

# I n h a l t s v e r z e i c h n i s

VORWORT	.....	III
1. FORMEN UND GRUNDLEGENDE EIGENSCHAFTEN LINEARER ZEITINVARIANter SYSTEME	.....	1
1.1. Bemerkungen zum Strukturbegriff	.....	1
1.1.1. Herkömmliche ökonomische Strukturauffassungen	.....	1
1.1.2. Regelkreisinterpretation	.....	6
1.2. Formen dynamischer Systeme	.....	8
1.2.1. Primäre Form	.....	8
1.2.2. Reduzierte Form	.....	13
1.2.3. Separiert-reduzierte Form	.....	14
1.2.4. Rekursive Systeme	.....	21
1.3. Superpositionsprinzip und Input- Output-Beziehungen	.....	24
1.3.1. Superpositionsprinzip	.....	24
1.3.2. Input-Output-Beziehungen, Ant- worten auf bestimmte Erregungen	.....	25
1.4. Grundlegende Arten der Zerlegung dynamischer Systeme	.....	29
1.4.1. Zerlegung in Elementarsysteme	.....	29
1.4.2. Zerlegung in systematische und zufällige Teilsysteme	.....	31
2. DARSTELLUNG UND ZERLEGUNG DISKRETER STOCHASTISCHER PROZESSE	.....	33
2.1. Diskrete und stetige Prozesse	.....	33
2.2. Definition und Arten stochastischer Prozesse	.....	36
2.3. Stationäre Zufallsfolgen mit diskre- tem Zeitparameter	.....	41
2.3.1. Definition, erste und zweite Momente	.....	41
2.3.2. Einige grundlegende Arten sta- tionärer Folgen	.....	47
2.3.2.1. Folgen unabhängiger bzw. un- korrelierter Zufallsvariablen	.....	47
2.3.2.2. Folgen gleitender Mittelwerte unabhängiger bzw. unkorrelier- ter Zufallsvariablen	.....	48

2.3.2.3. Autoregressive Prozesse (stochastische Differenzgleichungen) .....	50
2.3.2.4. Komplexe Zufallsfunktionen und harmonische Prozesse .....	57
2.3.3. Kanonische Zerlegung und Extrapolation im Zeitbereich .....	65
2.3.3.1. Deterministische Prozesse .....	65
2.3.3.2. Lineare Minimum-Varianz-Prädiktoren .....	66
2.3.3.3. Das Woldsche Zerlegungstheorem .....	70
2.3.3.4. Kanonische Darstellungen und Extrapolation rein nichtdeterministischer stationärer Folgen.....	72
2.3.4. Spektraldarstellung und spektrale Formulierung des Extrapolationsproblems .....	75
2.3.4.1. Problemstellung .....	75
2.3.4.2. Das Spektrum deterministischer Prozesse .....	77
2.3.4.3. Das Korrelations- und Kovarianzspektrum nichtdeterministischer Prozesse .....	78
2.3.4.4. Kanonische Faktorisierung der Spektraldichte nichtdeterministischer Prozesse .....	86
2.3.4.5. Spektraldarstellung und Spektralzerlegung der Prozessvariablen .....	94
2.3.4.6. Lineare Extrapolation .....	98
2.3.4.7. Beispiele für die Spektraldarstellung von Kovarianzfunktionen und für optimale Extrapolationen .....	107
2.4. Nichtstationäre Zufallsfunktionen .....	113
2.4.1. Zerlegung in systematische und zufällige Komponenten .....	113
2.4.2. Kovarianzfunktionen .....	115
2.4.3. Zurückführung nichtstationärer Zufallsfunktionen auf stationäre Funktionen durch Variablentransformation .....	117
2.4.4. Nichtstationäre autoregressive Folgen .....	121
2.4.5. Lineare Rekursionen und linearrekursive Funktionen .....	126
2.4.6. Linearrekursive stochastische Folgen .....	134
2.4.6.1. Linearrekursive Funktionen mit zufälligen Koeffizienten und charakteristischen Parametern .....	134

2.4.6.2. Stochastische Folgen, deren systematische Komponente eine linear-rekursive Funktion ist .....	136
2.4.7. Kanonische Darstellungen und Zerlegungen .....	147
2.4.7.1. Nicht-rekursive Darstellungen .....	148
2.4.7.2. Rekursive Darstellungen und Zerlegungen .....	155
2.5. Zerlegung von Zeitreihen in systematische und zufällige Komponenten .....	158
2.5.1. Ensemble- und Realisierungsaspekte, Prozeß- und Zeitreihenmodelle.....	158
2.5.2. Grundlegende Probleme der Strukturschätzung .....	165
2.5.2.1. Schätzung der systematischen Komponente an Hand mehrerer Realisierungen .....	165
2.5.2.2. Schätzung der systematischen Komponente an Hand einer einzelnen Realisierung .....	166
2.5.2.3. Schätzung der Kovarianzfunktion aufgrund einer einzelnen Realisierung .....	177
2.5.3. Spezifikationsprobleme .....	181
2.5.4. Zerlegung in deterministische und quasizufällige Komponenten .....	184
3. METHODEN ZUR LÖSUNG DISKRETER LINEARER SYSTEME .....	187
3.1. Lösungsformen und -verfahren .....	187
3.2. Ein Beispiel (I) .....	192
3.3. Iterations- und Faltungslösungen (Superpositionslösungen) .....	197
3.3.1. Struktur der Initial- und Regressionskomponente .....	197
3.3.2. Die Initialkomponente als linear-rekursive Funktion .....	202
3.3.3. Beschreibung der Struktur der Regressionskomponente durch Impulsantworten (Gewichtsfunktionen) .....	204
3.3.4. Faltungslösungen .....	209
3.3.5. Partielle Gewichtsfunktionen und Partiaallösungen .....	211
3.3.6. Zerlegung in Elementarsysteme und Elementarlösungen .....	216

