

Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Optik (I)

Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten

Hartmut Wiesner

Untersuchungen zu Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten – wozu?

Ein Lehrer, der sich selbstkritisch mit den Lernerfolgen seines Unterrichts auseinandersetzt, wie sie sich in schriftlichen Abfragen, Wiederholungen und Unterrichtsgesprächen widerspiegeln, wird oft enttäuscht. Die Schüler haben die wichtigen Aussagen und Zusammenhänge gar nicht oder falsch verstanden, haben bei den experimentellen Demonstrationen oder sogar bei Schülerversuchen nicht das Gesehene, worauf es dem Lehrer ankam usw. Und selbst wenn die Schüler etwas angemessen reproduzieren und anwenden konnten, vermitteln sie dem Lehrer wenige Wochen später den Eindruck, von diesem Lehrstoff nie etwas gehört zu haben.

In den letzten Jahrzehnten wurde diesen negativen Erfahrungen, die durch viele, breit angelegte Lernerfolgsüberprüfungen bestätigt wurden, größere Aufmerksamkeit als bisher geschenkt.

(Verbesserungen dieser Situation werden in der BRD u. a. dadurch erschwert, daß der sowieso recht geringe Anteil der Physik in der Stundentafel der Mittelstufe in einigen Bundesländern sogar noch reduziert wurde bzw. wird. D. h., es fehlt an Unterrichtszeit, die Defizite der Schüler aufzuarbeiten. In Baden-Württemberg erfolgte die Kürzung auf 6 Stunden schon vor einigen Jahren, in Hessen ist eine Reduktion von 8 auf 6 Stunden in Vorbereitung. Man vergleiche dieses Deputat mit den 13 Stunden, die in der DDR für den Physikunterricht zur Verfügung standen.)

Seit etwa 2 Jahrzehnten untersuchen viele Arbeitsgruppen die offensichtlichen Lernschwierigkeiten der Schüler, um Hintergründe für diese Probleme aufzudecken. Und mit ei-

niger Berechtigung kann heute behauptet werden, daß inzwischen eine Fülle an Detailkenntnissen über einen bestimmten Typ von Lernschwierigkeiten vorliegt.

(Die Beispiele in der vorliegenden Zusammenstellung sind im wesentlichen Untersuchungen entnommen, die von der Arbeitsgruppe um W. Jung an der Universität Frankfurt durchgeführt wurden.)

Die m. W. umfangreichste Auflistung von Arbeiten über Schülervorstellungen ist die Bibliographie von Pfundt und Duit [1]. Interessierte Leser finden dort eine schon fast nicht mehr überschaubare Fülle von Arbeiten.)

Diese Schwierigkeiten beruhen darauf, daß die Schüler mit vielfältigen Vorstellungen auf verschiedenen Abstraktionsstufen, von sehr konkreten, speziellen Vorstellungen bis zu sehr allgemeinen Sicht- und Denkweisen, in den Unterricht kommen und diese Vorstellungen in vielen Fällen „quer“ zu den zu lernenden physikalischen Ideen liegen (s. 2). Dadurch ergeben sich für die Schüler erhebliche Schwierigkeiten, die physikalischen Ideen zu akzeptieren. Als Reaktion wird die physikalische Information in manchen Fällen explizit abgelehnt oder so uminterpretiert bzw. verändert, bis sie „paßt“. Das Ergebnis sind die bekannten Mißverständnisse und Mißerfolge.

Will man den Lernerfolg verbessern – das ist selbstverständlich das Bemühen eines jeden Physiklehrers –, ist es eine unerläßliche Voraussetzung, detaillierte Informationen über die von den Schülern in für sie neuartigen Zusammenhängen aktivierten Verständnisrahmen (z. B. aristotelische oder newtonsche Sicht mechanischer Vorgänge) oder Vorstel-

lungen zu haben. Man muß weiterhin wissen, wie elaboriert und stabil diese Vorstellungen sind, durch welche Informationen diese oder jene Vorstellung aktiviert wird und wo genau die Schwierigkeit liegt, einen physikalischen Verständnisrahmen zu aktivieren, in dem Informationsangebote in gewünschter Weise eingeordnet und verarbeitet werden. Welches sind die Lehrangebote, die solche Begriffsrahmen aktivieren?

