

„Grundlagen der Teilchenphysik“ (GdT) -
Die Erstellung und Erprobung eines hypermedialen
Lehr- und Lernprogramms auf HTML-Basis

Dissertation von German Hacker, September 2001

Unvollständige Auszugsversion:

Im Folgenden sind nur die Einleitung, die Zusammenfassung sowie das Literaturverzeichnis angefügt!

Bei Interesse kann die vollständige Dissertation angefordert werden:

Dr. German Hacker

E-Mail: german.hacker@physik.uni-erlangen.de

Tel.: 09131/8528363

Kapitel 1

Einführung

Problemstellung Mit diesem Projekt soll das *fachwissenschaftliche* Themengebiet Teilchenphysik unter *fachdidaktischen* Gesichtspunkten mit *moderner Multimediatechnik* als Lehr- und Lernprogramm für Schüler¹ aufbereitet werden. Von den Erfahrungen, die hierbei gesammelt werden, sollen ähnlich gelagerte Vorhaben aus dem Bereich Schule und Universität profitieren können. Überlegungen zu jedem der drei Bereiche Fachwissenschaft, Fachdidaktik² und moderne Multimediatechnik³ müssen jeweils unter Berücksichtigung der Interessen und Vorgaben der anderen beiden angestellt werden.

Dokumentation des Projekts und seiner Ergebnisse Die Dokumentation des Projekts besteht aus zwei Teilen. Zum einen aus der vorliegenden *schriftlichen* Arbeit und zum anderen aus dem Lehr- und Lernprogramm („Grundlagen der Teilchenphysik“, GdT), das auf einer CD-ROM dieser Arbeit beigelegt ist.

Im schriftlichen Teil wird das Projekt bezüglich seiner drei Eckpfeiler - Fachwissenschaft, Fachdidaktik und moderne Multimediatechnik - beschrieben und dokumentiert. Hierzu zählen folgende Einzelaspekte:

- Vorgaben und Vorüberlegungen zur Projektdurchführung und Gestaltung des Programms.
- Allgemeine Grundlagen von Multimedia, Hypertext und computerbasierenden Lehr- und Lernumgebungen.
- Technische Umsetzung des Programms unter Berücksichtigung der personellen, technischen, pädagogischen, psychologischen, physiologischen und fachdidaktischen Vorgaben und Erkenntnisse.
- Dokumentation aller Gestaltungsaspekte. Dies geschieht immer auch im Hinblick auf eine Zusammenfassung zentraler Aussagen zur Unterstützung von Folgeprojekten an Schule und Universität.

¹Neben Schülern gehören auch Studenten in Anfangssemestern und Lehrer zur erweiterten Zielgruppe. Vgl. ??, S. ??.

²Zur Fachdidaktik zählen hier - ohne im Text explizit genannt zu werden - auch pädagogische und psychologische Aspekte.

³Hierzu zählen auch Aspekte der menschengerechten Gestaltung von Software, die unter dem Begriff *Softwareergonomie* zusammengefasst werden. Auch hierzu zählen wieder psychologische, aber auch physiologische Überlegungen.

- Fachdidaktische Überlegungen zur Elementarisierung der Sachstruktur der Teilchenphysik.
- Evaluation des Lernprogramms. Wesentliche Merkmale der Programmgestaltung wurden von GdT-Nutzern beurteilt. Es erfolgt eine Aus- und Bewertung der Ergebnisse.

Die in jede einzelne elementarisierte Darstellung eingeflossenen fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Überlegungen können hier nicht alle schriftlich niedergelegt werden. Es wird daher beispielhaft an vier Teilbereichen gezeigt, unter welchen Vorgaben, in welcher Form und in welchem Umfang entsprechende Elementarisierungen durchgeführt wurden (vgl. ??, S. ??). Über die im Text eingefügten *Screenshots*⁴ werden die wichtigsten Merkmale entsprechender Programminhalte verdeutlicht und über angefügte Dateinamen auf die entsprechenden Programmseiten direkt verwiesen.

Das auf einer CD-ROM beigelegte Programm⁵ gibt einen Überblick über die aufgegriffenen Lerninhalte und deren Darstellung. Es untermauert ferner die Ausführungen im schriftlichen Teil der Dokumentation. Ein paralleles Betrachten von Programmseiten ist zum Verständnis der schriftlichen Ausführungen nicht notwendig⁶. Umgekehrt stellt auch diese Arbeit keine Gebrauchsanweisung des Programms dar. Um auch ohne die computergestützte Version zumindest einen einfachen Eindruck von der Seitengestaltung von GdT gewinnen zu können, wurden im Anhang (??, S. ??) fünf Ausschnitte aus Seiten von GdT farbig abgedruckt.

Das Projekt wurde durch drei Studenten unterstützt. Die von ihnen eingebrachten Leistungen⁷, z.B. erstellte Programmseiten, Programmierungen sowie Formatierungsarbeiten, werden detailliert im Anhang (S. ??) beschrieben.

Ausführlichere Projektbeschreibung Die Verwendung der Hypertextsprache HTML⁸ hat sich durch die fortschreitende Entwicklung der Internetbrowser⁹ und entsprechender Editierprogramme sehr vereinfacht. HTML bietet neben der Erstellung reiner Hypertexte auch die Möglichkeit der Einbindung von Multimedia-Komponenten, speziell von Programmen in Javascript und Java. Diese Eigenschaften machen HTML zu einer leistungsfähigen Basis hypermedialer¹⁰ Lehr- und Lernprogramme.

