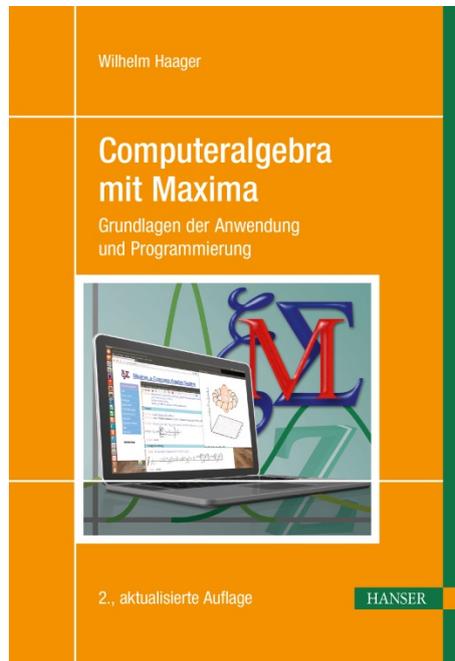


HANSER



Leseprobe

zu

„Computeralgebra mit Maxima“

von Wilhelm Haager

Print-ISBN: 978-3-446-44868-1

E-Book-ISBN: 978-3-446-46095-9

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44868-1>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Durch die allgegenwärtige Verfügbarkeit hoher Rechenleistung in Form von PCs, Laptops und sogar Mobiltelefonen gewinnt der Einsatz von Computeralgebra zunehmend an Bedeutung, nicht nur für Wissenschaftler und Ingenieure, sondern für jeden, der sich in irgendeiner Form mit Rechnen und mathematischen Formeln beschäftigen muss.

Vor 45 Jahren brachte der Einzug des Taschenrechners auf den Schreibtischen von Wissenschaftlern, Ingenieuren, Studenten und Schülern Befreiung von *rechnerischer* Mühsal und damit eine wesentliche Erhöhung der Produktivität; Rechenschieber und Logarithmentafeln konnten auf der Müllhalde (oder im Museum) entsorgt werden. Die Anwendung von Computeralgebra befreit nun von *algorithmischer* Mühsal. Nicht nur das Berechnen von Werten, sondern auch das *Beschreiten* von Lösungswegen kann nun dem Rechner überlassen werden; üblicherweise ist der Rechner dabei wesentlich schneller und weniger fehleranfällig.

Glaubt man sich nun aber aller mathematischen Sorgen entledigt zu haben, so wird man auch bald die Grenzen der Computeralgebra erkennen; Computeralgebra kann menschliches Denken zwar bei Routineaufgaben ersetzen, nicht aber in Bereichen, die Kreativität erfordern: Das Finden von Ansätzen und *Formulieren* von Lösungswegen wird vermutlich immer menschlichen Denkens bedürfen.

Außerdem sollte man beim Einsatz von Computeralgebra folgenden Irrtümern nicht erliegen:

1. Dem Glauben, dass mit Computeralgebra *alles* berechenbar ist. Abgesehen davon, dass sehr viele Dinge prinzipiell nicht analytisch berechnet werden können, sind Berechnungsergebnisse mitunter so komplex, dass sie für die Praxis unbrauchbar sind. Wenn sich eine Lösungsformel über viele Seiten erstreckt und sich in ihr keine Zusammenhänge und Abhängigkeiten mehr erkennen lassen, so hat sie gegenüber einer numerisch (und vielleicht bequemer) gefundenen Lösung wahrscheinlich keinen Vorteil.
2. Dem Glauben des Lernenden, dass Computeralgebra eine rechnerische Routine, die nur durch Training erworben werden kann, überflüssig macht. Computeralgebra kann notwendiges Training zwar begleiten (etwa durch eine rasche Kontrolle von Ergebnissen), aber niemals ersetzen. Wer nicht in der Lage ist, mathematische Ausdrücke mit Papier und Bleistift zu manipulieren, wird weder in der Lage sein, kreative Ansätze und Lösungswege zu finden, noch Computeralgebra erfolgreich einzusetzen.

Das vorliegende Buch kann und will das mehr als tausendseitige Handbuch [Max], das eine vollständige Beschreibung aller Funktionen von Maxima enthält, nicht ersetzen. Zum *Lernen* sind Handbücher in ihrer üblichen, rein deduktiven Struktur aber nicht gut geeignet. Mit diesem Buch soll der Einstieg in Maxima erleichtert werden, indem es die Grundlagen thematisch geordnet, aber doch möglichst aufbauend, vermittelt. Nicht Vollständigkeit ist das Ziel, sondern eine übersichtliche Darstellung jener Prinzipien und Funktionen, die am ehesten benötigt werden.

Ich danke meinen Kollegen und Freunden an der Abteilung Elektrotechnik der HTL St. Pölten für wertvolle Diskussionen, deren Ergebnisse im Buch ihren Niederschlag fanden. Ganz be-

sonderer Dank gilt dabei Dr. Peter Zaniat. Er hat mich nicht nur wiederholt angehalten, das Buchprojekt konsequent und zügig weiterzuverfolgen, er hat auch mit der Akribie eines professionellen Lektors auf viele Tippfehler und Holprigkeiten im Lesefluss hingewiesen.

Ich bedanke mich bei den Damen und Herren des Carl Hanser Verlages für die perfekte Zusammenarbeit; insbesondere bei Herrn Dr. Martin Feuchte für die Bereitschaft, das Buch in das Verlagsprogramm aufzunehmen, bei den Lektorinnen Frau Mirja Werner M. A. und Frau Franziska Jacob M. A. sowie bei der Herstellerin Frau Dipl.-Ing. Franziska Kaufmann.

Möge das vorliegende Buch dazu beitragen, Maxima nicht nur einem breiten Kreis von Mathematikern und Technikern, Lehrenden und Lernenden bekannt zu machen, sondern auch Freude an dessen Verwendung zu wecken. Gelingt dies, so hat es seinen Zweck erfüllt.

Vorwort zur zweiten Auflage

Programmiersprachen sind langlebig; ein Buch über eine Programmiersprache – als solche kann auch *Maxima als Sprache* angesehen werden – bleibt daher über Jahre aktuell. Die *Bedienbarkeit* von Programmen hingegen ist ständigen Weiterentwicklungen unterworfen und wird üblicherweise von Version zu Version besser und bequemer; das betrifft auch *Maxima als Programm*.

Die größten Änderungen seit dem Entstehen der ersten Auflage gibt es bei der Benutzerumgebung *wxMaxima*, im Zusammenspiel mit dem Grafikprogramm *Gnuplot*, sowie bei der Unterstützung von Unicode. Obwohl sich Maxima als Sprache im Kern nicht verändert, wird doch der Funktionsumfang durch von der Benutzer- und Entwicklergemeinde geschriebenen Zusatzpaketen ständig erweitert. Auch dem wurde in der zweiten Auflage Rechnung getragen.

Möge das Buch auch weiterhin interessante „Maximale“ Erkenntnisse liefern.

