

Forschungsarbeiten zur Simulation Diskreter Prozesse und zu objektorientierter Simulationssoftware an der IHD

Martin Frank

Gerichtsstraße 20
01069 Dresden
mfrank.dd@t-online.de

Abstract: Wesentlicher Gegenstand der Darstellung ist ein an der Ingenieurhochschule (IHD) bzw. ab 1986 am Informatikzentrum Dresden entwickeltes, auf die unmittelbare Nutzung am Arbeitsplatz des Ingenieurs zielendes Simulationssystem für technologische Prozesse.

1. Einleitung

Arbeiten zur Simulation diskreter Prozesse bildeten einen Schwerpunkt der Forschung an der Ingenieurhochschule Dresden (IHD). Vor allem vom Lehrkollektiv „Modellierung und Simulation“ initiiert und getragen, beteiligten sich daran auch die Lehrgebiete „Technologische Vorbereitung“ und „Echtzeitverarbeitung“. Den Anfang bildeten Studien an Teilprozessen der Produktion im VEB Plastikart, für die auf der elementaren Basis von FORTRAN getaktete Simulationsprogramme entworfen und experimentell analysiert wurden. Die Ergebnisse ermutigten zur Fortsetzung dieser Arbeitsrichtung, wobei im Weiteren das inzwischen im VEB Robotron entwickelte Simulationssystem SIMDIS – ein GPSS-Derivat –, auch im Sinne seiner Erprobung mit mehreren industriellen Partnern an unterschiedlichen Prozessen der Produktion und Informationsverarbeitung, genutzt werden konnte. Trotz der ausschließlich über Lochkarten erfolgenden Eingabe, erlaubte es eine wesentlich komfortablere Modellentwicklung und Experimentgestaltung und erreichte eine breite Anwendung in der DDR. Jedoch, Anwendungen dieser Softwarekategorie, das bestätigten unsere Erfahrungen mit SIMDIS, bedürfen eines Mittlers zum eigentlichen Nutzer, eines Simulationsexperten. Andererseits implizierten die erzielten Ergebnisse die Methode der Simulation für eine Anwendung unmittelbar am Arbeitsplatz z. B. des Projektierungsingenieurs als prädestiniert anzusehen. Das bedingt jedoch ein wesentlich einfacher zu handhabendes Simulationswerkzeug, worauf die weiteren Arbeiten zur Entwicklung eines eigenen, diesen Ansprüchen genügenden Simulationssystems für technologische Prozesse ausgerichtet wurden. Dessen Charakteristik soll hier dargestellt werden soll. Um seine wesentlichen Unterschiede im Vergleich zu Systemen wie GPSS bzw. SIMDIS verdeutlichen zu können, sollen zuvor wesentliche Merkmale des letzteren skizziert werden.

2. Charakteristik des Simulationssystems SIMDIS

Für die simulative Analyse eines Prozesses bedarf es stets eines mathematischen Modells, im Falle diskreter Prozesse in Form einer algorithmischen Beschreibung. Für die Entwicklung eines solchen Modells bietet das System eine Reihe vordefinierter Elemente und darauf bezogene Ereignisalgorithmen.

Elementeklassen:

Aktivatoren (temporär, mobil wie Werkstücke, Chargen, Jobs, Nachrichten usw.)

Permanente Elemente (Einrichtung, Speicher, Warteschlange u. a.)

Berechnungselemente (z. B. Zufallszahlengeneratoren., Verteilungs- u. a. Funktionen)

Aktivatorbezogene Ereignisalgorithmen in SIMDIS (eine Auswahl):

Bezeichnung	Parameter	Kommentare
GENERATE (Erzeugung von Aktivatoren)	A, B, C, D, E, F ... I	A und B: Ankunftsabstand C: Zeitpunkt für 1. Aktivator D: Maximalzahl Aktivatoren E: Prioritätsklasse F bis I.: Aktivator-Parameter
ADVANCE (Verzögerung)	A, B, C	A und B: Verzögerungsdauer C: Schranke für Ereigniszeitpunkt
ASSIGN (Änderung von Parametern)	A(+/-), B, C, D	A(+/-): Nr. des Aktivator-Parameters B: Wert, (zuzuweisen () , zu addieren (+) oder zu subtrahieren(-)