Es wurde ein Lehr- und Lernprogramm auf HTML-Basis entwickelt, das die Grundlagen der Teilchenphysik hypermedial darstellt. Das Programm richtet sich primär an physikinteressierte Schüler der Oberstufe, aber auch an Physikstudenten in Anfangssemestern und an Physiklehrer. Es werden Themen der Teilchenphysik behandelt, die fachlich und fachdidaktisch über populärwissenschaftliche Darstellungen oder solche in Schulbüchern hinausgehen.

⁴Screenshots sind Bilder von der grafischen Oberfläche des Programms, die ein Nutzer am Bildschirm sieht.

⁵Alle Ausführungen der Dissertation beziehen sich auf diese Version von GdT.

⁶Die Online-Version des Lernprogramms GdT findet man im Internet unter der URL:
<http://www.grundlagen-der-teilchenphysik.de>.

⁷Keine aktive Tätigkeit am Programm selbst, aber dennoch sehr wichtige Unterstützung erfuhr das Projekt durch Fachwissenschaftler, die in zahlreichen Gesprächen bei der Umsetzung fachlicher Inhalte in eine elementarisierte Form halfen.

⁸HyperText Markup Language; siehe ??, S. ?? zur Definition der Begriffe Hypertext und Hypermedia.

⁹Unter einem Internetbrowser (kurz: Browser) versteht man die Software, mit der HTML-Seiten betrachtet werden. Die beiden verbreitetsten Browser sind der Microsoft Internet Explorer und der Netscape Navigator. Auf der CD-ROM mit GdT ist stets auch die aktuelle Version des Netscape Navigators enthalten. Die besonderen Eigenschaften des Browsers und seine Nutzung in Bezug auf ein Lernprogramm werden unter ??, S. ?? beschrieben.

¹⁰Als hypermedial werden solche Programme bezeichnet, die sowohl den Einsatz von *Hypertext* als auch von *Multimedia*-Komponenten zulassen (vgl. ??, S. ??).

Aus diesem Grund findet - trotz vieler Möglichkeiten, Multimedia-Komponenten einzusetzen - die Wissensvermittlung zu einem großen Teil über (Hyper-)Text statt. Eine zentrale Aufgabe der Arbeit war es in diesem Zusammenhang, zu untersuchen, inwiefern auch fachlich anspruchsvolle teilchenphysikalische Zusammenhänge soweit *elementarisiert* werden können, dass sie von Schülern der Oberstufe zu verstehen sind.

An vielen Stellen des Programms sind tiefer- oder weitergehende Darstellungen der behandelten teilchenphysikalischen Themen auf Grund schwieriger Rechnungen oder zu langer Textpassagen dem „Multi-Medium“ Computer nicht mehr angemessen; es wird dort auf entsprechende Fachliteratur¹¹ verwiesen.

Pflege des Programms Neben der Herstellung ist die Pflege, Überarbeitung und Erweiterung der erstellten Abschnitte des Lernprogramms ein Teil des Projekts. Im Programm werden unter anderem auch aktuelle Inhalte dargestellt. Da alle Inhalte in digitaler Form vorliegen, sind sie - technisch betrachtet - einfach zu überarbeiten. Von einem Lernprogramm, das zudem noch in der weit verbreiteten „Sprache des Internets“ HTML erstellt ist, werden daher weit mehr Aktualisierungen und Erweiterungen erwartet, als dies z.B. bei einem Buch der Fall ist. Während bei Büchern die Aktualität zwar teilweise gefordert, aber das Fehlen weniger kritisch betrachtet wird, ist entsprechende Software „zur Aktualität gezwungen“. HTML hat hier gegenüber anderen Systemen einen *entscheidenden* Vorteil. Die Browser, d.h. die Programme, mit denen Nutzer die HTML-Seiten der Lehr- und Lernumgebungen betrachten, werden durch die fortschreitende Entwicklung des Internets ständig überarbeitet und (zurzeit etwa alle zwei Jahre) durch neue Versionen ersetzt. Es zeigt sich, dass die jeweils neuesten Browserversionen dennoch zur Betrachtung von GdT benutzt werden können, ohne dass etwas an der eigentlichen Datenbasis verändert werden muss. Ein wesentlicher Teil zur Bedienung des Programms bleibt daher immer auf dem modernsten Stand und veraltet nicht wie es zahlreiche andere Programme tun. Funktionen, die neu hinzukommen und möglicherweise die Bedienung des Programms oder die Übersicht über die Programmstruktur erleichtern, können daher sofort uneingeschränkt genutzt werden.

Forderungen von Nutzern, die während der Produktion und Evaluation von GdT gestellt wurden, betrafen vor allem die Sprache (z.B. wäre eine *englische* Version wünschenswert!) und die Fähigkeit, das Programm auch unter dem Betriebssystem *Linux* lauffähig zu machen. Letzterem Wunsch konnte entsprochen werden, eine Übersetzung des Programms ins Englische steht noch aus.

Bei allen technischen Aspekten des Programms muss der Umstand betrachtet werden, dass parallel zur Entwicklung von GdT ab November 1997, natürlich auch die Entwicklung der verwendeten Hard- und Software vorangeschritten ist. Nicht allen technischen Möglichkeiten konnte und *musste* nachgegangen werden¹². Während des Projekts standen sich ständig die begrenzte Arbeitskraft und -zeit und die den schnellen Veränderungen unterworfenen technischen Möglichkeiten im Bereich Internet gegenüber. Es musste ein praktikabler Mittelweg zwischen diesen Randbedingungen gefunden werden.

