

Auf einen Blick

Über den Autor	9
Einleitung	21
Teil I: Neue Phänomene und neue Betrachtungsweisen	31
Kapitel 1: Quantencomputing – hope or hype?	35
Kapitel 2: Unterschiede, die einen Unterschied machen	47
Kapitel 3: Matrizen	61
Kapitel 4: Teleportation – abstrakt und physikalisch	81
Teil II: Neue Spielregeln in der Physik	95
Kapitel 5: Hinter dem Monitor	97
Kapitel 6: Abstieg in die Unterwelt	103
Teil III: Qubits und ihre Operatoren	133
Kapitel 7: Bits – als Vektoren betrachtet	135
Kapitel 8: Qubits – revisited	147
Kapitel 9: Methoden der Fehlerbehandlung	165
Teil IV: Quantenfouriertransformationen und mehr	175
Kapitel 10: Fouriertransformationen	177
Kapitel 11: Anwendungen der Quantenfouriertransformation	203
Teil V: Weitere Anwendungen	219
Kapitel 12: »Feind hört (nicht) mit«	221
Kapitel 13: Wer sucht, der findet (schneller)	245
Kapitel 14: Zur Quantensimulation durch Quanten	251
Teil VI: Top Ten Teil	261
Kapitel 15: Ein Zusammenspiel von Physik, Mathematik, Informatik und Ingenieurwissenschaften in 10 Schritten	263
Anhang	267
Anhang A: Theoreme zur klassischen Zahlentheorie	269
Anhang B: Komplexe Zahlen	283
Anhang C: Stochastik	291
Anhang D: Identische Teilchen	301
Anhang E: Lineare Algebra in a nutshell	307
Anhang F: Wichtige Hermitesche Operatoren in der Quantenmechanik	319
Anhang G: Schrödingergleichung	333
Anhang H: Symbolverzeichnis	339
Abbildungsverzeichnis	341
Stichwortverzeichnis	347

Inhaltsverzeichnis

Über den Autor	9
Einleitung	21
Über dieses Buch	21
Törichte Annahmen über die Leser	21
Vor welchen speziellen Herausforderungen standen wir?	23
Wo liegen die verstandesmäßigen Knackpunkte?	23
Damit stehen wir vor der folgenden Aufgabe	24
Umgang mit der Komplexität	24
Was muten wir zu?	25
Wie dieses Buch aufgebaut ist	26
Eingestreute »two cents«	28
Was wir draußen ließen	28
Konventionen und Symbole in diesem Buch	29
Danksagungen	29
Widmungen	30
TEIL I	
NEUE PHÄNOMENE UND NEUE BETRACHTUNGSWEISEN	31
Kapitel 1	
Quantencomputing – hope or hype?	35
Analogcomputer – Digitalcomputer – Quantencomputer	36
Konzepte des Quantencomputers	37
Verheißungen	38
Höher – schneller – weiter	38
Ein heiliger Gral des Quantencomputing	39
Verheißungen im Überblick	40
Berechenbarkeit und ihre Grenzen	41
Weitere Vereinheitlichungen in der Physik	41
Die Welt als prinzipiell berechenbares Uhrwerk	42
Neue Vorstellungen – neue Formeln – neue Datenstrukturen	42
Kapitel 2	
Unterschiede, die einen Unterschied machen	47
Bits und Qubits	48
Bits	48
Qubits	48
Das geometrische Bild eines Qubit	49
Algebraische Beschreibung eines Qubit	53
Im Herzen des Quantencomputing	55
Ein erster Einstieg – dense coding	55
Operationen mit Vektoren – Ausblick auf Matrizen	59

