

Erb, Roger

Das Thema "Optische Abbildung" im Physikunterricht - ein stoffdidaktisches Forschungsvorhaben

Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 4 (1998) 2, S. 53-66



Quellenangabe/ Reference:

Erb, Roger: Das Thema "Optische Abbildung" im Physikunterricht - ein stoffdidaktisches Forschungsvorhaben - In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 4 (1998) 2, S. 53-66 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-315076 - DOI: 10.25656/01:31507

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-315076>

<https://doi.org/10.25656/01:31507>

in Kooperation mit / in cooperation with:



IPN

Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften und Mathematik

<https://www.leibniz-ipn.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS

DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung

E-Mail: pedocs@dipf.de

Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

ROGER ERB, KASSEL

Das Thema „Optische Abbildung“ im Physikunterricht - ein stoffdidaktisches Forschungsvorhaben

Zusammenfassung:

Die „Optische Abbildung“ ist ein etabliertes Thema im Physikunterricht der Sekundarstufe I. In der schulüblichen Vorgehensweise ist die dabei zur Anwendung kommende Konstruktion einer Abbildung ein zentraler Inhalt der geometrischen Optik. Im vorliegenden Beitrag wird die Frage aufgeworfen, ob eine andersartige Darstellung des Themas dazu führen könnte, daß bislang eher weniger beachtete Zusammenhänge innerhalb der Optik deutlicher hervortreten. Zu diesem Zweck wird zunächst durch eine fachliche Klärung die Möglichkeit einer deartigen Alternative untersucht. Im zweiten Schritt wird deren Eignung für den Physikunterricht anhand zuvor begründeter Fragen, die sich auf fachliche, pädagogische und lernpsychologische Aspekte beziehen, beurteilt.

Abstract:

The „optical image“ is an established subject in physics education at secondary school. In this education the construction of the image is the central theme of geometrical optics. This article raises the question, whether a different representation of this subject could produce a better understanding of some, until recently, less observed relationships. To this end, first the viability of such an alternative will be examined and then, as a second step, some questions related to pedagogical aspects will be discussed.

1. Einleitung

„In der Renaissance forderten die Künstler den Menschen auf, sich in erster Linie mit seinesgleichen zu beschäftigen, und doch gibt es eine ganze Reihe anderer Dinge in der Welt, die unser Interesse verdienen. Selbst die Künstler schätzen Sonnenuntergänge, den Wellengang des Ozeans und den Lauf der Gestirne am Himmel. Mit Fug und Recht können wir also gelegentlich auch über etwas anderes reden. Schon die Betrachtung dieser Dinge bereitet uns ein ästhetisches Vergnügen. Darüber durchwaltet ein Rhythmus, eine dem leiblichen Auge unsichtbare Regelmäßigkeit zwischen den Naturerscheinungen die Welt, die nur durch die Analyse sichtbar wird und die wir physikalische Gesetze nennen“ (Feynman 1990, S.19)

Die versteckte Regelmäßigkeit zwischen den Naturerscheinungen vor dem inneren Auge zu entwickeln und eine angemessene Beschreibung zu konstruieren, ist Gegenstand der Naturwissenschaften und damit auch der Physik. Aufgabe des Physikunterrichts ist es, das Interesse für dieses Anliegen zu wecken und ein „Wissensfundament“ (BLK-Materialien 1997, S.8) zu legen.

Martin Wagenschein hat über Jahrzehnte versucht, den Blick auf den Beginn eines derartigen Naturverständnisses zu lenken. Er ist im Verlauf dieser Zeit einer der meistgelesenen Physikdidaktiker geworden – seine Anliegen wie etwa die Reduzierung des Inhaltskanons und die Forderung, bei der Entwicklung der Unterrichtsinhalte den Blick auf die Ursprünge zu bewahren, sind dennoch nicht durchgreifend im Physikunterricht umgesetzt worden. Woran liegt das?

Das Beibehalten einer gewohnten Vorgehensweise scheint zunächst das Naheliegende zu sein, solange sich Rahmenbedingungen nicht wesentlich geändert haben. Änderungsvorschläge müssen demzufolge in erster Linie erhoffen lassen, daß sie Defizite im Unterricht beheben. Diese Defizite müssen erkannt und als relevant eingeschätzt worden sein. Ein häufig geäußelter Vorbehalt gegenüber Martin Wagenscheins Ideen bezog sich – auch bei Anerkennung seiner Kritik am Physikunterricht – auf die mit der Verwirklichung seiner Vorschläge möglicherweise einhergehende Gefahr, physikalische Fachinhalte gegenüber allgemeineren Zielen zu vernachlässigen.

1 Vergleiche etwa die Diskussion um „Bildungswerte“ in Wagenschein (1970, S. 149 - 157).

Für das Beibehalten des Gewohnten spricht aber auch die Tatsache, daß die Inhalte des Physikunterrichts aus der Praxis der Physik erwachsen sind und damit zweifelsohne eine erfolgreiche Geschichte haben.

Im vorliegenden Beitrag wollen wir aufzeigen, weshalb dennoch die gewohnte Auswahl von Inhalten für den Physikunterricht in Frage gestellt werden kann. Es soll versucht werden, einen Änderungsvorschlag für ein bestimmtes Thema im Physikunterricht, die „Optische Abbildung“, im Rahmen unseres an anderer Stelle dargestellten Optik-Curriculums (Erb/Schön 1996, 1997) zu formulieren und diesen sowohl im Hinblick auf einzelne erkannte Defizite als auch die Aufgabe des Physikunterrichts zu beurteilen.

2. Unser Ansatz eines stoffdidaktischen Forschungsvorhabens

2.1 Die Tradition des Physikunterrichts

„Die ganze kulturelle Welt in all ihren Formen lebt durch die Tradition. - Tradition ist das Vergessen der Ursprünge“ (Husserl, zitiert nach Davis 1994)

In traditioneller Weise werden in der Physik Vorgänge und Zustände mit Hilfe von Gesetzen und Modellen beschrieben. Die hierbei verwendete Sichtweise zeichnet sich dadurch aus, daß sie sich als erfolgreich erwiesen hat. Für Physikerinnen und Physiker ist eine solche Sichtweise eng mit ihren Fragestellungen verbunden: Ein Teil der Physik, der Kultur geworden ist. Sie ist darüberhinaus die gewohnte - und damit die zur Tradition gewordene. Der Physikunterricht nun übernimmt üblicherweise diese gewohnte Sichtweise - in diesem Sinne ist er die Tradierung der Tradition.

Dabei wird gerne übersehen, daß dank dieser Tradition die angesprochene Sichtweise eine ebenso fortgeschrittene wie reduktionistische ist: So wird zum Beispiel das mathematische Modell des Lichtstrahls eingeführt, und es werden mit ihm Konstruktionen erarbeitet; tatsächlich sind aber die *Ursprünge*, die zu dieser Modellbildung überhaupt erst geführt

haben, in Bezug auf Inhalt und Methode das typisch Physikalische. Dies hat Wagenschein immer wieder betont: Die Ursprünge geraten leicht in Vergessenheit, obwohl sie das eigentlich Bedeutsame sind, wenn es uns um das „Verstehen“ geht. Auch wenn diese Erkenntnis zunächst aus dem subjektiven Unterrichtserleben gewonnen wurde, so zeigt doch ein Blick in die fachdidaktische Literatur, die Lernschwierigkeiten dokumentiert (vgl. Abschnitt 4.2), daß sie in vielen Fällen durchaus verallgemeinert werden darf.

