

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Methodisches zu dieser Studie	3
1.2	Terminologische Abgrenzung von Begriff, Konzept und mentalem Modell	7
1.3	Konzeptentstehung als schichtweise semantische Anreicherung	9
2	Der Einstieg: Plancks und Einsteins Wege zur Quantisierung	13
2.1	Planck und die Energiequantisierung 1900	15
2.2	Einsteins Gedankenführung bis zum Aufsatz von 1905	22
2.3	Einstein und Planck: Ein Vergleich	27
2.4	Plancks zweite Quantentheorie 1909–13	30
2.5	Die Vielfalt der Begrifflichkeit <i>in statu nascendi</i>	32
2.6	Der langsame Aufstieg des Terminus ‚Photon‘	35
3	Zwölf Bedeutungsschichten von Lichtquanten	49
3.1	Teilchenmodelle des Lichtes	51
3.2	Ausbreitung mit endlicher, aber sehr hoher Geschwindigkeit sowie Gleichheit der Lichtgeschwindigkeit für alle Farben	57
3.3	Emission und Absorption von Licht durch Materie	61
3.4	Strahlungsdruck von Licht auf Materie	65
3.5	Energietransport durch Licht	68
3.6	Energie-Frequenz-Proportionalität im Photoeffekt	72

3.7	Strenge Energiequantisierung: $E = h\nu$	80
3.8	Welle-Teilchen-Dualismus: Erste Andeutung und Vertiefungen	82
3.9	Spontane und induzierte Emission: 1916–17	88
3.10	Lichtquanten tragen Eigendrehimpuls (Spin)	95
3.11	Ununterscheidbarkeit der Lichtquanten – der Ursprung der Bose-Einstein-Statistik	102
3.12	Photonen als virtuelle Austauschteilchen der QED	107
4	Verschiedene mentale Modelle früher Akteure (bis 1926)	117
4.1	Newtons Vorstellungen zu „ <i>globuli of light</i> “	117
4.2	Einsteins mentales Modell von Lichtquanten 1909	121
4.3	Einsteins eigene Zweifel am Konzept der Lichtquanten 1910–1915	125
4.4	Johannes Starks mentales Modell von Lichtquanten	128
4.5	J.J. Thomsons mentales Modell harter Röntgenstrahlung	136
4.6	W.H. Braggs Paar-Teilchen-Modell von γ -Strahlung	139
4.7	Energiepakete bei Planck, Debye und Sommerfeld	143
4.8	Edgar Meyer und Walther Gerlach über Verzögerungszeiten	147
4.9	Debye, v. Laue und Schrödinger über Wellenpakete	150
4.10	G. N. Lewis' mentales Modell von Photonen 1926	154
5	Frühe Rezeption des Konzepts von Lichtquanten	157
5.1	Anfängliche Skepsis	157
5.2	Der Compton-Effekt als Wegscheide 1922/23	159
5.3	Die BKS-Theorie 1924 und Experimente von Bothe & Geiger zu deren Widerlegung	163
5.4	Führungsfelder bei De Broglie, Slater und Born 1924–27	169
5.5	Diracs Quantisierung des Strahlungsfeldes 1927	177
5.6	Semiklassische Theorien	184
5.7	Ernst Blochs <i>Materialismusproblem</i> 1936/37	192
6	Der Reflex dieser Entwicklungen	195
6.1	... in Lehrbüchern und im naturwissenschaftlichen Unterricht	195
6.2	... in den <i>Feynman Lectures on Physics</i>	202
7	Alternative Theorien der Begriffsentwicklung	209
7.1	Begriffsgeschichte als Ergebnis denkgeschichtlicher Entwicklung (Fleck)	210
7.2	Metamorphose oder Entfaltung von Begriffen	215

7.3	Arianna Borrelli Materialität von Konzepten	222
7.4	„Lichtquantum“ als ‚ <i>conceptual blending</i> ‘	227
7.5	Historische Ontologie und angewandte Metaphysik	231
7.6	Biographie wissenschaftlicher Objekte (Daston und Arabatzis)	236
7.7	Mentale Modelle als Erklärungsansatz	242
8	Experimente zur Quantenmechanik des Photons seit 1945	249
8.1	„Photonenklumpen“: Hanbury Brown und Twiss (HBT) 1955–57	250
8.2	Einzelne Photonen und halbdurchlässiger Spiegel: Campbell 1909, Clauser 1973 und Grangier, Aspect & Roger 1986	255
8.3	Ein-Photon-Interferenzexperimente: Von Taylor 1909 bis Grangier, Aspect & Roger 1986	257
8.4	Verschränkte Photonen: Alain Aspect u. a. 1980 ff.	260
8.5	Wheeler's <i>delayed choice</i> : Welchen Weg nehmen Photonen?	266
8.6	Photon-Bunching und Hong-Ou-Mandel-Dip 1987	270
8.7	Photonen-Antibunching in der Resonanzfluoreszenz	274
8.8	Photon-Erzeugung und -Vernichtung in einer Kavität	276
8.9	Quantenverschränkung und Quantenteleportation	279
8.10	Hochenergetische Photon-Photon-Streuung	281
9	Wie muss unser heutiges mentales Modell des Photons aussehen?	285
9.1	Welle, Teilchen oder Feld?	286
9.2	Kein naiver Realismus – Instrumentalistische Interpretation	291
9.3	‚Reale‘ vs. ‚virtuelle‘ Photonen	294
9.4	Vermeidung unberechtigter Lokalitäts-Zuschreibungen	298
9.5	Abschiednahme von der Individuierbarkeit	301
9.6	Das Photon: „ <i>mysterious quantum Cheshire cat</i> “ oder „ <i>elusive beast</i> “?	306
10	Zusammenfassung/Abstract	319
	Bibliographie	319
	Literatur	323
	Namens- und Stichwortverzeichnis	381