

**Heft 97**

**Chr. Kruse, M. Gregor**

**Integrierte Simulationsmodellierung  
in der Fertigungssteuerung am Beispiel  
des CIM-TTZ Saarbrücken**

**Dezember 1992**

## Inhaltverzeichnis:

I. Problemstellung und Aufbau . . . . .	1
II. Das CIM-TTZ Saarbrücken . . . . .	1
II.1 Konzeption des CIM-TTZ Saarbrücken . . . . .	1
II.2 Untersuchungsbereich der Simulationsstudie . . . . .	2
II.3 Ziel der Simulationsstudie . . . . .	4
III. Konzept der integrierten Simulationsmodellierung . . . . .	5
III.1 Simulationsbegriff und Lebenszykluskonzept . . . . .	5
III.2 Integrationsebenen simulationsgestützter Systemmodellierung . . . . .	8
III.2.1 Integriertes Simulationssystem . . . . .	8
III.2.2 Simulationssysteme in CIM . . . . .	9
III.2.3 Simulationssysteme in einer Architektur integrierter Informationssysteme . . . . .	10
III.3 Zusammenfassung . . . . .	13
IV. Instrumente der dynamischen Systemmodellierung . . . . .	13
IV.1 Das Simulationssystem SIMFACTORY . . . . .	13
IV.1.1 Modellerstellung in SIMFACTORY II.5 . . . . .	14
IV.1.2 Simulationsexperimente im SIMFACTORY II.5. . . . .	16
IV.2 Stochastische Modellierung mit CAN-Q . . . . .	17
V. Vorbereitung und Durchführung der Simulationsstudie . . . . .	18
V.1 Systemlayout und Ausgangsfragestellung . . . . .	18
V.2 Datenerhebung und Prozeßanalyse . . . . .	20
V.3 Erstellung des Simulationsmodells . . . . .	21
VI. Ergebnisanalyse . . . . .	24
VI.1 Simulationsgestützte Analyse mit SIMFACTORY II.5 . . . . .	24
VI.2 Analytische Modellierung mit CAN-Q . . . . .	27
VI.3 Vergleich der Ergebnisse . . . . .	29
VII. Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	30
Literaturverzeichnis . . . . .	32

## **I. PROBLEMSTELLUNG UND AUFBAU**

Bedingt durch eine nur unzureichende Hardwareunterstützung dominierten im Bereich der simulationsgestützten Fertigungssteuerung lange Zeit spezielle Simulationssprachen (z.B. SIMAN, GPSS) bzw. isolierte Simulationssysteme. Mit Aufkommen leistungsfähiger Computersysteme jedoch wurde es in zunehmenden Maße möglich, simulationsgestützte Techniken in PPS-Systeme und Leitstandssysteme zu integrieren bzw. sehr benutzerfreundliche Simulationsumgebungen zu entwickeln. Der Gedanke der integrierten Simulationsmodellierung wird in dieser Ausarbeitung weiterentwickelt und am Beispiel einer Anwendung aus dem CIM-TTZ Saarbrücken konkretisiert.

Dazu ist die Ausarbeitung wie folgt gegliedert. Im anschließenden Kapitel II wird das CIM-TTZ Saarbrücken kurz vorgestellt sowie Untersuchungsbereich und Ziele der Simulationsstudie kurz skizziert. Dem schließt sich in Kapitel III die Erörterung des Konzeptes der integrierten Simulationsmodellierung an, wobei drei Integrationssichten beschrieben werden. Schwerpunkt der Ausarbeitung bildet die Durchführung einer Simulationsstudie für die CIM-TTZ-Demo-Fabrik. Nach kurzer Vorstellung der Analyseinstrumente (SIMFACTORY II.5, CAN-Q) in Kapitel IV beschreibt Kapitel V die Aktivitäten zur Durchführung der Simulationsstudie. Eine vergleichende Ergebnisanalyse in Kapitel VI sowie kurze Schlußbemerkungen beschließen die Ausarbeitung.

## **II. DAS CIM-TTZ SAARBRÜCKEN**

### **II.1 Konzeption des CIM-TTZ Saarbrücken**

Das CIM-Technologie-Transferzentrum Saarbrücken ist Bestandteil des Institut für Wirtschaftsinformatik an der Universität des Saarlandes. Es wurde im Rahmen des Förderprogramms 'Fertigungstechnik 1988-1992' eingerichtet [1]. Dieses vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) aufgelegte Programm hat einen 'breitenwirksamen CIM-Technologie-Transfer' zum Ziel. Vornehmlich Klein- und Mittelbetrieben soll der Zugang zu CIM Know-How für die Planung und Einführung komplexer CIM-Systeme erleichtert werden.

Das Aufgabenspektrum der CIM-TTZ umfaßt neben der Konzeption und Durchführung von Seminaren zu CIM-Themen insbesondere die Demonstration beispielhafter CIM-Realisierungen. Dazu ist am Saarbrücker Standort ein CIM-Demonstrationbetrieb realisiert

---

[1] Vgl. Scheer, A.-W.: (CIM), S.252ff.

worden, der die in Abbildung 1 dargestellten EDV-Systeme und Fertigungseinrichtungen umfaßt.

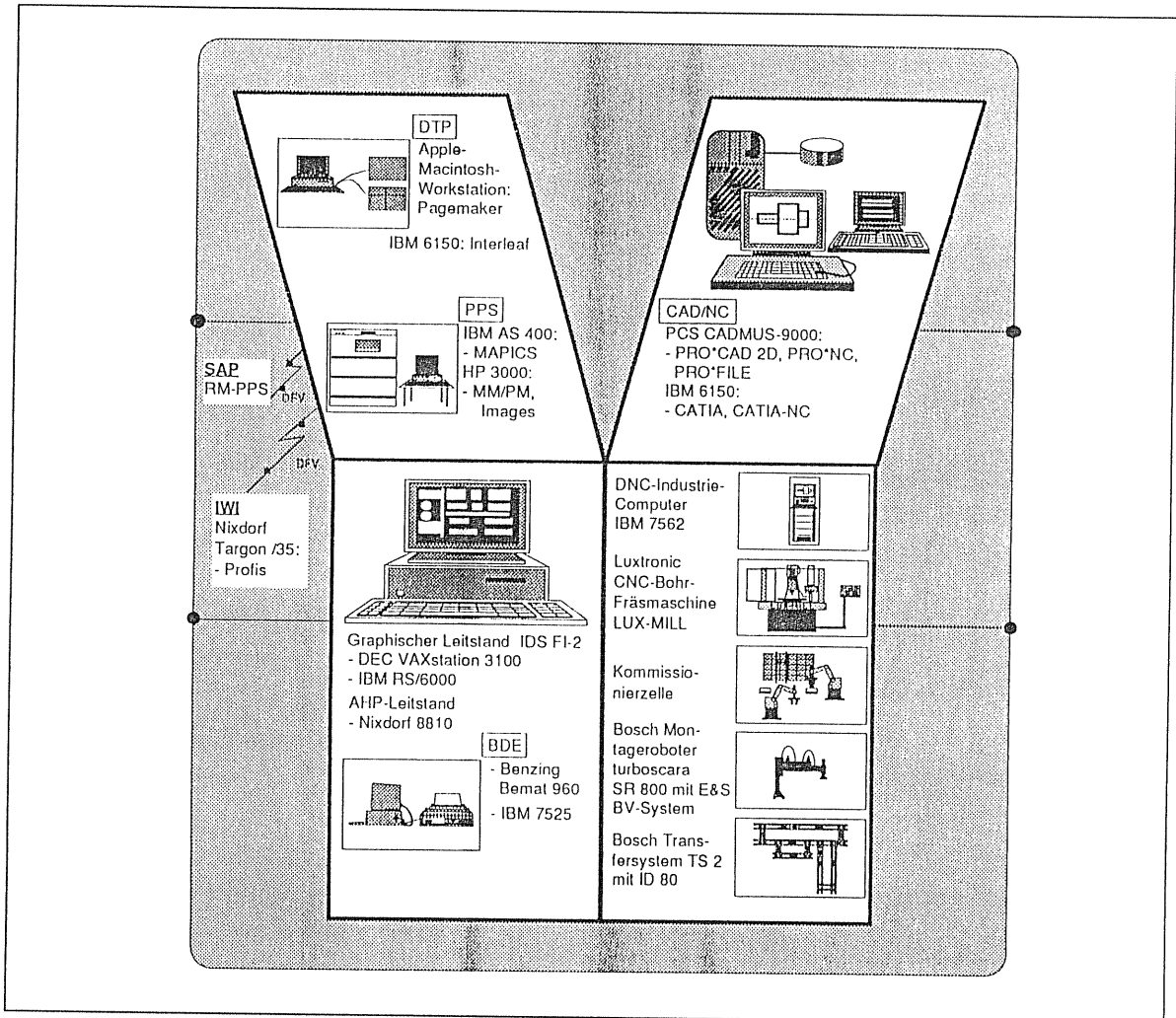


Abb.1: Informationssysteme der CIM-Demonstrationsfabrik im CIM-TTZ Saarbrücken

Mit Hilfe der Demonstrationsfabrik können sowohl auftragsgetriebene Logistikprozesse als auch technologisch-fertigungsorientierte CAD/CAM-Aktivitäten nachgebildet werden. Schwerpunkt der Untersuchungen bilden dabei Fragestellungen der informationstechnischen Integration heterogener CIM-Systeme in betriebswirtschaftliche Informationssysteme.

## II.2 Untersuchungsbereich der Simulationsstudie

Gegenstand der Simulationsstudie sind die Fertigungs- und Materialflußprozesse bei der Herstellung einer 'Schreibtisch-Quartz-Uhr' in der CIM-TTZ-Demo-Fabrik, die in Abbildung 2 dargestellt ist.

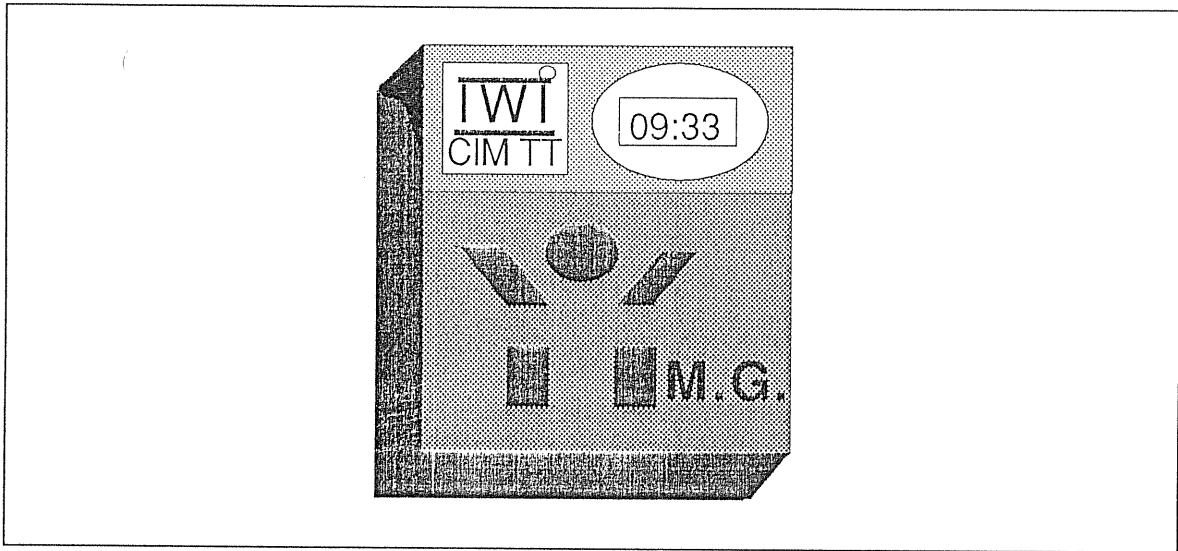


Abb. 2: CIM-Demo-Produkt 'Schreibtisch-Quartz-Uhr'

Der Grundkörper der 'Schreibtisch-Quartz-Uhr' besteht aus einem Aluminium-Block, in den ein Monogramm sowie Vertiefungen zur Aufnahme der Uhr und verschiedener Einpaßteile eingefräst werden. Die im Rahmen der Simulationsstudie untersuchten Funktionalbereiche sind in der Abbildung 3 mit Hilfe des CIM-Y von Scheer [2] dargestellt.

Die Aufträge werden aus dem vorgelagerten PPS-System MAPICS übernommen bzw. stochastisch erzeugt. Kapazitätsterminierung und -abgleich sind durchgeführt, so daß die Simulationsstudie mit der Auftragsfreigabe einsetzt. Im Vordergrund steht die dynamische Abbildung Produktionsprozesses auf Ebene der Feinterminierung. Typische Kennzahlen wie die Auslastung der Arbeitsstationen oder die Durchlaufzeit einzelner Produktvarianten sollen simulativ ermittelt werden. Dazu sind auch die materialflußorientierten CAM-Funktionen Transportsteuerung, Lagersteuerung und Montage mit in die Simulation einbezogen.

---

[2] Vgl. Scheer, A.-W.: (CIM), S.2.

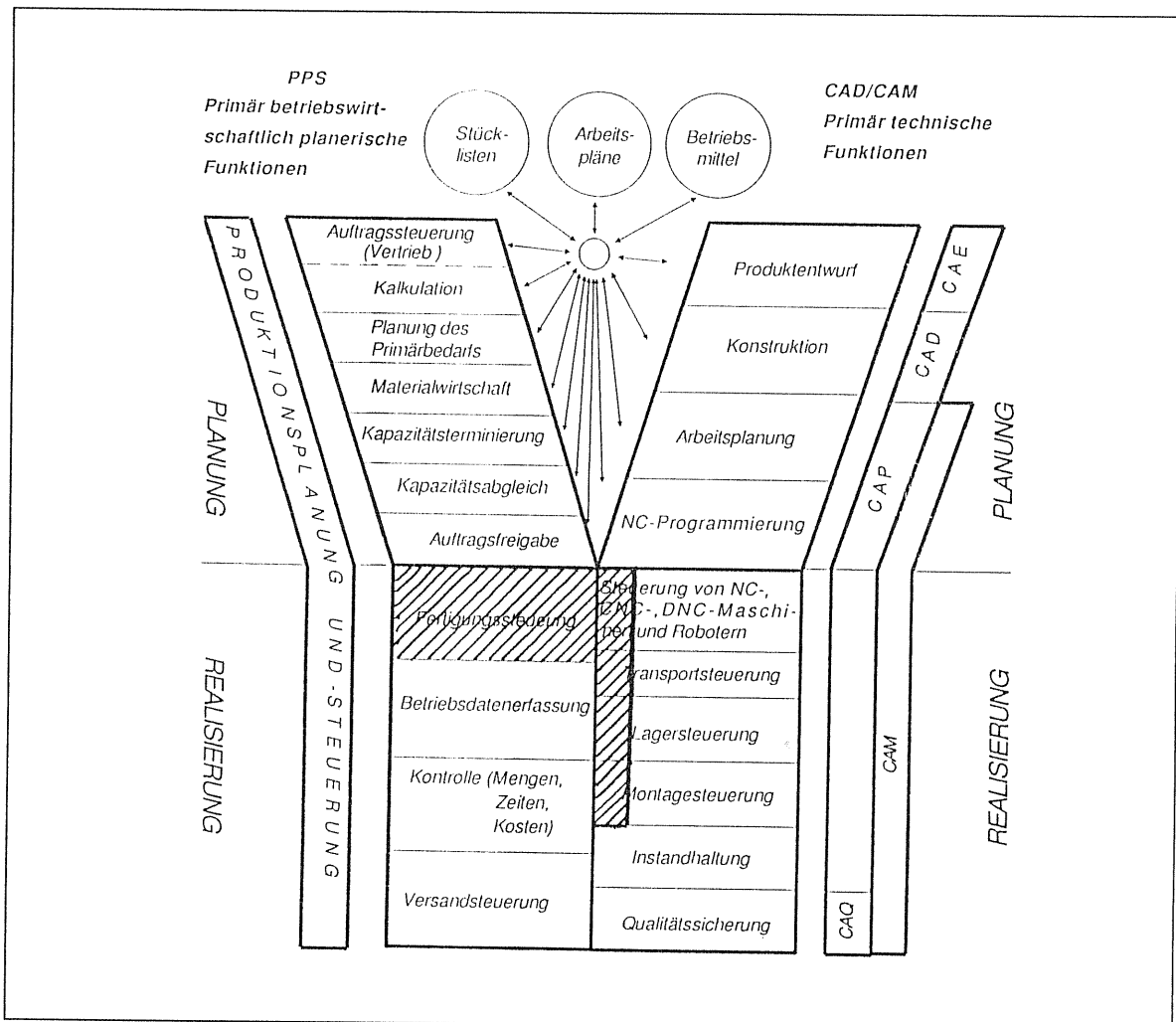


Abb. 3: Y-CIM-Funktionalbereiche der Simulationsstudie

### II.3 Ziel der Simulationsstudie

Mit der Simulationsstudie wird eine Reihe unterschiedlicher Zielsetzungen verfolgt. Dazu zählen

- die Analyse und Verdeutlichung des dynamischen Zusammenwirkens einzelner Prozeßkomponenten für Schulungszwecke,
- der Vergleich unterschiedlicher Analysemethoden für die Feinsteuerung des Auftragsdurchlaufes sowie
- die Entwicklung eines Konzeptes zur Integration der Simulation in integrierte Informationssysteme.

