

# INHALTSVERZEICHNIS

|  |    |
|--|----|
| <b>EINLEITUNG</b> .....  | 13 |
| <b>THEORETISCHER TEIL</b> .....  | 17 |
| <b>1 Zum Begriff kumulativen Lernens</b> .....   | 17 |
| 1.1 Grundlegende Ansätze kumulativen Lehrens und Lernens .....   | 19 |
| 1.2 Der aktuelle Begriff kumulativen Lehrens und Lernens .....   | 21 |
| 1.2.1 Merkmal des Aufbaus einer gut organisierten Wissensbasis .....                                       | 22 |
| 1.2.2 Merkmal der Anschlussfähigkeit für nachfolgendes Lernen .....  | 23 |
| 1.2.3 Merkmal des Erfahrens von Kompetenzzuwachs .....   | 24 |
| 1.3 Instruktionsmaßnahmen zur Förderung kumulativen Lernens .....  | 24 |
| 1.4 Bewertung kumulativen Lernens im fachdidaktischen Kontext .....  | 25 |
| 1.5 Erste Konsequenzen für eine Untersuchung kumulativen Lernens ..  | 27 |
| <b>2 Psychologische Grundlagen kumulativen Lernens</b> .....   | 29 |
| 2.1 Kumulatives Lernen und Organisation der Wissensbasis .....   | 29 |
| 2.1.1 Grundannahmen .....  | 29 |
| 2.1.2 Erwerb strukturellen Wissens durch die Lernenden .....   | 31 |
| 2.1.3 Unterschiede zwischen Wissensstrukturen von Experten und Novizen .....                               | 34 |
| 2.1.4 Wissensstruktur und Lernumgebung .....   | 37 |
| 2.1.5 Zusammenfassung .....  | 39 |
| 2.2 Anschlussfähigkeit des Wissens und vertikale Vernetzung von<br>Inhalten .....                          | 40 |
| 2.2.1 Bereichsspezifität von Lernfortschritten .....   | 40 |
| 2.2.2 Zusammenfassung .....  | 42 |
| 2.3 Kumulatives Lernen, Lernmotivation und Kompetenzerfahrung .....  | 43 |
| 2.3.1 Kompetenzerfahrung und Motivation .....  | 43 |
| 2.3.2 Interesse .....  | 46 |
| 2.3.3 Selbstkonzept .....  | 48 |
| 2.3.4 Zusammenfassung .....  | 49 |
| <b>3 Zur Gestaltung und Untersuchung von Curricula unter dem<br/>Blickwinkel kumulativen Lernens</b> ..... | 51 |
| 3.1 Vorüberlegungen .....  | 51 |
| 3.2 Aktuelle Sequenzierungsvorschläge für den mathematisch-natur-<br>wissenschaftlichen Unterricht .....   | 53 |
| 3.2.1 Zentrale Konzepte für den Biologieunterricht (Harms & Bündler 1999) .....                            | 53 |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 3.2.2    | Begriffsorientierte Sequenzierung im Biologieunterricht (Graf & Berck 1998)                     | 54         |
| 3.2.3    | An Leitfragen orientierte Curricula für den Chemieunterricht (Harms & Bünder 1999)              | 55         |
| 3.2.4    | Erfahren von Kompetenzzuwachs im Mathematikunterricht (Hertrampf 1999)                          | 56         |
| 3.2.5    | Thematische Zusammenhänge im Mathematikunterricht (Vollrath)                                    | 57         |
| 3.2.6    | Zusammenfassung   | 58         |
| 3.3      | Zur empirischen Untersuchung von Strukturierungsansätzen  | 61         |
| <b>4</b> | <b>Kumulatives Lernen und Lichtwegkonzept</b>   | <b>67</b>  |
| 4.1      | Inhalte des Lichtwegkonzepts  | 68         |
| 4.1.1    | Anfangsunterricht zur Optik   | 68         |
| 4.1.2    | Geometrische Optik auf der Grundlage des Fermat-Prinzips  | 69         |
| 4.1.3    | Weiterführende Optik auf der Grundlage des Zeigerformalismus                                    | 72         |
| 4.2      | Zu den „Leitziele“ des Lichtwegkonzepts   | 74         |
| 4.2.1    | Zum Leitziel 1: Bedeutung des Verstehens  | 75         |
| 4.2.2    | Zum Leitziel 2: Beobachtung als Ausgangspunkt   | 76         |
| 4.2.3    | Zum Leitziel 3: Tragfähigkeit der Inhalte   | 77         |
| 4.2.4    | Zusammenfassung   | 77         |
| 4.3      | Die Sachstruktur der geometrischen Optik auf der Grundlage des Fermat-Prinzips                  | 78         |
| 4.3.1    | Der Begriff der optischen Weglänge  | 78         |
| 4.3.2    | Die allgemeine Formulierung des Fermat-Prinzips   | 79         |
| 4.3.3    | Die geradlinige Ausbreitung im homogenen Medium   | 80         |
| 4.3.4    | Die Umkehrbarkeit des Lichtwegs   | 80         |
| 4.3.5    | Brechungs- und Reflexionsgesetz   | 81         |