¹¹Das gesamte Literaturverzeichnis in dieser Dissertation wurde zweigeteilt (vgl. S. 8). Von [1] bis [53] findet man Literatur aus dem Bereich der Fachwissenschaft Physik, die auch zur Erstellung von GdT verwendet wurde. Von [54] bis [124] findet man Literatur aus den Bereichen Schule, Fachdidaktik, Psychologie, Pädagogik, Multimedia und sonstigen Rubriken.

¹²Es sei hierzu angemerkt, dass sich alle Darstellungen, alle Texte und alle anderen hypermedialen Merkmale des Programms auf den soft- und hardwaretechnischen Standard von 1998 beziehen. Vgl. hierzu weitere Ausführungen zu den technischen Rahmenbedingungen unter ??, S. ??.

Verbreitung des Programms und Erfahrungsaustausch Das Bedürfnis nach einem Programm wie GdT zeigt sich in vielerlei Hinsicht. So wurde das Programm in Form von CD-ROMs an ca. 2000 Interessenten weitergegeben¹³. Die Zahl der Online-Zugriffe auf die Internet-Version betrug im Jahr 2000 ca. 40 pro Tag. Sowohl die Erwähnung der Internet-Adresse im Verbandsorgan der DPG „Physikalische Blätter“, in der Zeitschrift „Der Spiegel“ und die jüngste Anfrage eines Verlags bezüglich einer kommerziellen Vermarktung des Programms deuten auf großes Interesse hin.

Auch die durchwegs positiven Rückmeldungen von Nutzern, die mittels Fragebögen zu GdT gesammelt wurden, zeigen, dass mit dem Programm offenbar der „richtige Ton“ getroffen wurde. Trotz oder gerade weil GdT auf großes Interesse gestoßen ist und stößt, ist es wichtig, das Programm auch in Zukunft zu pflegen und möglicherweise noch um weitere Themen zu erweitern.

An zahlreichen Lehrstühlen verschiedener Fakultäten der Universität Erlangen-Nürnberg werden mittlerweile ähnlich gelagerte Projekte durchgeführt¹⁴. Neben der Verbreitung von GdT selbst konnten auch bereits Erfahrungen, die bei der Erstellung gesammelt wurden, an Beteiligte solcher Projekte weitergegeben werden. Es ist festzustellen, dass sich das 1997 für GdT gewählte Konzept, Lernumgebungen auf der Basis von HTML, Javascript und Java zu schaffen, für die Bereiche Schule und Universität zum Standard entwickelt hat.

¹³Zusätzlich wurde GdT zusammen mit weiteren auf HTML basierenden Programmen auf einer Begleit-CD-ROM zu dem im Jahr 2000 erschienenen Buch „Linux in der Schule“ ([106]) von K. Sarnow in einer Auflage von 3000 Stück verbreitet.

¹⁴An der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg wurde 1998 das Forum *Neue Medien in der Lehre* kurz *Multimedia-Forum* aus Vertretern aller Fakultäten gegründet, das dem Erfahrungsaustausch und der Einführung neuer Medien in der Lehre dient. Bei Workshops zum Erfahrungsaustausch berichten zahlreiche Vertreter verschiedener Fakultäten über ihre Projekte, in denen neue Medien in der Lehre eingesetzt wurden und werden. Das Spektrum reicht hier von hypermedialer Lernsoftware bis hin zur multimedialen Aufbereitung digitaler Vorlesungsaufzeichnungen. Man betrachte hierzu im Internet: <http://www.mmforum.uni-erlangen.de> oder auch [120].

Kapitel 2

Zusammenfassung

Die Evaluation¹ von GdT zeigt, dass die in ihren wesentlichen Zügen vor fast vier Jahren gewählten Konzepte (didaktisches, inhaltliches und technisches Konzept²) des Lehr- und Lernprogramms zu einer für die Lernenden offenbar nützlichen Darstellung der Teilchenphysik geführt haben (vgl. z.B. Abb. ??, S. ??). Die Entscheidung, ein Lehr- und Lernprogramm zur Teilchenphysik auf der Basis von HTML in Verbindung mit der Programmiersprache Java und verschiedenen Multimedia-Komponenten zu erstellen, hat sich - nicht zuletzt auch durch die rasante Entwicklung des Internet - als Weg in die richtige Richtung erwiesen. Der in der Zeit der Entwicklung und Evaluation von GdT neu geprägte Begriff des *E-Learning*³ zeigt dies. Lernen wird sich in Zukunft nicht mehr nur auf klassische Lernorte wie Schule oder Universität beschränken, sondern das Internet wird als Informationsquelle und Kommunikationsplattform an Bedeutung noch deutlich hinzugewinnen. Lernen wird hierdurch *unabhängig von Ort und Zeit*. Mit GdT ist dies bereits heute möglich.

Im Folgenden werden Erfahrungen, die bei der Erstellung und Evaluation von GdT gemacht wurden, sowie Merkmale des Lehr- und Lernprogramms kurz beschrieben. Es wird dabei auf Abschnitte der vorangegangenen Kapitel verwiesen, in denen entsprechende ausführliche Erläuterungen zu finden sind.

