

Leseprobe

Angelika Bosl

Einführung in MATLAB/Simulink

Berechnung, Programmierung, Simulation

ISBN (Buch): 978-3-446-44269-6

ISBN (E-Book): 978-3-446-44770-7

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44269-6>

sowie im Buchhandel.

Vorwort

MATLAB/SIMULINK ist ein äußerst leistungsfähiges interaktives Programmpaket für vorwiegend numerische Berechnungen im Ingenieurbereich. Diese Software ist weltweit verbreitet und in Fachkreisen bekannt für die Berechnung, Modellierung und Simulation technischer Systeme, sowohl an den Hochschulen als auch in der Industrie.

Hinter MATLAB verbirgt sich ein sehr umfangreiches Softwarepaket, gebündelt aus verschiedenen so genannten „Toolboxen“, Werkzeugen, die jeweils bestimmte Bereiche der Ingenieurwissenschaften abdecken. Die bekannteste Toolbox dürfte SIMULINK sein, ein unschlagbares Werkzeug zur grafischen Simulation technischer Abläufe und mathematischer Modelle. Weitere Toolboxen sind zum Beispiel die „Control System Toolbox“ mit spezifischen Befehlen für regelungstechnische Aufgaben oder die „Signal Processing Toolbox“ zur Signaldatenverarbeitung.

Des Weiteren gibt es für Toolboxen zu Berechnungen im Finanzwesen genauso wie in der Biologie, Messtechnik und Datenerfassung, Bilddatenverarbeitung und viele mehr. Eine aktuelle Liste ist auf der Homepage von MathWorks, dem Herausgeber von MATLAB unter www.mathworks.de zu finden.

Wie viele umfangreiche Softwarepakete, kann auch MATLAB den unerfahrenen Benutzer bei den ersten Versuchen, die Software zu bedienen, regelrecht „erschlagen“. Die zugehörige Hilfe und ein Großteil der Fachliteratur sind auf Englisch und sehr spezialisiert in verschiedenen Bereichen. Das erklärte Ziel der vorliegenden Einführung in MATLAB/SIMULINK ist es deshalb, den Leser mit einer anschaulichen Anleitung, hilfreichen Hinweisen und Tipps für die Anwendung sowie mit praxisnahen Beispielen zu unterstützen.

Dem Erstbenutzer von MATLAB soll der Einstieg in die Software erleichtert werden, damit kein Frust beim ersten Programmstart aufkommt, sondern sofort erfolgreich mit der Bedienung der Software gestartet werden kann. Jeder sollte gleich in der Lage sein, sich auf dem Startbildschirm zu orientieren, verschiedene Befehle auszuführen und einfache Aufgaben zu lösen. Das Buch will ermutigen, sich näher mit der Software auseinanderzusetzen, und so ein erfolgreiches Arbeiten gewährleisten.

Dieses Lehrbuch kann und will nur eine Einführung sein, die zwar die wichtigsten, aber natürlich nicht alle Aspekte berücksichtigen kann. Die Syntax der Befehle, Grundlagen zum Verständnis von MATLAB und bestimmter Toolboxen sollen Hilfe zur Selbsthilfe geben, sodass auch spezifische eigene Aufgaben anschließend deutlich leichter in Eigenregie erarbeitet und gelöst werden können.

Weiterführende Literatur, auch für spezielle Fachgebiete, wird dem Interessierten, der die Anfänge hinter sich lassen und in die Tiefe einsteigen möchte, empfohlen, zum Beispiel der „Einstieg in das Programmieren mit MATLAB“ des Hanser Verlags¹.

¹ Ulrich Stein: Einstieg in das Programmieren mit MATLAB, Hanser Verlag, 2009

Bevor es richtig losgeht, möchte ich mich bei allen ganz herzlich bedanken, die zum Entstehen dieses Buches beigetragen haben:

- Herrn Prof. Dipl.-Math. Wolfgang Georgi, durch dessen Buch „Einführung in LabVIEW“ des Hanser Verlags erst die Idee zu dieser MATLAB Einführung entstand und der mir immer mit Rat und Tat behilflich war.
- Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Adermann dafür, dass ich in seinem Labor „Regelungstechnik“ an der Hochschule Ravensburg-Weingarten MATLAB/SIMULINK kennenlernen und mich intensiv damit auseinandersetzen konnte. Seiner Vorlesung und den dazugehörigen praktischen Übungen ist das Kapitel zur Regelungstechnik zu verdanken.
- Herrn Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Reich für das Korrekturlesen des Manuskripts und seine guten Ratschläge und Nachfragen den Inhalt und Formulierungen betreffend.
- Allen meinen Freunden, die mich unermüdlich ermuntert haben, die Arbeit nicht aufzugeben und ihr Mitgefühl bezeugt haben.
- Und schließlich dem Hanser Fachbuchverlag Leipzig, im Besonderen Frau Werner, Herrn Feuchte und Frau Kaufmann, die viel Geduld mit mir bewiesen haben.

Baienfurt, Mai 2012

A. Bosl

■ Vorwort zur zweiten Auflage

Eine Software, die immer auf dem gleichen Stand bleibt, taugt nichts. Software muss sich ändern, muss neuen Gegebenheiten angepasst werden, muss sich weiter entwickeln. MATLAB/SIMULINK hat sich verändert. Seit der ersten Auflage, die noch auf MATLAB R2009a basiert, sind zur jetzigen Version MATLAB R2016a erhebliche Änderungen zu erkennen. Am Auffälligsten ist natürlich das äußere Erscheinungsbild. Sobald man sich näher mit den Funktionen und den einzelnen Toolboxen befasst, stellt man jedoch schnell fest, dass auch die Funktionalität erweitert und die Möglichkeiten noch umfangreicher wurden. Nicht ganz verständlich sind geringfügige Änderungen, wie andere Fehlermeldungen beim Eingeben eines falschen Befehls, die aber vermutlich vor allem denjenigen auffallen, die einen Text auf Änderungen überarbeiten müssen.

Eine erhebliche Änderung betrifft sogar die ursprüngliche Beschreibung von MATLAB/SIMULINK als „äußerst leistungsfähiges interaktives Programmpaket für numerische Berechnungen im Ingenieurbereich“. Wie dem aufmerksamen Leser vielleicht aufgefallen ist, wurde dieser erste Satz des Vorworts durch ein „vorwiegend“ ergänzt. Mit der „*Symbolic Math Toolbox*“ wurden die Toolboxen durch ein Werkzeug ergänzt, mit dem mathematische Gleichungen nicht numerisch, sondern analytisch gelöst, verändert und dargestellt werden können. MATLAB verwendet dafür den Begriff „symbolisch“ und die Bedeutung der „*Symbolic Math Toolbox*“ und ihre Möglichkeiten können leicht unterschätzt werden: MATLAB ist kein rein numerisches Programmpaket mehr!

Ein wenig vermisse ich den sehr einprägsamen Begriff „*M-File*“ für MATLAB-Programme, der aber vermutlich mit Absetzen der Fernsehserie „*X-Akten*“ (engl. „*X Files*“) ebenfalls sein Ende

find. Dafür wurde der Editor für MATLAB-Code (nicht mehr „*M-File Editor*“) in seiner Funktionalität erweitert.

Den Dankesworten der 1. Auflage möchte ich meinen herzlichen Dank an Frau Jacob vom Carl Hanser Verlag hinzufügen, die sehr viel Geduld mit mir aufbringen musste, bis ich die überarbeitete 2. Auflage schließlich fertig hatte.

Ich möchte dieses Buch meinem Vater Alexander Bosl widmen, der während der letzten Arbeiten an der zweiten Auflage, im März 2017 gestorben ist. Meinem Vater verdanke ich die Zuversicht in die eigenen Fähigkeiten, egal ob es darum geht, sich in eine mathematische Software einzuarbeiten oder ein Buch darüber zu schreiben.