Die zeitdynamische Abbildung des Produktionsprozesses der 'Schreibtisch-Quartz-Uhr' in Form eines Simulationsmodells ergänzt die physische-reale Fertigungsdemonstration. Mit dem Simulationsmodell lassen sich Experimente durchführen, anhand derer ablaufbedingte Schwachstellen identifiziert und - ggf. durch Veränderung der Steuerungsstrategie bzw. des Systemdesigns - beseitigt werden können. Schulungsteilnehmern kann somit die Kom-

plexität der Fertigungsprozesses näher gebracht werden und gleichzeitig der Nutzen von Simulationsstudien zur Entscheidungsunterstützung in der Fertigungssteuerung verdeutlicht werden [3]. Ein weiteres Ziel der Simulationsstudie ist es, anhand eines Daten- und Prozeßmodells eine Konzeption zur Einbindung der Simulation in das ARIS-Konzept [4] zu entwickeln.

### III. KONZEPT DER INTEGRIERTEN SIMULATIONSMODELLIERUNG

#### III.1 Simulationsbegriff und Lebenszykluskonzept

Die Simulation wird in nahezu allen Wissenschaftsgebieten als Instrument zur Entscheidungsunterstützung eingesetzt. Ihrem Wesen nach ist sie eine multidisziplinäre Problemlösungstechnik, die eine Reihe unterschiedlicher Methoden aus den Forschungsgebieten der Informatik (Software Engineering), der Mathematik sowie den jeweiligen Anwendungsgebieten wie z.B. der Produktionsplanung und -steuerung vereint. Diese hohe Interdisziplinarität hat bisher verhindert, daß sich eine einheitliche und allgemein anerkannte Terminologie herausgebildet hat. Je nach Anwendungsdisziplin und zu untersuchender Fragestellung unterscheiden sich Sichtweise und Verständnis der Simulation erheblich [5]. Deshalb soll der Begriff der Simulation für die Zwecke der Ausarbeitung nach Shannon [6] wie folgt definiert werden:

'Simulation is the process of designing a model of a real system and conducting experiments with this model for the purpose either of understanding the behaviour of the system or of evaluating various strategies (within the limits proposed by a criterion or set of criteria) for the operation of the system.

Zentrale Aussagen dieser Begriffsfestlegung sind, daß die Simulation den *Prozeß der Modellierung* und die *Durchführung von Modellexperimenten* einschließt. Im Rahmen der Modellierung wird zunächst ein logisches Ersatzsystem der realen Untersuchungsbereiches erstellt. Mit Hilfe dieses Modelles werden dann dynamische Experimente (Wirkungsanalysen) im Zeitablauf zum Zweck der Erfassung, Beschreibung und Analyse (Optimierung) des Systemverhaltens durchgeführt. Im Kern reduziert sich damit die Simulation auf die Durchführung von dynamischen Modellexperimenten zur Systemanalyse gemäß vordefinierter Zielsetzungen.

---

[3] Vgl. dazu vertiefend etwa: Zell, M.: (Informationsmanagement).

[4] Vgl. Scheer, A.-W.: (Architektur), S.11.

[5] Pritsker zählt 22 stark voneinander abweichende Begriffsdefinitionen für den englischen Sprachraum auf, vgl. Pritsker, A.A.B: (Definition), S. 61-63; vgl. zu Begriffsdefinition auch: Chen, B.: (Computersimulation), S.59ff.

[6] Vgl. Shannon, R.E.: (System Simulation), S.2

### Lebenszykluskonzept der Simulation

Eine Simulationsstudie umfaßt gemäß obiger Definition einen Modellerstellungs- sowie eine Modellexperimentprozeß. Diese recht grobe Beschreibung läßt sich mit Hilfe des Lebenszykluskonzeptes [7] verfeinern. In Abbildung 4 sind Phasen und Ergebnisse eines idealtypischen, simulationsgestützten Modellbildungsprozesses dargestellt.

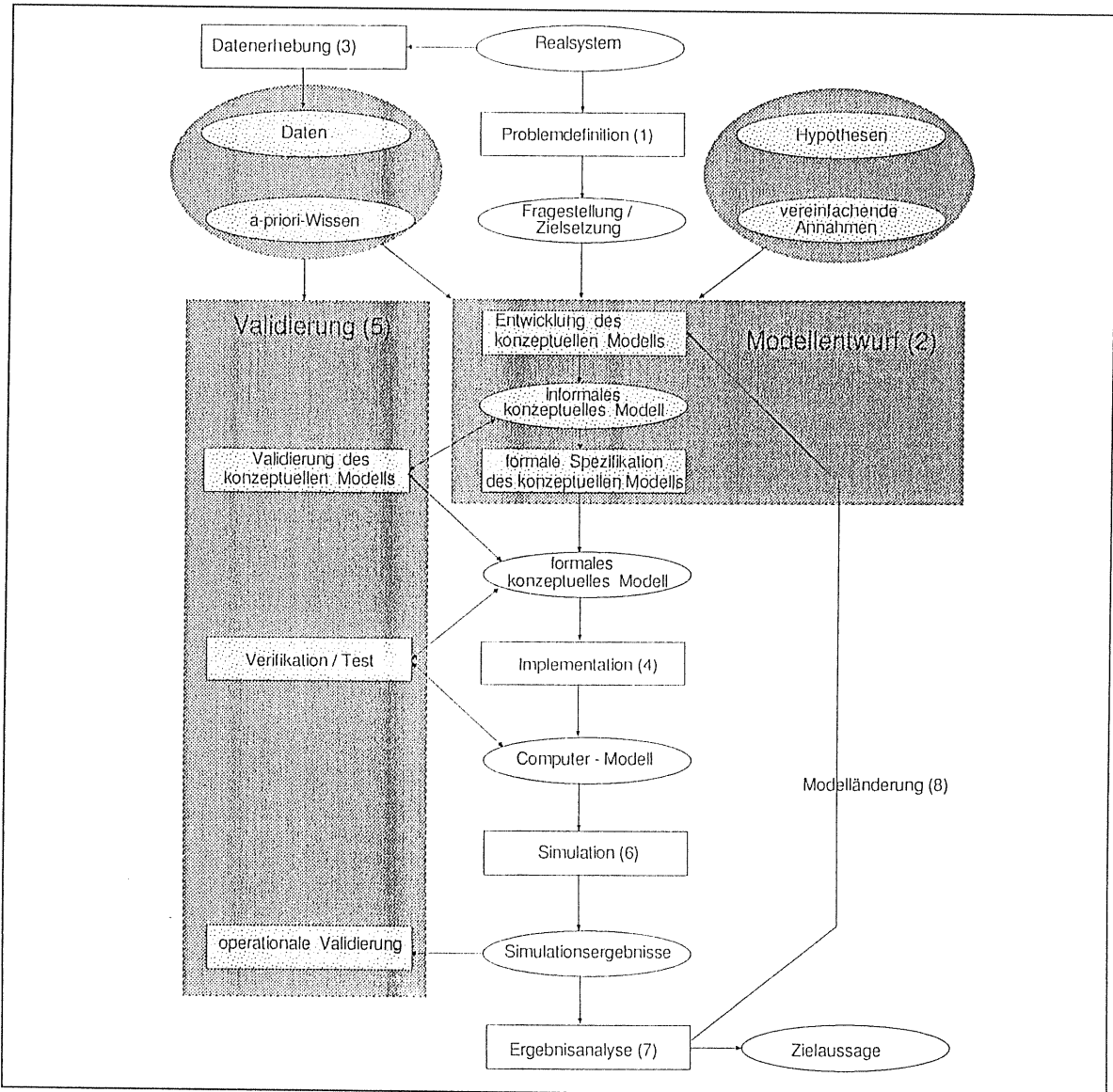


Abb. 4: Phasen des simulationsgestützten Modellierungszykluses (in Anlehnung an [8])

Das in Abbildung 4 dargestellte, weitgehend selbsterklärende Lebenszykluskonzept soll hier nicht weiter vertieft werden. Hervorzuheben sind lediglich zwei zentrale Aspekte.

[7] Ähnlich wie bei dem Softwarelebenszyklus gibt es eine Vielzahl von Vorschlägen zu Phaseneinteilung des Simulationslebenszyklusses, vgl. dazu u.a.: Nance, R.E.: (Methodology), S.38-43; Page, B.: (Diskrete Simulation), S.11ff.

[8] Vgl. Page, B.: (Diskrete Simulation), S.12.



Zum einen ist dies die große Bedeutung der Daten bzw. des in informal-konzeptuellen Modellen gespeicherten 'a-priori' Wissens für die Durchführung einer Simulationsstudie. Zum anderen kann die Ergebnisanalyse einen zyklischen Modellierungsprozeß ('Re-Definition' des Modells) auslösen, sofern die Simulationsergebnisse zur Entscheidungsfindung nicht aussagekräftig genug sind. Darüber hinaus verdeutlicht Abbildung 4 die Komplexität und den großen Aufwand einer simulationsgestützten Modellierung, die Kenntnisse unterschiedlichster Disziplinen (Anwendungsgebiete, Statistik, Programmierung etc.) erfordert [9].

### **Beurteilung der Simulation als Problemlösungstechnik**

Ihrem Wesen nach ist die Simulation als eine statistisch-experimentelle bzw. heuristische Lösungsmethode anzusehen. Die Ergebnisse von Simulationsläufen stellen Beobachtungen an einem Systemmodell dar, die grundsätzlich mit einem experimentbedingten Fehler behaftet sein können [10]. Im Gegensatz zu analytischen Lösungsmethoden liefern simulationsgestützte Analyseverfahren lediglich eine Annäherung bzw. Schätzung der optimalen Lösung. Hauptvorteil simulationsgestützter Verfahren [11] ist ihre große Flexibilität bei der Modellierung hochkomplexer Systeme. Einzelne Systemkomponenten sowie ihre dynamische Interaktion untereinander können detailliert und realitätsnah nachgebildet werden. Daher bietet sich die Simulation insbesondere bei Detailuntersuchungen an. Nachteilig auf die Akzeptanz von Simulationsstudien wirkt sich ihr mitunter außerordentlich hoher Aufwand aus. Hinzu kommen häufig zu beobachtende Mängel [12] von Simulationsstudien wie u.a.

- ungenaue und unvollständige Modelle,
- unzureichende Experimententwürfe sowie
- unzulängliche Ergebnisauswertungen und -analysen.

Aus diesen Gründen stellen analytische Lösungsverfahren für Voruntersuchungen und aggregierte 'Grob-' Fragestellungen eine gute Lösungsalternative dar. Dieser Gedanke wird im nachfolgenden Kapitel behandelt.

---

[9] Vgl. Schriber, T.J.: (Simulation), S.6.

[10] Vgl. Taha, H.A.: (Operations Research), S. 693ff.

[11] Die Auswahl einer geeigneten Lösungstechnik für eine gegebene Ausgangssituation ist in sich bereits ein Optimierungsproblem. Zu den Vor- bzw. Nachteilen von Simulationsstudien vgl. u.a. Thesen, A.; Travis, L.E.: (Simulation), S.14.

[12] Vgl. Fox, M.S.; Husan, N.; McRoberts, M.; Reddy, Y.V.: (Knowledge-Based Simulation), S.448.

### III.2 Integrationsebenen simulationsgestützter Systemmodellierung

Simulationsstudien werden häufig im Rahmen fest definierter Projekte durchgeführt. Diese weitgehend isolierte Erstellung von Simulationsmodellen ist insofern unbefriedigend, als daß Synergien und Integrationspotentiale zu anderen Unternehmensbereichen und -aktivitäten nicht ausgeschöpft werden. Denn ein Großteil des zur simulationsgestützten Systemanalyse notwendigen 'a-priori-Wissens' ist vorhanden und in Datenbanken und Anwendungsprogrammen abgelegt. Die nachfolgenden Ausführungen skizzieren ein Ebenenkonzept zur Integration simulationsgestützter Aktivitäten bis in unternehmensweiten Zusammenhänge.

#### III.2.1 Integriertes Simulationssystem

Das Konzept der integrierten Simulationsumgebung bzw. -system geht auf Henriksen [13] zurück. Vereinfachend ist darunter ein Softwaresystem zu verstehen, daß alle Aktivitäten und Phasen des Simulationslebenszykluskonzeptes funktional unterstützt, vgl. Abbildung 5.

