

Arnold Krawietz

Maple V für das Ingenieurstudium

Arnold Krawietz

Maple V für das Ingenieurstudium

Mit 67 Abbildungen, 86 Übungsvorschlägen
und einer Diskette



Springer

Professor Dr.-Ing. ARNOLD KRAWIETZ

Technische Universität Berlin

Institut für Mechanik

Straße des 17. Juni 135

10623 Berlin

und

Technische Fachhochschule Berlin

Luxemburger Str. 10

13353 Berlin

Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>.

ISBN 978-3-540-60223-1

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Arnold Krawietz:

Maple V für das Ingenieurstudium / Arnold Krawietz. - Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Budapest; Hongkong; London; Mailand; Paris; Santa Clara; Singapur; Tokio:

Springer 1997

ISBN 978-3-540-60223-1 ISBN 978-3-642-59125-9 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-59125-9

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1997

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1997

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Einbandentwurf: Künkel & Lopka, Ilvesheim

Satz: Camera ready Vorlage durch Autor

SPIN: 10503018 68/3020 - 5 4 3 2 1 0 - Gedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort

Ein wesentliches Kennzeichen der Ingenieurstätigkeit ist die Modellierung technischer Strukturen und Prozesse und ihre Analyse mit mathematischen Methoden. Zur zahlenmäßigen Behandlung von Problemen hoher Komplexität steht spezialisierte Computersoftware (z.B. FEM-Pakete) zur Verfügung. Im Vergleich dazu sind die inzwischen zu hoher Reife gelangten Computeralgebraprogramme universelle Werkzeuge, die in erster Linie grundsätzliche Einsichten vermitteln, indem sie analytische Lösungen bereitstellen und Sachverhalte graphisch aufbereiten. Sie lassen sich aber auch mit Erfolg zur numerischen Behandlung von Aufgaben mittleren Schwierigkeitsgrades einsetzen, wie einige in diesem Buch vorgestellte Prozeduren zeigen werden.

Der Ingenieurstudent (bzw. die Ingenieurstudentin) sollte die Computeralgebra nicht nur im Hinblick auf seine spätere Berufstätigkeit kennenlernen. Sie kann ihm vielmehr vom ersten Semester an helfen, sich mit mathematischen Fragestellungen und Methoden genauer vertraut zu machen und ihre Anwendung auf technische Probleme zu studieren. Dabei ergeben sich ganz neuartige Lerneffekte durch die Möglichkeit, rechenintensive Aufgaben mit Computerhilfe zu behandeln, Parameterstudien durchzuführen und insbesondere Ergebnisse durch graphische Darstellung der Interpretation zugänglich zu machen.

Das vorliegende Buch soll den Ingenieurstudenten bei dem Bemühen unterstützen, sich das Computeralgebrasystem MAPLE V nutzbar zu machen. Dabei werden zwei Ziele verfolgt:

- Das Kennenlernen der für den Ingenieur bedeutsamen Strukturen und Befehle von MAPLE.
- Ein vertieftes Verständnis mathematischer Methoden und ihrer technischen Anwendung.

Beispielsweise beschäftigen wir uns an mehreren Stellen des Buches mit Existenz und Eindeutigkeit von Lösungen und erkennen, welche Bedeutung diese zunächst abstrakt anmutenden mathematischen Begriffe im Zusammenhang mit Ingenieurproblemen besitzen und wie wir im Rahmen eines Computeralgebrasystems damit umgehen können.

Das vorliegende Buch ersetzt kein Handbuch zu MAPLE. Vertrautheit des Lesers mit der Benutzeroberfläche wird vorausgesetzt. Erfreulicherweise steht zum Kennenlernen von MAPLE eine umfangreiche *on-line*-Hilfe zur Verfügung.

Der Autor ist übrigens nicht Entwickler des Systems, sondern hat sich als Ingenieur selbst in MAPLE eingearbeitet und möchte seine Erfahrungen an Studenten weitergeben.