Wieselburg und Innergschloß, im August 2019

Wilhelm Haager

Inhalt

Vorwort	5
1 Einführung	13
1.1 Grundlegendes	13
1.1.1 Motivation	14
1.1.2 Installation, Bestandteile	15
1.1.3 Links	15
1.2 Benutzeroberfläche wxMaxima	16
1.2.1 Aufbau	17
1.2.2 Abspeichern und Laden	18
1.2.3 Export	18
1.2.4 Tastenkürzel	19
1.3 Erste Schritte	20
1.3.1 Maxima als Taschenrechner	20
1.3.2 Maxima als symbolischer Rechner	22
1.3.3 Logische Ausdrücke	24
1.3.4 Listen	25
1.3.5 Komplexe Zahlen	26
1.3.6 Summen und Grenzwerte	27
1.3.7 Differenzial- und Integralrechnung	28
1.3.8 Einschränken des Bereichs von Variablen	29
1.3.9 Gleichungen	30
1.3.10 Benutzerdefinierte Funktionen	32
1.3.11 Vektoren und Matrizen	33
1.3.12 Zeichen und Zeichenketten	34
1.3.13 Grafiken	35
1.3.14 Programmkontrollstrukturen	37
2 Ausdrücke	39
2.1 Grundlegende Datentypen	39
2.1.1 Atome	39

2.1.2	Prädikatsfunktionen.....	40
2.1.3	Umwandlungsfunktionen	42
2.1.4	Konstanten	43
2.1.5	Systemvariablen	44
2.2	Operatoren	46
2.2.1	Arithmetische Operatoren.....	47
2.2.2	Logische Operatoren und Vergleichsoperatoren	48
2.2.3	Deklaration von Operatoren	49
2.2.4	Prädikate von Operatoren	52
2.3	Funktionen	54
2.3.1	Grundlegende mathematische Funktionen.....	55
2.3.2	Winkelfunktionen	58
2.3.3	Hyperbelfunktionen.....	59
2.3.4	Erzeugung von Zufallszahlen	60
2.3.5	Zeitfunktionen	61
2.3.6	Benutzerdefinierte Funktionen.....	62
2.3.7	Arrayfunktionen	65
2.4	Zeichen und Zeichenketten	66
2.4.1	Grundlegendes.....	67
2.4.2	Abfrage- und Vergleichsfunktionen	69
2.4.3	Zusammenfügen und Zerlegen von Zeichenketten.....	72
2.4.4	Umwandlungsfunktionen	73
2.4.5	Bearbeiten von Zeichenketten.....	74
2.5	Größen und Einheiten	77
2.6	Der Aufbau von Ausdrücken	80
2.6.1	Baumstruktur eines Ausdrucks	80
2.6.2	Reihenfolge der Operanden	83
3	Datenstrukturen	85
3.1	Listen.....	85
3.1.1	Erzeugen von Listen	85
3.1.2	Elementweise Operationen	87
3.1.3	Skalarwertige Listenfunktionen	88
3.1.4	Listenwertige Listenfunktionen	90
3.1.5	Liste als Stapel.....	93
3.2	Matrizen und Vektoren	94
3.2.1	Erzeugen von Matrizen	94
3.2.2	Matrizenoperatoren	97

3.2.3	Kenngrößen von Matrizen	98
3.2.4	Verändern von Matrizen, Extrahieren von Teilen	100
3.3	Mengen	101
3.3.1	Erzeugen von Mengen, Umwandlungsfunktionen.....	101
3.3.2	Skalarwertige Mengenfunktionen	103
3.3.3	Mengenwertige Mengenfunktionen	104
3.3.4	Mengenverknüpfungen.....	106
3.4	Arrays.....	107
3.5	Assoziative Arrays	109
3.5.1	Realisierung mit einer Liste	110
3.5.2	Realisierung mit einem undeklarierten Array	111
3.6	Strukturen	112
4	Erstellung von Grafiken.....	114
4.1	Grafik-Interface <i>Draw</i>	114
4.1.1	2D-Grafikobjekte	117
4.1.2	3D-Grafikobjekte	120
4.1.3	Allgemeine Optionen	123
4.1.4	Spezielle Optionen für Labels und Vektoren	127
4.1.5	Optionen für 2D-Grafiken	128
4.1.6	Optionen für 3D-Grafiken	130
4.1.7	Animationen	133
4.2	Gnuplot	136
4.2.1	Steuerung von Gnuplot aus Maxima	136
4.2.2	Befehle	136
4.2.3	Gnuplot-Terminals	139
5	Algebra	140
5.1	Vereinfachung und Auswertung	140
5.1.1	Steuern der Vereinfachung und Auswertung	140
5.1.2	Der Auswertebefehl <i>ev</i>	142
5.2	Algebraische Umformungen	146
5.2.1	Expandieren	146
5.2.2	Faktorisieren	149
5.2.3	Partialbruchzerlegung	150
5.2.4	Zusammenfassen von Brüchen	151
5.3	Umformungen mit Logarithmen, Exponentialfunktionen und Wurzeln	153
5.4	Trigonometrische Umformungen	155

5.5	Teilausdrücke	160
5.5.1	Herauslösen von Teilausdrücken	160
5.5.2	Ersetzen von Teilausdrücken.....	163
5.6	Komplexe Zahlen	166
5.7	Gleichungen.....	171
5.7.1	Gleichungen in einer einzigen Variablen.....	171
5.7.2	Gleichungssysteme in mehreren Variablen	177
6	Analysis.....	180
6.1	Grenzwerte	180
6.2	Summen und Produkte	182
6.2.1	Berechnung von Summen und Produkten	182
6.2.2	Umformen von Summen	184
6.2.3	Umbenennen der Indizes von Summen und Produkten.....	186
6.3	Differenzialrechnung	187
6.4	Integrale	191
6.4.1	Analytische Integration	191
6.4.2	Numerische Integration	195
6.5	Differenzialgleichungen	196
6.5.1	Analytische Lösung.....	196
6.5.2	Laplace-Transformation	200
6.5.3	Numerische Lösung (Simulation)	202
6.6	Vektoranalysis.....	207
6.7	Funktionenreihen	210
6.7.1	Taylorreihen	210
6.7.2	Fourierreihen.....	214
7	Ein- und Ausgabe.....	221
7.1	Tastatureingabe und Bildschirmausgabe	221
7.2	T _E X-Ausgabe.....	224
7.3	Files und Directories	227
7.4	Laden und Abspeichern von Daten	229
7.5	Laden und Abspeichern von Programmen	233
8	Interaktives Arbeiten	238
8.1	Marken	238
8.2	Konsolenbefehle	239
8.3	Hilfe	240

8.4	Informationslisten.....	242
8.5	Fehlersuche	246
8.5.1	Der Debugger	246
8.5.2	Ablaufverfolgung	248
8.5.3	Ermittlung von Rechenzeiten	250
8.6	Formatierung der Ausgabe	251
9	Programmieren.....	254
9.1	Kommunikation mit dem Betriebssystem	255
9.2	Prozedurales Programmieren.....	256
9.2.1	Sequenzen, Blöcke.....	256
9.2.2	Bedingte Anweisungen	258
9.2.3	Sprünge	259
9.2.4	Schleifen	261
9.2.5	Programmbeispiele.....	262
9.3	Funktionales Programmieren.....	264
9.3.1	Bedingte Ausdrücke	264
9.3.2	Anwenden von Funktionen	264
9.3.3	Anonyme Funktionen	268
9.3.4	Rekursionen	270
9.3.5	Programmbeispiele.....	271
9.4	Regelbasiertes Programmieren	272
9.4.1	Fakten	272
9.4.2	Eigenschaften	274
9.4.3	Muster	277
9.4.4	Anwendung von Regeln durch Funktionsaufruf	280
9.4.5	Automatische Regelanwendung.....	282
9.5	Pakete	286
9.5.1	Ein Beispielpaket	287
9.5.2	Maxima-Zusatzpakete	289
9.6	Maxima und Lisp	290
9.7	Kommunikation mit anderen Programmen	293
9.7.1	Aufruf von Maxima aus der Kommandozeile	294
9.7.2	Übergabe von Daten über Files.....	295
9.7.3	Übergabe von Daten beim Programmaufruf	296
9.7.4	Kommunikation über ein internes Netzwerk	297
	Literatur.....	299

Befehlsverzeichnis301

Index.....311

1

Einführung

The purpose of computing is insight, not numbers.

