
```

```
TYPE SelectionType = SELECT  
    (IntervallSelektor, EnterpriseFunctionSelektor);  
END_TYPE;
```

```
TYPE Stunden = INTEGER;  
WHERE  
    zulaessig : (0 <= SELF) AND (SELF < 24);  
END_TYPE;
```

```
TYPE Trigger = ENUMERATION OF  
    (triggered_by_time, triggered_by_event);  
END_TYPE;
```

```
TYPE Wochentage = INTEGER;  
WHERE  
    zulaessig : (1 <= SELF) AND (SELF <= 7);  
END_TYPE;
```

```
FUNCTION CF (Arg1 : Kennzahl; Arg2 : ArgumentListe) : NUMBER;  
(* CF stellt eine Klasse von Funktionen dar, die alle über die gleichen Inputargumente verfü-  
gen. Eine spezifische Implementierung von CF wird im Attribut CFWert einer Ökonomi-  
schenObjekt-Instanz aufgerufen. Als Inputargument dient die Instanz eines KennzahlenOb-  
jekts oder einer ElementarenKennzahl und das spezifische Objekt das bewertet werden soll.  
CF ruft wiederum eine Implementierung der Funktion KF.*)  
END_FUNCTION;
```

```
FUNCTION KF (Arg1 : KennzahlenFunktion; Arg2 : Kennzahlen; Arg3 : ArgumentListe) :  
NUMBER;  
(* KF stellt eine Klasse von Funktionen dar, die alle über die gleichen Inputargumente verfü-  
gen. Eine spezifische Implementierung der Funktion interpretiert die Kennzahlenfunktion, die  
als String im Attribut Funktion eines KennzahlenObjekts definiert wurde. *)  
END_FUNCTION;
```

ENTITY CalculationFunction;

Identifikator : STRING;  
 Typ : CFTYPE;  
 Kennziffer : Kennzahl;  
 (\*KennzahlenObjekt oder ElementareKennzahl\*)  
 ReferenzObjekt : OekonomischesObjekt;

DERIVE

ZielObjekt : SelectionType := ReferenzObjekt.ZielObjekt;  
 CFWert : NUMBER := CF (Kennziffer, ZielObjekt);  
 CFEinheit : STRING := Kennziffer.Einheit; (\* uebernimmt Kennzahl-Einheit\*)

INVERSE

Zugriff : SET [1:?] OF OrganisationalElement FOR Comprising;  
 Ziel : SET [1:?] OF Objective/Constraint FOR Target;

END\_ENTITY;

ENTITY Datum;

Jahr : Jahre;  
 Monat : Monate;  
 Tag : Monatstage;  
 Stunde : Stunden;  
 Minute : Minuten;  
 Sekunde : Sekunden;

END\_ENTITY;

ENTITY ElementareKennzahl

SUBTYPE OF (EV-Kennzahl);

OccId : INTEGER; (\* Id fuer die Occurrence\*)  
 BeziehtSichAuf : Modellelement;  
 (\*Angabe genau eines Objekts indem sich  
 das refer. Attribut befindet\*)  
 RelevantFuer : SET [1:?] OF OrganisationalCell;  
 ErfasstAm : Datum;  
 KennzahlWert : Modellelement; (\*Auswahl genau eines Attributs\*)  
 Einheit : STRING;  
 GehoertZu : SET [1:?] OF KennzahlenObjekt;  
 IstTeilVon : SET [0:?] OF KennzahlenModul;

END\_ENTITY;

ENTITY EnterpriseFunctionSelektor;

attr : LIST [1:?] OF EnterpriseFunctions;

END\_ENTITY;

ENTITY EV-Entitaet

SUBTYPE OF (EV-Objekt);

END\_ENTITY;

```

ENTITY EV-Kennzahl
  SUBTYPE OF (EV-Objekt);
  Typ : STRING;
      (*Typ definiert welche Art von Objekten in den qualitativen
      Sichten von der Kennzahl bewertet werden sollen*)
END_ENTITY;

```

```

ENTITY EV-Objekt
  ABSTRACT SUPERTYPE;
  InstanzIdent : STRING; (* Id. fuer die Instanz *)
  Name : STRING;
  Designer : LIST [1:?] OF STRING;
  Beschreibung : LIST [1:?] OF STRING;
  ProzessLebenszyklus : AbsLevel;
END_ENTITY;

```

```

ENTITY jaehrlich;
  Jahr : Jahre;
  Monat : Monate;
  MonatsTag : Monatstage;
END_ENTITY;

```

```

ENTITY monatlich;
  MonatsTag : Monatstage;
END_ENTITY;

```

```

ENTITY OekonomischesModul
  SUBTYPE OF (EV-Entitaet);
  BestehtAus : OekEntities; (* zu einem, zu beiden oder Kombination *)
  IstTeilVon : SET [0:?] OF OekonomischesModul;
END_ENTITY;

```