Ereignisalgorithmen (Blöcke) bezüglich permanenter Elemente z. B. :

Element	Bezeichner	Parameter	Funktion
Einrichtung	SEIZE RELEASE	A A	Einrichtung "A" belegen/ freigeben
Speicher	ENTER LEAVE	A, B A, B	In "A" B Plätze belegen bzw. freigeben
Warteschlange	QUEUE DEPART	A, B A, B	B Plätze in A belegen bzw. freigeben
Skalar (Variable)	SAVEVALUE	A(+/-), B, C	Wertänderung des Skalars "A" vom Typ "C"

Datenstruktur eines Permanenten Elements :

Als eine vorab definierte Datenstruktur sei die des Elements Speicher angegeben.

Merkmale des Speichers	Numerische S:	Zugeordnete logische S:
Nr. oder Name Aktueller Inhalt Zeitintegral Maximaler Inhalt Aktivatoreintritte	SN _j SA _j , ST _j , SL _j SM _j , SC _j	SEN/SNE: leer/nicht leer SF/SNF: (voll, nicht voll) SV/SNV: (verfügbar, nicht verfügbar)

Die zugeordneten numerischen und logischen Symbole ermöglichen den Zugriff auf diverse Daten während des Simulationslaufs bzw. zur Auswertung.

Die Bezeichner der Algorithmen bilden die Elemente der Modellbeschreibungssprache. Das heißt, die Modellformulierung erfolgt durch eine Sequenz derartiger Benennungen und deren Parametrisierung. Zur Veranschaulichung sei ein simples Beispiel (der Übersichtlichkeit wegen tabellarisch) angegeben: Das stark vereinfachte Modell einer Tankstelle mit 3 Säulen.

Nr. / Name	Bezeichner	Parameter	Kommentar
	SIMULATE	15	Max. Rechenzeit
	INITIAL	SK#TANKS,3	Kapazität: 3 Tanksäulen
TANK	FUNCTION	RN3,C4 0,5/.1,10/.8,30/1,45	Verteilungsfunktion für Tankfüllung (Empirisch 4 Stützstellen)
1	FVARIABLE	PL1*3	Tankdauer: Füllmenge * 3
	GENERATE	DX1(30),,,,PL1	Gleichverteilte Fahrzeugankünfte
	ASSIGN	1,FN#TANK,,,,1PL	Tankfüllung → PL1
	QUEUE	TANKS	Einreihen in WS
	ENTER	TANKS	Tanksäule belegen
	DEPART	TANKS	Verlassen der WS
	ADVANCE	AV1	Verzögern um PL1*3
	LEAVE	TANKS	Tanksäule freigeben
	SAVEVALUE	LITER+, PL1, XL	Verkaufter Treibstoff
	TERMINATE	1	Aktivatoren-Senke
	START	5000	Abbruch nach 5000
	END		Aktivatoren.in der Senke

Der Parameter 1 von TERMINATE bewirkt, dass bei jedem die Senke erreichenden Operanden "1" vom "Startzähler" 5000 subtrahiert wird. Dieses Zusammenspiel der Blöcke TERMINATE und START zeigt, dass die Elementeklasse AKTIVATOR in SIMDIS auch zur Steuerung des Simulationsexperiments genutzt wird. Insgesamt umfasst das System 23 Blocktypen zur Modellbeschreibung und ca. 50 verschiedene Definitions- und Steueranweisungen.

3. Charakteristik des System TOMAS

3.1 Das Formalisierungskonzept

Wenngleich mit SIMDIS der Simulation in der DDR das Tor zu einer breiten Anwendung geöffnet wurde, blieb diese an die Mitwirkung eines mit dem System bestens vertrauten Mittlers gebunden. Andererseits erwiesen sich die Experimentresultate z. B. für die Projektierung von Fertigungsabschnitten, Hochregallagern u. a. Objekten als sehr aussagefähig für deren Gestaltung, so dass die Verfügbarkeit eines einfach zu nutzenden Simulationswerkzeugs am Arbeitsplatz z. B. des Projektierungsingenieurs wünschenswert zu sein schien.

