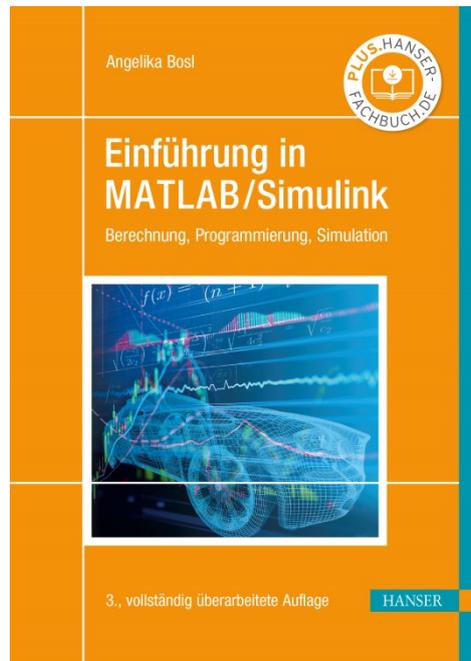


HANSER



Leseprobe

zu

„Einführung in MATLAB/Simulink“

von Angelika Bosl

Print-ISBN: 978-3-446-46403-2
E-Book-ISBN: 978-3-446-46546-6

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-46403-2>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

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 fand. 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

■ Vorwort zur dritten Auflage

MATLAB und SIMULINK werden kontinuierlich weiterentwickelt, aus den 78 Toolboxen der Version R2016a von MATLAB, die noch Grundlage der zweiten Auflage dieses Buches war, sind inzwischen 98 Toolboxen der MATLAB-Version R2020a geworden. Alle Toolboxen und unterschiedlichen Werkzeuge zu erklären, die MATLAB und SIMULINK dem Benutzer zur Verfügung stellen, wäre ein aussichtsloses Unterfangen. Mit diesem Buch soll der Einstieg in MATLAB/SIMULINK erleichtert und ein wenig an der Oberfläche der vielen Möglichkeiten gekratzt werden, um andeutungsweise zu zeigen, was für ein mächtiges Softwarepaket MATLAB/SIMULINK darstellt. Und, gewusst wie, ist der Einstieg eigentlich gar nicht so schwer – zumindest soll das mit diesem Buch vermittelt werden.

Eine Neuerung zur zweiten Auflage erscheint mir besonders erwähnenswert, da ich an der Hochschule Ravensburg-Weingarten auch oft mit Fragen zur Installation konfrontiert werde: MATLAB-Online. Nach Abschnitt 1.3 zur Installation von MATLAB wird deshalb in Abschnitt 1.4 kurz auf die Online-Version von MATLAB eingegangen, die keine Installation benötigt. Ein großer Vorteil in Zeiten der Corona-Krise mit Online-Vorlesungen an den Hochschulen, wenn es den Studierenden nicht erlaubt ist, die Rechnerräume mit vorinstalliertem MATLAB an den Hochschulen zu nutzen. Kein Ärger mit zu wenig Speicherplatz oder mit dem Herunterladen einer riesigen Installationsdatei bei überlastetem Netzwerk, kein Zeitaufwand für die Installation, nur das Starten des Internet-Browsers. Für jemanden, der sich in den letzten Monaten mit Fragen zur Installation und den damit verbundenen Problemen von vielen Studierenden konfrontiert sah, ein großer Pluspunkt für die Firma MathWorks. Ich bin begeistert.

Bei der Bearbeitung der dritten Auflage gilt mein besonderer Dank der Geduld von Frau Silakova und Frau Kubiak vom Carl Hanser Verlag, da es doch wenig Zeit vom Erscheinen der MATLAB-Version R2020a bis zum anvisierten Abgabetermin der Änderungen, dafür aber wieder viel Neues gab, das in die dritte Auflage eingefügt werden sollte. Und trotzdem bleiben wieder einige Ideen für neue Kapitel unbearbeitet, die hoffentlich bei der nächsten Auflage umgesetzt werden können.

Die Möglichkeiten von MATLAB/SIMULINK sind quasi unbegrenzt.

Baienfurt, Juni 2020

A. Bosl

Inhalt

1	Einleitung	15
1.1	Warum MATLAB/SIMULINK?	15
1.2	MATLAB-/SIMULINK-Versionen	16
1.3	Installation der Software	18
1.4	MATLAB Online ohne Installation	20
2	Start der Arbeit mit MATLAB	23
2.1	Grundlagen zum MATLAB-Desktop	23
2.2	MATLAB-Fenster	25
2.2.1	„Command Window“, das Befehlsfenster	25
2.2.2	„Current Folder“, das aktuelle Arbeitsverzeichnis	26
2.2.3	„Workspace“, der Arbeitsbereich oder Arbeitsspeicher	26
2.2.4	„Command History“, die Chronik der Befehle	31
2.3	Funktionen der Menüleiste („ <i>Toolstrip</i> “)	33
2.4	MATLAB-Hilfe und Beschreibungen der Befehle	40
3	Zahlen, Vektoren und Matrizen	47
3.1	Darstellung von Zahlen	47
3.2	Umrechnung von Zahlen	49
3.3	Definition von Variablen als Skalare, Vektoren oder Matrizen	55
3.3.1	Definieren von Variablen	55
3.3.2	Spalten- und Zeilenvektoren	56
3.3.3	Matrizen Werte zuordnen	58
3.3.4	Spezielle Matrizen	61
3.3.5	Größe eines Vektors oder einer Matrix	67
3.3.6	Maximal- und Minimalwerte bestimmen	68
3.3.7	Statistische Charakteristika bestimmen	69
4	Mathematische Berechnungen mit MATLAB	73
4.1	Grundrechenarten	73
4.2	Elementare mathematische Funktionen	77
4.3	Trigonometrische Funktionen	79

4.4	Relationale Operatoren	80
4.5	Logische Operatoren	82
4.6	Besonderheiten beim Rechnen mit Vektoren und Matrizen	86
4.6.1	Vektoraddition und -subtraktion	86
4.6.2	Transponieren einer Matrix oder eines Vektors	87
4.6.3	Invertieren einer quadratischen Matrix	88
4.6.4	Rang einer Matrix mit rank	89
4.6.5	Determinante einer quadratischen Matrix	90
4.6.6	Matrixmultiplikation	92
4.6.7	Multiplikation einer Matrix mit einem Skalar	95
4.6.8	Potenzieren einer Matrix	96
4.6.9	Vektor-Matrix-Produkt	96
4.6.10	Linke Matrixdivision (engl. „backslash division“)	97
4.6.11	Rechte Matrixdivision (engl. „slash division“)	98
4.7	Spezielle Matrixmanipulationen	98
4.7.1	Spezielle mathematische Befehle für Matrizen	98
4.7.2	Spezielle Teilbereiche einer Matrix extrahieren	99
4.8	Feldoperationen: Elementweise Verknüpfung von Vektoren	101
4.8.1	Elementweise Multiplikation (engl. „array multiply“)	101
4.8.2	Elementweise Division	103
4.8.3	Elementweises Potenzieren	103
5	Grafische Darstellungen von Funktionen	106
5.1	Einfache Grafiken und Diagramme mit plot	106
5.2	Grafikeigenschaften – „Figure Properties“	108
5.2.1	Farbpaletten auswählen mit colormap	108
5.2.2	„Figure Properties“ über die Befehlszeile definieren	108
5.2.3	„Properties“ über die Menüleiste im Grafikfenster bestimmen	113
5.2.4	Grafikeigenschaften („Properties“) mit dem „Property Editor“ oder dem „Property Inspector“ verändern	120
5.3	Mehrere Diagramme in einem Grafikfenster	122
5.3.1	Mehrere Kurven oder Diagrammtypen in einem Diagramm mit hold ...	122
5.3.2	Unterdigramme in einem Grafikfenster mit subplot	122
5.4	Grafiktypen im zweidimensionalen Bereich	124
5.5	Grafiktypen im dreidimensionalen Bereich	134
5.6	Grafiken erzeugen über den Tab „PLOTS“ der Titelleiste	143

