

Heft 62

M. Zell, A.-W. Scheer

**Simulation als
Entscheidungsunterstützungsinstrument in CIM**

September 1989

Inhaltsverzeichnis

1. Integrierte Informationssysteme in CIM	1
2. Grundlagen der Simulation	3
2.1. Systeme	3
2.2. Entwicklungstendenzen	5
3. Entscheidungsorientierte Gestaltung von Informationssystemen in CIM	6
3.1. Interaktive, graphikunterstützte Simulationsverfahren	6
3.2. Gestaltung von Benutzeroberflächen	8
4. Einsatzschwerpunkte der Simulation in CIM	11
4.1. Simulation in der strategischen Unternehmensplanung	12
4.2. Simulation in den technischen CIM-Informationssystemen	14
4.2.1. Fabrikdesign	14
4.2.1.1. Fertigungssysteme	14
4.2.1.2. Montagesysteme	17
4.2.1.3. Materialflußsysteme	17
4.2.2. Produktentwurf und Konstruktion	18
4.2.3. Arbeitsplanung	19
4.2.4. Steuerung operativer Systeme	20
4.3. Simulation in den betriebswirtschaftlich-planerischen CIM-Informationssystemen	21
4.3.1. Langfristig operative Planung	21
4.3.2. Mittel- bis langfristige Produktionsplanung	21
4.3.3. Kurzfristige Fertigungssteuerung	24
4.3.3.1. Voraussetzungen der Einbindung der Simulation in Fertigungsleitstände	24
4.3.3.2. Möglichkeiten der Einbindung der Simulation in Fertigungsleitstände	25
4.3.3.3. Konzeption eines simulationsgestützten Steuerungssystems	29
5. Bedeutung der Animation als dynamische Visualisierung von Simulationsabläufen	31
5.1. Nutzeneffekte der Animation	33
5.2. Gefahren der Animation	35
5.3. Beurteilungskriterien für graphisch animierte Simulationen	35
6. Nutzung von Simulations- und Animationstechniken in der kurzfristigen Fertigungssteuerung am Beispiel eines Prototypen	38
7. Integration wissensbasierter Systeme und Simulation	41
7.1. Ansätze für eine Integration von wissensbasierten Systemen und Simulation	41
7.2. Kopplung von wissensbasierten Systemen und Simulation am Beispiel der kurzfristigen Fertigungssteuerung	42
8. Simulation als zentraler Bestandteil integrierter Informationssysteme in CIM	43
Literaturverzeichnis	46

1. Integrierte Informationssysteme in CIM

Nach Scheer [1] wird der Begriff des Informationssystems als Überbegriff für Administrations-, Dispositions-, Management-Informationssysteme und Planungssysteme aufgefaßt. Diese allgemeine Fassung wird begründet mit dem hohen Grad der Verflechtung zwischen den einzelnen Anwendungssystemen und der damit einhergehenden Notwendigkeit der horizontalen und vertikalen Integration, wie aus Abbildung 1 hervorgeht.

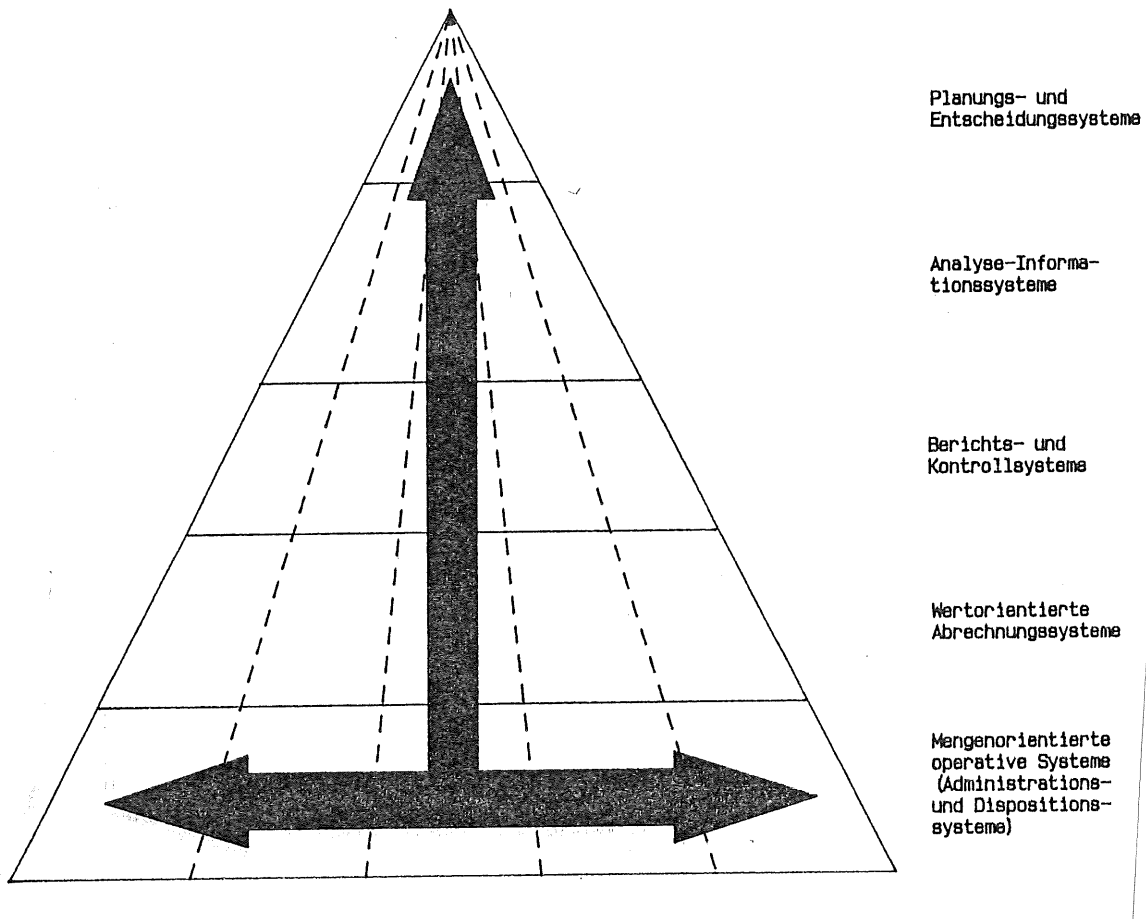


Abb. 1: Integrierte Informationssysteme [2]

Dabei besteht die Integration zum einen in der einheitlichen Gestaltung funktionsübergreifender Informationssysteme (horizontale Integration), zum anderen in der Gewährleistung der Durchgängigkeit des Datenflusses von unten nach oben, indem die auf der Ebene der mengenorientierten operativen Systeme ermittelten Daten durch entsprechende Formen der Verdichtung für wertorientierte Abrechnungssysteme bis hin zu Planungs- und Entscheidungsunterstützungssystemen bereitgestellt werden (vertikale Integration).

[1] Vgl. Scheer, A.-W.: *Wirtschaftsinformatik - Informationssysteme im Industriebetrieb*, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 2f.

[2] Aus: Scheer, A.-W.: *Wirtschaftsinformatik - Informationssysteme im Industriebetrieb*, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 3.

Beim Aufbau eines computergestützten Informationssystems sind als wesentliche Komponenten die für die Entscheidungsfindung zugrundeliegende Datenbasis und die darauf aufsetzenden Anwendungsprogramme (Modelle, Methoden, Anwendungs-, Anfrage- und Auswertungssysteme, wissensbasierte Systeme) zu betrachten [3].

Diese Komponenten kommunizieren über eine Anwenderschnittstelle mit dem Entscheidungsträger, wie auch aus Abbildung 2 ersichtlich wird.

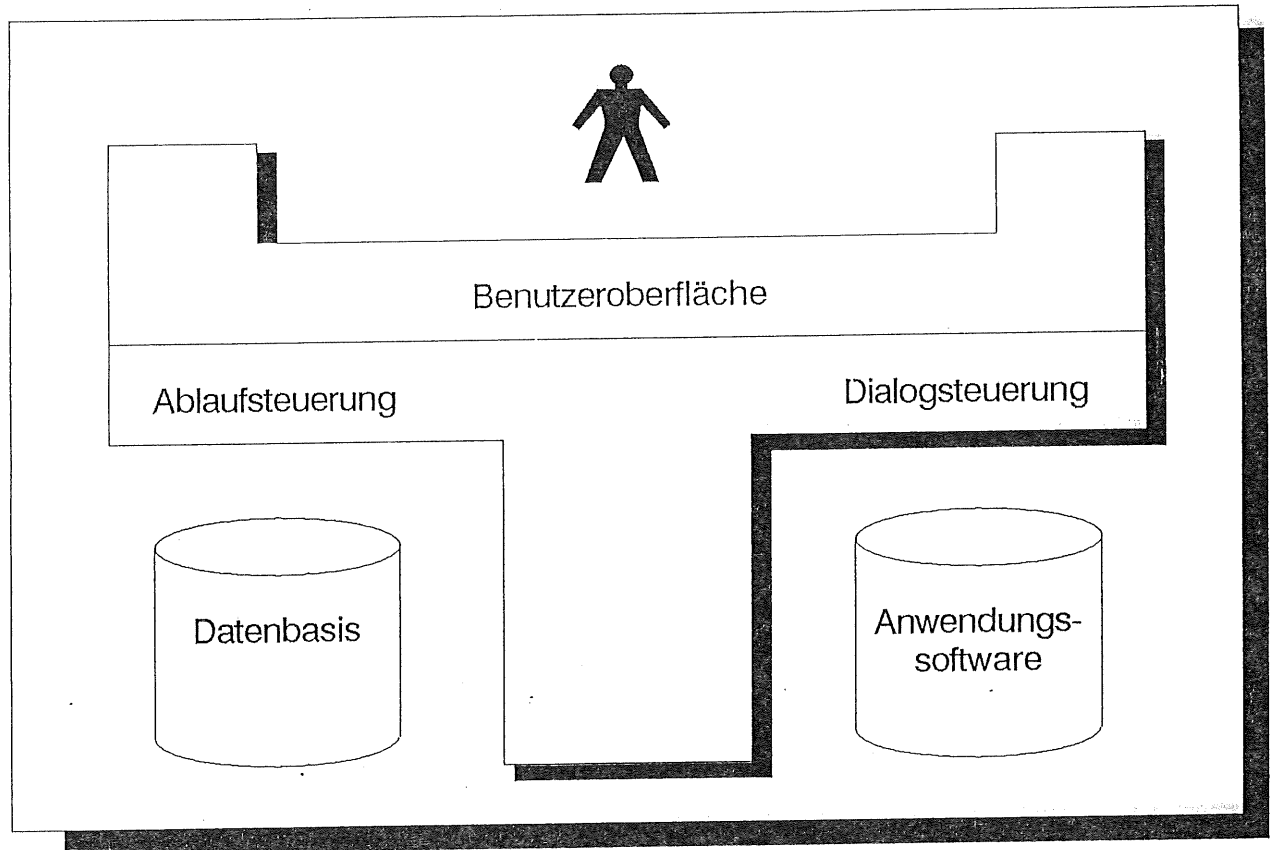


Abb. 2: Aufbau eines Informationssystems

Eine im Rahmen betriebswirtschaftlicher Informationssysteme häufig diskutierte Methode zur Problemlösung ist die Simulation [4]. Im folgenden soll der Einsatz simulativer Methoden zur Entscheidungsunterstützung in CIM-Systemen analysiert und Ansätze für eine anwenderorientierte Gestaltung aufgezeigt werden.

[3] Vgl. Scheer, A.-W.: *Wirtschaftsinformatik - Informationssysteme im Industriebetrieb*, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 5.

[4] Vgl. z.B. Heinen, E.: *Industriebetriebslehre - Entscheidungen im Industriebetrieb*, 7. Auflage, Wiesbaden 1983.

2. Grundlagen der Simulation

Unter **Simulation** versteht man den Entwurf eines mathematischen Modells für ein real vorhandenes System, anhand dessen Experimente durchgeführt werden, die Rückschlüsse auf das Verhalten des realen Systems zulassen [5]. Die VDI-Richtlinie 3633 definiert den Begriff Simulation wie folgt:

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

Die Durchführung der Simulation läuft nach einem Phasenschema ab [6]:

1. **Problemformulierung:** Analyse des zu lösenden Problems und Festlegen der Zielsetzungen.
2. **Sammlung von Daten:** Identifizierung und Erfassung der relevanten Daten.
3. **Aufbau des Modells:** Übertragung des realen Systems in ein mathematisches Modell unter Beachtung der zu lösenden Problemstellung.
4. **Verifikation:** Gewährleistung, daß ein erstelltes Computermodell wie beabsichtigt abläuft.
5. **Validierung:** Sicherstellung, daß das Modell in ausreichender Weise mit dem realen System übereinstimmt.
6. **Planung von Analysen:** Festlegen der durchzuführenden Experimente, Definition von Daten und Parametern.
7. **Durchführung der Experimente:** Ausführung des Simulationsmodells mit Berechnung der relevanten Modellgrößen.
8. **Auswertung der Resultate:** Umsetzung der Ergebnisse in aussagefähige Kennzahlen und graphische bzw. statistische Aufbereitung.
9. **Entscheidung und Durchführung:** Anwendung einer simulierten Strategie im realen System.

2.1. Systeme

Auf dem Markt existieren zahlreiche Softwareprodukte für Simulationsanwendungen, die sich über ein breites Spektrum an Rechnern vom Mikrocomputer bis zum Großrechner erstrecken. Ein Überblick der vorhandenen Software findet sich z.B. alljährlich in der Zeitschrift "Simulation" [7].

Die Systeme lassen sich nach unterschiedlichen Kriterien klassifizieren, wie es z.B. von Haider/Banks dargestellt wird [8]. Abbildung 3 zeigt diese Klassifizierung:

[5] Vgl. Pritsker, A.A.B.: *Introduction To Simulation And SLAM II*, West Lafayette 1986, S. 6.

[6] Vgl. beispielsweise Yancey, D.P.: *Database Management Systems Can Provide Way To Manage Information Generated In A Computer Simulation Program*, *Industrial Engineering* (1987)5, S. 50, oder Pritsker, A.A.B.: *Introduction To Simulation And SLAM II*, West Lafayette 1986, S. 10f.

[7] Vgl. den jährlichen "Catalog Of Simulation Software" der Zeitschrift *Simulation*, z.B. *Simulation* 51(1988)4, S. 136-156.

[8] Vgl. Haider, S. W., Banks, J.: *Simulation Software Products For Analyzing Manufacturing Systems*, *Industrial Engineering* (1986)7, S. 98ff.

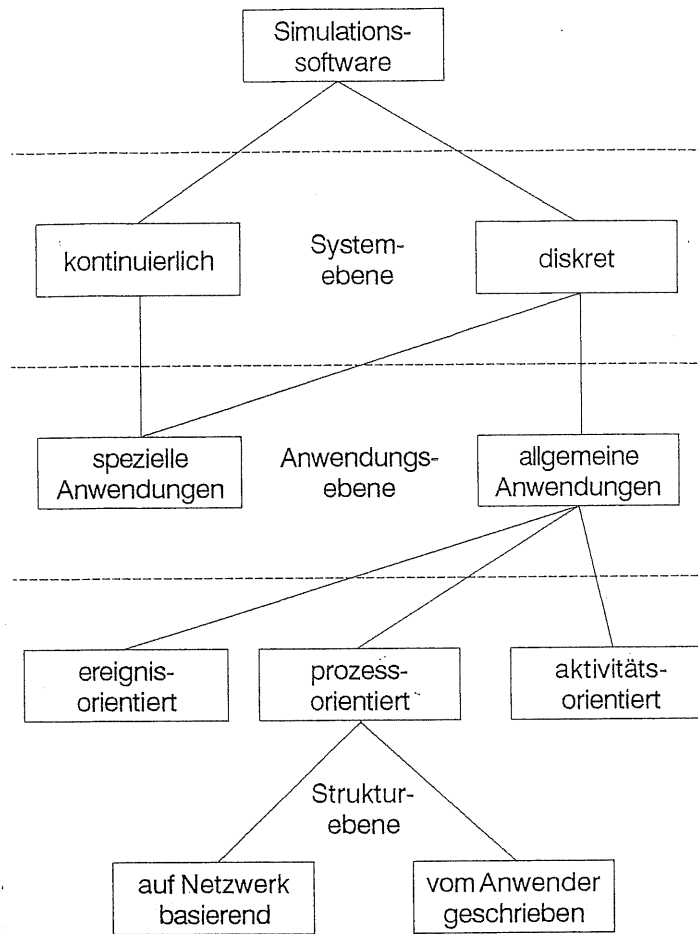


Abb. 3: Klassifikation von Simulationssystemen

Auf der Ebene des simulierten Systems lassen sich **kontinuierliche** und **diskrete** Systeme unterscheiden. Bei kontinuierlichen Systemen ändern sich die Simulationsparameter kontinuierlich im Zeitablauf, wobei das Verhalten der Variablen mittels Differentialgleichungen beschrieben wird. Bei diskreten Systemen ändert sich der Zustand der Variablen nur zu diskreten Zeitpunkten im Verlauf der Simulation.

Bezüglich der Ebene der Anwendung kann Simulationssoftware nach Systemen für **spezielle** und für **allgemeine** Anwendungen klassifiziert werden. Während Simulatoren für spezielle Anwendungen darauf abzielen, für eine abgegrenzte Problemstellung die schnelle und einfache Modellerstellung zu gewährleisten (z.B. Simulatoren für flexible Fertigungssysteme), sind allgemein einsetzbare Simulatoren bzw. Simulationssprachen für eine Vielzahl von Problemstellungen geeignet.

Auf der Ebene der Modellstruktur orientiert sich die Vorgehensweise in drei Richtungen:

- die **ereignisorientierte** Simulation, bei der ein Modell als Folge von Ereignissen, zu denen sich Zustände ändern, beschrieben wird,
- die **prozessorientierte** Simulation, wobei ein System als Folge immer wiederkehrender Prozesse beschrieben wird, die dann vom System in entsprechende Ereignisse umgesetzt werden,
- die **aktivitätsorientierte** Simulation, bei der Aktivitäten mit Start- und Endbedingungen definiert werden, die im Verlauf der Simulation überprüft werden.

2.2. Entwicklungstendenzen

Als wesentliche Nachteile bestehender Simulationssysteme haben sich erwiesen:

- hoher Aufwand bei der Erstellung einer Simulationsstudie,
- fehlende Integration in betriebliche Informationssysteme,
- mangelnde Interaktivität bei der Durchführung der Simulation,
- fehlende Aufbereitung der komplexen Simulationsergebnisse.

Im Hinblick auf diese bestehenden Mängel haben sich in den letzten Jahren Ansätze ergeben, wie die Simulationstechnik auf die Bedürfnisse der Anwender zugeschnitten werden kann. Dabei wird den genannten Nachteilen wie folgt begegnet:

- Erstellung von Simulationsstudien: Hier wird verstärkt eine graphische Unterstützung bei dem Entwurf von Simulationsmodellen angeboten. Diese kann zum einen darin bestehen, daß interaktiv Netzwerke entwickelt werden, die in Befehle einer Simulationssprache umgewandelt werden [9], zum anderen wird, insbesondere bei fertigungstechnischen Anwendungen, mit Hilfe von vordefinierten oder vordefinierbaren Symbolen am Bildschirm ein Layout des betrachteten Systems erstellt, aus dem anschließend ein Simulationsmodell generiert wird [10].
- Integration in Informationssysteme: Um die Vorteile des Simulationseinsatzes nutzen zu können, müssen geeignete Schnittstellen zu anderen Systemen definiert werden. Gegenwärtig stellt beispielsweise die Integration von Simulatoren in Fertigungsleitstände ein praxisrelevantes Problem dar [11].
- Interaktivität: Durch die Möglichkeit der graphischen Anzeige sowie der Unterbrechung und Änderung von simulierten Abläufen wird der Anwender stärker in den Entscheidungsprozeß einbezogen. Erstrebenswert ist in diesem Zusammenhang die Bereitstellung eines Spektrums flexibler Strategien, die den Anwender gezielt an eine Lösung seines Problems heranführen.
- Aufbereitung der Simulationsergebnisse: Die Darstellung der Simulationsergebnisse in standardmäßigen Summary-Reports wird den Anforderungen an eine benutzergerechte Darstellung nicht gerecht. Hier werden zum einen verstärkt statische Graphikauswertungen (Gantt-Diagramme, Histogramme, Tortendiagramme) in die Systeme integriert, zum anderen steigt die Qualität und Leistungsfähigkeit von Visualisierungssystemen zur graphisch-dynamischen Darstellung des Simulationsablaufs (Animation) ständig an.