Es lag der Gedanke nahe, eine vereinfachte Modellierung auf der Grundlage eines dialogfähigen Systems zu erreichen, das über eine relativ geringe Anzahl von Bausteinen mit wesentlich komplexeren Funktionen verfügt. Sie sollten nicht elementare Ereignisse sondern an reale Objekte, wie Einzelmaschinen Maschinengruppen, Lager usw., gebundene Teilprozesse modellieren.

Es war klar, dass die Einfachheit derartiger Bausteinsysteme nur mit Verlust an Anwendungsbreite, der Beschränkung auf bestimmte Prozessklassen erkaufte werden muss. Deshalb erschien es wichtig, der Bausteinentwicklung ein uniformes formales Konzept zugrunde zu legen, um eine Systemergänzung um neue, nutzerspezifische Bausteine jederzeit ohne Kompatibilitätsprobleme vornehmen zu können. Analysen anderer neben GPSS zu jener Zeit bekannt gewordener Simulationssoftware ergaben in dieser Richtung keine verwertbaren Aussagen. Eine gewisse Orientierung z. B. an der Bedienungstheorie war mitunter erkennbar aber kein homogenes formales Basiskonzept. Der Anregung einer 1974 erschienenen Publikation¹ zu Problemen der algorithmischen Modellierung folgend¹, wandten wir uns der Automatentheorie zu und fanden in dem Begriff des Allgemeinen Stochastischen Asynchron-Automaten ein geeignetes Konzept zur uniformen formalen Bausteindarstellung.

Die nachfolgende Skizzen (Bild 1 und Bild 2) verzeichnen die Bestimmungsgrößen und das Reaktionsschema dieses Automatentyps auf ein eintreffendes Eingangssignal.

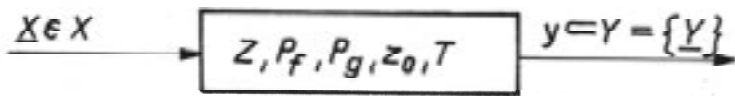


Bild 1: Bestimmungsgrößen

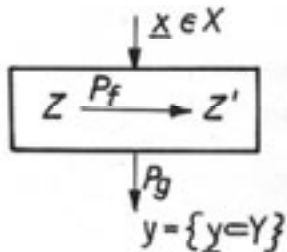


Bild 2: Reaktion des Automaten

¹ Bakajew; Kostina; Jarowizki: Algorithmische Modellierung ökonomischer Probleme, Akademie Verlag Berlin 1974

Es bedeuten:
 X: Eingangssignalmenge, Y: Ausgangssignalmenge, Z: Zustandsmenge,
 P_f: die Überföhrungsfunktion, P_g: die Ergebnisfunktion, z₀: Anfangszustand,
 T: Zeitmenge, (die x, y, und z sind Vektoren)

Die Wirkung der Funktionen P_f und P_g beschreiben die folgenden Formeln, sie bilden zusammen den Automatenalgorithmus. P_f bewirkt einen zeitlosen Zustandsübergang.

$$\underline{Z}(t+\epsilon) = P_f(\underline{Z}(t), \underline{X}(t)); \quad \underline{Z} \in Z$$

$$\epsilon \rightarrow 0 \qquad \qquad \qquad \underline{X} \in X$$

Bild 3: Überföhrungsfunktion

$$\underline{y}(t+\epsilon') = P_g(\underline{Z}(t+\epsilon), \underline{X}(t)) \quad ; \quad \epsilon' > \epsilon$$

$$\epsilon' \rightarrow 0 \qquad \qquad \qquad \epsilon \rightarrow 0 \qquad \qquad \qquad y \in Y$$

Bild 4: Ergebnisfunktion

P_g erzeugt eine Menge von Ausgangssignalen (Teilmenge von Y)

3.2. Operatoren und Operanden

Die formalen Merkmale des Automaten nehmen für unterschiedliche Bausteintypen, in TOMAS Operatoren (Or) genannt, eine spezifische Ausprägung an. Beispielsweise hat ein „Bedienungsoperator“ einen Parameter- und einen Zustandsvektor Z = (Z1, Z2), (s. Tabelle u.). Neben den als Operatoren bezeichneten Modellbausteinen existiert in TOMAS eine Operanden (Od) genannte Klasse zur Abbildung "passiver" Prozesselemente. Sie existieren analog den SIMDIS-Aktivatoren als temporäre Datenstrukturen, aber ohne Steuerungsaufgaben.