In diesem Beitrag soll über Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten aus dem Bereich der elementaren Optik berichtet werden. In einigen Folgebeiträgen wird ein Lehrgang zur Einführung in die Optik vorgestellt, der als Reaktion auf diese Lernschwierigkeiten entwickelt und erfolgreich erprobt wurde.

Beispiele für Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten in Optik

Zur Ausbreitung des Lichtes

Die Idee der geradlinigen Ausbreitung des Lichtes (in einem homogenen Medium) bereitet bereits Grundschulkindern kaum noch Schwierigkeiten: Schattengrenzen werden weitgehend korrekt angegeben und die Verbindung zwischen Lichtquelle und Lichtfleck an der Wand gradlinig gezeichnet /3/; /4/; /5/. Größere unterrichtliche Anstrengungen lohnen deshalb an dieser Stelle nicht.

In mündlichen Befragungen zeigte sich, daß recht viele Schüler im Bereich zwischen Taschenlampe und Lichtfleck an der Wand nicht eine kontinuierliche Strömung von Lichtstrahlung sehen, sondern ei-

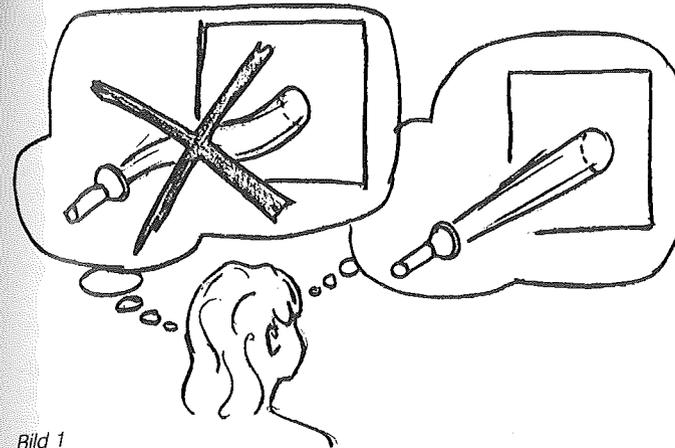


Bild 1

nen statischen Zustand. Nur die Einschaltphase wird dynamisch gesehen:

„Nach dem Einschalten geht das Licht zur Wand, da bewegt es sich. Dann bleibt das so. Da tut sich nichts mehr. Da strömt nichts mehr zur Wand... Nur wenn ich die Lampe aus- und dann wieder einschalte, strömt es wieder.“

Dieses Beispiel ist ein erster Hinweis darauf, daß man bei der Interpretation der Antworten im Unterrichtsgespräch vorsichtig sein muß. Hinter Formulierungen wie

„Natürlich strömt Licht von der Lampe zur Wand, und das dauert auch einen Moment, bis das Licht an der Wand angekommen ist“

steckt i. d. R. keine kontinuierliche Strömungsvorstellung. (Dieses Beispiel zeigt auch, wie nützlich die Kenntnis der Schülervorstellungen ist. Ermöglicht sie doch dem Lehrer an vielen Stellen erst ein zutreffendes Verstehen der Schülerantworten.)

