

# INHALT

1.	<b>Lebendige Mathematik</b> .....	13
1.1	Von Rhythmus und Proportion zu Fluß- und Zustandsgrößen .....	13
1.2	Norbert Wiener, Jay Forrester und die Grenzen des Wachstums .....	15
2.	<b>Das analoge, bildhafte Denken</b> .....	17
2.1	Beispiele für analoges Denken .....	17
2.2	Synektik .....	18
2.3	Die Chrie .....	21
2.4	Beispiele für analoges Schließen in der Mathematik .....	22
2.5	Heuristik .....	24
2.6	Die analoge und die digitale Gehirnhälfte .....	24
3.	<b>Vom Bild zum Modell</b> .....	27
3.1	Definition der Begriffe "Bild" und "Umformer" ..	27
	A u f g a b e 3.1 .....	29
3.2	Netz aus Umformern und Bildern (NUB) .....	29
3.3	Verfeinerung und Vergrößerung von Netzen .....	30
3.4	Beispiel für ein Netz aus Umformern und Bildern .....	31
3.5	Definition des Begriffs "Modell" .....	32
3.6	Modelle als Zeichen .....	34
3.7	Klassifikation von Modellen .....	35
3.8	Verfeinerung des NUB zur Modellbildung .....	36
3.9	Definition des Begriffs "Simulation" .....	42
3.10	Beispiel: ein einfaches Modell zur Lagerhaltung .....	43
3.11	Gültigkeit von Modellen .....	45
3.12	Kepler's Modell des Sonnensystems .....	46
4.	<b>Ein ökologisches Nahrungsketten-Modell in DYNAMO (Informelle Einführung in die Sprache DYNAMO)</b> ....	48
4.1	Kausalschleifen .....	49
4.2	Netz aus Umformern und Bildern .....	51
4.3	System Dynamics Diagramm .....	52
4.4	Sprach-Konventionen für Level und Rates .....	55
4.5	Hilfsgrößen und Konstanten .....	56
4.6	Namen und Dimensionsbetrachtung .....	56
4.7	Wie berechnet DYNAMO die einzelnen Gleichungen? .....	57
4.8	Wo beginnt die Berechnung? .....	58
4.9	Allgemeines zu DYNAMO-Gleichungen: L, R, A und N .....	58
4.10	Weitere Angaben: C, T, X, NOTE, PRINT, PLOT ...	58
4.11	Allgemeines zu Ausdrücken und Funktionen .....	59
4.12	Operationszeichen .....	59
4.13	Funktionen .....	60
4.14	Einem Modellbildner auf der Spur .....	61

4.15	Das Teilmodell der Fuchs-Hasen-Beziehung	61
4.16	Die Gleichgewichtsbedingungen	63
	A u f g a b e 4.1	69
4.17	Hinzunahme der Futterbeziehung Hasen - Gras	70
4.18	Einführung der CLIP-Funktion	75
4.19	Neue Gleichgewichtsbedingungen	77
	A u f g a b e n 4.2 - 4.5	82
5.	<b>Die Sprache DYNAMO</b>	84
5.1	Syntax, Semantik und Pragmatik	84
5.2	Sprache und Meta-Sprache	86
5.3	Syntax-Diagramme	87
5.4	Grundbausteine der DYNAMO-Sprache	91
5.4.1	Zeichensatz	91
5.4.2	Zahlen	91
5.4.3	Namen und Bezeichner	92
5.4.4	Ausdrücke	93
5.5	DYNAMO-Programm und -Gleichungen	97
5.5.1	Allgemeines	97
5.5.2	Die Konstantendefinition (C-Gleichung)	99
5.5.3	Die Tabellendefinition (T-Gleichung)	100
5.5.4	Die Schleifendefinition	100
5.5.5	Die Initialisierungs-Gleichung (N-Gleichung)	101
5.5.6	Die Level-Gleichung (L-Gleichung)	102
5.5.7	Die Rate-Gleichung (R-Gleichung)	102
5.5.8	Die Auxiliary-Gleichung (A-Gleichung)	103
5.5.9	Die Supplementary-Gleichung (S-Gleichung)	103
5.5.10	Die Lauf-Anweisung	104
5.5.11	Die Zusatz-Anweisung	105
5.5.12	Die PRINT-Anweisung	106
5.5.13	Die PLOT-Anweisung	106
5.5.14	Die Makro-Definition	107
5.5.15	Die eingebauten Funktionen	108
	Die Funktion CLIP	109
	Die Verzögerungen	109
	Die Zufallszahlen	110
	Die Funktion PULSE	111
	Die Funktion RAMP	112
	Die Funktion SAMPLE	112
	Die Funktion SMOOTH	113
	Die Funktion STEP	113
	Die Funktion SWITCH	113
	Die Tabellenfunktionen	113
	Interpolation TABLE	113
	Interpolation TABHL	115
	Skalarprodukt SCLPRD	115
	Schiebefunktionen SHIFTC und SHIFTL	116
	Summierung SUM und SUMV	117
	Allgemeines zu Tabellennamen bei Funktionsaufruf	117
	A u f g a b e 5.1	119

