

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>Danksagungen</b>	<b>6</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>11</b>
1.1 Modellierung und Simulation . . . . .	11
1.2 Arbeiten mit dem Buch . . . . .	12
1.3 Verwendete Programme . . . . .	15
<b>I Signalorientierte Methoden</b>	<b>17</b>
<b>2 Arbeiten mit Blockdiagrammen</b>	<b>19</b>
2.1 Erstellen einfacher Modelle in Simulink . . . . .	19
2.2 Vektorsignale . . . . .	28
2.3 Integration . . . . .	33
2.4 Modellierung mit Xcos . . . . .	38
<b>3 Modellierung kontinuierlicher Systeme</b>	<b>41</b>
3.1 Eindimensionale Systeme . . . . .	41
3.2 Mehrdimensionale Systeme . . . . .	47
3.3 Modellierung mit Xcos . . . . .	57
<b>4 Numerische Integrationsverfahren</b>	<b>59</b>
4.1 Ein einfaches Modell des Integrator-Blocks . . . . .	59
4.2 Das Anfangswertproblem . . . . .	61
4.3 Einfache explizite Verfahren . . . . .	64
4.4 Schrittweitensteuerung . . . . .	68
4.5 Steife Systeme und implizite Verfahren . . . . .	69
4.6 Solver in Matlab und Simulink . . . . .	72
4.7 Solver in Scilab und Xcos . . . . .	73
<b>5 Erstellen eigener Blöcke</b>	<b>75</b>
5.1 Submodelle . . . . .	75
5.2 Maskieren von Submodellen . . . . .	83
5.3 Modellierung mit Xcos . . . . .	89
<b>6 Entwicklung von Bibliotheken</b>	<b>93</b>
6.1 Simulation von Regelkreisen . . . . .	93
6.2 Prinzip der Fuzzy-Regelung . . . . .	101

6.3 Fuzzy-Regler zur Positionierung einer Laufkatze . . . . .	109
6.4 Modellierung mit Xcos . . . . .	113
<b>7 Analysen im Frequenzbereich</b>	<b>115</b>
7.1 Problemstellung . . . . .	115
7.2 Exkurs Fourieranalyse . . . . .	116
7.3 Anwendung im Beispiel . . . . .	122
7.4 Modellierung mit Xcos . . . . .	128
<b>8 Algebraische Schleifen</b>	<b>131</b>
8.1 Schleifen in Modellen . . . . .	131
8.2 Schleifen über Submodelle . . . . .	135
8.3 Differenzialgleichungen mit Nebenbedingungen . . . . .	141
8.4 DAE-Systeme in der Mechanik . . . . .	146
8.5 Modellierung mit Xcos . . . . .	153
<b>9 Diskrete Systeme</b>	<b>157</b>
9.1 Diskrete Entwicklungsgleichungen . . . . .	157
9.2 Endliche Automaten . . . . .	163
9.3 Schaltwerke in der Digitaltechnik . . . . .	167
9.4 Steuerung eines Fahrstuhls . . . . .	172
9.5 Ereignisgesteuerte Systeme . . . . .	178
9.6 Modellierung mit Xcos . . . . .	185
<b>10 Programmierung eigener Blöcke</b>	<b>191</b>
10.1 Grafische Ausgabe . . . . .	191
10.2 Erweiterung der Funktionalität . . . . .	200
10.3 Modellierung mit Xcos . . . . .	206
<b>11 »Hardware-in-the-Loop«-Simulation mit Simulink</b>	<b>209</b>
11.1 Beispielsystem: Magnet-Schwebeanlage MLA 730 . . . . .	209
11.2 HiL-Simulation mit xPC Target . . . . .	211
11.3 Modellierung des MLA 730 . . . . .	216
11.4 Regelung des MLA 730 . . . . .	221
<b>II Objektorientierte Methoden</b>	<b>227</b>
<b>12 System-Dynamics-Diagramme</b>	<b>229</b>
12.1 Einfache Anwendungen mit MapleSim . . . . .	229
12.2 Bevölkerungsmodelle . . . . .	233
12.3 Räuber-Beute-Systeme . . . . .	237
12.4 Das Weltmodell von Forrester . . . . .	243
12.5 Fertigungstechnik . . . . .	247
12.6 Kausalität von System-Dynamics-Diagrammen . . . . .	252
12.7 Modellierung mit OpenModelica . . . . .	253