Ein mögliches Anliegen der Fachdidaktik muß es also sein, die traditionellen Inhalte des Unterrichts zu überdenken, um mögliche Alternativen wie etwa methodische Varianten oder auch gänzlich neue Elemente in Betracht zu ziehen. Daraus ergibt sich als eine Aufgabe fachdidaktischer Forschung, derartige Alternativen darzustellen und Argumente für den Entscheidungsprozeß aufzuarbeiten und zu beurteilen. Für einzelne Unterrichtsideen, für Materialien und detaillierte Vorschläge wird dieser einfacher sein als für Konzepte, die einen ganzen Bereich umfassen.

Dieses Vorgehen ähnelt der Durchführung einer „Didaktischen Analyse“, wie sie von Klafki (1963) für die Bewertung eines konkreten Unterrichtsinhaltes angeregt worden ist. Die Wechselseitigkeit von Entwicklung und Erprobung in einem längeren Prozeß unter Berücksichtigung der Didaktischen Analyse und anderer Faktoren (wie etwa Ergebnisse empirischer Untersuchungen) ist in jüngerer Zeit als Modell der „Didaktischen Rekonstruktion“ (Kattmann/Duit/Gropengießer/Komorek 1997) formuliert worden.

2.2 Kriterien zur Beurteilung unterrichtlicher Alternativen

Auch bei unserem Bemühen um eine Neuordnung der Inhalte der Optik stand ein zunächst intuitiv begründeter, durch einzelne Hinweise nahegelegter Wunsch nach einer bestimmten Verbesserung im Vordergrund. Zwei dieser Aussagen, die zugleich das mögliche Ziel vor Augen führen, sind aus diesem

Grund für die Einleitung dieses Beitrags herangezogen worden: Der veränderte Unterricht sollte die Kultur der Physik nicht nur zur Anwendung bringen, sondern sie selbst zum Gegenstand machen. Er sollte deshalb den Weg von den *Ursprüngen* (Wagenschein) zum Erfassen der *Regelmäßigkeit* (Feynman) aufzeigen durch die Suche nach einer in sich schlüssigen Beschreibung der Phänomene. Dieser Anspruch schien uns durch die schulübliche Fassung der Optik kaum erfüllt zu sein (vgl. Abschnitt 4.1), woraus sich für uns der Anlaß für die Suche nach einer unterrichtlichen Alternative ergab.

Die Forschungsfrage, die sich uns zu Beginn jedes Schrittes, bei der Bearbeitung jedes Inhaltes, stellte, lautete zunächst:

(I) Stellt die Physik für einen bestimmten Sachverhalt (hier: aus der Optik) auch eine andere als die (schul-) übliche Beschreibungsweise bereit?

Diese Frage nach einer solchen *Möglichkeit* kann durch fachliche Argumentation beantwortet werden. In den Fällen, in denen eine alternative Beschreibung möglich war, stellte sich dann die Frage in folgender Form:

(II) Erscheint die Verwendung dieser Beschreibung in der Schule sinnvoll?

Sinnvoll meint in diesem Zusammenhang das Vermögen, näher auszuführenden Forderungen an den Physikunterricht nachzukommen. Maßgeblich zur Beantwortung dieser Frage nach einer *Eignung* für den Physikunterricht ist die Auswertung von Erkenntnissen aus ganz unterschiedlichen Bereichen und die Beantwortung mehrerer Einzelfragen. Diese Fragen haben wir für unser Vorhaben in folgender Weise ausdifferenziert:

(II 1) Fachliche Aspekte

Erscheint die Verwendung der alternativen Beschreibung aus fachlicher Sicht sinnvoll? Kommen wichtige Inhalte und typische Methoden der Physik zur Geltung?

(II 2) Pädagogische Aspekte

Erscheint die Verwendung der alternativen Beschreibung aus pädagogischer Sicht sinnvoll? Hierbei müssen etwa Aussagen über die Aufgaben von Schulunterricht, den Bildungswert des Physikunterrichts und die besonde-

ren Aufgaben des Physikunterrichts betrachtet werden.

(II 3) Lernpsychologische Aspekte

Erscheint die Verwendung der alternativen Beschreibung aus lernpsychologischer Sicht sinnvoll? Werden Schülervorstellungen und kognitive Fähigkeiten angemessen berücksichtigt?

(II 4) Evaluation

Erweist sich ein unter Verwendung der alternativen Beschreibung durchgeführter Unterricht als erfolgreich?

Die Begründung der Antworten ist ein Vorgang, der im wesentlichen als hermeneutischer verstanden werden kann. Besonders deutlich wird dies bei der Einbeziehung allgemeinpädagogischer Forderungen. Die gewonnenen Aussagen haben daher nur Gültigkeit, soweit Einverständnis über herangezogenen Aussagen und über deren Stellenwert untereinander besteht – die Interpretation muß allerdings schlüssig und nachvollziehbar sein. Es ergibt sich als Folge, daß die vorgesehene Neuordnung des Themas natürlich nicht als „Königsweg“ verstanden werden kann, sondern allenfalls eine Anregung für den Physikunterricht darstellt.

3. Die Optische Abbildung – Möglichkeit einer Alternative

Die oben dargestellte Vorgehensweise soll nun exemplarisch an dem Thema „Optische Abbildung“ veranschaulicht werden. Dieses Thema zeichnet sich innerhalb der Optik dadurch aus, daß es in der geometrischen Optik einen Kernpunkt darstellt, in der Wellen- oder Quantenoptik jedoch üblicherweise kaum mehr explizit behandelt wird. Nach einer Neuformulierung sollte es in die Bausteine 2 (Geometrische Optik) und 3 (Weiterführende Optik) unseres in Tabelle 1 skizzierten Optik-Curriculums eingebettet werden (vgl. Erb/Schön 1996, 1997).

In diesem Abschnitt soll zunächst gemäß der oben formulierten Fragestellung (I) untersucht werden, ob sich das Thema „Optische Abbildung“ mit diesem Ansatz auf andere als die (schul-)übliche Weise beschreiben läßt.

Baustein		Beschreibung	Schj.	Bedarf	Inhalte	Ziele
1	Vom Sehen zur Optik	Von der Blickrichtung zum Lichtweg	6. oder 7.	30 Std.	Erleben der Dunkelheit Schatten Spiegel optische Hebung Blick durch die Linse	im eigenen Erleben begründeter Schritt in die Physik
2	Geometrische Optik	Fermat-Prinzip	9. oder 10.	25 Std.	geradlinige Ausbreitung Reflexion Brechung	Erarbeiten einer übergreifenden, möglichst erklärungs-mächtigen Beschreibung der Phänomene mit Hilfe des Lichtweg
3	Weiterführende Optik	Zeigerformalismus	12. oder 13.	20 -40 Std.	Interferenz Beugung Quantenphänomene	Erweiterung der bisherigen Sichtweise durch Einarbeiten weiterer Phänomene der klassischen und der modernen Physik auf einer höheren Modellebene

Tabelle 1: Bausteine des Optik-Curriculums

Vom Sehen zur Optik. Baustein 1 ist konzipiert als eine erste Heranführung an die Phänomene der Optik.