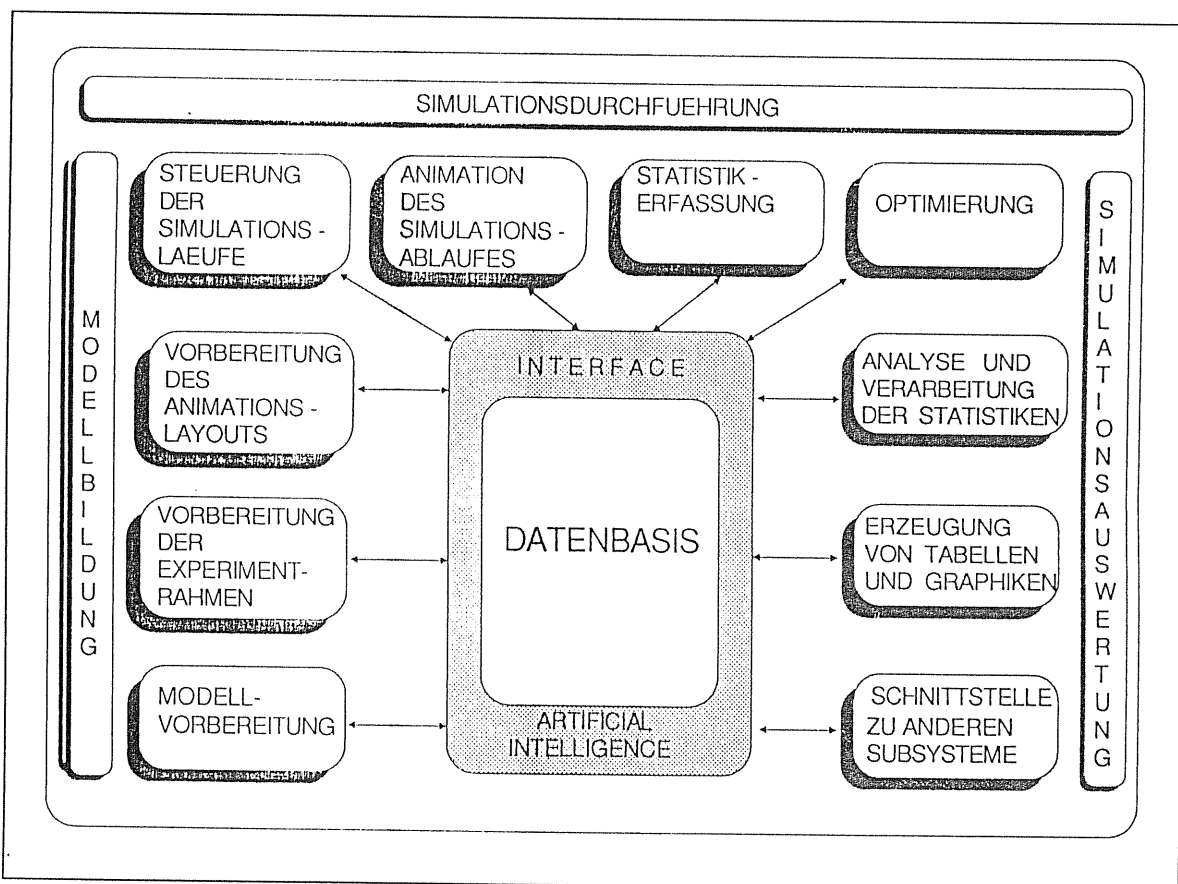


Abb. 5: Integriertes Simulationssystem

[13] Vgl. Henriksen, J.O.: (Simulation Environment), S.1053-1073 und Kosturiak, J; Gregor, M.: (FFS-Modellierung), S.353-356.

Wichtige anwenderbezogene Komponenten einer integrierten Simulationsumgebung sind ein Modelleditor zur graphisch-interaktiven Modellerstellung und ein Experimenteditor zur Planung und Bewertung der Simulationsexperimente [14]. Ein- und Ausgabesysteme sowie ein Statistikmodul stellen weitere grundlegende Funktionalitäten einer Simulationsumgebung dar. Betriebssystemnahe Komponenten wie Programmeditoren und Übersetzer sind nachrangige Bestandteile, die für den Anwender verborgen bleiben.

### III.2.2 Simulationssysteme in CIM

Ein Hauptanwendungsgebiet simulationsgestützter Methoden und Verfahren liegt in der Analyse, Planung und Steuerung von Fertigungs- und Materialflußsystemen. Mit Hilfe der Simulation läßt sich die hohe Problemkomplexität sowohl in der Planungs- als auch der Betriebsphase [15] von CIM-Systemen bewältigen, vgl. Abbildung 6.

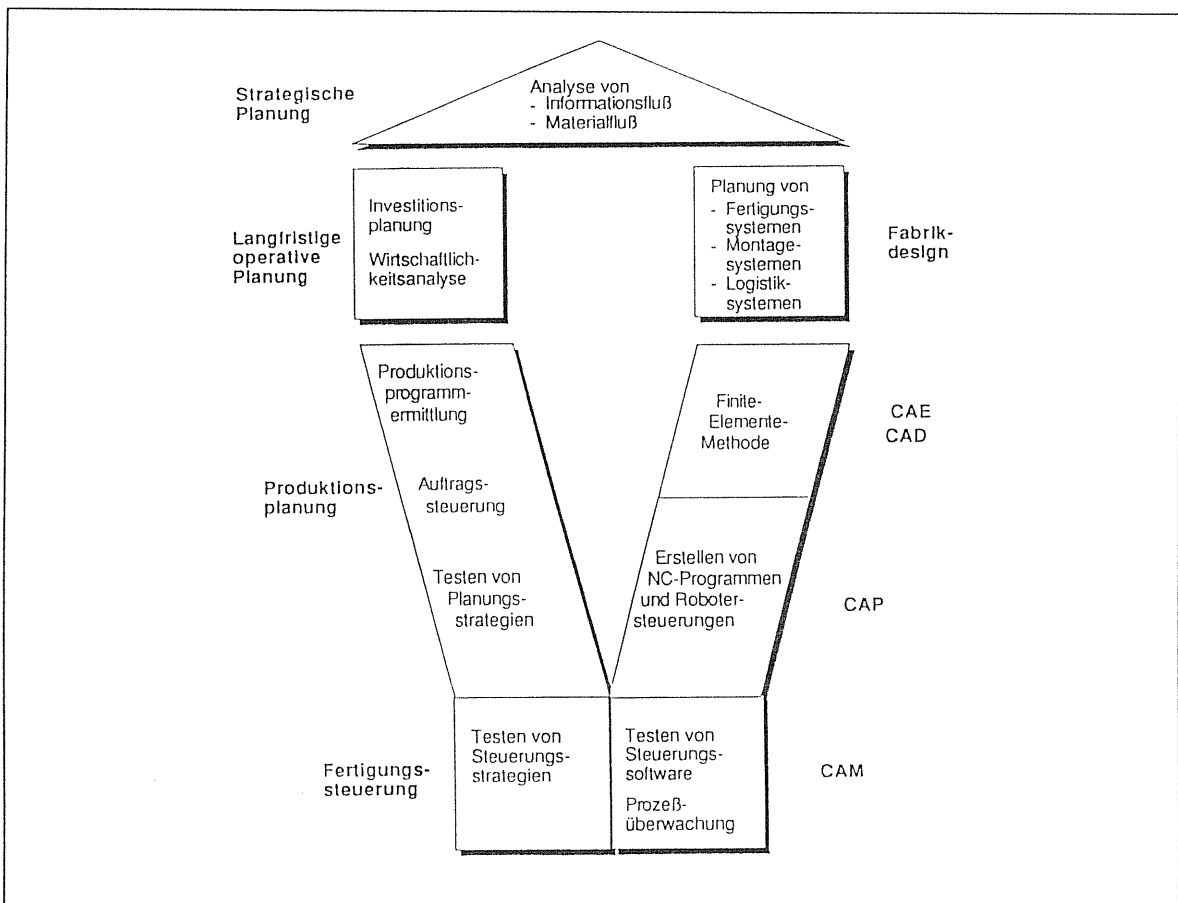


Abb. 6: Einsatzbereiche der Simulation in CIM-Systemen [16]

[14] Vgl. Noche, B.: (Simulation), S.11.

[15] Vgl. Blighon, B.: (Simulation), S.769-770; Gregor, M.: (Modellierung).

[16] Vgl. Zell, M.: (Informationsmanagement), S.12.

Der Einsatz integrierter Simulationssysteme im Bereich CIM kann zu einer erheblichen Verbesserung der Durchgängigkeit bei Planung und Betrieb führen. Systeme zur Fabrikplanung lassen sich beispielsweise mit simulationsgestützten Werkzeugen der Fertigungssteuerung verbinden. Eine derart enge Kopplung ist vor allem bei hochautomatisierten (und damit zwangsläufig kostenintensiven) Produktionssystemen sinnvoll. Der Trend zunehmender Integration von Produktionssystemen spiegelt sich damit gleichzeitig auf Ebene der (simulationsgestützten) Modellierung wider. Eine integrierte Modellierung erlaubt es, neben Bearbeitungsprozessen und Materialflüssen auch die Integrationseffekte und Schnittstellen zu PPS, CAPP und zu anderen CIM-Komponenten zu modellieren und analysieren. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß dem Simulationsmodell korrekte Eingabedaten aus den vorgelagerten Systemen zur Verfügung stehen.

### III.2.3 Simulationssysteme in einer Architektur integrierter Informationssysteme

Auf einer nächst höheren Aggregations- bzw. Integrationsebene lassen sich Simulationssysteme in einen unternehmensweiten Zusammenhang einordnen [17]. Die von Scheer entwickelte Architektur integrierter Informationssysteme (ARIS) dient als konzeptionelle Basis dieser Integrationsebene. Sie ist in Abbildung 7 dargestellt.

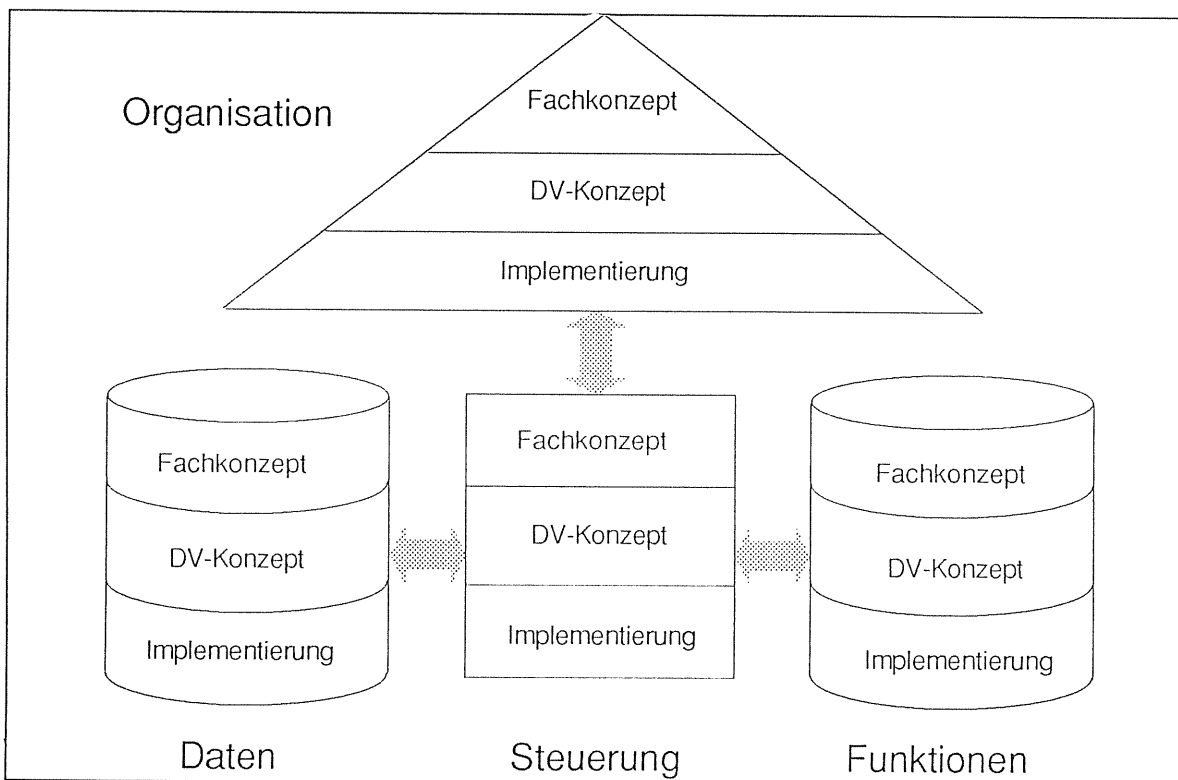


Abb. 7: Architektur integrierte Informationssysteme [18]

[17] Vgl. Lane, G.M; Fegan, N.T.; Kruse, Chr.; Millward, B.: (Framework), S.455-460

[18] Vgl. Scheer, A.-W.: (ARIS), S.18.

Die weitere Betrachtung beschränkt sich auf die Fachkonzeptebene innerhalb von ARIS. Gegenstand dieser Beschreibungsebene sind konzeptuelle Modelle auf Typebene, d.h. die getroffenen Aussagen beziehen sich auf Klassen von Objekten und nicht auf Ausprägungen. Diese aggregierte Systembeschreibung, die zunächst völlig unabhängig von dem verwendeten Simulationssystem ist, leistet einen wichtigen Beitrag bei der Simulationsmodellierung im Hinblick auf die unternehmensweite Integration. Am Beispiel des Datenmodells in Abbildung 8 wird dies deutlich. Alle simulationsrelevanten Informationen des Realsystems sind dargestellt. Dabei wird zwischen den Stammdaten und den auftragsabhängigen Bewegungsdaten unterschieden.

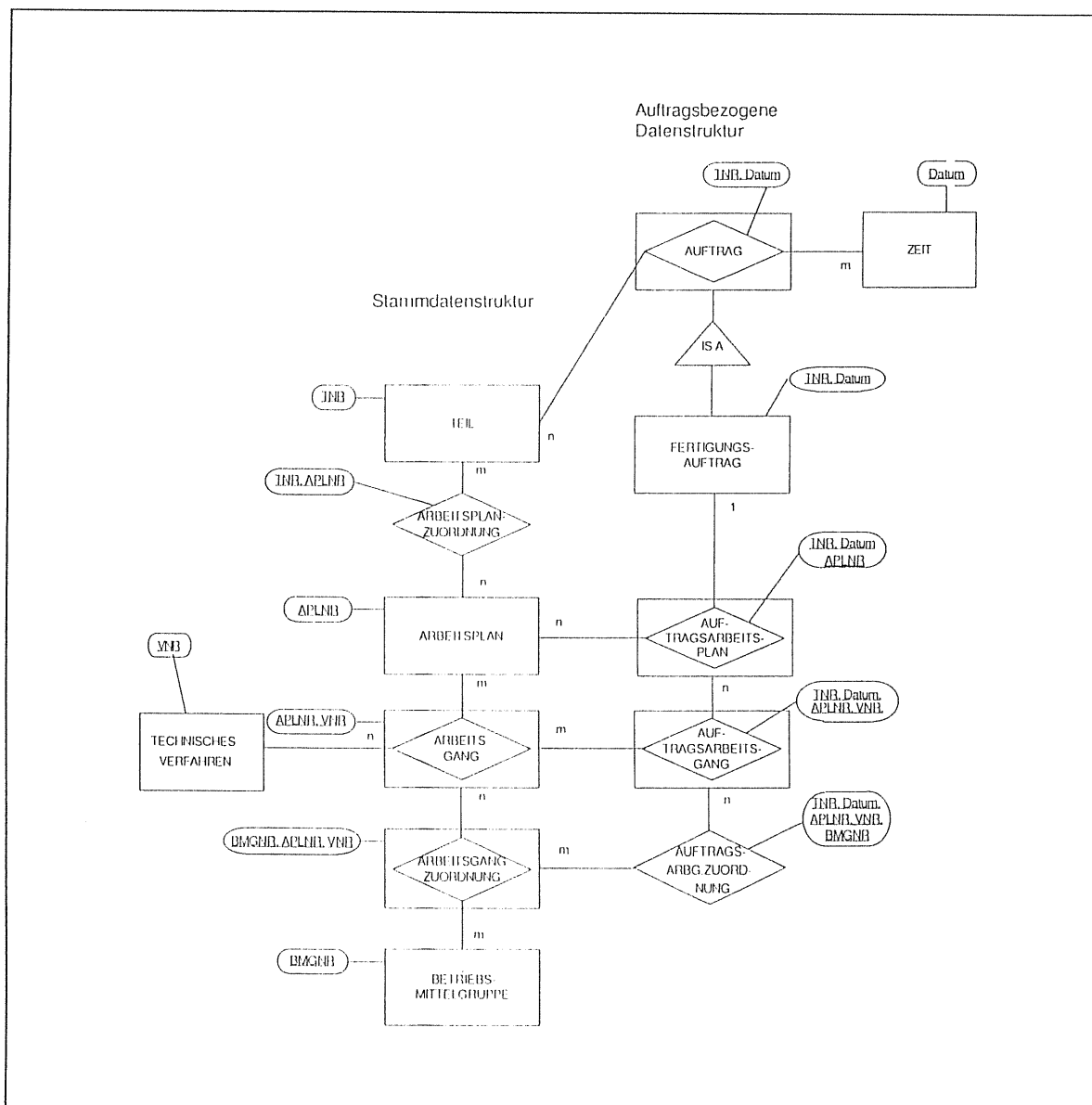


Abb. 8: Datenmodell für die CIM-Demo-Fabrik-Betrieb (nach [19])

[19] Vgl. Scheer, A.-W.: (Wirtschaftsinformatik), S.165.

