



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Testitem-Entwicklung zu Schülervorstellungen zu
Brechung und Linsen

verfasst von

Sebastian Glantschnig

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 190 482 412

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Lehramtsstudium UF Bewegung und Sport UF Physik

Betreuerin / Betreuer:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf

Zusammenfassung

Die geometrische Optik stellt ein wesentliches Teilgebiet des Lehrstoffes in der 8. Schulstufe österreichischer Schulen dar. Die fachdidaktische Forschung der letzten Jahrzehnte zeigt, dass die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler häufig von den zu vermittelnden wissenschaftlichen Vorstellungen abweichen. Diese, häufig auf Alltagserfahrungen basierenden Vorstellungen, stellen ein Hindernis für das Verständnis des Lehrstoffes und darauf aufbauender Inhalte dar. Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt darin, Teile eines am Österreichischen Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik der Universität Wien entwickelten Multiple-Choice-Fragebogens zur Abbildung von Schülervorstellungen in der geometrischen Optik weiterzuentwickeln. Ziel war es, acht bisher einstufige Testitems zu Brechung und Linsen durch das Hinzufügen einer zweiten Stufe, in der die Antworten der ersten Stufe zu begründen sind, zu verbessern. Die Erklärungsdistraktoren wurden durch die Auswertung von 131 Fragebogen gewonnen und durch anschließende qualitative Interviews validiert bzw. ergänzt und erweitert. Die daraus entwickelten Testitems führen zu einer Vereinfachung der Erhebung von Schülervorstellung in diesem Teilgebiet der Optik.

Abstract

Geometrical optics is a fundamental part of 8th grade curriculum in Austria. The didactical research in this subject matter in the past decades shows that the ideas of the students often differ from the taught scientific ideas. These are often based on everyday experience and create a problem in the understanding of the curriculum and its contents. The main focus of this work is to refine parts of a multiple-choice questionnaire which was developed by the Austrian Educational Competence Centre Physics at the University of Vienna to create a better understanding of the student's ideas in the field of geometrical optics. The aim was to improve the eight one tier test items for refraction and lenses by adding a second tier in which the first part responses are justified. The distractors in the multiple-choice questionnaire were obtained by analysing 131 questionnaires and were validated, supplemented and improved with qualitative Interviews. The test items developed from this suggest a simplification to portray student's ideas in this area of optics.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all jenen bedanken, die mich im Laufe meines Studiums unterstützt haben. Besonderer Dank gilt meinen Eltern, welche mir die Absolvierung des Studiums erst ermöglichten. Sie haben mich immer unterstützt, mich nie unter Druck gesetzt und waren immer für mich da. Danke, dass ihr mir eine sorgenfreie Studentenzzeit mit wunderschönen langen Urlauben ermöglicht habt. Außerdem möchte ich mich bei meiner großen Schwester Steffi bedanken, welche mir mit ihrer langjährigen Studienerfahrung stets mit Rat und Tat zur Seite stand.

Ein großer Dank geht auch an meine Betreuer dieser Arbeit, Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf und vor allem Mag. Dr. Claudia Haagen-Schützenhöfer. Ihre motivierenden Zusprüche und fachliche Kompetenz wirkten sich äußerst positiv auf das Resultat dieser Arbeit aus. Ich schätze die exzellente Betreuung sehr, vor allem weil ich glaube, dass dies beim Verfassen einer Diplomarbeit nicht selbstverständlich ist.

Mein Dank gilt auch all jenen, die es ermöglicht haben die Datenerhebungen an den Schulen durchzuführen. Ich möchte mich bei den Lehrpersonen Mag. Marianne Korner, Mag. Dominik Ertl und Mag. Markus Schrönkhammer bedanken, welche für die unkomplizierte und rasche Organisation der Interviews sorgten. Weiters möchte ich allen Schülerinnen und Schülern meinen Dank aussprechen, welche mit ihren offenen Erzählungen die Grundlage dieser Arbeit bildeten.

Dank gilt auch all meinen Freunden, die mich während meines Studiums begleitet und unterstützt haben. Vielen Dank für die schöne Zeit! Besonders möchte ich mich bei meinem langjährigen Studienkollegen Paul bedanken, welcher mich immer motiviert hat. Seine engagierte Herangehensweise an das Studium hat es mir mitunter ermöglicht, das Studium annähernd in Mindestzeit zu absolvieren.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meiner Freundin Verena bedanken, die immer für mich da ist und mich stets unterstützt.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Theoretischer Hintergrund.....	3
2.1 Physikalische Grundlagen zu Brechung und Linsen	3
2.1.1 Reflexion und Brechung.....	3
2.1.2 Abbildungen mit Linsen	5
2.2 Schülervorstellungen	7
2.2.1 Schülervorstellungen und Lernen.....	9
2.2.2 Schülervorstellungen zur Optik.....	12
2.3 Testinstrumente zur Abbildung von Schülervorstellungen	20
2.3.1 LPDI	23
2.3.2 TIFOR.....	25
2.3.3 TTGOMT	27
2.3.4 Weitere Testinstrumente.....	28
3. Ziele und Forschungsfragen	30
4. Methodische Vorgangsweise.....	31
4.1 Theoretischer Hintergrund.....	31
4.1.1 Verknüpfung qualitativer und quantitativer Forschung	31
4.1.2 Beschreibung spezieller Methoden.....	33
4.2 Design der empirischen Untersuchung.....	38
4.3 Methodik der Datenerhebung, Datenaufbereitung und Datenauswertung	39
4.4 Beschreibung der Testitems.....	43
5. Datenerhebung.....	53
5.1 Organisatorische Gestaltung.....	53
5.2 Durchführung und Erhebungsinstrumente.....	54
5.3 Beschreibung der Stichprobe	57
5.3.1 Stichprobe des physikalischen Fragebogens	57

5.3.2 Stichprobe des Interviews.....	59
6. Auswertung und Interpretation der Ergebnisse	60
6.1 Auswertung und Interpretation der physikalischen Fragebogen	60
6.1.1 Auswertung der PISA-Skalen.....	60
6.1.2 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse der einzelnen Testitems	62
6.1.3 Folgerungen und Änderungen der Items in Bezug auf Phase 2	84
6.1.4 Gewinnung von Erklärungsdistraktoren.....	85
6.2 Auswertung und Interpretation der Interviews.....	86
6.2.1 Auswertung der PISA-Skalen.....	86
6.2.2 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse der einzelnen Testitems	87
7. Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse.....	121
7.1 Beantwortung der Forschungsfragen.....	121
8. Folgerungen und Ausblick	127
9. Literaturverzeichnis.....	128
10. Abbildungsverzeichnis	134
11. Tabellenverzeichnis.....	137
12. Anhang	138
A – Optikfragebogen_III	138
B - Einverständniserklärung	142
C – Kurzfragebogen.....	143
D - Interviewleitfaden.....	144
E – Zusammenfassung der Interviews	154
F – Lebenslauf	188

1. Einleitung

Die geometrische Optik ist ein wichtiger Bestandteil der Lehrpläne der Schulen des österreichischen Bildungswesens. Wir nehmen einen Großteil unserer Umwelt visuell wahr, daher ist ein grundlegendes Verständnis der Optik wichtig. Die Tatsache, dass die Vorstellungen der Schüler/innen häufig nicht mit den zu lernenden wissenschaftlichen Vorstellungen übereinstimmen, ist eine mögliche Ursache für Lernprobleme. Mit dieser Diplomarbeit wird versucht, einen Beitrag zur Entwicklung eines Testinstruments zur Erhebung solcher Schülervorstellungen zu leisten. Schülervorstellungen auf einfache und verlässliche Art diagnostizieren zu können, wie etwa mit einem Multiple-Choice-Test, soll Lehrkräfte unterstützen Lernprozesse optimaler gestalten zu können. Ziel ist es, bestimmte Testitems durch die Konstruktion von Erklärungsdistraktoren entscheidend zu verbessern. Teile eines am Österreichischen Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik, dem AECCP (Austrian Educational Competence Centre Physics), entwickelten Fragebogens werden im Rahmen dieser Diplomarbeit weiterentwickelt.

Im Anschluss an die Einleitung werden in Kapitel 2 die theoretischen Hintergründe beleuchtet. Hierzu zählen zum einen die physikalischen Grundlagen der geometrischen Optik, insbesondere von Brechung und Linsen. Zum anderen wird Bezug genommen auf die Eigenschaften und Bedeutung von Schülervorstellungen und deren Auswirkungen auf das Lernen. Außerdem wird detaillierter auf bisher ermittelte Schülervorstellungen in der geometrischen Optik eingegangen. Darüber hinaus wird ein Einblick in bisher entwickelte Testinstrumente in der Optik gegeben.

Nach der Formulierung der zentralen Forschungsfragen in Kapitel 3 wird in Kapitel 4 die methodische Vorgangsweise der Untersuchung erläutert. Es werden die Verknüpfung qualitativer und quantitativer Forschung sowie die in dieser Arbeit eingesetzten Methoden beschrieben. Neben dem Untersuchungsdesign werden auch die in dieser Arbeit verwendeten Testitems vorgestellt.

In Kapitel 5 werden neben dem Prozess der Datenerhebung und der dabei verwendeten Erhebungsinstrumente auch die im Zuge dessen beforschte Stichprobe beschrieben.

Kapitel 6 befasst sich schließlich mit der Auswertung und den Ergebnissen der erhobenen Daten. Der Abschnitt 6.1 befasst sich mit der ersten Phase der Untersuchung, in der 131 Fragebogen ausgewertet wurden. Die Resultate führten zur Entwicklung der

Erklärungsdistraktoren, welche die Grundlage der zweiten Phase der Untersuchung bildeten. In dieser Phase werden die entwickelten Erklärungsdistraktoren anhand von 9 qualitativen Interviews auf ihre Verständlichkeit und Akzeptanz von Seiten der Schüler/innen überprüft. Abschnitt 6.2 befasst sich mit der Auswertung der geführten Interviews.

In Kapitel 7 werden die formulierten Forschungsfragen auf Basis der in dieser Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse beantwortet. Schließlich werden in Kapitel 8 Folgerungen und Ausblick gegeben.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Physikalische Grundlagen zu Brechung und Linsen

Die Optik, ein Teilgebiet der Physik, befasst sich mit den Eigenschaften des Lichts. Die geometrische Optik oder Strahlenoptik behandelt die Ausbreitung von Licht in eng begrenzten Strahlenbündeln. Sie ist eine Vereinfachung, bei der die Welleneigenschaften des Lichts vollständig vernachlässigt werden, welche die Lichtausbreitung für kleine Wellenlängen mit ausreichender Näherung beschreibt. Die Oberfläche eines selbst leuchtenden oder beleuchteten Körpers kann mit einer sehr großen Anzahl punktförmiger Lichtquellen beschrieben werden und von jeder dieser Lichtquellen gehen Kugelwellen aus. Durch eine Blende kann man aus einer Kugelwelle ein begrenztes Lichtbündel erzeugen. In der geometrischen Optik wird der Vorgang so beschrieben, dass eine Punktlichtquelle „Lichtstrahlen“ in alle Raumrichtungen aussendet. In der Natur kann man jedoch keine einzelnen „Lichtstrahlen“ beobachten, sondern nur Lichtbündel. Die Grundgesetze der geometrischen Optik sind die geradlinige Ausbreitung des Lichts in homogenen Medien, das Reflexionsgesetz und das Snelliussche Brechungsgesetz. In einem homogenen Medium sind die Eigenschaften, in unserem Fall die optischen, unabhängig vom Ort. Weiters sind die Strahlengänge umkehrbar und Lichtbündel durchkreuzen einander, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen. (vgl. Hecht, 2005, S. 252 ff.; Zinth & Zinth, 2005, S. 67 ff.; Haferkorn, 2003 S. 11 ff.)

2.1.1 Reflexion und Brechung

Die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie kann durch das Reflexionsgesetz und das Brechungsgesetz beschrieben werden. Die Richtungsänderung bei der Reflexion ist unabhängig vom jeweiligen Medium, bei der Brechung ist das hingegen nicht der Fall. Die Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum beträgt ca. $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, in einem durchsichtigen Medium wie Luft, Wasser oder Glas ist sie geringer. Dies wird durch den Brechungsindex bzw. die Brechzahl n beschrieben. Sie beschreibt das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum zur Lichtgeschwindigkeit c_n im Medium:

$$n = \frac{c}{c_n}$$

In der Luft beträgt die Brechzahl ca. 1,0003, in Wasser 1,33 und in Glas variiert sie je nach Art des Glases zwischen 1,50 und 1,66. Trifft ein Lichtstrahl auf die Grenzfläche zwischen zwei Medien, so wird ein Teil des Lichts reflektiert und ein Teil gelangt in das zweite Medium. In Abb. 1 wird dieser Vorgang veranschaulicht. Das Einfallslot sowie einfallender, reflektierter und gebrochener Strahl liegen in einer Ebene. Alle auftretenden Winkel werden immer zum Einfallslot gemessen.

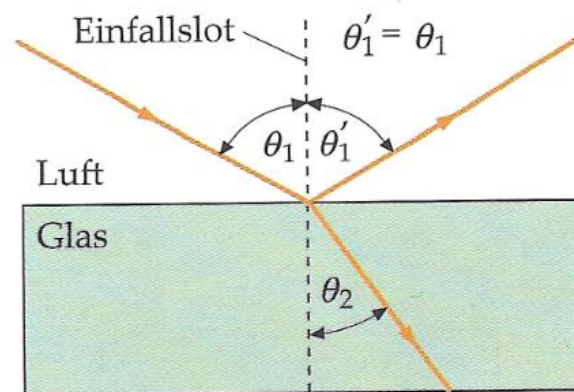


Abb. 1: Reflexion und Brechung an der Grenzfläche zweier Medien (Tipler & Mosca, 2009, S. 1199)

Das Reflexionsgesetz besagt, dass der Einfallswinkel θ_1 gleich dem Reflexionswinkel θ'_1 ist. Es ist sowohl für die Reflexion an glatten Oberflächen (Spiegelreflexion) als auch für die Reflexion an unregelmäßigen Oberflächen (diffuse Reflexion) gültig. Bei der diffusen Reflexion werden parallele Strahlen in unterschiedliche Richtungen reflektiert, wobei jeder Strahl dem Reflexionsgesetz unterliegt (siehe Abb. 2).

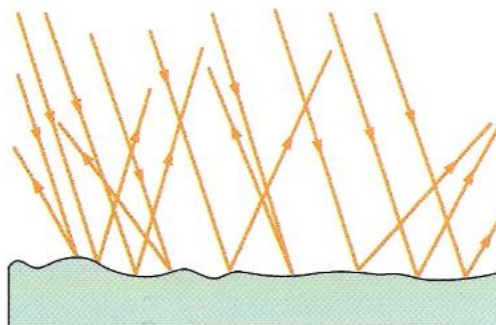


Abb. 2: Diffuse Reflexion an einer rauen Oberfläche (Tipler & Mosca, 2009, S. 1202)

Trifft das Licht nicht senkrecht auf die Grenzfläche, so ändert der durchgelassene Strahl seine Ausbreitungsrichtung. Dieser Effekt wird Brechung genannt. Der Brechungswinkel ist abhängig vom Einfallswinkel und dem Verhältnis der Lichtgeschwindigkeiten in den beiden Medien.

Es gilt das Snelliussche Brechungsgesetz:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Ein Lichtstrahl, der von einem optisch dünneren Medium (z.B. Luft) in ein optisch dichteres Medium (z.B. Wasser) übergeht, wird zum Lot hin gebrochen. Ein Lichtstrahl, der von einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium übergeht, wird vom Lot weg gebrochen.

Wenn beim Übergang von einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium der Einfallswinkel einen kritischen Wert erreicht, dann kommt es zur Totalreflexion, d.h., kein Strahl tritt in das dünnere Medium aus und es kommt zu keiner Brechung.

(vgl. Tipler & Mosca, 2009, S. 1199 ff.)

2.1.2 Abbildungen mit Linsen

Die Linse ist das meistgenutzte optische Gerät, darüber hinaus sehen wir die Welt durch zwei Augenlinsen. Eine Linse ist ein optisches Bauelement bestehend aus mindestens zwei lichtbrechenden Flächen, wobei zumindest eine von ihnen eine Krümmung besitzt. Der Großteil heutiger Linsen besteht aus sphärischen Flächen, also Segmenten von Kugelflächen, welche hindurchgehende Strahlen zweimal brechen. Man unterscheidet zwischen konvexen Linsen (Sammellinsen) und konkaven Linsen (Zerstreuungslinsen). Sammellinsen sind in der Mitte dicker als am Rand, parallel zur optischen Achse einfallende Strahlen treffen sich im Brennpunkt F' hinter der Linse. Zerstreuungslinsen sind in der Mitte dünner als am Rand, parallel zur optischen Achse einfallende Strahlen werden so gebrochen als kämen sie von einem vor der Linse liegenden Brennpunkt F' . (siehe Abb. 3)

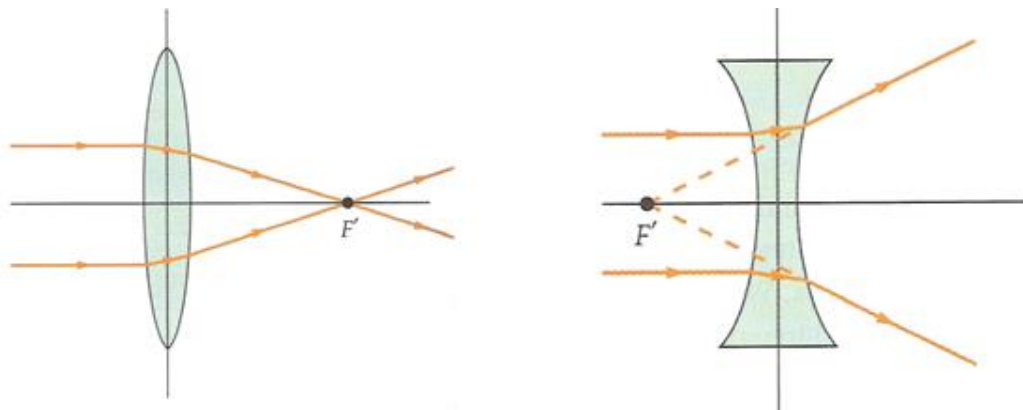


Abb. 3: Strahlengang bei einer Sammell- und einer Zerstreuungslinse (Tipler & Mosca, 2009, S. 1254)

Allgemein bezeichnet man jene Ebene, in der parallel einfallende Strahlen fokussiert werden als Brennebene und deren Schnittpunkt mit der Achse als Brennpunkt. Der Abstand von der Linsenmitte wird als Brennweite f bezeichnet. Der Kehrwert der Brennweite einer Linse wird Brechkraft genannt und besitzt die Einheit Dioptrie.

Bei der Abbildung eines Gegenstandes durch ein optisches System können unterschiedliche Bilder entstehen:

„Allgemein ist ein Bild eine Stelle, wo sich entweder die Strahlen des Büschels selbst oder ihre Verlängerungen in einem Punkt schneiden: reelles bzw. virtuelles Bild.“ (Meschede, 2004, S. 482)

Reelle Bilder entstehen hinter dem abbildenden Instrument und können direkt beobachtet oder von einem Schirm aufgefangen werden. Bei virtuellen Abbildungen liegt das optische Instrument zwischen Beobachter und Bildpunkt. Virtuelle Bilder können nicht mit einem Schirm aufgefangen werden und nur durch ein zusätzliches optisches System, wie etwa der Augenlinse, betrachtet werden.

Die Position der Abbildung durch eine dünne Linse ist leicht zu berechnen. Die Lichtstrahlen, die von jedem Punkt des leuchtenden oder beleuchteten Körpers in alle Richtungen ausgehen, können auf drei ausgezeichnete Strahlen reduziert werden (siehe Abb. 4):

- Der Parallelstrahl wird so gebrochen, dass er durch den zweiten Brennpunkt der Linse verläuft.
- Der Mittelpunktstrahl verläuft ohne Richtungsänderung durch die Linsenmitte.

- Der Brennpunktstrahl verläuft durch den ersten Brennpunkt und tritt achsenparallel aus.

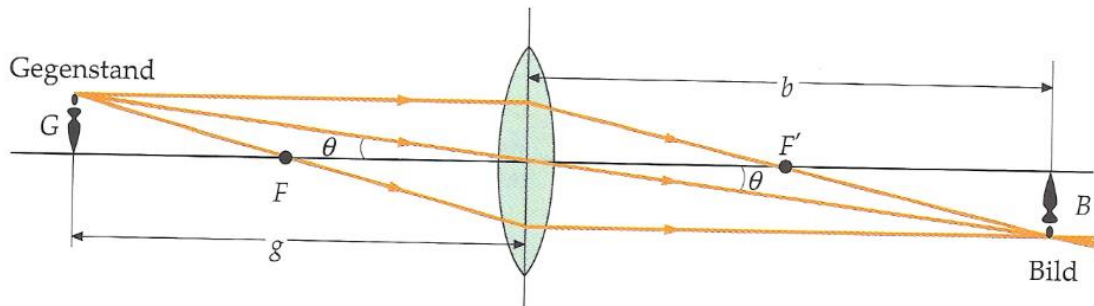


Abb. 4: Bildkonstruktion bei einer dünnen Sammellinse (Tipler & Mosca, 2009, S. 1257)

Die Position des Bildes kann außerdem mithilfe der Abbildungsgleichung für dünne Linsen bestimmt werden:

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Wobei g die Gegenstandsweite bezeichnet, also den Abstand des Gegenstandes von der Hauptebene der Linse und b die Bildweite.