[9] Vgl. dazu die Möglichkeit der graphischen Erstellung von SLAM II-Netzwerken in den Systemen TESS und SLAMSYSTEM.

[10] Vgl. Eversheim, W., Thome, H. G.: Simulation als Hilfsmittel zur Produkt- und Produktionsplanung, Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (ZwF) 82(1987)6, S. 337.

[11] Vgl. z.B. Schröder, G.: Ein simulationsgestützter Leitstand zur Fertigungssteuerung, in: Ameling, W. (Hrsg.): Simulationstechnik, 5. Symposium Simulationstechnik, Aachen 1988, S. 447ff.

3. Entscheidungsorientierte Gestaltung von Informationssystemen in CIM

Die bei der Gestaltung von CIM-Systemen angestrebte Daten- und Funktionsintegration führt einerseits zu einer Beschleunigung und Rationalisierung der organisatorischen und technischen Abläufe, andererseits erhöht sich für den Anwender durch die Notwendigkeit von bereichsübergreifenden Entscheidungsfindungen die Komplexität der für ihn relevanten Daten- und Informationsflüsse [12]. Mit der Entwicklung hochintegrierter Anwendungssysteme kann die bisher vordergründig verfolgte Funktionalität nicht mehr die alleinige Zielsetzung beim Systementwurf sein, sondern muß um den Aspekt der Benutzbarkeit durch den Menschen erweitert werden [13]. Daraus ergeben sich folgende Anforderungen an eine entscheidungsorientierte Gestaltung von Informationssystemen:

- Entwicklung einheitlicher Benutzeroberflächen, die ein schnelles Hineindenken auch für nur gelegentliche Benutzer ermöglichen,
- Interaktive Gestaltung der Informationsgewinnungs- und Planungsprozesse auf der Basis verdichteter, hinsichtlich des Informationsbedarfs des Anwenders aufbereiteter Daten,
- Bereitstellung eines Planungsinstrumentariums zur Realisierung individueller und vorgegebener Zielsetzungen durch problemorientierte Strategien.

3.1. Interaktive, graphikunterstützte Simulationsverfahren

Ein Ansatz zur Realisierung der explizierten Anforderungen besteht in der Entwicklung interaktiver, graphikunterstützter Simulationsverfahren. Die Simulation soll hierbei zu einer entscheidungsorientierten Methode weiterentwickelt werden, die auf der Basis aktueller Unternehmensdaten in einem iterativen Dialog mit dem Anwender Lösungsvorschläge und Handlungsanweisungen für betriebswirtschaftliche und technologische Problemstellungen erarbeitet. Der Ablauf einer entscheidungsorientierten Simulation geht aus Abbildung 4 hervor.

[12] Vgl. Scheer, A.-W.: *CIM- Der computergesteuerte Industriebetrieb*, 3. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 4f.

[13] Vgl. Kagermann, H.: *Ergonomische Benutzeroberflächen für komplexe Informationssysteme*, Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (ZwF) 84(1989)6, S. 327.

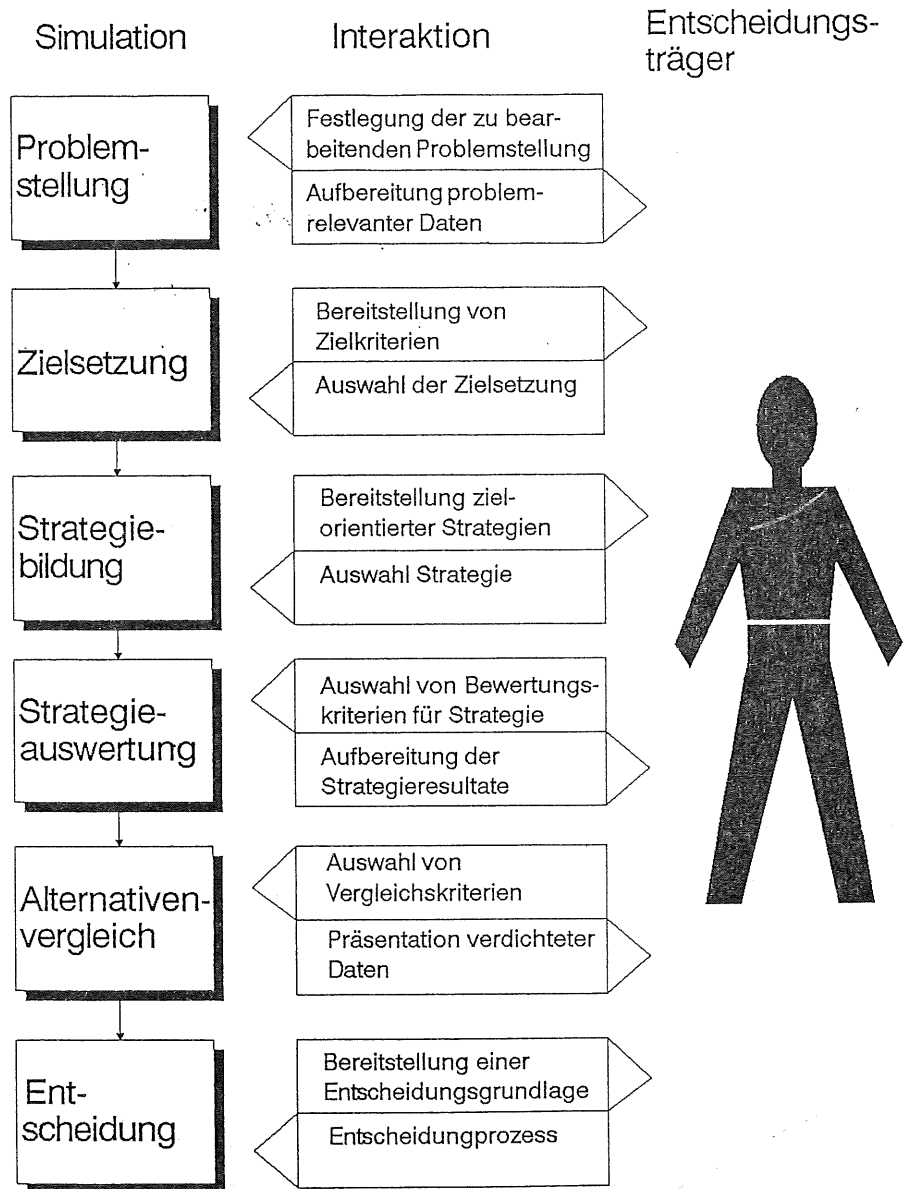


Abb. 4: Entscheidungsorientierte Simulation

Der erste Schritt besteht in der Festlegung der zu bearbeitenden Problemstellung. Zur Gewinnung von Erkenntnissen über die Ausprägung des zu bearbeitenden Problems ist die Ermittlung und Aufbereitung von Daten in Form von Zahlen, Text sowie graphischen Darstellungen, bezogen auf die spezifischen Informationsbedürfnisse des Entscheidungsträgers, von wesentlicher Bedeutung.

Der Prozeß der Bildung von Zielsetzungen setzt das Erkennen der für eine Unternehmung relevanten Probleme und entsprechende Informationen über die wichtigsten Einflußgrößen voraus [14]. Zielsetzungen können fest vorgegeben oder vom Entscheidungsträger individuell verfolgt werden, wobei diesem die Auswahl der Zielsetzung obliegt.

Aufgrund der zur Verfügung stehenden Aktionsparameter werden Strategien zur optimalen Zielerreichung gebildet. Der Anwender kann hier durch die Bereitstellung ausgewählter, zielorientierter Strategien unterstützt werden oder Anleitungen für die Auswahl einer Strategie erhalten.

Zu erwartende Konsequenzen einer Strategie werden anhand von Bewertungskriterien aufgezeigt, die der Anwender festlegt. Die im Rahmen einer simulativen Analyse der Strategie anfallenden Daten müssen dazu in entsprechender Form aufbereitet werden.

Für den Vergleich der durch Anwendung unterschiedlicher Strategien simulativ ermittelter Alternativen werden verdichtete Daten herangezogen, deren Auswahl und Gestaltung durch den Entscheidungsträger bestimmt werden können. In diesem Zusammenhang ist die Nutzung von Graphik zur Informationsveranschaulichung von Bedeutung.

Somit kann auf der Basis anwenderorientierter Simulationsverfahren eine Entscheidungsgrundlage bereitgestellt werden, die den Ausgangspunkt für einen effizienten Entscheidungsprozeß bildet.

3.2. Gestaltung von Benutzeroberflächen

Die Entwicklung bei der Gestaltung geeigneter Benutzeroberflächen für betriebswirtschaftliche Informationssysteme ist im Vergleich zu den technischen Informationssystemen innerhalb eines CIM-Konzeptes noch wenig vorangeschritten. Hier läßt sich jedoch feststellen, daß die im Rahmen der technischen CIM-Funktionen realisierte höhere Qualität der EDV-Unterstützung, beispielsweise in Form von hochwertigen Graphiken im CAD/CAM-Bereich, für die planerisch-dispositiven Funktionen einen Anstoß gegeben hat, auch ihrerseits Graphikschnittstellen bereitzustellen [15]. Die immer stärkere Verbreitung von hochauflösenden Workstations und qualitativ hochwertigen Graphiksystemen unterstützt diese Tendenz. Am Beispiel der Produktionsplanung und -steuerung soll die Entwicklung bei der Gestaltung von Benutzeroberflächen demonstriert werden, wie auch aus Abbildung 5 hervorgeht.

[15] Vgl. Scheer, A.-W.: *Neues Gewicht für Planungs- und Steuerungsfunktionen*, Frankfurter Zeitung - Blick durch die Wirtschaft (1988)122, S. 7.

Kapazitätsplanung KAPPLAN BKT 503 12.12.88 - 13.12.88
 Arbeitsplatz: 305-3 Bez.APL: Fraesmaschine 3
 Bereich: Wz-F

Datum	Auftrag	Status	SpSt.	Bedarf	Angebot
12.12.	77320044-88	A	16.12.	12.4	
12.12.	77320034-78	B	14.12.	16.3	
12.12.	77441033-23	B	11.12.	8.3	
12.12.	74320044-87	C	20.12.	10.0	
12.12.	74320043-87	C	15.12.	3.2	24.0
	SUMME			40.2	24.0
	BEDARF			168.5	
13.12.	75320044-38	A	15.12.	5.6	
13.12.	77521034-74	A	15.12.	3.5	
13.12.	77451033-45	C	20.12.	7.4	
13.12.	74550044-83	C	20.12.	7.5	
	SUMME			21.0	24.0
	BEDARF			87.5	

DATUM: PF3:Ausw PF4:Best PF5:FolgaPL BM 340150
 PFL:HI PF2:Umpl

Kapaziteet Uebersicht KAP/UEBS BKT 503 12.12.88 - 23.12.88
 Arbeitsplatz: 305-3 Bez.APL: Fraesmaschine 3
 Bereich: Wz-F

Datum	Bedarf	Angeb	Bed %
12.12.	40.2	24.0	168.5
13.12.	21.0	24.0	87.5
14.12.	24.0	24.0	100.0
15.12.	30.0	24.0	125.0
16.12.	32.4	24.0	135.0
19.12.	28.5	24.0	118.8
20.12.	49.2	24.0	205.0
21.12.	28.0	24.0	116.7
22.12.	23.0	24.0	95.8
23.12.	15.2	24.0	62.5

DATUM: PF3:Ausw PF4:Best PF5:FolgaPL BM 340065
 PFL:HI PF2:Umpl

FI2 Fertigung Meister Bereich 1 22. Mär. 88 11:20

Auftrag	Auftrag	NumPlan	Dreht	DRE	Stück	Aggr	Stamm	System	AVG
NI 03.24.8	1037.00	0769	080F	0203	1034	1104	1104	73.04	
GAEG0001									
FRAES001									
FRAES002									
DBENH001									
DBW0001									
SCHWEI01									
FRANDB001									
WAND0002									
AUF00001									
AUF00002									
AUF00003									
AUF00004									
AUF00005									
AUF00006									
AUF00007									
AUF00008									
AUF00009									

AG:1640 AG:200 AG:200 18.06.82.23.23AM0410

FI WELLENFERTIGUNG KST 00340

AG: VOR APLZ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 DLZ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 TYP 0 250 500 750
 ZEIT: 8:30

Abb. 5: Entwicklungstendenzen bei der Gestaltung von Benutzeroberflächen am Beispiel der Produktionsplanung und -steuerung

Die Darstellung der Informationen erfolgte zunächst in Form von numerischen Listen, die in der Regel einen hohen Informationsgehalt in wenig verständlichen Zahlenkolonnen aufweisen und deshalb dem mit dem System weniger vertrauten Anwender nicht sofort eingänglich sind. Bei dem Einsatz von Primitivgraphik in Form von Punkten oder Strichen als nächster Stufe wird durch die geringen Möglichkeiten der Darstellung und die wenig ansprechende Form der Präsentation kein wesentlicher Fortschritt erzielt [16].

Neue Ansätze finden sich vor allem im Bereich der Fertigungssteuerung durch den Einsatz von graphischen Leitständen auf Personal Computern oder Workstations. Diese Systeme bieten dem Anwender Maschinenbelegungsübersichten, Kapazitätsbelastungsübersichten und andere Auswertungen in graphischer, auch farbiger Darstellung an. Durch den Einsatz von Window-Techniken, Pull-Down-Menues und Mauseinsatz wird eine einfache und schnelle Ausführung der Funktionen ermöglicht, insbesondere wird eine interaktive Anwendung unterstützt. Über Funktionsumfang, Benutzerschnittstellen und graphische Möglichkeiten dieser Systeme existieren mittlerweile mehrere Untersuchungen [17].

Als letzter Schritt bietet sich der Einsatz von Prozeßvisualisierungstechniken (Animation) an, die es dem Anwender ermöglichen, tatsächliche oder simulierte Abläufe am Bildschirm in bewegten Bildern und Farbgraphik zu verfolgen. Durch Integration von CAD- und Simulations- bzw. Animationssystemen lassen sich die Vorteile anspruchsvoller CAD-Graphiken, beispielsweise zur Abbildung des Layouts eines Fertigungsbereichs, auch in der Planung nutzen [18].

-
- [16] Vgl. Zell, M., Kern, S.: *Graphikeinsatz in der Produktionsplanung und -steuerung, Vortrag anlässlich der ERFA-Tagung "Neue Entwicklungen zur graphischen Unterstützung im Produktionsbereich", Frankfurt/M, in: A.-W. Scheer (Hrsg.): Neue Entwicklungen zur graphischen Unterstützung im Produktionsbereich, Tagungsband zur ERFA-Tagung am 8.12.88 in Frankfurt/M., Saarbrücken 1989, S. 3f.*
- [17] *Eine Dokumentation über den derzeitigen Stand der Fertigungsleitstandtechnik findet sich z.B. bei o.V.: Stand der Kunst bei elektronischen Leitständen, CIM Management 4(1988)2, S. 38-45 oder in der Systemübersicht und Leistungsmerkmalbeschreibung von Friederichs, P., Gromotka, W.: Fertigungsleitsysteme - Marktübersicht und Erläuterungen, VDI-Z 130(1988)11, S. 41-47.*
- [18] Vgl. Pham, T.T.: *Die Kopplung von CAD- und Simulationssystemen, CAD/CAM-Report 7(1988)9, S. 111ff.*

4. Einsatzschwerpunkte der Simulation in CIM

Das CIM-Konzept als integrierte Informationsverarbeitung für betriebswirtschaftliche und technische Aufgaben läßt sich wie in Abbildung 6 darstellen. Dabei spielen für eine Vielzahl der angezeigten Funktionen simulative Ansätze eine wesentliche Rolle bei der Entscheidungsfindung, wie in der Abbildung angedeutet wird.

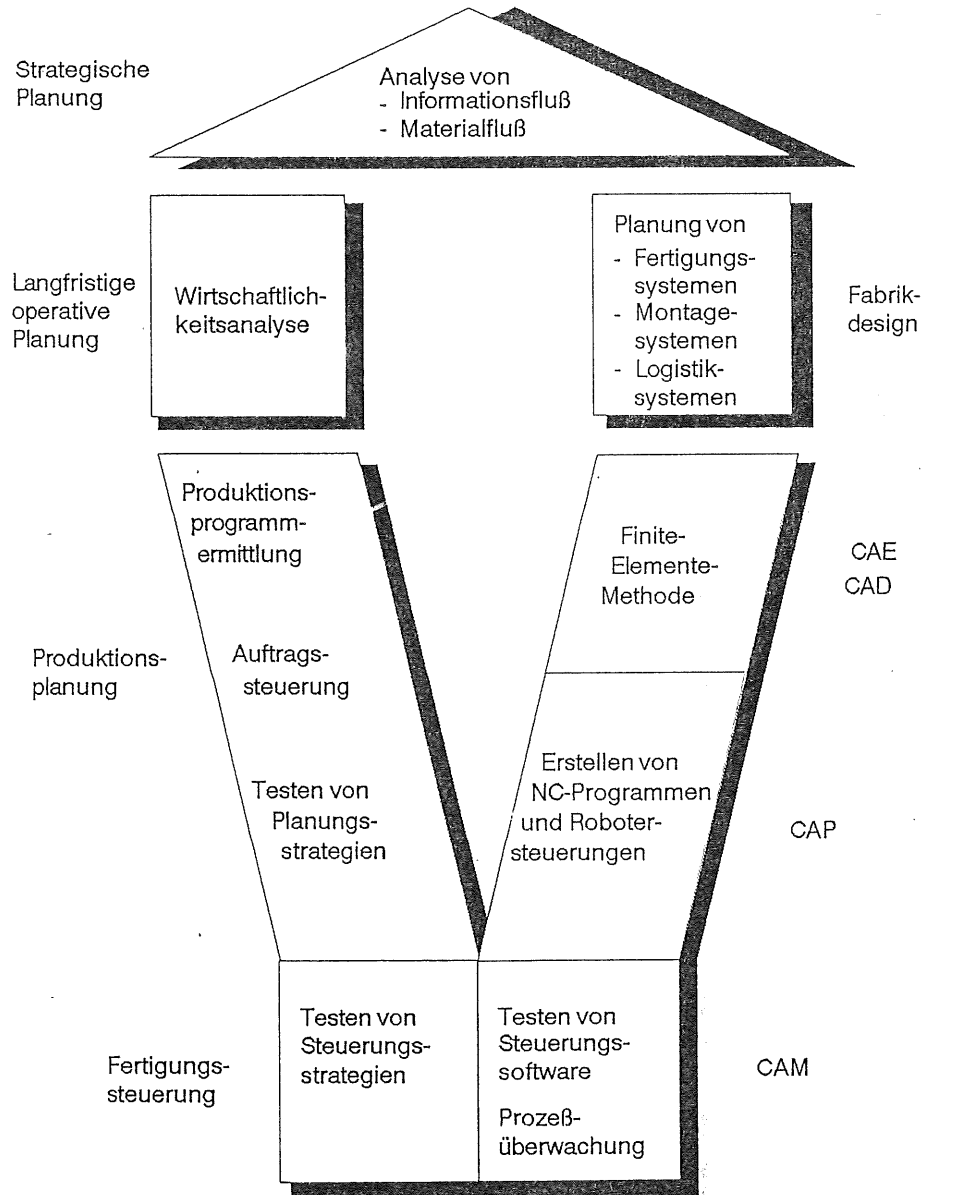


Abb. 6: Simulationsansätze in CIM

Auf die innerhalb der einzelnen Funktionsebenen vorhandenen Einsatzmöglichkeiten für die Simulation wird im folgenden näher eingegangen.

4.1. Simulation in der strategischen Unternehmensplanung

Wesentliche Zielsetzung der strategischen Planung ist die Aufdeckung von Kostensenkungspotentialen im Unternehmen. Aufgrund der im Rahmen des verstärkten internationalen Wettbewerbs geforderten hohen Flexibilität der Fertigung, die sich durch eine stärkere Kundenorientierung mit kürzeren Produktlebenszyklen ergibt, liegen für ein CIM-orientiertes Unternehmen die wesentlichen Rationalisierungspotentiale in der Funktions- und Datenintegration und der damit einhergehenden Abläufe im Unternehmen [19]. Die Verkürzung der Abläufe bezieht sich sowohl auf die Gestaltung von integrierten Produktions- und Logistiksystemen wie auf die Gestaltung eines integrierten Informationsflusses zwischen den betrieblichen Informationssystemen.

Insbesondere durch die Reintegration von Funktionen an Arbeitsplätzen unter Nutzung einer gemeinsamen Datenbasis können Übergangs- und Einarbeitungszeiten bei der Bearbeitung von Aufträgen eingespart werden. Die Verringerung der Durchlaufzeiten bedeutet angesichts der heute geforderten Just-In-Time-Produktion einen Wettbewerbsvorteil gegenüber Konkurrenten.

