

Simulation und Analyse dynamischer Systeme in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

**Teil 4 von 4
Seite 522-618**

Prof. Dr. Eckart Zwicker
Technische Universität Berlin
Fachgebiet Unternehmensrechnung und Controlling

4. Rechnergestützte Systeme zur Entwicklung und Analyse dynamischer MZÄ-Modelle

Neben der Ermittlung des Zeitverlaufes der endogenen Modellvariablen können einem Rechner weit mehr Aufgaben bei der Entwicklung und Untersuchung dynamischer Modelle anvertraut werden. So kann man beispielsweise die standardisierte Strukturmatrix eines dynamischen Modells mit einem Rechner ermitteln oder im linearen Fall die Wurzeln der Endgleichungen.¹

Auch die statistische Schätzung der Parameter eines Modells wird heute nahezu ausschließlich von Rechnern durchgeführt.

Es liegt auf der Hand, nach einem Programmsystem zu fragen, in dem diese Schätz- und Analysemethoden zur Behandlung dynamischer MZÄ-Modelle in leicht zu handhabender Weise miteinander verknüpft sind. Solche Schätz- und Analysesysteme liegen heute tatsächlich vor und sollen in diesem Abschnitt beschrieben werden.

Bevor wir uns aber diesen generellen Systemen zuwenden, wollen wir uns mit Systemen befassen, die ausschließlich die Simulation der endogenen Variablenverläufe zum Ziel haben.

4.1. Simulationssysteme für MZÄ-Modelle

4.1.1. Simulation mit DYNAMO

A. Kennzeichen der DYNAMO-Sprache

Die Simulationssprache DYNAMO wurde 1962 von PUGH am M.I.T. entwickelt und ist im Laufe der vergangenen Jahre zunehmend erweitert und verfeinert worden. Mit Hilfe der DYNAMO-Jumbo-Version ist es möglich, über 1000 Gleichungen zu simulieren. Die generelle Anwendbarkeit von DY-

¹ Vgl. Seite 244 und Seite 329

DYNAMO wird oft unterschätzt, weil man von der Auffassung ausgeht, DYNAMO sei nur in der Lage, System-Dynamics-Modelle zu simulieren. Wie später gezeigt werden wird, kann DYNAMO jedoch zur Simulation jedes rekursiven Differenzengleichungssystems und unter Umständen sogar simultaner Modelle verwendet werden. Es soll hier nicht der gesamte Aufbau der Sprache erörtert werden, da die wichtigsten Sprachelemente bereits im Abschnitt über System Dynamics beispielhaft dargestellt wurden.¹

Vielmehr sollen bestimmte Vorteile von DYNAMO herausgearbeitet werden, wie sie sich insbesondere im Vergleich mit einer FORTRAN-Programmierung ergeben.

(1) Beliebige Anordnung der Strukturgleichungen

Der Programmierer braucht keine Rücksicht auf die Reihenfolge der Abarbeitung der Gleichungen zu nehmen. Dies ist gegenüber der Verwendung von FORTRAN, welches eine der rekursiven Abarbeitung entsprechende Anordnung der Anweisungen verlangt, ein großer Vorteil, der besonders deutlich wird, wenn in einem Modell laufend Teile ausgetauscht werden.

(2) Spezifische Fehlerroutine

Da DYNAMO eine Spezialsprache ist, können seine Fehler Routinen und Fehlerinterpretationen wesentlich gezielter gestaltet werden als im Falle der Verwendung einer üblichen Programmiersprache.

So liefert DYNAMO zum Beispiel Fehlerausdrucke beim Überschreiten des Definitionsbereiches von Tabellenfunktionen. Der Fall einer Division durch Null in einer Gleichung wird durch Ausdruck der betreffenden Variablen und Periode dokumentiert. Ein Vorteil von DYNAMO ist auch die Fähigkeit, simultane Beziehungen aufzudecken. Da DYNAMO nur die Modellierung rekursiver Modelle erlaubt, sind simultane Beziehungen, die sich oft in den Primäransatz komplexer Modelle einschleichen, verboten. DYNAMO ist in der Lage, die Schleifen der simultanen Beziehungen zwischen den Hilfsvariablen oder Anfangswertgleichungen anzugeben.
¹ Vgl. zur eingehenden Beschreibung von DYNAMO [163]

ben.² Damit wird die kritische Überprüfung und Veränderung des ursprünglichen Ansatzes erleichtert. Führen wir uns das Beispiel eines in DYNAMO formulierten simultanen Gleichungssystems vor Augen.

```

A X3.K=500
A X1.K=X3.K+X7.K
A X6.K=X1.K
A X9.K=X2.K+X1.K
A X7.K=X6.K-X9.K
A X2.K=X4.K
A X8.K=X4.K
A X4.K=X5.K
A X5.K=X4.K+X3.K
*
SPEC DT=1/LENGTH=1
RUN

```

Dieses Modell führt zu folgender Fehlermeldung:

```

ØSIMULTANEOUS EQNS IN A EQNS
  INVOLVED ARE X7,X1,X9
ØSIMULTANEOUS EQNS IN A EQNS
  INVOLVED ARE X6,X7,X1
ØSIMULTANEOUS EQNS IN A EQNS
  INVOLVED ARE X5,X4

```

Da die Strukturmatrix dieses Gleichungssystems dem auf Seite 330ff. analysierten Beispiel entspricht, kann man sich von der Richtigkeit der Fehlerfeststellung anhand von Abbildung 24.6 auf Seite 338 überzeugen. Die Fehler Routinen und Fehlerinterpretationen sind in DYNAMO so umfassend, daß es nahezu immer ohne großen Aufwand möglich ist, ein Programm von seinen syntaktischen Fehlern zu befreien, d.h. lauffähig zu machen.

(3) Übersichtliche Technik der Parametervariation

Parametervariationen werden durch die jeweilige Eingabe der zu ändernden Parameter voreinem Lauf veranlaßt. Das Programm liefert eine Aufstellung sämtlicher geänderter Parameter in ihrer ursprünglichen und in der in dem betreffenden Lauf abgeänderten Ausprägung.

² Zum Begriff der Schleifen siehe Seite 329ff. DYNAMO zeigt bei größeren Modellen aber nicht alle Schleifen an, sondern bricht die Schleifenanalyse vorzeitig ab.

DYNAMO besitzt die Möglichkeit, Variablenverläufe aus verschiedenen Simulationen zu speichern und in einem Histogramm wiederzugeben. Dies erleichtert die Durchführung von Sensitivitätsuntersuchungen.

(4) Programmdokumentationseinrichtungen

Mit Hilfe eines Dokumentationsprogrammes kann ein Ausdruck erstellt werden, der unter jeder Gleichung die in dieser auftretenden Variablen und Konstanten erklärt. Darüberhinaus wird ein alphabetisch geordnetes Verzeichnis der Variablen und Konstanten erstellt, aus dem hervorgeht, in welchen der (numerierten) Gleichungen diese Größen auftreten.

Das mehrfach erörterte Fertigungs- und Lagerhaltungsmodell führt beispielsweise zu folgender Dokumentation:³

BMR.KL=PFLA.K+RF*(SLB.K-FLB.K)	1, R
BMR - BESTELLMENGENRATE <1>	
PFLA - PROGNOTIZIERTER LAGERABGANG <4>	
RF - BESTELLFAKTOR <7.3>	
SLB - SOLLAGERBESTAND <5>	
FLB - FERTIGLAGERBESTAND <3>	
FZU.KL=DELAY3(BMR.JK,DVZ)	2, R
FZU - FERTIGLAGERZUGANG <2>	
BMR - BESTELLMENGENRATE <1>	
DVZ - DURCHSCHNITTL. VERZÖGERUNG <7.4>	
FLB.K=FLB.J+DT*(FZU.JK-FLA.JK)	3, L
FLB - FERTIGLAGERBESTAND <3>	
FZU - FERTIGLAGERZUGANG <2>	
FLA - FERTIGLAGERABGANG <6>	
PFLA.K=SMOOTH(FLA.JK,APF)	4, A
PFLA - PROGNOTIZIERTER LAGERABGANG <4>	
FLA - FERTIGLAGERABGANG <6>	
APF - ANPASSUNGSFAKTOR <7.5>	
SLB.K=MF*PFLA.K+500	5, A
FLB=450	5.1, N
SLB - SOLLAGERBESTAND <5>	
MF - SOLLBESTANDSFAKTOR <7.6>	
PFLA - PROGNOTIZIERTER LAGERABGANG <4>	
FLB - FERTIGLAGERBESTAND <3>	
FLA.KL=FAK.K*FLB.K	6, R
FLA - FERTIGLAGERABGANG <6>	
FAK - LAGERABGANGSKOEFFIZIENT <7>	
FLB - FERTIGLAGERBESTAND <3>	

³ Vgl. zu diesem Modell Seite 421

```

FAK.K=TABLE(TAFA,FLB.K,0,1000,100)          7, A
TAFA=0.02/0.05/0.07/0.11/0.18/0.25/0.29/0.32/0.32/ 7.1, T
0.32/0.32
RF=0.3                                         7.3, C
DVZ=10                                         7.4, C
APF=2                                          7.5, C
MF=0.25                                       7.6, C
    FAK      - LAGERABGANGSKOEFFIZIENT <7>
    TAFA     - FUNKTIONSWERTE <7.1>
    FLB      - FERTIGLAGERBESTAND <3>
    RF       - BESTELLFAKTOR <7.3>
    DVZ      - DURCHSCHNITTL. VERZOEGERUNG <7.4>
    APF      - ANPASSUNGSFAKTOR <7.5>
    MF       - SOLLBESTANDSFAKTOR <7.6>

SPEC  DT=1,LENGTH=50,PRTPER=1,PLTPER=1      7.7

PRINT 1)FLB/2)FZU/3)FLA/4)BMR                7.8
    FLB      - FERTIGLAGERBESTAND <3>
    FZU      - FERTIGLAGERZUGANG <2>
    FLA      - FERTIGLAGERABGANG <6>
    BMR      - BESTELLMENGENRATE <1>

PLOT  SLB=S(300,550)/FLB=L(300,550)/FZU=Z(100,150)/ 7.9
      FLA=A(100,150)
    SLB      - SOLLAGERBESTAND <5>
    FLB      - FERTIGLAGERBESTAND <3>
    FZU      - FERTIGLAGERZUGANG <2>
    FLA      - FERTIGLAGERABGANG <6>

```

Außer der vorstehenden Erklärung der in die Gleichung eingehenden Variablen und Konstanten wird auch eine Kreuzverweisliste erstellt:

NAME	NO	T	DEFINITION	WHERE USED
APF	7.5	C	ANPASSUNGSFAKTOR <7.5>	PFLA,A,4
BMR	1	R	BESTELLMENGENRATE <1>	FZU,R,2/PRINT,7.8
DVZ	7.4	C	DURCHSCHNITTL. VERZOEGERUNG <7.4>	FZU,R,2
FAK	7	A	LAGERABGANGSKOEFFIZIENT <7>	FLA,R,6
FLA	6	R	FERTIGLAGERABGANG <6>	FLB,L,3/PFLA,A,4/PRINT,7.8/PLOT,7.9
FLB	3	L	FERTIGLAGERBESTAND <3>	EMR,R,1/FLA,R,6/FAK,A,7/PRINT,7.8/PLOT,7.9
FZU	2	R	FERTIGLAGERZUGANG <2>	FLB,L,3/PRINT,7.8/PLOT,7.9
LENGTH				SPEC,7.7
MF	7.6	C	SOLLBESTANDSFAKTOR <7.6>	SLB,A,5
PFLA	4	A	PROGNOSTIZIERTER LAGERABGANG <4>	BMR,R,1/SLB,A,5
PLTPER				SPEC,7.7
PRTPER				SPEC,7.7
RF	7.3	C	BESTELLFAKTOR <7.3>	BMR,R,1
SLB	5	A	SOLLAGERBESTAND <5>	BMR,R,1/PLOT,7.9
TAFA	7.1	T	FUNKTIONSWERTE <7.1>	FAK,A,7

(5) Eigendefinition von Makrofunktionen

Der Aufbau von Makrofunktionen wurde bereits besprochen und an Beispielen demonstriert.⁴ Mit Hilfe von Makrofunktionen, die ausschließlich in Hilfspgleichungen verwendet werden, ist es möglich, beliebige rekursive Differenzengleichungsmodelle mit DYNAMO zu simulieren. Die Folge ist, daß das Anwendungsgebiet von DYNAMO über System Dynamics hinausgehend wesentlich erweitert wird. Auf das hierbei angewendete Verfahren gehen wir wegen seiner Bedeutung in einem gesonderten Abschnitt ein.

(6) Verwendung von FORTRAN-Unterprogrammen

DYNAMO gestattet den Einbau von FORTRAN-Unterprogrammen, so daß die Vorteile von DYNAMO und FORTRAN miteinander verbunden werden können. Die Verwendung solcher Unterprogramme ist beispielsweise erstrebenswert, wenn mit Hilfe bestimmter Optimierungsmethoden die Aktionsvariablen eines komplexeren DYNAMO-Modells sukzessiv verändert werden und die resultierenden Werte einer vorgegebenen Zielfunktion wieder in das FORTRAN-Unterprogramm zurückgegeben werden.⁵

Für Modellanalysen bietet sich, wie wir später an Beispielen zeigen werden, die Verwendung von FORTRAN-Unterprogrammen an, um die simultanen Teilsysteme eines dynamischen Modells auf der FORTRAN-Ebene zu lösen, während der rekursive Teil auf der DYNAMO-Ebene bearbeitet wird. Wegen des noch zu beschreibenden Ein- und Ausgabekomforts von DYNAMO ist es nicht abwegig, sogar ein vollkommen simultanes Modell mit Hilfe von FORTRAN zu lösen und mit diesem Programm als FORTRAN-Unterroutine von DYNAMO die Datenausgabe über DYNAMO vorzunehmen. Die Vorbereitung im DYNAMO-Hauptprogramm zur Verwendung eines FORTRAN-Programmes erfolgt durch folgende Instruktionen:⁶

```
FNCTN NAME(AV,AOV)
```

NAME repräsentiert hierbei die Bezeichnung des FORTRAN-Unterprogrammes. AOV beschreibt die Zahl der aus dem FORTRAN-Programm in das DYNAMO-Programm als Seitenausgänge eingeführten Variablen (Anzahl der

⁴ Vgl. Seite 434

⁵ Siehe z.B. die Arbeit von STEINBACH, der auf diese Weise eine lineare Optimierung mit DYNAMO verbindet [188]

⁶ In der Version DYNAMO III kann der Aufruf ein weiteres Argument zur Kennzeichnung von Feldübergaben enthalten.

Outputvariablen), AV die Gesamtzahl der Argumente.

Die auszutauschenden Variablen kommen als Argumente eines Unterprogrammaufrufes vor. Lautet das FORTRAN-Programm FELA und sollen die Variablen A,B,C in das FORTRAN-Programm ein- sowie die Variablen D, E,F und G aus dem FORTRAN-Programm ausgegeben werden, so lauten die Anweisungen

```
FNCTN FELA(7,4)
```

```
A X.K=FELA(D.K,E.K,F.K,G.K,A.K,B.K,C.K)
```

Anwendungen von FORTRAN-Unterprogrammen werden im nächsten Abschnitt beschrieben.

(7) Verwendung indizierter Variablen

DYNAMO III gestattet auch die Verwendung von Feldern in Strukturgleichungen. Auf diese Weise wird es möglich, strukturelle Gleichungen eines Modells, die sich allein durch unterschiedliche numerische Parameter unterscheiden, mit einem geringen Schreibaufwand zu formulieren.

Als Beispiel sei bezüglich des auf Seite 421 beschriebenen Fertigungs- und Lagerhaltungssystems unterstellt, daß wir zwei Materialgruppen I=1,2 und innerhalb dieser Materialgruppen wiederum jeweils zwei Materialarten J=1,2 unterscheiden. Für die Materialgruppe 1 kann die Lieferverzögerung durch eine exponentielle Verzögerung dritter Ordnung abgebildet werden, während für die Materialgruppe 2 eine exponentielle Verzögerung erster Ordnung gelten soll. Die verbleibenden strukturellen Gleichungen des beschriebenen Fertigungssystems sollen für alle vier Materialien zutreffen. Ohne die Möglichkeit der Verwendung von Feldern wäre man in diesem Fall gezwungen, das erörterte Modell viermal mit unterschiedlichen Variablendefinitionen und Parametern hinzuschreiben. Bei der Verwendung von Feldern erhält das Modell die folgende Form:

```

*
* LAGERHALTUNGSMODELL IN DYNAMO III
* MIT 2 MATERIAL-GRUPPEN UND 2 MATERIAL-ARTEN
*
FOR I=1,2/J=1,2
R BMR.KL(I,J)=PFLA.K(I,J)+RF(I,J)*(SLB.K(I,J)-FLB.K(I,J))
R FZU.KL(1,J)=DELAY3(BMR.JK(1,J),DVZ)
R FZU.KL(2,J)=DELAY1(BMR.JK(2,J),DVZ)
L FLB.K(I,J)=FLB.J(I,J)+DT*(FZU.JK(I,J)-FLA.JK(I,J))
A GFLB.K=SUM(FLB.K)
A PFLA.K(I,J)=SMOOTH(FLA.JK(I,J),APF)
A SLB.K(I,J)=MF*PFLA.K(I,J)+500
R FLA.KL(I,J)=FAK.K(I,J)*FLB.K(I,J)+PULSE(200,5,200)
A FAK.K(I,J)=TABLE(TAFA,FLB.K(I,J),0,1000,100)
T TAFA=0.02/0.05/0.07/0.11/0.18/0.25/0.29/0.32/0.32/0.32/0.32
C RF(1,1)=0.2/RF(1,2)=0.25/RF(2,1)=0.3/RF(2,2)=0.35
N FLB(I,J)=IFLB(I,J)
T IFLB(*,1)=500/450
T IFLB(*,2)=350/400
C DVZ=10,APF=2,MF=0.25
SPEC DT=1,LENGTH=2,PRTPER=1,PLTPER=1
PRINT FLB(1,1),FLB(1,2),FLB(2,1),FLB(2,2),GFLB
PRINT BMR(1,1),BMR(1,2),BMR(2,1),BMR(2,2)
PRINT FZU(1,1),FZU(1,2),FZU(2,1),FZU(2,2)
RUN

```

Die erste Gleichung für BMR entspricht den Gleichungen

```

R BMR.KL(1,1)=PFLA.K(1,1)+RF(1,1)*(SLB.K(1,1)-FLB.K(1,1))
R BMR.KL(1,2)=PFLA.K(1,2)+RF(1,2)*(SLB.K(1,2)-FLB.K(1,2))
R BMR.KL(2,1)=PFLA.K(2,1)+RF(2,1)*(SLB.K(2,1)-FLB.K(2,1))
R BMR.KL(2,2)=PFLA.K(2,2)+RF(2,2)*(SLB.K(2,2)-FLB.K(2,2))

```

Die weiteren Beziehungen lassen sich in entsprechender Weise erklären. Insgesamt können drei Dimensionen bis zu jeweils 999 Variablen gewählt werden. Die Instruktion

```
A GFLB.K=SUM(FLB.K)
```

verwendet die Makrofunktion SUM(...), welche die Addition von FLB(I,J) über sämtliche I und J bewirkt, so daß GFLB den gesamten Fertiglagerbestand symbolisiert. Mit weiteren internen Makrofunktionen können verschiedene Operationen, wie die Ermittlung der Zeilen- und Spaltensumme oder des skalaren Produktes zweier Vektoren veranlaßt werden.

Der Ausdruck des beschriebenen Programmes sieht wie folgt aus:

TIME	FLB	1,2	2,1	2,2	GFLB
	BMR	1,2	2,1	2,2	
	FZU	1,2	2,1	2,2	
---	---	---	---	---	---
E-00	E-00	E-00	E-00	E-00	E-00
	E-00	E-00	E-00	E-00	
	E-00	E-00	E-00	E-00	
---	---	---	---	---	---
0.0	500.00	350.00	450.00	400.00	1700.0
	131.25	91.422	119.01	113.30	
	131.25	91.422	119.01	113.30	
---	---	---	---	---	---
1.0000	506.25	390.67	472.26	441.30	1810.5
	130.00	81.254	112.33	98.84	
	131.25	91.422	119.01	113.30	
---	---	---	---	---	---
2.0000	509.67	414.32	482.37	462.41	1868.8
	130.80	84.383	115.82	102.44	
	131.25	91.422	118.34	111.85	
---	---	---	---	---	---

(8) Ausgabekomfort

DYNAMO gestattet die Ausgabe von Tabellen, Print-Plot-Abbildungen und Listen. Die Steuerung dieser Ausgaben ist sehr einfach und bequem. Die Ausgabe von Tabellen wird von der Print-Anweisung gesteuert. Jeder Variablen der von links nach rechts in der Print-Anweisung stehenden Variablen wird eine von links nach rechts führende Spalte zugewiesen. Sternzeichen führen in der entsprechenden Spalte zu einem Leerfeld. Ordnet man mehrere Print-Anweisungen untereinander an, so werden jeweils die entsprechenden Variablen in einer Spalte untereinander ausgedruckt.

Die Formatierung und die Wahl der Maßstäbe werden von dem Programm übernommen. Es ist aber auch möglich, die Maßstäbe durch Angabe des Maßstabfaktors in Klammern hinter den Variablen der Print-Anweisung selbst festzulegen.

In einer Print-Plot-Darstellung können bis insgesamt zehn Variablen dargestellt und fünf verschiedene Ordinatenmaßstäbe gewählt werden.⁷

⁷ Zur Beschreibung der Plot-Anweisung sollten zuerst die Ausführungen auf Seite 404f. gelesen werden.

Die Maßstäbe werden vom Programm gewählt, können jedoch auch durch Angabe der durch Komma getrennten Intervallgrenzen in Klammern hinter der Variablen auf der Plot-Anweisung festgelegt werden. Will man, daß eine Intervallgrenze von dem Programm selbständig bestimmt wird, so setzt man statt eines numerischen Wertes ein Sternzeichen in die Klammer. Die durch einen Schrägstrich getrennten Variablen oder Variablengruppen werden durch einen eigenen Maßstab beschrieben.

Beispiel:

```
PLOT VW=V(0,100)/SW=S,VK=K/ZLA=Z(*,500)/LS=L(200,*)
```

VW, SW und VK, ZLA sowie LS haben jeweils einen eigenen Ordinatenmaßstab. Für VW wird ein Maßstab zwischen 0 und 100 definiert. Der Maßstab für SW und VK wird vom Programm festgelegt, während für ZLA und LS das Programm jeweils das linke bzw. rechte Intervallende bestimmt.

Neben der Ausgabe von Tabellen ist auch eine periodenweise Ausgabe von Listen mit Hilfe der sogenannten Extended-Print-Facility, einem Erweiterungsprogramm, möglich. Solche Listen dienen der Herstellung periodischer Berichte oder Pläne. Hauptsächliches Anwendungsfeld ist die Erstellung von Planbilanzen und Gewinn- und Verlustrechnungen im Rahmen von einzelbetrieblichen Planungsmodellen.

Die folgenden PRINT-Instruktionen

```
PRINT ///'      ABSCHLUSSBILANZ 1976'
PRINT '-----'
PRINT '      (IN ZEHNTAUSEND DM) '(4,3)
PRINT '-----'
PRINT 'ANLAGEN  ',ANL,' I  KAPITAL  ',KAP
PRINT 'VORRAETE ',VOR,' I  RUECKLAGEN',RUE
PRINT 'FORDERGN.',FOR,' I  VERBINDLK.',VER
PRINT 'KASSE    ',KAS,' I  GEWINN    ',GEW
PRINT '-----'
PRINT 'AKTIVA   ',AKT,' I  PASSIVA   ',PAS
PRINT '-----'
PRINT '-----'
PRINT ///
```

führen beispielsweise in einem Planungsmodell zu folgendem periodenweisen Ausdruck:

ABSCHLUSSBILANZ 1976

(IN ZEHNTAUSEND DM)

ANLAGEN	8.000	I	KAPITAL	9.500
VORRAETE	3.000	I	RUECKLAGEN	2.000
FORDERGN.	3.000	I	VERBINDLK.	3.000
KASSE	1.000	I	GEWINN	.500
<hr/>				
AKTIVA	15.000	I	PASSIVA	15.000
<hr/>				

B. Formulierung allgemeiner dynamischer MZÄ-Modelle mit DYNAMO

a) Rekursive Modelle

Im Rahmen der Betrachtungen zum FOLR-Modellierungskonzept wurden die Makrofunktionen $V1(E, E_1)$ und $V2(E, E_1, E_2)$ eingeführt.⁸ Da dieses Konzept, wie beschrieben, nur eine Gewinnungsmethode klassischer dynamischer Modelle darstellt, legten bereits diese Ausführungen den Schluß nahe, daß jedes dynamische MZÄ-Modell mit Hilfe von Makrofunktionen, die die endogenen verzögerten Variablen zum Ausdruck bringen, beschrieben werden kann.

