

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	MATLAB Grundlagen	5
2.1	Erste Schritte mit MATLAB	5
2.1.1	Der MATLAB-Desktop	5
2.1.2	Die MATLAB-Hilfe	7
2.1.3	Zuweisungen	8
2.1.4	Mathematische Funktionen und Operatoren	9
2.2	Variablen	9
2.2.1	Datentypen in MATLAB	10
2.2.2	Vektoren und Matrizen	11
2.2.3	Funktionen und Operatoren für Vektoren und Matrizen	13
2.2.4	Strukturen	14
2.2.5	Cell-Arrays	16
2.2.6	Mehrdimensionale Arrays	17
2.2.7	Verwalten von Variablen	18
2.3	Ablaufsteuerung	20
2.3.1	Vergleichsoperatoren und logische Operatoren	20
2.3.2	Verzweigungsbefehle <code>if</code> und <code>switch</code>	22
2.3.3	Schleifenbefehle <code>for</code> und <code>while</code>	22
2.3.4	Abbruchbefehle <code>continue</code> , <code>break</code> und <code>return</code>	23
2.4	Der MATLAB-Editor	24
2.4.1	Der Live Editor	26
2.4.2	Das Comparison Tool	27
2.5	MATLAB-Funktionen	28
2.5.1	Funktionen mit variabler Parameterzahl	29
2.5.2	Lokale, globale und statische Variablen	30
2.5.3	Hilfetext in Funktionen	32
2.5.4	Function Handles	33
2.5.5	Anonymous Functions	33
2.5.6	P-Code und <code>clear functions</code>	34
2.6	Code-Optimierung in MATLAB	34
2.6.1	Der MATLAB-Profiler	34
2.6.2	Optimierung von Rechenzeit und Speicherbedarf	35
2.6.3	Tipps zur Fehlersuche und Fehlervermeidung	37

2.7	Übungsaufgaben	39
2.7.1	Rechengenauigkeit	39
2.7.2	Fibonacci-Folge	39
2.7.3	Funktion gerade	39
2.7.4	Berechnungszeiten ermitteln	40
3	Eingabe und Ausgabe in MATLAB	41
3.1	Steuerung der Bildschirmausgabe	41
3.2	Text in MATLAB (Strings)	42
3.2.1	Datentypen für Strings	42
3.2.2	Verarbeitung von Strings	43
3.3	Benutzerdialoge	45
3.3.1	Eingabedialog	45
3.3.2	Formatierte Ausgabe	46
3.4	Import und Export von Daten	47
3.4.1	Standardformate	47
3.4.2	Formatierte Textdateien und Tabellen	48
3.4.3	Binärdateien	51
3.5	Betriebssystemaufruf und Dateiverwaltung	51
3.6	Grafische Darstellung	52
3.6.1	Die Figure – Grundlage einer MATLAB-Grafik	52
3.6.2	Achsen und Beschriftung	55
3.6.3	Plot-Befehle für zweidimensionale Grafiken (2D-Grafik)	56
3.6.4	Plot-Befehle für dreidimensionale Grafiken (3D-Grafik)	60
3.6.5	Perspektive	61
3.6.6	Importieren, Exportieren und Drucken von Grafiken	63
3.6.7	Tipps rund um die MATLAB-Figure	65
3.7	Grafische Benutzeroberflächen	68
3.7.1	Der App Designer – Layout	68
3.7.2	Der App Designer – Funktionalität	70
3.8	Übungsaufgaben	73
3.8.1	Harmonisches Mittel	73
3.8.2	Einschwingvorgang	73
3.8.3	Gauß-Glocke	73
3.8.4	Spirale und Doppelhelix	74
3.8.5	Funktion geradevek	75
4	Differentialgleichungen in MATLAB	77
4.1	Anfangswertprobleme (ODEs, DAEs und DDEs)	77
4.1.1	Gewöhnliche Differentialgleichungen (ODEs)	77
4.1.2	Differential-algebraische Gleichungen (DAEs)	90
4.1.3	Differentialgleichungen mit Totzeiten (DDEs)	93

