
Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Abstract	7
Hinweise zum Lesen dieser Arbeit	9
Ziele und Aufbau der Arbeit	15
I Quantenphysik lehren	19
1 Didaktik der Quantenphysik: Ausgewählte Forschungsergebnisse und Anforderungen an ein neues Curriculum	21
1.1 Quantenphysikunterricht heute: inhaltliche Perspektive	22
1.2 Fachdidaktische Perspektive: Unterrichtskonzepte und Lernendenvorstellungen zur Quantenphysik	27
1.3 Perspektive der Lehrenden	33
1.4 Perspektive der Lernenden	35
1.5 Zusammenfassung: Anforderungen an ein neues Unterrichtskonzept zur Quantenphysik	35
2 Erlanger Unterrichtskonzept zur Quantenoptik	37
2.1 Bezug zu den Anforderungen an ein neues Unterrichtskonzept	38
2.2 Zielgruppe, Inhalte, curriculare Passung und Lernvoraussetzungen	40
2.3 Das IBE als Repräsentationsform	44
2.4 Begriffe und Konzepte	46
2.5 Fachliche Grenzen und Anschlussfähigkeit des Konzepts	55
2.6 Sachstruktur des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik	58
2.7 Zusammenfassung und Standortsbestimmung	65
3 Formative Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik	67
3.1 Die Methode der Akzeptanzbefragung	68
3.2 Stichprobe, Forschungsfragen und Ablauf der Erhebung	70
3.3 Kodierleitfäden	72
3.4 Ergebnisse	77

3.5	Diskussion der Ergebnisse und Implikationen	84
3.6	Zusammenfassung der formativen Evaluation und Ausblick	86
II	Vorbereitungen einer summativen Evaluation	87
4	Anlage und Vorbereitungen einer Studie zur summativen Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik	89
4.1	Forschungsfragen und Studiendesign	89
4.2	Erhebungsinstrumente zu affektiven und kognitiven Lernermerkmalen . . .	96
4.3	Erhebungsinstrument zum Begriffswissen Quantenoptik	98
4.4	Erhebung von Vorstellungen und konzeptuellem Wissen zu den Wesenszügen der Quantenphysik	104
5	Pilotstudie I: Lautes Denken	111
5.1	Das Laute Denken als Forschungsmethode	111
5.2	Stichprobe und methodisches Vorgehen	113
5.3	Kategoriensystem und Auswerteverfahren	114
5.4	Ergebnisse der „Laute Denken“-Erhebung	116
5.5	Diskussion der Ergebnisse und Einblicke in die Itemrevision	117
5.6	Zusammenfassung der Ergebnisse aus Pilotstudie I	122
6	Pilotstudie II	123
6.1	Ziele, Durchführung und Stichprobe	123
6.2	Ergebnisse der Itemanalyse	125
6.3	Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse	128
6.4	Validität	131
6.5	Zusammenfassung zu Objektivität, Reliabilität und Validität	144
6.6	Diskussion weiterer Ergebnisse	145
III	Summative Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik	149
7	Stichprobe und Methodik der Auswertung	151
7.1	Stichprobe	152
7.2	Statistische Methoden	154
8	Affektive und kognitive Lernermerkmale	169
8.1	Affektive Lernermerkmale	170
8.2	Kognitive Lernermerkmale	174
8.3	Zusammenfassung	175
9	Entwicklung des deklarativen Wissens zur Quantenoptik	177
9.1	Itemschwierigkeiten, Trennschärfe und interne Konsistenz	178
9.2	Prä-, Post- und Follow-Up-Testergebnisse: Lernzuwachs	179
9.3	Geschlechterspezifische Analyse des Lernzuwachses	181

9.4	Analyse nach Leistungsterzilen	183
9.5	Prädiktoren für das Posttestergebnis	184
9.6	Analyse der Antwortsicherheit	188
9.7	Inhaltsspezifische Analyse des Lernzuwachses	189
9.8	Zusammenfassung	192
10	Ergebnisse zur Förderung quantenphysikalischer Vorstellungen	193
10.1	Vorstellungen zur Wahrscheinlichkeitsdeutung	194
10.2	Vorstellungen zum Eigenschaftsbegriff	196
10.3	Gesamtindex in der Übersicht	199
10.4	Zusammenfassung	201
11	Konzeptverständnis und Vorstellungen Lernender zur Quantenphysik – Auswertung der leitfadengestützten Interviews	203
11.1	Vorstellungen zur Quantenwelt	204
11.2	Vorstellungen zum statistischen Verhalten	209
11.3	Vorstellungen zur Interferenzfähigkeit einzelner Quantenobjekte	214
11.4	Vorstellungen zu Photonen	217
11.5	Vorstellungen zur Eigenschaft Ort in der Quantenphysik	222
11.6	Verständnis zur Präparation von Quantenzuständen	228
11.7	Verständnis zur Antikorrelation am halbdurchlässigen Spiegel	230
11.8	Zusammenfassung	234
11.9	Vergleich der Ergebnisse mit Literatur zu Schülervorstellungen in der Quantenphysik	239
12	Triangulation zwischen den Erhebungsmethoden	245
12.1	Wissen, Verständnis und Vorstellungen zur Quantenphysik	246
12.2	Vorstellungen zur Eigenschaft Ort und zur Wahrscheinlichkeitsdeutung	248
12.3	Photonen	251
13	Ergebnisse der Befragung von Lehrkräften	253
13.1	Datenerhebung und Stichprobe	253
13.2	Didaktische Einschätzung des Unterrichtskonzepts	254
13.3	Unterrichtspraktische Beurteilung der bereitgestellten Lernhefte	256
13.4	Einsatz des Konzepts im zukünftigen Unterricht	256
IV	Reflexion, Diskussion & Ausblick	259
14	Reflexion und Diskussion	261
14.1	Limitationen der Studie: Kritische Betrachtungen und Anmerkungen	261
14.2	Diskussion	264
15	Ausblick	275
	Danksagung	279
	Literaturverzeichnis	299