(vgl. Tipler & Mosca, 2009, S. 1249 ff.; Hecht, 2005, S. 254 ff.; Zinth & Zinth, 2005, S. 84 ff.; Haferkorn, 2003, S. 180 ff.)

2.2 Schülervorstellungen

Das vorliegende Kapitel behandelt die wichtigsten Aspekte von Schülervorstellungen und deren Bedeutung für den Unterricht und das Lernen.

Schüler/innen besitzen bereits tief verankerte Vorstellungen zu Phänomenen, Begriffen und Prinzipien, bevor diese im Unterricht behandelt werden. Aufgrund der Tatsache, dass viele dieser Vorstellungen nicht mit den zu lernenden wissenschaftlichen Vorstellungen übereinstimmen, sind sie eine Ursache vieler Lernschwierigkeiten. (vgl. Duit, 2009a, S. 605)

In seiner Forschungsarbeit stellte Ausubel (1968, S. VI) das Vorwissen von Schüler/innen in den Mittelpunkt und betonte dessen Bedeutung für den Unterricht: "If I had to reduce all of educational psychology to just one principle, I would say this: The most important

single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly.”

Seit den 1970er Jahren wurde in der Fachdidaktik viel über die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern geforscht. In der Bibliografie „Students‘ and Teachers‘ Conceptions and Science Education“ (STCSE) von Duit (2009b) zeigt sich die Vielzahl an empirischen Studien, die in diesem Bereich durchgeführt worden sind.

Zu den vorunterrichtlichen Wissens- und Denkstrukturen der Schüler/innen existieren in der deutschsprachigen Literatur unterschiedliche Begriffe, wie etwa „Schülervorstellungen“, „Alltagstheorien“, „Fehlkonzepte“ oder „Präkonzepte“. Gleiches gilt für den englischen Sprachraum, wo Begriffe wie „misconceptions“, „alternative frameworks“ oder etwa „pupils‘ alternative conceptions“ verwendet werden. Sie können weitgehend als synonym angesehen werden. In der vorliegenden Arbeit wird vorwiegend der Begriff Schülervorstellungen verwendet. (vgl. Wiesner et al., 2011, S. 34; Wodzinski, 2011, S. 23)

Eigenschaften und Bedeutung von Schülervorstellungen

In Zusammenfassungen der empirischen Ergebnisse von Wiesner (2008, S. 4), Wiesner, Schecker und Hopf (2011, S. 34) und Niedderer und Schecker (1992, S. 80) lassen sich folgende Charakteristika von Schülervorstellungen erkennen:

- Lerner/innen bringen ein Inventar von Vorstellungen und Denkweisen zu physikalischen Begriffen und Phänomenen mit in den Unterricht, die sich aus Alltagserfahrungen gebildet und im umgangssprachlichen Gebrauch bewährt haben.
- Bereichsspezifische Untersuchungen zeigen international ähnliche Ergebnisse.
- Die vorunterrichtlichen Vorstellungen passen häufig nicht zu den entsprechenden physikalischen Konzepten, oft widersprechen sie diesen.
- Sie erscheinen aus Sicht der Lehrenden oftmals in sich widersprüchlich und haben trotzdem eine gewisse innere Logik.
- Schüler/innen aktivieren unterschiedliche Konzepte in Situationen, die für Physiker äquivalent sind.

- Die Vorstellungen sind bei jedem/jeder Lernenden individuell geformt und lassen sich dennoch nach typischen Mustern beschreiben.
- Sie sind teilweise recht stabil gegen die Lehrangebote im Physikunterricht und müssen daher für die Unterrichtsplanung besonders berücksichtigt werden.
- Schüler/innen passen ihre Konzepte der jeweiligen Situation an.
- Schüler/innen beobachten und argumentieren kontextabhängig. Das bedeutet, durch Experimente lassen sie sich nur begrenzt überzeugen.
- Die alltagsbasierten vorunterrichtlichen Vorstellungen bilden zusammen mit den im zurückliegenden Unterricht entwickelten Vorstellungen das Vorwissen, mit dem Lerner sich die Bedeutung der neuen Unterrichtsinhalte konstruieren.

Die zentralen Eigenschaften von Schülervorstellungen zeigen, wie vielfältig und komplex diese sind und wie wichtig deren Berücksichtigung für den Unterricht ist, um Lernen zu ermöglichen.

2.2.1 Schülervorstellungen und Lernen

Um als Lehrkraft die Lernschwierigkeiten von Schüler/innen berücksichtigen zu können, ist es wichtig, deren Ursache zu kennen. Neben den Schülervorstellungen zu physikalischen Phänomenen müssen auch noch Vorstellungen über die physikalische Erkenntnisgewinnung berücksichtigt werden. Viele Schüler/innen sind der Auffassung die Physik bilde die Wirklichkeit eins zu eins ab und betrachten Modelle als Wirklichkeit. Weiters begründen auch Vorstellungen darüber, wie wir lernen, eine wesentliche Quelle von Lernschwierigkeiten. (vgl. Duit, 2009a, S. 609; Wiesner, 2008, S. 4)

Konstruktivistische Sicht des Lernens

Über unsere Sinneskanäle nehmen wir Sinnesdaten auf, z.B. Schriftzeichen, Tafelbilder, Gestalten, experimentelle Anordnungen, Laute. Diese Sinneseindrücke sind zunächst nichts weiter als bloße Daten, die noch keine Bedeutung für den Empfänger haben. Bedeutung können diese Sinnesdaten nur mit Hilfe der bei den Empfängern bereits vorhandenen Denk- und Wissensstrukturen erhalten, die im Langzeitgedächtnis gespeichert sind. (Wiesner et al., 2011, S. 29)

Wie bereits erwähnt, weichen die Schülervorstellungen vielfach von den physikalischen Vorstellungen ab. Dadurch entstehen Lernschwierigkeiten, denn der Lernende konstruiert entweder überhaupt keine Bedeutung oder andere Bedeutungen als von der Lehrkraft beabsichtigt. Deshalb kann man als Lehrkraft Informationen nicht direkt an Schüler/innen weitergeben, sondern ihnen lediglich geeignete Daten anbieten, welche sie sich aufgrund ihres Vorwissens erschließen. Diese können dann zu Informationen verarbeitet werden, die für Lernprozesse wirksam werden. Den Großteil unserer Wissensstrukturen erwerben wir aufgrund von Erfahrungen im alltäglichen Leben. Das führt dazu, dass Lernende die im Alltag bewährten Vorstellungen zur Erklärung von neuen Zusammenhängen heranziehen. Für eine erfolgreiche Gestaltung des Unterrichts ist folglich die Kenntnis und Berücksichtigung von Schülervorstellungen von großer Bedeutung. Dies ermöglicht nicht nur eine bessere Planung und Durchführung des Unterrichts, sondern auch eine Verbesserung der Kommunikation zwischen Lehrenden und Lernenden. Wenn Lehrende sich in die Denkweisen der Schüler/innen hineinversetzen, können sie deren Äußerungen zutreffender interpretieren. Die Denkweisen einzelner Schüler werden zusätzlich von der Lernumgebung, also auch von Sichtweisen der Mitschüler, geprägt. (vgl. Wiesner, 2008, S. 4 f.; Wiesner et al., 2011, S. 29 ff.)

Kurz zusammengefasst: Jeder ist seines Wissens Schmied. Jeder macht sich sein eigenes Bild von allem, was im Unterricht als Lernumgebung angeboten wird (z.B. vom Lehrervortrag, von Experimenten, von Bildern, Graphen und Zeichnungen). Die Konstruktionen des Einzelnen werden davon bestimmt, was bereits „im Kopf“ ist (also von den vorhandenen Vorstellungen), in welcher Gruppe und mit welchem Unterrichtsmaterial gearbeitet wird. (Duit, 2009, S. 612)

Konzeptwechsel

Häufig unterscheiden sich alltägliche und physikalische Sichtweise deutlich voneinander und es bedarf einer Um- oder Neustrukturierung, welche als Konzeptwechsel bezeichnet wird. Ziel ist es nicht Alltagskonzepte auszulöschen, sondern die Schüler/innen davon zu überzeugen, dass die physikalische Sicht- und Beschreibungsweise in bestimmten Situationen dem Alltagsdenken deutlich überlegen ist. (vgl. Duit, 2009a, S. 615; Wiesner, et al., 2011, S. 48 f.)

Posner, Strike, Hewson und Gertzog (1982, S. 214) geben folgende Bedingungen für einen Konzeptwechsel an:

- 1) Die Lernenden müssen mit ihren bereits vorhandenen Vorstellungen unzufrieden sein.
- 2) Die neue Vorstellung muss klar verständlich (nachvollziehbar) sein.
- 3) Die neue Vorstellung muss von Anfang an plausibel (einleuchtend) sein.
- 4) Die neue Vorstellung soll fruchtbar erscheinen, d.h., sie soll erfolgreich auf neue Situationen angewandt werden können.

Unter Berücksichtigung dieser Bedingungen werden in der fachdidaktischen Literatur häufig folgende Strategien des Konzeptwechsels angeführt: (vgl. Jung, 1986, S. 6; Wiesner et al., 2011, S. 50 f.; Duit, 2009a, S. 617)

- Anknüpfungsstrategie: Ausgehend von Vorstellungen des Lernenden, welche nicht oder wenig mit dem wissenschaftlichen Verständnis kollidieren, wird ein möglichst bruchloser Übergang hin zur physikalischen Sichtweise angestrebt.
- Brückenstrategie: Das Einfügen von Zwischenschritten soll den Konzeptwechsel erleichtern.
- Konfrontationsstrategie: Im Gegensatz zur Anknüpfungsstrategie geht man hier von Schülervorstellungen aus, die den wissenschaftlichen Vorstellungen konträr gegenüberstehen, um auf diese Weise kognitive Konflikte zu erzeugen.
- Umdeutungsstrategie: Hier versucht man die Bereitschaft der Lernenden zu einem Konzeptwechsel zu erhöhen, indem man ihnen vermittelt, dass ihre Vorstellung eine sinnvolle physikalische Bedeutung hat. Durch Umdeutung ihrer Vorstellung soll auf kontinuierlichem Weg die gewünschte Vorstellung entwickelt werden.

Die Vorstellungen die Schüler/innen in den Unterricht mitbringen sind zugleich notwendiger Anknüpfungspunkt und Lernhemmnis. Da sie häufig nicht mit den zu lernenden physikalischen Vorstellungen übereinstimmen, ist das Lernen von Physik fast immer mit einem Konzeptwechsel bei den Schüler/innen verbunden. Trotz des Wissens über die Bedeutung von Schülervorstellungen werden sie im Physikunterricht nicht angemessen berücksichtigt. Als möglicher Grund kann der zeitliche Aufwand der Erhebung von Schülervorstellungen und des darauf folgenden Wechsels hin zu den physikalischen Vorstellungen genannt werden.

Ein Hauptziel dieser Arbeit ist es, die Erhebung von Schülervorstellung im Bereich der Optik zu erleichtern, damit diese für die Unterrichtsplanung berücksichtigt werden können.

2.2.2 Schülervorstellungen zur Optik

Zu Schülervorstellungen in verschiedenen Gebieten der Physik liegt eine Vielzahl an Untersuchungen vor. Die Mechanik ist, gefolgt von der Elektrizitätslehre, jenes Teilgebiet, in dem die häufigsten Untersuchungen publiziert wurden (vgl. Duit, 1993, S. 16). Aber auch die Schülervorstellungen im Bereich der Optik sind gründlich untersucht worden (vgl. Wiesner, 2009b, S. 5). Durch zahlreiche Untersuchungen in den letzten Jahrzehnten konnten häufig auftretende Schülervorstellungen in der Optik ermittelt werden. Jene, welche grundlegend für das Verständnis von Brechung und Linsen sind, werden im folgenden Kapitel dargestellt.

Das Sehen von Gegenständen

Guesne (1985, S. 11 ff.) untersuchte in Frankreich die Vorstellungen von 10- bis 15-jährigen Kindern zu Licht, welche zuvor keinen Unterricht in Optik erhalten hatten. Die Untersuchung ergab, dass bei 10- bis 11-Jährigen der Sehvorgang einerseits daran geknüpft ist, dass man die Augen aufmacht und andererseits daran, dass es „hell“ ist. Der Zustand von Helligkeit kann auch als Umgebungslicht oder Lichtbad beschrieben werden. Bei 13- bis 14-Jährigen zeigte sich, dass sich die Vorstellungen zum Sehvorgang gewandelt hatten. Sie haben Vorstellungen von Lampen als Lichtquellen, von welchen Licht (geradlinig) ausgesendet wird. Wenn nun Licht auf einen Gegenstand trifft, dann wird dieses sichtbar. Jedoch ist dies noch keine vollständige physikalische Beschreibung, denn es fehlt die Vorstellung, dass ein Teil der Strahlung vom Gegenstand absorbiert und der Rest reflektiert wird. Der reflektierte Anteil muss in der Folge ins Auge fallen und der Gegenstand auf der Retina abgebildet werden. Bei beiden Vorstellungen besteht also keine Verbindung zwischen Auge und Gegenstand. Wenige Kinder stellen sich den Sehvorgang als eine Bewegung vom Auge auf den Gegenstand vor. Nur sehr wenige Schüler/innen haben eine physikalische Vorstellung des Sehvorgangs, also dass Licht von einer Quelle auf das Objekt fällt und ins Auge reflektiert wird, insbesondere wenn das Objekt nicht selbstleuchtend ist. Die Ergebnisse des Interviewmaterials über die Entwicklung einer

Theorie des Sehvorgangs sind in Abb. 5 zu sehen. (vgl. Rhöneck & Niedderer, 2006, S. 61 f.)

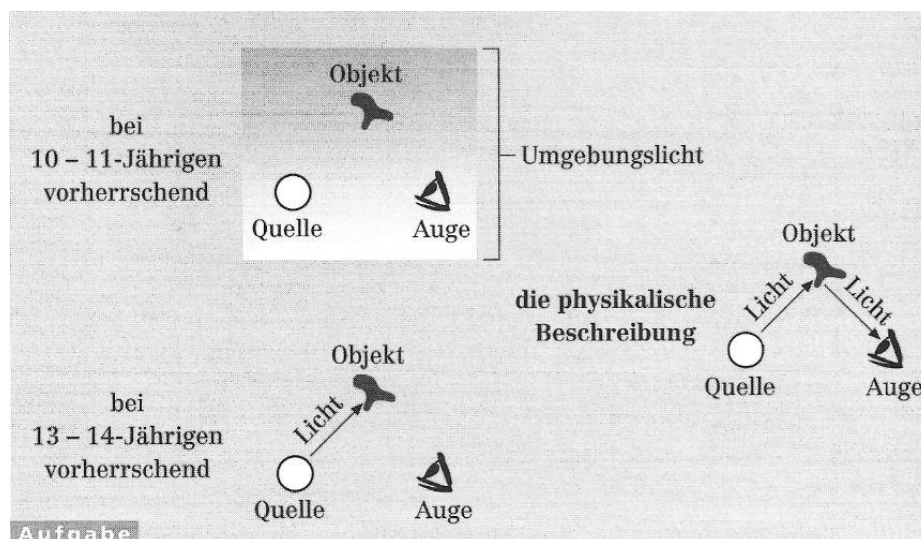


Abb. 5: Die Entwicklung einer Theorie des Sehvorgangs (Rhöneck & Niedderer, 2006, S. 62 mod. n. Guesne, 1985, S. 28)

Wiesner (1992, S. 287) kommt bei seiner Untersuchung zu ähnlichen Ergebnissen:

- Schüler/innen sehen es als Bedingung, dass Licht vorhanden sein muss, damit Gegenstände sichtbar sind.
- In mündlichen Befragungen waren zwei Drittel der befragten Schüler/innen der Meinung, dass von einer Taschenlampe kein Licht in das Auge einer Beobachterin fallen muss, damit sie die Taschenlampe sehen kann.
- Bei einer schriftlichen Befragung der gleichen Situation sagte etwa ein Drittel der Schüler/innen, dass kein Licht zur Beobachterin kommt, diese jedoch gleichwohl etwas sehen könne.

Eine physikalisch richtige Vorstellung des Sehvorgangs ist grundlegend für das Verstehen anderer optischer Phänomene. Ist diese nicht vorhanden, ergeben etwa strahlenphysikalische Bildkonstruktionen für die Abbildung von Gegenständen durch Sammellinsen keinen Sinn. Denn wenn man der Meinung ist, dass vom Gegenstand kein Licht zur Linse strömt, kann die Strahlenkonstruktion keinen Sinn haben. (vgl. Wiesner, 1992, S. 287)

Ausbreitung von Licht

Viele Schüler/innen verstehen Licht als Zustand und nicht als Vorgang. Beispielsweise breitet sich Licht beim Einschalten einer Taschenlampe aus, bis es auf einen Gegenstand trifft. Dann ist ein statischer Zustand erreicht und Licht bleibt auf der auftreffenden Oberfläche liegen. Es besteht die Vorstellung einer Lichtquelle, welche einen „hell machenden Zustand“ erzeugt, wodurch das Sehen von Gegenständen ermöglicht wird und nicht jene von Licht als kontinuierlichen Strom. Nur die Einschaltphase wird als dynamisch angesehen, der Zustand danach jedoch als statisch. (vgl. Wiesner, 2009b, S. 5)

Weiters zeigt sich die Vorstellung, dass die Reichweite der Lichtausbreitung beschränkt ist. Die Schüler/innen sind zwar der Auffassung, dass sich Licht nur begrenzt weit ausbreitet, gleichzeitig sind sie jedoch der Meinung, dass man eine Lichtquelle auch außerhalb des Bereichs der Lichtausbreitung sehen könne. Es zeigt sich auch die von Guesne (1985, S. 11 ff.) erhobene Vorstellung, dass zum Sehen der Lichtquelle kein Licht ins Auge gelangen muss. (vgl. Wiesner, 1986, S. 25 f.)

Wiesner (2009b, S. 5) vermutet, dass jene Vorstellungen von Beobachtungen von Autoscheinwerfern bei Nacht, wo der Eindruck einer scharf begrenzten Reichweite von 60 m bis 80 m entsteht, herrühren. Hingegen tritt die Vorstellung einer begrenzten Reichweite bei der Ausbreitung des Sonnenlichts nicht auf. Hier zeigt sich das gleichzeitige Vorhandensein inkonsistenter Vorstellungen.

Brechung und optische Hebung

In ihrer Untersuchung erhoben Andersson und Kärqvist (1983, S. 387 ff.) die Vorstellungen von 12- bis 15-jährigen schwedischen Schüler/innen zu Licht und seinen Eigenschaften. In der neunjährigen schwedischen Gesamtschule wird Optik gewöhnlich in der achten Schulstufe unterrichtet. Die Optik wird hauptsächlich im Zuge der geometrischen Optik behandelt. Die Schüler sind dann ungefähr 14 Jahre alt. Zur Untersuchung der Schülervorstellungen zur Brechung stellten sie die Frage, weshalb ein Stück Plastilin am Boden eines Kübels nach Einfüllen von Wasser sichtbar wurde. Das Plastilin war vorher nicht sichtbar und es änderte seine Position ebenso nicht, wie der Kübel und der Beobachter. Die Antworten wurden kategorisiert, einige Ergebnisse sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Erklärungen von Schüler/innen zum Phänomen der Brechung (mod. n. Andersson & Kärrqvist, 1983, S. 396)

	A: Alltagsvorstellungen	B: Reflexion, Spiegelung	C: Brechung
6. Schulstufe (12 Jahre)	51%	6%	14%
7. Schulstufe (13 Jahre)	58%	5%	20%
8. Schulstufe (14 Jahre)	34%	6%	50%
9. Schulstufe (15 Jahre)	29%	6%	49%

Unter „A: Alltagsvorstellungen“ wurden Antworten wie „das Wasser macht es leichter, deutlicher, erhöht den Kontrast; Plastilin ist vergrößert; Plastilin scheint sich bewegt zu haben; Plastilin ist gespiegelt wie in einem Spiegel“ eingeordnet.

In die Kategorie „B: Reflexion, Spiegelung“ wurden Antworten wie „das Plastilin wird im Wasser reflektiert“ oder „die Seite, auf der der Blick landet, fungiert als Spiegel, weil Wasser im Kübel ist“ zugeordnet.

Antwortbeispiele für die Kategorie „C: Brechung“ sind: „Wenn du runter in das Wasser schaust, wird dein Blick in einem Winkel gebogen, dass du sie sehen kannst; Die Sicht wird an der Wasseroberfläche zum Lot gebrochen; Wasser bricht das Licht“ oder „Weil, wenn die Lichtstrahlen auf die Wasseroberfläche treffen, werden sie gebrochen“; Licht wird im Wasser gebrochen.“

Die Kategorien B und C wurden in drei Subkategorien unterteilt, „Richtung vom Auge zum Objekt“, „Undefinierte Richtung“ und „Richtung vom Objekt zum Auge“. Es zeigt sich, dass die Befragten die Richtung der Strahlen sehr viel häufiger vom Auge zum Objekt zeichnen als umgekehrt. Wiesner (1986, S. 28) weist daraufhin: „Vermutlich symbolisieren die Schüler mit diesen Pfeilen die Blickrichtung und nicht die Strömungsrichtung des Lichtes.“ Er sieht hier keinen Grund, auf eine Sehstrahlenvorstellung einer großen Anzahl von Kindern zu schließen.

Andersson und Kärrqvist (1983, S. 398) schätzen den Prozentanteil der Schüler/innen welche eine physikalisch richtige Vorstellung vom Brechungsvorgang haben auf 13% (6. Schulstufe), 14% (7. Schulstufe), 28% (8. Schulstufe) und 34% (9. Schulstufe). Unter der Annahme, dass jene Antworten, welche der Kategorie „C: Brechung“ und den Subkategorien „Undefinierte Richtung“ und „Richtung vom Objekt zum Auge“ zugeordnet werden, auf einer physikalischen Vorstellung beruhen.