Geometrische Optik. An die Stelle dreier Gesetze – das der geradlinigen Ausbreitung, der Reflexion und der Brechung – tritt das Fermat-Prinzip. Dies besagt, daß das Licht zwischen zwei Punkten den Weg mit der geringsten Laufzeit, bzw. (in allgemeiner Form) einen Weg mit extremaler Laufzeit nimmt.

Weiterführende Optik. Wir verwenden hier den Begriff des Lichtwegs erneut, um weitere Phänomene zu beschreiben und dabei zu einer modernen Sicht der Optik kommen, die das „Dualismusproblem“ vermeidet. Wir bedienen uns dabei eines von Feynman (1988) benutzten Modells, das erlaubt, Wellen- und Quantenaspekte der Lichtausbreitung gleichermaßen zu berücksichtigen.

3.1 Geometrische Optik

Strahlenoptik. In der schulüblichen Darstellung ist die optische Abbildung ein zentrales Thema der geometrischen Optik. Das zuvor eingeführte Modell des Lichtstrahls erlaubt die Konstruktion reeller und virtueller Bilder und üblicherweise werden in diesem Zusammenhang optische Geräte wie Lochkamera, Lupe, Fernrohr und andere behandelt.

Das Verhalten des Lichtes an Grenzflächen wird hierbei durch wenige ausgewählte Strah-

len beschrieben, für die einfache Regeln bei der Konstruktion zu finden sind. Von einigen wenigen Punkten eines Objekts zeichnet man diese ausgezeichneten Strahlen, an deren Schnittpunkt der entsprechende Bildpunkt zu finden ist. Als typische Fragestellung wird betrachtet, wie sich das Licht an einem Spiegel oder einer Linse verhält.

Fermat-Prinzip. Unter dem Blickwinkel der Strahlenoptik entsteht – wie soeben ausgeführt – ein Bildpunkt dort, wo sich mehrere von einem Objektpunkt kommende Strahlen

schneiden². Hierbei werden mehrere wirkliche (tatsächlich vorhandene) Lichtwege miteinander in Verbindung gebracht, während man mit dem Fermat-Prinzip durch den Vergleich denkbarer Lichtwege den wirklichen findet. Somit kann das Fermat-Prinzip nicht ohne weiteres zur Beschreibung von Phänomenen aus dem Bereich „Optische Abbildung“ herangezogen werden. Eine genauere Betrachtung auf einer höheren Erklärungsebene, der Beugungstheorie, zeigt in einem ersten Schritt zur Erklärung der Bildentstehung, daß ein Bildpunkt B eines Objektpunktes A dort entsteht, wo die von A kommende Kugelwelle konvergiert³. Damit dies geschieht, muß die Welle an (mindestens) einem Spiegel oder einer Grenzfläche zwischen zwei Medien unterschiedlicher optischer Dichte umgeformt werden und zwar derart, daß für alle Teile der Wellenfront die zwischen A und B benötigte Zeit (oder die optische Weglänge) gleich ist⁴. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit einer Anknüpfung an das Fermat-Prinzip, wie im folgenden dargestellt werden soll.

Das Fermat-Prinzip erlaubt, wie oben formuliert, eine Aussage darüber, welcher von mehreren denkbaren Wegen vom Licht genommen wird. Für den Fall der Reflexion etwa führt dies zu folgender Formulierung, die in den meisten Fällen gültig ist:

Das Licht nimmt bei der Ausbreitung zwischen zwei Punkten den kürzesten Weg im Vergleich zu denkbaren Nachbarwegen. Hiermit wird ausgesagt, daß das Licht einen Weg zwischen zwei Punkten A und B über einen solchen Punkt R auf dem Spiegel nimmt, daß die Länge des Lichtwegs ein lokales Minimum wird. Tatsächlich kann die Länge des wirklichen Lichtwegs aber auch ein

Maximum sein, wie die allgemeine Formulierung als Extremalprinzip fordert. Dies wird auch durch eine einfache Überlegung deutlich. Biegt man nämlich einen ebenen Spiegel um R , so verkürzen sich die denkbaren Wege über die beiden Flanken des Spiegels. Über die anfangs gewählte Stelle R breitet sich das Licht aber nach wie vor aus: Diese ist bei hinreichend starker Biegung zu einem Maximum geworden. Bei geeigneter Biegung, dann nämlich, wenn die Spiegelfläche eine Ellipse ist, in deren Brennpunkten A und B liegen, nimmt das Licht alle Wege über die Spiegelfläche⁵. Die Lichtweglänge ist in allen Fällen gleich, und dies entspricht der oben im Rahmen des Wellenbildes skizzierten Bedingung. Wir können dieses Ergebnis in einer Ergänzung zum Fermat-Prinzip festhalten:

Stehen dem Licht mehrere gleichlange benachbarte Wege zwischen zwei Punkten zur Verfügung, so nimmt es all diese.

Hiermit wird zunächst das Vermögen von Hohlspiegeln (und im weiteren von Linsen) beschrieben, Licht zu sammeln. Der Punkt, in dem das Licht einer Punktquelle (eines Objektpunktes) gesammelt wird, kann als Bildpunkt der Punktquelle (des Objektpunktes) bezeichnet werden. Mit dieser Formulierung wird zugleich explizit thematisiert, daß das Vorhandensein *mehrerer* Lichtwege diesen Bildpunkt konstituiert: Ein Bild ist die Stelle (auf einem Schirm), an die mehr Licht von einem Objekt kommt, als an benachbarte Stellen (Bildpunkt).

Als eine typische Fragestellung ergibt sich etwa: Wie muß ein optisches Element geformt sein, damit das vom Objektpunkt kommende Licht im Bildpunkt gesammelt wird?

2 Hier und im folgenden beschränken wir uns auf die Entstehung eines reellen Bildes. Der weniger bedeutsame Fall der Wahrnehmung virtueller Bilder kann daraus abgeleitet werden.

3 In gleicher Weise kann auch A ein Bildpunkt von B sein, infolgedessen werden die beiden Punkte auch als konjugierte Punkte bezeichnet. Ein ideales System bildet jeden Punkt eines dreidimensionalen Bereichs in einen anderen Bereich scharf, d.h. in einen Punkt ab. Die maximal erreichbare Schärfe ist bei realen optischen Systemen allerdings beugungsbegrenzt (Hecht 1989, S. 136 f).

4 Dieser Aspekt wird bei der Konstruktion der optischen Abbildung normalerweise nicht beachtet, weshalb beispielsweise eine Fresnelinse im Einklang mit dem Brechungsgesetz als bilderzeugend angesehen wird, was sie unter Berücksichtigung der Wellenoptik strenggenommen jedoch nicht ist (Hofmann 1980, S. 336-339).