Ein konzeptuelles Datenmodell unterstützt die Vorstrukturierung simulationsrelevanter Information. Darüber hinaus stellt es sicher, daß die Simulation auf die gleichen Daten zugreift wie andere Anwendungssysteme. Letzteres ist insbesondere dann von Vorteil, wenn mehrere Simulationsanwendungen für ähnliche Untersuchungsbereiche entwickelt werden. Neben einer datenorientierten Modellierung ist auch die semantische Prozeßmodellierung [20] für die Simulation von Vorteil. Ein Ausschnitt aus dem Prozeßmodell für die Produktion der 'CIM-TTZ-Uhr' ist in Abbildung 9 dargestellt.

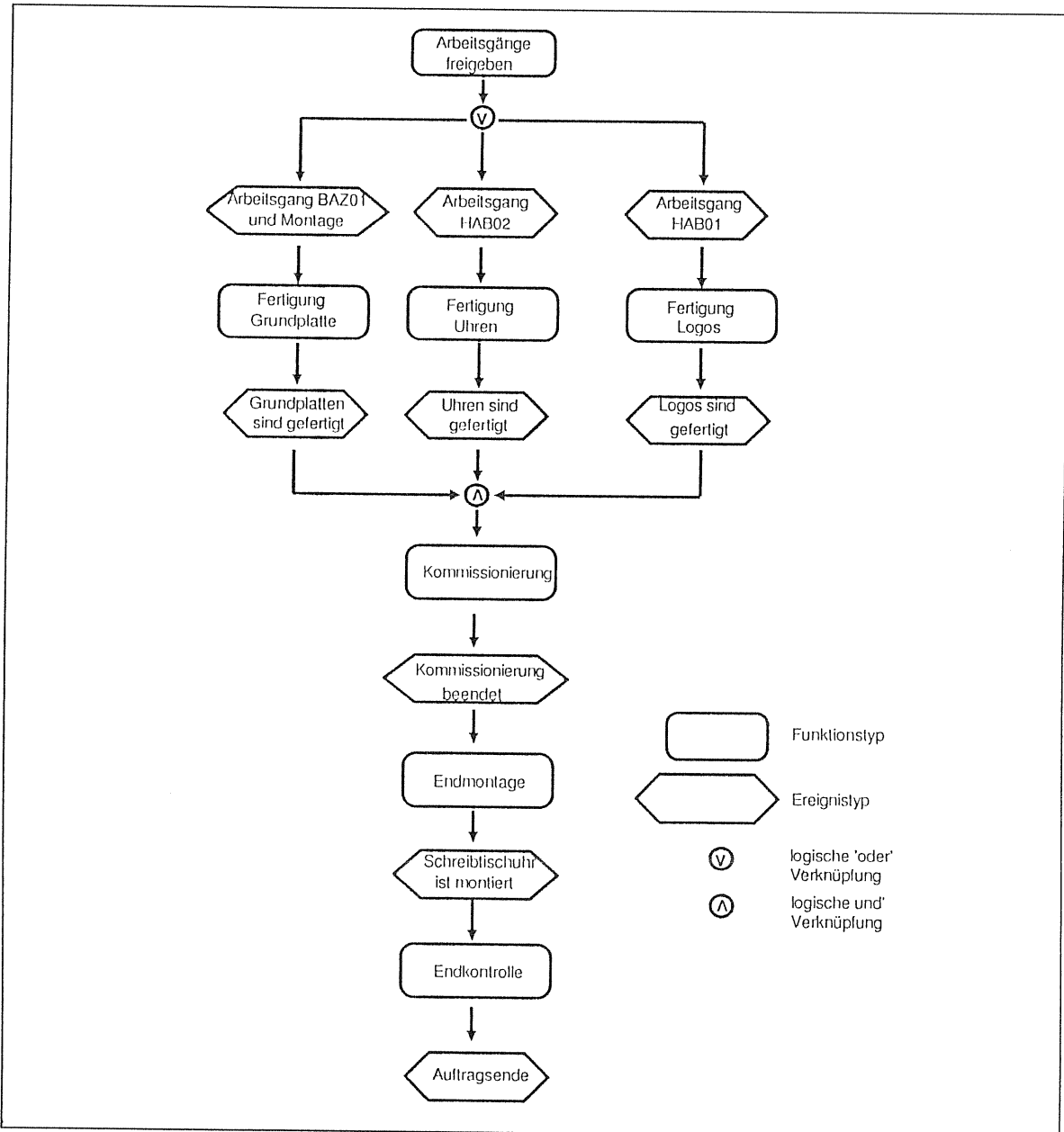


Abb. 9: Ausschnitt aus dem Prozeßmodell der CIM-Demo-Fabrik

[20] Vgl. zu einer ausführlichen Darstellung der Ereignisgesteuerten Prozeßketten (EPK): Keller, G. et al. (Semantische Prozeßmodellierung).

Das weitgehend selbsterklärende Prozeßmodell der Abbildung 9 beschreibt die zeitlich-logische Bearbeitungsfolge bei der Fertigung der Schreibtisch-Quartz-Uhr. Nach Freigabe aller Arbeitsgänge durch das vorgelagerte Leitstandsystem kann die Fertigung der einzelnen Teile beginnen. Die Arbeitsgänge können dabei zeitlich parallel ablaufen. Nach Beendigung der einzelnen Arbeitsgänge kann die Kommissionierung sowie nachfolgende Operationen durchgeführt werden. Die Darstellung in Abbildung 9 ist - ähnlich wie auch das Datenmodell - auf Typebene. Wie diese Information für Simulationszwecke zu ergänzen bzw. zu verfeinern ist wird unter Punkt V.2 näher beschrieben.

### III.3 Zusammenfassung

Aufgrund immer leistungsfähiger werdender Hard- und Softwaresysteme zeichnet sich ein Paradigmenwechsel bei der Durchführung simulationgestützter Modellierungsvorhaben ab. Traditionelle Simulationssprachen und einfache Simulatoren verlieren zunehmend an Bedeutung zugunsten komplexer, hochintegrierter Simulationssysteme und -umgebungen. Diesen Trend verdeutlichen die eingeführten Integrationsebenen der Simulation, die sich von einem anwendungsspezifischen Simulationssystem über CIM-orientierte Simulationen bis hin zur unternehmensweiten Simulation erstrecken. Der echtzeit-simulierte, modellgesteuerte Fabrikbetrieb ist zwar nach wie vor Vision. Dennoch weist die Entwicklung den Weg zu integrierten Unternehmenssimulationen, die auf eine Vielzahl heterogener Modelle aufsetzen. Diese Modelle beschränken sich in einer ersten Modellierungsphase auf die Typebene und zeigen prinzipielle Zusammenhänge innerhalb des Untersuchungsbereiches auf. Basierend darauf lassen sich weitere Teilaspekte in nachgelagerten Schritten detaillieren und simulatorspezifische Modelle ableiten [21].

## IV. INSTRUMENTE DER DYNAMISCHEN SYSTEMMODELLIERUNG

### IV.1 Das Simulationssystem SIMFACTORY

SIMFACTORY II.5 [22] ist ein interaktiv-graphisches Simulationssystem, das den gesamten Simulationslebenszyklus umfaßt. Es stellt einen Kompromiß zwischen allgemeinen Simulationssprachen bzw. -systemen auf der einen Seite sowie detaillierten anwendungsspezifisch Simulatoren dar [23]. Als speziell für die Modellierung von Fertigungssystemen entwickelter Simulator unterstützt SIMFACTORY II.5 eine hierarchische Systembe-

---

[21] Vgl. dazu näher: Kruse, Chr.; Scheer, A.-W.: (Modellierung), S.23ff.

[22] O.V.: (SIMFACTORY II.5).

[23] Zu einem umfassenden Vergleich von Simulationssystemen vgl. Noche, B.; Wenzel, S.: (Marktspiegel).

schreibung. Die Modellerstellung erfolgt baustein-orientiert, wobei der Planer durch 'Pull-Down Menüs' unterstützt und geleitet wird. Dabei sind die vordefinierten Bausteine wie z.B. Maschinen, Eingangslager, Fördermittel mit Hilfe spezieller Bildschirmmasken anwendungsspezifisch zu parametrisieren.

#### **IV.1.1 Modellerstellung in SIMFACTORY II.5**

Die Erstellung eines ablauffähigen Simulationsmodells erfolgt bei SIMFACTORY II.5 ohne Programmieraufwand durch den Planer. Durch Eingeben von Parametern in vordefinierte Bausteinmasken wird automatisch der Simulationscode bzw. das Simulationsexperiment erzeugt. Ein Modell eines realen Fertigungssystems setzt sich somit aus einer Reihe von Bausteinen zusammen. Die Bausteine lassen sich in die beiden Grundklassen

- Layoutknoten und
- Prozeßelemente

unterteilen. Layoutknoten bilden vornehmlich physische Objekte sowie die räumliche Anordnung des Fertigungssystems ab. Gegenstand sind layoutbezogene Komponenten wie etwa Ein- und Ausgangslagerbereiche, Fertigungseinrichtungen (Maschinen, manuelle Bearbeitungsstationen etc.), Zwischenlager, Puffer und Fördermittel (Transporter, Förderbänder). Der dynamische Fluß von Aufträgen und Material durch die Werkstatt sowie logische Komponenten werden mit Hilfe der Prozeßelemente abgebildet. Dazu zählen u.a. Teile, Ankunftsprozesse, Arbeitsgänge, Werkzeuge, Arbeiter oder Störungen. Die Mächtigkeit von SIMFACTORY II.5 bei der Modellierung von Fertigungssystemen verdeutlicht eine etwas detaillierte Betrachtung des Bausteines für einen Transporter in Abbildung 10.



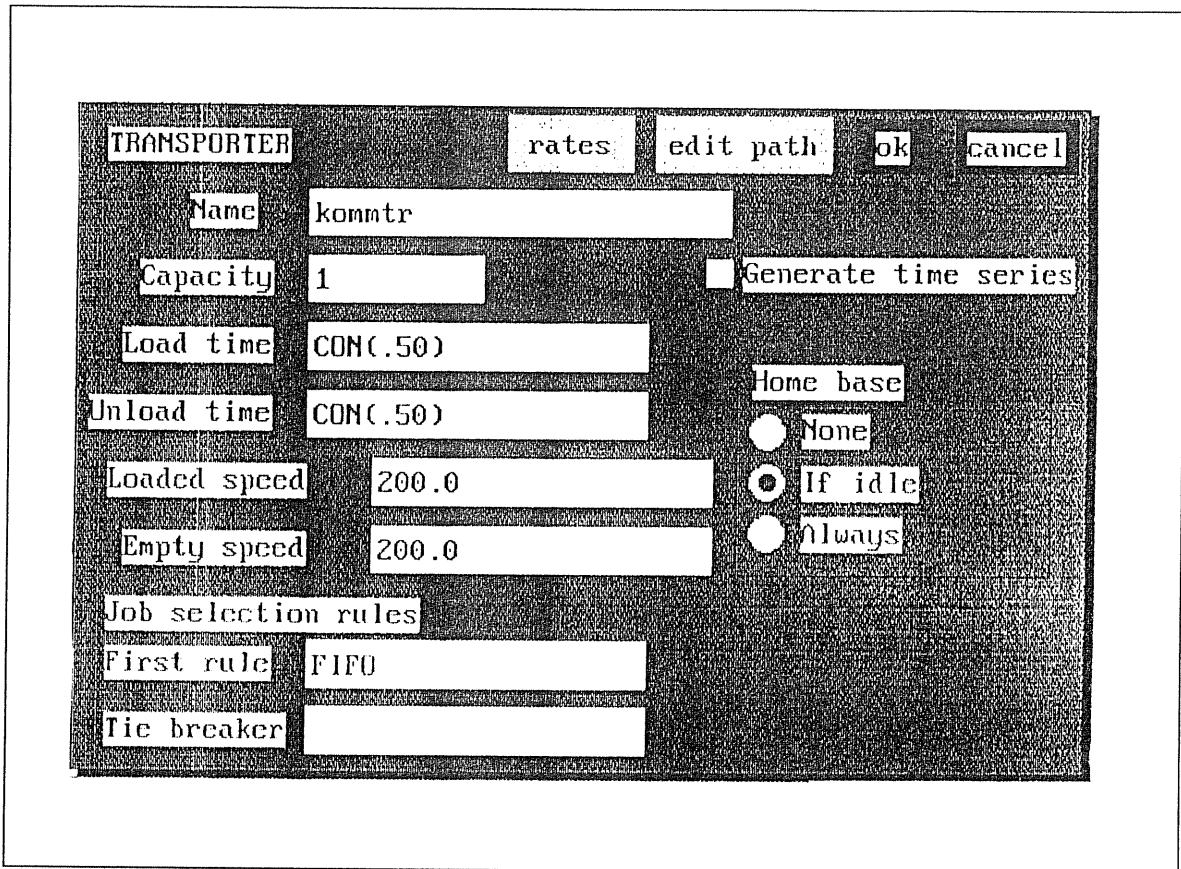


Abb. 10: SIMFACTORY II.5 Bausteinmaske für ein Transportmittel

Die in Abbildung 10 dargestellten Parameter erlauben eine flexible und anwendungsspezifische Modellierung der Transporteinrichtung. Neben der Kapazität können die Be- und Entladezeiten sowie verschiedene Fahrgeschwindigkeiten und -wege eingestellt bzw. editiert werden. Durch Auswahl des Parameters 'Home base' wird spezifiziert, wo ein Transportmittel nach Beendigung der Transportaufgabe verweilt. Die Entnahmeregeln bei der Beladung des Transporters wird durch die 'job selection rule' bestimmt.

Neben bausteinbezogenen Bildschirmmasken für Layoutknoten und Prozebelemente verfügt SIMFACTORY II.5 über einen sogenannten 'Expression builder'. Diese Simulator-komponente ermöglicht eine einfache Formulierung anwendungsspezifischer Steuerstrategien und Benutzerregeln durch bedingte 'if-then-else' Anweisungen. Dazu zählen z.B. die 'push'- oder 'pull'-orientierte Versorgung von Arbeitsplätzen oder die Festlegung von Sortierregeln für Pufferbestände. Das dynamische Systemverhalten kann somit für jeden Baustein durch bestimmte Regeln festgelegt werden. Darüber hinaus erlaubt es SIMFACTORY II.5, einzelne (Teil-)Modelle untereinander zu verbinden und hierarchisch anzuordnen. Dadurch lassen sich sehr komplexe Realsysteme untersuchen. Eine Reihe statistischer Funktionen und Verteilungen sowie Testverfahren runden die Funktionalität von SIMFACTORY II.5 zur Modellerstellung ab.