Die Kopplung der Bausteine eines konkreten Modells erfolgt über die beim Modellentwurf gemäß dem Operandenfluss anzugebenden Nachfolgeroperatoren. Somit stellt ein TOMAS-Modell ein in Abhängigkeit vom Operandenfluss strukturiertes Operatorennetz dar.

Parameter und Hauptattribute Z ₁ :	Zusatzattribute Z ₂ : Zur lokalen WS
- Name - Anzahl der Bedienungskanäle - Kapazität der lokalen WS - Bedienungsdauer (i. a. eine Funktion) - Anzahl der Operandeneintritte - Warteschlangen-Zeitintegral - Bedienungskanal-Zeitintegral..... - Unterbrechungszeitintegral	- Nr. des 1. Operanden - Typ desselben - nächste Ereigniszeit - Nr. des 2. Od - Typ desselben - Nächste Od-Ereigniszeit

Operatoren:

- sind Instanzen/Objekte (Inkarnationen) vordefinierter Operatorentypen,
- modellieren die Einwirkung der realen permanenten Objekte des zu simulierenden Systems wie Maschinen, Transportgeräte, Prozessoren, Übertragungskanäle usw. auf dessen temporäre Objekte,
- realisieren signalabhängig den Operandenfluss.

Operanden

- modellieren vorrangig die temporären Objekte des betrachteten realen Systems wie Werkstücke, Chargen, Jobs, Nachrichten usw.
- gegebenenfalls aber auch die für bestimmte Operationen benötigten, beschränkt verfügbaren mobilen Ressourcen wie Vorrichtungen, Werkzeuge usw.

Die Modellentwicklung besteht in der Komposition eines systemadäquaten Operatorennetzes über die Nachfolgerbenennung der Bausteine und deren Parametrisierung durch den Nutzer.

3.3 Das Baustein- und Funktionsangebot

Das Standardangebot an Modellbausteinen zeigt die folgende Tabelle.

Benennung	Kurzbez.	Abbildungsfunktion
Operandengenerator I	GENO	Autonome Erzeugung von Od
Operandengenerator II	GENA	Abhängige Erzeugung von Od
Bedienoperator	BEMM	Zeitverbrauchende Teilprozesse
Zuordnungsoperator	ZUOR	Verknüpfung von Od (Montage)
Dispositionoperator	DISP	Verwaltung/Zuteilung speziell. Ressourcen
Packetieroperator	PACK	Bildung von Od-paketen / -Senke
Kopieroperator	KOPI	Vervielfachung von Od (Klonen)
Vereinigungsoperator	VERE	Vereinigung von Od-strömen
Verzweigungsoperator	VERZ	Verzweigung eines Od-stroms
Speicheroperator	SPEI	Speicher für Od (Lager)
Störsignalgenerator	GENS	Determinierte bzw. stochastische Unterbrechungen

Der 1. Schritt der Modellentwicklung ist die Definition der Modellstruktur. Z. B. von einem Prozessgraphen ausgehend (Bild 5) sind im Dialog für die einzelnen Teilprozesse der Bausteintyp zu wählen, zu benennen und der Nachfolger anzugeben.

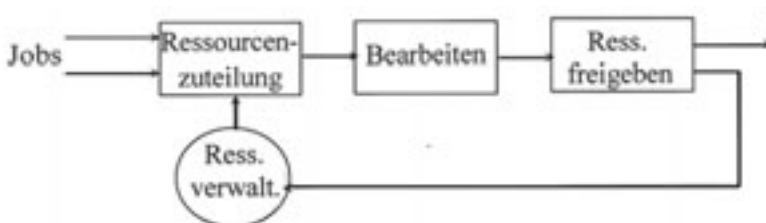


Bild 5: Strukturgraph

Das Ergebnis ist ein Modellgraph wie im Bild 6 für den skizzierten einfachen Prozess.