| 4.3.6    | Die Eikonalgleichung  | 84         |
| 4.3.7    | Fermat-Prinzip und optische Abbildung   | 88         |
| 4.3.8    | Zusammenfassung   | 95         |
| 4.4      | Strukturierung des Unterrichts zur geometrischen Optik auf der Grundlage des Fermat-Prinzips    | 95         |
| 4.4.1    | Grundüberlegungen   | 96         |
| 4.4.2    | Unterrichtsansätze auf der Grundlage des Fermat-Prinzips  | 97         |
| 4.4.3    | Die Struktur des Lichtwegkonzepts   | 98         |
| 4.4.4    | Zusammenfassung   | 101        |
| 4.5      | Befunde zur vertikalen Vernetzung der geometrischen Optik auf der Grundlage des Fermat-Prinzips | 102        |
| 4.5.1    | Bisherige Erprobungen des Unterrichts   | 102        |
| 4.5.2    | Die inhaltliche Struktur von Schulbuchtexten zur geometrischen Optik                            | 104        |
| 4.5.3    | Zusammenfassung   | 106        |
| <b>5</b> | <b>Ziele, Fragestellung und Hypothesen der Untersuchung</b>                                     | <b>109</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>EMPIRISCHER TEIL: METHODEN</b> .....   | <b>113</b> |
| <b>6 Versuchsplan</b> .....   | <b>113</b> |
| 6.1 Untersuchungsdesign.....  | 113        |
| 6.2 Lerngruppen .....   | 115        |
| 6.3 Ablauf der Untersuchung .....   | 116        |
| 6.4 Einordnung der Untersuchung.....  | 119        |
| <b>7 Concept Mapping</b> .....  | <b>123</b> |
| 7.1 Zur Testgüte des Concept Mapping .....  | 123        |
| 7.1.1 Vergleich mit anderen Untersuchungsmethoden .....   | 123        |
| 7.1.2 Messung von Unterrichtseffekten und Gruppenunterschieden.....                                 | 124        |
| 7.2 Gestaltung und Durchführung der Concept-Mapping-Aufgaben. ..                                    | 126        |
| 7.2.1 Das Concept-Mapping-Verfahren zu den Messzeitpunkten 1 bis 3 .....                            | 127        |
| 7.2.2 Der Anknüpfungstest zum Messzeitpunkt 4 .....   | 129        |
| 7.2.3 Auswahl der Begriffe in beiden Concept-Mapping-Verfahren.....                                 | 129        |
| 7.3 Auswertung der Concept Maps .....   | 131        |
| 7.3.1 Kategorisierung der Relationen .....  | 134        |
| 7.3.2 Modalnetzkonstruktion .....   | 137        |
| 7.3.3 Inhaltliche Auswertung.....   | 142        |
| 7.3.4 Graphentheoretische Auswertung.....   | 145        |
| 7.3.5 Bestimmung von Ähnlichkeiten und Distanzen.....   | 149        |
| 7.3.6 Auswertung des Anknüpfungstests.....  | 152        |
| <b>8 Befragung mithilfe von Fragebögen</b> .....  | <b>153</b> |
| 8.1 Items zum Interesse und Selbstkonzept .....   | 154        |
| 8.1.1 Interesse .....   | 154        |
| 8.1.2 Selbstkonzept .....   | 157        |
| 8.2 Vorkenntnisse .....   | 158        |
| 8.3 Auf den Unterrichtsgang bezogene Fragen.....  | 160        |
| 8.3.1 Die Verwendung von Begriffen zur Beschreibung des Lichts bzw. optischer<br>Erscheinungen..... | 160        |
| 8.3.2 Verwendung tragfähiger bzw. abstrakter Lerninhalte.....                                       | 161        |
| 8.3.3 Die Wahrnehmung von Zusammenhängen.....   | 164        |
| <b>9 Videobeobachtung</b> .....   | <b>165</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>EMPIRISCHER TEIL: ERGEBNISSE</b> .....  | <b>169</b> |
| <b>10 Einführung</b> .....   | <b>169</b> |
| <b>11 Zur Umsetzung von Intentionen des Lichtwegkonzepts</b> .....   | <b>173</b> |
| 11.1 Die Verwendung von Begriffen zur Beschreibung des Lichts .....  | 173        |
| 11.2 Verwendung abstrakter bzw. tragfähiger Formulierungen des Fermat-Prinzips .....   | 177        |
| 11.3 Wahrnehmung von Zusammenhängen.....   | 184        |
| 11.4 Zusammenfassung: Umsetzung von Intentionen des Lichtwegkonzepts.....  | 185        |
| <b>12 Güte der in den Concept Maps repräsentierten Wissensbasis</b> .....  | <b>189</b> |
| 12.1 Strukturqualität der Concept Maps.....  | 191        |
| 12.2 Inhaltliche Güte der Concept Maps: Ähnlichkeit zum Experten-Referenznetz .....  | 200        |
