

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	9
2.2.2	Vektoren und Matrizen	10
2.2.3	Mathematische Funktionen und Operatoren für Vektoren und Matrizen	12
2.2.4	Strukturen	14
2.2.5	Cell Arrays	15
2.2.6	Verwalten von Variablen	16
2.3	Ablaufsteuerung	17
2.3.1	Vergleichsoperatoren und logische Operatoren	17
2.3.2	Verzweigungsbefehle <code>if</code> und <code>switch</code>	19
2.3.3	Schleifenbefehle <code>for</code> und <code>while</code>	20
2.3.4	Abbruchbefehle <code>continue</code> , <code>break</code> und <code>return</code>	20
2.4	Der MATLAB-Editor	21
2.5	MATLAB-Funktionen	24
2.5.1	Funktionen mit variabler Parameterzahl	25
2.5.2	Lokale, globale und statische Variablen	26
2.5.3	Hilfetext in Funktionen	27
2.5.4	Function Handles	28
2.5.5	Funktionen als Inline Object	28
2.5.6	P-Code und <code>clear functions</code>	29
2.6	Code-Optimierung in MATLAB	29
2.6.1	Der MATLAB-Profiler	29
2.6.2	Optimierung von Rechenzeit und Speicherbedarf	30
2.6.3	Tipps zur Fehlersuche	31
2.7	Übungsaufgaben	33
2.7.1	Rechengenauigkeit	33
2.7.2	Fibonacci-Folge	33

2.7.3	Funktion <code>gerade</code>	33
2.7.4	Berechnungszeiten ermitteln	34
3	Eingabe und Ausgabe in MATLAB	35
3.1	Steuerung der Bildschirmausgabe	35
3.2	Benutzerdialoge	36
3.2.1	Text in MATLAB (Strings)	36
3.2.2	Eingabedialog	37
3.2.3	Formatierte Ausgabe	37
3.3	Import und Export von Daten	38
3.3.1	Standardformate	38
3.3.2	Formatierte Textdateien	39
3.3.3	Binärdateien	41
3.4	Betriebssystemaufruf und Dateiverwaltung	42
3.5	Grafische Darstellung	43
3.5.1	Die Figure – Grundlage einer MATLAB-Grafik	43
3.5.2	Achsen und Beschriftung	45
3.5.3	Plot-Befehle für zweidimensionale Grafiken (2D-Grafik)	46
3.5.4	Plot-Befehle für dreidimensionale Grafiken (3D-Grafik)	50
3.5.5	Perspektive	51
3.5.6	Importieren, Exportieren und Drucken von Grafiken	53
3.6	Grafische Benutzeroberfläche (GUI)	54
3.6.1	GUI-Layout	55
3.6.2	GUI-Funktionalität	58
3.6.3	GUI ausführen und exportieren	60
3.6.4	Aufbau des Application-M-File	61
3.7	Tipps rund um die MATLAB-Figure	63
3.8	Übungsaufgaben	66
3.8.1	Harmonisches Mittel	66
3.8.2	Einschwingvorgang	66
3.8.3	Gauß-Glocke	66
3.8.4	Spirale und Doppelhelix	67
3.8.5	Funktion <code>geradevek</code>	68
4	Differentialgleichungen in MATLAB	69
4.1	Anfangswertprobleme (ODEs, DAEs und DDEs)	69
4.1.1	Gewöhnliche Differentialgleichungen (ODEs)	69
4.1.2	Differential-algebraische Gleichungen (DAEs)	82
4.1.3	Differentialgleichungen mit Totzeiten (DDEs)	85
4.1.4	Implizite Differentialgleichungen	88
4.2	Randwertprobleme für gewöhnliche Differentialgleichungen	90