Baienfurt, April 2017

A. Bosl

Inhalt

1	Einleitung	15
1.1	Warum MATLAB/SIMULINK?	15
1.2	MATLAB-/SIMULINK-Versionen	16
1.3	Installation der Software	18
2	Start der Arbeit mit MATLAB	21
2.1	Grundlagen zum MATLAB-Desktop	21
2.2	MATLAB-Fenster	23
2.2.1	„Command Window“, das Befehlsfenster	23
2.2.2	„Current Directory“, das aktuelle Arbeitsverzeichnis	24
2.2.3	„Workspace“, der Arbeitsbereich oder Arbeitsspeicher	25
2.2.4	„Command History“, die Chronik der Befehle	29
2.3	Funktionen der Menüleiste („ <i>Toolstrip</i> “)	31
2.4	MATLAB-Hilfe und Beschreibungen der Befehle	37
3	Zahlen, Vektoren und Matrizen	46
3.1	Darstellung von Zahlen	46
3.2	Umrechnung von Zahlen	48
3.3	Definition von Variablen als Skalare, Vektoren oder Matrizen	52
3.3.1	Definieren von Variablen	52
3.3.2	Spalten- und Zeilenvektoren	53
3.3.3	Matrizen Werte zuordnen	55
3.3.4	Spezielle Matrizen	58
3.3.5	Größe eines Vektors oder einer Matrix	64
3.3.6	Maximal- und Minimalwerte bestimmen	65
3.3.7	Statistische Charakteristika bestimmen	66
4	Mathematische Berechnungen mit MATLAB	70
4.1	Grundrechenarten	70
4.2	Elementare mathematische Funktionen	74
4.3	Trigonometrische Funktionen	76

4.4	Relationale Operatoren	77
4.5	Logische Operatoren	78
4.6	Besonderheiten beim Rechnen mit Vektoren und Matrizen	82
4.6.1	Vektoraddition und -subtraktion	83
4.6.2	Transponieren einer Matrix oder eines Vektors	83
4.6.3	Invertieren einer quadratischen Matrix	84
4.6.4	Rang einer Matrix mit rank	85
4.6.5	Determinante einer quadratischen Matrix	86
4.6.6	Matrixmultiplikation	88
4.6.7	Multiplikation einer Matrix mit einem Skalar	90
4.6.8	Potenzieren einer Matrix	92
4.6.9	Vektor-Matrix-Produkt	92
4.6.10	Linke Matrixdivision (engl. „backslash division“)	93
4.6.11	Rechte Matrixdivision (engl. „slash division“)	94
4.7	Spezielle Matrixmanipulationen	94
4.7.1	Spezielle mathematische Befehle für Matrizen	94
4.7.2	Spezielle Teilbereiche einer Matrix extrahieren	95
4.8	Feldoperationen: Elementweise Verknüpfung von Vektoren	97
4.8.1	Elementweise Multiplikation (engl. „array multiply“)	97
4.8.2	Elementweise Division	98
4.8.3	Elementweises Potenzieren	99

5 Grafische Darstellungen von Funktionen 101

5.1	Einfache Grafiken und Diagramme mit plot	101
5.2	Grafikeigenschaften – „Figure Properties“	103
5.2.1	Farbpaletten auswählen mit colormap	103
5.2.2	„Figure Properties“ über die Befehlszeile definieren	103
5.2.3	„Properties“ über die Menüleiste im Grafikenster bestimmen	108
5.2.4	Grafikeigenschaften („Properties“) mit dem „Property Editor“ verändern	115
5.3	Mehrere Diagramme in einem Grafikenster	117
5.3.1	Mehrere Kurven oder Diagrammtypen in einem Diagramm mit hold ...	118
5.3.2	Unterdigramme in einem Grafikenster mit subplot	118
5.4	Grafiktypen im zweidimensionalen Bereich	119
5.5	Grafiktypen im dreidimensionalen Bereich	130
5.6	Grafiken erzeugen über den Tab „PLOTS“ der Titelleiste	140

6	Programmieren in MATLAB	144
6.1	Editor	144
6.2	Varianten der Programmiervorlagen	153
6.3	„Script“ – Einfache Befehlsfolgen	154
6.4	Kontrollstrukturen für die komplexere Programmierung	156
6.4.1	for-Schleife.....	157
6.4.2	while-Schleife.....	159
6.4.3	if-elseif-else-Verzweigung	161
6.4.4	switch-case-otherwise-Verzweigung	163
6.4.5	try-catch-Fehlerkontrolle	165
6.4.6	Weitere Befehle, die den Programmablauf beeinflussen	166
6.5	Nützliche Befehle für die Programmierung unter MATLAB	169
6.6	„Function“ – Funktionen in MATLAB.....	174
6.6.1	Kopfzeile einer Funktion (Syntax)	174
6.6.2	Aufbau einer Funktion	175
6.6.3	Verschachtelte Funktionen	176
6.7	„Class“ – Objektklassen in MATLAB.....	177
7	„Control System Toolbox“ –	
	Alles was man für die Regelungstechnik braucht	179
7.1	Eingabe der Übertragungsfunktion G_s eines Regelkreises	180
7.1.1	Befehl <code>tf</code>	180
7.1.2	Befehl <code>conv</code> zur Polynommultiplikation	181
7.2	Zusammenschaltung von Modellen (Signalflussplan-Algebra)	182
7.2.1	Reihen-, Serien- oder Kettenschaltung	182
7.2.2	Parallelschaltung	183
7.2.3	Übertragungsfunktion mithilfe der Laplace-Variablen s	185
7.2.4	Polform einer Übertragungsfunktion mit <code>zpk</code>	186
7.2.5	Befehl <code>feedback</code> zur Berechnung des geschlossenen Regelkreises – Führungsübertragungsfunktion	187
7.3	Grafische Darstellungsmöglichkeiten für Übertragungsfunktionen	188
7.3.1	Impulsantwort (Gewichtsfunktion) mit <code>impz</code>	189
7.3.2	Sprungantwort (Übergangsfunktion) mit <code>step</code>	191
7.3.3	Bode-Diagramm (Frequenzgang) mit <code>bode</code>	194
7.3.4	Nyquist-Ortskurve mit <code>nyquist</code>	196
7.3.5	Nichols-Ortskurve mit <code>nichols</code>	198
7.3.6	Pol- und Nullstellendiagramm mit <code>pzmap</code>	199
7.3.7	Wurzelortskurve (WOK) mit <code>rlocus</code>	201

7.4	Charakteristika einer Übertragungsfunktion	202
7.4.1	Befehl <code>po1e</code> zur Berechnung der Pole einer Übertragungsfunktion	202
7.4.2	Befehle <code>tzero</code> (engl. transmission zeros) und <code>zero</code> zur Berechnung der Nullstellen	203
7.4.3	Befehl <code>get</code> zur Ausgabe der Eigenschaften einer Übertragungsfunktion	203
7.4.4	Befehl <code>set</code> zum Setzen von Eigenschaften einer Übertragungsfunktion	207
7.4.5	Befehl <code>margin</code>	211
7.5	Einfacher Reglerentwurf mit MATLAB	213
7.5.1	Bestimmung des Verstärkungsfaktors K_V mit dem Bode-Diagramm	216
7.5.2	Bestimmung des Regel- oder Verstärkungsfaktors K_V mithilfe der Wurzelortskurve (WOK)	228
7.5.3	„Control System Designer“ zum Reglerentwurf – <code>sisotool</code>	231
7.5.3.1	Tab „Control System“	232
7.5.3.2	Tab „ROOT LOCUS EDITOR“, „BODE EDITOR“ bzw. „NICHOLS EDITOR“	232
7.5.3.3	Tab „VIEW“	235
7.5.3.4	„Graphical Tuning“ – Grafische Methoden zur Regleroptimierung	235
7.5.3.5	„Automated Tuning“ – Automatisierte Regleroptimierung anhand vorgegebener Parameter	248