In Einzellehrgesprächen versuchten wir, Schülern mit Hilfe eines Stroboskops durch Grenzfallbetrachtung eine Strömungsvorstellung plausibel zu machen. Es war für sie einleuchtend, daß bei jedem Einzelblitz Licht zur Wand strömt. Der Grenzfall, wenn bei hoher Blitzfolge nur noch eine gleichmäßige Beleuchtung der Wand wahrnehmbar war, wurde aber von vielen Schülern als eine völlig andere Situation angesehen:

„Das ist doch jetzt wie eine normale Lampe. Da strömt doch nicht mehr ständig was.“

Diese Tendenz, Vorgänge in dichotome Klassen einzuteilen (hier einerseits Lichtströmung bei Einzel-

blitzen und andererseits statischer Zustand bei gleichmäßiger Beleuchtung), beobachtet man bei Schülern häufig. Oft bestärkt der Unterricht diese vereinfachende Klassenbildung noch (Leiter - Nichtleiter; Gegenstände schwimmen oder sinken usw.).

Für die Schüler überzeugender sind Vorgänge mit kontinuierlicher Wirkung, wie z. B. der Antrieb eines Elektromotors durch eine beleuchtete Solarzelle.

Licht und Sehen

In mündlichen Befragungen waren 2/3 der Schüler der Meinung, daß von einer Taschenlampe kein Licht in das Auge einer Beobachterin fallen muß, damit sie die Taschenlampe sehen kann.

Dargestellt war folgende Situation: Zwei Personen stehen auf je einem Hügel und können sich wegen Dunkelheit nicht sehen. Eine Person richtet eine Taschenlampe auf die zweite Person und schaltet sie ein.

In einer schriftlichen Befragung mit der gleichen Situation sagen ca. 1/3 der Schüler (N = 353), daß kein Licht zur Beobachterin kommt, diese gleichwohl etwas sehen könne (z. B. Licht, Lichtquelle, Lichtpunkt ...). Schon hier deutet sich an, daß zwischen Licht und Sehen kein enger Zusammenhang gesehen wird. Der eher triviale Aspekt, daß Licht im allgemeinen vorhanden sein muß, damit Gegenstände sichtbar sind, wird allerdings von praktisch allen Schülern als Bedingung geäußert. Aber es gibt eine ganze Reihe von Schülern, die der Meinung sind, daß

in einer Dunkelkammer weiße (und für viele auch gelbe) Gegenstände sichtbar sind.

Die deutliche Mehrzahl lehnt den Kern einer physikalischen Sehvorstellung ab, nach der ein beleuchteter Gegenstand selbst zum Sender von Licht wird und ein Teil dieses gestreuten Lichts ins Auge fallen muß, damit er gesehen wird.

Die Akzeptanz dieser Vorstellung ist für das Verständnis der elementaren Optik von grundlegender Bedeutung. Ist sie nicht vorhanden, haben die Bildkonstruktionen keinen physikalischen Sinn. Denn welche Bedeutung kann die strahlenphysikalische Konstruktion für die Abbildung eines Baumes, Hauses o. ä. durch eine Sammellinse (oder dem Fernrohr) für Schüler haben, die ablehnen, daß Licht von diesen Gegenständen abgestrahlt wird?

Auf die Frage zum Spiegelbild – Kommt Licht von der Kerze zum Spiegel? – äußerte ein Schüler:

„Ja, aber das bräucht's eigentlich nicht. Ich strahl' ja auch kein Licht aus und seh' mich trotzdem!“

Wegen der grundlegenden Bedeutung der physikalischen Sehvorstellung untersuchten wir in einer speziellen Form von Einzellehrgesprächen die Akzeptanzschwierigkeiten der Schüler ausführlicher. Im wesentlichen besteht diese Methode in folgendem: dem Schüler wird in einem ersten Schritt die physikalische Vorstellung erklärt. Danach wird er aufgefordert, eine Bewertung abzugeben und anschließend das Erklärungsangebot mit seinen eigenen Worten wiederzugeben. Im vierten Schritt werden zu Teilaspekten weitere Informationen gegeben, Experimente vorgeführt und diskutiert und ihre Akzeptanz überprüft. Abschließend werden Anwendungsbeispiele vorgelegt.