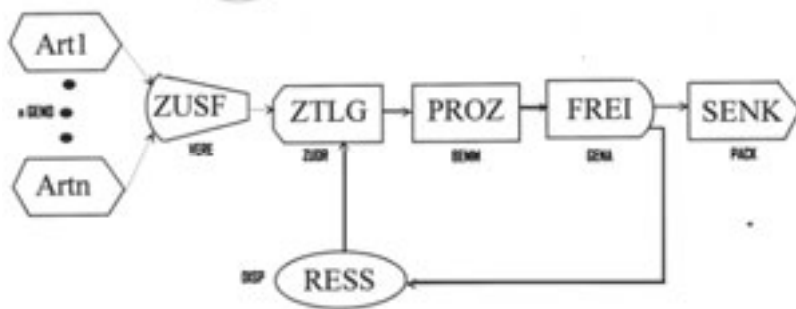


Bild 6: Modellgraph

Für die Belegung der Parameter der aus dem Bausteinmenü gewählten Operatoren, die auf der Basis von Formularen erfolgt, wird ein Menü vordefinierte Funktionen angeboten, und zwar

- Theoretische Verteilungsfunktionen
- Tabellarische Funktionen z. B. für empirische Verteilungen
- Verzweigungsfunktionen
- Kopierfunktionen
- Prioritätsfunktionen
- Unterbrechungsfunktion

Auch der Definition dieser Funktionen wurde ein formales Schema zugrunde gelegt und zwar in Form weniger abstrakter Datenstrukturen.

3.4. Interne Steuerung des Simulationslaufes

Wie in SIMDIS und den meisten anderen Systemen wird der Ablauf der Simulation ereignisorientiert auf der Grundlage einer Modelluhr gesteuert, allerdings nicht über die den Aktivatoren analogen Operanden sondern mittels der im Modell von den verwendeten Bausteinen (Automatenobjekten) erzeugten Signale.

Auf der Vereinigungsmenge $X \cup Y$ wurden folgende Signalklassen definiert:

1. Kalendersignale

- Sie dienen der Nachbildung Zeit verbrauchender Operationen durch Planung zukünftiger Ereignisse (nächste Ankunft eines Operanden, nächster Störbeginn, Ende einer Bearbeitung oder Störung usw.).
- Sie werden im „Kalender“ notiert, in dem je Zeit verbrauchendem Operator ein Platz vorhanden ist. Später liegende, schon erzeugte Kalendersignale werden lokal im Operator verwaltet. (Beschleunigung der Simulation durch partiell dezentrale Signalverwaltung!)

Dem Signal aufgeprägte Informationen sind Absender, Empfänger, Ereigniszeit, Ereignistyp.

2. Momentane Ereignissignale

- Sie werden zum aktuellen Modellzeitpunkt einer „Signalkette“ (SK) genannten Liste übermittelt.
- Ihre Einordnung in die Signalkette erfolgt prioritätsabhängig. Blockierungssignale haben die höchste, Übergabesignale die zweithöchste Priorität, alle übrigen momentanen Signale werden dahinter, jeweils am Ende der SK eingeordnet werden.

Insgesamt wurden 7 Typen momentaner Signale definiert:

- Übergabesignale, bewirken die Übergabe eines Operanden an einen Nachfolger.
- Blockierungssignale, an Vorgänger gerichtet, verbieten weitere Übergabe von Od.
- Störsignale, vom zugeordneten GENS kommend, zeigen Störungsart, Anfangs- und Endzeitpunkt der Störung an.
- Markierungssignale, von Operandensenken (PACK oder DISP) an GENO oder GENA gerichtet, zeigen das Ende der Existenz eines Operanden der Quelle an.
- Bestellsignal, von ZUOR an DISP (Anforderung von Hilfsoperanden / Ressourcen) für einen Hauptoperanden.
- Liefersignale, von DISP an ZUOR gerichtet (Anzeige der Lieferung).
- Sondersignale, für spezielle Zwecke, z. B. Losbildung, verwendet.