5 Eine ausführlichere Darstellung findet sich in Erb (1995a, 1997).

3.2 Weiterführende Optik

Wellen- und Quantenoptik. In der schulüblichen Darstellung der Wellenoptik wird das Thema „Optische Abbildung“ zumeist nicht ausdrücklich wieder aufgegriffen, wenngleich Interferenz- oder Beugungsbilder eine große Rolle spielen. Eine schulgemäße Behandlung müßte berücksichtigen, daß man, um eine optische Abbildung eines Objektpunktes zu erhalten, die vom Objektpunkt kommende Welle so umformen muß, daß sie im Bildpunkt zusammenläuft. Der Rückgriff auf die Strahlenoptik, indem man die Lichtstrahlen in Verbindung mit den Wellenfronten bringt, ist im Prinzip möglich, wird aber häufig nicht in der notwendigen Breite ausgeführt. Unter dem Gesichtspunkt der Quantenoptik spielt die optische Abbildung in der Regel keine Rolle.

Zeigerformalismus. In unserem Vorschlag, die Optik in der gymnasialen Oberstufe mit Hilfe eines auf Feynman zurückgehenden Zeigerformalismus zu behandeln, wird die Verbindung zur geometrischen Optik dadurch aufrechterhalten, daß die bereits verwendeten Lichtwege hier erneut zur Beschreibung herangezogen werden. Das Fermat-Prinzip und damit die geometrische Optik wird mit dieser neuen Modellvorstellung auf einem höheren Niveau erklärt (ähnlich wie auch die Strahlenoptik aus der Wellenoptik verstanden werden kann).

Die oben angeführte, in der geometrischen Optik im Zusammenhang mit der Bildentstehung formulierte Forderung nach mehreren gleichlangen Lichtwegen wird aus der Modellvorstellung des Zeigerformalismus dadurch begründet, daß nur dann eine phasenrichtige Addition der einzelnen Beiträge und somit konstruktive Interferenz erreicht wird.

3.3 Zusammenfassung

Wie in den letzten Abschnitten kurz geschildert, ist eine andere als die schulübliche Darstellung des Themas „Optische Abbildung“ möglich. Tabelle 2 zeigt eine Gegenüberstellung der schulüblichen Inhalte und der hier vorgestellten Alternative.

Das Thema „Optische Abbildung“ erfordert eine Ergänzung zum Fermat-Prinzip, die zum Inhalt hat, durch was ein Bildpunkt konstituiert wird. Für die Konstruktion einer optischen Abbildung muß die Frage nach einer alternativen Darstellung im Zusammenhang mit dem Fermat-Prinzip allerdings abschlägig beantwortet werden, da das Fermat-Prinzip als Extremalprinzip eine andere Art von Aussagen (finale) macht (vgl. die oben formulierte typische Fragestellung), als die Konstruktion einer Abbildung verlangt („Was passiert mit dem Lichtstrahl an der Spiegelfläche?“). Einen ersten Versuch, die beiden Fragestellungen miteinander zu verknüpfen, macht Schön (1997a).

	schulübliche Inhalte	alternative Inhalte
Geometrische Optik	a) Modell: Lichtstrahl b) Lichtausbreitung gemäß des Reflexions- und des Brechungsgesetzes c) Einführung des Bildpunktes als Schnittpunkt d) Strahlkonstruktion an Spiegeln und Linsen	Modell: Lichtweg Lichtausbreitung gemäß des Fermat-Prinzips Ergänzung zum Fermat-Prinzip Erarbeitung der Form abbildender Objekte
Weiterführende Optik	e) Modell: Welle f) Interferenz- Beugungsmuster	Modell: Zeigerformalismus Interferenz- und Beugungsbilder

Tabelle 2: Schulübliche Inhalte des Themas „Optische Abbildung“ und mögliche Alternative

Der Zeigerformalismus ist im Hinblick auf Wellenphänomene keine grundsätzlich von der üblichen Herangehensweise verschiedene Darstellung. Der Unterschied liegt vielmehr in der stärkeren Abstraktion bei der Modellbildung, die Wellen- und Quantenphänomene gleichermaßen berücksichtigt. In Bezug auf das Thema „Optische Abbildung“ resultiert hieraus keine unterschiedliche Bewertung.

4. Die optische Abbildung – Eignung der Alternative

In diesem Abschnitt soll versucht werden, die aufgezeigte Alternative zum schulüblichen Vorgehen anhand der in Abschnitt 2.2 formulierten Frage (II) und der Detailfragen 1) bis 4) zu bewerten.

4.1 Fachliche Aspekte

Die Beurteilung der Eignung aus fachlicher Sicht geschieht nach der in Tabelle 2 skizzierten Abfolge.

a) **Lichtstrahl - Lichtweg.** Der Begriff des Lichtstrahls kann durch den des Lichtwegs ersetzt werden, ohne daß sich aus fachlicher Sicht Vor- oder Nachteile ergeben, da lediglich ein anderes Wort für die gleiche Modellvorstellung benutzt wird. Gegen die Verwendung spricht allerdings, daß die Benutzung eines anderen als des üblichen Begriffs das Lesen anderer Texte usw. erschwert. Dieses Argument trifft in gleicher Weise auf alle anderen Fälle zu, in denen neue Begriffe verwendet werden.

b) **Reflexions- und Brechungsgesetz - Fermat-Prinzip.** Die kausale und finale Beschreibung der betreffenden Sachverhalte (geradlinige Ausbreitung, Reflexion, Brechung) sind formal ineinander überführbar (Erb 1994), aus fachlicher Sicht somit zunächst gleichwertig⁶. Die sich ergebenden typischen Fragestellungen unterscheiden sich jedoch beträchtlich („Wie verläuft der Licht-

strahl von A nach der Reflexion an S?“ gegenüber „Welchen Weg über den Spiegel nimmt das Licht von A nach B?“). Das Fermat-Prinzip erweist sich daher bei der Lösung technischer Fragen als weniger geeignet.

Es muß allerdings berücksichtigt werden, daß es ein wesentliches Anliegen der Physik ist, verschiedene Phänomene unter wenigen Gesetzen zusammenzufassen (wie etwa die Suche nach den grundlegenden Wechselwirkungen verdeutlicht). Aus der Vielzahl von Hinweisen zu diesem Aspekt sei hier stellvertretend eine Forderung Einsteins genannt, nach der eine Darstellung physikalischer Sachverhalte um so erstrebenswerter ist, „auf je weniger logisch unabhängige begriffliche Elemente man den ganzen Bau zu stützen vermag.“ (Einstein zitiert nach Holton 1984, S. 148) Es spricht in diesem Sinne für die Verwendung des Fermat-Prinzips, daß es alle Gesetze der geometrischen Optik in einem Prinzip vereinigt.

c) **Einführung des Bildpunktes als Schnittpunkt - Ergänzung zum Fermat-Prinzip.** In der üblichen Darstellung entsteht ein reelles Bild am Schnittpunkt mehrerer vom gleichen Objektpunkt kommender Lichtstrahlen. Das Vorhandensein des Bildes wird somit anhand der Konstruktion eingeführt. Die Verwendung des Fermat-Prinzips legt dagegen eine andere Interpretation nahe: Mit dem Begriff „Lichtweg“, der den Ausbreitungsaspekt hervorhebt, und der Formulierung, daß mehrere gleichlange Wege über einen Spiegel gegeben sein können, die dann alle vom Licht genommen werden, wird das Augenmerk auf die Helligkeit bzw. die Beleuchtungsstärke gerichtet: Nimmt das Licht mehrere Wege zu einem Punkt, muß dieser „heller sein“. Ein Bildpunkt unterscheidet sich von seiner Umgebung demnach dadurch, daß dort mehr Licht von dem betreffenden Objektpunkt ankommt. Dieser Gedankengang bezieht deutlicher typisch physikalische Gesichtspunkte, wie etwa die zumindest qualitative Verwendung einer Größe (Beleuchtungsstärke), ein.