<b>6.</b>	<b>Die Dynamik von Wachstum und Zerfall.....</b>	<b>120</b>
6.1	NARAYANAs Kuhherde und FIBONACCIs Kaninchen ..	120
	A u f g a b e 6.1 .....	124
6.2	Kleiner Exkurs über Differentialrechnung .....	125
	A u f g a b e n 6.2 - 6.9 .....	130
6.3	Der Zusammenhang zwischen DYNAMO und Differentialrechnung .....	132
	A u f g a b e 6.10 .....	133
6.4	Kurvendiskussion .....	136
	A u f g a b e n 6.12 - 6.13 .....	137
6.5	Kurvendiskussion des ökologischen Nahrungs- kette-Modells .....	138
	A u f g a b e n 6.14 - 6.15 .....	139
6.6	Verschiedene Wachstumsformen .....	140
6.6.1	Lineares und exponentielles Wachstum .....	142
6.6.2	Positive Rückkopplung .....	145
6.6.3	Die Verdopplungszeit und die Zeitkonstante .....	146
6.6.4	Das hyperbolische Wachstum .....	152
	A u f g a b e 6.16 .....	152
	A u f g a b e 6.17 .....	154
	A u f g a b e 6.18 .....	155
6.6.5	Die weibliche Bevölkerung Amerikas .....	156
6.6.6	Heiratsregeln der Natchez-Indianer .....	160
	A u f g a b e 6.19 .....	163
6.7	Exponentielle Abnahme .....	163
	A u f g a b e 6.20 .....	164
6.8	Gleichzeitige Zu- und Abnahme (am Beispiel der Pharmakokinetik) .....	164
6.9	Kleiner historischer Exkurs anlässlich des Leonardo Fibonacci .....	168
<b>7.</b>	<b>Die Dynamik von Gleichgewicht und Stabilität.....</b>	<b>174</b>
7.1	Kreislauf des Wassers .....	178
	A u f g a b e 7.1 .....	179
7.2	Kreislauf des Jods .....	179
	A u f g a b e 7.2 .....	183
7.3	Wald im Gleichgewicht .....	184
	A u f g a b e 7.3 .....	185
7.4	Simons Modell der sozialen Gruppe .....	185
	A u f g a b e 7.4 .....	194
7.5	Negative Rückkopplung .....	194
	A u f g a b e 7.5 .....	196
7.6	Negativer Rückkopplungskreis mit konstantem Zufluß von außen .....	196
7.7	Die Lernkurve: Stabilität durch Sättigung ...	198
	A u f g a b e 7.6 .....	200
	A u f g a b e 7.7 .....	201
<b>8.</b>	<b>Die Dynamik von Schwingung und Resonanz .....</b>	<b>202</b>
8.1	Die Schwingungsgleichung .....	204
8.2	Elastisches Pendel: Ungedämpfte und gedämpfte Schwingung .....	206
	A u f g a b e 8.1 .....	208

8.3	Das Fadenpendel .....	209
8.4	Die Schaukel .....	210
	A u f g a b e 8.2 .....	211
8.5	Erzwungene Schwingung und Resonanz .....	211
	A u f g a b e 8.3 .....	211
8.6	Gekoppelte Pendel .....	212
	A u f g a b e 8.4 .....	218
8.7	Geschäfts-Zyklen .....	218
	A u f g a b e 8.5 .....	224
<b>9.</b>	<b>Fallstudie Angebot und Nachfrage .....</b>	<b>225</b>
9.1	Lineares Modell .....	226
9.2	Differenzgleichungs-Modell ("Cobweb model") .....	227
9.3	Differentialgleichungs-Modell .....	229
9.4	Lineares stochastisches Modell .....	230
9.5	Nicht-lineares Modell .....	232
	A u f g a b e 9.1 .....	232
<b>10.</b>	<b>Modelle im Zusammenhang .....</b>	<b>233</b>
10.1	Energiefluß im Cedar-Bog-Teich .....	233
	A u f g a b e 10.1 .....	235
10.2	Das Weltmodell von FORRESTER .....	236
<b>11.</b>	<b>DYNAMO für Fortgeschrittene .....</b>	<b>248</b>
11.1	Verwendung von DYNAMO mit benutzereigenen ELAN-Prozeduren .....	248
11.2	Was tun, wenn Fehler auftreten? .....	251
11.3	Fehlermeldungen des DYNAMO-ELAN-Compilers .....	253
	Lösungen .....	254
	Literatur .....	272
	Register .....	278