```

ENTITY KennzahlenModul
  SUBTYPE OF (EV-Kennzahl);
  BestehtAus : KennzahlElemente; (* entweder oder *)
  IstTeilVon : SET [0:?] OF KennzahlenModul;
  LiefertKennzahl : SET [0:?] OF Kennzahlen;
      (* KennzahlenObjekte oder ElementareKennzahlen *)
  ZugriffAufKennzahl : SET [0:?] OF Kennzahlen FOR LiefertKennzahl;
END_ENTITY;

```

ENTITY KennzahlenObjekt

SUBTYPE OF (EV-Kennzahl);

OccId : INTEGER; (\* Id fuer die Occurence\*)  
 Benoetigt : Kennzahlen; (\* mindestens 1 Kennzahl\*)  
 Einheit : STRING;  
 RelevantFuer : SET [1:?] OF OrganisationalCell;  
 ErfasstAm : Datum;  
 IstTeilVon : SET [0:?] OF KennzahlenModul;  
 GehoertZu : SET [0:?] OF KennzahlenObjekt;  
 Funktion : LIST [1:?] OF STRING; (\* Definition der Funktion \*)

DERIVE

KennzahlWert : NUMBER := KF (Funktion, Benoetigt, BeziehtSichAuf);

END\_ENTITY;

ENTITY OekonomischesObjekt

SUBTYPE OF (EV-Entitaet);

OccId : INTEGER; (\* Id fuer die Occurence\*)  
 GetriggeredDurch : Trigger;  
 SelektionsKriterium : SelectionType;  
 ZielObjekt : Bewertung;  
 CalcFunctions :

CalculationFunction;

IstTeilVon : SET [0:1] OF OekonomischesModul;

END\_ENTITY;

ENTITY taeglich;

Uhrzeit : Zeit;

END\_ENTITY;

ENTITY woechentlich;

Wochentag : Wochentage;

Uhrzeit : Zeit;

END\_ENTITY;

ENTITY Zeit;

Stunde : Stunden;

Minute : Minuten;

END\_ENTITY;

END\_SCHEMA;

## ANHANG B: DIE KENNZAHLEN WÄHREND DER ISTANALYSE

In Anhang B sind die Kennzahlen enthalten, die im Rahmen der Istanalyse der betrieblichen Anwendung in Kapitel 8.2 mit Templates der ökonomischen Sicht spezifiziert wurden.

ElementareKennzahl	
InstanzIdent	menge
Name	Auftragsmenge
Typ	Fertigungsauftragskennzahl
Beschreibung	Die Kennzahl legt die Anzahl der herzustellenden Produkte eines Fertigungsauftrags fest
ProzessLebenszyklus	Design Specification
Designer	F. Neuscheler, F.-J. Kaiser, K.H. Sternemann
GehörtZu:	MAZEP, MDZEP
BeziehtSichAuf:	Object View-InterneAuftraege
KennzahlWert	IE-Menge
Einheit	Stk.
IstTeilVon	--
RelevantFuer	Organisational Cell-Planung
ErfasstAm	diese Werte werden während der
Occld	Laufzeit ermittelt und eingetragen

Abb. B-1: Spezifikation der Kennzahl *Soll-Auftragsmenge*

ElementareKennzahl	
InstanzIdent	PT
Name	Papiertyp
Typ	Fertigungsauftragskennzahl
Beschreibung	Die Kennzahl legt den Typ eines Fertigungsauftrags in Abhängigkeit der zu durchlaufenden Bearbeitungsstationen fest.
ProzessLebenszyklus	Design Specification
Designer	F. Neuscheler, F.-J. Kaiser, K.H. Sternemann
GehörtZu:	--
BeziehtSichAuf:	Object View-InterneAuftraege
KennzahlWert	IE-Auftrag
Einheit	--
IstTeilVon	--