<b>13 Bondgraphen</b>	<b>257</b>
13.1 Modellierung des Energieflusses . . . . .	257
13.2 Grundlegende Elemente . . . . .	260
13.3 Bondgraphen in der Elektrotechnik . . . . .	265
13.4 Bondgraphen in der Mechanik . . . . .	269
13.5 Bondgraphen in der Hydraulik . . . . .	273
13.6 Kausale Bondgraphen . . . . .	278
13.7 Ableitung der Zustandsgleichungen . . . . .	282
13.8 Modellierung mit OpenModelica . . . . .	286
<b>14 Erste Schritte mit Physikalischer Modellierung</b>	<b>287</b>
14.1 Erstellen von Modellen mit MapleSim . . . . .	287
14.2 Arbeiten mit den Basisbibliotheken . . . . .	292
14.3 Erstellen von Subsystemen . . . . .	299
14.4 Eigene Komponenten mit Modelica . . . . .	302
14.5 Modellierung mit OpenModelica . . . . .	308
<b>15 Simulationsverfahren zur Physikalischen Modellierung</b>	<b>311</b>
15.1 Sortierung der Gleichungen . . . . .	311
15.2 Algebraische Schleifen . . . . .	314
15.3 Strukturell singuläre Systeme . . . . .	318
<b>16 Simulation eines Triebstrangs</b>	<b>323</b>
16.1 Aufbau eines einfachen Fahrzeug-Antriebsstrangs . . . . .	323
16.2 Motormodell als Subsystem . . . . .	327
16.3 Erweiterung der Modelle für Kupplung und Schaltgetriebe . . . . .	330
16.4 Modellierung eines Differenzialgetriebes . . . . .	334
16.5 Systemgrenzen im Modell . . . . .	338
16.6 Beschleunigen auf Höchstgeschwindigkeit . . . . .	342
16.7 Modellierung mit OpenModelica . . . . .	347
<b>17 Mehrkörpersysteme</b>	<b>349</b>
17.1 Pendel . . . . .	349
17.2 Einfacher Roboter . . . . .	355
17.3 Fahrzeug-Federung . . . . .	362
17.4 Trébuchet . . . . .	372
17.5 Modellierung mit OpenModelica . . . . .	375
<b>18 Entwicklung einer Thermodynamik-Bibliothek</b>	<b>377</b>
18.1 Modelle für geschlossene Systeme . . . . .	377
18.2 Modelle für offene Systeme . . . . .	386
18.3 Beschreibung von Medien . . . . .	392
18.4 Modellierung mit OpenModelica . . . . .	400
<b>A Mathematische und physikalische Ergänzungen</b>	<b>403</b>
A.1 Laplace-Transformation . . . . .	403
A.2 Euler-Lagrange-Formalismus . . . . .	404

A.3 Berechnung von Butterworth-Filters . . . . .	407
A.4 Thermodynamische Zustandsgleichungen . . . . .	410
<b>Lösungen der Aufgaben</b>	<b>415</b>
Kapitel 2 . . . . .	415
Kapitel 3 . . . . .	424
Kapitel 4 . . . . .	435
Kapitel 5 . . . . .	441
Kapitel 6 . . . . .	448
Kapitel 7 . . . . .	453
Kapitel 8 . . . . .	465
Kapitel 9 . . . . .	471
Kapitel 10 . . . . .	492
Kapitel 12 . . . . .	504
Kapitel 13 . . . . .	523
Kapitel 14 . . . . .	536
Kapitel 15 . . . . .	554
Kapitel 16 . . . . .	564
Kapitel 17 . . . . .	579
Kapitel 18 . . . . .	594
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>604</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>613</b>
<b>Modellverzeichnis</b>	<b>617</b>
<b>Block- und Funktionsverzeichnis</b>	<b>621</b>