Hypertext, Multimedia und Lernprogramme Die Möglichkeiten, die Hypertext in Bezug auf Darstellungen in Lehr- und Lernumgebungen bietet, wurden bei GdT mit der Hypertextsprache HTML konsequent und sachgerecht genutzt. Schneller und direkter Zugriff auf gewünschte Informationen oder die Realisierung von Navigationshilfen wie Übersichtsseiten und geführte Touren (*guided tours*) durch das Programm sind nur zwei aus einer Reihe von Beispielen. Multimediale Komponenten wurden - im Rahmen der personellen Möglichkeiten - unter fachdidaktischen Gesichtspunkten erstellt und gezielt in GdT eingesetzt. Merkmale multimedialer Lehr- und Lernprogramme (vgl. ??, S. ??) wie Interaktivität, vielfältige Möglichkeiten der Navigation, Multicodalität und Multimodalität finden sich auch in GdT wieder. Der Programmieraufwand, der nötig gewesen wäre, um GdT zu einer ausgeprägt adaptiven bzw. adaptivierbaren Lernumgebung zu machen, konnte mit den gegebenen Mitteln nicht ge-

¹Die Ergebnisse einer Umfrage zu GdT im Rahmen der Evaluation findet man unter ??, S. ??.

²Eine knappe, Übersicht gebende Beschreibung des didaktischen Konzepts findet man unter ??, S. ??ff. Die Inhalte der einzelnen Kapitel von GdT werden unter ??, S. ??ff kurz erläutert.

³Angebote im Bereich des *E-Learning* findet man z.B. unter: <http://www.studieren-im-netz.de> oder <http://www.bildungsserver.de>. Informationen über Angebote und aktuelle Projekte an der Universität Erlangen-Nürnberg findet man unter <http://www.mmforum.uni-erlangen.de>.

leistet werden. Adaptivität und Adaptivierbarkeit ist bei GdT daher nur eingeschränkt, aber aus Sicht des Entwicklers in ausreichendem Maß vorhanden (vgl. ??, S. ??f und ??, S. ??). Als Multimediakomponenten wurden vor allem Abbildungen, einfache GIF-Animationen, Simulationen (Java-Applets), Videoanimationen, Videosequenzen, interaktive Multiple-Choice-Fragen und sogenannte Online-Berechnungen eingesetzt (??, S. ??ff). Die Nutzer von GdT zeigen sich mit der Anzahl der Multimediakomponenten weitgehend zufrieden (vgl. Abb. ??, S. ??).

Elementarisierung Ein aus fachdidaktischer Sicht wesentlicher Teil der Erstellung von GdT war die *Elementarisierung* der Sachstruktur der Teilchenphysik, primär für Schüler der Oberstufe des Gymnasiums (vgl. ??, S. ??ff). Die Elementarisierungen mussten so vorgenommen werden, dass sie erweiterbar bzw. entwicklungsfähig, schülergerecht und fachlich relevant sind (vgl. ??, S. ??ff). Die Verwendung unterschiedlicher Möglichkeiten der Elementarisierung, wie z.B. der Rückgriff auf frühere historische Entwicklungsstufen oder die Analogie zwischen einem Basis- und Zielbereich, führte zu einer dem Vorwissen der Zielgruppe angemessenen und in diesem Rahmen fachlich anspruchsvollen Darstellung ausgewählter Themen der Teilchenphysik. Neben der Verwendung des Hypertextes hebt der Einsatz von Multimediakomponenten wie einfache Simulationen oder Videoanimationen die elementarisierten Darstellungen in GdT entscheidend von denen eines Lehrbuchs ab.

Die Zuordnung jeder Seite von GdT zu einem von drei Schwierigkeitsgraden (vgl. ??, S. ??) wurde von den Lernenden als besonders sinnvoll erachtet (vgl. Abb. ??, S. ??). So wurden z.B. über das Oberstufenniveau hinausgehende Inhalte auf diese Weise gekennzeichnet.

Unterrichtseinsatz von GdT Neben dem individuellen, selbstständigen Lernen mit GdT hat sich eine Form der inhaltlichen Auseinandersetzung aus Sicht des Lehrers und der Schüler als besonders reizvoll erwiesen: Der Einsatz von GdT vor und parallel zu einer Unterrichtssequenz zur Teilchenphysik in der Schule (vgl. ??, S. ?? und ??, S. ??ff). Dies hatte vor allem zwei Vorteile. Einerseits wirkte es auf die Schüler der Oberstufe des Gymnasiums, die an solchen Unterrichtssequenzen teilnahmen, motivierend, weil sie mit GdT (jeder Schüler bekam eine CD-ROM) die Möglichkeit der umfangreichen Auseinandersetzung mit dem gesamten Unterrichtsstoff in Verbindung mit einem Medium hatten, mit dem sie zum größten Teil offenbar gerne arbeiteten. Andererseits hatte die Verwendung von GdT auf einer CD-ROM im Unterricht für den Lehrer eine entlastende Funktion, da Seiten des Programms durch eine Projektion mit einem Videobeamer im Klassenzimmer verwendet und die Auswahl dieser Seiten in der Unterrichtsvorbereitung geplant und abgespeichert werden konnten.

In einer Erweiterung des Konzepts von GdT könnten zusätzliche interaktive Übungen erstellt werden, die Schüler im Anschluss an Unterrichtsstunden zu Hause, mit Unterstützung von GdT bearbeiten. Zu solchen Übungen könnte uneingeschränkt auch das Internet als Kommunikationsplattform genutzt werden, um sich z.B. in Gruppen - auch unter tutorieller Begleitung durch den Lehrer - auszutauschen.