In einer Untersuchung von Claus, Stork und Wiesner (1982, zit. n. Wiesner, 1986, S. 28) konnten alle acht Schüler/innen den Ort des Bildes bei der optischen Hebung (Beobachtung senkrecht von oben) richtig angeben und zeigen. Es scheint als würden Schüler/innen akzeptieren, ein Bild eines Gegenstandes an einem Ort zu sehen, an dem sich der Gegenstand aber mit Sicherheit nicht befindet.

Kaewkhong, Mazzolini, Emarat und Arayathanitkul (2010, S. 97 ff.) haben die Vorstellungen von 15- bis 17-jährigen thailändischen Schüler/innen zur Lichtbrechung an einer ebenen Oberfläche nach dem Optikunterricht untersucht. Anhand eines eingetauchten Gegenstandes, in einem mit Wasser gefüllten Behälter, welcher von einem Beobachter schräg von oben betrachtet wird, wurden die Vorstellungen erhoben. Die Schüler/innen hatten die Aufgabe das Lichtstrahlenmodell zur Beantwortung der Fragen zu verwenden. Die Vorstellungen der Schüler/innen können in drei Hauptbereiche kategorisiert werden:

- Vorstellungen über die Ausbreitungsrichtung des Lichts, welches dem Beobachter das Sehen des Gegenstandes ermöglicht.
 - Lichtstrahlen werden vom Auge zum Objekt gezeichnet.
 - Lichtstrahlen werden vom Auge zum Bild gezeichnet.
 - Lichtstrahlen werden vom Bild zum Auge gezeichnet.
 - Lichtstrahlen werden vom Objekt zum Auge gezeichnet, aber das Bild wird gesehen wenn ein Lichtstrahl vom Auge zum Bild verläuft.
- Vorstellungen über Brechung von Lichtstrahlen an einer Oberfläche.
 - Es herrscht Unklarheit über die Bedeutung von Reflexion und Brechung.
 - Lichtstrahlen werden so gezeichnet, dass sie beim Übergang von einem dünneren Medium in ein dichteres Medium vom Lot weg gebrochen werden und umgekehrt.
 - Es wird eine direkte Linie zwischen Objekt und Auge gezeichnet, also ohne Brechung an der Grenzfläche.

- Vorstellungen bezüglich der Bestimmung der Position, an dem der Gegenstand vom Beobachter gesehen wird.
 - Die Position des Bildes wird durch Reflexion bestimmt.
 - Das Bild wird gesehen, weil der Strahl zwischen Auge und Bild an der Grenzfläche gebrochen wird.
 - Die Bildposition ist nicht abhängig von der Position des Gegenstandes.

Kaewkhong et al. (2010, S. 97 ff.) haben in ihrer Studie fälschlicherweise angenommen, dass ein unter Wasser liegender Gegenstand am Ort des meridionalen Bildes (also dem Beobachter entgegengerückt) gesehen wird. Die Untersuchung von Quick und Grebe-Ellis (2011, S. 10 f.) zeigt jedoch, dass der Gegenstand beim monokularen Sehen, dem Sehen mit einem Auge, lotrecht über dem tastbaren Gegenstand am Ort des sagittalen Bildes gesehen wird. Beim Sehen mit beiden Augen wird der Gegenstand unter Wasser an der Stelle gesehen, wo sich die beiden Sehlinien der Augen kreuzen. Wenn das Augenpaar horizontal zur Grenzfläche liegt, dann wird der Gegenstand am Ort des sagittalen Bildes gesehen. Wenn der Kopf geneigt wird und sich das Augenpaar also vertikal zur Grenzfläche befindet, dann schneiden sich die Sehlinien bereits vor dem sagittalen Bild. Der Gegenstand erscheint dem Beobachter somit entgegengerückt. Berücksichtigt man dies, so haben in der Studie von Kaewkhong et al. (2010, S. 102) in etwa 51% der Schüler/innen das virtuelle Bild des Gegenstands an der richtigen Position lokalisiert.

Sammellinse

Laut Wiesner (1986, S. 28) assoziieren viele Kinder die Sammellinse mit dem Phänomen, dass man damit Papier anzünden kann und jenem der Bildentstehung.

a) Das Anzünden von Papier mithilfe einer Sammellinse

Guesne (1985; zit. n. Wiesner, 1986, S. 28) fand bei ihren Untersuchungen zwei in etwa gleichhäufig geäußerte Vorstellungen:

- „Das Vergrößerungsglas verstärkt das Licht“. Es ist also mehr Licht bzw. es sind mehr Strahlen hinter der Linse. Auch trat die Vorstellung auf, dass es vor und hinter der Linse gleich viele Strahlen gibt, diese aber hinter der Linse stärker sind.

- Vor der Linse ist gleich viel Licht wie dahinter, jedoch wird das Licht konzentriert. Varianten hiervon sind die Bündelung in Form eines Lichtkegels oder dass ein Strahl die Linsenmitte verlässt.

b) Bildentstehung bei einer Sammellinse

Das Konzept Punkt-zu-Punkt-Abbildung, also das Ausgehen eines Strahlen- oder Lichtkegels von einem Gegenstandspunkt, der durch die Linse wieder in einem (Bild)Punkt zusammengeführt wird, ist in der Untersuchung von Andersson und Kärqvist (1982, zit. n. Wiesner, 1986, S. 28) bei den 14- bis 15-jährigen Befragten überhaupt nicht vorhanden. Zur Beantwortung der Frage nach der Entstehung eines reellen Bildes bei einer Sammellinse griff kein/e Schüler/in auf dieses Konzept zurück, obwohl sie bereits Optikunterricht erhalten hatten. Am Häufigsten trat die Erklärung einer Spiegelung/Reflexion durch die Linse auf. In der Regel wurde einem Gegenstandspunkt nur ein Strahl zugeordnet und nicht ein divergierendes Bündel.

Wiesner et al. (2011, S. 40 f.) nennen folgende Schülervorstellungen bei der Abbildung durch eine Sammellinse:

- Eine „holistische“ Auffassung des Abbildungsvorganges ist, auch nach Optikunterricht, sehr verbreitet. Wie in Abb. 6 wandert das Bild als Ganzes von der Leuchtfigur zur Linse. Jene Schüler/innen die wissen, dass das entstehende Bild seiten- und höhenverkehrt ist, haben häufig die Vorstellung, dass das Bild in der Linse umgedreht wird und als Ganzes die Linse verlässt.
- Für den Abbildungsvorgang ist die Linsenmitte von besonderer Bedeutung. Wenn diese zerkratzt oder abgedeckt ist, entsteht nach Meinung der Schüler/innen kein Bild oder es fehlt der mittlere Teil.

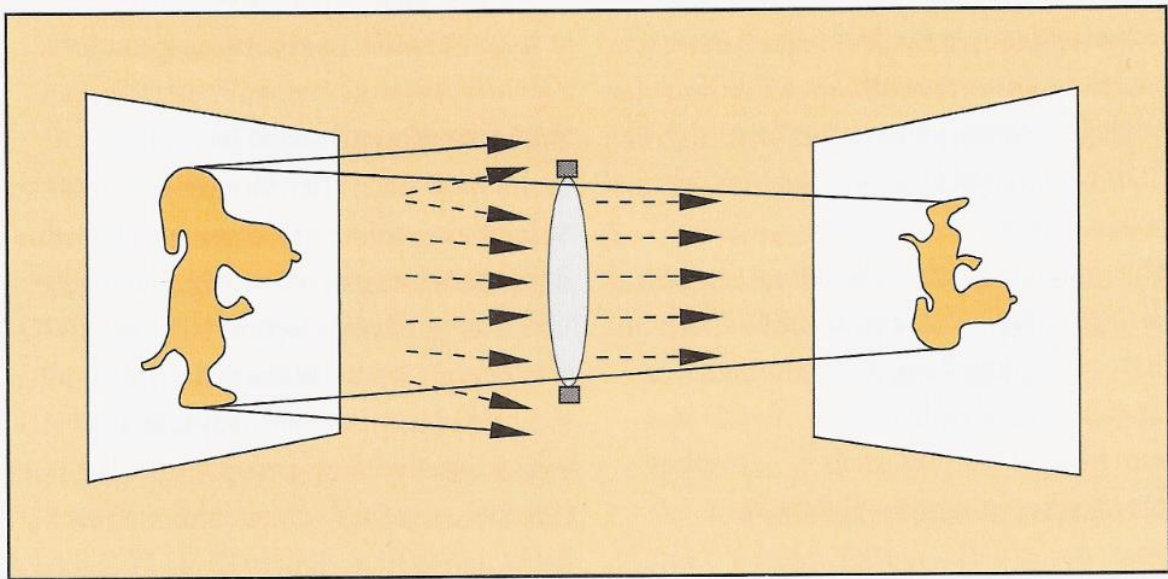


Abb. 6: Schülerskizze mit einer holistischen Abbildung durch eine Linse (Wiesner, Schecker & Hopf, 2011, S. 40)

Wiesner (1992, S. 289) stellt fest, dass auch nach ausführlicher Erklärung der üblichen Fleck-zu-Fleck-Abbildung, eine Vielzahl von Schüler/innen bei Anwendungen auf die holistische Vorstellung zurückgreift. Dies zeigt sich deutlich wenn die Linse abgedeckt wird. Wird beispielsweise vor die Linse eine Ringblende gehalten, erwarten fast alle Schüler eine Veränderung des Bildes. Vermutet wird entweder eine Verkleinerung oder ein Abschneiden des äußeren Randes.

Galili und Hazan (2000a, S. 57 ff.) fassen einige wichtige Forschungsergebnisse zur Bildentstehung bei Linsen zusammen:

- Bei der Bewegung des Schirms zur oder weg von der Linse, wird das Bild größer oder kleiner und bleibt scharf.
- Eine halbabgedeckte Linse produziert nur ein halbes Bild, der Rest des Bildes wird abgeblockt. Das Bild wird als eine Art körperliche Nachbildung gesehen, welche sich bewegt, in Ruhe verharrt oder sich als Ganzes dreht. Es zeigt sich also eine holistische Auffassung.
- Wenn eine Sammellinse entfernt wird, dann ersetzt ein aufrechtes Bild das vorher beobachtete umgedrehte Bild.
- Licht ist nicht notwendig um Bilder zu erzeugen, es hilft uns nur, diese zu sehen.

Goldberg und McDermott (1987, S. 108 ff.) stellten bei Universitätsstudenten und -studentinnen, welche gerade einen Einführungskurs in Physik besucht hatten, ähnliche Vorstellungen fest. Viele sehen den Zweck einer Linse darin, das Bild zu drehen und eventuell seine Größe zu ändern, denn ihrer Meinung nach würde auch ohne Linse ein Bild auf einem Schirm entstehen. Wenn eine Hälfte der Linse abgedeckt würde, entsteht nach Mehrheit der Befragten auch nur ein halbes Bild. Weiters war vielen nicht bewusst, dass für eine bestimmte Entfernung eines Gegenstandes von einer Linse, die Bildposition klar definiert ist.

2.3 Testinstrumente zur Abbildung von Schülervorstellungen

Die vorangegangene Zusammenfassung zeigt die Vielfalt der Vorstellungen von Schüler/innen, die diese vor, während oder auch nach dem Unterricht besitzen. Wie bereits erwähnt, führen diese Schülervorstellungen häufig zu Lernschwierigkeiten. Um dem entgegenzuwirken, ist es wichtig, dass Lehrkräfte über die Vorstellungen der Lernenden Bescheid wissen. Anschließend können unterrichtliche Interventionen gesetzt werden oder etwa neue Lehrgänge, wie jener von Wiesner (2009, S. 5 ff.), entwickelt werden. Hierzu bedarf es Instrumente zur Erhebung ebendieser Vorstellungen.

Zur Erhebung von Schülervorstellungen gibt es unterschiedliche empirische Forschungsmethoden. Interviews und offene Fragebögen bieten die Möglichkeit einen tief gehenden Einblick in vorhandene Vorstellungen von Lernenden zu bekommen und zeichnen sich durch einen hohen Informationsgehalt und Flexibilität aus. Jedoch bedarf es für die Durchführung und Auswertung einen hohen Zeitaufwand und die Erkenntnisse sind nur schwer zu verallgemeinern. Multiple-Choice-Tests haben sich als effektive Methode zur Erfassung von Schülervorstellungen erwiesen. Sie haben den Vorteil, dass sie unmittelbar und objektiv ausgewertet werden können, leicht von der Lehrperson einzusetzen sind und auf eine große Anzahl von Schüler/innen anwendbar sind. Sie bieten allerdings keinen so tiefen Einblick wie Interviews und oft werden richtige Antworten durch Raten oder aufgrund falscher Vorstellungen gegeben. Um Multiple-Choice-Fragen zu verbessern, können diese um eine oder mehrere Stufen erweitert werden. (vgl. Kutluay, 2005, S. 11 ff.)

In den letzten Jahren wurden vielfach solche zweistufigen Testitems entwickelt. Die erste Stufe eines solchen Multiple-Choice-Items enthält eine inhaltliche Frage mit üblicherweise zwei bis vier Antwortmöglichkeiten. Die zweite Stufe besteht gewöhnlich aus vier möglichen Begründungen für die Antwort der ersten Stufe. Die Begründungen beinhalten einerseits die richtige Antwort gemäß physikalischer Grundlagen, andererseits Antworten die auf bekannten Schülervorstellungen basieren, welche aber nicht mit der wissenschaftlichen Vorstellung übereinstimmen. Die Begründungen werden mithilfe offener Fragebögen, Interviews oder Literaturrecherche ermittelt. Die Antworten zu jedem Item werden als richtig angesehen, wenn beide Stufen richtig beantwortet werden. Diese Paper-and-Pencil-Tests sind einfach zu handhaben und zu bewerten. (vgl. Treagust & Chandrasegaran, 2007, S. 393)

Testgütekriterien

Die Qualität solcher Testinstrumente lässt sich vor allem an folgenden drei Kriterien festmachen:

- Objektivität
- Reliabilität
- Validität

Moosbrugger & Kelava (2012, S. 8) definieren Objektivität folgendermaßen: „Ein Test ist dann objektiv, wenn er dasjenige Merkmal, das er misst, unabhängig von Testleiter und Testauswerter misst. Außerdem müssen klare und anwenderunabhängige Regeln für die Ergebnisinterpretation vorliegen“.

Die Vergleichbarkeit von Testleistungen verschiedener Testpersonen soll sichergestellt werden, indem man den Testdurchführenden keinen Verhaltensspielraum bei der Durchführung, Auswertung und Interpretation einräumt (vgl. Moosbrugger & Kelava, 2012, S. 8). Ein Multiple-Choice-Test mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten ist somit im Allgemeinen von hoher Objektivität gekennzeichnet. Im Gegensatz zu Fragen mit offenen Antworten, bei denen durch Anwendung entsprechender Auswertungsrichtlinien versucht werden muss, die Objektivität zu erhöhen. (vgl. Häußler, Bündler, Duit, Gräber & Mayer, 1998, S. 64)

„Unter Reliabilität wird die Genauigkeit einer Messung verstanden. Ein Testverfahren ist perfekt reliabel, wenn die damit erhaltenen Testwerte frei von zufälligen Messfehlern sind. Das Testverfahren ist umso weniger reliabel, je größer die Einflüsse von zufälligen Messfehlern sind.“ (Schermelleh-Engel & Werner, 2012, S. 120)

Wird die Messung mit einem reliablen Testinstrument wiederholt, so ergeben sich dieselben Resultate. Eine hohe Reliabilität kann nur erreicht werden, wenn die Testsituation, die Testdurchführung und die Testauswertung standardisiert werden. Da die Objektivität die Kontrolle der Messbedingungen zu gewährleisten hat, ist sie eine wesentliche Voraussetzung für die Reliabilität. Der Reliabilitätskoeffizient gibt das Ausmaß der Reliabilität an und kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Zur Bestimmung der Reliabilität wurden mehrere Verfahren entwickelt, vielfach wird die Konsistenzanalyse mit der Berechnung des Cronbach- α -Koeffizienten angewendet. Dabei wird jedes Item eines Tests als eigenständiger Testteil betrachtet. Die interne Konsistenz des Verfahrens ist umso höher, je stärker die Testteile untereinander korrelieren. Voraussetzung für die Anwendung dieses Verfahren ist die Annahme, dass alle Items dasselbe Merkmal erfassen. (vgl. Schermelleh-Engel & Werner, 2012, S. 120 ff.)

Moosbrugger und Kelava (2012, S. 13) führen das dritte Gütekriterium betreffend aus: „Das Gütekriterium der Validität befasst sich mit der inhaltlichen Übereinstimmung zwischen dem vom Test gemessenen Merkmal und dem Merkmal, das man messen will. [...] Ein Test gilt dann als valide (»gültig«), wenn er das Merkmal, das er messen soll, auch wirklich misst und nicht irgendein anderes.“

Die Validität gilt als wichtigstes Gütekriterium für diagnostische Verfahren und ist den Gütekriterien der Objektivität und Reliabilität übergeordnet. Denn wenn ein Test etwas anderes misst, als er sollte und somit seine Gültigkeit verliert, dann sind Objektivität und Reliabilität nicht mehr von Bedeutung. Jedoch ist es auch jenes Gütekriterium, das am schwierigsten zu prüfen ist. (vgl. Hartig, Frey & Jude, 2012, S. 144; Moosbrugger & Kelava, 2012, S. 13)

Je nach der Interpretation eines Testergebnisses werden verschiedene Validitätsaspekte unterschieden, die mit verschiedenen Methoden der Validierung verbunden sind. Die wichtigsten Aspekte der Validität eines Tests werden unter den Begriffen Inhaltsvalidität, Konstruktvalidität und Kriteriumsvalidität zusammengefasst. Inhaltsvalidität bezieht sich auf

das Verhältnis zwischen dem zu erfassenden Merkmal und den Test- bzw. Iteminhalten. Unter Konstruktvalidität versteht man, dass ein Testergebnis bezogen auf ein theoretisch definiertes Konstrukt interpretiert werden kann. Bei der Kriteriumsvalidität stehen Fragen im Mittelpunkt, die sich auf diagnostische Entscheidungen auf Basis des Testergebnisses beziehen. (Hartig, Frey & Jude, 2012, S. 146)

Neben den drei erwähnten Hauptgütekriterien zur Qualitätsbeurteilung diagnostischer Verfahren gibt es weitere Gütekriterien. Es werden üblicherweise folgende Nebengütekriterien angeführt: Skalierung, Normierung, Testökonomie, Nützlichkeit, Zumutbarkeit, Unverfälschbarkeit und Fairness. (vgl. Moosbrugger und Kelava, 2012, S. 8)

Der folgende Abschnitt befasst sich mit unterschiedlichen Evaluierungsmethoden von Schülervorstellungen im Bereich der Optik. Dabei werden nachstehende Testinstrumente vorgestellt und unter Beachtung oben angeführter Kriterien betrachtet:

- Light Propagation Diagnostic Instrument (LPDI)
- Test of Image Formation by Optical Reflection (TIFOR)
- Three-tier Geometric Optic Misconception Test (TTGOMT)

2.3.1 LPDI

Das *Light Propagation Diagnostic Instrument* (LPDI) wurde von Chu, Treagust & Chandrasegaran (2009, S. 253 ff.) entwickelt. Ziel war es, ein diagnostisches Instrument zur Erhebung von Schülervorstellungen über das grundlegende optische Konzept der Lichtausbreitung zu erhalten. Die Untersuchung hatte den Zweck folgende Gebiete zu untersuchen:

- 1) Allgemeine Schülervorstellungen
- 2) Kontextabhängige Schülervorstellungen
- 3) Faktoren, welche das Konzeptverständnis von Schüler/innen beeinflussen

Die Untersuchung war eine quantitative Studie von großem Umfang, an welcher 1786 13- bis 17-jährige koreanische Schüler/innen der Schulstufen 7-10 beteiligt waren. Neben dem LPDI wurde auch ein Science Attitude Questionnaire (SAQ) an die Schüler/innen verteilt,

denn die persönlichen Faktoren wie Motivation, Einstellung zur und Ansichten von Wissenschaft beeinflussen ebenso das Konzeptverständnis der Schüler/innen. Die Beantwortung beider Fragebögen benötigte im Durchschnitt 30 Minuten. Die Inhalte, welche im LPDI behandelt wurden, waren im koreanischen Lehrplan enthalten.

Testentwicklung und -design

Zur Entwicklung, Formulierung und Auswahl der Fragen wurde auf bereits bestehende Items aus vorhergehenden Studien zurückgegriffen. Der Test besteht aus acht zweistufigen Multiple-Choice-Fragen bezüglich der Ausbreitung von Licht und dem Sehen von Gegenständen. Die acht Items können in vier Paare zusammengefasst werden, wobei jedes der Paare das Verständnis der Schüler/innen eines bestimmten Konzepts in unterschiedlichen Zusammenhängen untersucht.