RelevantFuer	Organisational Cell-Planung
ErfasstAm	diese Werte werden während der
Occld	Laufzeit ermittelt und eingetragen

Abb. B-2: Spezifikation der Kennzahl *Papiertyp*

Elementare Kennzahl	
InstanzIdent	ML
Name	Maschinenleistung
Typ	Ressourcenkennzahl
Beschreibung	Die Kennzahl definiert die produktabhängige Ressourcenleistung
ProzessLebenszyklus	Design Specification
Designer	F. Neuscheler, F-J. Kaiser, K.H. Sternemann
GehörtZu:	--
BeziehtSichAuf:	Object View-InterneAuftraege
KennzahlWert	IE-Maschinenleistung
Einheit	t/h
IstTeilVon	--
RelevantFuer	Organisational Cell-Planung, Organisational Cell-Produktion
ErfasstAm	diese Werte werden während der
OccId	Laufzeit ermittelt und eingetragen

**Abb. B-3:** Spezifikation der Kennzahl *Maschinenleistung*

Elementare Kennzahl	
InstanzIdent	AZA
Name	Ausführungszeit
Typ	Fertigungsauftragskennzahl
Beschreibung	Die Kennzahl definiert die Ausführungszeit eines Fertigungsauftrags
ProzessLebenszyklus	Design Specification
Designer	F. Neuscheler, F-J. Kaiser, K.H. Sternemann
GehörtZu:	GADZ, MAZEP
BeziehtSichAuf:	Object View-InterneAuftraege
KennzahlWert	IE-ausführungszeit
Einheit	Minuten
IstTeilVon	--
RelevantFuer	Organisational Cell-Planung
ErfasstAm	diese Werte werden während der
OccId	Laufzeit ermittelt und eingetragen

**Abb. B-4:** Spezifikation der Kennzahl *Auftrags-Ausführungszeit*

Elementare Kennzahl	
InstanzIdent	DZA
Name	AuftragsDurchlaufzeit
Typ	Auftragskennzahl
Beschreibung	Die Kennzahl definiert die Durchlaufzeit eines Fertigungsauftrags
ProzessLebenszyklus	Design Specification
Designer	F. Neuscheler, F-J. Kaiser, K.H. Sternemann
GehörtZu:	GADZ, MDZEP
BeziehtSichAuf:	Object View-InterneAuftrag
KennzahlWert	IE-durchlaufzeit
Einheit	Tage
IstTeilVon	--
RelevantFuer	Organisational Cell-Planung
ErfasstAm	diese Werte werden während der
OccId	Laufzeit ermittelt und eingetragen

**Abb. B-5:** Spezifikation der Kennzahl *Durchlaufzeit eines Fertigungsauftrags*



Elementare Kennzahl	
InstanzenID	ILB
Name	Istlagerbestand
Typ	Lagerkennzahl
Beschreibung	Die Kennzahl definiert den aktuellen Lagerbestand an Produkten in Tonnen
ProzessLebenszyklus	Design Specification
Designer	F. Neuscheler, F.-J. Kaiser, K.H. Sternemann
GehörtZu:	--
BeziehtSichAuf:	Object View-LagerInfo
KennzahlWert	IE-bestand
Einheit	t
IstTeilVon	--
RelevantFür	Organisational Cell-Planung, Organisational Cell-Produktion
ErfasstAm	diese Werte werden während der
OccId	Laufzeit ermittelt und eingetragen

Abb. B-6: Spezifikation der Kennzahl *Ist-Lagerbestand*

KennzahlenObjekt	
InstanzenID	GDZA
Name	Gewichtete Auftragsdurchlaufzeit