⁶ vgl. hierzu etwa Weizsäcker (1949, S. 163 ff).

d) **Strahlkonstruktion - Form abbildender Objekte.** Als Nachteil der Formulierung mit Hilfe des Fermat-Prinzips ist festzuhalten, daß typische Konstruktionsaufgaben nicht bearbeitet werden können. Dies hat zur Folge, daß an dieser Stelle des Unterrichts doch das Reflexions- bzw. Brechungsgesetz verwendet oder auf die Konstruktion verzichtet werden muß. Für die zweite Variante spricht, daß die Konstruktion in der Schule sich ohnehin auf eine Zeichenaufgabe reduziert. In der Folge des Fermat-Prinzips kann dagegen zumindest qualitativ die Form von Spiegeln und Linsen erarbeitet werden.

e) **Welle - Zeigerformalismus.** Der Zeigerformalismus beinhaltet alle schulüblichen Elemente, die auch zur Beschreibung von Wellenvorgängen notwendig sind. Als Nachteil ergibt sich, daß die Verwendung von Analogien zu mechanischen Wellen nicht möglich ist. Als Vorteil erweist sich, daß das sogenannte Dualismusproblem nicht entsteht und eine moderne Sicht der Phänomene erarbeitet wird. Der Gebrauch der Phasenzeiger, der allerdings auch im Wellenbild möglich wäre, vereinfacht die Neuinterpretation der geometrischen Optik.

f) **Interferenz- und Beugungsbilder.** Der Gebrauch der Phasenzeiger vereinfacht die Beschreibung auch schwierigerer Beugungsphänomene (Erb 1995b). Dadurch ist ein vertieftes Verständnis von Beugungsphänomenen, insbesondere auch im Hinblick auf die optische Abbildung, möglich.

Zusammenfassend läßt sich u.E. festhalten, daß beide Vorgehensweisen bei der Betrachtung ihrer fachlichen Eignung spezifische Vor- und Nachteile aufweisen. Eine Ablehnung oder Bevorzugung wird im Hinblick auf die fachliche Eignung somit nicht nahegelegt.

4.2 Pädagogische Aspekte

Zur Bewertung der vorgeschlagenen Alternative unter pädagogischen Aspekten sind Forderungen an den Physikunterricht oder allgemein an den Schulunterricht heranzuziehen (zum Bildungswert vgl. etwa Hentig 1996; Willer 1990; Schön 1997b). In diesem Abschnitt soll dies unter zwei Gesichtspunkten geschehen.

4.2.1 Kumulatives Lernen

Der erste Gesichtspunkt, der hier besonders beachtet werden soll, hat im Zusammenhang mit TIMSS erneut Bedeutung gewonnen. Er betrifft die Frage, inwieweit der Unterricht *kumulatives Lernen* ermöglicht und somit die Wertung eines in Abschnitt 4.1 b) angeführten fachlichen Aspekts aus pädagogischer Sicht.

Diese Frage dient zur Beurteilung des Unterrichtsgeschehens daraufhin, ob der Unterricht die Schülerinnen und Schüler erkennen läßt, daß sich das Lernen in der Vergangenheit in der gegenwärtigen Situation als lohnenswert erweist. Ein Vergleich der Lernzuwächse in verschiedenen Fächern im Verlauf der Schuljahre 7 bis 10 hat ergeben, daß der Physikunterricht hier schlecht abschneidet: „... in Physik scheint es manchmal so zu sein, als ob neuer Stoff früher erworbenes Wissen weder voraussetzt noch ausbaut.“ (Köller 1996, S.19)

Eine in der Folge von TIMSS (Baumert 1997) erstellte Expertise nimmt ebenfalls auf diesen Aspekt Bezug:

„Schülerinnen und Schüler, die sich über mehrere Jahre mit mathematischen und naturwissenschaftlichen Inhalten auseinandersetzen, müssen spüren können, daß sie in ihrer fachbezogenen Kompetenzentwicklung sukzessive voranschreiten. Dies wird dann erfahrbar, wenn sie eine Vorstellung darüber entwickeln konnten, wie die Lerninhalte aufeinander aufbauen und in dieser Verknüpfung die Grundlage für ein Verständnis komplexer Sachverhalte schaffen. (...) Zu entwickeln und zu erproben wären Unterrichtseinstiege und Aufgabenstellungen, die früher Gelerntes mit dem aktuellen Lehrstoff systematisch verbinden.“ (BLK-Materialien 1997, S.93f)

Dies sollte nun gerade in der Physik, die sich durch eine gewisse Denkökonomie auszeichnet (Mach 1910), möglich sein. Um so erstaunlicher ist es, daß sich dies offensichtlich zu wenig auf den Physikunterricht ausgewirkt hat. Hat sich der Kanon der Unterrichtsinhalte zu sehr an der Fülle der Einzelaspekte

orientiert, wie dies auch Wagenschein immer wieder kritisiert hat? Oder ist die Ausrichtung an vermeintlich im Alltag verwertbarem Wissen dafür verantwortlich, obwohl es „zunehmend empirische Belege dafür (gibt), daß in der Schule erworbenes mathematisches und naturwissenschaftliches Wissen in Alltagskontexten nicht anwendbar ist“ (Roth 1995, S.147)? Die Art des beim Lernen verwendeten Kontextes scheint jedenfalls weniger relevant zu sein, als die Frage, ob es sich für die Lernenden um einen tatsächlich sinnstiftenden Kontext handelt (BLK-Materialien 1997).

In diesem Sinne läßt sich auch die Kritik Wagenscheins an der gängigen Schulpraxis verstehen. Mit der Formulierung „Verstehen heißt verbinden“ verdeutlicht er die Notwendigkeit, beim Blick auf die Physik Zusammenhänge erkennbar zu machen (Wagenschein 1976, S.193) Spreckelsen hat in ähnlichem Zusammenhang von der Notwendigkeit „beziehungsvollen Erkennens“ gesprochen (Spreckelsen 1979, S.61).

Unter diesem Gesichtspunkt ergibt sich ein Vorteil bei der Verwendung der hier skizzierten Änderungen. Die vertikale Vernetzung wird für Schülerinnen und Schüler am deutlichsten wirksam, wenn sie im Verlaufe des

Schulbesuchs alle drei Bausteine und damit deren externe Vernetzung kennenlernen. Diese Vernetzung ist im jeweiligen Baustein durch die Weiterentwicklung der Beschreibung aus dem vorangegangenen Baustein, die Beibehaltung des zentralen Begriffs des Lichtweges und die wiederholte Thematisierung der optischen Abbildung gewährleistet. Durch eine interne vertikale Vernetzung wird kumulatives Lernen in Baustein 2 durch die Erarbeitung des Fermat-Prinzips und das damit verbundene Anwachsen der Erklärungsmächtigkeit in höherem Maße ermöglicht und erfahrbar gemacht, als bei der üblicherweise verwendeten Beschreibung der Phänomene mit Hilfe mehrerer, eher unverbundener Gesetze (vgl Tab.3).

