

Julius-Maximilians-Universität Würzburg
Fakultät für Physik und Astronomie
Lehrstuhl Physik und ihre Didaktik

**Zum Umgang mit Schülervorstellungen im Physik-
unterricht am Beispiel eines Fragebogens für die Optik**

Schriftliche Hausarbeit zur ersten Staatsprüfung für
das Lehramt an Gymnasien

Eingereicht von Tobias Kaiser
im Juni 2013

Betreut von Prof. Dr. Thomas Trefzger

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Problemstellung und Zielsetzung	2
3	Schülervorstellungen	3
3.1	Ursachen von Schülervorstellungen	3
3.2	Eigenschaften von Schülervorstellungen.....	6
3.3	Auswirkungen von Schülervorstellungen.....	7
4	Schülervorstellungen aus der Literatur	11
4.1	Schülervorstellungen zu Licht	11
4.2	Schülervorstellungen zur Sichtbarkeit von Gegenständen	12
4.3	Schülervorstellungen zum Spiegelbild	13
4.4	Schülervorstellungen zu Farben	13
4.5	Schülervorstellungen zu Licht und Schatten	13
5	Der Umgang mit Schülervorstellungen	14
5.1	Der Konzeptwechsel.....	14
6	Untersuchungsmethode	17
6.1	Das Einzelinterview.....	17
6.2	Der Fragebogen	18
6.3	Das Unterrichtsgespräch.....	19
6.4	Gütekriterien.....	19
7	Erstellung des Fragebogens.....	21
7.1	Allgemeine Aspekte	21
7.2	Inhaltliche Aspekte	24
7.2.1	Ausbreitung des Lichts	25
7.2.2	Licht und Schatten	26
7.2.3	Spiegel.....	26
7.2.4	Farben	27
7.2.5	Weitere Grundlagen	27
8	Durchführung des Fragebogens	27
8.1	Schulart.....	28

8.2 Mädchen im Physikunterricht.....	29
9 Auswertung der Fragebögen	33
9.1 Qualitative Inhaltsanalyse.....	33
9.1.1 Bestimmung des Ausgangsmaterials	36
9.1.2 Richtung der Analyse.....	37
9.1.3 Kategoriefindung	37
9.1.4 Kategorisierung.....	50
9.2 Auswertung Klasse 6a Armin-Knab-Gymnasium.....	55
9.3 Zusammenfassung und Vergleich mit Literatur	86
9.4 Auswertung der restlichen Klassen	87
9.4.1 Auswertung Klasse 5c Friedrich-König-Gymnasium.....	87
9.4.2 Auswertung Klasse 7c Armin-Knab-Gymnasium	88
9.4.3 Auswertung Klasse 5b Pater-Alois-Grimm-Gemeinschaftsschule	92
9.4.4 Auswertung Klasse 6a Pater-Alois-Grimm-Werkrealschule	96
9.5 Zusammenfassung	98
10 Analyse der Häufigkeitstabelle	99
10.1 Effektivität der Aufgaben	99
10.2 Vergleich zwischen Schularten	101
10.3 Vergleich zwischen Altersklassen (bei gleicher Schulart)	102
11 Unterrichts Anpassungen an Vorstellungen	102
12 Fazit.....	109
13 Danksagung.....	111
14 Literaturverzeichnis.....	112
15 Abbildungsverzeichnis	116
16 Anhang	117
16.1 Fragebögen	117
16.1.1 Fragebogen der Hauptdurchführung	117
16.1.2 Testfragebogen.....	128
16.1.3 Neuer Fragebogen.....	133
16.2 Häufigkeitstabellen	141
17 Selbstständigkeitserklärung.....	151

Im Folgenden umfasst der Begriff „Schüler“ sowohl Schüler als auch Schülerinnen. Gleiches gilt für den Begriff „Lehrer“.

1 Einleitung

Der wichtigste Einzelfaktor, der das Lernen beeinflusst, ist, was der Schüler schon weiß. Man berücksichtige dies und lehre entsprechend.“ [AUS 1968]

Dieses Zitat von David Paul Ausubel aus dem Jahre 1968 unterstreicht die Sicht der Psychologie auf das Lernen. Als die wichtigsten Einflussfaktoren werden hier das Vorwissen und die Intelligenz des Lernenden angeführt. Und das primäre Ziel der Schule und des Unterrichts ist wohl unbestreitbar, dass die Schüler im Laufe ihrer Schulzeit möglichst viel lernen. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, muss also ganz besonders das Vorwissen der Schüler beachtet werden. Dieses ist bereits vor der allerersten Unterrichtsstunde vorhanden. Auch im Wegweiser zur Bildung für deutsche Lehrer aus dem Jahre 1835 wird der Stellenwert des Vorwissens der Schüler betont. „Beginne den Unterricht auf dem Standpunkte des Schülers, führe ihn von da aus stetig, ohne Unterbrechung, lückenlos und gründlich fort! Der Standpunkt des Schülers ist der Ausgangspunkt. Dieser ist also vor dem Unterricht zu erforschen. (...) Ohne die Kenntnis des Standpunktes des Schülers ist keine ordentliche Belehrung desselben möglich. Man weiß ja sonst nicht, was vorauszusetzen, wo anzuknüpfen ist.“ [DIE 1835]

Es ist eine natürliche Eigenschaft des Menschen, die Welt verstehen zu wollen. Wir haben einen Trieb und eine Neugier, hinter Dinge sehen zu wollen. Wir suchen nach Erklärungen und Antworten, die uns die Hintergründe verstehen lassen. Dieser Trieb und diese Neugier führen uns zur Naturwissenschaft. Wir staunen über einen Regenbogen und fragen uns, wo er herkommt und was es mit ihm auf sich hat. Von Aristoteles stammt der Ausspruch: „Erstaunen ist der Beginn der Naturwissenschaft.“ Dieser Drang nach Erklärungen ist mit Sicherheit auch eine Ursache für die Entstehung von besagtem Vorwissen. Sprechen wir von Wissen, so meinen wir in der Regel eine wahre oder gerechtfertigte Meinung oder Ansicht. Betrachten wir allgemein die Meinungen und Ansichten, so können wir diese anstelle mit

Wissen mit dem Begriff Vorstellungen bezeichnen, denn sie müssen nicht zwangsläufig wahr sein. Bei Kindern und Schülern bezeichnen wir diejenigen Vorstellungen zu Themen und Wissensgebieten, die auch für die Schule von Bedeutung sind, als Schülervorstellungen. Nach dem Physikdidaktiker Reinders Duit sind Schülervorstellungen „in vielfältigen Alltagserfahrungen tief verankerte Vorstellungen zu Begriffen, Phänomenen und Prinzipien [...], um die es im Unterricht gehen soll“. [KIR 2009] Kinder beobachten in der Natur oder im Alltag Phänomene, die sie beschäftigen und suchen Erklärungen für eben diese. Somit sollte auch die positive Seite von Schülervorstellungen nicht zu kurz kommen, selbst wenn es sich dabei um Fehlvorstellungen handelt, sie also von der physikalischen Wahrheit abweichen. Schülervorstellungen sind ein Zeugnis dafür, dass sich Kinder zumindest mit physikalischen Phänomenen befasst, also mehr oder weniger intensiv darüber nachgedacht haben. Noch einmal betont werden soll, dass es sich bei Schülervorstellungen nicht um Fehlvorstellungen handeln muss. Der Begriff umfasst auch physikalisch korrekte Vorstellungen.

Es gibt eine Vielzahl an Begriffen für die Vorstellungen und Ideen, die Kinder zu physikalischen Phänomenen, Zusammenhängen und Begriffen besitzen. In der Fachliteratur wird man auf zahlreiche verschiedene Bezeichnungen stoßen, wie zum Beispiel „Schülervorverständnis“, „Vorverständnis“, „Denkrahmen“, „Alltagstheorien“, „Alltagsvorstellungen“ oder „Präkonzepte“. Widersprechen die Vorstellungen und Ideen der Kinder den naturwissenschaftlichen Konzepten, so spricht man von „Fehlvorstellungen“ oder „Fehlkonzepten“. Weniger negativ behaftet sind Begriffe, wie „spontanes Denken“ oder „intuitive Physik“. Sehr häufig wird in der Fachdidaktik der Begriff „Schülervorstellungen“ gebraucht, der auch für diese Arbeit verwendet wird. [WIL 2005]

2 Problemstellung und Zielsetzung

Bereits aus dem einleitenden Text wird ersichtlich, warum es für wichtig und nützlich erachtet wird, im Physikunterricht Schülervorstellungen zu berücksichtigen und auf sie einzugehen. Nun stellt sich die Frage, wie dies geschehen kann. Ziel dieser Arbeit ist es, eine Möglichkeit vorzustellen, wie dies am Beispiel der Optik umgesetzt werden kann. Es wird ein Fragebogen

entworfen und erprobt, mit dessen Hilfe Vorstellungen ermittelt werden sollen.

3 Schülervorstellungen

3.1 Ursachen von Schülervorstellungen

Die Physik ist immer und überall im Alltag präsent. Erst Licht ermöglicht uns zu sehen und uns in der Umwelt zurechtzufinden. Verlässt ein Schüler am Morgen das Haus, spürt er die Wärme der Sonne und die Kraft des Windes. Auf der Busfahrt zur Schule nimmt er Trägheitskräfte wahr, beim Hinfallen Reibungskräfte. Auf all diese Phänomene stoßen Schüler schon lange bevor sie das erste Mal den Physikunterricht in der Schule besuchen. Die Eindrücke werden im Gehirn durch Denkprozesse weiterverarbeitet, sie werden ergänzt, erweitert, verändert und verknüpft. Das menschliche Gehirn versucht etwas Neues stets mit etwas schon Bekanntem in Verbindung zu bringen. Sind Zusammenhänge und Gedanken, die im Gehirn durch eben diese Prozesse entstanden sind, mit vielen Eindrücken und Wahrnehmungen vereinbar, so werden sie aufgrund dieser Bestätigungen für wahr und richtig gehalten. Ebenso geschieht es, wenn mit Hilfe der Vorstellungen Vorhersagen getroffen werden, die dann tatsächlich eintreten. Diese Bestärkung der eigenen Gedanken kann zu festen Vorstellungen über physikalische Phänomene führen. So hat zum Beispiel so gut wie jedes Kind sehr oft die folgende Erfahrung gemacht: Wenn es auf der Ebene mit dem Fahrrad fährt, was seinem Empfinden nach offenbar Kraft benötigt und anstrengend ist, und schließlich aufhört, in die Pedale zu treten, so wird das Fahrrad bald zum Stehen kommen. Da dies immer genauso passiert, kann sich folgende Schülervorstellung festsetzen: Wenn keine Kraft mehr auf einen Körper wirkt, kommt er mit der Zeit zur Ruhe. Für den Alltag ist das natürlich in gewisser Weise korrekt. Ohne eine antreibende Kraft wirken nur noch die Reibungskräfte, die im Alltag immer vorhanden sind und jeder Körper kommt zur Ruhe. Man könnte Schülervorstellungen also als „kontextabhängige Wahrheiten“ bezeichnen. [FIS 1992] Und hier liegt ein großes Problem. Versuchen die Schüler diese Vorstellungen als allgemeingültige physikalische Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten zu formulieren, so stoßen sie auf Probleme. Denn wirkt keine Kraft auf einen Körper, so wird sich sein

Bewegungszustand eben gerade nicht ändern, so besagt es das Trägheitsgesetz von Newton. Schülervorstellungen haben also einen sehr beschränkten Geltungsbereich.

So können Schüler durch Alltagsbeobachtungen zum Beispiel die Vorstellung der endlich weiten Lichtausbreitung erlangen. Leuchtet man mit einer Taschenlampe bei Nacht beispielsweise auf ein weit entferntes Haus, so wird man wahrscheinlich kein Licht auf diesem erkennen können. Dies liegt allerdings nicht daran, dass das Licht sich nur eine endliche Strecke ausbreitet, sondern daran, dass der Lichtkegel der Taschenlampe sich stetig aufweitet und das Licht an Partikeln in der Luft gestreut wird. Dadurch nimmt die Intensität des Lichtes ab und wir können es ab einem gewissen Punkt nicht mehr wahrnehmen.

Viele Schüler haben auch die Vorstellung, dass Licht keine Zeit benötige, um sich auszubreiten. Diese Idee ist keineswegs abwegig, ist doch im Alltag nicht zu beobachten, dass sich Licht nur endlich schnell ausbreitet. Mit einer Geschwindigkeit von rund 300000 km/s kann man die Lichtgeschwindigkeit mit einfachen Mitteln kaum messen. Dies musste auch Galilei feststellen, der die Zeit messen wollte, die das Licht benötigt, um wenige Kilometer zurückzulegen. Um 10 Kilometer voranzuschreiten, braucht das Licht eine Zeitdauer von etwa dem 30000sten Teil einer Sekunde, eine Zeitspanne, die für uns Menschen absolut nicht wahrnehmbar ist. So ist es nicht verwunderlich, dass der erste vernünftige Wert für die Lichtgeschwindigkeit erst im Jahre 1678 von Ole Rømer angegeben werden konnte, nachdem schon unzählige Jahre lang, genauer gesagt bereits seit der Antike, über Endlichkeit oder Unendlichkeit der Lichtgeschwindigkeit diskutiert wurde. Dieser nutzte sehr große Abstände im Weltall, für deren Zurücklegung das Licht Zeiten braucht, die auch mit einfachen Mitteln zu messen sind.

Ein weiteres Beispiel liefert uns der Spiegel. Viele Kinder und auch Erwachsene sind der Überzeugung, der Spiegel vertausche rechts und links. Auch diese Vorstellung entspringt Alltagsbeobachtungen. Sehen wir ein Spiegelbild, so ist es meistens unser eigenes. Diesem stehen wir in der Regel täglich gegenüber, beim Zähneputzen, Händewaschen oder Kontrollieren, ob die Kleidung gut sitzt. Putzen wir uns mit der rechten Hand die Zähne, so hält unser Spiegelbild die Zahnbürste scheinbar in der linken Hand. Versetzen wir uns in das Spiegelbild, so blickt es im Vergleich zu uns in die entgegengesetzte Richtung. Und was für uns auf der rechten Seite ist, ist aus der Perspektive des Spiegelbildes auf der linken Seite. Tatsächlich vertauscht der Spiegel nicht links und rechts. Putzen wir uns mit der Hand die Zähne, die näher an der Badezimmertüre ist, so tut dies auch das Spiegelbild. Die Vorstellung

über das Vertauschen der Seiten liegt nur am oft unbewussten Perspektivwechsel, den man durchführt. Im Gegensatz zu rechts und links, die relative Ortsangaben sind, sind die Angaben oben und unten absolut. Fordert man eine Person auf, nach rechts zu blicken, kann sie dies aus ihrer Sicht oder aus der des Auffordernden tun, im Allgemeinen wird es zwei richtige Möglichkeiten geben. Fordert man einen Blick nach oben, so gibt es nur eine Möglichkeit. Deshalb hat kaum ein Schüler die Vorstellung, dass der Spiegel oben und unten vertauscht.

Auch die Art und Weise, wie physikalische Begriffe in der Alltagssprache gebraucht werden, ist eine mögliche Ursache für Schülervorstellungen. Die Aussage „Mein Freund hat mehr Kraft als ich.“ zeigt ein Verständnis von Kraft als körperliche Stärke. Der Begriff Kraft kann abhängig vom Kontext auch in zahlreichen weiteren, unter Umständen völlig verschiedenen Situationen verwendet werden. So kann zum Beispiel auch von Sehkraft oder Überzeugungskraft die Rede sein, also von Dingen, die mit der physikalischen Kraft überhaupt nichts zu tun haben. Es ist schwer für Schüler, auf dieser Basis die physikalische Kraft zu verstehen. Man denke nur an einen Fall, in dem eine Wand oder der Boden eine Kraft auf einen Gegenstand ausübt. Folgende Paraphrasen, die wohl jeder im Alltag verwendet, können ebenso Fehlvorstellungen verursachen. „Wirf einen Blick darauf!“ „Die Sonne geht auf.“

Die Massenmedien können als eine weitere mögliche Ursache angesehen werden. Hat ein Kind oft genug Superman dabei zugehört, wie er schneller als das Licht geflogen ist, um die Zeit zurückzudrehen, oder wie eine Cartoon Figur den Gesetzen der Schwerkraft trotzt, können sich solch abenteuerliche Theorien bei den Kindern festsetzen. Diese können zwischen Wirklichkeit und Fiktion noch nicht unbedingt unterscheiden. Und bevor der Film losgeht, betrachten wir den in Abbildung 1 dargestellten Angler, der in der Mondsichel sitzt. Auch Werbung kann Fehlvorstellungen auslösen, wenn sie uns zum Beispiel über die größten Stromfresser im Haushalt aufklären will. Kein Wunder, dass so eine Vorstellung vom Stromverbrauch bei Kindern entstehen kann.



Abb.1

Selbst der Physikunterricht kann Ursache von Fehlvorstellungen sein. Lehrer und Schüler denken und sprechen in verschiedenen Rahmen. Mit Rahmen sind ganze Vorstellungskomplexe gemeint, in die spezielle Vorstellungen, wie zum Beispiel über Begriffe wie Kraft, Arbeit oder Licht, eingefügt sind. Die Vorstellungsrahmen geben diesen Begriffen erst einen Sinn. Somit kann der Sinn einer Aussage immer nur relativ zum Rahmen verstanden werden. [BLU 1993] Der Lehrer denkt im physikalischen Rahmen, wohingegen der Schüler im Alltagsrahmen denkt. Dies kann zu Missverständnissen führen. Spricht der Lehrer zum Beispiel von physikalischer Arbeit, denkt der Schüler wahrscheinlich an den Alltagsbegriff Arbeit. So führt ein Satz wie „ein Kraft muss entlang eines Weges wirken, um Arbeit zu verrichten“ zu Problemen, denn ein Schüler weiß, dass es schon Arbeit ist, einen schweren Gegenstand in der Luft still zu halten. Spricht der Lehrer im Unterricht von Geschwindigkeit, so denkt der Schüler womöglich an das Tempo, also den Betrag der Geschwindigkeit. Im Alltag sprechen wir auch gerne von Geschwindigkeitsbegrenzung im Straßenverkehr. Ist nun die Einführung der Zentripetalkraft der Unterrichtsgegenstand und es wird eine Kreisbewegung eines Körpers betrachtet, der fünf Meter in einer Sekunde zurücklegt, so könnte ein Schüler aufgrund der für ihn konstanten Geschwindigkeit schließen, dass gar keine Kraft auf den Körper wirkt.

3.2 Eigenschaften von Schülervorstellungen

Wir können allgemeine und spezifische Schülervorstellungen unterscheiden. Bei allgemeinen

Vorstellungen handelt es sich um übergreifende Vorstellungen, also generelle Prinzipien wie zum Beispiel die Verbrauchsvorstellung. Die Schüler sind der Ansicht, um einen Vorgang aufrecht zu erhalten, muss stets irgendetwas verbraucht werden. So wird vom Benzinverbrauch beim Auto und vom Wachsverbrauch der Kerze auf den Stromverbrauch im elektrischen Stromkreis geschlossen. Diesen Stromverbrauch gibt es jedoch nicht und die Schüler entwickeln somit eine Fehlvorstellung. Ein weiteres Beispiel stellen die häufig unzutreffenden Kategorisierungen dar. So wird Licht nicht als Vorgang, sondern als Zustand angesehen und Kraft als eine Eigenschaft und nicht als eine Relation zwischen Objekten. Die spezifischen Vorstellungen hingegen sind auf einen enger begrenzten Inhalt bezogen. Ein Beispiel ist die Vorstellung von Reflexion, deren Gewicht im Verlauf dieser Arbeit verdeutlicht wird. Spiegel werfen Licht zurück, „gewöhnliche“ Gegenstände tun dies jedoch nicht, so die Ansicht vieler Schüler.

Daneben muss man zwischen fest verankerten und spontanen Schülervorstellungen unterscheiden. Letztere können durch eine Beobachtung oder ein Gespräch entstehen. So können Schüler beispielsweise die Vorstellungen von ihren Klassenkameraden spontan übernehmen, wenn ihnen diese in der entsprechenden Situation plausibel erscheinen. Dies führt dazu, dass auch mehrere sich widersprechende Vorstellungen zu einem Phänomen vorhanden sein können.

3.3 Auswirkungen von Schülervorstellungen

In 3.1 wurde erwähnt, wie die Vorstellungen das Verständnis von Begriffen beeinflussen können. So haben nicht nur gleiche Begriffe für Lehrer und Schüler unterschiedliche Bedeutungen, auch werden Situationen nicht gleich gedeutet und vorausgesagt, Phänomenen verschiedene Ursachen zugesprochen und es kommt zu unterschiedlichen Beobachtungen.

Ebenso wie der Unterricht Vorstellungen bei den Schülern verursachen kann, beeinflussen bereits vorhandene Vorstellungen der Schüler die Kommunikation mit dem Lehrer und somit den Kern des Unterrichts. Folgen können Unverständnis und Missverständnis sein. Dies ist offenbar keine Basis für einen fruchtbaren Physikunterricht. Zudem führt erlebte Inkompetenz, aus mangelndem Verständnis entstanden, zu einem verminderten Selbstkonzept

und einer verminderten Selbstwirksamkeitserwartung der Schüler. Als Selbstkonzept wird das Wissen über eigene Fähigkeiten bezeichnet. Unter Selbstwirksamkeitserwartung versteht man die Erwartungen einer Person, Handlungen erfolgreich und vor allem aus eigener Kraft ausführen zu können. Diese Faktoren sind notwendige Voraussetzungen für das selbstgesteuerte, eigenständige Lernen, welches nicht nur erwünscht, sondern in gewissem Maße sogar unentbehrlich ist. Schließlich handelt es sich beim Lernen um einen aktiven Prozess. Die Schüler trauen sich nichts mehr zu, sind von ihrer eigenen Inkompetenz überzeugt. Es werden keine herausfordernden Ziele mehr an sich selbst gestellt und der erwünschte Fortschritt droht, auf der Strecke zu bleiben.

Zudem beeinflusst unser Vorwissen unsere Wahrnehmung, das Beobachten und Interpretieren von Geschehnissen. So „sehen“ die Schüler oft nur Dinge, die mit ihrem Vorwissen vereinbar sind. Dass dies sehr wohl geschieht, haben William Brewer und James Treyns im Jahre 1981 empirisch belegt. Sie ließen Studenten in einem Arbeitszimmer für einige Sekunden Platz nehmen. Dann wurden sie in ein anderes Zimmer geführt und sollten völlig unerwartet eine Erinnerungsaufgabe lösen. Sie sollten alles benennen, woran sie sich in dem Arbeitszimmer erinnern konnten. Zwei besonders interessante Ergebnisse ergaben sich aus diesem Experiment. In dem Raum befanden sich einige für ein Arbeitszimmer untypische Gegenstände, wie eine Weinflasche und ein Picknickkorb. Diese wurden nur von wenigen Studenten angegeben. Noch bemerkenswerter war jedoch, dass viele Studenten Objekte, wie zum Beispiel Bücher, reproduzierten, die gar nicht im Zimmer vorhanden waren und die sie demnach auch nicht gesehen haben konnten. Eine mögliche Erklärung hierfür ist die folgende: Die Informationen und Eindrücke, die im Arbeitszimmer aufgenommen wurden, werden mit dem Vorwissen verknüpft, in diesem Fall mit dem im Gehirn gespeicherten Bild eines typischen Arbeitszimmers. So werden Einzelheiten, die nicht zum bereits Bekannten passen als sinnlos erachtet und nicht aufgenommen, andere Einzelheiten werden hinzugefügt, damit der Eindruck ins Schema passt. [MIE 2005]

Auch das Handeln und die Voraussagen der Schüler werden durch die Schülervorstellungen gelenkt. Sehr schön wurde dies durch das folgende Experiment bestätigt. Kinder sollten den Gleichgewichtspunkt eines quaderförmigen Holzbalkens finden und diesen auf einer Vorrichtung in Balance halten. In den Holzbalken war an einem Ende ein Stück Metall nicht

sichtbar eingearbeitet, sodass der Schwerpunkt nicht mit dem geometrischen Mittelpunkt des Balkens zusammenfiel. Kleine Kinder im Alter von 4 Jahren lösten diese Aufgabe mit Hilfe der Versuch und Irrtum Strategie. Sie legten den Balken mehr oder minder willkürlich auf und verschoben ihn so lange, bis er sich im Gleichgewicht befand. Ältere Kinder im Alter von 8 Jahren legten den Balken mittig auf, sodass sich der geometrische Mittelpunkt genau über der Vorrichtung befand. Als der Balken immer wieder herunterfiel waren sie sichtlich verwirrt und suchten den Gleichgewichtspunkt immer wieder in der unmittelbaren Nähe des geometrischen Mittelpunktes des Balkens. Offenbar hatten die Kinder eine Vorstellung davon, wo der Schwerpunkt bei einem Quader sitzen muss und diese Vorstellung beeinflusste ihr Handeln dermaßen, dass viele die Aufgabe nicht erfüllen konnten. [KAR 1975]

Ein weiteres Beispiel, wie Vorstellungen das Arbeiten erschweren können, liefert uns Michael Faraday, der Entdecker der elektromagnetischen Induktion. Nachdem Oersted eine magnetische Wirkung des elektrischen Stroms nachweisen konnte, suchte Faraday gewissermaßen eine Umkehrung dieser Wirkung. Das Vorwissen Faradays, dass im vorangegangenen Versuch von Oersted ein konstanter Strom ein konstantes Magnetfeld zur Folge hatte, führte ihn zu der Annahme, dass ein konstantes Magnetfeld eine solche elektrische Wirkung haben müsse. Dies ist jedoch nicht der Fall. Diese Vorstellung war eine Ursache, dass es insgesamt etwa zehn Jahre dauerte, bis Faraday schließlich die Existenz der elektromagnetischen Induktion nachweisen konnte. Dies zeigt, dass nicht nur Kinder von Schwierigkeiten aufgrund von Vorstellungen betroffen sind. Auch bei Studenten ist das der Fall. Nehmen wir als Beispiel eine mathematische Tatsache, die für viele Studenten schwer anzunehmen ist. Die Menge der rationalen Zahlen und die Menge der natürlichen Zahlen sind gleich mächtig. Die Studenten erwehren sich förmlich gegen diese Aussage, weil sie ihnen so verkehrt erscheint. Grund dafür sind ihre Vorstellungen. Haben wir im Alltag mit Mengen zu tun, so sind diese stets endlich. Sind zwei endliche Mengen nicht gleich und ist eine in der anderen enthalten, so muss ihre Mächtigkeit auch kleiner sein. Die natürlichen Zahlen sind in den rationalen Zahlen enthalten und offenbar sind die beiden Mengen nicht gleich. Ein weiteres Beispiel liefert uns die Quantenphysik. Wir haben aus dem Alltag strikt klassische Vorstellungen. Wirft man einen Ball durch eine Wand mit Löchern, so wird der Ball nur durch genau eines der Löcher hindurchtreten. Doch schießt man ein einzelnes Photon auf einen Doppelspalt, so tritt es durch beide Öffnungen hindurch.

Auch der Einfluss der Vorstellungen auf das physikalische Verständnis an sich ist enorm. Angenommen ein Schüler besitzt die Vorstellung der instantanen Lichtausbreitung. Er denkt also, dass Licht keine Zeit brauche, um sich auszubreiten. Dieser Schüler kann auf Basis jener Vorstellung unter keinen Umständen das physikalisch korrekte Prinzip der Brechung begreifen. Die optische Brechung resultiert ja gerade aus den unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten des Lichtes in optisch verschieden dichten Medien. Somit kann auch die Funktionsweise von Linsen und damit die gesamte geometrische Optik nicht gut aufgenommen werden. Schülervorstellungen können also bereits im Voraus die Chance auf ein angemessenes Verständnis physikalischer Konzepte im Keim ersticken, besonders natürlich, wenn sie unberücksichtigt bleiben.

Zudem ist die Vorstellung der Lichtaussendung von Körpern ebenfalls Grundlage für die abbildende Optik. Auch die Funktionsweise optischer Instrumente wie des Fernrohres, der Lupe oder des Mikroskops benötigt diese Vorstellung. Hat der Schüler nicht die Vorstellung, dass die gedruckten Buchstaben auf einem Blatt Papier Lichtstrahlen aussenden, die durch die Lupe aufgeweitet sind und so der Text besser lesbar ist, so wird er sich die Funktionsweise der Lupe kaum erklären können.

Schüler besitzen nicht nur Vorstellungen über physikalische Inhalte, sondern auch über die Physik als Wissenschaft und über das Lernen an sich. Viele Schüler haben die naive Vorstellung von Physik als eine Wissenschaft, die ein getreues Abbild der Welt aufzeigt und alle Phänomene und Geschehnisse restlos aufklären und erklären kann. Doch dies ist nicht der Fall, denke man nur an die Quantenphysik, in der man oftmals nur Wahrscheinlichkeitsaussagen treffen kann. Was das Lernen angeht hält sich auch bei einigen Schülern die Vorstellung des passiven Einspeicherns von Wissen, das vom Lehrer vorgetragen wird. Dementsprechend passiv können sich Schüler im Unterricht verhalten. Oftmals ist auch keine Vorstellung über Unterrichtsaktivitäten beim Schüler vorhanden. Ihm ist unklar, wozu ein bestimmtes Experiment durchgeführt wird oder was der Sinn einer gewissen Anwendung ist. Dieses Unverständnis kann wiederum zu mangelndem Interesse an der Physik führen.

Man sieht anhand der vorangehenden Punkte, welch immensen Einfluss Schülervorstellungen auf den Unterricht und das Lernen des Schülers haben können. Dies zeigt einmal mehr die Notwendigkeit, diese im Unterricht zu berücksichtigen.

4 Schülervorstellungen aus der Literatur

In vorherigen Punkten wurden bereits manche Schülervorstellungen angesprochen. Nun soll der aktuelle Stand der Literatur zu den häufigsten Vorstellungen zu Inhalten der Optik dargelegt werden, die auch im Fragebogen dieser Arbeit aufgegriffen werden.

4.1 Schülervorstellungen zu Licht

Bei Schülern trifft man auf zahlreiche Verständnisse von Licht. Licht kann mit der Lichtquelle gleichgesetzt, als etwas Hellmachendes oder als Helligkeit selbst angesehen werden oder als ein System, das von der Lichtquelle kommt. Somit werden Ursache und Wirkung miteinander vermischt. Hierbei besteht für die Schüler ein fundamentaler Unterschied zwischen Lichtquellen und beleuchteten Körpern, da letztere ihrer Vorstellung nach kein Licht abgeben. Die Vorstellung von Licht als etwas Strömendes, das sich in Bewegung befindet, ist höchstens im Fall des Anschaltens einer Lichtquelle vorhanden. Danach befindet sich das Licht in einem bewegungslosen, statischen Zustand, es liegt quasi auf dem Gegenstand, den man betrachtet. Viele Schüler haben die Vorstellungen eines sogenannten Lichtsees oder Lichtbads, siehe hierzu auch Abbildung 2. Licht geht von einer Lichtquelle aus und erfüllt den ganzen Raum mit allen Ecken und Spalten, genauso, als würde der Raum mit Wasser geflutet werden. Diese Vorstellung kann man leicht aus dem alltäglichen Leben aufnehmen. Macht ein Kind in seinem Zimmer das Licht an, so wird das ganze Zimmer hell erleuchtet. Befindet sich in dem Zimmer eine Deckenlampe mit Schirm, so ist es sogar über dem Schirm hell, wo die Lampe nicht direkt hin scheint.

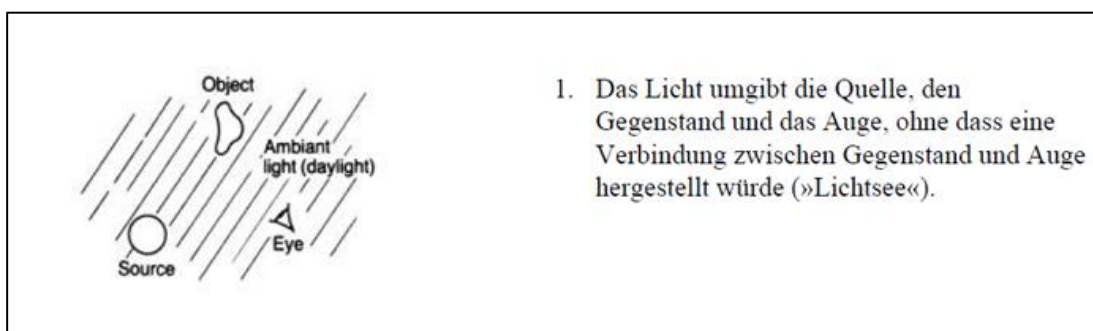


Abb. 2

Bei so gut wie jedem Schüler ist die Vorstellung der geradlinigen Lichtausbreitung vorhanden, in dem Sinne, dass Lichtstrahlen nicht gebogen sind. Haben Schüler gleichzeitig die eben erwähnte Lichtseevorstellung, so ist dies ein Beispiel dafür, dass sich die Vorstellungen eines Schülers widersprechen können. Denn hat man die Vorstellung, dass Licht einen Raum füllt, wie Wasser, so muss man davon ausgehen, dass es auch um die Kurve gehen kann, um überhaupt jeden Winkel des Raumes erreichen zu können. Eine Vorstellung, die ebenfalls weit verbreitet ist, ist die der endlich weiten Lichtausbreitung. Viele Schüler haben zudem die Vorstellung, dass Licht keine Zeit braucht, um sich auszubreiten.

4.2 Schülervorstellungen zur Sichtbarkeit von Gegenständen

Die Lichtstreuung ist ein in der Optik grundlegendes Phänomen, das bei den Schülern weitestgehend unbekannt ist. Licht aussenden können ihrer Meinung nach nur primäre Lichtquellen und Gegenstände, die das Licht wie ein Spiegel reflektieren. Für viele Schüler kommt die Sichtbarkeit von Gegenständen so zu Stande, dass Licht auf sie fällt, auf ihnen liegen bleibt und sie somit erhellt. Diese Vorstellungen erschweren das Verständnis vieler physikalischer Zusammenhänge oder machen es sogar unmöglich. Wenn nicht dauernd neues Licht von der Lichtquelle wegströmt, wie kann ein Solartaschenrechner oder gar eine ganze Solaranlage dann über einen längeren Zeitraum funktionieren? Liegt nur eine bestimmte Menge Licht auf ihnen, müsste dann nicht irgendwann dessen Energie aufgebraucht sein? Sehr vereinzelt wurde bei Schülern auch die Vorstellung von Sehstrahlen festgestellt, die aus dem Auge treten, auf den Gegenstand treffen und diesen so sichtbar machen. Entweder ist dies der Fall, oder diejenigen Schüler, die keine Vorstellung von der Lichtstreuung haben, sind der Meinung, dass es keine direkte Interaktion zwischen Gegenstand und Auge gibt. Alleine die Helligkeit auf dem Gegenstand ermöglicht das Sehen desselben. Befragt man Schüler nach Bedingungen, die erfüllt sein müssen, um einen Gegenstand sehen zu können, so fällt am ehesten die Äußerung, dass man gesunde Augen benötige. Gewöhnlich erwähnt kaum ein Schüler überhaupt Licht. Viele Schüler sind der Meinung, dass Licht den Sehvorgang sogar behindert, wenn es in die Augen fällt, da man geblendet wird.

4.3 Schülervorstellungen zum Spiegelbild

Eine weit verbreitete Vorstellung zum Spiegel ist, dass sich das Spiegelbild auf dem Spiegel befinde. Die Ursache dieser Vorstellung ist ebenso simpel wie einleuchtend. Meistens hängen Spiegel an der Wand, im Badezimmer, in der Garderobe oder im Tanzstudio. Wäre das Spiegelbild hinter dem Spiegel, so müsste es sich in der Wand befinden, was absurd erscheint. Tatsächlich ist das Spiegelbild ein virtuelles Bild, das unser Gehirn aus den eintreffenden Strahlen zusammensetzt und ein virtuelles Bild kann sich sehr wohl in einer Wand befinden. Zudem gibt es die Vorstellung, dass der Spiegel die Seiten links und rechts vertauscht.

4.4 Schülervorstellungen zu Farben

Bei den Schülern herrscht verbreitet die Vorstellung, dass Licht aus einer Lichtquelle wie der Sonne oder einer Lampe keine Farbe hat. Sehen wir einen Gegenstand in einer Farbe, so ist diese Eigenschaft des Gegenstandes selbst. Man kann das Licht jedoch färben, etwa mit Hilfe eines Prismas. Helle Farben, wie zum Beispiel gelb, sind auch in absoluter Dunkelheit sichtbar. Für farbiges Licht ist oft die Mischvorstellung aus der Malerei vorhanden, auch bekannt als Farbkastenvorstellung. Die Schüler haben die Vorstellung, ebenso wie blaue Farbe auf einem gelben Papier grün aussieht, mischt sich blaues Licht mit einer gelben Wand zu grün.

4.5 Schülervorstellungen zu Licht und Schatten

Der Schatten wird von vielen Schülern als etwas angesehen, das ein Gegenstand generell besitzt. Demnach ist für sie ein Schatten auch nachts vorhanden, allerdings nicht für uns sichtbar. Der Schweizer Psychologe Piaget hat in seinen Untersuchungen vier Stufen festgestellt, die die Entwicklung der Vorstellungen über Schattenphänomene beschreiben. „Die physikalisch korrekte Erklärung des Schattens wird auf der vierten Stufe (Durchschnittsalter 9 Jahre) gegeben (...)“. [BLU 1993] Als physikalisch korrekt wird die richtige Orientierung des Schattens und die Erklärung des Schattens als Lichtmangel angesehen. Eine „sichere Vorhersage der Schattenorientierung“ sollte bereits mit Erreichen

der dritten Stufe bei einem Durchschnittsalter von 8 Jahren vorhanden sein.

5 Der Umgang mit Schülervorstellungen

Schülervorstellungen nehmen für den Lernprozess zwei konträre Positionen ein. Einerseits sind sie notwendige Anknüpfungspunkte, denn das Gehirn versucht neue Sinneseindrücke auf Basis bereits vorhandener Informationen zu interpretieren. Auf der anderen Seite stellen sie oft ein Lernhemmnis dar, besonders natürlich, wenn sie mit den wissenschaftlichen Konzepten nicht vereinbar sind.

Der Versuch, Fehlvorstellungen gar nicht erst aufkommen zu lassen, scheint ein aussichtsloses Unterfangen zu sein. Die ersten Vorstellungen, beispielsweise zu Schattenphänomenen, können die Kinder entwickeln, noch lange bevor sie in die Schule kommen, womöglich noch vor der Kindergartenzeit. Kinderbücher, die versuchen Physik kindgerecht darzustellen, könnten der Entstehung von Fehlvorstellungen entgegenwirken. Doch man glaubt eher Dinge, die man mit eigenen Augen gesehen und selbst erlebt hat, als etwas in einem Buch Gelesenes. Man muss sich als Alternative wohl mit dem Versuch abfinden, die Vorstellungen im Unterricht möglichst so zu bearbeiten, dass sie mit der Physik vereinbar werden. Dies erfordert im Falle von Fehlvorstellungen einen Konzeptwechsel.

Durch einen reinen Lehrervortrag, wie er beim Frontalunterricht stattfindet, ist eine Veränderung der Vorstellungen kaum möglich. Präsentiert man den Schülern lediglich ein physikalisches Konzept, ohne sie es selbstforschend erfahren zu lassen und ohne auf ihre Vorstellungen einzugehen, so wird es eventuell eine Zeit lang parallel neben dem vorhandenen Alltagskonzept existieren. Bald darauf wird es jedoch höchstwahrscheinlich verblassen, weil die eigenen Konzepte viel fester verankert sind und sich oft über Jahre hinweg stetig im alltäglichen Leben bewährt und bestätigt haben.

5.1 Der Konzeptwechsel

Passen die Schülervorstellungen überhaupt nicht zu den wissenschaftlichen Erkenntnissen, so muss beim Schüler ein Wechsel des Konzeptes stattfinden, um dauerhaftes, sicheres

Verständnis der Physik erlangen zu können. Damit der Lernende wirklich von seinem Alltagskonzept zu einem wissenschaftlichen wechselt, müssen einige Bedingungen erfüllt sein. Die wohl wichtigste ist die Unzufriedenheit mit der bereits vorhandenen Vorstellung. Ist man zufrieden mit seinen Vorstellungen, tun sich also keine Widersprüche auf und kann man mit deren Hilfe zuverlässige Voraussagen und Erklärungen physikalischer Vorgänge konstruieren, so gibt es keinen Grund, sie zu ändern. Es gibt eher Gründe, diese auf gar keinen Fall zu ändern, da man mit ihnen ja erfolgreich arbeiten kann. Ist diese Unzufriedenheit beim Schüler hervorgerufen worden, kann man ihn auf eine alternative Sichtweise stoßen, auf das wissenschaftliche Konzept. Hier ist besonders entscheidend, dass dieses dem Schüler verständlich und logisch erscheint, am besten, dass es ihm sogar intuitiv plausibel erscheint. Kann er dieses neu erworbene Konzept dann auch erfolgreich in neuen Situationen anwenden, ist es also fruchtbar, so stehen die Chancen gut, dass es sich in ihm festigt.

Für diesen Konzeptwechsel gibt es mehrere Möglichkeiten, abhängig davon, wie groß die Diskrepanz zwischen Alltagskonzept und wissenschaftlichem Konzept ist. Kollidieren diese gar nicht oder nur sehr wenig miteinander, so kann man versuchen, den Konzeptwechsel mit Hilfe einer Anknüpfungsstrategie zu erreichen und so einen kontinuierlichen und bruchlosen Übergang anstreben. Man nimmt die Vorstellung der Schüler als Basis für das neue Konzept und baut darauf mit geeigneten Veränderungen auf. Um ein Beispiel aus dem Fragebogen aufzugreifen, können wir die Antworten zu Aufgabe 5 betrachten. Hier war gefragt, warum es tagsüber auch in Zimmern hell ist, in die die Sonne nicht direkt hineinscheint. Einige Schüler führen an, dass das Sonnenlicht von Fenstern oder von Wasser gespiegelt wird und so in das Zimmer hineintreten kann. Diese Vorstellung ist schon nahe an der physikalischen Erklärung des Phänomens. Tatsächlich ist es jedoch so, dass auch Gegenstände wie Bäume, andere Häuser, Straßen und Wiesen das Licht reflektieren und in das Zimmer werfen. Es fehlt also „nur noch“ die Vorstellung, dass alle möglichen Gegenstände das Licht reflektieren können und nicht nur Gegenstände, die man als Spiegel bezeichnen könnte.

Widersprechen die Vorstellungen der Schüler den physikalischen Konzepten, sind jedoch Ansätze vorhanden, die nicht abwegig sind, so kann man den Konzeptwechsel durch ein Umdeuten erreichen. Als Beispiel sehen wir uns Aufgabe 10 und 11 aus dem Bogen an, in denen die Entstehung der unterschiedlichen Mondphasen erklärt werden soll. Einige Schüler

haben die Vorstellung, dass die Sichelgestalt des Mondes daher kommt, dass die Erde einen Schatten auf ihn wirft. Dies ist falsch, ist jedoch von der Idee her nicht abwegig. Nun könnte man versuchen, die Situation, in der der Mond von dem Erdschatten verdeckt wird, von einer Mondphase in eine Mondfinsternis umzudeuten. So zwingt man den Schüler nicht, seine Vorstellungen aufzugeben, man bringt ihm nur nahe, dass es sich dabei um ein anderes Phänomen handelt, als das von ihm geglaubte.

Ähnlich können wir in folgendem Fall ansetzen. Ein Schüler gibt folgende Erklärung für die Entstehung von Tag und Nacht in Aufgabe 2: „Nacht ist wenn sich der Mond vor die Sonne schiebt u. Tag wenn der Mond von der Sonne geht.“ Hier ist das Prinzip der Entstehung einer Sonnenfinsternis dargestellt. Obwohl die Aussage als Antwort auf die Frage nach der Entstehung von Tag und Nacht falsch ist, handelt es sich hier um eine Vorstellung, die physikalisch nicht sinnlos ist. Sie muss nicht verändert oder ausgelöscht werden, lediglich umgedeutet.

In Fällen der leichten Abweichung der Schülervorstellungen von den physikalischen Prinzipien soll der Schüler erkennen, dass seine Vorstellungen zwar durchaus anwendbar sind, auf spezielle Situationen angepasst, und eine brauchbare Basis für das Verständnis liefern, in anderen Situationen jedoch kein erfolgreiches Handeln ermöglichen. Die physikalischen Sichtweisen sind dagegen universell anwendbar, sie liefern stets das richtige Ergebnis.

