

Wiesner, Hartmut
Physikunterricht - an Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten orientiert

Unterrichtswissenschaft 23 (1995) 2, S. 127-145



Quellenangabe/ Reference:

Wiesner, Hartmut: Physikunterricht - an Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten orientiert - In: Unterrichtswissenschaft 23 (1995) 2, S. 127-145 - URN: urn:nbn:de:0111-opus-81256 - DOI: 10.25656/01:8125

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-opus-81256>

<https://doi.org/10.25656/01:8125>

in Kooperation mit / in cooperation with:

BELTZ JUVENTA

<http://www.juventa.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, auführen, 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

Unterrichtswissenschaft

Zeitschrift für Lernforschung
23. Jahrgang / 1995 / Heft 2

Thema: Empirische Forschung in der Physikdidaktik

Verantwortlicher Herausgeber:
Reinders Duit

- Reinders Duit:
Empirische physikdidaktische Unterrichtsforschung 98
- Peter Häußler, Lore Hoffmann:
Physikunterricht –
an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert 107
- Hartmut Wiesner:
Physikunterricht –
an Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten orientiert 127
- Wolff-Michael Roth:
Ethnographische Studien zum offenen Experimentieren
im Physikunterricht 146

Allgemeiner Teil

- Jannis E. Vrettos:
Die Konzeption eines Microteaching-Programms in Griechenland:
Empfehlungen für das Training der Lehramtsstudierenden 162
- Wilhelm Hagemann, Franz-Josef Rose:
Ausländer bevorzugt entlassen? Urteile von Lehramtsstudenten
in Ost- und Westdeutschland 175

Buchbesprechungen 190

Hartmut Wiesner

Physikunterricht – an Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten orientiert

Physics instruction –
based on students' conceptions and learning difficulties

Die Vorstellungen, die Schülerinnen und Schüler in den Unterricht hineinbringen, haben sich in zahllosen Untersuchungen als wichtiger Faktor für das Lernen herausgestellt. Diese Vorstellungen bestimmen, wie das vom Lehrer oder Lehrbuch Dargebotene verstanden wird. Nicht selten sind sie die Ursache wichtiger Lernschwierigkeiten. In diesem Beitrag wird ein Forschungsprogramm vorgestellt, das von Untersuchungen zu Vorstellungen und Lernschwierigkeiten in einem wichtigen Gebiet der Physik, der Optik, bis zur Entwicklung und Evaluation von neuen Unterrichtsansätzen reicht. Es zeigt sich, daß unser neuer Optikunterricht, der sich an den vorunterrichtlichen Vorstellungen der Schüler orientiert, herkömmlichem Unterricht signifikant überlegen ist.

In numerous studies, students' preinstructional conceptions have proven a key factor in learning. These conceptions determine students' understanding of what the teacher or the textbook presents. Very often they are the cause of serious learning difficulties. In the following article, a research program is outlined that includes research on students' preinstructional conceptions in a major domain of elementary physics instruction, namely optics, and the development and evaluation of a new teaching unit. It turns out that our new teaching approach, that is deliberately based on students' conceptions, is significantly superior to the traditional teaching of optics.

Zu den weniger erfreulichen Erfahrungen von Physiklehrerinnen und -lehrern zählt, daß viele Schülerinnen und Schüler bereits nach wenigen Wochen oder Monaten auf zurückliegende Unterrichtsinhalte (Phänomene, grundlegende physikalische Vorstellungen, Gesetze, ...) nicht mehr zurückgreifen können, daß am Ende einer Unterrichtseinheit über einen bestimmten Inhaltsbereich noch immer ähnlich unangemessene Vorstellungen dominieren wie zu Beginn oder die Schülerinnen und Schüler je nach Kontext Alltagsvorstellungen oder die im Unterricht angebotenen wissenschaftlichen Vorstellungen aktivieren. Empirische Untersuchungen in einer kaum noch überschaubaren Zahl haben diese Erfahrungen in den letzten beiden Jahrzehnten bestätigt (am umfassendsten zusammengestellt in Pfundt & Duit, 1994). Schülerinnen und Schüler haben danach erhebliche Schwierigkeiten, die physikalischen Vorstellungen zu akzeptieren bzw. zu lernen. Diese Vorstellungen werden oft gerade nicht als verständlicher, plausibler, fruchtbarer

und befriedigender als die im Alltag so oft bewährten unphysikalischen Vorstellungen angesehen und erfüllen damit nicht die von Posner, Strike, Hewson und Gertzog (1982) geforderten Voraussetzungen für einen erfolgreichen Wechsel der Vorstellungen. Und selbst wenn sie verstanden und akzeptiert werden, wird das neue Wissen nicht integriert, es entsteht kompartimentalisiertes Wissen (Mandl, Gruber & Renkl 1993a, 1993b), das „träge“ und in physikalischen Zusammenhängen wenig nützlich ist. Diese Defizite des Physikunterrichts sind seit längerem bekannt, und intensive Bemühungen zur Abhilfe haben bereits einige Erfolge gebracht. Im folgenden wird ein Beispiel eines solchen erfolgreichen Arbeitsprogramms beschrieben, das über viele Jahre an der Universität Frankfurt von W. Jung und Mitarbeitern (u.a. M. Berck, R. Blumör, J. Claus, P. Engelhardt, W. Heisl, H. Hock, U. Maichle, H. Wiesner) durchgeführt wurde. Die hinter unseren Bemühungen stehenden Auffassungen vom Lernen waren vorwiegend beeinflusst von Schematheorien, Ansätzen mentaler Modelle (s. die Überblicke von Tergan, 1986 und Mandl & Spada, 1988) und informationsverarbeitenden Ansätzen (s. Siegler, 1986, S. 62ff.), ohne ausschließlich einem spezifischen Ansatz (z.B. dem Stufenmodell zum Erwerb physikalischen Wissens von Forbus und Gentner, 1986) verpflichtet zu sein.

Jung hat unsere - wie man heute etwas modisch sagt - konstruktivistische Auffassung vom Lernen und Verstehen folgendermaßen beschrieben: „Der Zuhörer muß dem, was er hört, und dem was er sieht, einen Sinn geben. Und das ist nur möglich, indem er Verbindungen mit schon Bekanntem herstellt, also konstruiert. ... In einem gewissen Sinn wird die Information vom Aufnehmenden konstruiert, indem er schon gespeicherte Vorstellungen aktiviert, in die er die Eingabe einordnet.“ (Jung 1986) Hier wird die große Bedeutung des Prozesses der Enkodierung deutlich, der eine zentrale Rolle in den informationsverarbeitenden Ansätzen der kognitiven Psychologie spielt: „... encoding involves identification of sets of features for internally representing objects and events in particular situations. The very idea of encoding implies that the nature of information processing is active rather than passive; some information is focused on, while other parts are ignored or processed only superficially ... Thus emphasizing encoding implies that the information-processing system is not simply a videocassette machine that blindly records experience. Rather, it is an active interpreter and organizer of experience“ (Siegler, 1986, S. 89). Der Aufbau von Verstehensrahmen, in die Information eingeordnet werden kann, ist offensichtlich keine Aufgabe, die von den Schülern im Vorübergehen zu leisten ist. Um geeignete, erfolgversprechende Informationsangebote und Lehrstrategien (s. dazu Vosniadou & Brewer, 1987, Scott; Asoko & Driver, 1992) entwickeln zu können, ist es erforderlich, die bei den Schülern vor dem Unterricht bereits vorhandenen Vorstellungen und Konzeptionen zu ermitteln, die für die zu unterrichtenden Inhalte relevant sein können. Denn „(Vor-)Wissen ist eine zentrale Voraussetzung erfolgreicher kognitiver Informationsverarbeitung“ (Tergan, 1986, S. 3). Ein erheblicher Teil unserer Aktivitäten bestand deshalb darin, die Konzeptionen der Schülerinnen und Schüler zu verstehen und zu beschreiben

(im Sinne der Phänomenographie von Marton, 1981; s. auch Jung, 1987, Jung, 1989).