Zu den Ergebnissen kann vorweg gesagt werden:

(a) die Mehrzahl der Schüler äußert

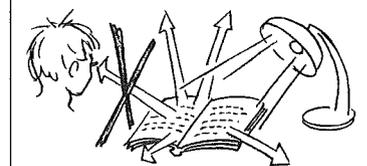


Bild 2

erhebliche Widerstände gegen die physikalische Sehvorstellung, und (b) mit geeignet zusammengestellten Demonstrationen können diese Widerstände deutlich reduziert werden.

Zunächst einige typische Schülerreaktionen (6. Klasse, Gymnasium) auf das Erklärungsangebot:

S: Also ich finde erst einmal sehr komisch, daß ein (Playmobil)Männchen Licht ausstrahlen soll.

I: Das glaubst du nicht?

S: Naja, so ganz -

I: Du kannst ruhig ganz deutlich sagen, was du unglaublich findest.
S: Nee, weil man das Licht nicht sieht, das das Playmobil-Männchen in unser Auge bringt. Und deshalb kann man das auch nicht glauben.

Die Antwort verweist auf die grundlegende Schwierigkeit der Optik, die in dem Begriff des *Lichtes* liegen. Zwei weitere Äußerungen:

I: Wie findest du denn diese Erklärung (SEV) für das Sehen?

S: Ich kann mir das eigentlich nicht vorstellen, daß 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.

I: ... das ist die Erklärung, die die Physiker sich überlegt haben.

S: Und wenn die nicht stimmt?

(I und S lachen): Also Physiker stellen sich das so vor, daß diese Gegenstände durch die Bestrahlung selbst abstrahlen.

S: Strahle ich denn auch?

I: ... Kannst du nochmal sagen, was dir an dieser Erklärung vom Sehen nicht gefällt?

S: Ja, ganz einfach, daß der doch überhaupt nicht strahlt. Ich mein, ich seh' ihn.
I: Aber daß der Lichtstrahlung abgibt, daß ...

S (unterbricht): Sehe ich nicht ein!

Der folgende Schüler akzeptiert (vermutlich) die physikalische Beschreibung des Sehens, beschreibt aber recht gut seine bisherige Alltagsvorstellung:

I: Findest du irgendeine Stelle daran komisch?

S: Ja, ich habe mir nicht vorgestellt, daß das selbst leuchtet. Ich habe gedacht, das Licht strahlt das an, und dadurch wird die Farbe sichtbar. Aber nicht, daß das dann selber noch mal leuchtet.

Eine typische Äußerung nach „üblichem“ Unterricht über Optik ist die folgende:

I: Aber was geht denn beim Sehen des Gegenstandes vor sich? Wie kommt es,

daß du diesen Baustein siehst?

S: Weil es in diesem Raum hier ziemlich hell ist und Licht drauffällt. Wenn es hier dunkel wäre, würde ich ihn nicht sehen.

Als weiteres Beispiel für die großen Schwierigkeiten kann die folgende Gesprächspassage mit einer (sehr intelligenten) Schülerin dienen. Ihr waren ergänzend die optische Aufhellung und die Farbeffekte an den Wänden und an der Decke gezeigt worden, wie sie bei Beleuchtung von weißen und farbigen Pappen mit einer Fotolampe zu beobachten sind. Diese Effekte waren ihr als Argument für die Streuung von Licht angeboten worden.

S: Das könnte sein (Lichtstreuung). Aber ich verstehe es nicht. Das sind doch ganz normale Dinge. Ich meine, das (farbiger Karton) 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 nicht (lacht). Vielleicht, ... bei einem Lebewesen, passiert es nicht! Außer, wenn es eine Sache anhat. Mit einem Gegenstand könnte ich mir 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 ... Aber bei Menschen, der nimmt das total, das Licht, der nimmt das 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 verstehe es 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.

Recht deutlich ist das Ringen der Schülerin zu sehen, das Erklärungsangebot, die experimentellen Demonstrationen und ihre eigenen Vorstellungen zusammenzubringen.