Auswertung

Die Berechnung des Cronbach- α -Koeffizienten zur Bestimmung der Reliabilität ergab einen Wert von 0,84 für den SAQ, was für eine hohe Reliabilität spricht. Der Wert von Cronbach- α für das LPDI ergab jedoch nur 0,65. Nach Moosbrugger und Kelava (2012, S. 11) sollte der Reliabilitätskoeffizient eines guten Tests 0,7 nicht unterschreiten. Der Wert von 0,7 gilt jedoch vorwiegend für psychologische Tests, in der fachdidaktischen Forschung sind andere Betrachtungsweisen üblich. Weiters weisen Schermelleh-Engel & Werner (2012, S. 135 f.) darauf hin, dass der Einsatz eines niedrig reliablen Messinstruments immer noch aufschlussreicher ist als der gänzliche Verzicht auf den Einsatz von Tests, sofern für die Untersuchung der Merkmale keine besser geeigneten Testverfahren existieren. Ungeachtet dessen werden die Testergebnisse mit sinkender Reliabilität zunehmend ungenau. Hinsichtlich der Validität des Tests werden von den Autoren keine Anmerkungen gemacht.

Die Prozentanteile richtiger bzw. falscher Fragen, die Mittelwerte des LPDI und SAQ sowie die Zusammenhänge von LPDI und SAQ wurden mithilfe von SPSS analysiert. Weiters wurde untersucht, inwieweit das Verständnis der Schüler/innen von den optischen Konzepten und deren Einstellung zur Wissenschaft von den Variablen Geschlecht, Schulstufe, Testresultate und Schulbezirk abhängen. Außerdem wurden Zusammenhänge

zwischen dem Konzeptverständnis von Schüler/innen und deren Einstellung zur Wissenschaft untersucht.

Folgerungen

Bei der Studie ging es neben der Erhebung von Schülervorstellung über grundlegende Konzepte der Optik vor allem darum, das Verständnis der Schüler/innen davon in kontextabhängigen Situationen zu evaluieren. Das zweistufige Erhebungsinstrument hat sich als wertvolle Beurteilungsmethode erwiesen, um Lehrpersonen zu helfen die Vorstellungen der Lernenden zu erheben, bevor der Unterricht beginnt. Unter Berücksichtigung der daraus gewonnenen Erkenntnisse kann der Unterricht zielgerichteter gestaltet werden, um das Verständnis der Schüler/innen im entsprechenden Bereich zu verbessern. Für den Unterricht wird empfohlen Konzepte nicht isoliert zu lehren, sondern auf diesen schrittweise aufzubauen und Beispiele aus dem Alltag in den Unterricht einzubauen.

2.3.2 TIFOR

Der *Test of Image Formation by Optical Reflection* (TIFOR) wurde von Chen, Lin und Lin (2002, S. 106 ff.) entwickelt, um die Vorstellungen taiwanesischer Schüler/innen über die Bildentstehung bei Spiegeln zu erheben. Da der Test für den Einsatz in einer groß angelegten Studie in Taiwan von über 9000 Schüler/innen im Alter von 12 bis 18 Jahren konzipiert wurde, entschieden sich die Autoren für das Design eines zweistufigen Multiple-Choice-Tests. Die Fragen behandeln die Themen der Bildentstehung, Spiegelreflexion und diffusen Reflexion.

Testentwicklung und -design

Zu Beginn der Entwicklung wurden bisherige Forschungsergebnisse ausgewertet, um mithilfe von Concept-Maps festzulegen welches Wissen benötigt wird, um grundlegende wissenschaftliche Vorstellungen im Bereich der geometrischen Optik zu verstehen. Darauf aufbauend wurde ein Paper-and-Pencil-Test mit offenen Fragen entwickelt und an Schüler/innen ausgehändigt. Durch die Analyse der erhaltenen Antworten und Durchführung von Interviews wurden die geläufigsten Schülervorstellungen festgestellt.

Anschließend wurden, basierend auf den Antworten der Befragten, acht zweistufige Multiple-Choice-Items entwickelt. Bei den Items wurde zusätzlich noch die Möglichkeit einer offenen Antwort hinzugefügt um ein Raten zu vermeiden, wenn keine Erklärung ihren Vorstellungen entsprechen sollte. In der Entwicklungsphase des Tests wurden die Daten durch die Befragung von 317 Schüler/innen im Alter von 16 bis 17 Jahren der 11. Schulstufe, welche Optikunterricht in den beiden Schuljahren davor erhielten, gewonnen. Die Beantwortung des Fragebogens beansprucht zwischen 15 und 25 Minuten.

Auswertung

Die Validität des TIFOR wurde durch eine Expertengruppe geprüft, welche der Ansicht ist, dass durch den Test Konzepte und nicht Sachwissen gemessen werden. Die Prüfung der Reliabilität erfolgte durch die Messung des Cronbach- α , welcher einen Wert von 0,74 ergab. Dieser Wert wurde als zufriedenstellend für den Zweck der Studie angesehen. Die Schwierigkeitsanalyse ergab Werte zwischen 0,21 und 0,72, mit einem Mittelwert von 0,43, was ein breites Spektrum darstellt. Die Werte für die Trennschärfe der Items liegen zwischen 0,37 und 0,79, mit 0,58 als Mittelwert. Kelava und Moosbrugger (2012, S. 86) sehen Werte von 0,4 bis 0,7 als „gute“ Trennschärfen. Weiters wurden Schülerantworten für jedes Item auf mögliche Antwortkombinationen der zwei Stufen ausgewertet. Also die Antworten der ersten Stufe mit den Begründungen der zweiten Stufe in Relation gesetzt. Die Testresultate wurden außerdem mit einer vergleichbaren Studie von Goldberg und McDermott aus dem Jahre 1986 verglichen, wobei sich eine angemessene Übereinstimmung zeigte.

Folgerungen

Diese Studie zeigt, dass zweistufige Multiple-Choice-Tests ein zuverlässiges und valides Testinstrument darstellen. Sie sind einfach anzuwendende Paper-and-Pencil-Tests, welche sowohl im Bereich der Forschung als auch im Unterricht einzusetzen sind. Die Entwicklung des TIFOR stellt ein Beispiel für die Entwicklung eines solchen Testinstruments dar. Die Untersuchung zeigt, dass ein hoher Anteil an Lernenden keine physikalisch angemessene Vorstellung der Bildentstehung durch Spiegelreflexion hat.

2.3.3 TTGOMT

Der von Kutluay (2005, S. 1 ff.) entwickelte *Three-tier Geometric Optic Missconception Test* dient zur Erhebung von Schülervorstellungen im Bereich der geometrischen Optik. Die Entwicklung des dreistufigen Tests erfolgte durch Befragungen von Schüler/innen der 11. Schulstufe in der Türkei. Die 16- bis 19-Jährigen haben zuvor bereits Unterricht in geometrischer Optik erhalten. Die dritte Stufe hat den Zweck, zu erheben, wie sicher sich die Befragten bei der Beantwortung der ersten beiden Stufen eines Items sind.

Testentwicklung und –design

Zu Beginn der Entwicklung wurden Interviews mit 15 Schüler/innen durchgeführt. Der Interviewleitfaden wurde auf Basis bereits vorhandener Literatur zu Schülervorstellungen in der Optik erstellt. In der zweiten Phase wurde anhand der Interviewresultate und anderer Forschungsergebnisse ein offener Fragbogen entwickelt, welcher von 114 Schüler/innen ausgefüllt wurde. Der Fragebogen bestand aus insgesamt 13 Items. Bei der Auswertung der gesammelten Daten wurden die Antworten der offenen Fragen und jene in den Interviews in Kategorien eingeteilt. Anhand dieser Kategorien und vorhandener Studienergebnisse wurden in einer dritten Phase dreistufige Testitems entwickelt. Die Endversion des dreistufigen Tests enthielt 16 Items und wurde schließlich von 141 Schüler/innen, in einer durchschnittlichen Dauer von 30 bis 35 Minuten, durchgeführt.

Auswertung

Zur Überprüfung der Validität des Tests wurden vor allem zwei quantitative Techniken eingesetzt. Zuerst wurde die Korrelation zwischen den Ergebnissen der ersten beiden Stufen und der dritten Stufe mithilfe des Pearson Koeffizienten berechnet, um Konstruktvalidität zu zeigen. Der Wert von 0,33 ist nicht sehr hoch aber signifikant. Zweitens wurden Faktorenanalysen zu den korrekten Antworten und den Fehlkonzepten der Schüler/innen durchgeführt. Um zu prüfen, ob der Test reliabel ist, wurde der Cronbach- α -Koeffizient berechnet. Der Wert von 0,55 lag jedoch schon recht deutlich unter der von Moosbrugger und Kelava (2012, S. 11) für psychologische Tests angeführten Grenze von 0,7. Die Auswertung bezüglich der Schwierigkeit ergab, dass der Test einen

hohen Schwierigkeitsgrad besitzt. Zusätzlich wurden noch weitere Auswertungen mit SPSS vorgenommen.

Folgerungen

Die Studie hat gezeigt, dass Schüler/innen welche gute Schulleistungen erzielten genauso viele Fehlvorstellungen haben, wie jene mit schlechten Ergebnissen. Lehrkräfte müssen somit berücksichtigen, dass Lernende, die gute Prüfungsergebnisse im Unterricht aufweisen, möglicherweise ebenso Vorstellungen haben, die von der wissenschaftlichen Sichtweise abweichen, wie jene mit schlechten Noten. Die Studie zeigt auch, dass dreistufige Testitems Multiple-Choice-Aufgaben und auch zweistufigen Items überlegen sind. Durch die dritte Stufe kann eher unterschieden werden, ob die Antwort aufgrund von fehlendem Wissen oder auf Basis bestimmter Vorstellungen gegeben wurde. Multiple-Choice-Tests tendieren dazu, Schülervorstellungen zu überschätzen, wenn angenommen wird, dass jede falsche Antwort auf einer Fehlvorstellung beruht. Denn einige falsche Antworten gehen sicherlich bloß von einem Mangel an Wissen aus. Durch den Einsatz von zweistufigen und viel mehr noch dreistufigen Testitems kann dieser Faktor minimiert werden.

2.3.4 Weitere Testinstrumente

Neben den bereits beschriebenen Testinstrumenten existieren im Bereich der Optik noch weitere erwähnenswerte Erhebungsinstrumente. Der Test von Fetherstonhaugh & Treagust (1992, S. 653 ff.) wurde entwickelt, um Schülervorstellungen zu erheben und die Effektivität eines Lehrgangs für die 8. Schulstufe zu bewerten. Der Test besteht aus 16 Items. Davon sind 12 Multiple-Choice-Fragen mit 3 oder 4 Distraktoren und einer offenen Antwort, um einen Grund für die Wahl des Distraktors zu geben. Die anderen 4 Items bestehen nur aus einer offenen Antwort. Aufgrund geringer Angaben zu Reliabilität und Validität und durch den Fokus auf die Funktion als Diagnoseinstrument für den Unterricht muss bezweifelt werden, dass dieser Test verlässlich Schülervorstellungen und Konzepte abbilden kann.

Die *Light and Optics Conceptual Evaluation* (LOCE), entwickelt von Sokoloff (2006, S. 227 ff.) besteht aus 50 Fragen zu Gebieten der Optik, wie Bildentstehung durch Spiegel, Brechung, Bildentstehung durch Linsen und Polarisierung. Der Test besteht aus 51 Fragen,

wovon 50 Fragen im Multiple-Choice-Format vorliegen, wobei 4 mit einer offenen Antwort ergänzt werden. Eine Frage soll anhand einer Skizze beantwortet werden. Unter Berücksichtigung, dass bei Multiple-Choice-Tests hinter richtigen Antworten nicht zwangsläufig auch richtiges Verständnis der Schüler/innen steckt, wurden einige Maßnahmen getroffen: Da Antworten der Befragten oft abhängig vom Kontext sind, werden Fragen über Konzepte in verschiedenen Zusammenhängen gestellt und deren Resultate später miteinander verglichen. Zufällig die richtige Antwort zu erraten wird erschwert, indem es sechs oder mehr Antwortmöglichkeiten gibt. Hinsichtlich Testentwicklung, Güte des Tests und Auswertung liegen jedoch keine Informationen vor. Deshalb ist es schwer abzuschätzen, inwieweit dieser Test geeignet ist, Schülervorstellungen und Konzepte abzubilden.

Das von Barder, Prather, Brecher und Slater (2006, S. 103 ff.) entwickelte *Light and Spectroscopy Concept Inventory* (LSCI) ist ein diagnostisches Testinstrument, bestehend aus 26 Items, zur Erfassung des konzeptuellen Verständnisses von Student/innen über Licht und Spektroskopie und zur Beurteilung der Effektivität eines einführenden Astronomiekurses an der Universität. Die Multiple-Choice-Fragen bestehen aus 3 bis 5 Antwortmöglichkeiten. Der Test wurde ausreichend hinsichtlich der Gütekriterien geprüft und als hinreichend reliabel und valide angesehen. Da das Erhebungsinstrument für Universitätsstudenten und -studentinnen konzipiert wurde, ist das Niveau hoch angesiedelt. Weiters liegt der Fokus auf Wellenoptik, daher ist es nur bedingt in der Schule einsetzbar.

3. Ziele und Forschungsfragen

In diesem Kapitel werden die zentralen Forschungsfragen dieser Arbeit definiert.

Das Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit besteht in der Weiterentwicklung von Multiple-Choice-Testitems zur Abbildung von Schülervorstellungen zu Brechung und Linsen. Ziel ist es, die einstufigen Items durch die Entwicklung einer zweiten Stufe an Erklärungsdistraktoren wirksamer in der Abbildung von Schülervorstellungen zu machen. Folgende Fragestellungen werden in der vorliegenden Arbeit untersucht:

- 1) Ist es möglich, mit offenen Fragebogen geeignete Erklärungsdistraktoren zu entwickeln, mit denen Schülervorstellungen zu Brechung und Linsen identifiziert werden können?
- 2) Können die in offenen Fragebogen gefundenen Erklärungsdistraktoren in problemzentrierten Interviews validiert werden?
- 3) In wie weit werden die in offenen Fragebogen gefundenen Erklärungsdistraktoren
 - a. inhaltlich
 - b. sprachlichvon Probanden und Probandinnen akzeptiert?
- 4) Können aus der Untersuchung neue, noch nicht in der Literatur beschriebene, Schülervorstellungen zu Brechung und Linsen gefunden werden?

4. Methodische Vorgangsweise

Die Methodik der Untersuchung ist gekennzeichnet von der Verbindung qualitativer und quantitativer Methoden, wobei die Fragebogen den quantitativen Teil und die Interviews den qualitativen Teil darstellen. In diesem Kapitel wird zunächst der forschungstheoretische Hintergrund erläutert und anschließend der Forschungsgegenstand und die praktische Umsetzung beschrieben.

4.1 Theoretischer Hintergrund

Sowohl qualitative als auch quantitative Forschung haben Grenzen in dem, was sich damit erforschen lässt (vgl. Flick, 2009, S. 37). Wilson (1980, zit. n. Heinze, 2001, S. 33) vertritt die gleichberechtigte Koexistenz beider Forschungsansätze, welche sich zu drei Postulaten zusammenfassen lässt:

- Es existiert keine privilegierte Methode, an der andere zu messen wären.
- Sowohl die quantitativen als auch die qualitativen Methoden verfügen über ihre adäquaten Anwendungsbereiche.
- Sozialforscher müssen sich im Verlauf der Forschungspraxis des kooperativen Zusammenspiels qualitativer und quantitativer Methoden bedienen.

4.1.1 Verknüpfung qualitativer und quantitativer Forschung

In der Forschungspraxis kommt es immer häufiger zur Verbindung von interpretativen qualitativen Verfahren und standardisierten quantitativen Methoden zu einem gemeinsamen Untersuchungsdesign. Meist werden dabei in einer Studie qualitative und quantitative Erhebungs- und Auswertungsschritte mit jeweils eigenen Datensätzen durchgeführt. In der Folge werden die daraus resultierenden Forschungsergebnisse aufeinander bezogen. (vgl. Kelle & Erzberger, 2003, S. 299 f.)

In diesem Zusammenhang wird häufig der Begriff „Triangulation“ genannt. Bos und Koller (2002, S. 271) beschreiben ihn folgendermaßen: „Der ursprünglich aus der Geodäsie stammende und von Denzin (1989) in die Sozialwissenschaft eingeführte Begriff bezeichnet Vorgehensweisen, bei denen unterschiedliche Methoden, Forscher,

Informanten, Untersuchungsanordnungen oder theoretische Perspektiven eingesetzt werden, um ein und denselben Gegenstand zu erforschen.“

In unserem Fall bezieht sich Triangulation auf die Kombination qualitativer und quantitativer Methoden in einem Forschungsvorhaben. Die Verknüpfung der Methoden kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Je nach Bedarf werden in den unterschiedlichen Phasen des Forschungsprozesses Methoden aus den beiden Forschungsrichtungen eingesetzt. Es ist weniger von Bedeutung ob die Methoden gleichzeitig oder nacheinander eingesetzt werden, sondern vielmehr deren Gleichberechtigung im Projekt:

Die Triangulation kann auf zwei unterschiedlichen Ebenen ansetzen. Zum einen kann am Einzelfall angesetzt werden, d.h. jene Personen die interviewt werden, gehören auch der Gruppe an, welche einen Fragebogen ausfüllt. Es werden also dieselben Fälle für beide Teile der Untersuchung ausgewählt. Zum anderen kann die Verbindung über Datensätze hergestellt werden (siehe Abb. 7). Beispielsweise werden die Antworten in Fragebögen auf Häufigkeiten und Verteilungen über die ganze Stichprobe analysiert. Die Antworten aus den Interviews werden interpretiert und anschließend mit den Fragebogenantworten verglichen.

(vgl. Flick, 2009, S. 42 ff.)

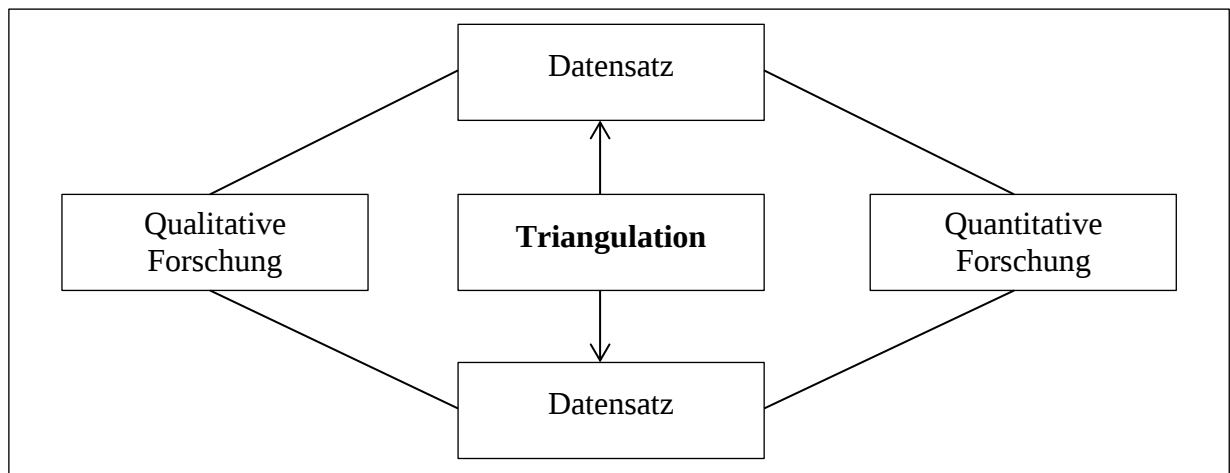


Abb. 7: Ebenen der Triangulation qualitativer und quantitativer Forschung (Flick, 2009, S. 45)

4.1.2 Beschreibung spezieller Methoden

Problemzentriertes Interview

Unter qualitativen Interviews werden teilstandardisierte oder offene Interviews verstanden. Sie sind in der qualitativen Sozialforschung sehr verbreitet, kommen aber auch in quantitativen Forschungsprojekten zum Einsatz, wo sie der Vorbereitung standardisierter Erhebungen oder der Entwicklung von Erhebungsinstrumenten dienen. (vgl. Hopf, 2003, S. 349 f.)

Mayring (2002, S. 66) betont die Bedeutung des verbalen Zugangs in der qualitativen Forschung: „Subjektive Bedeutungen lassen sich nur schwer aus Beobachtungen ableiten. Man muss hier die Subjekte selbst zur Sprache kommen lassen; sie selbst sind zunächst die Experten für ihre eigenen Bedeutungsgehalte.“

In der Literatur findet man mittlerweile eine Vielzahl qualitativer Interviewtechniken mit verschiedensten Bezeichnungen. Differenziert wird hinsichtlich des inhaltlichen Vorgehens als auch des Grades der Standardisierung. Die qualitativen Interviewformen sind sich hinsichtlich der Offenheit und der qualitativen Auswertung sehr ähnlich, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich des Grades der Strukturiertheit. (vgl. Mayring, 2002, S. 66 f.; Lamnek, 2002, S. 172)

Lamnek (2002, S. 173 ff.) unterscheidet acht qualitative Interviewtypen, wobei die Reihenfolge so gewählt wurde, dass eine tendenziell zunehmende qualitative Orientierung (also zunehmende Offenheit, Flexibilität, etc.) gegeben ist: Fokussiertes, halbstandardisiertes, Experten-, Tiefen- oder Intensiv-, problemzentriertes, episodisches, narratives als auch rezeptives Interview.

Das im Folgenden näher beschriebene problemzentrierte Interview stellt somit einen Mittelweg zwischen einer sehr offenen, unstrukturierten und einer geschlossenen, durchstrukturierten Befragungsmethode dar. In dem von Witzel (1985, S. 230) entwickelten Verfahren des problemzentrierten Interviews handelt es sich um eine Methodenkombination von qualitativem Interview, Fallanalyse, biographischer Methode, Gruppendiskussion und Inhaltsanalyse. Mayring (2002, S. 67 ff.) und Lamnek (2002, S. 177 ff.) beziehen sich bei der Beschreibung jedoch vorrangig auf die Interviewform.