R. W. HAMMING

Computeralgebra-Programme gibt es seit den Sechzigerjahren des vorigen Jahrhunderts, ihr Einsatz blieb aber lange Zeit im Wesentlichen auf den akademischen Bereich beschränkt. Die billige Verfügbarkeit von PCs brachte zwar die Möglichkeit, Computeralgebra auch in Schulen und Unternehmen einzusetzen, die hohen Kosten kommerzieller Computeralgebra-Programme hemmten aber eine weite Verbreitung.

Mit dem Programm *Maxima* steht eine leistungsfähige, kostenlose Computeralgebra für jedermann zur Verfügung, die den Vergleich mit ihren kommerziellen Schwestern nicht zu scheuen braucht. Auf Grund der Leistungsfähigkeit und der freien Verfügbarkeit gibt es eigentlich keinen Grund, *Maxima* *nicht* zu verwenden. Mit einem breiten und alltäglich gewordenen Einsatz wird die Beherrschung von Computeralgebra ebenso zu einer selbstverständlichen Kulturtechnik werden, wie es heute schon die Bedienung eines Taschenrechners oder eines Textverarbeitungsprogrammes ist.

Das erste Kapitel des Buches erläutert die Benutzeroberfläche *wxMaxima* und vermittelt die wichtigsten Grundlagen in einem Ausmaß, dass nach dessen Durcharbeiten ein selbständiges und produktives Arbeiten mit dem Programm möglich sein sollte. Die weiteren Kapitel sind nach einzelnen Aspekten von *Maxima* oder mathematischen Themen systematisch geordnet, aber doch möglichst aufbauend. Sie können je nach Bedarf auch einzeln durchgearbeitet oder als Referenz konsultiert werden. Bezüge auf vorige Kapitel sind in einem aufbauenden Buch natürlich vorhanden, Bezüge auf spätere Kapitel gibt es nur wenige.

Jedes dieser Kapitel enthält die wichtigsten, jeweils thematisch zusammengehörigen *Maxima*-Befehle in einer tabellarischen Übersicht sowie Erläuterungen und kommentierte Beispiele in Form von zusammenhängenden Arbeitssitzungen. Diese Beispielsitzungen erstrecken sich manchmal auch aufbauend über mehrere Abschnitte. Für das Verständnis vieler Beispiele ist es hilfreich, den Verlauf einer Arbeitssitzung von Beginn an zu kennen, also gegebenenfalls auch unmittelbar vorangegangene Abschnitte zu konsultieren.

■ 1.1 Grundlegendes

Maxima ist ein Open-Source-Abkömmling von *Macsyma*, einem der ersten Computeralgebra-Systeme. *Macsyma* wurde in den Jahren 1968–1982 am MIT in Boston im Auftrag des US-Energieministeriums (*Department of Energy, DoE*) entwickelt, mitfinanziert von der DARPA (*Defence Advanced Research Projects Agency*).

1998 wurde eine Version von Macsyma unter der *GNU General Public Licence* (GPL) veröffentlicht und somit jedermann kostenlos verfügbar gemacht. Diese Version wird nun unter dem Namen *Maxima* von einer unabhängigen Gruppe von Anwendern und Entwicklern gepflegt und – insbesondere im Bereich der Benutzerschnittstellen [Vod] und Grafikmöglichkeiten [Rod] – intensiv weiterentwickelt.

1.1.1 Motivation

Maxima weist eine Reihe von Eigenschaften auf, die es gegenüber anderen Rechenprogrammen auszeichnet:

Maxima ist plattformunabhängig: Es ist für alle gängigen Betriebssysteme verfügbar, neuerdings auch für Android.

Maxima ist ein echtes Computeralgebrasystem: Variablen können nicht nur mit numerischen Werten, sondern auch mit symbolischen Ausdrücken belegt werden.

Berechnungsabläufe können direkt auf der Ebene des interaktiven Arbeitens programmiert werden, nicht nur innerhalb von Funktionsdefinitionen.

Maxima ist frei verfügbar, ein wesentliches Argument im Ausbildungsbereich: Für Schulen fallen keine Lizenzgebühren an, die Schüler bekommen ein Werkzeug, das sie auch nach der Ausbildung kostenlos zur Verfügung haben werden – eine Voraussetzung für echte Nachhaltigkeit.

Maxima ist einfach bedienbar: Mathematische Ausdrücke werden in reinem ASCII-Code in der für Programmiersprachen üblichen Notation mit der Tastatur eingegeben; fingerverkennende Tastenkombinationen und Mausclick-Akrobatik sind nicht erforderlich.

Maxima trennt klar zwischen Rechnung und Dokumentation: Berechnungen können mit Text und Grafiken dokumentiert werden. Für die Nachvollziehbarkeit von Rechengängen ist es dabei vorteilhaft, klar zu erkennen, welche mathematischen Ausdrücke Teil der Berechnung und welche Ausdrücke Teil der erläuternden Dokumentation sind.

Für eine typografisch korrekte Dokumentation können Ausdrücke im $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ -Format ausgegeben werden.

Maxima-Files sind versionskompatibel: Alle Datenfiles (Programmpakete und abgespeicherte Maxima-Sitzungen) sind reine Textdateien oder zip-komprimierte Dateien davon. Dabei ist sowohl Abwärts- als auch Aufwärtskompatibilität zwischen unterschiedlichen Versionen von Maxima gewährleistet.

Maxima ist eine umfangreiche Programmiersprache: Es unterstützt prozedurales Programmieren, funktionales Programmieren und (in beschränktem Ausmaß) auch regelbasiertes Programmieren. Die Funktionalität ist damit beliebig erweiterbar.

Maxima hat eine sehr engagierte Entwickler- und Anwendergemeinde: Anfragen im Userforum werden in der Regel innerhalb weniger Stunden beantwortet, gemeldete Bugs (die gibt es bei *jedem* Programm) innerhalb weniger Tage behoben.

1.1.2 Installation, Bestandteile

Maxima ist für alle gängigen Betriebssysteme verfügbar (Windows, Linux, MacOS, Android); Informationen, Dokumentationen und Links zu den Downloadseiten finden sich auf der Homepage (<http://wxmaxima.sourceforge.net>). Die Installation ist selbsterklärend, bei Problemen mit der Installation oder Ausführung bietet die Homepage Hilfestellung.