Aber mit der Akzeptanz der Lichtstreuung sind die Schwierigkeiten noch nicht beseitigt. Fast ein Drittel der Schüler ist nämlich der Meinung, von wahrgenommenen Gegenständen brauche kein Licht ins Auge

einfallen, damit der Wahrnehmungszusammenhang ausgelöst wird.

Mit gezielten Bemühungen (ausführlich dargestellt in einem Folgebeitrag) können die Schüler allerdings dazu gebracht werden, die physikalische Sehvorstellung zu akzeptieren und auf Beispiele anzuwenden. Es bedarf aber häufiger Wiederholungen und Anwendungen, sonst werden Teilaspekte relativ rasch wieder verdrängt.

Zum Spiegelbild

Die Ergebnisse der bisher durchgeführten Untersuchungen können zu folgenden Vorstellungen zusammengefaßt werden /5/:

(a) Spiegel werfen Licht im Sinne von Helligkeit zurück (die Helligkeit bleibt, im Gegensatz zu „normalen“ Gegenständen, nicht auf dem Spiegel liegen).

(b) Der Spiegel zeigt dem Betrachter, wie er (der Spiegel) die vor ihm befindlichen Objekte „sieht“.

(c) 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.

(d) 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).

(e) Das Spiegelbild ist nur scheinbar hinter dem Spiegel (z. B. eine optische Täuschung).

(f) Der Spiegel vertauscht rechts und links (aber nicht oben und unten), wobei wie im Alltag die Vertauschung der Seiten gemeint ist.

Diese Vorstellungen finden sich bereits bei Dritt- und Viertkläßlern. Im folgenden sollen die angeführten Vorstellungen etwas ausführlicher erläutert werden.

Zu (a): Diese Vorstellung ist im wesentlichen eine Modifikation der schon beschriebenen Vorstellung, daß Licht von „gewöhnlichen“ Gegenständen nicht gestreut bzw. reflektiert wird. Spezielle Gegenstände wie Spiegel tun dies aber.

Über die Hälfte der Schüler skizziert bereits vor Optikunterricht Lichtwege, die dem Reflexionsgesetz genügen. Bei bildhaften Darstellungen, die symmetrisch aussehen, ist dieser Anteil noch größer,

Die Frage lautete:
Klaus steht mit Freunden vor einem Spiegel.
a) Wen kann Klaus im Spiegel sehen?

Klaus	[]
Susi	[]
Peter	[]

b) Klaus kann mit der Taschenlampe auf den Spiegel leuchten, wohin er will. Wen kann er blenden?

Klaus	[]
Susi	[]
Peter	[]

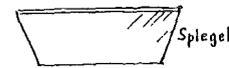


Bild 3

bei deutlich unsymmetrischen ist er erheblich kleiner.

Zu (b): Der Spiegel ist ein besonderer Gegenstand, der die vor ihm stehenden Gegenstände quasi „sehen“ kann, aber dieses „gesehene“ Bild wiedergibt bzw. zu einem Beobachter zurückwirft. „Weil der Spiegel ja alles spiegelt, was er sieht.“

Zu (c): Probleme, in denen sowohl nach der Bild- als auch nach der Strahlreflexion gefragt wird (s. Bild 3), werden in deutlich verschiedenem Ausmaß richtig beantwortet. Dabei wird die Bildreflexion (Offen ist dabei die Frage, ob die Schüler hierbei so etwas wie eine Lichtströmung vom Gegenstand über dem Spiegel zum Beobachter annehmen. Nach Ergebnissen zu anderen Problemen sollte man diesbezüglich eher skeptisch sein.) von etwa der Hälfte der Schüler intuitiv korrekt beantwortet, die Strahlreflexion (bei stark unsymmetrischer Anordnung) zu etwa einem Drittel.

