

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Einleitung</b>                                                          | <b>1</b>  |
| <b>TEIL I</b>                                                              | <b>3</b>  |
| <b>1 Quantenphysik in der Schule</b>                                       | <b>3</b>  |
| 1.1 Zur gegenwärtigen Schulsituation                                       | 3         |
| 1.2 Modelle im Optikunterricht                                             | 6         |
| 1.3 Atommodelle im Chemie- und Physikunterricht                            | 6         |
| <b>2 Schülervorstellungen</b>                                              | <b>9</b>  |
| 2.1 Der Einfluß des Physik- und Chemieunterrichtes der Mittelstufe         | 9         |
| 2.2 Schülervorstellungen zu Beginn der Oberstufe                           | 11        |
| 2.2.1 Vorstellungen vom Licht in der Sek. II                               | 11        |
| 2.2.2 Vorstellungen von Materie                                            | 12        |
| 2.2.3 Vorstellungen zu wissenschaftstheoretischen Aspekten                 | 13        |
| 2.3 Einfluß des Unterrichtes in Quantenphysik auf die Schülervorstellungen | 14        |
| 2.3.1 Veränderung der Schülervorstellungen                                 | 14        |
| 2.3.2 Stabilität klassischer Vorstellungen                                 | 15        |
| 2.4 Zusammenfassung Schülervorstellungen                                   | 16        |
| <b>3 Unterrichtskonzepte als Ergebnis fachdidaktischer Forschung</b>       | <b>18</b> |
| 3.1 Curricula zur Quantenphysik                                            | 18        |
| 3.1.1 Das Elektronium im Karlsruher Physikkurs                             | 18        |
| 3.1.2 Der Berliner Quantenphysikkurs                                       | 20        |
| 3.1.3 Das Fundamentalprinzip von BRACHNER und FICHTNER                     | 21        |
| 3.1.4 Eine Quantenwelt ohne Dualismus nach BADER                           | 22        |
| 3.1.5 Ein anschauliches Quantenmodell aus Bremen                           | 23        |
| 3.1.6 Eine Einführung in die Quantentheorie nach WIESNER                   | 23        |
| 3.1.7 Abschließende Bewertung der Curricula zur Quantenphysik              | 24        |
| 3.2 Das Lichtwegcurriculum                                                 | 25        |
| 3.2.1 Das Lichtwegkonzept                                                  | 26        |
| 3.2.2 Inhalte des Curriculums                                              | 27        |
| 3.2.2.1 Vom Sehen zur Optik                                                | 27        |
| 3.2.2.2 Geometrische Optik mit dem Fermat-Prinzip                          | 28        |
| 3.2.2.3 Weiterführende Optik mit dem Zeigermodell                          | 30        |
| <b>4 Kriterien zur Curriculumsentwicklung</b>                              | <b>31</b> |
| 4.1 Leitlinien für einen Unterricht zur Quantenphysik                      | 32        |
| 4.2 Erläuterung und Diskussion der Leitlinien                              | 34        |
| 4.2.1 Die Anschlußfähigkeit der Unterrichtsinhalte                         | 34        |
| 4.2.2 Der Aspekt der Modellbildung                                         | 35        |
| 4.2.3 Kann Quantenphysik anschaulich sein?                                 | 37        |
| 4.2.4 Tragfähigkeit, Abstraktion und Anschaulichkeit von Atommodellen      | 38        |
| 4.2.5 Die Sprache in der Quantenphysik                                     | 40        |
| 4.2.6 Die Deutungsdebatte der Quantentheorie                               | 42        |
| 4.2.7 Das mathematische Niveau                                             | 43        |

