

Harald Wiedemann

---

# Numerische Physik

Mit 72 Abbildungen, zahlreichen Übungen  
und einer CD-ROM  
mit Beispielprogrammen und Programmpaketen



Springer

Dr. Harald Wiedemann  
Hattsteinstr. 6  
79423 Heitersheim, Deutschland  
e-mail: wiedemann.harald@litem.de

ISBN 3-540-40774-x Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek.

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

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 der 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 ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media

[springer.de](http://springer.de)

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004  
Printed in Germany

Die dem Buch beigelegten Programme des Autors unterliegen der GPL (Gnu General Public License).

Die nachfolgenden Namen sind eingetragene Warenzeichen: Linux<sup>®</sup> by Linus Torvalds; Intel<sup>®</sup> und Pentium<sup>®</sup> by Intel Corp.; AMD<sup>®</sup> by Advanced Micro Devices, Inc.; Windows<sup>®</sup> by Microsoft Corp.; Visual Numerics<sup>®</sup> und IMSL by Visual Numerics; NAG<sup>®</sup> by The Numerical Algorithms Group Ltd.; Adobe<sup>®</sup>, Acrobat Reader<sup>®</sup>, Postscript<sup>®</sup> by Adobe Systems Inc.; Red Hat<sup>®</sup> by Red Hat Software Inc.; SUSE<sup>®</sup> by SuSE Linux AG

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk 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.

Satz: Druckfertige Daten vom Autor erstellt unter Verwendung eines Springer L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X<sub>2</sub>ε Makropakets

Einbandgestaltung: *design & production* GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

SPIN: 10934104 56/3141/jl - 5 4 3 2 1 0

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Mechanik der Massenpunkte</b> .....	1
1.1	Die Newtonschen Gesetze.....	1
1.2	Das Fadenpendel.....	3
1.2.1	Verifizierung des Programms.....	11
1.2.2	Graphische Darstellung und Interpretation der Ergebnisse.....	12
1.2.3	Verbesserung des Algorithmus.....	14
1.3	Das Doppelpendel.....	26
1.4	Integrale und nicht integrale Dynamiken.....	32
1.5	Reguläre und chaotische Dynamiken.....	40
1.6	Das Teilchen in der Schachtel.....	45
1.7	Hamilton-Formalismus.....	52
1.8	Attraktoren in dissipativen Systemen.....	52
1.9	Das periodisch angetriebene Pendel.....	55
1.10	Der schiefe Wurf mit Luftwiderstand.....	61
	Übungen.....	66
<b>2</b>	<b>Elektrodynamik</b> .....	71
2.1	Die Maxwell'schen Gleichungen.....	71
2.2	Felder von Punktladungen.....	72
2.3	Multipole.....	73
2.4	Berechnung von Feldlinien.....	76
2.5	Magnetfelder stationärer Ströme.....	80
2.6	Hysterese.....	92
	Übungen.....	96
<b>3</b>	<b>Optik</b> .....	99
3.1	Historischer Überblick.....	99
3.2	Grundbegriffe der Strahlenoptik.....	100
3.3	Brechung und Reflektion von Licht.....	101
3.4	Brechung an einer Linsenfläche.....	105
3.5	Bild durch eine Linse – Linsenfehler.....	111
3.6	Entstehung eines Regenbogens.....	116
3.6.1	Qualitative Erklärung des Regenbogens.....	117
3.6.2	Quantitative Vorüberlegungen.....	118

3.6.3	Programm zur Berechnung eines Regenbogens . . . . .	120
3.6.4	Der Regenbogen bei ellipsoidförmigen Regentropfen . . .	124
3.7	Grundlagen der Wellenoptik . . . . .	125
3.8	Ebene Wellen und Kugelwellen . . . . .	126
3.9	Interferenz . . . . .	127
3.10	Das Huygenssche Prinzip . . . . .	128
3.11	Berechnung von Beugungsmustern . . . . .	129
3.12	Kohärenz . . . . .	134
3.13	Beugung bei endlicher Kohärenzlänge . . . . .	137
	Übungen . . . . .	142
<b>4</b>	<b>Statistische Physik</b> . . . . .	<b>147</b>
4.1	Grundbegriffe der Statistik . . . . .	147
4.2	Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten . . . . .	148
4.3	Mittelwerte und Momente . . . . .	150
4.4	Bedingte Wahrscheinlichkeiten und Korrelationen . . . . .	150
4.5	Dynamik bei statistischen Problemen . . . . .	152
4.6	Der Random-Walk . . . . .	153
4.6.1	Stochastische Differentialgleichung des Random-Walk .	154
4.6.2	Mastergleichung des Random-Walks . . . . .	158
4.6.3	Verbesserung des Random-Walk-Modells . . . . .	160
4.7	Thermisches Hüpfen . . . . .	170
4.8	Thermalisierung in Gasen . . . . .	176
4.8.1	Energieerhaltung . . . . .	177
	Übungen . . . . .	189
<b>5</b>	<b>Quantenmechanik</b> . . . . .	<b>193</b>
5.1	Die mathematische Struktur der Quantenmechanik . . . . .	193
5.2	Operationen im Hilbertraum . . . . .	193
5.3	Eigenzustände und ihre Verwendung als Koordinatensysteme .	195
5.4	Orts- und Impulsdarstellung . . . . .	197
5.5	Die Kopenhagener Interpretation der Quantenmechanik . . . . .	199
5.6	Schrödingergleichung . . . . .	199
5.7	Bestimmung des Hamilton-Operators . . . . .	200
5.8	Das freie Teilchen . . . . .	200
5.9	Eigenzustände des Hamiltonoperators . . . . .	213
5.10	Variationsmethoden . . . . .	219
5.11	Quantentunneln . . . . .	226
5.12	Einführung in die Quantenstatistik . . . . .	233
5.13	Ein Zwei-Niveau-System mit äußerer Anregung . . . . .	235
5.14	Messprozess . . . . .	241
5.15	Der Zeno-Effekt . . . . .	242
5.16	Ein Ein-Atom-Laser . . . . .	246
	Übungen . . . . .	254

<b>Anhang</b> .....	257
<b>A Installation der Pakete unter Linux</b> .....	257
<b>B Installation der Pakete unter Windows</b> .....	261
<b>C Mathematische Bibliotheken</b> .....	265
<b>D Fortran und C</b> .....	269
<b>E Filterprogramme</b> .....	275
<b>F Fouriertransformation und FFT-Routinen</b> .....	285
<b>G Die GPL-Lizenz</b> .....	289
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	293
<b>Index</b> .....	295