Zu (d): Nur wenige Schüler können akzeptieren, daß das Spiegelbild hinter dem Spiegel liegt. Nach „normalem“ Unterricht mit üblichem Schwerpunkt auf den strahlungsgeometrischen Konstruktionen der Bilder können nach ca. einem halben Jahr nach Behandlung des Spiegelbildes weniger als 1/5 der Schüler den Ort des Spiegelbildes richtig angeben /6/.

Selbst Zweitkläßler äußern deutlich ihre Vorbehalte, nachdem ihnen diese Vorstellung erläutert und durch Demonstrationen versucht worden war, sie ihnen plausibel zu machen: S: Das sieht man aber nicht da hinter dem Spiegel. Das sieht man nur hier, aber nicht dahinter.

I: Was meinst du damit?

S: Das sieht man nur bei uns. Wenn ich jetzt dahinter bin, sieht man ja den Spiegel und das da nicht.

Oder:

S: Wenn der Spiegel fest an der Wand ist und das Spiegelbild, wenn das hinter dem Spiegel wär, wär's ja in der Mauer.

Mittelstufenschüler äußern sich ähnlich, häufig noch entschiedener: „Durch den Spiegel kann man nicht durchsehen, da ist hinten so etwas drauf. Also kann es gar nicht dahinter sein.“

Selbst wenn man das Spiegelbild zuerst an der Glasscheibe untersucht – hier wird das Bild im gewissen Sinn als hinter der Scheibe liegend akzeptiert – und sofort anschließend zum Spiegel übergeht, bleiben Einwände bestehen:

S: Gerade hat es dahinter gestanden (Bild einer Kerze hinter einer Glasscheibe) und jetzt steht es im Spiegel.

I: Kannst du mir das näher erklären?

S: Bei der Glasscheibe sah man das Bild dahinter, jetzt nicht mehr, weil da eine Wand ist (Beschichtung).

Zu (e): Schüler unterscheiden erstaunlich differenziert zwischen den Aussagen „Das Spiegelbild sieht man hinter dem Spiegel“ und „Das Spiegelbild ist hinter dem Spiegel“, z. B. in der Formulierung eines Schülers: „Das sieht nur so aus, als ob es dahinter wäre. Aber ob es tatsächlich dahinter ist?“

Die Formulierung „sieht man dahinter“ und noch deutlicher „das sieht nur so aus“ läßt die Möglichkeit der optischen Täuschung offen.

Zu (f): Auf die rein verbale Frage (ohne Bezug auf einen konkreten Beispielgegenstand, aber auch bei Bezug auf Menschen) antwortet die Mehrzahl, daß der Spiegel links und rechts vertauscht (aber nicht oben und unten). Bei asymmetrischen Gegenständen (z. B. ein Spielwürfel o. ä.) zeichnen etwa 2/3 der Schüler im Spiegelbild eine herausgehobene Seite korrekt ein. Nur etwas mehr als 10% geben eine rechts-links-Vertauschung an.

Mit Hilfe asymmetrischer Gegenstände können die Schüler sehr leicht zu der Einsicht gebracht werden, daß der Spiegel vorn und hinten vertauscht, aber rechts und links, oben und unten nicht (s. Bild 4).

Zur Abbildung durch Sammellinsen

Einige Schüler kennen die Brennpunktswirkung einer Sammellinse, aber praktisch keinem ist bewußt, daß eine Sammellinse eine abbildende Eigenschaft hat. Wenn den Schülern das reelle Bild einer Sammellinse gezeigt wird und sie zu einer Erklärung aufgefordert werden, verwenden sie i. d. R. eine holistische Vorstellung: das Bild des Gegenstandes wird als Ganzes vom Gegenstand aus durch die Linse auf den Schirm transportiert (Bild 5).

