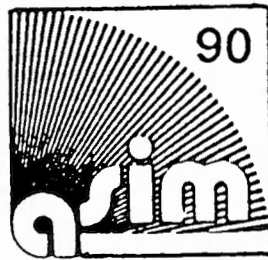




WISSENSCHAFTLICHE LANDESAKADEMIE
FÜR NIEDERÖSTERREICH



6. Symposium Simulationstechnik

25. - 27. September 1990

Nachgereichte Beiträge



TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN



Simulationsgestützte Planung von Produktionssystemen - Fabriksimulation

Jürgen Harland
Fraunhofer-Institut für Materialfluß und Logistik, Dortmund

Dr.-Ing. Bernd Noche
SimulationsDienstleistungsZentrum, Dortmund

Einleitung

"Immer kürzere Innovationsphasen, kleinere Losgrößen und stetig kürzer werdende Lebenszeiten der Produkte, d.h. schnell wechselnde Marktanforderungen, sind der Hintergrund der Diskussion über die 'Fabrik der Zukunft'" [1]. Damit sind die wesentlichen Faktoren umrissen, denen ein produzierendes Unternehmen heute ausgesetzt ist und die die Eckpfeiler für den in vielen Bereichen bereits begonnen Strukturwandel bilden. Hinzu kommt, daß die Betriebe immer enger in die Kette zwischen Beschaffung und Distribution eingebunden werden.

Aus diesen Anforderungen ergeben sich Aufgaben für die Fabrikplanung und den Fabrikbetrieb, die in sämtliche Bereiche eines Unternehmens hineinreichen. Für die eigentliche Produktion sind die wesentlichsten Forderungen

- die Installation einer flexiblen Fertigungsplanung und -steuerung mit dem Ziel des kostengünstigen und bedarfsgerechten Einsatzes von
 - Personal
 - Fertigungskapazitäten
 - Fertigungshilfsmitteln

- die Installation eines eigenständigen innerbetrieblichen Logistikbereichs mit dem Ziel des kostengünstigen und bedarfsgerechten Einsatzes von
 - Personal
 - Logistikkapazitäten
 - Logistikhilfsmittel.

Gemeinsames Ziel der Aktivitäten ist die bestandsarme Produktion mit kurzen Durchlaufzeiten und der Fähigkeit sich ändernden Gegebenheiten schnell anzupassen.

Zur Unterstützung bei der Gestaltung und Auslegung solcher Produktionssysteme ist die Simulationstechnik als Prognose und Steuerinstrumentarium ein unverzichtbares Hilfsmittel.

In diesem Artikel soll aufgezeigt werden, wie die Simulatoren der Zukunft auszusehen haben,

welchen Anforderungen sie genügen müssen und wie sie in die Fabrik eingegliedert werden können.

Dazu wird zunächst auf die Problemklasse der Produktionssysteme näher eingegangen. Denn deren Struktur bildet die eigentliche Rechtfertigung für den Einsatz der Simulationstechnik auf den Gebieten Planung und Betrieb und auf sie müssen die Simulatoren zugeschnitten sein. Danach werden in einem zweiten Teil, mit einem Blick auf heute existierende Simulationskonzepte, Anforderungen an Fabriksimulatoren beschrieben, die in ein Fabriksimulatorkonzept münden. In einem letzten Teil wird auf die notwendige Infrastruktur innerhalb des Fabrikumfeldes verwiesen, in die die Simulatoren eingebettet werden müssen.

Die Problemklasse 'Produktionssysteme'

Zum eindeutigen Verständnis sei der Begriff 'System' im hier verwendeten Sinn kurz erläutert. Mit Blick auf die Produktion versteht man unter dem Begriff 'System' sämtliche technischen Prozesse einschließlich der Steuer, Regel -und Überwachungseinrichtungen und Maßnahmen. Die Schnittstellen des so definierten Systems zu seiner Umgebung liegen einerseits bei der Feinterminplanung als PPS-Funktion und der daraus resultierenden Systemlast und andererseits bei der Abgabe der Fertigungsgüter an die Umgebung des Systems.

Mit dieser Definition lassen sich die hier betrachteten Systeme innerhalb der Gesamtheit der technischen Systeme einordnen. Als Ordnungskriterium werden zwei Merkmale verwendet [2].

- der Grad der Varietät (Umfang der Wechselbeziehungen, Ordnung) eines Systems
- der Grad der Berechenbarkeit der zeitlichen Entwicklung (Dynamik) des Systemverhaltens.

In der mit diesen beiden Kriterien aufgespannten Ebene lassen sich Systeme der Klasse der 'komplizierten', 'kollektiven' oder 'komplexen' Systeme zuordnen. Die Grenzen sind fließend. Ein kompliziertes System ist überschaubar und weist eine geringe Varietät auf. Ferner ist die Systemdynamik als weitgehend berechenbar einzustufen. Ist die Varietät eines Systems mäßig groß und fehlt es weitgehend an Strukturinformationen, so läßt sich nicht das detaillierte, sondern eher das globale Verhalten berechnen. Systeme auf die diese Beschreibung zutrifft, werden der Klasse der kollektiven Systeme zugeordnet. In der Klasse der komplexen Systeme wird weiter nach einer stark oder schwach organisierten Komplexität unterschieden.. Bei stark organisierten komplexen Systemen sind im Gegensatz zu schwach organisierten komplexen System Organisations -und Strukturierungsschemata erkennbar [3].

In diesem Sinne sind Produktionssysteme den stark organisierten komplexen Systemen zuzuordnen. Auf sie treffen folgende Merkmale zu.

- ein hohes Maß an Varietät (steigend mit wachsender Automatisierung)
- ein geringes Maß an Berechenbarkeit der Systemdynamik durch nichtlineares Systemverhalten und stochastische Einflüsse auf das System
- erkennbare Organisations- und Strukturierungsschemata

Hier wird die Wichtigkeit der Fabrikplanung im Sinne einer Fabrikarchitektur deutlich. Denn ein Ansatz zur Beschreibung und Beherrschung komplexer Systeme liegt in der Dekomposition in Teilsysteme. Damit ist die Zerlegung des Gesamtsystems in logisch zusammengehörige Komponenten gemeint, deren kleinste Einheiten im folgenden 'Atome' genannt werden sollen. Aus diesen Atomen, die hardware -und softwaretechnischer Natur sein können, läßt sich dann jedes Produktionssystem zusammensetzen. Mit einem solchen Fabrikbaukasten läßt sich jedes Fabrikgefüge straff organisieren und strukturieren.

Organisations -und Strukturierungsaspekte für Produktionssysteme

Das Bild 1 zeigt unter dem Gesichtspunkt der Dekomposition die inneren Eigenschaften eines Produktionssystems.

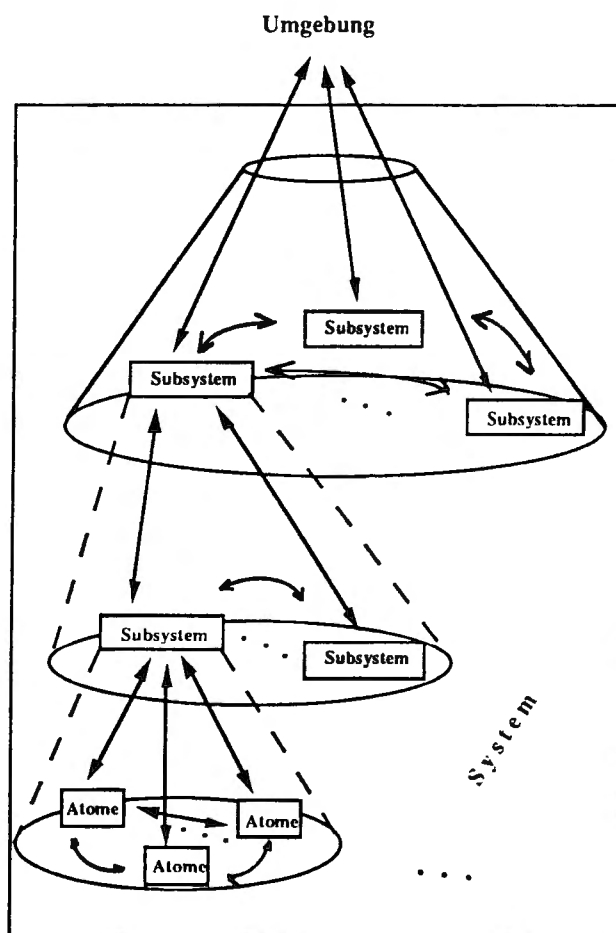


Bild 1: Innere Eigenschaften eines Produktionssystems

Demnach besteht ein Produktionssystem

- aus einer Menge von Subsystemen, die sich über eine gemeinsame Schnittstelle in einer wechselseitigen Beziehung zu ihrer relativen Umgebung und zu weiteren Subsystemen befinden.
Die Beziehungen sind dabei derartig, daß sich das System und die Subsysteme weitgehend autonom bezüglich ihrer relativen Umgebung verhalten (minimaler Datenaustausch)
- aus einer Menge von Subsystemen, die eine Menge von Atomen umfassen, die sich wiederum in einer wechselseitigen Beziehung zu ihrer relativen Umgebung und zu anderen Atomen befinden.
Die Beziehungen sind dabei derartig, daß sich das Subsystem und die zugehörigen Atome weitgehend autonom bezüglich ihrer relativen Umgebung verhalten.