Liegen die Schülervorstellungen jedoch vollkommen quer zu den wissenschaftlichen Ansätzen, kann man mit Hilfe der Anknüpfungs- oder Umdeutungsstrategie kaum ans Ziel gelangen. Für diese Fälle steht die Konfrontationsstrategie zur Verfügung. Je ferner von der Realität eine Vorstellung ist, desto leichter ist es in der Regel, damit auf Widersprüche zu stoßen oder in Versuchen und Experimenten Ergebnisse zu erhalten, auf die sich mit der Vorstellung nicht schließen lässt. Auf diese Art soll ein kognitiver Konflikt im Schüler erzeugt werden, es soll zu der oben beschriebenen Unzufriedenheit mit der eigenen Vorstellung kommen. Hierbei ist es wichtig, dass besagter Konflikt für die Schüler offensichtlich ist, denn wie in 3.3 beschrieben sehen und deuten Schüler Beobachtetes oft ganz anders als der Lehrer.

6 Untersuchungsmethode

Um die Vorstellungen der Schüler im Unterricht berücksichtigen zu können, muss man sie zunächst in Erfahrung bringen, wobei natürlich die Fehlvorstellungen ganz besonders von Interesse sind. Die Erfassung der Schülervorstellungen erweist sich als schwierig und anfällig für Fehler. Eine Fehlerquelle ist die unumgängliche Voreingenommenheit des Untersuchers und der damit einhergehende Mangel an Objektivität. Allein die Tatsache, dass eine Untersuchung über das Vorhandensein von Fehlvorstellungen durchgeführt wird, zeigt die Überzeugung des Untersuchers, dass gewisse Fehlkonzepte bei den Schülern existieren müssen. Solche a-priori-Theorien können dazu führen, dass der Untersucher Vorstellungen zu finden glaubt, die gar nicht vorhanden sind. Dieser Effekt wird noch verstärkt, wenn die Fragen im Gespräch oder der schriftlichen Befragung auf bestimmte Schülervorstellungen aus der Literatur abzielen, da der Untersucher hier bereits bestimmte Antworten erwartet. Hat man schließlich Daten gesammelt, so müssen diese ausgewertet werden. Hierbei spielen wie bereits erwähnt die Interpretationen der Antworten durch den Untersucher oft eine entscheidende Rolle. Wann ist es gerechtfertigt zu sagen, eine bestimmte Vorstellung ist bei einem Schüler vorhanden oder nicht?

Als Untersuchungsmethode stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, die allesamt Vorteile, aber auch Nachteile mit sich bringen. Hier sollen drei Varianten betrachtet werden, das Einzelinterview, der Fragebogen und das Unterrichtsgespräch.

6.1 Das Einzelinterview

Der wohl entscheidendste Vorteil des Einzelinterviews ist, dass es die Möglichkeit für den Schüler bietet, sich völlig frei zu einem bestimmten Thema zu äußern und er nicht zwingend an die Beantwortung vorgegebener Fragen gebunden ist. Ist man sich nicht sicher über seine Vorstellungen, so kann man durch gezieltes Nachfragen oft besser erkennen, wie genau der Schüler über eine Sache denkt. Dies ist ein großer Vorteil, gerade wenn es um das Erkennen von Schülervorstellungen geht. Zudem kann man den Schüler auf eventuelle Widersprüche aufmerksam machen und beobachten, wie er reagiert. So können unter Umständen Hinweise auf Stabilität und Entwicklungsfähigkeit der Vorstellungen gewonnen werden.

Auf der anderen Seite verleitet das Interview leicht zu übermäßig starker Interaktion, bei der der Untersucher durch gezieltes Nachhaken, seine Fragen oder sein Verhalten allgemein in dem Schüler Vorstellungen hervorrufen kann. Die Ursache hierfür sind wieder die eigenen Vorstellungen des Untersuchers darüber, welche Vorstellungen beim Schüler wohl vorhanden sein könnten.

6.2 Der Fragebogen

Im Vergleich zum Interview engt ein Fragebogen den Schüler mehr ein. Dieser kann sich nicht nach Belieben äußern, sondern muss konkrete Fragen beantworten beziehungsweise Aufgaben bearbeiten. Besonders stark ist diese Einengung bei Multiple Choice Aufgaben, bei denen sich der Schüler nur durch das Setzen eines oder mehrerer Kreuzchen äußern kann. Ein Schwachpunkt, der mit ausschlaggebend ist, bei dem Fragebogen dieser Arbeit auf entsprechende Aufgabentypen zu verzichten. Weitere Anmerkungen dazu finden sich in 7.1. Die notwendige schriftliche Äußerung kann ein Problem darstellen, besonders für jüngere Schüler, wie in unserem Fall Schüler der Sekundarstufe I. Für sie ist es bei komplizierteren Sachverhalten, und solche treten bereits in den Grundlagen der Optik auf, schon schwierig, eine verbale Erklärung abzugeben. Sollen sie diese komprimieren und zu Papier bringen, stellt das eine sehr große Herausforderung dar. So kommt es nicht selten zu Antworten, die für den Untersucher unverständlich sind und aus denen er nichts entnehmen kann. Denkbar ist auch der Fall, dass ein Schüler eine gewisse Vorstellung hat, aber durch seine mangelhafte Ausdrucksweise im Schriftlichen diese Vorstellung mit seinen Worten verfehlt. Dies führt unweigerlich zu Missverständnissen. Man kann davon ausgehen, dass die Schüler in mündlichen Befragungen nicht so sehr durch sprachliche Ausdrucksprobleme belastet sind. Zu den Vorteilen des Fragebogens zählt ganz klar die Ökonomie. In unserem Fall genügt eine Unterrichtsstunde zur Erfassung, im günstigsten Fall, einiger Schülervorstellungen jedes einzelnen Schülers der Klasse. Wollte man mit jedem Schüler einer Klasse ein Einzelinterview führen, so benötigte man dazu einige Stunden, was während der Unterrichtszeit nicht umsetzbar ist. Da im Vergleich zum Interview, bei dem der Untersucher sich auf den Schüler und das Gespräch spontan einstellen muss und ebenso spontan Nachfragen oder Äußerungen einwirft, der Fragebogen ohne Zeitdruck sorgfältig vorbereitet

werden kann, besteht nicht die Gefahr, durch Suggestivfragen bestimmte spontane Vorstellungen bei dem Schüler zu bewirken. Das gleiche gilt auch für den Schüler. Auch er kann sich seine Antworten in Ruhe überlegen und muss nicht zügig antworten.

Der Fragebogen ist also das am wenigsten aufwändige Verfahren, Auskünfte eines jeden Schülers zu erlangen. Dies gibt in unserem Fall den Ausschlag. Zudem ist er ein objektives und reliables Instrument, besonders im Vergleich zur mündlichen Befragung. [KUB 2006]

6.3 Das Unterrichtsgespräch

Das Unterrichtsgespräch verbindet Vorteile von Einzelinterview und Fragebogen. Die Schüler können sich verbal äußern und der Lehrer kann durch gezieltes Nachfragen versuchen, die Kernvorstellungen herauszufinden. Zudem ist der Zeitaufwand viel geringer als beim Einzelinterview, da man quasi viele hiervon gleichzeitig führt. Äußern mehrere Schüler ihre Gedanken, Ideen und Vorstellungen zu einem Sachverhalt, so erkennen sie, dass es offensichtlich mehrere verschiedene Ansichten gibt und beginnen eventuell daran zu zweifeln, dass ihre Vorstellungen die einzig richtigen sind. Der Unterricht ist für den Schüler auch eine natürliche Umgebung, in der er gewohnt ist, befragt und zum Arbeiten aufgefordert zu werden. Dementsprechend könnte ihm eine Situation im Einzelinterview befremdlich und unnatürlich vorkommen.

Doch auch diese Methode, Schülervorstellungen herauszufinden, hat ihre Nachteile. Einige Schüler könnten sich scheuen, ihre Vorstellungen im Unterricht zu äußern, sei es aus Angst vor negativen Zensuren oder davor, sich vor den Mitschülern zu blamieren. Hier ist also ein gutes Klassenklima Voraussetzung. Ein ganz entscheidender Nachteil des Unterrichtsgesprächs ist, dass manche Schüler die Vorstellungen anderer spontan übernehmen können, besonders wenn ihnen die Ausführungen ihrer Mitschüler plausibel vorkommen. Wieder würden die wahren fest verankerten Vorstellungen im Verborgenen bleiben.

6.4 Gütekriterien

Bei allen drei vorgestellten Methoden zur Untersuchung von Schülervorstellungen handelt es sich um wissenschaftliche Diagnoseverfahren. Deren Qualität lässt sich durch Gütekriterien

beschreiben. Hierbei wird unterschieden zwischen den Hauptgütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität und zahlreichen Nebengütekriterien, wie zum Beispiel Ökonomie oder Normierung.

Unter der Objektivität eines Diagnoseverfahrens versteht man den Grad, in dem die Ergebnisse unabhängig vom Untersucher sind. Da in unserem Fall jeder Schüler exakt den gleichen Bogen erhält und allen die gleiche Zeit und keine Hilfsmittel für die Bearbeitung zur Verfügung stehen, ist mit Sicherheit Durchführungsobjektivität gegeben. Zudem werden die Bögen nicht mit Namen versehen und der Lehrer kann so nicht genau sagen, wessen Bogen er gerade auswertet. Somit ist auch bei der Auswertung Objektivität gegeben. Bei einem Einzelinterview oder im Unterrichtsgespräch kann man davon nicht ausgehen. Kennt der Lehrer die Schüler bereits aus dem Verlauf des Schuljahres oder aus vorangegangenen Jahren, so wird das Gespräch möglicherweise davon beeinflusst. Bei tendenziell schwächer eingeschätzten Schülern wird die Lehrkraft unklare Aussagen eher als Fehlvorstellung deuten, als bei stärkeren Schülern, von deren Wissen und Fähigkeiten sie überzeugt ist. Selbst wenn der Lehrer die Schüler noch nicht kennt, begegnet er ihnen unter Umständen nicht vorurteilsfrei. Beispielsweise werden Mädchen allgemein schwächer in Naturwissenschaften eingeschätzt als Jungen. Nimmt der Untersucher das Interview nicht auf, sondern notiert er sich nur Ergebnisse, die er glaubt erhalten zu haben, so können Interpretationsfehler auftreten, nach denen nicht mehr gesucht werden kann. Den bearbeiteten Fragebogen hat man zur Verfügung und kann Antworten immer wieder untersuchen. So ist auch der Vergleich der Bearbeitungen eines einzelnen Schülers miteinander und der Vergleich zwischen den Bearbeitungen verschiedener Schüler viel besser möglich.

Unter der Reliabilität versteht man den Grad der Messgenauigkeit eines Diagnoseverfahrens. Hier schneidet das Interview deutlich besser ab als der Fragebogen, da durch gezieltes Nachfragen die Vorstellungen genauer herausgearbeitet werden können. Zudem kann man im direkten Gespräch temporäre Veränderungen des Schülers, wie zum Beispiel Krankheit, Ermüdung oder ähnliches feststellen, die Einfluss auf seine Antworten haben können. Beim Fragebogen ist das nicht möglich.

Die Validität ist ein Maß dafür, ob der Test das misst, was er messen soll. Auch hier dürfte das Interview etwas besser abschneiden als der Fragebogen, da man es besser lenken kann. Merkt man, dass man mit einer Frage seinem Ziel nicht näher kommt, kann man schlicht eine andere Frage stellen. Im Fragebogen ist dies nicht möglich.

Zusammenfassend führen die ökonomischen Vorteile und die Möglichkeit, jeden Schüler individuell befragen zu können dazu, einen Fragebogen als Untersuchungsmethode zu wählen. [KUB 2006]

7 Erstellung des Fragebogens

7.1 Allgemeine Aspekte

Zunächst ist es wichtig, das Ziel zu definieren, das man mit Hilfe des Fragebogens erreichen will. Was soll erfragt werden und welche Fragen sind zu diesem Zweck geeignet? In unserem Fall sollen die Schülervorstellungen zur Optik erfragt werden und zu diesem Zweck eignen sich offene Fragen. Geschlossene Fragetypen, insbesondere Multiple Choice Fragen, bringen generelle Probleme mit sich. So können diese bearbeitet werden, ohne dass überhaupt die Frage verstanden wurde. Als überspitztes Beispiel sei hier angegeben, dass ein Schüler der 5. Klasse eines deutschen Gymnasiums in einem Multiple Choice Test auf chinesisch über Wirtschaftslehre mit jeweils zwei Antwortmöglichkeiten pro Frage nicht nur jede Frage „bearbeiten“, sondern mit etwas Glück sogar deutlich mehr als die Hälfte aller Fragen richtig beantworten könnte. Dementsprechend können Fragen bearbeitet werden, ohne die Antwortmöglichkeiten oder gar die Frage selbst überhaupt gelesen zu haben. Damit soll ausgedrückt werden, dass selbst bei einer richtigen Antwort beziehungsweise bei einem Kreuz an der richtigen Stelle, noch lange nicht davon ausgegangen werden kann, dass der Schüler ein bestimmtes Verständnis eines Sachverhaltes besitzt. Fordert man vom Schüler ausformulierte Antworten und Erklärungen, so kann man dieses Problem in den Griff bekommen. Man kann ausschließen, dass ein Schüler zufälligerweise richtig beschrieben hat, warum es in einem Zimmer hell ist, in das die Sonne nicht direkt hineinscheint. Zusätzlich kommt bei Multiple Choice Fragen aufgrund der gegebenen, oft ausformulierten Gedanken und Ideen das Problem hinzu, dass spontane Vorstellungen bei den Schülern hervorgerufen werden können. Diese werden sich wahrscheinlich bald wieder verflüchtigen, verbergen für den Moment aber die fest verankerten eigentlichen Vorstellungen.

Außerdem verführen Multiple Choice Fragen zum Raten. Dieses Problem ist auch im Zusammenhang mit dem Begriff Testfähigkeit bekannt. Testfähigkeit beschreibt das

Vermögen, trotz unvollständigem Fachwissen, mit Hilfe rein formaler Hinweise, wie zum Beispiel der Länge einer Antwort, die Lösung finden oder zumindest diverse Antwortmöglichkeiten ausschließen zu können. Bei Probanden mit minderen Fähigkeiten kann die Wahrscheinlichkeit, die richtige Antwort zu erraten, groß werden, da sie zumindest unplausible Antwortmöglichkeiten ausschließen können. Daneben können systematische Antwortmuster auftreten, wie beispielsweise die Vorliebe für die Mittelkategorie, die Ja-Sage-Tendenz oder ein Ankreuzen nach Muster.

Somit zeigen sich eindeutige Vorteile der offenen Fragen in Bezug auf unser Analyseziel. Dennoch gibt es auch Nachteile, denn das Prinzip der offenen Fragen erschwert die Auswertung des Bogens. Manche Aufgaben sind trotz Bearbeitung durch den Schüler nicht auszuwerten, da der Antwort kein Sinn entnommen werden kann oder sie das Thema und die Problemstellung der Aufgabe nicht trifft. Hinzu kommt, dass es keine Begrenzung der Anzahl an Antworten gibt. Man muss bei der Auswertung versuchen, äquivalente Antworten in eine Kategorie zusammenzufügen, um die Häufigkeit deren Auftretens untersuchen zu können. Bei einem Multiple Choice Test gibt es von vorneherein nur eine begrenzte Anzahl an Antwortmöglichkeiten und man muss einfach die Kreuzchen auszählen. Weiterhin ist die Auswertung von geschlossenen Aufgaben wesentlich ökonomischer, da hier mit einer Schablone gearbeitet werden kann. So wird nicht selten aus Gründen des Aufwandes zu geschlossenen Fragen tendiert.

Da der Fragebogen für Schüler der Sekundarstufe I vorgesehen ist, muss er entsprechend an deren Alter angepasst werden. Hierfür wurde darauf geachtet, dass nicht zu viel Text auf einmal über die Schüler hereinbricht. Weiterhin ist ein gesundes Maß an Abwechslung erwünscht, denn junge Schüler verlieren schnell das Interesse und können sich oftmals nur schwer dazu motivieren, dennoch konzentriert und angestrengt weiterzuarbeiten. Hierfür sind Bilder und Grafiken in den Fragebogen integriert, in die die Schüler auch einzeichnen sollen. Auch die Sprache muss dem Alter entsprechen. Am besten erfüllt ist dies durch kurze und klare Sätze ohne unnötige Ausschmückungen.

Steht der Fragebogen, folgt die Durchführung, also die Bearbeitung durch die Schüler. Im ersten Schritt müssen diese die Fragen verstehen. Hierbei können Probleme auftreten, bedingt durch unbekannte, mehrdeutige oder individuell verstehbare Begriffe oder schlicht durch zu

schwierig formulierte Fragen. Lange und komplexe Fragen sollten vermieden werden, ebenso doppelte Verneinungen und unklare Begriffe. Nach der Durchführung zeigte sich für den Fragebogen dieser Arbeit, der im Anhang unter Punkt 16.1.1 angeführt ist, dass Aufgabe 12 schlecht formuliert ist. Diese Aufgabe sollte Aufschluss über die Vorstellungen der Schüler zur Lichtgeschwindigkeit geben. Grund ist genau die eben angesprochene Mehrdeutigkeit von Begriffen, in unserem Fall des Begriffes „wann“. Diesem können in betreffender Aufgabe zwei verschiedene Bedeutungen zugeordnet werden. Man kann sie sowohl als Frage nach einer Zeit als auch als Frage nach einer Bedingung auffassen. Zudem sollte man die Frage in zwei Fragen aufteilen, um sie klarer zu gestalten. Eine neue Version findet sich in der Auswertung von Aufgabe 12 in 9.2 und im neuen Bogen, siehe Punkt 16.1.3.

Eventuell hätte man auch den Begriff „Sichel“ in Aufgabe 10 näher erklären oder einem Bild explizit zuordnen sollen. Da jedoch der Vollmond bekannt sein müsste und nur zwei Bilder angegeben sind, sollte klar sein, welches die Sichel darstellt und damit, was mit Sichel gemeint ist. Die Reihenfolge der Fragen sollte schlüssig sein, sofern diese aufeinander aufbauen oder einander ergänzen. Schwierigere Fragen sollten im mittleren Teil auftauchen. Hier hat der Schüler sich in den Fragebogen eingefunden, ist noch nicht zu erschöpft und noch konzentriert. Besonders auf die Einstiegsfrage muss Wert gelegt werden. Sie sollte technisch einfach und von allen Befragten ohne große Probleme zu beantworten sein. Man will vermeiden, direkt zu Beginn eine sehr schwere Frage zu stellen, um die Motivation der Schüler nicht zu mindern.

Nach einem kognitiven Prozess, durch den die Antwort gesucht wird, muss der Schüler diese in Sprache fassen. Dies ist zumindest bei offenen Fragen der Fall, wie im Bogen dieser Arbeit. Somit hängt die Güte der Antwort ab von der Verbalisierungsfähigkeit des Schülers. Dafür kann der Schüler bei offenen Fragen in eigenen Worten und seiner eigenen Sprache antworten, ganz so, wie er es gewohnt ist.

Die Zielpopulation sollte nach Möglichkeit breit angelegt werden, um Vergleiche durchführen zu können. Dies wurde vorliegenden Fall erreicht, indem Klassen verschiedener Schularten an der Bearbeitung des Fragebogens teilgenommen haben. Auf eine schriftliche Einleitung im Fragebogen, die den Schülern Aufschluss darüber gibt, wozu die Ergebnisse verwendet werden und was der Zweck der Untersuchung ist, wird verzichtet. Zu viel Text überfordert die Kinder und zehrt bereits an deren Konzentration und Motivation. Stattdessen wurden ein paar

einleitende Worte an die Klasse gerichtet.

Selbstverständlich sollte der Fragebogen eine klare und übersichtliche Form besitzen. Zudem erleichtert eine große Schrift das Lesen, besonders für Kinder. [PRO 2008]

7.2 Inhaltliche Aspekte

Dieser Bogen soll die Vorstellungen der Schüler zu den grundlegenden optischen Sachverhalten aufzeigen und somit einen den Schülern gerechten Einstieg in den Optikunterricht ermöglichen. Abgedeckt werden sollen dabei die drei Themenblöcke des Lehrplans der 7.Klasse Natur und Technik zum Bereich Optik. Der bayrische Lehrplan sieht für den Natur- und Technikunterricht in der siebten Klasse 16 Schulstunden für die Optik vor. Die Liste der zu behandelnden Themen umfasst die geradlinige Ausbreitung des Lichts, Schatten, Bilder bei Spiegeln und Sammellinsen und Farben. Nicht umsonst wird als erster Punkt im Lehrplan die Lichtausbreitung genannt, da sie die Grundlage für den größten Teil der Optik legt. Aus diesem Grund wird auch im Fragebogen versucht, besonders die Vorstellungen über die Lichtausbreitung herauszufinden. Alle Aspekte der elementaren Optik abzufragen, die im Lehrplan auftauchen, wäre wohl zu viel auf einmal. Dafür werden zu einem Thema, wie zum Beispiel zur Lichtausbreitung und zu Schattenphänomenen mehrere Fragen gestellt, um die Vorstellungen noch genauer untersuchen zu können. Dafür wurde darauf verzichtet, Aufgaben und Fragen zur Brechung oder zu Abbildungen durch Linsen zu stellen, obwohl diese im Lehrplan auftauchen. [IQ 4]

Ziel des Fragebogens ist es natürlich, gerade die Fehlvorstellungen bei den Schülern herauszufinden. Doch man darf sich von diesem Ziel nicht dazu verleiten lassen, aus der Literatur bekannte Fehlvorstellungen konkret in die Aufgaben einzuarbeiten oder direkt abfragen zu wollen, da die Schüler sonst leicht beeinflusst und zu einer Fehlvorstellung gelenkt werden können. Denken wir nur an die spontanen Schülervorstellungen. In unserem Fall werden daher möglichst offene Fragen zu bekannten Phänomenen der Optik gestellt, in der Hoffnung, dadurch einige bei den Schülern vorhandene Ideen und Vorstellungen in Erfahrung bringen zu können. Die Schüler sollen sich äußern und ihre Vorstellungen preisgeben, ohne dass eine bestimmte Vorstellung von ihnen erwartet wird. Somit kann nicht zu jeder Frage ein Ziel in Form einer oder mehrerer Schülervorstellungen angegeben werden,

deren Existenz überprüft werden soll. Sämtliche Aufgaben und Fragen beziehen sich auf optische Phänomene, von denen man ausgehen kann, dass sie von allen Schülern bereits beobachtet wurden. Natürlich ist es Voraussetzung, eine Erscheinung gesehen zu haben, um eine Vorstellung darüber zu besitzen.

Betrachtet man die zwei Testfragebögen, deren Fragen im Anhang unter Punkt 16.1.2 angeführt sind und mit denen die erste Durchführung in Klasse 5b des Friedrich-König-Gymnasiums stattfand, so unterscheiden sich diese geringfügig von dem überarbeiteten Bogen, mit dem die Untersuchung in den restlichen vier Klassen durchgeführt wurde. Die Aufgaben zum Schatten lieferten kaum brauchbare Ergebnisse. Von den Schülern, die Aufgabe 6 bearbeiteten, zeichneten nur drei Schüler den Schatten nicht qualitativ korrekt ein. Bei den restlichen Schülern konnten aus dieser Aufgabe keinerlei Schlüsse gezogen werden. Daher wurde die Frage so verändert, dass die Schüler sich auch auf die genauen Abgrenzungen des Schattens, also auf die quantitative Schattenentstehung konzentrieren sollten. In der Aufgabe wurde daher hinter dem Holzstab, der aus dem Testbogen übernommen wurde, ein solarbetriebener Taschenrechner platziert, wie es im Bogen der Hauptdurchführung zu sehen ist, der im Anhang unter Punkt 16.1.1 angeführt ist. Um die Frage nach der Funktionstüchtigkeit des Taschenrechners beantworten zu können, muss man den Schatten genau einzeichnen.

Auch die ursprüngliche Aufgabe 12 lieferte keine brauchbaren Ergebnisse. Hier sollten Vorstellungen über den Sehvorgang abgeprüft werden. Die meisten Schüler gaben an, in Fall 2 sei der Ball nicht zu sehen, weil eine Trennwand die Sicht versperre. Solche Aussagen bringen unsere Analyse nicht voran. In der neuen Auflage dieser Aufgabe sollen die Schüler analog zu Aufgabe 1 Lichtstrahlen einzeichnen, um den Sehvorgang deutlich zu machen.

Die übrigen Aufgaben wurden in den überarbeiteten Bogen übernommen.

Den Themen des Lehrplans können wir folgende Aufgaben zuordnen:

7.2.1 Ausbreitung des Lichts

Die Ausbreitung des Lichts steht bei den Aufgaben 1, 5, 12 und 13 im Mittelpunkt. Da in

Aufgabe 1 Lichtstrahlen eingezeichnet werden sollen, wird mit dieser direkt abgeprüft, wie sich Schüler die Ausbreitung von Licht von einer Lichtquelle aus vorstellen. Das Bild wurde mit einem Rahmen versehen, so kann auch die „Weite“ der Lichtausbreitung berücksichtigt werden. Entscheidend sind noch Richtung und Geradlinigkeit. Auch in Aufgabe 5 werden die Vorstellungen zur Lichtausbreitung abgeprüft. Da es hell im Zimmer ist, muss nach Vorstellung der Schüler auch Licht im Zimmer vorhanden sein und sich demnach von der Sonne aus bis ins Zimmer ausbreiten. In Aufgabe 12 sollten die Schüler möglichst ihre Vorstellungen zur Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts äußern. Dies sollte durch die Frage „Wann kann Peter/Tina das Licht sehen?“ motiviert werden. Aufgabe 13 will abprüfen, welche Vorstellung zum Sehvorgang die Schüler haben. Der Fokus des Schülers soll auf den Sehvorgang gelenkt werden, indem betont wird, dass Tina den Ball sehen kann.

7.2.2 Licht und Schatten

Unter diese Kategorie fallen die Aufgaben 6, 7, 8 und 9. Hier steht die Schattenentstehung im Vordergrund. Damit werden nochmals indirekt die Vorstellungen zur Lichtausbreitung abgeprüft, da in Aufgabe 6 ein Schatten konstruiert werden muss, um diese vollständig zu bearbeiten. In Aufgabe 6 wird also im Vergleich zu den Aufgaben 7, 8 und 9, in denen nur qualitativ das Schattenverständnis geprüft wird, auch die quantitative Konstruktion eines Schattens gefordert. Die Transferaufgabe 9 zeigt, ob das Prinzip der Schattenentstehung wirklich vorhanden ist, oder ob Form und Lage des Schattens in vorigen Aufgaben nur mit Hilfe von Alltagserfahrungen erraten wurden.

7.2.3 Spiegel

Mit Spiegelphänomenen befassen sich die Aufgaben 15, 17 und 18. Aufgabe 15 passt auch in diese Kategorie, da die Reflexion der Sonne in der Fensterscheibe Ursache des dargestellten Phänomens ist. Hier wird auch abgeprüft, ob das Prinzip der Reflexion beim Schüler nicht nur bekannt ist, sondern so gefestigt, dass er es anwenden kann, um Erscheinungen zu deuten und erklären.

7.2.4 Farben

Der Themenbereich Farben wird durch die Aufgaben 14 und 16 abgedeckt.

7.2.5 Weitere Grundlagen

Im Lehrplan tauchen auch grundlegende Phänomene der Astronomie auf, wie zum Beispiel die Mondphasen. Diese sind Thema in den Aufgaben 10 und 11. Außerdem prüfen die Fragen 2, 3 und 4 Vorstellungen über grundlegende astronomische Vorgänge ab. Im Falle von Aufgabe 2 ist das die Entstehung von Tag und Nacht. Aufgabe 3 kann Aufschluss darüber geben, ob bei den Schülern eine Sehinkel-Vorstellung vorliegt, ob ihnen also der Unterschied zwischen scheinbarer und tatsächlicher Größe klar ist. Schüler, denen der Polarstern unbekannt ist, werden ihn beliebig an eine Stelle setzen, sodass sich all diese Schüler im Mittel herausheben sollten. Erhält man dann eine deutliche Tendenz zu einer Position des Polarsterns in der Reihe, so kann man auf bestimmte Vorstellungen als Ursache schließen. Aufgabe 4 zielt auf den Unterschied zwischen Sonne und Mond in Bezug auf ihre Lichtaussendung ab. Hat ein Schüler keine Vorstellung von Lichtstreuung, so unterscheiden sich Sonne und Mond dadurch, dass die Sonne Licht abstrahlt, der Mond aber nicht.

8 Durchführung des Fragebogens

Ein kleines Problem bei der Durchführung im Rahmen dieser Arbeit stellte die Notwendigkeit des Einverständnisses der Eltern dar, dass ihre Kinder an der Befragung teilnehmen dürfen. Dies führte dazu, dass einzelne Schüler einer Klasse nicht teilnehmen konnten, da sie bis zum Tag der Durchführung noch keine Erlaubnis ihrer Eltern vorlegen konnten. Außerdem durfte keine Unterrichtszeit verloren gehen, sodass der Bogen in einer Frei- beziehungsweise Klassenlehrerstunde durchgeführt werden musste. Diese Probleme tauchen jedoch kaum auf, wenn ein Lehrer den Bogen für seinen Optikunterricht einsetzt. Es sollte hier keine Einverständniserklärung von Nöten sein, da der Bogen schlicht Teil des vorbereiteten Unterrichts ist. Falls diese doch nötig wäre, so könnte man sie ausreichend im Voraus

anfordern, so dass am Tag der Durchführung wirklich alle Schüler teilnehmen dürfen. Zudem geht keine Unterrichtszeit verloren, denn der Bogen dient ja gerade der Optimierung des folgenden Unterrichts und stellt einen wichtigen Bestandteil dessen dar. Für die Durchführung des Fragebogens sollte eine Schulstunde ausreichend sein, so geht nicht viel der wertvollen und knapp bemessenen Unterrichtszeit verloren. Bei der tatsächlichen Durchführung in der Klasse muss darauf geachtet werden, dass jeder Schüler für sich alleine den Bogen bearbeitet, um den störenden Nebeneffekt der Übernahme von Vorstellungen anderer zu vermeiden.

Neben dem Testfragebogen, der von einer fünften Gymnasialklasse bearbeitet wurde, wurden vier weitere Klassen mit dem überarbeiteten Bogen befragt. Darunter befanden sich eine sechste und eine siebte Klasse eines Gymnasiums, sowie eine fünfte Klasse einer Gesamtschule und eine sechste Klasse einer Werkrealschule. Neben den Unterschieden von Schülern verschiedener Schularten waren besonders die Bearbeitungen der Mädchen im Vergleich zu denen der Jungen von Interesse, da Mädchen eine Sonderstellung für den Physikunterricht einnehmen. Hierauf wird in den folgenden zwei Punkten eingegangen.

8.1 Schulart

Natürlich ist es generell an allen Schulen und in allen Klassenstufen wichtig, Schülervorstellungen zu berücksichtigen. Doch möglicherweise ist eine Untersuchungsmethode nicht für alle Schularten und Klassenstufen gleich gut geeignet. Schüler der Real- oder Hauptschule haben im Allgemeinen größere Probleme, sich schriftlich auszudrücken und sind generell etwas unsicherer im Sprachgebrauch. Hier sollte man auch die Schüler mit Migrationshintergrund bedenken. Mit der Bearbeitung der Bögen in einer Werkrealschule und einer Gesamtschule soll untersucht werden, ob der entwickelte Fragebogen auch für diese Schularten brauchbare Ergebnisse liefern kann.

Gleichzeitig kann man einen Eindruck erhalten, ob und inwiefern sich die Vorstellungen von Schülern verschiedener Schularten unterscheiden. Wie schon erwähnt gilt neben dem Vorwissen die Intelligenz als der wichtigste Einflussfaktor auf die Schulleistung. Somit kann man annehmen, dass die mittlere Intelligenz der Schüler in einer 5.Klasse eines Gymnasiums signifikant höher ist, als die der Schüler einer 5. Klasse einer Real- oder Hauptschule. Die Intelligenz spielt besonders dann eine Rolle, wenn wir auf etwas Neuartiges, noch

Unbekanntes treffen. Genau das sind auch die Situationen, aus denen Vorstellungen entstehen. Somit ist es nicht abwegig anzunehmen, dass die Intelligenz Einfluss auf die Schülervorstellungen hat, und zwar in dem Sinne, ob überhaupt Vorstellungen zu bestimmten Phänomenen existieren und wie diese ausgeprägt sind.

8.2 Mädchen im Physikunterricht

Für viele Mädchen zählt Physik zu den am wenigsten beliebten Fächern in der Schule. In den Leistungskursen in Physik liegt die weibliche Beteiligung im Durchschnitt nur bei rund 10%. [MIK 2006] Ein zur Fächerwahl ähnliches Bild erhalten wir bei der Studien- und Berufswahl. Nach der TIMS-Studie geht das offenbar geringere Interesse der Mädchen an der Physik im Vergleich zu den Jungen auch mit einer geringeren Schulleistung im Unterrichtsfach Physik einher. Noch vor einigen Jahren meinte man, eine Erklärung für diesen Umstand in den unterschiedlichen kognitiven Fähigkeiten von Jungen und Mädchen gefunden zu haben. Das männliche und das weibliche Gehirn unterscheiden sich, sodass manche Dinge, wie zum Beispiel die räumliche Vorstellung, den Jungen im Allgemeinen leichter fallen. Heutzutage kann dank moderner Medizintechnik mittels Bildgebungsverfahren untersucht werden, welche Teile des Gehirns bei bestimmten Aufgaben aktiv sind. „Männer, die im Geiste Objekte im Raum hin und her drehen, benutzen dazu eine Gehirnregion, Frauen jedoch zwei.“ [IQ 1] Das räumliche Denken stand auch im Mittelpunkt eines sehr interessanten Experiments, das von Markus Hausmann, einem Biopsychologen der Universität Bochum, durchgeführt wurde. Frauen und Männer mussten Aufgaben behandeln, die räumliches Vorstellungsvermögen erfordern. Während ihrer Menstruation, wenn der Spiegel der weiblichen Sexualhormone am niedrigsten ist, schnitten Frauen nicht schlechter ab als Männer. In einer Phase mit hohem Östrogenspiegel nahmen ihre Leistungen dann jedoch merklich ab. [IQ 1]

Heute ist man dennoch der Überzeugung, dass Mädchen im Physikunterricht zu den gleichen Leistungen fähig sind wie Jungen. „Derzeit liegen keine eindeutigen Hinweise für geringere Fähigkeiten der Mädchen im Umgang mit naturwissenschaftlichen Problemen vor; man darf also von einer vergleichbaren Fähigkeitsverteilung in der Gruppe der Mädchen und in derjenigen der Jungen ausgehen.“ „Das Vorurteil, die Mehrheit der Mädchen sei auf

physikalisch-technischem Gebiet weniger begabt, ist nicht haltbar.“ [WILL 2003] Die Ursachen für Unterschiede werden in den gesellschaftlich fest verankerten Stereotypen vermutet. Physik beziehungsweise physikalisches Interesse und Weiblichkeit gelten als nicht miteinander vereinbar, die Gesellschaft sieht Physik als ein „männliches Fach“. So kommt es auch, dass Mädchen weniger Vorerfahrung mit physikalischen Gegenständen und Phänomenen aus dem Elternhaus mitbekommen. Mehr als einmal wurde erwähnt, welchen Einfluss Vorwissen auf die Schulleistung hat. Selbst Physiklehrer können diesen Stereotypen verfallen und sich im Physikunterricht auf die Jungen konzentrieren, vor Augen immer den zukünftigen Leistungskurs, der der Erfahrung nach überwiegend, wenn nicht sogar ausschließlich männlich besetzt sein wird. Dementsprechend sieht die Unterrichtsgestaltung aus, was Experimente und Anwendungsbeispiele angehen. So wird eher der Elektromotor behandelt, als die Physik im Menschen, an der Mädchen mehr Interesse finden könnten. Hinzu kommt, dass Mädchen generell eher misserfolgsorientiert sind. So ist es für sie schwer, überhaupt Fuß im Physikunterricht zu fassen.

Besagte Vorurteile der Lehrer sind Gegenstand der psychologischen Forschung. Hier kennt man sie auch unter dem Begriff „Pygmalion-Effekt“. Dieser besagt, dass das Bild, das man von einer Person hat, das Verhalten dieser gegenüber beeinflusst und zu sogenannten „selbsterfüllenden Prophezeiungen“ führen kann. Das bedeutet, dass man ein erwartetes Verhalten dieser Person durch eigenen Einfluss fördert oder gar erzwingt. Dass es sich hierbei nicht nur um eine haltlose Theorie handelt, bestätigte sich in psychologischen Studien, wie zum Beispiel dem Versuch „Oak School Experiment“, durchgeführt von den Psychologen Robert Rosenthal und Lenore Jacobson. Im Rahmen dieses Experiments bearbeiteten Schüler einer Elementarschule einen standardisierten, überwiegend nicht verbalen Intelligenztest. Den Lehrern der teilnehmenden Schüler wurde als angebliches Ergebnis der Tests mitgeteilt, dass 20 % der Schüler Schnellentwickler seien. Die angegebenen Schüler schnitten jedoch in Wirklichkeit nicht besser ab, als andere, sie wurden zufällig ausgewählt und lediglich als Schnellentwickler bezeichnet. Ein Jahr später erzielten jene ausgewählten Schüler beim gleichen Test eine durchschnittliche Leistungssteigerung von 12 IQ-Punkten, wohingegen sich die anderen Schüler um 8 IQ-Punkte steigern konnten. Somit kann man davon ausgehen, dass das Vorurteil der Lehrer gegenüber den Schülern eine messbare Leistungssteigerung bei diesen bewirkt hat. [WIL 2003] Als Ursache hierfür wird angesehen, dass eine vermutete Begabung bei einem Schüler dazu führt, dass er wirkungsvoller vom Lehrer gefördert wird.

Der Lehrer bemüht sich also mehr um jenen Schüler, weil dieser scheinbar gute Anlagen besitzt, das Vermittelte aufnehmen zu können. Wird umgekehrt einem Schüler keine Begabung unterstellt, so kann dies zu einer Vernachlässigung oder gar Behinderung dessen führen. Das ist vermutlich das Schicksal, das viele Mädchen ereilt, denn ihnen wird von vorneherein kaum Begabung für Physik zugetraut. So zeigen Studien, dass Jungen im Vergleich zu Mädchen im Physikunterricht sowohl von Lehrern, als auch von Lehrerinnen häufiger aufgerufen werden. [KIR 2009]

Da die Schüler auf dem Fragebogen dieser Arbeit ihr Geschlecht und ihr Interesse an den Fragen und Aufgaben angeben sollten, können wir das Interesse der Jungen mit dem der Mädchen vergleichen.

Zunächst entspricht das Wahlverhalten der 6a des Armin-Knab-Gymnasiums bezüglich des Physikkurses genau dem allgemeinen Trend. Nur eine von 16 Schülerinnen nimmt am Wahlkurs teil, aber die Hälfte der 10 Jungen. Die Schüler besuchten zum Zeitpunkt der Untersuchung allesamt noch keinen Physikunterricht, das heißt, zum Zeitpunkt der Entscheidung über die Teilnahme am Wahlkurs kannten die Schüler das Unterrichtsfach Physik wahrscheinlich nur aus den Erzählungen anderer. Und hier kommen die üblichen Vorurteile zum Vorschein. Physik sei ein Fach, das von staubtrockener Theorie und Mathematik nur so strotze. Höchstens an Technik interessierte Jungen könnten daran ein wenig Gefallen finden, aber ganz sicher nicht Mädchen. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist die Auswertung des Interesses der Schüler an dem Fragebogen. Von den zehn Jungen, die teilnahmen, fanden sieben den Bogen interessant, drei sogar sehr interessant. Von den 16 Mädchen bewerteten 13 den Bogen als interessant und nur 3 als wenig interessant. Bedenkt man, dass die Hälfte der befragten Jungen ohnehin an Physik interessiert ist, was man aus der Teilnahme am Wahlkurs erschließen kann, so waren Mädchen nicht unbedingt minder interessiert an dem Fragebogen als Jungen. Dieses Bild spiegelt nicht, oder zumindest nicht in solcher Klarheit, das Wahlverhalten der Schüler wider. Man kann also die Vermutung anstellen, dass es nicht die Inhalte und Arbeitsweisen der Physik sind, die die Mädchen abschrecken, sondern dass eine Voreingenommenheit der Gesellschaft sie beeinflusst. Immerhin fanden 12 Mädchen den Bogen genauso interessant wie das eine Mädchen, das sich für den Wahlkurs entschieden hat. Wahrscheinlich sollte man Mädchen noch mehr dazu ermutigen, sich für Naturwissenschaften und insbesondere für die Physik zu

entscheiden. Zusätzlich sollte im Physikunterricht mehr auf Mädchen eingegangen und nicht nur jungenspezifische Interessensgebiete, wie die eben erwähnte Technik, abgedeckt werden. Diese sollen nicht aus dem Unterricht verschwinden, sie sollen lediglich auch für Mädchen interessant gestaltet werden. Dies könnte zum Beispiel mit einer Eingliederung der Bionik erreicht werden. Biologie als Unterrichtsfach ist für viele Mädchen wesentlich attraktiver und davon könnte auch der Physikunterricht profitieren.

Natürlich stellt sich die Frage, wie viel man wirklich auf die Angabe des Interesses in unserem Fragebogen geben kann. Man muss immer mit Schülern rechnen, die aus Höflichkeit oder Angst vor einer schlechten Bewertung ein angebliches Interesse angeben, obwohl keines vorhanden ist. Doch aufgrund der Eindeutigkeit des Ergebnisses scheinen unsere Überlegungen berechtigt zu sein.

Aus der Häufigkeitstabelle, siehe Punkt 16.2, kann im letzten Punkt entnommen werden, wie sich die männlichen und weiblichen Anteile der verschiedenen Interessengruppen zueinander verhalten. Man erkennt deutlich, dass hier kein signifikanter Unterschied festzustellen ist. Prozentual gesehen empfanden jeweils gleich viele Mädchen und Jungen den Bogen als sehr interessant oder als interessant. Prozentual etwas mehr Mädchen fanden den Bogen wenig interessant und etwas mehr Jungen fanden ihn gar nicht interessant. Hierbei darf die letzte Kategorie aufgrund von nur neun abgegebenen Stimmen nicht zu sehr gewichtet werden. Dies ändert jedoch nichts an der Tatsache, dass der Bogen gleichermaßen das Interesse der Mädchen und Jungen traf. Nun scheint es keinen Grund zu geben, warum Mädchen und Jungen dann den Optikunterricht in der Schule mit unterschiedlich großem Interesse verfolgen sollten, da sich der Bogen ja mit optischen Phänomenen befasst, die laut Lehrplan auch im Unterricht behandelt werden.

Zusätzlich können wir den Anteil der ausgelassenen und nicht auswertbaren Aufgaben der Jungen und der Mädchen bestimmen. Auf die insgesamt 58 Jungen aus allen Klassen kommen 132 ausgelassene Aufgaben, also pro Schüler etwa 2,28 Aufgaben. Bei den 44 Mädchen erhalten wir insgesamt 116 ausgelassene Aufgaben, also pro Schülerin etwa 2,64. Im Schnitt hat eine Schülerin also eine halbe Aufgabe mehr ausgelassen, als ein Schüler. Des Weiteren erhalten wir 165 nicht auswertbare Antworten bei den Jungen, 108 bei den Mädchen. Ein Schüler liefert somit im Schnitt 2,84 nicht auswertbare Antworten, ein Mädchen etwa 2,45. Man sagt, dass Mädchen über etwas bessere sprachliche Fähigkeiten verfügen. Dies wäre eine

Erklärung hierfür. Auch aus der Analyse dieser Werte kann nicht auf ein vermindertes Interesse der Mädchen geschlossen werden, da die Werte für Mädchen und Jungen dicht beieinander liegen.