6	Programmieren in MATLAB	147
6.1	Editor	147
6.2	Varianten der Programmiervorlagen	158
6.3	„Script“ – Einfache Befehlsfolgen	159
6.4	Kontrollstrukturen für die komplexere Programmierung	161
6.4.1	for-Schleife	162
6.4.2	while-Schleife	164
6.4.3	if-elseif-else-Verzweigung	165
6.4.4	switch-case-otherwise-Verzweigung	168
6.4.5	try-catch-Fehlerkontrolle	170
6.4.6	Weitere Befehle, die den Programmablauf beeinflussen	171
6.5	Nützliche Befehle für die Programmierung unter MATLAB	174
6.6	„Function“ – Funktionen in MATLAB	179
6.6.1	Kopfzeile einer Funktion (Syntax)	179
6.6.2	Aufbau einer Funktion	180
6.6.3	Verschachtelte Funktionen	181
6.7	„Class“ – Objektklassen in MATLAB	181
6.8	Programmieren mit dem „Live Editor“	183
6.8.1	Taskleiste „Live Editor“	184
6.8.2	Taskleiste „INSERT“	187
6.8.3	Taskleiste „View“	189
7	„Control System Toolbox“ – Alles was man für die Regelungstechnik braucht	192
7.1	Eingabe der Übertragungsfunktion G_s eines Regelkreises	193
7.1.1	Befehl <code>tf</code>	193
7.1.2	Befehl <code>conv</code> zur Polynommultiplikation	194
7.2	Zusammenschaltung von Modellen (Signalflussplan-Algebra)	195
7.2.1	Reihen-, Serien- oder Kettenschaltung	195
7.2.2	Parallelschaltung	196
7.2.3	Übertragungsfunktion mithilfe der Laplace-Variablen s	198
7.2.4	Polform einer Übertragungsfunktion mit <code>zpk</code>	199
7.2.5	Befehl <code>feedback</code> zur Berechnung des geschlossenen Regelkreises – Führungsübertragungsfunktion	200
7.3	Grafische Darstellungsmöglichkeiten für Übertragungsfunktionen	201
7.3.1	Impulsantwort (Gewichtsfunktion) mit <code>impulse</code>	202
7.3.2	Sprungantwort (Übergangsfunktion) mit <code>step</code>	204
7.3.3	Bode-Diagramm (Frequenzgang) mit <code>bode</code>	207

7.3.4	Nyquist-Ortskurve mit <code>nyquist</code>	209
7.3.5	Nichols-Ortskurve mit <code>nichols</code>	211
7.3.6	Pol- und Nullstellendiagramm mit <code>pzmap</code>	212
7.3.7	Wurzelortskurve (WOK) mit <code>rlocus</code>	214
7.4	Charakteristika einer Übertragungsfunktion	216
7.4.1	Befehl <code>po1e</code> zur Berechnung der Pole einer Übertragungsfunktion	216
7.4.2	Befehle <code>tzero</code> (engl. transmission zeros) und <code>zero</code> zur Berechnung der Nullstellen	216
7.4.3	Befehl <code>get</code> zur Ausgabe der Eigenschaften einer Übertragungsfunktion	217
7.4.4	Befehl <code>set</code> zum Setzen von Eigenschaften einer Übertragungsfunktion	220
7.4.5	Befehl <code>margin</code>	224
7.5	Einfacher Reglerentwurf mit MATLAB	226
7.5.1	Bestimmung des Verstärkungsfaktors K_V mit dem Bode-Diagramm	230
7.5.2	Bestimmung des Regel- oder Verstärkungsfaktors K_V mithilfe der Wurzelortskurve (WOK)	243
7.5.3	„Control System Designer“ zum Reglerentwurf – <code>sisotool</code>	247
7.5.3.1	Tab „Control System“	248
7.5.3.2	Tab „ROOT LOCUS EDITOR“, „BODE EDITOR“ bzw. „NICHOLS EDITOR“	248
7.5.3.3	Tab „VIEW“	250
7.5.3.4	„Graphical Tuning“ – Grafische Methoden zur Regleroptimierung	251
7.5.3.5	„Automated Tuning“ – Automatisierte Regleroptimierung anhand vorgegebener Parameter	264
8	Einführung in die SIMULINK-Toolbox	267
8.1	Erste Schritte in SIMULINK	267
8.2	Menüleiste von SIMULINK – wichtigster Tab Simulation	274
8.2.1	Gruppe PROJECT	274
8.2.2	Gruppe FILE	276
8.2.3	Gruppe LIBRARY	280
8.2.4	Gruppe PREPARE	280
8.2.5	Gruppe SIMULATE	280
8.2.6	Gruppe REVIEW RESULTS	283
8.3	Weitere Tabs der Menüleiste von SIMULINK	284
8.3.1	Tab DEBUG	284
8.3.2	Tab MODELING	285
8.3.3	Tab FORMAT	289
8.3.4	Tab APPS	290
8.3.5	Kontextbezogene Tabs (BLOCK, SIGNAL, SCOPE, etc.)	291

8.4	Sonstige Bedienmenüs von SIMULINK	293
8.4.1	Kurzbeschreibung der Symbole der linksseitigen Palette des SIMULINK Editors.....	293
8.4.2	Kontextbezogene Auswahlmenüs mit der rechten Maustaste	294
8.4.3	„Property Inspector“	296
8.5	Kurzbeschreibung der wichtigsten SIMULINK-Blöcke	297
8.6	Tipps & Tricks für Regelkreis-Simulationen.....	301
8.7	Tipps zur Auswertung grafischer Ergebnisse des <i>Scope</i>	315
8.7.1	Ändern der grafischen Darstellung über die Taskleiste des <i>Scope</i>	315
8.7.2	Konfigurierbare Darstellung des <i>Scope</i> -Fensters über MATLAB.....	315
A	MATLAB-Befehlsliste für die Abbildungen der zweidimensionalen Grafikbeispiele in Abschnitt 5.4.....	318
B	MATLAB-Befehlsliste für die Abbildungen der dreidimensionalen Grafikbeispiele in Abschnitt 5.5	322
C	MATLAB-Programm zur Berechnung eines optimierten Reglers mithilfe des Bode-Diagramms und des <i>margin</i>-Befehls	326
	Literatur	329
	Index	331

1

Einleitung

Die ersten Schritte mit einer neuen Software sind oft die wichtigsten, denn oftmals entscheidet es sich gleich beim ersten Kontakt, ob es sich um ein hilfreiches Werkzeug handelt, mit dem man gerne arbeiten und mehr darüber lernen möchte, oder ob es sich um „furchtbaren Schrott“ handelt, den man am liebsten in die Ecke werfen möchte – egal ob diese Einschätzung gerechtfertigt ist oder nicht.

Darum soll im Folgenden Schritt für Schritt der Einstieg in MATLAB/SIMULINK so einfach wie möglich und so detailliert wie nötig erklärt werden. Alle Funktionen und Toolboxen zu beschreiben, ist leider nicht möglich. Dazu ist die Funktionalität zu umfangreich und sind die Möglichkeiten der Anwendung zu vielfältig.

■ 1.1 Warum MATLAB/SIMULINK?

Wie bereits im Vorwort erwähnt, ist MATLAB/SIMULINK ein äußerst leistungsfähiges interaktives Programmpaket für vorwiegend numerische Berechnungen im Ingenieurbereich. Auch wenn mit der „*Symbolic Math Toolbox*“ ein Werkzeug zum analytischen Lösen von mathematischen Gleichungen hinzugekommen ist, liegt der Fokus immer noch auf der numerischen Lösung und der Simulation von Problemen und Aufgabenstellungen aus dem Ingenieurbereich.

Der Name MATLAB kommt schließlich aber von „matrix laboratory“. Daraus wird eine spezielle Bedeutung von Matrizen bei der Arbeit mit MATLAB ersichtlich, die manchmal ein Fluch und manchmal ein Segen sein kann. Früher oder später stolpert deshalb fast jeder einmal über eine rote Fehlermeldung wie:

```
Error using  
Inner matrix dimensions must agree.
```

Für numerische Berechnungen ist MATLAB kompromisslos einsatzbereit und bei der Berechnung, Modellierung und Simulation technischer Systeme, sowohl an den Hochschulen als auch in der Industrie, hat MATLAB/SIMULINK Maßstäbe gesetzt.

Typische Anwendungen von MATLAB sind:

- Mathematische Berechnungen;
- Entwicklung von Algorithmen;
- Datenerfassung und -bearbeitung;
- Datenanalyse, -auswertung und -visualisierung;
- Modellbildung, Simulation und Erstellen von Prototypen;
- Wissenschaftliche und technische grafische Darstellungen;
- Entwicklung von Anwendungen, inklusive der Gestaltung von grafischen Benutzeroberflächen.