Typ	Auftragskennzahl
Beschreibung	Die Kennzahl definiert die Wertschöpfung eines Auftrags, sowie 2 dimensional, das Verhältnis von Ausführungs- zu Liegezeit.
ProzessLebenszyklus	Design Specification
Designer	F. Neuscheler, F.-J. Kaiser, K.H. Sternemann
Benoetigt:	AZA, DZA
GehörtZu:	--
Funktion:	<pre> FUNCTION gewichteteauftragsdurchzeit (Auftrag); LOCAL;   gadz : NUMBER; END_LOCAL;   gadz := azafunc (auftrag) * dzafunc (auftrag); RETURN (gadz); END_FUNCTION; </pre>
Einheit	Tage <sup>2</sup>
IstTeilVon	--
RelevantFür	Organisational Cell-Planung
ErfasstAm	
OccId	diese Werte werden während der Laufzeit ermittelt und eingetragen
KennzahlWert	

Abb. B-7: Spezifikation der Kennzahl *gewichtete Durchlaufzeit eines Fertigungsauftrags*

KennzahlenObjekt	
InstanzIdent	MAZEP
Name	MittlereAusführungszeitEndprodukt
Typ	Auftragskennzahl
Beschreibung	Die Kennzahl dient zum Errechnen der Ausführungszeit eines Endprodukts bezogen auf eine Bearbeitungsstation. Die in der Funktion verwendete Variable n entspricht der Anzahl der Aufträge eines Austragstyps.
ProzessLebenszyklus	Design Specification
Designer	F. Neuscheler, F-J. Kaiser, K.H. Sternemann
Benoetigt:	AZA, menge
GehoertZu:	--
Funktion:	<pre> FUNCTION mittlereAuftragsAusführungszeit(Auftrag); LOCAL;   mazep : NUMBER; END_LOCAL;   mazep:= 0;   for i := 1 to n do     mazep = mazep + <math>\frac{azafunc(auftrag)}{menge}</math> ;   RETURN ( <math>\frac{mazep}{n}</math> ); END_FUNCTION;</pre>
Einheit	<u>Minuten</u> t
IstTeilVon	--
RelevantFuer	Organisational Cell-Vertrieb, Organisational Cell-Produktion
ErfasstAm	
Occlid	diese Werte werden während der Laufzeit ermittelt und eingetragen
KennzahlWert	

Abb. B-8: Spezifikation der Kennzahl *mittlere Ausführungszeit eines Endprodukts*

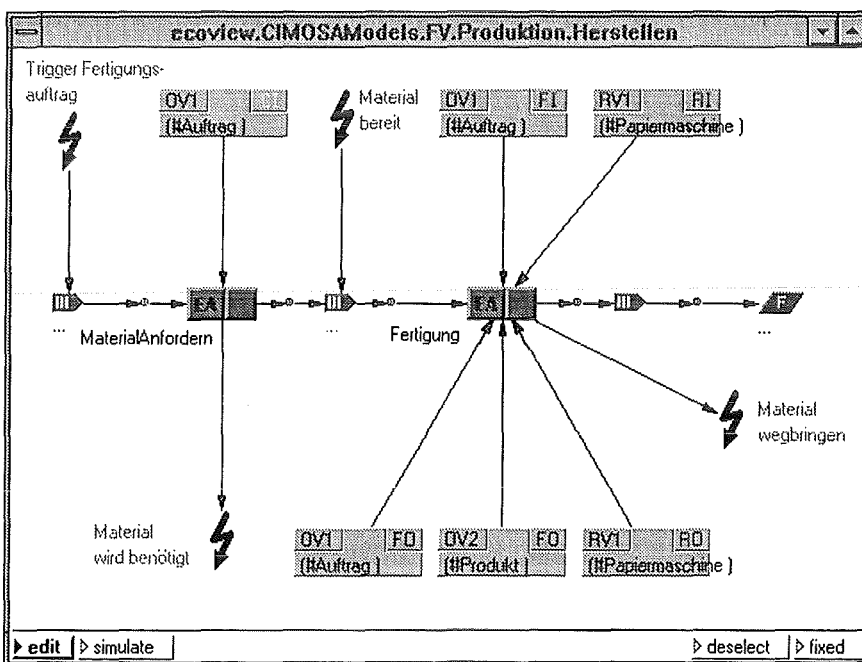
KennzahlenObjekt	
InstanzIdent	MDZEP
Name	MittlereDurchlaufzeitEndprodukt
Typ	Auftragskennzahl
Beschreibung	Die Kennzahl dient zum Errechnen der Durchlaufzeit eines Endprodukts bezogen auf eine Bearbeitungsstation. Die in der Funktion verwendete Variable n entspricht der Anzahl der Aufträge eines Auftragstyps.
ProzessLebenszyklus	Design Specification
Designer	F. Neuscheler, F-J. Kaiser, K.H. Sternemann
Benoetigt:	DZA, menge
GehoertZu:	--
Funktion:	<pre> FUNCTION mittlereAuftragsDurchlaufzeit (Auftrag); LOCAL;   mdzep : NUMBER; END_LOCAL;   mdzep:= 0;   for i := 1 to n do     mdzep = mdzep + <math>\frac{dzafunc(auftrag)}{menge}</math> ;   RETURN ( <math>\frac{mdzep}{n}</math> ); END_FUNCTION;</pre>
Einheit	<u>Minuten</u> t
IstTeilVon	--