4.2.2 Stellenwert der Inhalte

Wie schon ausgeführt stellt sich das Thema „Optische Abbildung“ im schulüblichen Vorgehen im wesentlichen als die Konstruktion reeller Bilder dar. Mit dem Fermat-Prinzip wird der Blick dagegen mehr auf die Frage gelenkt, wodurch sich ein reelles Bild auszeichnet.

Eine Bewertung dieser unterschiedlichen Inhalte kann sich zum einen an Forderungen

Baustein	Beschreibung	Inhalte	
1 Vom Sehen zur Optik	Von der Blickrichtung zum Lichtweg	Erleben der Dunkelheit Schatten Spiegel optische Hebung Blick durch die Linse	
2 Geometrische Optik	Fermat-Prinzip Ergänzung	geradlinige Ausbreitung Reflexion Brechung optische Abbildung	
3 Weiterführende Optik	Zeigerformalismus	Interferenz Beugung Quantenphänomene optische Abbildung	

Tabelle 3: Vertikale Vernetzung einzelner Elemente unseres Curriculums

an den Physikunterricht orientieren. Unserer Meinung nach sollte der Unterricht nicht vorranglich auf eine Verwertbarkeit der Inhalte im technischen Sinne bezogen sein, sondern, wie schon in Abschnitt 2.1 formuliert, eher das Entstehen der Grundlagen dieser Verwertbarkeit aufzeigen. Hierzu ist die vorgeschlagene Alternative, wie Abschnitt 4.1 c) zeigt, besser geeignet.

Darüberhinaus zeigt sich häufig, daß im schulüblichen Vorgehen vorhandene Schülervorstellungen nicht ausreichend aufgearbeitet und der Modellbildungsprozeß hin zum Lichtstrahl nicht deutlich als solcher thematisiert wird. Aus der Vielzahl der Befunde (eine Übersicht gibt Gropengießer 1997) sei hier stellvertretend Galili genannt: „Light rays are interpreted as material entities physically existing (like water particles comprising water).“ (Galili 1996, S.852). Über Probleme in der Anwendung der Konstruktionstechnik berichtet Wiesner (1992).

Dies spricht für einen bewußten Umgang mit der Fragestellung nach der Ausbreitung des Lichtes, damit u.E. für die Verwendung des Begriffs „Lichtweg“ und für eine Reduzierung des Anteils der Konstruktionsaufgaben.

4.3 Lernpsychologische Aspekte

Unter diesem Aspekt soll im vorliegenden Beitrag ein besonders naheliegender Kritikpunkt bezüglich der Verwendung des Fermat-Prinzips aufgegriffen werden: Besteht die Gefahr, daß die bei der Erarbeitung des Fermat-Prinzips von den Schülerinnen und Schülern erwartete Abstraktionsleistung das Verstehen des Themas „Optische Abbildung“ nicht verbessert, sondern verhindert?

Was ist mit „Verstehen“ der Inhalte gemeint? Der geisteswissenschaftlich fundierte Begriff kann im Hinblick auf den Lernprozeß als Forderung verstanden werden, den Unterricht so zu gestalten, daß einzelne Inhalte nicht ohne Sicht der Zusammenhänge gelernt, sondern in Konzepte (Begriffe) eingebunden werden (Pines 1985, S.112). Hierfür hat sich der Begriff *bedeutungsvolles Lernen* im Gegensatz zum Auswendiglernen etabliert: „Meaningful

learning results when a person consciously and explicitly ties new knowledge to relevant concepts or propositions they already possess.“ (Novak/Gowin/Johansen 1983, S.625).

Von besonderer Bedeutung ist dieser Prozeß aber für den naturwissenschaftlichen Unterricht, in dem umfassenden Beziehungen zwischen Begriffen ein großer Stellenwert zukommt, da er nicht vorranglich an der Vermittlung von Einzelfakten interessiert sein kann (vgl. Abschnitt 4.2.1), sondern es ihm um „das Lernen wichtiger Teile der Naturwissenschaften, also von Begriffen und Regeln, die in einem Zusammenhang stehen, ein Netz bilden“, geht (Stork 1995, S.17). Auch Aebli sieht den Prozeß der Begriffsbildung als Aufbau von Beziehungsnetzen (Aebli 1994, S.95). Jung spricht davon, daß sich Theoriebildung auf ein Netz von Begriffen stützt (Jung 1979, S.2).

Um sich Begriffe zu erschließen, müssen die Lernenden aus einer Vielzahl von Einzelereignissen abstrahieren. Unter „Abstraktion“ verstehen wir dabei den Prozeß, „in dem das in den Individuen (in dem Einzelnen, dem Besonderen) enthaltene Allgemeine durch Absehen von unwesentlichen Merkmalen bei gleichzeitigem Herausheben und Festhalten von wesentlichen Merkmalen erkannt wird.“ (Friede 1988, S.130). Es hat sich als sinnvoll erwiesen, von der für den Erwerb des alltäglichen Wissens notwendigen wahrnehmungsbezogenen Abstraktion, die sich auf konkrete Objekte oder Ereignisse bezieht, diejenige, die für das Bilden wissenschaftlicher Begriffe erforderlich ist, zu unterscheiden: „(...) other concepts are invented at higher levels of abstraction by relating subordinate concepts to one another.“ (Pines 1985, S. 108) Hierfür ist (meist) eine *bewußte* Abstraktionsleistung, bestehend aus Ideation und Induktion erforderlich. Aus erkenntnistheoretischen Überlegungen ist die Abstraktionsleistung ohnehin unumgänglich und läßt sich insofern nicht gegen Anschaulichkeit aufwiegen (Vollmer 1994).

Eine besondere Rolle spielen nach Wittrock dabei „higher-order relationships“ : „(...) meaningful learning is a student generative process that entails construction of relations, either assimilative or accommodative, among experience, concepts, and higher-order princi-

ples and frameworks. It is the construction of these relations between and within concepts that produces meaningful learning.” (Wittrock 1985, S.261f)

In der Physik stellen Theorien, Gesetze und Prinzipien derartige „higher-order relationships“ dar. Sie stehen in einer Abstraktionshierarchie vergleichsweise weit oben (Friede 1988, S.138) und spielen hier eine größere Rolle als beim Alltagswissen. Sie bieten eine Möglichkeit, vertikale Vernetzung im Unterricht aufzuzeigen, wenn ihre Erklärungsmächtigkeit über einen weiten Bereich wirksam wird.

In dem vorangegangenen Abschnitt ist der Versuch gemacht worden, die Möglichkeit der vertikalen Vernetzung von Unterrichtsinhalten am Beispiel der optischen Abbildung aufzuzeigen. Hierzu wurde eine abstrakte Beschreibung verwendet, die die Einbindung der verschiedenen Phänomene erlaubt. Nach den hier dargestellten Aussagen erscheint es auch aus lernpsychologischen Gründen sinnvoll, Unterrichtsinhalte an derartige *higher-order relationships* anzuknüpfen.

