

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	IX
1 Einleitung	1
1.1 Eine neue Art des Rechnens	1
1.2 Über dieses Buch	8
2 Vom Bit zum Quantenregister	9
2.1 Was ist eine Berechnung?	10
2.1.1 Die Turingmaschine	13
2.1.2 Schaltkreise	14
2.1.3 Der Sprung in die Quantenwelt: Schrödingers Katze .	17
2.2 Das Quantenbit	20
2.3 Rechenschritte auf einem Quantenbit	23
2.4 Der erste Algorithmus: Ein Zufallsgenerator	26
2.5 Quantenregister	28
2.6 Der zweite Algorithmus: Das Problem von Deutsch	33
2.7 Die Rolle des Tensorprodukts	37
2.8 Das Messen von Quantenregistern	44
2.9 Noch einmal das Problem von Deutsch	50
2.10 Bestandsaufnahme: Die drei Prinzipien des Quantum Computing	51
2.11 Verschränkung	53
2.12 Die Hadamard-Transformation und mehrere Bits	59
2.13 Der Algorithmus von Deutsch-Jozsa	62
3 Vom Quantenregister zum Quantenschaltkreis	67
3.1 Laufzeit	68
3.2 Klassische Schaltkreise und Komplexität	75
3.3 Quantengatter und Quantenschaltkreise	76
3.4 Quantenbits kopieren: Das No-Cloning-Theorem	81
3.5 Umkehrbare Berechnungen	84
3.6 Unterscheidbare Zustände	93
3.7 Gestörte Berechnungen	95
4 Hilfsmittel aus der Theoretischen Informatik	101
4.1 Komplexitätsklassen	101
4.2 Randomisierte Algorithmen	106
4.2.1 Mit dem Zufall rechnen	106

4.2.2	Ein Primzahltest	107
4.2.3	Probabilistische Komplexitätsklassen	110
4.3	Unlösbare Probleme? NP-Vollständigkeit	114
4.4	Quantenkomplexitätstheorie	118
4.5	Die Churchsche These	121
5	Teleportation und dichte Kodierung	125
5.1	Quantenteleportation	127
5.2	Dichte Kodierung	131
5.3	Verschränkte Bits	133
6	Suchen	137
6.1	Die Nadel im Heuhaufen	138
6.2	Die Grover-Iteration	140
6.3	Eine geometrische Veranschaulichung	146
6.4	Varianten der Quantensuche	153
6.4.1	Suche nach einer von mehreren Lösungen	153
6.4.2	Suche bei unbekannt vielen Lösungen	155
6.4.3	Die Suche nach dem Minimum	156
6.4.4	Zählen	159
6.5	Anwendungen von Grovers Algorithmus	159
6.6	Grovers Algorithmus ist von optimaler Größenordnung	161
6.7	Folgen für die Fähigkeiten von Quantencomputern	166
7	Geheime Botschaften	169
7.1	Alice, Bob und Eve	170
7.2	Quantenverschlüsselung: das BB84-Protokoll	175
7.3	Lauschstrategien	183
7.4	Quantenverschlüsselung mit Verschränkung	188
8	Klassische Verschlüsselungen knacken: Primfaktorzerlegung	193
8.1	Faktorisierung und Verschlüsselung: RSA-Kryptographie	194
8.2	Die Suche nach Perioden	199
8.3	Die schnelle Fouriertransformation	207
8.4	Die Quanten-Fouriertransformation	214
8.5	Simons Algorithmus	218
8.6	Shors Algorithmus	223
8.7	Jenseits von Shor	231
9	Quantenhardware	237
9.1	Anforderungen	237
9.2	Dekohärenz	238
9.3	Photonen	241
9.3.1	Mach-Zehnder-Interferometer	241
9.3.2	Kryptographie	244
9.4	Kernspinresonanz	249
9.5	Ionenfallen	250
9.6	Einwegberechnungen mit Clusterzuständen	251

10 Zur Geschichte der Quantenmechanik	257
10.1 Max Planck: das Quantum der Wirkung	257
10.2 Albert Einstein: Spukhafte Fernwirkung	259
10.3 Niels Bohr: Kopenhagen	260
10.4 Werner Heisenberg: Ein großes Quantenei	263
10.5 Erwin Schrödinger: Katzen und Wellen	265
10.6 Zur Geschichte des Quantencomputers	266
A Mathematische Grundlagen	269
A.1 Komplexe Zahlen	269
A.2 Vektorräume	271
A.2.1 Was sind Vektorräume?	271
A.2.2 Basen und Unterräume	273
A.2.3 Winkel und Abstände in einem Vektorraum	274
A.2.4 Projektionen	276
A.3 Matrizen	277
A.4 Kombinatorik und Wahrscheinlichkeit	279
A.5 Ganze Zahlen	281
A.5.1 Teiler und Vielfache	281
A.5.2 Modulares Rechnen	281
A.5.3 Zur Division	283
B Lösungen ausgewählter Übungsaufgaben	285
Literatur	293
Symbole und Abkürzungen	299
Quantengatter	300
Namen- und Sachwortverzeichnis	301