Mit der „*Symbolic Math Toolbox*“ wird das Spektrum von MATLAB deutlich erweitert, denn das analytische bzw. symbolische Lösen, Bearbeiten und Darstellen von Gleichungen ist in der Mathematik und anderen Bereichen der Ingenieurwissenschaft von nicht zu unterschätzender Wichtigkeit.

Somit sollte MATLAB/SIMULINK nun wirklich universell einsetzbar sein.

■ 1.2 MATLAB-/SIMULINK-Versionen

Die Versionen von MATLAB/SIMULINK haben sich ähnlich rasant und umfangreich weiterentwickelt wie die diversen Betriebssysteme, z. B. Microsoft Windows. Seit ein paar Jahren, in etwa ab Version 6, sind mit jeder neuen Ausgabe von MATLAB nicht nur weitere neue Befehle und Funktionen dazugekommen, sondern vor allem komplexe grafische Werkzeuge, die viele der einfacheren Befehle aus einem spezifischen Themenbereich zusammenfassen und die Handhabung der Befehle durch grafische Oberflächen und Bedienung per Mausklick erheblich vereinfachen, z. B. das in Abschn. 7.5.3 ausführlich beschriebene `sisotool`, früher als `r1tool` bekannt.

Von der simplen schwarz-weiß gehaltenen, ungeteilten Befehlsfläche von Version 4 (der ersten MATLAB-Version, die die Autorin kennen gelernt hat) bis zur bunten, in mehrere Bereiche unterteilten Oberfläche von Version 9.8 (R2020a), mit unterschiedlichen Farben für unterschiedliche Befehle und seit Neuem auch mit modernen Apps, ist die Weiterentwicklung von MATLAB/SIMULINK auch optisch deutlich zu bemerken. In den früheren Versionen ging mit Mausklick gar nichts, jetzt ist die Bedienung per Maus deutlich vereinfacht.

Die Firma MathWorks bringt inzwischen zweimal jährlich eine neue Ausgabe ihrer gesamten MATLAB-/SIMULINK-Produktfamilie heraus, eine jeweils im Frühjahr, gekennzeichnet mit a (z.B. R2020a), die zweite jeweils im Herbst, gekennzeichnet mit b (z.B. R2019b). Jede Aktualisierung synchronisiert die komplette Produktfamilie und enthält neue Funktionen und Verbesserungen für bestehende sowie eventuell zwischenzeitlich neu erschienene Toolboxes.

Die grundsätzliche Bedienung des Programms, die Syntax der Befehle, vor allem auch das Hauptfenster von MATLAB, das so genannte „*Command Window*“, die meisten Funktionen und Befehle und vieles mehr haben sich aber im Laufe der Entwicklung von MATLAB/SIMULINK nicht verändert. Deshalb sind die folgenden grundsätzlichen Erklärungen, wie MATLAB oder SIMULINK zu bedienen sind, auch dann gültig, wenn man noch mit älteren Versionen arbeiten will oder muss. Erst speziellere Funktionen, meist mit grafischer Bedienoberfläche, stehen in den aktuellen Versionen von MATLAB/SIMULINK¹ zur Verfügung.

Die Firma MathWorks bietet MATLAB/SIMULINK nicht nur für den „normalen“ Anwender, sondern auch für Forschung und Lehre zu bestimmten Konditionen an. Für Studierende bietet sich der günstige Erwerb der Studentenversion an, die viele wichtige und nützliche Toolboxes enthält, sofern die Hochschule nicht sowieso über eine Campuslizenz verfügt.

¹ Die „aktuelle Version“ ist in diesem Buch die Version 9.8 bzw. „Release“ R2020a, erschienen im April 2020.



Bei der in Buchhandlungen erhältlichen Studentenversion ist für die dauerhafte Aktivierung nach 30 Tagen Probezeit die Einsendung einer gültigen Immatrikulationsbescheinigung erforderlich! Campuslizenzen werden normalerweise anhand der Mailadresse der Hochschule für jeweils ein Jahr vergeben.

Für das vorliegende Buch sind die in Bild 1.1 zum Teil aufgelisteten Toolboxes von MATLAB 9.8, Release R2020a, Grundlage der Erläuterungen.

```

>> ver
-----
MATLAB Version: 9.8.0.1380330 (R2020a) Update 2
MATLAB License Number:
Operating System: Microsoft Windows 10
Java Version: Java 1.8.0_202-b08 with Oracle Corporation Java HotSpot(TM) 64-Bit Server VM mixed mode
-----
MATLAB                               Version 9.8           (R2020a)
Simulink                              Version 10.1          (R2020a)
5G Toolbox                            Version 2.0           (R2020a)
AUTOSAR Blockset                      Version 2.2           (R2020a)
Aerospace Blockset                    Version 4.3           (R2020a)
Aerospace Toolbox                     Version 3.3           (R2020a)
Antenna Toolbox                       Version 4.2           (R2020a)
Audio Toolbox                         Version 2.2           (R2020a)
Automated Driving Toolbox              Version 3.1           (R2020a)
Bioinformatics Toolbox                 Version 4.14          (R2020a)
Communications Toolbox                 Version 7.3           (R2020a)
Computer Vision Toolbox                Version 9.2           (R2020a)
Control System Toolbox                 Version 10.8          (R2020a)
Curve Fitting Toolbox                  Version 3.5.11        (R2020a)
DSP System Toolbox                     Version 9.10          (R2020a)
Data Acquisition Toolbox                Version 4.1           (R2020a)
Database Toolbox                       Version 9.2.1         (R2020a)
Datafeed Toolbox                       Version 5.9.1         (R2020a)
Deep Learning Toolbox                  Version 14.0          (R2020a)
Econometrics Toolbox                   Version 5.4           (R2020a)
Embedded Coder                         Version 7.4           (R2020a)
Filter Design HDL Coder                 Version 3.1.7         (R2020a)
Financial Instruments Toolbox          Version 3.0           (R2020a)
Financial Toolbox                      Version 5.15          (R2020a)
Fixed-Point Designer                    Version 7.0           (R2020a)
Fuzzy Logic Toolbox                    Version 2.7           (R2020a)
GPU Coder                              Version 1.5           (R2020a)
Global Optimization Toolbox            Version 4.3           (R2020a)
HDL Coder                              Version 3.16          (R2020a)
HDL Verifier                           Version 6.1           (R2020a)
Image Acquisition Toolbox               Version 6.2           (R2020a)
Image Processing Toolbox                Version 11.1          (R2020a)
Instrument Control Toolbox              Version 4.2           (R2020a)

```

Bild 1.1 Ausschnitt der Auflistung der 98 Toolboxes der MATLAB Version 2020a inklusive jeweiliger Versionsnummer mit dem Befehl `ver`

In der Campuslizenz von MATLAB/SIMULINK R2020a stehen nun 98 Toolboxes zur Verfügung (im Vergleich zu 78 Toolboxes der Version R2016a der zweiten Auflage dieses Buches). Eine Auswahl dieser Toolboxes finden in dem vorliegenden Buch Erwähnung, nur ein paar wenige, wie SIMULINK oder die „Control System Toolbox“ werden etwas ausführlicher behandelt, jedoch immer mit der Einschränkung, dass nur eine Einführung in die Benutzung gegeben werden kann.

MATLAB/SIMULINK ist für die im Desktop-Bereich gängigen Betriebssysteme Windows, Linux und Mac OS X verfügbar. Vorausgesetzt werden jeweils ihre aktuellen Versionen und Intel-basierte Prozessoren bei Mac OS X.

Leider gibt es für MATLAB/SIMULINK nur die englische Originalversion, eine andere Sprachversion, z. B. Deutsch, ist nicht erhältlich. Deshalb sind auch die Dokumentation und die Programmhilfe nur auf Englisch verfügbar.

■ 1.3 Installation der Software

Die Installation von MATLAB/SIMULINK, egal ob Studenten- oder „normale“ Version, ist unter heutigen Betriebssystemen eigentlich einfach und selbsterklärend. Bei Verwendung von Windows sollte die Installation bei Einlegen der DVD-ROM von selbst starten, sofern die Autostart-Funktion nicht deaktiviert wurde. Die Campuslizenz kann über die Homepage von MathWorks (www.mathworks.de) heruntergeladen werden, nachdem ein Benutzerkonto mit der Mailadresse der Hochschule bei MathWorks angelegt wurde.