Kapitel 3	
Matrizen	61
Zum Einsatz und zur Handhabung von Matrizen.....	61
Beispiel: Fertigungskosten und ihre Abhängigkeiten.....	62
Zwischenbetrachtung: Klassische Bits und Bitfolgen als Vektoren.....	64
Bits implementiert als spezielle Qubits.....	64
Irritationen beim Übergang zum kartesischen Produkt.....	65
Wenn nicht das kartesische Produkt – was dann?.....	66
Welche Hypothek gehen wir mit dem Tensorprodukt gegenüber der Natur ein?.....	67
Bits als Vektoren: ein erstes Resümee.....	70
Bellzustände.....	71
Lineare Operationen auf Tensorräumen.....	71
Operationen zur Erzeugung einer Bell-Basis.....	71
Transformationen der Bell-Basis.....	75
Was ist nun das Besondere der Bell-Basis.....	77
Dense coding – revisited.....	79
Ausblicke.....	80
Kapitel 4	
Teleportation – abstrakt und physikalisch	81
Beam me up, Scotty.....	82
Teleportation für Mathematiker.....	82
Ein erstes Resümee der mathematischen Beschreibung.....	87
Teleportation für Physiker.....	87
Resümee der physikalischen Beschreibung.....	94
TEIL II	
NEUE SPIELREGELN IN DER PHYSIK	95
Kapitel 5	
Hinter dem Monitor	97
Die klassische Sichtweise.....	98
Klassische Physik.....	98
Ein Blick hinter den Monitor.....	99
... und hinter die Physik.....	99
Kapitel 6	
Abstieg in die Unterwelt	103
Geänderte Spielregeln.....	104
Skalierungen.....	104
»Law without law«.....	105
Berechnungen des Zufalls.....	106
Was läuft in der Mikrophysik »schief« – oder besser: anders.....	112

Auf welche Weise kommen Elementarereignisse und ihre Wahrscheinlichkeiten zustande?.....	112
Amplituden – Zusammenfassung ihrer funktionalen Prinzipien.....	120
<i>R</i> -Prozesse – Messungen.....	121
Doppelspalt – revisited.....	122
<i>U</i> -Prozesse – ungestörte Dynamik.....	125
Beschreibung der <i>U</i> -Prozesse.....	126
Einige »Gretchenfragen«.....	126
Infinite (?) Regresse.....	126
Management Summary.....	127
Der zu zahlende Preis.....	128
Letzte Notizen zum Messproblem in der Quantenmechanik.....	129
Versuche der Widerspruchsauflösung.....	130

TEIL III
QUBITS UND IHRE OPERATOREN..... 133

Kapitel 7
Bits – als Vektoren betrachtet..... 135

Bits und Qubits.....	136
Vorbereitung des Übergangs von Bits zu Qubits – Bits als Vektoren.....	136
Der Übergang von logischen Operationen zu unitären Operatoren – ternäre Operatoren.....	142
Wo stehen wir nun – und wo wollen wir hin?.....	146

Kapitel 8
Qubits – revisited..... 147

Qubits und ihre Operatoren.....	147
Das einzelne Qubit und seine Blochsphäre.....	148
Unitäre Operatoren auf dem einzelnen Qubit.....	152
Noch mehr unitäre Operatoren.....	157
Universalitätseigenschaften der Qubit-Operationen.....	162
Notizen zu physikalischen Implementierungen.....	163
Quantensysteme mit zwei (ausgezeichneten) Zuständen.....	164

Kapitel 9
Methoden der Fehlerbehandlung..... 165

Das No-Cloning-Theorem.....	166
Bitflip-Codes.....	167
Implementierung des Bitflip-Codes.....	167
Zur Messbarkeit einzelner Bitflips.....	168
Identifikation und Korrektur eines Bitflips an beliebiger Stelle.....	170
Phasenflip-Codes.....	171
Rückführung von Phasenflips auf Bitflips.....	172
Shor-Code.....	173