Sie lassen sich gemäß ihren Aufgaben strukturieren. Es werden generell vier Aufgabenebenen unterschieden. Die Baugruppenebene, die Netzwerkebene, die Dispositionsebene und die Administrationsebene [4].

Die wichtigsten Meßstellen der Regelkreise sind die Puffer im System. Die pufferorientierte Fabrik als weiterer Strukturierungsaspekt ist wesentliche Voraussetzung für die Beobachtbarkeit und Steuerbarkeit des Gesamtsystems, denn in den Puffern lassen sich sämtliche Basisinformationen gewinnen, die zu einer Regelung des Fabrikbetriebes im Sinne von Fertigungsregelkreisen und Logistikregelkreisen dienen. Gleichzeitig stellen die Puffer die Schnittstellen zwischen den fertigungsbezogenen und den logistikbezogenen Verantwortungsbereichen dar (siehe Bild 2).

Schließlich sei noch bemerkt, daß die Informationsprozesse auch zeitlich strukturiert sind. Das bedeutet, daß es Steuer, Regel -und Überwachungsaufgaben gibt, die mittel -und langfristig bezüglich eines Planungszeitraumes durchgeführt werden und solche, die kurzfristig durchgeführt werden. Die Aktivierung der Prozesse wird dabei zeitgesteuert oder zustandsabhängig durchgeführt. Als Beispiel für mittel -und langfristige Aufgaben seien hier die Fertigungsplanungsaufgaben genannt. Diese werden i.d.R. für einen Planungszeitraum (1 Tag, 1 Woche, ...) durchgeführt. Die Prozesse zur Durchführung und Einhaltung der Planvorgaben dagegen sind kurzfristiger Natur.

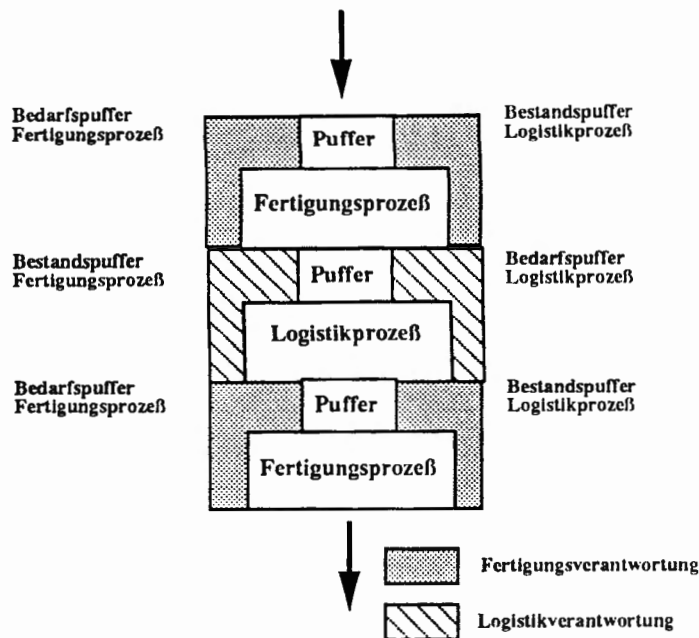


Bild 2 : Puffer als Strukturierungselemente und Basismeßstellen im System

Simulationstechnik im Wandel

Nachdem der Rahmen für die Fabrikplanung und den Fabrikbetrieb beschrieben und damit auch das Betätigungsfeld der eingesetzten Simulatoren beleuchtet wurde, wird im folgenden die Entwicklung und der Stand der Simulationstechnik beschrieben. Aus den Defiziten lassen sich so die Anforderungen an zukünftige Systeme ableiten.

Lag in der Vergangenheit der Einsatz von Simulatoren hauptsächlich in der Planung, Analyse und Optimierung von Detailproblemen innerhalb des Fabrikgefüges, so sind deren Aufgaben heute bereits wesentlich umfangreicher. Ein Grund für die rasante Entwicklung ist sicherlich die gewachsenen Rechnerleistung. Sie ermöglicht es, umfangreicher Probleme mit Hilfe der Rechnersimulation zu analysieren. Rechnerlaufzeiten und das Verwalten großer Datenmengen sind "ertragbar" geworden. Damit wachsen die Aufgaben, bei denen die Instrumente in Zukunft nutzbringend eingesetzt werden können (vgl. Bild 3).

Es wird deutlich, daß die Tendenz in Richtung der ganzheitlichen simulationsgestützten Planung mit Hilfe eines Simulators und damit zur Fabriksimulation geht. Was das für die Anforderungen an die Simulatoren bedeutet, soll mit einem kurzen Blick in die Vergangenheit der Simulationstechnik deutlich gemacht werden.

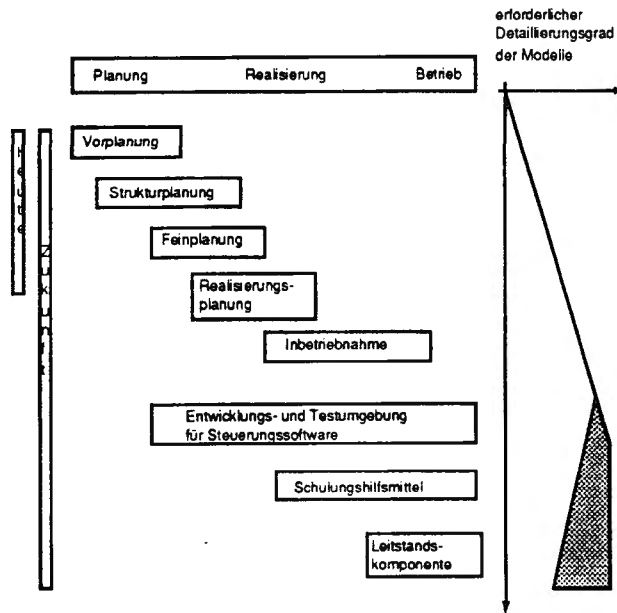


Bild 3 : Aufgabenfelder der Simulationstechnik

Die heute auf dem Markt existierenden Siumulatoren lassen sich grob in zwei Klassen einordnen. Die, die dem sog. "Sprachkonzept" folgen und die "blockorientiert" arbeiten. Jeder der Ansätze hat seine Rechtfertigung. Dennoch soll im folgenden die Darstellung mit einer Bewertung für die Eignung des Grundkonzeptes für Fabriksimulatoren verknüpft werden.

Überlegungen die Simulation durchgängig, zumindest über mehrere Phasen der Planung bis hin zur Realisierung, zu nutzen, haben zur Entwicklung von Simulationssystemen geführt, die eine flexible Modellgestaltung und Simulationsdurchführung erlauben. Solche Entwicklungen verfolgen vom Ansatz her das "Sprachkonzept" bei der Modellierung (z.B. SIMULA, SLAM, SIMAN). D.h. die Modelle werden in einer allgemeinen Programmiersprache oder einer speziell abgestimmten Simulationssprache formuliert (vgl. Bild 4).

Um die Nachteile sprachorientierter Simulationssysteme zu umgehen, wurden Simulatoren entwickelt, bei denen die Modellbildung blockorientiert durchgeführt wird. Das bedeutet, bei der Modellierung wird das Modell aus vorgefertigten, ausgetesteten Blöcken (Bausteinen) zusammengesetzt, die vom Simulator zur Verfügung gestellt werden. Dem Benutzer obliegt des weiteren die Parametrisierung dieser Blöcke. Die Vorgehensweise knüpft an die klassische Modellierung dynamischer Systeme am Analogrechner an. Es ist intuitiv verständlich, daß mit Hilfe solcher Systeme, insbesondere wenn die Ein -und Ausgabe grafisch unterstützt wird, die Modellbildung, Modellveränderung und Ergebnisaufbereitung wesentlich vereinfacht wird (vgl. Bild 5). Zudem verfügen derartige Systeme über eine gute Benutzerführung, so daß auch rechnerunerfahrene Anwender schnell den Umgang mit solchen Simulatoren erlernen.