Maxima ist prinzipiell kommandozeilenorientiert, es stehen aber eine Reihe grafischer Benutzeroberflächen zur Verfügung, die sich vor allem in den Möglichkeiten der Darstellung von Grafiken unterscheiden. Dieses Buch stützt sich auf die Benutzeroberfläche *wxMaxima*, die bei der Installation von Maxima automatisch als Standardinterface mitinstalliert wird. Zur Erzeugung von Grafiken verwendet Maxima das Programm *Gnuplot*, das ebenfalls automatisch mitinstalliert wird (Bild 1.1).

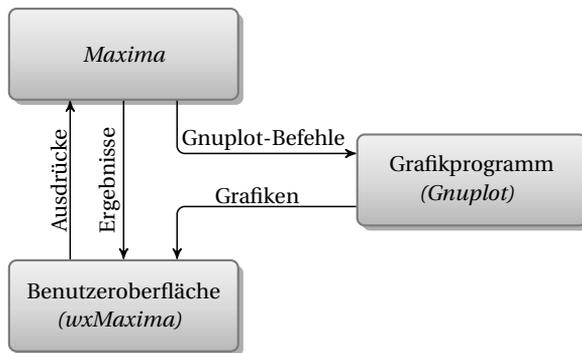
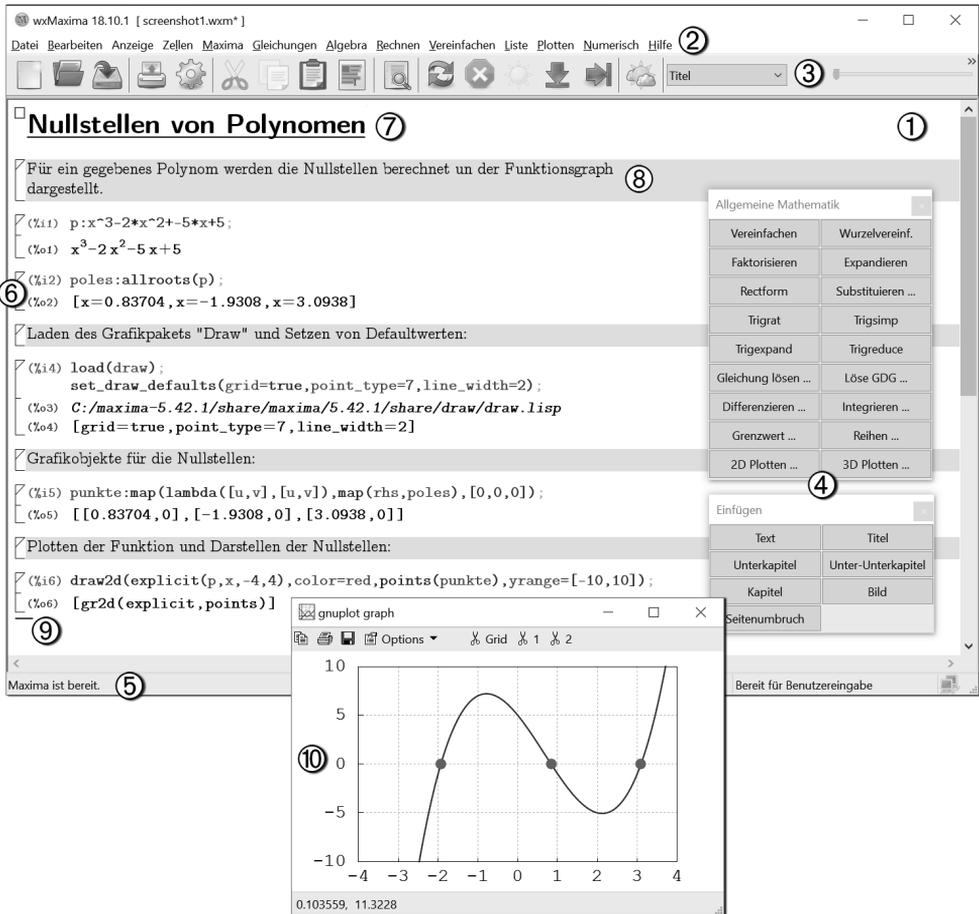


Bild 1.1 Bestandteile einer Maxima-Installation

1.1.3 Links

- <http://maxima.sourceforge.net>
Homepage mit vielen Informationen, Dokumentationen und Zusatzpaketen
- <http://wxmaxima-developers.github.io>
Homepage des Benutzer-Interfaces *wxMaxima* mit User-Forum
- <http://www.austromath.at/daten/maxima/>
Maxima Online-Kurs von Walter Wegscheider
- <http://www.weilharter.info/>
Homepage von Johann Weilharter mit vielen Maxima-Materialien
- <http://www.csulb.edu/~woollett/>
Homepage von Ted Woollett mit ausführlichen Tutorials
- <http://maxima.cesga.es>
Maxima Online-Webinterface



- ① ... Arbeitsfenster
- ② ... Menüleiste
- ③ ... Werkzeugleiste
- ④ ... Befehlsschaltflächen
- ⑤ ... Statusfeld
- ⑥ ... Zellenklammer
- ⑦ ... Titelzelle
- ⑧ ... Textzelle
- ⑨ ... Einfügekursor
- ⑩ ... Gnuplot-Fenster

Bild 1.2 wxMaxima-Benutzeroberfläche

wxMaxima ist eine von mehreren grafischen Benutzeroberflächen für Maxima. Es ermöglicht die grafische Ausgabe von Formeln, die direkte Ausgabe von Grafiken in das wxMaxima-Arbeitsfenster, das Abspeichern von Arbeitssitzungen sowie (für notorische Mausklicker) den Aufruf der wichtigsten Befehle über Menüs und Befehlsschaltflächen.

1.2.1 Aufbau

Arbeitsfenster: Hier erfolgt die Eingabe sowohl von mathematischen Ausdrücken als auch von gewöhnlichem Text zur Gliederung und Dokumentation von Berechnungen. Mit der Eingabetaste *Enter* erfolgt ein Zeilenumbruch, das Abschließen der Eingabe erfolgt mit der Tastenkombination *Shift+Enter*. Damit wird auch ein eingegebener mathematischer Ausdruck zur Auswertung an Maxima übergeben.

Die Ausgabe des Ergebnisses erfolgt ebenfalls auf dem Arbeitsblatt, unmittelbar unter der Eingabe. Werden den Namen der Grafikroutinen die Buchstaben „wx“ vorangestellt, so erfolgt die Ausgabe der Grafiken ebenfalls auf dem Arbeitsblatt. Eine so erstellte Grafik kann in die Zwischenablage kopiert oder als png-File abgespeichert werden; Anklicken und nachfolgender Rechtsklick öffnen ein entsprechendes Kontextmenü.

Menüleiste: Enthält neben den üblichen Menüpunkten zum Laden, Speichern und Konfigurieren wichtige Maxima-Befehle zum Aufruf durch Anklicken.

Durch Anklicken aufgerufene Maxima-Befehle beziehen sich dabei immer auf den unmittelbar zuvor eingegebenen oder berechneten Ausdruck, der mit % bezeichnet wird.