Betrachten wir ein MA-Modell mit einem Multiplikator von 0.9 und einem Akzelerator von 2.0, den Anfangswerten $CA=8000$ und $YA=10\ 000$ sowie einem Verlauf der exogenen Variablen für die induzierten Investitionen über acht Perioden von

500,600,580,610,570,640,720,750

dann nimmt dieses Modell in DYNAMO die folgende Gestalt an:

```
MACRO V1(Y,A1)
L $L.K=$L.J+DT*(Y.J-$L.J)
N $L=A1
A V1.K=$L.K
MEND
A Y.K=C.K+IA.K+II.K
A C.K=MP*(V1(Y.K,YA))
A II.K=AZ*(C.K-V1(C.K,CA))
A IA.K=TABLE(IAT,TIME.K,0,7,1)
T IAT=500/600/580/610/570/640/720/750
C MP=0.9
C AZ=2.0
C YA=10000
C CA=8000
```

```
BRUTTOSOZIALPRODUKT
KONSUM
INDUZ. INVESTITIONEN
AUTONOME INVESTITIONEN

MULTIPLIKATOR
AKZELERATOR
ANFANGSW. BRUTTOSOZIALPROD.
ANFANGSWERT KONSUM
```

⁸ Vgl. Seite 513

```

SPEC DT=1,LENGTH=7,PRTPER=1,PLTPER=1
PRINT Y,C,II,IA
PLOT Y=(Y(10000,75000)/C=C(10000/50000)
RUN

```

Als weiteres Beispiel sei das bereits beschriebene KLEIN-Modell der USA angeführt. Wie dargestellt wurde, kann dieses ursprünglich simultane Modell auf seine rekursive Form (24.21) und (24.22) umgewandelt werden. Unter Vorgabe der Verläufe der exogenen Variablen für RA, RN und STE zwischen 1920 und 1930 erhalten wir das folgende rekursive Modell:

```

*   MODELL DER AMERIKANISCHEN WIRTSCHAFT NACH KLEIN IN REDUZIERTER FORM
*
MACRO V1(Y.K,Y0)
L V1.K=V1.J+DT(Y.J-V1.J)
N V1=Y0
MEND
*
* ENDOGENE VARIABLEN :PRODUKT AUS INVERSER MATRIX*SPALTENVEKTOR
A KO.K=1.67*B1.K+0.67*B2.K+1.148*B3.K+0.67*B4.K-0.187*B5.K
A NI.K=0.257*B1.K+1.257*B2.K-0.089*B3.K+0.257*B4.K-0.294*B5.K
A LP.K=0.809*B1.K+0.809*B2.K+1.445*B3.K+0.809*B4.K-0.202*B5.K
A VE.K=1.927*B1.K+1.927*B2.K+1.06*B3.K+1.927*B4.K-0.482*B5.K
A NE.K=1.118*B1.K+1.118*B2.K-0.385*B3.K+1.118*B4.K-1.28*B5.K
A KS.K=0.257*B1.K+1.257*B2.K-0.089*B3.K+0.257*B4.K-0.294*B5.K+1*B6.K
* DEFINITION DES SPALTENVEKTORS (B1,B2,B3,B4,B5,B6)
A B1.K=16.78E9+0.8*LS.K+0.23*V1(NE.K,12.7E9)
A B2.K=17.79E9+0.55*V1(NE.K,12.7E9)-0.15*V1(KS.K,192.8E9)
A B3.K=1.6E9+0.42*(SS.K-LS.K)+0.16*(V1(VE.K,43.7E9)+V1(SS.K,4.6E9)-
X V1(LS.K,2.2E9))+0.13*(TIME.K-1931)
A B4.K=SA.K-SS.K
A B5.K=LS.K
A B6.K=V1(KS.K,182.8E9)
* VERLAUF DER EXOGENEN VARIABLEN VON 1920-1930
A LS.K=TABLE(TLS,TIME.K,1920,1930,1)
T TLS=2.2E9/2.7E9/2.9E9/2.9E9/3.1E9/3.2E9/3.3E9/3.6E9/3.7E9/4.0E9/4.2E9
A SA.K=TABLE(TSA,TIME.K,1920,1930,1)
T TSA=4.6E9/6.6E9/6.1E9/5.7E9/6.6E9/6.5E9/6.6E9/7.6E9/7.9E9/8.1E9/9.4E9
A SS.K=TABLE(TSS,TIME.K,1920,1930,1)
T TSS=3.4E9/7.7E9/3.9E9/4.7E9/3.8E9/5.5E9/7.0E9/6.7E9/4.2E9/4.0E9/7.7E9
N TIME=1921
PRINT LS,SA,SS,KO,LP,NE,NI,KS,VE
SPEC DT=1/LENGTH=1930/PRTPER=1
RUN

```

DYNAMO III gestattet auch die Verwendung selbstdefinierter Makrofunktionen bei der Verwendung von Feldern. Daher kann man auch die erörterten Verzögerungsmakros mit Indizierungen verwenden.

Wie erwähnt, läßt sich jedes lineare zyklische Differenzengleichungssystem auf die Zustandsraumdarstellung

$$\begin{aligned} Z(t) &= MZ(t-1) + E(t) \\ Y(t) &= BZ(t) \end{aligned} \quad (21.125)$$

zurückführen. Die entsprechende Programmierung dieses Zusammenhanges in DYNAMO III liefert den Ansatz:

```
A Z.K(I)=SUMV(ZM(*,I),1,AM)+E.K(I)
A ZM.K(I,J)=M(I,J)*V1(Z.K(I),ZAW(I))
A Y.K(I)=SUMV(ZB(*,J),1,AB)
A ZB.K(I,J)=B(K,I)*Z.K(I)
```

wobei $V1()$ genauso definiert wird, wie im Falle einer normalen Makrofunktion. AM und AB beschreiben die Zeilenanzahl der Matrizen M und B. Der Ausdruck $SUMV(ZM(*,I),1,AM)$ besagt, daß von dem Feld ZM die erste bis AM-te Zeile der I-ten Spalte summiert wird.

Als Beispiel sei das nachfolgend dargestellte System von Differenzengleichungen ersten Grades angeführt

$$\begin{bmatrix} Z_1(t) \\ Z_2(t) \\ Z_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 7 \\ 2 & 5 & 8 \\ 3 & 6 & 9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1(t-1) \\ Z_2(t-1) \\ Z_3(t-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_1(t) \\ E_2(t) \\ E_3(t) \end{bmatrix}$$

mit den Anfangswerten

$$\begin{bmatrix} Z_1(0) \\ Z_2(0) \\ Z_3(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$$

und den Verläufen der exogenen Variablen für $t=0,1,2$

$$E_1 = 10, 4, 7 \quad E_2 = 20, 5, 8 \quad E_3 = 30, 6, 9$$

welches durch das DYNAMO III-Programm

```

MACRO V1(X,Y)
L $L.K=$L.J+DT*(X.J-$L.J)
N $L=Y
A V1.K=$L.K
MEND
*
FOR I=1,3/J=1,3
A Z.K(I)=SUMV(ZM(*,I),1,3)+E.K(I)
A ZM.K(I,J)=M(I,J)*V1(Z.K(I),ZAW(I))
A E.K(I)=TABLE(ZR(*,I),TIME.K,0,2,1)
T ZR(*,1)=10/4/7
T ZR(*,2)=20/5/8
T ZR(*,3)=30/6/9
T M(*,1)=1/4/7
T M(*,2)=2/5/8
T M(*,3)=3/6/9
T ZAW(*)=1/2/3
*
PRINT Z,E
SPEC DT=1,LENGTH=2,PRTPER=1,PLTPER=0
RUN

```

EXOGENE VARIABLE
 ZEITREIHE FUER E1
 ZEITREIHE FUER E2
 ZEITREIHE FUER E3
 KOEFFIZIENTENMATRIX
 KOEFFIZIENTENMATRIX
 KOEFFIZIENTENMATRIX
 ANFANGSWERT ZUSTANDSVARIABLE

beschrieben wird und zu dem Ausdruck

TIME	Z	2	3	E	2	3
E-00	E-00	E-00	E-00	E-00	E-00	E-00
0.0	40.	56.	72.	10.000	20.000	30.000
1.0000	772.	941.	1110.	4.000	5.000	6.000
2.0000	12313.	15137.	17961.	7.000	8.000	9.000

führt. Auf diese Weise lassen sich komplexe Modelle, vor allem lineare dynamische Input-Outputmodelle, mit relativ geringem Aufwand simulieren.

b) Simultane Modelle

Da DYNAMO eine Simulationssprache für rekursive Modelle ist, scheint die Frage nach der Simulation interdependenter Modelle überflüssig zu sein. Da interdependente Modelle in der Regel nur interdependente Subsysteme aufweisen, bietet es sich angesichts des Ausgabekomforts von DYNAMO an, diese Teilsysteme durch FORTRAN-Unterroutinen zu lösen, während die Simulation des rekursiven Modellteils mitsamt der Ein- und Ausgabesteuerung über DYNAMO erfolgt. Als Beispiel eines solchen Falles wurde vom Verfasser ein auf KRELLE zurückgehendes Mo-

dell der Bundesrepublik in DYNAMO formuliert.

Während KRELLE heute mit dem Schätz- und Simulationssystem IAS arbeitet, wurde dieses Modell von ihm noch in FORTRAN programmiert, so daß es sich für einen Vergleich der Alternativen FORTRAN oder DYNAMO anbot.

In der FORTRAN-Version KRELLEs umfaßt das Programm ca. 2000 Karten, von denen über 1000 für die Outputsteuerung (Druck und Plot) benötigt werden. Das erstellte DYNAMO-Programm umfaßt zusammen mit dem FORTRAN-Programm nur ca. 240 Instruktionen.⁹

Der rekursive Teil des Modells mit 50 endogenen Variablen wurde durch das DYNAMO-Programm beschrieben, während die Werte des aus 20 Variablen bestehenden simultanen Teiles durch ein FORTRAN-Unterprogramm ermittelt wurden. Die damals noch von KRELLE benötigte Programmierzeit [117, S.331] von hundert Stunden ließ sich unter Anwendung der DYNAMO-Fehlerroutine auf ein Zehntel senken.

Selbst in Fällen, in denen das gesamte Modell simultan ist, kann es sinnvoll sein, Ein- und Ausgabe über DYNAMO zu steuern. Dies soll an dem bereits erörterten Modell von KLEIN demonstriert werden. Die in DYNAMO formulierte reduzierte Form des Modells ist, wie man leicht erkennt, für Sensitivitätsanalysen nicht geeignet. Denn variiert man einen Parameter der Matrix M, dann ist damit das Gleichungssystem (24.23) jedesmal neu zu berechnen.¹⁰ Das bedeutet, daß die in den Gleichungen vor B1 bis B6 auftretenden Koeffizienten bei jeder Parameteränderung neu zu ermitteln und in das Programm einzugeben sind. Diese Schwierigkeit besteht nicht, wenn man die Lösung des linearen Gleichungssystems auf der FORTRAN-Ebene durchführt und alle relevanten Parameter von der DYNAMO-Ebene in die FORTRAN-Ebene schickt, so wie die berechneten Werte der endogenen Variablen wieder auf die DYNAMO-Ebene zurückliefert: In dieser Weise ist das folgende Programm aufgebaut:

⁹ Als Ausgangsgrundlage der Programmierung diente die Darstellung des Modells durch MAIER [126].

¹⁰ Vgl. Seite 343

```

* MODELL DER AMERIKANISCHEN WIRTSCHAFT NACH KLEIN
*
MACRO V1(Y.K,Y0)
L V1.K=V1.Y+DT(Y.J-V1.J)
N V1=Y0
MEND
*
* INHOMOGENE GLIEDER B1 BIS B6 DES LINEAREN GLEICHUNGSSYSTEMS
A B1.K=16.78E9+0.8*LS.K+0.23*V1(NE.K,12.7E9)
A B2.K=17.79E9+0.55*V1(NE.K,12.7E9)-0.15*V1(KS.K,182.8E9)
A B3.K=1.6E9+0.42*(SS.K-LS.K)+0.16*(V1(VE.K,43.7E9)+V1(SS.K,4.6E9)-
X V1(LS.K,2.2E9))+0.13*(TIME.K-1931)
A B4.K=SA.K-SS.K
A B5.K=LS.K
A B6.K=V1(KS.K,182.8E9)
* NICHT NULL UND + - 1 WERDENDE ELEMENTE DER 6*6 MATRIX A(I,J)
* DES LINEAREN GLEICHUNGSSYSTEMS
C A13=-0.8,A15=-0.02,A25=-0.23,A34=-0.42
* EXOGENER VARIABLEN VERLAUF ZWISCHEN 1920 UND 1930
A LS.K=TABLE(TLS,TIME.K,1920,1930,1)
T TLS=2.2E9/2.7E9/2.9E9/2.9E9/3.1E9/3.2E9/3.3E9/3.6E9/3.7E9/4.0E9/4.2E9
A SA.K=TABLE(TSA,TIME.K,1920,1930,1)
T TSA=4.6E9/6.6E9/6.1E9/5.7E9/6.6E9/6.5E9/6.6E9/7.6E9/7.9E9/8.1E9/9.4E9
A SS.K=TABLE(TSS,TIME.K,1920,1930,1)
T TSS=3.4E9/7.7E9/3.9E9/4.7E9/3.8E9/5.5E9/7.0E9/6.7E9/4.2E9/4.0E9/7.7E9
* AUFRUF DES UNTERPROGRAMMES ZUR LOESUNG DES LIN. GLEICHUNGSSYSTEMS
FNCTN D350LG(16,6)
A ERG.K=D350LG(KO.K,NI.K,LP.K,VE.K,NE.K,KS.K,B1.K,B2.K,B3.K,
X B4.K,B5.K,B6.K,A13,A15,A25,A34)
N TIME=1921
PRINT LS,SA,SS,KO,LP,NE,NI,KS,VE
SPEC DT=1/LENGTH=1930/PRTPER=1
RUN

```

FORTTRAN-UNTERPROGRAMM

```

      REAL FUNCTION D350LG(KO,NI,PA,VE,NAE,KS,B1,B2,B3,B4,B5,B6,A13,A15,
      *A25,A34)
C      UNTERPROGRAMM ZU KLEIN ZUR LOESUNG DES LIN. GL. SYSTEMS
      DIMENSION A(6,6),B(6)
      REAL KO,NI,NAE,KS
      DO 9 I=1,6
      DO 9 J=1,6
      A(I,J)=0.
9      CONTINUE
C      WERTZUWEISUNG IM UNTERPROGRAMM
      DO 10 I=1,6
      DO 10 J=1,6
      IF (I.NE.J) GO TO 10
      A(I,J)=1.
10     CONTINUE
      A(4,1)=-1.
      A(4,2)=-1.
      A(5,3)=-1.
      A(5,4)=1.
      A(5,5)=-1.
      A(6,2)=-1.

```

C WERTZUWEISUNG AUS HAUPTPROGRAMM

```

A(1,3)=A13
A(1,5)=A15
A(2,5)=A25
A(3,4)=A34
B(1)=B1
B(2)=B2
B(3)=B3
B(4)=B4
B(5)=B5
B(6)=B6
CALL SIMQ(A,B,6,0)
KO=B(1)
NI=B(2)
PA=B(3)
VE=B(4)
NAE=B(5)
KS=B(6)
D350LG=1.
RETURN
END

```

4.1.2. Simulation mit CSMP

Die von IBM entwickelte Simulationssprache CSMP (Continuous System Modeling Program) ist eine der am weitesten verbreiteten Simulationssprachen. Sie wurde für die Simulation technischer, durch Differentialgleichungen beschreibbarer Systeme geschaffen. Weil diese Sprache in vielen Rechenzentren anzutreffen ist, wollen wir der Frage nachgehen, in welchem Umfang CSMP zur Simulation von System-Dynamics-Modellen sowie klassischer Differenzengleichungsmodelle verwendet werden kann. CSMP liegt in den Versionen System /360 und CSMP III vor. [97],[98],[100]

Unsere Betrachtungen beschränken sich im folgenden auf die neuere Version CSMP III.

A. Kennzeichen von CSMP

CSMP setzt sich wie DYNAMO aus Struktur- und Kontrollanweisungen zusammen. Die bezüglich DYNAMO geschilderten Vorteile gelten weitgehend auch für CSMP III, insbesondere die unbeschränkte Anordnungsmöglichkeit der Gleichungen, die Existenz einer spezifischen Fehler-

routine, die Einfachheit der Parametervariationen sowie die Möglichkeit, Makrofunktionen zu entwickeln und FORTRAN-Unterprogramme zu verwenden. CSMP arbeitet als ein FORTRAN-Precompiler, d.h. ein CSMP-Programm wird in der ersten Stufe in ein FORTRAN-Programm und erst dann in den eigentlichen Maschinencode umgewandelt. Ein eingehender Vergleich der Vor- und Nachteile beider Sprachen erfolgt später.

Mit den sogenannten strukturellen Anweisungen werden die strukturellen Gleichungen eines dynamischen Modells zum Ausdruck gebracht. Eine algebraische Gleichung, d.h. eine Gleichung ohne verzögerte Variablen, besitzt beispielsweise die Gestalt

$$\cdot \text{SLB} = \text{MF} * \text{PFLA} + 500$$

oder

$$\text{BMR} = \text{PFLA} + \text{RF} * (\text{SLB} - \text{FLB})$$

Dieser Gleichungstyp entspricht in der DYNAMO-Sprache einer Hilfs-gleichung. Auch für CSMP können die numerischen Werte der Konstanten entweder direkt in die Gleichungen eingesetzt oder durch Konstanten-gleichungen spezifiziert werden wie in folgendem Beispiel

```
PARAMETER RF=0.3,DVZ=10.0,APF=2.0
```

Wie im Falle von DYNAMO steht dem Benutzer eine Reihe von Makro-funktionen zur Verfügung.

Tabellenfunktionen können in CSMP durch zwei Instruktionen darge-stellt werden. Die Tabellenfunktionsanweisung in DYNAMO

```
A FAK.K=TABLE(TAFA,FLB.K,0,1000,100)
```

```
T TAFA=0.02/0.05/0.07/0.11/0.18/0.25/0.29/0.32/0.32/0.32/0.32
```

wird durch

```
FAK=AFGEN(TAFA,FLB)
```

```
FUNCTION TAFA=(0,0.02),(100,0.05),(200,0.07),(300,0.11),  
(400,0.18),(500,0.25),(600,0.29),(700,0.32),(1000,0.32)
```

beschrieben. Die Koordinatenwerte werden, vom linken Intervallende ausgehend, paarweise hinter TAFA angeordnet.

Die Durchführung und Anordnung wird analog zu DYNAMO mit drei Anwei-

sungen TIMER, PRINT und OUTPUT durchgeführt.

In der Anweisung TIMER bedeuten:

DELTA: Zeitinkrement der Integration
 FINTIM: Länge des Simulationslaufes
 PRDEL: Printfrequenz
 OUTDEL: Plotfrequenz

Ein Beispiel ist:

TIMER DELT=1.,FINTIM=50.0.,PRDEL=1.,OUTDEL=1.

Die Instruktion

PRINT FLB,FZU,FLA,SLB

veranlaßt, daß die angeführten Variablen in derselben Spaltenreihenfolge ausgedruckt werden.

Mit

OUTPUT SLB(300,550),FLB(300,550),FZU(100,150),FLA(100,150)

wird ein Print-Plot bezüglich der Variablen SLB, FLB, FZU und FLA erzeugt, dessen Maßstabsgrenzen durch die hinter den Variablennamen in Klammern angeführten Zahlen ausgedrückt werden.

Die Instruktion

PAGE SYMBOL=(S,L,Z,A)

bewirkt, daß der Verlauf einer Variablen im Plot-Diagramm entsprechend der Variablenreihenfolge hinter der oben angeführten Instruktion OUTPUT mit 'S','L','Z', und 'A' gekennzeichnet wird.

Mit

PAGE NTAB=0

wird erreicht, daß nur ein Print-Plot erstellt wird und nicht, was bei CSMP möglich ist, daß neben dem Plotausdruck zusätzlich ausgewählte Zeitreihen mit ausgedruckt werden. Die Angabe

PAGE WIDTH=80

bewirkt eine Plotbreite von 80 Spalten.

B. Formulierung von System-Dynamics-Ansätzen mit CSMP

In einem System-Dynamics-Modell können verzögerte Einflüsse mit Hilfe von Levelgleichungen sowie SMOOTH- und DELAY3-Funktionen beschrieben werden. Es fragt sich, wie diese Beziehungen im Rahmen von CSMP ausgedrückt werden können. Levelgleichungen können durch einen sogenannten Integrator dargestellt werden.

Die DYNAM0-Levelgleichung

```
L FLB.K=FLB.J+DT(FZU.JK-FLA.JK)
N FLB=450
```

wird demnach beispielsweise durch die Gleichung

```
FLB=INTGRL(450,FZU-FLA)
```

beschrieben.

Analog zu den auf Seite 434f. angeführten DYNAM0-Makros können für SMOOTH und DELAY3 die folgenden CSMP-Makros definiert werden:

```
MACRO Y=DELAY3(IN,DVZ)
  PROCEDURE AL=FU(IN)
  IF (TIME.EQ.0.0) AL=IN
  ENDPRO
  Y=LV3/DL
  DL=DVZ/3.0
  ALEV=DL*AL
  LV3=ALEV+INTGRL(0.0,(RT2-Y))
  RT2=LV2/DL
  LV2=ALEV+INTGRL(0.0,(RT1-RT2))
  RT1=LV1/DL
  LV1=ALEV+INTGRL(0.0,(IN-RT1))
ENDMAC
*****
MACRO Y=SMOOTH(IN,DVZ)
  PROCEDURE AL=FU(IN)
  IF (TIME.EQ.0.0) AL=IN
  ENDPRO
  Y=AL+INTGRL(0.0,(IN-Y)/DVZ)
ENDMAC
```

MACRO und ENDMAC sind Anweisungen für die Eröffnung und den Abschluß der Makrodefinition.

Die Integratorfunktion, welche in den DELAY3- und den SMOOTH-Makros verwendet wird, dient im Rahmen von CSMP zur (approximativen) Ermittlung des durch eine Differentialgleichung beschriebenen Zeitpfades. Diese Zeitpfadermittlung kann durch verschiedene Methoden realisiert werden, deren Anwendung in CSMP durch eine spezielle Methodenanweisung gekennzeichnet werden muß. Auf diese Methoden, die nur für den Fall zeitkontinuierlicher Systeme von Bedeutung sind, soll hier nicht eingegangen werden. Festzuhalten ist allerdings, daß die entsprechende Modellierung der in DYNAMO gebrauchten Levelgleichungen die Anweisung

METHOD RECT

verlangt.

Mit

END

wird sowohl die Modellspezifizierung abgeschlossen als auch eine Übersetzungsanweisung gegeben.

Dem Leser wird nicht entgangen sein, daß die bisher beschriebenen Instruktionen das bereits in DYNAMO formulierte Modell eines Fertigungs- und Lagerhaltungssystem beschreiben.¹¹

Die Zusammenfassung der beschriebenen Anweisungen ergibt daher das folgende CSMP-Modell

*** FERTIGUNGS- UND LAGERHALTUNGSMODELL IN CSMP**

}

DEFINITION DER SMOOTH- UND DELAY3-MAKROS

```

BMR=PFLA+RF*(SLB-FLB)
FZU=DELAY3(BMR,DVZ)
FLB=INTGRL(450.0,(FZU-FLA))
PFLA=SMOOTH(FLA,APF)
SLB=MF*PFLA+500.0
FLA=FAK*FLB
FAK=AFGEN(TAFA,FLB)
FUNCTION TAFA=(0.0,0.02),(100.0,0.05),(200.0,0.07),(300.0,0.11),...
              (400.0,0.18),(500.0,0.25),(600.0,0.29),(700.0,0.32),(1000.0,0.32)

```

¹¹ Vgl. Seite 421

```

PARAMETER RF=0.3,MF=0.25,DVZ=10.0,APF=2.0
TIMER DELT=1.0,FINTIM=50.0,OUTDEL=1.0,PRDEL=1.0
METHOD RECT
PRINT FLB,FZU,FLA,SLB
OUTPUT SLB(300,550),FLB(300,550),FZU(100,150),FLA(100,150)
PAGE NTAB=0,SYMBOL={S,L,Z,A},WIDTH=61
END

```

Das vorliegende Modell führt zu dem mit Abbildung 41.1 korrespondierenden Histogramm.

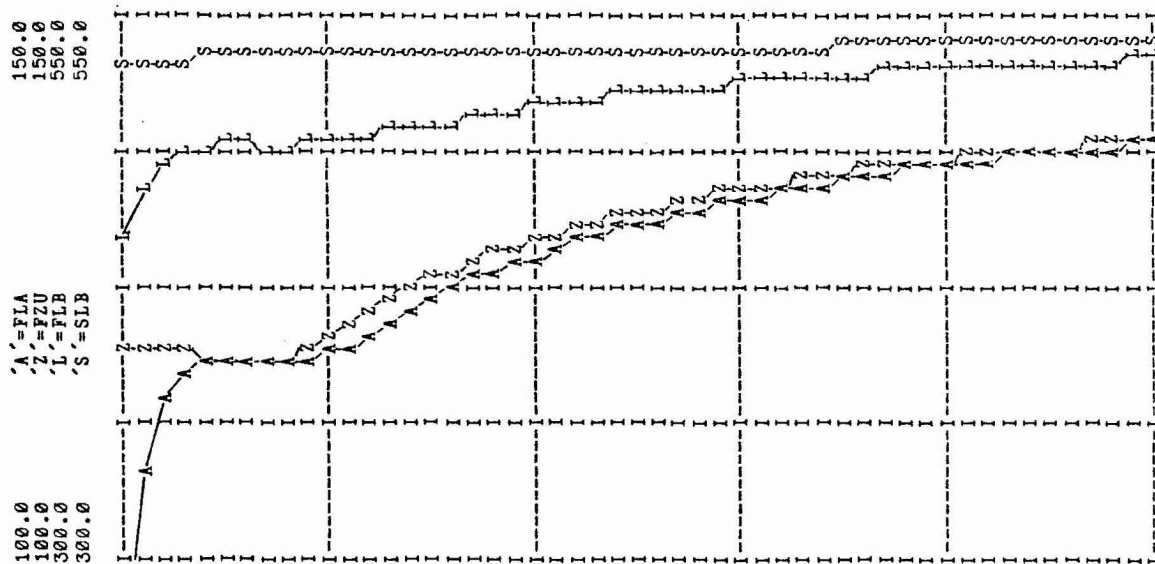


Abb. 41.1 CSMP-Print-Plot eines Fertigungs- und Lagerhaltungsmodells

Die entsprechenden Zahlenausdrucke der Variablen

TIME	FLB	FZU	FLA	SLB
0.0	450.00	119.01	96.750	524.19
1.00000	472.26	119.01	108.89	524.19
2.00000	482.37	119.01	114.64	525.71
3.00000	486.74	119.01	117.16	527.18
4.00000	488.58	118.83	118.24	528.24
5.00000	489.17	118.54	118.58	528.90
6.00000	489.13	118.35	118.56	529.27

zeigen, daß ein dem DYNAMO-Modell entsprechender Zeitverlauf ermittelt wurde.

C. Formulierung allgemeiner dynamischer MZÄ-Modelle mit CSMP

Es liegt auf der Hand, analog zu DYNAMO bestimmte Verzögerungsmakros wie V1 oder V2 zu definieren und mit deren Hilfe zu einer übersichtlichen CSMP-Formulierung von Differenzengleichungen zu gelangen. Hierzu kann auf das interne Systemmakro REALPL zur Beschreibung von Verzögerungen erster Ordnung mit Anfangswertsetzung zurückgegriffen werden.

Eine Verzögerung zweiter Ordnung läßt sich durch die Kaskadierung von zwei REALPL-Makros erzeugen.

Der Aufruf der V1 bzw. V2-Makros kann bei CSMP nicht innerhalb eines Strukturgleichungsausdrucks erfolgen [98,S.69]; die verzögerten Variablen müssen daher stets explizit definiert werden.