Die Gliederung des Buches orientiert sich an den klassischen mathematischen Teilgebieten. Kapitel 2 kann dem Studienanfänger helfen, seine Schulkenntnisse aufzufrischen, während er sich zugleich mit der Computeralgebra vertraut macht. Die Kapitel 3 bis 7 behandeln mathematische Methoden und Anwendungsbeispiele aus dem technischen Grundstudium, während die Themen des 8. Kapitels dem Ingenieurstudenten in der Regel erst im Hauptstudium begegnen.

Dem Buch liegt eine Diskette bei. Ihr Inhalt wird in der Datei *liesmich* erläutert. Wie sollte das Buch zusammen mit der Diskette benutzt werden? Der Leser kann Dateien von der Diskette in eine interaktive MAPLE-Sitzung einlesen und den Ablauf der im Buch beschriebenen Sitzungen nachvollziehen. Dabei erhält er auf dem Bildschirm auch umfangreiche Zwischenergebnisse und viele graphische Darstellungen, die im Buch aus Platzgründen nicht wiedergegeben sind. Dem Buch dagegen kann er den theoretischen Hintergrund der Aufgaben und Erläuterungen zu den MAPLE-Befehlen entnehmen. Die Aufgaben der interaktiven Sitzung können als Anregung dienen, ähnliche Probleme zu lösen, Parametervariationen zu studieren oder die im Buch eingestreuten Übungsvorschläge aufzugreifen.

Die im Buch dokumentierte Ein- und Ausgabe basiert auf interaktiven MAPLE-Sitzungen mit *Release 4, Student Edition*. Wenn Abweichungen bei Verwendung von *Release 3* zu beachten sind, so wird dies in den jeweiligen Dateien der Diskette angegeben.

Die Erstellung des Buches kann selbst als MAPLE-Anwendung betrachtet werden. Die *Worksheets* der Sitzungen sind nämlich als \LaTeX *Source File* exportiert worden und mußten anschließend nur noch etwas überarbeitet und durch theoretische Erläuterungen und Formeln ergänzt werden.

Der größere Teil der Bilder des Buches gibt MAPLE-Originalausgaben zu `plot`-Befehlen wieder. (Weil die Beschriftung größer als standardmäßig gewählt werden mußte, damit sie nach Verkleinerung noch lesbar blieb, ließen sich unschöne Textüberschneidungen leider nicht vermeiden.) Die restlichen Bilder sind mit TURBOCAD 2D, Version 3.0 für Windows — einem auch für Studenten erschwinglichen CAD-System — erstellt worden.

Noch einige Hinweise zur Notation. Vektoren, Tensoren und Matrizen werden in Formeln **fett** gedruckt. MAPLE-Befehle oder -Namen sind durch Schreibmaschinenschrift kenntlich gemacht, und *Schrägdruck* weist auf fremdsprachliche Fachausdrücke hin.

Dem Springer-Verlag danke ich dafür, daß er das vorliegende Buch bereitwillig in sein Verlagsprogramm aufgenommen hat.

Inhaltsverzeichnis

1	Grundkonzepte der Computeralgebra	1
1.1	Objekte und Variable	1
1.2	Zusammenfassung von Objekten	3
1.3	Zahlen	5
1.4	Elemente des Programmierens	9
1.5	Prozeduren	11
2	Funktionen, Kurven und Gleichungen	14
2.1	Funktionsdefinitionen in MAPLE	14
2.2	Stückweise definierte Funktionen	17
2.3	Elementare Funktionen	21
2.3.1	Potenzen	21
2.3.2	Ganze rationale Funktionen	24
2.3.3	Gebrochene rationale Funktionen	25
2.3.4	Irrationale algebraische Funktionen	27
2.3.5	Die Exponentialfunktion	29
2.3.6	Der Logarithmus	31
2.3.7	Trigonometrische Funktionen	33
2.3.8	Area- und Arcus-Funktionen	38
2.4	Funktionen zweier Veränderlicher	40
2.5	Deutung von Prozeduren als Funktionen	44
2.6	Zeichnen von Kurven	45
2.6.1	Ebene Kurven	45
2.6.2	Raumkurven	48
2.7	Gleichungslösung	48
2.7.1	Nullstellen von Polynomen	48
2.7.2	Lösung von Wurzelgleichungen	51
2.7.3	Nullstellen transzendenter Gleichungen	55
2.7.4	Lösung von Gleichungssystemen	57
3	Lineare Algebra	61
3.1	Lineare Gleichungen	61
3.1.1	Existenz und Eindeutigkeit von Lösungen	61
3.1.2	Graphische Veranschaulichung	62
3.1.3	Analytische Formulierung	62