Der Ablauf betriebswirtschaftlicher und technischer Verarbeitungsfunktionen läßt sich anschaulich anhand von Vorgangskettendiagrammen beschreiben. Vorgangsketten stellen die Daten- und Informationsflüsse zwischen den einzelnen Abteilungen eines Unternehmens dar. Unter Betrachtung betriebsübergreifender Aspekte können auch die Beziehungen zu Kunden und Lieferanten in Vorgangsketten erfaßt werden. Eine unternehmensbezogene Vorgangskette, wie sie in Abbildung 7 dargestellt ist, ist somit Spiegelbild der vorhandenen Beschaffungs-, Produktions- und Absatzstrategien.

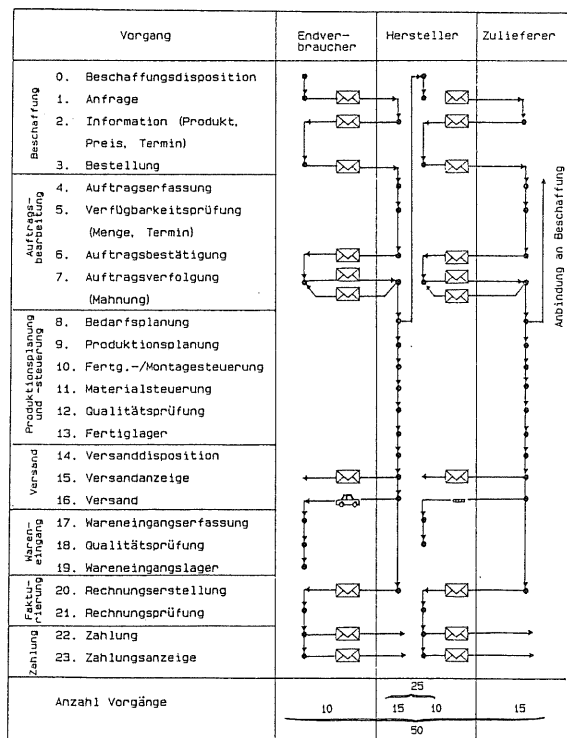


Abb. 7: Vorgangskettendiagramm [20]

- [19] Vgl. Scheer, A.-W.: *CIM - Der computergesteuerte Industriebetrieb*, 3. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 1f.
- [20] Aus: Scheer, A.-W.: *CIM - Der computergesteuerte Industriebetrieb*, 3. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 177.

Die Abbildung gibt die Schritte einer Logistikkette mit den Funktionsfolgen Beschaffung, Auftragsbearbeitung, Produktionsplanung und -steuerung, Versand, Wareneingang, Fakturierung und Zahlungseingang wieder, wobei in Anlehnung an die Hersteller-Zuliefer-Beziehungen in der Automobilindustrie ein dreistufiger Prozeß zwischen Endverbraucher, Hersteller und Zulieferer betrachtet wird.

Durch Zuordnung von statistisch ermittelten oder angenommenen Bearbeitungszeiten für die einzelnen Vorgänge sowie Übergangszeiten zwischen den Vorgängen lassen sich zeitbezogene Vorgangsketten ermitteln und damit voraussichtliche Durchlaufzeiten für Produkte oder Produktgruppen berechnen. Hier bietet sich die Simulationstechnik als Instrument zur Entscheidungsunterstützung bei der Entwicklung und Bewertung CIM-gerechter Ablaufstrukturen an. Sie bietet die Möglichkeit, unterschiedliche Strategien zur Verbesserung ablauforganisatorischer Prozesse zu testen und mittels geeigneter Kennzahlen wie beispielsweise der mittleren Durchlaufzeiten zu bewerten.

Die Abbildung ablauforganisatorischer Zusammenhänge in einem Simulationsmodell erfordert eine detaillierte Strukturierung und zeitmäßige Analyse der unternehmensbezogenen Abläufe. Bei einer Simulation werden Schwachstellen, beispielsweise durch zeitverzögernde Batch-Prozesse bei der Datenübertragung, transparent. Die graphische Visualisierung der Abläufe in der Vorgangskette sowie die graphische Aufbereitung von Simulationsergebnissen, beispielsweise in Form von Durchlaufzeitdiagrammen, ermöglicht für das Management eine effiziente Schwachstellenanalyse.

Ebenso wie bei der Gestaltung unternehmensbezogener Informationsflüsse Rationalisierungseffekte erzielt werden, lassen sich auch im Bereich der Gestaltung technischer Produktionssysteme durch organisatorische Änderungen Vereinfachungen erzielen. Hier ist insbesondere ein Trend zur Dezentralisierung erkennbar, d.h. zur Bildung kleinerer Fertigungsbereiche, die weitgehend autonom arbeiten. Durch die Anordnung der Maschinen nach dem Objektprinzip sowie der Beachtung einer materialflußgerechten Anordnung von Fertigungsbereichen läßt sich der innerbetriebliche Materialfluß vereinfachen und damit die Durchlaufzeiten verkürzen. Mittels Simulationsmodellen lassen sich beispielsweise die Auswirkung einer Umstellung von Werkstattfertigung auf eine Fertigung mit verstärktem Anteil an Fertigungsinseln ermitteln.

4.2. Simulation in den technischen CIM-Informationssystemen

Im Bereich der technischen Informationssysteme stellt die Simulation im Zusammenhang mit graphischen Unterstützungsmethoden ein wichtiges Hilfsmittel zur Entscheidungsunterstützung dar.

4.2.1. Fabrikdesign

Der im Rahmen von CIM-Konzepten zu beobachtende Trend zur Entwicklung komplexer, flexibel automatisierter Fertigungsanlagen stellt hohe Anforderungen an die Planung und Gestaltung entsprechender Systeme. Die Simulation ist für diese Anwendung mittlerweile ein weit verbreitetes und anerkanntes Werkzeug zur Unterstützung der Analyse unterschiedlicher Gestaltungsvarianten, weil sie dazu beiträgt, das Risiko einer Fehlinvestition oder einer Fehlsteuerung des Prozeßablaufs zu verhindern [21].

Die Abbildung geplanter Produktionssysteme erlaubt Untersuchungen zur Dimensionierung der Anlagen bezüglich der einzusetzenden Produktionseinrichtungen, Transportsysteme und Lagereinrichtungen sowie zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Systems [22].

Bei komplexen Produktionssystemen oder ganzen Fabriken empfiehlt sich eine Zerlegung in einzelne, relativ unabhängige Teilmodule, die für sich als Modell abgebildet werden können. Diese Teilmodule können im Rahmen einer Fabriksimulation zu einem Gesamtmodell zusammengefaßt werden [23].

4.2.1.1. Fertigungssysteme

Hinsichtlich der fertigungstechnologischen Ausprägung lassen sich unterschiedliche Formen von Fertigungssystemen feststellen, beispielsweise:

- Konventionelle Maschinen,
- Drehzelle,
- Bearbeitungszentrum,
- Flexible Fertigungszelle,
- Flexibles Fertigungssystem.

Da die Planung flexibler Fertigungssysteme aufgrund der hohen Komplexität der zu berücksichtigenden Abläufe ein besonders wichtiges Einsatzgebiet für die Simulation darstellt, soll dieser Bereich exemplarisch betrachtet werden.

-
- [21] Vgl. Spur, G.: *Fabrikmodellierung und Simulation*, in: *Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Fabrikbetrieb*, München 1988, S. VII.
- [22] Vgl. Seliger, G., Viehweger, B.: *Fabrikmodellierung als Planungsinstrument*, in: *Feldmann, K., Schmidt, B. (Hrsg.): Simulation in der Fertigungstechnik*, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 88.
- [23] Vgl. Schmidt, B.: *Simulation von Produktionssystemen*, in: *Feldmann, K., Schmidt, B. (Hrsg.): Simulation in der Fertigungstechnik*, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 26.

"Unter einem flexiblen Fertigungssystem (FFS) versteht man eine Gruppe numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen, die über ein gemeinsames Werkstücktransportsystem und ein zentrales Steuerungssystem miteinander verbunden sind" [24].

Es besteht somit die Möglichkeit zu

- einer mehrstufigen Bearbeitung im Auftragsmix,
- hauptzeitparallelem Rüsten,
- bedienerarmem und bedienerlosem Betrieb.

Die Bearbeitung wird von mehreren unterschiedlichen (sich ergänzenden) oder gleichartigen (sich ersetzenden) NC-Maschinen durchgeführt. Damit läßt sich ein großes Teilespektrum auf dem System bearbeiten.

Ein flexibles Fertigungssystem ist nicht auf Mindestlosgrößen angewiesen, sondern verarbeitet auch einzelne Werkstücke in beliebiger Reihenfolge. Damit ist das flexible Fertigungssystem die flexibelste Form einer automatisierten Fertigung. Abbildung 8 zeigt die Bestandteile eines flexiblen Fertigungssystems:

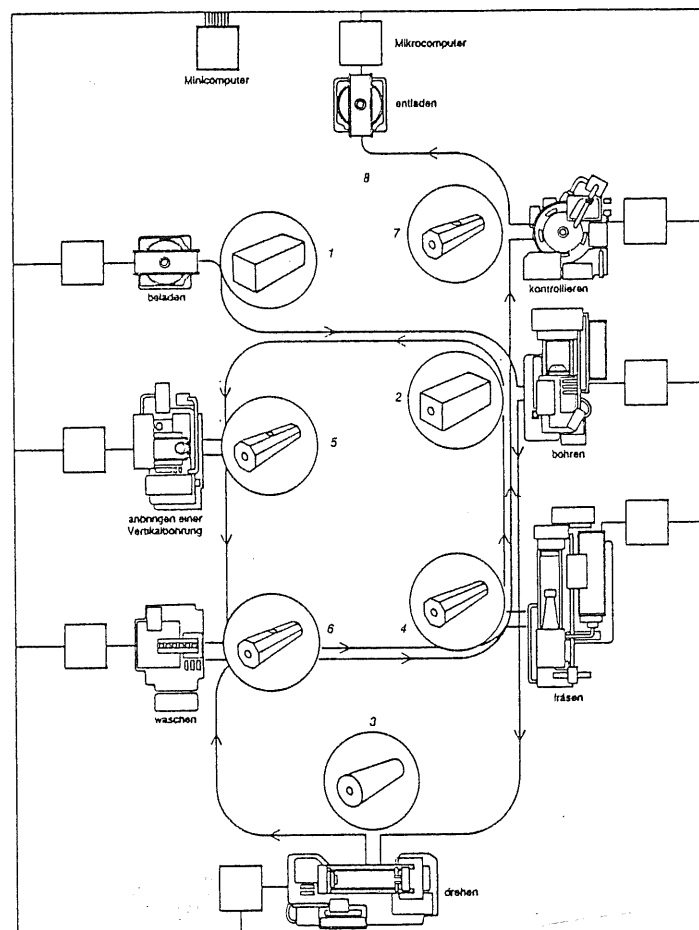


Abb. 8: Flexibles Fertigungssystem [25]

[24] Kief, H.B.: NC-Handbuch, Michelstadt/Stockheim 1984, S. 417.

[25] Aus: Gunn, T.G.: Konstruktion und Fertigung, Spektrum der Wissenschaft (1982)11, S. 95.

Die Simulation kann als ein Hilfsmittel sowohl für die Planung neuer flexibler Fertigungssysteme, die Rationalisierung bestehender Systeme aufgrund einer Schwachstellenanalyse sowie zur Planung unterschiedlicher Steuerungssystematiken herangezogen werden [26]. Die Einflußgrößen, die bei der Gestaltung eines flexiblen Fertigungssystems einwirken, lassen sich in systembezogene und ablauforganisatorische Komponenten einteilen.

Simulationsparameter liegen somit in den stationären Modellkomponenten, wie z.B.

- Anzahl und Zusammenstellung der einzelnen Maschinen,
- Zahl der Spannstationen,
- Zahl der Pufferplätze,
- Gestaltung und Dimensionierung des Transportsystems,

sowie im Bereich der dynamischen Modellkomponenten, wie:

- Zahl und Art der Aufträge,
- Gestaltung der Arbeitspläne,
- Einschleusungsstrategien,
- Abfertigungsregelungen.

Dabei werden unterschiedliche, teilweise miteinander konkurrierende Zielsetzungen angestrebt. Als Zielsetzungen kommen in Frage:

- Maximierung der Auslastung des Systems,
- Minimierung der Durchlaufzeiten für zu bearbeitende Aufträge,
- Vermeidung von Leerzeiten,
- Minimierung von Beständen,
- Minimierung von Rüstzeiten.

Durch Variation der Parameter lassen sich die Auswirkungen der Einflußgrößen auf die genannten Zielsetzungen ermitteln und hinsichtlich einer optimalen Systemgestaltung analysieren.

[26] Vgl. Spiegl, P.: *Simulation - ein Planungsinstrument flexibler fertigungstechnologischer Einrichtungen*, CIM Management 3(1987)1, S. 53f.

4.2.1.2. Montagesysteme

Die Planung flexibel automatisierter Montagesysteme ist durch einen hohen Komplexionsgrad gekennzeichnet. Neben der Forderung nach einer montagegerechten Gestaltung des zu fertigenden Produktes sind Fragen bezüglich der Reihenfolge der durchzuführenden Montagevorgänge bzw. der Gestaltung von Fügeprozessen zu lösen. Der Montageprozeß läßt sich in die drei Ebenen der Betrachtung der Gesamtanlage, einzelner Montagezellen sowie zu montierender Komponenten aufteilen [27]. Dabei sind auf der Ebene der gesamten Anlage Probleme der Gestaltung und Ablaufsteuerung komplexer Fertigungs- und Montagesysteme relevant, während innerhalb einer Montagezelle das Zusammenspiel von Montagerobotern und zu montierenden Bauteilen optimiert werden soll. Das Verhalten von Bauteilen bezüglich Verformungen und Spannungen läßt sich mittels der Finite-Elemente-Methode simulieren (vgl. Kap. 4.2.2).

4.2.1.3. Materialflußsysteme

Aufgrund der Stellung der Logistik als Querschnittsfunktion lassen sich bezüglich der Einsatzmöglichkeiten der Simulation Ansätze auf unterschiedlichen Unternehmensebenen ableiten. Kuhn [28] unterteilt im Hinblick auf die Gestaltung logistischer Systeme in:

- Fabrikstrukturplanung,
- Systemplanung,
- Detailgestaltung.

Dabei bezieht sich die Fabrikstrukturplanung auf die materialflußmäßigen Zusammenhänge zwischen einzelnen Unternehmensbereichen. Die Simulation wirkt hier unterstützend bei der Anordnung von Betriebsbereichen sowie bei der Gestaltung und Dimensionierung der betrieblichen Infrastruktur.

Entscheidungsparameter sind dabei:

- Gestaltung von Transportwegen,
- Lagerdimensionierung,
- Auswahl von Transportmitteln.

Bei der Planung logistischer Systeme (Transport-, Lagersysteme) stehen Fragen der Auslegung und Steuerung der Systeme im Vordergrund. Zielsetzung ist dabei, die Funktionalität zu gewährleisten und die Leistungsfähigkeit des Systems den gestellten Anforderungen anzupassen. Hierbei lassen sich die Auswirkungen folgender Einflußgrößen simulativ ermitteln:

- Gestaltung der Fahrwege,
- Zahl der Fahrzeuge,
- Fahrzeuggeschwindigkeit,
- Puffergrößen.

[27] Vgl. Diess, H.: *Rechnerunterstützte Planung und Optimierung flexibel automatisierter Montagesysteme*, in: *Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Fabrikbetrieb, München 1988, S. 121f.*

[28] Vgl. Kuhn, A., Schmidt, R.: *Simulation logistischer Systeme*, in: *Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Fabrikbetrieb, München 1988, S. 172f.*

Im Zuge der flexiblen Automatisierung ist insbesondere die Planung fahrerloser Transportsysteme zur Verkettung von Produktionsanlagen ein wichtiges Anwendungsgebiet für die Simulation.

Bezüglich der Detailgestaltung des betrachteten Systems können sich spezielle Problemstellungen ergeben, die durch Simulation gelöst werden können, wie z.B. [29]:

- Fahrkurskreuzungen,
- Gestaltung von Block- und Pulkstrecken,
- Kollisionsvermeidungen.

4.2.2. Produktentwurf und Konstruktion

Im Bereich des Produktentwurfs und der Konstruktion ist ein hoher Grad der interaktiven Verarbeitung von Daten gegeben. Bei dem Design-Schritten steht die Abwandlung von Lösungen durch einen interaktiven Entscheidungsprozeß im Vordergrund, wobei ökonomische und technische Fragestellungen bei der Bewertung von Alternativen herangezogen werden [30]. Eine Unterstützung der CAD-Systeme durch die Simulation ist insbesondere bei der Anwendung der Finite-Elemente-Methode gegeben. Hierbei werden komplexe Bauteile in eine Anzahl geometrisch und mathematisch/mechanisch einfach zu beschreibende Bauteile zerlegt. Mit Hilfe von FE-Programmsystemen lassen sich Verformungen, Spannungen oder Schwingungen in diskreten Punkten berechnen. Beispielsweise läßt sich das Verhalten eines Bauteils unter einer bestimmten Belastung simulieren, ohne daß das Bauteil bereits real existiert. Durch Einsatz von Graphik-Bildschirmen kann die Struktur des Bauteils überprüft und dessen Verhalten unter Belastung veranschaulicht werden [31]. Abbildung 9 zeigt den Ablauf einer FE-Bauteilberechnung.

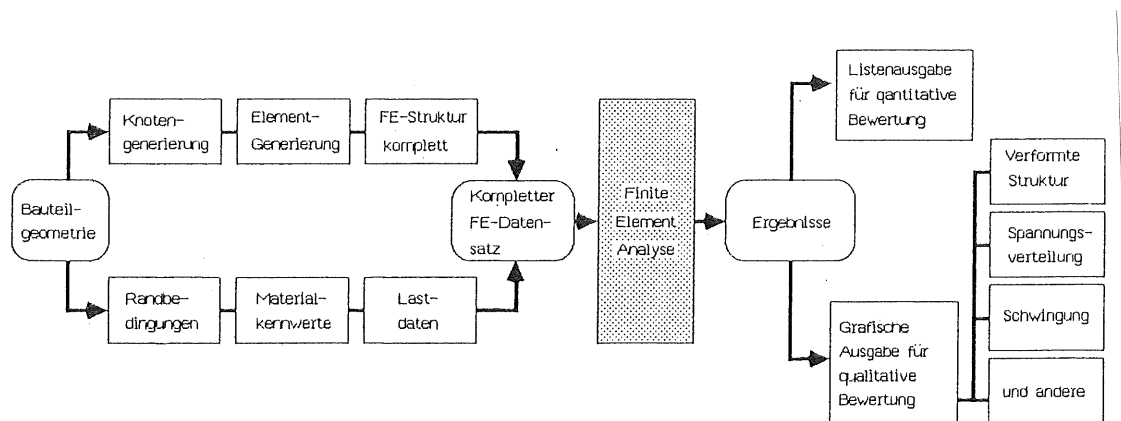


Abb. 9: Ablauf einer FE-Bauteilberechnung [32]

- [29] Vgl. Kuhn, A., Schmidt, R.: *Simulation logistischer Systeme*, in: *Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik* (Hrsg.): *Simulationstechnik und Fabrikbetrieb*, München 1988, S. 176.
- [30] Vgl. Scheer, A.-W.: *CIM - Der computergesteuerte Industriebetrieb*, 3. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 41f.
- [31] Vgl. Eigner, M., Maier, H.: *Einführung und Anwendung von CAD-Systemen*, München, Wien 1982, S. 225f.
- [32] Aus: Eigner, M., Maier, H.: *Einstieg in CAD*, München, Wien 1985, S. 336.