| 12.3 Inhaltliche Güte der Concept Maps: Richtigkeit der Relationen ....  | 204        |
| 12.4 Zusammenhänge zwischen dem Erreichen von Intentionen des Lichtwegkonzepts und der Güte der in den Concept Maps repräsentierten Wissensbasis ..... | 207        |
| 12.5 Zusammenfassung: Güte der Wissensbasis.....   | 211        |
| <b>13 Prüfung des Mitnahmeeffekts</b> .....  | <b>215</b> |
| 13.1 Ergebnisse des Anknüpfungstests .....   | 215        |
| 13.1.1 Auswertung des Anknüpfungstests.....  | 215        |
| 13.1.2 Ein Beispiel zur Anknüpfung der neu eingeführten Begriffe in die Begriffsnetzstruktur vom Zeitpunkt 3.....                                      | 219        |
| 13.2 Ergebnisse der Videobeobachtung .....   | 222        |
| 13.3 Zusammenhänge zwischen dem Erreichen von Intentionen des Lichtwegkonzepts und dem Mitnahmeeffekt.....   | 225        |
| 13.4 Zusammenfassung: Mitnahmeeffekt .....   | 226        |
| <b>14 Interesse und Selbstkonzept</b> .....  | <b>229</b> |
| 14.1 Eingangsvoraussetzungen in der Untersuchungs- und der Kontrollgruppe .....  | 229        |
| 14.2 Ergebnisse der Untersuchung über das Interesse .....  | 230        |
| 14.2.1 Varianzanalytische Auswertung .....   | 233        |
| 14.2.2 Einflüsse der Anfangsunterschiede auf nachfolgende Veränderungen.....   | 235        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 14.3      | Ergebnisse der Untersuchung über das Selbstkonzept.....               | 236        |
| 14.3.1    | Varianzanalytische Auswertung .....                                   | 236        |
| 14.3.2    | Einflüsse der Anfangsunterschiede auf nachfolgende Veränderungen..... | 240        |
| 14.4      | Korrelationen zwischen Interesse und Selbstkonzept .....              | 241        |
| 14.5      | Zusammenfassung: Interesse und Selbstkonzept .....                    | 244        |
| <b>15</b> | <b>Diskussion der Ergebnisse und Folgerungen.....</b>                 | <b>247</b> |
| 15.1      | Vertikal vernetzter Unterricht nach dem Lichtwegkonzept .....         | 247        |
| 15.1.1    | Vertikale Vernetzung und inhaltliche Gestaltung .....                 | 247        |
| 15.1.2    | Die Rolle abstrakter Lerninhalte .....                                | 248        |
| 15.1.3    | Die Vermittlung physikalischer Zusammenhänge.....                     | 250        |
| 15.1.4    | Zusammenhänge zwischen inhaltlicher Gestaltung und kumulativem Lernen | 250        |
| 15.2      | Lernen im schulüblichen und im vertikal vernetzten Unterricht ....    | 252        |
| 15.2.1    | Interpretation der Ergebnisse zur Güte der Wissensbasis .....         | 252        |
| 15.2.2    | Interpretation der Ergebnisse zum „Mitnahmeeffekt“ .....              | 255        |
| 15.2.3    | Interpretation der Ergebnisse zum Interesse und Selbstkonzept.....    | 256        |
| 15.3      | Folgerungen für den Schulunterricht.....                              | 259        |
| 15.3.1    | Folgerungen für den Optik-Unterricht nach dem Lichtwegkonzept.....    | 259        |
| 15.3.2    | Weitergehende Folgerungen für den Physikunterricht .....              | 262        |
|           | <b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>  | <b>269</b> |
|           | <b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>                                     | <b>281</b> |
|           | <b>VERZEICHNIS DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN .....</b>                  | <b>291</b> |
|           | <b>ANHANG.....</b>  | <b>293</b> |
|           | <b>Anhang 1 (zu den Unterrichtsgängen).....</b>                       | <b>295</b> |
|           | <b>Anhang 2 (zum Fragebogen).....</b>                                 | <b>369</b> |
|           | <b>Anhang 3 (zur Auswertung der Begriffsnetze) .....</b>              | <b>381</b> |
|           | <b>Anhang 4 (zur Videoauswertung) .....</b>                           | <b>385</b> |
|           | <b>Anhang 5 (Übersicht über die verwendeten Variablen) .....</b>      | <b>387</b> |