Arbeitsweise des Aktivierungsalgorithmus (Bild 7): Die Steuerung der Simulation des durch das Modell abgebildeten Prozesses, verdeutlicht diese Schrittfolge:

1. Das erste Signal in der Signalkette wird an dessen Empfänger übermittelt.
2. Der Empfänger wird aktiv und erzeugt gegebenenfalls neue Signale, die in die Signalkette oder in den Kalender eingetragen werden.
3. Solange die Signalkette nicht leer ist, folgt Schritt 1, andernfalls Schritt 4.
4. Aktivierung des Kalenders,
 - 4.1. Suche des frühesten Kalendersignals, Aktualisierung der Modelluhr und Übermittlung an dessen Empfänger, der damit aktiviert wird. und gegebenenfalls momentane oder zukünftige Ereignisse erzeugt und übermittelt.
 - 4.2. Warten auf erneute Aktivierung bei leerer Signalkette

Der Simulationslauf endet, wenn keine Signale mehr anliegen, spezielle Steueranweisungen sind nicht erforderlich.

Um die Mitte der 80-er Jahre war die Standardversion so weit gediehen, dass sie im Rahmen von Praktika zum Lehrfach „Modellierung und Simulation“ einem intensiven Test unterzogen werden konnte. Danach wurde TOMAS einer ganzen Reihe von interessierten industriellen Anwendern und einigen Hochschulen zur Erprobung bzw. Nutzung mit teilweiser Unterstützung durch Diplomanden übergeben.

Partner waren z. B. die Unternehmen Planeta Radebeul, Zentrum für Mikroelektronik Dresden (ZMD), Schaltgerätekombi Oppach, Elektromotorenwerk Dessau, Armaturenwerk Prenzlau, Sektion Elektroniktechnologie der Humboldt-Universität. Das DVZ Neubrandenburg übernahm das System TOMAS zur kommerziellen Aufbereitung und zum Vertrieb.