4.3	Partielle Differentialgleichungen (PDEs)	96
4.4	Übungsaufgaben	100
4.4.1	Feder-Masse-Schwinger	100
4.4.2	Elektrischer Schwingkreis	100
4.4.3	Springender Ball	101
4.4.4	Kettenlinie	101
5	Regelungstechnische Funktionen – Control System Toolbox	103
5.1	Modellierung linearer zeitinvarianter Systeme als LTI-Modelle	103
5.1.1	Übertragungsfunktion – Transfer Function TF	104
5.1.2	Nullstellen-Polstellen-Darstellung – Zero-Pole-Gain ZPK	106
5.1.3	Zustandsdarstellung – State-Space SS	109
5.1.4	Frequenzgang-Daten-Modelle – Frequency Response Data FRD	110
5.1.5	Zeitdiskrete Darstellung von LTI-Modellen	112
5.1.6	Zeitverzögerungen in LTI-Modellen	114
5.2	Arbeiten mit LTI-Modellen	117
5.2.1	Eigenschaften von LTI-Modellen	117
5.2.2	Schnelle Datenabfrage	120
5.2.3	Rangfolge der LTI-Modelle	121
5.2.4	Vererbung von LTI-Modell-Eigenschaften	122
5.2.5	Umwandlung in einen anderen LTI-Modell-Typ	122
5.2.6	Arithmetische Operationen	123
5.2.7	Auswählen, verändern und verknüpfen von LTI-Modellen	125
5.2.8	Spezielle LTI-Modelle	128
5.2.9	Umwandlung zwischen zeitkontinuierlichen und zeitdiskreten Systemen	129
5.3	Analyse von LTI-Modellen	133
5.3.1	Allgemeine Eigenschaften	133
5.3.2	Modell-Dynamik	135
5.3.3	Systemantwort im Zeitbereich	143
5.3.4	Systemantwort im Frequenzbereich	147
5.3.5	Interaktive Modellanalyse mit dem LTI-Viewer	156
5.3.6	Ordnungsreduzierte Darstellung	159
5.3.7	Zustandsbeschreibungsformen	162
5.4	Reglerentwurf	167
5.4.1	Reglerentwurf mittels Wurzelortskurve	167
5.4.2	Reglerentwurf mit dem Control and Estimation Tools Manager und dem SISO Design Tool	171
5.4.3	Zustandsregelung und Zustandsbeobachtung	173
5.4.4	Reglerentwurf mittels Polplatzierung	175
5.4.5	Linear-quadratisch optimale Regelung	179
5.5	Probleme der numerischen Darstellung	186
5.5.1	Fehlerbegriff	186
5.5.2	Kondition eines Problems	187

5.5.3	Numerische Instabilität	188
5.5.4	Bewertung der LTI-Modell-Typen nach numerischen Gesichtspunkten ..	189
5.6	Übungsaufgaben	189
5.6.1	Erstellen von LTI-Modellen	189
5.6.2	Verzögerte Übertragungsglieder	191
5.6.3	Verzögerte Übertragungsglieder zeitdiskretisiert	192
5.6.4	Typumwandlung	193
5.6.5	Stabilitätsanalyse	193
5.6.6	Regelung der stabilen PT_2 -Übertragungsfunktion	195
5.6.7	Regelung der instabilen PT_2 -Übertragungsfunktion	196
5.6.8	Kondition und numerische Instabilität	199
6	Signalverarbeitung – Signal Processing Toolbox	201
6.1	Aufbereitung der Daten im Zeitbereich	201
6.1.1	Interpolation und Approximation	201
6.1.2	Änderung der Abtastrate	204
6.1.3	Weitere Werkzeuge	205
6.2	Spektralanalyse	207
6.2.1	Diskrete Fouriertransformation (DFT)	207
6.2.2	Averaging	209
6.2.3	Fensterung	209
6.2.4	Leistungsspektren	212
6.3	Korrelation	214
6.4	Analoge und Digitale Filter	219
6.4.1	Analoge Filter	219
6.4.2	Digitale FIR-Filter	221
6.4.3	Digitale IIR-Filter	223
6.4.4	Filterentwurf mit Prototyp-Tiefpässen	226
6.5	Übungsaufgaben	229
6.5.1	Signaltransformation im Frequenzbereich	229
6.5.2	Signalanalyse und digitale Filterung	229
6.5.3	Analoger Bandpass	230
6.5.4	Digitaler IIR-Bandpass	230
7	Optimierung – Optimization Toolbox	231
7.1	Inline Objects	232
7.2	Algorithmensteuerung	233
7.3	Nullstellenbestimmung	236
7.3.1	Skalare Funktionen	236
7.3.2	Vektorwertige Funktionen / Gleichungssysteme	240
7.4	Minimierung nichtlinearer Funktionen	245
7.5	Minimierung unter Nebenbedingungen	251