Auch wenn den Schülern ausführlich die übliche Fleck-zu-Fleck-Abbildung erklärt wurde, greift die Mehrzahl bei Anwendungen auf die holistische Vorstellung zurück. Insbesondere bei Abdeckaufgaben wird dies deutlich. Wird vor die Linse eine Ringblende gehalten, erwarten fast alle Schüler eine Veränderung des Bildes, und zwar entweder eine Verkleinerung oder ein Abschneiden des äußeren Randes (Bild 6).



Bild 4

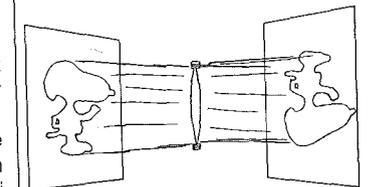


Bild 5

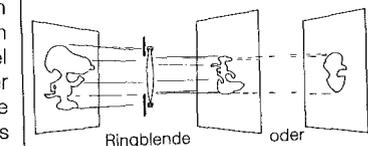


Bild 6

Farben

Untersuchungen zu Vorstellungen und Lernprozessen zum Thema Farben bereiten besondere Schwierigkeiten, weil hier erhebliche semantische Probleme vorliegen. Wie z. B. soll über die Wahrnehmungen gesprochen werden: Farbe, farbiges Licht, farbigmachende Lichtsorten, farbige Flächen?

Aus bisherigen schriftlichen und mündlichen Befragungen (im wesentlichen s. /5/) zu Farbe und Licht konnten folgende Vorstellungen ermittelt werden:

(a) Gegenstände haben eine Eigenfarbe (unabhängig von dem beleuchtendem Licht), die durch Beleuchten sichtbar wird.

(b) Trifft farbiges Licht auf einen farbigen Gegenstand, mischen sich die beiden Farben.

(c) Trifft farbiges Licht auf einen farbigen Gegenstand, dann deckt die „kräftigere“ Farbe die „schwächere“ Farbe zu.

(d) „Helle“ Farben (gelb, orange, rot) sind - wie weiß - im Dunklen sichtbar, „dunkle“ Farben (blau, violett) nicht.

(e) Licht hat keine Farbe.

(f) Licht kann verschiedene Farben haben (z. B. rot nach Durchgang durch eine rote Folie). Diese Farbe zeigt sich beim Auftreffen auf eine weiße Oberfläche.

(g) Beim Durchgang durch farbige Folien wird das Licht gemäß der Folienfarbe gefärbt bzw. nimmt deren Farbe mit.

(h) Beim Durchgang durch farbige Folien werden verschieden farbige Anteile des Lichtes selektiv durchgelassen.

(i) Beim Auftreffen von Licht auf farbigen Oberflächen wird ein der Oberflächenfarbe entsprechendes farbiges Licht erzeugt, das auf der Oberfläche liegenbleibt und diese farbig erscheinen läßt.

(j) Beim Auftreffen von Licht auf eine farbige Oberfläche werden die verschiedenen Anteile in Abhängigkeit von der Oberflächenfarbe selektiv getrennt.

Die Vorstellung **(j)**, die die wichtigsten Ideen der physikalischen Vorstellung enthält, tritt vor Unterricht als spontane Äußerung praktisch nicht auf. Erst wenn Angebote in dieser Richtung gemacht werden, z. B. in Lernexperimenten, wird sie reproduziert oder angewendet.

In Lernexperimenten, bei denen die Schüler eine physikalisch akzeptable Erklärung für das Sehen farbiger Gegenstände angeboten bekamen, zeigten sich erheblich Widerstände gegen Teilaspekte der Erklärung.

Über die Hälfte der Schüler lehnte die Vorstellung ab, daß Sonnenlicht – oder anderes „weißes“ Licht – aus verschiedenen Sorten farbigmachenden Lichtes zusammengesetzt ist. Selbst die Demonstration eines durch ein Geradsichtprisma erzeugten Spektrums ändert daran wenig. Etwa ein Fünftel der Schüler empfindet diese Demonstration als überzeugendes Argument, aber genausoviel sehen darineinen Gegenbeleg. Diese Schüler hatten in bzw. durch das Prisma gesehen und die Farberscheinungen beobachtet. Folglich färbt für sie das Prisma das durchfallende Licht. Dies ist auch das wichtigste Argument, mit dem das Vorstellungsangebot des zusammengesetzten Lichtes von Schülern spontan abgelehnt wird.