Mayring (2002, S. 68) beschreibt die drei vorrangigen Prinzipien des problemzentrierten Interviews folgendermaßen:

- 1) *Problemzentrierung*: Es soll an gesellschaftlichen Problemstellungen angesetzt werden, wobei sich der Interviewer deren wesentliche objektive Aspekte bereits vor der Interviewphase erarbeitet hat.
- 2) *Gegenstandsorientierung*: Die konkrete Gestaltung des Interviews muss auf den spezifischen Gegenstand bezogen sein und kann nicht in der Übernahme fertiger Instrumente bestehen.
- 3) *Prozessorientierung*: Hierbei geht es um die flexible Analyse des wissenschaftlichen Problemfelds und eine schrittweise Gewinnung und Prüfung von Daten.

Lamnek (2002, S. 178) unterteilt den Interviewablauf des problemzentrierten Interviews in vier Phasen, wobei in einer „Phase 0“ ein standardisierter Kurzfragebogen vorangestellt werden kann, um evtl. biographische Daten festzuhalten:

- 1) Beim *Gesprächseinstieg* soll verdeutlicht werden, dass es bei dem Gespräch auf die Entfaltung des erzählerischen Potentials ankommt und gleichzeitig soll der behandelte Problembereich eingegrenzt werden.
- 2) In der *allgemeinen Sondierungsphase* soll der Befragte durch einen Erzählstimulus des Interviewers in das Erzählen versetzt werden und weiters eventuelle emotionale Blockaden gelöst werden.
- 3) Die *spezifische Sondierungsphase* hat die Funktion durch drei spezielle Vorgehensweisen Verständnis zu generieren. Bei der *Zurückspiegelung* gibt der Interviewer das Erzählte in eigenen Worten wieder und schlägt eine Deutung vor, auf die der Befragte korrigierend einwirken kann. Bei der *Verständnisfrage* werden Widersprüche und vage gebliebene Formulierungen ausgesprochen. Bei der *Konfrontation* werden Widersprüche, Unplausibles und Unerklärtes dem Befragten auf einfühlsame Weise direkt entgegengehalten.
- 4) Durch *Ad-hoc-Fragen* werden bisher ausgelassene Themen angesprochen.

Am Anfang eines problemzentrierten Interviews steht die Formulierung und Analyse des Problems, woraus ein Interviewleitfaden erstellt wird. Die einzelnen Thematiken des Gesprächs werden dort in einer vernünftigen Reihenfolge festgehalten und zusätzlich Formulierungsvorschläge aufgezeichnet. In einer Pilotphase wird der Interviewleitfaden

getestet und gegebenenfalls modifiziert, bevor die eigentliche Interviewphase beginnt. Die Aufzeichnung des Materials erfolgt in der Regel mithilfe eines Tonbandes. Der Ablauf ist in Abb. 8 graphisch dargestellt. (vgl. Mayring, 2002, S. 69)

Laut Mayring (2002, S. 70) eignet sich das problemzentrierte Interview hervorragend für theoriegeleitete Forschung, wo bereits einiges über den Gegenstand bekannt ist und dezidierte, spezifische Fragestellungen im Vordergrund stehen. Durch den Leitfaden kommt es zu einer teilweisen Standardisierung, welche die Vergleichbarkeit mehrerer Interviews erleichtert.

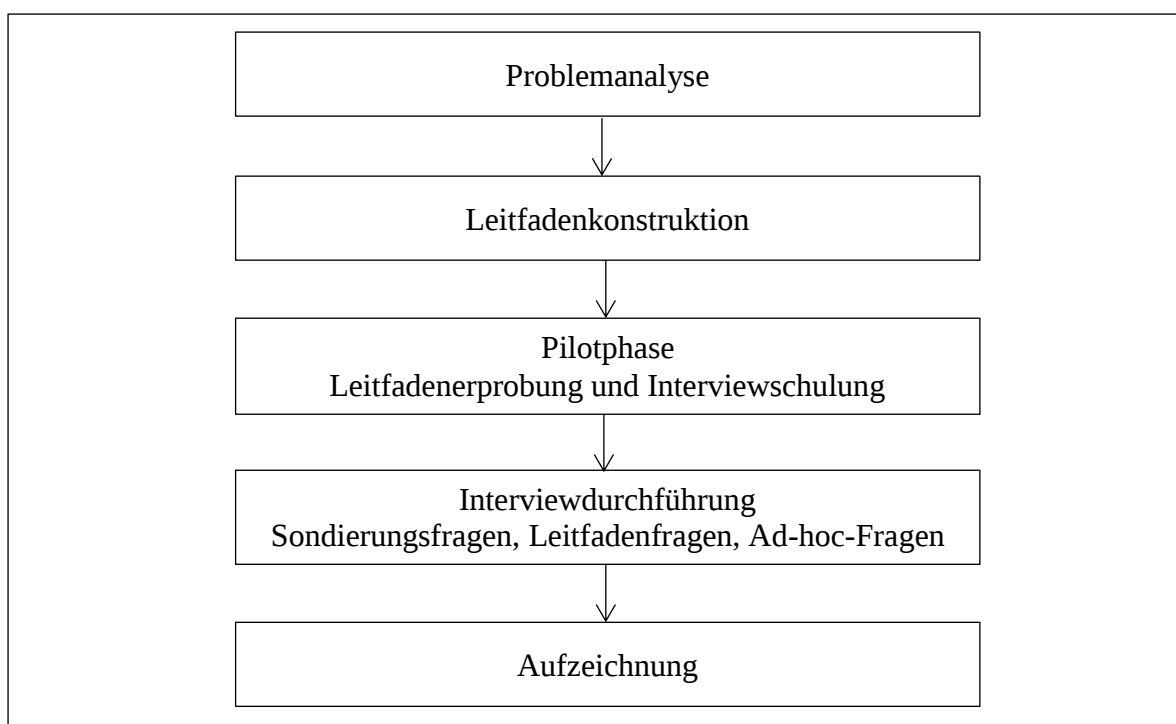


Abb. 8: Ablaufmodell des problemzentrierten Interviews (Mayring, 2002, S. 71)

Aufbereitung der Daten – Transkription

Um die in einem Interview generierten Daten festzuhalten, hat sich die Aufzeichnung mittels eines Tonbandes bewährt. Um das verbal erhobene Material für wissenschaftliche Analysen dauerhaft zugänglich zu machen, bedarf es der Erstellung eines Transkripts. Hierzu wurden unterschiedliche Vorgehensweisen entwickelt, welche entsprechend dem Untersuchungsgegenstand eingesetzt werden können. Bei der sehr exakten *phonetischen Transkription* können alle Arten von Dialekt und Sprachfeinheiten festgehalten werden.

Bei der *literarischen Umschrift* wird der Dialekt mit unserem gebräuchlichen Alphabet wiedergegeben. Da jedoch meist die sprachlichen Färbungen für die Untersuchung nicht relevant sind, sondern die inhaltlich-thematische Ebene im Vordergrund steht, hat sich die *Übertragung in normales Schriftdeutsch* als Protokolltechnik etabliert. (vgl. Mayring, 2002, S. 89 ff.)

Es existieren unterschiedliche Transkriptionssysteme mit entsprechenden Transkriptionsregeln. Die Regeln, nach denen die Transkription der Interviews in dieser Untersuchung durchgeführt wurde, werden in Kapitel 4.3 genauer erläutert.

Analyse der Daten – Qualitative Inhaltsanalyse

„Qualitative Inhaltsanalyse will Texte systematisch analysieren, indem sie das Material schrittweise mit theoriegeleitet am Material entwickelten Kategoriensystemen bearbeitet.“ (Mayring, 2002, S. 114)

Mayring (2003, S. 472 f.) beschreibt vier Vorgehensweisen bei einer qualitativen Inhaltsanalyse:

- *Zusammenfassende Inhaltsanalyse*: Die Analyse hat das Ziel, das Material so zu reduzieren, dass die wesentlichen Inhalte erhalten bleiben, aber ein überschaubarer Kurztext entsteht.
- *Induktive Kategorienbildung*: Verfahrensweisen zusammenfassender Inhaltsanalyse werden genutzt, um schrittweise Kategorien aus einem Material zu entwickeln.
- *Explizierende Inhaltsanalyse*: Zu einzelnen unklaren Textteilen wird zusätzliches Material herangetragen, um jene Textstellen verständlich zu machen.
- *Strukturierende Inhaltsanalyse*: Dient dazu bestimmte Aspekte aus dem Material herauszufiltern, einen Querschnitt durch das Material zu legen oder das Material unter bestimmten Kriterien einzuschätzen.

Die Methode wird in der Regel zur Analyse subjektiver Sichtweisen mit Leitfaden-Interviews eingesetzt. (vgl. Flick, 2009, 416)

Multiple-Choice Tests

„Während Interviews oft als schwierig, zeitraubend und schwer organisierbar angesehen werden, gelten Fragebogen als rasches, einfach zu entwickelndes und problemlos administrierbares Instrument der Datensammlung.“ (Altrichter & Posch, 2007, S. 168)

In Kapitel 2.3 wurde bereits auf Testinstrumente zur Abbildung von Schülervorstellungen eingegangen, insbesondere in Hinblick auf die Gütekriterien. In diesem Abschnitt soll deshalb kurz auf wichtige Aspekte zum Entwurf eines solchen Testinstruments eingegangen werden. Häufig werden bei dieser Art von Testinstrumenten bzw. Fragebogen Aufgaben im Multiple-Choice Format eingesetzt. Diese bestehen aus einem Stamm, in dem die Aufgabenstellung beschrieben wird und einer bestimmten Anzahl vorformulierter Antwortmöglichkeiten. Von diesen Auswahlantworten ist in der Regel nur eine zutreffend, die anderen, sogenannte Distraktoren, sind falsch. (vgl. Häußler et al., 1998, S. 74)

Von besonderer Bedeutung ist die Qualität der Fragen, da ein Rückfragen und Präzisieren nicht mehr möglich ist. Ziel ist es, dass die Befragten die Fragen so verstehen, wie es von dem/der Ersteller/in beabsichtigt ist. Bei der Konstruktion solcher Aufgaben besteht die Schwierigkeit darin, Distraktoren zu finden, welche sich nicht schon im Vorhinein als falsche Antworten erkennen lassen. Aufgrund der starken Strukturierung von Multiple-Choice-Aufgaben werden die Aussagen formaler und inhaltsärmer, die Auswertungsobjektivität ist jedoch allgemein sehr hoch. Je geringer die Anzahl der Antwortmöglichkeiten ist, desto geringer ist auch die Reliabilität, da mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit geraten werden kann. Die Reliabilität kann gesteigert werden, indem man die Anzahl der Distraktoren erhöht oder etwa eine zweite Stufe zur Aufgabe hinzufügt, bei der die Auswahl begründet werden muss. Dies kann eine freie Antwort sein oder ebenfalls eine Multiple-Choice-Aufgabe, was die Auswertung erheblich verkürzt und trotzdem noch einen guten Einblick in die Vorstellungswelt der Schüler/innen bietet. Eine weitere Möglichkeit die Reliabilität zu erhöhen bietet die Erhöhung der Anzahl an Testaufgaben. Jedoch kann ab einer gewissen Itemzahl kein Reliabilitätszuwachs mehr erzielt werden, da etwa ein Absinken der Konzentration oder Motivation die Genauigkeit der Messung beeinträchtigt. Bei der Festlegung der Testlänge muss auf die Praktikabilität und die Motivationslage der Teilnehmer/innen geachtet werden. Hinsichtlich der Testadministration bieten computergestützte Verfahren gegenüber den geläufigen Paper-

and-Pencil-Tests einen ökonomischen Vorteil. (vgl. Häußler et al., 1998, S. 74 f.; Altrichter & Posch, 2007, S. 168; Jonkisz, Moosbrugger & Brandt, 2012, S. 34 f.)

Sowohl Altrichter & Posch (2007, S. 170 f.) als auch Jonkisz et al. (2012, S. 64 ff.) geben Hinweise, worauf bei der Konstruktion der Testfragen besonders zu achten ist:

- Ein Item soll nur eine Aussage enthalten. Sind zwei oder mehr Aussagen enthalten, kann die Antwort nicht eindeutig interpretiert werden.
- Items sollen positiv formuliert und Verneinungen vermieden werden.
- Fragen sollen im vertrauten Wortschatz der Befragten formuliert werden und komplexe, schwer verständliche Sätze vermieden werden.
- Eine suggestive Formulierung der Fragen soll vermieden werden.
- Die Itemformulierung soll so gewählt werden, dass Teilnehmer/innen mit unterschiedlichen Merkmalsausprägungen auch Unterschiede im Antwortverhalten aufweisen. Extrem leicht und extrem schwer lösbare Aufgaben sollten vermieden werden.

4.2 Design der empirischen Untersuchung

Das Untersuchungsdesign, auch als Untersuchungsplan, Forschungsarrangement oder Forschungskonzeption bezeichnet, definiert die Rahmenbedingungen dieser empirischen Untersuchung. Das Untersuchungsdesign beinhaltet auf formaler Ebene Untersuchungsziel und -ablauf (vgl. Mayring, 2002, S. 40). Im Hinblick auf die in Kapitel 3 formulierten Ziele und Forschungsfragen wurde ein Design für diese Untersuchung entwickelt.

Am AECCP wurde ein Testinstrument entwickelt, welches einen Einblick in die Schülervorstellungen im Bereich der Optik bietet. Das Testinstrument ist seit 2011 in Entwicklung, wobei die enthaltenen Testitems die Themen Lichtausbreitung, Sehvorgang, Brechung, Linsen, Spiegel und Farben behandeln. In der 3. Weiterentwicklungssequenz standen nun vor allem Items zur Bildentstehung und Brechung im Fokus. Dazu wurde ein Fragebogen mit offenen Fragen im Juni 2012 an Schüler/innen direkt nach dem Optikunterricht durchgeführt. Ausführliche Informationen hinsichtlich der Entwicklung des Testinstruments sind in den Artikeln von Haagen-Schützenhöfer und Hopf (2011 und i.V.) zu finden. Zur Itemverbesserung und Validierung werden nun Interviews mit

Schüler/innen geführt, was den Teil dieser Untersuchung im Gesamtoptikprojekt darstellt. Ziel der Untersuchung ist es, die Vorstellungen und Konzepte der Schüler/innen in diesen Bereichen Brechung und Linsen zu untersuchen und im Zuge dessen das bereits bestehende Testinstrument weiter zu entwickeln. Da es sich bei Schülervorstellungen um subjektive Sichtweisen handelt, eignen sich qualitative Einzelinterviews besonders gut für deren Erforschung. Hierbei haben die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit selbst zu Wort zu kommen und sich intensiv mit der Thematik auseinanderzusetzen. Der behandelte Bereich der Optik ist im österreichischen Lehrplan für Physik der 8. Schulstufe enthalten. Deshalb wird die Untersuchung mit Schüler/innen der 8., 9. und 10. Schulstufe durchgeführt, welche vorher schon am Unterricht in diesem Fachbereich teilgenommen haben. Für diese Untersuchung ergibt sich folgender Plan:

- In *Phase 1* werden mittels Fragebogen erhobene Daten ausgewertet und interpretiert. Einerseits werden die Antworten auf die Multiple-Choice Fragen ausgewertet und andererseits mithilfe der Antworten auf die offenen Fragen Erklärungsdistraktoren zur Weiterentwicklung des Testinstruments gebildet.
- In *Phase 2* wird versucht mithilfe von qualitativen Interviews einen tiefergehenden Einblick in die Vorstellungen der befragten Schüler/innen zu erlangen. Weiters werden die Fragestellungen der untersuchten Items und die aus Phase 1 gewonnenen Erklärungsdistraktoren auf ihre Verständlichkeit überprüft. Außerdem geht es darum Erkenntnisse darüber zu gewinnen, welche Vorstellungen der Schüler/innen hinter den verschiedenen Antwortmöglichkeiten stecken.

4.3 Methodik der Datenerhebung, Datenaufbereitung und Datenauswertung

Um die Ziele der Untersuchung zu erreichen und die formulierten Forschungsfragen beantworten zu können, bedarf es der richtigen Auswahl der Methoden. Wobei auf die Erhebungstechniken, welche der Materialsammlung dienen, die Aufbereitungstechniken, die der Sicherung und Strukturierung des Materials dienen und die Auswertungstechniken, welche eine Materialanalyse vornehmen, eingegangen wird (vgl. Mayring, 2002, S. 65).

Phase 1

Der erste Schritt bestand in der Auswertung der vorhandenen, bereits von Schüler/innen ausgefüllten, Fragebogen. Die Fragebogen wurden schon im Zuge einer anderen Studie ausgefüllt. Für diese Untersuchung wurden die Daten am PC in einer Excel Datei gesammelt um eine weitere Bearbeitung durch das Tabellenkalkulationsprogramm Excel und die Statistik- und Analysesoftware SPSS zu ermöglichen. Einerseits ging es darum die Antworten der Multiple-Choice Fragen hinsichtlich ihrer Häufigkeit zu untersuchen. Andererseits ging es um die Gewinnung von Erklärungsdistraktoren und das Ermitteln etwaiger Verständnisschwierigkeiten anhand der offenen Fragen. Für den weiteren Verlauf der Untersuchung hatte die Gewinnung von Erklärungsdistraktoren besondere Bedeutung. Die offenen Antworten wurden für jedes Testitem analysiert und entsprechenden Kategorien zugeordnet. Die Bildung und Benennung der Kategorien erfolgte weitestgehend anhand der von Schüler/innen formulierten Antworten.

Phase 2

In dieser Phase ging es darum, die in Phase 1 gewonnenen Erklärungsdistraktoren auf ihre Verständlichkeit zu überprüfen und einen tieferen Einblick in die Vorstellungen der Schüler/innen zu bekommen. Hierfür sind qualitative Interviews am besten geeignet. Für die Durchführung der problemzentrierten Interviews wurde ein Interviewleitfaden erstellt, um das Interview zu strukturieren und eine hohe Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Da die Personen der Zielgruppe noch minderjährig waren, wurden im Voraus Elternbriefe an interessierte Schüler/innen verteilt. Dieses Schreiben diente dazu das Einverständnis der Eltern einzuholen, damit ihre Kinder an der Untersuchung teilnehmen können. Weiters diente es als erste Kontaktaufnahme, wobei der Sinn und Zweck der Untersuchung als auch der Ablauf der Interviews beschrieben wurde. Die von den Erziehungsberechtigten unterschriebenen Einverständniserklärungen waren ausgefüllt zum vereinbarten Interviewtermin mitzubringen. Zur Leitfadenerprobung und Interviewschulung wurde ein Probeinterview durchgeführt und anschließend der Interviewleitfaden in Details überarbeitet.

Das Interview gliedert sich in vier Phasen: Kurzfragebogen, Gesprächseinstieg, Behandlung der Testitems (Hauptteil) und Abschluss. Ein Interviewleitfaden dient zur Strukturierung des Hauptteils und als Unterstützung für den Interviewer.

Kurzfragebogen: Noch bevor mit dem Interview begonnen wird, werden die Schüler/innen gebeten, einen kurzen Fragebogen auszufüllen. Dabei werden biografische Daten und Einstellungen zum Physikunterricht und dem Lernen von Physik erhoben.

Gesprächseinstieg: Nach der Begrüßung und Betonung der Anonymität wurde der interviewten Person der Sinn und Zweck der Untersuchung erläutert. Insbesondere wurde darauf hingewiesen, dass es sich nicht um einen Wissenstest handelt, sondern die eigenen Vorstellungen im Vordergrund stehen. Es wurde um die Zusage der Gesprächsaufzeichnung mittels Tonband gebeten und in der Folge das Diktiergerät eingeschaltet. Zusätzlich wurde ein Code zur Identifizierung ermittelt.

Behandlung der Testitems: Der Testperson wird dabei die Aufgabenstellung jedes Items vom Interviewer erklärt und anschließend bearbeitet. Die Testitems werden in derselben Abfolge wie bei den Fragebogen behandelt, wobei diese Reihenfolge bei jedem Interview beibehalten werden soll. Den Schüler/innen werden hier nur die Itemstämme als offene Frage vorgelegt, ohne Erklärungsdistraktoren. Anhand der in Kapitel 4.1.2 beschriebenen Vorgangsweisen beim problemzentrierten Interview wird durch Zurückspiegelung, Verständnisfragen und Konfrontation versucht einen tieferen Einblick in die Vorstellungen der Schüler/innen bei der Beantwortung der entsprechenden Items zu bekommen. Nachdem das Testitem bearbeitet wurde, werden der befragten Person die in Phase 1 entwickelten Erklärungsdistraktoren nacheinander präsentiert. Hierbei geht es darum die Distraktoren auf ihre Verständlichkeit zu überprüfen und zu erheben, wie die Befragten diese interpretieren. Die Schüler/innen sollen auch gezielt aufgefordert werden ihre Vorstellungen durch Beispiele und vor allem grafische Darstellungen auszudrücken. Während des gesamten Interviews gilt es darauf zu achten, Gedankengänge der befragten nicht zu unterbrechen und ihnen genügend Zeit zum Nachdenken zu geben. Ebenfalls gilt es zu vermeiden suggestiv formulierte Fragen zu stellen.

Abschluss: Am Ende des Interviews wird versucht, auf bisher unzureichend behandelte Themen mittels Ad-hoc-Fragen näher einzugehen. Schließlich wird der am Interview teilnehmenden Person für die Mitarbeit gedankt.