RelevantFuer	Organisational Cell-Vertrieb, Organisational Cell-Produktion
ErfasstAm	
Occlid	diese Werte werden während der Laufzeit ermittelt und eingetragen
KennzahlWert	

Abb. B-9: Spezifikation der Kennzahl *mittlere Durchlaufzeit eines Endprodukts*

## ANHANG C: DAS SIMULATIONSMODELL

Anhang C beinhaltet eine exemplarische Zusammenstellung der Modelle der Funktions-, Ressourcen- und Informationssicht. Die Modelle wurden aufbauend auf der Istanalyse mit dem Werkzeugprototyp LeanMcCIM für die Simulation generiert.

**Abb. C-1** zeigt die Modellierung des Domain Process *Herstellen* durch 2 Enterprise Activities. Der Domain Process befindet sich im Domain *Produktion* und beschreibt die Abläufe der Grundpapierherstellung. Alle Domain Processes zur Papierherstellung und -veredelung sind gleich aufgebaut und unterscheiden sich lediglich in den benötigten Ressourcen.



**Abb. C-1:** Die Modellierung des Domain Process *Herstellen* durch Enterprise Activities

Abb. C-2 zeigt die Modellierung des Domain Process *Lagern* durch 2 Enterprise Activities. Der Domain Process stellt den Produktionsprozessen das benötigte Material zur Verfügung und ist verantwortlich für die Zwischenlagerung.

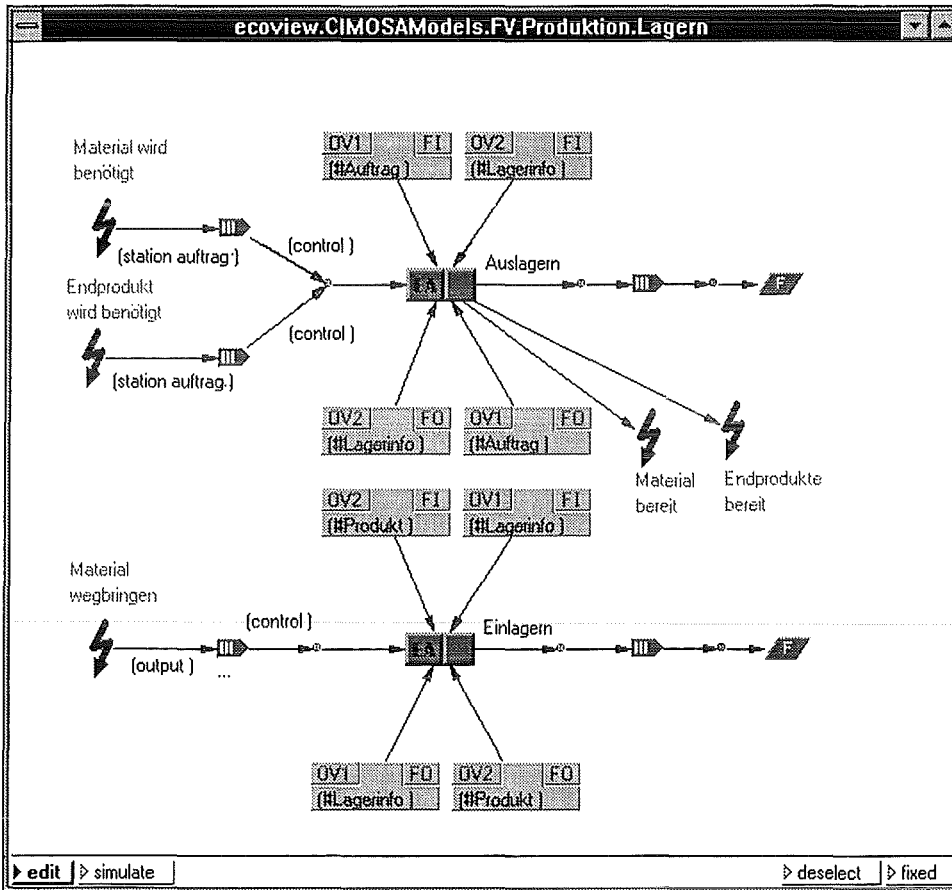
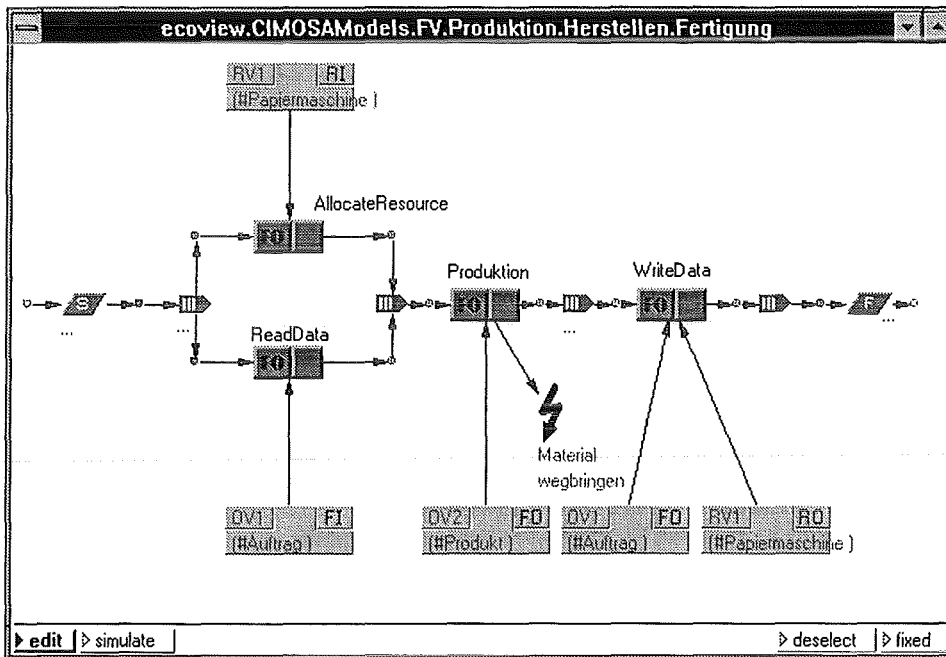


Abb. C-2: Die Modellierung des Domain Process *Lagern* durch Enterprise Activities

**Abb. C-3** zeigt die Modellierung der Enterprise Activity *Fertigung* des Domain Process *Herstellen*. Die Enterprise Activity besteht aus drei standardisierten Functional Operations. *AllocateResource* ist für die Maschinenreseverung, *ReadData* und *WriteData* sind für den Datenbankzugriff verantwortlich. Die anwendungsabhängige Functional Operation *Produktion* beschreibt den Produktionsprozeß. Die interne Funktionalität der Functional Operation wird in **Abb. C-4** durch Petrinetze modelliert.



**Abb. C-3:** Die Modellierung der Enterprise Activity *Fertigung*

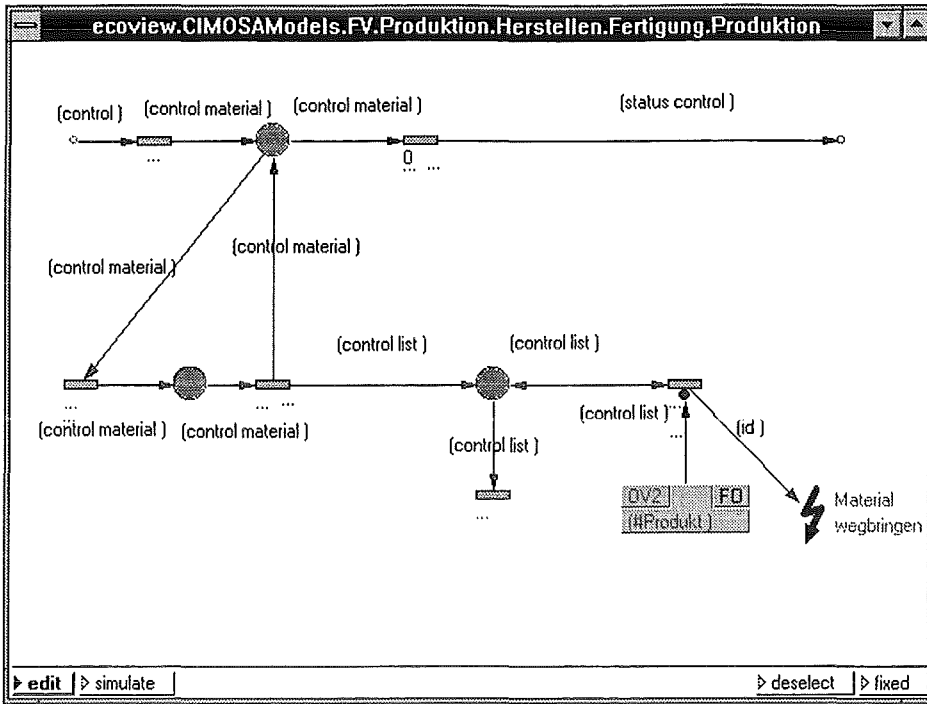


Abb. C-4: Die Modellierung der Functional Operation *Produktion* durch Petrinetze

Die Funktionalität der Enterprise Activity *MaterialAnfordern* des Domain Process *Herstellen* wird in Abb. C-5 durch die standardisierte Functional Operation *ReadData* sowie die anwendungsabhängige Functional Operation *GenEvent* (Generate Event) beschrieben.

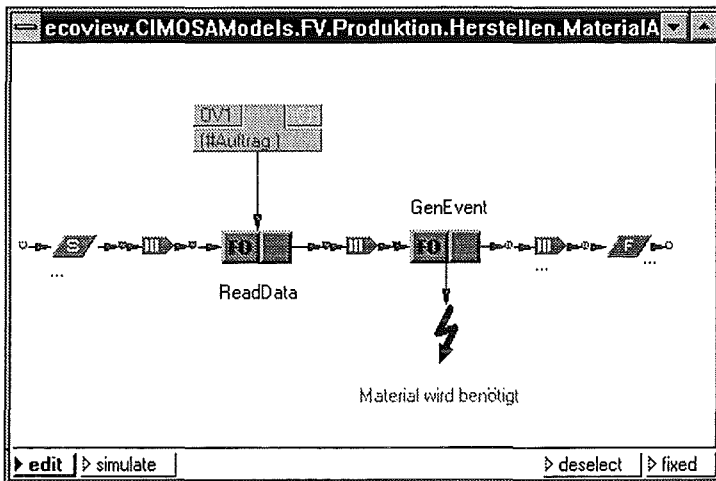


Abb. C-5: Die Modellierung der Enterprise Activity *MaterialAnfordern*

Abb. C-6 zeigt die Modellierung der Betriebsmittel in der Produktion, wobei nur Maschinen abgebildet wurden. In der Abbildung werden zwei konkrete Papiermaschinen (Resource Units) der Klasse Papiermaschine (Resource) durch die Definition ihrer Attribute beschrieben.