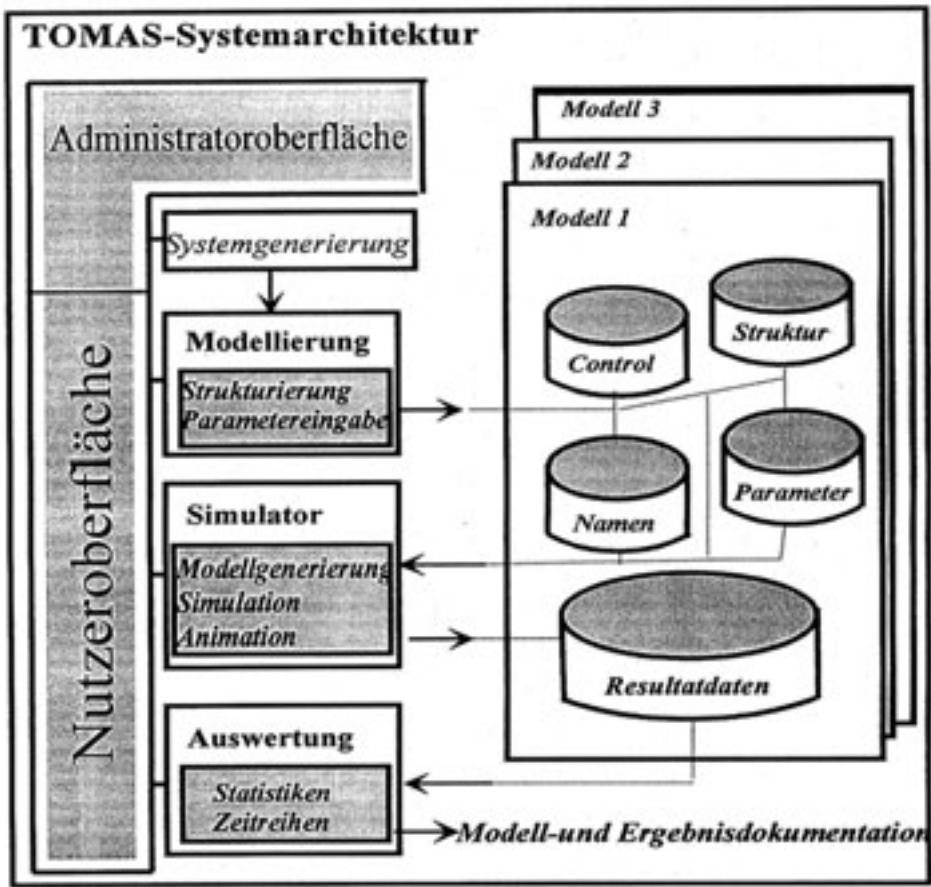


Bild 8: Systemarchitektur

Das Urteil der beteiligten Ingenieure der Partnerunternehmen war außerordentlich positiv, vor allem die Transparenz der Modellstrukturentwicklung und die leichte Erlernbarkeit des Umgangs mit dem System wurden hervorgehoben.

Ein nahe liegender Gedanke kam allerdings auch zu Tage: Die Parametrisierung des Modells durch Kopplung an die betriebliche Datenbasis (Arbeitsplan-Stammdaten z. B.) weiter zu vereinfachen und zu beschleunigen. In Zusammenarbeit mit ZMD wurden entsprechende Arbeiten zur (Teil-)Automatisierung der Modellentwicklung, einschließlich der Modellstruktur, in Angriff genommen. Diese zielten zugleich dahin, TOMAS-Modelle auch für die Steuerung von Abschnitten der Schaltkreisfertigung einzusetzen, konnten aber nicht mehr zu Ende geführt.

Schon 1990 begann der Überlebenskampf der industriellen Forschungspartner in dessen Folge dieser Teil der Finanzierung unserer Arbeiten und jegliche Zusammenarbeit entfielen. Wenig später folgte die radikale Personalreduzierung an Universitäten und Hochschulen und deren Einordnung in das BRD-System der Forschungsförderung. Die beantragte Aufnahme unserer Thematik in die Förderung durch die DFG wurde abschlägig beschieden. Ein maßgeblicher Gutachter der DFG und Fachkollege empfahl „wohlwollend“ ein Subthema in seiner Forschungsrichtung zu übernehmen. Infolge dieser Umstände reduzierten sich die Arbeiten an TOMAS auf die Umgestaltung der Nutzer- und Administratoroberfläche in echt graphische sowie die Entwicklung einer weiteren Generierungskomponente für die Anpassung der Oberfläche selbst an spezielle Nutzeranforderung. Auch die Einbindung von Möglichkeiten der Animation als Mittel der Modellvalidierung wurde begonnen. Schließlich kamen diese Forschungsarbeiten vollständig zum Erliegen.

4. Resümee

Die zuletzt geschilderten Umstände verhinderten den endgültigen Nachweis der möglichen Integration der Simulation in die "Werkzeugkiste" des komplexe Systeme projektierenden oder steuernden Ingenieurs mittels eines adäquaten, einfach zu nutzenden Simulationswerkzeugs. Bemühungen in dieser Richtung hat es begrenzt auch anderweitig gegeben. Sie begnügten und begnügen sich im Wesentlichen mit der Einfügung parametrisierbarer Modelle (z. B. für Hochregallager, Engpassanalysen von Maschinengruppen, Halbleiterfertigung) in Fabrikplanungssysteme zum Beispiel. Neu bzw. deutlich verbessert erscheinen die auf die Modelle bezogenen Visualisierungs- bzw. Animationsmöglichkeiten sowie die Methoden der statistischen Auswertung und Darstellung der Resultate. Die Integration flexiblerer komplexer Simulationskomponenten in die Werkzeuge der Computer unterstützten Ingenieurarbeit steckt anscheinend weiterhin in den Anfängen.