#### IV.1.2 Simulationsexperimente im SIMFACTORY II.5.

Der Modellerstellung schließt sich die Modellexperimentphase an. Vor dem Start eines Simulationslaufes bzw. -experimentes sind zunächst die Parameter des Simulationsexperimentes wie z.B. die Simulationslaufdauer, die Anlaufzeit, die verwandte Zeiteinheit sowie die Ausgabedatenstruktur und Animationsparameter einzustellen. Ein typische Bildschirmmaske zur Konfiguration des Simulationsexperimentes ist in Abbildung 11 dargestellt.

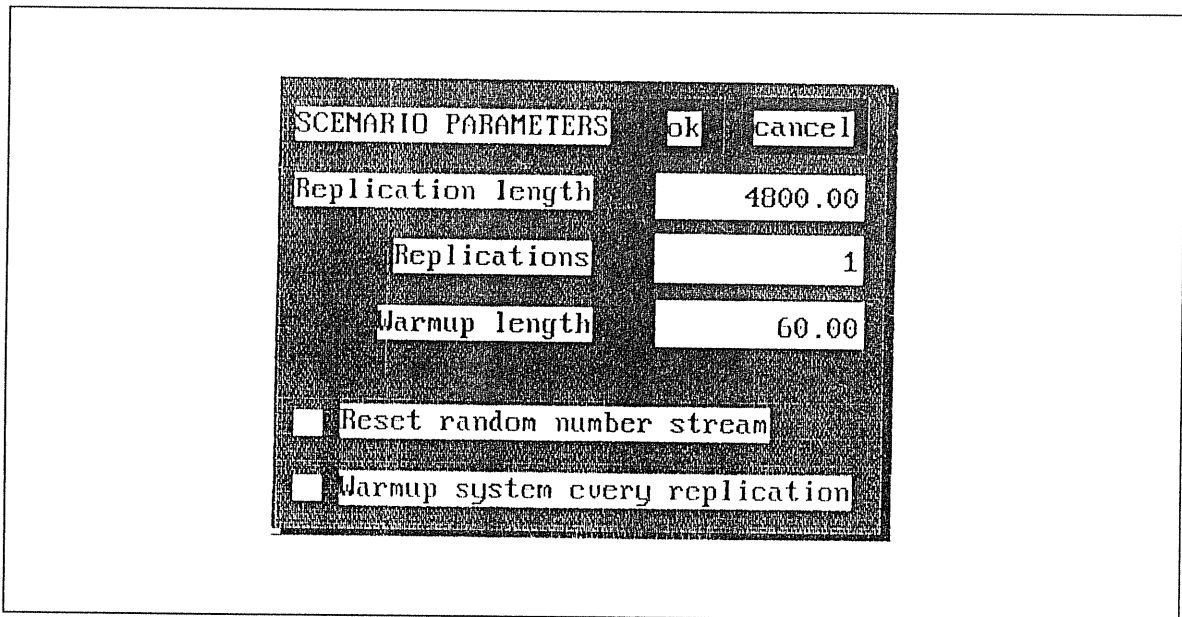


Abb. 11: Eingabemaske zur Konfiguration eines Simulationsexperiments

Während des Simulationslaufes erlaubt SIMFACTORY II.5 die interaktive Veränderung einzelner Systemparameter. Die Ergebnisse der Simulationsläufe lassen sich nach Abschluß der Experimentphase in graphischer Form darstellen. Für ein Transportelement, wie z.B. in Abbildung 10 beschrieben, können Daten über die Anzahl der Transportvorgänge zwischen den Stationen, die Last- und Lernutzung, der Nutzungsgrad sowie Stillstandsdauern aufgezeichnet werden. Dies ist in Tabelle 1 in numerischer Form dargestellt.

Förderbandstatistik									
CIMTTZ	Replication Conveyor Report					11/23/1992 17:40			
						4800.0 MINUTES			
Name	Level				Delay				
	Min	Avg	StdDev	Max	Minimum	Average	Std Dev	Maximum	
cvr-44	0	2.5	0.7	3	0.50	62.71	14.24	67.00	
cvr-45	0	0.0	0.1	1	0.50	0.50	0.00	0.50	
cvr-46	0	0.0	0.1	1	0.50	0.50	0.00	0.50	

Abkürzungen :

Level - Statistik über transportierte Werkstücke  
 Min - Minimal Anzahl  
 Avg - Durchschnittliche Anzahl  
 StdDev - Standard Abweichung der Anzahl  
 Max - Maximal Anzahl

Delay - Statistik über zeitlichen Aufenthalt der Werkstücke

Minimum - Minimale Aufenthaltung  
 Average - Durchschnittliche Aufenthaltung  
 StdDev - Standard Abweichung der zeitlichen Aufenthaltung  
 Maximum - Maximale Aufenthaltung

Name	Status (%)					
	Empty	Part	Full	Pass	Prty	Parts
cvr-44	3.2	96.8	0.0	0.0	0.0	192
cvr-45	98.0	2.0	0.0	0.0	0.0	191
cvr-46	98.0	2.0	0.0	0.0	0.0	192

Status - Statistik über Statusinformation  
 Empty - Leer  
 Part - Teilweise voll  
 Full - Voll  
 Pass - Geplante Störungen  
 Prty - Ungeplante Störungen  
 Parts - Anzahl Werkstücke im Simulationszeitraum

Tab. 1: Förderbandstatistik in SIMFACTORY II.5

Darüber hinaus ermöglicht SIMFACTORY II.5 die Erstellung detaillierter 'Trace-Reports' für bestimmte Ereignistypen des Systems.

## IV.2 Stochastische Modellierung mit CAN-Q

Zur Modellierung des dynamischen Verhaltens komplexer Fertigungssystemen können auch mathematisch - analytische Methoden eingesetzt werden. Insbesondere Warteschlangennetze [24] eignen sich zur schnellen Untersuchung unterschiedlicher Lösungsalternativen im Rahmen der Grobanalyse. Der im Vergleich zur simulationsgestützten Analyse

[24] Vgl. Taha, H.A.: (Operations Research), S. 672ff.

deutlich geringere Modellerstellungs- und -analyseaufwand erlaubt es, das zeitveränderliche Verhalten einzelner Systemparameter mit wenigen Experimenten zu ermitteln. Typische Systemkenngrößen wie Maschinennutzungsgrad, Auftragsdurchsatz sowie Durchlaufzeiten lassen sich schnell berechnen. Den Vorteilen der mathematisch-analytischen Systemabbildung stehen allerdings einige Nachteile gegenüber. Valide Aussagen über das Systemverhalten sind nur im Gleichgewichtszustand (steady-state-behaviour) zu treffen. Zeitpunkt- bzw. zeitintervallbezogene Aussagen wie bei der Simulation lassen sich nicht ableiten. Der Anwendungsbereich (Problemklassen) von Warteschlangennetzen ist darüber hinaus wesentlich eingeschränkter als bei der simulationsgestützten Modellierung.

Das PC-basierte Tool CAN-Q/PC ist ein Programm zur computergestützten Analyse von Warteschlangennetzen. Typische Fragestellungen diskreter Fertigungssysteme lassen sich mit Hilfe mathematischer Modellen lösen [25]. Ein leistungsfähiger Modelleditor erlaubt eine problemspezifische Beschreibung diskreter Fertigungssysteme. Weiter unten werden die Ergebnisse der simulationsgestützten Modellierung der Modellfabrik des CIM-TTZ Saarbrückens den Resultaten der CAN-Q Modellierung gegenübergestellt [26].

## **V. VORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG DER SIMULATIONSSTUDIE**

### **V.1 Systemlayout und Ausgangsfragestellung**

Das 'Produkt' der CIM-TTZ-Demo-Fabrik, die 'Schreibtisch-Quartz-Uhr', wird in 5 Varianten hergestellt. Die Zusammensetzung dieser unterschiedlichen Endprodukte aus den Baugruppen und Einzelteilen ist in Abbildung 12 in Form einer Plus-Minus-Stückliste [27] dargestellt.

---

[25] O.V.: (SAPECON - CAN-Q/PC).

[26] Vgl. zur Verbindung von Simulation und mathematischer Modellierung Starr, P.J.: (Simulation), S.1733ff.

[27] Vgl. Scheer, A.-W.: (Wirtschaftsinformatik) , S. 106.

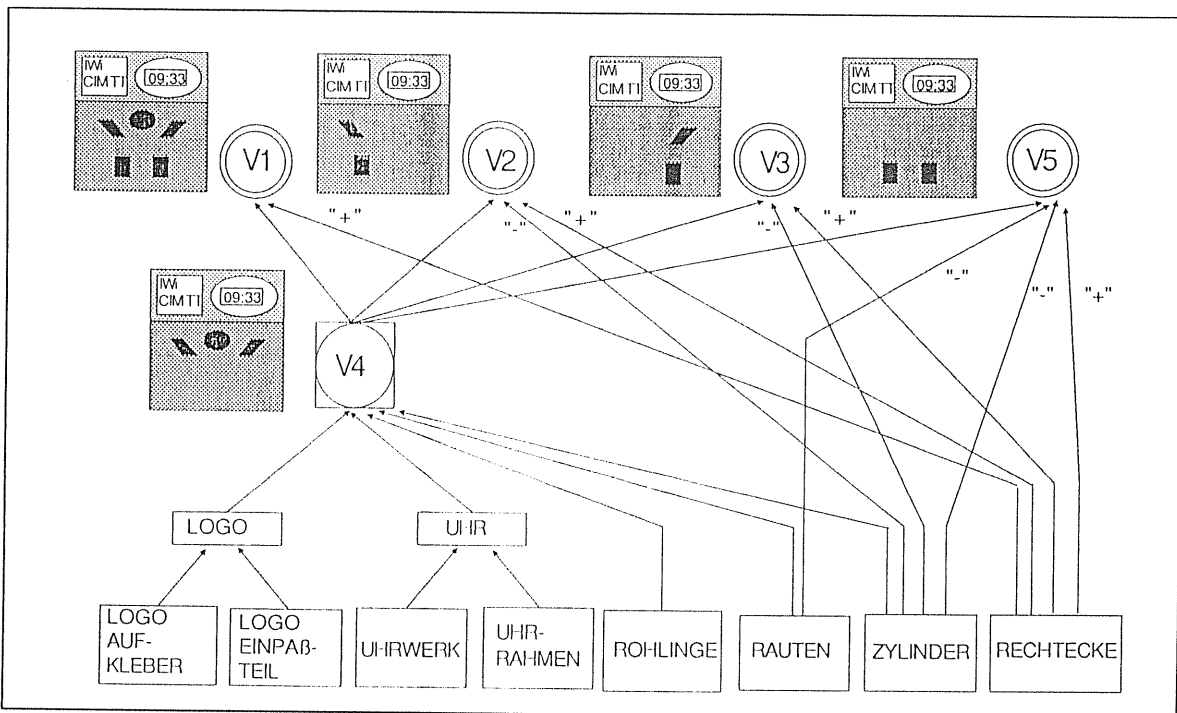


Abb. 12: Plus-Minus-Stückliste der Schreibtisch-Uhr-Varianten

Das Systemlayout und der Materialfluß innerhalb der CIM-TTZ-Demo-Fabrik ist in Abbildung 13 dargestellt.

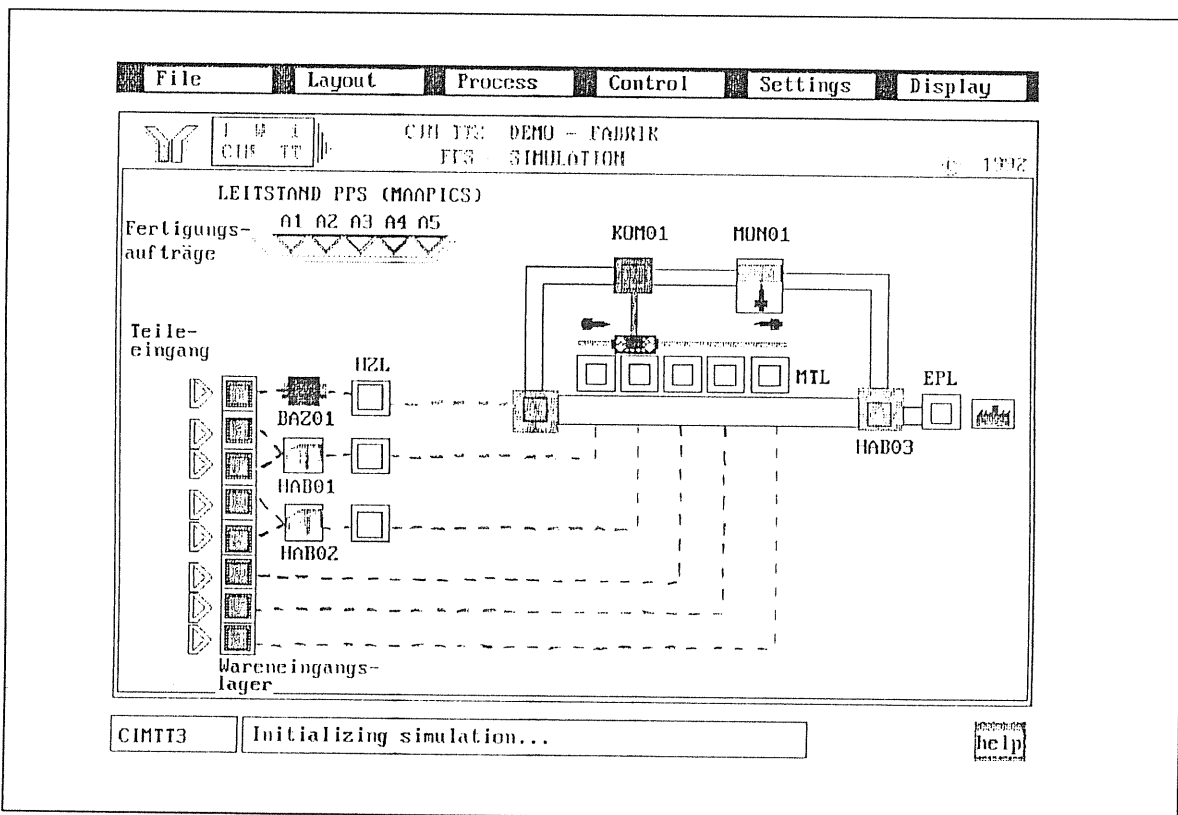


Abb. 13: Systemlayout der CIM-Modellfabrik in SIMFACTORY II.5

Ausgangspunkt des Produktionsprozesses ist das Wareneingangslager (WEL), in dem alle Einzelteile und die Rohlinge eingelagert werden. Die Rohlinge werden nach Bearbeitung im Bohr-Fräszentrum (BAZ01) zu variantenspezifischen Grundplatten auf einen Werkstückträger der Transportstrecke gespannt. Die gefertigten Grundplatten können dabei im Halbzeuglager HZL1 zwischengelagert oder direkt zur Kommissionierzelle weitergeleitet werden. Die Einzelteile für Logo und Uhr werden nach erfolgter Montage (Handarbeitsplätze HAB01 bzw. HAB02) über die entsprechenden Zwischenlager HZL2 bzw. HZL3 zur Kommissionierzelle gebracht. Je nach aktuellem Lagerbestand im Montagezelllager MTL kann dann entweder eine direkte Weiterleitung zusammen mit der Grundplatte an die Montagestation erfolgen oder eine Lagerbevorratung. Ein Fördersystem leitet die komplett bestückten Werkstückträger weiter zum Montagebereich, wo die Montage erfolgt. Der innerbetriebliche Materialfluß endet nach erfolgter Kontrolle in dem Endproduktlager EPL, von dem aus der Versand abgewickelt wird.