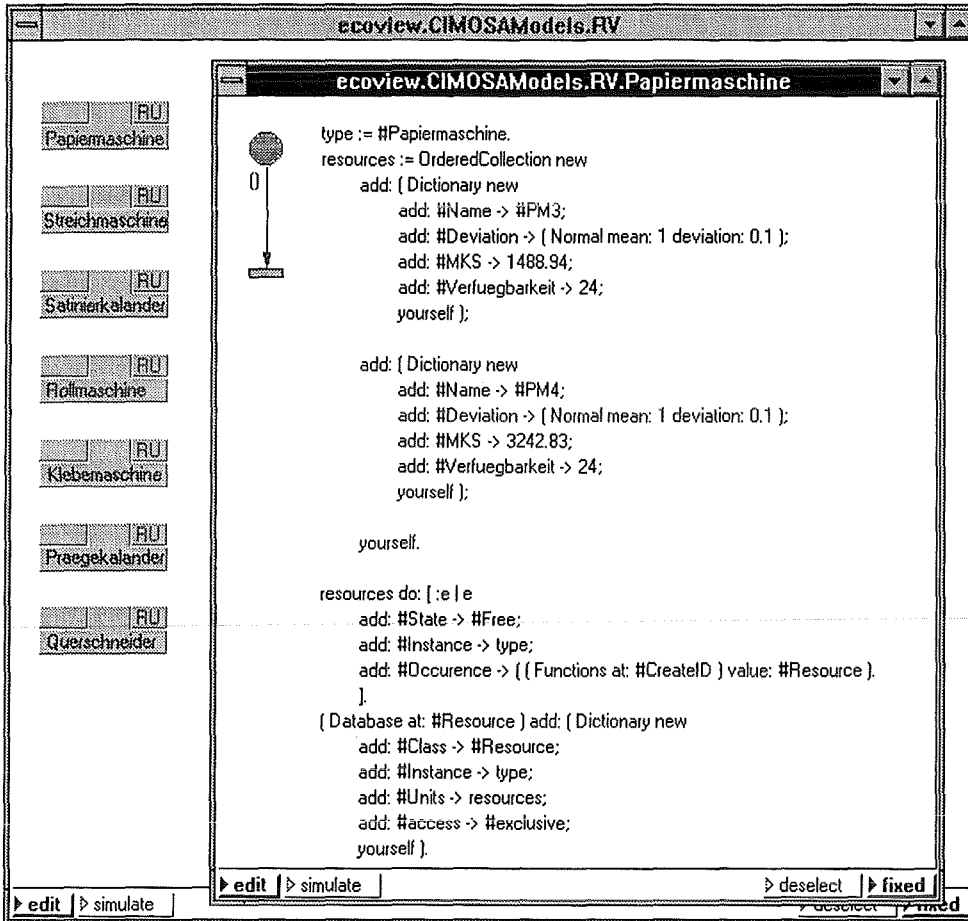
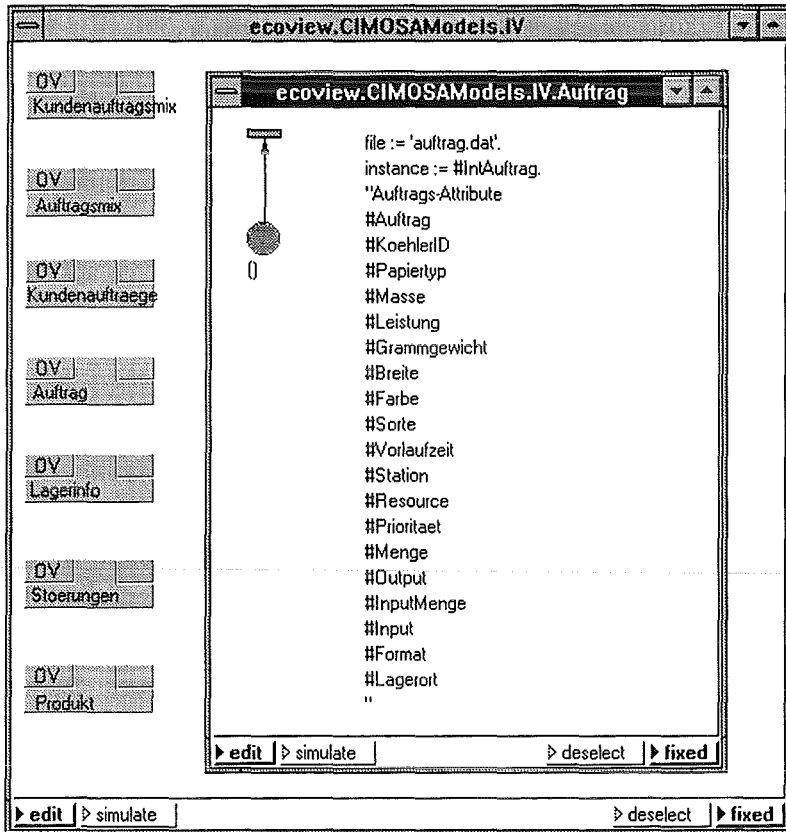


Abb. C-6: Die Modellierung der Ressourcen am Beispiel der Papiermaschine

**Abb. C-7** zeigt die verwendeten Object Views sowie die Information Elements der Object View *Auftrag*. In **Tab C-1** wird ein Ausschnitt der Tabelle gezeigt, in der die Object View *Auftrag* implementiert wurde. Die Tabelle enthält reale Fertigungsaufträge (Object View Occurrence) aus der Planung und wird zur Ablaufsteuerung in der Produktion verwendet.



**Abb. C-7:** Die Objects Views des Simulationsmodells, sowie die Information Elements der Object View *Auftrag*



Tab. C-1: Ausschnitt der Object View *Auftrag* mit Fertigungsaufträgen aus der Planung

#Auftrag	#Station	#Leistung	#Resource	#Prioritaet	#Menge	#Output	#InputMenge	#Input	#Format	#Grammgewicht	#Breite	#Farbe	#Sorte	#Masse
#TypA1	#PM	1.7	#( PM4 )	5	50	#( TbTypA1 )	1	#( Rohmat)	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypA4	#RM	6.15	#( RM25 RM3 )	5	50	#( TbTypA4 )	50	#( TbTypA1 )	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypA5	#KM	1.81	#( KM2 )	5	50	#( TbTypA5 )	50	#( TbTypA4 )	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypA6	#PK	0.77	#( PK1 )	5	50	#( TbTypA6 )	50	#( TbTypA5 )	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypA7	#SQ	0.84	#( SQ2 )	5	50	#( TbTypA7 )	50	#( TbTypA6 )	#Blatt	140	320	8	1700	50000
#TypH1a	#PM	4.71	#( PM3 )	5	50	#( TbTypH1 )	1	#( Rohmat)	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypH4a	#RM	1.7	#( RM16 )	5	50	#( TbTypH4 )	50	#( TbTypH1 )	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypH1b	#PM	5.71	#( PM4 )	5	25	#( TbTypH1 )	1	#( Rohmat)	#Rolle	100	330	4	5356	25000
#TypH4b	#RM	6.15	#( RM25 )	5	25	#( TbTypH4 )	25	#( TbTypH1 )	#Rolle	100	330	4	5356	25000
#TypS1	#PM	5.71	#( PM4 )	5	1	#( TbTypS1 )	1	#( Rohmat)	#Rolle	150	300	99	1708	1000
#TypS3	#SK	5.5	#( KAL11 )	5	1	#( TbTypS3 )	1	#( TbTypS1 )	#Rolle	150	300	99	1708	1000
#TypS4	#RM	6.15	#( RM25 )	5	1	#( TbTypS4 )	1	#( TbTypS3 )	#Rolle	150	300	99	1708	1000
#TypS7	#SQ	1.12	#( SQ3 )	5	1	#( TbTypS7 )	1	#( TbTypS4 )	#Blatt	150	300	99	1708	1000
#TypW2	#SM	4.28	#( SM8 )	5	50	#( TbTypW2 )	50	#( TbTypW1 )	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypW3	#SK	5.5	#( KAL11 )	5	50	#( TbTypW3 )	50	#( TbTypW2 )	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypL1c	#PM	4.71	#( PM3 )	5	25	#( TbTypL1 )	1	#( Rohmat)	#Rolle	140	320	8	1700	25000