TEIL IV QUANTENFOURIERTRANSFORMATIONEN UND MEHR..... 175

Kapitel 10

Fouriertransformationen..... 177

Vorüberlegungen zur Fourieranalyse.....	178
Periodische Funktionen.....	178
Zur Fourieranalyse.....	180
Formeln der Fourieranalyse.....	181
Auf dem Weg zur diskreten Fouriertransformation.....	183
Ein kurzer Steilkurs in Modulorechnung.....	183
Die Relevanz der Ordnung einer Klasse für die Primfaktorzerlegung.....	185
Zwischenresümee: Wo stehen wir, wo wollen wir hin?.....	185
Eine Herleitung der diskreten Fouriertransformation.....	186
Übergang von einer Zahlenfolge zu einer Treppenfunktion.....	187
Die diskrete Fouriertransformation als lineare Abbildung.....	188
Normierung der Transformationsmatrix.....	189
Die Quantenfouriertransformation.....	190
Zur Power eines N -Qubit-Systems.....	190
Codierung der Basis eines N -Qubit-Systems.....	191
Eingaben in die Quantenfouriertransformation.....	192
Zur Aufbereitung der Quantenfouriertransformierten.....	193
Dualbrüche in $e^{\frac{2\pi i k_j}{2^n}}$	194
Abschließende Regruppierung der Quantenfouriertransformierten.....	196
Management Summary: Mathematische Aufbereitung der Quantenfouriertransformierten.....	198
Implementierung der Quantenfouriertransformation.....	198
Gewinnung des Phasenfaktors $e^{(2\pi i)(0.j_{n-t+1} \dots j_n)_2}$	199
Schaltbilder für die Quantenfouriertransformation.....	201

Kapitel 11

Anwendungen der Quantenfouriertransformation..... 203

Phasenschätzung.....	204
Iterierte U -Operationen.....	204
Spezialfall: $\varphi = (0, \varphi_1 \varphi_2 \dots \varphi_t)_2$	205
Näherungen.....	207
Management Summary: Phasenabschätzung von $e^{2\pi i \varphi}$	210
Folgerungen der Phasenabschätzung: Wege zum Bestimmen der »Ordnung« einer Zahl.....	211
Iterierte Multiplikation mit einem festen $[x]$	211
Parallele Verarbeitung der Eigenvektoren $ u_s\rangle$	213
Finale der Berechnung der Ordnung.....	215
Management Summary: Berechnung der Ordnung einer Zahl.....	216
Der Shor-Agorithmus.....	217
Konsequenzen für die Kryptologie.....	218

TEIL V**WEITERE ANWENDUNGEN 219****Kapitel 12****»Feind hört (nicht) mit« 221**

Zum Einstein-Podolski-Rosen-Paradoxon.....	221
Bellzustand zweier Teilchen mit Spin.....	221
Hidden variables.....	222
»second two cents«.....	222
Die bellsche Ungleichung.....	223
Berechnung der Erwartungswerte.....	224
Unvereinbarkeit der bellschen Ungleichung mit der Quantenmechanik.....	226
Rollentausch: Teilchen im Bellzustand als Münzen.....	226
Die Rechnungen im Einzelnen.....	228
Relevanz der bellschen Ungleichung für Verschlüsselungsverfahren.....	231
(K)ein »Knacken in der Leitung«.....	232
Symmetrische und asymmetrische Verfahren.....	233
Die Funktionsweise symmetrischer Verschlüsselungsverfahren.....	233
Das BB84-Protokoll.....	234
Zusammenfassung des BB84-Protokolls.....	239
E91-Protokoll.....	240
Kombination mit klassischen Verschlüsselungsverfahren.....	242

Kapitel 13**Wer sucht, der findet (schneller) 245**

Die Suche im Heuhaufen.....	245
Benutzung eines Quantenschaltkreises.....	245
Idee des Grover-Algorithmus.....	246
Analyse der Grover-Iterationen.....	246

Kapitel 14**Zur Quantensimulation durch Quanten 251**

Bemerkungen zu analogen Verfahren.....	252
Gradientenstrategien.....	252
Adiabatisches Quantencomputing.....	254
Zum adiabatischen Theorem der Quantenmechanik.....	255

TEIL VI**TOP TEN TEIL 261****Kapitel 15****Ein Zusammenspiel von Physik, Mathematik, Informatik
und Ingenieurwissenschaften in 10 Schritten 263**

Und in fernerer Zukunft? – Vision in Rosa.....	266
------------------------------------------------	-----

