

Eckart Zwicker

Simulation und Analyse dynamischer Systeme in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

TECHNISCHE HOCHSCHULE DARMSTADT
Fachbereich 1
<u>Gesamtbibliothek</u>
<u>Betriebswirtschaftslehre</u>
Inventar-Nr. : 35.296
Abstell-Nr. : A.14/974
Sachgebiete : 1.6.4
.....



Walter de Gruyter · Berlin · New York 1981

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	14
1. Kennzeichnung dynamischer Systeme und Modelle	18
1.1. Systeme und Modelle	18
1.2. Dynamische Modelle als Repräsentanten dynamischer Systeme ...	21
1.2.1. Metrisch dynamische Modelle	24
1.2.2. Metrisch dynamische zeitdiskrete äquidistante Modelle (MZÄ)	28
1.2.3. Strukturmerkmale dynamischer MZÄ-Modelle	31
1.3. Strukturgleichungstypen dynamischer MZÄ-Modelle	38
1.3.1. Hypothesengleichungen	38
A. Technologische und institutionelle Hypothesen sowie Ver- haltenshypothesen	38
B. Parametrisch-singuläre, parametrisch-generelle, kompara- tive und nichtkomparative Hypothesen	39
C. Kontrollierte und unkontrollierte, primäre und sekundäre Hypothesen	44
1.3.2. Definitionsgleichungen	47
1.4. Schaubildliche Modellierung dynamischer Systeme	54
1.4.1. Kausaldiagramme	56
1.4.2. Pfeil-, Block- und Signalflußdiagramme	61
1.4.3. System-Dynamics-Diagramme	67
1.5. Implikationen dynamischer MZÄ-Modelle	69
1.5.1. Zeitverlauf der endogenen Variablen	72
A. Deterministische Modelle	72
B. Stochastische Modelle	74
1.5.2. Stabilitätsverhalten	75
1.5.3. Retrodiktio endogener Variablen	83
1.5.4. Sensitivität eines Modells	87
1.5.5. Stochastische Implikationen	96
1.6. Methoden der Erschließung von Modellimplikationen	99
1.6.1. Deduktive Erschließung von Modellimplikationen	99
1.6.2. Pseudoinduktive Erschließung von Modellimplikationen	99
1.6.3. Simulation, Simulationsexperiment und Modellexperiment als Erschließungsmethoden von Modellimplikationen	101

A.	Begriffliche Deutung der Terme 'Simulation', 'Simulationsexperiment', 'Modellexperiment' und ihre Beurteilung als Erschließungsmethode	102
B.	Verwendbarkeit realexperimenteller Verfahren als Erschließungsmethode von Modellimplikationen	104
a)	Methoden der Planung und Auswertung von Realexperimenten	104
b)	Übertragbarkeit realexperimenteller Planungs- und Auswertungsmethoden auf Modellexperimente	106
1.7.	Gewinnung und Überprüfung dynamischer Modelle	110
1.7.1.	Gewinnung dynamischer Hypothesen	110
A.	Gewinnung stochastischer Hypothesen	111
B.	Gewinnung deterministischer Hypothesen	122
1.7.2.	Überprüfung dynamischer Hypothesen	124
A.	Voraussetzungen der empirischen Hypothesenüberprüfung	126
a)	Forderung nach logischer Konsistenz	126
b)	Forderung nach Eindeutigkeit des Variablenverlaufes ...	127
c)	Forderung nach definitorischer Konsistenz	128
B.	Überprüfung stochastischer Hypothesen	129
C.	Überprüfung deterministischer Hypothesen	133
a)	Grundprinzipien der Überprüfung deterministischer Hypothesen	133
b)	Einzelfragen der Überprüfung deterministischer Hypothesen	139
ba)	Hypothesenüberprüfung anhand von Retrodiktionen	139
bb)	Hypothesenüberprüfung durch Konfrontation mit generellen Hypothesen	143
bc)	Hypothesenüberprüfung durch subjektive Konsequenzbewertung	146
bd)	Hypothesenüberprüfung bei Nichtbeobachtungsvariablen	151
α)	Zwischenhypothesen in intersubjektiv nachprüf- baren Modellen	151
β)	Zwischenhypothesen in Entscheidermodellen	157
2.	Formen und Erschließungsmethoden dynamischer MZÄ-Modelle	164
2.1.	Lineare und nichtlineare Modellformen	164
2.1.1.	Lineare Modellformen	165
A.	Lineare Modellformen mit zeitvariablen Koeffizienten.....	166