Werkzeugleiste: Zusätzlich zu einigen als eigene Schaltflächen herausgeführten Menübefehlen finden sich hier Bedienelemente zum Abspielen animierter Grafiken.

Befehlsschaltflächen: Damit können ebenfalls wichtige Befehle durch Anklicken mit der Maus aufgerufen werden; sie können weggeschaltet werden.

Statusfeld: Informiert den Benutzer über den aktuellen Status: entweder die Bereitschaft, Benutzereingaben entgegenzunehmen, eine Berechnung durchzuführen oder eine Ausgabe zu formatieren (um sie entsprechend darzustellen).

Zellenklammer: Eingaben und zugehörige Ausgaben sind zu *Zellen* zusammengefasst, die das Arbeitsblatt strukturieren und durch eine Zellenklammer am linken Rand des Arbeitsblattes gekennzeichnet sind. Durch Anklicken der Zellenklammer kann eine Zelle zwecks Löschens, Verschiebens oder Kopierens markiert werden; Rechtsklick öffnet ein Kontextmenü. Anklicken der dreieckigen Marke am oberen Rand der Zellenklammer blendet die Ausgabe weg.

Titelzelle, Kapitelzelle, Abschnittzelle, etc.: Damit kann ein Arbeitsblatt mit Überschriften unterschiedlicher Größen optisch strukturiert werden. Die Kapitel, Abschnitte etc. werden automatisch nummeriert. Erzeugt werden sie durch Menübefehle [*Zellen*] oder die Tastenkürzel *Strg+2*, *Strg+3* etc.

Textzelle: Dient zur Kommentierung einer Berechnung. Erzeugt wird eine Textzelle über einen Menübefehl oder mit dem Tastenkürzel *Strg+1*. Zusätzlich zu normalem Text ist die Eingabe von griechischen Buchstaben und mathematischen Sonderzeichen möglich; näheres hierzu findet sich im wxMaxima-Manual, aufzurufen über das Menü [*Hilfe*].

Einfügekursor: Kennzeichnet jene Stelle auf dem Arbeitsblatt durch einen blinkenden Balken, an der eine neue Eingabe erfolgt (Text oder zu berechnender Ausdruck). Prinzipiell können Ausdrücke an beliebigen Stellen im Arbeitsblatt eingefügt werden, die Auswertung erfolgt jeweils sofort nach Abschließen der Eingabe (mit *Shift+Enter*). Die Berechnungsreihenfolge entspricht dabei der Reihenfolge der Eingabe – unabhängig von der Anordnung auf dem Arbeitsblatt.

Mit dem Tastenkürzel *Strg+R* kann ein ganzes Arbeitsblatt in einem Zug (von oben nach unten) neu durchgerechnet werden. Die Berechnungsreihenfolge entspricht hier logischerweise aber

der *Anordnung auf dem Arbeitsblatt*, die nicht mit der Reihenfolge der ursprünglichen Eingabe übereinstimmen muss.

1.2.2 Abspeichern und Laden

Über das Menü [Datei][Speichern unter ...] kann eine wxMaxima-Arbeitssitzung auf zwei Arten ab gespeichert werden:

wxm-File: Es enthält alle eingegebenen Ausdrücke sowie die Textzellen und Überschriften als zusätzliche Kommentare. Diese Kommentare werden zwar von *Maxima* bei einem späteren Einlesen ignoriert, von *wxMaxima* aber entsprechend interpretiert. Die Struktur des Arbeitsblattes mit Ausdrücken, Texten und Überschriften bleibt somit beim Abspeichern und Wiedereinlesen erhalten.

Ein wxm-File ist ein normales ASCII-File, kann daher mit einem Texteditor geöffnet und verändert werden. Die Struktur der Kommentare und Leerzeichen muss dabei aber erhalten bleiben, damit das File bei neuerlichem Einlesen in wxMaxima fehlerfrei erkannt wird.

wmx-File: Es enthält alle Inhalte (nicht nur die Eingaben, sondern auch die Berechnungsergebnisse) einer wxMaxima-Arbeitssitzung sowie Formatierungsanweisungen zum Wiedereinlesen in einem binären XML-Format. Zusätzlich kann es auch in das Arbeitsblatt eingefügte Bilder zur Dokumentation von Berechnungen enthalten.

wxm-Files und wmx-Files werden über das Menü [Datei][Öffnen] in wxMaxima eingelesen. Dabei wird eine neue Arbeitssitzung begonnen. Vorherige Eingaben gehen – wenn sie nicht zuvor abgespeichert wurden – verloren; die Nummerierung der eingegebenen Ausdrücke beginnt wieder bei 1. Beim Einlesen werden zunächst nur die *Eingaben* – bei einem wmx-File auch die zuvor abgespeicherten Berechnungsergebnisse – auf dem Arbeitsblatt dargestellt, eine (neuerliche) Berechnung wird erst mit der Eingabe von *Strg+R* gestartet. Die Reihenfolge der Berechnungen erfolgt dabei nach der Position auf dem Arbeitsblatt, von oben nach unten und *nicht* in der Reihenfolge der ursprünglichen Eingaben.

1.2.3 Export

Über das Menü [Datei][Exportieren ...] kann eine wxMaxima-Arbeitssitzung in verschiedenen Formaten exportiert werden:

mac-File: Es enthält alle Eingaben einer Arbeitssitzung, die beim Wiedereinlesen über das Menü [Datei][Paket laden ...] oder mit dem Befehl `load` eingelesen und sofort abgearbeitet werden (ohne Ausgabe von Ergebnissen).

Üblicherweise enthält ein Mac-File, ein sogenanntes *Paket* in erster Linie Funktionsdefinitionen und Variablenzuweisungen, aber kaum ausführbaren Code (siehe Abschnitt 7.5).

HTML: Beim Export einer Arbeitssitzung in HTML werden die Ausgaben von Maxima in der Auszeichnungssprache *MathML* ausgegeben, die Grafiken als png-Files in einem Verzeichnis mit dem Namen *name_img* abgespeichert.

LaTeX: Der Export einer Arbeitssitzung in \LaTeX ist zwar möglich, funktioniert aber leider noch nicht einwandfrei. In den meisten Fällen ist ein händisches Nacheditieren des erzeugten tex-Files notwendig.

Sehr gut funktioniert hingegen die Umwandlung einzelner berechneter Ausdrücke in \LaTeX durch Markieren und das Menü [*Bearbeiten*][*Als LaTeX kopieren*]. Eine Umwandlung eines Ausdrucks in das \TeX -Format ist auch mit den Maxima-Befehlen `tex` und `TeX1` möglich (siehe Abschnitt 7.2).

1.2.4 Tastenkürzel

Für einen geübten Benutzer sind Tastatureingaben zur Programmbedienung meist bequemer und jedenfalls effizienter als die Auswahl von Menüpunkten und das Drücken von Schaltflächen mit der Maus (Tastatureingabe kann blind erfolgen, Mausbedienung bedarf immer der visuellen Rückkopplung vom Bildschirm zum Auge). Viele wxMaxima-Befehle können daher – alternativ zur Auswahl aus Menüs – als Tastenkürzel eingegeben werden, Tabelle 1.1 enthält eine Auswahl davon.