9 Auswertung der Fragebögen

9.1 Qualitative Inhaltsanalyse

Bei vielen der Fragen aus dem Bogen handelt es sich um offene Fragen, die mit einem vom Schüler individuell konzipierten Text beantwortet werden können. Die Gründe dafür wurden ausgiebig in vorangehenden Teilen der Arbeit erläutert. Bei diesen Aufgaben ist eine rein quantitative Auswertung nicht möglich, wie wir sie beispielsweise in Aufgabe 3 des Bogens durchführen können, in der die vier Himmelskörper der Größe nach angeordnet werden sollen. In der Auswertung muss versucht werden, den Kerngedanken hinter der Aussage herauszufinden, sie muss also interpretiert werden. Diese Kerngedanken können dann auf die Häufigkeit ihres Auftretens untersucht werden, was einer quantitativen Analyse entspricht. Dieses Versehen der Aussagen mit einer als plausibel angesehenen Deutung geschieht unter Berücksichtigung der Literatur zu Schülervorstellungen in der Optik. Der Fragebogen muss keine wissenschaftlich standfesten Ergebnisse hervorbringen, sondern lediglich dem Lehrer aufzeigen, welche Vorstellungen besonders häufig bei den Schülern vorkommen. Um jedoch zumindest in dieser Arbeit einen gewissen wissenschaftlichen Anspruch zu erfüllen, soll für eine Aufgabe eine qualitative Inhaltsanalyse durchgeführt werden. „Inhaltsanalyse ist eine Forschungstechnik für die objektive, systematische und quantitative Beschreibung des manifesten Inhalts von Kommunikation.“ [MAY 2010] Ziel dieser Analyse ist es, eine systematische Anleitung zur Auswertung komplexen sprachlichen Materials zu liefern, damit kein „freies“ und womöglich individuell verschiedenes Interpretieren notwendig ist. Für die Inhaltsanalyse wird Aufgabe 5 ausgewählt, da diese mit freiem Text beantwortet werden muss und eine Aufgabe zentraler Wichtigkeit darstellt, da sie Vorstellungen zur grundlegenden Lichtausbreitung abprüft. Ein wichtiger Punkt bei der Analyse ist zum einen, dass sie theoriegeleitet ist, also an die Erfahrungen anderer Untersuchungen auf diesem Gebiet

anknüpft. Zum anderen soll die Analyse systematisch und regelgeleitet vorgehen, damit so weit als möglich subjektive Analyseschritte ausgeschlossen werden können. Dennoch ist die qualitative Inhaltsanalyse kein Standardinstrument, das völlig unabhängig vom konkreten Material ist.

Eine Technik der qualitativen Inhaltsanalyse ist die Kategoriebildung. Wie oben beschrieben, sollen die Aussagen mit einer Deutung versehen werden, zumindest soweit dies überhaupt möglich ist. Die Kerngedanken der Aussagen bilden jeweils eine Kategorie. Dies erlaubt den Einsatz einer quantitativen Analyse. Es kann quasi ausgezählt werden, welcher Kerngedanke wie oft auftritt. Im vorliegenden Beispiel können damit Aussagen darüber getroffen werden, welche Vorstellung wie häufig vorkommt. Dies ist auch von entscheidender Wichtigkeit. Egal wie sehr eine Vorstellung der wissenschaftlichen Realität widerspricht, wenn sie nur bei einem einzigen Schüler festgestellt wird, sollte man nicht die gesamte Unterrichtsplanung darauf auslegen. Das wäre, als würde man eine Unterrichtsstunde lang die binomischen Formeln wiederholen, nur weil ein Schüler noch nicht sicher im Umgang damit ist, wobei sich alle anderen langweilen. Man sollte also möglichst auf diejenigen Vorstellungen eingehen, die am häufigsten vertreten sind.

Die Kategorien entstehen durch zwei verschiedene Ansätze, durch eine induktive und eine deduktive Kategoriebildung. Bei der induktiven Kategoriebildung werden die Kategorien direkt aus dem zu untersuchenden Material entwickelt. Dieses wird schrittweise mit Hilfe von Makrooperatoren verallgemeinert, wie zum Beispiel durch Auslassen oder Zusammenfassen. Hierbei werden die Aussagen zunächst in Paraphrasen umgewandelt, indem ausschmückende, nicht sinntragende Teile gestrichen werden. Anschließend wird Schritt für Schritt das Abstraktionsniveau der Aussagen erhöht. Diese Technik wird auch Zusammenfassung genannt. Von einer sehr speziellen Aussage gelangt man auf diesem Weg zum allgemeinen Kern hinter der Aussage. Die deduktive Kategoriebildung bringt die Theorie zu Schülervorstellungen, also die Ergebnisse vorheriger Untersuchungen mit ins Spiel. Der aktuelle Forschungsstand liefert Schülervorstellungen in der Optik, denen die generalisierten Aussagen zugeordnet werden. In Kombination bilden die generalisierten Aussagen und die Schülervorstellungen aus der Theorie dann das gewünschte Kategoriensystem.

Neben der Zusammenfassung und der Kategoriebildung ist die sogenannte Explikation eine weitere Technik der qualitativen Inhaltsanalyse. Hierbei werden Kontextanalysen

durchgeführt, um Hilfen zur Behandlung fragwürdiger Textstellen zu erhalten. Man kann im selben Text suchen oder in Material, das über den eigentlich zu untersuchenden Text hinausgeht. In unserem Fall würde dies einer Beachtung anderer bearbeiteter Fragen beziehungsweise Aufgaben entsprechen, die Hinweise zur Kategorisierung der Antwort in Aufgabe 5 liefern sollen. Um dies zu tun, ohne die Ergebnisse zu verfälschen, müssten die Resultate der anderen dafür in Frage kommenden Aufgaben auch durch eine qualitative Inhaltsanalyse entstanden sein, was allerdings nicht der Fall ist. Aufgabe 13, die keinen Text enthält und deshalb keiner qualitativen Inhaltsanalyse bedarf, kann auch nicht zur Explikation herangezogen werden. Hier sind die Ergebnisse nicht aussagekräftig. Nur sehr selten hat ein Schüler Strahlen vom Gegenstand ausgehend eingezeichnet. Dies ist jedoch auch in Fällen passiert, in denen aus der Antwort zu Aufgabe 5 eindeutig erkennbar ist, dass eine Vorstellung der Lichtstreuung vorhanden ist. So ist es bei folgender Antwort eines Schülers der Fall. „Weil das Licht von anderen Gegenständen reflektiert wird.“ In Abbildung 3 ist die zugehörige Bearbeitung von Aufgabe 13 zu sehen.



Abb. 3

Zu Beginn der qualitativen Inhaltsanalyse steht eine genaue Quellenkunde, die das Ausgangsmaterial auf seine Entstehungsbedingungen untersucht. Dann müssen die verwendeten Ergebnisse der Theorie dargelegt werden, die in die Analyse einfließen sollen. Zudem wird die Fragestellung der Analyse genannt. Das Ziel ist es schließlich, die Antworten der Schüler in Kategorien einordnen zu können, die Aufschluss über die zu Grunde liegenden Schülervorstellungen geben. Diese Einordnung in Kategorien soll auf ihre Güte geprüft

werden, insbesondere auf ihre sogenannte Intercoderreliabilität, die die Übereinstimmung der Kategorisierungen durch voneinander unabhängige Untersucher bezeichnet. Hierfür werden die Bögen von zwei anderen Untersuchern nach einer vorgegebenen Anleitung ebenfalls in die entworfenen Kategorien eingeordnet und die Resultate verglichen. Mit diesem Vorgehen wird auch die Objektivität des Auswertungsinstruments überprüft. [MAY 2010]

Zusätzlich zu den durch die Analyse gefundenen Kategorien stellen wir derer zwei weitere auf, nämlich die Kategorien „ausgelassen“ und „nicht auswertbar“. Unter die Kategorie „ausgelassen“ fällt eine Aufgabe, zu der gar nichts geschrieben wurde beziehungsweise ein Ausdruck mangelnder Einfälle zum gegebenen Problem, wie zum Beispiel „keine Ahnung“, „weiß ich nicht“ oder ähnliches. Etwas komplizierter verhält es sich mit der Kategorie „nicht auswertbar“. In dieser tauchen einerseits unverständliche Antworten, denen kein Sinn entnommen werden kann auf. Weiter werden hierin Antworten eingeordnet, die zwar sinnvolle Aussagen darstellen, aber keinerlei Information für das eigentliche Analyseziel liefern, also für das Herausfinden von Schülervorstellungen. Es sein denn, diese Aussagen kommen nicht nur vereinzelt, sondern sehr häufig vor. Dann muss die Effektivität der Aufgabe in Frage gestellt werden.

9.1.1 Bestimmung des Ausgangsmaterials

Die Bestimmung des Ausgangsmaterials umfasst die Festlegung des Materials sowie die Analyse der Entstehungssituation und der formalen Charakteristika.

Der Analyse liegen 102 Antworten zu Frage 5 des Fragebogens von Schülern aus fünf verschiedenen Klassen zugrunde. Diese entsprechen der Grundgesamtheit. Teilgenommen an der Untersuchung haben drei Gymnasialklassen, eine fünfte, eine sechste und eine siebte. Hierbei muss erwähnt werden, dass die siebte Klasse zum Zeitpunkt der Durchführung des Fragebogens bereits wenige Unterrichtsstunden zur Optik gehört hat. Aus der sechsten Klasse haben sechs Schüler an einem Physikwahlkurs teilgenommen, in dem auch die Optik angeschnitten wurde. Hier wurden Experimente durchgeführt, die die Reflexion und optische Brechung zum Thema hatten. Daneben haben eine fünfte Klasse einer Gesamtschule und eine sechste Klasse einer Werkrealschule an der Untersuchung teilgenommen.

Entstanden ist das Material in der Schule während einer Freistunde beziehungsweise einer

Klassenlehrerstunde. Somit kann man nicht von einer freiwilligen Teilnahme ausgehen. Als Beweggründe der Schüler, die Antworten zu verfassen, ist auch die schulische Verpflichtung anzuführen. Jedoch wurde bei jeder Durchführung explizit betont, dass die Ergebnisse aus den Bögen keinerlei Einfluss auf die Zensuren der Schüler haben. Es gibt auch keine Zielgruppe, in deren Richtung das Material von den Schülern verfasst wurde. Hauptmotivation war wie schon erwähnt, dass die Befragung im Rahmen der Schulzeit in Anwesenheit des Lehrers durchgeführt wurde.

Das Material liegt ausschließlich in niedergeschriebener Form vor, hauptsächlich im Fließtext und vereinzelt in Stichworten.

9.1.2 Richtung der Analyse

Durch den Fragebogen sollen die Ideen und Vorstellungen der Schüler zu grundlegenden optischen Phänomenen untersucht werden. Die konkrete Fragestellung der Analyse ist also die folgende: Welche Schülervorstellungen zu den Grundlagen der Optik liegen bei den Schülern vor?

9.1.3 Kategoriefindung

Nachdem das Material und die Analyserichtung festgelegt sind, kann nun die tatsächliche Analyse beginnen. Die Zusammenfassung ist der erste Schritt der Kategorie-findung. Zunächst werden die Aussagen paraphrasiert, also in grammatikalische Kurzform umgewandelt, wobei nur inhaltstragende Textbestandteile übernommen werden. Ausschmückungen und Füllwörter werden weggelassen. So wird zum Beispiel aus der Aussage „Weil die Sonne einen ganzen Erdteil beleuchtet. Dadurch trifft das Licht trotzdem in das Zimmer.“ folgende Paraphrase: “Sonne beleuchtet ganzen Erdteil”. Da wir mit 76 bearbeiteten Aufgaben einen überschaubaren Umfang haben und die Antworten in der Regel recht knapp sind, müssen wir nicht mit einer Stichprobe arbeiten, sondern können die komplette Grundgesamtheit zur Findung der Kategorien nutzen. Die Paraphrasierung liefert folgendes nach Klassen geordnetes Material.

6a Armin-Knab-Gymnasium

1. Sonne bescheint alles in ihrer Reichweite
2. Sonne beleuchtet ganzen Erdteil
3. Fenster reflektieren Licht
4. Sonne hat so viel Kraft, die ganze Erde hell zu machen
5. draußen ist alles hell, Licht kommt von draußen nach drinnen
6. Strahlen werden von Erde und Wasser reflektiert
7. Fensterscheiben reflektieren Licht
8. außen um Zimmer herum ist es hell
9. Licht wird von Gegenständen reflektiert
10. Spiegelung
11. Atmosphäre hält Sonnenstrahlen ab
12. liegt an Atmosphäre und Tageslicht
13. Sonne beleuchtet alles, nicht nur dann, wenn sie direkt darauf scheint
14. Sonnenstrahlen gehen durch jeden Spalt
15. Sonne ist hinter Wolken, scheint aber trotzdem. Wolken können Sonnenstrahlen nicht ganz abhalten

5c Friedrich-König-Gymnasium

16. Sonne ist um Vielfaches größer und strahlt überall
17. Lampe ist an
18. z.B. Autos und andere Fenster reflektieren Licht
19. Licht ist in der Luft
20. ganze von Sonne bestrahlte Hälfte ist hell
21. durch das Spiegeln der Fenster
22. Sonne wird von allem Möglichem reflektiert
23. wegen des Lichts
24. Teil der Sonne scheint hinein
25. Mond reflektiert Sonnenstrahlen oder Licht ist an

26. Sonnenstrahlen werden überall reflektiert
27. Sonne scheint immer
28. Licht verteilt sich
29. Sonne bescheint ganze Welt, muss gar nicht ins Zimmer scheinen
30. Sonne wird z.B. vom Wasser reflektiert

7c Armin-Knab-Gymnasium

32. Sonne ist punktförmige Lichtquelle, leuchtet nicht nur auf eine Stelle
33. Sonnenstrahlen verteilen sich auf ganze Erde
34. Licht wird von allen Sachen im Zimmer reflektiert
35. Fenster leiten Licht hinein
36. Weiße Wände und andere Sachen reflektieren
37. Sonne erhellt einen Teil der Erde, dieser reflektiert Strahlen in alle Richtungen, auch in Zimmer
38. Sonne fällt schräg in Zimmer, Wand reflektiert Sonnenlicht
39. Sonne fällt schräg in Zimmer, Wand reflektiert Sonnenlicht
40. Licht der Sonne wird von fast allen Dingen reflektiert
41. alle Sachen reflektieren Licht
42. Sonne wirft Strahlen überall hin, Erde reflektiert das Licht
43. Sonne scheint in alle Richtungen, Gegenstände reflektieren Licht in unser Auge
44. es gibt auch andere Lichtquellen außer der Sonne, Licht wird von vielen Gegenständen reflektiert

5b Pater-Alois-Grimm-Schule

45. Sonnenstrahlen scheinen überall hin
46. Lichtstrahlen breiten sich aus und dann ist es überall hell
47. Fenster lassen Licht herein
48. Erde wird auf halber Seite bestrahlt und ist hell
49. Sonne versorgt Erde mit Licht, das Zimmer gehört zur Erde
50. vielleicht wegen der Wandfarbe oder wegen Wolken, die Licht leiten

51. Sonne scheint tagsüber
52. Helligkeit kann in Zimmer eindringen
53. Satzsicht der Erde verteilt Sonne überall
54. Sonne kann überall scheinen
55. wir haben Lichter im Zimmer, Solarzellen nehmen Licht und geben es in das Zimmer
56. manche schalten Licht an oder schauen Fernsehen
57. Sonne hat richtigen Strahl, wo es ganz hell ist, aber es ist auch außen herum hell
58. es ist nicht mehr hell, wenn Wolken die Sonne verdecken

6a Pater-Alois-Grimm-Schule

59. Sonne ist groß und scheint über das ganze Land
60. Scheine verdickern sich
61. Licht reflektiert sich und gelangt ins Zimmer
62. wegen der Helligkeit
63. Sonne behellt alles
64. Sonne ist rund und so hell
65. Licht sammelt sich und leuchtet dann
66. Lichtstrahlen gehen um das Haus bis ins Zimmer
67. Sonne erhellt Umgebung und wird in Zimmer reflektiert
68. manche Sachen reflektieren die Sonnenstrahlen
69. kleine Strahlen leuchten in den Raum
70. Sonne strahlt ein wenig durch Wolken durch
71. jedes Zimmer hat ein Fenster
72. Sonnenlicht bricht und verteilt sich
73. da Erde so nah und Sonne so hell, werden automatisch im ganzen Land die Zimmer miterhellt
74. Boden leitet Sonnenstrahlen weiter
75. es ist überall hell und dort, wo die Sonne direkt hinscheint, ist es noch heller
76. weil es Tag ist

Bevor die Paraphrasen nun generalisiert werden, werden diejenigen von ihnen gestrichen, die entweder gar keinen erkennbaren Sinn tragen oder keinerlei erkennbaren Bezug zur Aufgabenstellung enthalten. Diese werden dementsprechend bei der Kategoriebildung nicht berücksichtigt. Weggelassen werden können die Aussagen mit folgenden Nummern, die für unsere Fragestellung der Analyse bedeutungslose Paraphrasen darstellen.

- 17. Lampe ist an
- 55. wir haben Lichter im Zimmer, Solarzellen nehmen Licht und geben es in das Zimmer
- 56. manche schalten Licht an oder schauen Fernsehen

Diese drei Antworten stellen zwar mögliche Erklärungen dar, warum es in dem Zimmer hell ist, liefern allerdings keinerlei Hinweise auf mögliche Vorstellungen und werden deshalb nicht berücksichtigt.

- 11. Atmosphäre hält Sonnenstrahlen ab
- 12. Liegt an Atmosphäre und Tageslicht
- 23. wegen des Lichts
- 27. Sonne scheint immer
- 47. Fenster lassen Licht herein
- 51. Sonne scheint tagsüber
- 58. es ist nicht mehr hell, wenn Wolken die Sonne verdecken
- 62. wegen der Helligkeit
- 64. Sonne ist rund und so hell
- 66. Lichtstrahlen gehen um das Haus bis ins Zimmer
- 71. jedes Zimmer hat ein Fenster
- 76. weil es Tag ist

Die vorangegangenen Antworten enthalten keine für unsere Analyse auswertbare Aussage, da keinerlei Erklärung des in der Aufgabe vorgestellten Phänomens zu erkennen ist.

- 24. Teil der Sonne scheint hinein
- 38. Sonne fällt schräg in Zimmer, Wand reflektiert Sonnenlicht

Es wird, wie auch in der Aufgabe explizit gefordert, der Fall betrachtet, dass die Sonne nicht direkt in das Zimmer scheint. Somit sind die letzten beiden Aussagen unbrauchbar für die Bestimmung der Kategorien.

53. Satzschicht der Erde verteilt Sonne überall

Für "Satzschicht" enthält der Duden keine Einträge. Somit ist diese Antwort unverständlich und kann nicht in die Auswertung einfließen. Womöglich meinte der Schüler die Atmosphäre, die Schutzschicht der Erde.

60. Scheine verdickern sich

Dies stellt eine völlig unverständliche Antwort dar.

Nun werden die nicht aussortierten Paraphrasen generalisiert, also auf ein höheres Abstraktionsniveau gesetzt, um die Anzahl der Ausprägungen zu verringern. Wir erhalten folgende Paraphrasen nach der ersten Generalisierung, wiederum nach Klassen sortiert.

6a Armin-Knab-Gymnasium

1. Sonne bescheint alles in ihrer Reichweite
2. Sonne beleuchtet ganzen Erdteil
3. Fenster reflektieren Licht
4. Sonne macht ganze Erde hell
5. Licht kommt von draußen nach drinnen
6. Strahlen werden überall reflektiert
7. Fensterscheiben reflektieren Licht
8. außen um Zimmer herum ist es hell
9. Licht wird von Gegenständen reflektiert
10. Spiegelung
12. liegt an Atmosphäre und Tageslicht
13. Sonne beleuchtet alles

14. Sonnenstrahlen gehen durch jeden Spalt
15. Sonne scheint durch Wolken

5c Friedrich-König-Gymnasium

16. Sonne beleuchtet alles
18. Gegenstände reflektieren Licht
19. Licht ist in der Luft
20. Sonne macht ganze Erde hell
21. durch das Spiegeln der Fenster
22. Sonne wird von allem Möglichem reflektiert
25. Mond reflektiert Sonnenstrahlen
26. Sonnenstrahlen werden überall reflektiert
28. Licht verteilt sich
29. Sonne bescheint ganze Welt
30. Sonne wird z.B. vom Wasser reflektiert
31. Sonne bescheint ganze Erdhälfte

7c Armin-Knab-Gymnasium

32. Sonne leuchtet nicht nur auf eine Stelle
33. Sonnenstrahlen verteilen sich
34. Licht wird von Gegenständen reflektiert
35. Fenster leiten Licht hinein
36. Gegenstände reflektieren Licht
37. Strahlen werden überall reflektiert
40. Gegenstände reflektieren Licht
41. alle Sachen reflektieren Licht
42. Licht wird überall reflektiert
43. Gegenstände reflektieren Licht
44. Gegenstände reflektieren Licht

5b Pater-Alois-Grimm-Schule

- 45. Sonne beleuchtet alles
- 46. Sonne macht überall hell
- 48. ganze Erde ist hell
- 49. Sonne bestrahlt Erde
- 50. Wolken leiten Licht
- 52. Helligkeit kann in Zimmer eindringen
- 54. Sonne kann überall scheinen
- 57. auch um Sonnenstrahlen herum ist es hell

6a Pater-Alois-Grimm-Schule

- 59. Sonne bescheint das ganze Land
- 61. Licht wird reflektiert
- 63. Sonne erhellt alles
- 65. Licht sammelt sich
- 67. Strahlen werden in das Zimmer reflektiert
- 68. Gegenstände reflektieren Sonnenstrahlen
- 69. kleine Strahlen leuchten in den Raum
- 70. Sonne strahlt ein wenig durch Wolken durch
- 72. Sonnenlicht verteilt sich
- 73. Sonne beleuchtet alles
- 74. Boden leitet Sonnenstrahlen weiter
- 75. Sonne beleuchtet alles

Im nächsten Schritt können bedeutungsgleiche Paraphrasen zusammengefasst werden. Eine davon wird jeweils als Repräsentant angeführt. Die Nummern der bedeutungsgleichen Paraphrasen werden in Klammern an den entsprechenden Repräsentanten angefügt.

- 3. Fenster reflektieren Licht (7 , 21)

- | | | |
|-----|---|------------------------------------|
| 4. | Sonne macht ganze Erde hell | (2 , 20 , 29 , 31 , 48 , 49) |
| 5. | Licht kommt von draußen nach drinnen | |
| 8. | Außen um Zimmer herum ist es hell | |
| 9. | Licht wird von Gegenständen reflektiert | (18 , 34 , 36 , 41 , 43 , 44 , 68) |
| 10. | Spiegelung | |
| 13. | Sonne beleuchtet alles | (1 , 16 , 45 , 46 , 73 , 75) |
| 14. | Sonnenstrahlen gehen durch jeden Spalt | |
| 15. | Sonne scheint durch Wolken | |
| 19. | Licht ist in der Luft | |
| 25. | Mond reflektiert Sonnenstrahlen | |
| 26. | Sonnenstrahlen werden überall reflektiert | (6 , 22 , 37 , 40 , 42) |
| 28. | Licht verteilt sich | (33 , 72) |
| 30. | Sonne wird z.B. vom Wasser reflektiert | |
| 32. | Sonne leuchtet nicht nur auf eine Stelle | |
| 35. | Fenster leiten Licht hinein | |
| 50. | Wolken leiten Licht | |
| 52. | Helligkeit kann in Zimmer eindringen | |
| 54. | Sonne kann überall scheinen | |
| 57. | auch um Sonnenstrahlen herum ist es hell | |
| 59. | Sonne bescheint das ganze Land | |
| 61. | Licht wird reflektiert | |
| 63. | Sonne erhellt alles | |
| 65. | Licht sammelt sich | |
| 67. | Strahlen werden in das Zimmer reflektiert | |
| 69. | kleine Strahlen leuchten in den Raum | |
| 74. | Boden leitet Sonnenstrahlen weiter | |

Der bisherige Teil entspricht der induktiven Kategoriendefinition. Die Kategorien wurden durch sukzessives Erhöhen des Abstraktionsniveaus der Aussagen gebildet. Da es sich ohnehin schon um knappe Antworten handelt, ist hier nur ein Generalisierungsschritt notwendig. Nun gibt es jedoch noch viel zu viele verschiedene Ausprägungen, als dass jede einzelne jeweils eine Kategorie bilden könnte und wir ein sinnvolles Kategoriensystem

erhielten. Durch Bündelung und Integration soll die Anzahl der Ausprägungen weiter reduziert werden. Hierzu bedienen wir uns nun auch der deduktiven Kategoriendefinition. Wir benutzen also Ergebnisse aus Voruntersuchungen, den aktuellen Forschungsstand. Dieser wird uns bei der endgültigen Festlegung der Kategorien helfen.

Wie bereits in 4.2 erwähnt, lehnen Schüler häufig die Vorstellung ab, dass Gegenstände Licht reflektieren. Es sein denn, es handelt sich um spiegelnde Gegenstände. Damit sind Objekte gemeint, in denen man sein Spiegelbild sehen kann. Die Schüler wissen aus jahrelanger Erfahrung, dass zum Beispiel Wasser oder Glas diese Eigenschaft besitzen. Wird also Spiegelung in der Antwort erwähnt, so kann man von der Spiegelung an besagten Gegenständen ausgehen.

Daneben ist oft die Lichtsee-Vorstellung bei den Schülern präsent. Nach dieser Vorstellung erfüllt das Licht den gesamten Raum. Eine solche Eigenschaft spiegelt sich in Schlüsselwörtern wider, die gerade diese Absolutheit beschreiben. Beispiele hierfür sind die Begriffe „ganz“, „komplett“ und „überall“.

Schließlich gibt es noch die Vorstellung der physikalischen Lichtstreuung, die bei dem einen oder anderen Schüler bereits vorhanden sein kann.

Aus der deduktiven Kategoriendefinition erhalten wir somit die folgenden drei Kategorien mit Schlüsselwörtern, die auf das Vorhandensein entsprechender Vorstellungen hindeuten.

1) Lichtsee-Vorstellung

Definition: „Das Licht umgibt die Quelle, den Gegenstand und das Auge.“ [IQ 5]

Schlüsselbegriffe: „Licht (be-)leuchtet alles bzw. überall“

Dabei können natürlich auch die Synonyme „bescheinen“, „erhellen“ oder ähnliche in der Paraphrase auftauchen. Die Ausbreitung des Lichts überall hin kann auch durch Wörter wie „eindringen“ oder „erreichen“ signalisiert werden.

2) Streuung

Definition: Bei der Lichtstreuung werden Lichtstrahlen an der Grenzfläche zwischen den Medien regellos in unterschiedliche Richtungen reflektiert. [TIP 2009]

Schlüsselbegriffe: „Reflexion bzw. reflektiert“ in Kombination mit „überall“ oder „an allem“

beziehungsweise mit beliebigen Objekten.

3) Reflexion an spiegelnden Gegenständen

Definition: Trifft ein Lichtstrahl auf die Grenzfläche zweier optisch unterschiedlich dichter Medien, wird ein Teil des Lichts reflektiert, also zurückgeworfen. Die Reflexion findet in einer Ebene statt, die durch den einfallenden Lichtstrahl und die Normale auf die Grenzfläche aufgespannt wird. Der reflektierte Strahl liegt auch in der Einfallsebene und schließt mit der Normalen einen ebenso großen Winkel ein, wie es der einfallende Strahl tut. [TIP 2009]

Schlüsselbegriffe: „Spiegelung bzw. spiegelt“ oder „Reflexion bzw. reflektiert“ in Kombination mit spiegelnden Gegenständen wie zum Beispiel „Wasser“ oder „Glas“.

Weiterhin ermöglicht uns die Theorie folgende Verallgemeinerung. Die Begriffe Sonne und Sonnenstrahlen beziehungsweise Licht werden zusammengefasst und als Synonyme betrachtet. Dies ist vertretbar, da viele Schüler Licht mit seiner Quelle, mit seinen Wirkungen oder mit seinem Zustand gleichsetzen. Da es uns aber um die Vorstellungen zur Lichtausbreitung geht und die Unterscheidung von Quelle und Wirkung nicht Ziel unserer Analyse ist, können wir diese Generalisierung treffen.

Nun können einige der Paraphrasen den drei obigen Kategorien zugeordnet werden.

Damit erhalten wir folgende Paraphrasen in den drei Kategorien.

1) Lichtsee

- | | | |
|-----|--------------------------------------|------------------------------------|
| 4. | Sonne macht ganze Erde hell | (2. , 20. , 29. , 31. , 48. , 49.) |
| 13. | Sonne beleuchtet alles | (1. , 16. , 45. , 46. , 73. , 75.) |
| 54. | Sonne kann überall scheinen | |
| 59. | Sonne bescheint das ganze Land | |
| 63. | Sonne erhellt alles | |
| 52. | Helligkeit kann in Zimmer eindringen | |

2) Streuung

- 9. Licht wird von Gegenständen reflektiert (18. , 34. , 36. , 41. , 43. , 44. , 68.)
- 26. Sonnenstrahlen werden überall reflektiert (6. , 22. , 37. , 40. , 42.)
- 61. Licht wird reflektiert
- 67. Strahlen werden in das Zimmer reflektiert

3) Reflexion an spiegelnden Gegenständen

- 3. Fenster reflektieren Licht (7. , 21.)
- 10. Spiegelung
- 30. Sonne wird z.B. vom Wasser reflektiert

In den restlichen Paraphrasen tauchen die Schlüsselwörter, die wir anhand der Theorie festgelegt haben nicht auf, dennoch lassen sich Ähnlichkeiten erkennen und eine Kategorie finden.

1) Lichtsee

- 8. Außen um Zimmer herum ist es hell
- 57. auch um Sonnenstrahlen herum ist es hell
- 32. Sonne leuchtet nicht nur auf eine Stelle

In Paraphrase 8 ist die gesamte Umgebung um das Zimmer erhellt, dadurch kann das Licht auch in das Zimmer eintreten. Ebenso können wir Paraphrase 57 verstehen. Paraphrase 32 drückt die für die Lichtsee typische Vorstellung der Unbeschränktheit der Lichtausbreitung aus.

2) Streuung

- 74. Boden leitet Sonnenstrahlen weiter

Weiterleiten kann als Synonym für reflektieren betrachtet werden. Die Strahlung trifft auf einen Gegenstand und bleibt nicht dort, sondern wird weitergeleitet oder weggeleitet. Mit dem gleichen Argument können wir folgende Zuordnung treffen.

3) **Reflexion an spiegelnden Gegenständen**

35. Fenster leiten Licht hinein

Somit sind alle bis auf die folgenden Paraphrasen in Kategorien eingeordnet.

50. Wolken leiten Licht

15. Sonne scheint durch Wolken

Nachdem leiten als Synonym für reflektieren bestimmt worden ist, könnten wir Paraphrase 50 in die Kategorie Streuung einordnen. Gut möglich ist aber, dass der Schüler dachte, die Sonne könne nicht direkt in das Zimmer hineinscheinen, weil Wolken den Weg des Lichts versperren. Diese sind aber nicht undurchlässig für das Licht. In der zweiten Aussage scheint dieser Gedanke deutlicher vorhanden. Damit können die beiden Aussagen nicht gewertet werden, da die Problemstellung missverstanden wurde.

25. Mond reflektiert Sonnenstrahlen

Auch diese Antwort kann nicht in die Wertung aufgenommen werden. Eventuell ist der Schüler davon ausgegangen, dass es in der beschriebenen Situation Nacht sein muss, da die Sonne ja nicht direkt in das Zimmer scheint.

Den beiden folgenden Paraphrasen kann auch nach näherer Betrachtung keine Aussage entnommen werden, aus der eine Erklärung des Phänomens ersichtlich wird und deshalb sind sie unbrauchbar.

19. Licht ist in der Luft

65. Licht sammelt sich

Die beiden übrigen Paraphrasen weisen eine Idee auf, die sich von den anderen drei Kategorien unterscheidet. Licht kann durch kleine Öffnungen und Spalte des Dachs oder der Hauswand in das Zimmer gelangen, ebenso wie es morgens durch einen kleinen Spalt im Rollladen oder unter der Tür ins Zimmer kommt.

14. Sonnenstrahlen gehen durch jeden Spalt

69. kleine Strahlen leuchten in den Raum

Dies stellt eine für die Analyse relevante Vorstellung dar und bestimmt deshalb eine weitere Kategorie: „Licht durchdringt Wand“.

Somit sind letztlich sechs verschiedene Kategorien entstanden, die das gesamte Ausgangsmaterial umfassen sollten. Nun können sämtliche Antworten zu Aufgabe 5 jeweils in eine passende Kategorie eingeordnet werden. Diese Einordnung soll, genau wie bereits die Findung des Kategoriensystems, nach strengen Regeln ablaufen und für andere nachvollziehbar sein. Um dies zu gewährleisten, wird besonders die Suche nach Schlüsselwörtern für eine Kategorie genutzt, die uns die Theorie vorgibt. Dies verringert die Subjektivität bei der Kategorisierung der Antworten. Diese wird unabhängig voneinander von drei Untersuchern vorgenommen, geleitet von der folgenden Vorgehensweise. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse miteinander verglichen. Sind die Abweichungen zu groß, muss die Vorgehensweise modifiziert werden.

9.1.4 Kategorisierung

Kategorisiert werden sollen sämtliche Bearbeitungen der fünften Aufgabe des Fragebogens. Für die gesamte Analyse werden Licht und Strahlung mit seiner Quelle gleichgesetzt. Die Sonne wird als äquivalent zu Sonnenstrahlen betrachtet. Die angegebenen Schlüsselbegriffe umfassen auch sehr nah verwandte Wörter, so umfasst zum Beispiel „überall“ auch „an allen Orten“.

Die Vorgehensweise ist Schritt für Schritt für jede einzelne Antwort zu durchlaufen, bis diese in eine Kategorie eingeordnet ist. Zur Verfügung stehen folgende Kategorien.

- 1) „Lichtsee“
- 2) „Streuung“
- 3) „Reflexion an spiegelnden Gegenständen“
- 4) „Licht durchdringt Wand“
- 5) „unbrauchbar“
- 6) „nicht auswertbar“

Damit eine Antwort in eine Kategorie eingeordnet werden kann, muss sie mit der Definition der Kategorie bildenden Vorstellung vereinbar sein. Ankerbeispiele geben für Kategorien typische Antworten an. Bevor die Kategorisierung begonnen wird, muss die gesamte Vorgehensweise durchgelesen werden, um Fehler zu vermeiden.

1.

Suche nach den Schlüsselbegriffen: „Spiegelung, spiegeln“.

Falls nicht gefunden, gehe zu Punkt 2.

Falls gefunden, folgt sofort die Einordnung in die Kategorie „Reflexion an spiegelnden Gegenständen“.

2.

Suche nach den Schlüsselbegriffen: „Reflexion, reflektieren, umleiten“.

Falls nicht gefunden, gehe zu Punkt 3.

Falls gefunden, suche nach weiteren Schlüsselbegriffen: „überall, an allen Dingen, an Gegenständen“.

Falls gefunden, folgt die Einordnung in die Kategorie „Streuung“.

Ankerbeispiel: „Sonnenstrahlen werden überall reflektiert“.

Falls nicht gefunden, suche nach Schlüsselbegriffen: „Fenster, Glas, Wasser“.

Falls gefunden, folgt Einordnung in die Kategorie „Reflexion an spiegelnden Gegenständen“.

Ankerbeispiel: „Sonne wird vom Wasser reflektiert.“

Falls nicht gefunden oder falls die Einordnung nicht eindeutig getroffen werden kann, geschieht sie folgendermaßen: Ist die Reflexion nicht ausdrücklich nur auf spiegelnde Gegenstände eingeschränkt, folgt die Einordnung in die Kategorie „Streuung“. Ansonsten wird die Antwort der Kategorie „Reflexion an spiegelnden Gegenständen“ zugeschrieben.

3.

Suche nach Schlüsselbegriffen: „ganz, überall, vollständig“ in Kombination mit „Licht, bestrahlen, bescheinen“ oder nach den Begriffen „ausbreiten, eindringen, verteilen“.

Falls nicht gefunden, gehe zu Punkt 4.

Falls gefunden, folgt Einordnung in Kategorie „Lichtsee“.

Ankerbeispiel: „Sonne macht alles hell.“

4.

Suche nach Schlüsselbegriffen „kleine Spalten, kleine Strahlen“.

Falls nicht gefunden, gehe zu Punkt 5.

Falls gefunden, folgt Einordnung in Kategorie „Licht durchdringt Hauswand“

5.

Handelt es sich um eine verständliche, nicht sinnlose Äußerung, folgt Einordnung in Kategorie „unbrauchbar“.

Ankerbeispiel: „Sonne scheint immer.“

Falls nicht der Fall, folgt Einordnung in Kategorie „nicht auswertbar“

Ankerbeispiel: „Scheine verdickern sich“

In den folgenden drei Tabellen werden die drei Kategorisierungen angeführt, die nach dieser Anleitung entstanden sind. Die Kategorisierungen in Tabelle 2 und 3 wurden von Studenten durchgeführt, die Physik für das Lehramt an Gymnasien studieren. Hierbei werden die Antworten, die oben mit den Nummern 1 bis 76 versehen wurden, von eben diesen Nummern repräsentiert in die jeweilige Spalte der passenden Kategorie eingetragen. In der dritten Zeile ist die Anzahl der Antworten in der jeweiligen Kategorie angegeben.

Lichtsee	Streuung	Reflexion an spiegelnden Gegenständen	Licht durchdringt Wand	unbrauchbar	nicht auswertbar
1, 2, 4, 5, 8, 13, 16, 20, 28, 29, 31, 32, 33, 45, 46, 48, 49, 52, 54, 57, 59, 63, 72, 73, 75	6, 9, 18, 22, 26, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 61, 67, 68, 74	3, 7, 10, 21, 30, 35	14, 69	11, 12, 15, 17, 19, 24, 25, 27, 47, 50, 51, 55, 56, 58, 64, 65, 66, 70, 71, 76	23, 53, 60, 62
25	19	6	2	20	4

Tab. 1

Lichtsee	Streuung	Reflexion an spiegelnden Gegenständen	Licht durchdringt Wand	unbrauchbar	nicht auswertbar
1, 2, 4, 5, 8, 13, 16, 20, 24, 29, 31, 33, 45, 46, 48, 49, 52, 53, 54, 59, 63, 72, 73, 75	6, 9, 22, 26, 30, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 61, 67, 68, 74	3, 7, 10, 18, 21	14, 69	11, 12, 15, 17, 19, 23, 25, 27, 28, 32, 35, 47, 50, 51, 55, 56, 57, 58, 62, 64, 65, 66, 70, 71, 76	60
24	19	5	2	25	1

Tab. 2

Lichtsee	Streuung	Reflexion an spiegelnden Gegenständen	Licht durchdringt Wand	unbrauchbar	nicht auswertbar
1, 2, 4, 5, 8, 13, 16, 19, 20, 28, 29, 31, 32, 33, 45, 46, 48, 49, 52, 54, 59, 63, 72, 73, 75	6, 9, 22, 26, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 61, 67, 68, 74	3, 7, 10, 18, 21, 30, 35	14, 69	11, 12, 15, 17, 23, 24, 25, 27, 47, 50, 51, 53, 55, 56, 57, 58, 62, 64, 65, 66, 70, 71, 76	60
25	18	7	2	23	1

Tab. 3

Wie man sieht, sind die Resultate der drei unabhängig voneinander durchgeführten Analysen gut miteinander vereinbar. Die Häufigkeiten, mit denen die Kategorien besetzt wurden, stimmen sehr gut überein. Betrachten wir diejenigen Aussagen, die in Kategorie „Lichtsee“ eingeordnet wurde. Mit einmal 24 und zweimal 25 Zuordnungen haben wir keine großen Abweichungen, was die jeweilige Anzahl der Aussagen in dieser Kategorie angeht. Entscheidend ist aber vor allem, dass die gleichen Antworten in eine bestimmte Kategorie eingetragen wurden. 22 Antworten tauchen in allen drei Auswertungen in der Kategorie „Lichtsee“ auf. Wir erhalten 18 Übereinstimmungen in Kategorie 2 und 4 in Kategorie 3. Die in Kategorie 4 eingeordneten Antworten stimmen in allen drei Auswertungen vollständig überein. Die größte Abweichung liegt bei der Kategorie „nicht auswertbar“ vor. Diese wurde in der ersten Auswertung mit vier Aussagen besetzt, in den anderen beiden nur mit einer Antwort. Jedoch wurden hier die übrigen drei Aussagen in die Kategorie „unbrauchbar“ eingeordnet, also ebenfalls aussortiert.

Die deutliche Übereinstimmung der drei Auswertungen zeugt von einer hohen Intercoderreliabilität der Analyse. Wir können also davon ausgehen, dass die Einteilung in Kategorien und damit indirekt die Zuweisung von vorhandenen Schülervorstellungen zum betreffenden Schüler nicht willkürlich und rein subjektiv getroffen wurde.

Es ist auch nicht nötig, die Ergebnisse zu mitteln, da die Abweichungen so gering sind. Daher behalten wir in der Häufigkeitstabelle die Resultate aus der ersten Kategorisierung bei und betrachten die zwei weiteren Kategorisierungen als bestätigende Überprüfung.

Analog werden für die restlichen Aufgaben Kategorien entworfen und eine Zuordnung gesucht. Die Resultate werden in einer Häufigkeitstabelle im Anhang unter Punkt 16.2 aufgelistet.

9.2 Auswertung Klasse 6a Armin-Knab-Gymnasium

Wir führen die Analyse der Bögen für eine Klasse ausführlich durch. Als optimaler Zeitpunkt für die Durchführung des Bogens wird die Zeit unmittelbar vor Beginn des Optikunterrichts betrachtet, da die Schüler sich mit zunehmendem Alter immer besser und treffender ausdrücken können. Die siebte Klasse des Gymnasiums hatte zum Zeitpunkt der Untersuchung bereits einige Stunden Optikunterricht besucht und erfüllt damit die Anforderungen an eine Klasse, für die der Bogen vorgesehen ist, nicht vollkommen. Man kann sich nicht sicher sein, ob Antworten aus den Vorstellungen der Schüler oder aus dem vorangegangenen Unterricht resultieren. Da der Bogen am Lehrplan der siebten Jahrgangsstufe des Gymnasiums orientiert ist, fokussieren wir uns hier auch auf die Gymnasialklassen. Aus diesen Gründen werden die Bearbeitungen der Klasse 6a des Armin-Knab-Gymnasiums in Kitzingen gewählt.

Es haben 26 Schüler dieser Klasse an der Bearbeitung des Fragebogens teilgenommen. Darunter befinden sich 16 Mädchen und 10 Jungen. Ein Teil der Klasse besucht einen Physik-Wahlkurs, in dem bis zum Zeitpunkt der Befragung bereits einige Experimente aus der Optik durchgeführt wurden. Von den 10 Jungen besuchen 5 den Wahlkurs, also genau die Hälfte. Von den 16 Mädchen nimmt nur ein einziges daran teil.

In der Analyse wird häufig der Konjunktiv benutzt, um zu betonen, dass man aus einer Antwort niemals sicher auf das Vorhandensein einer bestimmten Vorstellung schließen kann. Doch stellt eine Schülervorstellung eine plausible Erklärung für mehrere Antworten dar, kann man durchaus davon ausgehen, dass diese Vorstellung beim betreffenden Schüler vorliegt.

Die Häufigkeitstabelle liefert uns die Information, wie häufig eine Kategorie besetzt ist. Wir können zusätzlich für einzelne Schüler die Ergebnisse der Kategorisierung für verschiedene Aufgaben vergleichen, um mit größerer Gewissheit auf das Vorhandensein einer Fehlvorstellung schließen zu können.

Aufgabe 1

Alle bis auf eine Schülerin haben die erste Aufgabe bearbeitet. Somit hat sie sich als sogenannte Eisbrecheraufgabe für den Einstieg in den Fragebogen bewährt.

Was zunächst bei der Auswertung der ersten Aufgabe auffällt ist, dass 11 Schüler lediglich Strahlen in Richtung Erde oder genau auf diese einzeichnen, wie es in Abbildung 4 der Fall ist.

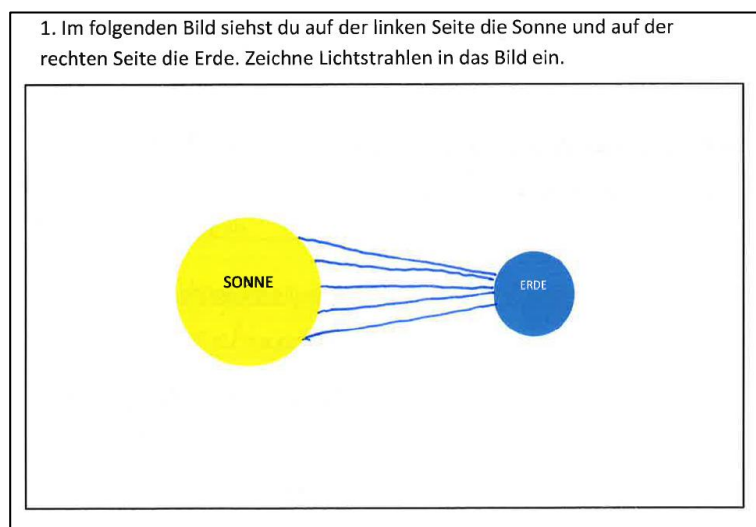


Abb.4

Womöglich liegt die Ursache dieser Antwort in der Frage- beziehungsweise Aufgabenstellung selbst. Die Schüler könnten den Eindruck bekommen, dass die Beziehung zwischen Sonne und Erde hier im Mittelpunkt steht und alles andere nicht relevant ist. Dagegen haben 14 Schüler Strahlen in alle Richtungen eingezeichnet. Somit müssen wir davon ausgehen, dass zumindest bei manchen der Schüler Fehlvorstellungen vorliegen. Möglich wäre die Vorstellung einer gerichteten Abstrahlung der Sonne mit dem „Ziel“ Erde. Als Ursache einer solchen Vorstellung ist die Lichtsee-Vorstellung denkbar. Denn unter Berücksichtigung dieser dürfte es keine Nacht auf der Erde geben, wenn die Sonne auch an der Erde vorbeistrahlt. Denn das Weltall um die Erde wäre dann komplett erhellt und somit auch die Erde selbst.