Es bleibt jedoch die Frage, ob Lernende diese abstrakten Zusammenhänge in unserem konkreten Fall verwenden. Wir haben hierzu eine erste Untersuchung mit Studentinnen und Studenten in Anfangssemestern durchgeführt. Dabei wurde in einem Optik-Seminar ein concept-mapping-Verfahren benutzt, das durch Bewertung der aufgezeichneten Verknüpfungen Aufschluß über die Komplexität der Wissensstruktur geben kann (Novak 1984). Die 17 Seminarteilnehmerinnen und -teilnehmer haben vor und nach der Behandlung eines Teilaspektes des Themas „Optische Abbildung“ ein concept-map erstellt, bei dem keine Begriffe vorgegeben wurden. Das erste map dokumentierte somit den Kenntnisstand, der sich aus dem Schulwissen, dem während des Studiums erworbenen Wissen und Alltagserfahrungen zusammensetzte, das zweite die aktuellen Veränderungen.

Die Auswertung ergab, daß ungefähr die Hälfte der Seminarteilnehmerinnen und -teilnehmer das Fermat-Prinzip im zweiten concept-map verwendet hatte, wobei die Anbindung an die optische Abbildung nur in wenig aussage-

kräftiger Form zu finden war. Darüberhinaus ergab sich keine signifikante Erhöhung des Komplexitätsniveaus bei den maps, die das Fermat-Prinzip berücksichtigten. Dies spricht auf den ersten Blick zwar nicht gegen, aber auch nicht für die gemachten Änderungsvorschläge. Die angebotene „Ordnungsmöglichkeit“ auf abstrakterem Niveau wurde jedenfalls nicht in erwartetem Maße genutzt. Dagegen war der deutlich geäußerte, subjektive Eindruck der Lernenden von der Reichweite der erarbeiteten Beschreibung durchaus positiv, weshalb auch die von uns angewendete Vorgehensweise bei der Untersuchung kritisch betrachtet werden muß.

An erster Stelle ist anzumerken, daß wir im Seminar nur einen Teil der vorgesehenen Änderungen umsetzen konnten - ihr Vorteil aber unserer Meinung nach gerade aus der in sich schlüssigen Darstellung vieler Einzelaspekte resultiert. Zweitens hatten die Teilnehmenden schon zum Teil umfangreiche Vorkenntnisse, von denen möglichst viele in einen Zusammenhang mit dem neu zu Erlernenden hätten gebracht werden müssen. Zum Dritten erscheint uns jetzt die Auswertung der maps im Hinblick auf das Komplexitätsniveau nicht mehr die vorrangige Aufgabe zu sein. Da wir erwarten, daß sich neue Begriffszusammenhänge auch *neben* vorhandenen bilden, erscheint es sinnvoller, die im Seminar verwendeten Begriffe als Vorgabe zum Erstellen des maps anzubieten. Dadurch könnte vermieden werden, daß die gewohnten Begriffe dominieren, und wir können dann speziell den mehr oder weniger gelungenen Einbau der neuen Zusammenhänge untersuchen.

4.4 Evaluation

Zur Evaluation des Curriculums wurden die Elemente in Vorlesungen und Seminaren zum Thema „Optik“ Studentinnen und Studenten zur Diskussion gestellt. Desweiteren hat eine Reihe von Unterrichtsversuchen in Klassen der Sekundarstufe I und in Grund- und Leistungskursen der Sekundarstufe II stattgefunden. Die Einschätzung des Unterrichtsverlaufs hat wiederholt zu Änderungen des Curriculums Anlaß

gegeben. Dokumentationen verschiedener Variationen liegen insbesondere auch in Form von Arbeiten zur Erlangung des Zweiten Staatsexamens vor. Darüberhinaus wurden Lehrerfortbildungen durchgeführt. Das Thema „Optische Abbildung“ ist hierbei bislang nur ansatzweise berücksichtigt worden.

Zur Zeit wird die Erweiterung des Curriculums auf Inhalte aus der Atomphysik im Unterricht erprobt.

5. Ausblick

Umfassende stoffdidaktische Forschungsarbeiten zeichnen sich dadurch aus, daß sie zumindest einen Teil Entwicklungsarbeit beinhalten. Sie gehen in unserem Fach von gewissen Grundannahmen aus, deren erste die Überzeugung ist, daß der Physikunterricht verbesserungsbedürftig aber auch verbesserungswürdig ist. Es werden weiter bestimmte Fachinhalte und Erkenntnisse oder Grundsätze aus dem pädagogischen und lernpsychologischen Umfeld herangezogen.

Durch diesen Prozeß ergibt sich die Idee einer Neuordnung und –sequenzierung des Themas. Da die notwendigen Überlegungen zumindest teilweise parallel ablaufen können, ist nicht leicht nachzuvollziehen, welcher Gedanke welchen beeinflußt hat: Es ergibt sich die Frage, ob in der folgenden Entwicklung zunächst das Wissen über Lernprozesse und Schülervorstellungen die Suche nach geeigneten Lernwegen bestimmt oder ob die intuitiv, aus der eigenen Unterrichtspraxis oder auf anderem Wege gewonnene Vorstellung einer Unterrichtsidee im Hinblick auf ihren Zusammenhang mit Erkenntnissen der Pädagogik und Lernpsychologie untersucht wird. Spontan ist man geneigt, dem letztgenannten Vorgehen die Wissenschaftlichkeit abzustreiten. Allerdings gehen zum einen schon Erkenntnisse in die erste Formulierung solch einer Idee ein – zum anderen wird auch ein z.B. von bestimmten Erhebungen über Schülervorstellungen ausgehendes Vorhaben andere eher intuitiv angelegte Argumente nicht ausblenden können. Die Frage, welcher

der Aspekte am Anfang steht, stellt sich also u.E. in dieser Schärfe nicht, sondern dies kommt erst in einer Schwerpunktsetzung zum Ausdruck.

Liegt dieser Schwerpunkt so, daß empirische Erkenntnisse den Beginn dominieren, so ist aber zu bedenken, daß aus diesen nicht streng ein bestimmtes Vorgehen im Unterricht abgeleitet werden kann. Ist die Reihenfolge eher anders, besteht die Gefahr, daß pädagogische und lernpsychologische Grundlagen lediglich so ausgewählt werden, daß sie zu der gewählten Idee passen oder ein sich anschließendes Evaluationsergebnis zu leicht als Erfolg gewertet wird.

Das Hauptanliegen des vorliegenden Beitrages war es deshalb, einige der aus unserer Sicht für die Ausarbeitung von unterrichtlichen Alternativen relevanten Fragen zu formulieren und im Hinblick auf unser Thema zu beantworten. Muß auch die Eignung einer Alternative letztlich vom Unterrichtenden angesichts der konkreten Situation immer wieder neu beurteilt werden, so ist doch eine Gesamtbewertung anhand der Fragen (I) und (II) auf allgemeiner Ebene möglich.

In unseren Augen spricht trotz der in Abschnitt 4.3 dokumentierten ersten Ergebnisse einiges – insbesondere die pädagogisch als Vorteil zu wertende Möglichkeit einer in sich schlüssigen Gesamtsicht – für die weitere Auseinandersetzung mit einer Neuordnung des Themas „Optische Abbildung“. In einem nächsten Schritt wollen wir untersuchen, ob es eine Möglichkeit gibt, im Anschluß an die Abfolge *Sammeln von Licht - Ergänzung zum Fermat-Prinzip - Form von Hohlspiegel und Linse - Photometrie - Lochkamera - Bildbedingung - Abbildung mit Hohlspiegel und Linse die Konstruktion* reeller Bilder zu erfassen, auch wenn uns dies, wie oben angeführt, eher untergeordnet erscheint.