8	Einführung in die SIMULINK-Toolbox	252
8.1	Erste Schritte in SIMULINK	252
8.2	Wichtige Funktionen in der Menüleiste einer SIMULINK-Simulation	258
8.2.1	Menüpunkt „File“	259
8.2.2	Menüpunkt „Edit“	267
8.2.3	Menüpunkt „View“	268
8.2.4	Menüpunkt „Display“	271
8.2.5	Menüpunkt „Diagram“	275
8.2.6	Menüpunkt „Simulation“	278
8.2.7	Menüpunkt „Analysis“	280
8.2.8	Menüpunkt „Code“	285
8.2.9	Menüpunkt „Tools“	285
8.3	Kurzbeschreibung der Icons der Symbolleiste („ <i>Toolbar</i> “)	286
8.4	Kurzbeschreibung der wichtigsten SIMULINK-Blöcke	287
8.5	Tipps & Tricks für Regelkreis-Simulationen	292
8.6	Tipps zur Auswertung grafischer Ergebnisse des <i>Scope</i>	305
8.6.1	Ändern der grafischen Darstellung im Bildbearbeitungsprogramm	305
8.6.2	Konfigurierbare Darstellung des <i>Scope</i> -Fensters über MATLAB	305

A	MATLAB-Befehlsliste für die Abbildungen der zweidimensionalen Grafikbeispiele in Abschnitt 5.4.....	308
B	MATLAB-Befehlsliste für die Abbildungen der dreidimensionalen Grafikbeispiele in Abschnitt 5.5.....	312
C	MATLAB-Programm zur Berechnung eines optimierten Reglers mithilfe des Bode-Diagramms und des <code>margin</code>-Befehls	316
	Literatur	319
	Index	321

2

Start der Arbeit mit MATLAB

In diesem Kapitel soll die Basis für einen erfolgreichen Start mit MATLAB geschaffen werden, denn nichts ist ärgerlicher beim Öffnen eines neuen, unbekanntes Programms, als wenn man nicht gleich loslegen kann, sondern erst mühsam herausfinden muss, was wo zu finden ist und wozu die vielen Icons auf dem Bildschirm wohl gut sein könnten.

■ 2.1 Grundlagen zum MATLAB-Desktop

Nach dem Starten von MATLAB erscheint der MATLAB-Desktop standardmäßig mit vier Fenstern unter der MATLAB-Taskleiste (siehe Bild 2.1).

Über ein Kontextmenü, das mit Mausclick auf das Pfeilsymbol rechts vom Fensternamen, geöffnet wird, siehe Bild 2.2, können verschiedene Aktionen durchgeführt werden. Der Inhalt von jedem Fenster kann gelöscht werden, z. B. löscht „Clear Command Window“ jeden Text aus dem „Command Window“. Es können alle Daten ausgewählt werden, bestimmte Suchbegriffe gefunden werden und der Inhalt kann ausgedruckt werden. Am wichtigsten sind jedoch die Befehle, die die Fenster an sich betreffen. Mit „Minimize“ wird ein Fenster minimiert, das Fenster ist nur noch über einen Tab am Seitenrand zu öffnen, mit „Maximize“ wird ein Fenster auf die Gesamtgröße des MATLAB-Fensters vergrößert, alle anderen Fenster treten in den

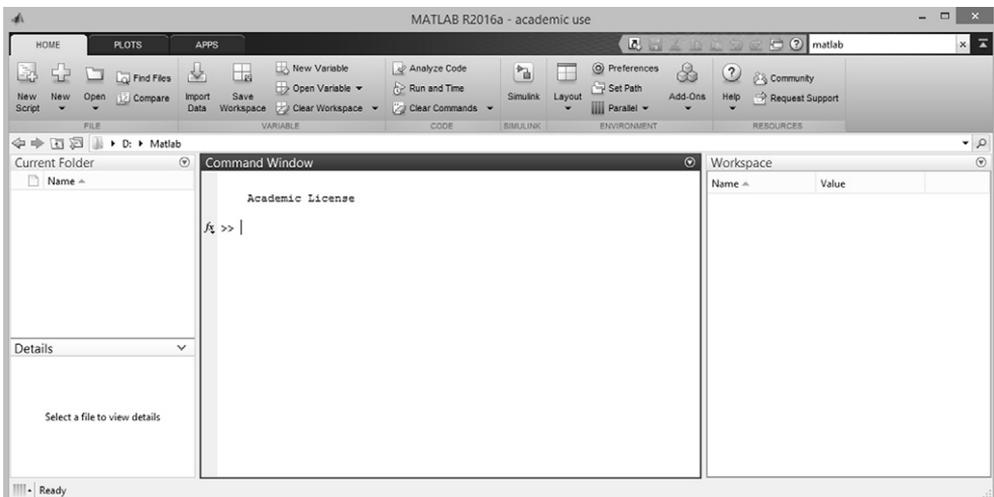


Bild 2.1 MATLAB – hier die Version der Campuslizenz – nach dem Start mit standardmäßig vier Fenstern: „Current Directory“, „Details“, „Command Window“ und „Workspace“ (von links nach rechts)

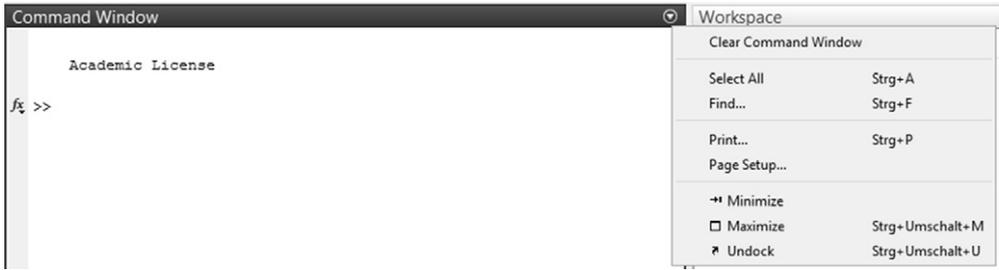


Bild 2.2 Optionen zum Anpassen der verschiedenen Fenster des MATLAB-Desktops

Hintergrund. „Undock“ löste ein Fenster aus dem Verbund zu einem eigenständigen Fenster, der gegenteilige Befehl lautet „Dock“ für ein separates Fenster. Mit „Close“ können alle Fenster, außer dem Command Window, welches immer offen sein muss, geschlossen werden. Mit „Restore“ kann die ursprüngliche Anordnung der Fenster wieder hergestellt werden.

In der Menüleiste findet sich in der Gruppe „ENVIRONMENT“ die Option „Layout“ mit der der Ursprungszustand („Default“) ebenfalls wieder hergestellt werden kann, für den Fall, dass z. B. ein Fenster aus Versehen geschlossen wurde und nicht mehr gefunden wird.

„Set Path...“ – Einbinden eigener Verzeichnisse

Auf der Taskleiste findet sich in der Gruppe „ENVIRONMENT“ der Befehl „Set Path“. In dem sich öffnenden Dialogfenster, siehe Bild 2.3, besteht die Möglichkeit, eigene Dateiverzeichnisse dem MATLAB-Suchpfad hinzuzufügen, mit Unterverzeichnissen („Add with Subfolders...“) oder ohne („Add Folder...“). Dies ist sehr nützlich, wenn in einem speziellen Verzeichnis oder Ordner eigene MATLAB-Dateien angelegt werden, die von MATLAB nur dann aufgerufen wer-

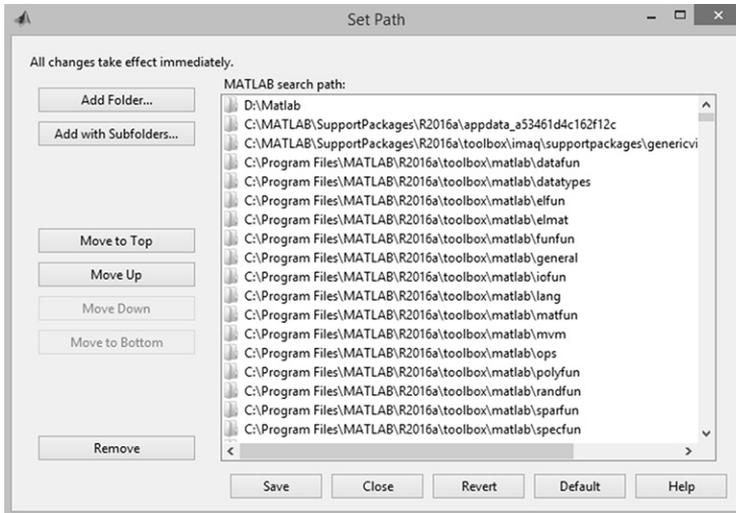


Bild 2.3 „Set Path“-Dialogfenster zum Hinzufügen eigener Verzeichnisse

den können, wenn dieses Verzeichnis oder die Verzeichnisse dem MATLAB-Suchpfad hinzugefügt wurden. Zum Abschluss muss der Suchpfad mit „Save“ gespeichert werden, damit die Änderungen auch übernommen werden.