1. Untersuchungen der Vorstellungen und Lernschwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern im Bereich der elementaren Optik

Unter Berücksichtigung eigener Arbeiten und von Resultaten anderer Arbeitsgruppen (s. z.B. Hock, 1980; Claus, 1981; Jung, 1982, 1985; Claus, Stork & Wiesner, 1982; Andersson & Kärquist, 1983; Guesne, 1984; Goldberg & McDermott 1986, 1987; Rice & Feher, 1987) führten wir von 1985-88 ein von der DFG finanziertes Projekt durch, in dem mit verschiedenen Methoden mehrere Bereiche der Optik untersucht wurden und zwar sowohl bei Schülern der Primarstufe als auch bei Sekundarstufenschülern (6. Klasse, vor Optikunterricht). Die fünf Themenbereiche waren „Sehen“, „Licht als strömendes Etwas“, „Spiegelbild“, „Bild“ (Bildbegriff allgemein und Einordnung verschiedener optischer Bilder) und „Farben“. Zu allen fünf Themen wurden strukturierte Interviews und schriftliche Befragungen (Auswahlantworten, freie Antworten, Abbildungen ergänzen) durchgeführt, mit denen die Schülervorstellungen und eine eventuelle Veränderung der Vorstellungen mit dem Alter ermittelt werden sollten. Zu drei Themen wurden Einzellehrgespräche durchgeführt, in denen sich Primarstufenschüler ähnlich wie in „normalem“ Unterricht mit der Sehvorstellung, dem Spiegelbild und Farben auseinandersetzten. Ergänzend zu diesen Standardtechniken entwickelten wir eine in dieser Form noch nicht eingesetzte Befragungstechnik, von uns Akzeptanzbefragung genannt. Darauf wird später ausführlicher eingegangen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über das gesamte DFG-Projekt mit den verschiedenen Befragungstypen und der Anzahl der jeweils beteiligten Schüler (NP = Zahl der Primarstufenschüler; NS = Zahl der Sekundarstufenschüler; in Klammern: außerhalb des DFG-Projektes durchgeführte, ergänzende Befragungen):

Tabelle 1:
Überblick über die Befragungen im DFG-Projekt
„Schülervorstellungen über elementare optische Sachverhalte“

	Interviews		Einzellehr- gespräche N _P N _S	schriftliche Befragung		Akzeptanz- befragung	
	N _P	N _S		N _P	N _S	N _P	N _S
Sehen	20	12	17	368	366	34	13 (+6)
Strömung	13	17		379	378		
Spiegelbild	16	15	17	373	445	(50)	
Bild	14	31		394	360		(22)
Farben	19	11	8	384	506	17	14

Ein Ziel fachdidaktischer Forschung ist die Ausarbeitung erfolgreicher Unterrichtsvorschläge. Wir haben deshalb parallel zu den früheren Untersuchungen und zum DFG-Projekt mehrere Unterrichtsversuche durchgeführt (vorzugsweise in der Sekundarstufe I, aber auch in der Primarstufe). Die bis dahin jeweils bekannten Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten wurden jedesmal berücksichtigt. Die Struktur des Unterrichtsvorschlags von Jung (1979) wurde in den nachfolgenden Überarbeitungen zum großen Teil beibehalten. Erste Unterrichtsversuche wurden von Hoffmann und Wiesner (1982, 1984), sowie von Engelhardt und Wiesner (1985, 1987) beschrieben. Eine ausführliche Vergleichsuntersuchung mit einer von diesen Arbeiten ausgehenden Konzeption hat Herdt (1990) durchgeführt. Über die Ergebnisse wird im letzten Teil ausführlicher berichtet.

2. Beispiele für Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten in der elementaren Optik

Um dem Leser einen Vergleich der Schülerverständnisse von Licht und Sehen mit der physikalischen Auffassung zu ermöglichen, soll zunächst die physikalische Konzeption skizziert werden. Licht ist elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen zwischen 400 und 800 nm, die sich im Vakuum mit einer Geschwindigkeit von 300000 km/s ausbreitet. Licht wird von Körpern abgestrahlt, die entweder sehr heiß sind (glühende Wendel einer Glühlampe, Flamme o.ä.), oder durch auftreffendes Licht selber dazu angeregt werden, Licht abzustrahlen (man sagt, das einfallende Licht wird von dem Körper gestreut). Fällt ein Teil des gestreuten Lichtes ins Auge, wird auf der Netzhaut der Wahrnehmungseindruck ausgelöst: wir „sehen“ den beleuchteten Körper. Diese Konzeption von Sehen und Licht heißt Sender-Strahlungsempfänger-Vorstellung (abgekürzt SEV) und ihre Vermittlung sollte im Optik-Einführungsunterricht erfolgen (bis auf die Konzeptualisierung von Licht als elektromagnetische Welle). Der abstrahlende Körper ist der Sender und das Auge der Empfänger der Strahlung (des Lichtes).

2.1 Schülervorstellungen zum Sehen

Aufgrund der Ergebnisse der schriftlichen und mündlichen Befragungen und der semantischen Analyse von Sprachmustern, die frühkindlichen Episoden zugeordnet sind (Beispiel: Du kannst nicht mehr richtig sehen, mach' doch das Licht an!) wurden im Rahmen des DFG-Projektes folgende Vorstellungen der Schüler zum Sehen rekonstruiert (Jung, Wiesner & Blumör, 1988, Bd.I, S. 55ff.; Jung 1987; Jung, 1989):

Bei einem ersten naiven Konzept sind die Vorstellungen eng auf die Phänomene bezogen. Licht tritt hier in zwei Bedeutungen auf:

- (i) *Licht1* als sehr heller Gegenstand (= "Lichtquelle"), den man sieht, wenn man hinschaut (von den trivialen Bedingungen abgesehen, daß die Au-

gen offen und gesund sein müssen). Licht₁ macht andere Gegenstände hell und damit ebenfalls sichtbar. Diese nun sichtbaren Gegenstände können aber weitere Gegenstände nicht beleuchten.

- (ii) *Licht₂* ist die Helligkeit, die auf dem beleuchteten Gegenstand liegt und dort liegenbleibt (Ausnahmen sind der Spiegel oder glänzende Oberflächen). Es ist z.B. der helle Fleck an der Wand, den eine Taschenlampe erzeugt. Eine zwischen Licht₁ und Licht₂ vermittelnde Entität, quasi ein „Bote“, wird nicht in Erwägung gezogen, die Beziehung ist die einer Fernwirkung.
- (iii) Licht₂ kann auch ohne Licht₁ vorhanden sein, und zwar bei sehr hellen Oberflächen (weiß, gelb, ...). Ein weißes Blatt Papier wäre danach auch in einer Dunkelkammer sichtbar.