7.5.1	Nichtlineare Minimierung unter Nebenbedingungen	251
7.5.2	Quadratische Programmierung.....	257
7.5.3	Lineare Programmierung	260
7.6	Methode der kleinsten Quadrate (Least Squares).....	264
7.7	Optimierung eines Simulink-Modells	271
7.8	Übungsaufgaben.....	274
7.8.1	Nullstellenbestimmung	274
7.8.2	Lösen von Gleichungssystemen.....	274
7.8.3	Minimierung ohne Nebenbedingungen.....	274
7.8.4	Minimierung unter Nebenbedingungen	274
7.8.5	Ausgleichspolynom	275
7.8.6	Curve Fitting	275
7.8.7	Lineare Programmierung	275
8	Simulink Grundlagen	277
8.1	Starten von Simulink	277
8.2	Erstellen und Editieren eines Signalfussplans	281
8.3	Simulations- und Parametersteuerung.....	283
8.4	Signale und Datenobjekte	284
8.4.1	Arbeiten mit Signalen	284
8.4.2	Arbeiten mit Datenobjekten	286
8.4.3	Der <i>Model Explorer</i>	288
8.5	Signalerzeugung und -ausgabe	289
8.5.1	Bibliothek: <i>Sources</i> – Signalerzeugung.....	289
8.5.2	Bibliothek: <i>Sinks</i> , <i>Signal Logging</i> und der <i>Simulation Data Inspector</i>	295
8.5.3	Der <i>Signal & Scope Manager</i>	304
8.6	Mathematische Verknüpfungen und Operatoren	305
8.6.1	Bibliothek: <i>Math Operations</i>	305
8.6.2	Bibliothek: <i>Logic and Bit Operations</i>	308
8.7	Simulationsparameter	309
8.7.1	Die <i>Configuration Parameters</i> Dialogbox.....	309
8.7.2	Fehlerbehandlung und Simulink Debugger	324
8.8	Verwaltung und Organisation eines Simulink-Modells.....	326
8.8.1	Arbeiten mit Callback Funktionen	326
8.8.2	Der <i>Model Browser</i>	329
8.8.3	Bibliotheken: <i>Signal Routing</i> und <i>Signal Attributes</i> – Signalführung und -eigenschaften	330
8.8.4	Drucken und Exportieren eines Simulink-Modells.....	334
8.9	Subsysteme und <i>Model Referencing</i>	335
8.9.1	Erstellen von Subsystemen / Bibliothek: <i>Ports & Subsystems</i>	335
8.9.2	Maskierung von Subsystemen	340

8.9.3	Erstellen einer eigenen Blockbibliothek	343
8.9.4	<i>Model Referencing</i>	345
8.10	Übungsaufgaben	348
8.10.1	Nichtlineare Differentialgleichungen	348
8.10.2	Gravitationspendel	349
9	Lineare und nichtlineare Systeme in Simulink	353
9.1	Bibliothek: <i>Continuous</i> – Zeitkontinuierliche Systeme	353
9.2	Analyse von Simulationsergebnissen	359
9.2.1	Linearisierung mit der <i>linmod</i> -Befehlsfamilie	359
9.2.2	Bestimmung eines Gleichgewichtspunkts	364
9.2.3	Linearisierung mit dem Simulink Control Design	365
9.3	Bibliothek: <i>Discontinuities</i> – Nichtlineare Systeme	368
9.4	Bibliothek: <i>Lookup Tables</i> – Nachschlagetabellen	372
9.5	Bibliothek: <i>User-Defined Functions</i> – Benutzer-definierbare Funktionen ..	374
9.5.1	Bibliotheken: <i>Model Verification</i> und <i>Model-Wide Utilities</i> – Prüfböcke und Modell-Eigenschaften	378
9.6	Algebraische Schleifen	379
9.7	S-Funktionen	380
9.8	Übungsaufgaben	388
9.8.1	Modellierung einer Gleichstrom-Nebenschluss-Maschine (GNM)	388
9.8.2	Modellierung einer Pulsweitenmodulation (PWM)	388
9.8.3	Aufnahme von Bode-Diagrammen	390
10	Abtastsysteme in Simulink	393
10.1	Allgemeines	393
10.2	Bibliothek: <i>Discrete</i> – Zeitdiskrete Systeme	394
10.3	Simulationsparameter	397
10.3.1	Rein zeitdiskrete Systeme	398
10.3.2	Hybride Systeme (gemischt zeitdiskret und zeitkontinuierlich)	399
10.4	Der <i>Model Discretizer</i>	402
10.5	Übungsaufgaben	405
10.5.1	Zeitdiskreter Stromregler für GNM	405
10.5.2	Zeitdiskreter Anti-Windup-Drehzahlregler für GNM	405
11	Regelkreise in Simulink	409
11.1	Die Gleichstrom-Nebenschluss-Maschine GNM	409
11.1.1	Initialisierung der Maschinendaten	410
11.1.2	Simulink-Modell	411