Natürlich kann auch unter dem Standardverzeichnis gearbeitet werden, das MATLAB automatisch anlegt im Verzeichnis: `..\Eigene Dateien\MATLAB`.

■ 2.2 MATLAB-Fenster

Im Folgenden werden die verschiedenen Fenster und ihre jeweilige Funktion erläutert, die beim Start von MATLAB zu sehen sind.

2.2.1 „Command Window“, das Befehlsfenster

In der Mitte sticht das wichtigste und größte Fenster heraus, das Befehlsfenster oder „*Command Window*“, in dem hauptsächlich gearbeitet wird. Hier werden die Befehle eingegeben und Funktionen gestartet, aber auch die Ergebnisse der Berechnungen wiedergegeben, oder manchmal Fehlermeldungen, siehe Bild 2.4. Die interaktive Bedienung von MATLAB gestaltet sich sehr einfach mithilfe einer Interpretersprache. Alternativ oder in Ergänzung zur interaktiven Bedienung können MATLAB-Befehlsfolgen als Batchprogramme bzw. als MATLAB-Code ablaufen (siehe Kap. 6).

Hinter dem Zeichen `>>` lädt MATLAB dazu ein, Eingaben zu machen. Wenn dieses Zeichen fehlt, befindet sich MATLAB noch in einer – etwas länger dauernden – Berechnung oder eine Eingabe wurde noch nicht richtig abgeschlossen.

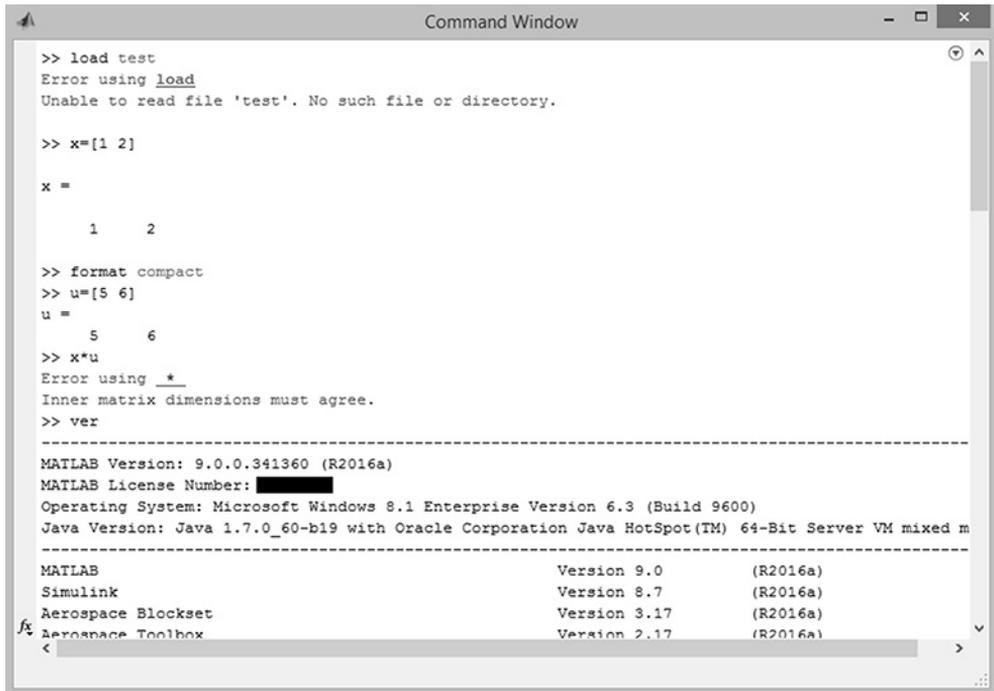
Alle Befehle und Variablenzuweisungen werden immer im „*Command Window*“, dem Befehlsfenster von MATLAB, hinter dem `>>`-Eingabezeichen eingegeben, siehe willkürliche Beispiele in Bild 2.4.

Es können hinter der `>>`-Eingabeaufforderung oder hinter auszuführenden MATLAB-Befehlen aber auch Eingaben gemacht werden, die nur zur Kommentierung dienen. Diese Kommentare werden durch das Prozentzeichen `%` eingeleitet und durch die Eingabetaste abgeschlossen. Kommentare werden von MATLAB automatisch in grüner Schrift kenntlich gemacht. Normalerweise macht ein Kommentar im „*Command Window*“ wenig Sinn, in den MATLAB-Programmen, vgl. Kap. 6, sind sie jedoch sehr nützlich.

```
>> % Dies ist ein Kommentar!
```



In diesem Buch werden Kommentare hin und wieder verwendet, um einzelne Befehle direkt, schnell und in Kürze zu erläutern.



```

Command Window

>> load test
Error using load
Unable to read file 'test'. No such file or directory.

>> x=[1 2]

x =

     1     2

>> format compact
>> u=[5 6]
u =

     5     6

>> x*u
Error using *
Inner matrix dimensions must agree.

>> ver

-----
MATLAB Version: 9.0.0.341360 (R2016a)
MATLAB License Number: ██████████
Operating System: Microsoft Windows 8.1 Enterprise Version 6.3 (Build 9600)
Java Version: Java 1.7.0_60-b19 with Oracle Corporation Java HotSpot(TM) 64-Bit Server VM mixed m
-----

MATLAB                               Version 9.0           (R2016a)
Simulink                               Version 8.7           (R2016a)
Aerospace Blockset                     Version 3.17          (R2016a)
Aerospace Toolbox                       Version 2.17          (R2016a)

```

Bild 2.4 „Command Window“, die Arbeitsfläche, über die MATLAB-Befehle eingegeben werden können, mit ein paar exemplarisch eingegebenen, zum Teil falschen Befehlen, Ergebnissen und den entsprechenden Fehlermeldungen (normalerweise in rot), sowie die Demonstration des Befehls `ver` zum Anzeigen der MATLAB-Version und der installierten Toolboxes

Befehl `ver`

In Bild 2.4 ist auch noch ein weiterer sehr nützlicher MATLAB-Befehl zu sehen, der Befehl für „Version“. Nach der Eingabe von `ver` im „*Command Window*“ wird die genaue Bezeichnung der verwendeten MATLAB-Version, das Release-Jahr sowie a für die Frühjahrs- oder b für die Herbst-Ausgabe, das verwendete Betriebssystem, sowie vor allem die verfügbaren Toolboxes und deren Versionsnummern aufgelistet. Dies ist die schnellste Möglichkeit, um einen genauen Überblick über die installierte MATLAB-Version und die zur Verfügung stehenden Toolboxes zu bekommen.

2.2.2 „Current Directory“, das aktuelle Arbeitsverzeichnis

Links befindet sich standardmäßig eine Spalte des aktuellen Verzeichnisses, unter Windows normalerweise das Verzeichnis „*MATLAB*“ unter „*Eigene Dateien*“. Hier kann man gleich erkennen, ob bereits MATLAB-Dateien erzeugt wurden, die normalerweise an der Endung zu erkennen sind: `.m` für MATLAB-Programme, die Funktionen und Programme enthalten, oder `.mat` für abgespeicherte Variablen und Parameter, siehe Bild 2.5, linke Spalte.