|            |                                                                                          |            |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5</b>   | <b>Vom Licht zum Atom: Didaktische Elementarisierung</b>                                 | <b>45</b>  |
| <b>5.1</b> | <b>Bemerkungen zu Tragfähigkeit und Abstraktheit der Modelle des Lichtwegcurriculums</b> | <b>45</b>  |
| <b>5.2</b> | <b>Zentrale Begriffe in der Quantenphysik</b>                                            | <b>47</b>  |
| 5.2.1      | Wahrscheinlichkeitsamplituden und Schrödingergleichung                                   | 47         |
| 5.2.2      | Begriffe im Lichtwegcurriculum                                                           | 50         |
| 5.2.3      | Das Medium Elektronium                                                                   | 50         |
| 5.2.4      | Lichtwege und Raummaße                                                                   | 51         |
| <b>5.3</b> | <b>Die Funktion der im Curriculum verwendeten Modelle</b>                                | <b>52</b>  |
| 5.3.1      | Das Zeigermodell                                                                         | 52         |
| 5.3.1.1    | Der Zeigerformalismus                                                                    | 53         |
| 5.3.1.2    | Die Beschreibung von Elektronium im Zeigermodell                                         | 58         |
| 5.3.1.3    | Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Licht und Elektronium                               | 62         |
| 5.3.1.4    | Das quantenmechanische Fundamentalprinzip                                                | 63         |
| 5.3.2      | Das Å-Rohr                                                                               | 67         |
| 5.3.3      | Ein Orbitalmodell mit Zeigern                                                            | 73         |
| 5.3.3.1    | Die Grenze des Zeiger-Orbitalmodells                                                     | 76         |
| 5.3.4      | Das Wasserstoffatom                                                                      | 82         |
| <b>5.4</b> | <b>Die Gliederung des Curriculums als Ergebnis der didaktischen Elementarisierung</b>    | <b>86</b>  |
| 5.4.1      | Interferenzoptik mit Zeigern                                                             | 88         |
| 5.4.2      | Quantenphysik mit Zeigern                                                                | 88         |
| 5.4.2.1    | Quantenoptik                                                                             | 88         |
| 5.4.2.2    | Atomphysik                                                                               | 89         |
| <b>6</b>   | <b>Erprobung</b>                                                                         | <b>91</b>  |
| <b>6.1</b> | <b>Ziele der Untersuchung</b>                                                            | <b>91</b>  |
| 6.1.1      | Erlernbarkeit der Unterrichtsinhalte                                                     | 92         |
| 6.1.2      | Erhebung von Schülervorstellungen und ihrer Veränderung                                  | 92         |
| 6.1.3      | Aufdecken von Verständnis- oder Lernschwierigkeiten                                      | 93         |
| 6.1.4      | Akzeptanz der Unterrichtseinheiten seitens der Schülerinnen und Schüler                  | 93         |
| <b>6.2</b> | <b>Probandengruppe</b>                                                                   | <b>93</b>  |
| <b>6.3</b> | <b>Untersuchungsmethoden</b>                                                             | <b>94</b>  |
| 6.3.1      | Konventionelle Lernkontrollen                                                            | 94         |
| 6.3.2      | Fragebogen                                                                               | 95         |
| 6.3.3      | Concept Mapping                                                                          | 95         |
| <b>6.4</b> | <b>Ergebnisse</b>                                                                        | <b>97</b>  |
| 6.4.1      | Erreichen der Lernziele                                                                  | 98         |
| 6.4.2      | Schülervorstellungen                                                                     | 100        |
| 6.4.3      | Anpassung der Unterrichtseinheiten                                                       | 105        |
| 6.4.4      | Akzeptanz der Unterrichtseinheiten                                                       | 105        |
| <b>6.5</b> | <b>Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse</b>                                       | <b>107</b> |

|                                                                                           |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>TEIL II</b>                                                                            | <b>109</b> |
| <b>7 Lehrerhandreichung</b>                                                               | <b>109</b> |
| <b>7.1 Vorbemerkung</b>                                                                   | <b>109</b> |
| <b>7.2 Methodik</b>                                                                       | <b>111</b> |
| <b>7.3 Unterrichtspläne</b>                                                               | <b>112</b> |
| 7.3.1 Unterrichtseinheit: Einführung in die Optik mit Lichtwegen                          | 112        |
| 7.3.1.1 Die Spiegelwelt                                                                   |            |
| Das Reflexionsgesetz                                                                      | 112        |
| 7.3.1.2 Brechung und Fermat-Prinzip                                                       |            |
| Grenzen der geometrischen Optik am Beispiel der partiellen Reflexion                      | 117        |
| 7.3.2 Unterrichtseinheit: Interferenzoptik mit Zeigern                                    | 122        |
| 7.3.2.1 Partielle Reflexion                                                               |            |
| Einführung des Zeigerformalismus                                                          | 122        |
| 7.3.2.2 Der Poissonsche Fleck                                                             |            |
| Das Michelson-Interferometer - Bestimmung der Basislänge $\lambda$                        | 128        |
| 7.3.2.3 Berechnung der Lichtintensitäten bei der partiellen Reflexion an einer Glasplatte | 131        |
| 7.3.2.4 Die Bragg-Reflexion                                                               | 136        |
| 7.3.2.5 Beugung am Doppelspalt                                                            |            |
| Beugung am Einzelspalt                                                                    | 139        |
| 7.3.2.6 Berechnung der Intensitätsverteilung des Beugungsbildes eines Einzelspalt         |            |
| Konstruktion eines Reflexionsgitters                                                      | 143        |
| 7.3.3 Unterrichtseinheit: Quantenphysik mit Zeigern                                       | 148        |
| 7.3.3.1 Das Taylor-Experiment                                                             |            |
| Das Photon                                                                                | 148        |
| 7.3.3.2 Der Photoeffekt                                                                   | 152        |
| 7.3.3.3 Impuls des Photons                                                                |            |
| Weg des Lichtes und Fundamentalprinzip der Interferenz                                    | 156        |
| 7.3.3.4 Elektronium                                                                       | 161        |
| 7.3.3.5 Einführung in Atommodelle                                                         | 166        |
| 7.3.3.6 Stehende Welle Das Å-Rohr                                                         | 168        |
| 7.3.3.7 Das Kugelmodell vom Atom                                                          |            |
| Die Energieniveaus der Atome                                                              | 172        |
| 7.3.3.8 Wechselwirkung von Licht und Materie                                              |            |
| Das Wasserstoffspektrum                                                                   | 176        |
| <b>7.4 Abschlußbemerkung</b>                                                              | <b>179</b> |
| <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>                                                       | <b>181</b> |
| <b>Literatur</b>                                                                          | <b>183</b> |
| <b>ANHANG A: Unterrichtsmaterialien</b>                                                   | <b>189</b> |
| <b>ANHANG B: Tests</b>                                                                    | <b>204</b> |
| <b>ANHANG C: Concept Maps der Schülerinnen und Schüler</b>                                | <b>209</b> |