#TypL2b	#SM	3.68	#( SM56 )	5	50	#( TbTypL2 )	50	#( TbTypL1 )	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypL2c	#SM	4.28	#( SM8 )	5	25	#( TbTypL2 )	25	#( TbTypL1 )	#Rolle	140	320	8	1700	25000
#TypL2d	#SM	4.28	#( SM8 )	5	30	#( TbTypL2 )	30	#( TbTypL1 )	#Rolle	140	320	8	1700	30000
#TypL4a	#RM	1.7	#( RM16 RM3 )	5	50	#( TbTypL4 )	50	#( TbTypL2 )	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypL4b	#RM	1.7	#( RM16 RM3 )	5	50	#( TbTypL4 )	50	#( TbTypL2 )	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypL4c	#RM	6.15	#( RM25 RM3 )	5	25	#( TbTypL4 )	25	#( TbTypL2 )	#Rolle	140	320	8	1700	25000
#TypL4d	#RM	6.15	#( RM25 RM3 )	5	30	#( TbTypL4 )	30	#( TbTypL2 )	#Rolle	140	320	8	1700	30000
#TypL5a	#KM	1.81	#( KM2 )	5	50	#( TbTypL5 )	50	#( TbTypL4 )	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypL5b	#KM	1.81	#( KM2 )	5	50	#( TbTypL5 )	50	#( TbTypL4 )	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypL5c	#KM	1.81	#( KM2 )	5	25	#( TbTypL5 )	25	#( TbTypL4 )	#Rolle	140	320	8	1700	25000
#TypL5d	#KM	1.81	#( KM2 )	5	30	#( TbTypL5 )	30	#( TbTypL4 )	#Rolle	140	320	8	1700	30000
#TypF1	#PM	5.71	#( PM4 )	5	50	#( TbTypF1 )	1	#( Rohmat)	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypF4	#RM	1.7	#( RM16 )	5	50	#( TbTypF4 )	50	#( TbTypF1 )	#Rolle	140	320	8	1700	50000
#TypF6	#PK	0.99	#( PK2 )	5	50	#( TbTypF6 )	50	#( TbTypF4 )	#Rolle	140	320	8	1700	50000

## ANHANG D: DIE GRAPHISCHE AUSWERTUNG DER SIMULATIONS-LÄUFE

Anhang D enthält einen Teil der graphischen Auswertungen der Simulationsläufe.

Das Ökonomische Objekt *EOHerstellen* in **Abb. D-1** wird jeweils nach Beendigung des Domain Process *Herstellen* im Domain *Produktion* getriggert. Das Ende der Bearbeitung eines Fertigungsauftrags gibt somit den Triggerzeitpunkt an. Die Fertigungsauftragsdurchlaufzeiten (DZA) steigen an, da alle Fertigungsaufträge innerhalb eines Planungszeitraums von 10 Tagen, bei der Simulation zum selben Zeitpunkt aus der Planung in die Produktion kommen. Nach 10 Tagen wird dann der nächste Auftragsmix eingespielt. Bei Überschneidungen von Aufträgen aus dem vorherigen Intervall können die Durchlaufzeiten dann wieder abnehmen. Von der gewichteten Durchlaufzeit (GDZA) wurde die Wurzel gezogen, da sonst die Skalierung der Einheit im Vergleich zur Ausführungs- (AZA) und Durchlaufzeit (DZA) zu hoch gewesen wäre.

In **Abb. D-2** wird das Ökonomische Objekt durch den Domain Process *Beschichten* getriggert. Der erster Auftrag hat sehr hohe Bearbeitungskosten (BKA) aufgrund seiner hohen Ausführungszeit (AZA).