11.2	Untersuchung der Systemeigenschaften	413
11.2.1	Untersuchung mit Simulink	413
11.2.2	Untersuchung des linearisierten Modells mit MATLAB und der Control System Toolbox	414
11.2.3	Interaktive Untersuchung eines Modells mit Simulink Control Design ...	416
11.3	Kaskadenregelung	419
11.3.1	Stromregelung	419
11.3.2	Drehzahlregelung	421
11.4	Zustandsbeobachter	424
11.4.1	Luenberger-Beobachter	426
11.4.2	Störgrößen-Beobachter	427
11.5	Zustandsregelung mit Zustandsbeobachter	429
11.6	Initialisierungsdateien	433
11.6.1	Gleichstrom-Nebenschluss-Maschine	433
11.6.2	Stromregelung	433
11.6.3	Drehzahlregelung	434
11.6.4	Grundeinstellung Zustandsbeobachter	434
11.6.5	Zustandsbeobachtung mit Luenberger-Beobachter	435
11.6.6	Zustandsbeobachtung mit Störgrößen-Beobachter	435
11.6.7	Zustandsregelung mit Zustandsbeobachter	436
11.6.8	Zustandsregelung mit Luenberger-Beobachter	436
11.6.9	Zustandsregelung mit Störgrößen-Beobachter	437
11.7	Übungsaufgaben	438
11.7.1	Zustandsdarstellung GNM	438
11.7.2	Systemanalyse	438
11.7.3	Entwurf eines Kalman-Filters	439
11.7.4	Entwurf eines LQ-optimierten Zustandsreglers	439
12	Stateflow	441
12.1	Elemente von Stateflow	442
12.1.1	Grafische Elemente eines Charts	444
12.1.2	Chart-Eigenschaften und Trigger-Methoden	454
12.1.3	Nichtgrafische Elemente eines Charts	456
12.2	Strukturierung und Hierarchiebildung	461
12.2.1	Superstates	461
12.2.2	Subcharts	466
12.2.3	Grafische Funktionen	468
12.2.4	Truth Tables	470
12.2.5	MATLAB Functions in Stateflow Charts	473
12.2.6	Simulink Functions in Stateflow	475
12.3	Action Language	476
12.3.1	Numerische Operatoren	476
12.3.2	Logische Operatoren	476

12.3.3	Unäre Operatoren und Zuweisungsaktionen	476
12.3.4	Detektion von Wertänderungen	477
12.3.5	Datentyp-Umwandlungen	478
12.3.6	Aufruf von MATLAB-Funktionen und Zugriff auf den Workspace	479
12.3.7	Variablen und Events in Action Language	481
12.3.8	Temporallogik-Operatoren	483
12.4	Anwendungsbeispiel: Getränkeautomat	484
12.5	Anwendungsbeispiel: Steuerung eines Heizgebläses	486
12.6	Anwendungsbeispiel: Springender Ball	489
12.7	Übungsaufgaben	491
12.7.1	Mikrowellenherd	491
12.7.2	Zweipunkt-Regelung	492
Symbolverzeichnis		493
Literaturverzeichnis		497
Index		501