4.2.3. Arbeitsplanung

Bei der Arbeitsplanung werden zunehmend graphikunterstützte Simulationsverfahren zur Erleichterung der Erstellung von NC-Programmen bereitgestellt. Dabei wird der Ablauf der NC-Bearbeitung durch den Einsatz der Simulationstechnik im Rechner abgebildet, wodurch die Möglichkeit besteht, ein NC-Programm in Echtzeit zu simulieren und parallel dazu eine realitätsnahe Animation des Fertigungsablaufs am Bildschirm zu erzeugen. Spur/Krause sehen in einer graphikunterstützten Simulation für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen folgende Vorteile [33]:

- Die Sicherheit der Planungsergebnisse kann durch die schnelle visuelle Auffassungsgabe des Menschen für graphische Darstellungen in Verbindung mit den Vorteilen der Datenverarbeitung erhöht werden. Beispielsweise kann bei der NC-Programmierung das in vielen Fällen noch notwendige Testen des Programms an der Maschine entfallen.
- Graphisch dargestellte Zwischenergebnisse der Simulation lassen eine sichere Kontrolle und Steuerung des Ablaufs zu und führen zu leicht überschaubaren Planungsschritten.
- Die Darstellung von Werkstückeinspannung, Werkzeugen und Werkzeugbewegungen sowie des aktuellen Bearbeitungszustandes erlauben anschauliche Kontrollen der Planungsergebnisse. Beispielsweise lassen sich Kollisionen zwischen Werkstück, Spanneinrichtungen und Werkzeugen am Bildschirm erkennen und beseitigen.
- Lichtgriffel oder Fadenkreuz erlauben die Definition von Koordinatenwerten auf dem Bildschirm sowie das Positionieren, Verschieben oder Löschen von Werkzeugen, Werkstücken oder Spannmitteln.

Abbildung 10 zeigt eine graphische Oberfläche zur Simulation in der NC-Programmierung:

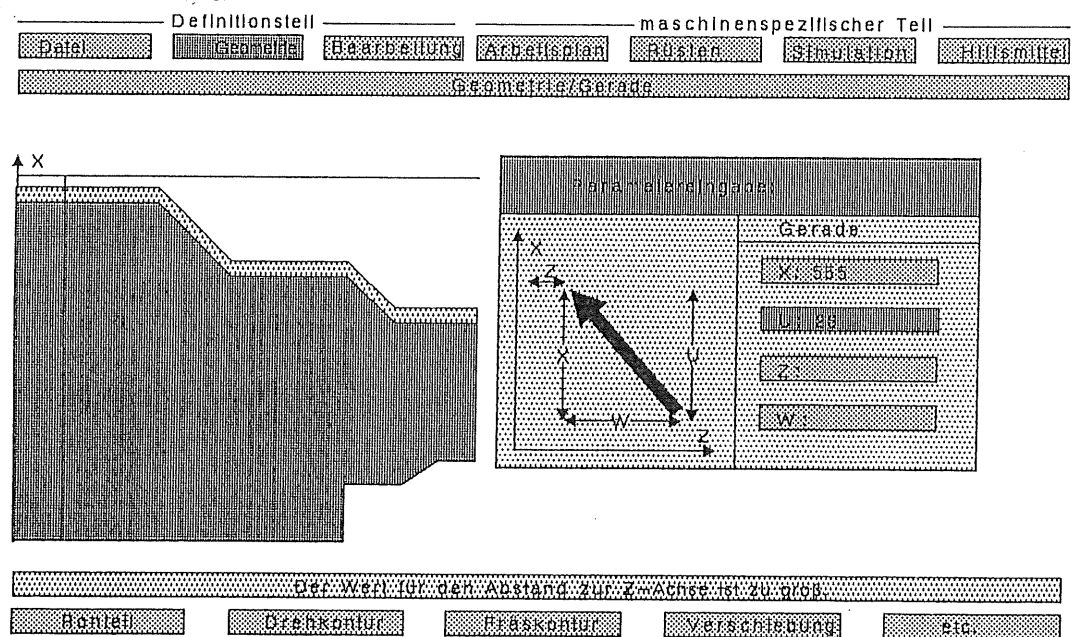


Abb. 10: Graphische Simulation von NC-Programmen [34]

[33] Vgl. Spur, G., Krause, F.-L.: CAD-Technik, München, Wien 1984, S. 471f.

[34] Vgl. Brödner, P.: Neue Generation werkstattgerechter Programmiersysteme, Technische Rundschau 80(1985)35, S. 20f.

Bei der Programmierung von Robotersteuerungen stellt eine graphisch interaktive Simulation ein wichtiges Hilfsmittel zur Bewegungsplanung von Robotern dar. Dabei werden die aktuellen Zustände der Roboter-Arbeitszelle und der darin vorhandenen Objekte veranschaulicht. Der Programmierer kann die Bewegung des Roboters verfolgen und beispielsweise Kollisionen erkennen.

4.2.4. Steuerung operativer Systeme

Im Bereich der Steuerung von Bearbeitungs-, Transport-, Lager- und Montagesystemen ergeben sich durch die Möglichkeit einer Realzeitsimulation Ansätze für eine Unterstützung bei der Entwicklung von Steuerungssoftware für die entsprechenden Prozesse. Durch den Anschluß speicherprogrammierbarer Steuerungen (SPS) können externe Ereignisse für den Simulator auch ohne einen Anschluß an das physische System erzeugt werden, wodurch das Austesten von Steuerungssoftware unter Berücksichtigung unterschiedlicher Einflußgrößen, wie z.B. Störungen, ermöglicht wird [35] [36]. Der Simulator benötigt dazu ein exaktes Modell des zu steuernden Systems. Durch den Einsatz von Animationstechniken kann eine Visualisierung des realen Fertigungsprozesses erzeugt werden, die dem Anwender eine detaillierte Überwachung ermöglicht. Durch Archivierung von Prozeßabläufen läßt sich eine solche Prozeßvisualisierung auch zu Analyse Zwecken nutzen [37].

-
- [35] Vgl. Reinhardt, A.: *Die Kluft zwischen Simulations- und Steuerungssoftware - Ansätze und Möglichkeiten zur Überbrückung*, in: *Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Logistik, München 1986, S. 259f.*
- [36] Vgl. Storr, A., Brandtner, K.: *Simulation in der Entwicklung von Steuerungssoftware - Voraussetzungen bei der Leittechnik von Fertigungssystemen*, in: *Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Fabrikbetrieb, München 1988, S. 352f.*
- [37] Vgl. Noche, B., Schürholz, A.: *Chancen der Simulation in der Systemführung - Abbildungsprobleme und Visualisierung*, in: *Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Logistik, München 1986, S. 229f.*

4.3. Simulation in den betriebswirtschaftlich-planerischen CIM-Informationssystemen

Der betriebliche Planungsprozeß versteht sich als ein System sukzessiv aufgebauter Teilpläne, wobei mit zunehmender Länge der betrachteten Planungsperiode die Breite des Entscheidungsfeldes, der Komplexionsgrad der Planung und die Unsicherheit der Daten zunimmt. Nachdem die strategische Planung als übergeordnetes Instrument zur Festlegung langfristiger Unternehmensziele bereits in Kapitel 4.1. angesprochen wurde, soll nun auf die lang- und kurzfristigen operativen Planungsfunktionen eingegangen werden.

4.3.1. Langfristig operative Planung

Die Aufgaben der langfristig operativen Planung im Rahmen der Realisierung eines CIM-Konzeptes liegen insbesondere in der Umsetzung der durch die übergeordneten strategischen Entscheidungen vorgegebenen Investitions- und Rationalisierungsmaßnahmen. Durch Investitionen in integrierte Fertigungsanlagen legen sich die Unternehmen aufgrund der hohen Investitionssummen und der langen Kapitalbindungsdauer langfristig fest [38]. Zur Zeit wird davon ausgegangen, daß mit der Entscheidung für eine automatisierte Produktionsanlage zwischen 75% und 90% aller laufenden Kosten festgelegt werden [39]. Für die Überprüfung der Wirtschaftlichkeit neuer Produktionsanlagen ist deshalb eine möglichst genaue Berechnung der durch die Investition verursachten Kosten notwendig. Den verursachten Kosten müssen Leistungsdaten gegenübergestellt werden, beispielsweise in Form des Auslastungsgrades der flexiblen Fertigungsanlagen. Da die Auslastung sehr stark abhängig ist von der zukünftigen Marktentwicklung, sind hier Simulationstechniken ein wichtiges Hilfsmittel bei der Analyse der Wirtschaftlichkeit flexibler Produktionsanlagen. Hierbei lassen sich unterschiedliche Konfigurationen kostenmäßig durchspielen und den Verkaufserlösen bei unterschiedlichen markt- und produktbezogenen Entwicklungen gegenüberstellen.

4.3.2. Mittel- bis langfristige Produktionsplanung

In der mittel- bis langfristigen Produktionsplanung sind Entscheidungen über die Zusammensetzung des Produktionsprogramms und die Gestaltung des Produktionsvollzugs zu treffen.

Ein häufig anzutreffendes Problem ist beispielsweise die Erfassung von Kundenaufträgen im Vertriebsbereich. Den Kunden, der einen Auftrag zu vergeben hat, interessiert, wann sein Auftrag fertig sein kann, während es für den Vertrieb wichtig ist, zu wissen, ob der vom Kunden gewünschte Endtermin gehalten werden kann und wo es gegebenenfalls zu Verzögerungen kommt. In diesem Bereich kann eine Unterstützung durch eine Simulation der für den Auftragsdurchlauf relevanten Vorgangskette und eine Visualisierung, beispielsweise in Form eines Netzplans, erfolgen, wie auch aus Abbildung 11 hervorgeht:

[38] Vgl. Wildemann, H.: *Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz von integrierten Produktionssystemen*, in: *Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Fabrikbetrieb*, München 1988, S. 449.

[39] Vgl. Weber, J.: *Change Management für die Kostenrechnung - zur Notwendigkeit des ständigen Wandels der Kostenrechnung*, in: *Tagungsband zur 10. Saarbrücker Arbeitstagung "Rechnungswesen und EDV"*, Veröffentlichung in Vorbereitung.

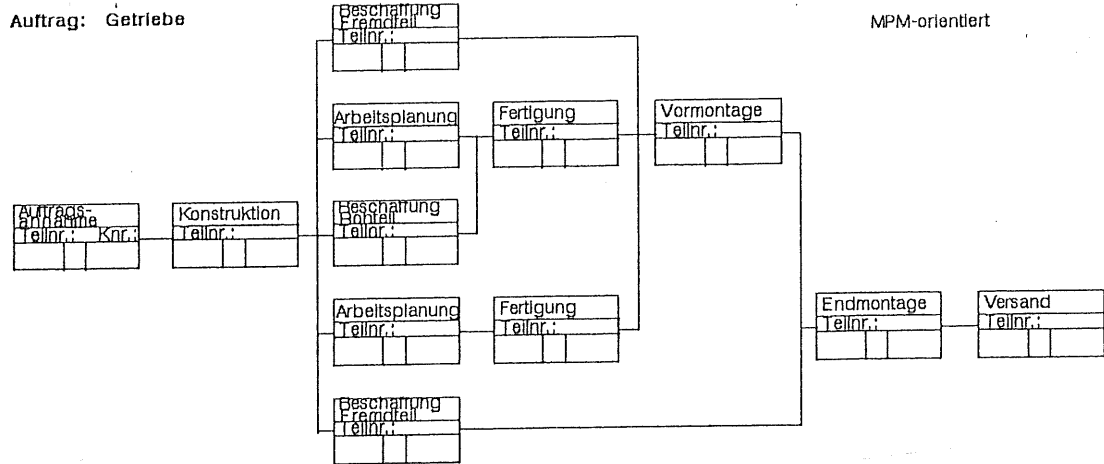


Abb. 11: Netzplan für einen Kundenauftrag

Im Rahmen der Primärbedarfsplanung als Ermittlung der herzustellenden Produktionsmengen werden innerhalb der Produktionsplanung und -steuerung wesentliche Parameter für die nachfolgende Termin- und Kapazitätsplanung festgelegt. Ein Mangel bestehender PPS-Systeme ist es, daß diese Stufe nur sehr wenig ausgeprägt ist. So fehlen neben geeigneten Prognoseverfahren insbesondere auch Simulationsmodelle zum rechtzeitigen Erkennen von Material- und Kapazitätsengpässen [40]. Durch eine Simulation unterschiedlicher Produktionsprogrammzusammensetzungen auf Basis verdichteter Daten läßt sich die Planungsqualität bereits in dieser Phase entscheidend verbessern.

Im Bereich der Kapazitäts- und Zeitwirtschaft werden in vielen PPS-Systemen äußerst aufwendige heuristische Verfahren eingesetzt, die jedoch hinsichtlich der zur Verfügung gestellten Lösungen oft nicht den Erwartungen entsprechen [41]. Eine Ursache dafür ist, daß bereits auf einer mittelfristigen Planungsebene mit festen Zeitvorgaben für Bearbeitungs- und Übergangszeiten gerechnet wird, die zu realitätsfremden Ergebnissen führen können.

Durch den zunehmenden Trend zur Dezentralisierung von Produktionsplanungs- und -steuerungsfunktionen ergibt sich eine Entlastung der mittelfristigen Planungsfunktionen der Material- und Zeitwirtschaft, indem wesentliche Dispositionsfunktionen in dezentrale Bereiche verlagert werden [42]. Bei einer objektbezogenen Fertigung von Teilefamilien, beispielsweise in einer Fertigungsinsel, ist für die Kapazitätsplanung nicht mehr die Zuordnung von einzelnen Arbeitsgängen zu Maschinen erforderlich, sondern nur die Zuordnung eines Fertigungsauftrags zu dem betrachteten Bereich, wobei die Feinsteuerung dem dortigen Disponenten überlassen bleibt. Dadurch bleibt auf der Ebene der mittelfristigen Kapazitätsplanung die zeit- und kapazitätsmäßige Koordination von Fertigungsauftragsnetzen als reduzierte Planungsaufgabe bestehen.

[40] Vgl. Scheer, A.-W.: *CIM - Der computergesteuerte Industriebetrieb*, 3. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 22.

[41] Vgl. Scheer, A.-W.: *Wirtschaftsinformatik - Informationssysteme im Industriebetrieb*, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 204.

[42] Vgl. Herterich, R., Zell, M.: *Interaktive Fertigungssteuerung teilautonomer Bereiche*, in: Kurbel, K., Mertens, P., Scheer, A.-W. (Hrsg.): *Interaktive betriebswirtschaftliche Informations- und Steuerungssysteme*, Berlin, New York 1989, S. 41f.

Aufgrund der reduzierten Planungskomplexität bietet sich auf dieser Ebene der Einsatz interaktiver Simulationsverfahren an. Dabei bestehen die wesentlichen Parameter in der zeitlichen Struktur des Auftragsnetzes, der bei der Zuordnung von Fertigungsaufträgen zu dezentralen Bereichen eingeplanten Pufferzeiten (dispositive Spielräume) und der kapazitätsmäßigen Belastung der Fertigungsbereiche. Die aufgrund der Simulation ermittelten Planungsstrategien bilden für eine nachfolgende dezentrale Fertigungssteuerung in den einzelnen Bereichen Vorgaben, innerhalb derer für diese Dispositionsfreiheiten in Form von kurzfristigen Steuerungsstrategien bestehen. Für die Durchführung simulativer Planungen auf der mittelfristigen Kapazitätsplanungsebene ist eine Betriebsdatenerfassung zur Ermittlung der über den dispositiven Spielraum hinausgehenden Abweichungen in den dezentralen Bereichen erforderlich, um auf dieser Ebene mit aktuellen Daten simulieren zu können. Aus diesen Anforderungen ergibt sich das in Abbildung 12 dargestellte Konzept einer integrierten Simulation bei einer verteilten Produktionsplanung und -steuerung.

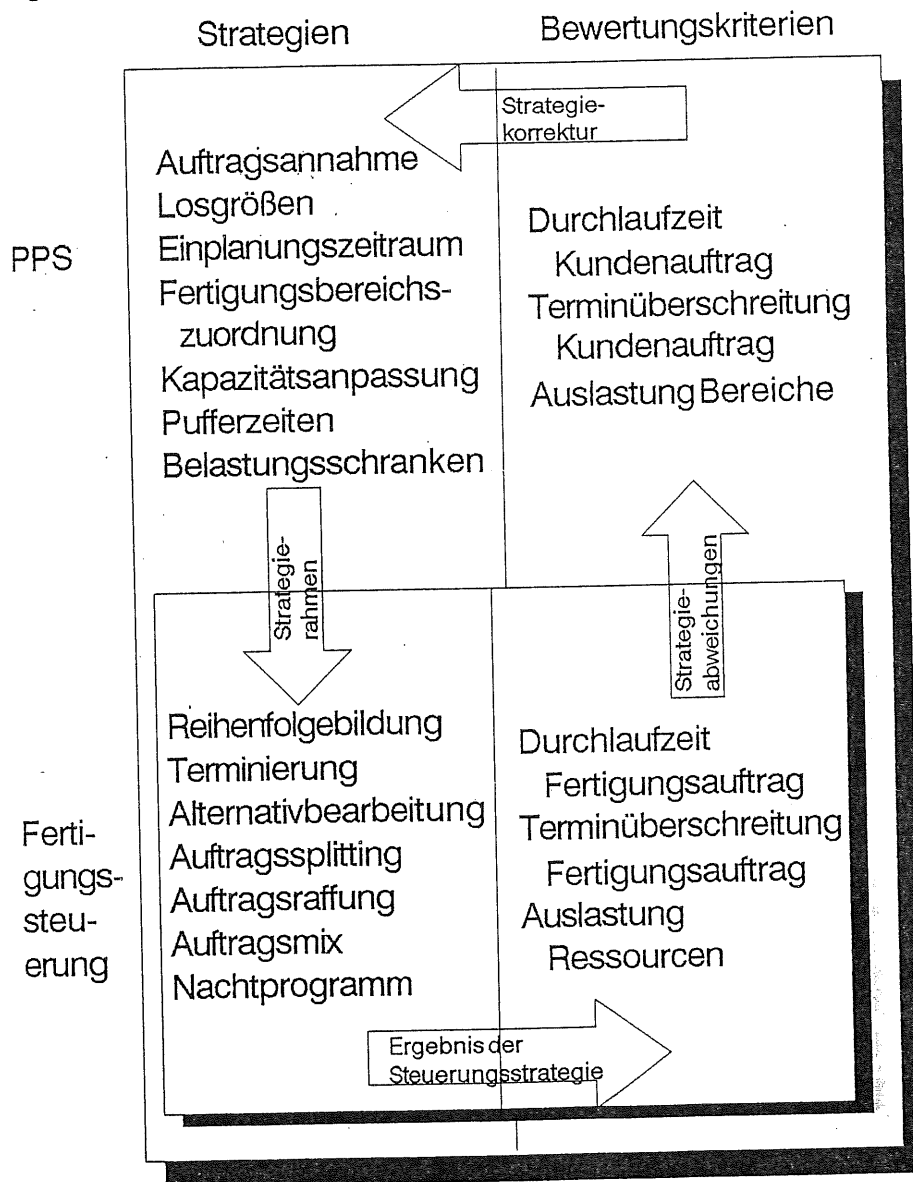


Abb. 12: Integriertes Simulationsmodell bei verteilter PPS

4.3.3. Kurzfristige Fertigungssteuerung

Die organisatorischen und technologischen Entwicklungen in der Fertigung führen zu der Notwendigkeit, den Bereich der Fertigungssteuerung stärker den individuellen Bedürfnissen des Anwenders anzupassen und die Planungsvorgänge transparenter zu gestalten. In diesem Zusammenhang drängen in den letzten Jahren verstärkt graphische Fertigungsleitstände auf den Markt, die vor allem aus ergonomischer Sicht durch graphische Oberflächengestaltung, Window-Technik und interaktive Benutzerführung überzeugen können.

Auf der anderen Seite wird heute in der wissenschaftlichen Diskussion verstärkt über die Einsatzmöglichkeiten der Simulation für die kurzfristige Fertigungssteuerung diskutiert. Wie jedoch die Simulation innerhalb eines Systems zur Fertigungssteuerung aussehen soll bzw. wie sie eingebunden werden kann, wird in der Literatur und Praxis auf unterschiedliche Weise gelöst.