Nach der Durchführung der Interviews gilt es, die Daten für die weitere Bearbeitung vorzubereiten. Für die Auswertung und weitere Entwicklung der Testitems relevante Interviewstellen werden transkribiert. Die Transkription erfolgt nach den folgenden von Kuckartz, Dresing, Rädiker und Stefer (2008, S. 27 f.) festgelegten Regeln:

- 1) Es wird wörtlich transkribiert, also nicht lautsprachlich oder zusammenfassend. Vorhandene Dialekte werden nicht mit transkribiert.
- 2) Die Sprache und Interpunktion wird leicht geglättet, d. h. an das Schriftdeutsch angenähert. Beispielsweise wird aus „Er hatte noch so‘n Buch genannt“ -> „Er hatte noch so ein Buch genannt“.
- 3) Deutliche, längere Pausen werden durch Auslassungspunkte (...) markiert.
- 4) Zustimmungende bzw. bestätigende Lautäußerungen der Interviewer (Mhm, Aha etc.) werden nicht mit transkribiert, sofern sie den Redefluss der befragten Person nicht unterbrechen.
- 5) Einwürfe der jeweils anderen Person werden in Klammern gesetzt.
- 6) Lautäußerungen der befragten Person, die die Aussage unterstützen oder verdeutlichen (etwa lachen oder seufzen), werden in Klammern notiert.
- 7) Die interviewende Person wird durch ein „I“, die befragte Person durch ein „B“, gefolgt von ihrer Kennnummer, gekennzeichnet (etwa „B4:“).
- 8) Jeder Sprecherwechsel wird durch zweimaliges Drücken der Enter-Taste, also einer Leerzeile zwischen den Sprechern, deutlich gemacht, um die Lesbarkeit zu erhöhen.

Um die Bezugnahme auf einzelne Textstellen für die spätere Auswertung und Interpretation zu erleichtern, werden Zeilennummern vor jede Zeile gesetzt.

Nach der von Gropengießer (2005, S. 178 ff.) beschriebenen Methode werden die Transkripte anschließend mit Blick auf die Fragestellung und aus Gründen der Zugänglichkeit in redigierte Aussagen überführt. Hierbei werden den Äußerungen des Interviewpartners unter Berücksichtigung des Kontextes Aussagen entnommen, welche später sprachlich leicht geglättet werden.

Gropengießer (2005, S. 179) gibt die Durchführung von vier Operationen an:

- *Selektieren Bedeutung tragender Aussagen:* Da das Transkript eines einzelnen Interviews viele Informationen enthält, die nicht relevant für die Fragestellung der

Untersuchung sind, werden zunächst bedeutungstragende Aussagen selektiert. Die Herkunft der Abschnitte aus dem Transkript wird durch die jeweilige Anfangs- und End-Zeilenummer belegt, die in Klammern davor gesetzt werden.

- *Auslassen von Redundanzen und Füllseln:* Füllwörter und -sätze sowie unmittelbare Wiederholungen werden ausgelassen. Variationen einzelner Wörter, Präzisierungen und Selbstkorrekturen werden in Klammern hinzugesetzt.
- *Transformieren in eigenständige Aussagen des Interviewpartners:* Um die Äußerungen des Interviewpartners verständlich zu machen, werden die Fragen des Interviewers und die Antworten des Interviewpartners in eigenständige Aussagen des Interviewpartners transformiert.
- *Paraphrasieren:* Da die Äußerungen selten in grammatisch akzeptabler Form sind, werden die Aussagen als ganze Sätze formuliert und geglättet. Die dem Interviewpartner eigene Sprache, vor allem bezogen auf Metaphern und Analogien, soll jedoch erhalten bleiben.

Die Anwendung der oben genannten Operationen stellt ein erhebliches Maß an Interpretation dar und soll dazu führen, dass die Aussagen an Deutlichkeit und Klarheit gewinnen. Dies führt jedoch dazu, dass die Unmittelbarkeit und Lebendigkeit der Argumentation verloren geht. Den redigierten Aussagen werden jeweils die Zeilennummern der entsprechenden Textstellen des wörtlichen Transkripts vorangestellt, um in Zweifelsfällen einen Rückgriff auf die Tonbandaufzeichnung zu erleichtern. (vgl. Gropengießer, 2005, S. 179)

Nach der Überführung der Transkripte in redigierte Aussagen werden die Aussagen nach Testitems geordnet. Jedem Testitem und den dazugehörigen Erklärungsdistraktoren werden die entsprechenden redigierten Aussagen der Interviewpartner/innen zugeordnet. Diese Zusammenfassung bildet die Grundlage für die Auswertung der Interviews und ist im Anhang E zu finden.

4.4 Beschreibung der Testitems

Diese Untersuchung befasst sich mit Schülervorstellungen zu Brechung und Linsen. Im Zuge dessen wurden acht Testitems aus dem vom AECCP konzipierten Fragebogen ausgewählt, welche in der Folge vorgestellt werden. Die Testitems setzen sich jeweils aus

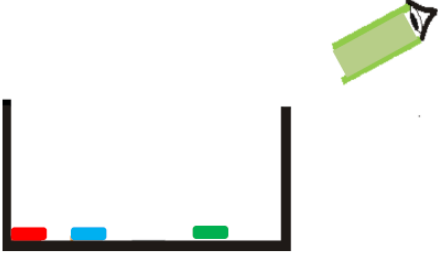
einer Multiple-Choice-Frage und einer offenen Frage, in der die Antwort der Multiple-Choice-Frage begründet werden soll, zusammen.

Testitem 1: MDR1

Münzen durch Rohr
MDR1: Durch ein Rohr (grün) siehst du auf drei Münzen. Die Münzen liegen in einer Schüssel.

a) Welche Münze kannst du durchs Rohr sehen?

<i>richtig</i>	<i>falsch</i>	
☐	☐	Die rote Münze
☐	☐	Die blaue Münze
☐	☐	Die grüne Münze



b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

Abb. 9: Testitem 1 (MDR1) in der ursprünglichen Version

Abb. 9 zeigt das Design des ersten Testitems, welches die geradlinige Ausbreitung von Licht in einem homogenen Medium behandelt. Dieses Item ist an ein Testitem aus der Dissertation von Waltner (2008) an der LMU München zum Physiklernen im Deutschen Museum angelehnt. Durch ein Rohr blickt man auf eine Schüssel, in welcher drei verschiedenfarbige Münzen liegen. Gefragt ist, welche der Münzen von der beobachtenden Person gesehen wird. Aufgrund der geradlinigen Ausbreitung von Licht kann die beobachtende Person in diesem Beispiel die rote Münze zur Gänze und einen Teil der blauen Münze sehen.

Testitem 2: MDR2

Das zweite Testitem (siehe Abb. 10) ist vom Aufbau her gleich wie das Item MDR1, jedoch wird in dieser Aufgabe nun Wasser in die Schüssel gefüllt. Die Schüler/innen sollen angeben, was man jetzt durch das Rohr sieht. Die Lichtbrechung beim Übergang von Wasser zu Luft führt dazu, dass die blaue Münze nun zur Gänze sichtbar wird. Die rote Münze wird weiterhin von der beobachtenden Person gesehen.

MDR2 Wasser wird in die Schüssel gefüllt.

a) Was siehst du nun durchs Rohr?



b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

<i>richtig</i>	<i>falsch</i>	
☐	☐	Die gleiche Münze wie ohne Wasser.
☐	☐	Gar nichts mehr.
☐	☐	Eine andere Münze, nämlich die rote.
☐	☐	Eine andere Münze, nämlich die blaue.

Abb. 10: Testitem 2 (MDR2) in der ursprünglichen Version

In der Untersuchung von Andersson und Kärqvist (1983, S. 391) findet man eine Testaufgabe, die eine ähnliche Situation wie die beiden oben angeführten Testitems behandelt. Hierbei blickt ein/e Beobachter/in ebenfalls schräg auf einen Gegenstand, welcher sich in einem Kübel befindet. Anfänglich befindet sich kein Wasser im Kübel, aus der Beobachterposition ist der Gegenstand nicht sichtbar. Weshalb der Gegenstand nach Einfüllen von Wasser sichtbar wird, obwohl er seine Position ebenso nicht änderte, wie der Kübel und der/die Beobachter/in, soll von den Schüler/innen erklärt werden.

Testitem 3: FMS1

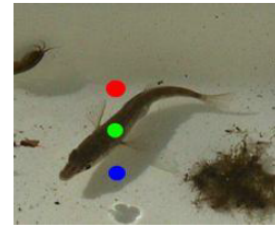
Das in Abb. 11 zu sehende Item FMS1 behandelt die scheinbare Hebung eines Gegenstandes. In dieser Aufgabe betrachtet ein Jäger vom Ufer eines Sees, also von der Luft aus, einen im Wasser befindlichen Fisch.

Fischen mit Speer**FMS1) Ein Jäger steht am Rand eines Sees und sieht einen Fisch im Wasser.**

a) Wohin muss er seinen Speer stechen um den Fisch im Wasser zu treffen? Der Fisch bewegt sich NICHT.



- Oberhalb des Fisches (rot).
- Genau auf den Fisch (grün).
- Unterhalb des Fisches (blau).



b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

Abb. 11: Testitem 3 (FMS1) in der ursprünglichen Version

In dem Beispiel sind zwei lichtdurchlässige Medien mit unterschiedlichem Brechungsindex beteiligt. Betrachtet man die Lichtbündel, die von einem Punkt des unter Wasser befindlichen Gegenstandes ausgehen, so werden diese bei schrägem Auftreffen an der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft vom Einfallslot weg in Richtung des Auges der betrachtenden Person gebrochen. Für uns Menschen breitet sich Licht erfahrungsgemäß jedoch geradlinig aus und außerdem können wir den Knick der Lichtbündel nicht wahrnehmen. Deshalb verlängert unser Gehirn die in unser Auge treffenden Lichtbündel rückwärtig. Der Gegenstandspunkt wird schließlich dort von der beobachtenden Person wahrgenommen, wo sich die rückwärts verlängerten Randstrahlen des gebrochenen Lichtbündels schneiden. In Abb. 12 wird dieser Vorgang anhand einer Münze in einer Wasserschüssel veranschaulicht. In der Testaufgabe FMS1 muss der Jäger folglich den Speer unterhalb des Fisches (blau) stechen, um ihn zu treffen.

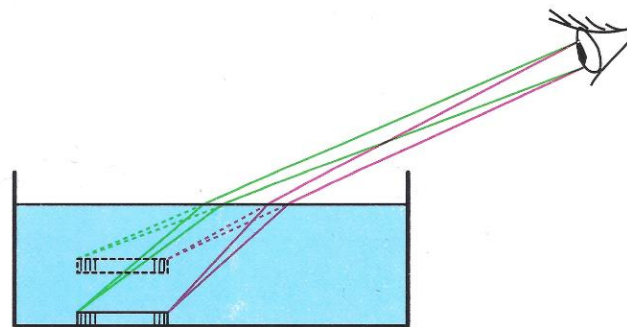


Abb. 12: Scheinbare optische Hebung einer Münze (Wiesner, Engelhardt & Herdt, 1996, S. 85)

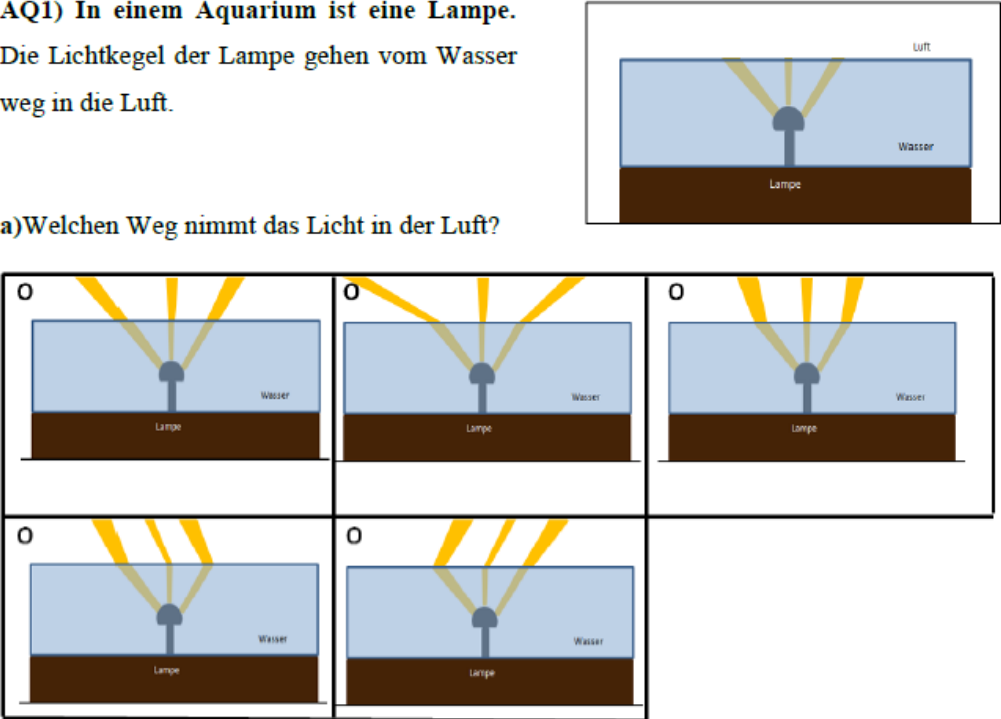
Kaewkhong et al. (2010, S. 99) haben in ihrer Untersuchung ein ähnliches Testitem wie FMS1 eingesetzt. Bei der Testaufgabe betrachtet jemand schräg von oben einen in einer Wasserschüssel befindlichen Gegenstand. Die Schüler/innen sollen mithilfe von Strahlenkonstruktionen die Lichtausbreitung und die Position des virtuellen Bildes des Gegenstands beschreiben. Weiters wird diese Aufgabe häufig in ähnlicher Weise als Beispiel für die optische Hebung im Schulunterricht behandelt.

Testitem 4: AQ1

Das Testitem AQ1 aus Abb. 13 behandelt den Übergang von Licht von Wasser in Luft. Da Wasser eine höhere optische Dichte aufweist als Luft, werden schräg auf die Grenzfläche auftreffende Lichtbündel vom Einfallslot weg gebrochen. Lichtbündel, die senkrecht auf die Grenzfläche treffen ändern ihre Ausbreitungsrichtung nicht. Somit stellt die zweite Grafik die richtige Antwort dar.

Aquarium
AQ1) In einem Aquarium ist eine Lampe.
 Die Lichtkegel der Lampe gehen vom Wasser weg in die Luft.

a) Welchen Weg nimmt das Licht in der Luft?



b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du für deine Entscheidung?

Abb. 13: Testitem 4 (AQ1) in der ursprünglichen Version

Sokoloff (2006, S. 234) verwendet ähnliche Testitems zum Thema Brechung, die jedoch allgemeiner gehalten sind. Bei den Aufgaben wird der Übergang eines Lichtbündels von einem durchsichtigen Medium in ein anderes mit unterschiedlichem Brechungsindex behandelt. Die Items sind jedoch etwas komplexer als das hier beschriebene Testitem AQ1 und besitzen einen höheren Schwierigkeitsgrad.

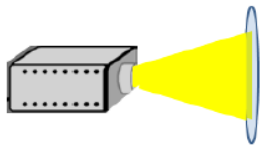
Testitem 5: SSL1

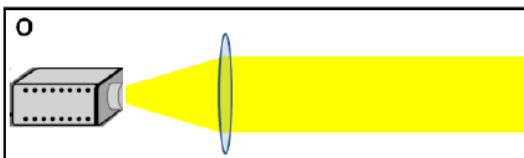
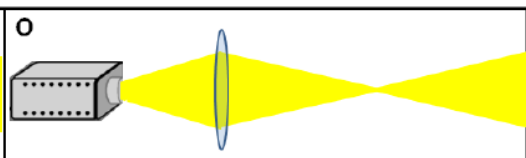
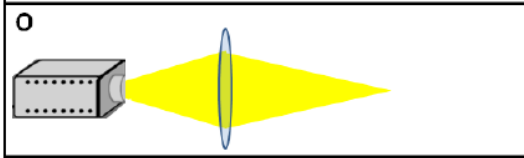
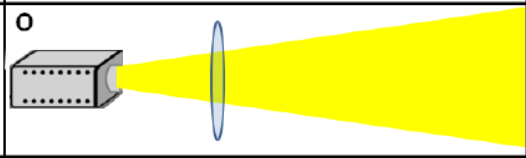
In Kapitel 2.1.2 wurde bereits über die physikalischen Grundlagen von Linsen berichtet. Die beiden folgenden Items beziehen sich auf den Durchgang von Licht eines Scheinwerfers durch eine Sammellinse. Das in Abb. 14 dargestellte Testitem zeigt das Auftreffen eines divergierenden Lichtbündels auf eine Sammellinse. In diesem Fall stellt Grafik 2 den weiteren Lichtverlauf dar, jedoch kann auch Grafik 1 in einem speziellen Fall korrekt sein. Nämlich wenn sich der Scheinwerfer im Brennpunkt befindet, werden die Brennpunktstrahlen beim Auftreffen auf die Sammellinse zu Parallelstrahlen.

Scheinwerfer durch Sammellinse

SSL1) Eine Sammellinse wird vor einen Scheinwerfer gehalten

a) Wie verläuft das Licht weiter?



O 	O 
O 	O 

b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du für deine Entscheidung?

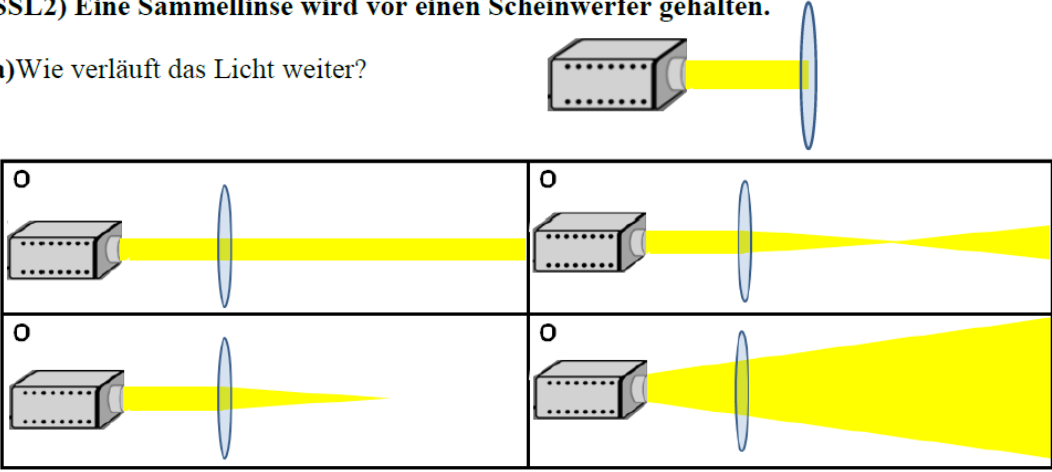
Abb. 14: Testitem 5 (SSL1) in der ursprünglichen Version

Testitem 6: SSL2

Das Testitem FSL2 aus Abb. 15 ist dem vorher behandelten Item SSL1 sehr ähnlich. Jedoch geht hier ein paralleles Lichtbündel vom Scheinwerfer aus und trifft ebenfalls auf eine Sammellinse. Bei einer Sammellinse laufen die parallel zur optischen Achse einfallenden Strahlen im Brennpunkt hinter der Linse zusammen. Folglich stellt Grafik 2 die richtige Antwort dieser Testaufgabe dar.

SSL2) Eine Sammellinse wird vor einen Scheinwerfer gehalten.

a) Wie verläuft das Licht weiter?



b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du für deine Entscheidung?

Abb. 15: Testitem 6 (SSL2) in der ursprünglichen Version

Weder zu SSL1 noch zu SSL2 gibt es vergleichbare Testitems in bisher entwickelten Testinstrumenten zur Abbildung von Schülervorstellung.

Testitem 7: ZKL1

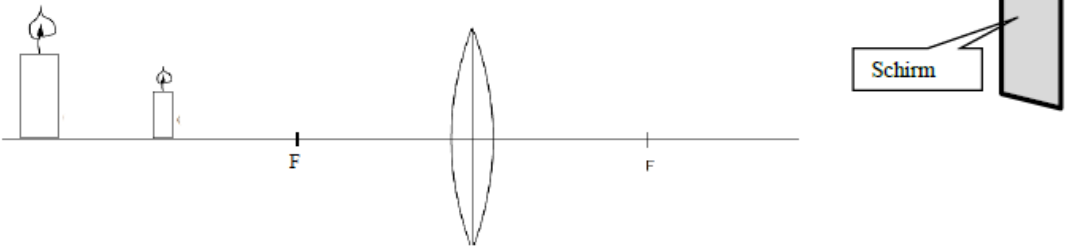
Das Item aus Abb. 16 behandelt die Abbildung durch eine Sammellinse. Es wird die Frage gestellt, ob zwei Kerzen, welche sich in unterschiedlichem Abstand zur Linse befinden, gleichzeitig auf einem Schirm scharf abgebildet werden können. Die Aufgabe kann gelöst werden durch Anwendung der Abbildungsgleichung für dünne Linsen oder der strahlengeometrischen Konstruktion (siehe Kapitel 2.1.2). Für einen anderen Lösungsweg muss die/der Befragte über das Wissen verfügen, dass es für jede Gegenstandsweite immer

nur eine bestimmte Schirmposition gibt, bei der das Bild scharf ist. Folglich gibt es keine Schirmposition, bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.

Wenn man den Schirm so positioniert, dass eine Kerze scharf abgebildet wird und man ihn dann aus dieser Position zur Linse hin oder von der Linse weg bewegt, wird man erkennen, dass das Bild der Kerze am Anfang unscharf und danach unerkennbar wird (vgl. Goldberg, Bendall & Galili, 1991, 221).