Falls die Installation nicht selbst starten sollte, kann die Installation manuell gestartet werden, indem die Datei `setup.exe` auf der MATLAB-/SIMULINK-DVD oder in dem Verzeichnis, in das die Installationsdateien kopiert wurden, aufgerufen wird.



Normalerweise wird die Installationsdatei, wenn sie direkt von der Internetseite von MathWorks heruntergeladen wird, siehe Bild 1.2, im Benutzerverzeichnis unter „Downloads“ gespeichert. Von dort kann die gepackte Installationsdatei, eine exe-Datei, entpackt und gestartet werden. Es kann allerdings zu Problemen kommen, wenn der Benutzername ein nicht-ASCII-konformes Zeichen enthält, z.B. deutsche Umlaute wie in Müller. Dann wird die Installation normalerweise mit einer Fehlermeldung abgebrochen. In diesem Fall empfiehlt es sich, den Inhalt der heruntergeladenen Installationsdatei in ein „neutrales“ Verzeichnis, ohne Sonder- und Leerzeichen, am besten direkt in der Systempartition zu entpacken und von dort zu starten.

Für die Installation über einen MathWorks-Account, also ein bestehendes Benutzerkonto, ist unbedingt eine sehr gute Internetverbindung notwendig, zumindest wenn alle Toolboxen installiert werden sollen. Für die 98 Toolboxen von MATLAB R2020a wird ein Speicherplatz von rund 30 GB benötigt.

Nachdem die Installation gestartet wurde, kann ausgewählt werden, welche Toolboxen installiert werden sollen. Standardmäßig sind alle verfügbaren Toolboxen markiert. Unter Umständen wird am Ende der Installation in der Erfolgsmeldung vermerkt, welche Zusatzsoftware von bestimmten Toolboxen benötigt wird, z.B. spezifische Compiler. Links auf die entsprechende Internetseite von MathWorks zum Herunterladen der benötigten Software sind hinterlegt, siehe Bild 1.3.

Wird MATLAB über ein Benutzerkonto direkt von der MathWorks-Webseite installiert, ist normalerweise eine extra Aktivierung nicht mehr nötig. Andernfalls muss MATLAB erst aktiviert werden. Ein Startmenü findet sich dazu im MATLAB-Verzeichnis „Activate MATLAB R2020“. Sobald die Aktivierung erfolgreich abgeschlossen ist, kann MATLAB gestartet werden.

MathWorks®

MATLAB erhalten

Downloads

FAQ | Download & Install Troubleshooting

Support kontaktieren

Get Latest Release

R2020a

» Learn More

Download R2020a

Click here to download any MathWorks release

Get Trial Software

Try MATLAB, Simulink, and Other Products

» Create a trial

» Download an existing trial

Deutschland

Patente | Handelsmarken | Datenschutz | Preventing Piracy | Status von Anwendungen

© 1994-2020 The MathWorks, Inc.

Facebook Twitter YouTube LinkedIn Instagram

Folgen Sie uns

Bild 1.2 Herunterladen von MATLAB über die Webseite www.MathWorks.com

MathWorks Product Installer

R2020a

Installation Complete

Your installation may require additional configuration steps.

- The following products require a supported compiler:
 - Simulink Coder
 - Simulink Real-Time
 - MATLAB Coder
- To accelerate computations with the following products, a supported compiler is required:
 - SimBiology
 - Fixed-Point Designer
- MATLAB Compiler requires a supported compiler for creation of Excel add-ins

Close

Bild 1.3 Zum erfolgreichen Abschluss der Installation wird aufgelistet, welche Zusatzsoftware, wie z.B. Compiler, von einigen Toolboxen benötigt wird. Unter „supported Compiler“ sind Links hinterlegt, sodass nicht lange gesucht werden muss.

Bei älteren MATLAB-Versionen (7.x und älter) wird während der Installation die Eingabe eines Lizenz-Codes verlangt. Sobald der *Passcode* eingegeben wurde, wird die Installation fortgesetzt und MATLAB und alle unter der Lizenz erworbenen Toolboxes sind sofort ohne Einschränkung nutzbar.



Es ist hilfreich, während der Installation eine funktionierende Internetverbindung zu haben, da nicht nur die Aktivierung sofort durchgeführt werden kann, sondern auch bei Problemen die Supportseite des Herstellers MathWorks (<https://de.mathworks.com/support/>) erreicht werden kann.

1.4 MATLAB Online ohne Installation

MATLAB Online zu nutzen, ist eine neue Möglichkeit mit MATLAB zu arbeiten, vor allem in Zeiten von Online-Vorlesungen, ohne das umfangreiche Softwarepaket auf dem eigenen PC installieren zu müssen. Um es verwenden zu können, wird nur eine gültige Lizenz benötigt, die die Online-Nutzung einschließt, was z. B. bei Campus-Lizenzen der Hochschulen der Fall ist.

Alles Weitere ist deutlich einfacher als die langwierige Installation, vor allem, wenn MATLAB nur vorübergehend in Übungen verwendet werden soll. Es ist erforderlich, sich auf der MathWorks-Homepage einzuloggen, was einen Benutzer-Account, der mit einer entsprechenden Lizenz verknüpft ist, voraussetzt, aber dieser Benutzer-Account ist normalerweise auch für die Installation auf dem eigenen PC erforderlich. Anschließend sucht man entweder über

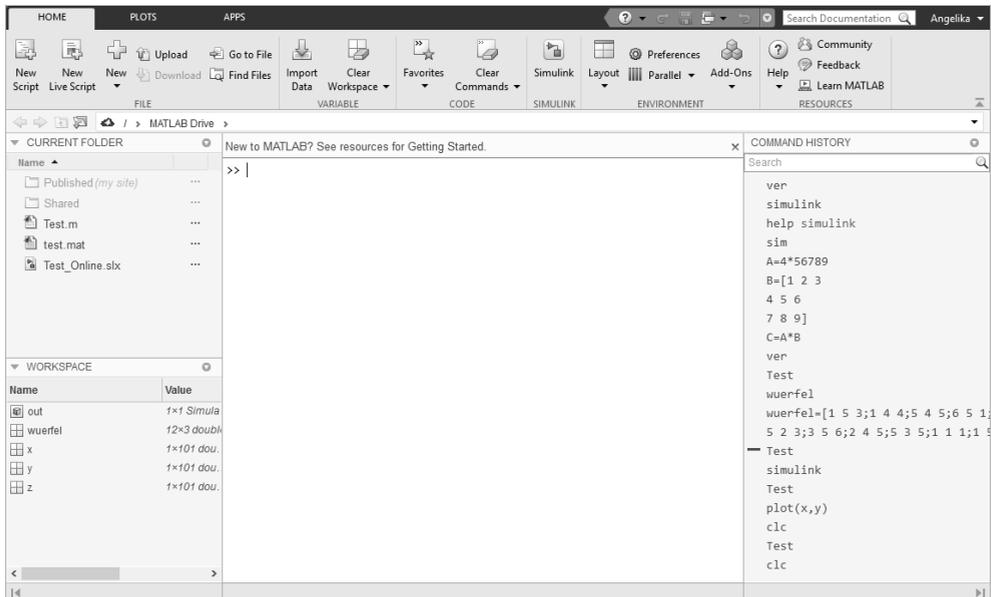


Bild 1.4 Startfenster von MATLAB Online

die Suche nach „MATLAB Online“ oder findet das gewünschte unter der Kategorie „Produkte“ bei den „Cloud-Lösungen“. Sobald MATLAB Online gestartet ist, weist im ersten Moment nur der Browser-Kopf darauf hin, dass es sich um die Online-Version handelt, da MATLAB Online, siehe Bild 1.4, fast genauso aussieht, wie die installierte Version, vergleiche Bild 2.1.

Ein paar Unterschiede kann man im Laufe der Arbeit mit MATLAB Online dann allerdings doch entdecken:

- Alle erstellten MATLAB-Dateien werden online in einer Cloud gespeichert, wobei mit dem MATLAB Drive Connector, der separat installiert werden muss, eine Synchronisation zwischen dem eigenen PC und MATLAB Online möglich ist. Mit einem MathWorks-Benutzer-Account stehen 250 MB Speicherplatz zur Verfügung, mit entsprechenden Lizenzen kann dieser Speicherplatz auf bis zu 5 GB ausgeweitet werden. Interessant vor allem für die Arbeit in Teams, wenn gemeinsam an MATLAB-Projekten gearbeitet wird und Dateien allen Teammitgliedern zur Verfügung gestellt werden können.
- Die Ausführung von komplizierteren MATLAB-Programmen oder SIMULINK-Simulationen kann je nach Umfang entsprechend dauern, abhängig natürlich auch von der Internetverbindung.
- Nach einer gewissen Zeit der Inaktivität, wird der Benutzer automatisch von MATLAB Online abgemeldet, vergleichbar dem Online-Banking, allerdings werden alle Dateien, an denen gearbeitet wird, gespeichert.