4.3.3.1. Voraussetzungen der Einbindung der Simulation in Fertigungsleitstände

Um ein Simulationssystem in ein Leitstandskonzept zu integrieren, sind grundsätzlich bestimmte Anforderungen zu erfüllen [43]:

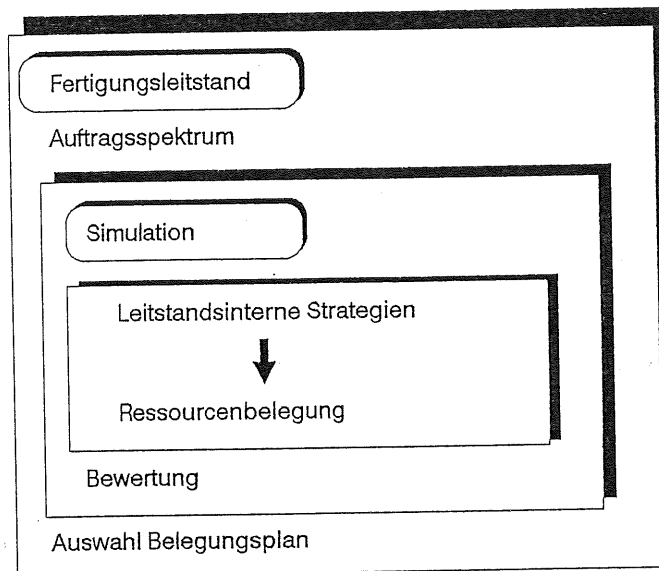
- Die im Simulationsmodell beschriebenen Abläufe müssen eine den Anforderungen des Leitstandes entsprechende Abbildungsgenauigkeit besitzen.
- Der Leitstand muß die von der Simulation benötigten Daten in geeigneter Form bereitstellen, ebenso müssen die im Simulationslauf erzeugten Daten vom Leitstand übernommen werden können.
- Es muß eine komfortable, möglichst graphische Oberfläche existieren, die es dem Benutzer ermöglicht, von der Leitstandsebene aus auf Parameter des Simulationsmodells zuzugreifen.
- Es muß eine Auswahl an möglichen Strategien bereitgestellt werden, die der Benutzer mittels der Simulation testen kann.
- Aktuelle BDE-Daten, wie z.B. der Ausfall einer Maschine, müssen der Simulation sofort zur Verfügung stehen.
- Auswertungen des Simulationssystems müssen in geeigneter Form vom Leitstand visualisiert werden, z.B. als graphische Maschinenbelegungspläne.
- Vom Leitstand müssen alternative Bewertungsmöglichkeiten für die simulierten Fertigungsabläufe bereitgestellt werden.

[43] Vgl. Schmidt, R.: Einsatzmöglichkeiten der Simulation in der Werkstattsteuerung, in: Halin, J. (Hrsg.): Simulationstechnik, 4. Symposium Simulationstechnik, Zürich 1987, S.524f.

4.3.3.2. Möglichkeiten der Einbindung der Simulation in Fertigungsleitstände

Für die Einbindung simulativer Verfahren in Fertigungsleitstände lassen sich folgende Möglichkeiten unterscheiden, die auch aus Abbildung 13 hervorgehen:

1. Ansatz:
Einbindung einer
Simulationsfunktion
zur Analyse der
vom Leitstand
bereitgestellten
Terminierungs-
verfahren



2. Ansatz:
Übernahme von
Leitstandsdaten
durch einen
an die Fertigungs-
umgebung
angepaßten
Simulator

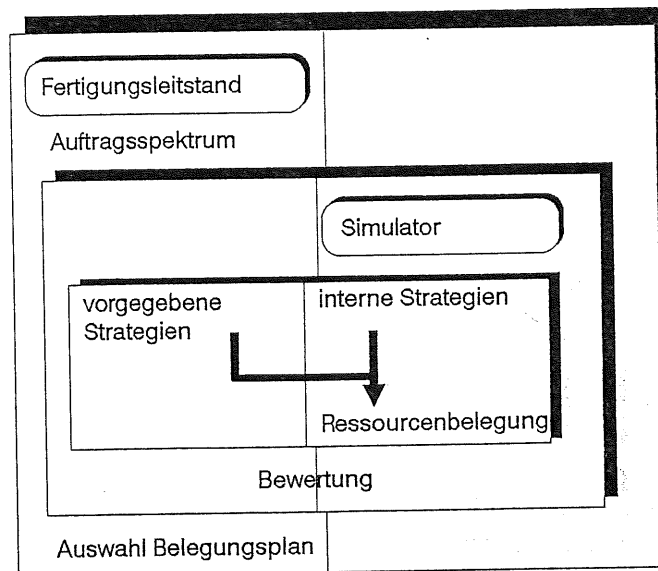


Abb. 13: Integrationsansätze Fertigungsleitstand-Simulation

1. Ansatz: Einbindung einer Simulationsfunktion zur Analyse der vom Leitstand bereitgestellten Daten

Einige Anbieter verstehen unter dem Einsatz der Simulation in Fertigungsleitständen lediglich die Möglichkeit, einen einmal entwickelten Maschinenbelegungsplan entweder zu verwerfen oder als Einplanung zu übernehmen. In der Regel werden dem Disponenten einfache Verfahren zur Belegungsplanung zur Verfügung gestellt (z.B. Vorwärtsterminierung, Rückwärtsterminierung, Engpaßterminierung, Terminierung nach unterschiedlichen, meist einfachen Prioritätsregeln). Die Simulation besteht in der Durchführung unterschiedlicher Verfahren, die zu einem Ergebnis führen, das aus der Plantafel ersichtlich wird. Durch manuelle Umdisposition besteht die Möglichkeit der zusätzlichen Erzeugung von Alternativen. Allerdings wird in der Regel eine differenzierte Bewertung der unterschiedlichen Alternativen und eine vergleichende Darstellung nicht vorgenommen. Durch die Möglichkeit einer differenzierten Bewertung der Alternativen und des Festhaltens von Alternativplänen für spätere Vergleiche läßt sich dieser Ansatz hinsichtlich einer effizienten Entscheidungsunterstützung erweitern.

2. Ansatz: Übernahme von Leitstandsdaten durch einen an die Fertigungsumgebung angepaßten Simulator

In diesem Fall findet eine Trennung zwischen Aufgaben des Leitstandes und Aufgaben des Simulators statt. Dem Leitstand obliegt im wesentlichen die Verwaltung der für die Fertigungssteuerung relevanten Daten. Die eigentlichen Terminierungsvorgänge werden durch einen an den Fertigungsleitstand gekoppelten Simulator durchgeführt, der die Simulationsergebnisse in Form von Ressourcenbelegungen an den Leitstand zurückmeldet. Für die Integration eines Simulators in einen Fertigungsleitstand lassen sich im wesentlichen zwei Möglichkeiten unterscheiden:

- Integration eines Systems zur simulativen Reihenfolgeplanung in den Fertigungsleitstand

Mittlerweile existieren unterschiedliche Spezialsimulatoren zur Reihenfolgeplanung in der Fertigung. Ein Überblick über solche Systeme findet sich beispielsweise bei Schmidt, R. [44]. Bei diesen Systemen ist folgende Vorgehensweise erkennbar:

Der Leitstand stellt die für die Durchführung einer Reihenfolgesimulation benötigten Daten zur Verfügung. Dies sind im wesentlichen:

- Auftragsspektrum für die zu simulierende Periode,
- Arbeitspläne,
- Maschinendaten,
- aktuelle Betriebsdaten (z.B. Störungen).

[44] Vgl. Schmidt, R.: Einsatzmöglichkeiten der Simulation in der Werkstattsteuerung, in: Halin, J. (Hrsg.): Simulationstechnik, 4. Symposium Simulationstechnik, Zürich 1987, S.526ff.

Ausgehend von diesen Daten hat der Benutzer die Möglichkeit, unterschiedliche Auftragsreihenfolgen zu testen, wobei eine mehr oder weniger starke Unterstützung in Richtung Optimierung durch das Verfahren gegeben wird.

Beispielsweise werden für die Fertigungssteuerung angestrebte Zielsetzungen (Rüstzeitminimierung, Maschinenauslastung, Termineinhaltung) als Parameter festgelegt, die während des Simulationslaufs verfolgt werden, wobei der Versuch einer dynamischen Optimierung unternommen wird. Ausgehend von der gewählten Zielsetzung bzw. einer Kombination von Zielsetzungen, wird durch die Beachtung mit den Zielsetzungen korrespondierender Regeln ein Fertigungsplan erzeugt. Dies geschieht im Rahmen eines iterativen Simulationsprozesses, indem eine dynamische Belegung in Abhängigkeit von dem Simulationszustand erstellt wird [45].

- Einsatz ereignisorientierter Simulatoren für die Fertigungssteuerung

In diesem Fall werden ereignisorientierte Simulatoren mit einem übergeordneten Leitstandssystem gekoppelt. Vom Leitstand vorgegebene Rahmendaten (Auftragsecktermine) werden online an den Simulator übergeben, der ein detailliertes Modell der Fertigungsstruktur enthält. Die vom Simulator ermittelten Daten (Warteschlangenlängen, Auslastungen, Maschinenbelegungen) werden an den Leitstand zurückgemeldet. Durch die Veränderung unterschiedlicher Simulationsparameter, z.B. maschinenbezogener Prioritätsregeln, lassen sich unterschiedliche Planalternativen generieren. Insbesondere besteht auch die Möglichkeit, eine Vielzahl von den Ablauf bestimmenden Faktoren (z.B. Verfügbarkeit Werkzeuge, Vorrichtungen, Personal) zu berücksichtigen. Während allgemein einsatzfähige Simulatoren (z.B. SLAM II, SIMAN) einen höheren Programmieraufwand und damit Spezialkenntnisse bei der Modellerstellung erfordern, existieren zunehmend Spezialsimulatoren, die für eng gefaßte Anwendungsbereiche (z.B. FFS, FFZ) geeignet sind. Diese besitzen einen beschränkten Vorrat an Bausteinen, haben aber den Vorteil einer benutzerfreundlichen, interaktiven Modellerstellung.

Nachteile ereignisorientierter Simulatoren liegen in der Datenbeschaffung und in der für einen Simulationslauf benötigten Rechenzeit. Dies kann bei einem hohen Datenvolumen zu Problemen bei Online-Anwendungen führen, wenn die benötigte Rechenzeit zu hohe Anforderungen an menschliche und technische Ressourcen stellt [46]. Ein Vorteil des Einsatzes von ereignisorientierten Simulatoren besteht in der Möglichkeit der simulationsbegleitenden Prozeßvisualisierung (Animation).

[45] Vgl. z.B. *SimAL (Simulationssystem für die Auftragsreihenfolgeplanung und Losgrößenbestimmung) - Ein Instrument für die Werkstattsteuerung, Funktionsbeschreibung der SimulationsDienstleistungsZentrum GmbH, Dortmund 1989.*

[46] Vgl. Schmidt, G.: *CAM: Algorithmen und Decision Support für die Fertigungssteuerung, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1989, S. 34.*

Der bei der Kopplung zwischen Fertigungsleitstand und Simulation stattfindende Datenaustausch geht zusammengefaßt ans Abbildung 14 hervor.

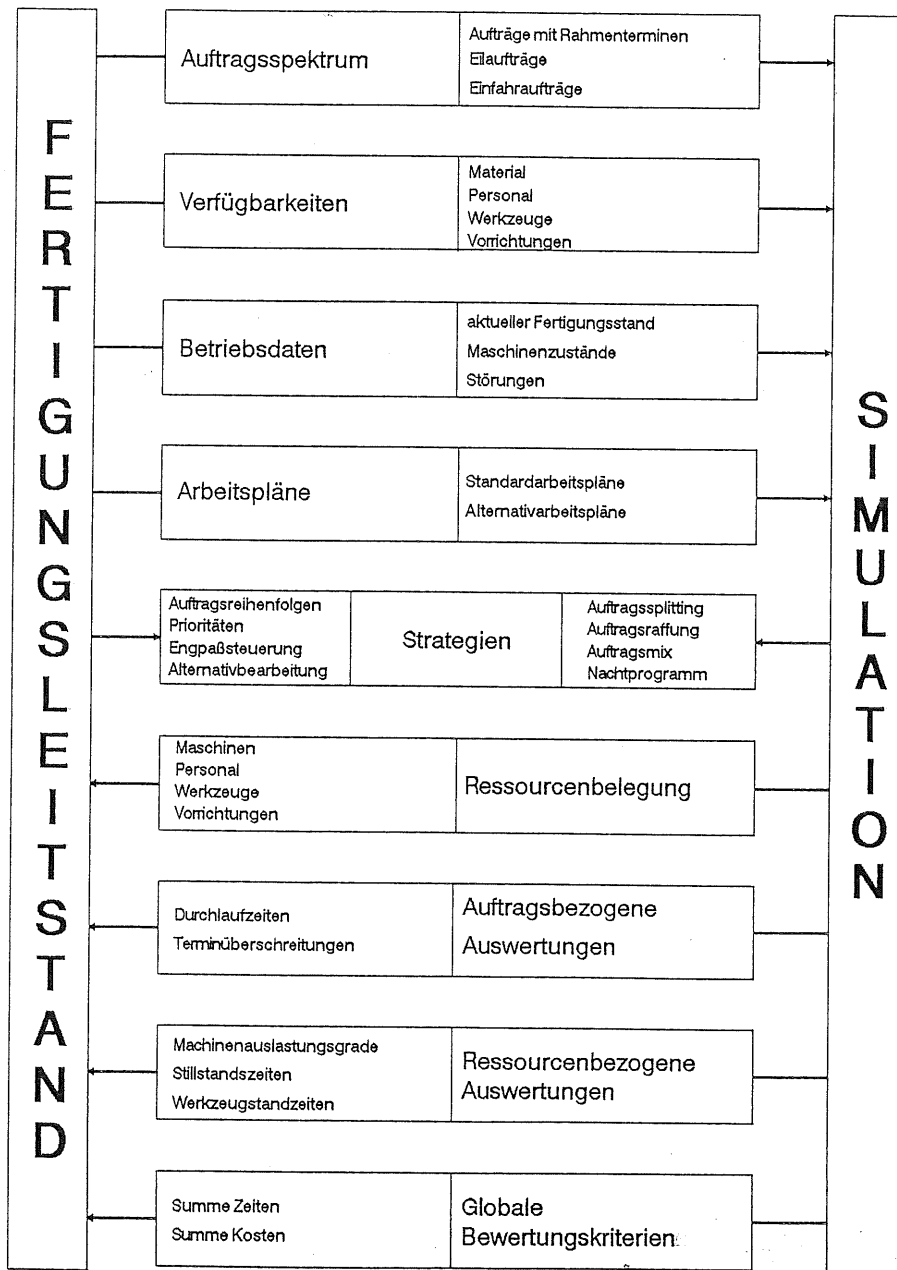


Abb. 14: Zusammenhang Fertigungsleitstand - Simulation

4.3.3.3. Konzeption eines simulationsgestützten Steuerungssystems

Der Ablauf der Fertigungssteuerung ist als ein Prozeß zu verstehen, innerhalb dessen der Anwender unter Nutzung von Rechnerleistung und Graphikmöglichkeiten in Zusammenarbeit mit dem Steuerungssystem eine zufriedenstellende Lösung erarbeitet.

Wie Simulations- und Animationstechniken diesbezüglich in ein Fertigungssteuerungskonzept integriert werden können, zeigt Abbildung 15.

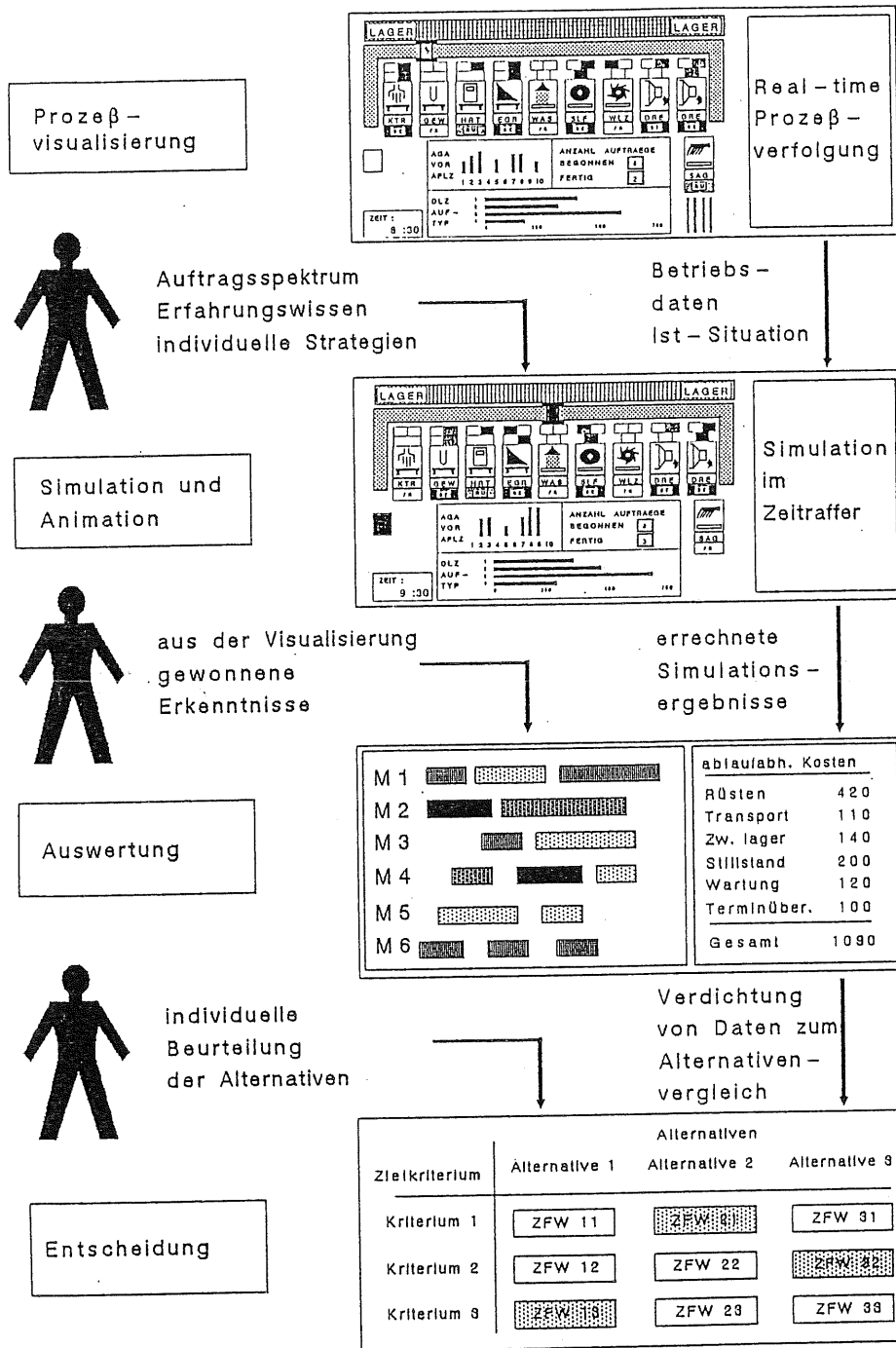


Abb. 15: Integration von Simulations- und Animationstechniken in die Fertigungssteuerung

Im Rahmen einer auf den erfaßten Betriebsdaten aufbauenden Prozeßvisualisierung erhält der Benutzer einen Überblick über den aktuellen Stand seiner Fertigung; insbesondere ist er durch die realitätsnahe graphische Darstellung in der Lage, schon frühzeitig Problembereiche, wie zum Beispiel das Auftreten eines Engpasses, zu erkennen. Ausgehend von der sich aus den aktuellen Betriebsdaten ergebenden Ist-Situation können individuelle Strategien zur Terminierung des noch ausstehenden Auftragspektrums, zur Auflösung von Engpässen oder zur Behebung sonstiger Konfliktsituationen angestoßen werden, die sich im Zeitraffer auf derselben graphischen Oberfläche simulieren lassen. Diese Vorgehensweise kann als iterativer Prozess gestaltet werden, indem Systemzustände zu bestimmten Simulationszeitpunkten festgehalten und neue Strategien, aufbauend auf den bisherigen Simulationsergebnissen, angestoßen werden. Zusätzlich zu der dynamischen Darstellung des Fertigungsablaufs im Rahmen einer Animation, aus dem der Anwender Erkenntnisse über die Auswirkungen der gewählten Strategie ziehen kann, werden eine Vielzahl von Simulationsergebnissen für die weitere Analyse bereitgestellt (Durchlaufzeiten, Längen von Warteschlangen, Maschinenauslastungen, Maschinenausfälle), die beispielsweise in Form von Maschinenbelegungsplänen, Auslastungsgraden, Durchlaufzeitdiagrammen oder Störverteilungen dargestellt werden können. Für eine allgemeine Beurteilung einer Strategie bietet sich die Erfassung der ablaufabhängigen Kosten als Bewertungsmaßstab an [47]. Hierbei wird versucht, durch Erfassung der strategieabhängigen kostenrelevanten Daten einen verständlichen und objektiven Bewertungsmaßstab zu finden.

Durch interaktive Variation der Simulationsparameter (z.B. Auftragsprioritäten, Alternativbearbeitungen) lassen sich unterschiedliche Planalternativen generieren, die für die Analyse festgehalten werden. Die Bewertung der Alternativen erfolgt durch eine Verdichtung der entscheidungsrelevanten Daten nach unterschiedlichen Zielkriterien, die die Grundlage für die Entscheidung des Anwenders bilden. So sind als Zielkriterien neben den ablaufabhängigen Kosten beispielsweise die mittleren Durchlaufzeiten oder die Summe der Terminüberschreitungen möglich.