Die Differenzengleichung

$$Y(t) = 0,1Y(t-1) + 0,3Y(t-2)$$

mit $Y(-1) = 10$ und $Y(-2) = 20$

läßt sich demnach folgendermaßen modellieren

```
* BEISPIELHAFTE DARSTELLUNG EINER DIFFERENZENGLEICHUNG
* ZWEITER ORDNUNG IM RAHMEN VON CSMP
*****
MACRO A=V1(IN,X)
  A=REALPL(IN,1,X)
ENDMAC
*****
MACRO B=V2(IN1,IN2,Z)
  X=REALPL(IN1,1.0,Z)
  B=REALPL(IN2,1.0,X)
ENDMAC
*****
DYNAMIC
YV2=V2(10.0,20.0,Y)
YV1=V1(10.0,Y)
Y=0.1*YV1+0.3*YV2
TIMER DELT=1.0,FINTIM=7.0,PRDEL=1.0
METHOD RECT
PRINT Y,YV1,YV2
END
```

Die CSMP-Modellierung des auf Seite 532 bereits in DYNAMO formulier-

ten MA-Modells führt zu dem Ansatz

```
* MULTIPLIKATOR-AKZELERATOR-MODELL IN CSMP
*****
MACRO A=V1(IN,X)
  A=REALPL(IN,1,X)
ENDMAC
*****
DYNAMIC
Y=C+II+IA
C=MP*YV1
II=AZ*(C-CV1)
YV1=V1(YA,Y)
CV1=V1(CA,C)
IA=AFGEN(TIA,TIME)
FUNCTION TIA=(0.0,500.0),(1.0,600.0),(2.0,580.0),(3.0,610.0),...
            (4.0,570.0),(5.0,640.0),(6.0,720.0),(7.0,750.0)
PARAMETER MP=0.9,AZ=2.0,YA=10000.0,CA=8000.0
TIMER DELT=1.0,FINTIM=7.0,PRDEL=1.0
METHOD RECT
PRINT Y,C,II,IA
END
```

Mit CSMP ist es analog zu DYNAMO möglich, FORTRAN-Unterprogramme zu verwenden. Die Verknüpfung erfolgt über eine Strukturanweisung.

Im Rahmen der Erörterung von DYNAMO wurde gezeigt, wie ein im Modell von KLEIN auftretendes simultanes Gleichungssystem auf der FORTRAN-Ebene gelöst worden ist. Die Verbindung zwischen dem DYNAMO- und FORTRAN-Programm vollzog sich über die Funktion

```
FNCTN D350LG(16,6)
  A ERG.K=D350LG(K0.K,NI.K,LP.K,VE.K,NE.K,KS.K,B1.K,B2.K,B3.K,B4.K,B5.K,
  X B6.K,A13,A15,A25,A34)
```

Im Rahmen von CSMP kann zur Modellierung des vorliegenden Modells dasselbe FORTRAN-Programm verwendet werden. Die Verbindung zwischen beiden Programmen wird hierbei durch die Anweisung

```
K0,NI,PA,VE,NAE,KS=D350LG(B1,B2,B3,B4,B5,B6,A13,A15,A25,A34)
```

hergestellt.

Man erkennt, daß auch komplexe Differenzengleichungsmodelle mit simultanen Teilmodellen unter Verwendung von CSMP simuliert werden kön-

nen. CSMP gestattet nur die Verwendung eindimensionaler Felder. Das auf Seite 529 beschriebene zweidimensionale Modell eines Fertigungs- und Lagerhaltungssystems ist daher in CSMP nicht in analoger Weise darstellbar. Da der Compiler im Rahmen selbstdefinierter Makros keine neuen Integrationen definiert, können SMOOTH und DELAY3-Makros auch nicht eindimensional indiziert werden.

D. Vergleich zwischen DYNAMO und CSMP

Zum Abschluß sei ein kurzer Vergleich zwischen DYNAMO und CSMP vorgenommen. CSMP erfordert einen geringeren Formulierungsaufwand, da sowohl keine Kennzeichnung der Gleichungen notwendig ist als auch die Zeitindizierung der Variablen entfällt. Der Wegfall der Indizes schränkt bei großen Modellen jedoch die Übersichtlichkeit ein, da Konstanten und Variablen in den Gleichungen nicht anhand ihrer Bezeichnungen unterschieden werden können.

Die Fehlerroutrinen unterscheiden sich nur geringfügig voneinander. Die Verbindung von CSMP-Elementen mit FORTRAN-Anweisungen ist innerhalb von nichtsortiert abzuarbeitenden Programmabschnitten, den NOSORT-Sections, direkt möglich.

Innerhalb der sortiert abzuarbeitenden Abschnitte, den SORT-Sections, ist diese Verbindung durch Einbettung von PROCEDURE-Blocks, die FORTRAN-Anweisungen enthalten können, gegeben.

Da zusätzlich andere reguläre Unterprogramme verwendet werden können, ist der Übergang von der CSMP-Ebene auf die FORTRAN-Ebene komfortabler als bei DYNAMO.

Im Rahmen des sogenannten Terminal Segmentes können anhand der Ergebnisse des beendeten Laufes die zu wählenden Parameter des nächsten Laufes bestimmt werden. Damit ist die Möglichkeit geschaffen, mit Hilfe von Suchverfahren Suboptima anzusteuern oder sensitive Parameterkombinationen ausfindig zu machen. In DYNAMO dagegen müssen die Parameter für jeden neuen Lauf direkt vom Modellbenutzer eingegeben werden. In CSMP ist es möglich, einen Simulationslauf abubrechen, wenn bestimmte Bedingungen vorliegen, was eine Ersparnis an Rechenzeit zur Folge hat. Diese Möglichkeit bietet DYNAMO nicht. Die Simu-

lation wird stets über den durch LENGTH vorgegebenen Zeitraum vorgenommen.

CSMP besitzt flexiblere Ausgabemöglichkeiten als DYNAMO. So ist es möglich, logarithmische Maßstäbe zu wählen und Höhenlinienverläufe von Funktionen in Form von Print-Plots zu erstellen. CSMP enthält im Gegensatz zu DYNAMO keine Dokumentationsprogramme. Das ist beim praktischen Arbeiten ein nicht zu unterschätzender Nachteil, da beim Vorliegen einiger hundert Parameter und Variablen die zuvor bereits beschriebenen Dokumentationshilfen äußerst wertvoll sind. Aus diesem Grund hat beispielsweise SCHNEIDER mit seiner Arbeitsgruppe an der TU Berlin im Rahmen seines auf CSMP aufbauenden Programmsystems IFICUS ein derartiges Dokumentationsprogramm entwickelt, welches prinzipiell auch von anderen Anwendern übernommen werden kann.¹² In CSMP ist es nur über FORTRAN-Unterprogramme möglich, Listen mit Text zu erstellen. Die Ausgabe von Listen wird bei DYNAMO mit Hilfe der Extended Print Facility wesentlich vereinfacht. Dies ist immer dann angebracht, wenn im Rahmen einzelbetrieblicher Modelle periodenweise Planbilanzen, Gewinn- und Verlustrechnungen oder Kostenaufstellungen angefertigt werden sollen.¹³

Ein weiterer Nachteil von CSMP gegenüber DYNAMO liegt in der Unmöglichkeit, Makrofunktionen implizit in Strukturanweisungen zu verwenden. Dadurch vermindert sich zum Beispiel im Falle der Modellierung von Differenzengleichungen die Übersichtlichkeit bei gleichzeitiger Erhöhung des Schreibaufwandes. Das beschriebene FOLR-Modellierungskonzept ist daher in CSMP nur äußerst umständlich anwendbar. CSMP gestattet dagegen die Festlegung einer doppelten Genauigkeit, eine Möglichkeit, welche DYNAMO nicht zuläßt. Ein Nachteil liegt in der Beschränkung der Modellbeziehungen auf eindimensionale Felder, was zur Folge hat, daß komplexe Modelle in CSMP nur mit großem Aufwand darstellbar sind.

¹² SCHNEIDER entwickelte darüberhinaus eine Reihe von CSMP-Zusatzprogrammen wie beispielsweise am Bildschirm graphisch zu überprüfende Tabellenfunktionsmodifizierungen oder ein Programm zur Ermittlung der Rückkopplungsschleifen eines CSMP-Modells.

¹³ Vgl. Seite 531

4.1.3. Simulation mit FORTRAN

Die Simulation von Differenzengleichungsmodellen mit der Programmiersprache FORTRAN ist immer dann nicht empfehlenswert, wenn spezielle Simulationssysteme, wie etwa DYNAMO, CSMP oder TROLL, zur Verfügung stehen.¹⁴

Die Vorteile dieser Sprachen gegenüber FORTRAN sind augenfällig. Zu nennen seien nur die flexiblere Ein- und Ausgabe, eine bessere Fehlerroutine und der Verzicht auf eine prozedurale Instruktionsanordnung.

Stehen jedoch an einem Rechenzentrum derartige Simulationssprachen nicht zur Verfügung, so kann grundsätzlich auch FORTRAN zur Simulation herangezogen werden.

A. Simulation von System-Dynamics-Modellen mit FORTRAN

a) Probleme der Anfangswertbestimmung in System-Dynamics-Modellen

Die Bestimmung der Anfangswerte eines System-Dynamics-Modells, d.h. die Bestimmung der Level und Hilfsvariablen im Zeitpunkt TIME=0, ist nicht unproblematisch. Enthält ein System-Dynamics-Modell keine DELAY- und SMOOTH-Funktionen, im folgenden als Verzögerungsfunktionen bezeichnet, so wirft die Anfangswertsetzung keine Probleme auf: Die Levelanfangswerte der Periode 0 sind vorgegeben und dienen zur Ermittlung der Hilfsvariablenanfangswerte.

Beide Gruppen von Anfangswerten dienen wiederum zur Bestimmung der Ratenwerte für den Zeitabschnitt 0-1, die in der Zeile für TIME=0 ausgedruckt werden.

Enthalten jedoch die Hilfs- und Ratengleichungen eine Verzögerungsfunktion, so tritt zwischen den abhängigen und unabhängigen Variablen eine zeitliche Verzögerung auf. Die Berechnung der Hilfsvariablenwerte in der Periode 0 hängt von Levelwerten vor der Periode 0 ab.

Zur Demonstration der Auswirkungen solcher Verzögerungsfunktionen stellen wir uns ein beliebiges System von Hilfsgleichungen vor, welches durch gegenseitiges Einsetzen der Hilfsvariablen so verdichtet wird, daß die verbleibenden Hilfsvariablen nur noch von Verzögerungs-

¹⁴ Zu TROLL siehe Seite 569f.

funktionen $V1(\dots)$ und Levelvariablen beeinflußt werden.

Das Gleichungssystem

$$\begin{aligned} A1.K &= V1(A2.J) \\ A2.K &= A3.K + V1(A4.J) \\ A3.K &= A4.K + 100 \\ A4.K &= A5.K + V1(A5.J) \\ A5.K &= L1.K \end{aligned}$$

kann so zu dem System

$$\begin{aligned} A1.K &= V1(A2.J) \\ A2.K &= L1.K + V1(A5.J) + V1(A4.J) \\ A3.K &= L1.K + V1(A5.J) + 100 \\ A4.K &= L1.K + V1(A5.J) \\ A5.K &= L1.K \end{aligned} \quad (4.1)$$

umgeformt werden.

Man erkennt folgenden Zusammenhang:

Wer den Anfangswert $A1(0)$ berechnen will, benötigt hierfür den Wert von $A2(-1)$. Für $A2(-1)$ wiederum benötigt man $A5(-2)$, $A4(-2)$ und $L1(-1)$. Für $A4(-2)$ sind $A5(-3)$ und $L1(-2)$ erforderlich, während $A5(-2)$ und $A5(-3)$ wiederum nach dem Levelwert $L1(-2)$ und $L1(-3)$ verlangen.

Zur Ermittlung der Anfangswerte für $A2$ bis $A5$ lassen sich entsprechende Überlegungen vornehmen. In allen System-Dynamics-Modellen werden aber nur Levelanfangswerte für die Periode 0 vorgegeben. Auf unseren Fall bezogen hieße dies: Es ist nur der Anfangswert $L1(0)$ gegeben, obgleich allein zur Berechnung von $A1(0)$ die Werte $L1(-2)$ und $L1(-3)$ erforderlich wären.

Die Lösung dieses Problems liegt darin, daß in DYNAMO implizit von einer empirischen Hypothese über das zu beschreibende System ausgegangen wird, die als Gleichgewichtshypothese bezeichnet werden soll und besagt, daß alle Modellvariablen sich zumindest bis zum Zeitpunkt 0 im Gleichgewicht befinden. Auf die implizite Anwendung dieser Gleichgewichtshypothese sind wir schon bei der Definition der Verzögerungsmakros gestoßen.¹⁵

Die bereits erwähnten Einwände gegen die implizite Unterstellung dieser Hypothese im Falle (geschlossener) Prognosemodelle gelten auch hier.¹⁶

¹⁵ Vgl. Seite 435f.

¹⁶ Vgl. Seite 499

Unterstellen wir jedoch die Gültigkeit der Gleichgewichtsannahme, dann gilt in unserem Beispiel für die Auffindung der Levelwerte für L_1

$$L_1(0)=L_1(-1)=L_1(-2)=\dots$$

Unter dieser Voraussetzung braucht man auf die Zeitindizes J oder K nicht mehr zu achten, und man kann unter Vorgabe von $L_1(0)$ in (4.1) sukzessiv die Werte für $A_5(0)$, $A_4(0)$ bis $A_1(0)$ berechnen.

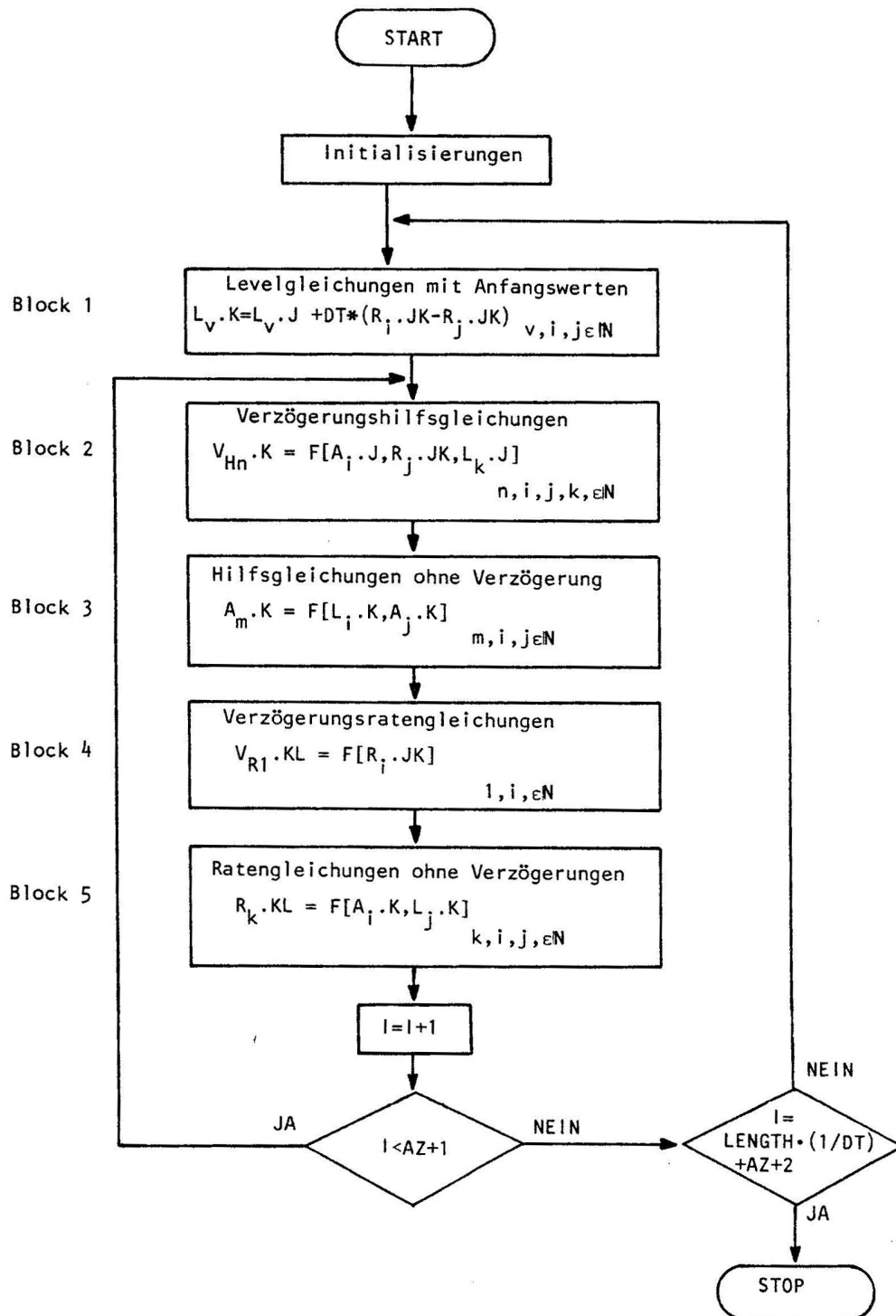
Die Prozedur zur Ermittlung der Anfangswerte der Hilfsvariablen kann durch das Blockdiagramm auf Seite 551 beschrieben werden.

Zu Beginn der Initialisierungsphase $I=0$ werden in Block 1 die Levelanfangswerte vorgegeben. Im Block 2 sind die Verzögerungsgleichungen angeführt, die zu den Hilfsgleichungen gehören. Da diese sowohl von den Hilfsvariablen als auch von den Raten beeinflusst werden, können im ersten Durchlauf keine Anfangswerte für diese Variablen berechnet werden. Im Block 3 wird beim ersten Durchlauf in der Initialisierungsphase zumindest ein Anfangswert für die Hilfsvariablen berechnet, mit dessen Hilfe in Block 4 und 5 weiterhin mindestens ein Ratenanfangswert berechnet wird.

Auf jeden Fall wird mit Hilfe der berechneten Raten- und Hilfsvariablenanfangswerte beim nächsten Durchlauf in Block 2 zumindest der Anfangswert einer der dort angeführten Variablen ermittelt. Wenn I der Anzahl der um zwei erhöhten Zahl der Verzögerungsmakros AZ entspricht, wird dieses Verfahren abgebrochen, weil dann alle Anfangswerte der Hilfs- und Ratenvariablen ermittelt wurden.

Das Verfahren der Anfangswertbestimmung funktioniert (auch im Rahmen von DYNAMO) nur, wenn es möglich ist, die in den Blöcken 2 bis 4 angeführten Gleichungen unter Vernachlässigung ihrer Zeitindizes in eine rekursive Anordnung zu überführen. Unerheblich ist hierbei, ob die Gleichungen in dem so entwickelten FORTRAN-Programm diese rekursive Anordnung besitzen. Die Anwendung des Verfahrens setzt daher voraus, daß die in die Verzögerungsfunktionen eingehenden Raten- und Hilfsvariablen am Anfang des Programmes initialisiert worden sind, damit keine undefinierten Ausdrücke entstehen. Die Initialisierung wird mittels einer DATA-Anweisung vorgenommen, in der die Größen beliebig, aber ungleich Null gesetzt werden.

Blockdiagramm zur Darstellung der Anfangswert-
bestimmung



Ist eine rekursive Anordnung sämtlicher Hilfs- und Ratenvariablen nicht möglich, so liefert eine Programmierung im Rahmen von DYNAMO die Fehlermeldung `SIMULTANEOUS EQUATIONS IN N EQUATIONS`. In diesem Falle besteht die Möglichkeit, für eine Hilfsvariable einen Anfangswert zu definieren, um damit das simultane Gleichungssystem aufzubrechen. Wie bei der nachfolgenden technischen Beschreibung gezeigt werden wird, geht dies auch in dem hier entwickelten FORTRAN-Programm.

In Übereinstimmung mit DYNAMO ist dieses Verfahren aber höchst problematisch. Die Definition des Anfangswertes einer Hilfsvariablen *A* ändert nicht den Anfangswert dieser Hilfsvariablen, sondern beeinflusst allein die Anfangswerte der Raten- und Hilfsgleichungsvariablen, welche Verzögerungsfunktionen als erklärende Variablen enthalten.

Dieses verblüffende Ergebnis erklärt sich daraus, daß der DYNAMO-Compiler einen speziellen Programmteil erzeugt, der alle die strukturellen Gleichungen des Modells umfaßt, welche zur Berechnung der Anfangswerte der Verzögerungsfunktionen erforderlich sind. Darüberhinaus enthält das Programm einen prozeduralen Teil, in dem die zeitliche Extrapolation der Variablenwerte vorgenommen wird. Mit diesem Programmteil, in welchem die strukturellen Gleichungen noch einmal erfaßt sind, werden im ersten Durchlauf alle Variablen bis auf die aus dem 'Anfangswertteil' übernommenen Anfangswerte der Verzögerungsvariablen neu bestimmt. Auf diese Weise erhält eine Hilfsvariable einen anderen Anfangswert als den ursprünglich gesetzten. In dem entwickelten Konzept zur Darstellung von System-Dynamics-Modellen mit Hilfe von FORTRAN ist es möglich, Anfangswerte von Hilfsvariablen zu definieren. Damit ist man in der Lage, System-Dynamics-Modelle wie das MEADOWS-Modell, welches Anfangswertdefinitionen von Hilfsvariablen aufweist, zu rekonstruieren. Wegen der beschriebenen Problematik sollte man eine Anfangswertsetzung von Hilfsvariablen allerdings in eigenen Modellentwicklungen möglichst vermeiden.

Nach diesen grundsätzlichen Ausführungen über die Anfangswertproblematik bei System-Dynamics-Modellen wenden wir uns den technischen Problemen zur Entwicklung eines entsprechenden FORTRAN-Programmes zu.

b) Aufbau des FORTRAN-Programms

Das im folgenden beschriebene Programm zerfällt in acht Abschnitte, in denen man zwischen verbindlichen und wählbaren Anweisungen unterscheiden kann. Verbindliche Anweisungen bewirken die Steuerung sowie den Ablauf des Programmes und müssen in jedem Programm auftreten. Die wählbaren Anweisungen dagegen müssen zwar in jedem Programm auftreten, können aber in der Konkretisierung variieren. Verbindliche Anweisungen werden in der folgenden Programmbeschreibung durch Großbuchstaben beschrieben, während wählbare Anweisungen durch Kleinbuchstaben zum Ausdruck kommen werden.

Abschnitt 1 SPEZIFIKATIONEN

im Rahmen der Spezifikationen wird die Dimensionierung des Programmnamens

```
DIMENSION NAME(18)
```

vorgenommen.

Mit

```
INTEGER PLTPER,PRTPER,AZ,AVL
```

wird die explizite Typendeklaration für vier Parameter durchgeführt. Die nicht implizit als Realgrößen gekennzeichneten Level- und Hilfsvariablen sind anschließend aufzuführen.

```
REAL LEV
```

Die Feldreservierung für die auszudruckenden Plotvariablen erfolgt über

```
REAL plotv1(51),plotv2(51),...
```

Mit

```
COMMON/PL0T/plotv1,plotv2,...
```

werden die über die Druckroutine auszugebenden maximal fünf Variablen a,b,c,... im Common-Bereich definiert. Durch

```
COMMON/DEL/ALEV(50,3),NDEL,JDEL
```

```
COMMON/DLI/BLEV(50,3),NDLI,JDLI
```

```
COMMON/SMO/SM00(50),NSMO,JSMO
```

werden Speicherplätze für die DELAY3-, DLINF3- und SMOOTH-Funktionen bestimmt. Anhand von

```
COMMON/LEVEL/XLEV(50),NLEV,JLEV
```

werden Speicherplätze für die Vorperiodenwerte der Level in den Levelmakros definiert. Über

```
COMMON/PLAT/NT,DT,T
```

erfolgt die Verknüpfung von NT,DT und T mit der Plotroutine sowie mit allen vorkommenden Unterprogrammen. Enthält das Programm Tabellenfunktionsmakros, so sind die Ordinatenwerte analog zu den Tabellenwertspeicherungen in DYNAMO mit

```
DATA tab/y1,y2,y3,...
```

einzugeben, wobei das Feld tab vorher in einer DIMENSION-Anweisung definiert werden muß.

Anschließend wird die Initialisierung der in die Verzögerungsfunktionen eingehenden Raten- und Hilfsvariablen vorgenommen. Diese Variablen werden im folgenden immer gleich Eins gesetzt.

```
DATA R1/1./,R2/1./,AUX1/1./,AUX2/1./,...
```

Abschnitt 2 EINGABE

Hier werden der Programmname und die Steuerparameter eingelesen sowie die strukturellen Parameter a,b,c,... welche in den Reruns variiert werden sollen.

```
      READ(5,1001)NAME,PLTPER,PRTPER,LENGTH,DT
1001  FORMAT(18A4/3I3,F5.2)
      APE=1./DT
      JGES=1FIX(LENGTH*APE)
      PRTPER=1FIX(PRTPER*APE)
      JPLTE=1FIX(PLTPER*APE)
      LAUF=0
      AVL=-1
1    IF(LAUF.EQ.AVL)STOP
      READ(5,1002)AVL,a,b,c,d
1002  FORMAT(I2/,10(8E10.5,/))
      LAUF=LAUF+1
      WRITE(6,1003)NAME,LAUF,DT,a,b,c,d
1003  FORMAT(18A4/'LAUF',I3/'DT',F5.2//
1      'PARAMETER a,b,c,d',4X,4E10.5//)
```


Mit dem Parameter AVL ist die gesamte Anzahl der Läufe anzugeben, die in einem Verarbeitungsgang vorgenommen werden sollen.

Mit der WRITE-Anweisung werden der Programmname, die Nummer des Programmlaufes, das Zeitinkrement DT sowie die gewünschten Parameter a,b,c,... ausgedruckt.

Abschnitt 3 INITIALISIERUNGEN UND STEUERPARAMETER

```

I=0
JSMO=0
JDEL=0
JLEV=0
NSMO=asmf
NDEL=adelf
NDLI=adlif
NLEV=alevf
NT=0
NPL=0
AZ=NSMO+NDEL+NDLI+1
GO TO 50
2 WRITE(6,10004)
10004 FORMAT(7X,'TIME',7X,'v1',7X,'v2',7X,'v3',.../)
```

Die Funktionen DELAY3, DLINF3, LEV und SMOOTH enthalten Felder, in denen bei mehrfacher Verwendung die Zustandsvariablen der Vorperioden gespeichert werden. Jede Funktion ist auf höchstens 50 gleichartige Verwendungen festgelegt.

Die Anzahl der maximal möglichen Verwendungen hängt von den entsprechenden Feldvereinbarungen ab. Zur genauen Felderzuordnung ist die Anzahl der in einem Modell verwendeten Funktionen anzugeben. Es bedeuten:

```

asmf: Anzahl der SMOOTH-Funktionen
adelf: Anzahl der DELAY3-Funktionen
adlif: Anzahl der DLINF3-Funktionen
alevf: Anzahl der Levelgleichungen
```

Nach der Initialisierung des Zeitzählers NT und des Plotzeilenzählers NPL verzweigt das Programm zum Block der Levelgleichungen mit der Marke 50.

Abschnitt 4 HILFSGLEICHUNGEN

Hinter der verbindlichen Anweisung

```
5 T=FLOAT(NT)/APE
```

sind die Hilfsgleichungen anzuordnen, die eine Verzögerungsfunktion enthalten. Hierbei ist das Modell so zu definieren, daß auf der rechten Seite dieser 'Verzögerungshilfsgleichungen' nur Verzögerungsmakros oder Levelwerte stehen.