Sprachkonzept	
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - hohe Flexibilität - Mächtigkeit einer Programmiersprache - Anpassung an Benutzerbedürfnisse 	<ul style="list-style-type: none"> - erhöhter Modellierungsaufwand - erhöhtes Fehlerrisiko durch Programmierung - Modellierer muß eine Programmiersprache beherrschen

Bausteinkonzept	
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - starke Benutzerführung - ausgetestete Bausteine - Standardmodule zur Auswertung - Schnelle Modellerstellung und Modellveränderung 	<ul style="list-style-type: none"> - beschränktes Einsatzgebiet - starr vorgegebener Funktionsumfang der Bausteine - Verwobenheit von physischen und logischen Aspekten

Bild 4 : Vor- und Nachteile unterschiedlicher Simulatorkonzepte

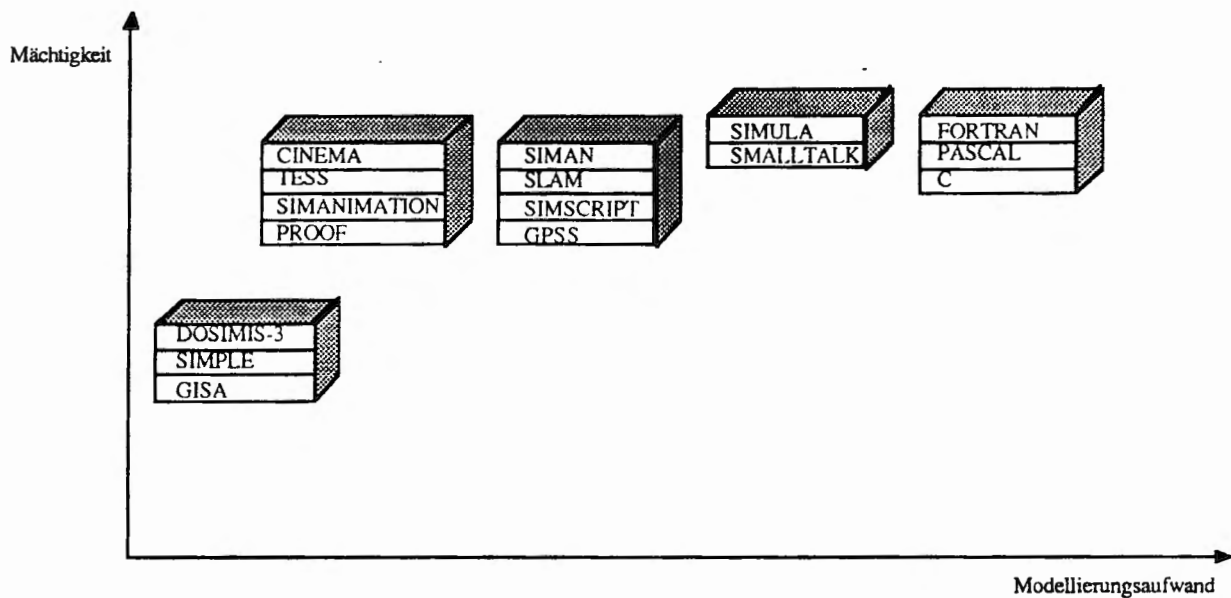


Bild 5 : Mächtigkeit und Modellierungsaufwand bei unterschiedlichen Simulatorkonzepten.

Komponenten eines Fabriksimulators

Die aufgezeigten Strukturen von Produktionssystemen, die Aufgaben für die Simulationstechnik bei der Fabrikplanung und beim Fabrikbetrieb und die Erfahrungen bei der Entwicklung und dem Einsatz von Simulatoren führen zu einem Simualtorkonzept der Zukunft, das drei wesentlichen Grundsätzen folgen muß.

- 1.) Die Modellierung von Produktionssystemen muß sich streng an die Organisations- und Strukturierungsaspekte dieser anlehnen können.
- 2.) Die Simulatoren müssen geeignet sein für eine durchgängige Nutzung von der Grobplanung bis zum Fabrikbetrieb.
- 3.) Wegen der Notwendigkeit der durchgängigen Nutzung und der Forderung, daß Simulation allen Beteiligten zur Verfügung stehen muß, sollte ein blockorientiertes Konzept zur Anwendung kommen.

Die Modellierung einer Anlage mit dem so umrissenen Fabriksimulator wird in insgesamt drei Modellierungsebenen durchgeführt.

- 1.) Modellierungsebene für Bausteine mit einer Wissensbasis aus Bausteinatomen.
- 2.) Modellierungsebene für Anlagenmodelle
- 3.) Modellierungsebene für Experiment -und Betriebsmodelle

Die Wissensbasis aus Bausteinatomen beinhaltet die bereits angesprochenen kleinsten Beschreibungseinheiten, aus denen sich jedes Produktionssystem bezüglich des Layouts, der Physik und der Logik generieren läßt. Aus diesen Bausteinatomen erstellen die Anwender problemspezifische Bausteine. D.h. einerseits ist der Bausteinsatz von der aktuellen Planungsphase abhängig (z.B. Grobbausteine) und andererseits vom jeweils vorliegenden Anlagentyp (z.B. FTS-Bausteine). Die einmal erstellten Bausteine werden in Bibliotheken abgelegt. Eine Verfeinerung der Bausteinbeschreibung ist jederzeit durch erneuten Zugriff auf die Wissensbasis durchführbar. So ist es möglich, daß mehrere anwenderspezifische Bausteinbibliotheken vorhanden sind, die auf Basis eines Simulators genutzt werden.

Mit Hilfe der Bausteine und den Bausteinbibliotheken werden gemäß den Vorgaben und Wünschen Anlagenmodelle generiert. Anlagenmodelle sind vollständig parametrisierte Modelle, die als Grundlage für Experimentfälle oder Betriebsführungsaufgaben dienen. Auch sie werden in Bibliotheken abgelegt.

Das Bild 6 gibt das Simulatorkonzept mit den Modellierungsebenen wieder.

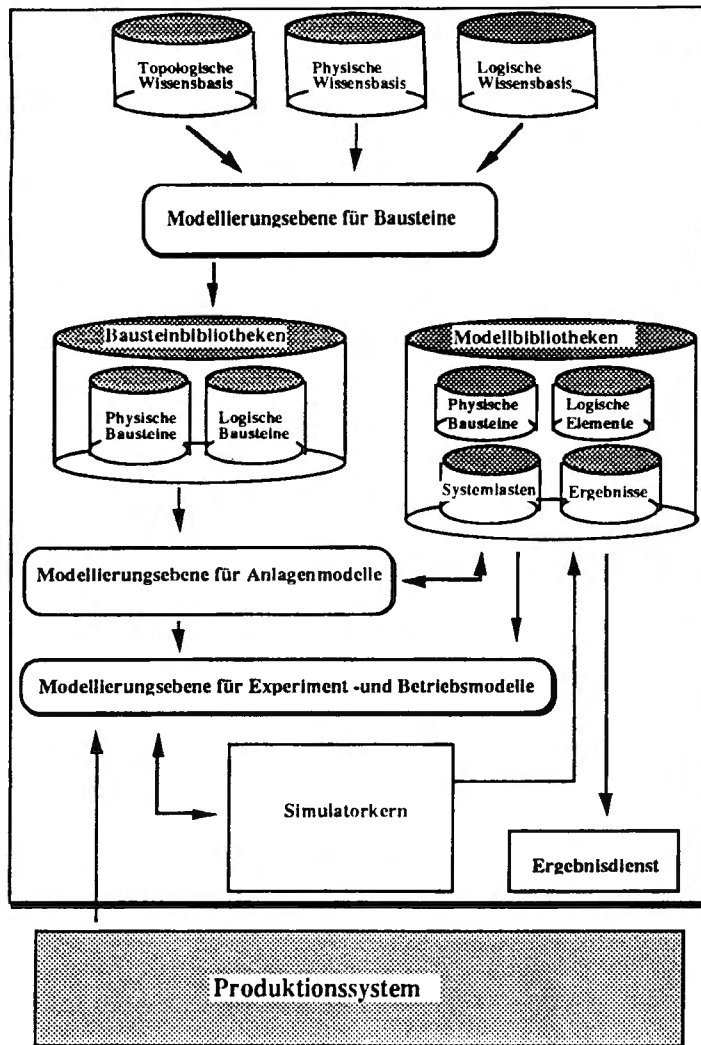


Bild 6 : Das Fabriksimulatorkonzept

Ein bedeutender Gesichtspunkt bei der Nutzbarkeit der Simulationstechnik ist die Anwenderfreundlichkeit der Simulatoren. In dem bis hier gesagten wurde dieser Aspekt im wesentlichen von der Eingabeseite her beleuchtet. Der Argumentationskreis wird jedoch erst geschlossen sein, wenn auch die Aufbereitung der Simulationsergebnisse so organisiert ist, das sie eindeutig, leicht verständlich und unterstützend bei den spezifischen Aufgaben sind. Diese Forderungen deuten auf die Bildung von Kennzahlenklassen hin, die sich an den Begriffen Fertigung, Logistik und Auftrag und deren Aufgaben orientieren. Auftragsbezogene Kennzahlen beziehen sich direkt auf die Systemlast der Anlagenmodelle. In diesem Sinne stellen sie das dritte Gütemaß für die Güte eines Produktionssystems dar. Im Bild 7 sind Beispiele zu den entsprechenden Kennzahlenklassen aufgeführt.