Der Anwender ist innerhalb dieses Konzeptes in die Vorgänge der Auswahl zu simulierender Steuerungsstrategien, der Auswertung von Strategien und den Vergleich von Alternativen eingebunden und besitzt in diesen Bereichen Entscheidungsspielräume.

[47] Vgl. hierzu auch Knoop, J.: *Online-Kostenrechnung für die CIM-Planung*, Berlin 1986, S. 47f.

5. Bedeutung der Animation als dynamische Visualisierung von Simulationsabläufen

Der Begriff der Computer-Animation stammt aus dem Bereich der graphischen Datenverarbeitung und steht allgemein für die Darstellung von bewegten Bildern oder Objekten im Zeitablauf.

Diese Technik wird mittlerweile im Zusammenhang mit entsprechenden Simulationssystemen verstärkt für die Lösung technisch-betriebswirtschaftlicher Problemstellungen, insbesondere im Bereich der Planung, Steuerung und Überwachung von Produktionssystemen und logistischen Systemen, genutzt. Hier bietet die Animation eine neue Form der Darstellung von Simulationsergebnissen, die die bisher üblichen Statistiken und statischen Graphiken, wie Histogramme oder Tortendiagramme, in sinnvoller Weise ergänzt.

"It is said that a picture is worth a thousand words (more than ten thousand, according to the old Chinese proverb), and a picture which moves is often worth at least a thousand static pictures" [48].

Ausgehend von dieser Erkenntnis bieten mittlerweile zahlreiche Entwickler von Simulationssystemen die Möglichkeit einer zusätzlichen Animation der simulierten Ereignisse und Abläufe. Diese Animationen verstehen sich teilweise als eigenständige Systeme, die optional zu der Simulationssoftware zu erhalten sind, zum Teil sind Simulation und Animation als integriertes Software-Paket zu beziehen. Mit der zunehmenden Entwicklung graphisch-interaktiver Simulationssysteme geht die Abgrenzung zwischen Simulation und Animation immer mehr verloren.

Bei der Durchführung einer Simulation dient die Animation dazu, das Verhalten beweglicher Systemelemente sowie die Zustandsveränderungen von Systemelementen durch den Einsatz unterschiedlicher Graphiksymbole und durch Farbwechsel transparent zu gestalten. Bezogen auf eine fertigungstechnische Anwendung, kann es sich bei den beweglichen Objekten beispielsweise um Paletten mit zu bearbeitenden Werkstücken oder um Fördermittel (fahrerlose Transportsysteme, Gabelstapler) handeln.

Hier bietet sich die modellhafte Abbildung komplexer Fertigungssysteme anhand geeigneter Graphikelemente an, um Probleme der Auslegung, Planung, Steuerung und Überwachung dieser Systeme einfacher lösen zu können.

So kann, wie in Abbildung 16 angedeutet, für eine flexible Fertigungszelle durch den Einsatz von Animationstechniken der Werkstückfluß durch das System simulativ verfolgt und visualisiert werden. Beispielsweise stellt der Fertigungssteuerer das Programm für die bedienerlose Nachtschicht zusammen und läßt sich die Auswirkungen unterschiedlicher Planungsstrategien (Auftragsreihenfolge, Auftragsmix) anzeigen. Schwachstellen des Systems, wie z.B. das Fehlen eines benötigten Werkzeugs, werden durch die Visualisierung schnell ersichtlich.

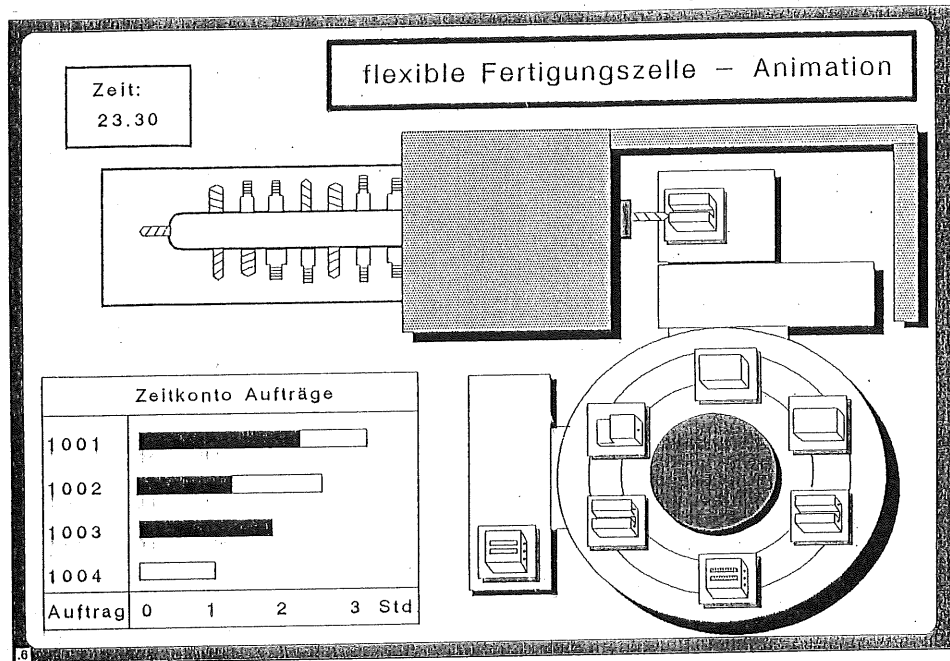


Abb. 16: Animation einer flexiblen Fertigungszelle

Für die Entwicklung einer animierten Simulationsstudie lassen sich einzelne Phasen definieren:

1. **Problemformulierung:** Die Festlegung des zu analysierenden Problems bestimmt wesentlich die graphische Gestaltung (z.B. Entwurf eines Materialflußsystems, Steuerung eines flexiblen Fertigungssystems).
2. **Graphische Darstellung:** Es muß die Frage geklärt werden, in welcher Form die abzubildende Information graphisch umgesetzt wird. Hierbei lassen sich Gegensatzpaare definieren, die je nach Intention des Anwenders zu unterschiedlichen Ausprägungen einer Animation führen können, z.B.:
 realitätsnahe Abbildung - stark abstrahierte Abbildung,
 hoher Detaillierungsgrad - Beschränkung auf wesentliche Abläufe.
3. **Entwurf des statischen Teils:** Es werden diejenigen Komponenten festgelegt, die sich während der Animation nicht verändern. Diese stellen somit den Hintergrund für die Bildfolge dar (z.B. Darstellung von Maschinenumrissen, Transportwegen).
4. **Entwurf des dynamischen Teils:** Die beweglichen oder veränderbaren Elemente für die Animation werden definiert (z.B. Paletten, die sich innerhalb eines Fertigungssystems bewegen, Betriebsmittel, die ihren Zustand verändern).
5. **Verknüpfung der Simulationsereignisse mit der Animation:** Es muß sichergestellt werden, daß die innerhalb eines Simulationsmodells errechneten Vorgänge und Ereignisse in einer aussagefähigen Form durch die Animation visualisiert werden. Dazu muß ein Bezug hergestellt werden zwischen den Objekten (Entities) in einem Simulationsmodell und den sie repräsentierenden graphischen Symbolen.
6. **Animation:** Bei dem eigentlichen Animationsvorgang werden dem Anwender die Simulationsereignisse als Folge von dynamischen Bildern angezeigt, so daß Bewegungsvorgänge und Zustandsveränderungen transparent werden.
7. **Auswertung und Analyse:** Die durch die Animation optisch aufgenommenen Eindrücke (z.B. Engpaßbildungen, Kollisionen) bilden die Grundlage für eine Bewertung der simulierten Situation.

Während bei einer Vielzahl der vorhandenen Animationssysteme eine weitgehend getrennte Entwicklung des Simulationsmodells und der darauf aufbauenden Animation erfolgt, was zu der Notwendigkeit einer gegenseitigen Abstimmung führt, werden mittlerweile, insbesondere zur Abbildung von Fertigungs- und Materialflußsystemen, verstärkt integrierte Systeme entwickelt, die eine graphisch-interaktive Modellerstellung unterstützen. Hierbei setzt der Entwickler eines Simulationsmodells am Bildschirm mit Hilfe vordefinierter Symbole (z.B. Maschinen, Paletten, Transportwege) das Layout des zu simulierenden Bereiches zusammen. Mit Hilfe zusätzlicher, vom System interaktiv abgefragter Informationen wird dann ein Simulationsmodell generiert, wodurch ein wesentlicher Programmieraufwand entfällt. Beispiele für graphisch-interaktive Simulatoren sind DOSIMIS-3 [49], GISA [50], SIMPLE [51], SIMFLEX/2 [52] und GRAFSIM [53]. Hier bildet das bei der Erstellung des Simulationsmodells erzeugte Layout die Basis für die Animation.

5.1. Nutzeneffekte der Animation

Die Animation im Rahmen einer Simulation ist nicht nur ein graphisches Hilfsmittel zur Präsentation der Simulationsergebnisse, sondern unterstützt auch die anderen Phasen des Simulationsprozesses. Damit läßt sie sich einsetzen zur:

- Verbesserung der Aufbauphasen eines Modells,
- Verbesserung der Kommunikation zwischen dem Simulationsexperten und dem Anwender,
- Verbesserung der Analysemöglichkeiten,
- Verbesserung der Anwender- und Managementpräsentation [54].

In der Praxis hat es sich als sinnvoll erwiesen, begleitend zum Aufbau eines Simulationsmodells eine entsprechende Animation zu erstellen, d.h. Simulationsmodell und Animation werden jeweils sukzessive erweitert. Dadurch wird die Fehlersuche erleichtert und die Verifikation des Simulationsmodells, d.h. die Überprüfung, ob das auf dem Computer implementierte Modell das zugrundeliegende abstrakte Modell korrekt wiedergibt, unterstützt. Auch in der Phase der Validierung, d.h. der Überprüfung, ob das Modell innerhalb der geforderten Genauigkeit mit dem realen System übereinstimmt, läßt sich die Animation als Unterstützungsinstrument für den Experten, beispielsweise einen Fertigungsingenieur, sinnvoll einsetzen, da sie ihm, der mit den komplizierten Strukturen eines Simulationsmodells in der Regel weniger vertraut ist, das Verständnis der simulierten Abläufe erleichtert und damit eine Basis für den Vergleich des Modells mit den realen Systembedingungen schafft.

[49] Vgl. o.V.: *DOSIMIS-3. Der benutzerfreundliche Simulator für Materialfluß- und Produktionssysteme*, Hrsg.: SimulationsDienstleistungszentrum GmbH, Dortmund.

[50] Vgl. Eversheim, W.; Thome, H. G.: *Graphisch interaktive Simulation von Fertigungssystemen*, VDI-Z 130(1987)5, S. 71.

[51] Vgl. Becker, B. D.: *Modelldesign und Software-Ergonomie in Simulationsverfahren der Fertigungstechnik*, in: *Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Fabrikbetrieb*, München 1988, S. 460f.

[52] Vgl. Reinhardt, A., Kühne, K.: *Modellbausteine und Werkzeuge für den Anlagenbau - Entwurf, Dimensionierung und Angebotserstellung*, in: Ameling, W. (Hrsg.): *Simulationstechnik, 5. Symposium Simulationstechnik*, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 464f.

[53] Vgl. o.V.: *GRAFSIM, Simulationssystem für Fertigungseinrichtungen, Systembeschreibung der Fa. SIEMENS*, 1988.

[54] Vgl. Smith, R.L., Platt, L.: *Benefits Of Animation In The Simulation Of A Machining And Assembly Line*, *Simulation* 48(1987)1, S. 28f.

Die Animation wird somit zu einem wesentlichen Bindeglied zwischen dem Simulationsexperten und dem systemvertrauten Anwender. Mit der Verbesserung der Kommunikation zwischen dem Ersteller eines Simulationsmodells und dem Anwender sind eine Reihe von Synergieeffekten verbunden, die die Entwicklung einer Simulationsstudie begünstigen:

- Erhöhte Akzeptanz: Der Anwender kann aktiv in die Modellentwicklung einbezogen werden, was sich auf die spätere Akzeptanz der Simulation positiv auswirkt.
- Zeitersparnis bei der Modellierung: Durch die Animation ist für den Anwender eine schnellere Erfassung der im Modell implementierten Logik möglich. Somit entfallen zeitraubende Erläuterungen der simulierten Strukturen.
- Schnellere Optimierung durch Einbezug von Fachkenntnissen: Zur Verbesserung des realen Systems aufgrund der Ergebnisse eines Simulationsmodells kann die Animation eine zusätzliche Unterstützung liefern, indem sie dem Anwender, der ansonsten nur in Form von Statistiken angezeigt bekommt, was geschehen ist, auch anzeigt, wie es innerhalb des Simulationsablaufs zu einer bestimmten Situation kam.
- Vermeidung von Informationsverlusten: Insbesondere bei graphisch-interaktiven Softwarepaketen, die eine Modellerstellung unter Nutzung vorgegebener oder frei definierbarer Systemelemente erlauben, wird der Anwender zunehmend in die Lage versetzt, das Simulationsmodell selbst zu entwickeln. Indem der systemvertraute Anwender sein Fachwissen direkt in das Simulationsmodell einfließen läßt, werden somit Informationsverluste zwischen Anwender und Simulationsexperte verringert.

Bezüglich der Analyse des Simulationsmodells bietet die Animation zusätzliche Nutzeneffekte, indem das dynamische Verhalten und die Wechselwirkungen innerhalb des simulierten Systems transparent werden. Insbesondere lassen sich das zeitliche Auftreten und die Ursachen von Konfliktsituationen, wie Engpässe vor Maschinen, besser erkennen [55].

Ein wesentlicher Vorteil der Animation liegt in der Verbesserung der Ergebnispräsentation. Da bei einer Präsentation vor dem Management die Darbietung der für eine spätere Entscheidung relevanten Daten von entscheidender Bedeutung ist, kann hier durch den Einsatz der Animation die Aufmerksamkeit des Betrachters erhöht und die Glaubwürdigkeit der Aussagen verbessert werden. Insbesondere verlangt das Management nach einer komprimierten, möglichst anschaulichen Darstellung entscheidungsrelevanter Daten. Die Animation wird dieser Forderung gerecht, denn durch Bilder werden Informationen schneller übermittelt und vom Menschen aufgenommen, als dies durch Zahlentabellen und Textzeilen möglich ist [56].

[55] Vgl. Johnson, M.E., Poorte, J.P.: *A Hierarchical Approach To Computer Animation In Simulation Modeling*, *Simulation* 50(1988)1, S. 30f.

[56] Vgl. Straßer, W.: *Graphische Datenverarbeitung heute - eine Bestandsaufnahme*, *Handbuch der modernen Datenverarbeitung* 127(1986), S. 4.

5.2. Gefahren der Animation

An dieser Stelle soll auch auf die Gefahren hingewiesen werden, die sich durch die Darstellung von Simulationsabläufen durch Animation ergeben [57]. Solche Gefahren sind:

- Überschätzung der Aussagekraft der Animation: Die Animation stellt keinen Ersatz für zielgerichtete Simulationsexperimente und deren Analyse unter Berücksichtigung der statistischen Ergebnisse dar. Sie sollte stets in Verbindung mit anderen Analysen betrachtet werden, um zu einer tieferen Einsicht in das Modellverhalten zu gelangen.
- Verschleierung wesentlicher Simulationsergebnisse: Durch eine aufwendige graphische Gestaltung einer Animation ist die Gefahr gegeben, daß wichtige Erkenntnisse im Verlauf einer Simulation wenig zur Geltung kommen, während unwesentliche Details die Aufmerksamkeit des Betrachters in Anspruch nehmen. Das Darstellungsniveau des Animationslayouts sollte sich daher an der Präsentation signifikanter Systemzustände orientieren [58].
- Manipulation des Betrachters: Die Animation als Zusatz zu einem Simulationssystem kann so gestaltet werden, daß wichtige Daten nicht am Bildschirm angezeigt oder sogar bewußt eine falsche Darstellung erzeugt wird, um den Entscheidungsprozeß des Betrachters zu beeinflussen.

5.3. Beurteilungskriterien für graphisch animierte Simulationen

Um die Leistungsfähigkeit einer Animation zu beurteilen, lassen sich unterschiedliche Kriterien heranziehen, wie sie aus Abbildung 17 ersichtlich werden:

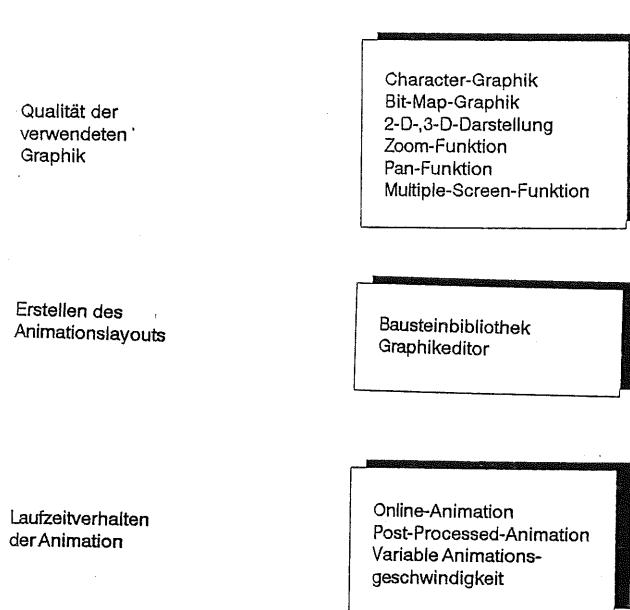


Abb. 17: Beurteilungskriterien für Animationssysteme

[57] Vgl. Schmidt, B.: *Simulation von Produktionssystemen*, in: Feldmann, K., Schmidt, B. (Hrsg.): *Simulation in der Fertigungstechnik*, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 23f.

[58] Vgl. Healy, K.J.: *CINEMA Tutorial*, in: *Society for Computer Simulation (Hrsg.): Proceedings Of The 1986 Winter Simulation Conference*, San Diego 1986, S. 207.

Die Qualität der verwendeten Graphik reicht von einer Abbildung mittels einfachster Graphiksymbole bis hin zur komplexen 3-D-Graphik.

So werden bei einigen Systemen die animierten Elemente in Form einer Character-Graphik als Zeichen oder Zeichenkombinationen dargestellt (z.B. FT1 für einen fahrerlosen Transporter), während bei Bit-Map-Graphiken die Gestaltung realitätsnaher Symbole möglich ist. Mittlerweile existieren auch Systeme, die eine dreidimensionale Graphikdarstellung bieten [59].

Im Rahmen der mittlerweile verstärkt vorangetriebenen Kopplung von CAD- und Simulationssystemen ist durch die Schaffung geeigneter Schnittstellen für die Übernahme von CAD-Zeichnungen zur Erstellung des Animationslayouts ein wesentlicher Schritt in Richtung einer realistischen, detailgetreuen Darstellung ermöglicht worden [60].

Um die Aussagefähigkeit der Animation zu erhöhen, existieren in den einzelnen Systemen zusätzliche Unterstützungsmöglichkeiten. Dies sind insbesondere [61]:

- Zoom-Funktion:

Durch Verwendung einer Zoom-Funktion können Ausschnitte aus dem betrachteten System durch Vergrößerung anschaulicher dargestellt werden. So ergibt sich beispielsweise die Möglichkeit sowohl einer globalen Betrachtung einer Fabrikhalle wie auch der detaillierteren Betrachtung einzelner Maschinen.

- Pan-Funktion:

Die Pan-Funktion bewirkt ein "Schwenken" des Bildschirmausschnitts über die Gesamtdarstellung im Bildspeicher [62]. Da bei der Darstellung komplexer Produktions- oder Logistiksysteme ein Gesamtüberblick in einer hinreichenden Darstellungsgröße nicht möglich ist, wird durch das Panen ein bestimmter Bereich des Gesamtbildes im Bildspeicher markiert und auf dem Bildschirm dargestellt, wodurch sich das animierte Modell bereichsweise betrachten läßt.

- Multiple-Screen-Technik:

Durch Umschalten auf unterschiedliche Bildschirmdarstellungen lassen sich unterschiedliche Auswertungssichten eines zugrundelegenden Simulationsmodells während desselben Simulationslaufs graphisch animieren.

[59] Vgl. o.V.: Produktbeschreibung AUTOMOD/AUTOGRAM der Fa. DIGITAL ART, Düsseldorf 1988.

[60] Vgl. Pham, T.T.: Die Kopplung von CAD- und Simulationssystemen, CAD-CAM Report 7(1988)9, S. 111f.