Unterhalb des Fensters mit dem Arbeitsverzeichnis, „*Current Directory*“, kann sich noch ein weiteres Fenster mit Details zu den einzelnen `.mat`-Dateien verstecken, zu erkennen an dem

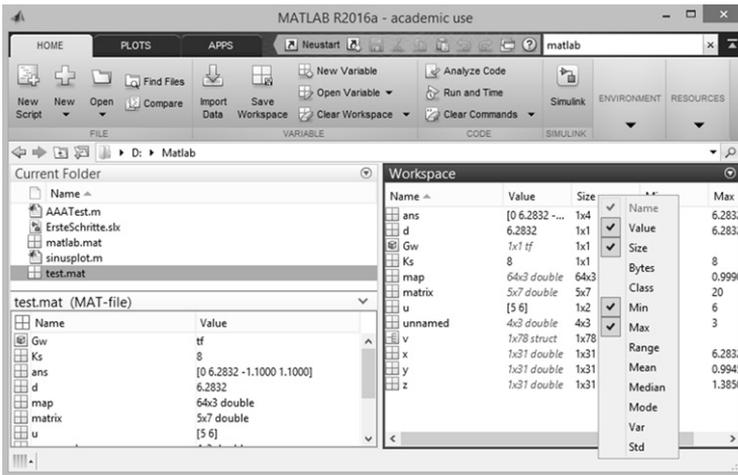


Bild 2.5 Auf der linken Seite „*Current Directory*“, das aktuelle Arbeitsverzeichnis, mit den angezeigten Details der Datei `matlab.mat`. Auf der rechten Seite „*Workspace*“, der Arbeitsbereich mit den momentan verfügbaren Variablen. Bei Programmstart ist dieser Bereich leer. Mit rechter Maustaste in die Titelleiste von „*Workspace*“ können weitere Daten der Variable angezeigt werden, z. B. Größe, Min- und Max-Werte etc., siehe geöffnetes Kontextmenü. Für diesen Screenshot wurde das „*Command Window*“ „*undocked*“, d. h. aus dem MATLAB-Fenster gelöst, um nur die beiden genannten Fenster zeigen zu können

^-Zeichen rechts unten in der Ecke des „*Current Directory*“. Wenn eine `.mat`-Datei mit der Maus markiert ist und das ^-Zeichen wird mit der Maus angeklickt, öffnet sich das „*Details*“-Fenster und die in der `.mat`-Datei gespeicherten Variablen werden aufgelistet. Dies kann hilfreich sein, wenn man einige `.mat`-Dateien abgespeichert hat und versucht, eine bestimmte wiederzufinden.

2.2.3 „*Workspace*“, der Arbeitsbereich oder Arbeitsspeicher

Rechts oben ist der „*Workspace*“ abgebildet, der aktuelle Arbeitsbereich von MATLAB. Aufgelistet sind die im Moment im Arbeitsspeicher abgelegten Variablen und Parameter, siehe Bild 2.5, rechte Spalte.

Die Variablen sind zuerst nach großen und kleinen Anfangsbuchstaben, dann alphabetisch sortiert. Bei den Variablen wird also auf Groß- und Kleinschreibung geachtet. „*Value*“ gibt entweder den Wert der Variable an, z. B. `Ks = 8`, oder den Typ der Variable. `Gw` ist z. B. eine Übertragungsfunktion (`tf` steht dabei für engl. *transfer function*), `z` ist ein Vektor der Dimension 1×100000 im Zahlenformat „*double*“.

Durch „*Drag & Drop*“ können Variablen vom „*Workspace*“ in das „*Command Window*“ gezogen und dort in Befehle eingebunden werden. Dies kann hilfreich sein, wenn man umständliche oder lange Variablennamen verwendet haben sollte, bei denen man sich bei der manuellen Eingabe über die Tastatur leicht vertippen könnte.

Wenn mit der rechten Maustaste in die Titelleiste von „*Current Folder*“ oder „*Workspace*“ geklickt wird, kann man die Liste nach unterschiedlichen Kriterien sortieren, oder wei-

tere Informationen zu den angezeigten Dateien im Arbeitsverzeichnis bzw. zu den Variablen im „Workspace“ in weiteren Spalten ausgeben lassen, siehe Bild 2.5, Kontextmenü zu „Workspace“, linke Seite.



Bei MATLAB ist unbedingt auf Groß- und Kleinschreibung von Variablenamen zu achten! Wie in der Sortierung in Bild 2.5 zu sehen ist, werden die Variablen unterschieden nach Groß- und Kleinbuchstaben sortiert. Zu lange, phantasievolle Variablenamen mit unterschiedlicher Groß- und Kleinschreibung können bei wiederholter Eingabe falsch geschrieben werden. Viele Fehlermeldungen resultieren aus unterschiedlichen Schreibweisen oder inkonsistenter Groß- und Kleinschreibung, deshalb unbedingt einfache, logische Variablenamen wählen!

Variable Editor

Durch Doppelklicken mit der linken Maustaste auf eine der Variablen im „Workspace“ wird diese Variable in dem „Variable Editor“ geöffnet, siehe Bild 2.6.

Im „Variable Editor“ kann die Variable verändert werden, d. h., es können einzelne Zahlen der Matrix durch andere Werte ersetzt werden oder es können zusätzliche Spalten oder Zeilen eingefügt werden. Wenn nur eine einzelne Zahl außerhalb der bestehenden Spalten und Zeilen hinzugefügt wird, füllt MATLAB die fehlenden Zeichen der unvollständigen Spalten bzw. Zeilen der Matrix mit Nullen auf. Wird z. B. die folgende Matrix im „Command Window“ eingegeben:¹

```
>> matrix=[1 2 3 4 5
6 7 8 9 0
11 12 13 14 15
16 17 18 19 20]
matrix =
     1     2     3     4     5
     6     7     8     9     0
    11    12    13    14    15
    16    17    18    19    20
```

Dann wird im „Workspace“ doppelt mit der Maus auf `matrix` geklickt, sodass sich der „Variable Editor“ oberhalb des „Command Window“ öffnet. Nun kann die Variable `matrix` z. B. um eine weitere Zeile und eine Spalte ergänzt werden, siehe Bild 2.6. Leere Felder werden automatisch mit Nullen aufgefüllt, sodass die Struktur erhalten bleibt.

Der „Variable Editor“ ist damit hilfreich, wenn Variablen überprüft, im Nachhinein korrigiert oder ergänzt werden müssen.

Der „Variable Editor“ kann auch über die Menüleiste geöffnet werden, über die Gruppe „VARIABLE“ → „Open Variable“. Mit „New Variable“ öffnet sich der „Variable Editor“ ebenfalls und in der Menüleiste wird der Tab „VARIABLE“ angezeigt. In der Gruppe „SELECTION“ wird

¹ Hinweis zur Wiedergabe von MATLAB-Befehlen und der Ausgabe der Ergebnisse im „Command Window“ in diesem Buch: Der eingegebene MATLAB-Befehl steht immer direkt hinter dem Eingabezeichen `>>`. Das Ergebnis oder die „Antwort“ von MATLAB auf den eingegebenen Befehl wird in diesem Buch eingerückt darunter abgebildet.

The screenshot shows the MATLAB R2016a Variable Editor window. The main window displays a matrix with 10 rows and 8 columns. The first five rows contain numerical data, and the last five rows are empty. The matrix is titled 'matrix' and is of type '5x7 double'. The Command Window shows the command `matrix=[1 2 3 4 5; 6 7 8 9 0; 11 12 13 14 15; 16 17 18 19 20];` and the resulting matrix. The Workspace window shows the current variables: `Gw` (1x1 tf), `Ks` (8), `matrix` (5x7 double), `u` (5 6), `v` (1x78 struct), `x` (1 2), and `z` (1x100000 double).

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	2	3	4	5	0	0	
2	6	7	8	9	0	0	0	
3	11	12	13	14	15	0	0	
4	16	17	18	19	20	0	0	
5	1	2	3	4	5	6	7	
6								
7								
8								
9								
10								

Bild 2.6 „Variable Editor“ mit Inhalt der Matrix `matrix`, ursprünglich bestehend aus 5 Spalten und 4 Zeilen. Zu den bestehenden Zeilen wurde eine weitere Zeile hinzugefügt. Fehlende Werte in Spalte 6 und 7 wurden durch MATLAB mit Nullen ergänzt. Zu beachten ist auch, dass ein neuer Tab „VARIABLE“ in der Menüleiste erschienen ist, in dem die Optionen zum Bearbeiten der Variablen aufgezogen werden

angezeigt, in welcher Zeile und Spalte der Cursor steht. Die letzte Zeile bzw. Spalte einer Variablen wird mit „end“ bezeichnet. In der Gruppe „EDIT“ können Zeilen oder Spalten eingefügt oder gelöscht werden, eine interessante Option ist auch das Transponieren („Transpose“), d. h. Zeilen und Spalten werden vertauscht. In der Gruppe „VARIABLE“ finden sich die Befehle zum Öffnen oder Ausdrucken einer bestehenden Variablen bzw. eine neue Variable kann erstellt werden.