Bei einem weiteren naiven Konzept liegt eine veränderte Auffassung zwischen Licht₁ und Licht₂ vor:

- (i) Licht₂ wird quasi dauernd erzeugt und zwar so lange, wie Licht₁ aktiv bzw. an ist.
- (ii) Sobald Licht₁ aktiv ist, wandert von dort Licht₂ zum Gegenstand und bleibt dort passiv liegen (solange Licht₁ an ist). Das Anleuchten einer Wand mit einer Taschenlampe wird typischerweise in dieser Weise konzeptualisiert. Eine Variante davon ist, daß im Zwischenbereich zwischen Licht₁ und Gegenstand Licht₂ vorhanden, aber nicht sichtbar ist.

Ein wesentlicher Schritt hin zum physikalischen Konzept wird durch die Einbeziehung eines weiteren Lichtkonzeptes Licht₃ als ein theoretisches Element vollzogen, wodurch *Übergangsvorstellungen* (von Jung pseudo-physikalische Konzepte genannt) entstehen:

- (i) Licht₃ als ein hellmachendes Agens, das selbst nicht hell und sichtbar ist („Licht kann man nicht sehen“).
- (ii) Licht₁ erzeugt im ganzen Raum um sich Licht₃.
- (iii) Licht₃ breitet sich im ganzen Raum aus und bleibt dort (statisch), solange Licht₁ an ist.
- (iv) Licht₃ strömt kontinuierlich von Licht₁ aus in den Raum, bis es auf Gegenstände trifft.

Zur Lösung des Problems, was mit Licht₃ passiert, das ständig neu auf den Gegenstand trifft, kann das Konzept (v) gebildet werden:

- (v) Das kontinuierlich zuströmende Licht₃ wird am Gegenstand ständig in Licht₂ umgewandelt.

Ein weiterer, wesentlicher Schritt hin zum physikalischen Grundkonzept des Sehens ist:

- (vi) Das durch Auftreffen von Licht₃ auf den Gegenstand entstandene Licht₂ sendet ebenfalls Licht₃ aus, d.h. weitere Gegenstände können beleuchtet werden.

Vor Optikunterricht liegen bei den Schülern in der Regel nur naive Konzepte vor, wobei der einzelne Schüler je nach Kontext auf verschiedene Konzepte zugreift. Die Vielfalt der bei den Schülern vorhandenen Konzepte zu Licht führen zwangsläufig zu Lernschwierigkeiten im Unterricht, die vergrößert werden durch die sachlichen Schwierigkeiten mit dem Begriff Licht. „Konventioneller“ Einführungsunterricht in die Optik erreicht allenfalls pseudo-physikalische Konzepte des Typs (i) bis (v). Konzept (vi) stößt sogar auf heftige Ablehnung, wie die Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen zeigen.

2.2 Schülervorstellungen zum Spiegelbild

Im Optikunterricht spielt das Thema Spiegelbild eine wichtige Rolle. Auch hier haben die Schüler bereits vor dem Unterricht Vorstellungen, die ohne entsprechende Berücksichtigung in der Unterrichtsplanung zu vorhersehbaren Lernproblemen führen. Aufgrund der Befragungsergebnisse wurden folgende Konzepte konstruiert - ohne Einbeziehung des Problems der Spiegelsymmetrie (Jung, Wiesner & Blumör, 1988, S. 57ff.):

- (i) Spiegel werfen Licht im Sinne von Helligkeit zurück (die Helligkeit bleibt nicht auf dem Spiegel liegen, im Gegensatz zu „normalen“ Gegenständen).
- (ii) Der Spiegel zeigt dem Betrachter, wie er (der Spiegel) die vor ihm befindlichen Objekte „sieht“.
- (iii) Der Spiegel wirft das Spiegelbild zurück, wobei kein Zusammenhang zwischen dem Zurückwerfen von Helligkeit (oder Licht als hellmachendem Agens) und dem Zurückwerfen des Spiegelbildes besteht.
- (iv) Das Spiegelbild ist nur scheinbar hinter dem Spiegel (eine optische Täuschung).
- (v) Das Spiegelbild liegt auf dem Spiegel (es kann nicht hinter dem Spiegel sein, und der Spiegel fungiert als materieller Träger, den im Alltagsverständnis alle Bilder haben).

2.3 Schülervorstellungen zu Farben

Auch beim Thema Farben haben die Schüler Vorstellungen, die „quer“ zu den physikalischen Ideen liegen, aber durchaus Orientierungen im Alltag ermöglichen. In den Akzeptanzbefragungen traten ganz erhebliche Widerstände gegen Teilaspekte der physikalischen Sicht auf, z.B. gegen die Vorstellung, daß Sonnenlicht ein Gemisch verschiedener Lichtsorten ist, also z.B. auch blaumachendes Licht enthält. Der übliche Standardversuch in der Schule, das 'weiße' Licht durch ein Prisma in seine Anteile zu zerlegen, wurde weitgehend als Färbung beim Durchgang durch das Prisma und nicht als Entmischung verschiedener Lichtsorten gedeutet.

2.4 Akzeptanzbefragungen zum Thema Sehen

Es zeigte sich in den Auswertungen der schriftlichen Befragungen und der Interviews, daß es nicht durchgängig gelungen war, Formulierungen der Fragen zu finden, die beiden Altersgruppen angemessen waren. In den Interviews mußten mehrfach vom Interviewer Vorstellungsalternativen angeboten werden, um mit den Schülern überhaupt ins Gespräch zu kommen. In diesen Fällen wurden also bereits Reaktionen auf Informationsangebote erhoben. Zur systematischen Untersuchung von Schwierigkeiten der Schüler mit Informationsangeboten wurde zunächst eine Reihe von Einzellehrgesprächen durchgeführt. Diese Belehrungen lieferten aber nicht genügend Äußerungen der Schüler, die Informationen über den Prozeß der Auseinandersetzung der Befragten mit den dargestellten Inhalten und den dabei auftretenden Lernschwierigkeiten liefern konnten. Der große zeitliche Aufwand (pro Schüler ca. 3 Stunden Einzelbelehrung) schien uns deshalb nicht gerechtfertigt, und wir gaben diese Methode auf. Als sehr fruchtbar für die Untersuchung von Lernbarrieren, die das Akzeptieren der angebotenen Ideen verhindern, aber auch für das Erproben von Argumenten, die die Schüler von der physikalischen Sicht überzeugen, erwies sich in mehreren Projekten die von uns entwickelte Methode der Akzeptanzbefragung (s. Jung, Wiesner & Blümör, 1988, S.227ff.; Jung, 1992; Wiesner, 1993). Die Idee des Verfahrens besteht darin, dem Schüler ein *Theorieelement* zu erklären und dann auf verschiedene Art herauszufinden, was er davon und wie er es verstanden hat. Mit der Methode der Akzeptanzbefragung sollen sowohl die explizite, verbal geäußerte Ablehnung („Das leuchtet mir nicht ein!“, „Das glaube ich nicht!“) als auch die Ablehnung in Form von Vergessen oder Modifikationen des Informationsangebots erfaßt werden. Weiterhin geht es auch darum zu überprüfen, ob Schüler, die eine physikalische Konzeption als nicht plausibel betrachten, gleichwohl in der Lage sind, diese anzuwenden bzw. sich hypothetisch darauf einzulassen. Durch zusätzliche Informationsangebote wird getestet, ob bzw. wie die Lernschwierigkeiten, die Schüler nach Unterrichtserfahrungen, früheren Untersuchungen und den Zwischenergebnissen im Optikprojekt haben, 'überwunden' werden können.