[61] Vgl. Grant, J.W., Weiner, S.A.: Factors To Consider In Choosing A Graphically Animated Simulation System, Industrial Engineering (1986)8, S. 37f.

[62] Vgl. Schwaiger, L.: CAD-Begriffe, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1987, S. 179.

Bei der Erstellung des Animationslayouts und der Entwicklung der beweglichen Animationsobjekte sind unterschiedliche Ansätze festzustellen. So werden in verschiedenen Systemen Bausteinbibliotheken angeboten, die mehr oder weniger stark abstrahierte Symbole für Systemelemente enthalten. Dies ist besonders bei graphisch-interaktiven Simulatoren der Fall, die in der Regel auf einen bestimmten Anwendungsbereich, z.B. zur Simulation von flexiblen Fertigungssystemen oder Materialflußsystemen, beschränkt sind. Vorteile entstehen bei der Verwendung von Bausteinbibliotheken dadurch, daß der zeitraubende Aufbau eigener Symbole mittels eines Graphik-Editors entfällt. Dabei stellt jedoch die Auswahl und die Gestaltung der für eine effiziente Problemlösung notwendigen Symbole ein entscheidendes Problem dar. Während die Animation auf Basis schematischer Bausteinsymbole sich für die Lösung anwendungsorientierter Problemstellungen als geeignet erwiesen hat, werden für Präsentationszwecke in der Regel höhere Anforderungen an die graphische Gestaltung des Animationslayouts gestellt.

Durch das Vorhandensein eines Graphikeditors erhöhen sich für den Anwender die gestalterischen Möglichkeiten bei der Entwicklung der beweglichen und unbeweglichen Symbole, allerdings erfordert die Symbolerstellung einen hohen Zeitaufwand. Durch das Abspeichern selbsterzeugter Symbole in Bibliotheken können hier Rationalisierungseffekte erzielt werden.

Bezüglich des Laufzeitverhaltens einer Animation läßt sich die Online-Animation bzw. die "Post-Processed"-Animation unterscheiden.

Bei einer "Post-Processed"-Animation wird zunächst ein Simulationslauf ohne graphische Visualisierung durchgeführt. Die Simulationsereignisse werden in einem Trace-File festgehalten. Erst nach beendeter Simulation können die Simulationsereignisse in einem "Play-Back"-Verfahren als Animation aufgerufen werden [63]. Dies hat zur Folge, daß während der Animation erkannte Fehler im Simulationsmodell nicht sofort beseitigt werden können, sondern die Simulation erst nach Abschluß der Animation mit veränderten Modellstrukturen neu gestartet werden kann. Sinnvoll ist eine "Post-Processed"-Animation vor allem bei Präsentationen zur Verdeutlichung bestimmter simulierter Zeitintervalle.

Bei Online-Animation läuft die Animation zeitgleich mit der Simulation ab. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit der Beseitigung durch die Animation sichtbarer Modellfehler beziehungsweise des Änderns von Parametern als interaktiver Prozeß, bei dem die laufende Simulation angehalten wird, Änderungen vorgenommen werden und die Simulation an der unterbrochenen Stelle fortgesetzt wird.

Insbesondere bei einer interaktiven Online-Animation ist auch die Möglichkeit der variablen Gestaltung der Animationsgeschwindigkeit von Bedeutung. Durch einen entsprechend hohen Zeitraffungsfaktor können weniger wesentliche Zeitintervalle schnell übergangen werden, während Detailuntersuchungen durch eine entsprechend langsame Animationsgeschwindigkeit bzw. durch die schrittweise Abarbeitung einzelner Simulationsereignisse (Step-Modus) ermöglicht werden.

Zur Zeit existieren auf dem Markt eine Vielzahl graphisch animierter Simulationssysteme sowohl auf PC's wie auch auf Graphik-Workstations, wobei eine stetige Weiterentwicklung der Systeme festzustellen ist.

[63] Vgl. Grant, J.W., Weiner, S.A.: *Factors To Consider In Choosing A Graphically Animated Simulation System*, *Industrial Engineering* (1986)8, S. 65f.

6. Nutzung von Simulations- und Animationstechniken in der kurzfristigen Fertigungssteuerung am Beispiel eines Prototypen

Am Institut für Wirtschaftsinformatik ist im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsprojektes ein Prototyp entwickelt worden, der die Einsatzmöglichkeiten von Simulations- und Animationstechniken im Bereich der kurzfristigen Fertigungssteuerung dezentraler, flexibel automatisierter Fertigungsbereiche aufzeigen soll. Der Prototyp basiert auf der Simulationssprache SIMAN und der zugehörigen Animationssoftware CINEMA, die dispositiven Leitstandsfunktionen sind in der Programmiersprache C implementiert. Exemplarisch wurde für den zu steuernden Bereich eine flexible Fertigungszelle mit mehreren konventionellen Arbeitsplätzen, die als Ausweicarbeitsplätze dienen, sowie einem vorgelagerten Arbeitsplatz (Säge) und einem nachgelagerten Arbeitsplatz (Kontrolle) als Simulationsmodell und als graphisches Layout abgebildet. Abbildung 18 zeigt das Layout des betrachteten Bereichs:

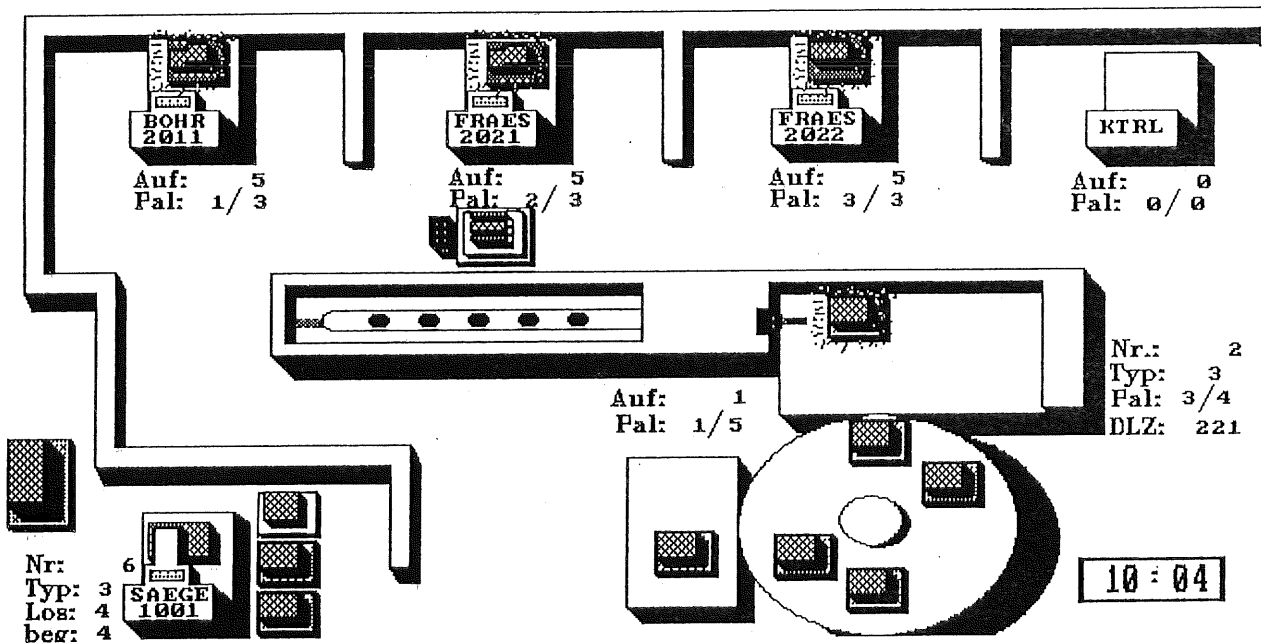


Abb. 18: Teilautonomer Fertigungsbereich

Der grundsätzliche Aufbau des Prototypen wird aus Abbildung 19 ersichtlich.

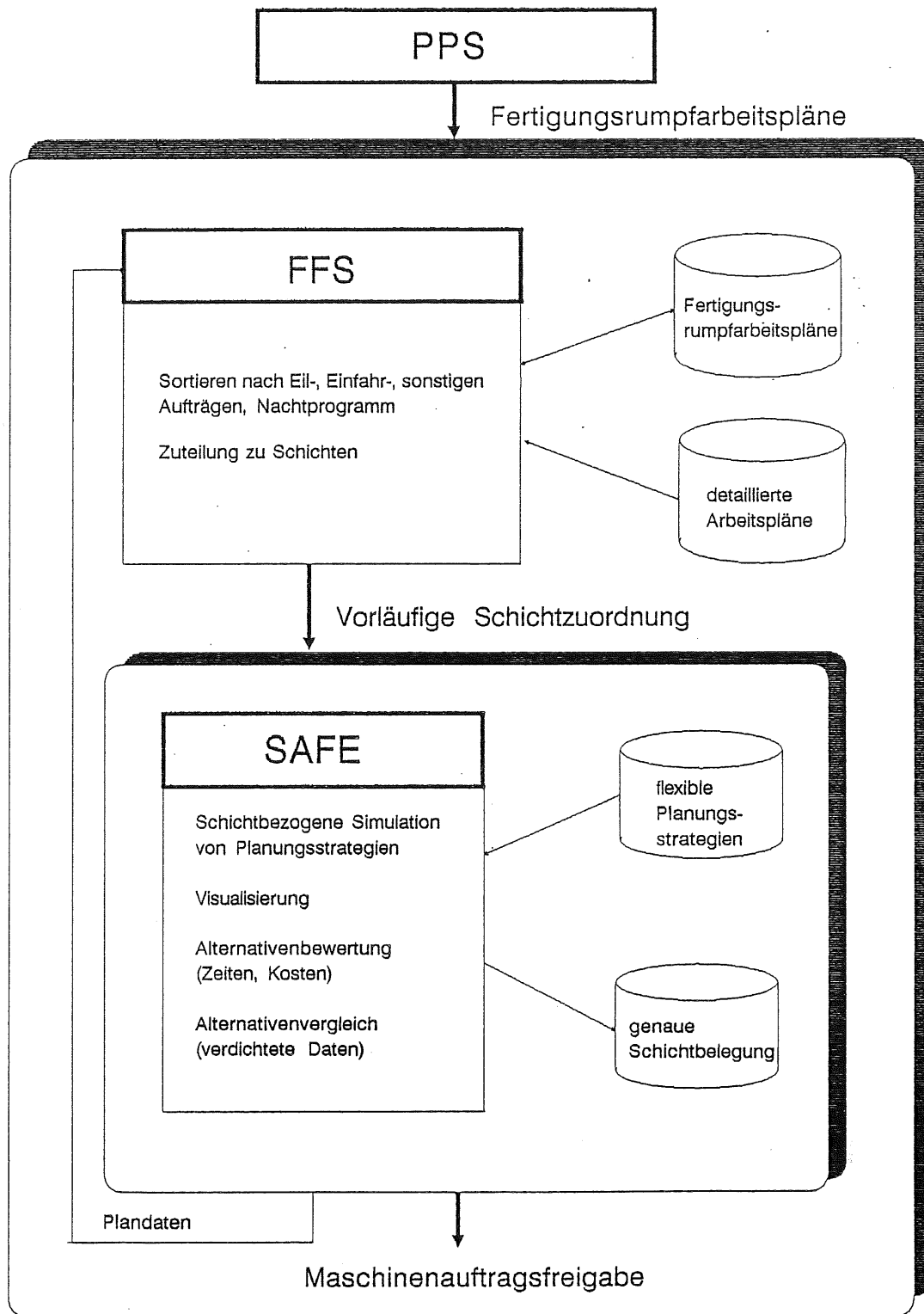


Abb. 19: Aufbau des Prototypen

Aus der übergeordneten Produktionsplanung und -steuerung werden Fertigungsaufträge in Form von Fertigungsrumpfarbeitsplänen an den dezentralen Bereich übergeben. In einem vorgelagerten Planungssystem FFS (Flexible Fertigungssteuerung) erfolgt eine Sortierung der Aufträge nach Eilaufträgen, Einfahraufträgen, sonstigen Aufträgen sowie dem in der bedienerlosen Schicht zu fertigenden Nachtprogramm. Die Aufträge werden dann in einem weiteren Schritt einzelnen Schichten zugeteilt. So werden beispielsweise Einfahraufträge wegen der damit verbundenen Personalbereitschaft in die erste Schicht disponiert, während Eilaufträge in die erste und zweite Schicht beziehungsweise schichtübergreifend geplant werden können. Sonstige Aufträge werden der zweiten Schicht zugeordnet, nachtprogrammtaugliche Aufträge werden vorläufig der dritten Schicht zugewiesen.

Auf dieser Ebene werden auch die detaillierten Arbeitspläne gehalten, die je nach Strategie (z.B. Fertigung auf der Fertigungszelle oder Fertigung auf der konventionellen Maschine) mit dem Auftrag verbunden werden können.

Somit ergibt sich eine vorläufige Schichtzuordnung, die an das Modul SAFE (Simulation und Animation in der Fertigungssteuerung) übergeben wird, wo die Simulation erfolgt. Auf dieser Ebene werden für die werkstückbezogene Feinsteuerung der Aufträge flexible Strategien bereitgestellt, wie

- Alternativbearbeitung von Werkstücken,
- Splitten und Rafften von Aufträgen,
- Auftragsmix,
- Änderung von Auftragsreihenfolgen.

Die Auswirkungen der gewählten Strategien werden simuliert und im Rahmen einer Animation dynamisch visualisiert. Durch die Visualisierung wird eine realitätsnahe Abbildung des geplanten Prozesses möglich; im Zeitablauf auftretende Schwachstellen, wie z.B. Engpässe vor Maschinen, werden transparent. Im Anschluß an die Simulation erfolgt eine Bewertung der simulierten Alternative. Hier lassen sich wahlweise die Durchlaufzeiten von Aufträgen als Auftragskonten, die Belegung der Maschinen als Kapazitätskonten sowie die auftrags- und bereichsbezogenen Kosten in Form graphischer Darstellungen anzeigen.

Unterschiedliche simulierte Alternativen können gespeichert und für einen anschließenden Alternativenvergleich herangezogen werden. Der Vergleich von Alternativen erfolgt auf der Basis von verdichteten Daten, wie beispielsweise

- Summe der Durchlaufzeiten,
- Summe der Terminabweichungen,
- Summe der Kosten.

Aus der Entscheidung für eine Alternative ergibt sich eine genaue Schichtbelegung, auf deren Basis die Maschinenauftragsfreigabe erfolgt. Die ermittelten Plandaten werden an das Modul FFS übermittelt, um bei nachfolgenden Dispositionen berücksichtigt werden zu können. Ebenso wird der Auftragsfortschritt in Form von BDE-Meldungen bei der Disposition berücksichtigt.

7. Integration wissensbasierter Systeme und Simulation

Die Integration von wissensbasierten Systemen und Simulation ist in der Literatur zur Zeit ein vieldiskutiertes Thema. Im folgenden sollen Ansätze für die Integration aufgezeigt und ein mögliches Konzept am Beispiel der kurzfristigen Fertigungssteuerung aufgezeigt werden.

7.1. Ansätze für eine Integration von wissensbasierten Systemen und Simulation

Bezüglich der Ansätze zu einer Kopplung von wissensbasierten Systemen mit der Simulation schlägt O'Keefe eine Einteilung vor, die im wesentlichen folgende Punkte beinhaltet: [64]

1. Neue wissensbasierte Simulationstools, die durch die Kombination von Simulations- und wissensbasierten Techniken entstanden sind.
2. Beratungssysteme für die Simulation im Experimentier- und Analysebereich.
3. Intelligente Front-End-Systeme für bereits existierende Simulationspakete.

In der erste Gruppe sind vor allem integrierte wissensbasierte Simulationsumgebungen, wie das auf der Shell KEE basierende SimKit und die auf der Shell Knowledge Craft aufbauenden Simulations- bzw. Graphikpakete Simpapak und Graphpak, zu nennen. Diese Systeme weisen neben der Möglichkeit einer objektorientierten, interaktiven Simulation auch eine graphische Unterstützung in Form von Meßanzeigen bzw. Animation auf [65].

Bei wissensbasierten Beratungssystemen für die Simulation besteht die Motivation darin, dem unerfahrenen Benutzer bei der Durchführung und Analyse von Simulationsexperimenten zu unterstützen. Als Schwerpunkte lassen sich dabei unterscheiden:

- die Konfiguration von Parametern für die durchzuführende Simulation: so kann das wissensbasierte System z.B. Prioritätsregeln oder Schwellwerte festlegen.
- die Auflösung von Konflikten während eines Simulationslaufs: anhand von Schwellwerten (z.B. Terminüberschreitung eines Auftrags, Überschreitung einer bestimmten Warteschlangenlänge) greift das wissensbasierte System ein, indem es Konfliktauflösungsstrategien entwickelt.
- die Analyse der Simulationsergebnisse: das wissensbasierte System analysiert die innerhalb des Simulationslaufs ermittelten Daten und führt eine Bewertung durch, z.B. in Form der Extraktion kostenrelevanter Daten.

Im dritten Fall, den Intelligent-Front-End-Systems, wird der Anwender über ein wissensbasiertes System mit einem traditionellen Simulationspaket verbunden. Sie dienen im wesentlichen der Verbesserung des Benutzerkomforts. Ihre Aufgabe besteht in einer benutzergerechten Unterstützung beim Aufbau der durchzuführenden Simulation, beispielsweise bei einer dialoggeführten Generierung eines Simulationsmodells, oder bei der benutzerorientierten Aufbereitung der Simulationsergebnisse.

[64] Vgl. O'Keefe, R.: *Simulation And Expert Systems - A Taxonomy And Some Examples*, *Simulation* 46(1986)1, S. 12f.

[65] Vgl. dazu z.B.: *Modellbasiertes Schlußfolgern in KEE- und SimKit-Systemen*, *Informationsschrift der Firma IntelliCorp*, 1986, und: *Simpapak/Graphpak*, *Produktbeschreibung der Firma DANET*, 1988.

7.2. Kopplung von wissensbasierten Systemen und Simulation am Beispiel der kurzfristigen Fertigungssteuerung

Im Bereich der kurzfristigen Fertigungssteuerung bietet sich die Kopplung von wissensbasierten Systemen mit der Methode der Simulation aus mehreren Gründen an. So fallen bei der Simulation von Fertigungssteuerungsstrategien eine Vielzahl an Daten über Durchlaufzeiten, Warteschlangenlängen oder Auslastungsgrade an, die dem Anwender als Grundlage für seine Entscheidung dienen. Allerdings fehlt es an einer Unterstützung für den Anwender bei der systematischen und zielorientierten Analyse dieser Informationen und der Herausfilterung der entscheidungsrelevanten Daten. Auch Schlußfolgerungen für den notwendigen Handlungsbedarf zur Verbesserung der Steuerungsstrategie werden nicht bereitgestellt. Für die Generierung neuer Vorschläge für Steuerungsstrategien ist deshalb eine wissensbasierte Entscheidungsunterstützung sinnvoll.

In Abbildung 20 sind zusammenfassend die Interaktionsmöglichkeiten zwischen Benutzer, wissensbasiertem System und Simulation, bezogen auf den Bereich der Fertigungssteuerung, dargestellt.