4.1.4	Implizite Differentialgleichungen	96
4.2	Randwertprobleme für gewöhnliche Differentialgleichungen	98
4.3	Partielle Differentialgleichungen (PDEs)	104
4.4	Übungsaufgaben.....	107
4.4.1	Feder-Masse-Schwinger	107
4.4.2	Elektrischer Schwingkreis	107
4.4.3	Springender Ball	108
4.4.4	Kettenlinie	109
5	Regelungstechnische Funktionen – Control System Toolbox	111
5.1	Modellierung linearer zeitinvarianter Systeme als LTI-Modelle	111
5.1.1	Übertragungsfunktion – Transfer Function TF	112
5.1.2	Nullstellen-Polstellen-Darstellung – Zero-Pole-Gain ZPK	114
5.1.3	Zustandsdarstellung – State-Space SS	117
5.1.4	Frequenzgang-Daten-Modelle – Frequency Response Data FRD	118
5.1.5	Zeitdiskrete Darstellung von LTI-Modellen	120
5.1.6	Zeitverzögerungen in LTI-Modellen	122
5.2	Arbeiten mit LTI-Modellen	125
5.2.1	Eigenschaften von LTI-Modellen	125
5.2.2	Schnelle Datenabfrage	128
5.2.3	Rangfolge der LTI-Modelle	129
5.2.4	Vererbung von LTI-Modell-Eigenschaften	130
5.2.5	Umwandlung in einen anderen LTI-Modell-Typ	130
5.2.6	Arithmetische Operationen	131
5.2.7	Auswählen, verändern und verknüpfen von LTI-Modellen	133
5.2.8	Spezielle LTI-Modelle	136
5.2.9	Umwandlung zwischen zeitkontinuierlichen und zeitdiskreten Systemen	137
5.3	Analyse von LTI-Modellen	141
5.3.1	Allgemeine Eigenschaften	141
5.3.2	Modell-Dynamik	143
5.3.3	Systemantwort im Zeitbereich	151
5.3.4	Systemantwort im Frequenzbereich	155
5.3.5	Interaktive Modellanalyse: Linear System Analyzer.....	164
5.3.6	Ordnungsreduzierte Darstellung	167
5.3.7	Zustandsbeschreibungsformen	170
5.4	Reglerentwurf	175
5.4.1	Reglerentwurf mittels Wurzelortskurve	175
5.4.2	Reglerentwurf mit dem Control System Designer	179
5.4.3	Zustandsregelung und Zustandsbeobachtung	181
5.4.4	Reglerentwurf mittels Polplatzierung	183
5.4.5	Linear-quadratisch optimale Regelung	187
5.5	Probleme der numerischen Darstellung	194

5.5.1	Fehlerbegriff	194
5.5.2	Kondition eines Problems	195
5.5.3	Numerische Instabilität	196
5.5.4	Bewertung der LTI-Modell-Typen nach numerischen Gesichtspunkten ..	197
5.6	Übungsaufgaben	197
5.6.1	Erstellen von LTI-Modellen	197
5.6.2	Verzögerte Übertragungsglieder	199
5.6.3	Verzögerte Übertragungsglieder zeitdiskretisiert	200
5.6.4	Typumwandlung	201
5.6.5	Stabilitätsanalyse	201
5.6.6	Regelung der stabilen PT_2 -Übertragungsfunktion	203
5.6.7	Regelung der instabilen PT_2 -Übertragungsfunktion	204
5.6.8	Kondition und numerische Instabilität	207
6	Signalverarbeitung – Signal Processing Toolbox	209
6.1	Aufbereitung der Daten im Zeitbereich	209
6.1.1	Interpolation und Approximation	209
6.1.2	Änderung der Abtastrate	212
6.1.3	Weitere Werkzeuge	213
6.2	Spektralanalyse	215
6.2.1	Diskrete Fouriertransformation (DFT)	215
6.2.2	Averaging	217
6.2.3	Fensterung	218
6.2.4	Leistungsspektren	220
6.3	Korrelation	223
6.4	Analoge und Digitale Filter	228
6.4.1	Analoge Filter	228
6.4.2	Digitale FIR-Filter	230
6.4.3	Digitale IIR-Filter	233
6.4.4	Filterentwurf mit Prototyp-Tiefpässen	236
6.5	Übungsaufgaben	240
6.5.1	Interpolation	240
6.5.2	Spektralanalyse	240
6.5.3	Signaltransformation im Frequenzbereich	240
6.5.4	Lecksuche mittels Korrelation	241
6.5.5	Signalanalyse und digitale Filterung	241
6.5.6	Analoger Bandpass	241
6.5.7	Digitaler IIR-Bandpass	242
7	Optimierung – Optimization Toolbox	243
7.1	Anonymous Functions	244
7.2	Algorithmensteuerung	245