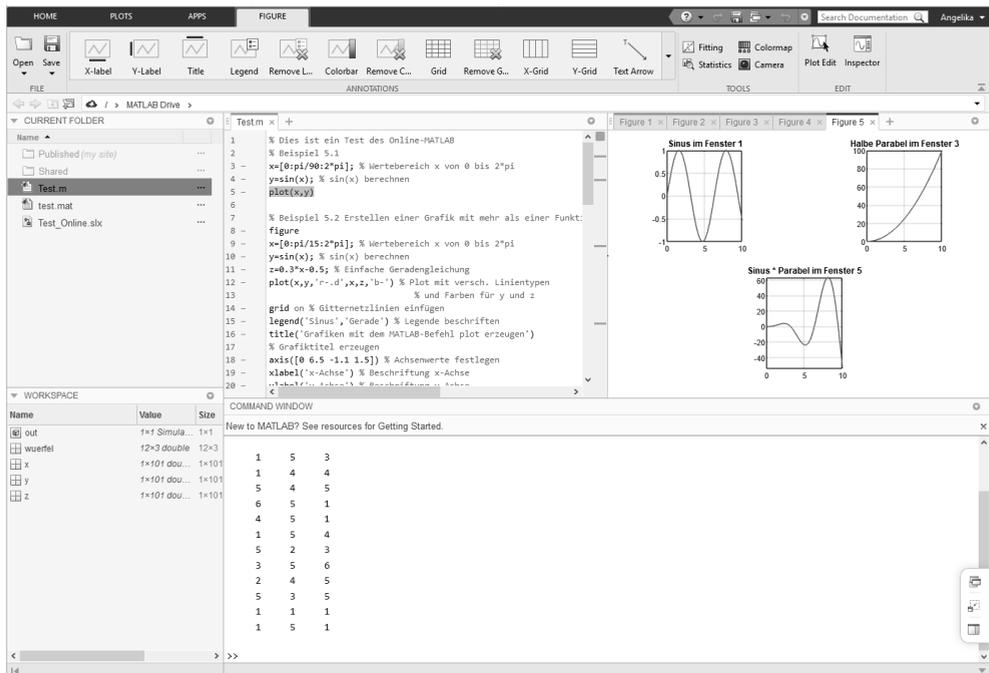


Bild 1.5 In der Online-Version können MATLAB-Programme oder SIMULINK-Simulationen gestartet oder Berechnungen durchgeführt und visualisiert werden, genau wie bei der installierten Desktop-Version

- Es gibt einige neue Ansichten, z. B. den Tab FIGURE, wenn ein Grafikenster in MATLAB geöffnet ist, siehe Bild 1.5 im Vergleich zu Bild 5.1, dem geöffneten Grafikenster der Desktop-Version von MATLAB.
- Bei MATLAB Online steht immer die aktuellste MATLAB-Version zur Verfügung. Das kann zu Verwirrungen führen, wenn die Desktop-Version nicht ebenso regelmäßig aktualisiert wird. Bei der ausschließlichen Verwendung von MATLAB Online, spart man sich allerdings viel Zeit, wenn nicht alle 6 Monate die neueste Version installiert werden muss.



MATLAB Online ist eine höchst interessante Alternative zur installierten Desktop-Version. Plattformunabhängig, von jedem Gerät mit Internetverbindung aus zu erreichen, immer aktuell und durch die Datenspeicherung in der Cloud für Projektteams gut geeignet. Eine Ablösung der installierten Desktop-Version in der Zukunft?

Für die Arbeit an diesem Buch wurde allerdings weiterhin mit der installierten Desktop-Version von MATLAB auf einem PC mit Windows 10 gearbeitet, da bisher noch zu wenig Erfahrung mit der Online-Version gesammelt wurde. Da die bisher getesteten MATLAB-Programme oder SIMULINK-Modelle in beiden Versionen funktionierten, sind die Erläuterungen in den folgenden Kapiteln durchaus für MATLAB Online gültig und anwendbar.

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, in Bild 2.2 das Kontextmenü für das „*Command Window*“, 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 Hintergrund. „*Undock*“ löst ein Fenster aus dem Verbund zu einem eigenständigen Fenster, der gegenteilige Befehl lautet „*Dock*“ für ein separates Fenster, das wieder in den Verbund integriert werden soll. 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.

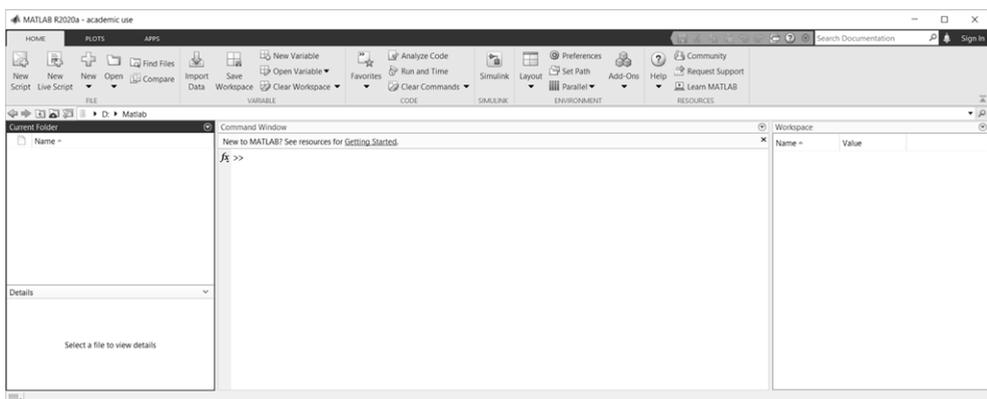


Bild 2.1 MATLAB – hier die Version der Campuslizenz – nach dem Start mit standardmäßig vier Fenstern: „*Current Folder*“, „*Details*“, „*Command Window*“ und „*Workspace*“ (von links nach rechts)

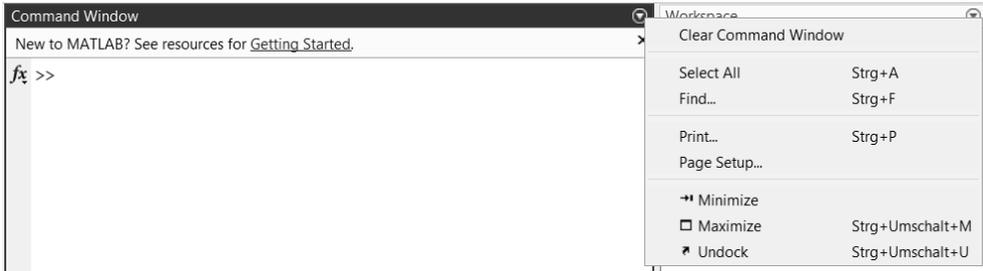


Bild 2.2 Optionen zum Anpassen der verschiedenen Fenster des MATLAB-Desktops, beispielhaft das Kontextmenü des „Command Window“

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 werden können, wenn dieses Verzeichnis oder die Verzeichnisse dem MATLAB-Suchpfad hinzugefügt wurde bzw. 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`.