Ist beispielsweise die DYNAMO-Gleichung

$$A1.K = \text{SMOOTH}(A3.J, AP) + A2.K$$

zu modellieren, so ist eine Zwischenvariable

$$az = \text{smooth}(a3, ap)$$

zu definieren, die an dieser Stelle einzufügen ist, während im Rahmen des sich anschließenden Blockes die gewöhnlichen Hilfsvariablen

$$a1 = az + a2$$

anzuführen sind. Bei Nichtbeachtung erhält a2 den Index J. Weiter müssen Verzögerungsmakros, deren Ein- und Ausgänge miteinander kaskadieren, in einer Form angeordnet werden, welche verhindert, daß verzögerte und unverzögerte Variablen gleichgesetzt werden.

Im Falle eines in der DYNAMO-Sprache formulierten Zusammenhanges

$$A1.K = V(A0.J)$$

$$A2.K = V(A1.J)$$

$$A3.K = V(A2.J)$$

muß die Anordnung

$$a3 = v(a2)$$

$$a2 = v(a1)$$

$$a1 = v(a0)$$

gewählt werden, weil die über die V()-Funktion eingehende Hilfsvariable um eine Periode verzögert ist, so daß diese Variable erst in einer der folgenden Zeilen zu definieren ist. Allgemein gilt: Die Verzögerungsgleichungen sind so anzuordnen, daß die Hilfsvariablen, welche den Eingang einer V()-Funktion bilden, stets hinter dieser V()-Funktion zu definieren sind.

Hinter den Hilfsgleichungsverzögerungen sind die unverzögerten Hilfsgleichungen in der Reihe ihrer Abarbeitung anzuordnen.

```

a1=...
a2=...
:
:
am=...

```

Falls für eine Hilfsvariable a_i ein Anfangswert a_{ai} gewählt werden soll, ist hinter der Gleichung für a_i die Anweisung

```
IF(1.LE.AZ)ai=aai
```

zu setzen. Auf die Zweckmäßigkeit dieses Vorgehens kommen wir später zurück.

Abschnitt 5 RATEN

5a RATENVERZÖGERUNGEN

In diesem Abschnitt sind alle Ratengleichungen anzuführen, die eine Verzögerungsfunktion enthalten. Im Gegensatz zu den Hilfsgleichungsverzögerungen dürfen diese Gleichungen auch Hilfsvariablen enthalten. Es ist der Fall denkbar, daß die Ratenvariablen als Eingangsgrößen von Verzögerungsfunktionen dienen, und diese Raten wiederum durch eine Verzögerungsfunktion definiert sind. In diesem Fall sind die Verzögerungsgleichungen so anzuordnen, daß die Eingangsraten einer Verzögerungsfunktion erst in einer der nachfolgenden Gleichungen definiert werden.

Das DYNAMO-Gleichungssystem

```

R3.KL=SMOOTH(R7.JK,AP3)
R2.KL=SMOOTH(R3.JK,AP2)
R1.KL=DELAY3(R2.JK,AP1)+A2.K

```

ist in der Reihenfolge R1, R2 und R3 anzuordnen, d.h.

```

rv1=delay3(rv2,ap1)+a2
rv2=smooth(rv3,ap2)
rv3=smooth(r7,ap3)

```

5b RATENGLEICHUNGEN

```

r1=...
r2=...
:
:
rs=...

```

```
I=I+1
```

```
IF(I.LE.AZ+1) GO TO 5
```

Die Ratengleichungen können in beliebiger Weise angeordnet werden. Die Verzweigung am Ende der Ratengleichungen führt zu einer Schleife, die der Anfangswertsetzung der Hilfs- und Ratenvariablen dient. Der Schleifendurchlauf wird abgebrochen, wenn die um zwei erhöhte Zahl der Smooth- und Delayverwendungen der Größe I entspricht.

Abschnitt 6 AUSGABE

Wenn der Inkrementenzähler NT ein ganzzahliges Vielfaches der Printfrequenz ist, dann werden die gewünschten Variablen v1,v2,v3,... ausgedruckt.

```
IF(MOD(NT,PRTPER).EQ.0)WRITE(6,1005)T,v1,v2,v3,...
1005 FORMAT(6X,F5.2,5X,3F9.3)
IF(MOD(NT,JPLTE).NE.0) GO TO 20
NPL=NPL+1
plotv1(NPL)=v1
plotv2(NPL)=v2
:
```

Zuvor müssen vom Benutzer die Speicherplatzreservierungen der zu plottenden Variablen v1,v2,v3,... vorgenommen werden. Die Plotroutine wird angesprochen, wenn 51 Zeilen zum Plotten bereit stehen.

Abschnitt 7 LEVELGLEICHUNGEN

Das Programm verzweigt zur Plotroutine PLTROU, wenn die Anzahl der Inkrementenschritte NT der gewünschten Anzahl der Schritte JGES entspricht.

```
20 IF(NT.GE.JGES) GO TO 40
NT=NT+1
```

Diesen Anweisungen schließen sich die beliebig anzuordnenden Levelgleichungen der Form

```
L1=lev(law,zug,abg)
```

an. Die erste Levelgleichung muß die Adresse 50 besitzen. Mit

```
IF(NT.EQ.0) GO TO 2
GO TO 5
```

wird zur Initialisierung bzw. zur Berechnung der Hilfsgleichungen zu-

rückverzweigt. Mit

```
40 CALL PLTROU(n,T,PLTPER,NPL,NAME)
   GO TO 1
   END
```

wird die Plotroutine aufgerufen: n beschreibt die Anzahl der (über den Commonbereich eingegebenen) zu plottenden Variablen. Alle übrigen Parameter stammen aus dem Hauptprogramm.

Danach verzweigt das Programm zurück zur Marke 1, damit eventuelle Wiederholungsläufe durchgeführt werden.

Im abschließenden Abschnitt 8 sind die den DYNAMO-Makros entsprechenden FORTRAN-Unterprogramme angeführt.

Das gesamte Programm weist zusammengefaßt folgende Form auf:

```
C 1. SPEZIFIKATIONEN
   DIMENSION NAME (18)
   INTEGER PLTPER,PRTPER,AVL,AZ
   REAL LEV
C
   REAL plotv1(51),plotv2(51),plotv3(51),tab(m)
   COMMON/PLOT/plotv1,plotv2,plotv3
   COMMON/DEL/ALEV(50,3),NDEL,JDEL
   COMMON/DLI/BLEV(50,3),NDLI,JDLI
   COMMON/SMO/SMO0(50),NSMO,JSMO
   COMMON/LEVEL/XLEV(50),NLEV,JLEV
   COMMON/PLAT/NT,DT,T
   data tab/y1,y2,...,ym/
   DATA R1/1./,R2/1./,Aux1/1./,Aux2/1./,...
C
C 2. EINGABE
   READ(5,1001)NAME,PLTPER,PRTPER,LENGTH,DT
1001 FORMAT(18A4)/3I3,F5.2)
   APE=1./DT
   JGES=IFIX(LENGTH*APE)
   PRTPER=IFIX(PRTPER*APE)
   JPLTE=IFIX(PLTPER*APE)
   LAUF=0
   AVL=-1
   1 IF(LAUF.EQ.AVL)STOP
   READ(5,1002)AVL,a,b,c,d,...
1002 FORMAT(I2,/,10(8E10.5,1))
   LAUF=LAUF+1
   WRITE(6,1003),NAME,LAUF,DT,a,b,c,d,...
1003 FORMAT(18A4//'LAUF',I3/'DT',F5.2//'PARAMETER:a,b,c,d,...'
   1 ,4X,4E10.5//)
```

```

C
C 3. INITIALISIERUNGEN UND STEUERPARAMETER
    NT=0
    NPL=0
    I=0
    JSM0=0
    JDEL=0
    JLEV=0
    nsmo=asmf
    ndel=adelf
    nlev=alevf
    GO TO 50
    2 WRITE(6,1004)
1004 FORMAT(7X,'TIME',7X,'v1',7X,'v2',7X,'v3',...//)
C
C
    5 T=FLOAT(NT)/APE
C
C 4A. HILFSGLEICHUNGSVERZÖGERUNGEN
C
    h1=SMOOTH(...,...)
    h2=SMOOTH(...,...)
    :
    hk=DELAY3(...,...)
C
C 4B. HILFSGLEICHUNGEN
C
    a1=...
    a2=...
    :
    am=...
    } abarbeitbare
    } Anordnung
C
C 5. RATEN
C
C 5A. RATENVERZÖGERUNGEN
C
    rv1=SMOOTH(...,...)
    rv2=DELAY3(...,...)
    :
    rvj=SMOOTH(...,...)
C
C 5B. RATENGLEICHUNGEN
C
    r1=...
    r2=...
    :
    rs=...
    I=I+1
    IF(I.LE.AZ+1)GO TO 5

```

```

C
C 6. AUSGABE
C
      IF(MOD(NT,PRTPER).EQ.0)WRITE(6,1005)T,v1,v2,v3,...
1005 FORMAT(6X,F5.2,5X,3F9.3)
      IF(MOD(NT,JPLTE).NE.0)GO TO 20
      NPL=NPL+1
      plotv1(NPL)=v1
      plotv2(NPL)=v2
      plotv3(NPL)=v3
C
C 7. LEVELGLEICHUNGEN
C
20 IF(NT.GE.JGES)GO TO 40
      NT=NT+1
50 11=lev(...)
      12=lev(...)
      :
      1p=lev(...)
      IF(NT.EQ.0)GO TO 2
      GO TO 5
40 CALL PLTROU(n,T,PLTPER,NPL,NAME)
      GO TO 1
      END
C
C 8. UNTERPROGRAMME FÜR MACROS
C      :
C
C
C 9. PLOTROUTINE
C      :

```

Die Unterprogramme der Makrofunktionen DELAY3, DLINF3, SMOOTH, TABHL, PULSE, CLIP und SWITCH sowie die neu eingeführte Levelmakrofunktion LEV und die Subroutine des Plotprogrammes PLTROU sind im Anhang auf den Seiten 588f. angeführt.

c) Simulation eines im System-Dynamics-Konzept beschriebenen Produktions- und Lagerhaltungssystems mit FORTRAN

Das beschriebene Verfahren soll nunmehr am Beispiel des bereits ausführlich beschriebenen System-Dynamics-Modells eines Produktions- und Lagerhaltungssystems demonstriert werden.¹⁷ Entsprechend dem ge-

¹⁷ Vgl. Seite 434

schilderten Verfahren ergibt sich folgendes Programm:

```

C      FERTIGUNGS - UND LAGERHALTUNGSSYSTEM
C
C      1. SPEZIFIKATIONEN
C
      DIMENSION NAME(18)
      INTEGER PLTPER,PRTPER,AVL,AZ
      REAL LEV,MF
      REAL AFLB(51),ASLB(51),AFZU(51),AFLA(51),TAPA(11)
      COMMON /PLOT/ AFLB,ASLB,AFZU,AFLA
      COMMON /DEL/ ALEV(50,3), NDEL, JDEL
      COMMON /SMO/ SMOO(50), NSMO, JSMO
      COMMON /LEVEL/ XLEV(50), NLEV, JLEV
      COMMON /PLAT/ NT,DT,T
      DATA TAPA/0.02,0.05,0.07,0.11,0.18,0.25,0.29,0.32,
1 0.32,0.32,0.32/
      DATA FLA/1./, BMR /1./
C
C      2. EINGABE
C
      READ (5,1001) NAME,PLTPER,PRTPER,LENGTH,DT
1001  FORMAT(18A4/3I3,F5.2)
      APE=1./DT
      JGES=IFIX(LENGTH*APE)
      JPLTE=IFIX(PLTPER*APE)
      PRTPER=IFIX(PRTPER*APE)
      LAUF=0
      AVL=-1
      1 IF( LAUF .EQ. AVL ) STOP
      READ (5,1002) AVL,RF,DVZ,APF,MF
1002  FORMAT(I2,10(8E10.5,/))
      LAUF=LAUF+1
      WRITE(6,1003) NAME,LAUF,DT,RF,DVZ,APF,MF
1003  FORMAT(18A4// 'LAUF',I3/ 'DT',F5.2// 'PARAMETER : RF,DVZ,APF,MF'
1 ,4X,4F6.2//)
C
C      3. INITIALISIERUNGEN
C
      NT=0
      NPL=0
      I=0
      JSMO=0
      JDEL=0
      JLEV=0
      NSMO=1
      NDEL=1
      NLEV=1
      AZ=NDEL+NSMO+1
      GOTO 50
      2 WRITE(6,1004)
1004  FORMAT(7X,'TIME',7X,'FLB',7X,'FZU',7X,'FLA',7X,'SLB'/)
C
      5 T=FLOAT(NT)/APE
C
C      4A. HILFSGLEICHUNGSVERZOEGERUNGEN

```



```

C      PFLA=SMOOTH(FLA,APF)
C
C 4B. HILFSGLEICHUNGEN
C      FAK=TABHL(TAFA,FLB,0.,1000.,100.)
      SLB=MF*PFLA+500.
C
C 5A. RATENVERZOEGERUNGEN
C      FZU=DELAY3(BMR,DVZ)
C
C 5B. RATENGLEICHUNGEN
C      FLA=FAK*FLB
      BMR=PFLA+RF*(SLB-FLB)
      I=I+1
      IF (I .LE. AZ+1) GO TO 5
C
C 6. AUSGABE
C      IF (MOD(NT,PLTPER) .EQ. 0) WRITE(6,1005) T,FLB,FZU,FLA,SLB
1005  FORMAT(6X,F5.2,5X,4F9.3)
      IF(MOD(NT,JPLTE) .NE. 0) GO TO 20
      NPL=NPL+1
      AFLB(NPL)=FLB
      ASLB(NPL)=SLB
      AFLA(NPL)=FLA
      AFZU(NPL)=FZU
C
C 7. LEVELGLEICHUNGEN
C      20 IF(NT .GE. JGES) GO TO 40
      NT=NT+1
      50 FLB=LEV(450.,FZU,FLA)
      IF(NT .EQ. 0) GO TO 2
      GO TO 5
      40 CALL PLTROU (4,T,PLTPER,NPL,NAME)
      GO TO 1
      END

```

Das vorstehende Programm liefert den Ausdruck auf Seite 564.

Die beschriebene Entwicklung von System-Dynamics-Modellen in FORTRAN ist weniger aufwendig als es auf den ersten Eindruck scheinen mag.

Wenig ins Gewicht fallen die auf den Seiten 556f. beschriebenen

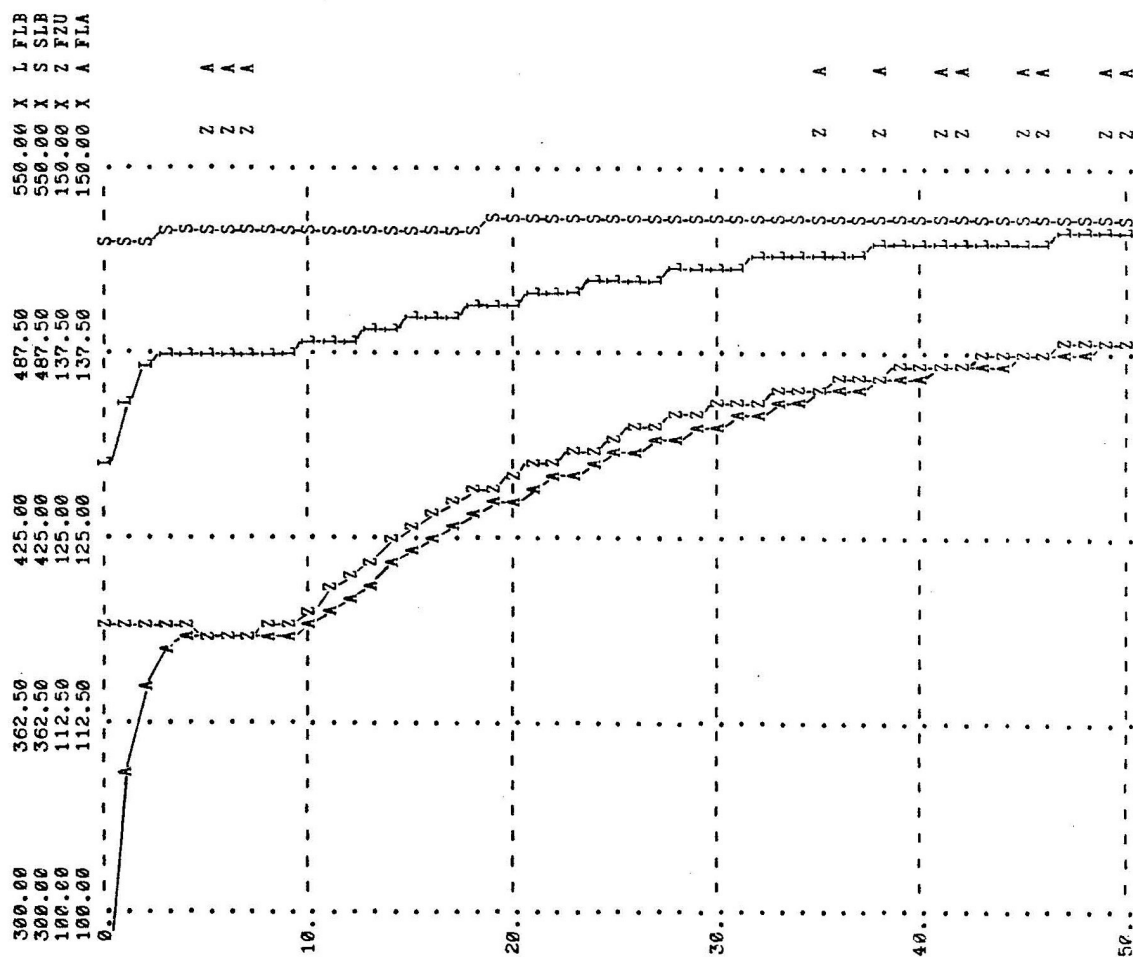
Anordnungsvorschriften der Verzögerungshilfs- und -ratengleichungen (Block 4A. und 5A.), weil sie von Bedingungen ausgehen, die im Normalfall nicht gegeben sein dürften. Lediglich die für Block 4B. geforderte Darstellung der Hilfsgleichungen in einer abarbeitbaren Form führt bei größeren Modellen zu einer nicht zu unterschätzenden Sortierarbeit.

FERTIGUNGS - UND LAGERHALTUNGSSYSTEM

LAUF 1
DT 1.00

PARAMETER : RF,DVZ,APF,MF 0.30 10.00 2.00 0.25

TIME	FLB	FZU	FLA	SLB
0.0	450.000	119.006	96.750	524.187
1.00	472.256	119.006	108.892	524.187
2.00	482.370	119.006	114.639	525.705
3.00	486.736	119.006	117.165	527.182
4.00	488.577	118.826	118.238	528.237
5.00	489.165	118.541	118.581	528.898
6.00	489.125	118.346	118.558	529.272
7.00	488.913	118.398	118.434	529.456
8.00	488.877	118.770	118.413	529.532
9.00	489.234	119.451	118.622	529.567



Die entwickelte Version benötigt wegen des Fehlens eines speziellen Anfangswertteiles weniger Speicherplatz als die DYNAMO III-F-Version. Vor allem aber ermöglicht sie eine Reduzierung der Rechenzeit. Eine Programmierung des Weltmodells von MEADOWS im Rahmen dieses Ansatzes erforderte eine totale CPU-Zeit von 21.21 sec. gegenüber 40.26 sec. unter Verwendung von DYNAMO III-F auf einer IBM-Rechenanlage System 370/158.

B. Simulation klassischer Differenzengleichungen mit FORTRAN

In diesem Fall muß das beschriebene Programm geringfügig modifiziert werden. Die von DYNAMO her bekannten Verzögerungsmakros werden in FORTRAN in Form von Levelgleichungen dargestellt.

Eine Variable a , die um eine Periode verzögert auftritt, d.h. $a(t-1)$, wird innerhalb des Programmes mit $V1a$ bezeichnet. Dementsprechend sei für $a(t-2)$ der Ausdruck $V2a$ vereinbart, usw.

Die zu definierenden FORTRAN-Gleichungen weisen dann folgende Gestalt auf:

- a) für Verzögerung 1-ter Ordnung:

$$V1a = \text{LEV}(\text{Anfangswert1}, a, V1a)$$
- b) für Verzögerung 2-ter Ordnung:

$$V2a = \text{LEV}(\text{Anfangswert2}, V1a, V2a)$$

$$V1a = \text{LEV}(\text{Anfangswert1}, a, V1a)$$
- c) für Verzögerung n-ter Ordnung:

$$Vna = \text{LEV}(\text{Anfangswertn}, Vn-1a, Vna)$$

$$Vn-1a = \text{LEV}(\text{Anfangswertn-1}, Vn-2a, Vn-1a)$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$V1a = \text{LEV}(\text{Anfangswert1}, a, V1a)$$

Bei einer derartigen Definition ist zu beachten, daß alle zwischen $(t-n)$ und (t) liegenden Werte einer n-fach verzögerten Variablen in jeder Periode bereitstehen.

Das auf Seite 532 in DYNAMO beschriebene MA-Modell soll abschließend in Form des hier entwickelten FORTRAN-Programmes dargestellt werden. Um Platz zu sparen, werden nur die wählbaren Anweisungen aufgeführt.

```

C 1. SPEZIFIKATION
  :
  :
  REAL AY(51),AC(51),II,MP,IA
  COMMON/PLOT/AY,AC
  :
  DATA TIA/500,600,580,610,570,640,720,750/
  :
C 3. EINGABE
  :
  :
  READ(5,1002)AVL,MP,AZ,YA,CA
1002 FORMAT(12,/,4(E1/0.5))
  :
  WRITE(6,1003)NAME,LAUF,DT,MP,AZ
1003 FORMAT(18A4// 'LAUF',13/ 'DT',F5.2// 'PARAMETER:
1MP,AZ,YA,CA')
C 4. ANFANGSWERTE
  :
1004 FORMAT(7X,'TIME',7X,'Y',7X,'C',7X,'II'/)
5. HILFSGLEICHUNGEN
  :
  :
  IA=TABLE(TIA,TIME,0,8,1)
  C=MP*V1Y
  II=AZ*(C-V1C)
  Y=C+II+IA
  :
6. LEVELGLEICHUNGEN
  :
  :
  V1C=LEV(CA,C,V1C)
  V1Y=LEV(YA,Y,V1Y)
  :
7. AUSGABE
  IF(MOD(NT,PRTPER).EQ.0)WRITE(6,1005)T,Y,C
  :
  :
  AY(NPL)=Y
  AC(NPL)=C
  :
  :
  CALL PLTROU(2,T,PLTPER,NPL,NAME)

```

Das Programm wird durch die Eingabe der Parameterspezifizierung und des Programmnamens, d.h.

MA-MODELL BAS.-LAUF,1,1,0.9,10000,8000

vervollständigt.

4.2. Schätz- und Analysensysteme für dynamische MZÄ-Modelle

4.2.1. SIMPLAN

SIMPLAN ist eine Planungssprache, die von einem kommerziellen Unternehmen - der Social Systems Insurance - entwickelt wurde und als eine Art Modularsystem zur Planung von Betrieben konzipiert ist.

Im Rahmen dieser Sprache können rekursive und simultane Differenzengleichungssysteme simuliert werden. Die endogenen Variablen nichtlinearer simultaner Modellgleichungen werden unter Anwendung des Gauß-Seidel-Verfahrens bestimmt.

Verläufe exogener Variablen können unter Verwendung bestimmter Vorhersagemethoden, wie einer exponentiellen Glättung, gleitender Durchschnittsberechnungen, aber insbesondere auch des Box-Jenkins-Verfahrens anhand von Vergangenheitsbeobachtungen prognostiziert werden.

Das Box-Jenkins-Verfahren ist eine anspruchsvolle Methode der Zeitreihenanalyse, dessen Ziel es ist, anhand einer vorgegebenen Zeitreihe einen Ansatz zu entwickeln, der genau den stochastischen Prozeß beschreibt, welcher die gegebene Zeitreihe erzeugt.

SIMPLAN benutzt zur Parameterschätzung die gewöhnliche und die zweistufige Methode der kleinsten Quadrate. [180],[181]

Erfahrungen mit SIMPLAN sind bisher nicht bekannt.

4.2.2. EPL

EPL (Econometric Planning Language) ist von SCHÖBER zur Schätzung und Simulation ökonometrischer Modelle in der interaktiven Programmiersprache APL entwickelt worden. [99],[174]

Sie ermöglicht die Parameterschätzung mit Hilfe gewöhnlicher und verallgemeinerter Kleinstquadratschätzungen sowie der zweistufigen Methode der kleinsten Quadrate. Die Schätzung von verteilten Verzögerungen, d.h. sequentiellen Modellen, kann mit Hilfe von Almon-Lag-Operatoren vorgenommen werden.

Simultane Gleichungssysteme können nach der Gauß-Seidel-Methode ge-

löst werden, wobei unter Anwendung eines auf VAN DER GIESSEN zurückgehenden Verfahrens ein Minimum an Anfangswerten vorzugeben ist. [65]
Die Datenausgabe erfolgt über Zeitreihenausdrucke und Histogramme.

4.2.3. COMOS

Das von der Firma Ciba-Geigy entwickelte COMOS-Konzept repräsentiert einen Ansatz zur computergestützten Unternehmensmodellierung. Im Rahmen dieser Konzeption wird die Simulationssprache COMOS II verwendet [19]. Mit COMOS soll der Anwender in allen Phasen einer Modellentwicklung, d.h. der Hypothesenaufstellung, Gültigkeitsprüfung und normativen Modifizierung, durch den einfachen Rückgriff auf geeignete Verfahren unterstützt werden.

COMOS erlaubt eine flexible Verknüpfung vorliegender Zeitreihen mit Schätzprozeduren wie einfache, zweistufige und nichtlineare Kleinstquadratschätzungen. Weiterhin stehen Routinen für Prognosen zur Verfügung. Simultane Differenzengleichungssysteme können mit Matrizeninversionen im linearen und mit der Gauß-Seidel-Methode im nichtlinearen Fall gelöst werden.

Neben der Ermittlung verschiedener statistischer Testgrößen können auch experimentelle Auswertungsmethoden wie beispielsweise fraktioniert faktorielle Analysen durchgeführt werden. [168]¹ Derartige Methoden sind meines Wissens bisher noch nicht in anderen computergestützten Systemen der Modellanalyse verwendet worden. Auch zur Durchführung normativer Untersuchungen stehen im Rahmen von COMOS Such- und Optimierungsverfahren wie die revidierte Simplex-Methode oder Suchverfahren nach FIBONACCI oder HOOKE JEEVES zur Verfügung. Das Programmiersystem wird bisher nur bei Ciba-Geigy verwendet.

¹ Zu einer Anwendung der fraktioniert faktoriellen Versuchsauswertung im Rahmen von Simulationsmodellen siehe [20]

4.2.4. TROLL

TROLL (Time-Shared Reactive On-Line Laboratory) ist ein interaktives Software System, das am National Bureau of Economic Research in Cambridge (USA) entwickelt wurde. Sein Ziel ist die weitestgehende Unterstützung eines Modellanwenders beim Schätzen und Austesten eines Programmes. TROLL setzt sich aus einem abgeschlossenen Standardteil (Standard-TROLL-System) und einem ständig ausgeweiteten System von Programmen (TROLL-Experimental-Programs) zusammen und umfaßt ca. 200 000 Anweisungen. Das gesamte System arbeitet als Gastsystem im Rahmen des Betriebssystems VM/370 an einer IBM 370/158 oder 370/168.