Interesse an GdT Ein großes Anwendungsfeld von GdT hat sich wie erwartet in der Schule ergeben. Durch eine Information über den Kontaktbrief zur Physik des ISB⁴ an alle Baye-

⁴Staatsinstitut für Schulpädagogik und Bildungsforschung, Abteilung Gymnasium, Referat Physik, Juli 2000, München

rischen Gymnasien wurden alle Bayerischen Physiklehrer auf GdT aufmerksam gemacht⁵. Weiterhin führte auch die Verfügbarkeit von GdT im Internet⁶ dazu, dass zahlreiche Lehrer die CD-ROM für sich und ihre Kollegen zum Einsatz im Unterricht bestellten. Der ausdrückliche Hinweis, dass GdT für nichtkommerzielle, schulische Zwecke frei kopiert werden darf, wurde von den Kollegen an Schulen - wie wiederum Rückmeldungen zeigen - gerne aufgenommen.

Das Interesse an GdT zeigt zweierlei. Zum einen, dass die Form der Darstellung der Teilchenphysik mittels eines hypermedialen Lernprogramms offenbar dem Wunsch vieler Physiklehrer entspricht. Zum anderen ist es ein Indiz dafür, dass Lehrer fachliche Informationen zum Thema Teilchenphysik suchen, die für sie verständlich sind und für den Einsatz in der Schule herangezogen werden können. Die große Zahl an Interessenten und die Ergebnisse der Evaluation (vgl. Abb. ??, S. ??) werden hierbei als Bestätigung der umfangreichen und intensiven Bemühungen um die Elementarisierung der fachlichen Inhalte gewertet.

Evaluation Die Evaluation von GdT fand parallel zur Entwicklung (formative Evaluation) und abschließend (summative Evaluation) statt (vgl. Kap. ??, S. ??). Die summative Evaluation durch einen Online-Fragebogen mit anschließender Rangvarianz- und Korrelationsanalyse zeigt für die untersuchten Merkmale (vgl. ??, S. ??), dass die Nutzer weitgehend zufrieden, zumindest nicht auffallend unzufrieden sind. Zusätzlich ergeben sich aus den Analysen Ansatzpunkte für zukünftige konzeptionelle Ergänzungen von GdT.

⁵Insgesamt gingen bis heute, September 2001, etwa 550 Bestellungen der GdT-CD-ROM per E-Mail ein. Die Mehrheit dieser Interessenten sind Physiklehrer.

⁶<http://www.grundlagen-der-teilchenphysik.de>

Literaturverzeichnis

- [1] Bader, Franz: *Eine Quantenwelt ohne Dualismus*, Schroedel-Verlag, Hannover (1996)
- [2] Bader, Franz, Dorn, Friedrich: *Physik Oberstufe*, Gesamtband 12/13, Westermann (1980)
- [3] Bethge, Klaus: *Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt (1991)
- [4] Bodenstein, Erwin: *Experimente der Kernphysik und ihre Deutung*, Teil 1, Wissenschaftsverlag, Mannheim (1979)
- [5] Bodenstein, Erwin: *Experimente der Kernphysik und ihre Deutung*, Teil 2, Wissenschaftsverlag, Mannheim (1979)
- [6] Das, A., Ferbel, T.: *Kern- und Teilchenphysik*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg (1995)
- [7] Brachner, A., Hartl, G., Hladky, S.: *Atom-, Kern-, Elementarteilchenphysik*, Deutsches Museum, München (1987)
- [8] Falkenburg, Brigitte: *Teilchenmetaphysik*, Spektrum-Verlag, Heidelberg (1995)
- [9] Feynman, Richard P.: *QED: The strange theory of light and matter*, Princeton University Press, New Jersey (1988)
- [10] Feynman, Richard P.: *QED: Eine seltsame Theorie des Lichts und der Materie*, Verlag R. Piper, München (1992)
- [11] Fortson, E.N., Wilets, L.: *Parity nonconsequence in atoms: Status of theory and experiment*, Advances in atomic and molecular Physics 16, S. 319 (1980)
- [12] Frauenfelder: *Teilchenzoo*, Oldenbourg Verlag (1987)
- [13] Fukuda, Y. et al.: *Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos*, The Super-Kamiokande Collaboration, <http://xxx.uni-augsburg.de/list/hep-ex/9807003> (1998)
- [14] Gerthsen, Kneser, Vogel: *Physik*, 15. Auflage, Springer-Verlag, Berlin (1986)
- [15] Goldstein, H.: *Klassische Mechanik*, 9. Auflage, Aula-Verlag, Wiesbaden (1987)
- [16] Griffith, David: *Einführung in die Elementarteilchenphysik*, Akademie Verlag, Berlin (1996)
- [17] Haken, H., Wolf, C.: *Atom- und Quantenphysik*, 5. Auflage, Springer-Verlag, Berlin (1993)