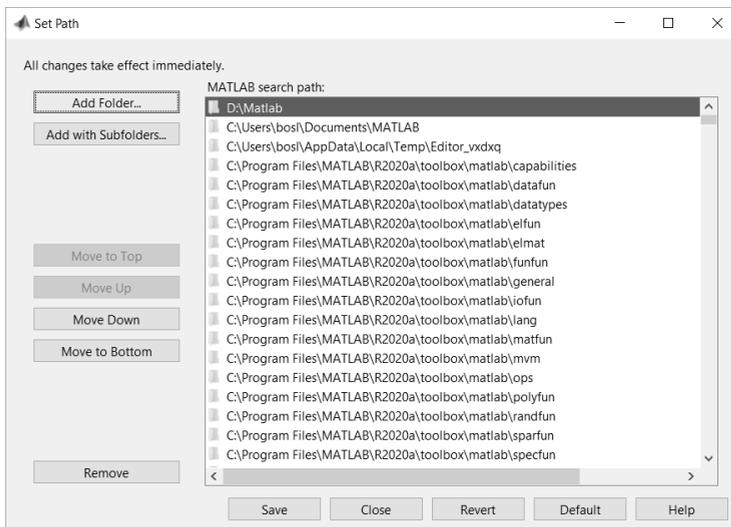


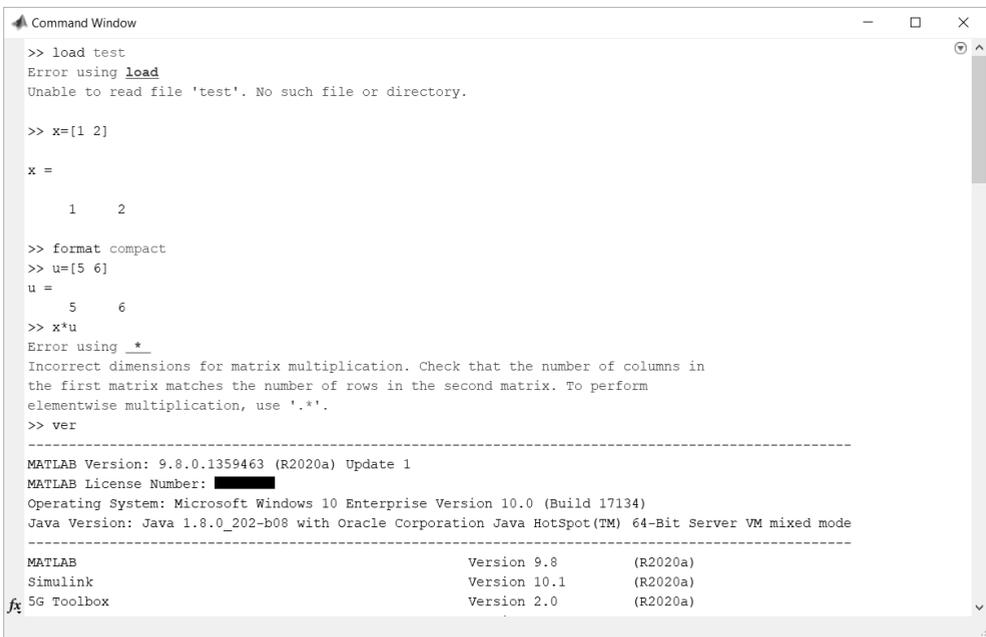
Bild 2.3 „Set Path“-Dialogfenster zum Hinzufügen eigener Verzeichnisse

■ 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).



```

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 *
Incorrect dimensions for matrix multiplication. Check that the number of columns in
the first matrix matches the number of rows in the second matrix. To perform
elementwise multiplication, use '.*'.
>> ver

-----
MATLAB Version: 9.8.0.1359463 (R2020a) Update 1
MATLAB License Number: ██████████
Operating System: Microsoft Windows 10 Enterprise Version 10.0 (Build 17134)
Java Version: Java 1.8.0_202-b08 with Oracle Corporation Java HotSpot(TM) 64-Bit Server VM mixed mode
-----
MATLAB                               Version 9.8           (R2020a)
Simulink                             Version 10.1          (R2020a)
5G Toolbox                           Version 2.0           (R2020a)

```

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

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 die willkürlichen Beispiele in Bild 2.4.

Index

2D-Grafiktypen 125–131
3D-Grafiktypen 136–142
3-dimensional objects 134
3D-Objekt 139

A

Abrunden 78, 79
abs 77
Absolutwert 77
Abtastzeit (*sample time*) 217
Accelerator 281
Achsen
– Achsenbegrenzung 114, 142
– Achsenbeschriftung 110
– Achsenskalierung 110, 120
acos 80
– acosd 80
– acosh 80
Addition 74, 299
– Unäre Addition 74
Add-Ons 36
Add-Ons Explorer 36, 38
Advance 151
Aktivierung 18
all 82
Amplitude
– Amplitudengang 207, 224
– Amplitudenrand 230, 258
– Amplitudenverstärkung 207
Analyze Code 35
and 82
angle 77
Annotation 293
ans 55
Anstiegszeit 204
any 82
App 34
App Designer 34
APPS 38
Apps 290
area 128
area graphs 124, 134
Array multiply 101
asin 80
– asind 80
– asinh 80
atan 80
– atand 80
– atanh 80
attributes 182
Aufrunden 78
Ausgangsblöcke 298
Ausgangsverzögerung 217
Auto Arrange 290
Auto Solver Heuristics 289
Automated Tuning 264
Automatisierte Regleroptimierung 264
Axes Properties 114
axis 110, 142
axis equal 142
axis off 142
axis on 142

B

Balkendiagramme 124, 126, 134, 138
bar 126
– barh 127
bar graphs 124, 134
bar3 138
– bar3h 138
base2dec(str, basis) 50
Basic Fitting 116, 118
Bearbeitungsfelder 185
Befehlsfenster 25
Benutzerkonto 18

Beobachtungspunkt 142
Berechnungsmethode 285
Betrag 77
Betragskennlinien 207
bin2dec(str) 50
Bird's Eye Scope 284
bitand 84
bitcmp 84
bitget 84
bitor 84
bitset 84
bitshift 84
Bitweise Operatoren 84
bitxor 84
Blank Model 270
Block Properties 295
bode 207
Bode-Diagramm 207, 230
Bookmarks 150
Boole'sche Algebra 82
box 143
box off 143
box on 143
break 171
Breakpoints 151
Bruchzahl 49

C

Callbacks 295
Camera Toolbar 114, 118
Campuslizenz 16
ceil 53, 78
cell 51
char 51
clabel 126
Class 149, 158, 181
classdef 181, 182
Classical Design Formulas 265
clc 35, 174
clear 30, 174
clear all 174
Clear Commands 32, 35
clear functions 174
clear global 174
Clear Output 190

clear variables 174
Clear Workspace 35
clearvars 174
Clock (Block) 297
Close 23
Closed-Loop Peak Gain 258
CODE 35
Code Analyzer Report 35
Code Examples 189
Code Folding 157
Code Refactoring 186
Collapse 157
colormap 108
comet 129
comet3 140
Command History 31
Command Window 23, 25
Comment 150
Community 37
Community Toolboxes 36
Compare 35, 150, 250
compass 130
Compensator Editor 256
Compiler 18
coneplot 141
Configuration Properties 306
conj 78
Constant (Block) 297
Continue 152
continue 171
contour 126
contour3 136
contourf 128
contourslice 137
Control 185
Control Architecture 249
Control System Designer 247
Control System Toolbox 192, 300
conv 194
Convert to Function 186
Convert to Local Function 186
convolution 194
corrcoef 71
cos 80
– cosd 80
– cosh 80
cov 71

Cramer'sche Regel 90
 Create Favorite 33
 Current Folder 26
 cylinder 139

D

Dämpfung 243, 257
 damping 243
 Damping Ratio 257
 daspect 143
 data aspect ratio 143
 Data Inspector 283
 Data Statistics 116, 118
 Datatipps 190
 dbstack 152
 Debugging 151, 152
 dec2base(a,basis) 50
 dec2bin(a) 50
 dec2hex(a) 50
 delay time 222
 Demux (Block) 300
 Denominator 217
 Derivative (Block) 298
 Design App 38
 Design Requirements 256
 Design Summary 260
 det 90
 Determinante 90
 diag 100
 Diagnostic Viewer 284
 Diagramme 106
 – Diagrammeigenschaften 114
 – Diagrammtitel 110
 diary 175
 diary off 175
 diary on 175
 diff 99
 Differenzierer 298
 Dimensionen eines Vektors 67
 Dirac-Impuls 202
 direction graphs 124, 134
 disp 170, 175
 Display (Block) 298
 Division 75, 76
 Dock 23