TROLLs Leistungsvermögen kann hier nur grob umrissen werden:²

- Simulation linearer und nichtlinearer, rekursiver oder simultaner Modelle bis zu 5000 endogenen Variablen. Verwendung einer einfachen, der Differenzengleichungsform entsprechenden Schreibweise. Flexible Schätzung der Parameter bei variierenden Hypothesen. Als Schätzmethoden können u.a. verwendet werden: gewöhnliche, zweistufige, dreistufige und nichtlineare Kleinstquadratschätzungen; verteilte und polynomverteilte Lag-Schätzungen, Full-Information-Maximum Likelihood-Schätzungen.
- Zur Datenanalyse und -behandlung stehen Prognoseverfahren (z.B. Box-Jenkins-Methode), verschiedene Methoden der Clusteranalyse, Verfahren der Saisonanpassung, der Interpolation fehlender Daten und statistische Standardtests zur Verfügung.
- Die Durchführung von Matrizenoperationen ist möglich, wie zum Beispiel Matrizeninversionen oder Berechnung der Wurzeln der charakteristischen Gleichung einer Matrix.
- Für normative Betrachtungen können optimale Kontrollmethoden verwendet werden. Verschiedene Verfahren der Sensitivitätsanalyse stehen zur Verfügung.
- Die Ausgabe kann durch verschiedene Arten von Histogrammen vorgenommen werden. Es ist möglich, Konturdiagramme zeichnen zu lassen.
- Mit Hilfe eines 'MACRO-processors' können TROLL-Anweisungen in neue

² TROLL ist in Broschüren mit einem Umfang von ca. 4000 Seiten dokumentiert. Zur Einführung ist zu empfehlen [212] und [120]; zur weiteren Vertiefung [211] und [121].

interaktive Programme eingefügt werden, die auch andere Anweisungen, wie beispielsweise FORTRAN-Anweisungen, enthalten können.

Mit einer Einführung von nur wenigen Stunden wird ein Benutzer in die Lage versetzt, das System für seine speziellen Probleme anzuwenden. Mit wenigen Anweisungen können komplexe Aufgaben gelöst werden, wobei die Ergebnisse als Grundlage für weitere TROLL-Operationen zur Verfügung stehen. Damit gestattet TROLL, eine Fülle von Untersuchungen in kürzester Zeit ohne große Vorkenntnisse durchzuführen.

Als Beispiel sei ein Terminalprotokoll der Schätzung und Simulation des MA-Modells angeführt, dessen Schätzung bereits auf Seite 117f. mit Hilfe von TSP demonstriert wurde.

Mit diesem Beispiel wird das Leistungsvermögen von TROLL nicht annähernd zum Ausdruck gebracht. Man erhält allein einen ersten Eindruck von den Grundzügen des Systems:³ Während die Benutzereingaben kleingeschrieben sind, erfolgt die Systemantwort in Großbuchstaben.

```
TROLL COMMAND:
usemod mamod;
NEW MODEL:MAMOD
TROLL COMMAND:
modedit;
MODEDIT COMMAND:
addsym
DECLARATION TYPE:
definition
VARIABLE:
Y,
DECLARATION TYPE:
endogenous c, endogenous ii, exogenous ia,
DECLARATION TYPE:
coefficient a b;
MODEDIT COMMAND:
symcom c konsum;
MODEDIT COMMAND:
symcom ii induzierte investitionen;
MODEDIT COMMAND:
symcom y volkseinkommen;
MODEDIT COMMAND:
symcom ia autonome investitionen;
```

³ TROLL ist in Europa (Stand 1980) bisher nur an einer IBM 370/158 der TU Berlin sowie in Basel implementiert. Das Protokoll stammt von der Anlage in Berlin.


```

MODEDIT COMMAND:
addeq bottom,
EQUATION:
Y==c+ii+ia,
EQUATION:
c=a*y(-1),
EQUATION:
ii=b*(c-c(-1));
MODEDIT COMMAND:
filemod;
TROLL COMMAND:
dedit y, 1, 1950;
NEW SERIES Y
DEDIT COMMAND:
data 8000 8860.3 9341.3 8932.2 8935.8 9801.3
1956
10763 11322 11345 12083 11917 10658 9779.4 9068.8
1964
10223 10675 11209 11292 12488 12947 12091 12321
1972
13407 13510 12425 12126 12968;
DEDIT COMMAND:
file;
TROLL COMMAND:
dedit c, 1, 1950;
NEW SERIES C
DEDIT COMMAND:
data 7200 7387.2 7773.5 8083.2 8146.7 8273.5
1956
8889 9766.8 10254 10584 10689 10129 9530.2 8358.2
1964
8534.3 9217.5 9934 9928.7 10621 11395 11287 10827
1972
11330 12032 11647 11004 11129;
DEDIT COMMAND: file;
TROLL COMMAND:
dedit ia, 1, 1950;
NEW SERIES IA
DEDIT COMMAND: data 600 1300 1300 800 800 1500 1500 700
1958
700 1300 1300 800 800 1500 1500 900 900 1400
1968
1400 900 900 1700 1700 1000 1000 1700 1700;
DEDIT COMMAND: file;
TROLL COMMAND:
dedit ii, 1, 1950;
NEW SERIES II
DEDIT COMMAND:
data 200 173.11 267.79 49.096 -10.92 27.79 374.2
1957
855.26 390.44 199.64 -71.831 -271.03 -550.8 -789.46 188.77

```

```

1965
557.43 375.26 -37.015 466.32 652.73 -96.776 -206.16 376.11
1973
478.25 -222.14 -577.37 139.05;
DEDIT COMMAND:
file;

```

Mit 'usemod mamod' wird ein neues Modell mit dem Namen MAMOD definiert. Nach dem Befehl 'modedit' ist das System bereit, Anweisungen zur Modelleingabe zu verarbeiten.

Durch 'addsym' wird die Eingabe von Symbolen des Modells angekündigt. 'addsym' ist jedoch nur das erste Schlüsselwort des Befehls, deshalb fragt das System anschließend nach dem Typ dieses Symbols. Mit der Eingabe von 'definition' wird dem System mitgeteilt, daß die zu deklarierende Variable durch eine Definitionsgleichung spezifiziert wird. Daran anschließend wird der Name 'Y' dieser Variablen eingegeben. Durch die Eingabe eines Kommas wird das Ende der Variablenliste vom Typ 'definition' angezeigt. In der nächsten Zeile werden die endogenen und exogenen Variablen definiert, schließlich wird das Kommando durch die Definition der Koeffizienten abgeschlossen.

Durch die Anweisung 'symcom' können den Variablen Kommentare zugeordnet werden. Daran anschließend werden nach der Eingabe von 'addeq bottom' die Gleichungen des Modells eingegeben, und die Modelleingabe wird durch die Eingabe 'filemod' abgeschlossen.

Nach Ausführung des Kommandos 'dedit y, 1, 1950' ist das System bereit, die Beobachtungswerte der Variablen Y als Jahresdaten ab 1950 einzulesen. Die Eingabe erfolgt formatfrei und nach Übergabe der ersten Zeile wird die Periode für den nächsten erwarteten Wert zurückgemeldet. Die Eingabe wird wie jedes vollständige Kommando mit ';' abgeschlossen. Anschließend wird durch 'file' die Zeitreihe abgespeichert. Diese Prozedur wird für alle vorliegenden Zeitreihen wiederholt.

Damit ist das Modell MAMOD definiert, und die Beobachtungswerte der Variablen zur Schätzung der Parameter sind gespeichert.

Der weitere Verlauf der Sitzung ergibt sich aus dem anschließenden Protokoll:

```

TROLL COMMAND:
usemod mamod;
TROLL COMMAND:
period 1;
TROLL COMMAND:
prtmmod comment all mamod;
MODEL: MAMOD

SYMBOL DECLARATIONS

ENDOGENOUS:
    C      - KONSUM
    II     - INDUZIERTE INVESTITIONEN
DEFINITION:
    Y      - VOLKSEINKOMMEN

EXOGENOUS:
    IA     - AUTONOME INVESTITIONEN

COEFFICIENT:
    A      B

EQUATIONS

1:          Y == C+II+IA

2:          C = A*Y(-1)

3:          II = B*(C-C(-1))

```

Mit 'usemod mamod' wird das Modell aufgerufen. Durch die Angabe 'period 1' wird dem System mitgeteilt, daß das Modell mit dem Zeitintervall eines Jahres arbeitet. Die Anweisung 'prtmmod comment all mamod' führt zum Ausdruck der Modellgleichungen einschließlich einer Definitionsliste

```

TROLL COMMAND:
reg
ENTER TIME BOUNDSN
DATE:
1951
NEXT DATE, 'TO' OR ' ':
to 1976;
REG COMMAND:
doeq all;

```

Durch 'reg' wird dem System mitgeteilt, daß eine Regressionsrechnung vorgenommen werden soll, während durch die Angabe '1951' das System erkennt, daß die Beobachtungswerte vom Jahre 1951 ab in der Regressionsrechnung berücksichtigt werden sollen. Mit 'to 1976' kommt zum Ausdruck, daß die Beobachtungswerte bis 1976 in die Regressionsrechnung eingehen. Die drei Instruktionen hätten auch durch die Anweisung 'reg 1951 to 1976' ersetzt werden können. Im vorliegenden Falle, in welchem nur Teilanweisungen durchgeführt wurden, werden die weiteren Spezifikationen von TROLL erfragt. Die Anweisung 'doeq all' fordert die Durchführung einer Kleinstquadratschätzung für alle strukturellen Gleichungen des Modells. Die auf diese Anweisungen folgende Ausgabe der Regressionsergebnisse liefert:

2: C = A*Y(-1)

NOR = 26 NOVAR = 1
 range = 1951 to 1976
 RSQ = 0.9549 CRSQ = 0.9549 F(0/25) = 529.346
 SFR = 284.6190 SSR = 2.025E+06 DW(0) = 1.98
 LHS MFAN = 9875.03000 SR = 244.09

COEFF	VALUE	ST ER	T-STAT	MEAN
A	0.89838	0.00504	178.40300	10981.60000
COEF	PARTIAL	BETA		
A	0.99961	1.03057		

3: II = B*(C-C(-1))

NOB = 26 NOVAR = 1
 range = 1951 to 1976
 RSQ = 0.94073 CRSQ = 0.94073 F(0/25) = 396.764
 SFR = 95.4417 SSR = 2.277E+05 DW(0) = 2.34
 LHS MEAN = 105.29800 SR = -98.5405

COEF	VALUE	ST ER	T-STAT	MEAN
R	0.72188	0.03488	20.69810	151.11500
COEF	PARTIAL	BETA		
B	0.97204	0.96707		

Die Sitzung geht weiter mit:

```

REG COMMAND:
filecoeff;
REG COMMAND:
simulate;
CREATING DSET MAMOD
SIMULATIONS CAN START FROM 1951 TO 1976 AND MUST END BY 1976
ANALYSING MODEL
GENERATING CODE
TO SAVE CODE TYPE 'FILEMOD';
SIMULATE COMMAND:
filemod;
SIMULATE COMMAND:
simstart 1951 to 1976;
SIMULATE COMMAND:
filesim mamodsim;
TROLL COMMAND:
prtdset value er stats, variables c range 1951 to 1976,
'DSETS':
dsets mamod mamodsim;

```

Die Anweisung 'filecoeff' bewirkt, daß die geschätzten Koeffizienten A und B gespeichert werden. Mit 'simulate' wird die Durchführung einer Simulation eingeleitet. Durch 'simstart 1951 to 1976' werden Anfangs- und Endzeitpunkte der Simulation festgelegt. Mit 'filesim mamodsim' werden die Simulationsergebnisse gespeichert. Die Anweisung 'prtdset value er stats, variables c...' fordert den Ausdruck der historischen und simulierten Werte von C sowie einiger statistischer Größen. Die sich in derselben Zeile anschließende Instruktion 'range 1951 to 1976' definiert den Bereich der auszudruckenden Daten. Durch 'dsets mamod mamodsim' werden die Dateien benannt, auf denen die historischen und simulierten Werte abgespeichert sind. Die Antwort des TROLL-Systems zeigt Abbildung 42.1. Dieser Ausgabe schließt sich der folgende Dialog an:

```

TROLL COMMAND:
output pltwidth 5;
TROLL COMMAND:
pltdset variables c,
'RANGE':
range 1951 to 1976, dsets mamod mamodsim:

```

SIMULATION OUTPUT BY VARIABLE

C - ENDOGENOUS

	MAMOD	MAMODSIM	MAMODSIM ER
1951	7387.2	7187.06	-200.137
1952	7773.5	7616.24	-157.258
1953	8083.2	8288.54	205.336
1954	8146.7	8600.98	454.285
1955	8273.5	8648.32	374.816
1956	8889.	9147.77	258.77
1957	9766.8	9889.68	122.883
1958	10254.	9994.74	-259.258
1959	10584.	9676.11	-907.895
1960	10689.	9654.1	-1034.9
1961	10129.	9826.71	-302.293
1962	9530.2	9658.79	128.59
1963	8358.2	9287.1	928.898
1964	8534.3	9449.89	915.59
1965	9217.5	9942.77	725.27
1966	9934.	10060.6	126.605
1967	9928.7	9923.24	-5.46094
1968	10621.	10083.5	-537.484
1969	11395.	10420.5	-974.465
1970	11287.	10388.7	-898.262
1971	10827.	10121.	-706.016
1972	11330.	10446.1	883.875
1973	12032.	11122.7	-909.27
1974	11647.	11329.7	-317.348
1975	11004.	11210.9	206.941
1976	11129.	11522.	392.984

STATISTICS FOR SIMULATION OUTPUT BY VARIABLE

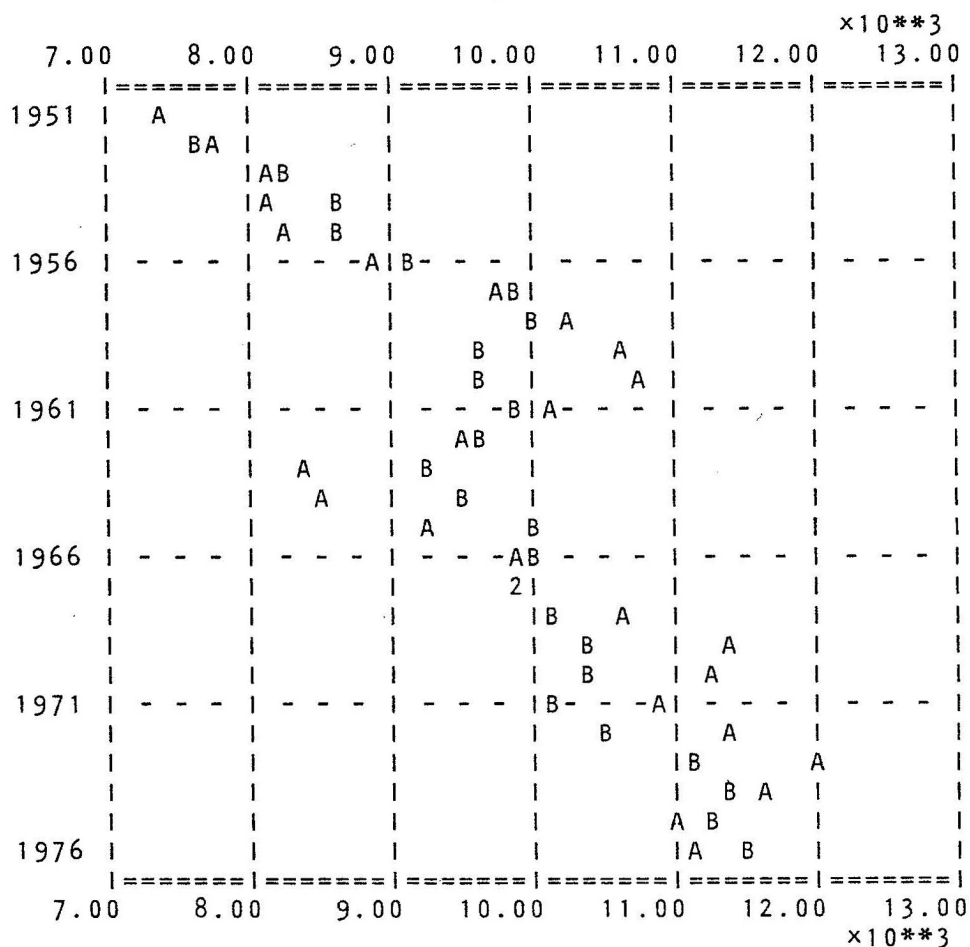
C - ENDOGENOUS

	MAMOD	MAMODSIM	MAMODSIM ER
MEAN	9875.02	9749.89	-125.113
RMS	9962.09	9804.93	598.051
STD.DEV	1340.22	1057.83	596.399

Abb. 42.1 Ausgabe der historischen und simulierten Werte der Variablen C eines MA-Modells im Rahmen des TROLL-Systems

SIMULATION OUTPUT BY VARIABLE

C - ENDOGENOUS



*****LEGEND*****

TIME BOUNDS: 1951 TO 1976

SYMBOL SCALE NAME

A #1 MAMOD

B #1 MAMODSIM

Abb. 42.2 Zeitdiagramm der historischen und simulierten Werte der Variablen C eines MA-Modells im Rahmen des TROLL-Systems

Die Anweisung 'output pltwidth 5' bestimmt die Breite des auszudruckenden Histogrammes, während 'pltdset variables c' das Plotten der simulierten und historischen Werte der Variablen C vorschreibt. Mit 'range 1951 to 1976' wird der Zeitbereich des Histogrammes bestimmt; während die Folgeanweisung 'dsets mamod mamodsim' die Dateien aufruft, auf denen die historischen und simulierten Zeitreihen abgelegt sind. Die Antwort des TROLL-Systems zeigt Abbildung 42.2.

Mit Systemen wie TROLL scheint die Entwicklung computergestützter Modellbehandlungsmethoden einen Punkt erreicht zu haben, an dem von der computertechnischen Seite her weitere wesentliche Steigerungsmöglichkeiten kaum mehr denkbar sind.

Anhang

(Umfangreichere Programme, auf die im Hauptteil verwiesen wird)

	Seite
1. Untersuchung der Sensitivität mit Rücksetzung anhand eines Fertigungsmodells (DYNAMO)	580
2. Retrodiktionsvorspann für ein System-Dynamics-Modell (DYNAMO)	582
3. Dreidimensionaler Suchalgorithmus zur Parameterbestim- mung exponentieller Verweilzeithypothesen (FORTRAN).	584
4. Makrofunktion DELATO (DYNAMO)	587
5. FORTRAN-Unterprogramme für eine FORTRAN-Version zur Darstellung von System-Dynamics-Modellen	588

1. Untersuchung der Sensitivität mit Rücksetzung anhand eines Fertigungsmodells (DYNAMO)

```

*   UNTERSUCHUNG DER SENSITIVITAET MIT RUECKSETZUNG ANHAND
*   EINES FERTIGUNGSMODELLS
MACRO ASMOOTH(AINPUT,DVZ,S,INPUT,SMOOTH)
L ASMOOTH.K=(ASMOOTH.J+DT*((AINPUT.JK-ASMOOTH.J)/DVZ.J))*(1-S.J)
X +S.J*(SMOOTH.J+DT*((INPUT.JK-SMOOTH.J)/DVZ.J))
N ASMOOTH=AINPUT
MEND
MACRO ADELAY3(AINPUT,DVZ,INPUT,S)
L $L1.K=$L1.J+DT*(INPUT.JK-$R1.JK)
N $L1=$DL*INPUT
A $DL.K=DVZ/3
R $R1.KL=$L1.K/$DL.K
L $L2.K=$L2.J+DT*($R1.JK-$R2.JK)
N $L2=$L1
R $R2.KL=$L2.K/$DL.K
L $L3.K=$L3.J+DT*($R2.JK-$DELA3.J)
N $L3=$L1
A $DELA3.K=$L3.K/$DL.K
L $AL1.K=($AL1.J+DT*(AINPUT.JK-$AR1.JK))*(1-S.J)+
X S.J*($H1.J+DT*(INPUT.JK-$R1.JK))
A $H1.K=$L1.K
N $AL1=$ADL*AINPUT
A $ADL.K=DVZ/3
R $AR1.KL=$AL1.K/$ADL.K
L $AL2.K=($AL2.J+DT*($AR1.JK-$AR2.JK))*(1-S.J)+
X S.J*($H2.J+DT*($R1.JK-$R2.JK))
A $H2.K=$L2.K
N $AL2=$AL1
R $AR2.KL=$AL2.K/$ADL.K
L $AL3.K=($AL3.J+DT*($AR2.JK-ADELAY3.J))*(1-S.J)+
X S.J*($H3.J+DT*($R2.JK-$DELA3.J))
A $H3.K=$L3.K
N $AL3=$AL1
A ADELAY3.K=$AL3.K/$ADL.K
MEND
MACRO VE1(A)
A VE1.K=$V.K
L $V.K=$V.J+(DT/DT)*(A.J-$V.J)
N $V=0
MEND
MACRO SU(A)
A SU.K=$Z.K
A $Z.K=VE1($Z.K)+A.K
MEND

```

```

*
* GRUNDMODELL
R BMR.KL=RF*(SLB.K-FLB.K)
R FZU.KL=DELAY3(BMR.JK,DVZ)
L FLB.K=FLB.J+DT*(FZU.JK-FLA.JK)
A PFLA.K=SMOOTH(FLA.JK,APF)
A SLB.K=MF*PFLA.K+500
R FLA.KL=FAK.K*FLB.K
A FAK.K=TABHL(TAFA,FLB.K,0,1000,100)
N FLB=500
*
* AENDERUNGSMODELL
R ABMR.KL=ARF.K*(ASLB.K-AFLB.K)
R AFZU.KL=ADELAY3(ABMR.JK,DVZ,BMR.JK,S.K)
L AFLB.K=(AFLB.J+DT*(AFZU.JK-AFLA.JK))*(1-S.J)+S.J*H.J
X +S.J*(DT*(FZU.JK-FLA.JK))
A H.K=FLB.K
A APFLA.K=ASMOOTH(AFLA.JK,APF,S.K,FLA.JK,PFLA.K)
A ASLB.K=MF*APFLA.K+500
R AFLA.KL=AFAK.K*AFLB.K
A AFAK.K=TABHL(TAFA,AFLB.K,0,1000,100)
N AFLB=500
*
* SCHALTER ZUR GLEICHSETZUNG DER LEVEL
A S.K=SWITCH(0,1,AFLB.K-FLB.K)*RUECKS
C RUECKS=1      1=MIT RUCKSETZEN 0=OHNE RUECKSETZEN
*
* GEMEINSAME PARAMETER
C DVZ=8/APF=4.5/MF=.2
T TAFA=0.02/0.05/0.07/0.11/0.18/0.29/0.32/0.32/0.32/0.32/0.32
*
* PARAMETERAENDERUNGEN
C RF=0.2
A ARF.K=RF*(1+AR)
C AR=0.1
*
* SENSITIVITAETSMASSE
A SR.K=((AFLB.K-FLB.K)/(FLB.K*AR))
A SA.K=((AFLB.K-FLB.K)/(RF*AR))
*
A SENR.K=SU(SR.K-SWITCH(0,1,SR.K)*VE1(SENK.K))
A SENA.K=SU(SA.K-SWITCH(0,1,SA.K)*VE1(SENA.K))
*
SAVE SENR
SPEC DT=1,LENGTH=50,PLTPER=1,PRTPER=1,SAVPER=1
RUN RUECKS
C RUECKS=0
CPLOT SENR.RUECKS=1/SENK=0
RUN

```

2. Retrodiktionsvorspann für ein System-Dynamics-Modell (DYNAMO)

```

* RETRODIKTIONSVORSPANN FUER EIN SYSTEM-DYNAMICS-MODELL
*
MACRO UN(I,S)
A $UN1.K=CLIP(1,0,I.K,S-DT)*SWITCH(0,1,I.K-S+DT)
A UN.K=SWITCH(I.K,S,$UN1.K)
MEND
MACRO VE1(AA)
A VE1.K=$V.K
L $V.K=$V.J+(DT/DT)($AZ.J-$V.J)
A $AZ.K=AA.K
N $V=0
MEND
MACRO VE2(AA)
A VE2.K=VE1(VE1(AA))
MEND
MACRO A(X)
A A.K=CLIP(X.K,-X.K,X.K,0)
MEND
MACRO SU(AA)
A SU.K=$Z.K
A $Z.K=VE1($Z.K)+AA.K
MEND
MACRO FS(ES,PF)
A FS.K=SWITCH(1,0,UN($FZ.K,PF)-PF)
A $FZ.K=SU(ES.K*DT-VE1(FS.K*$FZ.K))
MEND
MACRO RE(L,AQ,AI,R,S2)
A RE.K=R.K*(-L.K+$Z.K)
A $Z.K=SU(S2.K*(L.K-VE1($Z.K)))
A AI.K=CLIP(0,1,$GI.K,AQ)
A $GI.K=A((L.K-VE1(L.K))/L.K)
MEND
MACRO DELY3R(ZUF,DVZ,ALEV,R,S2,S,AQ)
A DELY3R.K=$LV3.K/$DL.K
L $LV3.K=$LV3.J+DT*S.J*($RT2.JK-DELY3R.J)+$RLV3.J
A $RLV3.K=RE($LV3.K,AQ,$ALV3.K,R.K,S2.K)
N $LV3=$DL*K*ZUF
R $RT2.KL=$LV2.K/$DL.K
L $LV2.K=$LV2.J+DT*S.J*($RT1.JK-$RT2.JK)+$RLV2.J
A $RLV2.K=RE($LV2.K,AQ,$ALV2.K,R.K,S2.K)
N $LV2=$LV3
R $RT1.KL=$LV1.K/$DL.K
L $LV1.K=$LV1.J+DT*S.J*(ZUF.JK-$RT1.JK)+$RLV1.J
A $RLV1.K=RE($LV1.K,AQ,$ALV1.K,R.K,S2.K)
N $LV1=$LV3
A $DL.K=DVZ/3
A ALEV.K=VE1($ALV1.K*$ALV2.K*$ALV3.K)
MEND
MACRO SMOTHR(ZUF,APF,ALEV,R,S2,S,AQ)
L SMOTHR.K=SMOTHR.J+((DT*S.J*(ZUF.JK-SMOTHR.J))/APF)+$SMF.J
A $SMF.K=RE(SMOTHR.K,AQ,ALEV.K,R.K,S2.K)
N SMOTHR=ZUF
MEND