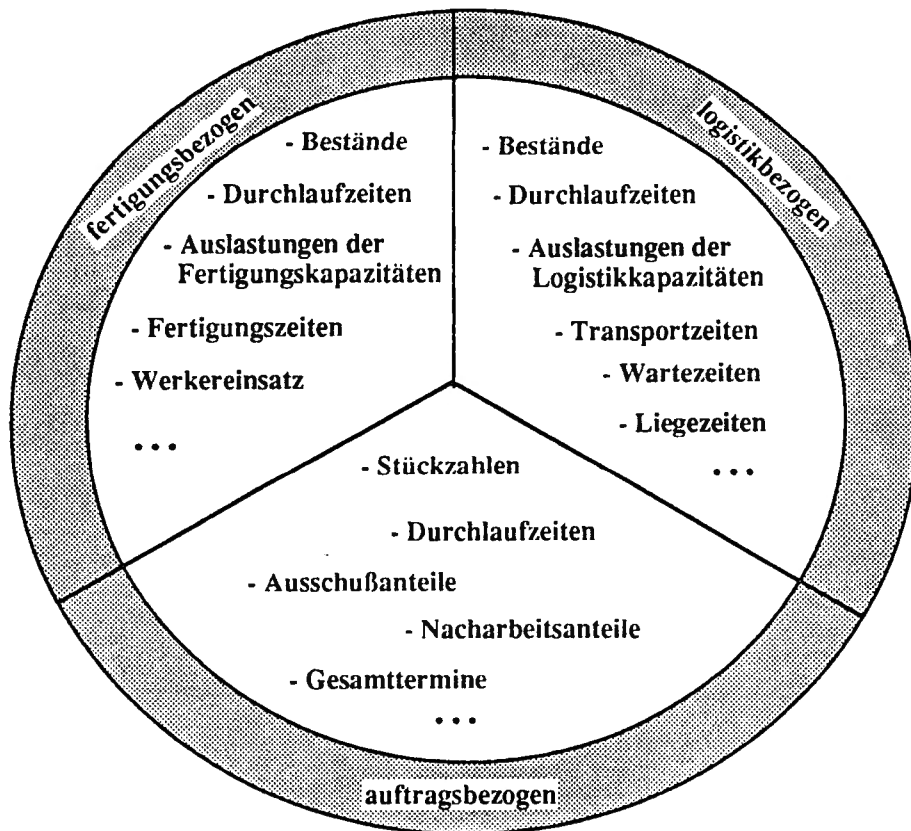


Bild 7 : Kennzahlen für die Aufbereitung der Simulationsergebnisse

Der simulationsgestützte Leitstand

Ein Beispiel für die zukünftige Entwicklung von Fabriksimulatoren sind die heute überall entstehenden simulationsgestützten Leitstände.

Das Simulationsprogramm SimAL wurde für die Auftragsreihenfolgeplanung und Losgrößenbestimmung von Fertigungs bzw. Produktionsaufträgen entwickelt: das Instrument ist ein Hilfsmittel für den Disponenten bei seiner täglichen Arbeit. Es ist menugesteuert und besitzt eine grafische, mausorientierte Benutzeroberfläche.

Das System ermittelt aus den Arbeitsplänen, den Stücklisten, den Fertigungsaufträgen und bestimmten Zielkriterien, innerhalb von 2-4 Minuten, Maschinenbelegungspläne. Diese Pläne sind auf die vom Disponenten eingestellten Kapazitäten und die Einsatzzeiten der Maschinen abgestimmt. In einer Planungssitzung können mehrere Varianten erstellt werden, die durch, während der Simulation ermittelte, Kennzahlen qualitativ bewertbar sind.

Die Ergebnisse werden sowohl in Listenform, als auch als Grafiken ausgegeben. Eine elektronische Plantafel visualisiert für die einzelnen Maschinen die Auftragsfolge.

Schnittstellen zu PPS-Systemen und eine Anbindung an die Betriebsdatenerfassung sind unabdingbar für einen effizienten Betrieb.

Folgende Dateien und Funktionen sind im Fabriksimulator enthalten:

- **Aufträge**

Diese Funktion wird aktiviert durch Anklicken des Auftrags-Icons in dem Hauptfenster. Die vom PPS-System heruntergeladenen und von dem System nach der Stückliste aufgelösten Aufträge, können hier gesichtet und manipuliert werden.

- **Stückliste**

Das Simulationssystem verwaltet eine eigene Stückliste. Diese wird einmal vom PPS-System heruntergeladen, und kann dann in Eigenverantwortung des Disponenten bearbeitet werden. Die Stücklistenfunktion wird durch Anklicken des Stücklisten-Icons im Hauptmenuefenster aktiviert. In einer Liste werden die einzelnen Teile bzw. Subteile der Produkte bis herunter auf das Rohmaterial aufgeführt.

- **Modelleditor**

Mit dem Modelleditor läßt sich der Maschinenpark einer Fertigung bzw. Produktion in den Simulator eingeben. Er bietet dafür eine Reihe von speziellen grafischen Symbolen, die beliebig auf dem Modellierungsfenster plaziert werden können. Die Maschinensymbole sind mit Parametern versehen, aus denen die Einsatzkosten und die Stillstandkosten der jeweiligen Maschine errechnet werden (Fixe Kosten, Einsatzkosten).

Für die Reihenfolgeplanung der Aufträge werden die Arbeitspläne für die verschiedenen Produkte benötigt. Die einzelnen Arbeitsgänge verwaltet das PPS-System. Von dort bezieht der Simulator die Informationen und speichert sie in einer eigenen Datei.

- **Simulation**

Zu den für die Simulation benötigten Daten gehören die Einsatzzeiten und Plankapazitäten der Maschinen. Die Einsatzzeiten jeder einzelnen Maschine sind im Stundenraster für einen Tag spezifizierbar.

Weitere Simulationsparameter sind die Simulationszeit und die Zielkriterien.

Die *Simulationszeit* bestimmt den Planungshorizont für den die Maschinenbelegpläne erstellt werden sollen. Dieser kann minimal einen Tag erfassen, nach oben ist der Zeitraum nur durch die Rechenzeit begrenzt.

Die *Zielkriterien* legen neben dem Liefertermin die vorläufige Auftragsreihenfolge an den einzelnen Maschinen fest. Diese Kriterien berücksichtigen die Rüstzeit, die "Durchlaufzeit", den "Bestand" und die "Gleichauslastung". Eine Gewichtung der einzelnen Ziele geschieht über Prozentangaben.

- **Planungsalgorithmus:**

Die Aufträge werden auf die Maschinen verteilt, auf denen sie laut den Stücklisten und Arbeitsplänen bearbeitet werden müssen und dort in eine Liste eingetragen. Für jeden Auftrag wird eine Vorwärtsterminierung und eine Rückwärtsterminierung durchgeführt, so daß ein Terminfenster entsteht. Eine Zuteilung eines bestimmten Auftrages an einer Maschine, innerhalb dieses Fensters, kann nicht zu seiner Verspätung führen. Die Elemente der Liste werden nun nach ihrem Anfangstermin aufsteigend sortiert. Alle Aufträge, die zu einem Zuteilzeitpunkt anstehen, werden nach der errechneten Gewichtung der Zielkriterien eingeordnet. Nun läuft der Zuteilungsalgorithmus ab, der in den Unterlagen abgebildet ist.

- **Ergebnisse**

Der Simulator berechnet eine Anzahl von Kennzahlen, sowohl über alle Maschinen und Aufträge, als auch über einzelne Maschinen und einzelne Aufträge:

Aufträge:

Liegezeit, Liegekosten, Durchlaufzeit, Durchlaufkosten, Terminabweichung

Maschinen:

Stillstandzeit, Stillstandkosten

Rüstzeit, Rüstkosten

Einsatzzeit, Einsatzkosten

Kapazitätsauslastung, Kapazitätsbedarf (über alle Maschinenaufträge)

Terminunterschreitung, Terminüberschreitung

Eine elektronische Plantafel zeigt für die einzelnen Maschinen die Auftragsreihenfolge an. Die Parameter der Aufträge können durch Anklicken in dieser Grafik angezeigt werden. Einzelnen Aufträge lassen sich gesondert anzeigen.