## V.2 Datenerhebung und Prozeßanalyse

Der Modellierung des Produktionsablaufes liegen die in Abbildung 14 zusammengestellten Maschinen- und Arbeitszeitvorgaben zugrunde. Sie sind dem Informationsobjekt 'Arbeitsgangzuordnung' des Datenmodells für die CIM-TTZ-Demo Fabrik in Abbildung 8 zuzuordnen.

Die Abbildung des Teileflusses und der Bearbeitungsprozesse in SIMFACTORY II.5 ist relativ komplex und entsprechend aufwendig. Für jedes einzelne Teil ist im Laufe der fortschreitenden Bearbeitung eine 'arbeitsgangabhängige' Version anzulegen. Dies sei am Beispiel der Grundplatte verdeutlicht. Sie tritt im Simulationsmodell in der Reihenfolge des Produktionsfortschrittes nacheinander als

- Rohling (Eingangsteil),
- gefräste Grundplatte,
- aufgespannte Grundplatte (auf Werkstückträger),
- kommissionierte Grundplatte (mit allen nötigen Teilen),
- montierte 'Grundplatte' (montierte Schreibtisch-Uhr),
- kontrollierte 'Grundplatte' (kontrolliertes Endprodukt) sowie
- versandte 'Grundplatte' auf.

CIM TTZ - Arbeitsgänge für die Schreibtischuhr			
		Arbeitsgang	
	Maschine [ Min. ]		Maschine [ Min. ]
<b>BAUGRUPPE N. 11019</b>			
Transport Grundplatte	0.5		
Kommissionierung	25.0		
Transport zu MON01	0.5		
Montage	5.		
Transport zu HAB03	0.5		
Qualitätskontrolle	1.		
Einlagerung	3.		
<b>BAUGRUPPE N. 12001</b>			
Transport Komponente	5.		
Fertigung Uhr	4.		
Transport Baugruppe	5.		
<b>BAUGRUPPE N. 12002</b>			
Transport Komponente	5.		
Fertigung Logo	3.		
Transport Baugruppe	5.		
<b>BAUGRUPPE N. 12003</b>			
Transport Rohmaterial	0		
Grundplatte fertigen	21.		
Auftragsnummereing. und Aufspannung	3		
<b>BAUGRUPPE N. 12011</b>			
Transport Rohmaterial			0
Grundplatte fertigen			17.
Auftragsnummereing. und Aufspannung			3
<b>BAUGRUPPE N. 12012</b>			
Transport Rohmaterial			0
Grundplatte fertigen			14.
Auftragsnummereing. und Aufspannung			3
<b>BAUGRUPPE N. 12006</b>			
Transport Rohmaterial			0
Grundplatte fertigen			15.
Auftragsnummereing. und Aufspannung			3
<b>BAUGRUPPE N. 12008</b>			
Transport Rohmaterial			0
Grundplatte fertigen			15.
Auftragsnummereing. und Aufspannung			3

Abb. 14: Maschinen- und Arbeitszeitvorgabe

In ähnlicher Weise sind auch einzelne Arbeitsgänge wie 'Fräsen' oder 'Aufspannen' zu modellieren, die jeweils in variantenspezifischen Ausprägungen abgebildet werden. Die vorliegenden 5 Produktvarianten führen somit zu 5 'Fräsarbeitsgängen', 5 'Aufspannarbeitsgängen' etc. Die bei der Produktion benötigten Vorrichtungen und Ressourcen wie etwa Werkstückträger sind entsprechend zu erfassen.

### V.3 Erstellung des Simulationsmodells

Nach Datenerhebung und Prozeßanalyse folgt die Erstellung des eigentlichen Simulationsmodells. Bezugnehmend auf die grundlegenden Anmerkungen des Kapitel IV.1 sowie des vorhergehenden Abschnittes soll dies nachfolgend kurz beschrieben werden.

Als 'Quelle' des Simulationsmodells werden Eintrittsplätze (Eintritt der Werkstücke in das System) mit Hilfe des SIMFACTORY II.5 Baustein 'Receiver' modelliert. Die entsprechende Bildschirmmaske ist in Abbildung 15 dargestellt.

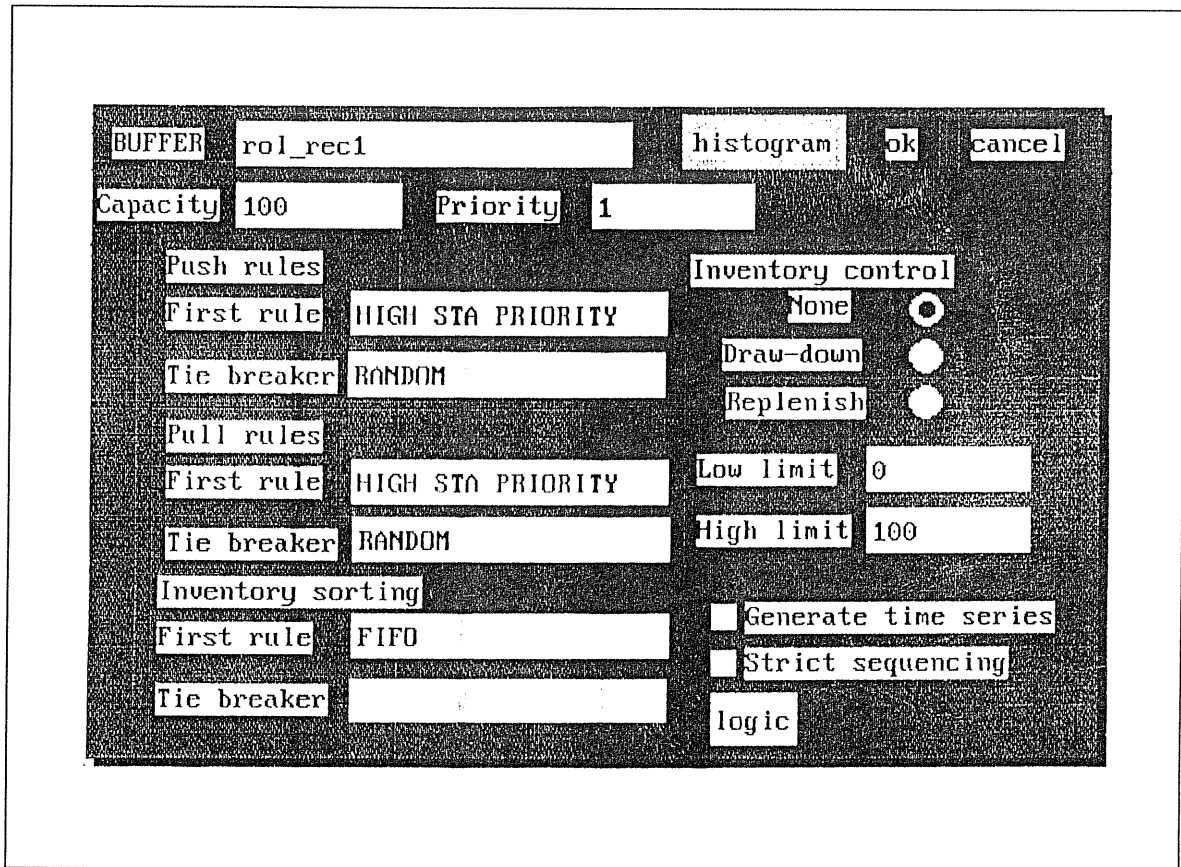


Abb. 15: SIMFACTORY II.5 Bausteinmaske für einen Receiver- Block

Zur Beschreibung einzelner Arbeitsplätze steht der Baustein 'stations' zur Verfügung. Die entsprechende Maske zeigt Abbildung 16.

Mit Ausnahme der 'Resources' Spalte soll auf die weitgehend selbsterklärenden Parameter hier nicht weiter eingegangen werden. Mit Hilfe dieser Spalte ist es möglich, die zur Durchführung des Arbeitsganges notwendigen Ressourcen (z.B. Werkzeuge, Maschinenbediener) zu definieren. Ein Arbeitsgang auf der zu modellierenden Station kann erst dann beginnen, wenn alle Ressourcen verfügbar sind.



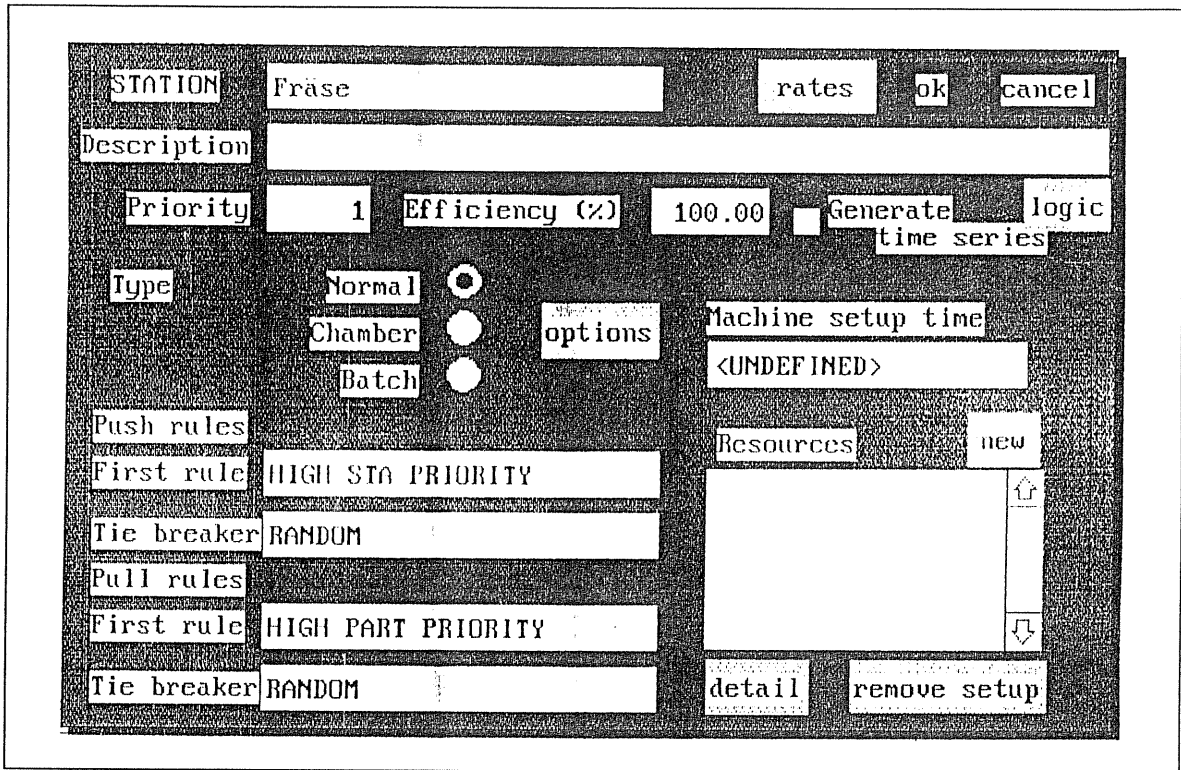


Abb. 16: SIMFACTORY II.5 Bausteinmaske für einen Station-Block

Die Bausteinmaske für einen Arbeitsgang zeigt Abbildung 17.

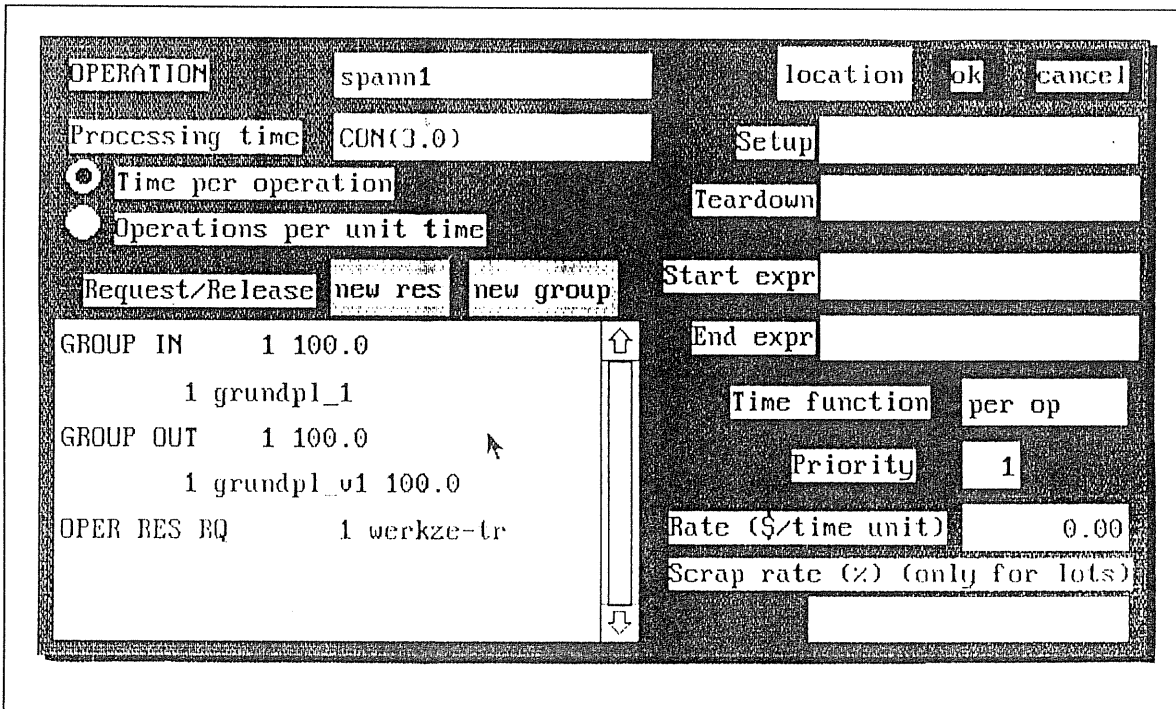


Abb. 17: SIMFACTORY II.5 Bausteinmaske für einen Arbeitsgang

Die für die Steuerung und Kontrolle des Materialflusses notwendigen Puffer bzw. Zwischenlager werden durch den Baustein 'Buffer' modelliert. Die dazugehörige Eingabemaske ist in Abbildung 18 beschrieben.

The image shows a screenshot of the 'BUFFER' configuration dialog in SIMFACTORY II.5. The dialog is titled 'BUFFER' and contains the following elements:

- Title:** BUFFER Grundpl\_b
- Buttons:** histogram, ok, cancel
- Capacity:** 100
- Priority:** 1
- Push rules:**
  - First rule: HIGH STA PRIORITY
  - Tie breaker: RANDOM
- Pull rules:**
  - First rule: HIGH STA PRIORITY
  - Tie breaker: RANDOM
- Inventory control:**
  - None (selected)
  - Draw-down
  - Replenish
  - Low limit: 0
  - High limit: 100
- Inventory sorting:**
  - First rule: FIFO
  - Tie breaker: (empty)
- Generate time series:** (checkbox)
- Strict sequencing:** (checkbox)
- logic:** (button)

Abb. 18: SIMFACTORY II.5 Bausteinmaske für einen Puffer

Die Abbildung der Fördermittel geschieht durch den Transporter-Baustein, der bereits oben in Abbildung 10 dargestellt wurde.