3.3.7. Zur Frage der Konsistenz der Anfangswerte der reduzierten und der separiert-reduzierten Form	.....	221
3.3.8. Ein Beispiel (II)	.....	222
3.3.8.1. Initial- und Regressionskomponente	.....	222
3.3.8.2. Gewichtsfunktionen	.....	227
3.3.8.3. Initiale Faltungslösungen	.....	231
3.3.8.4. Partielle Gewichtsfunktionen und Partiaillösungen	.....	232
3.3.8.5. Elementarsysteme und Elementarlösungen	.....	235
3.4. Lösung durch Operatorenrechnung (E-Operator)	.....	239
3.4.1. Ermittlung der separiert-reduzierten Form	.....	240
3.4.2. Faltungslösungen	.....	242
3.4.3. Bestimmung der charakteristischen Gewichtsfunktion	.....	243
3.4.4. Ein Beispiel (III)	.....	245
3.5. Lösung durch Reduktion auf ein System erster Ordnung	.....	247
3.5.1. Allgemeine Darstellung	.....	247
3.5.2. Ein Beispiel (IV)	.....	255
3.6. Invarianzfunktionen und Funktionslösungen	.....	260
3.6.1. Beschreibung der Systemstruktur durch funktional bestimmte Erregungen	.....	260
3.6.2. Elementare Invarianzfunktionen	.....	262
3.6.3. Funktionslösungen bei linearrekursiven Inputfunktionen	.....	270
3.6.3.1. Infinitlösungen	.....	270
3.6.3.2. Anfangswertlösungen	.....	273
3.6.3.3. Rekursionslösungen	.....	276
3.6.3.4. Funktionslösungen bei Inputfunktionen mit Strukturbrüchen	.....	279
3.6.4. Ein Beispiel (V)	.....	284
3.7. Lösung durch Anwendung der z-Transformation	.....	295
3.7.1. Anfangswertlösungen	.....	296
3.7.1.1. Ermittlung der Bildgleichungen der separiert-reduzierten Form	.....	296
3.7.1.2. Transfer- und Gewichtsfunktionen	.....	298

3.7.1.3. Iterations- und Faltungslösungen	.....	299
3.7.1.4. Funktionallösungen	.....	301
3.7.2. Infinitlösungen	.....	305
3.7.3. Ein Beispiel (VI)	.....	306
4. KORRELATIONSSTRUKTUR STOCHASTISCHER SYSTEME	.....	311
4.1. Einführung	.....	311
4.2. Ermittlung der Kovarianzcharakteristiken bei vorgegebenen Kovarianzfunktionen der Inputfolgen	.....	313
4.2.1. Systeme mit nichtstationären Inputs	.....	313
4.2.1.1. Eingleichungsmodelle mit nichtmultiplem Input	.....	313
4.2.1.1. Eingleichungsmodelle mit multiplem Input	.....	315
4.2.1.3. Mehrgleichungsmodelle mit multiplem Input	.....	316
4.2.2. Systeme mit stationären Inputfolgen; Analyse im Zeitbereich	.....	320
4.2.2.1. Systeme mit multiplem Input	.....	321
4.2.2.2. Elementarsysteme	.....	322
4.2.3. Systeme mit stationären Inputfolgen; Analyse im Frequenzbereich ( $z$ -Bereich)	.....	324
4.3. Ermittlung der Kovarianzstrukturen bei vorgegebener kanonischer Darstellung der Inputfolgen	.....	327
4.3.1. Nichtstationäre Inputfolgen	.....	328
4.3.2. Stationäre Inputfolgen	.....	330
A N H A N G		
5. DIE $z$ -TRANSFORMATION	.....	332
5.1. Definition	.....	332
5.2. Eigenschaften	.....	337
5.3. Umkehrung der $z$ -Transformation	.....	341
5.3.1. Allgemeine Bemerkungen zum Umkehrproblem	.....	341
5.3.2. Umkehrverfahren	.....	343

5.4. Anwendung der $z$ -Transformation zur Lösung von Differenzgleichungen: ein Beispiel	.....	345
6. LINEAR-REKURSIVE FUNKTIONEN	.....	349
6.1. Lineare Rekursionen	.....	349
6.2. Normalform linear-rekursiver Funktionen. Zusammenhang zwischen Funktions- und Rekursionsstruktur	.....	351
6.3. Linear-rekursive Funktionen vom Exponentialtyp	.....	352
6.3.1. Definition	.....	352
6.3.2. Verschiebungsoperationen. Allgemeine Ermittlung von Rekursionsgleichungen und deren Transformation	.....	353
6.3.3. Ermittlung der Rekursionsformel	.....	354
6.4. Linear-rekursive Funktionen vom Polynomtyp	.....	357
6.4.1. Rekursionsformel für Polynome	.....	357
6.4.2. Linear-rekursive Funktionen mit additiver Polynomkomponente	.....	358
6.4.3. Funktionen mit Polynomfaktoren	.....	360
6.5. $z$ -Transformation linear-rekursiver Funktionen	.....	360
6.5.1. Einseitige $z$ -Transformation	.....	360
6.5.2. Zweiseitige $z$ -Transformation	.....	362
6.5.3. Summationsformeln	.....	364
6.6. Fehlerbetrachtungen. Ein Näherungssatz	.....	365
NACHWORT	.....	369
Literaturverzeichnis	.....	377