Einbindung von Fabrik simulatoren in das Fabrikumfeld

Die Entwicklung von Fabrik simulatoren darf nicht isoliert von den gesamten Aktivitäten zur Schaffung von Fabrik informationssystemen (FIS) gesehen werden. Sämtliche Bestrebungen

laufen darauf hin, die Fabrikplanung und den Fabrikbetrieb vollständig rechnergestützt durchzuführen. Die Komponenten eines FIS sind u.a die CAx-Einheiten (CAD, CAQ, ...), rechnergestützte Controlling-Instrumente und deren Organe (Statistikeinheiten), PPS, etc.. Eine effektive Nutzung aller Komponenten wird erst dann möglich sein, wenn eine einheitliche, von allen Komponenten gleichermaßen nutzbare Datenbasis verfügbar ist. Ein Beispiel dafür sei, daß die Erstellung der grafischen Anlagenmodelle (Topologien) für die Simulation wesentlich vereinfacht würde, wenn der Simulator CAD-Layouts verarbeiten könnte, die die gleiche Wissensbasis wie der Simulator besitzen. Diese CAD-Layouts werden in den entsprechenden Abteilungen der Unternehmen heute bereits erstellt, aber lediglich einseitig genutzt. Bei der Untersuchung einer Anlage mit Hilfe der Simulation muß das Layout i.a. noch einmal erstellt werden.

Erreicht werden kann das Ziel der informationstechnischen Verknüpfung ohne das dadurch zahlreiche "Datenfriedhöfe" geschaffen werden nur mit Hilfe einer zentralen Fabrikdatenbank, die das informatorische Bindeglied zwischen sämtliche Komponenten des FIS ist. Aus dem Bild 8 wird deutlich, daß der Produktionsprozeß dabei auch an diese Datenbank angekoppelt sein muß. Dadurch wäre es z.B. möglich, die Übernahme von aktuellen Prozeßdaten für die Simulation ohne weiteren Eingabeaufwand durchzuführen.

Weitere Entwicklungen bei der Software und der Anwendung der entsprechenden Programme im Hinblick auf integrierte Werkzeuge CALS/CE (Computer Aided Logistics and Support / Concurrent Engineering) [6] oder im Rahmen der Fabrikplanung wie z. B. mit FAPLIS (Fabrik-Planungs- und Informations-System) [7] bei Mercedes Benz zeigen neue Anforderungen an Fabriksimulatoren.

Sie müssen nicht nur eine bestehende Datenbasis verarbeiten können sondern auch sich in Planungsprozesse und bestehende Anlagephasen (Aufbau, Instandhaltung, Reparatur, Erweiterungen usw.) einbinden lassen.

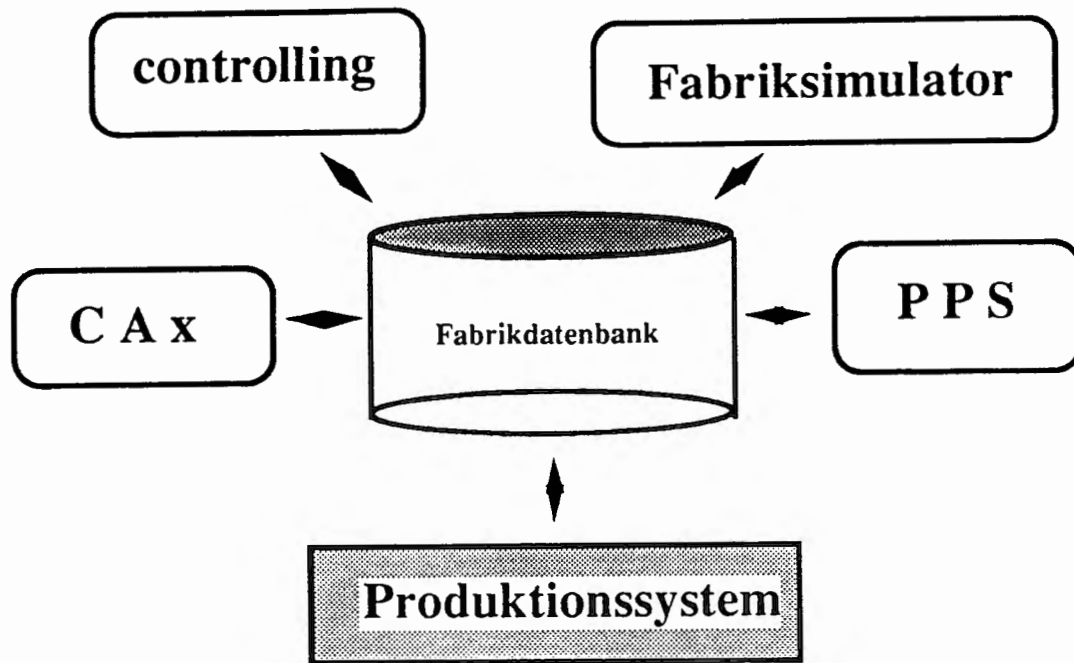


Bild 8 : Fabrikdatenbank als Bindeglied der Komponenten eines Fabrikinformationssystems

Schlußwort

Die Benutzerfreundlichkeit und der Komfort der Simulatoren sind letztendlich die wichtigen Faktoren, die über den Einsatz der Instrumente entscheiden und zu einer breiten Akzeptanz führen. In diesem Sinne streben die in diesem Artikel vorgestellten Entwicklungsaktivitäten von Fabriksimulatoren ein durchgängiges, an die unterschiedlichen Aufgaben und Wünsche der Anwender im Betrieb angepaßtes Konzept an, daß auf der anderen Seite durch die Architektur von Produktionssystemen bestimmt wird. Auch heute bietet die Simulationstechnik bereits bedeutende Unterstützung bei der Planung und beim Betrieb von Fabrikanlagen. Simulatoren sind aus der täglichen Arbeit nicht mehr weg zu denken. Die wirtschaftlichen Erfolge lassen sich zwar nicht verallgemeinern und können nur im Einzelfall bewertet werden, dennoch kann der Faktor "Planungssicherheit" nicht hoch genug bewertet werden. Die nächste Generation der Simulatoren wird diesen erfolgreichen Weg fortsetzen.

Literatur :

- [1] Weck, M. Werkzeugmaschinen
 Band 3, 3. Auflage
 Düsseldorf 1989
- [2] Geradin, L.A. How complex is complex?
 Large Scale Systems 2 (1981)
- [3] Schmidt, G. Was sind und wie entstehen komplexe Systeme,
 und welche spezifischen Aufgaben stellen sie für
 die Regelungstechnik ?
 Regelungstechnik RT 10 (1982)
- [4] Kuhn, A. Logistik und Systemtechnik
 in : AWF-Seminar Produktionslogistik
 Seminarband (1989)
- [5] Schröder, G.: 5. Symposium Simulationstechnik
 Aachen 28.09.1989, Proceeding, S. 447-452,
 Berlin, New York, Tokio
 Heidelberg Springer Verlag 1988
 Informatikberichte 179
- [6] Bauman, R.: CALS and Concurrent Engineering
 Aviation week & space technology
 Market supplement
 July 2, 1990
- [7] Faber, H.
 Bracht, U: Integrierte Fabrikplanung mit dem
 CAD-Anwendungssystem FAPLIS
 CAD/CAM 6/87, S. 79-85

2

3

1

4

**Modellreduktion auf der Basis eines
modularen Fahrdynamik-Simulationsprogrammes**

Anton T. van Zanten und Klaus-Peter Schnelle

Situation

Reglerentwurf und -optimierung werden oft mit Hilfe der Simulation durchgeführt. Genaue Modelle sind vor allem dann erforderlich, wenn der Übergang zum Versuch häufig geschieht. Einheitliche Modelle sind dort wichtig, wo das Zusammenwirken dezentraler Regler untersucht werden sollte.

Aus der Geschichte entstandene Simulationsprogramme weisen sehr deutlich auf den Zweck der Simulation hin. Als Beispiel: Zur Untersuchung von Ruckelschwingungen wird oft ein Einspurmodell eines Fahrzeugs und ein stationäres Reifenmodell als ausreichend erachtet, während für die Untersuchung einer ABS-Bremse ein Zweispurmodell und manchmal auch ein dynamisches Reifenmodell notwendig ist. Im Laufe der Zeit entstanden so viele Modelle, die auf Ihre spezielle Aufgabe hin geschneidert wurden.

Einfache Modelle werden bevorzugt benutzt, wenn der Reglerentwurf noch am Anfang steht. Nicht nur die Transparenz der Simulation, sondern auch die Rechenzeit spielt in der Anfangsphase eine wichtige Rolle. Ist die Anfangsphase vorbei, dann folgt die Optimierungsphase mit genaueren Modellen, die die Realität besser beschreiben.