Um nun die Vermutung der Vorstellung einer gerichteten Lichtausbreitung bei dem Schüler zu überprüfen, dessen Bogen Abbildung 1 entnommen ist, können wir seine Bearbeitungen anderer Aufgaben hinzuziehen. In diesem speziellen Fall eignen sich die Aufgaben 5, 13 und 15. In Aufgabe 5 wurde eine Lichtseevorstellung zugeordnet. In Aufgabe 13 hat der Schüler

einen Lichtkegel von der Taschenlampe aus eingezeichnet, der den Ball einschließt. Dies ist in Abbildung 5 dargestellt.



Abb. 5

Dies unterstützt eine solche Vorstellung der gerichteten Lichtausbreitung nicht, denn die Lichtstrahlen treffen nicht nur genau auf den Ball. Aufgabe 15 gibt jedoch wieder einen Hinweis auf diese Vorstellung. Der Schüler sieht als Ursache für das Glänzen der Fensterscheibe an, dass die Sonne darauf scheint. Seine Worte sind: „Weil die Sonne darauf scheint.“ Da die anderen Scheiben nicht glänzen, werden diese seiner Vorstellung nach offenbar nicht von der Sonne beschienen. Somit müssen wir bei diesem Schüler von der Vorstellung einer gerichteten Lichtausbreitung ausgehen.

Mit Sicherheit kann auf die Vorstellung einer nur endlich weiten Lichtausbreitung geschlossen werden. Nur 3 von 26 Schülern zeichnen Lichtstrahlen bis zum Rahmen des Bildes ein. Besonders interessant ist ein Bogen, aus dem Abbildung 6 entnommen ist. Hier wurde eine Art Grenze auf Höhe der Erde eingezeichnet, hinter die die Strahlen scheinbar nicht gelangen können. Ursache könnte auch hier die oben erwähnte Lichtsee-Vorstellung sein. Die Analyse der anderen Antworten dieses Schülers bestärken diesen Verdacht jedoch nicht.

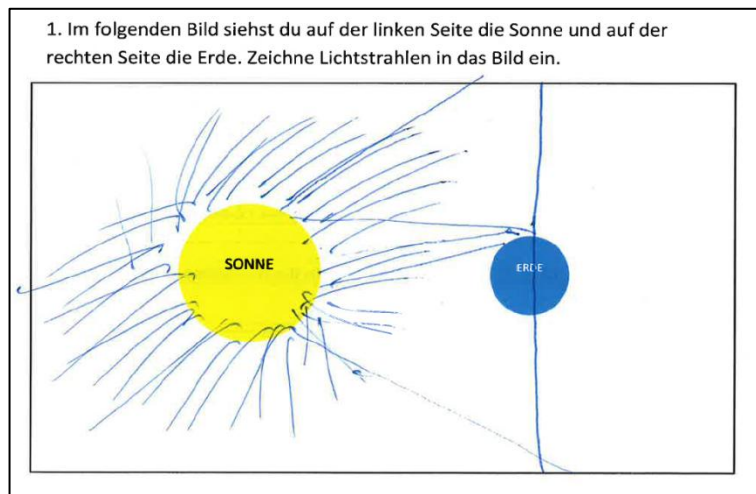


Abb. 6

Eine Lichtseevorstellung ist womöglich auch bei dem Schüler vorhanden, aus dessen Bogen Abbildung 7 stammt. Von der Sonne gehen gar keine einzelnen Lichtstrahlen aus, obwohl diese in der Aufgabenstellung explizit erwähnt wurden. Der ganze Raum um die Sonne ist schlicht erhellt, genau wie von der Lichtsee-Vorstellung bekannt. Leider hat der Schüler Aufgabe 5 nicht bearbeitet, die sonst zur weiteren Untersuchung herangezogen worden wäre.

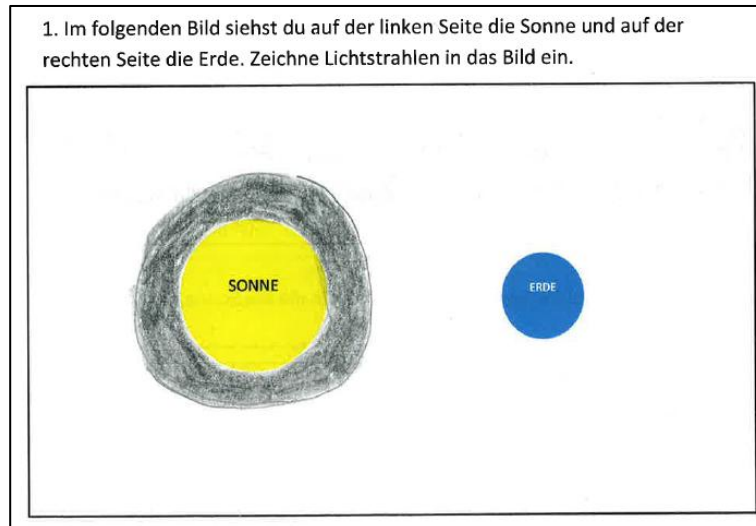


Abb. 7

Die Lichtsee-Vorstellung ist auch eine mögliche Erklärung für das Einzeichnen von Lichtstrahlen in den Schattenbereich der Erde, wie in Abbildung 8 zu sehen ist. Unwahrscheinlich ist, dass der Schüler hier Strahlen eingezeichnet hat, die an der Erde vorbeilaufen und nur aufgrund der zweidimensionalen Darstellung im Schattenraum der Erde zu liegen scheinen. Eine ausgeprägte Lichtsee-Vorstellung ist nicht mit einem physikalisch

korrekten Verständnis der Schattenentstehung vereinbar.

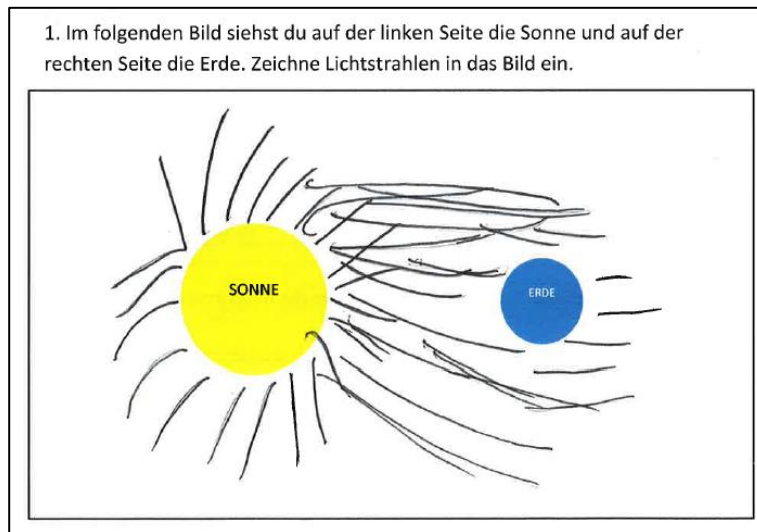


Abb. 8

Die Bearbeitung von Aufgabe 5 dieses Schülers wurde der Kategorie „Licht durchdringt Wand“ zugeordnet, lässt also nicht weiter auf eine Lichtsee-Vorstellung schließen. In Aufgabe 13 tritt jedoch das gleiche Phänomen wie in 1 auf, siehe hierfür Abbildung 9.



Abb. 9

Auch der Ball wirft keinen Schatten. Wir ziehen die Aufgaben zu Schattenphänomenen zur weiteren Untersuchung heran. Abbildung 10 zeigt, wie der Schüler Aufgabe 6 bearbeitet hat.

6. Auf einem Tisch in einem dunklen Zimmer befinden sich ein Holzstab und ein Solartaschenrechner, der nur funktioniert, wenn Licht auf ihn fällt. Kann man ihn benutzen, wenn die Taschenlampe eingeschaltet ist? Zeichne den Schatten des Holzstabs ein und begründe.

Taschenlampe

Holzstab

Taschenrechner

Ja man kann ihn benutzen da sich Licht ausbreitet.
Und der Holzstab bedeckt nur ein Teil des Strahls.

Abb. 10

Der Text der Bearbeitung lautet: „Ja man kann ihn benutzen da sich Licht ausbreitet. Und der Holzstab bedeckt nur ein Teil des Strahls.“ Dies deutet ebenfalls auf eine Lichtsee-Vorstellung hin, die ein korrektes Verständnis des Schattenprinzips verhindert. Ein Teil des Strahls gelangt auf die rechte Seite des Stabes und erhellt den ganzen Raum, sodass man den Taschenrechner benutzen kann.

Dieses Beispiel zeigt, dass wir nicht allein anhand einer bearbeiteten Aufgabe sofort auf die Existenz einer gewissen Vorstellung schließen können. Jedoch wird diese unter Betrachtung anderer Aufgaben immer wahrscheinlicher, so dass wir nach Untersuchung des gesamten Bogens davon ausgehen können, dass eine bestimmte Vorstellung tatsächlich vorliegt, insbesondere wenn sie in der Literatur ohnehin als häufige Vorstellung aufgeführt wird.

Aufgabe 2

Die relative Mehrheit von 10 Schülern gibt als Begründung für die Entstehung von Tag und Nacht die Drehung der Erde um sich selbst, also um die eigene Achse, an. Eine nähere Erläuterung fehlt nicht selten, wie zum Beispiel in der folgenden Antwort. „Die Erde dreht sich um die eigene Achse. So ist immer eine Erdhälfte beleuchtet.“ Solche Aussagen machen es für den Untersucher schwer, zu erkennen, ob hier wirklich physikalisches Verständnis vorhanden ist. Die Entstehung von Tag und Nacht sollte bereits in der Grundschule behandelt

worden sein. So ist es denkbar, dass die Formulierung der sich um die eigene Achse drehenden Erde im Gedächtnis der Schüler vorhanden ist und sie diese einfach angeben. Zudem ist ohnehin immer eine Erdhälfte beleuchtet, von einer Sonnenfinsternis abgesehen. Die treffende Aussage wäre hier, dass durch die Drehung bedingt immer eine andere Erdhälfte beleuchtet wird.

Weitere 10 Schüler erwähnen schlicht eine Drehung der Erde als Ursache, wie in der folgenden Bearbeitung. „Die Erde dreht sich und die Sonne strahlt die ganze Zeit.“ Dies zeigt wiederum die Schwäche des Fragebogens. Diese Antwort müsste in die Kategorie nicht auswertbar eingeordnet werden, da sie keine Schlüsse über Vorstellungen zulässt. Die Schülerin könnte die Drehung der Erde um sich selbst, aber ebenso gut die Drehung der Erde um die Sonne oder gar eine ganz andere Drehung im Sinn gehabt haben. Unglücklicherweise haben wir bei einem Fragebogen nicht die Möglichkeit des Nachfragens. Eine ähnliche Formulierung liefert uns der Schüler, dessen Bogen Abbildung 11 entnommen ist. „Die Erde dreht sich, der eine Teil liegt immer im Schatten.“ Anhand der dazu angefertigten Skizze ist erkennbar, dass hier die Drehung der Erde um die eigene Achse gemeint ist.

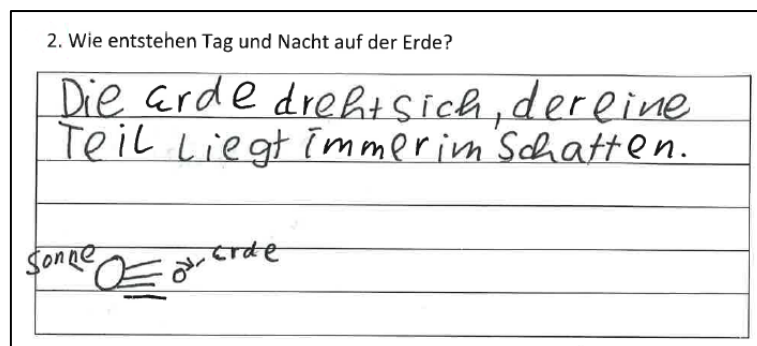


Abb. 11

Auch wird nicht selten falsch argumentiert, wie zum Beispiel in der folgenden Antwort. „Dadurch dass die Erde sich dreht wird immer nur eine Seite der Erde bestrahlt.“ Natürlich würde auch ohne die Drehung der Erde, sowohl derjenigen um sich selbst als auch der um die Sonne, immer nur eine Seite der Erde bestrahlt werden. Viel mehr wird, durch die Drehung der Erde um sich selbst bedingt, nicht immer dieselbe Erdhälfte von der Sonne beschienen. Somit kann man hier nicht von physikalischem Verständnis ausgehen.

Immerhin 6 Schüler erwähnen die Drehung der Erde um die Sonne. Eine Antwort lautete wie folgt. „die Erde kreist um die sonne einmal ist in der einen Hälfte Tag und in der anderen

Nacht und umgekehrt“ Bei dieser Schülerin kann und muss man wohl davon ausgehen, dass sie keine wissenschaftlich korrekte Vorstellung von der Entstehung von Tag und Nacht besitzt. Tatsächlich hat die Drehung der Erde um die Sonne nämlich nichts damit zu tun. Anders sieht es aus, wenn man über die Entstehung der Jahreszeiten spricht, die womöglich ebenfalls in der Grundschule behandelt wurde. Vielleicht haben die Schüler hier die beiden Phänomene, besser gesagt ihre Ursachen, durcheinandergebracht. Oder es handelt sich um eine Vorstellung, in der die Erde innerhalb von 24 Stunden um die Sonne kreist und sich dabei nicht um ihre eigene Achse dreht. Auch dann wäre jede Erdhälfte einmal in 24 Stunden beleuchtet. Wahrscheinlicher ist wohl, dass erstere Vermutung zutrifft.

Selten treten auch Vorstellungen auf, die ein völlig anderes Prinzip der Entstehung von Tag und Nacht hervorbringen. Eine Idee ist, dass sich bei Nacht der Mond vor die Sonne schiebt und die Erde somit im Schatten des Mondes verschwindet. Auch angeführt wurde, dass sich Mond und Sonne stets auf gegenüberliegenden Seiten der Erde befinden. „Die Erde dreht sich das heißt wenn bei uns der Mond am Himmel ist ist die Sonne auf der anderen Seite, deshalb ist es dunkel also Nacht und bei Tag ist das andersrum also die Sonne ist am Himmel der Mond auf der anderen Seite.“ Hier könnte der Schüler folgendes Bild aus Abbildung 12 vor Augen haben.

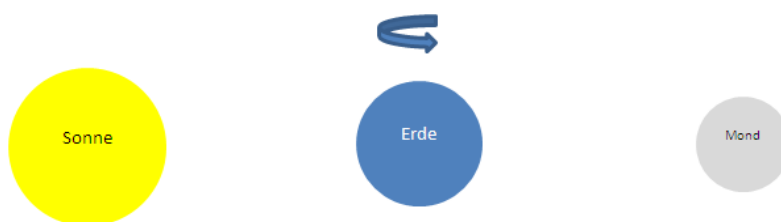


Abb. 12

Sonne, Erde und Mond sind fest an einen Ort gebunden und die Erde dreht sich um ihre eigene Achse. Dies würde Tag und Nacht auf der Erde erklären und warum wir gewöhnlich tagsüber die Sonne und nachts den Mond sehen. Selbst die Entstehung der Jahreszeiten und die von Ebbe und Flut könnte man mit diesem Modell erklären, hingegen die Mondphasen oder zum Beispiel eine Sonnenfinsternis erklärt es nicht. Dennoch ist es gut denkbar, dass ein Schüler diese Vorstellung haben könnte. Wie man an diesem Beispiel gut sieht, kann eine physikalisch nicht korrekte Vorstellung der Konstellation von Sonne, Erde und Mond weitreichende Auswirkungen auf viele andere Phänomene haben. Hat dieser Schüler

tatsächlich oben beschriebene Vorstellung, so wird ihm die Behandlung der Entstehung der Mondphasen im Unterricht Schwierigkeiten bereiten. Ebenso gut und deutlich zeigt dieses Beispiel, wie wichtig es ist, Schülervorstellungen im Unterricht zu berücksichtigen. Man kann die Mondphasen noch so ausführlich und gut erklären, hat ein Schüler jedoch obiges Bild vor Augen, wird er der Erläuterung unmöglich folgen können.

An dieser Stelle ist es interessant zu untersuchen, wie der Schüler die Aufgaben 10 und 11 zu den Mondphasen bearbeitet hat. In Aufgabe 10 gibt er an, dass bei Sichelmond der Erdschatten einen Teil des Mondes verdeckt. Auch diese Ansicht ist mit der obigen Vorstellung aus Abbildung 11 vereinbar, da sich die Erde ja ohnehin stets zwischen Sonne und Mond befindet. Den Vollmond zeichnet er jedoch so ein, dass Sonne, Erde und Mond die Eckpunkte eines rechtwinkligen Dreiecks bilden, wie es auch in Abbildung 22 der Fall ist. Womöglich wurden die Äußerungen des Schülers aus Aufgabe 2 missinterpretiert und er meinte mit der „anderen Seite“ lediglich, dass sich Mond und Sonne nicht auf der gleichen Seite befinden, von der Erde aus gesehen. Andernfalls hat der Schüler verschiedene, sich widersprechende Vorstellungen zur Konstellation von Sonne, Erde und Mond. Dass Schüler in für sie verschiedenen Situationen verschiedene Vorstellungen von ein und derselben Sache anwenden, ist keine Seltenheit. Außerdem kann es sich bei Aufgabe 2 um eine spontane Vorstellung handeln, die wenige Minuten später bei der Bearbeitung der 10. Aufgabe womöglich längst wieder vergessen war.

Auch wenn man durch diese Aufgabe nur sehr vereinzelt auf Fehlvorstellungen schließen kann, zeigt sie dennoch, dass bei einigen Schülern auf ein mangelndes physikalisches Verständnis bezüglich der Entstehung von Tag und Nacht geschlossen werden muss.

Aufgabe 3

Was zunächst bei der Auswertung dieser Aufgabe auffällt, ist die Anzahl der verschiedenen Antworten. Im Vergleich zur siebten Klasse des Gymnasiums, in der nur drei verschiedene Ausprägungen auftauchen, gibt es hier 8 verschiedene Varianten der Anordnung. Der Polarstern taucht an allen Positionen auf, wird also manchmal als kleinster und manchmal als größter der vier Himmelskörper angesehen. Das lässt wohl auf Raten und damit auf Unkenntnis des Polarsterns bei einigen Schülern schließen. Im Gegensatz zur siebten Klasse befinden sich hier jedoch auch Sonne, Erde und Mond nicht stets in der richtigen

Reihenfolge. Mit 8 Stimmen ist die am häufigsten angegebene Reihenfolge: Sonne - Erde - Mond - Polarstern. Die Kombination Polarstern - Sonne - Erde - Mond wird mit 6 Stimmen am zweithäufigsten angegeben. Insgesamt 35% der Schüler setzen den Polarstern an die letzte Position, 31% an die erste Stelle. Somit ist hier keine eindeutige Tendenz zu erkennen. Betrachten wir das gesamte Datenmaterial der Durchführung des Fragebogens, so ergibt sich ein etwas anderes Bild. 43% aller Schüler sehen den Polarstern als den kleinsten Himmelskörper an und nur 17% betrachten ihn als den größten. 28% setzen ihn an Stelle 2 und 12% an die dritte Position. Hier ist eine deutliche Tendenz zu erkennen und man kann davon ausgehen, dass ein solches Ergebnis durch reines Raten, also wahlloses Besetzen der Positionen, nicht zustande kommen kann. Ein möglicher Grund ist, dass die Sterne, die man am Nachthimmel betrachten kann, von der Erde aus gesehen sehr klein erscheinen, insbesondere wesentlich kleiner als der Mond. Daraus schließen manche Schüler möglicherweise auf eine tatsächlich kleinere Größe. Somit fehlt hier die Sehwinkel-Vorstellung, dass nicht nur die tatsächliche Größe, sondern auch der Abstand zum Betrachter entscheidend dafür ist, wie groß wir etwas sehen. Normalerweise sollte diese Vorstellung bei den Schülern vorhanden sein, da man mit ihr von klein auf im alltäglichen Leben konfrontiert wird, beispielsweise wenn eine Person aus weiter Entfernung auf einen zuläuft.

Die Reihenfolge Sonne - Erde - Mond, unabhängig von der Position des Polarsterns, wurde immerhin von 21 Schülern angegeben. 24 Schüler sehen die Sonne als größer an als Erde und Mond.

Aufgabe 4

Diese Aufgabe sollte darauf abzielen, ob es für die Schüler einen Unterschied zwischen Sonne und Mond bezüglich der Lichtaussendung gibt. Aufgrund der sehr offenen Aufgabenstellung gingen die Schüler jedoch auf zahlreiche andere Dinge ein. Es wurden die Beschaffenheit, Entfernung zur Erde und auch die Beziehung zur Erde genannt, in dem Sinne, dass der Mond um die Erde kreist, die Sonne jedoch nicht.

So kamen auch Fehlvorstellungen aus der Mechanik und der Thermodynamik zum Vorschein. Ein Schüler lieferte folgende Antwort: „Ja. Der Mond hat, weil er näher da ist mehr anziehungskraft, deshalb gibt es Ebe und Flut“. Dieser Schüler könnte die Vorstellung

besitzen, die Anziehungskraft, die ein Körper auf einen anderen ausübt, hängt einzig von dem Abstand der beiden Körper ab. Sechs Schüler geben an, die Sonne sei sehr heiß und der Mond sei kalt. Auf der sonnenzugewandten Seite des Mondes kann die Temperatur jedoch auf einen Wert von bis zu 130°C ansteigen, also rund 100°C größer als der Durchschnittswert auf der sonnenzugewandten Erdseite.

Vier Schüler erwähnen die Tatsache, dass die Sonne selbst leuchtet, der Mond jedoch nur von der Sonne angestrahlt wird. Sicher werden noch einige Schüler mehr über diese Vorstellung verfügen.

Unserem eigentlichen Ziel der Feststellung der Schülervorstellungen in der Optik hat uns diese Aufgabe nicht näher gebracht. Streng genommen müssten wir Kategorien c und d der Häufigkeitstabelle auch in die Kategorie „nicht auswertbar“ integrieren und somit blieben von 26 Bearbeitungen nur 6 brauchbare übrig.

Aufgabe 5

Diese Aufgabe wurde von elf Schülern ausgelassen, was die Schwierigkeit der Frage unterstreicht. Doch so schwierig sie für die Schüler sein mag, so aufschlussreich ist sie für den Untersucher. Von den 15 Bearbeitungen lassen 6 auf eine Lichtsee-Vorstellung schließen. Einige Antworten sollen hier angeführt werden: „Weil die Sonne einen ganzen Erdteil beleuchtet. Dadurch trifft das Licht trotzdem in das Zimmer.“ Passend dazu ist auch folgende Erklärung einer Schülerin: „Weil draußen alles hell ist also kommt Licht von draußen nach drinnen.“ Am deutlichsten wird die Lichtsee-Vorstellung jedoch durch die Angabe folgender Schülerin getroffen: „Weil die Sonne alles beleuchtet und nicht nur dann, wenn sie direkt darauf scheint“ Diese Antwort zeigt, dass Abstrahlung von Licht und hellmachende Wirkung einer Lichtquelle für manche Schüler zwei voneinander unabhängige Dinge sein können. Mit dieser Vorstellung ist es auch nur sehr schwer möglich, Schattenphänomene zu verstehen und vermutlich war bei entsprechenden Aufgaben lediglich das im Gedächtnis gespeicherte Bild eines Stabes, der einen Schatten wirft, abgerufen worden.

Fünf Schüler geben an, dass das Licht in das Zimmer reflektiert wird, wobei drei Schüler nur von Reflexion an spiegelnden Dingen, wie Wasser oder Glas sprechen. Lichtreflexion an Gegenständen allgemein wird von zwei Schülern erwähnt, wie zum Beispiel in folgender Antwort: „Weil das Licht von anderen Gegenständen reflektiert wird.“ Bei diesen zwei

Schülern kann man somit von einer vorhandenen Streuungsvorstellung ausgehen. Die anderen drei zeigen durch die Erwähnung ausschließlich spiegelnder Gegenstände die typische Vorstellung, dass Licht nur an eben solchen reflektiert werden kann.

Dies ist ein Anzeichen dafür, dass die für das Verständnis zahlreicher Inhalte der Optik grundlegende Vorstellung der Lichtstreuung an Gegenständen bei den meisten Schülern nicht vorhanden ist. Ob der Wichtigkeit dieses Prinzips muss hierauf im Unterricht besonders eingegangen werden.

Aufgabe 6

Immerhin neun Schüler konstruieren den Schatten mit Hilfe eines Lineals, drei von ihnen besuchen den Wahlkurs. Diese neun Schüler scheinen bereits eine vertiefte Vorstellung der geradlinigen Lichtausbreitung zu besitzen und nutzen diese zur Bestimmung des Schattengebietes. Mit sieben Schülern hat beinahe ein Drittel den Schatten zwar qualitativ richtig, aber zu kurz eingezeichnet, so dass er nicht bis zum Taschenrechner reicht. Siehe hierzu auch Abbildung 13. Mit qualitativ richtig ist hier gemeint, dass der Schatten am Stab ansetzt und richtig orientiert ist. Diese Vorstellung resultiert aus den zahlreichen Schattenphänomenen, die wir im Alltag beobachten können und ist in der Regel schon bei Primarstufenschülern vorhanden, wie uns die Untersuchungen von Piaget zeigen. Daher kann aus dem qualitativ richtigen Einzeichnen des Schattens nicht auf ein tiefes, physikalisch korrektes Verständnis der Schattenentstehung geschlossen werden, es sei denn man würde als Ursache des zu kurzen Schattens sehr grobes Einzeichnen nach Augenmaß vermuten.

Aus einzelnen Antworten kann man ein bereits vorhandenes wissenschaftliches Verständnis von Schatten erkennen. So gibt ein Schüler die folgende Begründung: „Der Holzstab unterbricht die Lichtlinie, dass der T.R im Schatten liegt.“ Abbildung 14 zeigt die vorbildliche Bearbeitung dieses Schülers. Er zeichnet nicht nur den sichtbaren Schatten auf dem Tisch ein, sondern den gesamten Schattenraum.

6. Auf einem Tisch in einem dunklen Zimmer befinden sich ein Holzstab und ein Solartaschenrechner, der nur funktioniert, wenn Licht auf ihn fällt. Kann man ihn benutzen, wenn die Taschenlampe eingeschaltet ist? Zeichne den Schatten des Holzstabs ein und begründe.

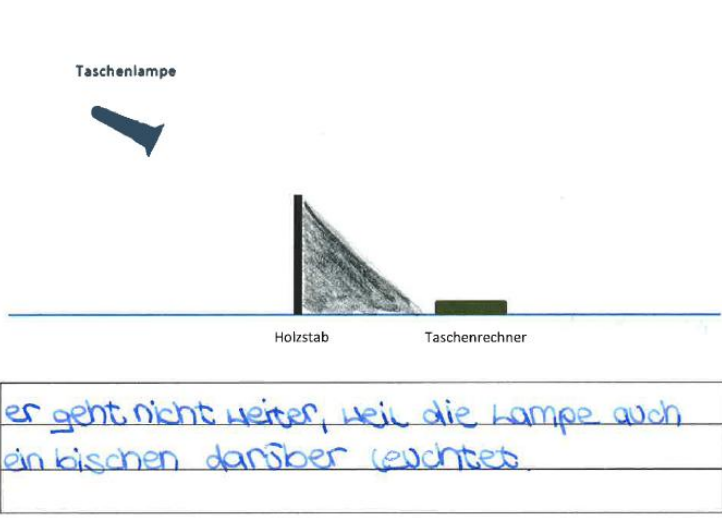


Abb. 13

6. Auf einem Tisch in einem dunklen Zimmer befinden sich ein Holzstab und ein Solartaschenrechner, der nur funktioniert, wenn Licht auf ihn fällt. Kann man ihn benutzen, wenn die Taschenlampe eingeschaltet ist? Zeichne den Schatten des Holzstabs ein und begründe.

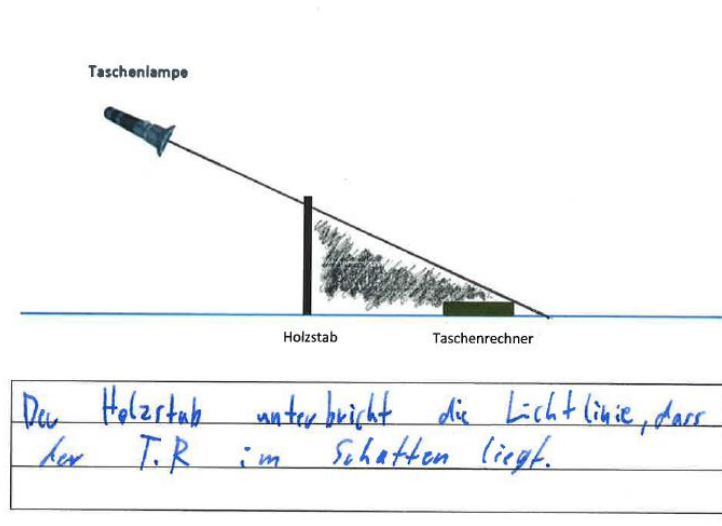


Abb. 14

Nur drei Schülerinnen zeichnen den Schatten völlig verkehrt ein, mit falscher Orientierung und nicht am Stab ansetzend, wie in Abbildung 15 gezeigt.

6. Auf einem Tisch in einem dunklen Zimmer befinden sich ein Holzstab und ein Solartaschenrechner, der nur funktioniert, wenn Licht auf ihn fällt. Kann man ihn benutzen, wenn die Taschenlampe eingeschaltet ist? Zeichne den Schatten des Holzstabs ein und begründe.

Taschenlampe

Holzstab Taschenrechner

Abb. 15

Bei manchen Bearbeitungen, wie bei der in Abbildung 16 dargestellten, stimmt das Bild nicht mit der angegebenen Antwort überein. Der Schüler gibt als Antwort an: „Nein, kann man nicht, weil der Schatten auf den Taschenrechner fällt.“

6. Auf einem Tisch in einem dunklen Zimmer befinden sich ein Holzstab und ein Solartaschenrechner, der nur funktioniert, wenn Licht auf ihn fällt. Kann man ihn benutzen, wenn die Taschenlampe eingeschaltet ist? Zeichne den Schatten des Holzstabs ein und begründe.

Taschenlampe

Holzstab Taschenrechner

↖ Schatten

Nein, kann man nicht, weil der Schatten auf den Taschenrechner fällt.

Abb. 16

Eventuell wissen Schüler nicht, wie sie den Schatten über den Taschenrechner einzeichnen

sollen. Dies zeigt sich auch in Abbildung 17.

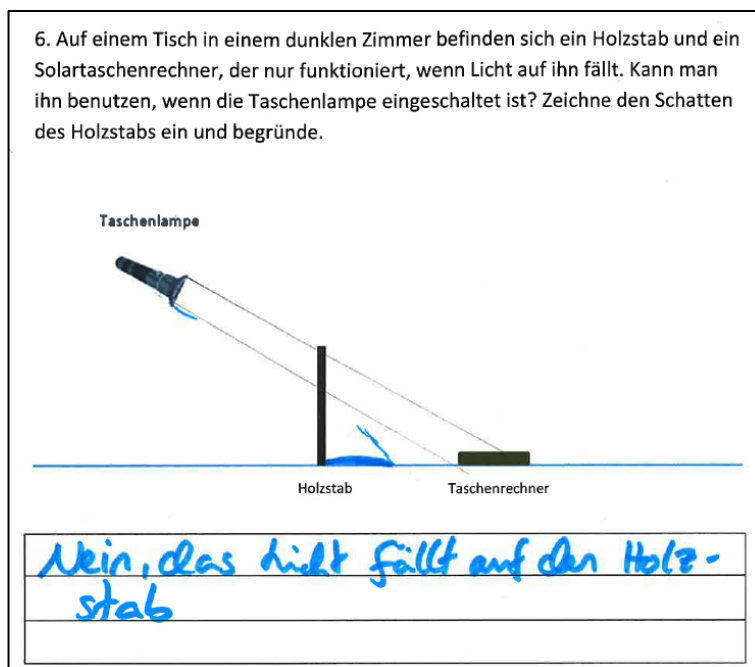


Abb. 17

Der Schüler betont, dass der Taschenrechner im Schatten des Holzstabes liegt, zeichnet diesen aber viel zu kurz ein.

Aufgabe 7

Mit 14 Schülern gibt die Mehrheit an, dass das Licht durch den Glasstab hindurchgeht und der Taschenrechner funktioniert. Interessant sind einzelne Antworten von Schülern, die auf Lichtreflexion, Bündelung und sogar Brechung eingehen. Dies ist in der folgenden Bearbeitung einer Schülerin der Fall: „Es geht auch dieses mal nicht, weil dieser Glasstab das Licht bricht und er es in eine andere Richtung scheinen lässt.“ Hier ist also bereits die optische Brechung ein Begriff, wenn auch in diesem Fall nicht ganz korrekt angewandt. Vermutlich kennt die Schülerin das bekannte, oft auch in Kinderbüchern illustrierte Abknicken eines Paddels beziehungsweise Strohhalms im Wasser oder ähnliches. Dies wird dann auf die Situation hier übertragen. In unserem Fall gibt es jedoch zwei optische Übergänge unmittelbar hintereinander. Dadurch behalten die Lichtstrahlen ihre Richtung bei, sind nur ein wenig nach oben versetzt. Doch alleine das Vorwissen um die Existenz dieses optischen Phänomens namens Brechung ist hilfreich für den folgenden Unterricht.

Insgesamt liefert Aufgabe 7 keine brauchbaren Informationen für das Untersuchungsziel.

Aufgabe 8

In 13 der 23 Bearbeitungen dieser Aufgabe wird kein Schatten eingezeichnet und angeführt, dass die Deckenlampen die Ursache dafür sind. Zwei der Begründungen sollen hier angeführt werden: „Es gibt keinen Schatten wenn das Licht von allen Seiten scheint.“ „Der Holzstab wirft keinen Schatten weil, von oben Licht den Schatten verschwinden lässt.“ Diese Äußerungen zeigen die Vorstellung von Schatten als Abwesenheit von Licht. Somit lässt das Vorhandensein von Licht den Schatten verschwinden. Drei Schüler geben an, dass ein schwacher Schatten auf dem Tisch zu sehen ist.

Interessanter ist jedoch die Antwort von drei Schülerinnen, dass in der vorliegenden Situation ein kleiner Schatten am Holzstab entsteht. Die folgenden Abbildungen 18 und 19 zeigen die Bearbeitungen der Aufgaben 6 und 8, die dem Bogen einer Schülerin entnommen sind.

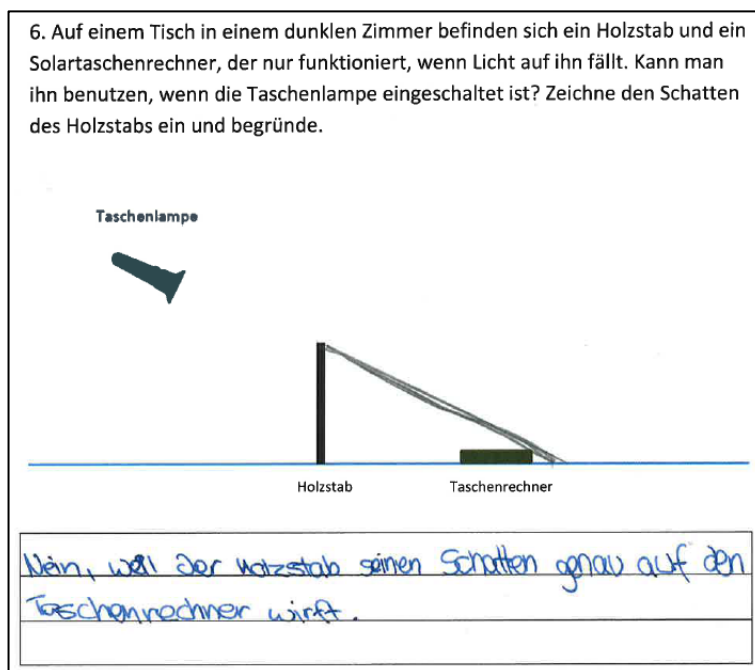


Abb. 18

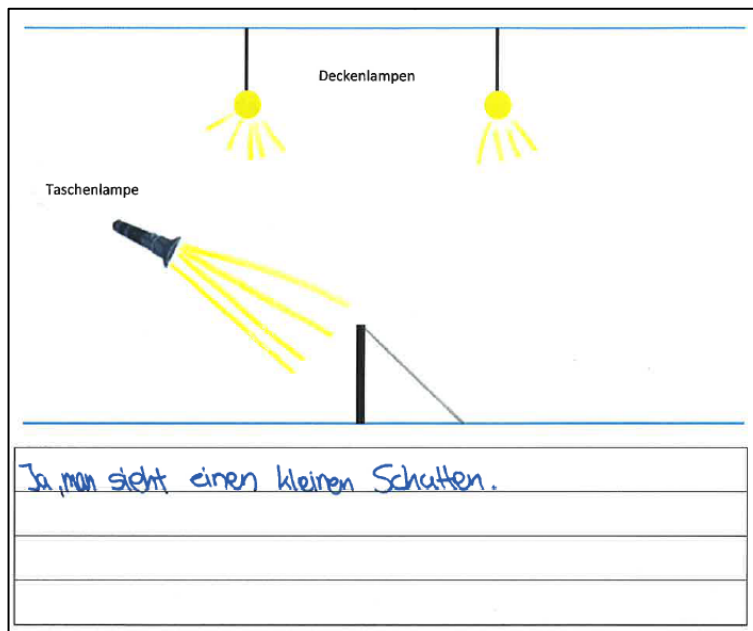


Abb. 19

Aufgabe 6 wurde gut bearbeitet, die Abgrenzung des Schattens ist korrekt eingezeichnet. In Aufgabe 8 ist der Schatten lediglich kürzer geworden. Die Schülerin hat keine Begründung angegeben, sodass man mit der Bearbeitung nicht viel anfangen kann. Womöglich ist auch hier die Vorstellung von Schatten als Abwesenheit von Licht vorhanden. Aus mehr Licht folgt damit ein kleinerer Schatten. Zudem scheint im Vergleich zu Aufgabe 6 in Aufgabe 8 der Schatten willkürlich kürzer eingezeichnet, also nicht in irgendeiner Weise konstruiert. Eventuell ist auch bei dieser Schülerin noch kein physikalisch korrektes Verständnis der Schattenentstehung vorhanden. Dies müssen wir auch bei der Schülerin vermuten, deren Bogen Abbildung 20 entnommen ist. Wir sehen einen sehr kleinen Schatten, der vor allem gar nicht bis zur Spitze des Stabes reicht, wo er aber ansetzen müsste.

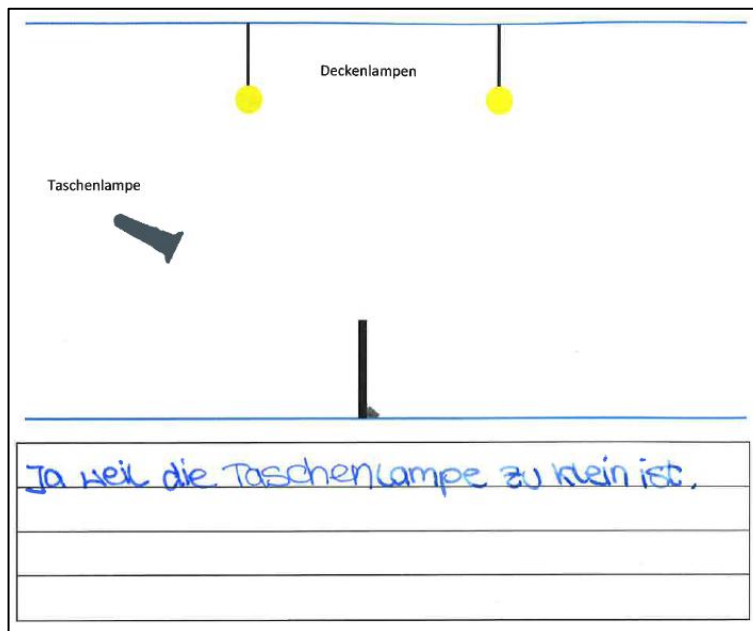


Abb. 20

Aufgabe 9

Bei dieser Aufgabe bestätigt sich, dass einige Schüler tatsächlich noch keine korrekte physikalische Vorstellung von Schatten haben und die Abweichungen von der korrekten Lösung aus vorherigen Aufgaben wohl nicht nur durch Ungenauigkeiten bei der Bearbeitung bedingt waren. Alle 26 Schüler haben diese Aufgabe bearbeitet und mit 16 Schülern haben mehr als die Hälfte die Sonne deutlich zu tief eingezeichnet, wie in Abbildung 21 zu sehen.

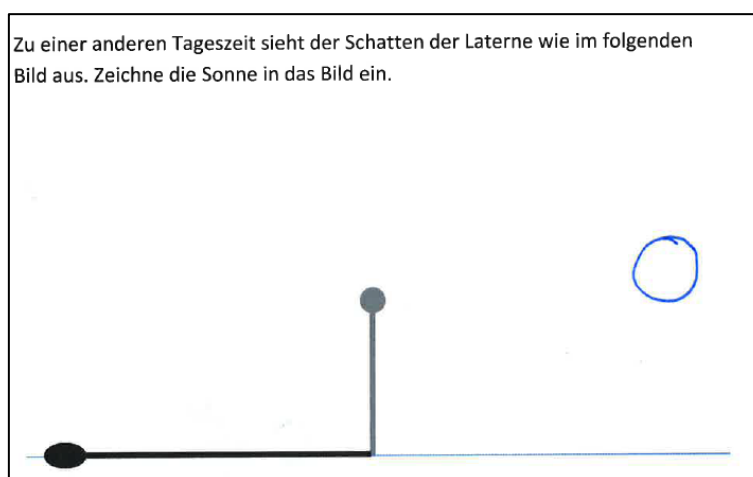


Abb. 21

Dabei zeichneten alle Schüler die Sonne richtig orientiert ein, nämlich rechts von der Laterne. Die Schüler kennen aus dem Alltag genau, dass bei tiefer stehender Sonne die Schatten länger

werden. Diese Erfahrung ersetzt das physikalische Wissen bei der Bearbeitung von Aufgabe 9, was wir deutlich bei der folgenden Bearbeitung in Abbildung 22 erkennen können. Die Sonne ist knapp über Bodenhöhe eingezeichnet mit dem Kommentar „Sonne beim untergehen.“

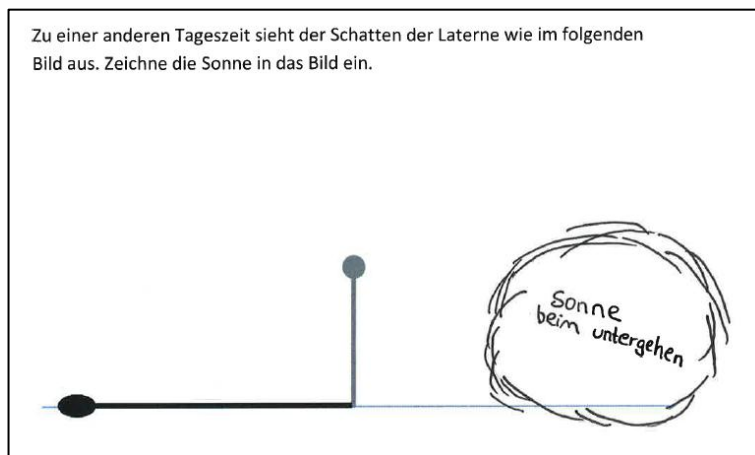


Abb. 22

Von untergehender Sonne war in der Aufgabenstellung nicht die Rede, der zweite Schatten könnte genauso gut am Morgen entstehen, wenn die Sonne noch nicht so hoch steht. Neun Schüler zeichnen die Sonne quantitativ richtig ein, davon konstruieren drei Schüler einen möglichen Ort der Sonne mit Hilfe eines Lineals. Die Bearbeitung einer dieser Schüler ist in Abbildung 23 zu sehen.