B. Lineare Modellformen mit zeitkonstanten Koeffizienten	168
a) Zeitpfadermittlung durch Funktionslösungen	169
aa) Funktionslösung von Endgleichungen ersten Grades	173
α) Funktionslösung homogener Endgleichungen er-	
sten Grades	173
β) Funktionslösung inhomogener Endgleichungen er-	
sten Grades	175
ab) Funktionslösung von Endgleichungen zweiten Grades	179
α) Funktionslösung homogener Endgleichungen zwei-	
ten Grades	179
$\alpha\alpha$) Funktionslösung homogener Endgleichungen zwei-	
ten Grades mit ungleichen Wurzeln.....	179
$\alpha\beta$) Funktionslösung homogener Endgleichungen zwei-	
ten Grades mit gleichen Wurzeln	182
$\alpha\gamma$) Numerische Beispiele von Funktionslösungen ho-	
mogener Endgleichungen zweiten Grades	183
$\alpha\delta$) Trigonometrische Form der Funktionslösung homo-	
gener Endgleichungen zweiten Grades mit konju-	
giert komplexen Wurzeln	187
β) Funktionslösung inhomogener Endgleichungen zwei-	
ten Grades	194
ac) Funktionslösung von Endgleichungen n-ten Grades	198
b) Empirische Kennzeichen linearer Systeme	199
ba) Übergangsverhalten linearer Systeme	202
α) Allgemeine Kennzeichnung des Übergangsverhaltens ...	202
β) Stabilität als Spezialfall des Übergangsverhaltens ..	208
γ) Multiplikatoren als Maßzahlen des Übergangsver-	
haltens	210
δ) Koeffizientenkriterien des Übergangsverhaltens	214
bb) Verhaltensdiagramme linearer Systeme	216
c) Höhere Analysemethoden linearer Systeme	221
ca) Verwendung von Operatoren in linearen Systemen	221
cb) Endgleichungsbestimmung anhand graphischer System-	
darstellungen	224
α) Endgleichungsbestimmung anhand von Blockdiagrammen..	225
β) Endgleichungsbestimmung anhand von Signalflußdia-	
grammen	232
cc) Analyse linearer Systeme anhand von Matrizen	237
α) Grundbegriffe der Matrizenrechnung.....	237

β)	Endgleichungsbestimmung anhand von Polynommatrizen..	244
γ)	Zustandsraumdarstellung linearer Systeme und ihre Analysemethoden	249
2.1.2.	Nichtlineare Modellformen	257
A.	Begriffliche Klärung und empirische Interpretation	258
B.	Analyse nichtlinearer Modelle	264
2.2.	Offene und geschlossene Modellformen	274
2.3.	Zyklische und kaskadierende Modellformen	279
2.3.1.	Begriffliche Klärung und empirische Interpretation	280
A.	Zyklische und kaskadierende Hypothesen	280
B.	Sequentielle Hypothesen	287
2.3.2.	Beziehungen zwischen linear zyklischen und infinit sequentiellen Hypothesen	295
A.	Überführung zyklischer in sequentielle Hypothesen	295
a)	Gewichtsfunktion und Einheitsimpulsantwort	295
b)	Ermittlung der Gewichtungsmatrix sequentieller Matrizenmodelle	302
B.	Überführung infinit sequentieller in zyklische Hypothesen	308
2.4.	Rekursive und interdependente Modellformen	316
2.4.1.	Begriffliche Klärung und empirische Interpretation	316
2.4.2.	Analyse der Verknüpfungsstruktur rekursiver und interdependenter Modelle	324
A.	Strukturmatrizen rekursiver Modelle	325
B.	Strukturmatrizen interdependenter Modelle	329
C.	Ermittlung standardisierter Strukturmatrizen von rekursiven und interdependenten Modellen	332
D.	Zeitpfadbestimmung in interdependenten Modellen	340
a)	Zeitpfadbestimmung in linearen interdependenten Modellen	340
b)	Zeitpfadbestimmung in nichtlinearen interdependenten Modellen	343
2.5.	Zerlegbare, unzerlegbare und annähernd zerlegbare Modellformen	348
2.5.1.	Begriffliche Klärung und empirische Interpretation	348
2.5.2.	Verknüpfungs- und Komplexitätsmaße dynamischer Modelle	357
2.5.3.	Subsystemabspaltung in dynamischen Modellen	369

2.6. Deterministische und stochastische Modellformen	375
2.6.1. Deterministische Modellformen	376
2.6.2. Stochastische Modellformen	377
A. Begriffliche Klärung und empirische Interpretation	377
B. Deduktive Analyse stochastischer Modelle	378
a) Analyse eines stochastischen Modells der Lager- und Bestellpolitik	383
b) Analyse eines stochastischen MA-Modells	386
C. Pseudoinduktive Analyse stochastischer Modelle	390
a) Grundlagen der Parameterschätzung stochastischer Modellimplikationen	390
b) Varianzreduzierende Verfahren im Rahmen der Para- meterschätzung stochastischer Modellimplikationen	395
D. Subjektive Entscheidermodelle und stochastische Analyse....	396
3. System Dynamics - ein Modellierungskonzept dynamischer Sy- steme	399
3.1. Aufbau und Wirkungsweise der Modellelemente	400
3.1.1. Levelvariablen	400
3.1.2. Flußraten und Hilfsvariablen	402
3.1.3. Graphische Darstellung von System-Dynamics-Modellen	408
3.1.4. Exponentielle Bestands- und Informationsverzögerungen ...	412
A. Exponentielle Bestandsverzögerungen	412
B. Exponentielle Informationsverzögerungen	415
3.1.5. Tabellenfunktionen und sonstige Makrofunktionen	418
3.2. Feedbackheuristik und Geschlossenheitsprinzip als Elemen- te der System-Dynamics-Konzeption	425
3.2.1. Feedbackheuristik des System-Dynamics-Konzeptes	426
3.2.2. Geschlossenheitsprinzip und System Dynamics	430
A. Singulär offene System-Dynamics-Ansätze	430
a) Kennzeichnung singulär offener System-Dynamics- Ansätze	430
b) Zur Bestimmung von gleichgewichtigen Levelanfangswer- ten in singulär offenen System-Dynamics-Ansätzen	433
ba) Makrofunktionen in gleichgewichtigen Modellen	434
bb) Gleichgewichtsbestimmung von Modellen durch Simu- lation	436
B. Geschlossene System-Dynamics-Ansätze	440