Zwei Kerzen vor Linse

ZKL 1) Zwei Kerzen sollen mit einer Sammellinse auf einem Schirm abgebildet werden. Der Schirm wird rechts von der Linse aufgestellt.



a) Beide Kerzen sollen gleichzeitig scharf abgebildet werden. In wie vielen verschiedenen Entfernungen von der Linse kannst du den Schirm aufstellen? Wähle 1 Antwort!

- ☐ Beide Kerzen werden bei 1 Schirmposition gleichzeitig scharf abgebildet.
- ☐ Beide Kerzen werden bei 2 Schirmpositionen gleichzeitig scharf abgebildet.
- ☐ Es gibt unendlich viele Schirmpositionen, bei denen beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.
- ☐ Es gibt keine Schirmposition bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.

b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du für deine Entscheidung?

Abb. 16: Testitem 7 (ZKL1) in der ursprünglichen Version

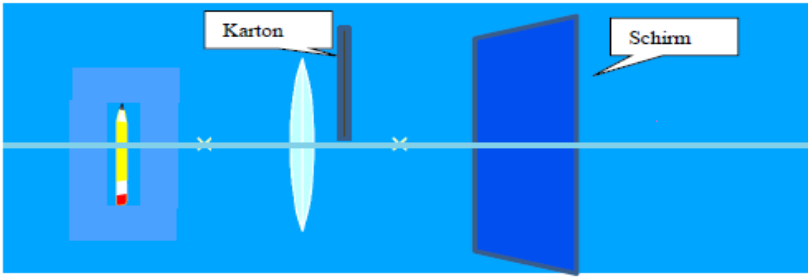
Ein Item wie ZKL1 zur Abbildung von Schülervorstellungen kommt bei anderen Testinstrumenten nicht in dieser Form vor. Es existieren jedoch zahlreiche andere Aufgaben- bzw. Fragestellungen zur Abbildung durch Linsen. Goldberg und McDermott (1987, S. 113) stellen in ihrer Untersuchung etwa die Frage was mit dem Bild auf einem Schirm passiert, wenn der Schirm näher an die Linse herangerückt wird. Weiters findet sich im Lehrgang von Wiesner, Engelhardt und Herdt (1996, S. 53) eine sehr ähnliche Aufgabenstellung wie in ZKL1.

Testitem 8: HAL1

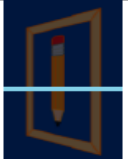
Das in Abb. 17 zu sehende Item behandelt den Fall einer zur Hälfte mit einem Karton abgedeckten Linse und dessen Auswirkung auf die Bildentstehung. Es soll untersucht werden, welche Vorstellungen Schüler/innen über den Beitrag verschiedener Teile der Linse zur Bildentstehung haben. Der Karton führt dazu, dass das gesamte Bild am Schirm bestehen bleibt, jedoch die Helligkeit nachlässt und somit Grafik zwei die richtige Antwort darstellt. Da Licht von jedem Punkt des Objekts in alle Richtungen ausgeht, geht auch von jedem Punkt des Objekts Licht durch jeden Teil der Linse. Somit reicht schon ein kleiner Teil der Linse, um ein vollständiges Bild des Gegenstandes zu erzeugen. Werden Teile der Linse verdeckt, führt dies nur dazu, dass ein geringerer Anteil an Licht durch die Linse hindurchtreten kann, was zu einem dunkleren Bild führt.

Halb abgedeckte Linse

HAL 1) Ein Bleistift wird mit einer Sammellinse am Schirm abgebildet. Dann wird der obere Teil der Linse mit einem Karton abgedeckt.



a) Wie wirkt sich der Karton vor der Linse auf das Bild am Schirm aus?

Das Bild bleibt unverändert.		☐	Das ganze Bild ist sichtbar, aber weniger gut ausgeleuchtet.		☐
Die untere Bildhälfte verschwindet.		☐	Die obere Bildhälfte verschwindet.		☐

b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

Abb. 17: Testitem 8 (HAL1) in der ursprünglichen Version

In der Literatur sind etliche vergleichbare Testfragen zu finden. Goldberg und McDermott (1987, S. 112 f.) haben in ihrer Untersuchung dieselbe Aufgabe eingesetzt, mit dem Unterschied, dass bei ihrem Beispiel der Karton vor der Linse aufgestellt wird. Eben dieses Item haben auch Kaltakci und Eryilmaz (2008, S. 2) bei ihrer Studie verwendet. Auch Sokoloff (2006, S. 49) verwendet bei seinen Lehrgängen dieselbe Aufgabenstellung.

5. Datenerhebung

5.1 Organisatorische Gestaltung

Die thematische Ausrichtung dieser Arbeit wurde Anfang November 2012 mit den Betreuern beschlossen. Anschließend wurden vom schon bestehenden Fragebogen acht Testitems ausgewählt.

Zu Beginn dieser Arbeit konnte bereits auf 131 ausgefüllte Fragebogen zurückgegriffen werden. Dabei wurden Daten von vier verschiedenen Gymnasien aus der Steiermark, Oberösterreich und Wien gesammelt. Beteiligt waren eine 4. Klasse des Keplergymnasiums in Graz, eine 4. Klasse des BRG Hartberg, drei 4. Klassen des BRG Traunsee in Gmunden und eine 5. Klasse des GRG23 in Wien. In einer ersten Phase wurden die ausgefüllten Fragebogen ausgewertet und mithilfe der offenen Antworten Kategorien gebildet, welche der Bildung von Erklärungsdistraktoren dienten.

Nach der Analyse der vorhandenen Daten wurde die zweite Phase der Untersuchung geplant und entwickelt. Es wurde Kontakt mit verschiedenen Lehrern aufgenommen und angefragt, ob sie bereit wären, mit ihren Klassen an der Untersuchung teilzunehmen. Anfang März 2013 konnte an der BAKIP8 in Wien ein Probeinterview gehalten werden und konnten dadurch kleine Änderungen am Interviewleitfaden eingearbeitet werden.

Nachdem die Lehrer zugesagt hatten, an der Untersuchung teilzunehmen, wurden ihnen Einverständniserklärungen übermittelt, welche an interessierte Schüler/innen verteilt werden sollten. Weiters wurden Termine für die Interviews vereinbart. Bevor die Interviews an einer Schule durchgeführt wurden, stellte der Forscher seine eigene Person und den Sinn und Zweck der Untersuchung kurz vor. Die Interviews fanden in Einzelgesprächen nach Absprache mit den verantwortlichen Lehrkräften während der Unterrichtszeit an geeigneten Plätzen (Physikzimmer, Besprechungsraum) statt. Aufgrund der ausgedehnten Länge der Interviews (40-50 Minuten) konnte nur ein/e Schüler/in pro Unterrichtseinheit interviewt werden. In zwei der neun durchgeführten Interviews konnten die letzten beiden Items aufgrund von Zeitmangel nicht mehr so ausführlich wie geplant besprochen werden. Da aufgrund der guten Kooperation der Lehrkräfte die Interviews nicht nur während des Physikunterrichts durchgeführt wurden, konnten bis zu drei

Befragungen an einem Tag durchgeführt werden. In der Folge wurden im März 2013 an der BAKIP8 drei Interviews mit Schüler/innen einer 2. Klasse (10. Schulstufe) durchgeführt. Die Wahl fiel auf diese Schülergruppe, da sie alt genug sind um sich gut artikulieren zu können und nach Auskunft der Lehrperson weder physikalisch besonders interessiert noch leistungsstark sind. Die Schüler/innen entsprechen somit der Zielgruppe, da der Gesamtoptiktest ein Instrument für formatives Assessment sein soll, welches auf Schülerinnen und Schüler aller Leistungsbereiche abzielt. Nach Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Interviews wurden kleine Änderungen des Interviewleitfadens und der Testitems durchgeführt. Anfang April konnten weitere drei Interviews an der AHS Friesgasse in Wien mit Schüler/innen einer 5. Klasse (9. Schulstufe) umgesetzt werden. Ebenfalls konnte die Durchführung weiterer Befragungen von drei Schüler/innen einer 5. Klasse (9. Schulstufe) des BORG Deutsch Wagram vollzogen werden. Die befragten Schüler/innen besuchten das letzte Mal am Ende der 8. Schulstufe Optikunterricht. Die Befragungen wurden nicht direkt nach dem Optikunterricht durchgeführt, weil dieser Themenbereich an vielen Schulen traditioneller Weise erst am Ende des Schuljahres behandelt wird. Da hier jedoch eine Durchführung der Untersuchung nicht möglich ist, wurden Schüler/innen der 9. Schulstufe befragt.

5.2 Durchführung und Erhebungsinstrumente

Optikfragebogen_III

Die Grundlage dieser Untersuchung bildet ein Teil des am AECCP entwickelten Testinstruments. Der behandelte Teil des Testinstruments stammt aus der dritten Version des Optikfragebogens, wovon die oben angeführte Bezeichnung herrührt. In der dritten Version wurden Inhaltsbereiche, welche in den ersten beiden Versionen gefehlt haben, erhoben sowie Alternativen zu Items entwickelt, welche nicht einwandfrei funktionierten. (vgl. Haagen-Schützenhöfer und Hopf, i.V.)

Der Optikfragebogen besteht aus verschiedenen Teilen. Hierzu zählen die am Beginn stehenden Fragen zur Ermittlung einiger biografischer Daten (Geschlecht, Alter, letzte erreichte Physiknote, neben Deutsch weitere angewandte Umgangssprache in der Familie). Weiters finden sich zwei Skalen zur Selbsteinschätzung und Motivation bezüglich des

Lernens von Physik. Die erste Skala dient der Erfassung des Selbstkonzepts der Befähigung in Physik, welche auch in der PISA-Studie 2000 eingesetzt wurde (vgl. Kunter et al., 2002, S. 106 f.). Mithilfe der zweiten Skala wird das Interesse für Physik erhoben. Diese Skala wurde in der PISA-Studie 2003 für Mathematik eingesetzt und für diese Untersuchung leicht modifiziert, indem die Begriffe „Mathematik“ durch „Physik“ ersetzt wurden (vgl. Ramm et al., 2006, S. 269 f.). Der Hauptteil des Fragebogens setzt sich aus 12 physikalisch-fachlichen Optik-Testitems zusammen, welche jeweils aus einer Multiple-Choice Frage mit 3-5 Antwortmöglichkeiten und einer offenen Frage zur Begründung der gewählten Antwort, besteht.

Durch die Schwerpunktsetzung dieser Untersuchung auf das Thema „Brechung und Linsen“ wurden die ersten acht Testitems des Fragebogens ausgewählt, welche die Grundlage für die Interviews bildeten. Die einzelnen Testitems wurden bereits in Kapitel 4.4 ausführlich beschrieben. Der physikalische Fragebogen mit diesen acht Testitems ist in Anhang A zu finden.

Einverständniserklärung

Vor Durchführung der Interviews wurden die Erziehungsberechtigten in einem Schreiben um Einverständnis gebeten, ihre Kinder an der Untersuchung teilnehmen zu lassen. Dies umfasst die Teilnahme am Interview mit der Aufzeichnung auf Tonband. In dem Elternbrief wird sowohl über Ziel und Zweck des Forschungsvorhabens als auch über die Art der Datenerhebung informiert. Die Einverständniserklärung ist im Anhang B einzusehen.

Kurzfragebogen

Der Kurzfragebogen wurde von den Schüler/innen vor der Durchführung des Interviews ausgefüllt. Dieser enthält die Ermittlung der biografischen Daten und die beiden Skalen, die auch schon im physikalischen Fragebogen enthalten waren. Zusätzlich enthält er noch drei weitere Skalen, welche auch in der PISA-Studie 2006 eingesetzt wurden, bezüglich folgender Themenbereiche:

- Naturwissenschaftsbezogenes Fähigkeitsselbstkonzept (Frey et al., 2009, S. 86)

- Qualität der Lernmotivation: Intrinsische/ Interessierte Motiviertheit in Physik (Frey et al., 2009, S. 114)
- Kognitive Lernaktivitäten: Elaborationen insgesamt in Physik (Frey et al., 2009, S. 117)

Der Kurzfragebogen ist im Anhang C zu finden.

Interviewleitfaden

Der Interviewleitfaden hatte den Zweck, dem Interview eine gewisse Struktur zu geben und es dem Interviewer zu erleichtern den Überblick zu bewahren. Wichtig war, dass die Interviews unter annähernd gleichen Bedingungen durchgeführt werden, damit sie für die spätere Auswertung vergleichbar sind. Der Interviewleitfaden beinhaltet die behandelten Testitems und die zugehörigen Erklärungsdistraktoren. Der gesamte Interviewleitfaden ist im Anhang D zu finden, ein Ausschnitt ist in Abb. 18 zu sehen.

In der Folge werden dir einige Erklärungen präsentiert. Lies die Erklärung bitte laut vor!

- Was fällt dir zu dieser Erklärung ein?
- Wie stellst du dir das vor?
- Hältst du diese Erklärung für richtig oder falsch? Warum?
- Sind Worte dabei, die dir komisch vorkommen bzw. die du nicht verstehst?
- Würdest du es anders formulieren? Wenn ja, wie? (nur bei Bedarf)

1.1. Die Münze liegt am nächsten.

1.2. Das Sichtfeld ist durch das Rohr beschränkt.

1.3. Das Rohr gibt die Blickrichtung vor.

1.4. Lichtstrahlen von der Münze fallen gerade in das Auge ein.

1.5. Die Münze, das Rohr und das Auge liegen auf einer Linie.

}

Haben die beiden Antworten die gleiche Bedeutung für dich?

}

Gleiche Bedeutung?

Abb. 18: Ausschnitt aus dem Interviewleitfaden

Interviewunterlagen

Für die Interviews wurde der physikalische Fragebogen nicht eins zu eins übernommen, sondern einige Änderungen durchgeführt (siehe Kapitel 6.1.3). Jeder Befragte erhielt einen Kurzfragebogen und vier Seiten mit je zwei Testitems. Die Testitems bestanden jeweils aus der Multiple-Choice Frage und der offenen Frage. Weiters wurden die Testaufgaben

größerem Format dargestellt, um den Schüler/innen das Anfertigen von Skizzen zu erleichtern. Die Darstellung der Erklärungsdistraktoren, die auf Basis der offenen Fragen der vorangegangenen Fragebogen-Befragung 2012 ermittelt wurden, erfolgte mittels einer Präsentation am Laptop. Dabei wurde immer nur eine Erklärung eingeblendet, um eine Beeinflussung durch die anderen Erklärungen zu vermeiden.

5.3 Beschreibung der Stichprobe

5.3.1 Stichprobe des physikalischen Fragebogens

Wie bereits erwähnt wurden die Daten des physikalischen Fragebogens an vier unterschiedlichen Gymnasien erhoben. In Abb. 19 ist zu sehen an welcher Schule wie viele Fragebogen von den Schülern und Schülerinnen ausgefüllt wurden. Am BRG Traunsee wurden 59 Fragebogen erhoben, was etwa der Hälfte der Gesamtanzahl entspricht. Weiters wurden am Keplergymnasium 26, am GRG23 21 und am BRG Hartberg 16 Fragebogen erhoben.

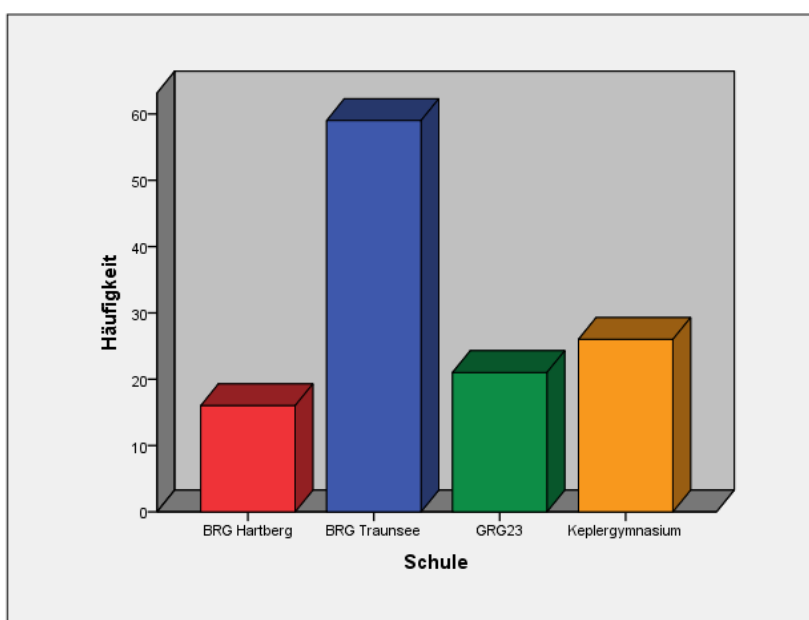


Abb. 19: Ausgefüllte Fragebogen pro Schule

Von den 131 erhaltenen Fragebogen wurden 9 ausgefiltert, da die Bearbeitung durch die jeweiligen Schüler/innen den Schluss nahe gelegt hat, dass diese nicht gewissenhaft

ausgefüllt wurden. In der weiteren Beschreibung der Stichprobe werden nur mehr die verbliebenen 122 Fragebogen für die Auswertung herangezogen. Abb. 20 zeigt die Geschlechterverteilung der Stichprobe des physikalischen Fragebogens. Insgesamt wurden von Schülern 66 und von Schülerinnen 51 Fragebogen ausgefüllt, 5-mal wurde kein Geschlecht angegeben.

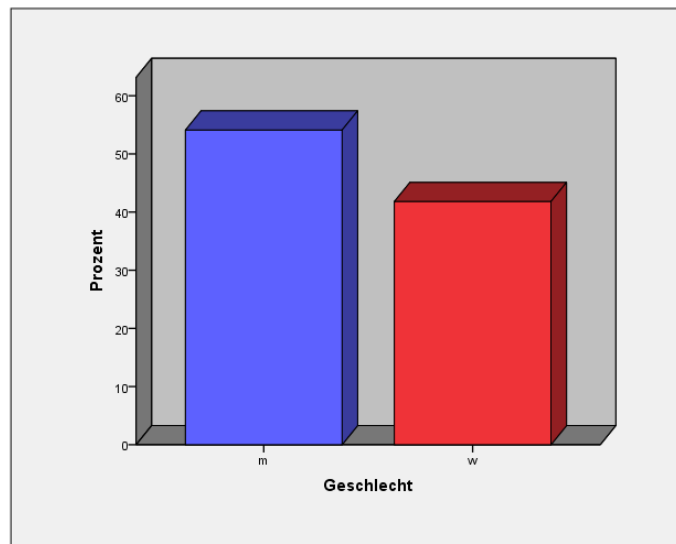


Abb. 20: Prozentanteil der von Schülern und Schülerinnen ausgefüllten Fragebogen

Zu Beginn des physikalischen Fragebogens wurde außerdem das Alter der Probanden und Probandinnen erhoben. Die Schüler/innen waren zum Zeitpunkt der Erhebung zwischen 12 und 16 Jahren alt. Der Großteil war 14 Jahre alt, was zu einem Mittelwert von 14,13 Jahren führte. Zu beachten ist, dass jeweils nur eine Person 12 bzw. 16 Jahre alt war und der Rest im Bereich von 13-15 Jahren lag. Weiters wurde die letzte in Physik erreichte Note erfragt. Die Auswertung ergab einen Mittelwert der Note von 2,22, die prozentuale Verteilung ist in Abb. 21 ersichtlich.

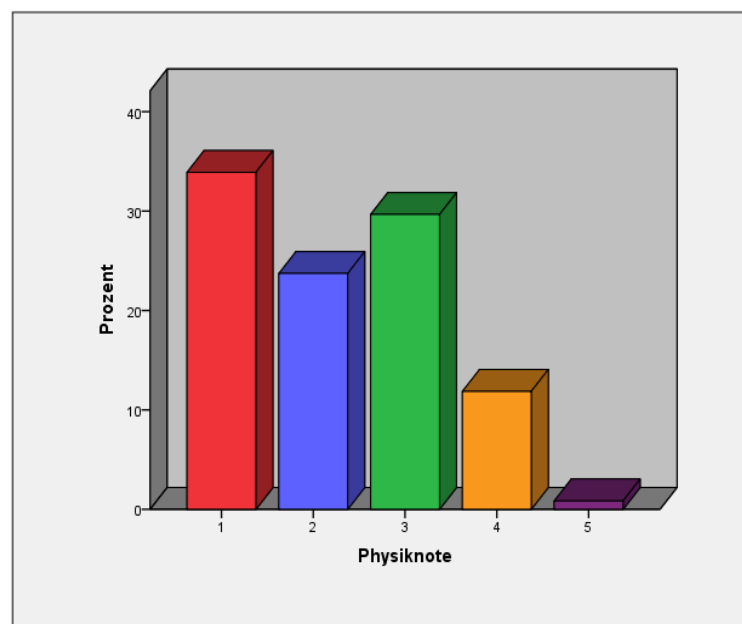


Abb. 21: Prozentanteil der letzten in Physik erlangten Note

Des Weiteren wurde erhoben, welche Sprache neben Deutsch noch in der Familie gesprochen wird. Hierbei wurde Englisch bei weitem am häufigsten erwähnt, andere Sprachen stechen nicht hervor. Jedoch muss darauf geschlossen werden, dass einige Schüler angaben, welche Sprache sie neben Deutsch noch beherrschen und damit nicht meinten, dass im Haushalt Englisch gesprochen wird. Über drei Viertel der Befragten sprechen in der Familie nur Deutsch.