Forderungen

Zur effizienten Gestaltung der Reglerentwicklung, auch in Bezug auf den Fahrversuch, wurde ein einheitliches modulares Gesamtfahrzeugmodell angestrebt. Entsprechend den vorhin beschriebenen Situationen sollte es dabei möglich sein, auf einfache und einheitliche Weise Modelle unterschiedlicher Komplexität darzustellen. Sowohl problemangepaßte Simulationen als auch Simulationen mit mehreren Reglern wären dann direkt möglich.

Das Gesamtmodell setzt sich hierbei aus einer Vielzahl von Teilsystemen zusammen. Mechanische Komponenten sind beispielsweise das Fahrgestell, die Vorderachse, die Hinterachse, die Reifen, der Antriebstrang und die Motorlagerung. Hinzu kommen Modelle anderer Teilsysteme wie Bremshydraulik, Sensoren, Verbrennungsmotor und Fahrer.

Für die Struktur des Simulationsprogrammes ergeben sich zahlreiche Forderungen:

Es muß eine Trennung zwischen dem Simulationsrahmen (einschließlich numerischen Integrationsverfahren) und der Systembeschreibung vorhanden sein.

Der Simulationsrahmen muß die Verknüpfung von "schnellen" und "langsamen" Teilsystemen (z. B. Hydraulik/Fahrzeug) sowie die Einbindung von diskreten Sensor/Regler-Systemen unterstützen.

Das Programm soll in seiner Struktur transparent sein, so daß Änderungen und Erweiterungen einfach möglich sind.

Der Austausch von Komponentenmodellen muß einfach sein. Beispiele: Übergang von einfachen zu genauen Komponentenmodellen, Austauschen von Radaufhängungstypen. Hierbei soll sich auch die Zahl der jeweiligen Freiheitsgrade ändern können.

Während der Simulation muß ein einfacher Zugriff auf beliebigen Systemgrößen ("Sensorsignale") möglich sein.

Die Eingabe von Stellsignalen vom Regler ins System muß ebenfalls einfach und flexibel möglich sein

Lösung

Als möglicher Lösungsansatz wird die Konzeption des modular aufgebauten FORTRAN-Simulationsprogrammes FASIM vorgestellt. Die Bewegungsgleichungen der mechanischen Komponenten werden hier mit dem Verfahren der "Kinematischen Differentiale" nach Hiller und Kecskemethy aufgestellt /1,2/. Dieser Zugang erlaubt in einer speziellen Formulierung die Zerlegung des Fahrzeugs in Module (Fahrgestell, Vorderachse etc.). Die dynamische Verkoppelung der Komponenten (die sich zum Beispiel in Nebendiagonal-Elementen der Massenmatrix äußert) kann hierbei durch geeignetes Zusammenfassen von

"Kinematischen Differentialen" auf eine einheitliche, modell-unabhängige Multiplikation von Matrizen zurückgeführt werden. Das Konzept ist offen, sodaß nachträgliche Erweiterungen des Programmes um zusätzliche Module problemlos möglich sind.

Jedes Modul ist zunächst nach außen abgeschlossen, es besitzt einen eigenen Datensatz und Eingabefile sowie Unterprogramme zur Initialisierung, für die Kinematik und für die Dynamik (Bild 1). Die Kommunikation zwischen den Modulen untereinander sowie mit einem übergeordneten Rahmen, der die Bewegungsgleichungen zusammenstellt, erfolgt über feste Schnittstellen, die nicht von der Komplexität des Moduls abhängen. Eine Änderung in der Zahl der Freiheitsgrade äußert sich nur in der Dimension einiger Schnittstellen-Größen und kann problemlos verarbeitet werden. Für die Kommunikation mit Reglern und Sensoren wurden "Pfade" vorgesehen, für die komfortable Hilfsprogramme existieren.

Dieser Zugang bietet die geforderten Eigenschaften. Er erlaubt das Austauschen eines Moduls, ohne daß in den übrigen Programmteilen Änderungen notwendig werden. Gesamtfahrzeugmodelle lassen sich aus verschiedenen in einer Bibliothek abgelegten Modulen unterschiedlicher Komplexität zusammenstellen. Die Entwicklung neuer Modelle (z.B. für Radaufhängungen) kann in erheblich kürzerer Zeit als bisher erfolgen, da nur noch der eigentliche Kern des Systems programmiert werden muß und der gesamte Overhead, der bisher bei jedem Programm neu anfiel, entfällt.

Der zugehörige Simulationsrahmen erlaubt die dynamische Simulation unterschiedlich schneller Teilsysteme unter Einbindung eines Reglers, der zu diskreten Zeitpunkten Sensorsignale empfängt und zeitversetzt Stellgrößen ausgibt. Außerdem sind eine rein kinematische Simulation, die direkte Ermittlung stationärer Fahrzustände (z.B. Kreisfahrt) oder die numerische Linearisierung mit Ermittlung von Eigenfrequenzen möglich.

Literatur

- /1/ Hiller, M., Kecskemethy, A. : Equations of Motion of Complex Multibody Systems using Kinematical Differentials. Transactions of the CSME, Vol. 13, No. 4, 1989.
- /2/ Hiller, M., Schnelle, K.-P. : Fahrzeugmodelle zur Entwicklung aktiver Komponenten. VDI-Berichte Nr. 787, 1989.