Auf dem Gebiet der Simulationssoftware allgemein sind in den letzten 15 Jahren auf Basis der rechentechnischen Entwicklung bedeutende Fortschritte in Richtung graphischer Oberfläche und Animation, statistischer Auswertung und Darstellung der Simulationsergebnisse sowie der Nutzung objektorientierter Sprachen zur Implementation erzielt worden. Auf der Grundlage ihrer objektorientierten programmierungs-technischen Umsetzung verfügen einige Bausteinsysteme auch über Möglichkeiten zur Modifikation der modellierenden Elemente, bzw. der Programmierung neuer. Neben dieser, die Nutzerfreundlichkeit der Simulationssysteme erheblich steigernden, hat sich eine drastische quantitative Entwicklung vollzogen.

Neben den damals schon bekannten sind etliche allgemeine und fachgebietsorientierte, in konzeptioneller Hinsicht konservative Simulationssysteme auf dem Markt, mit denen Simulation weiterhin im Sinne von Dienstleistung durch eine Vielzahl (meist kleinerer) Unternehmen angeboten und realisiert wird. Bemühungen in Richtung einer theoretisch fundierten abstrakten Beschreibung der modellierenden Konstrukte hat es offensichtlich kaum gegeben. In einem Fall kann man vermuten, dass die Idee, Simulationssoftware auf Basis eines wohl definierten, aus der Automatentheorie abgeleiteten formalen Bausteinkonzepts zu entwickeln, Nachahmung gefunden hat. Zu erwarten gewesen wäre wohl in dieser Zeit auch die breitere Nutzung echter Parallelverarbeitung anstelle der quasi parallelen rechnerischen Prozessnachbildung, wozu es im Rahmen der hier dargestellten Arbeiten bereits erste Ansätze gab.

Wenngleich die Ziele der Forschungsarbeiten zur Simulation an der IHD und ab 1986 im Informatikzentrum der TUD nur partiell erreicht wurden, dürften sie nicht ohne Nachhaltigkeit gewesen sein. Durch ein Lehrbuch und eine Vielzahl von Publikationen trugen sie zur Publizität der Computersimulation und zur Wissenschaftsentwicklung bei. Von unschätzbarem Wert war die Tatsache, mit dem eigenständig entwickelten Simulationssystem, eine bis aufs letzte Bit transparente Quelle für Diplomthemen und andere Graduierungen zur Verfügung zu haben. Etwa 100 Diplomthemen wurden vergeben u. a. zur Erprobung an praktischen Aufgaben sowie zu Problemen der algorithmischen Modellierung, der Oberflächengestaltung, der Beschleunigung des Simulationslaufs, einer effektiven Implementierung, einer aussagefähigen Ergebnisdarstellung usw. Darüber hinaus entstanden im Rahmen dieser Arbeitsrichtung 18 Dissertationen und 3 Habilitationsschriften. Somit wurde gewiss ein nennenswerter Beitrag zur Heranbildung hoch qualifizierter, überwiegend noch heute in Deutschland tätiger Informatiker geleistet.

Literaturverzeichnis

- [1] Frank, M.: Ein automatentheoretisches Modellkonzept für ein fachgebietsorientiertes Simulationssystem. Dissertation B, TH Ilmenau 1979
- [2] Frank, M.: A Process-oriented Modelling Concept for Special Simulation Systems. In: Discrete Simulation and Related Fields. North-Holland Publishing Company, Amsterdam - New York - Oxford 1982
- [3] Frank, M.; Neuthe, S.: Fertigungssysteme modellieren und simulieren. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung. 85(1990)6, S. 326 - 330
- [4] Strohmeier, S.: Probleme der Gestaltung und Implementation "offener" Simulationsssoftware. 15 Jahrestagung - Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik; Rostock 1986, Tagungsbericht S. 5 - 8
- [5] TOMAS-Anwenderdokumentation. Teil I: Handbuch für die Modellentwicklung, Teil II: Handtierung, TU Dresden 1991
- [6] Bersiner, S.: Neukonzipierung der Generierungskomponente des Modellierungs- und Simulationssystem TOMAS. Diplomarbeit, TU Dresden 1994
- [7] Frank, M.: Ein Simulationswerkzeug für die Ausbildung. Proceedings zum 5. Symposium: Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe - Neuere Werkzeuge und Anwendungen aus der Praxis. Braunlage 1995, S. 223 - 240