7.3	Nullstellenbestimmung	248
7.3.1	Skalare Funktionen	248
7.3.2	Vektorwertige Funktionen / Gleichungssysteme	252
7.4	Minimierung nichtlinearer Funktionen	257
7.5	Minimierung unter Nebenbedingungen	263
7.5.1	Nichtlineare Minimierung unter Nebenbedingungen	264
7.5.2	Quadratische Programmierung	270
7.5.3	Lineare Programmierung	272
7.6	Methode der kleinsten Quadrate (Least Squares)	276
7.7	Optimierung eines Simulink-Modells	283
7.8	Übungsaufgaben	286
7.8.1	Nullstellenbestimmung	286
7.8.2	Lösen von Gleichungssystemen	286
7.8.3	Minimierung ohne Nebenbedingungen	286
7.8.4	Minimierung unter Nebenbedingungen	286
7.8.5	Ausgleichspolynom	287
7.8.6	Curve Fitting	287
7.8.7	Lineare Programmierung	287
8	Simulink Grundlagen	289
8.1	Starten von Simulink	290
8.2	Erstellen und Editieren eines Signalflussplans	296
8.3	Simulations- und Parametersteuerung	299
8.3.1	Interaktive Steuerung	299
8.3.2	Programmatische Steuerung	299
8.4	Signale und Datenobjekte	302
8.4.1	Arbeiten mit Signalen	302
8.4.2	Arbeiten mit Datenobjekten	304
8.4.3	Der <i>Model Explorer</i>	306
8.5	Signalerzeugung und -ausgabe	307
8.5.1	Bibliothek: <i>Sources</i> – Signalerzeugung	307
8.5.2	<i>Sinks</i> – Signalausgabe	315
8.5.3	<i>Signal Logging</i>	322
8.5.4	Der <i>Simulation Data Inspector</i>	325
8.5.5	Der <i>Viewers & Generators Manager</i>	327
8.6	Mathematische Verknüpfungen und Operatoren	329
8.6.1	Bibliothek: <i>Math Operations</i>	329
8.6.2	Bibliothek: <i>Logic and Bit Operations</i>	332
8.7	Simulationsparameter	333
8.7.1	Die <i>Configuration Parameters</i> Dialogbox	334
8.7.2	Numerische Integration von Differentialgleichungen	346

8.7.3	<i>Diagnostic Viewer</i> und <i>Simulink Debugger</i>	350
8.8	Verwaltung und Organisation eines Simulink-Modells.....	352
8.8.1	Arbeiten mit Callbacks	352
8.8.2	Der <i>Model Browser</i>	355
8.8.3	Bibliotheken: <i>Signal Routing</i> und <i>Signal Attributes</i> – Signalführung und -eigenschaften	357
8.8.4	Drucken und Exportieren eines Simulink-Modells.....	361
8.9	Subsysteme und <i>Model Referencing</i>	362
8.9.1	Erstellen von Subsystemen / Bibliothek: <i>Ports & Subsystems</i>	362
8.9.2	Maskierung von Subsystemen und Blöcken	368
8.9.3	Erstellen einer eigenen Blockbibliothek	372
8.9.4	<i>Model Referencing</i>	374
8.10	Übungsaufgaben.....	377
8.10.1	Nichtlineare Differentialgleichungen	377
8.10.2	Gravitationspendel	378
9	Lineare und nichtlineare Systeme in Simulink	383
9.1	Bibliothek: <i>Continuous</i> – Zeitkontinuierliche Systeme	383
9.2	Analyse von Simulationsergebnissen.....	389
9.2.1	Linearisierung mit der <i>linmod</i> -Befehlsfamilie.....	389
9.2.2	Bestimmung eines Gleichgewichtspunkts	395
9.2.3	Linearisierung mit dem Simulink Control Design	396
9.3	Bibliothek: <i>Discontinuities</i> – Nichtlineare Systeme	398
9.4	Bibliothek: <i>Lookup Tables</i> – Nachschlagetabellen	402
9.5	Bibliothek: <i>User-Defined Functions</i> – Benutzer-definierbare Funktionen ..	404
9.5.1	Bibliotheken: <i>Model Verification</i> und <i>Model-Wide Utilities</i> – Prüfblöcke und Modell-Eigenschaften	414
9.6	Algebraische Schleifen	416
9.7	S-Funktionen	417
9.8	Übungsaufgaben.....	425
9.8.1	Modellierung einer Gleichstrom-Nebenschluss-Maschine (GNM)	425
9.8.2	Modellierung einer Pulsweitenmodulation (PWM).....	426
9.8.3	Aufnahme von Bode-Diagrammen	427
10	Abtastsysteme in Simulink	429
10.1	Allgemeines	429
10.2	Bibliothek: <i>Discrete</i> – Zeitdiskrete Systeme.....	431
10.3	Simulationsparameter	434
10.3.1	Rein zeitdiskrete Systeme.....	434
10.3.2	Hybride Systeme (gemischt zeitdiskret und zeitkontinuierlich)	437