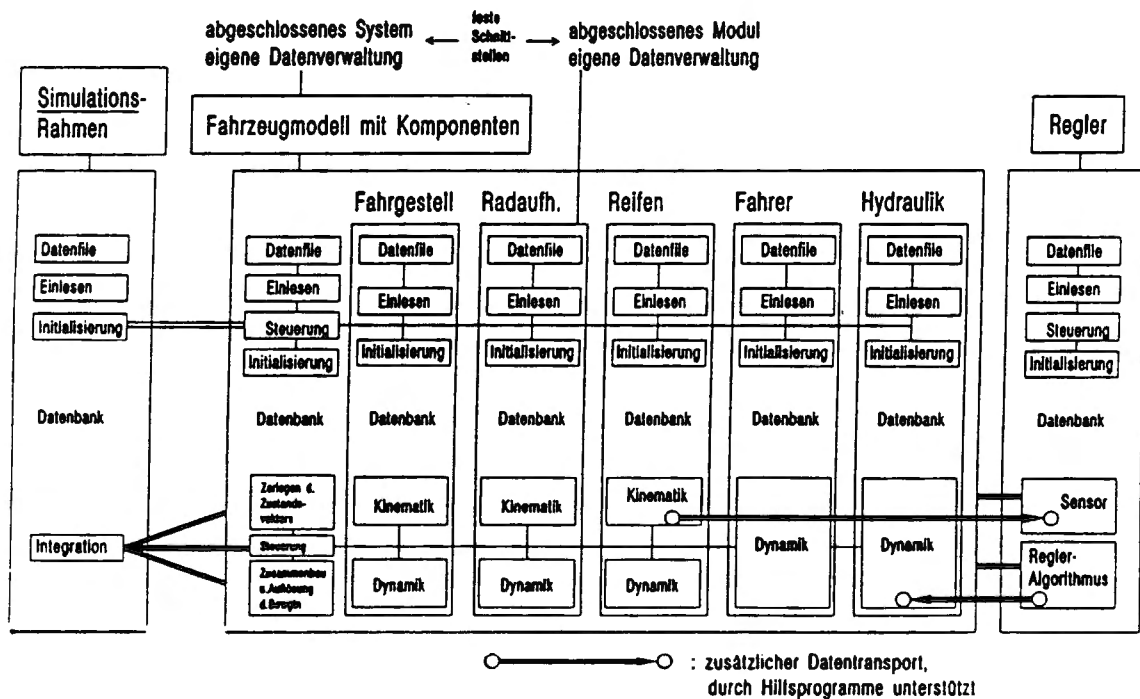


Bild 1: Modulares Fahrdynamik-Simulationsprogramm FASIM

1

2

3

SIMPRO – ein bausteinorientierter Simulator auf Petri-Netzbasis

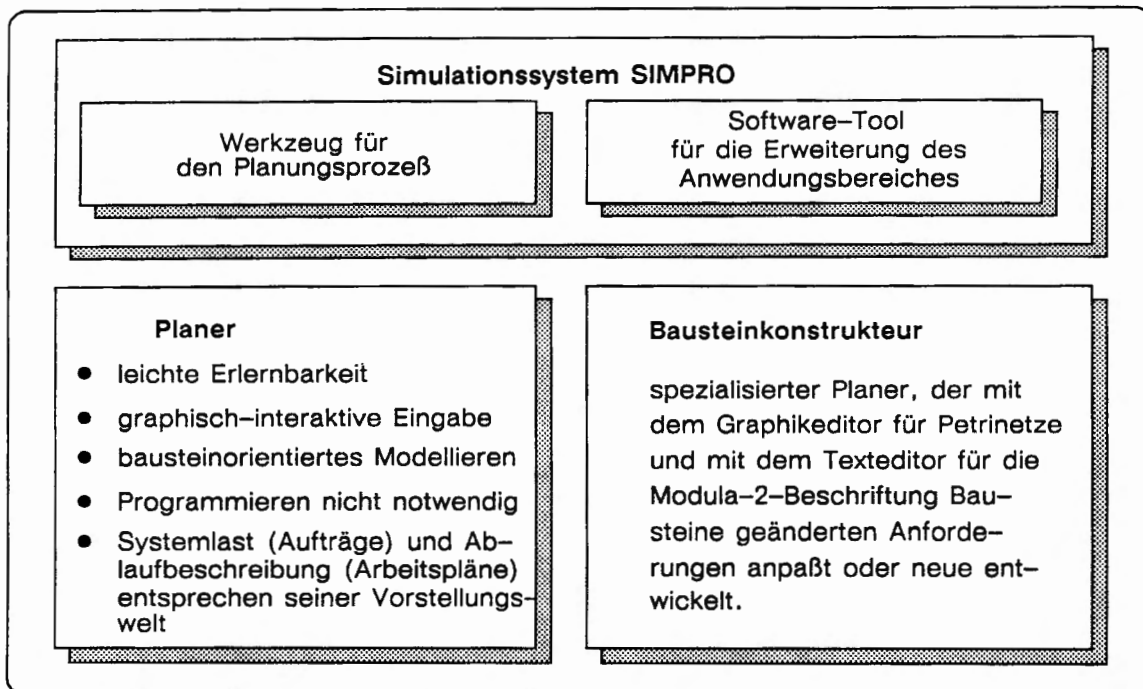
Die stärkere Nutzung der Simulationstechnik zur Lösung von Materialflußproblemen geht einher mit der Forderung, den Zeitaufwand für die Modellerstellung gering zu halten und dabei ohne Spezialkenntnisse auszukommen. Beide Forderungen lassen sich nur mit bausteinorientierten Simulatoren erfüllen. Der Abbildungsbereich der Bausteine ist bei den bestehenden Simulationsprogrammen sehr unterschiedlich. Sie reichen von abstrakten Komponenten wie Warteschlangen und Bedienstationen bis zu konkreten Teilen eines Fertigungs- oder Transportsystems wie z.B. Fertigungszentren mit Vor- und Nachpuffer oder Querverschiebewagen.

Vergleicht man die unterschiedlichen Bausteinbegriffe miteinander, so zeigt sich ein Problem. Einfache, allgemeinere Bausteine erhöhen den Aufwand für die Modellerstellung, sind aber für ein breites Spektrum von Problemen einsetzbar. Spezialisierte Bausteine erlauben ein schnelles Modellieren, ihr Einsatzbereich ist dafür aber zwangsläufig beschränkt. Mit der Entwicklung von SIMPRO ist ein Weg beschritten worden, die Vorteile beider Ansätze zu vereinen.

SIMPRO kennt einen zweistufigen Bausteinbegriff. Üblicherweise werden für die Modellierung die Bausteine der SIMPRO-Standardbausteinbibliothek verwendet. Sie decken weitgehend den Bereich der Transport-, Fertigungs- und Lagertechnik ab, enthalten aber auch Elemente für die damit verbundenen Steuerungsaufgaben. Die Funktionalität dieser Bausteine wird mit den Mitteln der Petri-Netz-Technik beschrieben. Daher lassen sich die Elemente p-Knoten (Stelle), a-Knoten (Transition), Kante und Marke als Elementarbausteine von SIMPRO bezeichnen, obwohl der Bausteinbegriff in SIMPRO für die Bausteine der Standardbausteinbibliothek reserviert ist. Die Modellierungsebene der Petri-Netze wird im allgemeinen genutzt, um die Bausteine der Standardbausteinbibliothek zu modifizieren oder um neue Bausteine zu entwickeln. Es ist aber auch möglich, auf die Verwendung von Bausteinen zu verzichten und das zu modellierende System direkt auf Petri-Netz-Ebene abzubilden.

Durch diese Eigenschaft gibt es zwei unterschiedliche Qualifikationen für die Benutzung von SIMPRO, den Planer und den Bausteinkonstrukteur. Der Planer stellt sich sein Modell aus vorgefertigten Bausteinen zusammen, parametrisiert diese, definiert die Systemlast (Aufträge, Arbeitspläne) und startet den Simulationslauf. Für diese Tätigkeiten braucht er keine Programmiersprache zu beherrschen und benötigt auch keine sonstigen Spezialkenntnisse. Soll die Bausteinbibliothek allerdings erweitert oder verändert werden, so bedarf es der Fähigkeiten eines Bausteinkonstrukteurs. Dieser muß Petri-Netz-Kenntnisse besitzen und mit

MODULA-2 eine Programmiersprache anwenden können, die für die Knotenbeschriftung verwendet wird.



SIMPRO unterscheidet strikt zwischen diesen beiden Benutzergruppen. Bereits beim Programmstart teilt der Benutzer SIMPRO mit, welcher Gruppe er sich zurechnet. Weist er sich als Planer aus, so sieht er ein Modell auch nur in der Planersicht, die dahinterliegenden Petri-Netze bleiben ihm verborgen. Benutzerfunktionen zur Modifizierung des Bausteininventars werden ihm nicht angeboten.

Die Planersicht eines Modells abstrahiert vollständig von den Petri-Netzen. Das Netz eines Bausteins wird durch ein Symbol repräsentiert, diejenigen Marken, die Werkstücke, Transport- oder Transporthilfsmittel abbilden, werden als sogenannte bewegte Objekte ebenfalls in Symbolform dargestellt. Im Gegensatz zu den Bausteinsymbolen verändern sie beim Simulationslauf ihren Platz und ihre Form. Die Form bzw. Farbe des Symbols drückt dabei den Zustand des bewegten Objekts aus (z.B. fahrend oder wartend).

Woraus bestehen SIMPRO-Bausteine

Der zentrale Bestandteil eines Bausteins ist sein **Petri-Netz**. Es definiert die Funktionalität des Bausteins. In SIMPRO werden zeitbehaftete Prädikat-Transitionsnetze (PrT-Netze) verwendet. Diese Netze werden mit MODULA-2 beschriftet. Die p-Knoten werden mit einem MODULA-2-Datentyp versehen. Für die a-Knoten werden drei Prozeduren generiert, deren Rümpfe vom Benutzer auszufüllen sind:

- Mit Hilfe der Prioritätsprozedur wird entschieden, ob eine Markenkombination schaltfähig ist bzw. welche bei konkurrierenden Markenkombinationen bevorzugt wird.

- Die Zeitprozedur legt fest, wie lange die Marken auf den Vorgänger-p-Knoten gelegen haben müssen, bevor der Schaltvorgang ausgelöst werden kann.
- Die Ausgabeprozedur weist den beim Schaltvorgang neu erzeugten Marken in Abhängigkeit von den Eingangsmarken Werte zu.

Um den besonderen Anforderungen der Bausteinkonstruktion zu genügen, wurden die PrT-Netze in zwei Richtungen erweitert:

- Es wurde der Begriff der Schnittstelle mit den Ausprägungen Eingangs- und Ausgangsschnittstelle eingeführt. Eine Schnittstelle besteht aus einem oder mehreren Schnittstellen-p-Knoten. Bausteine werden miteinander verbunden, indem auf Netzebene die p-Knoten einer Ausgangsschnittstelle des Vorgängers paarweise mit den Knoten einer typgleichen Eingangsschnittstelle des Nachfolgers vereinigt werden.
- Die p-Knoten können die zusätzliche Eigenschaft besitzen, BEO-p-Knoten zu sein. BEO-p-Knoten sind die Träger von Marken, die für den Planer in der Animation als bewegte Objekte sichtbar sind.
- Neben den üblichen Kanten, die von einem a- zu einem p-Knoten bzw. umgekehrt verlaufen, kennt SIMPRO Durchgangskanten. Sie verbinden einen p-Knoten über einen a-Knoten hinweg mit einem zweiten p-Knoten. Beide p-Knoten müssen den gleichen Datentyp besitzen. Bei einem normalen Schaltvorgang werden die Marken, die von den Eingangs-p-Knoten genommen werden, vernichtet und neue Marken auf die Ausgangs-p-Knoten gelegt. Stammt die Marke dagegen von einem Eingangs-p-Knoten, der über eine Durchgangskante mit dem schaltenden a-Knoten verbunden ist, so wird sie – ggf. verändert – zum zugehörigen Ausgangs-p-Knoten weitergereicht. Durchgangskanten werden in SIMPRO bevorzugt zur Verbindung von BEO-p-Knoten verwendet. Damit werden die Marken, die bewegte Objekte repräsentieren, nicht bei jedem Schaltvorgang vernichtet, sondern fließen durch das Netz.