```

```

A S1.K=S4.K+SWITCH(1,0,AR-UN(RZ.K,AR))-VE1(SWITCH(1,0,AR-UN(RZ.K,AR)))
A S2.K=AT.K+SWITCH(1,0,S3.K-VE1(S3.K)-1)
A S3.K=CLIP(1,0,UN(TIME.K,TIMA.K+AAP),TIMA.K+AAP)
A S4.K=CLIP(0,1,UN(RZ.K,AR),AR)+SWITCH(1,0,AR)
A S6.K=CLIP(1,0,SU(CLIP(1,0,IZ.K,IG)),1)*VE1(S4.K)
A S7.K=CLIP(0,1,SU(S6.K),ANI+2)
A IZ.K=SU(VE1(S3.K-S2.K*VE1(IZ.K)))
A R.K=S3.K*S4.K
A RZ.K=SU(AT.K*DT)
A S.K=1-S3.K-S3.K+(1-S4.K)*2
A AT.K=US*AA.K+(1-US)*VE1(S3.K)*VE1(S4.K)
C US=1
A PAPRO.K=(FS(VE1(1),PFA)*(DT-VE1(S3.K)*DT)+SWITCH(DT,0,TIMA.K-TIME.K
X ))*SWITCH(0,1,PFA)*SWITCH(0,1,AAP)
A PRETP.K=(AT.K*DT)*FS(AT.K,PFR)*S7.K+SWITCH(DT,0,PFA)*SWITCH(1,0,S3.K-
X VE1(S3.K)-1)*SWITCH(0,1,PFR)*SWITCH(0,1,AAP)+SWITCH(1,0,S3.K-VE1(S3.K)
X -1)*SWITCH(0,1,PFR)*SWITCH(1,0,AAP)*DT
A PKOPR.K=FS(1-S1.K,PFK)*(DT*(1-S1.K))*CLIP(0,1,UN(SU(DT*(1-S1.K)),AKP+
X DT),AKP+DT)+SWITCH(DT,0,S4.K-VE1(S4.K)+1)*SWITCH(1,0,PFR)*SWITCH(0,1,
X AR)
A PLK.K=FS(1-S1.K,PLFK)*(DT*(1-S1.K))*CLIP(0,1,SU(DT*(1-S1.K)),AKP+DT)
X +SWITCH(DT,0,S4.K-VE1(S4.K)+1)*SWITCH(0,1,AR)
A PNAIT.K=VE1(S6.K*DT)*S7.K
A TIM.K=(TIMA.K+TIAP.K+TIRE.K+TIKP.K)*(1-VE1(S6.K))+TINI.K
A TIMA.K=SU(TIME.K*ST.K)
A ST.K=SWITCH(1,0,1-SU(1))
A TIAP.K=VE1(SU(DT-DT*S3.K))
A TIZ.K=(1-S6.K)*SU(DT-DT*S4.K)*CLIP(0,1,SU(DT-DT*S4.K),AKP+DT)
A TIKP.K=VE1(TIZ.K)
A TINI.K=SU(VE1(S6.K))*S7.K
A TIRE.K=-SU(AT.K*DT*VE1((1-S6.K)*S4.K*S3.K))
A PLTPER.K=PLAP.K+PLK.K
A PLAP.K=(FS(VE1(1),PLFA)*(DT-VE1(S3.K)*DT)+SWITCH(DT,0,TIMA.K-TIME.K))*
X SWITCH(0,1,PLFA)*SWITCH(0,1,AAP)
A PRTPER.K=(PAPRO.K+PRETP.K+PKOPR.K+PNAIT.K)*SCH+(1-SCH)*(STEP(DT,ANF)
X +STEP(-DT,END))
C SCH=1
C ANF=0,END=0
* PARAMETERFESTLEGUNG
C AAP=0 ANZAHL DER ANFANGSPROGNOSEN (TIME)
C IG=0 HOECHSTE ITERATIONSZAHL IN EINEM RETROSCHRITT
C AKP=0 ANZAHL DER KONTROLLPROGNOSEN (TIME)
C AR=0 ANZAHL DER RETRODIKTIONSPERIODEN (TIME)
C AQ=0.1E-6 GENAUIGKEITSGRENZE DER ITERATION
C PFA=1 PRINTFREQUENZ ANFANGSPROGNOSE
C PFR=1 PRINTFREQUENZ RETROPHASE
C PFK=1 PRINTFREQUENZ KONTROLLPHASE
C ANI=5 ANZAHL DER NACHITERATIONEN
C PLFK=1 PLOTTERFREQUENZ KONTROLLPROGNOSE
C PLFA=1 PLOTTERFREQUENZ ANFANGSPROGNOSE
*
*
* BRUECKENINSTRUKTIONEN
A AA.K=AL1.K*AL2.K*.....*ALN.K

```

3. Dreidimensionaler Suchalgorithmus zur Parameterbestimmung exponentieller Verweilzeithypothesen (FORTRAN)

```

C      DREIDIMENSIONALER SUCHALGORITHMUS ZUR ERMITTLUNG EINES RELATIVEN
C      OPTIMUMS BEZUEGLICH DER PARAMETER A1,A2 UND DVZ. DIE
C      PARAMETERVARIATIONEN WERDEN LAENGES DER KOORDINATENACHSEN VOR-
C      GENOMMEN (GAUSS-SEIDEL-STRATEGIE).
C
C      BESCHREIBUNG DER EINGABEPARAMETER:
C
C      N      = SIMULATIONSZEITRAUM
C      T      = TOTZEIT
C      L0     = LEVELANFANGSBESTAND
C      AB     = BEOBACHTETER DELAYABGANG
C      ZB     = BEOBACHTETER DELAYZUGANG
C
      REAL AB(57),ABFS(57),ZB(57),L0,IG,LEV,LEVB
      INTEGER T
      COMMON AB,ABFS,ZB,ZUF,DVZ,L0,A1,A2,ZIEL,ZIELL,NO,T
      DATA IDVZ/1/,IA1/1/,IA2/1/,GB/0.25/,SWF/0.005/,M/41/
C
      READ (5,999) N, T, L0
      NO=N+7
      UG=FLOAT(T+3)
      OG=FLOAT(T+24)
      ZIEL=0.
      ZIELL=1.E 75
      I1=N+1
      DO 10 I=1,6
        READ(5,985) ZB(I)
10     CONTINUE
      DO 20 I=1,I1
        READ(5,998) AB(I+6),ZB(I+6)
20     CONTINUE
C
      I1=T+3
      I2=I1+20
      JE=20/GB+1
      DO 50 I=1,JE
        DVZ=I1+(I-1)*GB
        DO 40 J=1,M
          A1=FLOAT(J-1)/FLOAT(M-1)
          DO 30 K=1,M
            A2=FLOAT(K-1)/FLOAT(M-1)
            IF (A1+A2 .GT. 1.) GO TO 30
            CALL ZIELF
            IF (ZIEL .GE. ZIELL) GO TO 30
            A10=A1
            A20=A2
            DVZ0=DVZ
            ZIELL=ZIEL
30          CONTINUE
40        CONTINUE

```

```

50  CONTINUE
    A1=A10
    A2=A20
    DVZ=DVZO
    AA1=A1
    AA2=A2
    ADVZ=DVZ
    CALL ZIELF
    ZIELA=ZIEL
    ZIELO=ZIEL
60
C
C  VARIATION VON DVZ
C
    SWDVZ=GB/M
200  DVZO=DVZ
210  ZIELL=ZIEL
    DVZ=DVZ+IDVZ*SWDVZ
    IF (DVZ .GT. OG .OR. DVZ .LT. UG) GO TO 230
    CALL ZIELF
    IF (ZIEL .LT. ZIELL) GO TO 200
230  IDVZ=-IDVZ
    IF (IDVZ .EQ. 1) GO TO 240
    GO TO 210
240  DVZ=DVZ+IDVZ*SWDVZ
C
C  VARIATION VON A1
C
300  A10=A1
310  ZIELL=ZIEL
    A1=A1+IA1*SWF
    IF (A1 .GT. 1. .OR. A1 .LT. 0.) GO TO 330
    CALL ZIELF
    IF (ZIEL .LT. ZIELL) GO TO 300
330  IA1=-IA1
    IF (IA1 .EQ. 1) GO TO 340
    GO TO 310
340  A1=A1+IA1*SWF
C
C  VARIATION VON A2
C
400  A20=A2
410  ZIELL=ZIEL
    A2=A2+IA2*SWF
    IF (A1+A2 .GT. 1. .OR. A2 .LT. 0.) GO TO 440
    CALL ZIELF
    IF (ZIEL .LT. ZIELL) GO TO 400
430  IA2=-IA2
    IF (IA2 .EQ. 1) GO TO 440
    GO TO 410
440  A2=A2+IA2*SWF
    DVZ=DVZO
    A1=A10
    A2=A20
    CALL ZIELF
C

```

```

      IF (ZIEL .LT. ZIEL0) GO TO 60
C
C   AUSGABE
C
      WRITE (6,995)DVZ,A1,A2,ZIEL0,L0,T
      WRITE (6,991)
      WRITE(6,988)
      WRITE(6,987)
      IF (T .EQ. 0) GO TO 510
      DO 500 I=1,T
        NTIME=I-(T+1)
        WRITE (6,996) NTIME,ZB(6-T+I)
500   CONTINUE
510   LEV=L0
      LEVB=L0
      DO 520 I=7,NO
        NTIME=I-7
        WRITE(6,989)NTIME,AB(I),ABFS(I),ZB(I),LEV,LEVB
        LEV=LEV+ZB(I-T)-ABFS(I)
        LEVB=LEVB+ZB(I-T)-AB(I)
520   CONTINUE
      STOP
999   FORMAT(2I3,F8.2)
998   FORMAT(2F8.2)
996   FORMAT(I4,23X,F10.2,2F11.2)
995   FORMAT (10(/),'DVZ:',F6.2,5X,'A1:',F6.3,5X,'A2:',F6.3,5X,'ZIEL:',
1   E11.4/'ANFANGSBESTAND:',F9.2,19X,'TOTZEIT:',I4)
991   FORMAT (59('-',))
989   FORMAT(I4,5(1X,F10.2))
988   FORMAT('TIME      AB          A          ZB          LEV          LEV
XB')
987   FORMAT(59('-',))
986   FORMAT(I4,33X,2F11.2)
985   FORMAT(8X,F8.2)
      END
C
C
C
C   SUBROUTINE ZIELF
C
C   IN ZIELF WIRD DIE SIMULATION DURCHGEFUEHRT UND DER WERT
C   DER ZIELFUNKTION ERMITTELT
C
      REAL AB(57),ABFS(57),ZB(57),L0,L,HILF,A0,L1,L2,L3
      INTEGER T
      COMMON AB,ABFS,ZB,ZUF,DVZ,L0 ,A1,A2,ZIEL,ZIELL,NO,T
C
      AB1=0.
      AB2=0.
      ABFS(6)=0.
      L=DVZ-T+3
      L1=A1*L0
      L2=A2*L0
      L3=(1-A1-A2)*L0

```



```

DO 100 I=7,NO
  L1=L1+ZB(I-T)-AB1
  AB1=L1*3./L
  L2=L2+AB1-AB2
  AB2=L2*3./L
  L3=L3+AB2-ABFS(I-1)
  ABFS(I)=L3*3./L
100 CONTINUE
  ZIEL=0.
  DO 110 I=7,NO
    ZIEL=ZIEL+(ABFS(I)-AB(I))**2
110 CONTINUE
  RETURN
END

```

4. Makrofunktion DELATO (DYNAMO)

```

MACRO DELATO(Z,DVZ,T,L0,A1,A2,Z_1,Z_2,Z_3,Z_4,Z_5,Z_6)
NOTE DELATO BENOETIGT DEN VERZOEGERUNGSMACRO V1
A $INP.K=SWITCH($A1.K,$B1.K,T)
A $B1.K=SWITCH($A2.K,$B2.K,T-1)
A $B2.K=SWITCH($A3.K,$B3.K,T-2)
A $B3.K=SWITCH($A4.K,$B4.K,T-3)
A $B4.K=SWITCH($A5.K,$B5.K,T-4)
A $B5.K=SWITCH($A6.K,$A7.K,T-5)
A $A1.K=Z.K
A $A2.K=V1($A1.K,Z_1)
A $A3.K=V1($A2.K,Z_2)
A $A4.K=V1($A3.K,Z_3)
A $A5.K=V1($A4.K,Z_4)
A $A6.K=V1($A5.K,Z_5)
A $A7.K=V1($A6.K,Z_6)
A $L.K=DVZ-T+3
A $I1.K=V1($L1.K,A1*L0)+$INP.K-V1($AB1.K,0)
A $L2.K=V1($L2.K,A2*L0)+$AB1.K-V1($AB2.K,0)
A $L3.K=V1($L3.K,(1-A1-A2)*L0)+$AB2.K-V1($ABF.K,0)
A $AB1.K=3*$L1.K/$L.K
A $AB2.K=3*$L2.K/$L.K
A $ABF.K=3*$L3.K/$L.K
A DELATO.K=$ABF.K
MEND

```

5. FORTRAN-Unterprogramme für eine FORTRAN-Version zur Darstellung von System-Dynamics-Modellen

C 2. MAKROINSTRUKTIONEN

C
C
C

UNTERPROGRAMM FUER LEVELGLEICHUNGEN

```

REAL FUNCTION LEV(LAW,ZUG,ABG)
COMMON /PLAT/NT,DT,T,I,AZ
COMMON /LEVEL/ XLEV(50), NLEV, JLEV
REAL LAW,LEV
NULE=MOD(JLEV,NLEV)+1
IF(NT.NE.0) GO TO 100
XLEV(NULE)=LAW
GO TO 200
100 XLEV(NULE)=XLEV(NULE)+DT*(ZUG-ABG)
200 LEV=XLEV(NULE)
JLEV=JLEV+1
RETURN
END

```

C
C
C

UNTERPROGRAMM FUER VERZOEGERUNGEN 3TER ORDNUNG * MATERIAL

```

FUNCTION DELAY3(RIN,DVZ)
COMMON/PLAT/NT,DT,T,I,AZ
COMMON/DEL/ALEV(50,3),NDEL,JDEL
D=DVZ/3.
NUM=MOD(JDEL,NDEL)+1
IF(NT.NE.0) GO TO 20
DO 10 K=1,3
10 ALEV(NUM,K)=RIN*D
20 R1=ALEV(NUM,1)/D
R2=ALEV(NUM,2)/D
R3=ALEV(NUM,3)/D
ALEV(NUM,1)=ALEV(NUM,1)+DT*(RIN-R1)
ALEV(NUM,2)=ALEV(NUM,2)+DT*(R1-R2)
ALEV(NUM,3)=ALEV(NUM,3)+DT*(R2-R3)
JDEL=JDEL+1
DELAY3=ALEV(NUM,3)/D
RETURN
END

```

C
C
C

UNTERPROGRAMM FUER VERZOEGERUNGEN 3TER ORDNUNG * NACHRICHTEN

```

FUNCTION DLINF3(RIN,DVZ)
COMMON/PLAT/NT,DT,T,I,AZ
COMMON/DLI/BLEV(50,3),NDLI,JDLI
D=DVZ/3.
NUM=MOD(JDLI,NDLI)+1
IF(NT.NE.0) GO TO 20

```

```

DO 10 K=1,3
10 BLEV(NUM,K)=RIN*D
20 R1=BLEV(NUM,1)/D
  R2=BLEV(NUM,2)/D
  R3=BLEV(NUM,3)/D
  BLEV(NUM,1)=BLEV(NUM,1)+DT*(RIN-R1)
  BLEV(NUM,2)=BLEV(NUM,2)+DT*(R1-R2)
  BLEV(NUM,3)=BLEV(NUM,3)+DT*(R2-R3)
  JDLI=JDLI+1
  DLINF3=BLEV(NUM,3)/D
  RETURN
  END

C
C  UNTERPROGRAMM FUER DIE SMOOTHFUNKTION
C
  FUNCTION SMOOTH(XIN,GLF)
  COMMON/PLAT/NT,DT,T,I,AZ
  COMMON/SMO/SMO(50),NSMO,JSMO
  NUMS=MOD(JSMO,NSMO)+1
  IF(NT .NE. 0) GO TO 20
  SMO(NUMS)=XIN
20 SMO(NUMS)=SMO(NUMS)+IT*(XIN-SMO(NUMS))/GLF
  JSMO=JSMO+1
  SMOOTH=SMO(NUMS)
  RETURN
  END

C
C  UNTERPROGRAMM TABHL
C
  FUNCTION TABHL(Y,X,XLOW,XHIG,XINC)
  DIMENSION Y(50)
  IN=(XHIG-XLOW)/XINC
  DO 20 K=1,IN
  X1=XLOW+K*XINC
  X2=XLOW+(K-1)*XINC
  IF(X .GE. X1) GO TO 20
  IF(X .LT. X2) GO TO 20
  GO TO 30
20 CONTINUE
  TABHL=Y(IN+1)
  IF(X .LE. XLOW) TABHL=Y(1)
  GO TO 40
30 TABHL=Y(K)+(Y(K+1)-Y(K))/XINC*(X-(XLOW+(K-1)*XINC))
40 RETURN
  END

C
C  UNTERPROGRAMM PULSE
C
  FUNCTION PULSE(PH,FRST,INT)
  COMMON/PLAT/NT,DT,T,I,AZ
  PULSE=0.
  IF(T .EQ. 0.) RETURN
  K=(T-FRST)/DT
  IF(K-1/INT*INT .EQ. 0) PULSE=PH
  RETURN
  END

```

```

C
C   UNTERPROGRAMM STEP
C
      FUNCTION STEP(STH,STTM)
      COMMON/PLAT/NT,DT,T,I,AZ
      STEP=0.
      IF(T. GE. STTM) STEP=STH
      RETURN
      END

C
C   UNTERPROGRAMM CLIP
C
      FUNCTION CLIP(P,Q,R,S)
      CLIP=P
      IF(R.LT.S) CLIP=Q
      RETURN
      END

C
C   UNTERPROGRAMM SWITCH
C
      FUNCTION SWITCH(P,Q,R)
      SWITCH=Q
      IF(P .LT. 1.E-05) SWITCH=P
      RETURN
      END

      SUBROUTINE PLTROUT (AV,T,PLTPER,NPL,NAME)
C
C
      DIMENSION VFELD(51,5),VNAME(5),VABK(5),NAME(18),ZEILE(61),
1 AFELD(12),DIM(5),OBEN(5),UNTEN(5),BEZ(24)
      LOGICAL STRICH
      INTEGER AV, PLTPER, VNAME, VABK, ZEILE, BEZ, AFELD
      COMMON /PLOT/ VFELD
      DATA BEZ /1HK, 1HY, 1HW, 1HU, 1HL, 1HJ, 1HH, 1HG, 1HF, 1HE, 1HA,
11H , 1HT, 1HM, 1HB, 1HR, 1HQ, 1HV, 1HS, 1HP, 1HC, 1HN, 1HD, 1HZ/
      DATA IBLA /1H /, IZEI /1H-/ , ISPA /1H./
      READ(5,9999)(VNAME(I),VABK(I),UNTEN(I),OBEN(I),I=1,AV)
      WRITE (6,9998) NAME
      DO 10 I=1,AV
        IDIM=0
        EINH=1.
        X=ABS(OBEN(I))
        IF (ABS(UNTEN(I)) .GT. X) X=ABS(UNTEN(I))
        IF (X-1.) 20, 30, 30
20      IDIM=IDIM-1
        EINH=EINH*1000.
        X=X*1000.
        IF ((X .LT. 1.) .AND. (IDIM .GT. -11)). GO TO 20
        GO TO 40
30      IF ((X .LT. 1000.) .OR. (IDIM .GT. 12)) GO TO 40
        IDIM=IDIM+1
        EINH=EINH/1000.
        GO TO 10
      GO TO 40
      END

```

```

      X=X/1000.
      GO TO 32
40    IDIM=IDIM+12
      IDIM=BEZ(IDIM)
      DO 50 J=1,5
        DIM(J)=(UNTEN(I)+(J-1)*(OBEN(I)-UNTEN(I))/4)*EINH
50    CONTINUE
      WRITE(6,9997) (DIM(J), J=1,5), IDIM, VABK(I), VNAME(I)
10    CONTINUE
      DO 60 I=1,NPL
        DO 65 J=1,12
          AFELD(J)=IBLA
65    CONTINUE
      Y=T+(I-NPL)*PLTPER
      STRICH=.TRUE.
      IF (MOD(I-1,10) .EQ. 0) STRICH=.FALSE.
      DO 70 J=1,61
        ZEILE(J)=IBLA
        IF (STRICH) GO TO 70
        IF (MOD(J,2) .EQ. 1) ZEILE(J)=IZEI
70    CONTINUE
      DO 80 J=1,5
        ZEILE((J-1)*15+1)=ISPA
80    CONTINUE
      DO 90 J=1,AV
        IDIM=(VFELD(I,J)-UNTEN(J))*(60./(OBEN(J)-UNTEN(J)))+1.5
        IF (IDIM .LT. 1 .OR. IDIM .GT. 61) GO TO 90
        IF (ZEILE(IDIM) .EQ. IBLA .OR. ZEILE(IDIM) .EQ. ISPA .OR.
1      ZEILE(IDIM) .EQ. IZEI) GO TO 100
        IF (AFELD(1) .EQ. IBLA) GO TO 120
        IF (AFELD(1) .EQ. ZEILE(IDIM)) GO TO 130
        AFELD(7)=ZEILE(IDIM)
        AFELD(J+7)=VABK(J)
        GO TO 90
120    AFELD(1)=ZEILE(IDIM)
        AFELD(J+1)=VABK(J)
        GO TO 90
130    AFELD(J+1)=VABK(J)
        GO TO 90
100    ZEILE(IDIM)=VABK(J)
90    CONTINUE
      IF (STRICH) GO TO 110
      WRITE (6,9996) Y, (ZEILE(J),J=1,61), (AFELD(J),J=1,12)
      GO TO 60
110   WRITE (6,9995) (ZEILE(J),J=1,61), (AFELD(J),J=1,12)
60    CONTINUE
      RETURN
9999 FORMAT (A4,A1,2E10.4)
9998 FORMAT (/////,20X,18A4,/)
9997 FORMAT (10X,E7.2,4(8X,E7.2),1X,A1,2X,A1,1X,A4)
9996 FORMAT (8X,F5.0,61A1,2X,4A1,1X,6A1,2X,6A1)
9995 FORMAT (13X,61A1,2X,4A1,1X,6A1,2X,6A1)
      END

```

Literaturverzeichnis

- [1] Ackermann, J.: Eine Bemerkung über notwendige Bedingungen für die Stabilität von linearen Abtastsystemen. In: Regelungstechnik 12 (1964), S. 308-309.
- [2] ACM/IEEE, Share/SCi, CSSL, Conference on Application of Continuous System Simulation Languages. San Francisco 1969.
- [3] Adelman, I./ Adelman, F.L.: The Dynamic Properties of the Klein-Goldberger Model. In: Econometrica 27 (1959), S. 596-625.
- [4] Almon, S.: The Distributed Lag between Capital Appropriations and Expenditures. In: Econometrica 33 (1965), S. 178-196.
- [5] Amstutz, A.E.: Computer Simulation of Competitive Market Response. Cambridge 1967.
- [6] Ando, A./ Fisher, F.M.: Near-Decomposability, Partition and Aggregation and the Relevance of Stability Discussions. In: International Economic Review 4 (1963), S. 53-67.
- [7] Ansoff, H.I./ Slevin, D.P.: An Appreciation of Industrial Dynamics. In: Management Science 14 (1968), S. 383-397.
- [8] Araki, M./ Ando, K./ Kondo, B.: Stability of Sampled-Data Composite Systems with Many Nonlinearities. In: IEEE Transactions on Automatic Control, AC-16a (1971), S. 22-27.
- [9] Aoki, M.: Optimal Control and System Theory in Dynamic Economic Analysis. New York 1976.
- [10] Apel, H.: Simulation sozio-ökonomischer Zusammenhänge, Kritik und Modifikation von 'System Dynamics'. Diss. Frankfurt 1977.
- [11] Avriel, M./ Rijckaert, M.J./ Wilde, D.J.: Optimization and Design. Englewood 1973.
- [12] Bareiss, E.H.: Die numerische Auflösung von Polynomgleichungen und die Resultanten Verfahren. In: Ralston, A./ Wilf, H.S. (Hrsg.): Mathematische Methoden für Digitalrechner. Bd. II, München 1969, S. 294-344.
- [13] Basmann, R.L.: The Causal Interpretation of Non-Triangular Systems of Economic Relations. In: Econometrica 31 (1963), S. 439-453.

- [14] Baumol, W.J.: Economic Dynamics. London 1970
- [15] Baumol, W.J.: Topology of Second Order Linear Difference Equation with Constant Coefficients. In: *Econometrica* 26 (1958).
- [16] Bensoussan, A./ Hurst Jr., E.G./ Näslund, B.: Management Applications of Modern Control Theory. Amsterdam 1974.
- [17] Bentzel, R./ Hansen, B.: On Recursiveness and Interdependence in Economic Models. In: *Review of Economic Studies* 22 (1955), S. 153-168.
- [18] Bischoff, C.W.: Business Investment in the 1970s. A Comparison of Models. In: *Brookings Papers on Economic Activity* 1 (1971), S. 13-63.
- [19] Boissaye, E./ Bürgisser, R./ Kränzlin, H./ Pellegrini, S./ Rosenkranz, F.: A New Corporate Modelling System. Arbeitspapier Ciba-Geigy, Mai 1976.
- [20] Bonini, C.P.: Simulation of Information and Decision Systems in the Firm. Englewood 1963.
- [21] Bowden, R.: The Generalised Characteristic Equation of a Linear Dynamic System. In: *Econometrica* 40 (1972), S. 201-203.
- [22] Box, G.E.P./ Jenkins, G.M.: Time Series Analysis Forecasting and Control. San Francisco 1970.
- [23] Brennecke, R.: Die Konstruktion von sozioökonomischen Großsystemen. Frankfurt 1975.
- [24] Britting, K.R./ Khilnani, A./ Anderson, D.: Dynamic Parameter Sensitivity in Social System Models. In: *Proceedings of the 1975 Summer Computer Simulation Conference*. San Francisco (1975), S. 1164-1177.
- [25] Brock, P. (Hrsg.): The Mathematics of Large-Scale Simulation. La Jolla 1972.
- [26] Browne, W.G.: Industrial Dynamics-Looking of the Total Firm. In: Caldwell, D.K., u.a. (Hrsg.): *Fourth Annual Simulation Symposium. Record of Proceedings* (1971), S. 135-165.
- [27] Bucy, R.S.: Stability and Positive Supermartingales. In: *Journal of Differential Equations* 1 (1965), S. 151-155.