Documentation 37, 40
 double 51
 Dropdown-Listen 185
 Durchschnittswert 70

E

echo 175
 echo off 175
 echo on 175
 Edit Compensator 256
 Editor 147
 eig 65
 Eigenfrequenz 257
 eigenvalues 65
 Eigenvektoren 65
 Eigenwert 65
 Eingangsböcke 297
 Eingangsverzögerung 217
 Einheitsmatrix 62
 Einschwingzeit 202, 204, 257
 Elementweise Verknüpfung 101
 – Elementweise Division 103
 – Elementweise Multiplikation 101
 – Elementweises Potenzieren 103
 Ellipsoid 139
 ellipsoid 139
 Enable Tiled Printing 278
 end 172
 ENTWEDER-ODER 82
 ENVIRONMENT 36
 eq(a,b) 81
 Equal 81
 Equation 189
 errorbar 127
 Evaluate Selection 33
 events 182
 exklusiv-ODER 82
 exp 77
 Expand 157
 Exponentialfunktion 77
 Export 260
 Export Model 261
 eye 62
 ezpolar 130

F

Farben

- Farbenwerte 111
 - Farbpalette 108
 - Farbschattierungen 143
 - Farbübergänge 143
- Fast Restart 281
- Favorite Command Editor 33
- Favorites 35
- Fcn (Block) 301
- fcontour 125
- fcontour(fun) 126
- feather 129
- feedback 200
- Fehlerbalken 127
- Fehlersuche 152, 284
- Feldoperationen 101
- feste Schrittweite 286
- Festkommaformat 48
- Figure 34
- figure 107
- Figure Properties 108, 114
- fill 128
- fill3 138
- Find Files 35, 149
- Fit to View 294
- fix 53
- fix(x) 78
- fixed-step 286
- Flächendiagramme 124, 128, 134, 138
- Fließkommaformat 48
- flintmax 84
- Floating Scope (Block) 298
- floor 53
- floor(x) 79
- fmesh 125
- fmesh(fun) 137
- format 48
- format + 48
- format bank 48
- format compact 49
- format hex 48
- format long 48
- format longe 48
- format longeng 48
- format longg 48

- format loose 49
- format rat 48
- format short 48
- format shorte 48
- format shorteng 48
- format shortg 48
- for-Schleife 162
- fplot 125
- fplot(fun) 125
- fplot3 136
- Frequenzantwort 207
- Frequenzbereich 208, 210
- Frequenzgang 207
- Frequenzliniendiagramm 207
- From File (Block) 297
- From Workspace (Block) 297
- fsurf(fun) 139
- Führungsübertragungsfunktion 200
- Full Screen 190
- Function 149, 158
- function 179
- Function Browser 43
- Function Call Stack 152
- Funktion 179
- Funktionsgenerator 297

G

- Gain & Phase Margins 258
- Gain (Block) 299
- gain margin 224
- ge(a, b) 81
- Geschlossener Regelkreis 200
- Geschwindigkeitsvektoren 141
- get 217
- Get Add-ons 290
- Gewichtsfunktion 202
- Gitternetzlinien 110
- Gleich 81
- Go To Line 150
- Grafiken 106
- Grafikeigenschaften 108
 - Grafiktitel 110
- Graphical Tuning 251
- Greater than 81
- Greater than or equal 81

grid 110
 grid off 110
 grid on 110
 Größer als... 81
 Größer als oder gleich... 81
 Ground (Block) 297
 Grundrechenarten 73
 gt(a,b) 81
 gtext 110

H

Haltepunkte 151
 Help 37, 116
 help 45
 hex2dec(str) 50
 hex2num(str) 50
 Hexadezimalzahl 49
 Hilfe 40
 histogram(y) 127
 Histogramme 127
 Höhenprofile 139, 140
 hold 122
 – hold off 107, 122
 – hold on 107, 122
 HOME 34
 Hyperlink 189

I

if-elseif-else-Verzweigung 165
 imag 78
 Image 189
 image 128
 imagesc 128
 Import Data 35
 Impulsantwort 202
 impulse 202
 imread 128
 Indent 150
 Inf 48
 input 168, 175
 InputDelay 217
 Insert 150
 inspect 120
 Install Apps 38

Installation 18
 int8 51
 int16 51
 int32 51
 int64 51
 Integrator (Block) 298
 Integrierer 298
 Internal Model Control (IMC) Tuning 264
 intersect 85
 intmax 84
 inv 64, 88
 Inverse Matrix 64
 Invertieren 64, 88
 IODelay 217
 ismember 85
 Isolinien 126, 136

K

Kettenschaltung 195
 Kleiner als... 81
 Kleiner als oder gleich... 81
 Komet 140
 Kommentare 26
 Kompilieren 286
 Komplexe Zahlen 48
 Kontrollkästchen 185
 Kontrollstrukturen 161
 Korrelationskoeffizient 71
 Kovarianz 71
 Kuchendiagramme 128
 Kugelobjekte 139

L

Laden 30
 Länge eines Vektors 68
 Laplace-Variable 198, 224
 lasterr 170
 LaTeX-Gleichung 189
 Layout 24, 36
 ldivide 76
 le(a,b) 81
 legend 110
 Legende 110
 length 68

- Less than 81
 - Less than or equal 81
 - Library Browser 270, 280
 - line 126
 - line graphs 124, 134
 - Line Numbers 190
 - Line Style 121
 - Line Width 121
 - Lineares Gleichungssystem 90
 - LineWidth 112
 - Linien 115
 - Liniendicke 112
 - Linientypen 111
 - Liniendiagramme 124, 125, 134, 136
 - Linke Matrixdivision 97
 - linspace 57
 - listeners 182
 - Live Editor 34, 147, 183
 - Live Function 147, 149, 158
 - Live Script 147, 149, 158
 - load 30
 - log 77
 - log10 77
 - Logarithmus zur Basis 10 77
 - Logarithmus zur Basis e 77
 - Logging 316
 - Logic Analyzer 284
 - logical 51
 - Logische Operatoren 82
 - loglog 125
 - logspace 57, 208
 - Loop Shaping 264
 - Löschen 30
 - Lower Gain Limit 258
 - LQG Synthesis 264
 - lt(a,b) 81
 - LTI Systems (Block) 300
- M**
- magic 66
 - Magisches Quadrat 66
 - Manual Switch (Block) 300
 - margin 224
 - Marker 112, 121
 - Marker Size 121
 - MarkerEdgeColor 112
 - MarkerFaceColor 112
 - Markerfüllungen 112
 - Markergröße 112
 - MarkerSize 112
 - Markup 289
 - Maschennetzdiagramme 137
 - Mathematische Formeln 189
 - MathWorks Support 37
 - MATLAB Academy 37
 - MATLAB Drive Connector 21
 - MATLAB Function (Block) 301
 - MATLAB Online 20
 - MATLAB-Desktop 23
 - Matrixdivision 75, 76
 - Matrixmultiplikation 75, 92
 - Matrizen 58
 - max 68
 - Maximalwerte 68
 - Maximize 23
 - mean 70
 - Median 70
 - median 70
 - Mengenoperatoren 85
 - mesh 137
 - mesh graphs 134
 - meshc 137
 - meshz 138
 - methods 182
 - M-Files 34, 147
 - min 68
 - Minimalwerte 68
 - Minimize 23
 - minus 75
 - Mittelwert 70
 - mldivide 76, 97
 - mod 79
 - Model Advisor 285
 - Model Browser 294
 - Model Configuration Parameters 285
 - Model Explorer 285
 - Model Properties 295
 - Model Settings 285
 - Modeling 285
 - Modellierung 285
 - Modulo 79
 - mpower 76

mrdivide 75, 98
 mtimes 75
 Multiplikation 75, 95
 Multiplikator 299
 Multiport Switch (Block) 300
 Mux (Block) 300

N

Name on 293
 Natural Frequency 257
 Natürlicher Logarithmus 77
 NAVIGATE 150
 ne(a, b) 81
 nested functions 181
 New 34, 149
 New Live Script 34
 New Script 34, 147
 New Variable 35
 nichols 211
 Nichols-Ortskurve 211
 NICHT 82
 not 82
 Not equal 81
 Nullstellen 212, 216
 num2hex(a) 50
 Numerator 217
 nyquist 209
 Nyquist-Ortskurve 209
 Nyquist-Stabilitätskriterium 209

O

obere Amplitudenbegrenzung 258
 Oberflächendiagramme 134, 139
 object properties 217
 objects 182
 Objekte 134
 Objektklasse 181
 ODER 82
 ones 62
 Open 34, 149
 Open Variable 35
 Optimization Based Tuning 264
 or 82
 Ortskurve 209, 211