Tabelle 1.1 wxMaxima Tastenkürzel

Windows-spezifische Tastenkürzel:

<code>Strg+O</code>	Öffnen eines wxm-Files (und Beginn einer neuen Arbeitssitzung)
<code>Strg+P</code>	Drucken des Arbeitsblattes
<code>Strg+Q</code>	Beenden von wxMaxima
<code>Strg+C</code>	Kopieren des markierten Bereichs in die Zwischenablage
<code>Strg+X</code>	Ausschneiden des markierten Bereichs in die Zwischenablage
<code>Strg+V</code>	Einfügen des Inhalts der Zwischenablage
<code>Strg+Z</code>	Rückgängig machen

wxMaxima-spezifische Tastenkürzel:

<code>Strg+R</code>	Neuberechnung aller <i>sichtbaren</i> Zellen
<code>Strg+Shift+R</code>	Neuberechnung des gesamten Arbeitsblatts
<code>Strg+L</code>	Laden eines Pakets (mac-File)
<code>Strg+B</code>	Ausführen eines Maxima-Programms (mac-File)
<code>Strg+G</code>	Unterbrechen einer Berechnung
<code>Strg+1</code>	Erstellen einer neuen Textzelle
<code>Strg+2</code>	Erstellen einer Titelzelle
<code>Strg+3</code>	Erstellen einer Abschnittszelle
<code>Strg+4</code>	Erstellen einer Unterabschnittszelle
<code>Strg+M</code>	Mehrere Zellen vereinigen
<code>Strg+D</code>	Aufspalten in mehrere Zellen
<code>Strg+K</code>	Auto-Vervollständigen von Eingaben
<code>Alt+I, Strg++</code>	Vergrößern der Darstellung
<code>Alt+O, Strg+-</code>	Verkleinern der Darstellung

Index

1-Norm 99
2D-Grafikobjekt 117
3D-Grafikobjekte 120

A

abbilden 25, 265
Abbruchbedingung 261
Abfragefunktion 40, 69, 274
Abhängigkeiten 187
Ablaufverfolgung 248
Ableitung 28, 187
Abschneiden 21, 42
Abschnittszelle 17
absoluter Fehler 195
Abspeichern 18, 229, 233
Achsenmarkierungen 130
Addition 21, 47
Additionstheorem 155
additiver Operator 52
Adobe-Illustrator-Format 139
aktueller Parameter 32
Algebra 140
algebraische Umformungen 146
Amplitudenspektrum 220
Android 15
Anfangswertaufgabe 196
Anführungszeichen 34, 67
Animation 37, 133
anonyme Funktion 268
antisymmetrischer Operator 53
Anweisung 20
Anwenden einer Funktion 25, 264
apply (engl.) 25, 33, 264
Äquivalenzklassen 104
Arbeitsfenster 17
Arbeitsverzeichnis 227

Areafunktionen 59
Argument 26, 166
arithmetischer Operator 47
Arkusfunktionen 21, 58
Array 107
– assoziatives ~ 109
– deklariertes ~ 107
– undeklariertes ~ 107
Arrayfunktion 65
ASCII-Art-Grafik 139
ASCII-Code 34
ASCII-Zeichen 251
assoziatives Array 109
Atom 39
aufgerufenes Programm 293
Ausdruck 20, 39
Ausgabe 221
– ~format 251
– ~genauigkeit 45
– ~marke 238
– ~umleitung 227, 294
Ausnahmebehandlung 259
Auswerte
– ~befehl 142
– ~schalter 144
– ~umgebung 144
Auswertung 140
Auswertungsfunktion 144
AutoCAD 139

B

Balkendiagramm 117
Basis 46
Basiseinheiten 77
Basisgröße 77
Batch-File 295
Baumstruktur 80
bedingte Anweisung 37, 258

bedingter Ausdruck 37, 264
 Bedingungen 37
 Beenden von Maxima 240
 Befehlsschaltflächen 17
 benutzerdefinierte Funktion 62
 Benutzerverzeichnis 227
 Bereichseinschränkung 29, 272
 Betrag 26, 56, 166
 Betriebssystem 255
 Betriebssystembefehl 255
 bigfloat 39
 Bildschirmausgabe 221
 Bindungskraft 50
 bitweise Verknüpfung 289
bitwise (Paket) 289
 Blickrichtung 130
 Block 37, 256
 Bogenmaß 58
 Breakpoint 246

C

cairolatex 139
 Cauchy-Produktformel 185
 cauchyscher Hauptwert 192
 chaotisches System 204
 Character 67
 charakteristisches Polynom 98
 chinesisch 68
 Client 297
coma (Paket) 289
 comma separated values (engl.) 229
 csv-File 229, 295

D

Darstellungsbereich 125
 Datei 227
 Datenbank 272
 Datenstrukturen 85
 Datentypen 39
 Datenverbund 112
 Datum 62
 Debugger 246
descriptive (Paket) 289
 Determinante 98

Dictionary 109
 Differenz 21, 47
 Differenz zweier Summen 184
 Differenzialgleichung 196
 Differenzialrechnung 187
 Differenzmenge 106
 Directory 227
 Disjunktion 48
distrib (Paket) 289
 Divergenz 208
 Division 21, 47
 Divisionsrest 163
 Doppelpunkt 22
 Doppelquote-Operator 142
 doppelte Fakultät 47
 Draw
 – 2D-Grafikobjekte 117
 – 3D-Grafikobjekte 120
 – Animationen 133
 – Optionen 123, 127, 128, 130
draw (Paket) 36, 114
 druckbares Zeichen 70
 Durchschnittsmenge 106
dynamics (Paket) 202, 289
 dynamisches System 200, 289

E

eckige Klammern 85
eigen (Paket) 94
 Eigenschaften 109, 272, 274
 Eigenvektor 99
 Eigenwert 99
 Einfügekursor 17
 Eingabe 17, 221
 – ~marke 238
 – ~umleitung 294
 Einheiten 77
 Einheitsmatrix 95
 Einschaltvorgänge 57
 elektrisches System 203
 Ellipse 117, 118
 Encapsulated Postscript 139
 Ersetzen 143, 163, 188
 Escape-Sequenzen 68
 euklidische Norm 100

Expandieren 146
 Exponentialdarstellung 170
 Exponentialfunktion 153
 Export 18
ezunits (Paket) 77

F

Fakten 272
 Faktorisieren 149
 Fakultät 47
 Fallunterscheidung 29, 272, 289
 Farbe 125
 Fehlercode 195
 Fehlersuche 246
 ffmpeg 135
fft (Paket) 289
 File 227
 Filehandle 229
 formaler Parameter 32
 Formatierung 251
fourie (Paket) 214
 Fourier-Transformation 289
 Fourierreihe 214
fractals (Paket) 289
 Fraktale 289
 freie Parameter 177
 Frobenius-Norm 99
functs (Paket) 57, 289
 Funktion 54

- Abfrage- und Vergleichs~ 69
- anonyme ~ 268
- benutzerdefinierte ~ 32, 62
- gerade ~ 53
- mathematische ~ 55
- symbolische ~ 32
- Umwandlungs~ 42, 73
- ungerade ~ 53