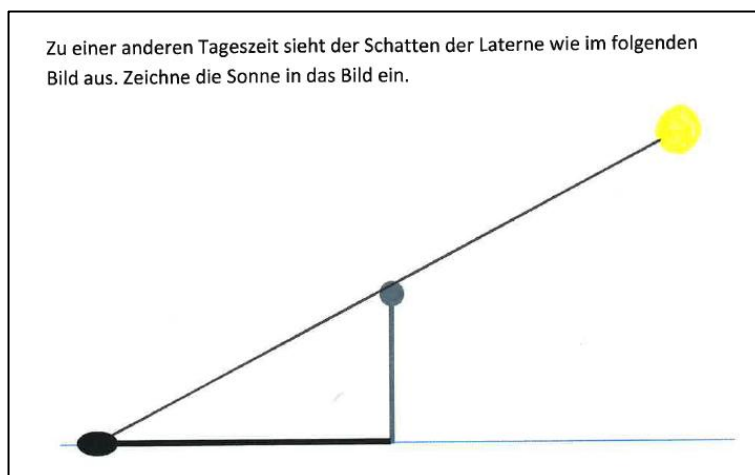


Abb. 23

Wollte man argumentieren, dass der zu tiefe Stand der Sonne in den Bildern seine Ursache in der Ungenauigkeit der Zeichnungen hat, so müsste in einigen Darstellungen die Sonne auch zu hoch eingezeichnet worden sein. Dies ist aber nicht der Fall. Die Aufgabe lässt darauf

schließen, dass die Schüler nur ihr Wissen über die Schattenlänge in Abhängigkeit des Sonnenstandes nutzen, um die Aufgabe zu lösen und somit noch kein grundlegendes physikalisches Verständnis von Schatten vorhanden ist.

Aufgabe 10

In Aufgabe 10 zeigt sich, dass nur sehr wenige Schüler eine wissenschaftlich korrekte Vorstellung von der Entstehung der Mondphasen haben. Lediglich vier Schüler argumentieren, dass es eine Rolle spielt, von wo aus wir den Mond sehen. So tut es die Schülerin, die folgende Begründung anführt: „Weil er von uns aus gesehen nur teilweise von der sonne angeleuchtet wird, natürlich wird er nicht nur teilweise sonder eine hälfte angeleuchtet aber dass sehen wir nicht.“ Hier wird der entscheidende Punkt klar, dass es darauf ankommt, welchen Teil der beleuchteten Mondhälfte wir von der Erde aus sehen können. Sieben Schüler vertreten die Vorstellung, dass der Mond vom Schatten der Erde verdeckt wird, wenn er nur als Sichel zu sehen ist. Sehen wir den Mond als Sichel, so wie auf der Darstellung im Fragebogen zu sehen, ist diese Erklärung gar nicht abwegig. Der Schatten eines kugelförmigen Körpers sollte in etwa auch eine solche Form besitzen. Betrachtet man jedoch den Mond in der zunehmenden beziehungsweise abnehmenden Phase kurz vor beziehungsweise nach der Vollmondphase, so passt das zum „Vollkreis fehlende Stück“ nicht zur Gestalt der Erde, wie man in Abbildung 24 sehen kann.



Abb. 24

Interessant wäre, wie Schüler mit oben beschriebener Erdschattenvorstellung dieses Bild erklären würden. Es kann im Unterricht zum Versuch der Herbeiführung eines kognitiven Konfliktes herangezogen werden.

Sieben Schüler geben als Ursache für die verschiedenen Mondphasen die Bestrahlung des Mondes durch die Sonne an: „Weil manchmal nur ein Teil des Mondes beschienen wird (von Sonne), manchmal ein größerer Teil.“ Auch folgende Aussage zeugt von dieser Vorstellung: „Wegen der Sonne. Je nach dem wohin sie scheint“ Diese Vorstellung ist natürlich falsch. Tatsächlich wird genau wie bei der Erde immer eine gesamte Mondhälfte von der Sonne beschienen, es sei denn, irgendetwas befindet sich zwischen Sonne und Mond. Doch im Alltag sehen Dinge, die plötzlich anders beleuchtet werden, auch anders aus. Macht man zum Beispiel in einem Zimmer eine zweite Lampe an, werden die Gegenstände auch von Seiten sichtbar, die der ersten Lampe abgewandt waren.

Diese Vorstellung könnte gekoppelt sein mit einer Vorstellung der gerichteten Lichtausbreitung. Die restlichen Aufgaben derjenigen sieben Schüler werden zur weiteren Analyse herangezogen. Hier eignen sich die Aufgaben 1 und 15. Drei der Schüler zeichnen in Aufgabe 1 lediglich Lichtstrahlen von der Sonne ein, die genau auf die Erde treffen. Zwei Schülern kann aufgrund ihrer Antwort in Aufgabe 15 die Vorstellung zugeschrieben werden.

Auch die Fehlvorstellungen zur Entstehung der Mondphasen werden wohl keine weitreichenden Auswirkungen auf das Verständnis im weiteren Optikunterricht haben. Dennoch ist das Ziel des Physikunterrichts auch, den Schülern eine physikalisch korrekte Ansicht des astronomischen Weltbildes zu vermitteln.

Aufgabe 11

Insgesamt elf Schüler zeichnen den Mond in der Sichelphase in den Schattenraum der Erde ein, sieben davon geben in Aufgabe 10 auch eine hierzu passende Erklärung an. Schüler, die den Mond in den Erdschatten eingezeichnet haben, diese Vorstellung in Aufgabe 10 aber nicht geäußert haben, argumentierten dort häufig mit der Bestrahlung durch die Sonne. Vielleicht meinen sie, dass ein Teil der Bestrahlung der Sonne durch die Erde weggenommen wird, wenn diese einen Schatten auf den Mond wirft. Eine solche Bearbeitung ist in Abbildung 25 zu sehen.

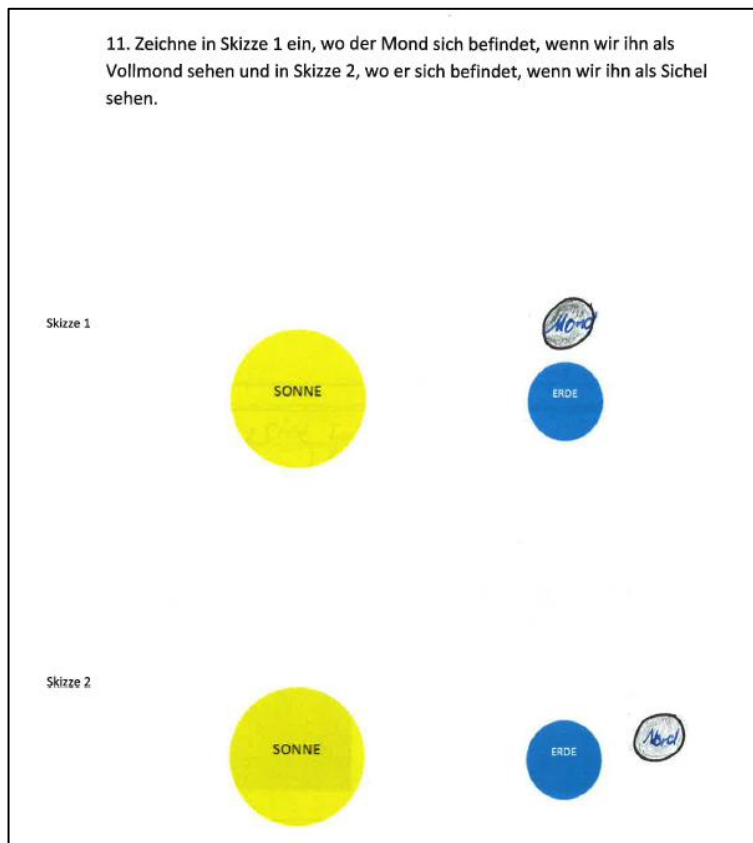


Abb. 25

In dieser Bearbeitung ist offenbar auch der Vollmond nicht an einer korrekten Position eingezeichnet.

Nur fünf Schüler zeichnen den Mond in der Vollmondphase korrekt ein. Bei anderen fehlt womöglich die passende dreidimensionale Vorstellung. Sie denken, stehen Sonne und Mond auf gegenüberliegenden Seiten der Erde, liegt der Mond automatisch im Schatten der Erde. Daher wird der Vollmond so eingezeichnet, dass er mit Erde und Sonne ein Dreieck bildet. Dies stellt sicher, dass die Erde keinen Schatten auf den Mond werfen kann und er nicht verdunkelt wird. Eine solche Zeichnung kann man als weiteres Indiz auf eine vorhandene Lichtseevorstellung betrachten. Es ist kein Hindernis zwischen Sonne und Mond vorhanden, das das Licht abhalten könnte und daher ist der gesamte Mond hell. Wir betrachten die Bearbeitungen von Aufgabe 11 derjenigen Schüler, deren Antworten zu Aufgabe 5 der Kategorie „Lichtsee“ zugeordnet wurden. Von diesen sechs Schülern haben vier den Vollmond an Neumondposition und ein Schüler auf der linken Seite der Sonne eingezeichnet. Nur ein Schüler hat den Vollmond an eine korrekte Position gesetzt. Das Einzeichnen des Mondes an der Neumondposition bestärkt den Verdacht des Vorliegens einer Lichtsee-

Vorstellung. So ist der Mond komplett beleuchtet und wir können ihn als Vollmond sehen. Hier wäre es besonders interessant, die Schüler zu befragen, wie der Mond in einer Konstellation aussehen würde, in der er mit Sonne und Erde ein rechtwinkliges Dreieck bildet. Ist tatsächlich eine Lichtsee-Vorstellung vorhanden und behält der Schüler diese konsequent bei, so müsste auch in diesem Beispiel Vollmond sein. Von den vier Schülern, die den Vollmond an der Neumondposition eingezeichnet haben, haben drei den Sichelmond in den Schattenraum der Erde eingezeichnet. Dies würde eine Lichtseevorstellung unterstützen, die mit einem Verständnis von Schatten gekoppelt ist. In dieser ist ein Gegenstand komplett erhellt, wenn er sich nicht im Schatten befindet.

Insgesamt hat mit 12 Schülern beinahe die Hälfte der Klasse den „Vollmond“ an der Neumondposition eingezeichnet, also zwischen Sonne und Erde. Ein weiterer Grund hierfür könnte sein, dass die Schüler bereits in der Grundschule die Mondphasen behandelt und im Zuge dessen gelernt haben, dass sich der Mond bei Vollmond in etwa auf einer Linie mit Sonne und Erde befindet. Oft lernen Schüler nur diverse Merksätze auswendig, die das Prinzip eines Vorgangs zusammenfassen, aber für sich alleine ohne ein erlangtes Verständnis der Sachverhalte nichts bedeuten. Hierbei handelt es sich um ein generelles Problem, das auch noch einmal die Problematik der Multiple Choice Tests bei der Findung von Schülervorstellungen unterstreicht. Schüler könnten ihnen bekannte Formulierungen unter den Antwortmöglichkeiten wiedererkennen und so die richtige Lösung ankreuzen ohne wirklich Ahnung davon zu haben. Der Untersucher müsste jedoch auf Verständnis oder richtige Antwort durch Raten schließen. Die Schüler könnten also im Gedächtnis haben, dass die drei Himmelskörper bei Vollmond auf einer Linie liegen und zeichnen den Mond genau zwischen Sonne und Erde.

Auch zu bedenken ist an dieser Stelle das oftmals eingeschränkte Vorstellungsvermögen der Schüler. Selbst wenn sie wissen, wie die Mondphasen entstehen, kann es ihnen schwer fallen, dies in einer Skizze umzusetzen.

Doch wir finden auch vollkommen korrekte Bearbeitungen, wie zum Beispiel in Abbildung 26.

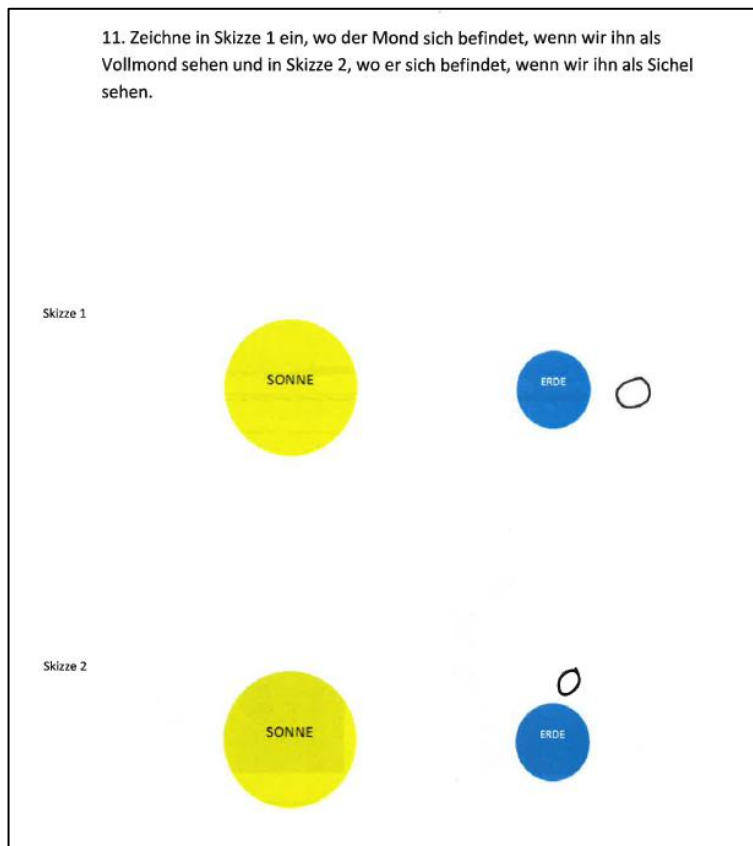


Abb. 26

Aufgabe 12

Für diese Aufgabe besteht definitiv Optimierungsbedarf. Die Häufigkeitstabelle zeigt, dass sich nur 4 der insgesamt 81 Schüler, die diese Aufgabe bearbeitet haben, zu dem zeitlichen Aspekt des Sehens des Lichts geäußert haben. Somit können wir keine Aussagen über die Vorstellungen der Schüler zur Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts treffen. Dies war jedoch das Ziel der Aufgabe. Bei einer sehr offenen Aufgabenstellung, wie sie im Fragebogen angestrebt wird, kann dies durchaus vorkommen. Das Problem der Fragestellung in Aufgabe 12 wurde bereits in 7.1 erläutert. Einige Schüler verstehen die Aufgabe nicht als eine Frage nach dem Zeitpunkt, zu dem man etwas sehen kann, sondern als eine Frage nach den Bedingungen, unter denen man etwas sehen kann. So kommen Antworten wie die folgende zustande: „Wenn die Lampe unten ist, wird das Licht vom Spiegel reflektiert: Tina. Wenn oben: Peter“ Besonders interessant ist auch, was ein Schüler in das Bild eingezeichnet hat. Seine Bearbeitung ist in Abbildung 27 dargestellt.

12. Tina und Peter stehen in einem dunklen Zimmer. Tina hat eine Taschenlampe in der Hand, die auf den Spiegel gerichtet ist, den Peter in der Hand hält. Tina macht die Taschenlampe an. Wer kann das Licht der Taschenlampe sehen? Wann kann Peter/Tina das Licht sehen? Begründe!

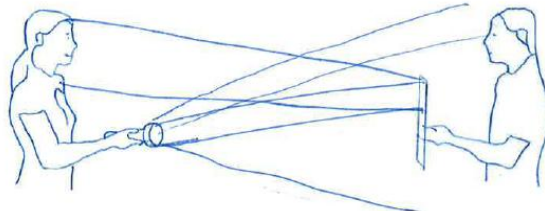
Wenn die Lampe unten ist, wird das Licht vom Spiegel reflektiert: Tina. Wenn oben: Peter

Abb. 27

Hier scheint auch die Vorstellung der gerichteten Lichtausbreitung vorhanden zu sein. Selbst wenn die Schüler auf den zeitlichen Aspekt eingehen, liefern ihre Antworten keinen Aufschluss über ihre Vorstellungen zur Geschwindigkeit der Lichtausbreitung. So antwortet ein Schüler: „immer Peter schaut auch ins Licht“. Eine Schülerin greift den Vorgang direkt nach dem Anschalten der Taschenlampe auf. „Tina kann das Licht sehen, weil der Spiegel das Licht zurückwirft. Sobald das Licht bei dem Spiegel ankommt.“ Hier scheint eine Vorstellung der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit vorhanden zu sein. Ansonsten hätte die Schülerin einfach schreiben können, dass Tina das Licht sieht, sobald sie die Taschenlampe anmacht. Doch für sie muss das Licht erst bis zum Spiegel gelangen. Auffällig ist, dass ein weiterer Weg zum Auge scheinbar nicht nötig ist. Vermutlich sitzt die Alltagsvorstellung des Sehvorgangs so tief, dass sie auch auf diesen Fall übertragen werden kann. Ein Buch auf dem Tisch kann man, nach der Vorstellung der Schüler, sehen, sobald Licht darauf fällt. Nun ist das Licht eben auch sichtbar, sobald es den Spiegel erreicht. Merkwürdig ist jedoch, dass die Schülerin im Satz zuvor noch geschrieben hatte, dass der Spiegel das Licht zurückwerfe und Tina es deshalb überhaupt erst sehen kann.

Ein weiterer Schüler geht auf den zeitlichen Aspekt ein. Seine Bearbeitung ist in Abbildung 28 zu sehen: „Per kann das Licht sehen weil die Taschenlampe eher bei ihm leuchtet als das Gespiegelte bei Tina.“ Diese Antwort kann man so deuten, dass Peter das Licht der Lampe sieht, bevor Tina es sieht. Dies lässt auch auf eine endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts schließen.

12. Tina und Peter stehen in einem dunklen Zimmer. Tina hat eine Taschenlampe in der Hand, die auf den Spiegel gerichtet ist, den Peter in der Hand hält. Tina macht die Taschenlampe an. Wer kann das Licht der Taschenlampe sehen? Wann kann Peter/Tina das Licht sehen? Begründe!



Peter kann das Licht sehen weil die Taschenlampe eher bei ihm steht als das Gespögle bei Tina.

Abb. 28

Die meisten Schüler gehen nicht auf den zeitlichen Aspekt ein und geben lediglich an, dass Tina das Licht sehen könne, da es vom Spiegel zurückgeworfen wird.

Eventuell könnte man diese Aufgabe zur Überprüfung der Existenz einer Vorstellung der gerichteten Lichtausbreitung nutzen, die bei Schülern aufgrund der Bearbeitung anderer Aufgaben vermutet wird. In Aufgabe 15 geben sieben Schüler als Begründung an, dass das Licht genau auf die Fensterscheibe trifft. Bei diesen muss man eine solche Vorstellung vermuten. Vier der sieben Schüler geben in Aufgabe 12 nur an, dass Tina das Licht sehen kann. Dies lässt darauf schließen, dass für sie das Licht der Taschenlampe nur auf den Spiegel fällt. Würde es auch daran vorbeitreten, so müsste auch Peter es sehen können. In der Aufgabenstellung wurde explizit erwähnt, dass die Taschenlampe auf den Spiegel gerichtet ist. Somit kann man nicht ausschließen, dass tatsächlich das gesamte Licht auf den Spiegel fällt.

Somit ist die Aufgabe in dieser Art schlicht unbrauchbar. Eine alternative Formulierung zur weiteren Erprobung könnte wie folgt lauten: „Zu welchem Zeitpunkt nach dem Einschalten der Lampe kann Peter das Licht sehen und zu welchem Zeitpunkt kann es Tina sehen?“

Aufgabe 13

Hier ergibt sich ein sehr einheitliches Bild. Alle Schüler haben die Aufgabe bearbeitet und

alle haben lediglich Strahlen von der Taschenlampe aus zum Ball hin eingezeichnet. Die einzigen Unterschiede zwischen den Bearbeitungen bestehen darin, dass manche Schüler die Strahlen genau auf den Ball und manche einen Lichtkegel in Richtung Ball einzeichnen. Selten reichen Strahlen auch bis in das Schattengebiet des Balls, wie in der Bearbeitung in Abbildung 29.



Abb. 29

Selbst bei Schülern aus dem Wahlkurs findet man keine Ausnahme, wobei diese immerhin alle Lichtkegel einzeichnen, und nicht nur Lichtstrahlen genau auf den Ball. Aufgrund dieses mehr als eindeutigen Resultates muss auf die Vorstellung der Schüler geschlossen werden, dass für sie „normale“, also nicht glänzende oder spiegelnde Gegenstände kein Licht aussenden. Bemerkenswert ist, dass auch diejenigen drei Schüler keine Lichtstrahlen vom Ball in Richtung Tina eingezeichnet, deren Bearbeitungen in Aufgabe 5 in die Streuungskategorie eingeordnet wurden. Dies stellt die Validität von Aufgabe 13 in Frage und lässt vermuten, dass sie nicht optimal zur Feststellung einer vorhandenen oder nicht vorhandenen Streuungsvorstellung ist.

Aufgabe 14

Mit nur 12 überhaupt auswertbaren Antworten gibt es nicht viel Material für die Analyse. Nach dem Testdurchlauf wurde als potentielle Gefahr dieser Aufgabe angesehen, dass die Schüler besonders auf die Entstehung eines Regenbogens eingehen und weniger ihre Gedanken zur Herkunft der verschiedenen Farben äußern würden. Tatsächlich scheinen sich

viele Schüler in ihren Bearbeitungen darauf zu konzentrieren. Wie in Aufgabe 12 ist hier die Fragestellung nicht eindeutig zu verstehen. Die Frage „Woher kommen all die verschiedenen Farben?“ kann auch als Frage nach der Ursache deren Entstehung verstanden werden. Und diese Ursache ist dieselbe, wie bei der Entstehung des Regenbogens. So erhalten wir folgende Antworten: „wenn es Regnet und sofort die Sonne draufscheint kommt ein Regenbogen.“ „Die Tropfen werden angestrahlt und reflektieren.“ Die folgende Antwort einer Schülerin trifft die Fragestellung in unserem Sinne genau: „Das Licht der Sonne wird durch die kleinen Regentropfen gebrochen und das Licht besteht aus den Farben rot, orange, gelb, grün, blau und lila. Die kann man beim Regenbogen schön sehen.“ Diese Antwort lässt auch vermuten, dass der Regenbogen bereits Inhalt des Unterrichts war.

Nur wenige Schüler vermuten als Herkunft der Farben nicht die Sonne beziehungsweise das Sonnenlicht sondern etwas anderes. Wir erhalten folgende Antworten: „Von der Sonne und dem Regen. Vielleicht auch von anderen Planeten.“ „Von kleinen Lichtkristallen.“

Aufgabe 15

Die Aufgaben 1 und 13 lassen bei manchen Schülern die Vorstellung einer gerichteten Lichtausbreitung erkennen. Das heißt, dass für sie nur eine Art breiter Lichtstrahl von der Lichtquelle ausgeht, wo eigentlich ein Lichtkegel entstehen oder gar Abstrahlung in alle Richtungen geschehen sollte. Dies äußert sich bei eben diesen Schülern darin, dass Lichtstrahlen der Sonne sich nur in Richtung Erde ausbreiten oder die Taschenlampe nur genau auf den Ball leuchtet. Eine Vermutung des Bestehens dieser Vorstellung kann mit Hilfe dieser Aufgabe bestärkt werden. Die häufigste Antwort, die von acht Schülern angegeben wurde, ist, dass die Strahlen der Sonne genau auf dieses Fenster leuchten. Diese Vorstellung einer gerichteten Lichtausbreitung kann gut mit einer Lichtsee-Vorstellung Hand in Hand gehen. Die Schüler glauben, das Licht der Sonne falle genau auf die Scheibe. Dennoch kann man aber das ganze Gebäude sehen, es muss sich also im Hellen befinden. Somit muss sich das Licht überall auf das ganze Gebäude ausbreiten, wie bei der Lichtsee-Vorstellung. Drei von diesen acht Schülern zeichnen in Aufgabe 1 Sonnenstrahlen nur auf die Erde ein, einer in Aufgabe 13 nur genau auf den Ball.

Mit 5 Antworten wird die Spiegelung der Sonne in der Fensterscheibe am zweithäufigsten

genannt.

Diese Aufgabe ist der stärkste Hinweis darauf, dass bei manchen Schülern die Vorstellung einer gerichteten Lichtausbreitung vorliegt. Zeichnen diese in Aufgabe 1 und 13 nur Strahlen von der Sonne genau auf die Erde oder von der Taschenlampe genau auf den Ball, so kann dies auch folgende Ursache haben. Die Bestrahlung der Erde beziehungsweise des Balls wird als für die Aufgabe entscheidend betrachtet. Die Schüler können sehr wohl die Vorstellung haben, dass die Sonne auch in alle anderen Richtungen Licht abstrahlt, dies aber für die Frage nicht von Bedeutung ist. Anders sieht es bei Aufgabe 15 aus. Aus der Antwort „die Sonne scheint genau dorthin“ kann man die Vorstellung der gerichteten Lichtausbreitung mit größerer Sicherheit erschließen.

Aufgabe 16

21 Schüler haben diese Aufgabe bearbeitet und 10 davon geben an, dass die Wand rot aussieht. Die meisten von ihnen fügen als Begründung dafür hinzu, dass das Licht rot ist. Die Antwort einer Schülerin lautet wie folgt: „rot weil das Licht rot ist“ Weiter taucht die folgende Antwort auf: „Rot, weil es ja sonst dunkel im Zimmer ist.“ Dieser Schüler sieht also eine eindeutige Beziehung zwischen dem Licht, das die Wand bestrahlt und ihrer Farbe. Es gibt kein andersfarbiges Licht im Zimmer, das die Wand beleuchten könnte. Interessant ist ohnehin, dass nur zweimal die Antwort weiß genannt wurde. Die Vorstellung der Farbe eines Gegenstandes als feste Eigenschaft, die bei Helligkeit irgendwelcher Art zum Vorschein kommt, scheint bei den Schülern nicht vorhanden zu sein. Die Vorstellung des obigen Schülers steht wohl auch hinter der folgenden Aussage „Rot sie nimmt die Farbe an“. Auch hier wird deutlich, dass die Farbe der Wand von der Farbe des Lichtes abhängt, mit dem sie angestrahlt wird.

Am häufigsten wird nach der Antwort rot eine Mischfarbe aus rot und weiß genannt, wie orange, rosa oder hellrot. Für diese Schüler scheint es also eine eigentliche Farbe der Wand zu geben, nämlich weiß. Unabhängig davon, mit welcher Art Licht man die Wand anstrahlt, hat diese eigentliche Farbe immer einen Einfluss darauf, wie wir die Wand sehen. Und im Fall einer weißen Wand mischt sich das Weiße mit dem Roten. Mit 8 von 20 auswertbaren Antworten ist bei fast der Hälfte der Schüler diese Farbmisch-Vorstellung, oder auch Farbkasten-Vorstellung genannt, vorhanden. Sie wurde auch dem Schüler zugeschrieben, von

dem folgende Antwort stammt: „Orange! Weil wenn eine weiße Wand mit rotem Licht angestrahlt wird sollte sie rot sein aber durch das weiß wird die Farbe blasser → orange“

Immerhin scheint nur bei einem einzigen Schüler die Vorstellung vorhanden zu sein, dass die Farbe des Lichtes keine Rolle spielt. Er schreibt: „Weiß weil das Rote Licht ersetzt die Sonne.“ Die Sonne, die weißes Licht abstrahlt, und die Lampe, die rotes Licht abstrahlt, scheinen für den Schüler in diesem Fall äquivalent zu sein. Beide sind einfach hellmachende Lichtquellen.

Äußerst interessant ist auch folgende Antwort einer Schülerin: „Weiß, mit einem roten Punkt“ Hier liegen womöglich gleich eine ganze Reihe von Fehlvorstellungen vor. Zunächst die der gerichteten Lichtausbreitung, da die Lampe nur einen roten Punkt auf der Wand verursacht. In der Aufgabenstellung ist über die Beschaffenheit der Lampe jedoch keine Aussage getroffen. Doch nach der Vorstellung der Schülerin sehen wir auch einen weiteren Teil der Wand, und zwar weiß. Das heißt, auch dieser Teil muss von dem roten Licht beleuchtet sein, da es nur eine Lichtquelle gibt. Und die Wand wäre nicht zu sehen, wenn sie nicht von Licht erhellt werden würde. Dies lässt ein weiteres Mal auf eine Art Lichtsee-Vorstellung schließen. Es erinnert an die folgende Aussage eines anderen Schülers in Aufgabe 5. „Weil die Sonne alles beleuchtet und nicht nur dann, wenn sie direkt darauf scheint.“ Die Strahlen der Lampe treffen zwar nur auf den roten Punkt, die Helligkeit verteilt sich jedoch auch über weitere Teile der Wand. Interessanterweise erscheinen diese dann nicht auch in roter Farbe sondern weiß. Zur näheren Untersuchung werden weitere Aufgaben herangezogen. In Aufgabe 1 hat die Schülerin nur Lichtstrahlen genau auf die Erde eingezeichnet. Dies unterstützt die Vermutung der Vorstellung der gerichteten Lichtausbreitung. Dafür spricht auch Aufgabe 15, in der die Schülerin angibt, dass die Sonnenstrahlen genau auf das glänzende Fenster treffen. Aufgabe 5 ist nicht auswertbar und kann somit nicht genutzt werden. In Aufgabe 13 zeichnet die Schülerin wieder Lichtstrahlen ein, die auch am Ball vorbeilaufen. Somit muss man bei dieser Schülerin mit einer Vorstellung der gerichteten Lichtausbreitung rechnen.

Auffallend bei dieser Aufgabe ist auch, dass unter den fünf Schülern, die sie nicht bearbeitet haben, mit drei Mädchen und zwei Jungen kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern vorhanden ist. Dies steht im Gegensatz zu den anderen Aufgaben, siehe zum Beispiel Aufgabe 5, die acht Mädchen und nur drei Jungen ausgelassen haben. Womöglich ist das Thema Farben ansprechend für Mädchen, die auch oft Gefallen an Kunst und Malerei finden. Unter Umständen kann dies für ein Unterrichtskonzept genutzt werden, das auch, oder

sogar vor allem Mädchen ansprechen soll.

Aufgabe 17

Hier bestätigt sich eine häufig auftretende Fehlvorstellung der Schüler zum Thema Spiegel. 15 der 21 Schüler, die die Aufgabe bearbeitet haben, vermuten das Spiegelbild auf dem Spiegel, und zwar mittig zwischen Uhr und Peter. Ein Beispiel sehen wir in Abbildung 30.

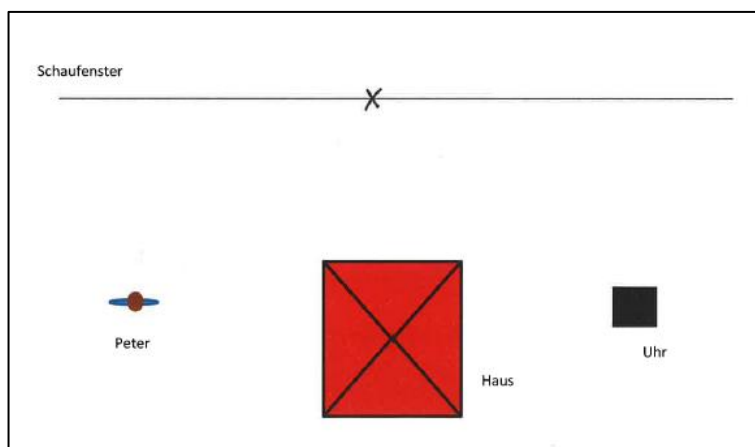


Abb. 30

Manche Schüler haben den Strahlverlauf eingezeichnet, wie in Abbildung 31 dargestellt. Dies zeigt, dass bereits eine Grundlage für die Behandlung des Reflexionsgesetzes vorhanden ist.

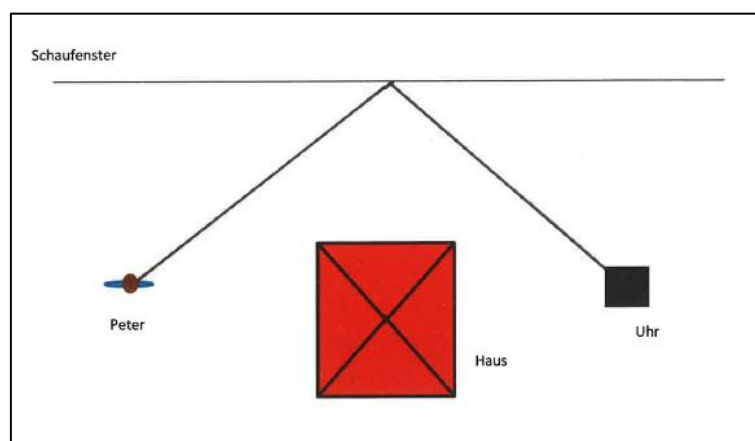


Abb.31

Auffällig ist, dass fünf Schülerinnen das Kreuz zur Markierung des Ortes des Spiegelbildes vor dem Spiegel gesetzt haben. Zudem finden sich unter den 4 Schülern, die die Aufgabe nicht bearbeitet haben, ebenfalls nur Mädchen. Bei dieser Aufgabe spielt das räumliche Vorstellungsvermögen eine große Rolle. Eine Situation im dreidimensionalen Raum ist als

zweidimensionale Skizze dargestellt und muss von den Schülern zum genauen Verständnis der Situation in ein dreidimensionales Bild übersetzt werden. Hier sind Mädchen im Allgemeinen etwas im Nachteil.

Aufgabe 18

10 von 25 Schülern geben die exakte korrekte Uhrzeit an, nämlich 15.33 Uhr und 31 Sekunden. Es wurden einige andere Uhrzeiten, die auch in anderen Klassen genannt wurden, als mögliche Kategorie in die Auswertung aufgenommen. Drei Schüler geben die Uhrzeit 14.57 Uhr an. Diese ergibt sich, wenn man die Zeiger am Mittelpunkt der Uhr spiegelt. Zwei Schüler geben 14.33 Uhr an, haben also nur den Stundenzeiger gespiegelt. Eine einzige Schülerin hat die Uhrzeit 8.27 Uhr einfach abgelesen, ohne irgendwelche Spiegeleffekte zu berücksichtigen. Umgekehrt haben somit 24 Schüler zumindest die Problematik begriffen, dass man die Uhr nicht wie gewohnt ablesen darf, wenn man sie über einen Spiegel betrachtet. Diese Schülerin hat auch das Kreuz in der vorigen Aufgabe vor dem Spiegel gesetzt, hat also wohl noch generelle Schwierigkeiten mit Spiegelphänomenen. Da nicht alle genannten Uhrzeiten eine eigene Kategorie in der Auswertung bilden können, besonders dann, wenn kein Sinn hinter ihnen erkannt werden kann, gibt es die Kategorie „andere Uhrzeit“. Hier tauchen auch Angaben wie zum Beispiel 6.45 Uhr auf.

Problematisch ist diese Aufgabe insofern, da man die gesuchte tatsächliche Uhrzeit erhält, indem man links und rechts vertauscht. Dies entspricht einer Fehlvorstellung, die viele vom Spiegel haben.

9.3 Zusammenfassung und Vergleich mit Literatur

Zusammenfassend liefert uns der Fragebogen folgende Vorstellungen, die bei den Schülern der 6a des Armin-Knab-Gymnasiums häufig vorkommen und deshalb unbedingt im Unterricht berücksichtigt werden sollten. Es wurden die Vorstellung einer endlich weiten und gerichteten Lichtausbreitung festgestellt, sowie die Lichtsee-Vorstellung, die Farbkasten-Vorstellung und die Vorstellung des Spiegelbildes auf dem Spiegel. Es fehlen das Streuungskonzept und eine korrekte Vorstellung über die Entstehung von Schatten. Daneben

wurden Fehlvorstellungen zu den Mondphasen und der Entstehung von Tag und Nacht festgestellt.

Vergleichen wir diese Ergebnisse mit den Vorstellungen aus der Literatur, die im Punkt 4 der Arbeit angeführt sind, so entdecken wir Übereinstimmungen. Besonders die Lichtsee-Vorstellung und die fehlende Streuungsvorstellung, die als zwei der gravierendsten Fehlvorstellungen betrachtet werden können, da sie einen erheblichen Einfluss auf den folgenden Unterricht haben, wurden in vorherigen Untersuchungen häufig festgestellt. Ebenso die Vorstellung des Spiegelbildes auf dem Spiegel und der Entstehung der Mondphasen durch den Erdschatten tauchen häufig auf.

Doch der Fragebogen liefert eine kompakte Auswahl und so müssen nicht alle häufig auftretenden Schülervorstellungen aus der Literatur im Unterricht berücksichtigt werden. Man kann sich auf diejenigen Konzepte konzentrieren, welche in der betreffenden Klasse am stärksten vertreten sind.

Die Vorstellung der gerichteten Lichtausbreitung, die man nicht häufig in der Literatur findet, ist nicht selten festgestellt worden. Zudem erfährt der Lehrer auch, womit die Schüler besondere Schwierigkeiten haben. In der 6a stellt die Schattenentstehung noch ein großes Problem dar, wie uns die Aufgaben 6 bis 9 zeigen. Und auch durch die Anzahl der nicht auswertbaren und ausgelassenen Antworten zu bestimmten Aufgaben kann die Lehrkraft einen Hinweis erhalten, wo Mängel liegen, eine verständliche Frage natürlich vorausgesetzt.

9.4 Auswertung der restlichen Klassen

9.4.1 Auswertung Klasse 5c Friedrich-König-Gymnasium

20 Schüler der Klasse 5c des Friedrich-König-Gymnasiums in Würzburg haben an der Untersuchung teilgenommen, darunter 14 Jungen und 6 Mädchen. Mit dieser Klasse fand die erste Durchführung der Testversion des Fragebogens statt. Es war sofort erkennbar, dass die Aufgaben 6, 7 und 12 des Testbogens keine brauchbaren Resultate liefern und die Skizze in Aufgabe 16 keinen merklichen positiven Einfluss hatte. Daher wurden diese Aufgaben ersetzt durch die Aufgaben 6, 7, 8 und 13 des überarbeiteten Bogens. Die Argumente für die neuen Aufgaben sind in 7.2 angeführt.

Generell kann man sagen, dass das Antwortverhalten der 5c vergleichbar mit der 6a des Armin-Knab-Gymnasiums ist. Nicht zu vernachlässigende Unterschiede treten bei folgenden Aufgaben auf.

In Aufgabe 1 fällt auf, dass nur vier Schüler Lichtstrahlen von der Sonne aus in alle Richtungen einzeichnen, aber 16 Schüler Lichtstrahlen nur in Richtung Erde oder auf die Erde genau. Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem aus Aufgabe 15, in der die Hälfte der auswertbaren Antworten in Kategorie „Lichtstrahlen fallen genau auf Fenster“, so muss man auch hier davon ausgehen, dass die Vorstellung der gerichteten Lichtausbreitung bei den Schülern vermehrt vorhanden ist. Aufgrund der Verteilung der Antworten in Aufgabe 1 ist sie wohl noch stärker verbreitet, als in der sechsten Klasse des Gymnasiums.

In Aufgabe 7 geben zwei Schüler an, dass der Glasstab einen Schatten wirft. So schreibt ein Schüler: „Nein, denn der Glasstab ist ja auch eine Sache.“ Hier wird der Schatten als eine feste Eigenschaft eines Gegenstandes betrachtet. Im Gegensatz zur sechsten Klasse erwähnt auch kein Schüler Lichtbrechung oder -Bündelung. Wohlgemerkt besuchen die fünf Schüler der 6a, die diese Phänomene in ihre Antwort aufnehmen, nicht den Wahlkurs.

Auch Aufgaben 10 und 11 können nicht gut mit den Ergebnissen der 6a verglichen werden, da die Fünftklässler jeweils nur eine der beiden Aufgaben in ihrem Bogen hatten und wir so nur 4 beziehungsweise 6 auswertbare Antworten erhalten.

Insgesamt sind die Ergebnisse gut vergleichbar mit denen der sechsten Klasse des Gymnasiums, somit kann man auch davon ausgehen, dass die Vorstellungen hier ähnlich sind. Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Klassen liegt jedoch in der Anzahl der nicht auswertbaren Antworten beziehungsweise in der Anzahl der ausgelassenen Aufgaben. Dies werden wir in 10 noch genauer untersuchen.

9.4.2 Auswertung Klasse 7c Armin-Knab-Gymnasium

13 Schüler der Klasse 7c des Armin-Knab-Gymnasiums in Kitzingen haben an der Untersuchung teilgenommen. Darunter befanden sich 5 Jungen und 8 Mädchen. Die Klasse hatte zum Zeitpunkt der Durchführung bereits einige einführende Unterrichtsstunden zur Optik besucht, in denen die Themen Reflexion, Streuung und Schatten behandelt wurden. Somit sind die Bearbeitungen von Aufgaben, deren Inhalt bereits im Unterricht behandelt

wurde, unbrauchbar, zumindest für die Aufdeckung der vorunterrichtlichen Vorstellungen der Schüler.

Auffällig bei den Bearbeitungen von Aufgabe 1 ist, dass alle bis auf zwei Schüler lediglich zwei Lichtstrahlen zur Konstruktion des Kernschattens der Erde einzeichnen, wie in Abbildung 32 zu sehen ist.

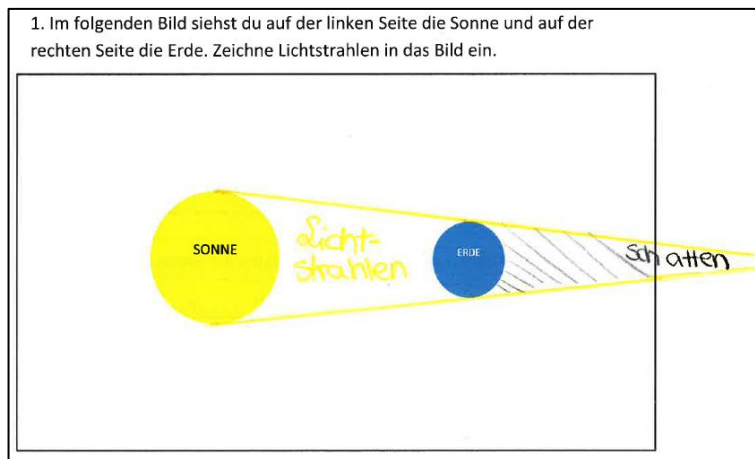


Abb. 32

Die Schüler haben im Unterricht bereits die Schattenkonstruktion behandelt und wenden diese jetzt automatisiert auf die Aufgabe an. Doch in der Aufgabe ist mit keinem Wort der Erdschatten erwähnt. Und ein Schüler zeichnet auch keinen ein, siehe Abbildung 33.

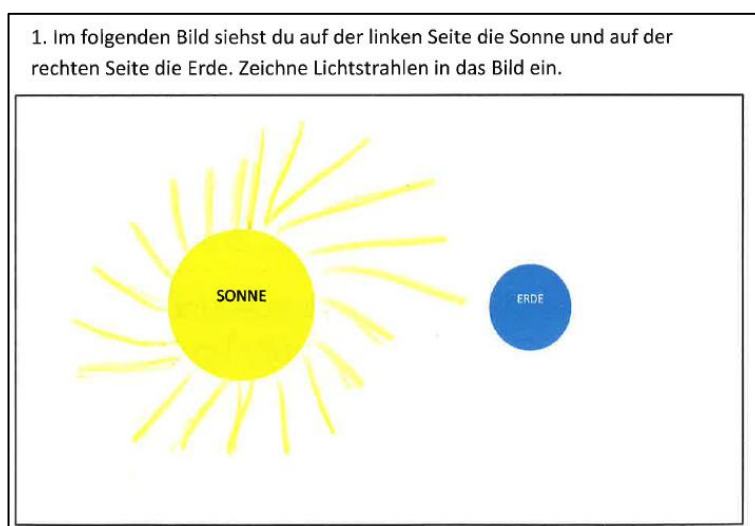


Abb. 33

Möglich ist auch, dass hier der Unterricht bereits zur Entstehung einer Fehlvorstellung geführt hat, nämlich zu der gerichteten Lichtausbreitung. Den Schülern ist vielleicht nicht klar, dass man sich nur auf diese sogenannten Randstrahlen konzentriert, um die Abgrenzungen

des Schattengebietes zu erhalten, dass es aber sehr wohl auch außerhalb dieser Randstrahlen Lichtstrahlen gibt.

In Aufgabe 3 werden insgesamt nur drei verschiedene Varianten genannt. Sonne, Erde und Mond befinden sich immer in der richtigen Reihenfolge, lediglich die Position des Polarsterns variiert. Dies zeigt wiederum das größere Vorwissen aufgrund des bereits erhaltenen Physikunterrichts. Abgesehen davon ist, wie auch in der sechsten Klasse des Gymnasiums, für die Position des Polarsterns keine eindeutige Tendenz zu erkennen.