Außer dem Netz ist für jeden Bausteintyp ein **Symbol** zu erstellen. Neben dem eigentlichen Symbol, das den Typ des Bausteins repräsentiert, können Anzeiger und Animationsstrecken definiert werden:

- Die Anzeiger dienen zur Animation des Bausteinzustandes. Es handelt sich dabei um Felder, in denen alphanumerische Zeichen oder Symbole dargestellt werden können. Die Aktivierung der Anzeiger erfolgt mit Hilfe von MODULA-2-Prozeduren, die in den Ausgabeprozeduren der entsprechenden Transitionen aufgerufen werden.
- Die Animationsstrecken werden für die Visualisierung des Objektflusses verwendet. Ein Baustein kann über mehrere Animationsstrecken

SIMPRO-Modelle

Die Erstellung von SIMPRO-Modellen läuft in drei Phasen ab:

- Topologieerstellung
- Parametrierung
- Definition einer Anfangsbelegung.

Für das Einsetzen von Bausteinen kennt SIMPRO zwei Mechanismen. Entweder wählt sich der Planer mit Hilfe von Kaskadenmenüs den gewünschten Baustein aus oder er selektiert ihn in einen geöffneten Behälter der Bausteinbibliothek, nimmt ihn auf und setzt ihn anschließend ins Modell ein.

Beim Verbinden von Bausteinen wird geprüft, ob der Vorgängerbaustein eine Ausgangsschnittstelle besitzt, die den gleichen Datentyp aufweist wie eine Eingangsschnittstelle des Nachfolgers. Ist durch diese Prüfung keine eindeutige Entscheidung möglich, muß der Planer auswählen, welche Eingangs- bzw. Ausgangsschnittstelle er verbinden möchte. Für jeden Baustein ist festgelegt, ob er mit einem oder mehreren Vorgängern bzw. Nachfolgern verbunden werden kann.

Die Bausteinverbindungen werden graphisch als Verbindungen zwischen den Animationsstrecken der betroffenen Bausteine dargestellt. Die Strecken können dabei dem tatsächlichen Modelllayout angepaßt werden.

Die Parametrierung der Bausteine sollte sinnvollerweise nach dem Ziehen der Bausteinverbindungen erfolgen, da bei einigen Parametern, insbesondere bei Verteil- und Zusammenführstrategien, topologische Abhängigkeiten bestehen. Eingegebene Parameterwerte können auf Plausibilität geprüft werden. Zu diesem Zweck kann der Bausteinkonstrukteur für jedes Eingabefeld einer Maske eine MODULA-2-Prozedur vereinbaren, in der der eingegebene Wert auch mit anderen Parametern des betreffenden Bausteines verknüpft werden kann.

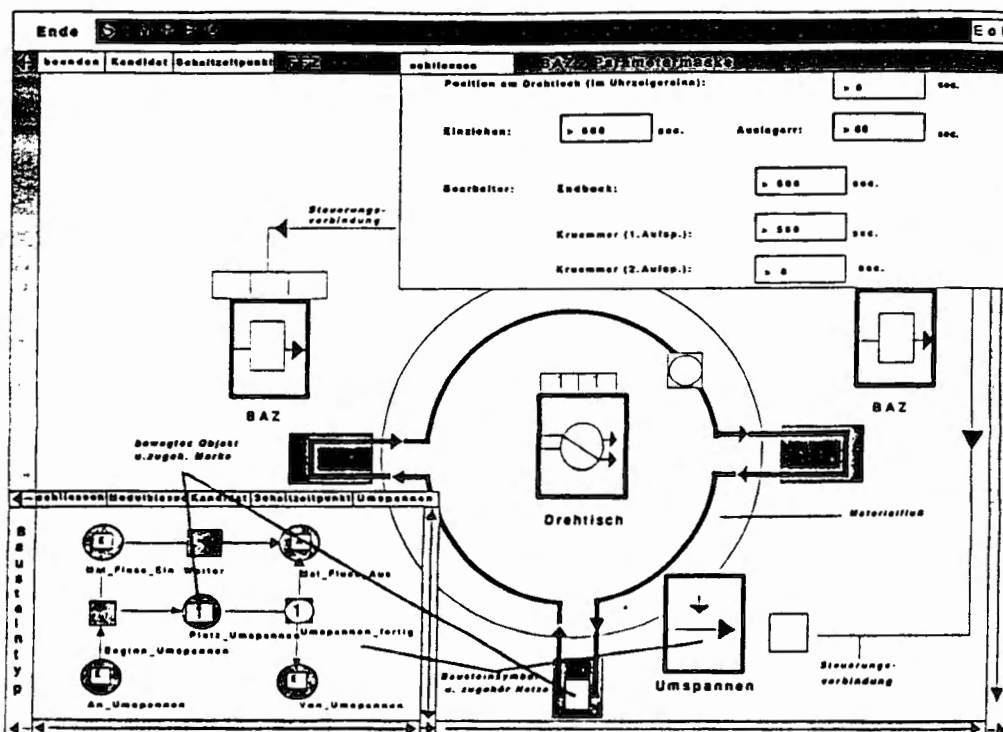
Der erste Schritt bei der Eingabe einer Anfangsbelegung ist die Definition der BEO-Varianten, die in dem Modell verwendet werden sollen. Anschließend kann jeder Baustein mit einem oder mehreren Objekten auch unterschiedlicher BEO-Varianten belegt werden. Auf Netzebene bedeutet dies das Legen einer Marke auf einen ausgezeichneten p-Knoten. Die Definition dieses p-Knotens ist ebenso die Aufgabe des Bausteinkonstrukteurs wie die Anbindung dieses Knotens an das übrige Netz des Bausteins.

SIMPRO-Modelle können derzeit nur interpretativ simuliert werden. Interpretativ bedeutet in diesem Zusammenhang, daß die MODULA-2-Module mit einem SIMPRO-eigenen Compiler in einen Zwischencode übersetzt werden, der vom Simulator interpretativ abgearbeitet wird. In einer späteren Ausbaustufe ist vorgesehen, die MODULA-Beschriftung nach C zu übersetzen. Damit ist dann die Voraussetzung geschaffen, für jedes Modell einen spezifischen Simulator zu generieren.

Die interpretative Simulation ist vorwiegend zur Validierung eines Modells gedacht. Für diesen Zweck stehen eine Reihe von Funktionen zur Verfügung:

- Ein Modell kann schrittweise (jeder Schaltvorgang einzeln bzw. alle Schaltvorgänge eines Zeitpunktes) oder fortlaufend ausgeführt werden.
- Der Simulationslauf kann jederzeit unterbrochen werden, um den Modellzustand abzufragen oder um den Simulationsmodus zu ändern.
- Zu Beginn eines Simulationslaufes muß sich der Benutzer entscheiden, ob er die Möglichkeit der Animation auf Bausteinebene nutzen möchte. Hat er sich entsprechend entschieden, kann er jederzeit die graphische Ausgabe auf dem Bildschirm ein- bzw. ausschalten.
- Jeder Baustein kann bezüglich seines Netzes geöffnet werden. Damit kann parallel zur Bausteinanimation das Markenspiel eines Bausteins verfolgt werden (Netzanimation).
- Bei eingeschaltetem MODULA-2-Debugger werden der Quelltext und die Debug-Ausgabe in separaten Fenstern dargestellt. Es stehen die üblichen Funktionen eines Source-Debuggers zur Verfügung.
- Bei einer Simulationsunterbrechung können aus Planersicht die Statistikmasken der Bausteine und bewegten Objekte geöffnet werden, aus Netzansicht kann der Inhalt von Marken und die Zusammensetzung von Kandidaten angezeigt werden. Ein Kandidat beschreibt die Markenkombination, die bezüglich eines a-Knotens schaltfähig ist, die zugehörige Priorität sowie den Zeitpunkt, zu dem der Kandidat schalten kann.

Anwendungsbeispiel:



Die abgebildete Bildschirmkopie zeigt den Ausschnitt eines flexiblen Fertigungssystems. Zwei Bearbeitungszentren, ein Umspannplatz und ein Drehtisch sind über Materialflußschnittstellen miteinander verbunden. Diese Bausteine sind außerdem an eine Steuerung angeschlossen. Die Parametermaske des Bearbeitungszentrums enthält im wesentlichen die Bearbeitungszeiten der drei im System vorkommenden BEO-Varianten. Für den Baustein "Umspannen" ist die Petri-Netz-Sicht dargestellt.

SIMPRO ist unter UNIX und unter Verwendung der Graphikschnittstelle X-Windows entwickelt worden. Es ist derzeit auf Workstations von Apollo-Domain bzw. von SIEMENS (WS30) lauffähig. Portierungen sind vorgesehen.