Speichern von Variablen mit dem Befehl `save`

Alle im „Workspace“ angezeigten Variablen und Parameter sind allerdings nur temporär gespeichert. Sobald MATLAB beendet wird, sind alle Werte verloren, wenn sie nicht in einer `.mat`-Datei gespeichert wurden.

Am schnellsten geht das Speichern der Variablen über die Menüleiste. Unter „File“ → „Save Workspace As...“, bzw. `<Strg> + <S>`, können die Variablen in einer selbst zu benennenden Datei abgespeichert werden, die automatisch die Endung `.mat` erhält

Über das „Command Window“ können die Variablen auch mit dem Befehl `save Dateiname` gesichert werden. Der Befehl `save` bietet verschiedene Auswahlmöglichkeiten zum Abspeichern von Variablen:

```
>> save Ks
```

Wenn eine Variable mit der Bezeichnung `Ks` existiert, wird mit `save Ks` genau diese eine Variable `Ks` in einer `.mat`-Datei mit der Bezeichnung `Ks.mat` im aktuellen Arbeitsverzeichnis („*Current Directory*“) abgespeichert.

```
>> save Test Ks u x z
```

Mehrere ausgewählte Variablen können gespeichert werden, wenn diese durch Leerzeichen getrennt hinter einem Dateinamen aufgelistet werden. `Test` ist in diesem Fall der Dateiname der erzeugten `.mat`-Datei. `Ks`, `u`, `x` und `z` sind die ausgewählten Variablen. Der Dateiname sollte allerdings nicht identisch sein mit einem bereits verwendeten Variablennamen.

```
>> save Ks u x z
```

Mit diesem Befehl wird eine Datei mit der Bezeichnung `Ks.mat` erzeugt, die allerdings nur die Variablen `u`, `x` und `z` enthält, nicht aber `Ks`, da `Ks` als Dateiname verwendet wurde.

Diese Variante des Sicherns von Variablen ist nützlich, wenn man viel ausprobiert und dabei auch viele unnütze Variablen erzeugt hat, die nicht erhalten werden sollen. Sollen alle Variablen gespeichert werden, ist der folgende Befehl einfacher:

```
>> save Test
```

Wird hinter dem `save`-Befehl nur der Dateiname der `.mat`-Datei eingegeben, werden alle Variablen des MATLAB-Arbeitsbereichs („*Workspace*“) gespeichert. Aber Achtung, der Dateiname darf noch nicht als Variablenname verwendet worden sein!

Laden von gespeicherten Variablen mit dem Befehl `load`

```
>> load test
```

Die mit dem `save`-Befehl gespeicherten Variablen können mit `load Dateiname` wieder in den Arbeitsbereich geladen werden, z. B. wenn man MATLAB wieder neu gestartet hat und die Sitzung vom vorherigen Mal wieder dort weiterführen möchte, wo man das letzte Mal aufgehört hat.

Das Laden von gespeicherten Variablen geht natürlich auch über die Menüleiste. Unter „*File*“ → „*Open*“ kann eine beliebige, früher abgespeicherte `.mat`-Datei aufgerufen werden.

Noch schneller geht es per Doppelklick mit der linken Maustaste im Fenster „*Current Directory*“ auf eine der angezeigten `.mat`-Dateien.



Während bei den Variablen auf Groß- und Kleinschreibung geachtet werden muss, spielt dies bei den Dateinamen unter Microsoft Windows keine Rolle!

Löschen von Variablen mit dem Befehl `clear`

MATLAB muss selbstverständlich nicht neu gestartet werden, wenn man alle Variablen im Arbeitsspeicher loswerden möchte. Mit dem `clear`-Befehl lassen sich einzelne oder alle Variablen im Arbeitsbereich löschen.

```
>> clear
```

```
>> clear all
```

Mit `clear` oder `clear all` werden alle Variablen im Arbeitsspeicher gelöscht. Mit diesem Befehl ist also vorsichtig umzugehen, bevor alle Variablen plötzlich unerwünscht weg sind.

Index

2D-Grafik 119, 121

3D-Grafik 130

3D-Objekt 135

A

abs 74

Absolutwert 74

Abszisse 101

Achsen

– Achsenbegrenzung 109, 139

– Achsenbeschriftung 105, 110

– Achsenskalierung 105

acos 77

– acosd 77

– acosh 77

Addition 71

– Unäre Addition 71

Add-Ons 34

Add-Ons Explorer 35

Aktivierung 19

all 79

Alles auswählen 267

Amplitude

– Amplitudengang 194, 211, 217

– Amplitudenrand 211, 217, 220

– Amplitudenverstärkung 194

– Amplitudenwerte 198, 199, 211

Analyze Code 33

and 79

angle 74

ans 52

any 79

APPS 35

Arbeitsspeicher 25

Arbeitsverzeichnis 24

area 123

Argument 194

Array multiply 97

arrow 110

asin 77

– asind 77

– asinh 77

atan 77

– atand 77

– atanh 77

attributes 177

Ausgangsblöcke 289

Ausschneiden 117, 267

Axes Properties 109

axis 105, 139

B

Balkendiagramme 122, 134, 141

bar 122, 141

– barh 122

bar3 135, 141

– bar3h 135

base2dec 49

base2dec(str, basis) 49

Basic Fitting 111, 113, 114

Befehlsfenster 23

Beobachtungspunkt 139

Betrag 74, 195, 217

Betragskennlinien 194

bin2dec 49

bin2dec(str) 49

bitand 80

bitcmp 80

bitget 80

bitor 80

bitset 80

bitshift 80

Bitweise Operatoren 80

bitxor 80

Blank M-File 154

Blockschaltbild 182

bode 194
 Bode-Diagramm 188, 194, 195, 210, 211,
 215, 216, 221, 222, 226
 Boole'sche Algebra 79
 box 140
 break 166
 Brush 111

C

Camera Toolbar 109, 113
 Campsulizenz 18
 ceil 51, 75
 cell 50
 char 50
 Charakteristika einer Übertragungsfunktion
 202
 clabel 121
 classdef 177
 clc 170
 clear 28, 170
 clear all 170
 Clear Commands 33
 Clear Workspace 33
 Clock (Block) 288
 Close 22
 Color 117
 colormap 103
 ColorOrder 104
 comet 124
 comet3 137
 Command History 29
 Command Window 23
 Community 34
 Compare 32
 compass 125
 coneplot 138
 Configuration Defaults 260
 Configuration Parameters 297
 conj 75
 Constant (Block) 288
 continue 167
 contour 121, 141
 contour3 133, 141
 contourf 123
 contourslice 133

Control System Toolbox 179
 conv 181
 convolution 181
 Copy 117, 267
 – Copy Figure 109
 – Copy Model To Clipboard 267
 – Copy Options 109
 corrcoef 68
 cos 77
 – cosd 77
 – cosh 77
 cov 68
 Cramer'sche Regel 86
 Current Directory 24
 Cut 117, 267
 cylinder 135

D

Dämpfung 228
 daspect 140
 data aspect ratio 140
 Data Cursor 110
 Data Import/Export 263
 Data Statistics 111, 113, 114
 dB 194, 212, 217
 dec2base 49
 dec2base(a,basis) 49
 dec2bin 49
 dec2bin(a) 49
 dec2hex 49
 dec2hex(a) 49
 delay time 208
 Delete 117, 267
 Demux (Block) 291
 denominator 180
 Derivative (Block) 289
 Desktop 21, 111
 det 86
 Determinante 86
 diag 64, 96
 Diagnostics 264
 Diagramme 101
 – Diagrammeigenschaften 109
 – Diagrammtitel 105, 110, 211
 – Diagrammtyp 120

diary 170
diff 95
Differenz zwischen Elementen einer Matrix 95
Dirac-Impuls 189
disp 171
Display (Block) 289
Division 72
Dock 22
Documentation 37
Doppelpfeil 110
double 50
double arrow 110
Drahtgitternetze 134
Drehen 110
dreidimensionale Grafiktypen 130, 133
dreidimensionale Objekte 135
Drucken 265
Dynamisches System 194