- [28] Burns, J.: Applications of Control Theory to System Dynamics Models of Social Systems. Diss. Purdue Univ. 1973.
- [29] Buslenko, N.P.: Modellierung komplizierter Systeme. Würzburg 1972.
- [30] Chow, G.C.: Analysis and Control of Dynamic Economic Systems. New York 1975.
- [31] Christ, C.F.: A Test of an Econometric Model for the United States 1921 - 1947. In: Universities-National Bureau Committee Conference on Business Cycles. New York 1951, S. 72-77.
- [32] Cole, H.S.D./ Curnow, R.C.: Bewertung der Weltmodelle. In: Cole, H.S.D./ Freeman, C./ Jahoda, N./ Payitt, K.L.R.: Die Zukunft aus dem Computer? Eine Antwort auf die Grenzen des Wachstums. Neuwied und Berlin 1973.
- [33] Coyle, R.G.: Management System Dynamics. London 1977.
- [34] Cyert, R.M.: A Description of Some Firm Simulations. In: Proceedings of the IBM Scientific Symposium on Simulation Models and Gaming. White Plains, New York 1966.
- [35] Day, R.H.: A Microeconomic Model of Business Growth, Decays and Cycles. In: Unternehmensforschung 11 (1967), S. 1-20.
- [36] Day, R.H.: On System Dynamics. In: Behavioral Science 19 (1974), S. 260-271.
- [37] Dhrymes, P.J.: Distributed Lags, Problem of Formulation and Estimation. San Francisco 1971.
- [38] Doebelin, E.O.: System Dynamics: Modeling and Response. Columbus 1972.
- [39] Dorfman, R./ Samuelson, P.A./ Solow, R.: Linear Programming and Economic Analysis. New York 1958.
- [40] Duesenberry, J./ Fromm, G./ Klein, L.R./ Kuh, E., (Hrsg.): The Brookings - SSRL Quarterly, Econometric Model of the United States. Chicago 1965.
- [41] Dutton, J.M./ Starbuck, W.H.: Computer Simulation of Human Behavior. New York 1971.
- [42] Dynamica, .ISSN 0306-7564, Zeitschrift herausgegeben von: System Dynamics Research Group, Univ. of Bradford.

- [43] Eckaus, R.S.: The Stability of Dynamic Models. In: Review of Economics and Statistics 24 (1957), S. 172-182.
- [44] Edel, K.: Optimierung bei der Durchführung von Simulationsexperimenten. Diss. St. Gallen 1976.
- [45] Elmaghraby, S.E.: The Design of Production Systems. New York 1966.
- [46] Engelke, K.: Einfluß realistischer Time Lags auf die Stabilität makroökonomischer Modelle. Berlin 1969.
- [47] Esperance, W.L.: Interdependence vs. Recursiveness. A Review of the Debate and Notions of Causality in Economics. In: Brunner, K. (Hrsg.): Problems and Issues in Current Econometric Practise. Columbus, Ohio 1972, S. 119-154.
- [48] Evans, M.K.: Macroeconomic Activity, Theory, Forecasting and Control. New York 1969.
- [49] Ewald, J.: Automatische Analyse von Regelkreisen in einem Unternehmensmodell. Diplomarbeit, Institut für Informatik, Stuttgart 1974.
- [50] Fisz, M.: Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik. Berlin 1970.
- [51] Förster, W.: Zerlegung und Lösung diskreter ökonomischer Prozeßmodelle. Tübingen 1969.
- [52] Forrester, J.W.: Diskussionsbeitrag. In: Greenberger, M. (Hrsg.): Management and the Computer of the Future. Cambridge, Mass. 1962, S. 58.
- [53] Forrester, J.W.: Industrial Dynamics. Cambridge 1971.
- [54] Forrester, J.W.: Industrial Dynamics. A Major Breakthrough for Decision Makers. In: Collected Papers of J.W. Forrester. Cambridge, Mass. 1975, S. 1-29.
- [55] Forrester, J.W.: Principles of Systems. Cambridge 1973.
- [56] Forrester, J.W.: Urban Dynamics. Cambridge 1969.
- [57] Forrester, J.W.: World Dynamics. Cambridge 1971.
- [58] Forrester, J.W.: Industrial Dynamics. After the First Decade. In: Management Science 14 (1967/68), Ser. A, S.398-415.

- [59] Forrester, J.W.: A Response to Ansoff and Slevin. In: Management Science 14 (1968), S. 601-618.
- [60] Forrester, J.W.: Understanding the Counterintuitive Behavior of Social Systems. In: Beishon, J. (Hrsg.): Systems Behavior. London 1972, S. 200-217.
- [61] Freemann, H.A.: Discrete Time Systems. New York 1965.
- [62] Frisch, R.: Propagation Problems and Impulse Problems in Dynamic Economics. In: American Economic Association (Hrsg.): Readings in Business Cycles. London (1966), S. 155-186.
- [63] Fuller, A.T.: Conditions of Aperiodicity in Linear Systems. In: British Journal of Applied Physics 6 (1955), S. 195-198.
- [64] Gandolfo, C.: Mathematical Methods and Models in Economic Dynamics. Amsterdam 1971.
- [65] Giessen, van der, A.A.: Solving Non-Linear Systems by Computer: A New Method. In: Statistica Neerlandica 24 (1970), S. 41-50.
- [66] Goldberg, S.: Introduction to Difference Equations. New York 1958.
- [67] Goldberger, A.S.: Impact Multipliers and Dynamic Properties of the Klein-Goldberger Model. Amsterdam 1959.
- [68] Goldfeld, S.M./ Quandt, R.E.: Nonlinear Methods in Econometrics. Amsterdam 1972.
- [69] Goodmann, M.R.: Study Notes in System Dynamics. Cambridge 1974.
- [70] Goodwin, R.M.: The Non Linear Accelerator and the Persistence of Business Cycles. In: Econometrica 19 (1959), S. 1-17.
- [71] Gordon, G.: System Simulation. Englewood 1969.
- [72] Greniewski, H./ Kempisty, M.: Kybernetische Systemtheorie ohne Mathematik. Berlin 1966.
- [73] Grilliches, Z.: Distributed Lags. A Survey. In: Econometrica 35 (1967), S. 25-49.
- [74] Grinyer, P.H./ Wooller, J.: Corporate Models Today. A New Tool for Financial Management. London 1975.
- [75] Gruber, J.: Ökonometrische Modelle des Cowles Commission Typs, Bau und Interpretation. Hamburg 1968.
- [76] Guetzkow, H./ Kotler, P./ Schultz, R.L.: Simulation in Social

- and Administrative Science. Englewood 1972.
- [77] Hahn, W.: Über die Anwendung der Methode von Ljapunow auf Differenzgleichungen. In: Mathematische Annalen 136 (1958), S. 430-441.
 - [78] Hamilton, H.R./ Goldstone, S.E./ Milliman, J.W./ Pugh III, A.L., u.a.: Systems Simulation for Regional Analysis: An Application to River-Basin Planning. Cambridge 1969.
 - [79] Harbordt, S.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, Bd.1: Einführung und Anleitung; Bd.2: Beurteilung und Modellbeispiele. Reinbek 1974.
 - [80] Helmstädter, E.: Linearität und Zirkularität des volkswirtschaftlichen Kreislaufs. In: Weltwirtschaftliches Archiv 94 (1965), S. 234-258.
 - [81] Henize, J.: A Model of the Labor Market and Inflation in U.S. Manufacturing. In: Proceedings of the 1973 Summer Computer Simulation Conference. Montreal 1973, S. 987-1004.
 - [82] Hicks, J.R.: A Contribution to the Theory of the Trade Cycle. Oxford 1950.
 - [83] Hildebrand, F.B.: Finite-Difference Equations and Simulation. Englewood 1968.
 - [84] Himmelblau, D.M./ Bischoff, K.B.: Process Analysis and Simulation: Deterministic Systems. New York 1968.
 - [85] Höpfner, K.: Simulation in der Makroökonomie. Diss. Tübingen 1968.
 - [86] Holt, C.C./ Robert, S./ Stewart, D.V./ Midler, J.L./ Stroud, A.H.: Program Simulate, a Users and Programmers Manual. Univ. of Wisconsin, Social Systems Research Institute, 1964.
 - [87] Holt, C.C.: Diskussionsbeitrag zu Forresters Referat. In: Greenberger, M. (Hrsg.): Management and the Computer of the Future. New York 1962, S. 68-74.
 - [88] Holt, C.C.: Validation and Application of Macroeconomic Models Using Computer Simulation. In: Duesenberry, J./ Fromm, G./ Klein, L.R./ Kuh, E. (Hrsg.): The Brookings SSRL Quarterly, Econometric Model of the United States. Chicago 1965, S. 637-650.

- [89] Horowitz, I.M.: The Sensitivity Problem in Sampled Data Feedback Systems. In: IRE Transactions on Automatic Control AC-6 (1961), S. 251-259.
- [90] House, P.W./ McLeod, J.: Large-Scale Models for Policy Evaluation. New York 1977.
- [91] Howery, E.P.: Stochastic Properties of the Klein-Goldberger-Model. In: Econometrica 39 (1971), S. 73-88.
- [92] Howery, E.P.: Dynamic Properties of a Condensed Version of the Wharton Model. In: Econometric Models of Cyclical Behavior, Vol. 2, Hickman, B.G. (Hrsg.). New York 1972, S. 601-663.
- [93] Howery, E.P./ Klein, L.R.: Dynamic Properties of Nonlinear Econometric Models. In: International Economic Review, 13 (1972), S. 599-618.
- [94] Howery, E.P./ Kelejian, H.H.: Simulation versus Analytical Solutions. in: Naylor, T.H.: Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems. New York 1971, S. 299-318.
- [95] Howery, E.P.: Stabilization Policy in Linear Stochastic Systems. In: The Review of Economics and Statistics 49 (1967), S. 404-411.
- [96] Howery, E.P.: Selection and Evaluation of Econometric Models. In: Proc. Conference Simulation versus Analytical Solutions for Business and Economic Models, W. Goldberg (Hrsg.). Göteborg 1973, S. 1-38.
- [97] IBM Form GH 20-0367-3 System/360 Continuous System Modelling Program User's Manual. White Plains 1969.
- [98] IBM Form SH12-3113-0, Continuous System Modeling (CSMP III) Programmbeschreibung, Übersetzung von SH 19-7001-2.
- [99] IBM FORM SH20-1620-0, EPL Econometric Planning Language for System 370 OS/VS1 or OS/VS2. White Plains 1975.
- [100] IBM Form SH19-7001-2 Continuous System Modeling Program III (CSMP III), Program Reference Manual. Ontario 1972.
- [101] Ichimura, S.: Towards a General Nonlinear Macrodynamic Theory of Economic Fluctuation. In: Kurihara, K. (Hrsg.): Post Keynesian Economics. New Brunswick 1954, S. 192-226.

- [102] Jarmain, E. (Hrsg.): Problems in Industrial Dynamics. Cambridge 1963.
- [103] Jorgenson, D.W.: Rational Distributed Lag Functions. In: *Econometrica* 34 (1966), S. 135-149.
- [104] Jury, E.I.: A Simplified Stability Criterion for Linear Discrete Systems. In: *Proceedings of the IRE* 50 (1962), S. 1493-1500.
- [105] Jury, E.I.: *Theory and Application of the Z-transform Method*. New York 1964.
- [106] Kaldor, N.A.: A Model of the Trade Cycle. In: *Economic Journal* 50 (1940), S. 78-92.
- [107] Kalecki, M.A.: A Macrodynamic Theory of Business Cycles. In: *Econometrica* 3 (1935), S. 327-344.
- [108] Kenkel, J.L.: *Dynamic Linear Economic Models*. New York 1974.
- [109] Kleijnen, J.P.C.: *Statistical Techniques in Simulation*. Vol. I, New York 1974, Vol II, 1975.
- [110] Klein, L.R./ Goldberger, A.S.: *An Econometric Model of the United States 1929 - 1952*. Amsterdam 1955.
- [111] Klein, L.R. *Economic Fluctuations in the United States 1921 - 1941*. New York 1950.
- [112] Klein, L.R./ Preston, R.S.: Stochastic Nonlinear Models. In: *Econometrica* 37 (1969), S. 95-106.
- [113] Korte, B./ Oberhofer, W.: Zur Triangulation von Input- Output-Matrizen. In: *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik* 182 (1969), S. 398-433.
- [114] Kotler, P.: *Marketing Management, Analysis, Planning and Control*. Englewood 1967.
- [115] Koyck, L.M.: *Distributed Lags and Investment Analysis*. Amsterdam 1954.
- [116] Krallmann, H.: *Heuristische Optimierung von Simulationsmodellen mit dem Razor-Search-Algorithmus*. Basel 1976.
- [117] Krelle W./ Beckerhoff, D./ Langer, H.G./ Fuß, H.: *Ein Prognosesystem für die wirtschaftliche Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland*. Meisenheim 1969.

- [118] Krelle, W.: Verteilungstheorie. Tübingen 1962.
- [119] Krutko, P.D.: Statistical Dynamics of Sampled Data Systems.
In: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics,
April 1971, S. 189-190.
- [120] Kuh, E.: Interactive Econometric Environment: The TROLL System.
In: Schober, F./ Plötzeneder, D. (Hrsg.): Ökonometrische
Modelle und Systeme. München 1978, S. 107-123.
- [121] Kushner, H.J.: On the Stability of Stochastic Dynamical Systems.
In: Proceedings of National Academy of Science in
the United States 53 (1965), S. 8-12.
- [122] Leipholz, H.: Stabilitätstheorie. Stuttgart 1968.
- [123] Leontieff, W.: The Structure of American Economy 1919 - 1939.
New York 1951.
- [124] Linndorff, D.P.: Sensitivity on Sampled-Data Systems. In: IEEE
Transactions on Automatic Control 8 (1963), S. 120-125.
- [125] Little, J.D.C.: Models and Managers: The Concept of a Decision
Calculus. In: Management Science 16 (1970), S. B 466-B 485.
- [126] Maier, H.: Computersimulation mit dem Dialogverfahren SIMA,
Bd. 1: Konzeption, Bd. 2: Dokumentation. Basel 1976.
- [127] Mangoldt, H.v./ Knop, K.: Einführung in die höhere Mathematik,
Bd. 2. Leipzig 1957.
- [128] March, J.G./ Simon, H.A.: Organizations. New York 1958.
- [129] Marquardt, D.W.: An Algorithm for Least-Squares Estimation on
Non-Linear Parameters. In: Journ. Soc. Industrial a Appl.
Mathem. 2 (1963), S. 431-441.
- [130] Marshak, J.: Economic Measurement for Policy and Prediction.
In: Cowles Commission No. 14. New York 1954.
- [131] Mattesich, R.: Die wissenschaftlichen Grundlagen des Rechnungswesens. Düsseldorf 1970.
- [132] May, W.A.: Variance Reduction. In: Naylor, T.H.: Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems.
New York 1971, S. 269-290.
- [133] Meadows, D.L.: Dynamics of Commodity Production Cycles.
Cambridge 1970.

- [134] Meadows, D.L., u.a.: Dynamics of Growth in a Finite World. Cambridge 1974.
- [135] Meadows, D.L., u.a.: Die Grenzen des Wachstums. Stuttgart 1972.
- [136] Meier, R.C./ Newell, W.T./ Pazer, H.L.: Simulation in Business and Economics. Englewood 1969.
- [137] Mihram, G.A.: Simulation: Statistical Foundations and Methodology. New York 1972.
- [138] Mills, H.A.: Smoothing in Inventory Processes. In: Essays in Mathematical Economics, Shubik, M. (Hrsg.). Princeton 1967, S. 131-148.
- [139] Mischke, H.: Die vollständig endogene Lösung, dargestellt an einem Beispiel. In: Dynamische Wirtschaftsanalyse, Becker, O. (Hrsg.). Tübingen 1975, S. 126-145.
- [140] Morishima, M.: Equilibrium, Stability and Growth, a Multisectoral Analysis. London 1964.
- [141] Mosbaeck, E.J./ Wold, H.: Interdependent Systems, Structure and Estimation. Amsterdam 1970.
- [142] Muth, J.F.: A Note on Balanced Growth. In: Econometrica 22 (1954), S. 493-495.
- [143] Naylor, T.H.: Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems. New York 1971.
- [144] Naylor, T.H. (Hrsg.): The Design of Computer Simulation Experiments. Durham 1969.
- [145] Naylor, T.H./ Finger, J.M.: Verification of Computer Simulation Models. In: Management Science, Application 14 (1968), Ser. B, S.92-101.
- [146] Naylor, T.H./ Balintfy, J.L./ Burdick, D.S./ Kong Chu: Computer Simulation Techniques. New York 1966.
- [147] Nerlove, M.: Lags in Economic Behavior. In: Econometrica 40 (1972), S. 221-251.
- [148] Nie, N.H., u.a.: SPSS-Statistical Package for the Social Sciences. New York 1975.
- [149] Nie, N.H./ Kim, J./ Kohout, F.J.: Multiple Regression Analysis, Subprogram. In: [148, S.320-367].

- [150] Niemeyer, G.: Kybernetische System- und Modelltheorie - System Dynamics. München 1977.
- [151] Nikaido, H.: Balanced Growth in Multisectoral Income Propagation under Autonomous Expenditure Schemes. In: Review of Economic Studies 31 (1964), S. 25-42.
- [152] Nikaido, H.: Convex Structures and Economic Theory. New York 1968.
- [153] Noltemeier, H. (Hrsg.): Computergestützte Planungssysteme. Würzburg 1976.
- [154] Norlén, U.: Simulation Model Building - A Statistical Approach to Modelling in the Social Sciences with the Simulation Method. New York 1975.
- [155] Nußbaum, H.v. (Hrsg.): Die Zukunft des Wachstums - Kritische Antworten zum Bericht des Club of Rome. Düsseldorf 1973.
- [156] Oertli-Cajacob, P.: Praktische Wirtschaftskybernetik. München, Wien 1977.
- [157] Ott, A.E.: Einführung in die dynamische Wirtschaftstheorie. Göttingen 1963.
- [158] Palander, T.: On the Concepts and Methods of the Stockholm School. In: International Economic Papers 3 (1953), S. 5-57.
- [159] Palda, K.S.: The Management of Cumulative Advertising Effect. Engelwood 1964.
- [160] Pitchford, J.P./Turnovsky, S.J.: Applications of Control Theory to Economic Analysis. Amsterdam 1977.
- [161] Paulik, G.J./Greenough, Jr., J.W.: Management Analysis for a Salmon Resource System. In: System Analysis in Ecology, Watt, K.E.F. (Hrsg.). New York 1966.
- [162] Postnikov, M.M.: Foundations of Galois Theory. Oxford 1962.
- [163] Pugh III, A.L.: DYNAMO User's Manual. Cambridge 1976.
- [164] Ramsey, J.B.: Tests for Specification Errors in Classical Least-Squares Regression Analysis. In: Journal of the Royal Statistical Society (Series B) 31 (1969), S. 350-371.
- [165] Randers, J./Everik, L.K.: The System Dynamics Method. The Proceedings of the 1976 International Conference on Systems Dynamics. Geilo (Norway) Aug. 8.-15. 1976, Oslo 1977 (vielfältigtes Manuskript).

- [166] Roberts, E.B.: Managerial Applications of System Dynamics. Cambridge, Mass. 1978.
- [167] Rosenkranz, F.: An Introduction to Corporate Modeling. Durham, North Carolina 1979.
- [168] Rosenkranz, F./Burgisser, R.: Automatisches Planen und Auswerten von Simulationsexperimenten mit einer Simulationssprache. In: Angewandte Informatik 5 (1976), S. 216-222.
- [169] Russel, B.: On the Notion of Cause with Application to the Free-Will-Problem. In: Feigl, H. (Hrsg.): Readings on the Philosophy of Science. New York 1953, S. 387-407.
- [170] Salle, La J./Lefschetz, S.: Die Stabilitätstheorie von Ljapunow. Mannheim 1967.
- [171] Samuelson, P.A.: Foundations of Economic Analysis. Cambridge 1947.
- [172] Samuelson, P.A.: Dynamic Process Analysis. In: A Survey of Contemporary Economics, Ellis, H.S. (Hrsg.). Homewood 1949, S. 352-387.
- [173] Samuelson, P.A.: Interaction between the Multiplier Analysis and the Principle of Acceleration. In: Review of Economic Statistics 21 (1939), S. 75-78.
- [174] Schober, F.: Eine interaktive ökonometrische Modellsprache in APL. In: Computergestützte Marketing-Planung, Hansen, H.R. (Hrsg.). München 1974, S. 418-444.
- [175] Schönebeck, C.: Der Beitrag komplexer Stadtsimulationsmodelle (vom Forrester-Typ) zur Analyse und Prognose großstädtischer Systeme. Basel 1975.
- [176] Shannon, R.E.: Systems Simulation - The Art and Science. Englewood 1975.
- [177] Sharp, J.A.: A Study of Some Problems of Systems Methodology. Diss. Bradford University 1974.
- [178] Simon, H.A.: Causal Ordering and Identifiability. In: Hood, W./Koopmans, T.C. (Hrsg.): Studies in Econometric Methods. New York 1953, S. 49-74.
- [179] Simon, H.A./Ando, A.: Aggregation of Variables in Dynamic Systems. In: Econometrica 29 (1961), S. 111-138.

- [180] Slutsky, E.: The Summation of Random Causes as the Source of Cyclic Processes. In: *Econometrica* 5 (1937), S. 105-146.
- [181] Social Systems Insurance: SIMPLAN: A Corporate Planning Language. Durham 1973.
- [182] Social Systems Insurance: SIMPLAN: Marketing. Durham 1973.
- [183] Solow, R.M.: On a Family of Lag Distributions. In: *Econometrica* 28 (1960), S. 393-406.
- [184] Solow, R.M./ Samuelson, P.A.: Balanced Growth under Constant Returns to Scale. In: *Econometrica* 21 (1953), S. 412-424.
- [185] Sommer, M.: Ökonometrische und Systemdynamische Modelle - Vergleichende Untersuchung über zwei Konzeptionen für makro-ökonomische Modelle. Diss. Berlin 1978.
- [186] Speckhart, F.H./ Green, W.L.: A Guide to Using CSMP - The Continuous System Modeling Program. Englewood 1976.
- [187] Stegmüller, W.: Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und analytische Philosophie, Bd. I, Wissenschaftliche Erklärung und Begründung. Berlin 1969.
- [188] Steinbach, K.: Ein methodisches Konzept zur Analyse langfristiger komplexer Planungsprobleme, dargestellt am Beispiel der Innovations- und Investitionsplanung in Klein- und Mittelbetrieben. Diss. Berlin 1975.
- [189] Steward, D.V.: On an Approach to Techniques for the Analysis of the Structure of Large Scale Systems of Equations. In: *SIAM Review* 4 (1962), S. 321-342.
- [190] Stöppler, S. (Hrsg.): Dynamische ökonomische Systeme. Wiesbaden 1980.
- [191] Strodt, W.: Analytic Solutions of Nonlinear Difference Equations. In: *Annals of Mathematical Statistics* 44 (1943), S. 375-396.
- [192] Strotz, R.H.: Interdependence as a Specification Error. In: *Econometrica* 28 (1960), S. 428-442.
- [193] Stübel, G.: Methodologische softwareengineering-orientierte Untersuchungen für ein Unternehmensmodell verschiedener Strukturiertheitsgrade. Diss. Stuttgart 1975.

- [194] Stübel, G.: Sensitivity Model Generator as a Tool for Automatic Credibility Test of Continuous System Simulation. In: Proc. of the 1975 Summer Simulation Conference. San Francisco 1975, S. 1189-1197.
- [195] Suits, D.B.: Dynamic Growth under Diminishing Returns to Scale. In: *Econometrica* 22 (1954), S. 496-501.
- [196] Swanson, C.V.: Dynamic Analysis in Weapon System Design and Evaluation. Proceedings of the Second Annual Technical Symposium, American Helicopter Society. November 1967.
- [197] Sydsaeten, K.: Note on a Difference Equation Occuring in Growth Theory. In: *Journal of Economic Theory* 1 (1969), S. 104-106.
- [198] System Dynamics Newsletter, System Dynamics Group (Hrsg.). Cambridge.
- [199] Taubert, W.H.: A Search Decision Rule for the Aggregate Scheduling Problem. In: *Management Science* 14 (1968), S. 343-359.
- [200] Thalberg, B.: A Trade Cycle Analysis-Extensions of the Goodwin Model. Lund 1966.
- [201] Theil, H. Principles of Econometrics. Amsterdam 1971.
- [202] Theil, H. Economic Forecasts and Policy. Amsterdam 1961.
- [203] Theil, H./ Boot, J.C.G.: The Final Form of Econometric Equation Systems. In: Review of the International Statistical Institute 36 (1962), S. 136-152.
- [204] Theil, H.: Optimal Decision Rules for Government and Industry. Amsterdam 1964.
- [205] Tinbergen, J.: Business Cycles in the United Kingdom 1870 -1914. Amsterdam 1951.
- [206] Tinbergen, J.: Statistical Testing of Business Cycles, Bd. 2, Business Cycles in the United States of America 1919 -1932. Genf 1939.
- [207] Tinbergen, J.: On a Method of Statistical Business Cycle Research, A Reply. In: *Economic Journal* 50 (1940), S. 141-154.
- [208] Tintner, G.: Methodology of Mathematical Economics and Econometrics. London 1968.

- [209] Trijinsky, W.J.: Nonlinear Difference Equations. In: *Composita Mathematica* 5 (1937), S. 1-66.
- [210] TROLL Primer, D0046, 2.Edit., National Bureau of Economic Research (NBER). Cambridge 1975.
- [211] TROLL Reference Manual (Standard System) D0062, National Bureau of Economic Research (NBER). Cambridge 1973.
- [212] TROLL: An Introduction and Demonstration D0083, National Bureau of Economic Research (NBER). Cambridge 1974.
- [213] Turnovsky, S.J.: Stochastic Stability of Short-Run Market Equilibrium under Variation in Supply. In: *Quarterly Journal of Economics* 82 (1968), S. 666-681.
- [214] Vidal, P.: *Non Linear Sampled Data Systems*. New York 1969.
- [215] Vidale, M.L./Wolfe, H.B.: An Operations Research Study of Sales Response to Advertising. In: *Operations Research* 5 (1957), S. 370-381.
- [216] Weinberg, F.: *Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung*. Heidelberg 1968.
- [217] Weinberg, E.: *Stability of Stochastic General Equilibrium Systems*. Diss. Univ. of Pennsylvania 1969.
- [218] Weston, F.J.: *Management Finance*. New York 1972.
- [219] Weymar, H.F.: *The Dynamics of the World Cocoa Market*. Cambridge 1966.
- [220] Wilde, D.J.: *Optimum Seeking Methods*. Englewood 1964.
- [221] Wold, H.O.: Construction Principles of Simultaneous Equation Models in Econometrics. In: *Bulletin of the International Statistical Institute* 3 (1960), S. 111-138.
- [222] Wold, H.O.: *A Study in the Analysis of Stationary Time Series*. Uppsala 1938.
- [223] Wright, R.D.: Retrodictive Tests of Dynamic Models. In: *Proceedings of the 1973 Summer Computer Simulation Conference*. Montreal 1973, S.1085-1093.
- [224] Yule, G.U.: On a Method of Investigating Periodicities in Disturbed Series, with Special Reference to Wölfers Sunspot Numbers. In: *Phil. Trans.* A226, 267, 1927.