10 der 13 Schüler führen in Aufgabe 4 an, dass die Sonne selbst leuchtet, der Mond jedoch nicht. Dabei gebrauchen acht Schüler in ihren Erläuterungen die Begriffe „primäre Lichtquelle“ und „sekundäre Lichtquelle“, jedoch die meisten ohne eine weitere Erklärung, was diese Begriffe bedeuten. Hier muss sich der Untersucher die Frage stellen, ob diese Begriffe wiederum nur aus dem Gedächtnis abgerufen wurden, als etwas bereits im Unterricht in diesem speziellen Zusammenhang gehörtes oder ob ein fundiertes Verständnis vorhanden ist. Betrachten wir die Antwort einer Schülerin: „Die Sonne ist ein primär leuchtender Körper (er leuchtet von selbst). Der Mond ist ein sekundär leuchtender Körper (er wird von der Sonne angeleuchtet) er leuchtet nicht von selbst.“ Aus dieser Antwort wird nicht ersichtlich, ob die Schülerin die Vorstellung besitzt, dass der Mond Licht abstrahlt. Wie von vielen Schülern aus der 6a, wird hier lediglich angeführt, dass der Mond von der Sonne beleuchtet wird. Natürlich impliziert der Begriff „sekundär leuchtender Körper“ bereits, dass der Körper Licht abstrahlt, dennoch muss keine passende Vorstellung vorhanden sein. Lediglich drei Schüler sprechen in ihren Ausführungen von Reflexion des Sonnenlichts am Mond, wie zum Beispiel im Folgenden: „Ja die Sonne ist eine primere Lichtquelle (sie erzeugt selber strahlen) und der Mond ist eine sekundäre Lichtquelle (er reflektiert die Strahlen der Sonne)“.

Man erkennt gut, dass das Streuungsprinzip schon behandelt wurde, da in Aufgabe 5 fast einheitlich damit argumentiert wird. Wir erhalten Äußerungen wie die folgende: „Weil das Licht der Sonne von fast allen Dingen reflektiert wird und so in das Zimmer gelangt“. Nur in einem einzigen Fall kann man eine Lichtsee-Vorstellung vermuten. „Weil sich die Sonnenstrahlen auf die ganze Erde verteilen“. Andere Aufgaben bestätigen diesen Verdacht jedoch nicht.

Die Schatten sind im Schnitt genauer eingezeichnet als in den Bögen der 6a. Vergleicht man zum Beispiel die Ergebnisse der Aufgaben 6, so hat nur ein Schüler den Schatten zu kurz eingezeichnet. Der Randstrahl, der gerade noch über den Stab hinweg treten kann, wird zur

Konstruktion eingezeichnet. Bei manchen Schülern ist auch die Konstruktion des Teilschattengebiets erkennbar, siehe Abbildung 34.

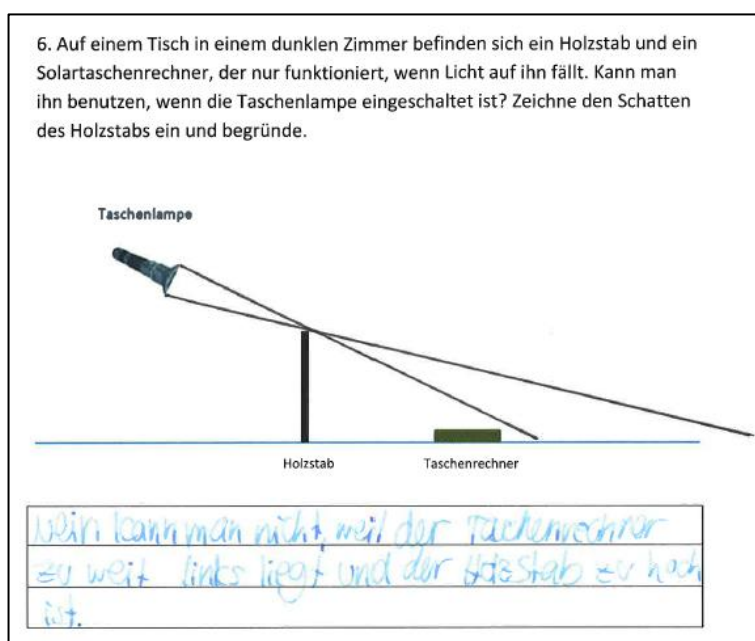


Abb. 34

Aufgabe 9 fällt vergleichbar zur 6a aus. Man kann schließen, dass das Schattenprinzip auch in dieser Klasse noch nicht sehr gefestigt ist.

Ähnlich zum Antwortverhalten der sechsten Klasse, geben auch die Schüler der 7c in Aufgabe 10 als Ursache für die Mondphasen die Konstellation Sonne-Erde-Mond an. „Weil der Mond sich ja auch um die Erde dreht und so verschieden zur Sonne steht, z.B. ist er ganz hinter der Erde haben wir Mondfinsternis o. ist er vor der Erde ist es Neumond.“ Vier Schüler geben als Ursache die Bestrahlung der Sonne an und ebenso viele den Schatten der Erde.

Besonders interessant im Zusammenhang mit den Aufgaben 4 und 5 ist die Untersuchung von Aufgabe 13. Hier haben nur sechs Schüler Lichtstrahlen vom Ball aus in Richtung Tina eingezeichnet. Dies ist beinahe nur die Hälfte der Schüler, die laut Aufgabe 4 eine Vorstellung von primären und sekundären Lichtquellen haben sollten. Natürlich ist die Anzahl viel zu klein, um hieraus irgendwelche Schlüsse zu ziehen, aber die Vermutung liegt nahe, dass eventuell nicht alle Schüler das Streuungsprinzip angenommen haben, auch wenn sie dies in Aufgabe 4 nutzen. In der Auswertung der Bögen der sechsten Klasse des Gymnasiums kam die Vermutung auf, dass Aufgabe 13 ungeeignet zum Abprüfen der Existenz einer Streuungsvorstellung ist. Die Tatsache, dass jedoch sechs Schüler der 7a

Lichtstrahlen vom Ball aus einzeichnen, zeigt, dass dies womöglich ein voreiliger Schluss war und in der sechsten Klasse das Streuungskonzept schlicht noch nicht gefestigt ist.

Auch in Aufgabe 16 treten deutliche Unterschiede zwischen der 6a und der 7c auf. In der siebten Klasse hat nämlich offenbar kein einziger Schüler die Farbkasten-Vorstellung. Alle bis auf einen Schüler, die die Aufgabe bearbeitet haben, geben rot als Antwort an. Der verbleibende Schüler vermutet, dass man die Wand weiß sieht.

9.4.3 Auswertung Klasse 5b Pater-Alois-Grimm-Gemeinschaftsschule

Die Gemeinschaftsschule stellt als Zusammenschluss von Schulen eine Art Gesamtschule dar, in der Schüler von der ersten bis zur zehnten Jahrgangsstufe unterrichtet werden. Im Fokus stehen die optimale Unterstützung und der bestmögliche Schulabschluss für jeden Schüler sowie die Entkopplung von Herkunft und Bildungserfolg. [IQ 2]

Die Bearbeitungen von 16 Schülern, darunter 10 Jungen und 6 Mädchen, liegen vor.

In Aufgabe 1 erhalten wir sogleich die erste Vorstellung, die in den drei Gymnasialklassen nicht auftaucht. Drei Schüler zeichnen die Lichtstrahlen nicht geradlinig ein, wie es in Abbildung 35 zu sehen ist. Dies entspricht einer Vorstellung, die man in der Literatur nicht als eine häufig auftretende finden wird. Bei nur 16 Schülern stellen 3 Schüler jedoch einen Anteil von fast 20 % dar.

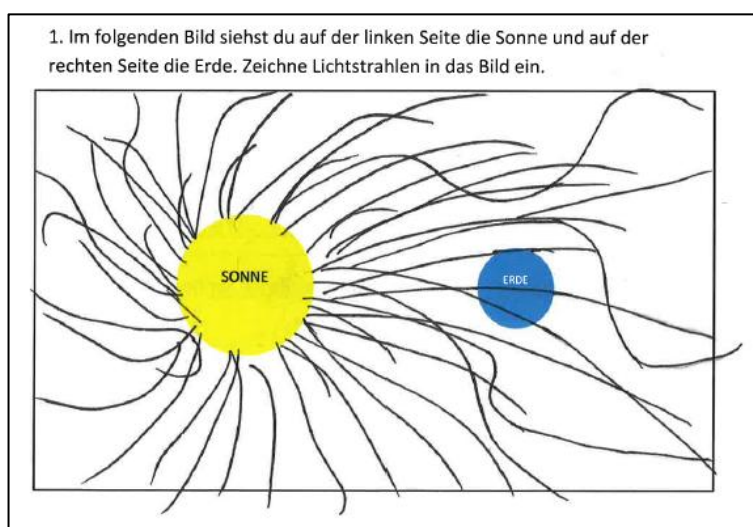


Abb. 35

Mit vier Schülern zeichnet ein Viertel Lichtstrahlen in den Schattenraum der Erde ein. So tut es auch der Schüler, dessen Bogen Abbildung 36 entnommen ist.

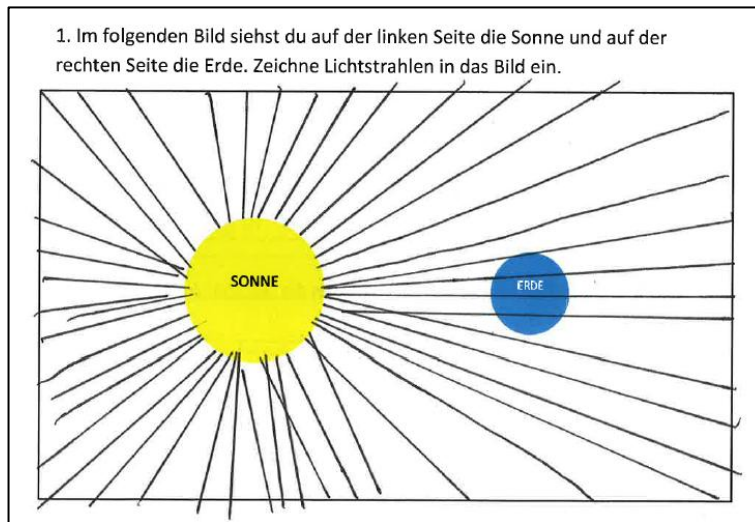


Abb. 36

Dies tritt in keiner anderen Klasse so häufig auf, wie in dieser. Einer dieser vier Schüler zeichnet auch in Aufgabe 13 die Lichtstrahlen so ein, als würde der Ball keinen Schatten werfen. Dies zeigt Abbildung 37.

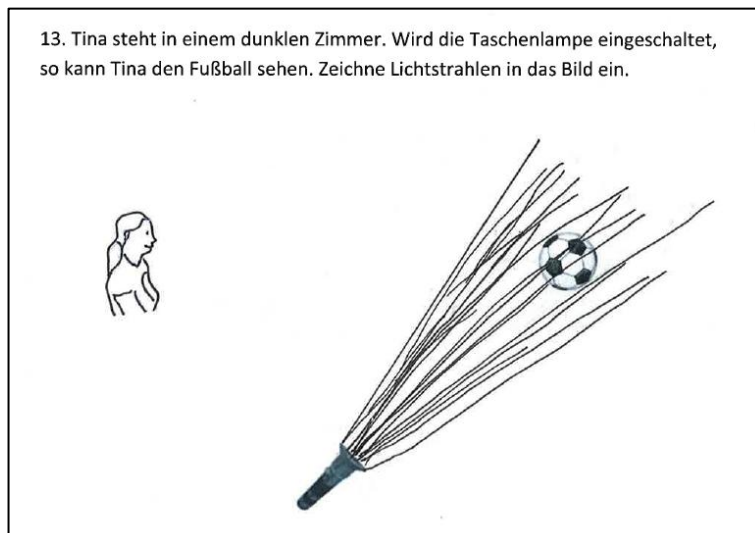


Abb. 37

Würde man vermuten, dass dies schlicht Ungenauigkeit oder Faulheit beim Zeichnen zur Ursache hätte, so stellt sich die Frage, warum es nicht in allen Klassen so häufig auftritt. In der 5c des Friedrich-König-Gymnasiums hat keiner der 20 Schüler Lichtstrahlen im

Schattenraum der Erde eingezeichnet.

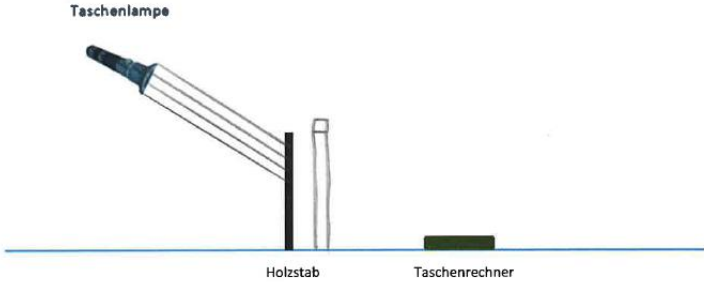
Auffällig ist, dass hier von den meisten Schülern, nämlich von etwa 80 %, die Abstrahlung der Sonne in alle Richtungen eingezeichnet wird. In der fünften Klasse des Gymnasiums hingegen beträgt dieser Wert nur 20 %. Dies zeigt, dass wir nicht von einer homogenen Verteilung der Schülervorstellungen ausgehen können und uns somit nicht ausschließlich auf die Literatur und ihre Angaben verlassen sollten.

Die Hälfte der Schüler setzt in Aufgabe 3 den Polarstern an die letzte Stelle. Nur ein einziger Schüler setzt ihn an die erste Stelle, vier Schüler an die zweite Stelle und drei an Position 3. Trotz der geringen Anzahl von 16 Schülern, kann man hier von einer eindeutigen Tendenz sprechen. Der Polarstern wurde mehr als doppelt so häufig an die letzte Position gesetzt, als an eine beliebige der drei anderen.

In der fünften Klasse der Gesamtschule kann noch kein Anzeichen auf eine vorhandene Streuungsvorstellung gefunden werden. Alle auswertbaren Antworten von Aufgabe 5 sind der Kategorie Lichtsee zugeordnet. Dies spiegelt sich auch in Aufgabe 13 wider. Nur ein einziger Schüler zeichnet Lichtstrahlen zwischen Ball und Tina ein.

Aufgabe 6 zeigt, dass noch große Probleme bei der Schattenentstehung vorhanden sind. Beinahe die Hälfte der Schüler zeichnet den Schatten falsch orientiert ein. Ein Beispiel ist in Abbildung 38 zu sehen.

6. Auf einem Tisch in einem dunklen Zimmer befinden sich ein Holzstab und ein Solartaschenrechner, der nur funktioniert, wenn Licht auf ihn fällt. Kann man ihn benutzen, wenn die Taschenlampe eingeschaltet ist? Zeichne den Schatten des Holzstabs ein und begründe.



Mein es funktioniert nicht weil:
Die Taschenlampe kein Sonnenlicht
ist. Und weil der Stab das hindert

Abb. 38

Bei ebenso vielen setzt der Schatten nicht am Stab an. Hier trifft die Prognose von Piaget, die in Punkt 4.5 angeführt ist, überhaupt nicht zu.

In Aufgaben 10 und 11 erhalten wir nur knapp von einem Drittel der Schüler eine auswertbare Antwort. Die folgende Antwort stellt ein Beispiel für eine nicht auswertbare Antwort in Aufgabe 10 dar: „Die Erde dreht sich um die sonne herum und wen wir halber um die Sonne sind dann sehen wir es als sichel.“ Aufgabe 11 liefert die Bearbeitung eines Schülers, die in Abbildung 39 dargestellt ist.

Der Schüler zeichnet den Mond zweimal in etwa an der gleichen Stelle ein, markiert aber noch deutlich, dass es sich einmal um den Vollmond und einmal um den Sichelmond handelt. Hier muss man davon ausgehen, dass die Konstellation Sonne - Erde - Mond für den Schüler gar nichts mit der Entstehung der Mondphasen zu tun hat. Leider können wir Aufgabe 10 nicht zur weiteren Analyse heranziehen, da der Schüler diese nicht bearbeitet hat.

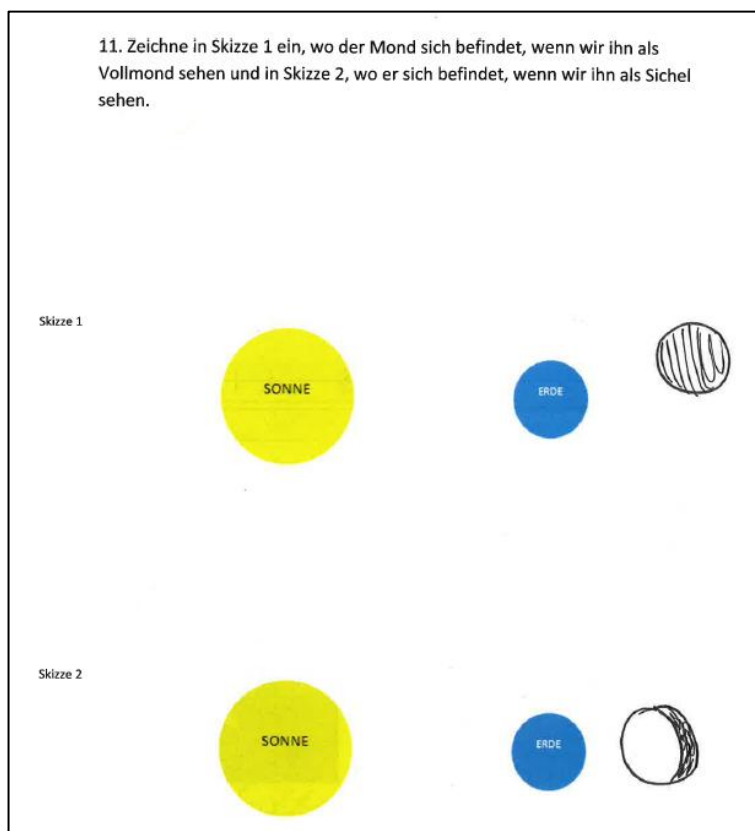


Abb. 39

In Aufgabe 18 wurde nicht ein einziges Mal die korrekte Uhrzeit angegeben.

9.4.4 Auswertung Klasse 6a Pater-Alois-Grimm-Werkrealschule

Die Werkrealschule in Baden-Württemberg ist eine weitere Schule neben Gymnasium, Realschule und Hauptschule. Sie umfasst sechs Klassenstufen und ermöglicht nach deren Durchlauf einen mittleren Abschluss, den Werkrealschulabschluss. Zudem ist die Möglichkeit geboten, nach der 9. oder 10. Klasse den Hauptschulabschluss zu erlangen. Der Fokus wird auf die Förderung von praktischen Begabungen, Neigungen und Leistungen, sowie auf ein berufsbezogenes Profil gelegt. [IQ 3]

An der Durchführung teilgenommen haben 27 Schüler. Darunter finden wir 19 Jungen und 8 Mädchen.

Wie in der fünften Klasse der Gesamtschule zeichnen auch hier in Aufgabe 1 viele Schüler Lichtstrahlen von der Sonne in alle Richtungen ein, mit 19 von 27 sind es mehr als zwei Drittel aller Schüler. 5 Schüler zeichnen die Lichtstrahlen nicht geradlinig ein, wie in Abbildung 40 gezeigt. Dies ist ein Anzeichen dafür, dass es sich bei dem Auftreten dieses Phänomens in der fünften Klasse der Gesamtschule keinesfalls um eine Ausnahme handelt. Diese Vorstellung ist tatsächlich bei einigen Schülern vorhanden.

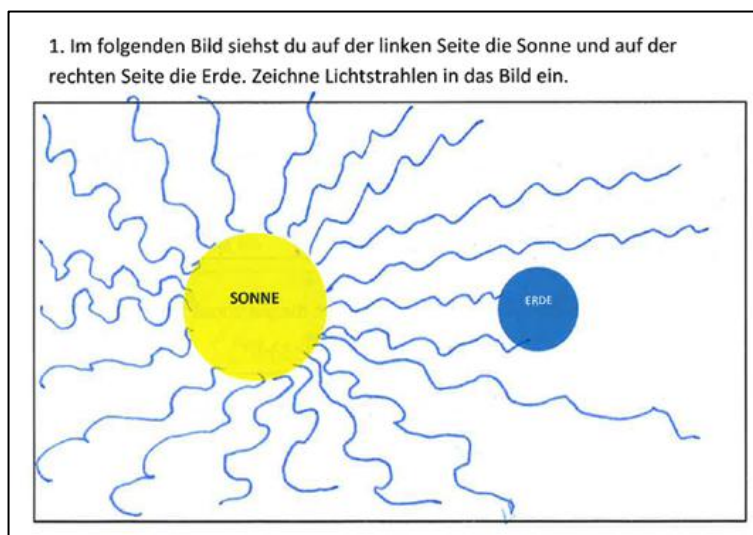


Abb. 40

Zudem gibt es einen Schüler, der Lichtstrahlen zur Erde einzeichnet, die die Sonne auf der erdabgewandten Seite verlassen. Seine Bearbeitung ist in Abbildung 41 zu sehen.

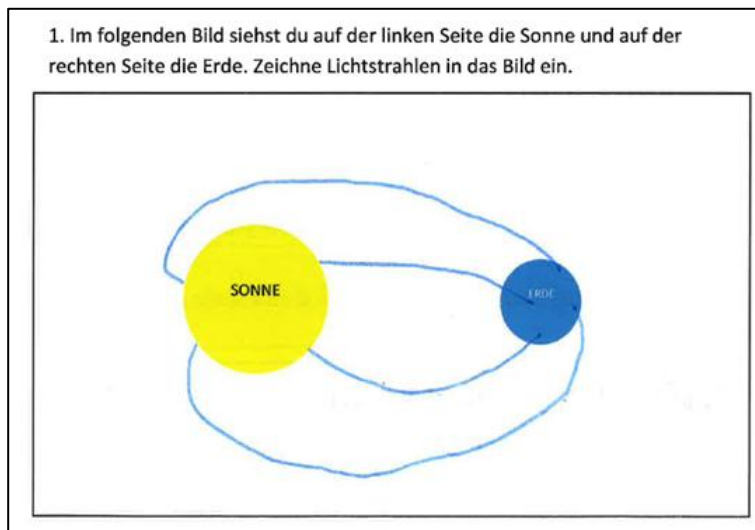


Abb. 41

Wie in der fünften Klasse der Gesamtschule liegen Unterschiede zu den Gymnasialklassen darin, dass hier die Kategorie „nicht geradlinige Ausbreitung“ überhaupt besetzt ist. Auch ist in Aufgabe 3 eine eindeutige Tendenz bei der Anordnung der Himmelskörper festzustellen. Hier setzen 11 % der Schüler den Polarstern an die erste, 19 % an die zweite, 15 % an die dritte und 55 % an die vierte Position. Besonders bei der sechsten Klasse müssen wir aufgrund dieses eindeutigen Ergebnisses davon ausgehen, dass hier tatsächlich eine Vorstellung des Seh winkels fehlt und die scheinbare mit der tatsächlichen Größe gleichgesetzt wird.

Im Gegensatz zur fünften Klasse der Gesamtschule ist hier schon bei wenigen Schülern die Streuungsvorstellung vorhanden, was uns Aufgabe 5 zeigt. So gibt ein Schüler die folgende Erklärung an: „Weil es ja auch andere Lichtquellen außer der Sonne gibt und weil das Licht ja von vielen Gegenständen reflektiert wird.“ Zudem treten in der sechsten Klasse der Werkrealschule keine so gravierenden Mängel bei der qualitativen Schattenentstehung auf. Die Häufigkeit, mit der Schatten völlig falsch eingezeichnet werden, ist nahezu die gleiche wie in der sechsten Klasse des Gymnasiums.

Manche Aufgaben sind aufgrund der so geringen Anzahl an auswertbaren Antworten kaum mehr vergleichbar mit den Resultaten der sechsten Klasse des Gymnasiums. Dies ist zum Beispiel bei Aufgabe 10 der Fall. Von 27 Schülern erhalten wir nur 8 auswertbare Antworten, das heißt nicht einmal jede dritte Antwort kann für die Analyse genutzt werden. Dies spiegelt den generellen Trend wider, was die Häufigkeit der verwertbaren Antworten dieser Klasse angeht.

8 von 27 Schülern und damit beinahe ein Drittel lesen in Aufgabe 18 einfach die Uhrzeit 8.27 Uhr ab ohne Spiegeleffekte zu berücksichtigen. Hier ist noch keine so große Vertrautheit mit dem Spiegel und Spiegelphänomenen bei den Schülern vorhanden.

9.5 Zusammenfassung

Die inhaltlichen Ergebnisse der verschiedenen Klassen überschneiden sich zum großen Teil miteinander und mit Ergebnissen vorheriger Untersuchungen aus der Literatur. Die Lichtsee-Vorstellung und das fehlende Streuungskonzept liegen bei Schülern aller fünf Klassen häufig vor. Ebenso die Vorstellung des Spiegelbildes auf dem Spiegel und die Farbkasten-Vorstellung. Hier stellt sich die Frage, ob die Durchführung eines Fragebogens wirklich nötig ist oder ob man einfach die häufigsten und gravierendsten Vorstellungen aus der Literatur übernehmen und den Unterricht darauf auslegen sollte. Doch es gibt auch Unterschiede zwischen den Klassen, die im Unterricht berücksichtigt werden sollten. So sollte in der fünften und sechsten Klasse der Gesamt- beziehungsweise Werkrealschule zu Beginn des Optikunterrichts besonderer Fokus auf die Geradlinigkeit der Lichtausbreitung gelegt werden. Diese ist nicht für alle Schüler selbstverständlich, ist aber eine wichtige Grundlage für das Verständnis optischer Phänomene. Auch kann in diesen beiden Klassen das Fehlen einer Vorstellung des Schwinkels erschlossen werden, in den Gymnasialklassen hingegen nicht. Auch auf die fehlende Vorstellung des Schwinkels wird man in der Literatur nicht häufig treffen. Außerdem muss in der fünften Klasse der Gesamtschule die Schattenentstehung genauer und intensiver behandelt werden. Nach den Untersuchungen von Piaget sollte die Schattenorientierung ab dem neunten Lebensjahr von den Kindern sicher vorausgesagt werden können. 7 von 16 Fünftklässlern der Gesamtschule, also beinahe die Hälfte, zeichnen den Schatten jedoch falsch orientiert ein.

In der 6a des Armin-Knab-Gymnasiums setzen ein Viertel der Schüler in Aufgabe 16 das Kreuz vor dem Spiegel. In keiner anderen Klasse tritt dies so häufig auf. Zudem ist in dieser Klasse die Vorstellung der gerichteten Lichtausbreitung besonders häufig festgestellt worden. Aufgabe 10 zeigt wiederum gut, dass man sich nicht rein auf die häufigsten Schüler-vorstellungen aus der Literatur verlassen sollte. Hier wird meistens die Erdschatten-Vorstellung angeführt, doch ein Blick auf die Häufigkeitstabelle zeigt, dass wir in der

sechsten Klasse des Gymnasiums ebenso oft die Vorstellung erfasst haben, dass die Mondphasen durch die Bestrahlung des Mondes durch die Sonne bedingt sind.

Diese Beispiele zeigen, dass man die Individualität der Schüler, besonders auch von Schülern verschiedener Schularten, nicht unterschätzen darf. Die häufigen Vorstellungen aus der Literatur sind meist durch Untersuchungen mit sehr großen Stichprobenumfängen entstanden. Je größer die Stichprobe, desto weniger fallen seltene Vorstellungen ins Gewicht. Doch die Untersuchung dieser Arbeit gibt Hinweise darauf, dass es Ausnahmeklassen gibt, die nicht in das Durchschnittsmuster passen.

Zudem muss man bedenken, dass wir in einer Welt des stetigen und raschen Fortschritts leben. Kinder kommen heutzutage schon sehr früh mit neuen Technologien in Berührung. Diese spielen eine wichtige Rolle in ihrem Leben und beeinflussen somit sicherlich auch ihre Vorstellungen. Man denke zum Beispiel an ein Kind, das sich einen Film im 3D-Kino ansieht.

10 Analyse der Häufigkeitstabelle

10.1 Effektivität der Aufgaben

Das erklärte Ziel des Fragebogens ist es, die Vorstellungen der Schüler zur Optik für den Lehrer erkennbar zu machen. Dieser kann daraufhin versuchen, seinen Unterricht in der Art an die Vorstellungen anzupassen, dass besonders diejenigen Sachverhalte intensiv behandelt werden, zu denen viele Schüler Fehlvorstellungen besitzen. Somit erfüllt eine Aufgabe im Fragebogen, die nicht auf das Vorhandensein einer Vorstellung schließen lässt, und zwar nicht einmal in Kombination mit anderen Aufgaben, dieses Ziel nicht und kann folglich aus dem Bogen entfernt werden. Dies gilt auch für Aufgaben beziehungsweise Fragen, die zu einem großen Teil nicht auswertbare Ergebnisse liefern oder gar nicht bearbeitet wurden.

Das trifft auf Aufgabe 4 zu. 38 Antworten sind nicht auswertbar und 12 Schüler haben die Aufgabe gar nicht bearbeitet. Damit können nur die Äußerungen von 50 Schülern überhaupt ausgewertet werden. Dies entspricht in etwa der Hälfte der befragten 102 Schüler. Da jedoch zwei der vier Kategorien keine Schlüsse über Vorstellungen zur Optik zulassen und diese nur aufgrund der Häufigkeit ihrer Besetzung nicht mit der Kategorie „nicht auswertbar“

zusammenfielen, liefert die Aufgabe schlicht zu wenig für das konkrete Analyseziel nutzbare Information. Somit wird sie nicht in den neuen Fragebogen aufgenommen. Anders sieht es bei Aufgabe 5 aus. Mit 23 ausgelassenen und 24 nicht auswertbaren Antworten zu dieser Aufgabe kann auch nur etwas weniger als die Hälfte des Ausgangsmaterials genutzt werden, doch die restlichen Antworten lassen sich allesamt in Kategorien einordnen, die Aufschluss über die Vorstellungen der Schüler zur Lichtausbreitung geben. Da es sich um sehr offene Fragen und Aufgaben handelt, darf man nicht mit einem sehr großen Anteil an verwertbaren Antworten rechnen. Bei einem Anteil größer oder gleich 50% kann man eine Aufgabe durchaus als vertretbar betrachten. Bei Multiple Choice Tests hingegen erhält man nicht selten 100% auswertbare Antworten, sofern jeder Schüler eine oder mehrere Antwortmöglichkeiten ausgewählt hat. Diese Diskrepanz zeigt, dass man bei letzterer Methode die Antworten kritisch beäugen muss, denn offenbar haben nicht alle Schüler überhaupt Vorstellungen zu einem bestimmten Phänomen.

Auch Aufgabe 12 liefert keine brauchbaren Resultate. Dies resultiert wohl aus der Tatsache, dass die Fragestellung von den Schülern anders als gedacht verstanden wurde. Daher sollte die Frage nicht einfach aus dem Bogen gestrichen, sondern neu formuliert werden. Wichtig ist, dass die Schüler erkennen, dass der zeitliche Aspekt im Vordergrund steht. Eine neue Frageformulierung ist in der Analyse von Aufgabe 12 in 9.2 angeführt.

Auch Aufgabe 14 liefert nicht genügend Informationen für die Analyse und wird somit nicht in den neuen Bogen übernommen.

Um generell die Anzahl an ausgelassenen Aufgaben zu senken, kann man versuchen, den Bogen weitestgehend zu kürzen. So können auch Aufgaben weggelassen werden, die zahlreich bearbeitet wurden, aber für die Analyse nicht besonders brauchbar sind. Ein Beispiel ist Aufgabe 2 zur Entstehung von Tag und Nacht. Insgesamt konnten alle bis auf 20 Antworten in Kategorien eingeordnet werden. Doch aus den 37 Antworten, die nur beinhalten, dass sich die Erde dreht, kann man keine Schlüsse ziehen und könnte sie ebenfalls in die Kategorie „nicht auswertbar“ einfügen.

Aufgabe 1 ist mit geringem Aufwand auszuwerten und liefert gute Ergebnisse. Zudem hat sie ihre Funktion als erste, niedrige Hürde zum Start in den Fragebogen gut erfüllt, da insgesamt von allen 102 Schülern nur eine einzige Schülerin die Aufgabe ausgelassen hat.

Aufgabe 3 zeigt eine eindeutige Tendenz. 44 Schüler, und damit über 43% aller Schüler,

setzen den Polarstern an die letzte Stelle, sehen ihn also als den kleinsten der vier Himmelskörper an. Etwa 17% betrachten ihn als den größten. 28% setzen ihn an die zweite Stelle und die verbleibenden 12% an die dritte Position. Da sie für die Schüler einfach zu bearbeiten und für den Lehrer leicht auszuwerten ist, kann sie in den neuen Bogen übernommen werden.

Aufgabe 13 attestiert nur sechs Schülern eine bereits vorhandene Streuungsvorstellung. Diese wird durch Aufgabe 5 jedoch bei 19 Schülern festgestellt und zwar mit größerer Wahrscheinlichkeit, da es sich um eine offene Aufgabe handelt. Somit ist Aufgabe 13 vermutlich nicht ideal, um das Vorhandensein einer Streuungsvorstellung festzustellen. Doch sie liefert uns weitere Hinweise über Vorstellungen zur Lichtausbreitung und Schattenentstehung und kann deshalb in den neuen Bogen übernommen werden.

10.2 Vergleich zwischen Schularten

Beim Einsatz des Fragebogens in anderen Schularten abgesehen vom dem Gymnasium wurde angenommen, dass die Schüler aufgrund ihres in der Regel etwas geringeren Vermögens, sich schriftlich auszudrücken, womöglich mehr unverständliche Antworten erzeugen könnten. Auch sollte beispielsweise ein durchschnittlicher Hauptschüler nicht über das Konzentrations- und Durchhaltevermögen eines durchschnittlichen Gymnasiasten verfügen. Wir vergleichen die Ergebnisse der sechsten Klasse des Gymnasiums mit denen der sechsten Klasse der Werkrealschule. Die Schülerzahlen stimmen in etwa überein, ebenso das Alter der Schüler. Somit ist ein solcher Vergleich sinnvoll. Im Mittel hat jeder Gymnasiast 2,04 Aufgaben ausgelassen und 1,73 seiner Antworten sind nicht auswertbar. Dagegen hat im Mittel jeder Werkrealschüler 3,07 Aufgaben ausgelassen und 3,17 seiner Antworten sind nicht auswertbar. Diese Werte sind deutlich höher und der anfängliche Verdacht scheint sich zu bestätigen. Jedoch sind die Werte nicht so hoch, dass eine Durchführung des Bogens an anderen Schularten abgesehen vom Gymnasium sinnlos wäre. Der neue Bogen, der im Anhang unter 16.1.3 angeführt ist, ist weniger umfangreich als sein Vorgänger. Das kann einen positiven Einfluss zu Gunsten der Haupt- und Realschüler bewirken. Somit kann man davon ausgehen, dass der Bogen für alle Schularten einsetzbar ist.

10.3 Vergleich zwischen Altersklassen (bei gleicher Schulart)

Die fünfte Klasse des Gymnasiums hat noch mit dem ursprünglichen Bogen gearbeitet, der dann vor der Durchführung in der sechsten Klasse überarbeitet wurde. Wir können somit nur für diejenigen Aufgaben, die sowohl im alten als auch im überarbeiteten Bogen auftauchen, die durchschnittliche Anzahl der ausgelassenen und nicht auswertbaren Aufgaben pro Schüler bestimmen. Dies liefert uns folgende Ergebnisse. Im Schnitt sind in der fünften Klasse 2,80 Aufgaben eines jeden Schülers nicht auswertbar und er hat 1,95 Aufgaben ausgelassen. Für die sechste Klasse des Gymnasiums erhalten wir analog, dass im Schnitt jeder Sechstklässler 1,42 nicht auswertbare Antworten gegeben und 1,81 Aufgaben ausgelassen hat. Auch wenn Fünft- und Sechstklässler in etwa gleich viele Aufgaben ausgelassen haben, waren von den Fünftklässlern im Schnitt doch doppelt so viele Antworten nicht auswertbar.

Bei Gesamt- und die Werkrealschule handelt es sich nicht um die gleiche Schulart. Doch in Bezug auf die Auswertbarkeit der Antworten ergibt sich hier ein ähnliches Bild. Wir haben in einem vorherigen Teil bereits folgende Werte ermittelt. Ein durchschnittlicher Sechstklässler der Werkrealschule lässt 3,07 Aufgaben aus und liefert 3,27 nicht auswertbare Antworten. Für die Fünftklässler der Gesamtschule ergeben sich die folgenden Werte. Jeder Schüler hat im Schnitt 2,50 Aufgaben ausgelassen und 3,94 nicht auswertbare Antworten gegeben.

Die siebte Klasse nimmt zwar eine Sonderstellung ein, da hier bereits Optikunterricht stattgefunden hat, dennoch können wir auch hier die zwei Werte bestimmen und zum Vergleich heranziehen. Hier erhalten wir 2,08 ausgelassene Aufgaben pro Schüler und 1,31 nicht auswertbare Antworten pro Schüler. 1,31 ist der absolute Spitzenwert im Vergleich aller Klassen. Neben dem bereits erhaltenen Physikunterricht ist hier sicher das Alter und die damit zunehmende Sicherheit in der Sprache Ursache. Somit können wir davon ausgehen, dass die innerhalb eines gesamten Schuljahres zunehmende Fähigkeit, sich schriftlich auszudrücken, einen großen Beitrag zur Auswertbarkeit der Antworten liefert.

11 Unterrichts Anpassungen an Vorstellungen

Ziel des Unterrichts ist wohl unbestreitbar, dass die Schüler etwas lernen. Lernen ist kein

passiver Prozess, wie oftmals geglaubt wird. Für Lernen kann nicht direkt gesorgt werden, es kann nur ermöglicht, begünstigt und unterstützt werden. Es handelt sich hierbei um einen aktiven Prozess, bei dem Wissen und Fähigkeiten auf Basis der bereits vorhandenen Kenntnisse aufgebaut werden. Der Lehrer ist weniger ein Überbringer von Wissen als vielmehr eine Hilfe beim Erlangen von Wissen. Dies erkannte auch schon der griechische Philosoph Heraklit, von dem der folgende Ausspruch stammt: „Bildung ist nicht das Befüllen von Fässern, sondern das Entzünden von Flammen.“ Um also erfolgreiches Lernen überhaupt zu ermöglichen, sollte der Unterricht sowohl die bereits vorhandenen Vorstellungen der Schüler berücksichtigen, als auch die Eigenaktivität der Schüler fordern und fördern. Dies kann durch mehrere Methoden umgesetzt werden. Zum einen sollen die Schüler aktiv Experimente durchführen, die bei ihnen kognitive Konflikte auslösen könnten. Zum anderen sollen sie ihre Vorstellungen im Unterricht äußern und darauf basierend Prognosen für den Ausgang der Experimente abgeben. Dies unterstützt auch ein Entstehen des gewünschten kognitiven Konfliktes. Durch die Voraussagen machen sich die Schüler ihre Vorstellungen bewusst und das eigenständige Experimentieren sorgt für mehr Glaubhaftigkeit. Etwas selbst durchzuführen und mit eigenen Augen zu beobachten hat mehr Überzeugungskraft, als etwas durch Beschreibung und Erläuterung einer anderen Person zu erfahren. Der Lehrer kann ruhig ausführliche Erklärungen seitens der Schüler geben lassen. Im Anschluss wird das Experiment durchgeführt und die Schüler erkennen im besten Fall sofort, dass ihre Vorstellungen in diesem Fall nicht zutreffend sein können. Im Anschluss an das Experiment folgt eine zweite Diskussion, in der das Problem gelöst werden soll. So hat der Schüler seine Alltagsvorstellung und das korrekte wissenschaftliche Konzept direkt vor Augen und es kann eine Veränderung der Vorstellung eintreten, da eine Selbstreflexion möglich ist. Die Schüler erkennen, dass ihr Konzept nicht zur richtigen Vorhersage geführt hat, das neue physikalische Konzept das Phänomen aber gut erklären kann.

Für die Klasse 6a des Armin-Knab-Gymnasiums sollen Ideen für einen Unterrichtsentwurf auf Basis der Ergebnisse des Fragebogens dargelegt werden. Man kann wohl die Lichtsee-Vorstellung und ganz besonders die fehlende Streuungsvorstellung als die zwei wichtigsten Vorstellungen in dieser Klasse ansehen, wenn es um den Einfluss auf den weiteren Optikunterricht und das Verständnis optischer Phänomene geht. Daher ist es sicherlich eine vernünftige Idee, zu Beginn des Optikunterrichts zu versuchen, die Schüler mit dem Konzept der Lichtstreuung vertraut zu machen und ihnen die Probleme der Vorstellung eines Lichtsees

vor Augen zu führen.

Wichtig ist, den Optikunterricht für die Schüler interessant zu beginnen, damit sie nicht von vorne herein jegliche Motivation verlieren. Dies kann gut mit einem Experiment umgesetzt werden. So kann man die Einführungsstunde in die Optik mit einer einfachen Experimentierleuchte mit schmalem Lichtkegel oder angehängter Blende und einem schwarzen Hohlzylinder beginnen. Bei abgedunkeltem Klassenzimmer lässt man die Schüler ein wenig mit der Leuchte herumprobieren. Dabei werden sie wohl nichts Neuartiges oder Unbekanntes finden, hat doch sicher jeder Schüler schon einmal in einem dunklen Zimmer mit einer Taschenlampe hantiert. Dann fordert man den Schüler, der die Leuchte gerade in der Hand hält, auf, damit in den schwarzen Hohlzylinder zu leuchten. Hierfür sind ein großer Hohlzylinder und eine Leuchte mit schmalem Lichtkegel am besten geeignet, da man in diesem Fall einen großen Abstand zwischen Leuchte und Zylinder einhalten kann und dennoch der komplette Lichtkegel in den Hohlzylinder fällt. Die Schüler werden erstaunt sein, dass kein Licht mehr zu sehen ist und es im Raum dunkel wird. Um zu verdeutlichen, dass die Lampe noch an ist, kann etwas Kreidestaub in den Lichtkegel gestreut werden. Dies ist bereits ein Experiment, dessen Ergebnis nicht mit der Lichtsee-Vorstellung vereinbar ist. Es ist dunkel im Zimmer, obwohl eine Lampe eingeschaltet und nicht abgedeckt ist. Man könnte es für bedenklich halten, mit einem Experiment zu beginnen, bei dem keine Lichtstreuung zu erkennen ist. Doch dies wird die Schüler zu diesem Zeitpunkt nicht verwirren, da sie ohnehin nicht damit rechnen. Diese Vorstellung fehlt ihnen ja gerade. Deshalb muss man auch gar nicht weiter darauf eingehen. Ist man an dem Punkt angelangt, an dem die Schüler die Streuung kennengelernt haben, kann man dieses Experiment noch einmal aufgreifen und erklären, warum keine Streuungseffekte erkennbar sind. Nun wird die Leuchte so fixiert, dass sie weiterhin nur in den Hohlzylinder scheint. Hierfür muss eventuell eine weitere Lampe angemacht werden. Im Anschluss wird ein großer weißer Schirm direkt vor die Öffnung des Hohlzylinders gestellt. Der Raum wird darauf erhellt sein, vorausgesetzt man verwendet eine ausreichend starke Experimentierleuchte. Nun kann man die Schüler fragen, warum es plötzlich hell im Zimmer geworden ist. Antworten sie, dass das Licht der Lampe das Zimmer hell macht, nimmt man den Schirm wieder weg und es wird dunkel, obwohl die Leuchte nach wie vor in Betrieb ist. Um dies aufzuzeigen, kann wieder der Kreidestaub eingesetzt werden. Will man das Experiment für Mädchen interessanter machen und gleichzeitig dem Ziel der

Streuungsvorstellung ein Stück näher kommen, kann der weiße Schirm durch einen farbigen, zum Beispiel einen roten Schirm ersetzt werden. Nun erscheint das Zimmer wie in rote Farbe getaucht. Dies sollte noch einmal verdeutlichen, dass das Licht, das den Raum ausfüllt, nicht einfach das direkte Licht der Taschenlampe ist, da dieses ja weiß ist. Im Anschluss an das Experiment erfolgt die Einführung in das Prinzip der Lichtstreuung durch den Lehrer.

Positiv ist auch, dass bei diesem Einstieg keinerlei komplizierte Apparaturen oder Geräte genutzt werden, die der Schüler noch nicht kennt.