Das *allgemeine* Befragungsschema lautet:

1. Der Interviewer gibt mündlich eine Erklärung eines physikalischen Sachverhalts (z.B. eine physikalische Erklärung des Sehens beleuchteter Gegenstände, des Spiegelbildes oder des Sehens farbiger Gegenstände) mit Erläuterungen und Beispielen (ggf. Erläuterung nicht verstandener Termini etc.).
2. Die Befragten werden aufgefordert, die Erklärung zu bewerten; ist sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel u.ä.m.
3. Die Befragten werden aufgefordert, die Erklärung in ihren eigenen Worten zu wiederholen, wobei besonders auf Auslassungen und Transformationen geachtet wird.

4. Die Befragten werden aufgefordert, die Erklärung auf ein konkretes Beispiel anzuwenden.
5. Teilkomplexe werden detailliert bewertet, diskutiert, durch neue Informationen angereichert und erneut bewertet und diskutiert. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn Lücken und Mißverständnisse auftreten.
6. Abschließend werden die Befragten aufgefordert, die Erklärung auf ein neues konkretes Beispiel anzuwenden (Jung, Wiesner & Blumör, 1988, S. 228).

Die bisherigen Erfahrungen mit Akzeptanzbefragungen zeigen, daß die Lern-bzw. Akzeptanzschwierigkeiten der Schüler sehr deutlich hervortreten und daß wertvolle Hinweise für ihre Reduzierung gewonnen werden können. Konkretisiert für das Thema ‚Sehen und Licht‘ lautete das Befragungsschema folgendermaßen:

1. Vortrag (durch den Interviewer): Sender-Empfänger-Vorstellung (SEV) als Erklärungsangebot für das Sehen eines vorgelegten Gegenstandes.
2. Bewertung der SEV (durch die Schüler).
3. Paraphrasierung der SEV (durch die Schüler).
4. Erste Überprüfung der SEV anhand eines zweiten, vorgelegten Gegenstandes (roter Holzbauklotz).
5. Überprüfung der Akzeptanz in Einzelschritten:
 - 5.1 Aspekt „Strömung“: Strömt (ständig neue) Lichtstrahlung von einer Lichtquelle zu einem Gegenstand?
 - a) Vorgabe einer Wasserhahn-Analogie (aus einem geöffneten Wasserhahn=Lichtquelle strömt ständig neues Wasser heraus: Ist das bei einer Lichtquelle mit dem abgestrahltem Licht so ähnlich?)
 - b) Problemstellung: Eine Pappe wird in einem gewissen Abstand vor eine eingeschaltete Lampe gehalten. Was passiert mit der Lichtstrahlung, die vorher schon hinter der Pappe war?
 - c) Vorgabe und Bewertung einer Schranken-Analogie für das Unterbrechen einer Strahlung/Strömung.
 - 5.2 Aspekt „Streuung“: Sendet ein bestrahlter Gegenstand Lichtstrahlung aus?
 - a) Eingangsfrage: Kannst du dir vorstellen, daß ein bestrahlter Gegenstand wieder Lichtstrahlung aussendet?
 - b) Vertiefungsfrage: Kann man mit einem angestrahlten Gegenstand andere Gegenstände anstrahlen?
 - c) Demonstrationsversuch: Beleuchtetes weißes Blatt Papier erzeugt eine sichtbare Aufhellung an Decke oder Wand.
 - d) Demonstrationsversuch: Wiederholung des vorhergehenden Versuchs unter Verwendung eines Pappkartons mit roten und gelben Seiten anstatt des weißen Blatt Papiers.
 - e) Wiederholung der Eingangsfrage 5.2 a).

- 5.3 Aspekt „Auge“: Muß Lichtstrahlung vom bestrahlten Gegenstand ins Auge des Beobachters fallen, damit der Gegenstand gesehen wird?
- a) Eingangsfrage: Kannst du dir vorstellen, daß du einen Gegenstand nur deshalb sehen kannst, weil ein Teil der Lichtstrahlung, die vom Gegenstand weggeschickt wurde, in dein Auge fällt?
 - b) Demonstrationsversuch: Kohlefadenlampe mit Augenmodell (Lochkamera) betrachten lassen.
 - c) Demonstrationsversuch: Bestrahlte weiße Obelix-Figur mit Augenmodell betrachten lassen.
 - d) Vertiefungsfrage: Kannst du dir vorstellen, daß auf der Netzhaut deines Auges ein Bild der angestrahlten Figur entsteht, wenn sich an der Stelle des Augenmodells dein Auge befindet?
 - e) Wiederholung der Eingangsfrage 5.3 a).
6. Zweite Überprüfung der SEV:
 Problemstellung (Zeichnung wird vorgelegt): Erkläre, warum ein Beobachter den Turm bei eingeschaltetem Scheinwerfer sieht.

Von den beiden für die Schüler neuen Aspekten der Sehvorstellung, der Streuung und dem notwendigen Einfall gestreuten Lichtes ins Auge, ist der Streuungsaspekt besonders wichtig und schwierig. Das von „gewöhnlichen“ Oberflächen gestreute Licht ist von so geringer Intensität, daß die Beleuchtung anderer Gegenstände durch dieses Licht in der Regel nicht wahrgenommen wird. Die Intensität des gestreuten Lichtes reicht allerdings aus, einen Wahrnehmungseindruck hervorzurufen, wenn das gestreute Licht direkt in unser Auge fällt. Die Teile 1 bis 4 des vorstehenden Befragungsschemas bilden eine Einheit, in der es um die Aufdeckung und Erfassung der Art der Lernwiderstände geht. Die Teile 5 und 6 überprüfen darüber hinausgehend, in welchem Ausmaß bestimmte Phänomene und Erläuterungen als zusätzliche Informationsangebote die Akzeptanz der physikalischen Sichtweise erleichtern.

Es können hier nur einige Beispiele für Ergebnisse angegeben werden, die illustrieren, welche Resultate mit Hilfe der Akzeptanzbefragungen erhalten werden können. So äußern 8 von 19 Schülern bei der ersten Aufforderung, die vom Interviewer erläuterte physikalische Deutung zu bewerten, spontan Einwände, insbesondere zur Abstrahlung von Licht durch beleuchtete Gegenstände, z.B.:

I: *Wie findest du denn diese Erklärung für das Sehen?*

S: *Ich kann mir das eigentlich nicht vorstellen, das ist so ein Männchen, die strahlen ab. Das kann ich mir nicht so richtig vorstellen. Wenn es einen Spiegel hätte, oder so was. Aber so ein Männchen, so ein normales Männchen, wo nichts glitzert, das kann ich mir nicht vorstellen.*

Große Schwierigkeiten bereitet es den Schülern die Idee zu akzeptieren, daß beleuchtete Oberflächen Licht abstrahlen. Der Schülerin in der folgenden Gesprächspassage waren die Aufhellung und die Farbeffekte an Wänden und Decke vorgeführt worden, die bei Beleuchtung weißer und farbiger Pap-

pen mit einer lichtstarken Lampe beobachtbar sind. Diese Effekte waren vom Interviewer als Argumente für die Lichtstreuung herausgestellt worden:

S: *Das könnte sein (Lichtstreuung). Aber ich verstehe es nicht. Das sind doch ganz normale Dinge. Ich meine, das (Kiste) ist doch auch ganz normal.*

I: *Und überhaupt nicht glitzernd.*

S: *Hm, Sie wollen sagen, daß der Gegenstand das Licht weitergibt. Hm, aber das verstehe ich jetzt auch nicht (lacht). Vielleicht, bei einem Lebewesen passiert es nicht. Außer wenn es eine Sache anhat. Mit einem Gegenstand könnte ich mir das vielleicht vorstellen.*

I: *Könnte man bei dem weißen Papier sich vorstellen, daß es dadurch, daß es beleuchtet wird, Licht wegschickt?*

S: *Vielleicht meint man damit, daß das Papier nicht so ist wie der Mensch, denn der Mensch nimmt ja die Wärme, das Licht auf. Also die Wärme nimmt er auf und dadurch vielleicht kommt das Licht nicht weg. Also ich kann mir absolut nicht vorstellen, daß der Mensch das Licht weitergibt.*

I: *Also lassen wir den Menschen mal weg und nehmen uns das weiße Blatt Papier.*

S: *Das könnte vielleicht, vielleicht könnte es warm werden. Aber, das ist - -*

I: *Warm wird es!*

S: *Jaja, es wird warm.*

I: *Aber oben (an der Decke) wurde es hell. Und es wird nur dann da oben hell, wenn das weiße Papier davor ist und von der Lampe beleuchtet wird.*

S: *Vielleicht, so ein Gegenstand nimmt es auf und gibt es weiter. Aber sobald es weg ist, also - vielleicht hat man - vielleicht hat es etwas mit der Wärme zu tun. Weil der Mensch, glaube ich, nimmt es auf. Das Papier nimmt es zwar auch auf, aber gibt es gleich weiter, und sobald man das Licht wegnimmt -*

I: *Dann geht es natürlich nicht.*

S: *Dann nimmt es das nicht so richtig auf.*

I: *(erläutert nochmals die Vorstellung des Physikers bezüglich Abstrahlung von Licht und ordnet die Streuversuche mit Papierblatt und farbigem Karton entsprechend ein: Ein Teil geht weg, ein Teil wird verschluckt und erwärmt etwas)*

S: *Ja, ja.*

I: *Und weiße Oberflächen schicken mehr weg als dunkle.*

S: *Aber bei Menschen, der nimmt das total, das Licht, der nimmt das total auf. Nimmt die Wärme total auf, der Körper nimmt die Wärme total auf. Der Gegenstand nimmt vielleicht die Hälfte auf und die Hälfte nimmt es wieder weg.*

I: *Aber komisch wäre das schon, daß da ein Unterschied zwischen Lebewesen und unbelebten Gegenständen ist.*

S: *Ja, ja, ich versteh's ja auch nicht. Beim Spiegel ist es auch nicht so, das ist kein Lebewesen, da kommt es wieder zurück. Dadurch kann ich mir das vielleicht auch klarmachen.*

- I: *Also ein vorläufiger Kompromiß wäre für dich, daß unbelebte Gegenstände etwas wegschicken, also bei denen könnte es sein. Bei Lebewesen?*
- S: *Nein, da nicht.*
- I: *Bei meiner oder deiner Kleidung, da könnte es sein, daß sie was wegschicken?*
- S: *Hm, hm.*
- I: *Und bei unserer Haut?*
- S: *Nein. Man wird ja auch braun z.B., so in der Sonne. Da gibt man das ja nicht weiter.*
- I: *Aber das muß nicht sein, Papier z.B., das vergilbt doch in der Sonne, wenn es ein paar Wochen in der Sonne liegt.*
- S: *Naja, das stimmt auch wieder.*

In den Akzeptanzbefragungen zeigen sich erhebliche Schwierigkeiten der Schüler, eine physikalische Theorie des Sehens, beschränkt auf ein relativ einfaches Niveau, zu lernen bzw. zu akzeptieren. Wir haben das Antwortverhalten aller 19 befragten Schüler in einem Diagramm festgehalten. Wir können daraus ersehen, daß viele Schüler bei einer erneuten Überprüfung (nach weiteren Erläuterungen und Demonstrationen) des von ihnen erreichten Fortschritts in Richtung auf die physikalische Vorstellung zunächst wieder zurückfallen, d.h. daß erneute Zweifel auftauchen oder daß sie bereits überwunden geglaubte Common-Sense-Vorstellungen heranziehen.

Allerdings ergibt sich im Laufe der Zeit eine deutliche Verschiebung zu physikalischerem Antwortverhalten hin. Das *Endverhalten* ist in den einzelnen Überprüfungen stets besser als das *spontane* Verhalten. Spontan wird häufig zunächst auf eine Alltagsvorstellung zurückgegriffen. Auf Nachfrage ergänzen bzw. modifizieren sie in der Regel ihre Antwort in Richtung auf die korrekte physikalische Erklärung hin.

Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen belegen die Lernwiderstände der Schüler und geben Hinweise, worin diese Schwierigkeiten bestehen. Sie zeigen weiterhin, daß geeignet ausgewählte Informationsangebote die Schüler überzeugen können. Ohne solche methodisch sorgfältig zusammengestellten Argumente zur Überwindung der Akzeptanzschwierigkeiten hat der Physikunterricht die häufig beklagte dürftige Lernwirkung. Der Optik-Einführungsunterricht besteht nämlich üblicherweise vorwiegend darin, die Entstehung und die Eigenschaften beobachtbarer optischer Bilder (Spiegelbild, Linsenbild etc.) durch strahlengeometrische Konstruktionen zu erklären. Da die Schüler die Vorstellung ablehnen, daß die Gegenstände, die abgebildet werden, Licht abstrahlen, ist klar, daß diese Konstruktionen für sie einen leeren, formalen Algorithmus bilden.

3. Neukonzeption eines Lehrgangs zur Optik in der Sekundarstufe I und Ergebnisse einer vergleichenden Untersuchung zum Lernerfolg

Im Folgenden wird über Ergebnisse einer Vergleichsuntersuchung (Herdt, 1990) berichtet, in der es um die Frage ging, ob ein an Schülervorstellungen

und Lernschwierigkeiten orientierter Unterricht auch zu Lernerfolgsverbesserungen führt. Eine ausführliche Beschreibung des Unterrichts würde hier den Rahmen sprengen. Der Unterricht folgte einer von Wiesner, Herdt und Engelhardt (1993) ausgearbeiteten Lehrerhandreichung (Manuskriptentwürfe dazu standen den Lehrern der Versuchsklassen als Grundlage für den Unterricht zur Verfügung). Bei der Entwicklung des Lehrgangs waren für uns die folgenden Gesichtspunkte wesentlich:

- a) Den gravierenden Lernschwierigkeiten (z.B. bei der Schvorstellung) begegnen wir in der Regel mit einer Anknüpfungsstrategie oder einer Brückenstrategie (s. Jung, 1986; Scott, Asoko & Driver, 1992). Eine Konfliktstrategie scheint uns in solchen Fällen aus eigenen negativen Erfahrungen als auch aus allgemeineren Überlegungen nicht erfolgversprechend zu sein (ausführlicher dazu Wiesner, 1993, S.16ff.). Bei den schwer zu akzeptierenden, grundlegenden physikalischen Ideen halten wir eine relativ enge Führung durch die Lehrenden für überzeugender. In weniger gravierenden Fällen (z.B., an welcher Stelle das Spiegelbild gesehen wird) wird eine Konfliktstrategie vorgeschlagen, weil hier der Dissenz zwischen den verschiedenen Auffassungen der Schüler einigermaßen leicht ausgeräumt werden kann. Ansonsten ist der Unterricht wie üblich weitgehend problemhaft angelegt. Sobald die Schüler die physikalische Sicht als eine sinnvolle Möglichkeit zum Verständnis der Phänomene akzeptieren, werden physikalische Sicht und Alltagsverständnis gegenübergestellt und ihre jeweilige Bedeutung diskutiert. Eine sorgfältige Auswahl von (Schlüssel-)Phänomenen ist von größter Bedeutung, damit die physikalische Sicht relativ naheliegend bzw. akzeptabel ist. Die für die elementare Optik grundlegende physikalische Vorstellung vom Sehen wird z.B. durch Phänomene wie Lichtstreuung an farbigen Pappen und durch Lochkameraabbildungen unterstützt oder der Ort des Spiegelbildes wird zuerst durch Vergleichsbeobachtungen festgestellt.
- b) Der Lehrgang wird durch wenige grundlegende Rahmenvorstellungen strukturiert (Sender-Empfänger-Vorstellung, Fleck-zu-Fleck-Abbildung). Entsprechend zieht sich als roter Faden (physikalische Rahmenvorstellung) die Sender-Strahlungs-Empfänger-Vorstellung als elementare physikalische Theorie des Sehens durch den Lehrgang.
- c) Methodisch wird in der Regel in einem Dreischritt vorgegangen. Ausgegangen wird von vielfältigen subjektiven Erfahrungen. Zunächst werden die Erscheinungen und ihre Bedingungen (möglichst in Schüler- oder Hausexperimenten) eingehend untersucht (z.B.: Wo sehe ich das Spiegelbild? Welche Eigenschaften hat es? Wie verändert es sich, wenn der Gegenstand verschoben wird? etc.). Anschließend wird die Frage, wie die betreffende Erscheinung zustandekommt, beantwortet, indem der Lichtweg vom Gegenstand ausgehend bis zum Auge bestimmt wird. Im dritten Schritt werden die Gesetze für den Lichtweg (z.B. das Reflexionsgesetz) zur Erklärung der Erscheinungen herangezogen und damit

die subjektiven Beobachtungen aus dem ersten Schritt in die objektivier- te Sicht der Physik eingeordnet.

- d) Der Schwerpunkt des Lehrgangs wird auf die Vermittlung der qualitati- ven physikalischen Vorstellungen gelegt. Dies erfolgt aufgrund des gege- benen zeitlichen Rahmens zu Lasten der Übungen von strahlengeometri- schen Konstruktionen.

Teilergebnisse der Vergleichsuntersuchung von Herdt finden sich in Herdt und Wiesner (1990, 1991) sowie bei Herdt (1991). Die ausführliche Untersu- chung mit einer Vielzahl statistischer Tests ist dargestellt in Herdt (1990).

4. Ergebnisse einer vergleichenden Felduntersuchung

Von Herdt (1990) wurde im Schuljahr 1987/88 der Lernerfolg in einer Ver- gleichsuntersuchung an zwei Parallelgruppen mit insgesamt fünfzehn Schul- klassen (Gymnasial- und Realschulklassen) aus dem Großraum Frankfurt durchgeführt. Die *Versuchsgruppe* (6 Klassen, $n = 143$) wurde nach der neu- en Konzeption, die *Kontrollgruppe* (9 Klassen, $n = 208$) wurde traditionell, d.h. mit Schwerpunkt auf den Konstruktionen der geometrischen Optik unter- richtet. Die Versuchsgruppe bestand aus 5 Gymnasialklassen aus 2 Gymna- sien (unterrichtet von 3 verschiedenen Lehrern) und einer Realschulklasse (Realschulkurs einer integrierten Gesamtschule). Die 9 Klassen der Kontroll- gruppe setzten sich aus 7 Gymnasialklassen aus 4 Gymnasien und 2 Real- schulklassen aus 2 Realschulen zusammen. Die Lehrer der Versuchsgruppe erhielten den ausgearbeiteten Lehrgang, ein Schülertext lag nicht vor. Die Lehrer der Kontrollgruppe waren sorgfältig ausgewählt worden. Sie galten als engagiert und erfolgreich. Eine Überlegenheit der Lehrer der Versuchs- gruppe war deshalb nicht anzunehmen. Eine Kontrolle ihres Unterrichtes durch Hospitationen wurde nicht durchgeführt.

Es sollte die folgende Hypothese geprüft werden: Schüler, die auf der Grund- lage des neuen Optik-Lehrgangs unterrichtet werden, bei dem die Lern- schwierigkeiten besondere Berücksichtigung finden und das Schwere- gewicht auf der Vermittlung grundlegender, qualitativer physikalischer Vorstel- lungen liegt, erzielen im Bereich der optischen Grundkenntnisse und Vorstel- lungen signifikant bessere Lernerfolge als Schüler bei konventionellem Un- terricht mit Schwerpunkt in geometrischer Optik. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurde folgendes Testprogramm durchgeführt:

4.1 Voruntersuchungen (vor dem Optikunterricht)

Um sicherzustellen, daß beide Gruppen vor dem Unterricht über vergleichba- re kognitive Voraussetzungen verfügten, wurde in beiden Gruppen ein Intelli- genztest (Figure-Reasoning-Test; Daniels, 1962), ein Test zum logischen Denken, der zwei typische Aufgaben zum formal-operationalen Denken nach PIAGET umfaßte - hier insbesondere Erhaltungsdenken („Kugel im

Glas-Puzzle“) und hypothetisch-deduktives Schließen („Insel-Puzzle“; s. Klinger & Bormann, 1978) - und ein Optik-Vortest durchgeführt. Obwohl Motivation ein wichtiger Faktor für den Lernerfolg ist, wurde auf eine entsprechende Befragung verzichtet, da es keinerlei Anlaß gab, hier eine Überlegenheit der Versuchsgruppe anzunehmen.

Der *Intelligenztest* ergab einen signifikant höheren IQ-Mittelwert in der Kontrollgruppe (1%-Niveau) als in der Versuchsgruppe. Der *Vortest*, der aus organisatorischen Gründen nur in einem Teil der Kurse (6 Versuchs- und 5 Kontrollklassen) durchgeführt werden konnte, führte zu folgenden Ergebnissen: Bei den Teilaufgaben zum logischen Denken (Insel-Puzzle) ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollschülern. Bei den Aufgaben zum Optik-Vorwissen ergaben sich bei keinem der insgesamt sieben Items signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Das Optik-Vorwissen war in beiden Gruppen vergleichbar (und erwartungsgemäß) gering. Aufgrund der Ergebnisse der Voruntersuchung konnte man ausschließen, daß die Schüler der Versuchsgruppe bereits zu Beginn des Optikunterrichts über bessere kognitive Startvoraussetzungen verfügten als die Schüler der Kontrollgruppe.