**Abb. D-3** zeigt die Durchlaufzeiten der Kundenaufträge innerhalb eines Simulationstags (5. Februar) durch die Bereiche der Prozeßkette *Kundenauftragsabwicklung*. Die Triggerung des Ökonomischen Objekts *EOKundenauftrag* erfolgt jeweils nach Auslieferung des Auftrags an den Kunden. Zwischen den Durchlaufzeiten der Kundenaufträge in der *Planung*, dem *Versand* und dem *Vertrieb* existieren nur geringe Abweichungen aufgrund der geringen Standardabweichung von  $\sigma = 0,1$ .

Die sehr hohen Abweichungen der Liefertermine (LTAA) der Kundenaufträge in **Abb. D-4** resultieren aus der Annahme, daß die durchschnittliche Lieferzeit 90 Tage beträgt. Alle Aufträge des Simulationsmodells werden daher „zu früh“ ausgeliefert. Die sehr hohen Bearbeitungskosten des ersten Kundenauftrags ergeben sich aus der großen Menge an herzustellenden Produkten (132 Tonnen).

**Abb. D-5** zeigt die Entwicklung der Maschinenlager, Tambourlager und Endproduktlager innerhalb eines Simulationszeitraums von 9 Tagen. Die Triggerung des entsprechenden Ökonomischen Objekts *EOProStunde* erfolgt stündlich.

**Abb. D-6** und **Abb. D-7** zeigen die durchschnittlichen Ausführungszeiten (MAZEP) und Durchlaufzeiten (MDZEP) von Produkttypen (pro Tonne) an der Papiermaschine. Für jeden Produkttyp (MAZEPA steht beispielsweise für die Ausführungszeit des Produkttyps A) wird

eine eigene CalculationFunction definiert, die aus dem KennzahlenObjekt MAZEP abgeleitet wird. Die sehr hohe Ausführungszeit des Produkts vom Typ T am 5. Februar ergibt sich aufgrund einer aufgetretenen Störung.

**Abb. D-8** zeigt die durchschnittlichen Bearbeitungskosten von Produkttypen an der Papiermaschine über einen Zeitraum von 8 Tagen.

**Abb. D-9** zeigt die durchschnittliche Maschinenauslastungen der Ressourcen. Die Maschinen sind entweder durch Störungen nicht voll ausgelastet, oder es liegen aufgrund der geringen Simulationsdauer noch nicht genügend Aufträge vor.

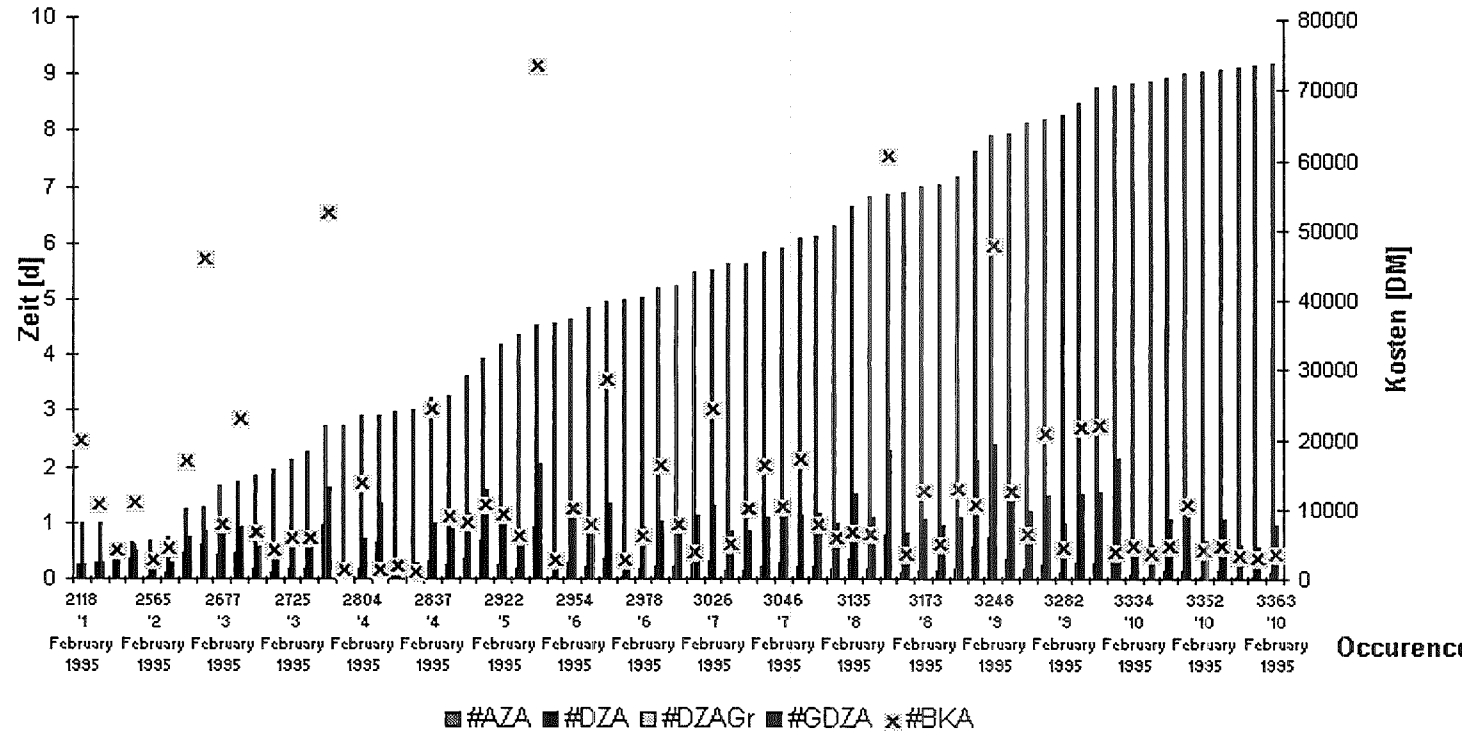


Abb. D-1: #EOHerstellen

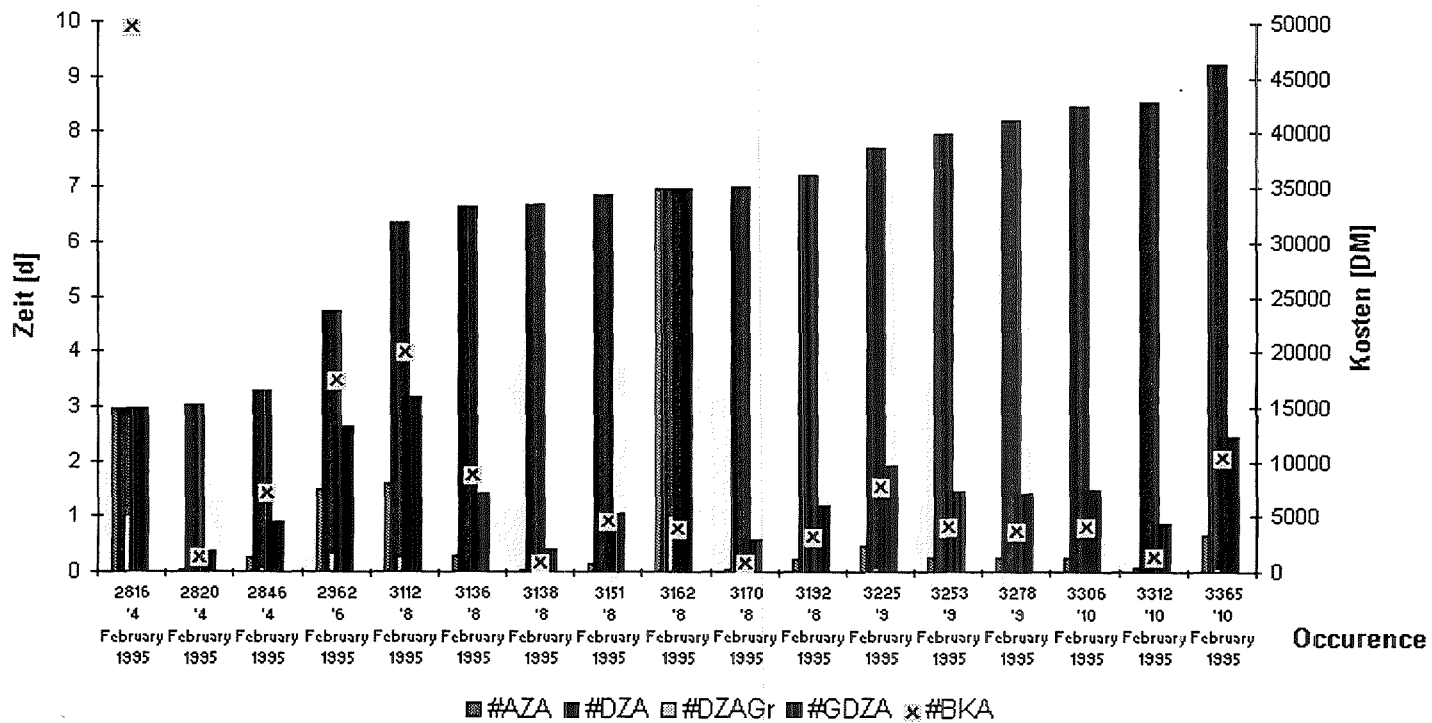


Abb. D-2: #EOBeschriften

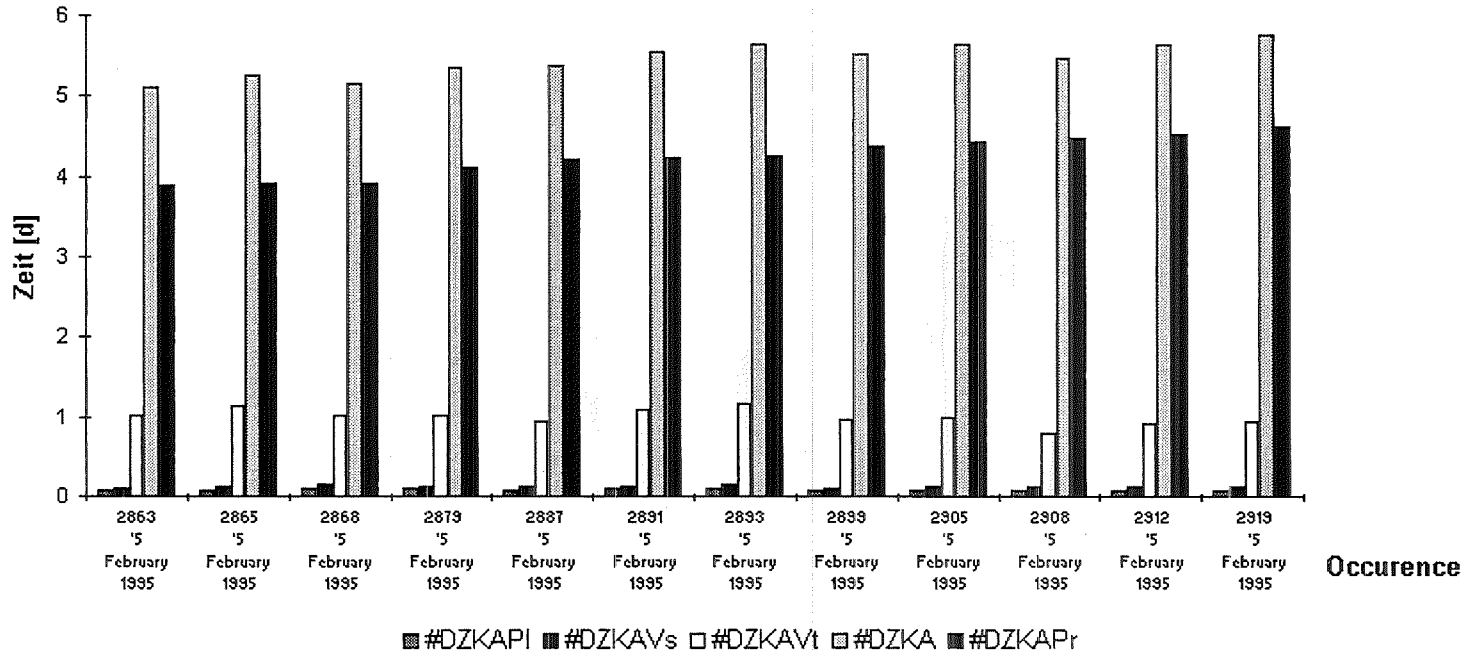


Abb. D-3: #EOKundenauftrag

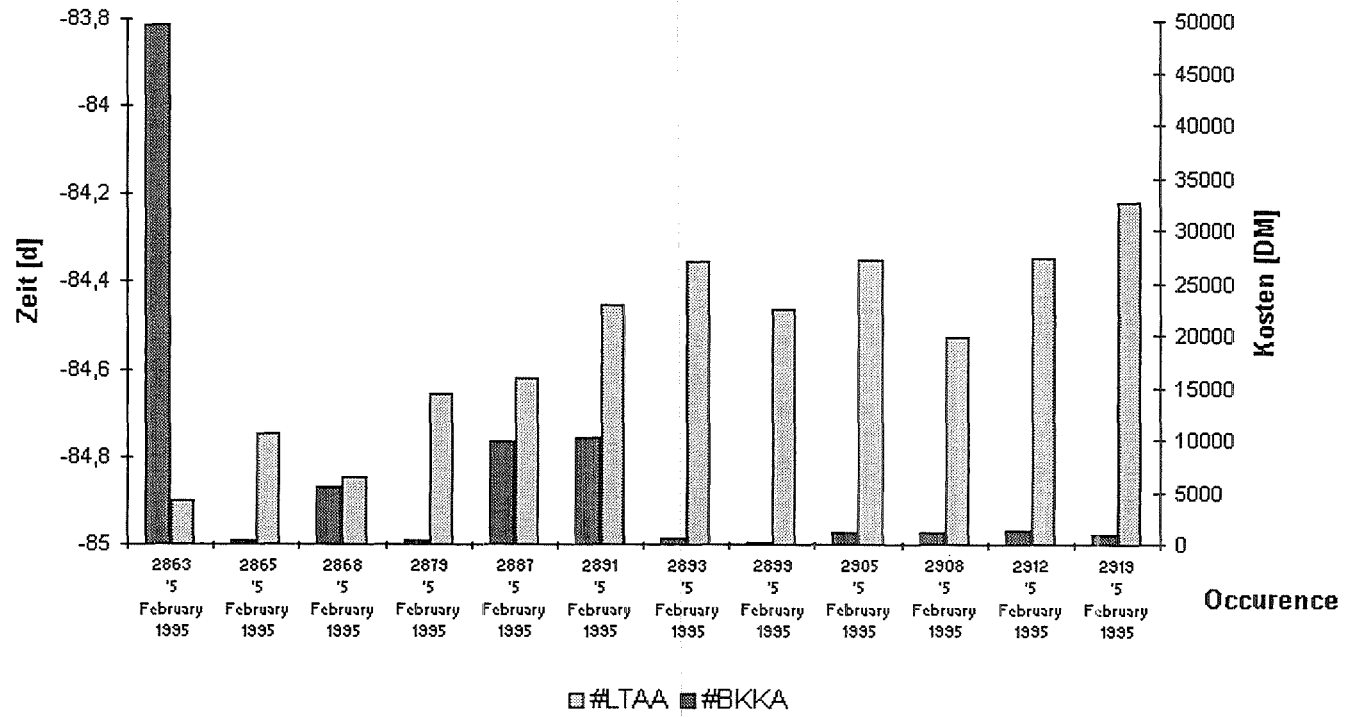


Abb. D-4: #EOKundenauftrag

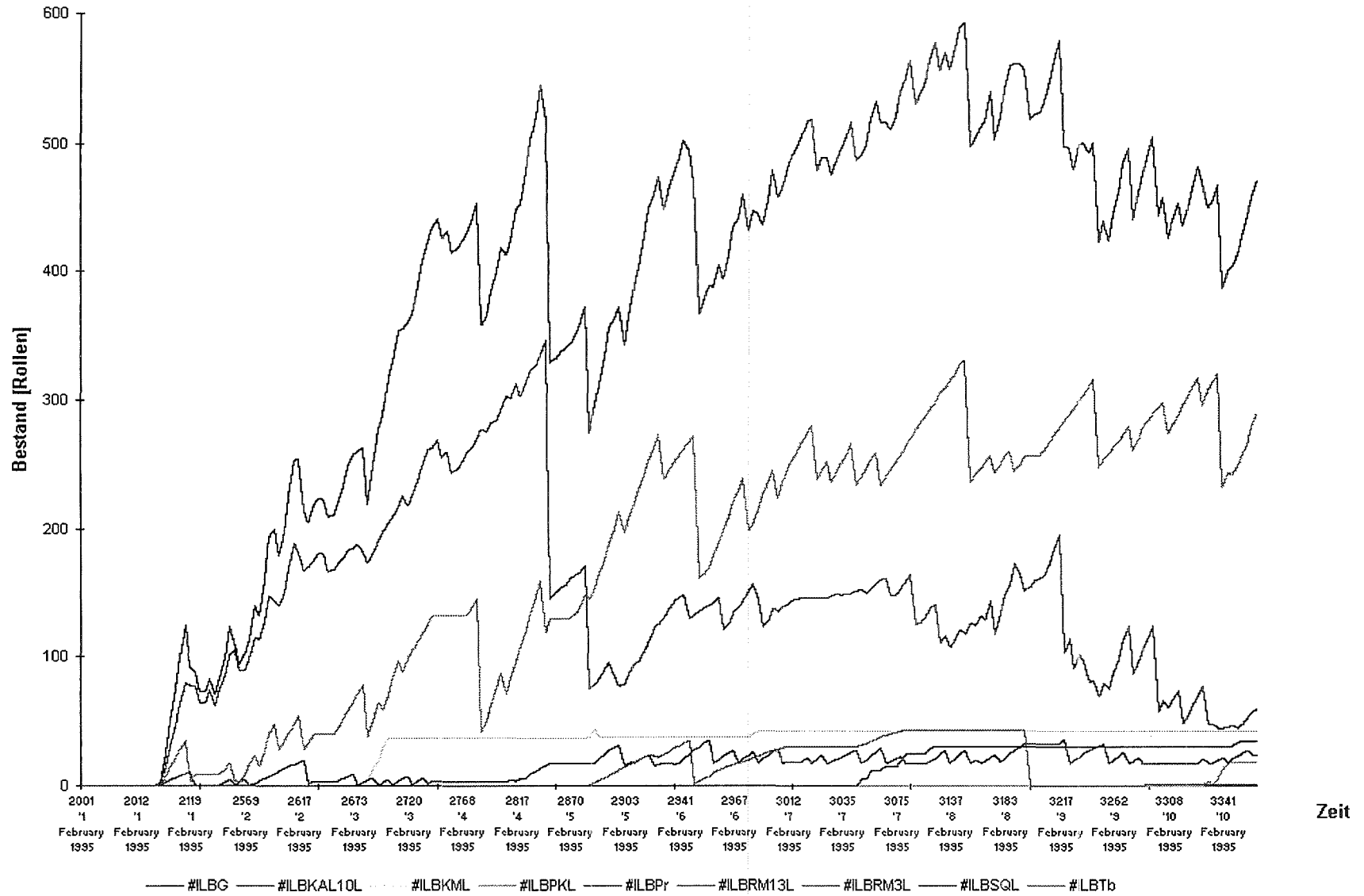


Abb. D-5: #EOProStunde / Lagerbestände



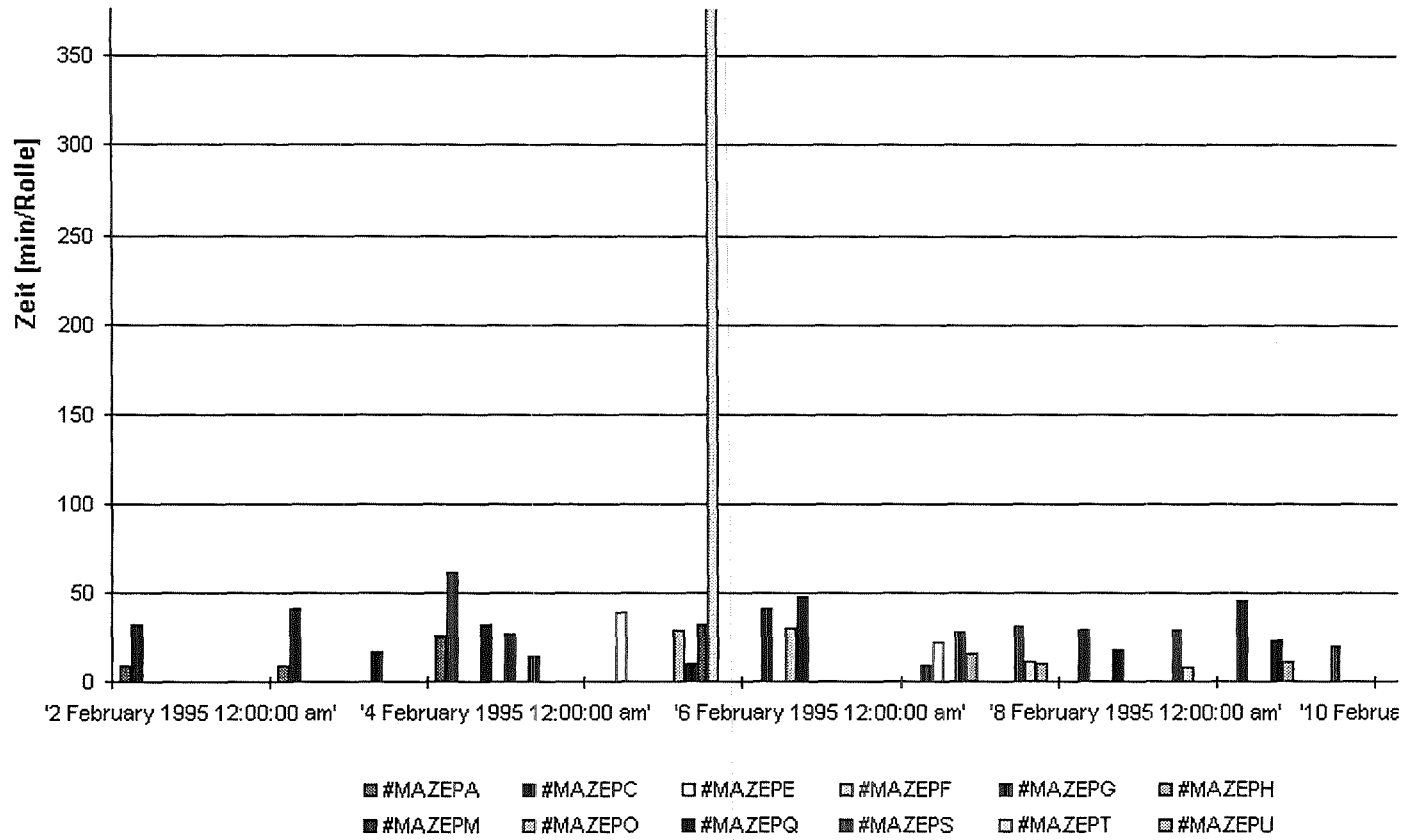


Abb. D-6: #EOProTag / #MAZEP / PM

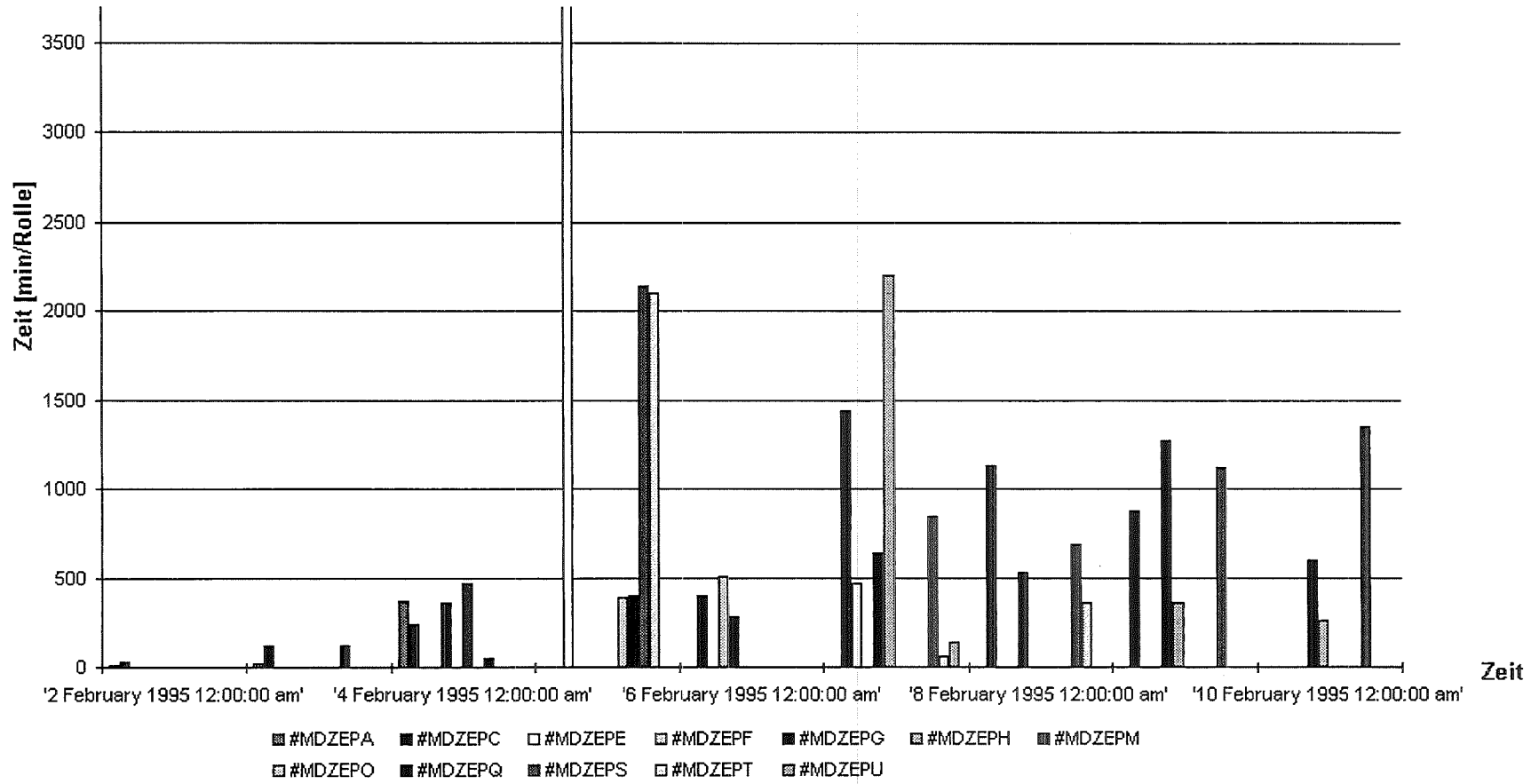


Abb. D-7: #EOProTag / #MDZEP / PM

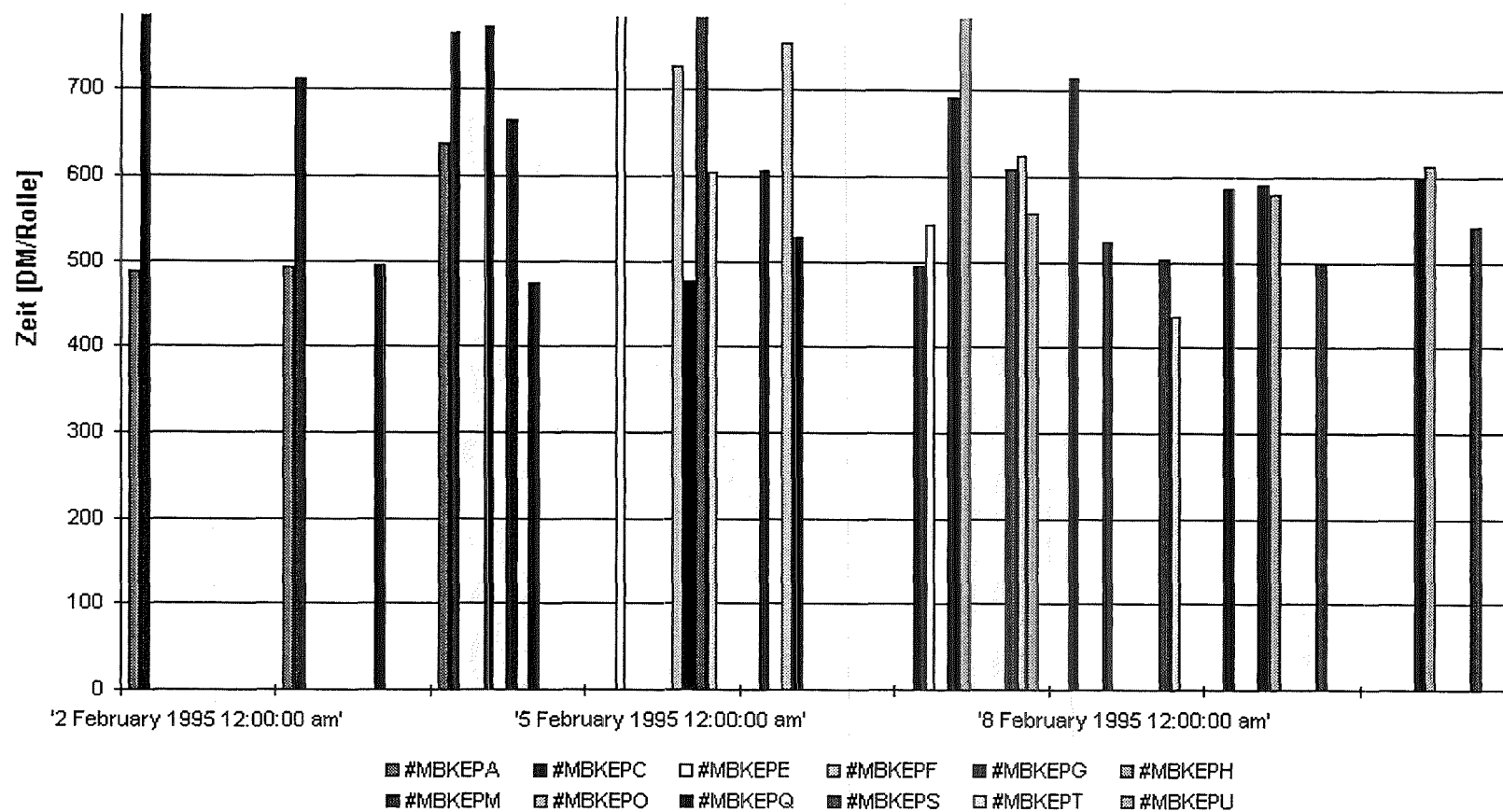


Abb. D-8: #EOProTag / #MBKEP / PM

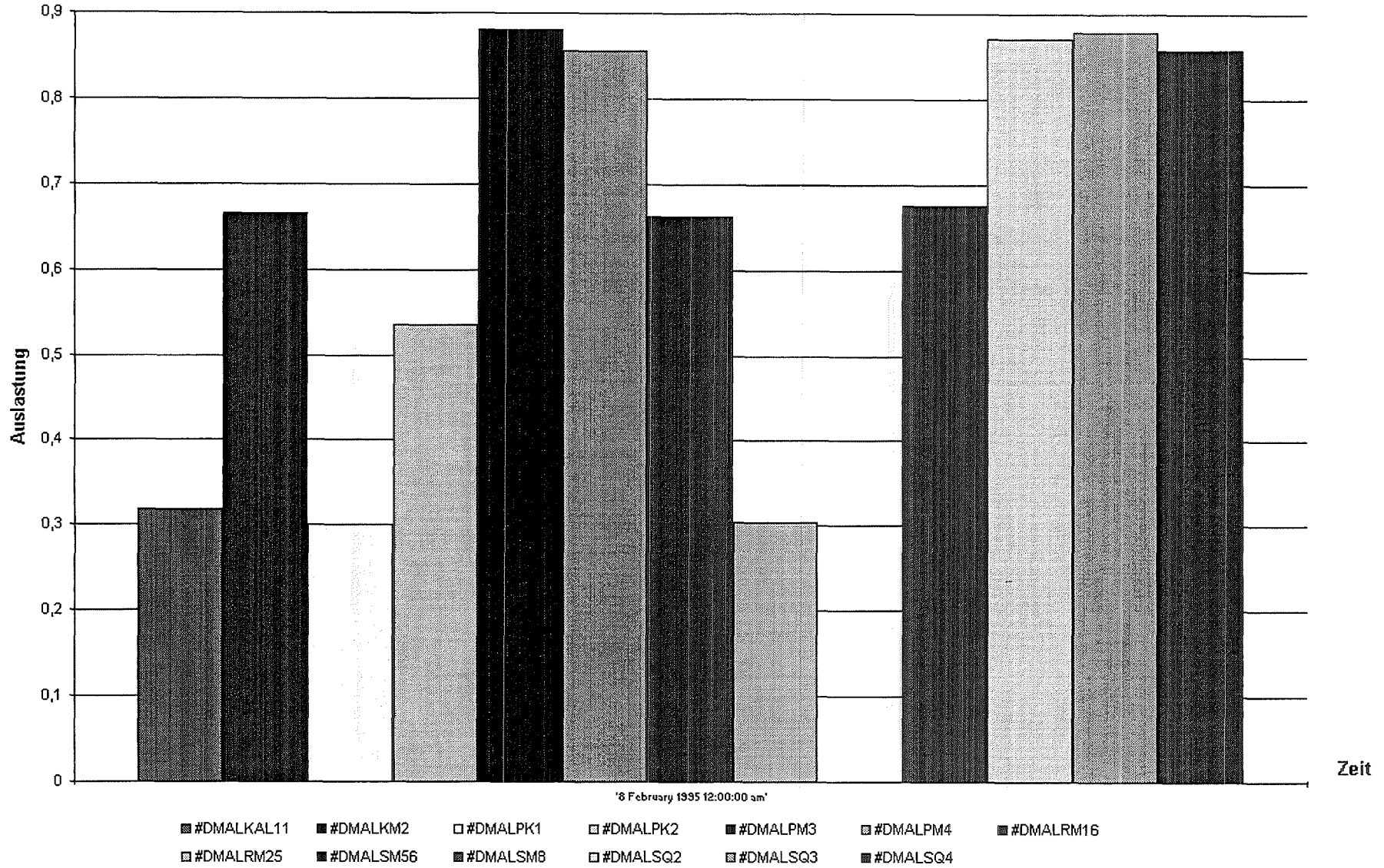


Abb. D-9: #EOProWoche / Ressourcen