- [18] Hilscher, Helmut: *Elementarteilchen*, Aulis Verlag Deubner, Köln (1980)
- [19] Hilscher, Helmut: *Elementare Teilchenphysik*, Vieweg, Braunschweig (1996)
- [20] Hinterberger, Frank: *Physik der Teilchenbeschleuniger*, Springer-Verlag, Berlin (1997)
- [21] Hund, Friedrich: *Geschichte der physikalischen Begriffe, Teil 1: Die Entstehung des mechanischen Naturbildes*, BI-Hochschultaschenbücher Mannheim/Wien/Zürich (1978)
- [22] Hund, Friedrich: *Geschichte der physikalischen Begriffe, Teil 2: Die Wege zum heutigen Naturbild*, BI-Hochschultaschenbücher Mannheim/Wien/Zürich (1978)
- [23] Kinoshita, T., Lindquist, W.B.: Physical Review Letters 47, S. 1573 (1981)
- [24] Kuhn, Wilfried: *Physik Band 2, 12/13*, Westermann (1978)
- [25] Kunze, M., Schubert, K.R., Spaan, B.: *Das BABAR-Experiment*, Physikalische Blätter, 55. Jg., Heft 5, S. 27, Wiley-VCH (1999)
- [26] Lanius, Karl: *Physik der Elementarteilchen*, Vieweg, Braunschweig (1981)
- [27] Lohrmann, Erich: *Einführung in die Elementarteilchenphysik*, Teubner Verlag, Stuttgart (1983)
- [28] Lohrmann, Erich: *Hochenergiephysik*, Teubner Verlag, Stuttgart (1992)
- [29] Mayer-Kuckuk, T.: *Kernphysik*, Teubner Verlag, Stuttgart (1992)
- [30] Müller, Leitner, Dilg: *Physik Leistungskurs 2. Semester, Elektromagnetische Schwingungen und Wellen, Wellenoptik, Relativitätstheorie* Ehrenwirth Verlag, München (1990)
- [31] Müller, Leitner, Dilg: *Physik Leistungskurs 3. Semester, Theorie der Wärme, Atomphysik* Ehrenwirth Verlag, München (1989)
- [32] Müller, Leitner, Dilg: *Physik Leistungskurs 4. Semester, Kernphysik*. 6. neubearbeitete Auflage, Ehrenwirth Verlag, München (1990)
- [33] Locqueneux, Robert: *Kurze Geschichte der Physik*, aus dem Französischen übersetzt von Andreas Kleinert, UTB für Wissenschaft, Vandenhoeck & Rupprecht, (1989)
- [34] Nachtmann, Otto: *Phänomene und Konzepte der Elementarteilchenphysik*, Vieweg-Verlag, Braunschweig (1986)
- [35] Okun, Lev B.: *Physik der Elementarteilchen*, Akademie-Verlag, Berlin (1991)
- [36] Povh, Rith, Scholz und Zetsche: *Teilchen und Kerne*, 2. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg (1994)
- [37] Quigg, C.: *Realizing the potential of Quarkonium*, Fermilab-Conf-97/266-T, <http://preprints.cern.ch/archive/electronic/hep-ph/9707/9707493>
- [38] Rarft, Johannes: *Bausteine des Universums*, Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin (1991)

- [39] Rollnik, Horst: *Teilchenphysik II*, BI-Hochschultaschenbücher, Mannheim (1971)
- [40] Schwabl, Franz: *Quantenmechanik*, 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin (1993)
- [41] Schmüser, Peter: *Feynman-Graphen und Eichtheorien für Experimentalphysiker*, Springer-Verlag, Berlin (1988)
- [42] Schanz, R., Stimm, H. (Hrsg.): *Quarks in der Schule (QUIS)*, Unterrichtshilfen zur Elementarteilchenphysik, 2. erweiterte Auflage, Institut für Lehrerfort- und -weiterbildung Mainz ILF, Mainz (1994)
- [43] Sexl, Roman, Schmidt, H.K.: *Relativitätstheorie (Grundkurs Physik)*, Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart (1978)
- [44] Simonyi, Károly: *Kulturgeschichte der Physik*, Gemeinschaftsausgabe des Verlags Harri Deutsch, Thun/Frankfurt am Main, Urania-Verlag Leipzig und Akadémiai Kiadó, Budapest, Frankfurt am Main (1990)
- [45] Spektrum der Wissenschaft: *Teilchen, Felder, Symmetrien*, 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin (1995)
- [46] Spektrum der Wissenschaft: *Kosmologie und Teilchenphysik*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg (1990)
- [47] Spektrum der Wissenschaft: *Spurensuche im Teilchenzoo*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg (1986)
- [48] Waloschek, Pedro: *Besuch im Teilchenzoo - Vom Kristall zum Quark*, (1996)
- [49] Waloschek, Pedro: *Neuere Teilchenphysik - einfach dargestellt*, Aulis Verlag, Köln (1991)
- [50] Waloschek, Pedro: *Reise ins Innerste der Materie*, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart (1991)
- [51] Wick, Gerald L.: *Elementarteilchen*, Physik-Verlag, Weinheim (1974)
- [52] Wu, Sau Lan: *Physics at PETRA - the first five years*, Phys. Rep. 107, S. 216 ff. (1984)
- [53] Wünschmann, A.: *Der Weg zur Quantenmechanik*, 2. Auflage, Studien-Verlag-Wünschmann, Kirchheimbolanden (1996)
- [54] Amtsblatt der Bayerischen Staatsministerien für Unterricht und Kultus und Wissenschaft und Kunst: *Lehrplan für das bayerische Gymnasium*, Teil I, Jahrgang 1990, München, (1990)
- [55] Baumgartner, P., Payr, S.: *Lernen mit Software*, Österreichischer Studienverlag, Innsbruck (1994)
- [56] Bauer, W.: *Multimedia in der Schule?*, in: Issing, L.J. (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*, S. 377-399, Weinheim Beltz (1997)
- [57] v. Benda, H. et al.: *Softwaregestaltung und -bewertung aus gedächtnispsychologischer Sicht*, Memorandum Nr. 81, Institut für Psychologie I der Universität Erlangen Nürnberg, Erlangen (1994)