3.1.4	Matrizenschreibweise	63
3.1.5	Anwendung beim Fachwerk	65
3.1.6	Automatisierte Fachwerkberechnung	70
3.1.7	Zeichnerische Darstellung von Fachwerken	76
3.2	Dreidimensionale Vektorrechnung	79
3.2.1	Die Grundoperationen	79
3.2.2	Einfache geometrische Anwendungen	84
3.2.3	Räumliche Statik	87
3.3	Matrizeneigenwertprobleme	88
3.3.1	Tensorhauptachsen	88
3.3.2	Torsionskritische Drehzahlen von Maschinenwellen	95
3.4	Berechnung von Flächenmomenten	99
4	Analysis	108
4.1	Grenzübergänge	108
4.1.1	Grenzwerte bei Funktionen	108
4.1.2	Grenzwerte von Folgen	114
4.1.3	Unendliche Reihen	118
4.2	Differentialrechnung	121
4.2.1	Ableitung einer Funktion einer reellen Veränderlichen	121
4.2.2	Taylor-Reihen	126
4.2.3	Partielle Ableitungen	132
4.3	Integralrechnung	138
4.3.1	Das unbestimmte Integral	138
4.3.2	Das bestimmte Integral	140
4.3.3	Lösung von Differentialgleichungen mittels Quadraturen	157
4.3.4	Doppelintegrale	173
5	Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung	180
5.1	Beschreibung von Stichproben	180
5.1.1	Charakterisierung einer Datenliste	180
5.1.2	Innerer Zusammenhang zweier Datenlisten	184
5.2	Lineare und nichtlineare Regression	186
5.3	Fehlerschätzungen	189
5.3.1	Wahrscheinlichkeitsverteilungen von stetigen Variablen	189
5.3.2	Vertrauensbereich des Erwartungswertes einer Grundgesamtheit	192
5.3.3	Vertrauensbereich der linearen Regression	195
5.4	Ein Versuch aus dem physikalischen Praktikum	197
5.5	Diskrete Verteilungen	202

6	Approximation von Funktionen	211
6.1	Taylor- und Pade-Approximation	211
6.2	Diskrete Approximation und Interpolation	213
6.3	Polynom-Approximation im quadratischen Mittel	214
6.4	Gleichmäßige Approximation	217
6.5	Trigonometrische Approximation	218
6.6	Fourier-Reihen periodischer Funktionen	220
7	Gewöhnliche Differentialgleichungen	224
7.1	Wärmeleitung im Hohlzylinder	224
7.2	Schwingungen	227
7.2.1	Linearer Ein-Massen-Schwinger	227
7.2.2	Linearer Zwei-Massen-Schwinger	234
7.2.3	Physisches Pendel	236
7.2.4	Das Doppelpendel	240
7.2.5	Stabilität von Gleichgewichtslagen	253
7.3	Randwertprobleme	263
7.3.1	Flüssigkeitsbehälter	263
7.3.2	Seil unter Eigengewicht	271
7.3.3	Biegung von Blattfedern	276
7.4	Eigenwertprobleme	283
7.4.1	Stabknickung	283
7.4.2	Produktansatz zur Lösung partieller Differentialgleichungen	290
8	Partielle Differentialgleichungen	297
8.1	Vektor- und Tensoranalysis	298
8.2	Ebene Potentialprobleme	308
8.2.1	Komplexe Funktionentheorie	308
8.2.2	Potentialströmungen	311
8.2.3	Konforme Abbildung von Gebieten	314
8.2.4	Konforme Abbildung von Strömungen	317
8.3	Ebene Bipotentialprobleme	320
8.3.1	Hyperkomplexe Algebra und Analysis	320
8.3.2	Lösungen der ebenen Bipotentialgleichung	322
8.3.3	Anwendung in der Elastizitätstheorie	327
8.3.4	Spezielle Elastizitätsprobleme	333
	Literatur	349
	Sachverzeichnis	351