E

echo 170
Edit 109, 267
Edit Plot 110
Editiermodus 110
Editor 144
eig 62
Eigenschaften einer Grafik 105
Eigenschaften einer Übertragungsfunktion 203, 207
Eigenvektoren 62
Eigenwert 62
Einfügen 267
Eingabe des Benutzers 171
Eingangsblöcke 288
Eingangsgröße 296
Einheitsmatrix 58
Einschwingzeit 189
Elementweise Verknüpfung 97
– Elementweise Division 98
– Elementweise Multiplikation 97
– Elementweises Potenzieren 99
Ellipse 110
ellipsoid 136
ENTWEDER-ODER 79

eq 78
error 264
errorbar 122
events 177
exp 74
explode 135
Exponentialfunktion 74
eye 58
ez 120
ezcontour 122
ezcontourf 123
ezmesh 134
ezplot 120, 121
ezplot3 133
ezpolar 125
ezsurf 137

F

Faktorierte Form 186
Faltung 181
Farben
– Farbenwerte 106
– Farbpalette 103
– Farbschattierungen 140
– Farbtafel 117
– Farbübergänge 140
feather 124
feedback 187
Fehlerbalkendiagramme 122
Fehlermeldung 264
Feldoperationen 97
Feste Schrittweite 261
figure 102, 189
Figure Properties 103, 108, 109
File 108
fill 123
fill3 135
Find 267
Find Files 32
fix 51
fixed-step 261
Flächendiagramme 123, 135
flintmax 80
float 49
Floating Scope (Block) 289

floor 51
format 47
format + 47
format bank 47
format compact 48
format hex 47
format long 47
format longe 47
format longeng 47
format longg 47
format loose 48
format rat 47
format short 47
format shorte 47
format shorteng 47
format shortg 47
for-Schleife 157, 166
frequency response 204
Frequenzantwort 194, 204
Frequenzbereich 197
Frequenzgang 194
Frequenzliniendiagramm 194
From File (Block) 288
From Workspace (Block) 288
Führungssprungantwort 194, 219, 223, 227
Führungsübertragungsfunktion 187
function 174
Function (Block) 292
Function Browser 41
Function M-File 174
Funktion 174
Funktionsgleichung einer Kurve 111

G

gain 198
Gain (Block) 290
gain margin 211
Gauß'scher Algorithmus 93
ge 78
Generate Code 108
Geschlossener Regelkreis 187
get 203
Gewichtsfunktion 189
Gitternetzlinien 105
Gleich 78

Grafiken 101
– Grafikbefehle 190
– Grafikeigenschaften 103, 109, 190
– Grafikfenster 189
– Grafiktitel 105
– Grafiktypen 119, 130
grid 105, 190, 198, 200, 201
Größe eines Vektors 64
Größer als... 78
Größer als oder gleich... 78
Ground (Block) 288
Grundrechenarten 70
gt 78
gtext 105

H

Harmonische Schwingung 219
Help 111
help 43
hex2dec 49
hex2dec(str) 49
hex2num 49
hex2num(str) 49
Hilfe 37
Histogramme 122
Höhenprofile 136
hold 118
– hold off 102
– hold on 102
HOME 32
HSV-Farbraum 104

I

if-elseif-else-Verzweigung 161
imag 75
image 123
imagesc 123
Imaginärwert 75, 198
Import Data 32, 108
Impulsantwort 188, 189
impulse 189, 191
imread 123
Inf 46
input 171

InputDelay 207
 Insert 110
 Installation 18
 int8 50
 int16 50
 int32 50
 int64 50
 Integrator (Block) 289
 interp 137
 intersect 81
 intmax 80
 inv 61
 Inverse Matrix 61, 85
 Invertieren 61, 84
 ismember 81
 Isolinien 121, 133

K

Kartesisches Koordinatensystem 196
 Kegel 138
 Kettenschaltung 182
 Kleiner als... 78
 Kleiner als oder gleich... 78
 Kommentare 23, 155
 Kompensation 186
 Komplexe Zahlen 47
 Komplexe Zahlenebene 196
 Konjugiert Komplexe 75, 186
 Kontrollstrukturen 156
 Koordinaten 110
 Kopfzeile einer Funktion 175
 Kopieren 117
 Korrelationskoeffizient 68
 Kosinus 77
 Kovarianz 68
 Kritischer Betragswert 194
 Kritischer Phasenwert 194
 Kritischer Punkt 196, 215, 217
 Kuchendiagramme 123, 135
 Kugelobjekte 136
 Kurveigenschaften 109

L

Laden 28

Länge eines Vektors 65
 Laplace-Variable 185
 lasterr 166
 Laufzeit 208
 Layout 33
 ldivide 72, 99
 le 78
 legend 105, 110, 190, 306
 Legende 105, 110
 length 65
 Lichtquelle 137
 line 110, 121
 Line Style 117
 Line Width 117
 Lineares Gleichungssystem 86
 LineWidth 107
 Linien 110
 – Linienart 117
 – Liniendicke 107, 117
 – Linientypen 106
 Liniendiagramme 121, 133, 141
 Link 111
 Linke Matrixdivision 93
 Linke-Hand-Regel 196
 linspace 54
 listeners 177
 load 28
 log 74
 log10 74
 Logarithmus 74
 logical 50
 Logische Operatoren 78
 loglog 121
 logspace 54, 195
 Löschen 117
 lt 78
 LTI Systems 294
 LTI Systems (Block) 291

M

magic 63
 Magisches Quadrat 63
 magnitude 195
 Manual Switch (Block) 291, 301
 margin 211, 212, 217, 218, 220–222, 224, 226

Marker 107, 117
– Marker Size 117
– MarkerEdgeColor 107
– MarkerFaceColor 107
– Markerfüllungen 107
– Markergröße 107, 117
– MarkerSize 107
– Markerumrandungen 107
Maschennetzdiagramme 134
Math Operations 290
Mathematische Funktionen 74
Mathematische Verknüpfungen 290
MATLAB Function (Block) 292
MATLAB-Programm 222
Matrix multiply 98
Matrixdivision 72
Matrixmultiplikation 72, 88
Matrizen 55
max 65
Maximalwerte 65
Maximize 21
mean 67
median 67
Mengenoperatoren 81
mesh 134
meshc 134
meshz 134
methods 177
min 65
Minimalwerte 65
Minimize 21
Minimum Stability Margins 197
minus 71
Mittelwert 67
mldivide 72, 93
mod 76
Model
– Model Properties 259
Modulo 76
mpower 73
mrdivide 72, 94
mtimes 72, 98
Multiplikation 72
Multiport Switch (Block) 291
Mux (Block) 291, 295

N

ne 78
Nenner 180
nested functions 176
New 32
New Script 32
New Variable 32
nichols 198
Nichols-Ortskurve 188, 198, 199
NICHT 79
not 79
Nullmatrix 58
Nullstellen 203
num2hex 49
num2hex(a) 49
numerator 180
nyquist 196
Nyquist-Ortskurve 188, 196, 215, 216
Nyquist-Stabilitätskriterium 196, 197

O

Oberflächendiagramme 136
object properties 203
Object-oriented Programming 177
objects 177
Objektklasse 177
Objektklassendefinition 177
Objektorientiertes Programmieren 144, 177
ODER 79
ones 59
Open 32
Open Variable 33
Optimization 263
or 79
Ordinate 101
Ortskurve 196
OutputDelay 207