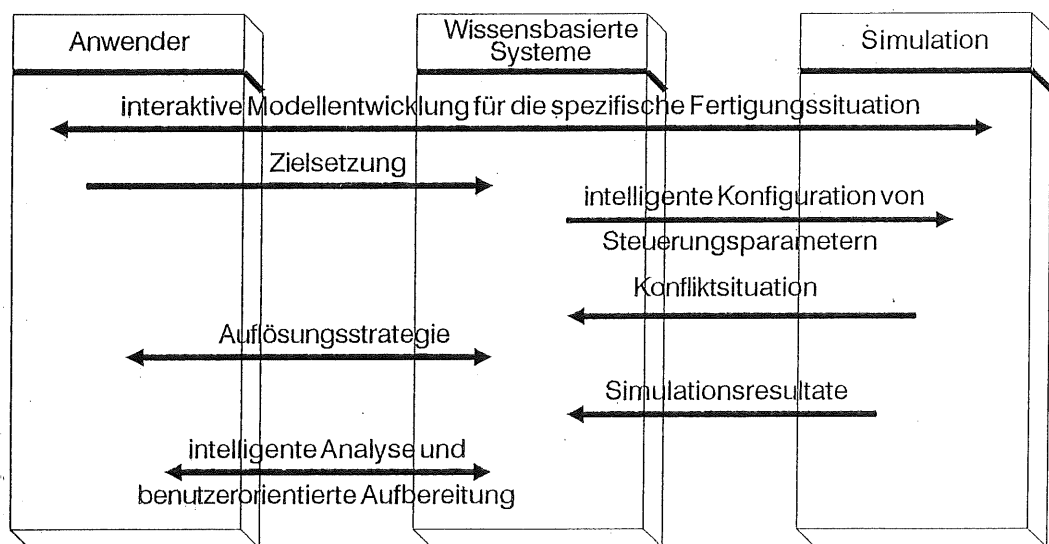


Abb. 20: Interaktionsmodell Anwender - Wissensbasiertes System - Simulation für die Fertigungssteuerung

Mit den bisher in der wissenschaftlichen Forschung aufgezeigten Ansätzen für die Kopplung von wissensbasierten Techniken und Simulation wird deutlich, daß neuere Entwicklungen im Hard- und Softwarebereich zu neuen Denkanstößen für die Entwicklung einer benutzerorientierten Fertigungssteuerung führen können. Die Simulationstechnik wird durch die verstärkten Möglichkeiten der graphischen Visualisierung bzw. durch die interaktive Gestaltung von Simulationssystemen auch dem Fertigungssteuerer, der kein Simulationsexperte ist, zugänglich. In Verbindung mit wissensbasierten Techniken zur Entscheidungsunterstützung des Anwenders lassen sich Ansätze für die Fertigungssteuerung entwickeln, die der Denkweise und dem Vorstellungsvermögen des Anwenders nahekommen. Insbesondere kann durch die Gestaltung eines Mensch-Maschine-Dialogs, der die spezifischen Fähigkeiten der teilnehmenden Parteien optimal ausnutzt, eine zielorientierte Vorgehensweise erreicht werden.

8. Simulation als zentraler Bestandteil integrierter Informationssysteme in CIM

Die Simulationstechnik hat sich als ein bewährtes Hilfsmittel zur Lösung eher technischer Problemstellungen bezüglich der Planung, Gestaltung und Steuerung von Produktions- und Materialflußsystemen erwiesen und wird in diesen Bereichen häufig eingesetzt. Zu beobachten sind jedoch weitgehende Insellösungen bei dem Erstellen simulativer Studien, was bedingt ist durch die mangelnde Integrationsfähigkeit der zur Zeit zur Verfügung stehenden Werkzeuge. Insbesondere fehlt die Verbindung zu Datenbanken und die Bereitstellung geeigneter Benutzerschnittstellen. Dadurch wird die Nutzung der Simulationstechnik im Rahmen integrierter Informationssysteme, insbesondere im Hinblick auf eher betriebswirtschaftlich-planerische Fragestellungen, erschwert. Wünschenswert erscheint es deswegen, die Simulationstechnik als Entscheidungs-unterstützungsinstrument einer Vielzahl von Anwendern zugänglich zu machen.

Bei der Durchführung simulativer Experimente unter Zugrundelegung unterschiedlicher Strategien oder Umweltzuständen lassen sich eine Vielzahl von entscheidungsrelevanten Daten ermitteln. Durch eine entscheidungsorientierte Auswahl und Aufbereitung dieser Daten können unterschiedliche Entscheidungsträger daraus Nutzen ziehen. Einen Ansatz stellt, analog zu der Entwicklung eines Unternehmensdatenmodells, die Entwicklung eines aus einzelnen Teilmodulen zusammengesetzten Unternehmenssimulationsmodells der operativen Ebene dar, auf das die unterschiedlichen Informationssysteme mit ihren spezifischen Anwendungen zugreifen können. Die Simulation eines Auftragsdurchlaufs in einem Unternehmen kann beispielsweise sowohl Informationen für die Produktionsplanung und -steuerung bereitstellen wie auch, durch eine Bewertung mit den verursachten Kosten, Grundlage für die Kalkulation des Erzeugnisses sein. In Abbildung 21 wird anhand der Informationssystempyramide dargestellt, wie die Daten eines zentralen Simulationsmodells der operativen Abläufe im Unternehmen von einer Vielzahl von Informationssystemen genutzt werden können. Dabei liefern die im Rahmen der durchgeführten Simulationsexperimente ermittelten Ergebnisse in entsprechend verdichteter Form die Grundlage für eine Entscheidung auf der jeweiligen Informationssystemebene.

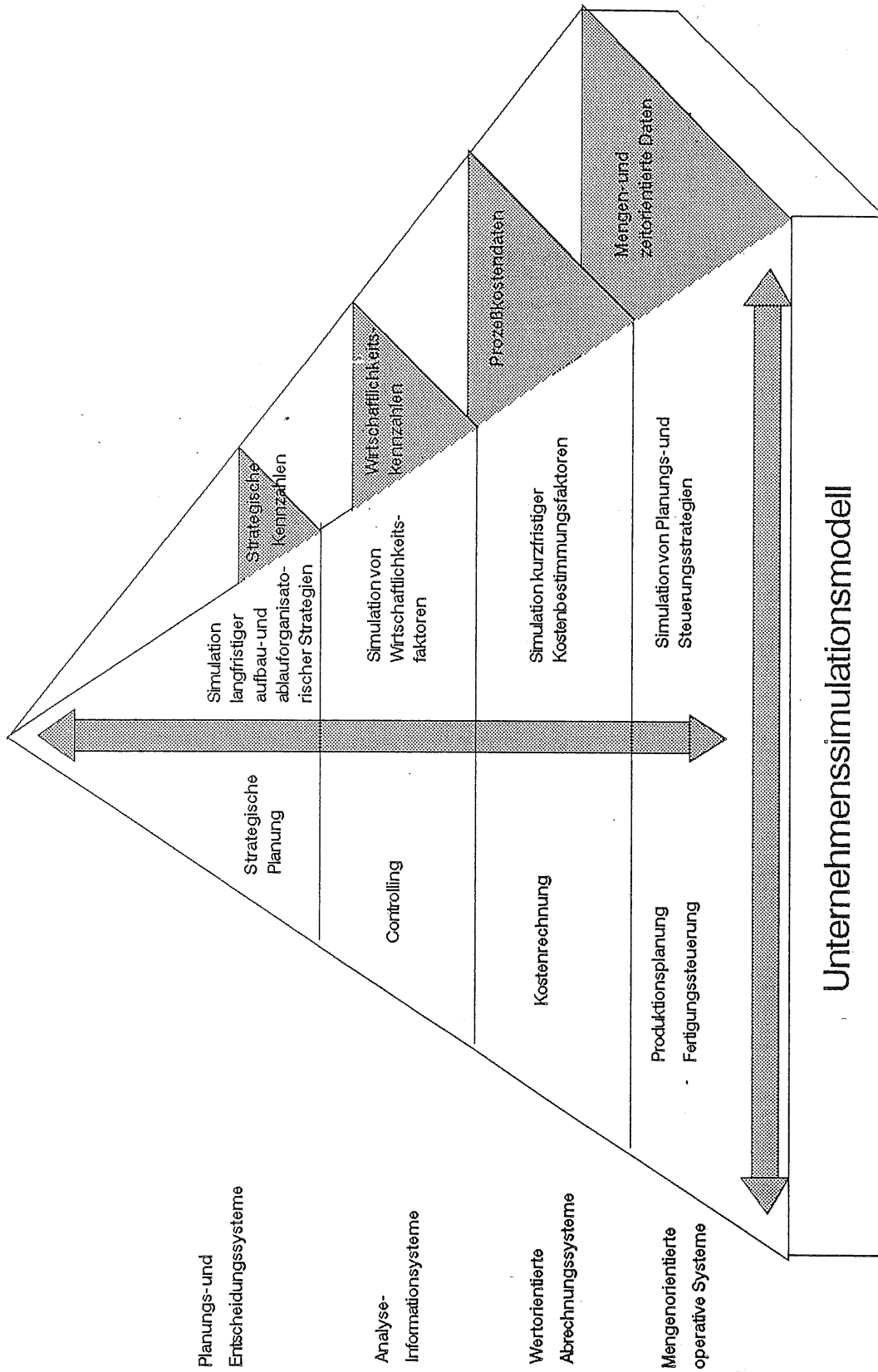


Abb. 21: Unternehmenssimulationsmodell als Basis von integrierten Informationssystemen

Das Heranführen des Anwenders an die für die Bearbeitung der Problemstellung auszuwählende Methode kann über ein intelligentes Zugangs- und Analysesystem erfolgen. Das Zugangs- und Analysesystem hat in diesem Zusammenhang folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Problemorientierte Modellkonfiguration in Abhängigkeit von der Entscheidungssituation,
- Unterstützung bei der Durchführung der Simulation durch Bereitstellen von Strategien und Bilden von Szenarien,
- Datenselektion und Datenaufbereitung im Anschluß an die Simulation,
- Darstellung von sich aus der Analyse ergebenden Konsequenzen.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt besteht dabei in der Gestaltung anwender- und entscheidungssituationsorientierter Benutzeroberflächen. Beispielsweise kann von dem Zugangs- und Analysesystem eine geeignete Informationsaufbereitung in Form einer Kombination von numerischen Daten, statischer und dynamischer Graphik durchgeführt werden.

Abbildung 22 zeigt den Aufbau eines simulationsgestützten Informationssystems.

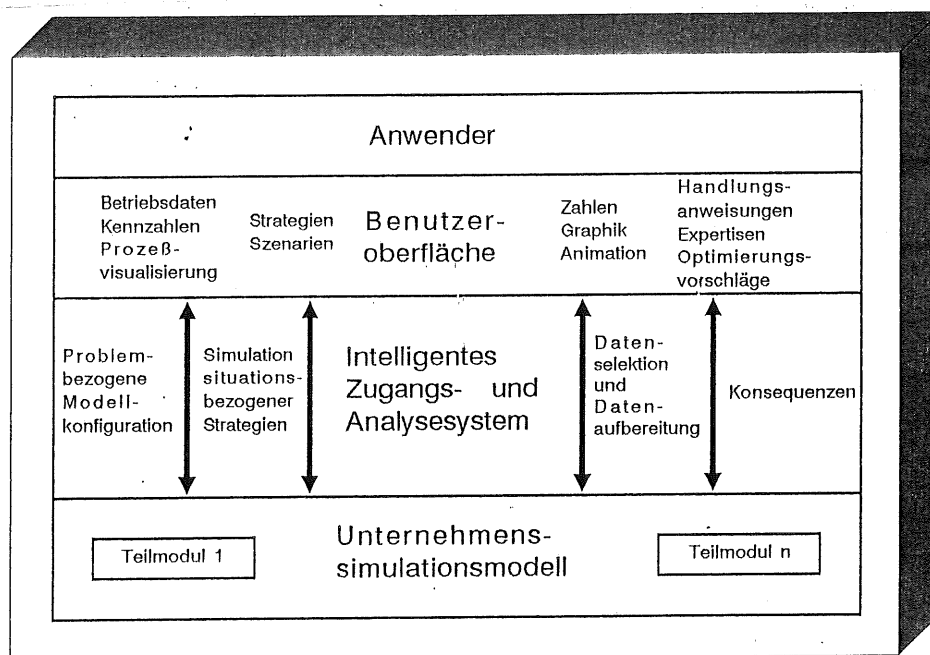


Abb. 22: Simulationsgestütztes Informationssystem

Abschließend soll festgehalten werden, daß die Simulationstechnik sich als Entscheidungsunterstützungsinstrument für betriebswirtschaftliche und technische Informationssysteme nur dann wirksam nutzen läßt, wenn eine anwenderorientierte Gestaltung der Entscheidungsunterstützung erfolgt. In diesem Zusammenhang ist insbesondere eine zielorientierte Benutzerführung sowie die Darstellung entscheidungsrelevanter Daten in geeigneter, auch graphischer Form von Bedeutung. Diese Faktoren bilden die Grundlage für die Einbindung von Simulationstechniken als Bestandteil integrierter Informationssysteme.

Literaturverzeichnis

- Becker, B. D.: Modelldesign und Software-Ergonomie in Simulationsverfahren der Fertigungstechnik, in: Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Fabrikbetrieb, München 1988, S. 457-478.
- Brödner, P.: Neue Generation werkstattgerechter Programmiersysteme, Technische Rundschau 80(1985)35, S. 20-24.
- Diess, H.: Rechnerunterstützte Planung und Optimierung flexibel automatisierter Montagesysteme, in: Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Fabrikbetrieb, München 1988, S. 113-132.
- Eigner, M., Maier, H.: Einführung und Anwendung von CAD-Systemen, München, Wien 1982.
- Eigner, M., Maier, H.: Einstieg in CAD, München, Wien 1985.
- Eversheim, W., Thome, H. G.: Graphisch interaktive Simulation von Fertigungssystemen, VDI-Z 129(1987)5, S. 71-75.
- Eversheim, W., Thome, H. G.: Simulation als Hilfsmittel zur Produkt- und Produktionsplanung, Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (ZwF) 82(1987)6, S. 333-339.
- Friederichs, P., Gromotka, W.: Fertigungsleitsysteme - Marktübersicht und Erläuterungen, VDI-Z 130(1988)11, S. 41-47.
- Grant, J.W., Weiner, S.A.: Factors To Consider In Choosing A Graphically Animated Simulation System, Industrial Engineering (1986)8, S. 37-40, 65-68.
- Gunn, T.G.: Konstruktion und Fertigung, Spektrum der Wissenschaft (1982)11, S. 77-98.
- Haider, S. W., Banks, J.: Simulation Software Products For Analyzing Manufacturing Systems, Industrial Engineering (1986)7, S. 98-103.
- Healy, K.J.: CINEMA Tutorial, in: Society for Computer Simulation (Hrsg.): Proceedings Of The 1986 Winter Simulation Conference, San Diego 1986, S. 207-211.
- Heinen, E.: Industriebetriebslehre - Entscheidungen im Industriebetrieb, 7. Auflage, Wiesbaden 1983.
- Herterich, R., Zell, M.: Interaktive Fertigungssteuerung teilautonomer Bereiche, in: Kurbel, K., Mertens, P., Scheer, A.-W. (Hrsg.): Interaktive betriebswirtschaftliche Informations- und Steuerungssysteme, Berlin, New York 1989, S. 41-68.
- Johnson, M.E., Poorte, J.P.: A Hierarchical Approach To Computer Animation In Simulation Modeling, Simulation 50(1988)1, S. 30-36.
- Kagermann, H.: Ergonomische Benutzeroberflächen für komplexe Informationssysteme, Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (ZwF) 84(1989)6, S. 327-330.
- Kief, H.B.: NC-Handbuch, Michelstadt/Stockheim 1984.
- Kilger, W.: Industriebetriebslehre, Band 1, 1. Auflage, Wiesbaden 1986.
- Knoop, J.: Online-Kostenrechnung für die CIM-Planung, Berlin 1986.
- Kuhn, A., Schmidt, R.: Simulation logistischer Systeme, in: Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Fabrikbetrieb, München 1988, S. 169-182.
- Noche, B., Schürholz, A. : Chancen der Simulation in der Systemführung - Abbildungsprobleme und Visualisierung, in: Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Logistik, München 1986, S. 225-254.

- O'Keefe, R.: Simulation And Expert Systems - A Taxonomy And Some Examples, Simulation 46(1986)1, S. 10-16.
- o.V.: "Catalog Of Simulation Software", Simulation 51(1988)4, S. 136-156.
- o.V.: DOSIMIS-3. Der benutzerfreundliche Simulator für Materialfluß- und Produktionssysteme, Hrsg.: SimulationsDienstleistungsZentrum GmbH, Dortmund.
- o.V.: GRAFSIM, Simulationssystem für Fertigungseinrichtungen, Systembeschreibung der Fa. SIEMENS, 1988.
- o.V.: Modellbasiertes Schlußfolgern in KEE- und SimKit-Systemen, Informationsschrift der Firma IntelliCorp, 1986.
- o.V.: Produktbeschreibung AUTOMOD/AUTOGRAM der Fa. DIGITAL ART, Düsseldorf 1988.
- o.V.: SimAL (Simulationssystem für die Auftragsreihenfolgeplanung und Losgrößenbestimmung) - Ein Instrument für die Werkstattsteuerung, Funktionsbeschreibung der SimulationsDienstleistungsZentrum GmbH, Dortmund 1989.
- o.V.: Simpак/Graphpak, Produktbeschreibung der Firma DANET, 1988.
- o.V.: Stand der Kunst bei elektronischen Leitständen, CIM Management 4(1988)2, S. 38-45.
- Pham, T.T.: Die Kopplung von CAD- und Simulationssystemen, CAD-CAM Report 7(1988)9, S. 111-116.
- Pritsker, A.A.B.: Introduction To Simulation And SLAM II, West Lafayette 1986.
- Reinhardt, A., Kühne, K.: Modellbausteine und Werkzeuge für den Anlagenbau - Entwurf, Dimensionierung und Angebotserstellung, in: Ameling, W. (Hrsg.): Simulationstechnik, 5. Symposium Simulationstechnik, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 464-469.
- Reinhardt, A.: Die Kluft zwischen Simulations- und Steuerungssoftware - Ansätze und Möglichkeiten zur Überbrückung, in: Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Logistik, München 1986, S. 255-264.
- Scheer, A.-W.: CIM - Der computergesteuerte Industriebetrieb, 3. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988.
- Scheer, A.-W.: Wirtschaftsinformatik - Informationssysteme im Industriebetrieb, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988.
- Scheer, A.-W.: Neues Gewicht für Planungs- und Steuerungsfunktionen, Frankfurter Zeitung - Blick durch die Wirtschaft (1988)122, S. 7.
- Schmidt, B.: Simulation von Produktionssystemen, in: Feldmann, K., Schmidt, B. (Hrsg.): Simulation in der Fertigungstechnik, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 1-45.
- Schmidt, G.: CAM: Algorithmen und Decision Support für die Fertigungssteuerung, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1989.
- Schmidt, R.: Einsatzmöglichkeiten der Simulation in der Werkstattsteuerung, in: Halin, J. (Hrsg.): Simulationstechnik, 4. Symposium Simulationstechnik, Zürich 1987, S. 520-538.
- Schröder, G.: Ein simulationsgestützter Leitstand zur Fertigungssteuerung, in: Ameling, W. (Hrsg.): Simulationstechnik, 5. Symposium Simulationstechnik, Aachen 1988, S. 447-452.
- Schwaiger, L.: CAD-Begriffe. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1987.

- Seliger, G., Viehweger, B.: Fabrikmodellierung als Planungsinstrument, in: Feldmann, K., Schmidt, B. (Hrsg.): Simulation in der Fertigungstechnik, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1988, S. 79-107.
- Shoup, R.G.: Color Table Animation, Computer Graphics (1979)13, S. 8-13.
- Smith, R.L., Platt, L.: Benefits Of Animation In The Simulation Of A Machining And Assembly Line, Simulation 48(1987)1, S. 28-30.
- Spiegel, P.: Simulation - ein Planungsinstrument flexibler fertigungstechnologischer Einrichtungen, CIM Management 3(1987)1, S. 53-57.
- Spur, G., Krause, F.-L.: CAD-Technik, München, Wien 1984.
- Spur, G.: Fabrikmodellierung und Simulation, in: Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Fabrikbetrieb, München 1988, S. VII-XXVII.
- Storr, A., Brandtner, K.: Simulation in der Entwicklung von Steuerungssoftware - Voraussetzungen bei der Leittechnik von Fertigungssystemen, in: Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Fabrikbetrieb, München 1988, S. 351-363.
- Straßer, W.: Graphische Datenverarbeitung heute - eine Bestandsaufnahme, Handbuch der modernen Datenverarbeitung 127(1986)1, S. 3-23.
- Weber, J.: Change Management für die Kostenrechnung - zur Notwendigkeit des ständigen Wandels der Kostenrechnung, in: Tagungsband zur 10. Saarbrücker Arbeitstagung "Rechnungswesen und EDV", Veröffentlichung in Vorbereitung.
- Wildemann, H.: Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz von integrierten Produktionssystemen, in: Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Fabrikbetrieb, München 1988, S. 409-456.
- Yancey, D.P.: Database Management Systems Can Provide Way To Manage Information Generated In A Computer Simulation Program, Industrial Engineering (1987)5, S. 50-53.
- Zell, M., Kern, S.: Graphikeinsatz in der Produktionsplanung und -steuerung, Vortrag anlässlich der ERFA-Tagung "Neue Entwicklungen zur graphischen Unterstützung im Produktionsbereich", Frankfurt/M., in: A.-W. Scheer (Hrsg.): Neue Entwicklungen zur graphischen Unterstützung im Produktionsbereich, Tagungsband zur ERFA-Tagung am 8.12.88 in Frankfurt/M., Saarbrücken 1989, S. 2-27.