4.2 Nachuntersuchungen (nach 1 Jahr Optikunterricht)

Mit einem Abschlußtest zur Optik, der von allen Schülern bearbeitet worden ist, wurde der Lernerfolg in beiden Gruppen erhoben. Bei den insgesamt zwanzig Items handelte es sich ausschließlich um Fragen zum elementaren Grundwissen in Optik, wie es auch im strahlengeometrischen Optikunterricht angestrebt wird (Sehvorgang, Lochkamera-Abbildung, Reflexion und Spiegelbild, Brechung, Bildkonstruktion bei der Sammellinse, Dispersion, farbige Schatten, Körperfarben) und das von den beteiligten Lehrern als relevant für den Optikunterricht angesehen wurde. Als ein Maß für den *globalen* Lernerfolg in Optik wurde für jeden Schüler eine Gesamtpunktzahl (AT-Wert) ermittelt. Die Verteilung der AT-Werte wurde für den Vergleich des globalen Lernerfolges zwischen beiden Gruppen herangezogen.

Tabelle 2:
Vergleich des Gesamtlernerfolgs zwischen den Gruppen (maximaler AT-Wert: 40)

	mittlere Gesamtpunktzahl AT	Streuung s_{AT}
Versuchsgruppe (n = 143)	23,83	7,76
Kontrollgruppe (n = 208)	9,95	5,25

Der durchschnittliche Lernerfolg ist demnach bei den Versuchsgruppenschülern deutlich höher als bei den Schülern, die konventionell unterrichtet wurden.

Der Mann-Whitney-U-Test (s. Siegel, 1987, S.112ff.) ergab Signifikanz zugunsten der Versuchsgruppe ($p < 0,01\%$). Auch beim schulformbezogenen Vergleich zwischen den parallelen Realschul- und Gymnasialgruppen haben die Versuchsschüler jeweils signifikant *besser* abgeschnitten.

Gesamtlernerfolg in den Klassen

In Tabelle 3 ist der Gesamtlernerfolg der 15 beteiligten Klassen aufgeführt:

Tabelle 3:
Gesamtlernerfolg in allen Klassen

	<i>Lernerfolgsmittelwert AT</i>								
Versuchsklassen	32,78	28,16	23,55	21,85	20,10	17,31			
Kontrollklassen	16,73	13,50	13,17	10,71	10,19	8,97	7,14	7,00	6,48

Damit lag die beste von insgesamt 9 Kontrollklassen noch unterhalb der schwächsten Versuchsgruppe. Allerdings zeigen sich auch bei vielen Versuchsgruppenschülern erhebliche Defizite, worauf schon der Mittelwert 23,83 hinweist, der knapp über der Hälfte der möglichen Punktzahl liegt.

Da aufgrund der Voruntersuchungen Apriori-Vorteile für die Versuchsschüler auszuschließen sind, kann der signifikant höhere Lernerfolg in der Versuchsgruppe auf den positiven Einfluß der dargestellten Unterrichtskonzeption zurückgeführt werden. Außerdem ist der Lernerfolg in den Versuchsgruppen deutlich *homogener* verteilt: In allen Versuchsgruppen ist der Gesamterfolg höher als in allen Kontrollgruppen. Daher kann angenommen werden, daß bei Unterricht nach dem neuen Lehrgang andere Unterrichtsparameter wie z.B. die Person des Lehrers einen geringeren Einfluß auf den Gesamtlernerfolg haben als die Unterrichtskonzeption.

Einfluß der Intelligenz auf den Gesamtlernerfolg

In beiden Gruppen haben die Schüler mit höherem IQ einen tendenziell besseren Lernerfolg als der jeweilige Gruppendurchschnitt. Dies ist besonders deutlich in der Kontrollgruppe.

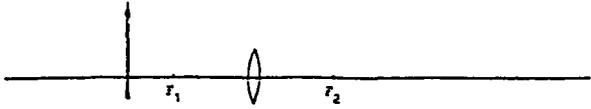
Spezieller Lernerfolg in beiden Gruppen

Neben dem Vergleich des Gesamtlernerfolges kann vor allem die Analyse der Schülerantworten zu den einzelnen Aufgaben des Abschlußtests wichtige Aufschlüsse über *themenspezifische* Lernvorteile in der Versuchsgruppe, aber auch über verbleibende Lern- und Verständnisdefizite als Hinweise für

weitere Verbesserungen geben. Zum aufgabenspezifischen Lernerfolg kann allgemein festgestellt werden: Bei den Aufgaben zu den mehr qualitativen physikalischen Vorstellungen haben die Versuchsschüler erwartungsgemäß signifikant bessere Lernergebnisse erzielt. Sie argumentieren deutlich physikalischer als die Kontrollgruppenschüler, die häufig Alltagsvorstellungen benutzen. Wie sieht es bei den Items aus der geometrischen Optik aus, bei denen die Kontrollgruppenschüler einen Übungsvorteil hatten? Überraschend schneiden auch hier die Schüler der Versuchsgruppe signifikant besser ab, wie das folgende typische Item zeigt.

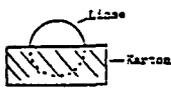
Item 7:

Eine Kerze wird mit Hilfe einer Linse auf einer Mattscheibe abgebildet.



7A) Konstruiere das Bild der Kerze!

7B) Nun wird die untere Linsenhälfte mit einem schwarzen Karton abgedeckt:



Was sieht man jetzt auf der Mattscheibe?

Begründe:.....

Ergebnisse (in Klammern: Kontrollgruppe):

7A)	Konstruktion für Kerzenfuß und -spitze korrekt	49,0%	(9,1%)
	Konstruktion für Kerzenfuß oder -spitze korrekt	62,2%	(24,4%)
7B)	Bild bleibt vollständig	58,0%	(9,6%)

Nach dem Abschlußtest wurden *Interviewserien* in Versuchs- und Kontrollklassen durchgeführt. Auch hier zeigte sich eine deutliche Überlegenheit der Versuchsschüler.

5. Schlußbemerkungen

Das in den vorangegangenen Abschnitten beschriebene Beispiel für ein fachdidaktisches Arbeitsprogramm geht von der zentralen Bedeutung der bei den Schülerinnen und Schülern vor dem Unterricht bereits vorhandenen Wissensstrukturen aus. Dieses (Vor-)Wissen kann lernerleichternd wirken, wenn Anknüpfungskonzepte vorhanden sind, die genutzt werden können, es kann aber auch lernerschwerend wirken. Letzteres ist im Bereich der Physik sehr häufig der Fall, weil sich physikalische Ideen und Alltagskonzepte oft widersprechen. Die inzwischen sehr umfangreichen und detaillierten Kennt-

nisse über bereichsspezifische Vorstellungen und Lernschwierigkeiten der Schüler erlauben zwar keine eindeutigen Folgerungen für die Ausarbeitung erfolgreicher Lernangebote. Sie geben aber wichtige Hinweise, wo die Hauptschwierigkeiten liegen und wie diese beschaffen sind, so daß Neustrukturierungen, methodische Alternativen und Anknüpfungsmöglichkeiten gezielt vorgenommen bzw. gesucht werden können, die dann empirisch auf ihre Wirksamkeit hin überprüft werden müssen. Im Bereich der Optik führten die von uns getroffenen Entscheidungen, angeregt durch vielfältige Lehr-Lern-Untersuchungen während vieler Jahre, zu nachgewiesenen, deutlichen Lernerfolgssteigerungen.