 Funktionenreihe 210
 Funktionentheorie 169
 Funktions

- ~definition 47
- ~ergebnis 55
- ~klammern 55
- ~körper 62, 269

G

Ganzzahl 20, 39
 gaußsche Zahlenebene 169
 gaußsches Eliminationsverfahren 101
 gemeinsamer Nenner 151
 General Public Licence 14
 geometrische Reihe 183
 gerade Funktion 53
 geschwungene Klammern 101
 GIF-Animation 133
 GIF-Grafik 139
 Gitterlinien 125, 131
 gleich 22, 24, 48
 Gleichung 30, 171

- in einer einzigen Variablen 171
- numerische Berechnung 172
- quadratische ~ 171
- transzendente ~ 31, 175

 Gleichungssystem 30, 177
 Gleitkommazahl 20, 39
 Gnuplot 15, 35, 136

- Befehle 136
- Terminals 139

 Gradient 208
 Grafiken 35, 114
 Gram-Schmidt-Verfahren 101
 Grenzwert 27, 180
 Großbuchstaben 70, 75
 Größen und Einheiten 77
 größer (gleich) 48
 größter gemeinsamer Teiler 56
 größtes Listenelement 89
 Grundrechenarten 47
 Grundrechnungsarten 20

H

Hagelkörner 229
 Halbwinkelformeln 157
 Haltepunkt 246
 Hamming, R. W. 13
 Hash 109
 Hauptoperand 82, 160
 Hauptoperator 80
 Hauptwert 59, 168, 192

Heaviside-Funktion 56
 Hewlett-Packard Graphics Language 139
 hexadezimale Schreibweise 125
 Hexadezimalzahl 46
 Hilfe 240
 Höhenschichtlinien 132
 Home-Verzeichnis 227
 HTML-Export 18
 Hyperbelfunktionen 59, 159

I

imaginäre Einheit 26, 166
 Imaginärteil 27, 166
 implizite Kurve 117
 Impulsfunktion 215
 indefinit 180
 Index 25, 94
 Index-Schreibweise 187
 Indexnamen 186
 indizierte Variable 25, 107
 Infix-Operator 49
 Informationsliste 242
 Initialisierung 237
 Inkrement 261
 inneres Produkt 97
 Installation 15
 Instanz 112
 Integral 28, 191
 Integrationskonstante 192
 interaktives Arbeiten 238
 interne Darstellung 81
 internes Netzwerk 297
interpol (Paket) 289
 Inversion einer Matrix 97
 Isolinien 132

J

Jacobimatrix 96, 207
 JPG-Grafik 139

K

Kapitelzelle 17

kartesische Koordinaten 27, 166
 kartesisches Produkt 106
 Klammern
 – eckige ~ 20, 25, 85, 257
 – geschwungene ~ 101
 – runde ~ 20, 21, 38, 257
 Kleinbuchstaben 70, 75
 kleiner (gleich) 48
 kleinstes gemeinsames Vielfache 56
 kleinstes Listenelement 89
 Koeffizienten eines Polynoms 162
 Koeffizientenmatrix 96
 Kommandozeile 294
 Kommandozeilen-Optionen 294
 Kommandozeilen-Parameter 293, 296
 Kommentar 239
 kommutativer Operator 53
 komplexe Zahlen 26, 166
 konjugiert komplexer Ausdruck 166
 Konjunktion 48
 Konsolenbefehle 239
 Konstante 43
 Kontext 273
 Kosekans 58
 Kosekans Hyperbolicus 59
 Kosinus 58
 Kosinus Hyperbolicus 59
 Kotangens 58
 Kotangens Hyperbolicus 59
 kubische Splines 289
 Kurvenanpassung 289
 Kürzen 140, 151

L

Label 127
 Laden 18, 229, 233
 – von Paketen 234
 lagrangesches Polynom 289
 Lambda-Ausdruck 268
lapack (Paket) 289
 Lapack-Bibliothek 289
 Laplace 208
 Laplace-Transformation 200
 LaTeX-Export 18
 Laufbedingung 261

Least-Squares-Verfahren 289
 Leerzeichen 68
 leibnizsche Schreibweise 187
linearalgebra (Paket) 94, 289
 lineare Algebra 289
 Linienzug 117
 linke Seite 163
 Linux 15
 Lisp 290
 Lisp-Code 286
 Lisp-Name 285, 290
 Lissajous-Figur 128
 Listen 25, 85
 – ~funktion (listenwertig) 90
 – ~funktion (skalarwertig) 88
 – ~operator 82, 267
 – Verketteten von ~ 91
 – Verschränken von ~ 91
 logarithmische Skalierung 125
 Logarithmus 56, 153
 logischer Ausdruck 24
 logischer Filename 229
 logischer Operator 24
 Lorenz-System 204
lsquares (Paket) 289

M

Mächtigkeit 103
 MacOS 15
 Macsyma 13
 map (engl.) 25, 265
 Marke 238
 Maschinencode 293
 Matchfix-Operator 50
 Mathematikmodus 224
 mathematische Funktionen 55
 Matrix 33, 94
 Matrixinversion 97
 Matrizenoperator 97
 Matrizenprodukt 97
 Maxima-Code 286
 maxima-init.mac 234
 Maxima-Namen 290
 Maximum 56
 mechanisches System 203

Mehrfach
 – ~bruch 151
 – ~nullstellen 174
 – ~summe 185
 Mengen 101
 – ~funktionen (mengenwertig) 104
 – ~funktionen (skalarwertig) 103
 – Umwandlungsfunktionen 101
 – ~verknüpfungen 106
 Menüleiste 17
 Minimum 56
minpack (Paket) 289
 Minpack Bibliothek 289
 Modulo-Funktion 56
 Multiplikation 21, 47
 Muster 277
 – ~abgleich 277
 – ~argument 279
 – ~variable 277

N

n-ärer Operator 50
 Namensgebung 286
 Namensraum 62, 243, 286
 natürlicher Logarithmus 56
nchrpl (Paket) 209
 Nebeneffekt 39, 55, 64, 222, 238
 Negation 48
 Nenner 162
 – ~polynom 150
 Netzwerk 297
 Newtonverfahren 179
 Nofix-Operator 50
noninteractive (Paket) 289
 Nullmatrix 95
 Nullstelle 149, 173
numericalio (Paket) 290
 numerische Berechnung
 – Differenzialgleichung 202
 – Gleichungen 172
 – Integral 195, 289
 – Nullstelle 176
 numerische Optimierung 289

O

obere Dreiecksmatrix 101
 Oneliner 288
 Operanden 80
operatingsystem (Paket) 227, 255
 Operator 46
 – ~symbol 81
 – additiver ~ 52
 – antisymmetrischer ~ 53
 – Arithmetischer ~ 47
 – arithmetischer ~ 47
 – Deklaration 49
 – Haupt~ 80
 – Infix~ 49
 – kommutativer ~ 53, 83
 – Logischer ~ 48
 – logischer ~ 24
 – Matchfix~ 50
 – n-ärer~ 50
 – Nofix~ 50
 – Postfix~ 50
 – Präfix~ 50
 – symbolischer ~ 285
 – symmetrischer ~ 53
 – Vergleichs~ 48
 – Zuweisungs~ 47
opsubst (Paket) 289
 orthogonale Polynome 289
 Orthogonalisierung 101
orthopoly (Paket) 289