Auch die selektive Streuung wird zunächst von fast der Hälfte der Schüler abgelehnt, z. B. mit folgendem Argument: „Wenn der rote Stein das rote wegschickt, dann würd' das ja nicht rot aussehen.“ (vgl. Vorstellung **(i)**) Aber die Demonstration der Farbefekte an Decke und Wänden, wenn farbige Kartons mit einer hellen Lampe bestrahlt werden, bringt fast alle Schüler zur Akzeptanz der Vorstellung der selektiven Streuung.

Abschlußbemerkungen

Die hier dargestellten Beispiele für Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten belegen, daß Schüler mit einer Reihe von Vorstellungen in den Unterricht kommen bzw. diese dort in Gesprächen spontan konstruieren, die quer zu den physikalischen Ideen liegen und damit teilweise auf erhebliche Akzeptanzschwierigkeiten stoßen. Einige Hinweise auf Informationsangebote, die zur Akzeptanz physikalischer Vorstellungen führen, bzw. diese erleichtern, wurden hier bereits angesprochen, weitere werden in Folgebeiträgen dargestellt, in denen es um unterrichtliche Folgerungen geht.

Die dort befolgte Lernstrategie besteht vor allem darin, durch geeig-

nete Angebote, Phänomene oder Problemstellungen den Schülern die Aktivierung solcher Rahmenvorstellungen zu erleichtern, in deren Rahmen der individuell zu leistende Prozeß der Auseinandersetzung und Aneignung erfolgreich ablaufen kann. Diese Strategie ist m. E. bei den Inhalten mit besonderen Akzeptanzschwierigkeiten effektiver als eine solche, bei der die Schüler in einer ersten Phase aufgefordert werden, Theorieansätze für die neuartigen Bereiche zu konstruieren. Da diese spontan konstruierten Erklärungen i. d. R. nicht den heute akzeptierten physikalischen Ansätzen entsprechen und meist auch nicht so einfach in diese Richtung entwickelt werden können, ist eine langwierige Auseinandersetzung notwendig. Haben die Schüler ihre „Fehlvorstellungen“ im Verlauf der Diskussion erst einmal zu einer gewissen Reife gebracht, ist eine Widerlegung der unerwünschten bzw. die Akzeptanz der physikalischen Vorstellung schon aus Zeitgründen erheblich erschwert. Wie kann man z. B. für die Schüler überzeugend belegen, daß vom Gegenstand gestreutes Licht ins Auge fallen muß, damit der Gegenstand wahrgenommen wird?

Literatur

- /1/ Pfundt, H.; Duit, R.: Bibliographie Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht. – Kiel 1991
- /2/ Jung, W.: Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. – In: Naturwissenschaften im Unterricht. – Heft 34(1986)13. – S. 2-6
- /3/ Claus, J.; Wiesner, H.: Vorstellungen zu Schatten und Licht bei Schülern der Primarstufe. – In: Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe 13(1985). – S. 318-322
- /4/ Wiesner, H.: Vorstellungen von Grundschulern über Schattenphänomene. – In: Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe 19(1991). – S. 155-171
- /5/ Jung, W.; Wiesner, H.; Blumör, R.: Schülervorstellungen über optische Sachverhalte. – Abschlußbericht des DFG-Projektes Ju 150-1/2. – Frankfurt/ M. 1988
- /6/ Herdt, D.: Einführung in die elementare Optik. – Essen 1990

Dr. Dr. Hartmut Wiesner
Universität Frankfurt
Fachbereich Physik, Institut für Didaktik der Physik
Gräfstr. 39, W-6000 Frankfurt am Main 11