- [225] Zachoval, J.: Technical Note: Improvement of the DYSMAP-Compiler 1976-77. In: *Dynamica 3* (1977), S. 95.
- [226] Zeigler, B.P.: *Theory of Modelling and Simulation*. New York 1976.
- [227] Zurmühl, R.: *Matrizen und ihre technischen Anwendungen*. Berlin 1964.
- [228] Zwicker, E.: Konzepte einer computergestützten Planung. In: Plötzeneder, H. (Hrsg.): *Computergestützte Unternehmensplanung*. Stuttgart 1977, S. 391-406.
- [229] Zwicker, E.: *Möglichkeiten und Grenzen der modellgestützten Prognose sozioökonomischer Entwicklungen; Dargestellt am Beispiel der Weltmodelle von Meadows und Forrester*. Wissenschaftszentrum Berlin 1976.
- [230] Zwicker, E.: System Dynamics in Inventory and Production Planning: An Introduction and Critical Overview. In: *Operations Research Spektrum 1* (1980), S. 143-168.
- [231] Zypkin, J.S.: *Theorie der linearen Impulssysteme*. München 1967.

Register

- Absolutbetrag einer komplexen Zahl 188
- Aggregation 49,258
- Akzelerator 32
- Almon-Verzögerung 290
- Analogrechner 31
- Anfangswerte
 - in MZÄ-Modellen 73,126, 174f.,404,512f.
 - in Testantwortmodellen 431, 433f.
 - bei Verzögerungshypothesen 548f.
- anfangswertgenerelle Funktionslösung 175
- Anfangswertgleichung 404
- Anordnung von Strukturgleichungen 328f.,523,563
- Anspruchsniveaumodell 27,30, 170f.,223f.
- asymptotische Stabilität 76
- Ausgangsvektor 253
- autonome Investition 32
- Beobachtungsmatrix 253
- Beobachtungsvariable 154f.
- Bestandsübergangsfunktion, s. 'Verweilzeithypothese'
- Bestimmtheitsmaß 116
- Black-Box-Darstellung, s. 'schwarzer Kasten'
- Blockdiagramm 62f.
- Boolsche Matrix 332
- Boolsches Matrizenprodukt 334
- Cayley-Hamilton-Theorem 304
- Ceteris-paribus-Klausel 278
- charakteristische Gleichung
 - einer Endgleichung 179
 - einer Matrix 254
 - Wurzeln einer - 179
- CLIP-Funktion 423f.
- COMOS 568
- Compound-Variable 259
- Cosinus 193
- CSMP 323,329,424,538f.
 - u. MZÄ-Modellsimulation 544f.
 - u. System-Dynamics 541f.
- CSMP vs. DYNAMO 546f.
- Definitionsgleichung 32,47f.
- Definitionssystem 51,279,519
- DELATO-Funktion 505,587
- DELAY3-Funktion 414f.
 - DVZ-DT-Invarianz 490f.
 - in FORTRAN 548f.,588
 - u. Gleichgewichtshypothese 549
 - in Prognosemodellen 499
 - in Testantwortmodellen 435f.
 - Parameterbestimmung
 - unter der Diskretzeitprämisse 500f.
 - unter der Infinitesimalprämisse 496f.
- De Moivres Theorem 190
- Determinante 242f.
- Differentialgleichung 30,446, 477,489
- Differential- vs. Differenzengleichung 29f.,489
- Differentialrückrechnung 478
- Differenzengleichung 29
 - s. a. 'Endgleichung' und 'MZÄ-Modell, dynamisches'
 - Anfangswerte 73,126,174f.

- Grad einer 34,170
- lineare 165f.
- nichtlineare 258f.
- Umwandlung in ein System 1. Grades 265f.

Differenzenrückrechnung 477f.

Digitalrechner 31

Direkte Methode von Ljapunow 265f.

Disaggregation 48

Diskretzeitprämissen 484f.

Du-Pont-Kennzahlensystem 52f.

durchschnittliche Verzögerung 288,414

DVZ-DT-Invarianz 490f.

DYNAMO 323,329,340,363,391, 399f.,522f.

- Anfangswertgleichung 404
- CLIP-Funktion 423f.
- Dokumentationsprogramm 525f.
- Fehlerroutine 523f.,536
- FORTRAN-Unteroutine 527
- Hilfgleichung 407
- indizierte Variable 528f.
- Levelgleichung 400
- Makrofunktionen 414,416, 419,424,435,512f.
- u. MZÄ-Modellsimulation 532f.
- Plot-Anweisung 405,530f.
- Print-Anweisung 405,530
- Ratengleichung 402f.
- Rerun 418
- Run-Anweisung 405
- Spezifikationsanweisung 405
- Strukturgleichungsanordnung 328f.,523,563
- SWITCH-Funktion 423f.
- Tabellenfunktion 418f.
- Zustandsraumdarstellung 533f.

Eigenvektor 225

Eingangsvektor 253

Einheitsimpuls 202

Einheitsimpulsantwort 203,272

- Funktionslösung 204f.
- u. Gewichtsfunktion 295f.

Einheitssprung 202

Einheitssprungantwort 64,203

Elastizität 447

empirischer Gehalt einer Hypothese 39f.

Endgleichung 36f.

- Ermittlung
 - mit Blockdiagrammen 225f.
 - Einsetzungsverfahren 170f.
 - mit Operatorpolynomen 244f.
 - mit Signalflußdiagrammen 232f.
- Funktionslösung (s. dort)
- lineare
 - Erklärungsform 37
 - homogene und inhomogene 173
 - Standardform 37
- nichtlineare 259,268f.
 - Funktionslösung 259,268f.
 - graphische Lösung 268f.

endogene Variable 33

Entscheiderhypothese 150

Entscheidermodell 150,157f., 396f.,443,499

Entscheidungslogik 149

EPL 567f.

Ertragsgesetz 260

Erwartungswert 378,380f.,391f.

Evolutionstabilität 78

exogene Variable 33

exponentielle Verweilzeithypothese 414f.,496f.

exponentielle Verzögerung, s. 'exponentielle Verweilzeithypothese'

Ex-post-Prognose 433,441,498,
503,519

Falsifizierung 445

Feedback, s. 'Feedbackkreis'
Feedbackdiagramm 59f.,69, ,
427f.

Feedbackheuristik 426,519f.

Feedbackkreis 59,281f.,356,
365,426

- negativer 60,282

- positiver 60,282

Flußrate 67,402f.

Flußratensymbol 68,402

FOLR-Modellierung 480f.,512,
519f.

FORTRAN 329,424

- u. MZÄ-Modellsimulation 565f.

- u. System-Dynamics-Modellsimulation 548f.

fraktioniert faktorielle Analyse 568

Funktionslösung einer Endgleichung

- lineare

- mit konstanten Koeffizienten 196f.

anfangswertgenerelle Funktionslösung 175

generelle Funktionslösung 174

homogene Endgleichung:

1. Grades 173f.

2. Grades 179f.

n. Grades 198f.

inhomogene Endgleichung:

1. Grades 175f.

2. Grades 194f.

n. Grades 198f.

parametergenerelle Funktionslösung 175

spezielle Funktionslösung 174

trigonometrische Form 186f.

- mit zeitvariablen Koeffizienten 166f.

- nichtlineare 259,265

Gaußsche Zahlenebene 187

Gauß-Seidel-Verfahren 343f.,
568

generelle Funktionslösung 174

Geschlossenheitsprinzip 430f.,
472,515f.

Gewichtsfunktion 297f.,497

Glättungsfaktor 416

Glättungslevel 416

Gleichgewicht, s. 'Stabilität'

Gleichgewichtsbestimmung in
Testantwortmodellen 433f.

Gleichgewichtspfad 75f.,208

globale Stabilität 77,102,271

Grad einer Differenzengleichung 34

Gültigkeitsprüfung eines Modells, s. 'Hypothesenüberprüfung'

Halbwirkungszeit 211

Hilfsgleichung 407

Hilfsvariable 406

Hilfsvariablensymbol 409

homogene Endgleichung 173

horizontale Hypothesendifferenzierung 152f.,512

Hypothese

- Arten

- deterministische 23

- dynamische 23

- finite 287

- gemischt zyklisch sequentielle 300

- generelle 125

- infinite 287,308f.
 - kaskadierende 280f.
 - komparative 41
 - konkurrierende 120
 - kontrollierte 44,122
 - minimale 46
 - monokausale 43
 - multikausale 43
 - nichtkomparative 42,59,428
 - nichtlineare 259f.
 - nichtparametrische 43,55
 - parametrisch-generelle 40,47
 - parametrisch-singuläre 39
 - Polynomhypothesen 116
 - primäre 45
 - sekundäre 45
 - sequentielle 287f.,295f.513f.
 - stochastische 23,111f.
 - Störgrößenhypothese 40
 - unkontrollierte 44
 - verteilte Verzögerungshypothesen 287f.
 - Verweilzeithypothese 291f.,489f.
 - Zwischenhypothesen 153f.
 - zyklische 280,295f.,308f.
 - Determinisierung von 122,132,378,394,396
 - empirischer Gehalt von 39f.
 - horizontale Hypothesendifferenzierung 152f.,512
 - pragmatische Relation einer 44
 - Überprüfung von, s. 'Hypothesenüberprüfung'
- Hypothesendeterminisierung 122,132,378,394,396
- Hypothesengewinnung 110,154,426
- deterministische Hypothesen 122f.
 - stochastische Hypothesen 111f.
- Hypothesengleichung 38f.
- institutionelle 38
 - technologische 38
 - Verhaltensgleichung 38
- Hypothesenüberprüfung
- definitorische Konsistenz 128f.
 - deterministische Hypothese 133f.
 - Eindeutigkeit des Variablenverlaufs 127f.
 - empirische Gültigkeit
 - durch Daten-Modellvergleich 129f.,133f.
 - durch Retrodiktio 139,443,479f.
 - durch Sensitivitätsanalyse 143f.,398,443f.
 - Gültigkeitskriterien 134f.
 - logische Konsistenz 126f.
 - stochastische Hypothese 129f.
 - durch subjektive Konsequenzbewertung 146
- IFICUS-Simulationssystem 363,547
- Imaginärteil einer komplexen Zahl 187
- Implikation; s. 'Modellimplikation'
- Induktionsproblem 110,130
- Induktionsschluß 139
- induzierte Investitionen 32
- Infinitesimalprämisse 446,448,481f.
- Informationslevel 509
- Informationslevelinterpretation 509f.520
- inhomogene Endgleichung 173
- Input-Output-Modell 250,367
- Insensitivitätshypothese 144,444f.,467f.
- Interimsmultiplikator 210f.

- interne Systemzustände 252
- Investitionsfunktion 32
- JK-Zeitintervall 481f.
- Jurys Koeffizientenkriterien 214f.
- kaskadierende Hypothesen 280f.
- kaskadierende Systemglieder 228,234,492
- Kausaldiagramm 56f.
 - komparatives 56,156,426,429
 - nichtkomparatives 59
- Klein-Goldberger-Modell 278f.
- Klein-Modell 341f.,533,537f.,545
- Kleinstquadratschätzung 117f.,289,319,321
- Koeffizientenkriterien des Systemverhaltens 214f.
- komplexe Zahl 187f.
 - Imaginärteil 187
 - konjugiert komplex 187
 - Modul 188
 - Polarkoordinatendarstellung 188
 - reeller Teil 187
 - trigonometrische Form 186f.
- Komplexität eines Modells 357f.
- Konstantengleichung 404
- Konstantensymbol 404
- Konsumfunktion 32
- Konsumquote 32
- Krelle-Modell 535
- Laplace'sche Weltformel 278
- Levelgleichung 400
- Level-Raten-Interpretation 69,425,509,519f.
- Levelsymbol 67,402
- Levelvariable 67,400
- lineares Modell 77,165ff
 - s. a. 'Endgleichung, lineare'
 - Finalform 303f.
 - Gewichtsfunktion 297,497
 - Koeffizientenkriterien des Systemverhaltens 214f.
 - qualitatives Verhalten 202f.
 - Verhaltensdiagramm 216f.
 - Verhaltenskennzeichen 200f.
 - mit zeitkonstanten Koeffizienten 168f.
 - mit zeitvariablen Koeffizienten 166f.
 - Zustandsraumdarstellung 249f.,301f.,533f.
- Ljapunow-Funktion 266
- Ljapunow-Stabilität 76
- Lösung einer Differenzengleichung
 - Funktionslösung, s. 'Funktionslösung einer Endgleichung'
 - graphische Lösung 268f.
 - periodische Regressionslösung 73
 - periodische Simultanlösung 74,328
- Lösung simultaner Gleichungssysteme
 - linearer 340f.,536f.
 - nichtlinearer 343f.,472
- lokale Stabilität 77,102,271
- Makrofunktion 414,416,419,424,435,512f.
- MA-Modell
 - Anwendung 37,42,45,62,63,71,73,75,78,80,82,84f.,88,92f.,97,108,117f.,126,128,136,143,145,153,201,204,211f.,220f.,225,230f.,251f.,273,274f.,280,282,283,297,302,306f.,330,348f.,357,359,386f.,393f.,506f.,513,532,565f.,570f.

- Aufbau 31f.
- Markenwechslermodell 26
- MA-System, s. 'MA-Modell'
- Matrix 237
 - Addition 239
 - adjungierte 242
 - Beobachtungsmatrix 253
 - blocktriangulare 326
 - Boolesche Matrix 333
 - charakteristische Gleichung einer 254
 - Diagonalmatrix 238
 - Dreiecksmatrix 326
 - Eigenvektoren einer 255
 - Einheitsmatrix 238
 - Gewichtungsmatrix 303
 - inverse 241
 - Modalmatrix 255
 - Multiplikation von Matrizen 239
 - nichtsinguläre 128
 - Polynommatrix 245
 - Potenzmatrix 254
 - quadratische 238
 - Sensitivitätsmatrix 447
 - Strukturmatrix 325f., 522
 - Transaktionsmatrix 50
 - transponierte 242
 - unzerlegbare blocktriangulare 327
 - Verbindungsmatrix 370
 - Verknüpfungsmatrix 349, 362, 426
 - vollkommen unzerlegbare 327
 - zerlegbare 326
 - Zustandsmatrix 253
- Mentalmodell 517
- Methode der unbestimmten Koeffizienten 199
- minimale Hypothese 46
- Minimalgesetz 46, 359
- Minimalrückführung 365f.
- Modell
 - dynamisches 23
 - Funktionsmodell 25
 - historisches 23
 - ikonisches 19
 - kinetisches 23
 - mathematisches 19
 - metrisches 24f.
 - MZÄ-Modell, s. dort
 - Schaubildmodell 54f.
 - Symbolmodell 15
 - Verbalmodell 19
 - zeitdiskretes 27
 - zeitdiskretes äquidistantes 28
 - zeitkontinuierliches 27
- modellabhängige Systemklassifizierung 20f.
- Modellerschließung 69
 - deduktive 99
 - pseudoinduktive 99f.
 - Ziele der 70f.
- Modellexperiment 102f.
- Modellimplikation 20, 69f., 124
 - deterministische 376
 - generelle 71, 102
 - singuläre 71, 102
 - stochastische 96f.
 - Zahlenfolgeimplikation 106
 - Zahlenwertimplikation 106
- Modul 188
- Multikolinearität 289
- Multiplikator 210f.
 - Interimsmultiplikator 210f.
 - Totalmultiplikator 210, 288
 - Varianzmultiplikator 388f.
 - Verzögerungsmultiplikator 288
- Multiplikator-Akzelerator-Modell, s. 'MA-Modell'
- MZÄ-Modell, dynamisches 31
 - Arten
 - annähernd zerlegbares 348f.
 - determinisiertes 122, 132, 378, 394, 396f.
 - deterministisches 34, 376
 - Differenzengleichungsmodell 29

- Entscheidermodell 150, 157f., 396f., 443, 499
 - geschlossenes 274f.
 - hierarchisch zerlegbares 350
 - interdependentes 316f.
 - kaskadierendes 280f.
 - lineares 165f.
 - Mentalmodell 517
 - nichtlineares 257
 - offenes 274f.
 - rekursives 316f.
 - sequentielles Matrizenmodell 303
 - simultanes 340
 - stochastisches 34, 74f., 377f.
 - Störgrößenmodell 40, 378
 - System-Dynamics-Modell 400f.
 - Testantwortmodell 430f., 515f.
 - unzerlegbares 354
 - vollkommen zerlegbares 350
 - zerlegbares 348f.
 - zyklisches 280f., 356
 - definitorische Konsistenz 128
 - Dimension 31
 - Eindeutigkeit des Variablenverlaufes 127
 - Endgleichungsform 37
 - Finalform 303
 - Kennzeichen 22f.
 - Komplexität 357f.
 - logische Konsistenz 126
 - reduzierte Form 36, 340f.
 - Strukturmatrix 325f.
 - Verknüpfungsmatrix 349
- Nichtbeobachtungsvariable 151f.
- nichtlineares Modell
- Stabilitätsanalyse 265f., 271
 - typische Hypothesen 259f.
 - Verhaltenskennzeichen 272f.
- Niveaustabilität 78, 98, 469
- Normalverteilung 115
- Ökonometrie 111
- Offenheitsprinzip 516
- Operator 64, 221f.
- Rückwärtsoperator 223
 - Verschiebungsoperator 221f.
 - Vorwärtsoperator 223
- Operatorenübergangsfunktion 64, 226
- parallele Systemglieder 227, 234
- Parameter 33
- kontrollierbare 294
- Parameterraum 96
- Parameterschätzprogramme 109, 117f., 136, 570f.
- Parameterschätzung
- statistische 111f.
 - subjektive 146f.
- Pascalverteilung 312
- periodische Regressionslösung 73, 328
- periodische Simultanlösung 74, 328
- Pfeildiagramm 30, 61f., 316f.
- Phasendiagramm 269f.
- Polarkoordinatendarstellung 188f.
- Polynom
- Produktendarstellung 248f., 309f.
 - Wurzeln 179
- Polynomhypothesen 116
- Postulat der Adäquanz von Ursache und Wirkung 200f.
- Postulat der ungestörten Überlagerung 200f., 295, 380
- Prognose 83, 131f.
- pseudoinduktive Analyse 99f., 390f.
- Pseudozufallszahl 390

- Quellensymbol 403
- Ratengleichung 402
- Ratensymbol 67,402
- Ratenvariable 67,402
- Reaktionsgröße 104
- Reaktionsoberfläche 105
- Realexperiment
- Planung eines, s. 'Versuchsplanung'
- Reduktion von Systemgliedern 224f.
- kaskadierende Glieder 228, 234,493
 - Kreisschaltungen 229,234f.
 - Parallelglieder 227,233f.
- reduzierte Form 36,340f.
- reduzierte Gleichung 36
- Retrodiktion 83f.,139f.,299, 343,469f.
- Rückführung 365
- Rückführungsgrad 364f.
- rückführungsminimale Verknüpfungsmatrix 366
- Rückkopplung, s. 'Feedback'
- Rückkopplungsdiagramm, s. 'Feedbackdiagramm'
- Rückwärtsoperator 223
- Rückwärtsprognose, s. 'Retrodiktion'
- Satz von MOIVRE 190
- Schätzfunktion
- effiziente
 - Verzerrung einer 113,323f.
 - Vorziehenswürdigkeit 113
- Schaubildmodell 54f.
- Blockdiagramm 62f.
 - Feedbackdiagramm 59
 - Kausaldiagramm 56f.
 - komparatives 54
 - nichtparametrisches 54
 - parametrisch-singuläres 54
 - Pfeildiagramm 61
 - System-Dynamics-Diagramm 67
- Schleife 286
- u. Feedbackkreis 356
 - in Strukturmatrix 335f.
 - maximale 335
 - Totalschleife 356,362,379
 - in Verknüpfungsmatrix 358f., 426
- Schockvariable 41
- Schuh-Cohn-Kriterien 214
- schwarzer Kasten 151f.,199f., 412
- Schwellenvariable 262
- Senkensymbol 403
- Sensitivität 87f.
- absolute 445f.
 - Integralsensitivität 454
 - Marginalsensitivität 447
 - relative 445f.
 - Sensitivitätsmatrix 447
 - Technik der Bestimmung 448f.
- Signalflußdiagramm 65f.
- Simon-Ando-Theorem 374
- SIMPLAN 567
- Simulation 102f.,268,272,308, 328,395,399f.,522f.
- Simulationsexperiment 102f.
- Simulationssprache 522f.
- CSMP 323,329,424,538f.
 - DYNAMO 323,329,340,363,391, 399f.,522f.
 - TROLL 324,340,569f.
- simultanes Gleichungssystem 340
- in DYNAMO 524,552
 - Lösung eines linearen 340f.
 - Lösung eines nichtlinearen 343f.,472

- simultanes Modell 340
- Sinus-Funktion 193
- Smooth-Funktion 416,434,475, 510,541
 - u. Gleichgewichtshypothese 548f.
- Spaltenvektor 238
- Sprague-Modell 442f.,488f.
- SPSS-Programmsystem 109,117
- s,S-Bestellpolitik 45
- Stabilität 75f.
 - asymptotische 76,208
 - Evolutionsstabilität 78
 - globale 77,102,208,271
 - Instabilität im Großen 77
 - linearer Systeme 208f.
 - Ljapunow-Stabilität 76
 - lokale 77,102,271
 - monotone 216
 - nicht asymptotische 76
 - nichtlinearer Systeme 265f. 271
 - Niveaustabilität 78,98,469
 - oszillatorische 83
 - stabil vs. instabil 76
 - Stabilität im Kleinen 77
 - Stabilität 2. Grades 98
 - stochastische 98,384,389
- standardisierte Einheitsimpulsantwort 272
- stochastisches Modell 74f., 377f.
- Stockholmer Schule 155
- Störgröße 41,378
- Störgrößenhypothese 40
- Störgrößenmodell 40,378
- Störung eines Systems 78,209
- Strukturmatrix 325f.,522
- subjektive Hypothesenschätzung 122
- Subsystem 277f.,369f.
- Superpositionsprinzip, s. 'Prinzip der ungestörten Überlagerung'
- SWITCH-Funktion 423f.
- Symbolmodell 15
- System 18f.
- Systemanalyse 20,70
- System vs. Modell 20f.
- System Dynamics 52,67,87,94, 250,279,312,399f.
- System-Dynamics-Diagramm 67, 408f.
- System-Dynamics-Elemente s. a. 'DYNAMO'
 - Anfangswert 404
 - Anfangswertgleichung 404
 - CLIP-Funktion 424
 - DELAY3-Funktion, s. unter 'DELAY3-Funktion'
 - DELAY3-Level 414
 - exponentielle Verweilzeithypothese 414f.,496f.
 - Glättungslevel 416
 - Glättungsverzögerung 415
 - Hilfsgleichung 407
 - Hilfsvariable 406
 - Hilfsvariablensymbol 409
 - Konstante 404
 - Konstantengleichung 404
 - Konstantensymbol 404
 - Levelgleichung 400
 - Levelsymbol 67,402
 - Levelvariable 67,400
 - Makrofunktion 414,416,419, 424,435,513
 - Prognoselevel 415
 - Quelle 403
 - Ratengleichung 402
 - Ratensymbol 67,402
 - Ratenvariable 67,402
 - Senke 403
 - SMOOTH-Funktion 416,434, 475,510,541
 - SWITCH-Funktion 423f.
 - TABLE-Funktion 418f.
 - Zeitinkrement 401,481f.

- Zeitnotation 401
- System-Dynamics-Modell
 - Anfangswertproblem 548f.
 - empirische Überprüfung 516f.
 - geschlossenes 430,440f.
 - geschlossenes Prognosemodell 515f.,549
 - multipel offenes 515
 - Parameterschätzung 516f.
 - Retrodiktio 469f.
 - Sensitivitätsanalyse 444f.
 - singular offenes 430,515f.
 - Testantwortanalyse 430f.
 - Testantwortmodell 430,515f.
- Systemklassifizierung, modellabhängige 20f.
- Systemkomplexität 357
- Systemmodell, s. 'Modell'
- Systemverhalten
 - linearer Systeme 202f.
 - nichtlinearer Systeme 272f.
- Tabellenfunktion 261,419f.
 - Parametrisierung 458f.
- Testantwort 202
- Testantwortanalyse 430f.
- Testantwortmodell 430,515f.
- Testfunktion 202
- Theilscher Ungleichheitskoeffizient 94,137,454
- Theorem von Galois 199
- Totalmultiplikator 210,288
- Totalschleife 356,362,379
- Totzeit 314
- TROLL-System 324,340,569f.
- TSP-Programmsystem 117f.,136,570
- Turingtest 134,443,518
- t-Verteilung 393
- Übergangsfunktion 64,200
- Übergangshypothese 154
- ungestörter Zustand 76,208
- V1-, V2-, V3-Makro, s. 'Verzögerungsmakro'
- Validierung, s. 'Hypothesenüberprüfung'
- Variable
 - endogene 33
 - exogene 33
 - Hilfsvariable 406
 - Levelvariable 67,400
 - Nichtbeobachtungsvariable 151f.
 - Ratenvariable 67,402
 - unverzögerte 33
 - verzögerte 33
 - vorherbestimmte 33
- Varianz 391
- Varianzmultiplikator 388f.
- Varianzreduktion 395f.
- Ventilsymbol 67,402
- Verbalmodell 19
- Verknüpfungsmatrix 349,362,426
 - rückführungsminimale 366
- Verschiebungsoperator 221f.
- Versuchsplanung 104f.
 - Interaktionseffekt 105
 - Faktoreinflußpolynom 106
 - Faktoreffekt 105
 - Faktorraum 105
 - Haupteffekt 105
 - Niveau 105
 - Niveauekombination 105
 - Reaktionsgröße 104
 - Reaktionsoberfläche 105
- verteilte Verzögerungshypothese 287
- Vertrauensbereich 391f.
- Verweilzeithypothese 291f., 314f.,412f.,514

- exponentielle 414f., 496f.
- verzögerte Variable 33
- Verzögerungsfunktion 548
- Verzögerungsmakro 512f., 532, 544f., 565f.
- Verzögerungsspeicher 291
- Vidale-Wolfe-Modell 25, 166
- vorherbestimmte Variable 33
- Vorwärtsoperator 223

- Weltmodell von FORRESTER 140f. 157f., 161f., 259, 420, 469, 479f.
- Weltmodell von MEADOWS 57f., 155f., 157, 441, 452f., 457, 463f., 469, 552, 565
- Wissenschaft 149
- Wurzeln der charakteristischen Gleichung 179, 254
 - konjugiert komplexe 185f., 198
 - reelle und gleiche 182, 198
 - reelle und verschiedene 184, 198

- Zeilenvektor 238
- zeitdiskrete Modelle vs. zeitkontinuierliche 29f.
- zeitinvariante Beziehung 23, 277
- Zeitnotation 22, 28, 401
- Ziele der Modellbildung 70f.
- Zirkularitätsgrad 364, 367
- Zufallszahlen 390
- Zustandsmatrix 253
- Zustandsraumdarstellung 249f., 301f., 533f.
- Zustandsvektor 253
- ZVEI-Kennzahlensystem 52

- Zwischenhypothesen 153f.
- Zykluslänge 191