Im Folgenden kann zur Vertiefung des Prinzips der Streuung mit einer Lochkamera gearbeitet werden, wie es auch im Optikkurs von Wiesner vorgeschlagen wird. [WIE 1994] Eine Vertiefung ist auch notwendig, da ein Experiment allein die Schüler meist nicht von den Mängeln ihrer Vorstellungen überzeugen kann. Hierfür benötigt man eine Lochkamera und ein Leuchtbild, zum Beispiel einen leuchtenden Kreis oder ein leuchtendes Quadrat. Ist die Leuchtfigur punktsymmetrisch, so gibt es keine Probleme durch die Umkehrung des Bildes bei der Abbildung durch die Lochkamera. Dies könnte die Schüler verwirren und vor allem vom eigentlichen Augenmerk ablenken. Das Bild in der Kamera wird betrachtet. Man kann sich überlegen, ob man den Strahlenverlauf mit Hilfe einer Skizze diskutiert, um den Schülern die Entstehung des Bildes klar zu machen. Für ein tieferes Verständnis ist dies wohl mit Sicherheit ratsam. Ist der Strahlenverlauf von den Schülern angenommen worden, kann man das Leuchtbild durch eine nicht selbstleuchtende Darstellung ersetzen, die ebenfalls symmetrisch sein sollte. Im wieder abgedunkelten Zimmer wird die Darstellung, am besten weiß auf schwarzem Hintergrund, nun mit einer hellen Experimentierleuchte angestrahlt. An dieser Stelle kann man die Schüler Vorhersagen machen lassen, was man wohl auf dem Schirm der auf die Darstellung gerichteten Lochkamera sehen kann. Vielleicht werden manche Schüler nach dem Experiment mit den verschiedenfarbigen Schirmen vor dem Hohlzylinder nun auch erwarten, dass die Darstellung ebenfalls Licht abstrahlt und sie ein Bild auf dem Schirm der Lochkamera erkennen können. Die meisten Schüler werden wahrscheinlich durch diesen ersten Versuch noch nicht ihre bisherigen Vorstellungen über den Haufen geworfen haben und erwarten, dass man kein Bild auf dem Schirm sieht. Für diese ist es dann umso erstaunlicher, wenn sie doch eines erkennen können. Auf die Idee, dass die Lochkamera dieses Bild erzeugt, indem sie irgendetwas aussendet, um das Bild abzutasten, werden die Schüler wohl kaum kommen. Zumal der simple Aufbau der

Lochkamera völlig ohne elektrische Geräte oder ähnliches auskommt.

Der Ausgang dieses Experiments ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass es Lichtstreuung an beleuchteten Gegenständen gibt, ganz im Gegenteil zur üblichen Vorstellung der Schüler. Eine weitere Idee ist, die Schüler im Physikunterricht selbst eine eigene Lochkamera herstellen zu lassen. Auf diese Weise könnte jeder das Bild betrachten und niemand müsste sich auf die Beschreibungen von Mitschülern verlassen. Schließlich will man etwas mit eigenen Augen sehen, um es glauben zu können. Zudem könnten die Schüler die Kamera mit nach Hause nehmen und sich dort weiter mit ihr befassen. Je öfter sie mit dem Phänomen der physikalischen Lichtstreuung in Kontakt kommen, desto eher werden sie es annehmen. Eine kontinuierliche Bestätigung der neuen Vorstellung kann diese genauso stabil machen, wie es einst mit den vorunterrichtlichen Vorstellungen geschehen ist.

An dieser Stelle im Unterricht kann man einen Bezug zur Biologie nehmen, genauer gesagt zum menschlichen Auge. Dies versucht auch sicherzustellen, dass die Mädchen nicht das Interesse am Unterricht verlieren und zurückbleiben. Ein Modell des menschlichen Auges kann untersucht und die Gemeinsamkeiten zur Lochkamera aufgezeigt werden. Zur Verdeutlichung kann die Darstellung mit Hilfe der Lochkamera von verschiedenen Positionen im Klassenzimmer aus betrachtet werden, so dass zum Beispiel ein Kreis einmal als Ellipse erscheint, wenn man ihn unter einem spitzen Winkel von der Seite betrachtet. Die Schüler werden feststellen, dass das Bild auf dem Schirm der Lochkamera immer damit übereinstimmt, wie wir die Darstellung mit den Augen von diesem Punkt des Raumes aus sehen. Zudem zeigt dieses Experiment, dass die Darstellung Licht in alle Richtungen des Raumes abstrahlt, auch unabhängig davon, wo die Leuchte sich befindet, die sie anstrahlt.

Nun soll versucht werden, diese Vorstellung möglichst rasch zu verstärken, so lange sie bei den Schülern präsent ist. Schülervorstellungen sind deshalb so resistent und stabil, weil sie sich im Alltag immer und immer wieder bestätigen. Also ist ein Ansatzpunkt, die Schüler auf Phänomene im Alltag aufmerksam zu machen, die mit Lichtstreuung zusammenhängen. Ist zur besagten Zeit zum Beispiel Vollmond, so kann man die Schüler auffordern, in einer wolkenlosen Nacht Beobachtungen im Freien anzustellen. Viele Schüler wissen bereits, dass der Mond nicht von selbst leuchtet, sondern von der Sonne angestrahlt beziehungsweise erhellt wird. Stellen sie nun fest, dass man in einer klaren Vollmondnacht die ganze Landschaft betrachten kann, beinahe so als wäre es Tag, erkennen sie womöglich die Parallelen zu dem im Unterricht durchgeführten Experiment. Genau wie der Mond leuchtet

das weiße Plakat auch nicht von selbst, es reflektiert das Licht der Experimentierleuchte und erhellt den Raum. Ebenso tut es der Mond mit dem Licht der Sonne. Da es sich hierbei um ein Phänomen handelt, das mehr oder weniger regelmäßig in der Natur beobachtet werden kann, wird mit etwas Glück diese Erinnerung immer wieder hervorgerufen und kann sich festigen. Dieses „Experiment“ kann als positiver Nebeneffekt das Interesse an Beobachtungen in der Natur wecken. Diese bilden immerhin das Fundament der Physik als Wissenschaft. Bei passender Gelegenheit, zum Beispiel im Rahmen einer Klassenfahrt oder einem Aufenthalt im Schullandheim, kann dies auch im Klassenverband unter Anleitung des Lehrers geschehen, was die Möglichkeit einer sofortigen Diskussion offenhielte.

Im Anschluss an diese Einheit kann das Lichtstrahlenmodell eingeführt beziehungsweise vertieft werden, sofern es in Verbindung mit der Lochkamera bereits angeschnitten wurde. Will man auch hier ein Experiment zur Verdeutlichung durchführen, kann ein Laserstrahl mit Hilfe von Kreidestaub sichtbar gemacht werden. Somit wird den Schülern die Geradlinigkeit der Lichtausbreitung vor Augen geführt. Das Lichtstrahlmodell dient als Grundlage für die Behandlung der Reflexion. Auch diese Unterrichtseinheit kann mit einem Experiment begonnen werden. Mit 15 von 26 Schülern besitzen mehr als die Hälfte der Schüler der 6a die Vorstellung des Spiegelbildes auf dem Spiegel. Hier können zwei mögliche Experimente durchgeführt werden. Jeder Schüler erhält einen kleinen Spiegel und stellt ihn vor sich auf den Tisch, so dass er ihn von oben aus unter einem spitzen Winkel betrachten kann. Nun legt er seine Hand vor den Spiegel und bewegt sie langsam vor und zurück. Dabei sollte er das Spiegelbild seiner Hand sehen können und insbesondere, dass sich dieses vom Spiegel zu entfernen und wieder zu nähern scheint. Befände sich das Spiegelbild auf dem Spiegel, dürfte es sich nicht von der Stelle bewegen.

Eine etwas aufwändigere, aber wohl auch imposantere Methode stellt das folgende Experiment dar: Eine Kerze wird vor eine Glasplatte gestellt. In gleicher Entfernung wird hinter der Platte eine identische Kerze platziert, wie man in Abbildung 42 sehen kann. Nun wird die Kerze vor der Platte entzündet und die andere von der Position der brennenden Kerze aus betrachtet. Diese scheint ebenfalls zu brennen, unter welchem Winkel man sie auch betrachtet. Auch dieses Experiment zeigt deutlich, dass das Spiegelbild nicht auf dem Spiegel liegen kann.



Abb. 42

Wie bereits erwähnt hat beispielsweise eine Fehlvorstellung über die Entstehung der Mondphasen keine großen Auswirkungen auf das Verständnis optischer Prinzipien wie der Streuung oder der Reflexion. Ist genügend Unterrichtszeit vorhanden oder wird es als besonders wichtig angesehen, kann man auf diese Fehlvorstellungen eingehen, die auch in der 6a nicht selten vertreten sind. Eine Idee ist, die Schüler selbst die Rollen der Himmelskörper einnehmen zu lassen, um ihnen die Entstehung der Mondphasen zu verdeutlichen. Dies könnte folgendermaßen ablaufen: Ein Schüler bekommt eine große Kugel aus Styropor übergestülpt. Ein anderer Schüler erhält eine starke Taschenlampe oder Leuchte und stellt sich damit in eine Ecke des Klassenzimmers. In die Mitte des Raumes setzen sich mehrere Schüler, die die Erde darstellen sollen. Hier kann und soll natürlich durchgewechselt werden, sodass jeder Schüler einmal das Geschehen aus Sicht der Erde betrachten kann. Der Raum wird abgedunkelt, die Taschenlampe wird angeschaltet und so gerichtet, dass der Mond gut

sichtbar ist. Der Schüler mit der Rolle des Mondes beginnt nun, um die Schüler, die in der Mitte des Raumes sitzen, herumzuwandern und diese können den Mond stets anders sehen. Ist die Streuung im Zimmer zu groß und der Mond die ganze Zeit komplett sichtbar, muss man das Zimmer entsprechend präparieren oder eine schwächere Lampe verwenden.

12 Fazit

Schülervorstellungen haben einen immensen Einfluss auf den Unterricht und sollten daher bei dessen Planung unbedingt berücksichtigt werden. Dabei ist die Literatur mit ihren zahlreichen Untersuchungen zu auftretenden Vorstellungen sehr hilfreich. Doch man darf die Individualität der Schüler nicht unterschätzen. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass man nicht von einer absoluten Homogenität der Schüler in Bezug auf ihre Vorstellungen ausgehen kann. Dementsprechend wird man auch keinen universell anwendbaren Unterrichtsentwurf finden, der optimal auf die Vorstellungen aller Schüler eingeht. Es lohnt sich also durchaus, zusätzlich zum Studieren der Literatur eigene Untersuchungen durchzuführen.

Dies kann zum Beispiel mit dem im Zuge der Arbeit entwickelten Fragebogen geschehen. Dadurch wird ermöglicht, die Vorstellungen der Schüler noch genauer in Erfahrung zu bringen und vor allem die Vorstellungen jedes Schülers individuell. So wird eine individuelle Betreuung eines jeden Schülers ermöglicht, die Voraussetzung für optimale Fortschritte ist. Diesbezüglich können wir uns das Schulsystem anderer Länder zum Vorbild nehmen, wie zum Beispiel das in Finnland. Die PISA-Studien legen einen deutlichen Kompetenzvorsprung in Naturwissenschaften offen, den finnische Schüler im Vergleich zu den deutschen besitzen. [OEC 2010] Dabei sind deutsche Schulen sicherlich nicht schlechter ausgestattet, wenn es um Lehrmaterial wie Bücher, Computer oder andere interaktive Medien geht. Der Unterschied liegt vielmehr bei den Lehrern, beziehungsweise ihrer Arbeit in der Schule. Deutsche Lehrer müssen wesentlich mehr Unterrichtsstunden als ihre finnischen Kollegen halten und unterrichten in größeren Klassen. Außerdem gibt es in Finnland Spezialunterricht für überforderte Schüler. All dies ermöglicht, dass sich die finnischen Lehrer viel intensiver um jeden einzelnen Schüler kümmern können. So werden der Lehrkraft im Physikunterricht auch die Vorstellungen der Schüler viel besser bewusst und sie kann gezielt darauf eingehen. Mit

Sicherheit ist dies einer der Gründe, warum finnische Schüler in Physik bessere Leistungen erzielen als deutsche Schüler.

Dass Schülervorstellungen im Unterricht häufig nicht genügend berücksichtigt werden, zeigt sich auch an der Tatsache, dass viele Erwachsene nach Durchlaufen der Schule immer noch über Fehlvorstellungen verfügen, diese den Unterricht also überdauern. Eine fachfremde Studentin des Grundschullehramts bearbeitete den Bogen und auch bei ihr wurden einige der in der 6a häufig auftauchenden Fehlvorstellungen festgestellt, wie zum Beispiel die Lichtsee-Vorstellung, die Erdschattenvorstellung bei den Mondphasen und die Vorstellung des Spiegelbildes auf dem Spiegel.

Der Fragebogen als generelle Untersuchungsmethode hat sich durchaus bewährt, auch wenn Aufgaben aufgrund mangelnder Resultate für die Analyse aussortiert werden mussten. Wichtig ist die unbedingte Forderung, dass Schüler ihre Antworten begründen. Gerade die Begründungen ermöglichen oft den Schluss auf eine Vorstellung. Dies sollte auch in der Einführung vor Bearbeitung des Bogens nochmals betont werden. Die vorliegende Arbeit liefert im Anhang einen neuen Fragebogen, der kürzer ist und effizienter als sein Vorgänger sein sollte. Der nächste Schritt wäre, diesen neuen Bogen in einigen Klassen zu erproben und wiederum nach Auffälligkeiten und Unterschieden zu Untersuchungen aus der Literatur zu suchen. Ist diese Suche erfolgreich, kann schließlich tatsächlich ein auf den Fragebogen folgender Optikunterricht geplant werden.

Abschließend soll noch einmal die Wichtigkeit betont werden, sich mit den Vorstellungen der Schüler gründlich auseinander zu setzen. Kennt man diese, kann man sie ausbauen beziehungsweise ihnen effektiv entgegenwirken. Dies sollte auch helfen, bei Schülern ein wirklich festes Verständnis von Physik schaffen zu können und nicht nur ein angelerntes, unverstandenes Halbwissen mit kurzer Lebensdauer.

13 Danksagung

Mein Dank geht in erster Linie an Professor Trefzger, der mir bei jeglichen Fragen stets mit Hilfe zur Seite stand und mich all meine Ideen umsetzen ließ. Ebenso bedanke ich mich bei sämtlichen Teilnehmern des Seminars „Wissenschaftliches Arbeiten in der Physikdidaktik“ unter der Leitung von Professor Trefzger, die mit konstruktiver Kritik Einfluss auf meine Arbeit nahmen. Auch das Lern-Lehr-Labor-Seminar unter der Leitung von Markus Elsholz und Thomas Fauser half bei der Findung geeigneter Fragen für die erste Version des Fragebogens. Besonderer Dank gebührt den Lehrern, die sich bereit erklärten, den Fragebogen in ihrer Klasse durchzuführen. Hierzu gehören Thomas Fauser vom Friedrich-König-Gymnasium in Würzburg, Herr Böhm und Herr Hemmert vom Armin-Knab-Gymnasium in Kitzingen sowie Frau Götzinger, Herr Häffner und Herr Preißler von der Pater-Alois-Grimm-Schule in Kilsheim. Mein Dank gilt auch meinen Kommilitonen Benedikt Egidy und Johannes Fleckenstein, die jeweils eine Kategorisierung von Aufgabe 5 des Fragebogens durchführten. Letztlich bedanke ich mich beim Sekretariat von Professor Trefzger, insbesondere bei Frau Sturm-Kirchgassner für das Drucken der Fragebögen.

14 Literaturverzeichnis

- [AUS 1968] Ausubel, D. P. (1968): Educational Psychology: A Cognitive View. New York: Holt, Rinehart and Winston Verlag.
- [BAU 1997] Baumert, J.; Lehmann, R. (1997): TIMSS, Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Opladen: Leske & Budrich Verlag.
- [BLU 1993] Blumör, R. (1993): Schülerverständnisse und Lernprozesse der elementaren Optik. Essen: Westarp Verlag.
- [DIE 1835] Diesterweg, A. (1835): Wegweiser zur Bildung für deutsche Lehrer. Essen: Bädeker Verlag.
- [DUI 1981] Duit, R.; Jung, W.; Pfundt, H. (1981): Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht. Köln: Aulis Verlag.
- [FIS 1992] Fischer, H. (1992): Empirische Untersuchungen von Lernprozessen. In: Wiebel, K. (1991): Zur Didaktik der Physik und Chemie, Probleme und Perspektiven, Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie in Hamburg, September 1991. Leuchtturm Verlag, S.55-77
- [GUE 1984] Guesne, E. (1984): Die Vorstellungen von Kindern über Licht. In: *physica didactica*, Zeitschrift für Didaktik der Physik. 11. Jahrgang 1984, Heft 2/3 S.79-98. Hildesheim: Franzbecker Verlag.
- [HOP 2011] Hopf, M.; Schecker, H.; Wiesner, H. (2011): Physikdidaktik kompakt. Köln: Aulis Verlag 2011.
- [JUN 1981] Jung, W. (1981): Erhebungen zu Schülervorstellungen in Optik. (übertragen ins Deutsche von Walter Jung) In: *physica didactica*, Zeitschrift für Didaktik der

Physik. 8. Jahrgang 1981, Heft 3 S.137-153. Hildesheim: Franzbecker Verlag.

- [JUN 1987] Jung, W (1987): Verständnisse und Mißverständnisse. In: *physica didactica*, Zeitschrift für Didaktik der Physik. 14. Jahrgang 1987, Heft 1 S.23-30. Hildesheim: Franzbecker Verlag.
- [KAR 1976] Karmiloff-Smith, A.; Inhelder, B. (1976): If you want to go ahead, get a theory. In: *Cognition* 3, 1976, S. 195-212
- [KIR 2009] Kircher, E.; Girwicz, R.; Häußler, P. (2009): *Physikdidaktik*. 2. Auflage Heidelberg: Springer Verlag.
- [KUB 2006] Kubinger, K. (2006): *Psychologische Diagnostik Theorie und Praxis psychologischen Diagnostizierens*. Göttingen: Hogrefe Verlag.
- [MAY 2010] Mayring, P. (2010): *Qualitative Inhaltsanalyse*. 11. Auflage. Basel: Beltz Verlag.
- [MIE 2005] Mietzel, G. (2005): *Wege in die Psychologie*. 12. Auflage Stuttgart: Klett-Cotta Verlag.
- [MIK 2006] Mikelskis, H. F. (2006): *Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*. Berlin: Cornelsen Verlag.
- [MUE 2004] Müller, R.; Wodzinski, R.; Hopf, M. (2004): *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis Verlag.
- [OEC 2010] OECD (2010): *PISA 2009 Ergebnisse: Was Schülerinnen und Schüler wissen und können. Schülerleistungen in Lesekompetenz, Mathematik und Naturwissenschaften*. (Band 1) W. Bertelsmann Verlag.

- [PRO 2008] Probst, R. (2008): Fragebogen. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- [TIP 2009] Tipler, P. A.; Mosca, G. (2009): Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 6. Auflage Heidelberg: Springer Verlag.
- [WIE 1994] Wiesner, H. (1994): Ein neuer Optikkurs für die Sekundarstufe I, der sich an Lernschwierigkeiten und Schülervorstellungen orientiert. In: Naturwissenschaften im Unterricht. Physik 5, S. 7-15
- [WIL 2003] Willer, J. (2003): Didaktik des Physikunterrichts. Frankfurt am Main: Harri Deutsch Verlag.
- [WIL 2005] Wilhelm, T. (2005): Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung. Berlin: Logos Verlag.

Schulbücher

- [ERN 2001] Ernhofer, R.; Lutz, K. H. 2001: Physik 7 Newton. München: Oldenbourg Schulbuchverlag.
- [FÖS 2005] Fösel, A.; Hilscher, H. 2005: Natur und Technik Physik 7. Berlin: Cornelsen Verlag.
- [GEI 2002] Geipel, R; Reusch, W. 2002: Physik 7 I. Bamberg: Buchner Verlag.
- [MEY 2005] Meyer, L; Schmidt, G. 2005: Natur und Technik, Schwerpunkt Physik, Bayern 7 Gymnasium. Berlin: Duden Paetec Schulbuchverlag.

Internetquellen

- [IQ 1] Blech, J: Wunder Gehirn: Männer denken anders als Frauen
<http://www.spiegel.de/spiegelspecial/a-272648.html>
- [IQ 2] Kultusportal Baden-Württemberg: Gemeinschaftsschule in Baden-
Württemberg
<http://www.kultusportal-bw.de/servlet/PB/menu/1366218/index.html?ROOT=1266184>
- [IQ 3] Kultusportal Baden-Württemberg: Werkrealschule und Hauptschule
<http://www-kultusportal-bw-de/servlet/PB/menu/1247342/index.html?ROOT=1146607>
- [IQ 4] Lehrplan Bayern Gymnasium Jahrgangsstufe 7, Staatsinstitut für Bildung und
Schulqualität München:
<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26436&PHPSESSID=709e6e77e6a0d8a929915463140c1320>
- [IQ 5] Lichtsee-Darstellung:
Sehen - Schülervorstellungen, wissenschaftliche Theorie und deren
Vermittlung. Harald Gropengießer, Universität Hannover
<http://sinus-transfer.uni-bayreuth.de/fileadmin/MaterialienDB/60/gropengiesser1.pdf>

15 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Dreamworks-Logo
<http://www.logolook.de/2009/07/das-dreamworks-logo-und-der-mann-im-mond/>
- Abbildung 2: Lichtsee-Darstellung:
Sehen - Schülervorstellungen, wissenschaftliche Theorie und deren Vermittlung. Harald Gropengießer, Universität Hannover
<http://sinus-transfer.uni-bayreuth.de/fileadmin/MaterialienDB/60/gropengiesser1.pdf>
- Abbildung 23: abnehmender Mond
http://the-houbler.com/mond-moon/abnehmender_mond.jpg.php

Abbildungen aus Fragebogen

- glänzende Fensterscheibe: Heepmann, B. 1995: Physik für die Sekundarstufe I Band 1. Cornelsen Verlag.
- Vollmond: <http://www.padmobil.com/wallpaper/ipad-wallpaper-vollmond.html>
- Sichelmond: <http://www.stephan-heinsius.de/mond.html>
- Regenbogen: <http://kinderblog.hausderwissenschaft.org/?p=1106>
- Uhr: <http://www.ag-remscheid.nrw.de/service/oeffnungszeiten/index.php>
- Ball: <http://www.esv-lok-pirna.de/index.php?id=109>
- Taschenlampe: <http://openclipart.org/tags/flashlight>

16 Anhang

16.1 Fragebögen

16.1.1 Fragebogen der Hauptdurchführung

Hier ist der Fragebogen angeführt, der von allen Klassen, abgesehen von der fünften Klasse des Gymnasiums, bearbeitet wurde.

Schülerfragebogen

Alter:

Klasse:

Schule:

Geschlecht:

Kennzeichen:

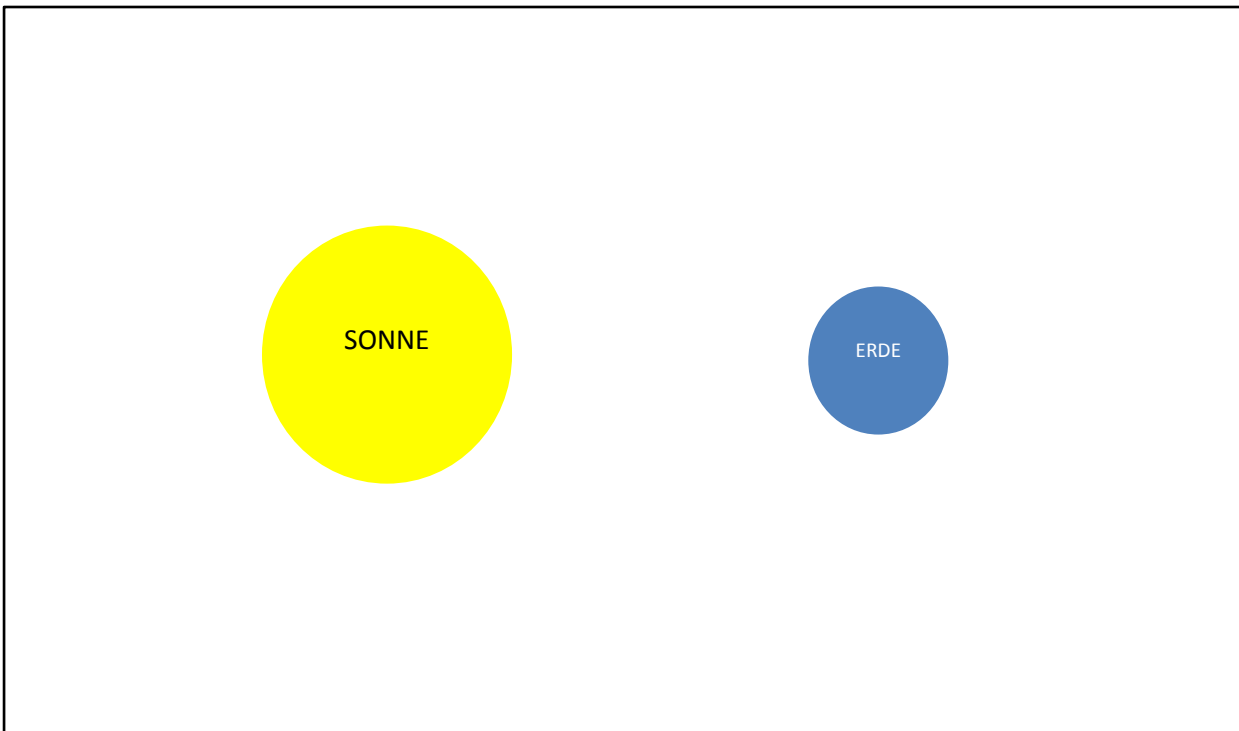
--	--	--	--	--	--

Das Kennzeichen besteht aus den ersten zwei Buchstaben des Namens deines Vaters, deiner Mutter und dem Geburtstag deiner Mutter. Beispiel: Die Eltern von Peter heißen Klaus und Tanja. Peters Mutter Tanja hat am 10.08. Geburtstag. Damit ergibt sich folgendes Kennzeichen:

K	L	T	A	10	08
---	---	---	---	----	----

Beantworte die folgenden Fragen in den dafür vorgesehenen Zeilen.

1. Im folgenden Bild siehst du auf der linken Seite die Sonne und auf der rechten Seite die Erde. Zeichne Lichtstrahlen in das Bild ein.



2. Wie entstehen Tag und Nacht auf der Erde?

3. Ordne die folgenden Himmelskörper nach ihrer Größe. Beginne mit dem größten.

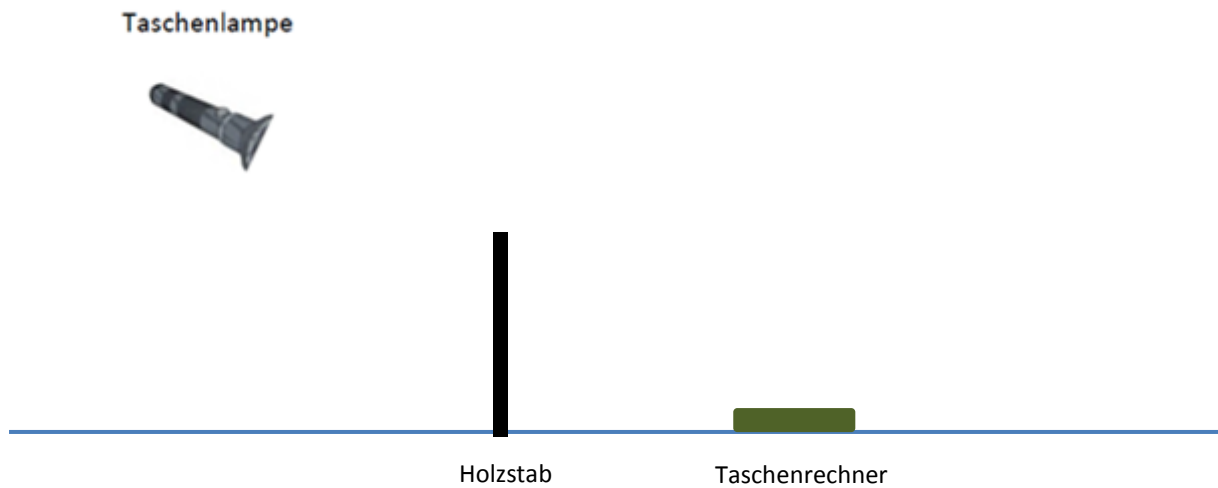
Mond, Polarstern, Sonne, Erde

--

4. Gibt es weitere Unterschiede zwischen Sonne und Mond, abgesehen von ihrer Größe?

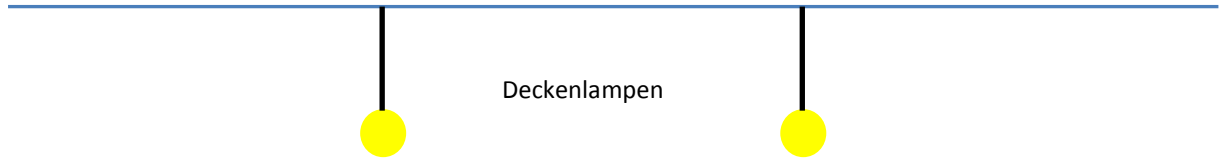
5. Warum ist es tagsüber auch in Zimmern hell, in die die Sonne nicht direkt hinein scheint?

6. Auf einem Tisch in einem dunklen Zimmer befinden sich ein Holzstab und ein Solartaschenrechner, der nur funktioniert, wenn Licht auf ihn fällt. Kann man ihn benutzen, wenn die Taschenlampe eingeschaltet ist? Zeichne den Schatten des Holzstabs ein und begründe.



7. Nun wird der Holzstab auf dem Tisch durch einen durchsichtigen Glasstab ersetzt. Funktioniert der Taschenrechner bei eingeschalteter Taschenlampe? Gib eine Begründung an.

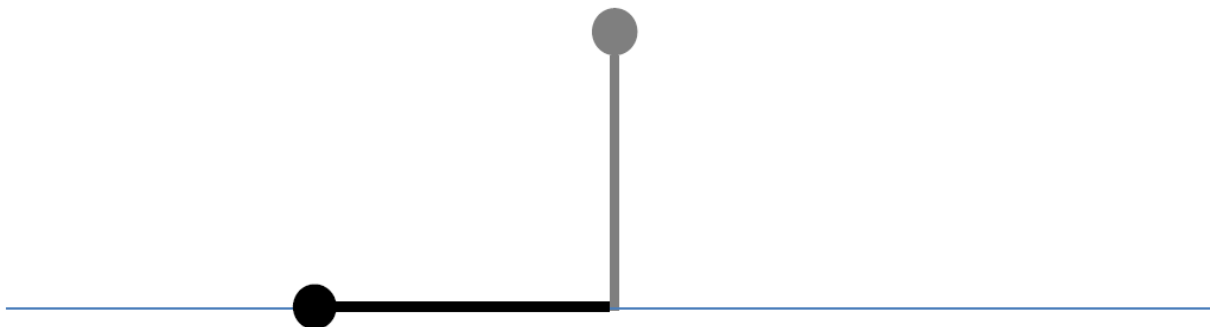
8. Im folgenden Bild wurde der Taschenrechner vom Tisch entfernt, auf dem Tisch steht wieder der Holzstab und zusätzlich zur Taschenlampe werden die zwei Deckenlampen eingeschaltet. Sieht man auf dem Tisch einen Schatten des Holzstabes? Begründe und zeichne den Schatten gegebenenfalls ein.



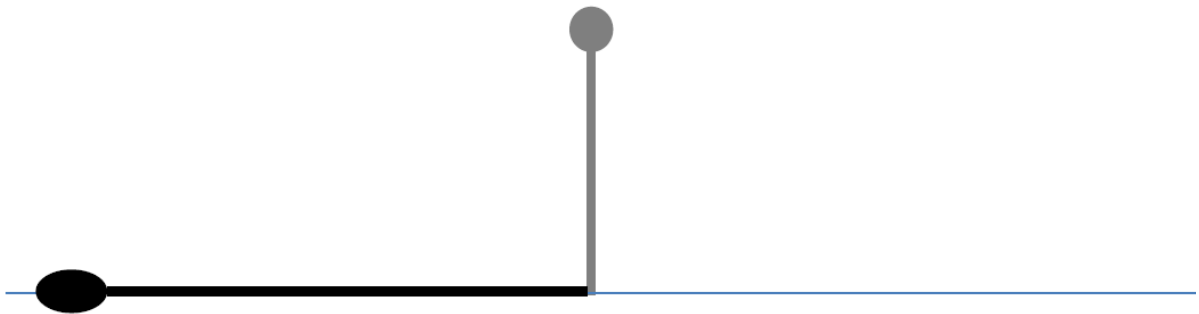
Taschenlampe



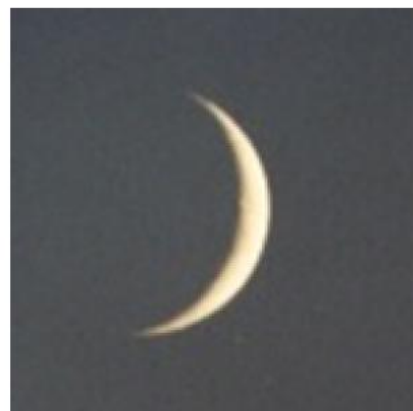
9. In der Mittagssonne wirft die Laterne einen Schatten.



Zu einer anderen Tageszeit sieht der Schatten der Laterne wie im folgenden Bild aus. Zeichne die Sonne in das Bild ein.



10. Die beiden folgenden Bilder zeigen den Mond. Warum sehen wir den Mond manchmal als Vollmond und manchmal als Sichel?



11. Zeichne in Skizze 1 ein, wo der Mond sich befindet, wenn wir ihn als Vollmond sehen und in Skizze 2, wo er sich befindet, wenn wir ihn als Sichel sehen.

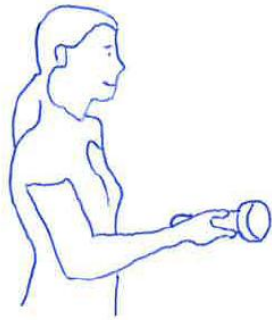
Skizze 1



Skizze 2



12. Tina und Peter stehen in einem dunklen Zimmer. Tina hat eine Taschenlampe in der Hand, die auf den Spiegel gerichtet ist, den Peter in der Hand hält. Tina macht die Taschenlampe an. Wer kann das Licht der Taschenlampe sehen? Wann kann Peter/Tina das Licht sehen? Begründe!



13. Tina steht in einem dunklen Zimmer. Wird die Taschenlampe eingeschaltet, so kann Tina den Fußball sehen. Zeichne Lichtstrahlen in das Bild ein.



14. Auf dem folgenden Bild siehst du einen Regenbogen. Woher kommen all die verschiedenen Farben?



15. Warum glänzt auf dem folgenden Bild genau eine der Fensterscheiben?



16. Die Wand in einem Zimmer erscheint im Tageslicht weiß. Wie sieht die Wand aus, wenn sie nachts mit rotem Licht angestrahlt wird? Begründe!

17. Peter ist mit Tina in der Stadt verabredet. Er möchte die Uhrzeit wissen, aber zwischen ihm und der großen Uhr steht ein Haus, so dass er die Uhr nicht direkt sehen kann.

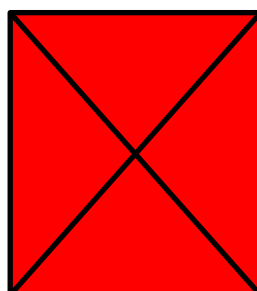
Doch er kann das Spiegelbild der Uhr mit Hilfe eines Schaufensters gegenüber sehen. Im folgenden Bild siehst du die beschriebene Situation von oben.

Markiere mit einem Kreuz das Spiegelbild der Uhr, das Peter sieht.

Schaufenster



Peter



Haus



Uhr

18. So sieht Peter die Uhr im Schaufenster. Welche Uhrzeit zeigt die Uhr an?



Kreuze an, wie sehr dich die Fragen und Aufgaben interessiert haben.

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| <input type="checkbox"/> | sehr interessant |
| <input type="checkbox"/> | interessant |
| <input type="checkbox"/> | wenig interessant |
| <input type="checkbox"/> | gar nicht interessant |

16.1.2 Testfragebogen

Im Folgenden werden die Aufgaben aus dem Testfragebogen der ersten Durchführung angeführt, die nur von der fünften Klasse des Gymnasiums bearbeitet wurden. Diese wurden nicht in den Fragebogen der Hauptdurchführung übernommen.

6. Auf einem Tisch steht ein Holzstab. Wird die Taschenlampe eingeschaltet, wirft der Stab einen Schatten auf den Tisch. Zeichne ihn in das Bild ein.

Taschenlampe



7. Nun wird eine zweite Taschenlampe dazu gebracht. Es werden beide Taschenlampen eingeschaltet. Was sieht man auf dem Tisch?

Taschenlampe 1



Taschenlampe 2



12. Tina steht in einem dunklen Zimmer, in dem verschiebbare Trennwände herumstehen. In welchen der folgenden Fälle kann sie den Fußball sehen, wenn die Taschenlampe angeschaltet wird? Wenn du glaubst, dass sie ihn nicht sehen kann, gib eine Begründung dafür an.

Fall 1



Fall 2



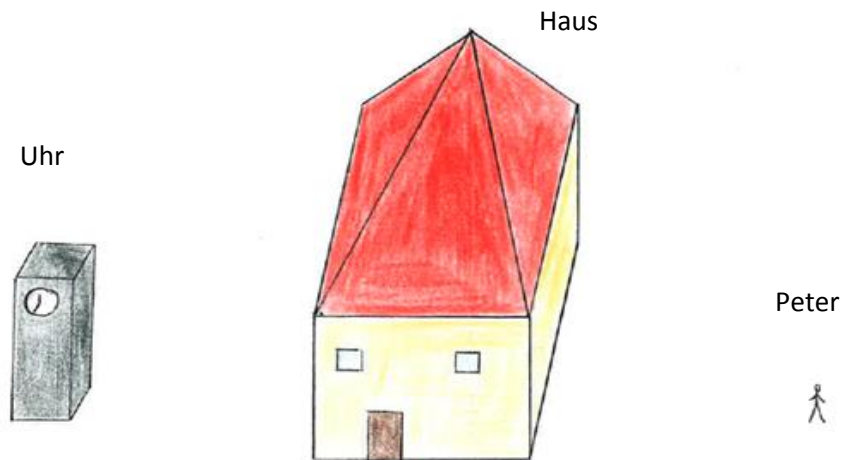
Fall 3



10. Die beiden folgenden Bilder zeigen den Mond. Warum sehen wir den Mond manchmal als Vollmond und manchmal als Sichel?

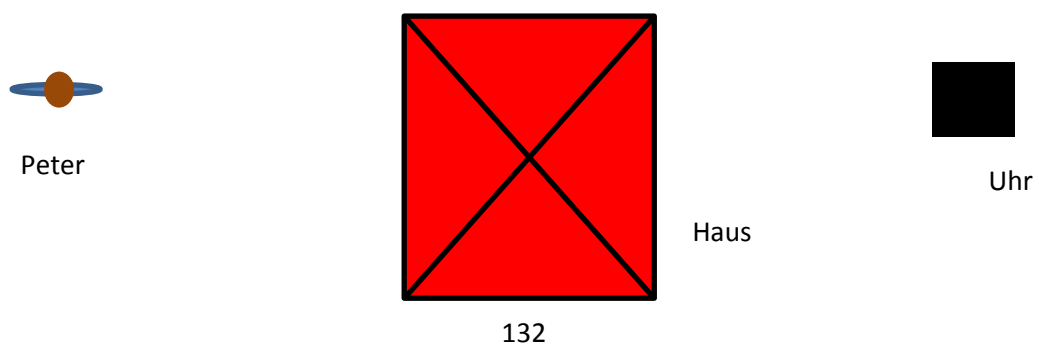


16. Peter ist mit Tina in der Stadt verabredet. Er möchte die Uhrzeit wissen, aber zwischen ihm und der großen Uhr steht ein Haus, so dass er die Uhr nicht direkt sehen kann.



Doch er kann das Spiegelbild der Uhr mit Hilfe eines Schaufensters gegenüber sehen. Im folgenden Bild siehst du die beschriebene Situation von oben. Markiere mit einem Kreuz das Spiegelbild der Uhr, das Peter sieht.

Schaufenster



16.1.3 Neuer Fragebogen

Letztlich wird ein neuer Fragebogen angeführt, in den nur diejenigen Fragen und Aufgaben übernommen werden, die nach unserer Analyse als geeignet bezeichnet werden können, um Schülervorstellungen in Erfahrung zu bringen.

Schülerfragebogen

Alter:

Klasse:

Schule:

Geschlecht:

Kennzeichen:

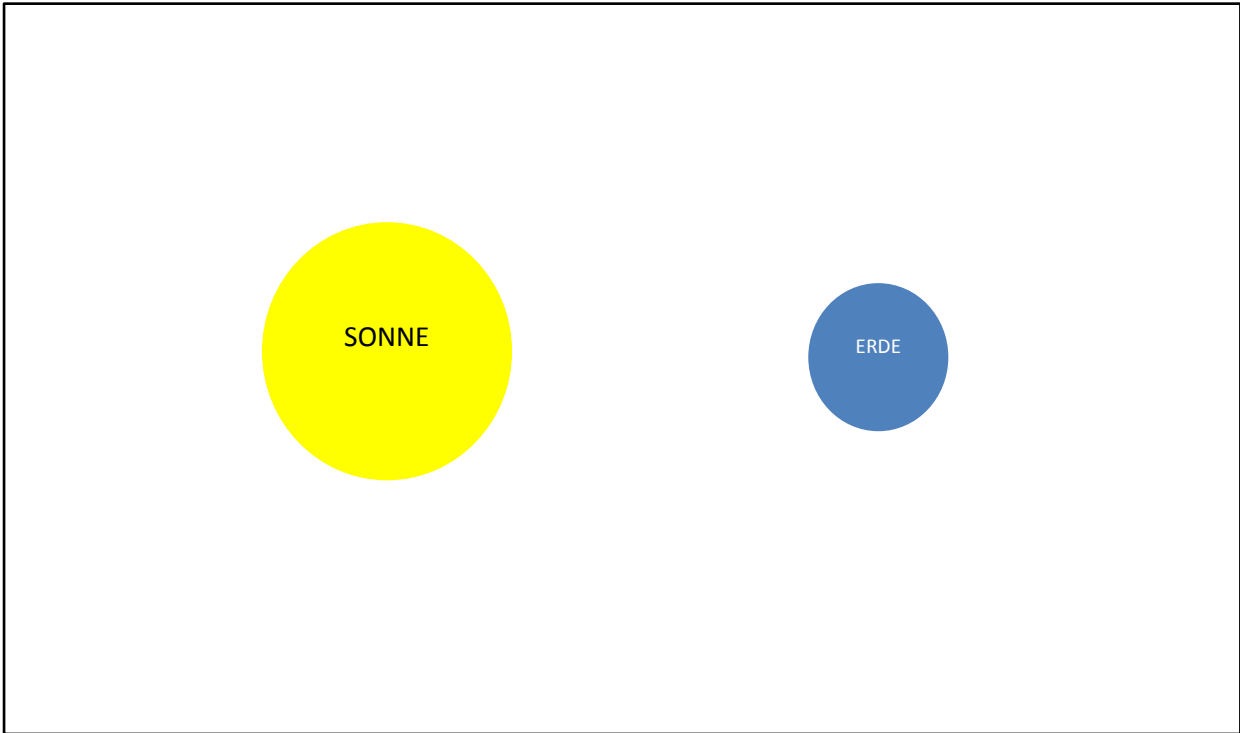
--	--	--	--	--	--

Das Kennzeichen besteht aus den ersten zwei Buchstaben des Namens deines Vaters, deiner Mutter und dem Geburtstag deiner Mutter. Beispiel: Die Eltern von Peter heißen Klaus und Tanja. Peters Mutter Tanja hat am 10.08. Geburtstag. Damit ergibt sich folgendes Kennzeichen:

K	L	T	A	10	08
---	---	---	---	----	----

Beantworte die folgenden Fragen in den dafür vorgesehenen Zeilen.

1. Im folgenden Bild siehst du auf der linken Seite die Sonne und auf der rechten Seite die Erde. Zeichne Lichtstrahlen in das Bild ein.