- [58] Beste, D.: *Bildung im Netz*, VDI-Verlag, Düsseldorf (1996)
- [59] Blumstengel, A.: *Entwicklung hypermedialer Lernsysteme*, Wissenschaftlicher Verlag Berlin (1998)
- [60] Clauß, G., Finze, F.-R., Partzsch, L.: *Statistik für Soziologen, Pädagogen, Psychologen und Mediziner*, Band I, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main (1995)
- [61] Conklin, J.: *Hypertext - An Introduction and Survey*, in: IEEE Computer; 20(9), S. 17-41, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos (1987)
- [62] Correll, W. (Hrsg.): *Programmiertes Lernen und Lehrmaschinen*, Westermann-Verlag, Braunschweig (1965)
- [63] Correll, W.: *Programmiertes Lernen und Schöpferisches Denken*, Ernst Reinhardt Verlag, München (1965)
- [64] Daldrup, U.: *(Un)ordnung im Gestaltungsprozess menschengerechter Software*, Europäische Hochschulschriften, Frankfurt am Main (1995)
- [65] Dick, E.: *Multimediale Lernprogramme und telematische Lernarrangements*, Verlag BW Bildung und Wissen, Nürnberg (2000)
- [66] Duit, Häußler, Kircher: *Unterricht Physik*, Aulis Verlag Deubner, Köln (1981)
- [67] Fischler, H. (Hrsg.): *Quantenphysik in der Schule*, Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften IPN, Kiel (1992)
- [68] Freibichler, H.: *Werkzeuge zur Entwicklung von Multimedia*, in: Issing, L.J. (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*, S. 220-240, Weinheim Beltz (1997)
- [69] Galsterer, J., Brünig, H.: *Multimedia - von der Idee zum Produkt*, Georg-Simon-Ohm Fachhochschule Nürnberg, Skript zur Lehrerfortbildung, Internet: <http://www.poly4media.com>, Nürnberg (2000)
- [70] Girwidz, R.: *Beiträge und Analysen zum Lernen in Physik mit dem Computer als Hilfsmittel*, Dissertation an der Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, Würzburg (1994)
- [71] Haack, J.: *Interaktivität als Kennzeichen von Multimedia und Hypermedia*, in: Issing, L.J. (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*, S. 151-166, Weinheim Beltz (1997)
- [72] Häußler, Bündler, Duit, Gräber, Mayer: *Perspektiven für die Unterrichtspraxis*, Naturwissenschaftsdidaktische Forschung, Institut für Naturwissenschaften an der Universität Kiel (IPN), Kiel (1998)
- [73] Hasebrook, J.: *Multimedia-Psychologie: Eine neue Perspektive menschlicher Kommunikation*, Spektrum Verlag, Berlin (1995)
- [74] Herczeg, M.: *Software-Ergonomie: Grundlagen der Mensch-Computer-Kommunikation*, Addison-Wesley, Bonn (1994)
- [75] Hermes, M.: *Arbeitshefte Informatik - Java*, Ernst Klett Verlag, Stuttgart (1999)

- [76] Herrmann, G.: *Lernen durch Entdeckung: Eine kritische Erörterung von Forschungsarbeiten*, In: Neber, H. (Hrsg.): *Entdeckendes Lernen*, S. 166 - 189, Beltz-Verlag, Weinheim (1973)
- [77] Hofmann, M.: *Problemlösung Hypertext*, Hanser Verlag, München (1995)
- [78] Issing, L.J. (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*, Weinheim Beltz (1997)
- [79] Issing, L.J. *Instruktionsdesign für Multimedia*, in: Issing, L.J. (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*, S. 194-220, Weinheim Beltz (1997)
- [80] Jung, W.: *Fachliche Zulässigkeit aus didaktischer Sicht*, Arbeitspapier zum IPN Seminar 2 „Sachstrukturen im naturwissenschaftlichen Unterricht“, IPN Kiel (1972)
- [81] Jung, W.: *Aufsätze zur Didaktik und Wissenschaftstheorie*, Verlag Moritz Disterweg, Frankfurt a. M. (1979)
- [82] Kircher, E., Girwidz, R., Häußler, P.: *Physikdidaktik*, Vieweg-Verlag, Braunschweig (2000)
- [83] Klafki, W.: *Studien zur Bildungstheorie und Didaktik*, Beltz-Verlag, Weinheim (1963)
- [84] Klafki, W.: *Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung*, In: Roth, H., Blumenthal, A.: *Auswahl, Didaktische Analyse*, Schroedel-Verlag, Hannover (1969)
- [85] Klafki, W.: *Unterrichtsplanung im Sinne kritisch-konstruktiver Kritik*, Studienkreis Schule/Wirtschaft Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf (1980)
- [86] Klinger, W.: *Die wissenschaftstheoretische Bedeutung der Analogiebildung*, in: Liedtke, M. (Hrsg.): *Kulturethologie*, S. 150-165, Realis-Verlag, München (1994)
- [87] Klinger, W.: *Didaktik des Physikunterrichts in Grund-, Haupt- und Realschule*, Vorlesungsmanuskript, Erziehungswissenschaftliche Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg (2001)
- [88] Knobloch, F., Seeboerger-Weichselbaum, M.: *Java*, bhv-Verlag, Kaarst (1997)
- [89] Küffner, H.: *Computerlernen und Autorensysteme*, Verlag für angewandte Psychologie, Stuttgart (1989)
- [90] Lamprecht, S.: *HTML 3.2 - Das Einsteigerseminar*, bhv-Verlag, Kaarst (1997)
- [91] Langer, K.: *Flexible Hypermediasysteme*, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden (1995)
- [92] Lehmann, M. (Hrsg.): *Internet- und Multimediarecht (Cyberlaw)*, Schäfer-Poeschl-Verlag, Stuttgart (1997)
- [93] Lemay, L.: *JavaScript*, Markt und Technik-Verlag, München (1997)
- [94] Leutner, D.: *Adaptive Lehrsysteme*, Beltz-Verlag, Weinheim (1992)