10.4	Der <i>Model Discretizer</i>	439
10.5	Übungsaufgaben.....	442
10.5.1	Zeitdiskreter Stromregler für GNM	442
10.5.2	Zeitdiskreter Anti-Windup-Drehzahlregler für GNM.....	443
11	Regelkreise in Simulink	445
11.1	Die Gleichstrom-Nebenschluss-Maschine GNM	445
11.1.1	Initialisierung der Maschinendaten	446
11.1.2	Simulink-Modell	447
11.2	Untersuchung der Systemeigenschaften	449
11.2.1	Untersuchung mit Simulink	449
11.2.2	Untersuchung des linearisierten Modells mit MATLAB und der Control System Toolbox	450
11.2.3	Interaktive Untersuchung eines Modells mit dem Simulink Linear Analysis Tool	452
11.3	Kaskadenregelung	455
11.3.1	Stromregelung	455
11.3.2	Drehzahlregelung	457
11.4	Zustandsbeobachter	460
11.4.1	Luenberger-Beobachter	462
11.4.2	Störgrößen-Beobachter	463
11.5	Zustandsregelung mit Zustandsbeobachter	465
11.6	Initialisierungsdateien	469
11.6.1	Gleichstrom-Nebenschluss-Maschine	469
11.6.2	Stromregelung	469
11.6.3	Drehzahlregelung	470
11.6.4	Grundeinstellung Zustandsbeobachter	470
11.6.5	Zustandsbeobachtung mit Luenberger-Beobachter	471
11.6.6	Zustandsbeobachtung mit Störgrößen-Beobachter	471
11.6.7	Zustandsregelung mit Zustandsbeobachter	472
11.6.8	Zustandsregelung mit Luenberger-Beobachter	472
11.6.9	Zustandsregelung mit Störgrößen-Beobachter.....	473
11.7	Übungsaufgaben.....	474
11.7.1	Zustandsdarstellung GNM	474
11.7.2	Systemanalyse.....	474
11.7.3	Entwurf eines Kalman-Filters	475
11.7.4	Entwurf eines LQ-optimierten Zustandsreglers	475
12	Stateflow	477
12.1	Elemente von Stateflow	478
12.1.1	Grafische Elemente eines Charts	481
12.1.2	Chart-Eigenschaften und Trigger-Methoden	490

12.1.3	Nichtgrafische Elemente eines Charts	492
12.2	Strukturierung und Hierarchiebildung	497
12.2.1	Superstates	497
12.2.2	Subcharts	502
12.2.3	Grafische Funktionen	504
12.2.4	Truth Tables	506
12.2.5	MATLAB Functions in Stateflow Charts	510
12.2.6	Simulink Functions in Stateflow	511
12.2.7	Simulink States in Stateflow	512
12.2.8	State Transition Tables	513
12.3	Action Language	515
12.3.1	Numerische Operatoren	515
12.3.2	Logische Operatoren	515
12.3.3	Unäre Operatoren und Zuweisungsaktionen	515
12.3.4	Detektion von Wertänderungen	516
12.3.5	Datentyp-Umwandlungen	518
12.3.6	Aufruf von MATLAB-Funktionen und Zugriff auf den Workspace	518
12.3.7	Variablen und Events in Action Language	520
12.3.8	Temporallogik-Operatoren	522
12.4	Anwendungsbeispiel: Getränkeautomat	523
12.5	Anwendungsbeispiel: Steuerung eines Heizgebläses	525
12.6	Anwendungsbeispiel: Springender Ball	528
12.7	Übungsaufgaben	530
12.7.1	Mikrowellenherd	530
12.7.2	Zweipunkt-Regelung	531
Symbolverzeichnis		533
Literaturverzeichnis		537
Index		541