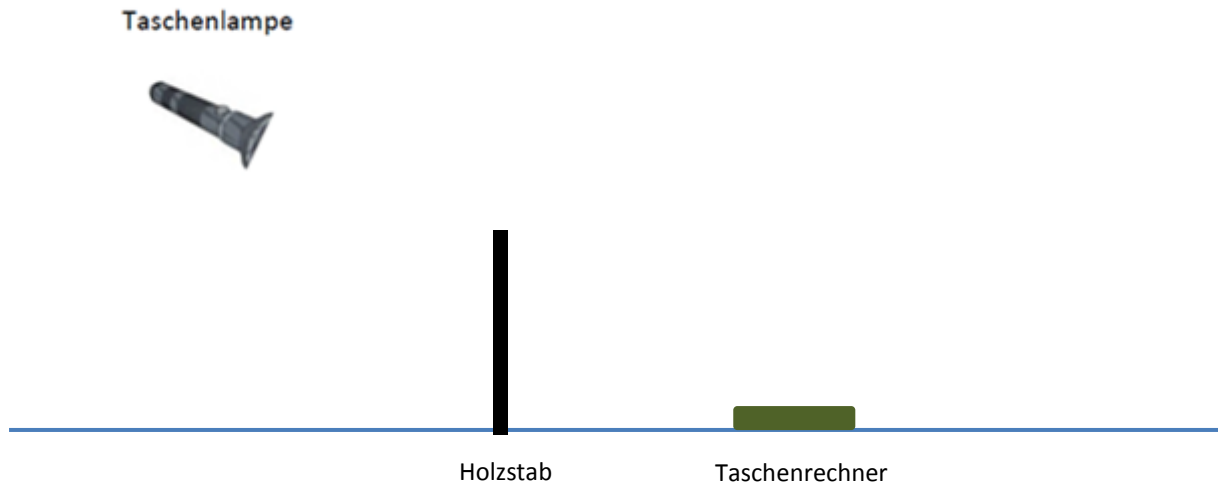
2. Ordne die folgenden Himmelskörper nach ihrer Größe. Beginne mit dem größten.

Mond, Polarstern, Sonne, Erde

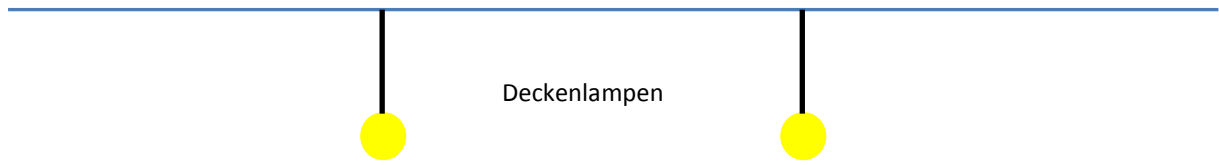
--

3. Warum ist es tagsüber auch in Zimmern hell, in die die Sonne nicht direkt hinein scheint?

4. Auf einem Tisch in einem dunklen Zimmer befinden sich ein Holzstab und ein Solartaschenrechner, der nur funktioniert, wenn Licht auf ihn fällt. Kann man ihn benutzen, wenn die Taschenlampe eingeschaltet ist? Zeichne den Schatten des Holzstabs ein und begründe.



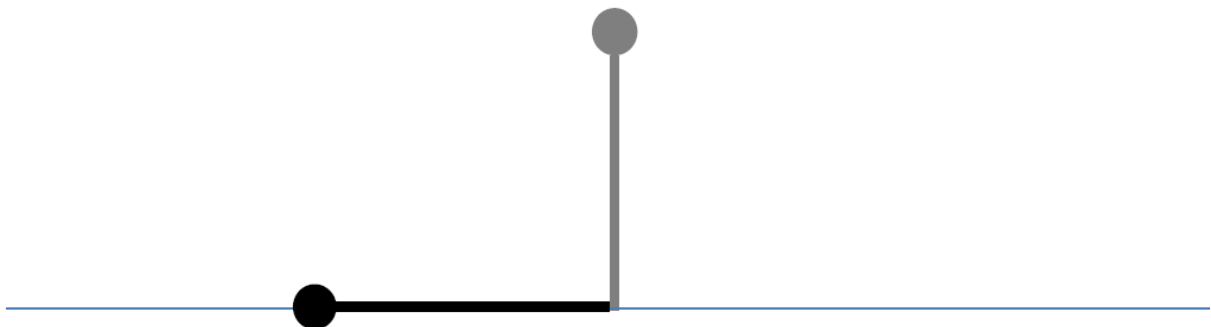
5. Im folgenden Bild wurde der Taschenrechner vom Tisch entfernt, auf dem Tisch steht wieder der Holzstab und zusätzlich zur Taschenlampe werden die zwei Deckenlampen eingeschaltet. Sieht man auf dem Tisch einen Schatten des Holzstabes? Begründe und zeichne den Schatten gegebenenfalls ein.



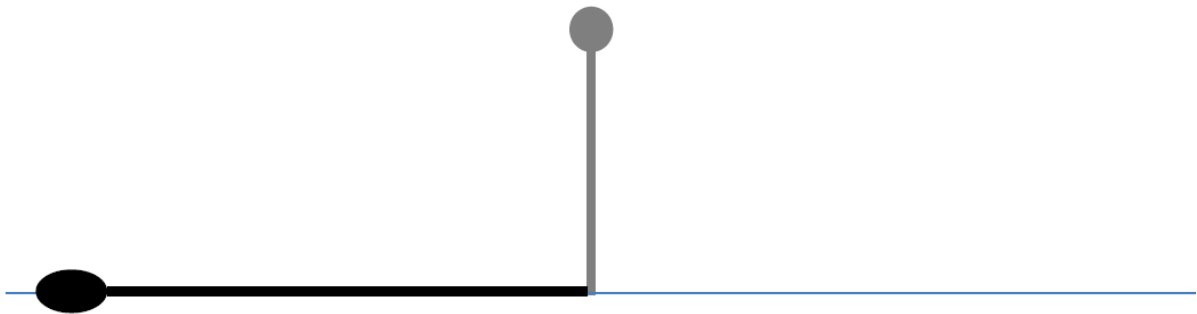
Taschenlampe



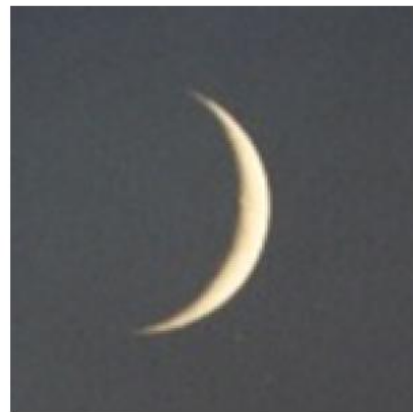
6. In der Mittagssonne wirft die Laterne einen Schatten.



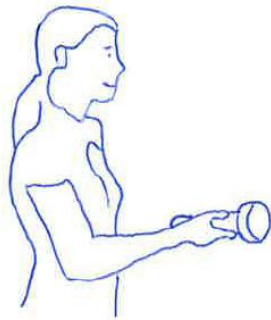
Zu einer anderen Tageszeit sieht der Schatten der Laterne wie im folgenden Bild aus. Zeichne die Sonne in das Bild ein.



7. Die beiden folgenden Bilder zeigen den Mond. Warum sehen wir den Mond manchmal als Vollmond und manchmal als Sichel?



8. Tina und Peter stehen in einem dunklen Zimmer. Tina hat eine Taschenlampe in der Hand, die auf den Spiegel gerichtet ist, den Peter in der Hand hält. Tina macht die Taschenlampe an. Wer kann das Licht der Taschenlampe sehen? Zu welchem Zeitpunkt nach dem Einschalten der Lampe kann Peter das Licht sehen und zu welchem Zeitpunkt kann es Tina sehen? Begründe!



9. Tina steht in einem dunklen Zimmer. Wird die Taschenlampe eingeschaltet, so kann Tina den Fußball sehen. Zeichne Lichtstrahlen in das Bild ein.



10. Warum glänzt auf dem folgenden Bild genau eine der Fensterscheiben?



11. Die Wand in einem Zimmer erscheint im Tageslicht weiß. Wie sieht die Wand aus, wenn sie nachts mit rotem Licht angestrahlt wird? Begründe!

12. Peter ist mit Tina in der Stadt verabredet. Er möchte die Uhrzeit wissen, aber zwischen ihm und der großen Uhr steht ein Haus, so dass er die Uhr nicht direkt sehen kann.

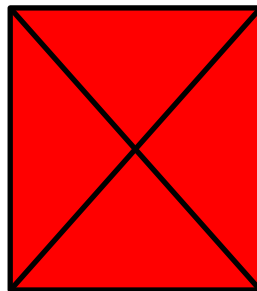
Doch er kann das Spiegelbild der Uhr mit Hilfe eines Schaufensters gegenüber sehen. Im folgenden Bild siehst du die beschriebene Situation von oben.

Markiere mit einem Kreuz das Spiegelbild der Uhr, das Peter sieht.

Schaufenster



Peter



Haus



Uhr

Kreuze an, wie sehr dich die Fragen und Aufgaben interessiert haben.

<input type="checkbox"/>	sehr interessant
<input type="checkbox"/>	interessant
<input type="checkbox"/>	wenig interessant
<input type="checkbox"/>	gar nicht interessant

6.2 Häufigkeitstabellen

Hier werden die Ergebnisse der Kategorisierung der Antworten angegeben. Die Kategorien sind jeweils in den zweiten Spalten der Tabellen angegeben. In der ersten steht die entsprechende Aufgabe. Es folgen die Häufigkeiten, mit denen die Merkmale in der entsprechenden Klasse auftreten, sowie die Angabe, wieviele Jungen und Mädchen sich unter den Merkmalsträgern befinden. Dies findet sich in der Spalte m/w, wobei der erste Wert die Anzahl der Jungen und der zweite Wert die Anzahl der Mädchen angibt. Für die Klasse 6a ist in dieser Spalte noch zusätzlich in Klammern vermerkt, wieviele der Schüler zum Zeitpunkt der Durchführung des Fragebogens den Physik-Wahlkurs besuchten.

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Kategorisierung für die 5c des Friedrich-König-Gymnasiums und die Gesamthäufigkeiten für alle 5 Klassen dargestellt. Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse für die 6a und 7c des Armin-Knab-Gymnasiums, Tabelle 6 für die Klassen 6a und 5b der Pater-Alois-Grimm-Schule in Kulsheim.

Aufgabe	Kategorie	Häufigkeit gesamt (102 Schüler, 58m/44w)	männlich/ weiblich	Häufigkeit in 5c FKG (20 Schüler, 14m/6w)	männlich/ weiblich
1	a) Lichtstrahlen nur in Richtung Erde	20	11m/9w	9	6m/3w
	b) Lichtstrahlen nur auf Erde genau	30	13m/17w	7	5m/2w
	c) Lichtstrahlen in alle Richtungen	51	32m/19w	4	3m/1w
	d) endlich weite Ausbreitung	62	36m/26w	19	13m/6w
	e) unbegrenzte Ausbreitung	13	12m/1w	1	1m/0w
	f) Lichtstrahlen im Schattenraum der Erde	7	5m/2w	0	0m/0w
	g) nicht geradlinige Ausbreitung	8	8m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	0	0m/0w	0	0m/0w
	ausgelassen	1	0m/1w	0	0m/0w
2	a) Erde dreht sich um sich selbst	31	16m/15w	9	6m/3w
	b) Erde dreht sich um Sonne	16	10m/6w	1	1m/0w
	c) nachts schiebt sich Mond vor Sonne	4	4m/0w	0	0m/0w
	d) 12 Stunden Tag – 12 Stunden Nacht	2	1m/1w	1	1m/0w
	e) Sonne und Mond auf gegenüberliegenden Seiten der Erde	1	0m/1w	0	0m/0w
	f) sonnenzugewandte/-abgewandte Seite	6	4m/2w	2	1m/1w
	g) Erde dreht sich	37	20m/17w	4	4m/0w
	nicht auswertbar	16	7m/9w	6	3m/3w
	ausgelassen	4	2m/2w	0	0m/0w
3	a) P S E M	11	9m/2w	2	2m/0w
	b) S P E M	24	16m/8w	7	6m/1w
	c) S E P M	7	2m/5w	1	0m/1w
	d) S E M P	33	18m/15w	5	2m/3w
	e) P S M E	3	3m/0w	2	2m/0w
	f) S M E P	8	3m/5w	1	0m/1w
	g) S M P E	5	0m/5w	1	0m/1w
	h) P E M S	1	1m/0w	1	1m/0w
	i) M S E P	1	0m/1w	0	0m/0w
	j) E S M P	2	2m/0w	0	0m/0w
	k) S P M E	5	3m/2w	0	0m/0w
	l) P M E S	2	0m/2w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	0	0m/0w	0	0m/0w
ausgelassen	0	0m/0w	0	0m/0w	
4	a) Sonne leuchtet selbst, Mond wird angestrahlt	23	13m/10w	6	5m/1w
	b) Sonne scheint heller als der Mond	6	2m/4w	2	1m/1w
	c) Mond ist kalt bzw. nicht heiß	22	10m/12w	3	1m/2w
	d) Sonne gibt Wärme ab, Mond nicht	3	2m/1w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	38	27m/11w	7	6m/1w
	ausgelassen	12	6m/6w	2	1m/1w
5	a) Lichtsee-Vorstellung	25	13m/13w	5	2m/3w
	b) Sonnenstrahlen werden überall reflektiert (Streuung)	19	12m/7w	3	2m/1w
	c) Sonnenstrahlen werden an spiegelnden Dingen reflektiert	6	3m/4w	2	1m/1w
	d) Licht durchdringt Wand / Dach	2	1m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	24	16m/8w	6	5m/1w
	ausgelassen	26	13m/12w	4	4m/0w
6	a) Schatten fällt auf Taschenrechner	32	21m/11w		
	b) Schatten zu kurz	14	5m/9w		
	c) Schatten falsch orientiert	10	3m/7w	andere Aufgabe	
	d) Schatten setzt nicht an Stab an	9	2m/7w		
	nicht auswertbar	21	13m/8w		
	ausgelassen	4	2m/2w		
7	a) Licht tritt durch Glasstab durch	46	29m/17w	4	2m/2w
	b) Glas reflektiert das Licht	9	5m/4w	1	1m/0w
	c) Glas bricht das Licht in andere Richtung	2	1m/1w	0	0m/0w
	d) Glas bündelt Licht auf Taschenrechner	4	0m/4w	0	0m/0w
	e) Glas wirft Schatten	3	3m/0w	2	2m/0w
	nicht auswertbar	24	13m/11w	8	5m/3w
	ausgelassen	13	6m/7w	4	3m/1w

Aufgabe	Kategorie	Häufigkeit gesamt (102 Schüler, 58m/44w)	männlich/ weiblich	Häufigkeit in 5c FKG (20 Schüler, 14m/6w)	männlich/ weiblich
8	a) Kein Schatten sichtbar	27	17m/11w		
	b) Schatten wie in Aufgabe 6	9	3m/5w		
	c) Schwacher Schatten sichtbar	6	4m/2w	andere Aufgabe	
	d) kleiner Schatten sichtbar	6	3m/3w		
	e) mehrere Schatten sichtbar	7	3m/4w		
	f) Schatten falsch orientiert	3	2m/1w		
	nicht auswertbar	15	8m/7w		
	ausgelassen	9	4m/5w		
9	a) Sonne quantitativ richtig eingezeichnet	42	28m/15w	10	7m/3w
	b) Sonne zu tief eingezeichnet	47	26m/21w	9	7m/2w
	c) Sonne zu hoch eingezeichnet	5	1m/4w	0	0m/0w
	d) Sonne falsch orientiert	5	1m/4w	1	0m/1w
	nicht auswertbar	0	0m/0w	0	0m/0w
	ausgelassen	3	2m/1w	0	0m/0w
10	a) Mondsichel entsteht durch Erdschatten	15	12m/3w	1	1m/0w
	b) hängt von Bestrahlung durch Sonne ab	17	6m/11w	1	1m/0w
	c) hängt davon ab, von wo wir den Mond sehen	7	3m/4w	0	0m/0w
	d) Sonne verdeckt Mond bei Sichel	6	2m/4w	1	0m/1w
	e) Mond ändert seine Gestalt	1	1m/0w	1	1m/0w
	nicht auswertbar	27	16m/11w	3	2m/1w
	ausgelassen	19	10m/9w	3	1m/2w
11	a) Mond bei Sichel im Erdschatten eingezeichnet	16	10m/6w	2	2m/0w
	b) " mit passender Erklärung in 10	12	9m/3w	-	-
	c) Vollmond an „Neumondposition“	24	11m/13w	2	2m/0w
	d) Mond hinter Sonne	6	1m/5w	1	0m/1w
	e) qualitativ richtig eingezeichnet	12	6m/6w	1	1m/0w
	nicht auswertbar	25	12m/13w	2	1m/1w
	ausgelassen	5	4m/1w	1	1m/0w
12	a) Tina sieht das Licht	59	33m/26w	15	12m/3w
	b) Peter sieht das Licht	17	7m/10w	3	2m/1w
	c) Tina sieht es sofort nach dem Einschalten	1	0m/1w	1	0m/1w
	d) Peter kann das Licht früher sehen	2	2m/0w	1	1m/0w
	e) Tina sieht das Licht, sobald es am Spiegel ankommt	1	0m/1w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	15	9m/6w	3	1m/2w
	ausgelassen	21	13m/8w	0	0m/0w
13	a) Lichtstrahlen von Taschenlampe in Richtung Ball	49	29m/20w		
	b) Lichtstrahlen von Taschenlampe auf Ball genau	26	10m/16w		
	c) Lichtstrahlen von Ball auf Tina	6	0m/6w	andere Aufgabe	
	d) Lichtstrahlen im Schattenraum	8	7m/1w		
	nicht auswertbar	3	2m/1w		
	ausgelassen	4	3m/1w		
14	a) von der Sonne bzw. dem Sonnenlicht	8	2m/6w	3	1m/2w
	b) Reflexion an den Regentropfen	12	9m/2w	2	2m/0w
	c) Lichtbrechung im Wasser	8	3m/5w	0	0m/0w
	f) es regnet und gleichzeitig scheint die Sonne	8	7m/1w	2	1m/1w
	nicht auswertbar	28	12m/14w	7	6m/1w
	ausgelassen	38	20m/18w	6	4m/2w
15	a) Sonne spiegelt sich in der Fensterscheibe	16	9m/7w	3	2m/1w
	b) Strahlen leuchten genau auf das Fenster	23	13m/10w	5	3m/2w
	c) Sonne scheint auf Fenster	9	5m/4w	1	0m/1w
	d) Sonne scheint im passenden Winkel auf das Fenster	9	5m/4w	1	0m/1w
	e) Sonne steht gegenüber dem Fenster	2	1m/1w	0	0m/0w
	f) Sonnenstrahlen sind dort am stärksten	3	0m/3w	0	0m/0w
	g) Sonnenlicht fällt auf etwas Glänzendes	3	1m/2w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	25	19m/6w	8	7m/1w
	ausgelassen	13	5m/8w	2	2m/0w

Aufgabe	Kategorie	Häufigkeit gesamt (102 Schüler, 58m/44w)	männlich/ weiblich	Häufigkeit in 5c FKG (20 Schüler, 14m/6w)	männlich/ weiblich
16	a) rot	41	28m/13w	9	8m/1w
	b) rosa	7	2m/5w	3	0m/3w
	c) orange	3	1m/2w	0	0m/0w
	d) hellrot	2	1m/1w	0	0m/0w
	e) rötlich	4	0m/4w	0	0m/0w
	f) weiß	6	4m/2w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	6	5m/1w	2	2m/0w
	ausgelassen	33	18m/15w	6	5m/1w
17	a) Kreuz auf Spiegel mittig	41	25m/16w	5	3m/2w
	b) Kreuz auf Spiegel auf Höhe der Uhr (rechts)	4	2m/2w	2	2m/0w
	c) Kreuz auf Spiegel auf Höhe Peter (links)	4	2m/2w	0	0m/0w
	d) Kreuz vor Spiegel	12	4m/8w	0	0m/0w
	e) hinter Spiegel mittig	2	2m/0w	0	0m/0w
	f) hinter Spiegel auf Höhe Peter (links)	2	2m/0w	1	1m/0w
	nicht auswertbar	6	5m/1w	3	3m/0w
	ausgelassen	31	17m/14w	9	5m/4w
18	a) 15.33 Uhr	19	14m/5w	3	3m/0w
	b) 15.30 Uhr	5	0m/5w	1	0m/1w
	c) 14.57 Uhr	14	11m/3w	4	2m/2w
	d) 14.33 Uhr	2	0m/2w	0	0m/0w
	e) 15.27 Uhr	5	2m/3w	1	1m/0w
	f) 8.27 Uhr	15	8m/7w	2	1m/1w
	g) Andere Uhrzeit	26	14m/12w	5	5m/0w
	nicht auswertbar	3	2m/1w	1	1m/0w
	ausgelassen	13	7m/6w	3	1m/2w

Tab. 4

Aufgabe	Kategorie	Häufigkeit in 6a AKG	männlich/ weiblich	Häufigkeit in 7a	männlich/ weiblich
		(26 Schüler, 10m(5WK) /16w(1WK))	(davon im WK)	AKG (13 Schüler, 5m/8w)	
1	a) Lichtstrahlen nur in Richtung Erde	4	3m(1WK)/1w	0	0m/0w
	b) Lichtstrahlen nur auf Erde genau	7	2m(2WK)/5w	12	4m/8w
	c) Lichtstrahlen in alle Richtungen	14	3m/11w(1WK)	1	1m/0w
	d) endlich weite Ausbreitung	16	7m(3WK)/9w(1WK)	1	1m/0w
	e) unbegrenzte Ausbreitung	3	2m(1WK)/1w	0	0m/0w
	f) Lichtstrahlen im Schattenraum der Erde	2	1m/1w	0	0m/0w
	g) nicht geradlinige Ausbreitung	0	0m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	0	0m/0w	0	0m/0w
	ausgelassen	1	0m/1w	0	0m/0w
2	a) Erde dreht sich um sich selbst	10	3m(3WK)/7w(0WK)	5	1m/4w
	b) Erde dreht sich um Sonne	6	1m(1WK)/5w	2	1m/1w
	c) nachts schiebt sich Mond vor Sonne	1	1m/0w	0	0m/0w
	d) 12 Stunden Tag – 12 Stunden Nacht	1	0m/1w(1WK)	0	0m/0w
	e) Sonne und Mond auf gegenüberliegenden Seiten der Erde	0	0m/0w	0	0m/0w
	f) sonnenzugewandte/-abgewandte Seite	2	1m/1w	2	2m/0w
	g) Erde dreht sich	10	4m(2WK)/6w(1WK)	3	1m/2w
	nicht auswertbar	2	1m/1w	2	0m/2w
	ausgelassen	0	0m/0w	1	0m/1w
3	a) P S E M	6	4m(3WK)/2w	0	0m/0w
	b) S P E M	5	2m(1WK)/3w	6	3m/3w
	c) S E P M	2	0m/2w	1	1m/0w
	d) S E M P	8	4m(1WK)/4w(1WK)	6	1m/5w
	e) P S M E	0	0m/0w	0	0m/0w
	f) S M E P	1	0m/1w	0	0m/0w
	g) S M P E	0	0m/0w	0	0m/0w
	h) P E M S	0	0m/0w	0	0m/0w
	i) M S E P	0	0m/0w	0	0m/0w
	j) E S M P	0	0m/0w	0	0m/0w
	k) S P M E	2	0m/2w	0	0m/0w
	l) P M E S	2	0m/2w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	0	0m/0w	0	0m/0w
ausgelassen	0	0m/0w	0	0m/0w	
4	a) Sonne leuchtet selbst, Mond wird angestrahlt	4	2m(1WK)/2w(1WK)	10	4m/6w
	b) Sonne scheint heller als der Mond	2	0m/2w	0	0m/0w
	c) Mond ist kalt bzw. nicht heiß	8	1m/7w	1	1m/0w
	d) Sonne gibt Wärme ab, Mond nicht	0	0m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	10	6m(3WK)/4w	2	2m/0w
	ausgelassen	3	1m(1WK)/2w	0	0m/0w
5	a) Lichtsee-Vorstellung	6	1m(1WK)/5w	2	0m/2w
	b) Sonnenstrahlen werden überall reflektiert (Streuung)	2	2m(1WK)/0w	10	5m/5w
	c) Sonnenstrahlen werden an spiegelnden Dingen reflektiert	3	1m(1WK)/2w	1	0m/1w
	d) Licht durchdringt Wand / Dach	1	1m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	3	2m(1WK)/1w	0	0m/0w
	ausgelassen	11	3m(1WK)/8w(1WK)	0	0m/0w
6	a) Schatten fällt auf Taschenrechner	11	7m(3WK)/4w	12	5m/7w
	b) Schatten zu kurz	7	1m/6w(1WK)	1	0m/1w
	c) Schatten falsch orientiert	1	0m/1w	0	0m/0w
	d) Schatten setzt nicht an Stab an	2	0m/2w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	4	2m(2WK)/2w	0	0m/0w
	ausgelassen	2	0m/2w	0	0m/0w
7	a) Licht tritt durch Glasstab durch	14	9m(4WK)/5w	9	3m/6w
	b) Glas reflektiert das Licht	4	1m(1WK)/3w(1WK)	2	1m/1w
	c) Glas bricht das Licht in andere Richtung	1	0m/1w	1	1m/0w
	d) Glas bündelt Licht auf Taschenrechner	4	0m/4w	0	0m/0w
	e) Glas wirft Schatten	0	0m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	1	0m/1w	0	0m/0w
	ausgelassen	2	0m/2w	1	0m/1w

Aufgabe	Kategorie	Häufigkeit in 6a AKG	männlich/ weiblich	Häufigkeit in 7a	männlich/ weiblich
		(26 Schüler, 10m(5WK) /16w(1WK))	(davon im WK)	AKG (13 Schüler, 5m/8w)	
8	a) Kein Schatten sichtbar	12	6m(3WK)/6w	2	2m/0w
	b) Schatten wie in Aufgabe 6	2	0m/2w	1	0m/0w
	c) Schwacher Schatten sichtbar	3	2m(1WK)/1w	1	0m/1w
	d) kleiner Schatten sichtbar	3	0m/3w	0	0m/0w
	e) mehrere Schatten sichtbar	0	0m/0w	5	1m/4w
	f) Schatten falsch orientiert	0	0m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	3	2m(1WK)/1w	3	1m/2w
	ausgelassen	3	0m/3w(1WK)	1	1m/0w
9	a) Sonne quantitativ richtig eingezeichnet	9	5m(3WK)/4w	6	4m/3w
	b) Sonne zu tief eingezeichnet	16	5m(2WK)/11w(1WK)	3	0m/3w
	c) Sonne zu hoch eingezeichnet	1	0m/1w	0	0m/0w
	d) Sonne falsch orientiert	0	0m/0w	2	0m/2w
	nicht auswertbar	0	0m/0w	0	0m/0w
	ausgelassen	0	0m/0w	2	1m/1w
10	a) Mondsichel entsteht durch Erdschatten	7	6m(3WK)/1w	4	2m/2w
	b) hängt von Bestrahlung durch Sonne ab	7	1m/6w(1WK)	4	0m/4w
	c) hängt davon ab, von wo wir den Mond sehen	4	1m/3w	1	1m/0w
	d) Sonne verdeckt Mond bei Sichel	1	0m/1w	0	0m/0w
	e) Mond ändert seine Gestalt	0	0m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	4	1m(1WK)/3w	2	1m/1w
	ausgelassen	3	1m(1WK)/2w	2	1m/1w
11	a) Mond bei Sichel im Erdschatten eingezeichnet	4	0m/4w	1	0m/1w
	b) " mit passender Erklärung in 10	7	6m(3WK)/1w	3	1m/2w
	c) Vollmond an „Neumondposition“	12	3m(2WK)/9w(1WK)	3	0m/3w
	d) Mond hinter Sonne	2	0m/2w	0	0m/0w
	e) qualitativ richtig eingezeichnet	3	1m/2w	7	4m/3w
	nicht auswertbar	4	1m(1WK)/3w	1	0m/1w
	ausgelassen	0	0m/0w	0	0m/0w
12	a) Tina sieht das Licht	15	6m(2WK)/9w	7	1m/6w
	b) Peter sieht das Licht	5	3m(2WK)/2w	4	0m/4w
	c) Tina sieht es sofort nach dem Einschalten	0	0m/0w	0	0m/0w
	d) Peter kann das Licht früher sehen	1	1m(1WK)/0w	0	0m/0w
	e) Tina sieht das Licht, sobald es am Spiegel ankommt	1	0m/1w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	1	0m/1w	2	1m/1w
	ausgelassen	6	3m(1WK)/3w(1WK)	4	3m/1w
13	a) Lichtstrahlen von Taschenlampe in Richtung Ball	21	8m(5WK)/13w(1WK)	1	0m/1w
	b) Lichtstrahlen von Taschenlampe auf Ball genau	4	2m/2w	10	3m/7w
	c) Lichtstrahlen von Ball auf Tina	0	0m/0w	5	0m/5w
	d) Lichtstrahlen im Schattenraum	3	2m(1WK)/1w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	1	0m/1w	1	1m/0w
	ausgelassen	0	0m/0w	1	1m/0w
14	a) von der Sonne bzw. dem Sonnenlicht	0	0m/0w	1	0m/1w
	b) Reflexion an den Regentropfen	4	1m(1WK)/3w	1	1m/0w
	c) Lichtbrechung im Wasser	4	0m/4w(1WK)	2	1m/1w
	f) es regnet und gleichzeitig scheint die Sonne	2	2m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	9	2m/7w	1	0m/1w
	ausgelassen	7	2m(1WK)/5w	8	3m/5w
15	a) Sonne spiegelt sich in der Fensterscheibe	4	2m/2w(1WK)	2	1m/1w
	b) Strahlen leuchten genau auf das Fenster	7	3m(2WK)/4w	5	2m/3w
	c) Sonne scheint auf Fenster	1	0m/1w	0	0m/0w
	d) Sonne scheint im passenden Winkel auf das Fenster	4	2m(1WK)/2w(1WK)	3	2m/1w
	e) Sonne steht gegenüber dem Fenster	2	1m(1WK)/1w	0	0m/0w
	f) Sonnenstrahlen sind dort am stärksten	1	0m/1w	0	0m/0w
	g) Sonnenlicht fällt auf etwas Glänzendes	1	0m/1w	1	0m/1w
	nicht auswertbar	3	1m/2w	1	0m/1w
	ausgelassen	4	1m(1WK)/3w	1	0m/1w

Aufgabe	Kategorie	Häufigkeit in 6a AKG	männlich/ weiblich	Häufigkeit in 7a	männlich/ weiblich
		(26 Schüler, 10m(5WK) /16w(1WK))	(davon im WK)	AKG (13 Schüler, 5m/8w)	
16	a) rot	10	6m(2WK)/4w	8	3m/5w
	b) rosa	2	0m/2w	0	0m/0w
	c) orange	3	1m(1WK)/2w	0	0m/0w
	d) hellrot	1	0m/1w	0	0m/0w
	e) rötlich	2	0m/2w	0	0m/0w
	f) weiß	2	1m(1WK)/1w	1	1m/0w
	nicht auswertbar	1	0m/1w	0	0m/0w
	ausgelassen	5	2m(1WK)/3w(1WK)	4	1m/3w
17	a) Kreuz auf Spiegel mittig	15	8m(5WK)/7w(1WK)	3	2m/1w
	b) Kreuz auf Spiegel auf Höhe der Uhr (rechts)	0	0m/0w	2	0m/2w
	c) Kreuz auf Spiegel auf Höhe Peter (links)	0	0m/0w	2	1m/1w
	d) Kreuz vor Spiegel	5	0m/5w	2	1m/1w
	e) hinter Spiegel mittig	0	0m/0w	0	0m/0w
	f) hinter Spiegel auf Höhe Peter (links)	0	0m/0w	1	1m/0w
	nicht auswertbar	1	1m/0w	1	0m/1w
	ausgelassen	5	1m/4w	2	1m/1w
18	a) 15.33 Uhr	10	6m(2WK)/4w(1WK)	4	3m/1w
	b) 15.30 Uhr	1	0m/1w	2	0m/2w
	c) 14.57 Uhr	3	2m(2WK)/1w	0	0m/0w
	d) 14.33 Uhr	0	0m/0w	0	0m/0w
	e) 15.27 Uhr	2	1m/1w	2	0m/2w
	f) 8.27 Uhr	1	0m/1w	1	1m/0w
	g) Andere Uhrzeit	8	1m(1WK)/7w	3	1m/2w
	nicht auswertbar	0	0m/0w	1	0m/1w
	ausgelassen	1	0m/1w	0	0m/0w

Tab. 5

Aufgabe	Kategorie	Häufigkeit in 5b	männlich/ weiblich	Häufigkeit in 6a	männlich/ weiblich
		PAGS (16 Schüler, 10m/6w)		PAGS (27 Schüler, 19m/8w)	
1	a) Lichtstrahlen nur in Richtung Erde	2	0m/2w	5	2m/3w
	b) Lichtstrahlen nur auf Erde genau	1	0m/1w	3	2m/1w
	c) Lichtstrahlen in alle Richtungen	13	10m/3w	19	15m/4w
	d) endlich weite Ausbreitung	10	5m/5w	16	10m/6w
	e) unbegrenzte Ausbreitung	5	5m/0w	4	4m/0w
	f) Lichtstrahlen im Schattenraum der Erde	4	3m/1w	1	1m/0w
	g) nicht geradlinige Ausbreitung	3	3m/0w	5	5m/0w
	nicht auswertbar	0	0m/0w	0	0m/0w
	ausgelassen	0	0m/0w	0	0m/0w
2	a) Erde dreht sich um sich selbst	1	0m/1w	6	6m/0w
	b) Erde dreht sich um Sonne	2	2m/0w	5	5m/0w
	c) nachts schiebt sich Mond vor Sonne	3	3m/0w	0	0m/0w
	d) 12 Stunden Tag – 12 Stunden Nacht	0	0m/0w	0	0m/0w
	e) Sonne und Mond auf gegenüberliegenden Seiten der Erde	0	0m/0w	1	0m/1w
	f) sonnenzugewandte/-abgewandte Seite	0	0m/0w	0	0m/0w
	g) Erde dreht sich	7	3m/4w	13	8m/5w
	nicht auswertbar	2	1m/1w	4	2m/2w
	ausgelassen	1	1m/0w	2	1m/1w
3	a) P S E M	1	1m/0w	2	2m/0w
	b) S P E M	3	2m/1w	3	3m/0w
	c) S E P M	3	1m/2w	0	0m/0w
	d) S E M P	4	4m/0w	10	7m/3w
	e) P S M E	0	0m/0w	1	1m/0w
	f) S M E P	2	0m/2w	4	3m/1w
	g) S M P E	0	0m/0w	4	0m/4w
	h) P E M S	0	0m/0w	0	0m/0w
	i) M S E P	1	0m/1w	0	0m/0w
	j) E S M P	1	1m/0w	1	1m/0w
	k) S P M E	1	1m/0w	2	2m/0w
	l) P M E S	0	0m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	0	0m/0w	0	0m/0w
ausgelassen	0	0m/0w	0	0m/0w	

Aufgabe	Kategorie	Häufigkeit in 5b	männlich/	Häufigkeit in 6a	männlich/
		PAGS (16 Schüler, 10m/6w)	weiblich	PAGS (27 Schüler, 19m/8w)	weiblich
4	a) Sonne leuchtet selbst, Mond wird angestrahlt	2	1m/1w	1	1m/0w
	b) Sonne scheint heller als der Mond	1	0m/1w	1	1m/0w
	c) Mond ist kalt bzw. nicht heiß	6	3m/3w	4	4m/0w
	d) Sonne gibt Wärme ab, Mond nicht	0	0m/0w	3	2m/1w
	nicht auswertbar	7	5m/2w	12	8m/4w
	ausgelassen	1	1m/0w	6	3m/3w
5	a) Lichtsee-Vorstellung	7	5m/2w	5	4m/1w
	b) Sonnenstrahlen werden überall reflektiert (Streuung)	0	0m/0w	4	3m/1w
	c) Sonnenstrahlen werden an spiegelnden Dingen reflektiert	0	0m/0w	0	0m/0w
	d) Licht durchdringt Wand / Dach	0	0m/0w	1	1m/0w
	nicht auswertbar	7	3m/4w	8	6m/2w
	ausgelassen	2	2m/0w	9	5m/4w
6	a) Schatten fällt auf Taschenrechner	1	1m/0w	8	8m/0w
	b) Schatten zu kurz	2	2m/0w	4	2m/2w
	c) Schatten falsch orientiert	7	2m/5w	2	1m/1w
	d) Schatten setzt nicht an Stab an	7	2m/5w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	5	4m/1w	12	7m/5w
	ausgelassen	1	1m/0w	1	1m/0w
7	a) Licht tritt durch Glasstab durch	6	4m/2w	13	11m/2w
	b) Glas reflektiert das Licht	1	1m/0w	1	1m/0w
	c) Glas bricht das Licht in andere Richtung	0	0m/0w	0	0m/0w
	d) Glas bündelt Licht auf Taschenrechner	0	0m/0w	0	0m/0w
	e) Glas wirft Schatten	1	1m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	6	2m/4w	9	6m/3w
ausgelassen	2	2m/0w	4	1m/3w	
8	a) Kein Schatten sichtbar	5	3m/3w	8	6m/2w
	b) Schatten wie in Aufgabe 6	3	2m/1w	3	1m/2w
	c) Schwacher Schatten sichtbar	0	0m/0w	2	2m/0w
	d) kleiner Schatten sichtbar	0	0m/0w	3	3m/0w
	e) mehrere Schatten sichtbar	1	1m/0w	1	1m/0w
	f) Schatten falsch orientiert	0	0m/0w	3	2m/1w
nicht auswertbar	6	3m/3w	3	2m/1w	
ausgelassen	1	1m/0w	4	2m/2w	
9	a) Sonne quantitativ richtig eingezeichnet	5	4m/1w	12	8m/4w
	b) Sonne zu tief eingezeichnet	7	5m/2w	12	9m/3w
	c) Sonne zu hoch eingezeichnet	3	1m/2w	1	0m/1w
	d) Sonne falsch orientiert	1	0m/1w	1	1m/0w
	nicht auswertbar	0	0m/0w	0	0m/0w
	ausgelassen	0	0m/0w	1	1m/0w
10	a) Mondsichel entsteht durch Erdschatten	1	1m/0w	2	2m/0w
	b) hängt von Bestrahlung durch Sonne ab	2	1m/1w	3	3m/0w
	c) hängt davon ab, von wo wir den Mond sehen	1	1m/0w	1	0m/1w
	d) Sonne verdeckt Mond bei Sichel	2	1m/1w	2	1m/1w
	e) Mond ändert seine Gestalt	0	0m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	6	4m/2w	12	8m/4w
ausgelassen	4	2m/2w	7	5m/2w	
11	a) Mond bei Sichel im Erdschatten eingezeichnet	3	2m/1w	6	6m/0w
	b) " mit passender Erklärung in 10	0	0m/0w	2	2m/0w
	c) Vollmond an „Neumondposition“	2	2m/0w	5	4m/1w
	d) Mond hinter Sonne	2	1m/1w	1	0m/1w
	e) qualitativ richtig eingezeichnet	0	0m/0w	1	0m/1w
	nicht auswertbar	9	5m/4w	9	5m/4w
ausgelassen	0	0m/0w	4	3m/1w	

Aufgabe	Kategorie	Häufigkeit in 5b PAGS (16 Schüler, 10m/6w)	männlich/ weiblich	Häufigkeit in 6a PAGS (27 Schüler, 19m/8w)	männlich/ weiblich
12	a) Tina sieht das Licht	10	5m/5w	13	10m/3w
	b) Peter sieht das Licht	2	1m/1w	3	1m/2w
	c) Tina sieht es sofort nach dem Einschalten	0	0m/0w	0	0m/0w
	d) Peter kann das Licht früher sehen	0	0m/0w	0	0m/0w
	e) Tina sieht das Licht, sobald es am Spiegel ankommt	0	0m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	3	2m/1w	6	5m/1w
	ausgelassen	3	3m/0w	8	4m/4w
13	a) Lichtstrahlen von Taschenlampe in Richtung Ball	10	9m/1w	17	12m/5w
	b) Lichtstrahlen von Taschenlampe auf Ball genau	5	0m/5w	7	5m/2w
	c) Lichtstrahlen von Ball auf Tina	1	0m/1w	0	0m/0w
	d) Lichtstrahlen im Schattenraum	3	3m/0w	2	2m/0w
	nicht auswertbar	0	0m/0w	1	1m/0w
	ausgelassen	1	1m/0w	2	1m/1w
14	a) von der Sonne bzw. dem Sonnenlicht	3	0m/3w	1	1m/0w
	b) Reflexion an den Regentropfen	1	1m/0w	4	4m/0w
	c) Lichtbrechung im Wasser	0	0m/0w	2	2m/0w
	f) es regnet und gleichzeitig scheint die Sonne	2	2m/0w	2	2m/0w
	nicht auswertbar	4	1m/3w	7	5m/2w
	ausgelassen	6	6m/0w	11	5m/6w
15	a) Sonne spiegelt sich in der Fensterscheibe	1	0m/1w	6	4m/2w
	b) Strahlen leuchten genau auf das Fenster	3	2m/1w	3	3m/0w
	c) Sonne scheint auf Fenster	3	2m/1w	4	3m/1w
	d) Sonne scheint im passenden Winkel auf das Fenster	0	0m/0w	1	1m/0w
	e) Sonne steht gegenüber dem Fenster	0	0m/0w	0	0m/0w
	f) Sonnenstrahlen sind dort am stärksten	1	0m/1w	1	0m/1w
	g) Sonnenlicht fällt auf etwas Glänzendes	1	1m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	6	4m/2w	7	7m/0w
	ausgelassen	1	1m/0w	5	1m/4w
16	a) rot	6	4m/2w	8	7m/1w
	b) rosa	1	1m/0w	1	1m/0w
	c) orange	0	0m/0w	0	0m/0w
	d) hellrot	0	0m/0w	1	1m/0w
	e) rötlich	1	0m/1w	1	0m/1w
	f) weiß	1	0m/1w	2	2m/0w
	nicht auswertbar	1	1m/0w	2	2m/0w
	ausgelassen	6	4m/2w	12	6m/6w
17	a) Kreuz auf Spiegel mittig	5	2m/3w	13	10m/3w
	b) Kreuz auf Spiegel auf Höhe der Uhr (rechts)	0	0m/0w	0	0m/0w
	c) Kreuz auf Spiegel auf Höhe Peter (links)	1	0m/1w	1	1m/0w
	d) Kreuz vor Spiegel	3	2m/1w	2	1m/1w
	e) hinter Spiegel mittig	0	0m/0w	2	2m/0w
	f) hinter Spiegel auf Höhe Peter (links)	0	0m/0w	0	0m/0w
	nicht auswertbar	0	0m/0w	1	1m/0w
	ausgelassen	7	6m/1w	8	4m/4w
18	a) 15.33 Uhr	0	0m/0w	2	2m/0w
	b) 15.30 Uhr	0	0m/0w	1	0m/1w
	c) 14.57 Uhr	3	3m/0w	4	4m/0w
	d) 14.33 Uhr	2	0m/2w	0	0m/0w
	e) 15.27 Uhr	0	0m/0w	0	0m/0w
	f) 8.27 Uhr	3	0m/3w	8	6m/2w
	g) Andere Uhrzeit	3	2m/1w	7	5m/2w
	nicht auswertbar	1	1m/0w	0	0m/0w
	ausgelassen	4	4m/0w	5	2m/3w

Tab. 6

In Tabelle 7 wird die Verteilung des Interesses am Fragebogen angegeben. Dabei geben die Zahlen in den Spalten an, wie viele Schüler welchen Grad des Interesses angegeben haben.

Interesse	Häufigkeit gesamt (102 Schüler, 58m/44w)	männlich/ weiblich	Häufigkeit in 5c FKG (20 Schüler, 14m/6w)	männlich/ weiblich	Häufigkeit in 6a AKG (26 Schüler, 10m(5WK) /16w(1WK))	männlich/ weiblich (davon im WK)
sehr interessant	20	12m/8w	4	2m/2w	3	3m(1WK)/0w
interessant	47	27m/20w	8	7m/1w	20	7m(4WK)/13w(1WK)
wenig interessant	24	11m/13w	4	2m/2w	3	0m/3w
gar nicht interessant	9	7m/2w	2	2m/0w	0	0m/0w
ausgelassen	2	1m/1w	1	0m/1w	0	0m/0w

Interesse	Häufigkeit in 7a AKG (13 Schüler, 5m/8w)	männlich/ weiblich	Häufigkeit in 5b PAGS (16 Schüler, 10m/6w)	männlich/ weiblich	Häufigkeit in 6a PAGS (27 Schüler, 19m/8w)	männlich/ weiblich
sehr interessant	2	1m/1w	5	3m/2w	6	3m/3w
interessant	4	2m/2w	9	6m/3w	6	5m/1w
wenig interessant	6	2m/4w	1	0m/1w	10	7m/3w
gar nicht interessant	1	0m/1w	0	0m/0w	6	5m/1w
ausgelassen	0	0m/0w	1	1m/0w	0	0m/0w

Tab. 7

17 Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit in allen Teilen selbstständig gefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die bildlichen Darstellungen, die nicht im Abbildungsverzeichnis auftauchen, entstammen den Fragebögen der Schüler oder wurden von mir selbst angefertigt.

Würzburg, den

Unterschrift