## VI. ERGEBNISANALYSE

Das dynamische Systemverhalten bei der Produktion der 'Quartz-Schreibtisch-Uhr' wurde sowohl mit dem Simulator SIMFACTORY II.5 als auch dem Tool CAN-Q/PC modelliert. Die jeweils untersuchten Systemkenngrößen sind die Durchlaufzeit je Variante, die Anzahl der gefertigten Teile und die Auslastung der Arbeitsplätze.

### VI.1 Simulationsgestützte Analyse mit SIMFACTORY II.5

Aus der Vielzahl durchgeführter Simulationsexperimente wurden die Alternativen 11, 13 und 14 ausgewählt. Grundgedanke dieser Experimente war es zu überprüfen, wie sich das Systemverhalten ändert, wenn die Anzahl der in die Fertigung eingeschleusten Aufträge

variiert wird [28]. Die Simulationsdauer betrug jeweils 4800 Minuten (d.h. 1 Woche bei Zwei-Schicht-Betrieb und einer täglichen Arbeitszeit von 8 Stunden), wobei die Erzeugungsmuster der Aufträge (d.h. deren Ankunftsverteilung) in dem Simulationszeitraum identisch waren. Die Steuerung der Auftragsfreigabe erfolgte durch die Dimensionierung der Eintritts- bzw. Halbzeuglager. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Simulationsexperimenten sind in Tabelle 1 dokumentiert.

Parameter	Sim-Exp 11	Sim-Exp 13	Sim-Exp 14
Kapazität HZL1	100	100	1
Kapazität HZL2	100	100	1
Kapazität HZL3	100	100	1
Anzahl Werkstückträger	4	4	8
Kapazität Eintrittslager	100	3	100

Anmerkung : Kapazitätsangaben in Stück

Tab.2: Parametereinstellungen der Simulationsexperimente

Die niedrige Kapazität der Eintrittslager von 3 Einheiten in Experiment 13 - im Vergleich zu 100 Einheiten in Experiment 11 - bewirkt eine deutliche Reduzierung der in das Fertigungssystem eingeschleusten Aufträge. Ein ähnlicher Effekt wird in Experiment 14 durch das Zurücksetzen der Halbzeuglagerkapazität auf eine Einheit bewirkt. Die graphischen Auswertungen der Simulationsergebnisse sind in den nachfolgenden Abbildungen 19 bis 21 dargestellt [29].

[28] Diese Art der Fertigungssteuerung ähnelt dem Prinzip der 'Belastungsorientierten Auftragsfreigabe', vgl. dazu etwa Wiendahl, P.: (Fertigungssteuerung), S.207-244.

[29] Die graphische Darstellung wurde aus den von SIMFACTORY II.5 erzeugten ASCII-Files mit Hilfe eines Grafiktools erstellt. SIMFACTORY II.5 erlaubt lediglich die Darstellung der Ergebnisse in Kreisdiagrammen sowie mit Hilfe von Histogrammen.

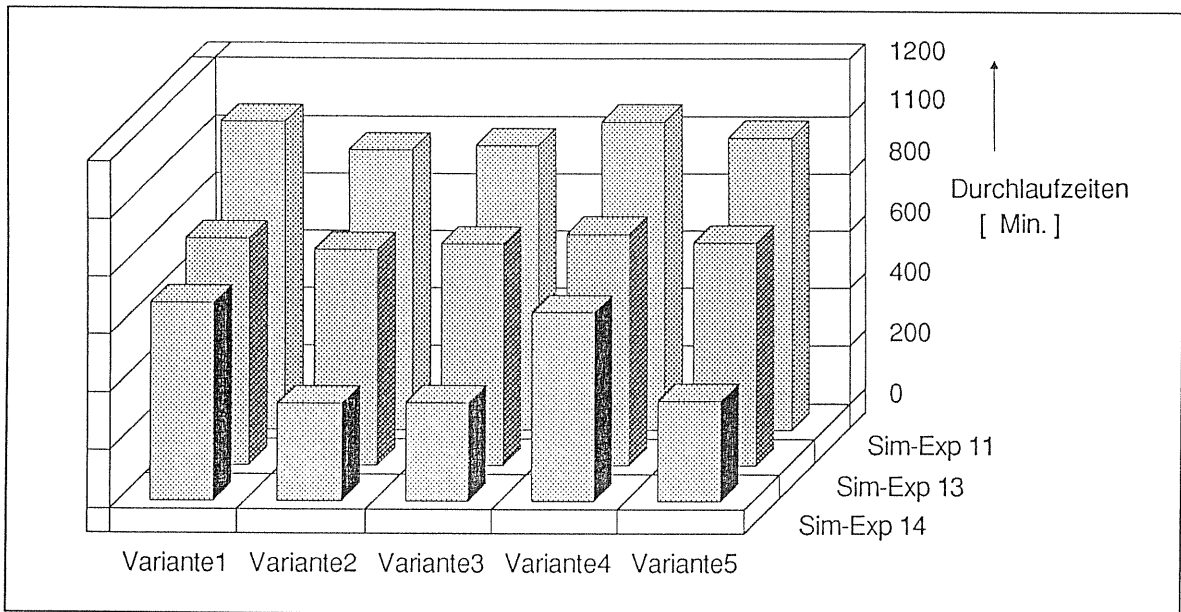


Abb. 19: Durchlaufzeit der Aufträge

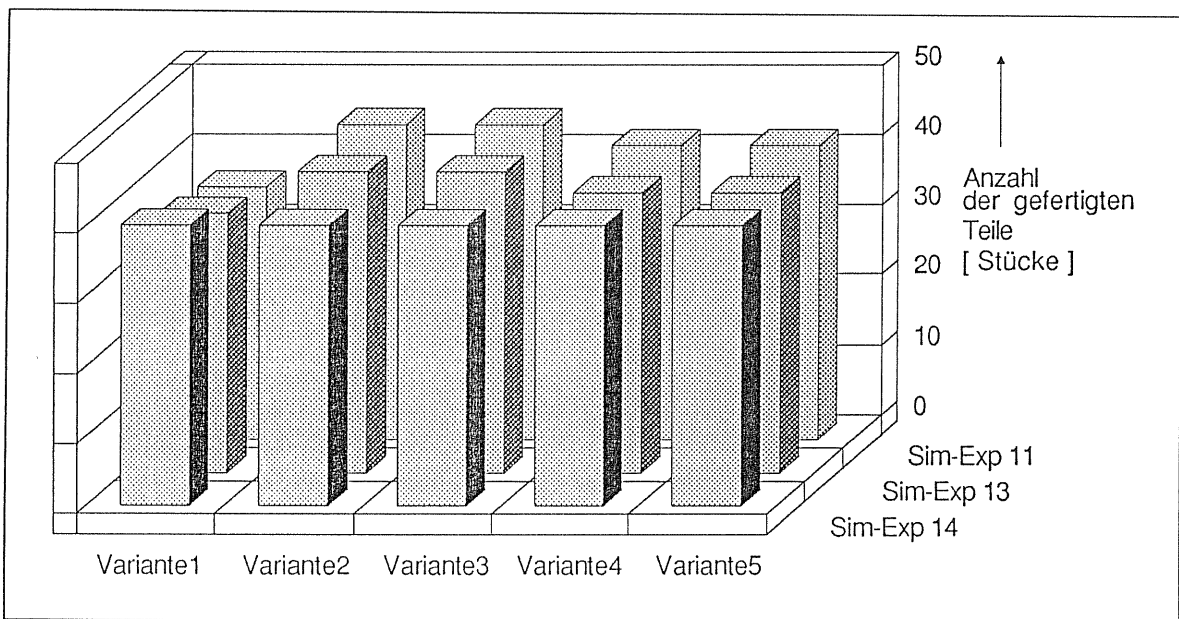


Abb. 20: Anzahl gefertigter Teile

Der Vergleich der Alternativen in Abbildung 19 und 20 zeigt, daß das Simulationsexperiment 14 die kürzesten Durchlaufzeiten hervorbringt. Dabei sinkt die Anzahl der gefertigten Teile gegenüber Alternative 11 nicht signifikant ab, obwohl bei letzterer die Auftragsfreigabe nicht kontrolliert wird. Ein Grund für dieses Systemverhalten ist darin zu sehen, daß die Operationen 'Fräsen' und 'Kommissionierung' Engpässe darstellen und damit den Systemdurchsatz begrenzen. Diese Vermutung wird durch Abbildung 21 bestätigt, in der die Auslastung der einzelnen Arbeitsplätze dargestellt ist.

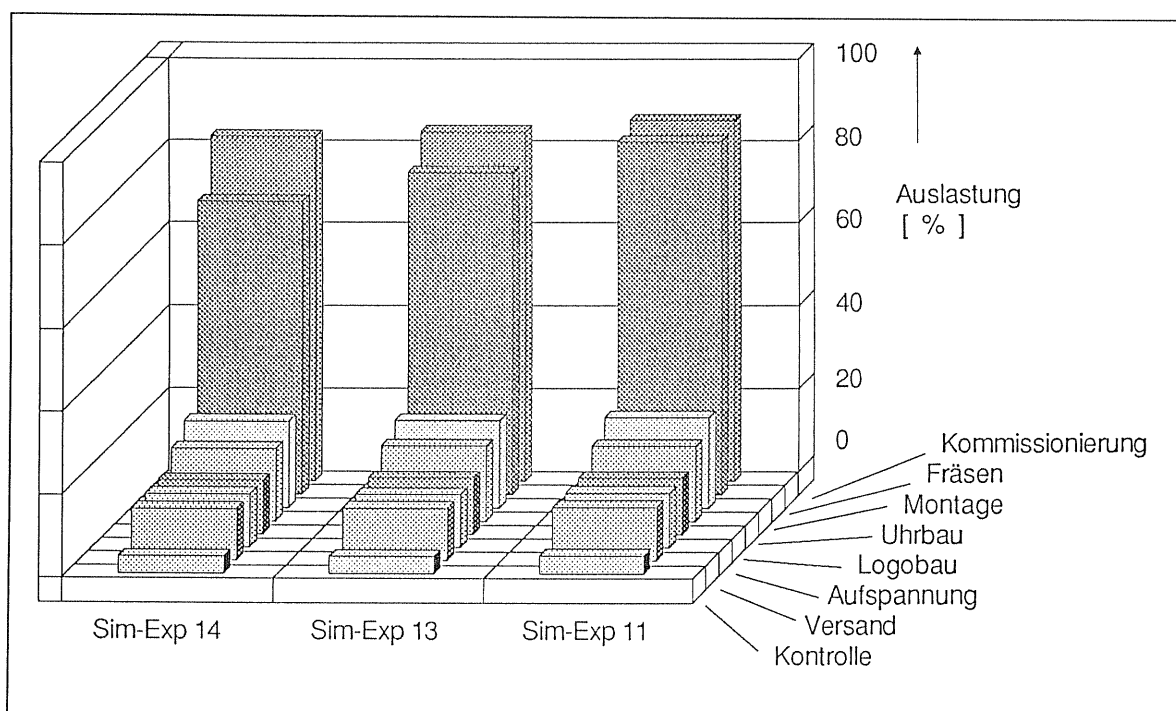


Abb. 21: Auslastung der einzelnen Arbeitsplätze

Inwieweit eine Verbesserung des Auftragsdurchsatzes durch eine Veränderung des Systemlayouts erreicht werden könnte, wurde nicht weiter untersucht.

## VI.2 Analytische Modellierung mit CAN-Q

Im Rahmen der analytischen Modellierung mit CAN-Q wird das Fertigungssystem durch ein System von mathematischen Gleichungen beschrieben. Die theoretische Grundlage dieses Ansatzes bildet die Warteschlangentheorie [30]. Wesentliche Daten, die zur mathematischen Analyse des Produktionsprozesses notwendig sind, finden sich in Tabelle 3.

Die Tabelle enthält die Operationsdauern aufgeschlüsselt nach Variantennummern. Die Operationen entsprechen dabei in der Reihenfolge der Nummerierung den Arbeitsgängen Fräsen, Aufspannen, Kommissionieren, Montieren, Kontrollieren und Versenden. Die durchschnittliche Dauer der Transportvorgänge ist vereinfachend mit 5 Minuten angenommen, wobei die Anzahl der produzierten Varianten gleichverteilt ist.

[30] Vgl. Solberg, S.J.: (Analytical Submodels), S.44ff.; Suri, R.; Hildebrandt, R.B.: (Modelling), S.27ff.

Variante \ Operation	O1	O2	O3	O4	O5	O6
V1	21	3	25	3	1	3
V2	15	3	25	3	1	3
V3	15	3	25	3	1	3
V4	17	3	25	3	1	3
V5	14	3	25	3	1	3

Anmerkung : alle Zeiten sind in Minuten

Tab.3: Modelleingangsdaten für CAN-Q

Es wurden insgesamt 5 Modelle (CQ-10 etc.) mit jeweils 10, 15, 20, 30 bzw. 50 Produkten pro Variante durchgerechnet, die sich alle zur gleichen Zeit im Fertigungsbereich befinden. Die Ergebnisse des Modellaufes CQ-10 sind in Tabelle 4 dargestellt.

Die Ergebnisse der Modellberechnung weisen die durchschnittliche Durchlaufzeit, deren Zusammensetzung sowie den Durchsatz pro Stunde aus. Gleichzeitig wird eine Sensitivitätsfunktion erzeugt, welche die Ergebnisdaten in Abhängigkeit von der Stückzahl der Varianten im System darstellt. Das Ergebnis stimmt mit dem bei der Simulation erzielten überein: Mit Zunahme der freigegebenen Aufträge bzw. Stücke im System steigt die Durchlaufzeit stark an während die Produktivität sich asymptotisch einem Grenzwert von 2,4 Teile pro Stunde annähert.

ZULÄSSIGE ANZAHL DER AUFTRÄGE IM SYSTEM (GLEICHZEITIG) = 10		
CHARAKTERISTIKEN DER ZEITLICHEN ABLAUF DER FERTIGUNG:		
PRODUKTIVITÄT	=	2.370 AUFTRÄGE PRO EINE STUNDE
DURCHSCHNITTLICHE DURCHLAUFZEIT	=	253.2 MINUTEN
DARAUSS	-	BEARBEITUNG 51.4 MINUTEN
	-	TRANSPORT 30.0 MINUTEN
	-	WARTUNG 171.8 MINUTEN
SENSITIVITÄTSFUNKTION " N "		
ANZAHL DER AUFTRÄGE IM SYSTEM " N " [Stücke]	PRODUKTIVITÄT [Aufträge pro eine Stunde]	DURCHSCHNITTLICHE DURCHLAUFZEIT [ Minuten ]
1	.737	81.4
.	.	.
.	.	.
.	.	.
5	2.119	141.587
6	2.223	161.919
7	2.288	183.561
8	2.328	206.147
9	2.354	229.408
10	2.370	253.152
11	2.381	277.247
12	2.387	301.595
13	2.392	326.127
14	2.395	350.794
15	2.396	375.557
.	.	.
.	.	.
.	.	.
INF	2.400	INF
ENGPASS ARBEITSPLATZ : ARBEITSPLATZ Nr. 3		

Tab. 4: Ergebnisse des Modellaufes CQ-10

### VI.3 Vergleich der Ergebnisse

In Abbildung 22 sind die mit den beiden Lösungsansätzen erzielten Ergebnisse einander gegenübergestellt. Daraus geht hervor, daß die analytische Modellierung hinsichtlich der Durchlaufzeit nur unwesentlich schlechter ist als die beste Simulationsalternative. Bei der Anzahl der gefertigten Teile läßt sich nahezu kein Unterschied feststellen.