- [95] Leutner, D.: *Adaptivität und Adaptierbarkeit multimedialer Lehr- und Informationssysteme*, in: Issing, L.J. (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*, S. 139-149, Weinheim Beltz (1997)
- [96] Mandl, H., Gruber, H., Renkl, A.: *Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen*, in: Issing, L.J. (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*, S. 167-178, Weinheim Beltz (1997)
- [97] Meyer, H.: *Unterrichtsmethoden I: Theorieband*, 6. Auflage, Cornelsen Verlag Scriptor, Frankfurt (1994)
- [98] Mietzel, G.: *Psychologie in Unterricht und Erziehung*, 4. Auflage, Hogrefe, Verlag für Psychologie, Göttingen (1993)
- [99] Münz, Nefzger: *HTML 4.0 Handbuch*, Franzis-Verlag (1998)
- [100] Münz, S.: *SELFHTML*, Internet: <http://www.teamone.de/selfaktuell/> (2000)
- [101] Nielsen, J.: *Multimedia, Hypertext und Internet*, Vieweg-Verlag, Braunschweig (1996)
- [102] Montada, L.: *Die geistige Entwicklung aus der Sicht Piagets*, in: Oerter/Montada (Hrsg.): *Entwicklungspsychologie*, S. 414-462, 2. Auflage, Weinheim Beltz (1987)
- [103] Papert, S.: *Revolution des Lernens*, Verlag Hans Heise, Hannover (1994)
- [104] Piaget, J.: *Die Äquilibration der kognitiven Struktur*, Klett-Verlag, Stuttgart (1976)
- [105] Sarnow, K.: *Einführung in das Standardmodell der Elementarteilchenphysik mit Internetmaterialien*, <http://www.bionet.schule.de/~karl/kworkquark/>, (1999)
- [106] Sarnow, K.: *Linux in der Schule*, SuSE-Press, Nürnberg (2000)
- [107] Saxler, J.: *Problemorientiertes und entdeckendes Lernen in der Physik*, Westarp Wissenschaften Verlag der Universitätsbuchhandlung, Darmstadt (1992)
- [108] Schorr, E.: *Hilfe, wir haben das Internet*, in: MNU 53/8, Dümmler-Verlag, Köln (2000)
- [109] Schulmeister, R.: *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme: Theorie - Didaktik - Design*, Addison-Wesley, Bonn (1996)
- [110] Schmidt, S.J.: *kognitive Autonomie und soziale Orientierung*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt (1994)
- [111] Skinner, B.F., Correll, W.: *Denken und Lernen*, Westermann-Verlag, Braunschweig (1967)
- [112] Steinrück, Girwidz, Gößwein: *Atomos*, Softwarepaket zur Atomphysik, Universität Würzburg; Internet-Download: <http://www.wiley-vch.de/vch/journals/2007/index.html>, Würzburg (1997)
- [113] Tergan, S.: *Hypertext und Hypermedia: Konzeption, Lernmöglichkeiten, Lernprobleme*, Deutsches Institut für Fernstudienforschung, Uni-Tübingen (1995)

- [114] Tergan, S.: *Hypertext und Hypermedia: Konzeption, Lernmöglichkeiten, Lernprobleme*, in Issing, L.J. (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*, S. 123 - 138, Weinheim Beltz (1997)
- [115] Thissen, F.: *Das Lernen neu erfinden - Grundlagen einer konstruktivistischen Multimedia-Didaktik*, in: Uwe Beck/Winfried Sommer (Hrsg.): *LearnTec 97*, Tagungsband, Karlsruhe 1997, S. 69-79, Internet: <http://www.frank-thissen.de/lt97.pdf>
- [116] Thissen, F.: *Lerntheorien und ihre Umsetzung in multimedialen Lernumgebungen - Analyse und Bewertung*, Internet: <http://www.frank-thissen.de/lernen.pdf>
- [117] Thissen, F.: *Thesen zum konstruktivistischen Lernen*, Arbeitskreis „Konstruktivistische Lernumgebungen“, Internet: <http://www.frank-thissen.de/thesen.pdf>
- [118] Tulodziecki, G., Hagemann, W., Herzig, B., Leufen, S., Mütze, C.: *Neue Medien in den Schulen: Projekte-Konzepte-Kompetenzen*, Verlag Bertelsmann Stiftung, Gütersloh (1996)
- [119] Tulodziecki, G., Blömeke, I.: *Neue Medien - neue Aufgaben für die Lehrerbildung*, Verlag Bertelsmann Stiftung, Gütersloh (1997)
- [120] Uni-Kurier der FAU: *F@Umultimedial - Moderne Informations- und Kommunikationstechnologien (Neue Medien) in der Hochschullehre*, Uni-Kurier-Magazin, Nr. 100, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen (1999)
- [121] Wagenschein, M.: *Verstehen lehren*, Verlag Julius Beltz, Weinheim (1968)
- [122] Wittenberg, R., Cramer, H.: *Datenanalyse mit SPSS für Windows 95/NT*, UTB - Lucius & Lucius, Stuttgart (1998)
- [123] Wittenberg, R.: *Grundlagen computerunterstützter Datenanalyse*, UTB - Lucius & Lucius, Stuttgart (1998)
- [124] World-Wide-Web-Consortium (W3C): *MathML 1.01*, Internet: <http://www.w3.org/Math/>, (2000)