P

Package App 35
packages 177
Pan 110
Parallel 34
parallel 183

- Parallelschaltung 183
 - pareto 122
 - Passcode 19
 - Paste 267
 - patch 135
 - pcolor 124
 - Peak Response 189, 197
 - peaks 121, 136
 - Pfeil 110
 - Pfeildiagramme 124
 - Phase
 - Phasengang 211
 - Phasenkenlinien 194
 - Phasenrand 211, 217, 220
 - Phasenreserve 217
 - Phasenverschiebung 194, 195
 - Phasenwert 198, 199, 211
 - Phasenwinkel 74
 - phase 198
 - phase margin 211
 - PID-Regler 184, 225, 226
 - pie 123
 - pie3 135
 - PI-Regler 184, 214
 - plot 101, 121, 141, 306
 - Plot Browser 109, 113
 - Plot Edit Toolbar 109
 - Plot Selector 140
 - plot3 133, 141
 - plotmatrix 126
 - PLOTS 34
 - plotyy 121
 - plus 71
 - Pol- und Nullstellendiagramm 199
 - polar 125
 - Polargitternetzlinien 125
 - Polarkoordinaten 125, 196
 - pole 202
 - Pole einer Übertragungsfunktion 202
 - Polform 181, 186
 - Polstellen 203
 - Polygone 123, 134
 - Polygonnetz 134
 - Polygonnetzdiagramme 134
 - Polynom 181
 - Polynommultiplikation 181
 - Potenzieren 73
 - Potenzieren einer Matrix 92
 - power 73
 - Preferences 34, 109
 - prod 95
 - Produkt der Elemente einer Matrix 95
 - Programmieren 144
 - Properties 105, 177
 - Property Editor 109, 113, 117, 126, 193, 197, 198, 217
 - PT₁-Glieder 180
 - PT₂-Glieder 215
 - Punkttypen 106
 - pzmap 199
- Q**
- Quadratwurzel 74
 - Quick Access Toolbar 37
 - quiver 124
 - quiver3 137
- R**
- Radialdiagramme 125
 - rand 59
 - randi 61
 - randn 60
 - randi 59
 - Rang einer Matrix 85
 - rank 85
 - rdivide 72, 99
 - real 75
 - Realwert 75, 198
 - Rechte Matrixdivision 94
 - Rechteck 110
 - rectangle 110
 - Redo 267
 - Regelgröße 187
 - Regelkreis 180, 213
 - Regelstrecke 180, 213
 - Regelungstechnik 179
 - Regelverhalten 220
 - Regler 180
 - Reglerentwurf 213, 229, 230
 - Regleroptimierung 224
 - Reihen-, Serien- oder Kettenschaltung 182

Reihenschaltung 182, 216
 Relationale Operatoren 77
 rem 76
 Remainder 76
 Request Support 34
 Reset View 111
 Restore 22
 return 167
 RGB-Farbraum 104
 Richtungsdiagramme 124, 137
 rlocfind 228
 rlocus 201, 228
 root locus 201
 rose 125
 Rotate 3D 110
 Rotieren 110
 round 51, 75
 Rückführung 187, 188
 Rückgängigmachen 267
 Run and Time 33
 Runden 51

S

Save
 – Save As... 108, 259
 – Save Workspace As... 27, 109
 save 27
 Save Workspace 32
 scatter 125
 scatter3 138
 Schachbrettmuster-Diagramme 124
 Schleifen 156
 Schnittfläche 137
 Schwingen 215
 Scope 295
 Scope (Block) 289
 Seitenverhältnis 140
 Select All 267
 semilogx 121
 semilogy 121
 Serienschaltung 182
 series 182
 set 197, 198, 200, 201, 207
 Set Path 22, 34
 setdiff 81
 Set-Operatoren 81
 Settling Time 189
 setxor 81
 shading 137, 140
 Shortcuts 31
 Show Code 117
 Show Property Editor 117
 sign 74
 Sign (Block) 290
 Signal Generator 296
 Signal Generator (Block) 288
 Signal Routing 291
 Signalflussplan-Algebra 182
 Signalführung 291
 signum 74
 Simulation Parameters 297
 SIMULINK 252
 – Simulink Preferences 260
 – Simulink Start Page 252, 253
 simulink 252
 sin 77
 – sind 77
 – sinh 77
 single 50
single input single output 213
 Sinks 289
 Sinus 77
 SISO-System 213
 size 64
 slice plane 137
 Slider Gain (Block) 290, 294
 Solver 260, 261
 Sources 288
 Spaltenvektoren 53
 Speichern 259
 sphere 136
 Sprungantwort 188, 191, 192, 210, 215, 216,
 224
 spy 126
 sqrt 74
 stabil 196
 Stabiles System 215
 Stabilität 214
 – Stabilitätsgrenze 197, 219
 – Stabilitätsgüte 217, 220
 – Stabilitätsverhalten 228
 stairs 121

Standardabweichung 68
 state space 204
 Statistik 66, 111
 std 68
 steam 123
 stem 123
 stem3 134
 step 191
 Step (Block) 288, 302
 Stochastik 66
 Stop Time 302
 streamline 138, 141
 streamribbon 138, 141
 streamslice 137
 streamtube 139, 141
 Streudiagramme 125
 Strömungsdiagramme 141
 Strömungslinien-Diagramme 137, 138
 Strömungsröhren-Diagramme 139
 struct 50
 Stufendiagramme 121
 subclasses 177
 subfunctions 176
 subplot 118, 202, 215
 Subsystem (Block) 291
 Subtract (Block) 290
 Subtraktion 71
 – Unäre Subtraktion 71
 Suchen 267
 sum 64, 95
 Sum (Block) 290
 Summe der Elemente einer Matrix 95
 superclasses 177
 surf 136
 surface 136
 surfc 137
 surf1 137
 switch-case-otherwise-Verzweigung 163
 System 180

T

tan 77
 – tand 77
 – tanh 77
 Tangens 77

Terminator (Block) 289
 text arrow 110
 text box 110
 Textfeld 110
 Textpfeil 110
 tf 180
 times 72, 98
 title 105, 110, 190, 211, 306
 To File (Block) 289
 To Workspace (Block) 289
 Tools 110
 Toolstrip 31
 Totzeit 208
 transfer function 180
 Transfer Function (Block) 290
 Transponieren 83
 Transportzeit 208
 Trigger (Block) 292
 Trigonometrische Funktionen 76
 tril 97
 triu 96
 try-catch-Fehlerkontrolle 165
 tzero 203

U

Übergangsfunktion 191
 Übergangszeit 228
 Überschwingweite 228
 Übertragungsfunktion 180
 Übertragungsverhalten 194
 uint8 50
 uint16 50
 uint32 50
 uint64 50
 uminus 71
 UND 79
 Undo 267
 Undock 22
 Ungleich 78
 union 81
 unique 81
 Unterdiagramme 118
 Unterfunktionen 176
 Unterklassen 177
 uplus 71

V

Value 25
var 67
Variable Editor 26
Variable Schrittweite 261
variable step 261
Variablenamen 26
Varianz 67
Vektoraddition 83
Vektorendiagramme 124
Vektor-Matrix-Produkt 92
Vektorsubtraktion 83
ver 24
Verschachtelte Funktionen 176
Verschieben der Kurve 110
Verstärkungsfaktor 203, 216, 220, 228
Verstärkungsrand 217
Verzugszeit 208
View 109
view 139
Virtuelle Kamera 109
Volumetrische Diagramme 138
Vorzeichen 74

W

warning 264
Warnmeldung 264
Wasserfall-Diagramme 133
waterfall 133
while-Schleife 159, 166
who 29
whos 29

Wiederherstellen 267
Window 111
Winkelhalbierende 229
WOK 201
Workspace 25
Wurzelortskurve 188, 201, 215, 216, 228, 230

X

xlabel 105, 110
xor 79

Y

ylabel 105, 110

Z

Zahlen 46
Zahlenklassen 49
Zähler 180
Zeilenvektoren 53
zero 203
Zero-Pole-Gain 186
zeros 58
Zoom 110
zpk 186
Zufallswerte 59
Zufallszahlen 59
Zurücksetzen der Ansicht 111
Zusammenschaltung von Modellen 182
Zustandsgleichung 204
zweidimensionale Grafiktypen 119, 121
Zylinderobjekte 135