P

Padénäherung 213
 Parallelschaltung 51
 Parameterdarstellung 117
 Partialbruchzerlegung 150
 Partition 104
 pattern matching 277
 Perl 293, 296, 298
 Permutation 104
 Pfeilspitze 117
 Phasenspektrum 220
 physischer Filename 229
 Polardarstellung 166

Polarkoordinaten 27, 117
 Polygon 117, 118
 Polynom
 – ~division 163
 – ~gleichung 171
 – ~koeffizienten 162
 – ~nullstelle 149, 173
 Portable Document Format 139
 Portable Network Graphics 139
 Postfix-Operator 50
 Postscript-Grafik 139
 Potenz 21, 47
 Potenzieren 20
 Potenzreihe 210
 Prädikate 52, 144
 Prädikatsfunktion 40
 Präfix-Operator 50
 Primfaktorzerlegung 149
 Principal Value 192
 Produkt 182
 Programm
 – ~beispiele 262, 271
 – ~kontrollstruktur 37, 254
 – ~schleife 261
 – ~verzweigung 258
 – aufgerufenes ~ 293
 – rufendes ~ 293
 Programmieren
 – funktionales ~ 264
 – objektorientiertes ~ 109
 – prozedurales ~ 256
 – regelbasiertes ~ 272
 Pseudo-Inverse 263

Q

quadpack (Paket) 289
 Quadpack-Bibliothek 195, 289
 Quadrant 26, 168
 quadratische Gleichung 171
 Quadratwurzel 56
 Quellendichte 209
 Queue 64
 Quote-Operator 141
 Quotient 163

R

Randwertaufgabe 196
rationale Zahl 20, 40
Realteil 27, 166
Rechengenauigkeit 44
Rechenzeit 250
Rechenzeit-Statistik 250
rechte Seite 163
Rechteck 117, 118
Rechteckform 166
Rechteckfunktion 215
reelle Nullstellen 173
Regelanwendung
– automatisch 282
– durch Funktionsaufruf 280
Regeln 272
Regelungstechnik 57, 200
Regressionsgerade 263
Reihenfolge 83
– von Zeichen 75
Rekursion 270
Rekursionstiefe 248
riemannsche Zetafunktion 183
Romberg-Verfahren 195
Rotation 208
Rückgabewert 222
Runden 21, 42
Runge-Kutta 202

S

Scaleable Vector Graphics 139
Schleifen 38, 261
Schlüssel-Wert-Paar 109
Scilab 293
Sekans 58
Sekans Hyperbolicus 59
semantische Gleichheit 49
Sequenzen 37, 256
Server 297
Server-Socket 297
Shell-Skript 295
signifikante Stellen 21, 45
Simulation 202, 289
Sinus 58

Sinus Hyperbolicus 59
Skalenbeschriftung 126
Skalenpunkte 125
Socket-Verbindung 297
Sonderzeichen 34, 68
Sortieren 91
Sortierreihenfolge 71, 83
Spaltenindex 94
Spaltensummen-Norm 99
Spaltenvektor 94
Spaltenzahl 98
Sprünge 259
Sprungfunktion 56
Spur einer Matrix 98
Stabilität 201
Stack 93, 270
Standardreihenfolge 83, 92, 160
Stapel 93
Statistik 289
Statusfeld 17
Stellgröße 205
Steuervariable 261
String 34
Stringlänge 69
Struktur 112
Struktur eines Ausdrucks 81
Substitution 143, 163
Subtraktion 21, 47
Suchpfad 286
Summe 27, 182
– ~ von Brüchen 146, 150
– ~ von Logarithmen 155
– ~ von Winkeln 155
symbolischer Rechner 22
symmetrischer Operator 53
syntaktische Gleichheit 49
System
– ~einstellungen 286
– ~theorie 57, 200
– ~variable 44
– ~zeit 61
Szenen 114, 133

T

Tabulator 68

Tangens 58
 Tangens Hyperbolicus 59
 Tangentialebene 212
 Tastatureingabe 221
 Tastenkürzel 19
 Taylorreihe 210
 Teilausdruck 160
 – nullter \sim 165
 – vollständiger \sim 163
 Teilmenge 104
 Temperaturregelung 205
 T_EX 293
 T_EX-Ausgabe 224
 T_EX-Formel 296
 Textbearbeitung 293
 Textzelle 17
 thermisches System 203, 205
 Thermostat 205
 Titelizele 17
to_poly_solve (Paket) 175
 Toleranzgrenze 45
 Transponieren 97
 trigonometrische Umformungen 155
trigtools (Paket) 289

U

Übersetzer 293
 Übertragungsfunktion 200
 Uhrzeit 62
 Umbenennen von Indizes 186
 Umgebungsvariable 295
 Umwandlungsfunktion 42, 73
 unendlich 28, 44, 180
 Unendlich-Norm 99
 ungebundenes Symbol 26, 32, 166
 ungerade Funktion 53
 ungleich 24, 48
 Unicode 67
 unterbestimmtes Gleichungssystem 177
 UTF8 67

V

Variablenbereich 29
vect (Paket) 208

Vektor 33, 94, 117, 127
 Vektoranalysis 207
 Vereinfachung 140, 284
 Vereinigungsmenge 106
 Verflachen einer Liste 90
 Vergleichsausdruck 24
 Vergleichsfunktion 69
 Vergleichsoperator 24, 48
 Verkettung 34, 72
 Verzeichnis 227
 Vielfachheiten 172
 vollständiger Teilausdruck 163
 Vorzeichen 56

W

Wahrscheinlichkeitsverteilungen 289
 Warteschlange 64
 Werkzeugleiste 17
 Wertebereich 29
 Windows 15
 Winkelfunktionen 21, 58
 Wirbeldichte 209
 Wurzelgleichung 175, 179
 Wurzeln 56, 153
 – komplexe \sim 168
 – Vereinfachung von \sim 154
 – Zusammenfassen von \sim 153
 wxm-File 18
 wxMaxima 16
 wxmx-File 18

X

xml-File 234

Z

z_transform (Paket) 289
 z-Transformation 289
 Zahl
 – Ganz \sim 39
 – Gleitkomma \sim 39
 – Hexadezimal \sim 46
 – komplexe \sim 26, 166

- rationale ~ 40
- Zähler 162
- Zeichen 34, 66
 - druckbares ~ 70
- Zeichenkette 34, 66
- Zeiger 169
- Zeilen
 - ~index 94
 - ~vektor 94
 - ~zahl 98
 - ~länge 251
- Zeilensummen-Norm 100
- Zeitfunktion 61
- Zellenklammer 17
- Zerlegen 72
- Zufallszahl 60
- Zusammenfassen 37
 - ~ von Brüchen 151
 - ~ von Logarithmen 155
 - ~ von Wurzeln 153
- Zusammenfügen 72
- Zusatzmarke 238
- Zusatzpakete 289
- Zustands-Objekt 60
- Zustandsraumdarstellung 203
- Zuweisungsoperator 22, 47
- Zweipunktregler 205
- Zwischenmarke 238