Anlaß zur Kritik an dieser Bewertung der vorgestellten Alternative gibt sicher die vorrangige Orientierung an Forderungen, die vergleichsweise allgemein angelegt sind. Unseres Erachtens ist dies ein Problem des Umfangs der geforderten Änderungen: Eingrenzbare Defizite lassen sich eventuell durch

kleine Korrekturen im konkreten Unterrichtsgeschehen beseitigen – jedoch schon die Erarbeitung einer sinnvollen Modellvorstellung für die Ausbreitung des Lichtes in der geometrischen Optik verlangt die Diskussion über den Bildungswert des Physikunterrichtes. Aus dieser Diskussion und deren Ergebnis ergibt sich u.E. der verallgemeinerbare, übertragbare Anteil eines stoffdidaktischen Forschungsvorhabens wie des unseren.

Literatur

- Aebli, H. 1994. Denken: Das Ordnen des Tuns. Bd 2. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Baumert, J. u.a. 1997. TIMSS – Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Opladen: Leske + Budrich.
- BLK-Materialien. 1997. Materialien zur Bildungsplanung und Forschungsförderung, BLK-Reihe Heft 60: Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“.
- Davis, Philip J. 1994. Erfahrung Mathematik. Basel (u.a.): Birkhäuser.
- Erb, Roger. 1994. Optik mit Lichtwegen: Das Fermat-Prinzip als Grundlage für das Verstehen der Optik. Bochum; Magdeburg: Westarp Wissenschaften [zugl. Diss.].
- Erb, Roger. 1995a. Curved Mirrors. *Physics Education*, vol. 30, 287-289.
- Erb, Roger. 1995b. Berechnung von Beugungsbildern. *MNU* 48/5, S.281-284.
- Erb, Roger. 1997. Licht vom Spiegel. *MNU* 50 (1997) 4, 223-227.
- Erb, Roger; Schön, Lutz. 1996. Vom Sehen zur Optik - Ein Curriculum für die Mittelstufe. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik* 8/45, 31-36.
- Erb, Roger; Schön, Lutz. 1997. Ein Blick in den Spiegel - Einblick in die Optik. In: Hans E. Fischer (Hg.). *Handlungs- und kommunikationsorientierter Unterricht in der Sek.II.* Ferd. Dümmlers Verlag, 30-54.
- Feynman, Richard P. 1988. *QED - Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie.* München: Piper.
- Feynman, Richard P. 1990. *Vom Wesen physikalischer Gesetze.* München: piper.
- Friede, Christian. 1988. Abstrakte Erziehungsziele. In: Prätor, K. (Red.). *Aspekte der Abstraktionstheorie.* Aachen: Rader, 119-155.
- Galili, I. 1996. Students' conceptual change in geometrical optics. *International Journal of Science Education*. 18, 847-867.
- Gropengießer, Harald. 1997. Schülervorstellungen zum Sehen. *ZfDN* 3 Heft 1, 71-87.
- Hecht, Eugene. 1989. *Optik.* Bonn (usw.): Addison-Wesley.
- Hentig, H.v. 1996. *Bildung.* München; Wien.
- Hofmann, Christian. 1980. *Die optische Abbildung.* Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft.
- Holton, Gerald.1984. *Themata.* Braunschweig: Vieweg.
- Jung, W. 1979. *Optik für die Sekundarstufe I.* Frankfurt/M.(usw.): Diesterweg.
- Kattmann, Ulrich; Reinders Duit; Harald Gropengießer; Michael Komorek. 1997. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftliche Forschung und Entwicklung. *ZfDN* 3 (1997) Heft 3, 3-18.
- Klafki, Wolfgang. 1963. *Studien zur Bildungstheorie und Didaktik.* Weinheim; Basel: Beltz.
- Köller, O. 1996. Die Entwicklung der Schulleistungen und psychosozialer Merkmale während der Sekundarstufe. In: MPI für Bildungsforschung (Hg.). *Bildungsverläufe und psychosoziale entwicklung im Jugendalter (BIJU) – 2.* Bericht für die Schulen. Berlin. 13-24.
- Mach, E. 1910. *Populärwissenschaftliche Vorlesungen.* Leipzig.
- Novak, J.D.; D.B. Gowin; G.T. Johansen. 1983. The Use of Concept Mapping and Knowledge Vee Mapping with Junior High School Science Students. *Science Education* 67 (5), 625-645.
- Novak, J.D.; D.B. Gowin. 1984. *Learning how to learn.*Cambrifge (usw.): Cambridge University Press.
- Pines, A.L. 1985. Toward a taxonomy of conceptual relations and the implications for the evaluation of cognitive structures. In: West, L.H.T.; Pines, A.L. *Cognitive structure and conceptual change.* Orlando (usw.): Academic Press, 101-116.
- Roth, Wolff-Michael. 1995. *Ethnographische Studien zum offenen Experimentieren im Physikunterricht.* *Unterrichtswissenschaft* 23 (1995), 146-161.
- Schön, Lutz. 1997a. Welche Form müssen gekrümmte Spiegel haben? *Physik in der Schule* 35, 98-101.

- Schön, Lutz. 1997b. Für das Schulfach Physik. In: Droht die Abschaffung der Physik in der Schule? Phys. Bl. 53, 899-901.
- Spreckelsen, Kay. 1979. Das Prinzip des Beziehungsvollen Lernens. In: Kh. Wöhler (Hg.). Didaktische Prinzipien. München: Ehrenwirth, 57-84.
- Stork, H. 1995. Was bedeuten die aktuellen Forderungen "Schülvorstellungen berücksichtigen, 'konstruktivistisch' lehren!" für den Chemieunterricht in der Sekundarstufe I?. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 1, 15-28.
- Vollmer, G. 1994. Evolutionäre Erkenntnistheorie. Stuttgart: Hirzel.
- Wagenschein, Martin. 1970. Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken II. Stuttgart: Klett, 149-157.
- Wagenschein, M. 1976. Die Pädagogische Dimension der Physik. Braunschweig: westermann (1. Aufl. 1962).
- Wiesner, Hartmut. 1992. Wie erklären Mittelstufenschüler nach Optikunterricht die Abbildungen an Lochblenden? In: K.H. Wiebel (Hg.). Zur Didaktik der Physik und Chemie – Vorträge Hamburg 1991. Alsbach: Leuchtturm, 302-304.
- Willer, J. 1990. Physik und menschliche Bildung. Eine Geschichte der Physik und ihres Unterrichts. Darmstadt: Wiss. Buchges.
- Weizsäcker, C.F. v. 1949. Zum Weltbild der Physik. Stuttgart.
- Wittrock, M.C. 1985. Learning science by generating new conceptions from old ideas. In: L.H.T. West; A.L. Pines (Ed.). Cognitive Structure and conceptual change. Orlando: Academic Press.

Dr. Roger Erb ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Gesamthochschule Kassel.

Dr. Roger Erb
Fachbereich Physik
Universität Gesamthochschule Kassel
34109 Kassel