Oszilloskop 298
 OutputDelay 217

P

Package App 36, 38
 Package Toolbox 36
 packages 182
 Parallel 36
 parallel 196
 Parallel Computing Toolbox 36
 Parallelschaltung 196
 pareto 127
 Passcode 20
 patch 138
 „Patch“-Objekte 138
 pause 172
 pause off 172
 pause on 172
 pcolor 129
 Peak Response 202, 204, 210
 peaks 126
 Percent Overshoot 257
 Pfeildiagramme 129
 Phase
 – Phasengang 224
 – Phasenkennlinien 207
 – Phasenrand 230, 258
 – Phasenreserve 230
 – Phasenverschiebung 207
 – Phasenwinkel 77
 phase margin 224
 PID Tuning 264
 PID-Controller 299
 PID-Regler 197, 299
 pie 128
 pie3 138
 PI-Regler 197
 plot 106, 110
 Plot Browser 114, 118
 Plot Catalog 144, 146
 Plot Edit Toolbar 114
 plot(y) 125
 plot3 136
 plotmatrix 131
 PLOTS 38

plotyy 125
plus 74
Pol- und Nullstellendiagramm 212
polar 130
Polargitternetzlinien 130
Polarkoordinaten 130
pole 216
Polform 199
Polstellen 212, 216
Polygone 138
Polygonnetz 137
Polygonnetzdiagramme 134, 137
Polynommultiplikation 194
Potenzieren 76
Potenzieren einer Matrix 76, 96
power 76
Preferences 36
Print 150
prod 99
Profiler 35, 151
Programmieren 147
Programmiervorlagen 158
Project 34, 274
Project Management 276
Projektmanagement 276
properties 182
Property Editor 114, 118, 121
Property Inspector 120, 296
Protected Model 278
Publish 154
Punkttypen 111
Punkt-vor-Strich-Regel 73
pzmap 212

Q

Quadratwurzel 77
Quick Access Toolbar 33
Quit Debugging 152
quiver 129
quiver3 140

R

radial graphs 124
Radialdiagramme 124, 130

rand 62
– randi 64
– randn 63
Rang einer Matrix 89
rank 89
Rapid Accelerator 281
rdivide 75
real 78
RECENT FILES 34
RECENT PROJECTS 34
Rechte Matrixdivision 98
Refactor 186
Regelstrecke 193
Regelungstechnik 192
Region Constraint 257
Reglerblöcke 298
Reglerentwurf 226
Regleroptimierung 251
Reihenschaltung 195
Relationale Operatoren 80
rem 79
Remainder 79
RESOURCES 37
Rest nach Division 79
Restore 23
Restore View 116, 117
Retrieve 250
return 171
Richtungsdiagramme 124, 129, 134, 140
Rise Time 204
rlocfind 243
rlocus 214, 243
rltool 247
Robust response time 265
root locus 214
rose 130
round 53, 78
Run 151, 186, 281
Run and Advance 151, 186
Run and Time 35, 151
Run Dependency Analysis 275
Run Section 151, 186
Run to Cursor 152
Run to End 186
Runden 53, 78

S

- Sample Time 294
- Save 149
- save 29
- Save Workspace 35
- scatter 130
- scatter graphs 124
- scatter3 141
- Schachbrettmuster-Diagramme 129
- Schalter 300
- Schaltflächen 185
- Schieberegler 185
- Schrittweite 286
- Scope (Block) 298
- Scope Configuration Properties 309
- Screenshot 289
- Script 149, 158, 159
- Section 154
- Section Break 186
- Section with Title 154
- semilogx 125
- semilogy 125
- Sensordaten 284
- Serienschaltung 195
- series 195
- set 213
- Set Path 24, 36
- setdiff 85
- Set-Operatoren 85
- Settling Time 202, 204, 257
- setxor 85
- shading 143
- shading faceted 143
- shading flat 143
- shading interp 143
- sign 77
- Sign (Block) 299
- Signal Generator (Block) 297
- Signal Properties 296
- Signal Routing 300
- Signalflussplan-Algebra 195
- Signalführung 300
- significant 54
- signum 77
- Simulation Pacing Options 281
- Simulation Stepping Options 281
- Simulationsdauer 281
- Simulationszeit 282
- SIMULINK 36, 267
 - Simulink Start Page 267
- simulink 267
- Simulink Library Browser 297
- Simulink Model 34
- SIMULINK-Toolbox 267
- sin 80
 - sind 80
 - sinh 80
- single 51
- Sinks 298
- SISO-System 226
- sisotool 247
- size 67
- Skalarprodukt 94
- Skalierungsverhältnisse 143
- Slider Gain (Block) 299
- Solver Information 289
- Solver Profiler 289
- Solver Selection 285
- Solver Settings 289
- Sources 297
- Spaltenvektoren 56
- sparsity 131
- Speichern 29
- sphere 139
- Sprungantwort 204
- spy 131
- sqrt 77
- Stabilität 228
 - Stabilitätsgrenze 210
 - Stabilitätsgüte 230
- stable loop 255
- stairs 126
- Standalone FMU 278
- Standalone Functional Mock-up Unit 278
- Standardabweichung 71
- Stateflow Chart 34
- Statistische Charakteristika 69
- std 71
- Steady State 204
- stem 127
- stem3 138
- Stengel 127, 138
- Step 152, 186

step 204
Step (Block) 297
Step In 152
Step Out 152
Step Response 259
Steuerelemente 185
Stop 186, 282
Stop Time 281, 286
Store 249
streamline 141
streamribbon 141
streamslice 140
streamtube 142
Streudiagramme 124, 130
Strömungsbänder 141
Strömungslinien-Diagramme 140, 141
Strömungsröhren-Diagramme 142
struct 51
Studentenversion 16
Stufendiagramm 120, 126
subclasses 182
subfunctions 181
subplot 122
Subsystem (Block) 300
Subtract (Block) 299
Subtraktion 75, 299
– Unäre Subtraktion 75
sum 67, 99
Sum (Block) 299
superclasses 182
surf 139
surface graphs 134
surfz 140
surfl 140
switch-case-otherwise-Verzweigung 168
System Object 149, 158

T

Table of Contents 189
tan 80
– tand 80
– tanh 80
Tangens 80
Task 185
Terminator (Block) 298

Text 110, 189
tf 193
Time span 306
times 75, 102
Timing Legend 294
title 110
To File (Block) 298
To Workspace (Block) 298
Toolboxen 17
Toolstrip 33
Totzeit 222
Totzeitglied 223
Trace to Source 293
transfer function 193
Transfer Function (Block) 299
Transponieren 87
Trigger (Block) 301
Trigonometrische Funktionen 79
tril 101
triu 100
try-catch-Fehlerkontrolle 170
Tuning Methods 249
tzero 216

U

Übergangsfunktion 204
Übergangszeit 243
Überschwingweite 243, 257
Übertragungsfunktion 193, 299
Uhr 297
uint8 51
uint16 51
uint32 51
uint64 51
uminus 75
UND 82
Undo Delete 32
Undock 23
Ungleich 81
union 85
unique 85
unstable loop 255
Unterdiagramme 122
untere Amplitudenbegrenzung 258
Unterfunktionen 181

Unterklassen 182
Update Model 286
uplus 74
Upper Gain Limit 258
User-Defined Functions 301

V

var 70
VARIABLE 35
Variable Editor 28
variable Schrittweite 286
variable step 286
Variablen 55
Variablennamen 28
Varianz 70
Vektoraddition 86
Vektorendiagramme 129
Vektor-Matrix-Produkt 96
Vektormultiplikation 86, 94
Vektorsubtraktion 86
ver 26
Verschachtelte Funktionen 181
Versionen 16
Verstärkungsfaktor 230, 299
Verstärkungsrand 230
Verzugszeit 223
view 142
Viewmark 277, 294
Vogelperspektive 284
Volumendiagramme 134
volumetric graphs 134
Vorzeichen 77, 299

W

Währung 49

wall clock time 282
waterfall 137
while-Schleife 164
who 31
whos 31
Winkelfunktionen 130
WOK 214
Workspace 26
Wurzel 77
Wurzelortskurve 214
Wurzelortsverfahren 243

X

xlabel 110
xor 82

Y

ylabel 110

Z

Zahlenbereich 48
Zahlenformate 48
Zahlenklassen 50
Zählschleife 162
Zeilenvektoren 56
zero 216
zeros 61
Zoom 294
zpk 199
Zufallswerte 62
Zylinderobjekte 139