

Inhalt

1	EINFÜHRUNG.....	1
1.1	Hat die universitäre Lehre zu Kommunikationsnetzen bzw. zur Mobilkommunikation eine bedeutende Zukunft?	1
1.2	Warum Quanteninformationstheorie?	1
1.3	Was ist Kommunikation? Was ist Information? Wie misst man Information?	2
1.3.1	Kommunikation	2
1.3.2	Information.....	2
1.3.3	Messung der Information	3
1.4	Gibt es einen Unterschied zwischen Entropie und Information?	4
1.5	Was sind Quanten?	4
2	WAS IST QUANTENMECHANIK?	9
2.1	Klassisches Ideal der exakten Naturbeschreibung	9
2.2	Variablen in der Quantenmechanik und Unschärferelation	11
2.3	Quantenmechanische Wahrscheinlichkeitsvoraussagen	13
2.4	Interferenz	19
2.5	Messungen in der Quantenmechanik	20
2.6	Verschränkung.....	24
2.6.1	Was ist Verschränkung?	24
2.6.2	Gibt es Verschränkung wirklich?	25
2.7	Warum beobachtet man in der klassischen Physik keine Quanteneffekte?.....	27
2.8	Geschichtlicher Abriss	28
2.9	Zusammenfassung der wichtigsten quantenmechanischen Konzepte	28
3	MATHEMATISCHER FORMALISMUS DER QUANTENMECHANIK	29
3.1	Einleitung.....	29
3.2	Dirac-Notation	29
3.3	Axiome des Hilbertraums	31
3.3.1	Übersicht	31
3.3.2	Axiom 1	31
3.3.3	Axiom 2	32
3.3.4	Axiom 3	33
3.3.5	Axiom 4	34
3.4	Lineare Operatoren und Observable	35
3.4.1	Bezeichnung und Operationen.....	35
3.4.2	Eigenwerte und Eigenvektoren von Operatoren	39
3.4.3	Spektraldarstellung hermitescher Operatoren	45

3.4.4	Observable.....	47
3.4.5	Wahrscheinlichkeitsinterpretation.....	49
3.4.6	Unitäre Operatoren	52
3.5	Funktionen hermitescher Operatoren	56
3.6	Vertauschbarkeit von Operatoren	57
3.6.1	Problem der Vertauschung von Operatoren.....	57
3.6.2	Quantenpoissonklammer und Kommutator	57
3.6.3	Unschärferelation.....	60
3.7	Quantenmechanischer Dichteoperator	63
3.7.1	Definition.....	63
3.7.2	Bewegungsgleichung des quantenmechanischen Dichteoperators	64
3.7.3	Erwartungswerte der Observablen	65
3.7.4	Eigenwerte des quantenmechanischen Dichteoperators	70
3.7.5	Quantenmechanisches System im thermodynamischen Gleichgewicht	71
3.8	Spur hermitescher Operatoren	72
3.9	Mathematischer Formalismus der Messungen an quantenmechanischen Systemen	76
3.10	Postulate.....	80
3.10.1	Übersicht	80
3.10.2	Postulat 1 – Zustandsraum.....	80
3.10.3	Postulat 1a – Observable.....	80
3.10.4	Postulat 1b – Erwartungswert.....	81
3.10.5	Postulat 2 – Entwicklung	81
3.10.6	Postulat 3 – Messung	81
3.10.7	Postulat 4 – Mehrteilchensystem.....	81
4	EINTEILCHENSYSTEME IN DER QUANTENMECHANIK	82
4.1	Qubits	82
4.2	Matrixform	84
4.3	Messung des Zustandsvektors	85
4.4	Bloch-Kugel.....	87
4.5	Qudits	91
5	ZWEITEILCHENSYSTEME IN DER QUANTENMECHANIK.....	92
5.1	Formalismus	92
5.2	Tensorprodukt.....	94
5.2.1	Was sind Tensoren?	94
5.2.2	Tensorprodukt von Skalaren	95
5.2.3	Tensorprodukt von Vektoren	95

5.2.4	Tensorprodukt von Operatoren	98
5.2.5	Tensorprodukt von Operatoren angewendet auf das Tensorprodukt von Vektoren ..	101
5.2.6	Tensorprodukt von Operatoren angewendet auf das Tensorprodukt von Operatoren ..	103
5.2.7	Zusammenfassung der Rechenregeln	104
5.3	Schmidtzerlegung	106
5.4	Zustandsreinigung („Purification“)	108
6	VERGLEICH VON ZUSTÄNDEN	114
6.1	Einführung	114
6.2	Wiedergabetreue („Fidelity“)	114
6.3	Spurabstand („Trace Distance“)	118
7	BELLSCHE UNGLEICHUNG	120
8	UNMÖGLICHKEIT DER KLONIERUNG („NO CLONING“)	130
9	WAS IST QUANTENINFORMATION?	132
9.1	Beschreibung	132
9.2	Wie misst man Quanteninformation?	132
9.3	Wichtige Eigenschaften der von-Neumann-Entropie	134
9.4	Relative Quantenentropie	139
10	QUANTENMECHANISCHE INFORMATIONSÜBERTRAGUNG	143
10.1	Unteradditivität („Subadditivity“)	143
10.2	Araki-Lieb-Ungleichung	150
10.3	Quantentransinformation	156
10.4	Bedingte von-Neumann-Entropie	157
10.5	Quantenmechanisches Bergersches Diagramm	157
10.6	Quantenrauschen	159
10.7	Quantenübertragungssystem	160
10.8	Quantenkanäle	161
10.9	Kanalkapazität von Quantenkanälen	162
11	Literaturverzeichnis	165