ANHANG	267
Anhang A	
Theoreme zur klassischen Zahlentheorie	269
Restklassenringe.....	269
Wohldefiniertheit der Operationen auf den Restklassen.....	270
Der euklidische Algorithmus.....	271
Einheiten in \mathbb{Z}_n	272
Eulersche φ -Funktion.....	272
Return on Invest – das RSA-Verfahren in der Kryptologie.....	273
Asymmetrische Verschlüsselungsverfahren.....	274
Das RSA-Verfahren in der Theorie.....	274
Praktische Bemerkungen zum RSA-Verfahren.....	276
Faktorisierung.....	277
Auffinden eines nichttrivialen Faktors von n	277
Notizen zu Kettenbrüchen.....	278
Kettenbrüche und ihre Konvergenten.....	279
Finale des Auffindens der gesuchten Ordnung r	281
Anhang B	
Komplexe Zahlen	283
Addition und Multiplikation.....	283
Definition der Multiplikation.....	284
Vektoren in der Rolle komplexer Zahlen.....	285
Wichtige Kenngrößen.....	285
Die komplexe e -Funktion.....	286
Komplexe Zahlen in Polarkoordinaten.....	287
Komplexe Zahlen als Matrizen.....	288
Anhang C	
Stochastik	291
Einführung.....	291
Ereignisse und Elementarereignisse.....	291
Wahrscheinlichkeiten.....	293
Wahrscheinlichkeitsräume.....	294
Benutzung mengentheoretischer Operationen.....	294
Bedingte Wahrscheinlichkeit und stochastische Unabhängigkeit.....	295
Regeln zur Berechnung der Wahrscheinlichkeiten mengentheoretisch verknüpfter Ereignisse.....	295
Wahrscheinlichkeitsräume in der Quantenmechanik.....	297
Elementarereignisse in der Mikrowelt.....	297
Resümee.....	298

Anhang D
Identische Teilchen..... 301

Klassischer Münzwurf..... 301
 Analyse des Münzwurfs..... 303
 »Münzwurf« mit Mikroteilchen..... 303

Anhang E
Lineare Algebra in a nutshell..... 307

Vektoren..... 307
 Addition..... 307
 Skalare Multiplikation..... 309
 Skalarprodukt..... 309
 Darstellung von Vektoren im dreidimensionalen Raum 310
 Abstrakte Vektorräume..... 311
 Charakterisierung eines abstrakten Vektorraums 311
 Besonderheiten des komplexen Skalarprodukts..... 312
 Linearkombinationen, Basen und Dimensionen 312
 Normierte Vektoren und Orthonormalbasen..... 313
 Hilberträume 313
 Kartesische und Tensorprodukte..... 314
 Tensorprodukte 314
 Lineare Abbildungen..... 315
 Lineare Abbildungen und Matrizen 315
 Eigenwerte und Eigenvektoren..... 316
 Matrizen und Tensorprodukte..... 316
 Skalarprodukte auf Tensorräumen..... 317
 Unitäre Operatoren 317
 Hermitesche Operatoren 317


Anhang F
Wichtige Hermitesche Operatoren in der
Quantenmechanik..... 319

Zur physikalischen Interpretation der Wellenfunktion 321
 Repräsentation der Messapparate..... 322
 Die Observablen für Ort und Impuls..... 324
 Überblick über die Darstellungen des Orts- und Impulsoperators..... 327
 Der Hamiltonoperator 330
 Eigenwerte und Eigenfunktionen eines freien Teilchens 331

Anhang G
Schrödingergleichung..... 333

Bedeutung von $e^{\frac{-iH \cdot t}{\hbar}}$ 333
 Zur effizienten Berechenbarkeit der Lösungen..... 335
 Letzte Spekulationen..... 336

Anhang H	
Symbolverzeichnis	339
Abbildungsverzeichnis	341
Stichwortverzeichnis	347

Diese Leseprobe haben Sie beim
 **edv-buchversand.de** heruntergeladen.
Das Buch können Sie online in unserem
Shop bestellen.

[Hier zum Shop](#)