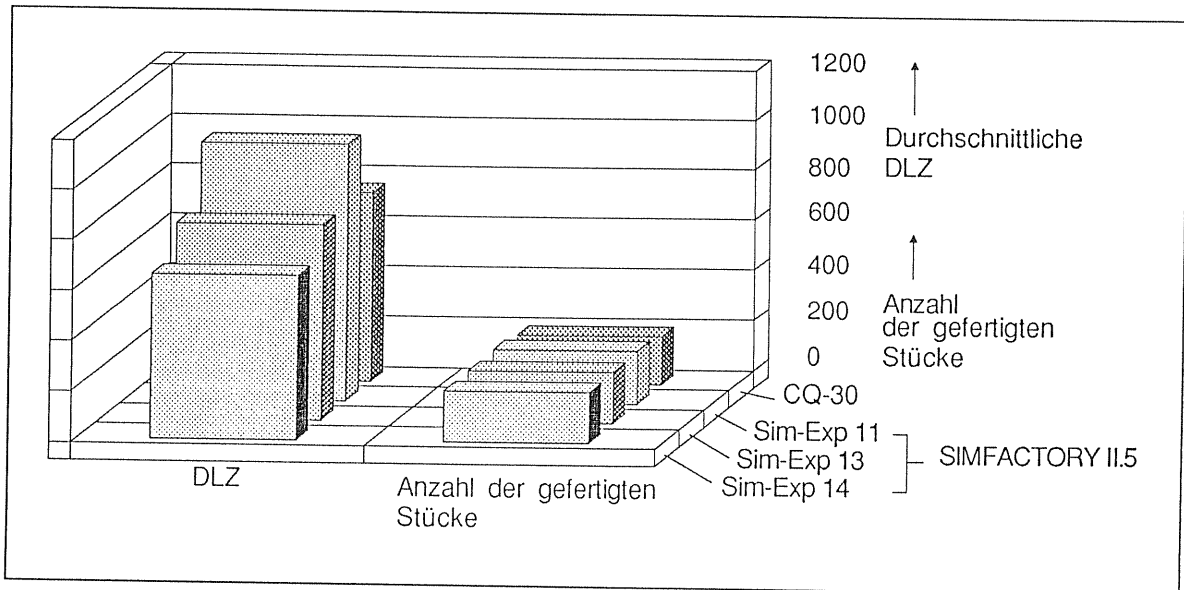


Abb. 22: Ergebnisvergleich

Es zeigt sich, daß die analytische Modellierung für eine grobe Analyse des dynamischen Systemverhaltens durchaus zufriedenstellende Ergebnisse bei relativ geringem Modellierungsaufwand hervorbringt [31]. Die Ergebnisse der Simulation sind in starkem Maße abhängig von der Experimentdefinition, die deutlich flexibler handhabbar ist als bei der analytischen Modellierung. Eine allgemeine abschließende Aussage hinsichtlich der Vorzuehenswürdigkeit einzelner Methoden zur dynamischen Analyse kann daraus jedoch nicht abgeleitet werden.

## VII. ZUSAMMENFASSUNG

Die simulationsgestützte Analyse komplexer Systeme, wie sie moderner Fertigungssysteme darstellen, vermittelt wichtige Einblicke in deren dynamisches Verhalten. Hinsichtlich des Einsatzes des Analyseinstrumentes 'Simulation' ist dabei eine Abkehr von isolierten Betrachtungen festzustellen. Integrierte Simulatoren, die eine benutzerfreundliche Modellierung unterstützen, verdrängen zunehmend die traditionellen Simulationssprachen. Dazu ist im Rahmen dieser Arbeit ein Konzept skizziert worden, daß eine Unterscheidung in drei Integrationsebenen erlaubt und eine Einordnung in eine Architektur integrierter Informationssysteme aufzeigt.

Diese Gedanken aufgreifend wurde mit Hilfe des Simulators SIMFACTORY II.5 eine umfassende Simulationsstudie der CIM-Demo Fabrik im CIM-TTZ Saarbrücken durchgeführt. Die Resultate wurden einer mathematisch-analytischen Modellierung

[31] Viehweger kommt bei einem Vergleich dieser beiden Analysemethoden zu ähnlichen Ergebnissen, vgl. Viehweger, B. (Simulation), S.71ff.



gegenübergestellt. Anhand der animierten Simulationsstudie kann Schulungs- und Seminarteilnehmern das Zusammenwirken unterschiedlicher Systemkomponenten am CIM-TTZ anschaulich verdeutlicht werden. Darüber hinaus können aus den Ergebnissen der Studie Rückschlüsse über ggf. durchzuführende Veränderungen bzw. Verbesserungen des Produktionsprozesses abgeleitet werden.

## Literaturverzeichnis

- Blighon, B.: (Simulation) 'Where now with simulation?', in: Journal of the Operational Research Society, 38(1987)8, S.769-770.
- Chen, B.: (Computersimulation) Experimentelle Optimum-Suchstrategien auf der Basis der Computersimulation zur Unterstützung betriebswirtschaftlicher Entscheidungsfindung. Diss. Frankfurt/Main. 1990.
- Fox, M.S.; Husan, N.; McRoberts, M.; Reddy, Y.V.: (Knowledge-Based Simulation) Knowledge-Based Simulation: An Artificial Intelligence Approach to System Modelin and Automating the Simulation Life Cycle, in: Widman, L et al. (Hrsg.): Artificial Intelligence, Simulation & Modelling, New York et al, 1989, S.447-486.
- Gregor, M.: (Modellierung) Modellierung und Simulation in der Produktionsplanung und -steuerung. Habilitationsschrift TH Zilina, Fakultät für Maschinenbau. Zilina 1992. (in slowakischer Sprache)
- Henriksen, J.O.: (Simulation Environment) The Integrated (Simulation Software of the 1990s), in: Operations Research 31(1983)6, S.1053-1073.
- Keller, G.; Nüttgens, M.; Scheer, A.-W.: (Semantische Prozeßmodellierung) Semantische Prozeßmodellierung auf der Grundlage "Ereignisgesteuerter Prozeßketten (EPK)", in: Scheer, A.-W. (Hrsg.): Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Heft 89.
- Kosturiak, J.; Gregor, M.: (FFS-Modellierung) Neue Prinzipien in der FFS-Modellierung und Simulation, in: Messen, Steuern, Regeln 32(1989)8, S.353-356.
- Kruse, Chr.; Scheer, A.-W.: (Modellierung) Modellierung und Analyse dynamischen Systemverhaltens, in: Scheer, A.-W. (Hrsg.): Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Heft 94.
- Lane, G.M; Fegan, N.T.; Kruse, Chr.; Millward, B.: (Framework) A Framework and Toolkit for Manufacturing System Simulation Linked to Integrated Information Systems, in: Krug, W.; Lehmann, A.(Hrsg.): Simulation and AI in Computer-Aided Techniques. Proceedings of the 1992 European Simulation Symposium, S.455-460.
- Nance, R.E.: (Methodology) The Conical Methodology: A framework for simulation model development, in: Methodology and Validation, Simulation Series Volume19, No.1, Jan.1988, S. 38-43;
- Noche, B.: (Simulation) Simulation in Produktion und Materialfluß: Entscheidungsorientierte Simulationsumgebung, Köln, 1990
- Noche, B.; Wenzel, S.: (Marktspiegel) Marktspiegel der Simulationstechnik in Produktion und Logistik, Köln 1991.
- O.V.: (SAPECON - CAN-Q/PC) SAPECON - CAN-Q/PC. Benutzerhandbuch. SAPECON ZILINA, 1992.

- O.V.: (SIMFACTORY II.5) SIMFACTORY II.5. User Guide, Version 4.2. C.A.C.I Products Company, La Jolla, California 1992.
- Page, B.: (Diskrete Simulation) Diskrete Simulation - Eine Einführung mit Modula-2, Berlin et al. 1991.
- Pritsker, A.A.B: (Definition) Compilation of definitions of Simulation, in: Simulation 33(1979), S. 61-63
- Scheer, A.-W.: (Architektur) Architektur integrierter Informationssysteme - Grundlagen der Unternehmensmodellierung, Berlin et al. 1991.
- Scheer, A.-W.: (CIM) CIM - Der computergesteuerte Industriebetrieb, 4, neu bearb. und erweiterte Auflage, Berlin et al. 1990.
- Scheer, A.-W.: (Wirtschaftsinformatik) Wirtschaftsinformatik. Informationssysteme im Industriebetrieb, 3. neu bearb. Aufl., Berlin et al. 1990.
- Schriber, T.J.: (Simulation) The Nature and Role of Simulation in the Design of Manufacturing Systems, in: SCS (Hrsg.) Proceedings of the European Simulation Multiconference 1987, S.5-18.
- Shannon, R.E.: (System Simulation) System Simulation: The art and Science. Englewood Cliffs 1979.
- Solberg, S.J.: (Analytical Submodels) The optimal Planning of Computerized Manufacturing Systems. Purdue University, Report No.9, 1980 (NSF Grant No. APR 74 15256).
- Starr, P.J.: (Simulation) Integration of Simulation and Analytical Submodels for Supporting Manufacturing Decisions, in: International Journal of Production Research 29(1991)9, S.1733-1746.
- Suri, R.; Hildebrandt, R.B.: (Modelling) Modelling Flexible Manufacturing Systems using Mean-Value Analysis, in: Journal of Manufacturing Systems 3(1984)1, S.27-38.
- Taha, H.A.: (Operations Research) Operations Research, 4. Aufl. New York et al. 1987.
- Thesen, A.; Travis, L.E.: (Simulation) Introduction to Simulation, in: Balci,O. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 1990 Winter Simulation Conference, S.14-21.
- Viehweger, B.: (Simulation) Simulation flexibler Fertigungszellen, in: ASIM (Hrsg.) Simulationstechnik und Fabrikbetrieb, München 1988, S.71-101.
- Wiendahl, P.: (Fertigungssteuerung) Die belastungsorientierte Fertigungssteuerung, in: Adam, D. (Hrsg.) Fertigungssteuerung. Grundlagen und Systeme. Schriften zur Unternehmensführung, Bd. 38/39, S.207-244.
- Zell, M.: (Informationsmanagement) Informationsmanagement simulationsgestützter Entscheidungsprozesse am Beispiel der Fertigungssteuerung. Diss. Saarbrücken 1992.

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

\* Die Hefte 1 - 31 werden nicht mehr verlegt.

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

rechnung, August 1984

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

Gestaltung einer CIM-orientierten Unternehmensarchitektur, März 1990

- Heft 67: A.-W. Scheer: Modellierung betriebswirtschaftlicher Informationssysteme (Teil 1: Logisches Informationsmodell), März 1990
- Heft 68: W. Kraemer: Einsatzmöglichkeiten von Expertensystemen in betriebswirtschaftlichen Anwendungsgebieten, März 1990
- Heft 69: A.-W. Scheer, R. Bartels, G. Keller: Konzeption zur personalorientierten CIM-Einführung, April 1990
- Heft 70: St. Spang, K. Ibach: Zum Entwicklungsstand von Marketing-Informationssystemen in der Bundesrepublik Deutschland, September 1990
- Heft 71: D. Aue, M. Baresch, G. Keller: **URMEL**, Ein **UnternehmensMODELlierungsansatz**, Oktober 1990
- Heft 72: M. Zell: Datenmanagement simulationsgestützter Entscheidungsprozesse am Beispiel der Fertigungssteuerung, November 1990
- Heft 73: A.-W. Scheer, M. Bock, R. Bock: Expertensystem zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation, November 1990
- Heft 74: R. Bartels, A.-W. Scheer: Ein Gruppenkonzept zur CIM-Einführung, Januar 1991
- Heft 75: M. Nüttgens, St. Eichacker, A.-W. Scheer: CIM-Qualifizierungskonzept für Klein- und Mittelunternehmen (KMU), Januar 1991
- Heft 76: Ch. Houy, J. Klein: Die Vernetzungsstrategie des Instituts für Wirtschaftsinformatik - Migration vom PC-Netzwerk zum Wide Area Network (noch nicht veröffentlicht)
- Heft 77: W. Kraemer: Ausgewählte Aspekte zum Stand der EDV-Unterstützung für das Kostenmanagement: Modellierung benutzerindividueller Auswertungssichten in einem wissensbasierten Controlling-Leitstand, Mai 1991
- Heft 78: H. Heß: Vergleich von Methoden zum objektorientierten Design von Softwaresystemen, August 1991
- Heft 79: A.-W. Scheer: Konsequenzen für die Betriebswirtschaftslehre aus der Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien, Mai 1991
- Heft 80: G. Keller, J. Kirsch, M. Nüttgens, A.-W. Scheer: Informationsmodellierung in der Fertigungssteuerung, August 1991
- Heft 81: A.-W. Scheer: Papierlose Beratung - Werkzeugunterstützung bei der DV-Beratung, August 1991
- Heft 82: C. Berkau: VOKAL (System zur Vorgangskettendarstellung und -analyse) - Struktur der Modellierungsmethode - Juni 1991 (wird nicht verlegt)
- Heft 83: A. Hars, R. Heib, Ch. Kruse, J. Michely, A.-W. Scheer: Concepts of Current Data Modelling Methodologies - Theoretical Foundations - 1991
- Heft 84: A. Hars, R. Heib, Ch. Kruse, J. Michely, A.-W. Scheer: Concepts of Current Data Modelling Methodologies - A Survey - 1991
- Heft 85: W. Hoffmann, M. Nüttgens, A.-W. Scheer, St. Scholz: Das Integrationskonzept am CIM-TTZ Saarbrücken (Teil 1: Produktionsplanung), Oktober 1991

- Heft 86: A.-W. Scheer: Koordinierte Planungsinself: Ein neuer Lösungsansatz für die Produktionsplanung, November 1991
- Heft 87: M. Nüttgens, G. Keller, A.-W. Scheer, S. Stehle: Konzeption hyperbasierter Informationssysteme, Dezember 1991
- Heft 88: W. Hoffmann, B. Maldener, M. Nüttgens, A.-W. Scheer: Das Integrationskonzept am CIM-TTZ Saarbrücken (Teil 2: Produktionssteuerung), Januar 1992
- Heft 89: G. Keller, M. Nüttgens, A.-W. Scheer: Semantische Prozeßmodellierung auf der Grundlage "Ereignisgesteuerter Prozeßkosten (EPK)", Januar 1992
- Heft 90: C. Berkau, A.-W. Scheer: VOKAL (System zur Vorgangskettendarstellung und -Analyse), Teil 2: VKD-Modellierung mit VOKAL
- Heft 91: C. Berkau: Konzept eines controllingbasierten Prozeßmanagers als intelligentes Multi-Agent-System, Januar 1992
- Heft 92: A. Hars, R. Heib, Chr. Kruse, J. Michely, A.-W. Scheer: Approach to Classification for Information Engineering - Methodology and Tool Specification, August 1992
- Heft 93: M. Nüttgens, A.-W. Scheer, M. Schwab: Integrierte Entsorgungssicherung als Bestandteil des betrieblichen Informationsmanagements, August 1992
- Heft 94: Chr. Kruse, A.-W. Scheer: Modellierung und Analyse dynamischen Systemverhaltens, Oktober 1992
- Heft 95: R. Backes, W. Hoffmann, A.-W. Scheer: Konzeption eines Ereignisklassifikationssystems in Prozeßketten, November 1992
- Heft 96: P. Loos: Die Semantik eines erweiterten Entity-Relationship-Modells und die Überführung in SQL-Datenbanken, November 1992
- Heft 97: Chr. Kruse, M. Gregor: Integrierte Simulationsmodellierung in der Fertigungssteuerung am Beispiel des CIM-TTZ Saarbrücken, Dezember 1992