Literatur

- Andersson, B. & Kärrquist, Ch. (1983): How Swedish pupils, aged 12-15 years, understand light and its properties. *European Journal of Science Education* 5, 387-402.
- Claus, J. (1981): Zur Problematik der Optik im Grundschulbereich. Wissenschaftliche Hausarbeit für das Lehramt an Grundschulen, Universität Frankfurt.
- Claus, J., Stork, E. & Wiesner, H. (1982): Optik im Sachunterricht? Eine empirische Untersuchung zu Vorstellungen und Lernprozessen. *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe* 10, 82-92.
- Daniels, J.C. (1962): *Figure Reasoning test: a non-verbal intelligence test*. London: Crosby Lockwood.
- Engelhardt, P. & Wiesner, H. (1985): Bericht über eine Einführung in die Optik in einer 7.Klasse. In: *Vorträge der Frühjahrstagung, München, Fachausschuß Didaktik der Physik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, 238-243.
- Engelhardt, P. & Wiesner, H. (1987): Fachmethodische Folgerungen aus Untersuchungen zu Lernschwierigkeiten. Ein Unterrichtsversuch zur Einführung in die Optik. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie* 35, Heft 29, 12-16.
- Forbus, K.D. & Gentner, D. (1986): Learning physical domains: Toward a theoretical framework. In: R.S.Michalski, J.G.Carbonell & T.M.Mitchell (Eds.), *Machine learning, an artificial intelligence approach* (Vol. 2), Palo Alto, Californien: Kaufmann, 311-348.
- Goldberg, F.M. & McDermott, L.C. (1986): An investigation of student understanding of the images formed by plane mirrors. *The Physics Teacher* 24, 472-480.
- Goldberg, F.M. & McDermott, L.C. (1987): An investigation of student understanding of the real image formed by converging lens or a concave mirror. *American Journal of Physics*, 55, 108-119.
- Guesne, E. (1984): Die Vorstellungen von Kindern über Licht. *physica didactica* 11, S.79-98.
- Herdt, D. (1990): Einführung in die elementare Optik. Vergleichende Untersuchung eines neuen Lehrgangs. Essen: Westarp.
- Herdt, D. (1991): Vergleichende Untersuchungen zum Lernerfolg verschiedener Konzeptionen für den Einführungsunterricht in Optik (Sekundarstufe I). In: H. Wiesner (Hrsg.): *Aufsätze zur Didaktik der Physik II*, Bad Salzdetfurth: Franzbecker, S.84-98.
- Herdt, D. & Wiesner, H. (1990): Vergleichende Untersuchungen zum Lernerfolg verschiedener Konzeptionen für den Einführungsunterricht in Optik (Sekundarstufe I). In: W. Kuhn (Hrsg.): *Vorträge der Frühjahrstagung des Fachausschusses Didaktik der Physik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, Gießen, 451-455.

- Herdt, D. & Wiesner, H. (1991): Zur Verbesserung des Lernerfolges im Physikunterricht: Optik in der Mittelstufe. Vortrag auf der 82.Hauptversammlung des Deutschen Vereins zur Förderung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts (MNU), Göttingen.
- Hock, H. (1980): Eine Untersuchung von Schülervorstellungen über Sehen und Licht. Wissenschaftliche Arbeit für das Lehramt an Haupt- und Realschulen. Universität Frankfurt.
- Hoffmann, K. & Wiesner, H. (1982): Lassen sich Alltagsvorstellungen über optische Phänomene durch Unterricht wirksam korrigieren? *physica didactica* 9, 299-317.
- Hoffmann, K. & Wiesner, H. (1984): Ein subjektivistischer Zugang zur Optik in der Sekundarstufe I. Bericht über einen Unterrichtsversuch zur Vermittlung der Sender-Empfänger-Vorstellung. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie* 32, 7-11.
- Jung, W. (1979): Optik für die Sekundarstufe I. Frankfurt am Main, Berlin, München: Diesterweg.
- Jung, W. (1982): Ergebnisse einer Optik-Erhebung. *physica didactica* 9, 19-34.
- Jung, W. (1985): Untersuchungen zur elementaren Optik: Schriftliche Erhebungen und Interviews. Forschungsbericht. Institut für Didaktik der Physik, Universität Frankfurt/Main.
- Jung, W. (1986): Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie* 34/Heft 13, 1-6.
- Jung, W. (1987): Understanding students' understandings: The case of elementary optics. In: J. Novak (Ed.): *Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Vol. III, 268-277.
- Jung, W. (1989): Phänomenologisches vs physikalisches optisches Schema als Interpretationsinstrumente bei Interviews. *physica didactica* 16, 35-46.
- Jung, W. (1992): Probing acceptance: A technique for investigating learning difficulties. In: R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.): *Research in physics learning. Theoretical issues and empirical studies*. Kiel: IPN, 278-295.
- Jung, W., Wiesner, H. & Blumör, R. (1988): Schülervorstellungen über elementare optische Sachverhalte. Abschlußbericht, DFG Projekt Ju 150/3-2.
- Klinger, H. & Bormann, M. (1978): Untersuchung zur Entwicklung formal-operationaler Strukturen und physikspezifischer Schemata bei Schülern der Sekundarstufe. *Der Physikunterricht* 4, 54-67.
- Mandl, H. & Spada, H. (Hrsg.) (1988): *Wissenspsychologie*. München, Weinheim: Psychologie-Verlags-Union.
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1993a): Lernen im Physikunterricht - Brückenschlag zwischen Theorie und menschlichen Erfahrungen. Forschungsbericht Nr.19, Ludwig-Maximilians-Universität.
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1993b): Misconceptions and knowledge compartmentalization. Research report No. 14, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Marton, F. (1981): Phenomenography - describing conceptions of the world around us. *Instructional Science* 10, 177-200.
- Pfundt, H. & Duit, R. (1994): *Bibliographie Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Kiel: IPN, 4.Aufl. 1994.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. & Gertzog, W.A. (1982): Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education* 66, 211-227.

- Rice, K. & Feher, E. (1987): Pinholes and images: Children's conceptions of light and vision. *Science Education* 71, 629-639.
- Scott, P.H., Asoko, H.M. & Driver, R.H. (1992): Teaching for conceptual change: A review of strategies. In: R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.): *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*. Kiel: IPN, 310-329.
- Siegel, S. (1987): *Nichtparametrische statistische Methoden*. Eschborn bei Frankfurt/Main: Fachbuchhandlung für Psychologie.
- Siegler, R.S. (1986): *Children's thinking*. New Jersey: Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- Tergan, S.-O. (1986): *Modelle der Wissensrepräsentation als Grundlage qualitativer Wissensdiagnostik*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Vosniadou, S. & Brewer, W.F. (1987): Theories of knowledge restructuring in development. *Review of Educational Research* 57, 51-67.
- Wiesner, H., Herdt, D. & Engelhardt, P. (1993): *Unterrichtspraxis Physik, Optik I*, Köln: Aulis.
- Wiesner, H. (1993): *Verbesserung des Lernerfolgs im Physikunterricht durch Untersuchungen von Lernschwierigkeiten und Lernprozessen*, Universität Frankfurt/Main.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Dr. Hartmut Wiesner, Lehrstuhl für Didaktik der Physik,
Ludwig-Maximilians-Universität, Schellingstraße 4, 80539 München.