3.3. Analysemethoden von System-Dynamics-Modellen	442
3.3.1. Sensitivitätsanalyse von System-Dynamics-Modellen	444
A. Sensitivitätsmaße und ihre Anwendung in System-Dynamics-Modellen	445
B. Sensitivitätsanalysen bei einer Parametrisierung von Tabellenfunktionen	458
C. Parameterstochastisierung und Sensitivität	460
D. Sensitivitätsuntersuchungen am Beispiel des Weltmodells von Meadows	463
3.3.2. Retrodiktionsanalyse von System-Dynamics-Modellen	469
A. Grundlagen der Retrodiktionsanalyse eines System-Dynamics-Modells ..	469
B. Durchführung einer Retrodiktionsanalyse am Beispiel des Weltmodells von Forrester	479
3.4. Die FOLR-Modellierung als Alternative zum System-Dynamics-Konzept	480
3.4.1. Die Infinitesimalprämisse des System-Dynamics-Konzeptes und ihre Ablösung durch die Diskretzeitprämisse	481
A. Infinitesimal- und Diskretzeitprämisse als alternative Elemente eines Modellierungsansatzes	481
B. Exponentielle Verweilzeithypothesen im Falle der Infinitesimal- und Diskretzeitprämisse	489
a) Zur Definition der durchschnittlichen Verzögerung exponentieller Verzögerungen dritter Ordnung	490
b) Die Bestimmung der Parameter exponentieller Verweilzeithypothesen bei Akzeptierung der Infinitesimal- und Diskretzeitprämisse	496
ba) Parameterbestimmungen im Falle der Akzeptierung der Infinitesimalprämisse	496
bb) Parameterbestimmung im Falle der Akzeptierung der Diskretzeitprämisse	500
3.4.2. Die Verwerfung der generellen Informationslevelprämisse und ihre Konsequenzen	506
3.4.3. Die Verwerfung des Geschlossenheitsprinzips und ihre Konsequenzen	515
3.4.4. Die Verwerfung der statistischen Sonderstellung und ihre Konsequenzen	516
3.4.5. Zum Status der FOLR-Modellierung	519
4. Rechnergestützte Systeme zur Entwicklung und Analyse dynamischer MZÄ-Modelle	522
4.1. Simulationssysteme für MZÄ-Modelle	522

4.1.1. Simulation mit DYNAMO	522
A. Kennzeichen der DYNAMO-Sprache	522
B. Formulierung allgemeiner dynamischer MZÄ-Modelle mit DYNAMO	532
a) Rekursive Modelle	532
b) Simultane Modelle	535
4.1.2. Simulation mit CSMP	538
A. Kennzeichen von CSMP	538
B. Formulierung von System-Dynamics-Ansätzen mit CSMP	541
C. Formulierung allgemeiner dynamischer MZÄ-Modelle mit CSMP	544
D. Vergleich zwischen DYNAMO und CSMP	546
4.1.3. Simulation mit FORTRAN	548
A. Simulation von System-Dynamics-Modellen mit FORTRAN	548
a) Probleme der Anfangswertbestimmung in System-Dy- namics-Modellen	548
b) Aufbau des FORTRAN-Programms	553
c) Simulation eines im System-Dynamics-Konzept beschrie- benen Produktions- und Lagerhaltungssystems mit FORTRAN	561
B. Simulation klassischer Differenzgleichungen mit FORTRAN	565
4.2. Schätz- und Analysesysteme für dynamische MZÄ-Modelle	567
4.2.1. SIMPLAN	567
4.2.2. EPL	567
4.2.3. COMOS	568
4.2.4. TROLL	569
Anhang	580
1. Untersuchung der Sensitivität mit Rücksetzung anhand eines Fertigungsmodells (DYNAMO)	580
2. Retrodiktionsvorspann für ein System-Dynamics-Modell (DYNAMO) ..	582
3. Dreidimensionaler Suchalgorithmus zur Parameterbestimmung exponentieller Verweilzeithypothesen (FORTRAN)	584
4. Makrofunktion DELATO (DYNAMO)	587
5. FORTRAN-Unterprogramme für eine FORTRAN-Version zur Dar- stellung von System-Dynamics-Modellen	588
Literaturverzeichnis	592
Register	608