5.3.2 Stichprobe des Interviews

Es wurden jeweils drei Interviews an drei unterschiedlichen Schulen in Wien und Niederösterreich durchgeführt. Die Schüler/innen besuchten gerade die 9. bzw. 10. Schulstufe und waren zum Zeitpunkt der Befragung zwischen 14 und 16 Jahren alt. Die Berechnung des Mittelwerts des Alters ergab 15,44. Es wurde auf eine ausgeglichene Geschlechterverteilung geachtet, deshalb wurden 5 Mädchen und 4 Burschen befragt. Der Mittelwert der letzten in Physik erhaltenen Note ergab 3,11. Neben Deutsch wurde in einer Familie noch Spanisch gesprochen, in einer anderen Kroatisch.

Im Vergleich zu den Schülern und Schülerinnen, welche die Fragebogen ausgefüllt haben, sind jene der Interviews im Schnitt um über ein Jahr älter und ihre letzte Physiknote ist durchschnittlich um einen Grad schlechter.

6. Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

6.1 Auswertung und Interpretation der physikalischen Fragebogen

Die Ergebnisse der von Schülerinnen und Schülern an vier verschiedenen Schulen ausgefüllten physikalischen Fragebogen werden in diesem Kapitel präsentiert. Von den 131 ausgefüllten Fragebogen sind 122 für die Auswertung berücksichtigt worden. Die restlichen 9 Fragebogen wurden ausgefiltert, da diese offensichtlich nicht gewissenhaft bearbeitet wurden.

6.1.1 Auswertung der PISA-Skalen

Selbstkonzept der Befähigung in Physik (vgl. Kunter et al., 2002, S. 106 f.)

Für die Auswertung der Antworten der Schüler/innen werden in der Folge die berechneten statistischen Kennwerte angegeben. Für den Vergleich werden die Ergebnisse der PISA-Studie 2000 in Klammer angegeben. Die Auswertung ergibt für das Item „Mir fällt Physik leicht“ einen Mittelwert von 2,25 (2,40) mit einer Standardabweichung von 0,84 (0,92). Für das Item „Ich bin für Physik begabt“ ergibt sich ein Mittelwert von 2,64 (2,18) und eine Standardabweichung von 0,89 (0,90). Beim Item „Ich bringe in Physik gute Leistungen“ ergibt sich ein Mittelwert von 2,18 (2,53) mit einer Standardabweichung von 0,80 (0,89). Es zeigt sich, dass die Kennwerte in etwa mit jenen der PISA-Studie 2000 übereinstimmen. Daraus lässt sich schließen, dass es sich hinsichtlich des Selbstkonzepts der Befähigung in Physik bei dieser Stichprobe um durchschnittliche Schüler/innen handelt. In Tab. 2 sind die prozentualen Antworthäufigkeiten der einzelnen Variablen dargestellt.

Tab. 2: Prozentuale Antworthäufigkeiten der Skala "Selbstkonzept der Befähigung in Physik"

	1 [%]	2 [%]	3 [%]	4 [%]	5 [%]
Mir fällt Physik leicht.	18,9	43,4	30,3	6,6	0,8
Ich bin für Physik begabt.	11,5	29,5	41,8	16,4	0,8
Ich bringe in Physik gute Leistungen.	19,7	45,9	29,5	4,1	0,8

Anmerkung: 1 = trifft völlig zu; 2 = trifft eher zu; 3 = trifft eher nicht zu; 4 = trifft gar nicht zu; 5 = nicht bearbeitet

Die Auswertung zeigt, dass Schüler/innen eher der Ansicht sind Physik, falle ihnen leicht und dass sie gute Leistungen in Physik bringen. Hingegen sehen sie sich weniger als begabt für Physik an.

Interesse für Physik (vgl. Ramm et al., 2006, S. 269 f.)

Die Auswertung der Antworten der Schüler/innen ergibt für das Item „Ich mag Bücher über Physik“ einen Mittelwert von 2,89 mit einer Standardabweichung von 0,99. Für das Item „Ich freue mich auf meine Physikstunden“ ergibt sich ein Mittelwert von 2,72 und eine Standardabweichung von 0,98. Beim Item „Ich mache Physik, weil es mir Spaß macht“ ergibt sich ein Mittelwert von 2,75 mit einer Standardabweichung von 1,01. Für das Item „Mich interessiert das, was ich in Physik lerne“ beträgt der Mittelwert 2,38 und die Standardabweichung 0,99. Diese Kennwerte sind jenen der PISA-Studie 2003 für Mathematik sehr ähnlich.

Tab. 3: Prozentuale Antworthäufigkeiten der Skala "Interesse für Physik"

	1 [%]	2 [%]	3 [%]	4 [%]	5 [%]
Ich mag Bücher über Physik.	13,1	15,6	39,3	31,1	0,8
Ich freue mich auf meine Physikstunden.	12,3	28,7	32,8	25,4	0,8
Ich mache Physik, weil es mir Spaß macht.	12,3	27,9	30,3	27,9	1,6
Mich interessiert das, was ich in Physik lerne.	20,5	36,1	27,0	15,6	0,8

Anmerkung: 1 = stimmt ganz genau; 2 = stimmt eher; 3 = stimmt eher nicht; 4 = stimmt überhaupt nicht; 5 = nicht bearbeitet

Ein direkter Vergleich mit den Ergebnissen der PISA-Studie 2003 ist nicht möglich, da man Mathematik nicht mit Physik gleichsetzen kann. Es zeigt sich, dass die befragten Schüler/innen einzig hinsichtlich der gelernten Inhalte in Physik eine neutrale Auffassung haben. Eine tendenziell negative Haltung haben die Befragten in Bezug auf die Freude an

Physik im Allgemeinen und die Freude auf Physikstunden. Besonders schwach ausgeprägt ist die Begeisterung für Bücher über Physik.

6.1.2 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse der einzelnen Testitems

Das vorliegende Kapitel befasst sich mit den acht in Kapitel 4.4 beschriebenen Testitems. Anfänglich wird jeweils die Beantwortung der Schüler/innen der Multiple-Choice Frage in Hinblick auf Antworthäufigkeiten ausgewertet. Anschließend werden die Antworten auf die offenen Fragen, welche als Begründung der Wahl der Multiple-Choice Frage dienten, untersucht.

Testitem 1: MDR1

Das Antwortverhalten der Schüler/innen für den ersten Teil des Items MDR1, welches die geradlinige Ausbreitung von Licht behandelt, ist in Abb. 22 zu sehen. Die rote Münze ist bei dieser Aufgabenstellung zur Gänze zu sehen, weiters kann man einen kleinen Teil der blauen Münze sehen. Für die Auswertung wurden deshalb die Antworten „Man sieht die rote Münze“ und „Man sieht die rote und die blaue Münze“ als richtig gewertet. Der Großteil der Befragten (55,8 %) gab an, man sehe die rote Münze, 22,5 % gaben die rote und die blaue Münze an, was zu 78,3 % als richtig gewertete Antworten ergibt. Sehr interessant ist, dass rund ein Fünftel (19,2 %) angab, man sehe nur die blaue Münze.

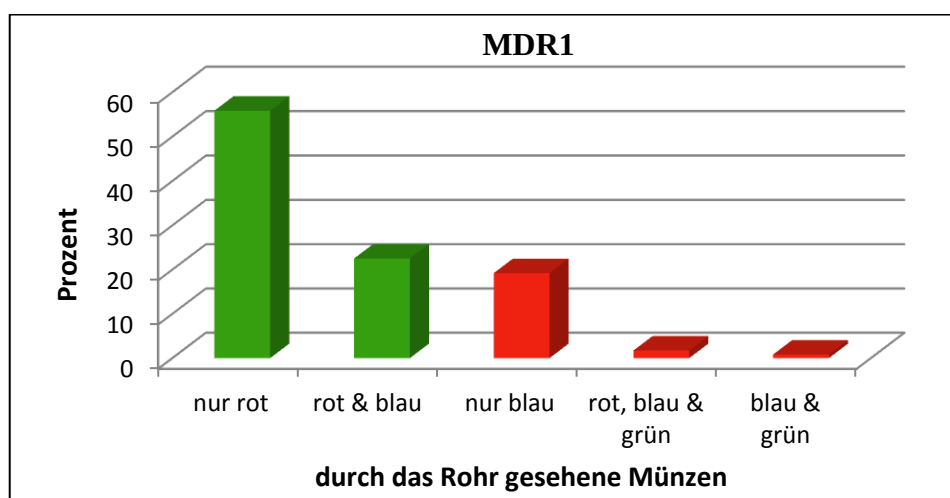


Abb. 22: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 1 (MDR1a)

Im zweiten Teil des Testitems (MDR1b) ging es darum, die gewählte Antwort physikalisch zu begründen. Den Befragten stand dazu ein freies Antwortfeld zur Verfügung. Die gegebenen Antworten wurden in verschiedene Kategorien eingeteilt, welche in Tab. 4 ersichtlich sind. Jene Kategorie, welcher die meisten Antworten zugeordnet wurden, wird stets am Beginn genannt.

Tab. 4: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 1 (MDR1b)

Kategorien	Anzahl der Nennungen
1.1 Rohr schränkt das Sichtfeld ein bzw. gibt die Blickrichtung vor	30*
1.2 Lichtstrahlen breiten sich geradlinig aus (keine Lichtbrechung oder Spiegelung)	25*
1.3 Sicht auf Münze ist nicht frei (etwas Materielles ist im Weg)	18*
1.4 Sicht auf Münze ist frei	17*
1.5 Münze ist nicht im Sichtfeld	11*
1.6 Common Sense	10
1.7 Keine Zuordnung	8

* einzelne Antworten wurden teilweise zwei Kategorien zugeordnet

Beispielantworten für die Kategorie 1.1 sind etwa jene: „die rote Münze sieht man nicht mehr, wegen dem eingeschränkten Blickfeld durch das Rohr“¹ oder „das Rohr schränkt das Sichtfeld ein“. In Kategorie 1.2 wurden Antworten folgender Art eingeordnet: „die Lichtstrahlen fallen gerade in das Auge ein“, „weil noch kein anderes Medium in dem Behälter ist und so die Lichtstrahlen geradlinig und ungebrochen verlaufen“ oder „weil sich Licht geradlinig ausbreitet“. Antworten wie „die Seitenwand verdeckt die grüne Münze, dadurch sieht man sie nicht“ wurden der Kategorie 1.3 zugeordnet. Kategorie 1.4 beinhaltet Antworten wie „weil man ungehindert (ohne Hindernis) ganz einfach gerade auf die Münze sehen kann“ und „das Blickfeld ist nur auf die rote Münze gerichtet“. Kategorie 1.5 enthält Antworten wie „weil die anderen in diesem Winkel nicht sichtbar sind“.

Die Auswertung der Multiple-Choice Frage dieses Items kann so interpretiert werden, dass ein Großteil der Befragten die Vorstellung einer geradlinigen Ausbreitung von Licht hat. Dies zeigt sich auch in den offenen Antworten. Der eine Teil der Schüler/innen

¹ bei unter Anführungszeichen gestellten Aussagen handelt es sich um Direktzitate von Schüler/innen aus dem Fragebogen

argumentiert damit, dass die Sicht auf die entsprechenden Münzen frei ist, der andere damit, dass die Sicht auf ausgewählte Münzen nicht frei ist.

Aufgrund der freien Antworten kann jedoch nicht automatisch darauf geschlossen werden, dass alle Befragten, die die Frage richtig beantworteten, auch eine physikalisch angemessene Vorstellung vom Sehvorgang besitzen. Es scheint als würde zwar meist eine Verbindung zwischen Auge und Gegenstand hergestellt werden, jedoch nicht in dem Sinn, dass Licht an den Münzen gestreut wird und dann in das Auge des Beobachters fallen muss, damit man diese wahrnehmen kann.

In den offenen Antworten kommen häufig Begriffe wie „Sicht“, „Sichtfeld“ oder „Blickrichtung“ vor, welche stark von der Alltagssprache geprägt sind. Guesne (1985, S. 26) meint, dass die Alltagssprache dem Auge eine aktive Rolle zuschreibt, wohingegen das Objekt „auf das geschaut wird“ nur eine passive Rolle einnimmt. Galili und Hazan (2000a, S. 59) weisen ebenfalls darauf hin, dass alltagssprachliche Formulierungen häufig nicht mit den wissenschaftlichen Vorstellungen übereinstimmen. Phrasen wie „einen Blick auf etwas werfen“, „jemanden mit Blicken durchbohren“ oder „Licht füllt den Raum“ stehen in Konflikt mit der physikalischen Sichtweise.

Testitem 2: MDR2

Bei Testitem MDR2 wurde das Phänomen der Brechung behandelt. Betrachtet man die möglichen Antworten zu diesem Item, legt dies den Schluss nahe, dass beim Entwurf von Testitem 1 (MDR1) nur die rote Münze sichtbar sein sollte. Die Antwortmöglichkeiten sind somit etwas unglücklich formuliert und erschwerten die Auswertung dieses Items. Als richtig gewertet wurden somit folgende Antwortkombination der beiden Items MDR1 und MDR2:

- MDR1: Man sieht nur die rote Münze und MDR2: Man sieht eine andere Münze, nämlich die blaue.
- MDR1: Man sieht nur die rote Münze und MDR2: Man sieht die gleiche Münze wie ohne Wasser und eine andere Münze, nämlich die blaue.
- MDR1: Man sieht die rote und die blaue Münze und MDR2: Man sieht die gleiche Münze wie ohne Wasser.

Abb. 23 zeigt die prozentuellen Antworthäufigkeiten bezogen darauf, welche Münze in dieser Aufgabe gesehen wird. Rund ein Drittel der Befragten (32,5 %) gab an man sehe nur die blaue Münze und 8,3 % gaben an man sehe die rote und die blaue Münze. In Summe haben somit 40,8 % als richtig gewertete Antworten abgegeben. Der Rest der Antworten (59,2 %) lässt darauf schließen, dass jene Schüler keine physikalisch richtige Vorstellung vom Brechungsvorgang besitzen. Etwa ein Fünftel (19,2 %) antwortete man sehe nur die rote Münze, weitere 16,7 % gaben an man sehe gar nichts mehr und 13,3 % antworteten, man sehe nur die grüne Münze.

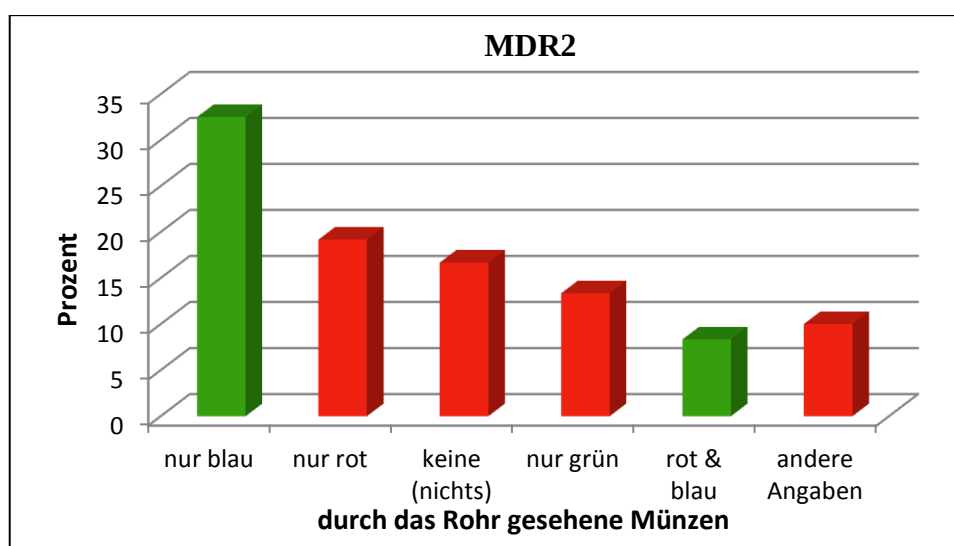


Abb. 23: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 2 (MDR2a)

Die gebildeten Kategorien der Antworten der Schüler/innen auf die offene Frage und deren Anzahl an Nennungen sind in Tab. 5 aufgelistet.

Tab. 5: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 2 (MDR2b)

Kategorien	Anzahl der Nennungen
2.1 a) Lichtbrechung	27*
b) Lichtbrechung durch das Wasser	29*
c) Brechung vom optisch dünneren ins optisch dichtere Medium	7
2.2 Wasser beeinflusst die Sicht bzw. das Licht	17*
2.3 Spiegelung/Reflexion durch Wasser	13*
2.4 Änderung der Lichtgeschwindigkeit	2*
2.5 Keine Zuordnung	12

* einzelne Antworten wurden teilweise zwei Kategorien zugeordnet

In Kategorie 2.1 sind alle Antworten zusammengefasst, die als Begründung die Lichtbrechung angeben. In Unterkategorie a) enthalten sind vorwiegend Antworten wie „wegen der Lichtbrechung“, in Unterkategorie b) wird hingegen explizit auf die Rolle des Wassers in dieser Aufgabe hingewiesen. Antworten wie „weil die Lichtstrahlen an der Wasseroberfläche gebrochen werden“ oder „Lichtbrechung durch Wasser“ bilden diese Kategorie. Antworten in Unterkategorie c) beziehen sich ausdrücklich auf die unterschiedliche Dichte der beteiligten Medien. Eine Beispielantwort ist etwa: „optisch dünner $\rightarrow$ optisch dichter $\Rightarrow$ Brechung zum Lot“.

Antworten wie „das Wasser ändert etwas an meiner Sicht“ oder „das Lichtverhältnis ist im Wasser anders als in der Luft“ bilden die Kategorie 2.2. Die Kategorie 2.3 setzt sich aus Antworten wie „das Licht wird an der Oberfläche nach oben gespiegelt“ zusammen. Nur zweimal wurde auf die Lichtgeschwindigkeit Bezug genommen (siehe Kategorie 2.4): „in Luft Lichtgeschwindigkeit = 300000 km/s Wasser = 250000 km/s“.

Bei der Betrachtung der Antworten auf die Multiple-Choice-Frage in Kombination mit den Begründungen zeigt sich, dass von den 40,8 % der Befragten, welche die MC-Frage richtig beantworteten, etwa 10 % ihre Antwort nicht korrekt bzw. gar nicht begründeten. Somit kann man darauf schließen, dass etwa 30 % der Befragten eine annähernd physikalische Vorstellung vom Brechungsvorgang besitzen. Zumeist wurde in der Begründung aber nur auf die Lichtbrechung verwiesen und nicht auf deren Ursache eingegangen. Sie scheinen zu wissen, dass Licht beim Übergang von Wasser in Luft abgelenkt wird, jedoch bleibt eine explizite Angabe des Grundes aus. Oftmals wurden auch die Begriffe „Spiegelung“ und „Reflexion“ verwendet, obwohl damit wohl das Phänomen der Brechung gemeint war. Aus den Daten lässt sich hier nicht ableiten, ob nur eine unpassende Bezeichnung, oder ein nicht passendes Konzept dahintersteckt.

Testitem 3: FMS1

Dieses Testitem behandelt den Vorgang der Brechung und der optischen Hebung. Das Antwortverhalten der Befragten ist in Abb. 24 zu sehen. Eine deutliche Mehrheit (59,5 %) ist der Meinung man müsse mit dem Speer oberhalb des Fisches zielen, um ihn zu treffen. Nur wenige (6,9 %) glauben man sollte direkt auf den Fisch zielen und etwa ein Drittel (33,6 %) teilt die korrekte Ansicht, man müsse unterhalb des Fisches zielen, um ihn zu

treffen. Da wir Menschen die Lichtbrechung in diesem Beispiel nicht wahrnehmen und unser Gehirn die in unser Auge treffenden Lichtbündel rückwertig verlängert, sehen wir den Fisch näher an der Wasseroberfläche, als er tatsächlich ist. Folglich muss man unterhalb des gesehenen Fisches zielen, um ihn zu treffen.

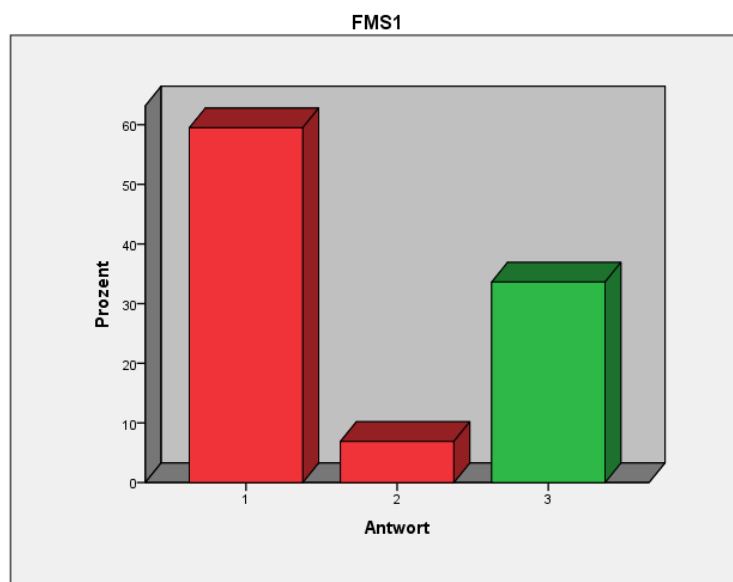


Abb. 24: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 3 (FMS1a)

Die aus den offenen Antworten der Schüler/innen gebildeten Kategorien für dieses Testitem sind in der folgenden Tab. 6 zu sehen.

Tab. 6: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 3 (FMS1b)

Kategorien	Anzahl der Nennungen
3.1 a) Wegen der Lichtbrechung	32*
b) Brechung vom Lot	7*
c) Brechung zum Lot	6
3.2 Durch die Lichtbrechung sieht man den Fisch an einer anderen Stelle, als er sich tatsächlich befindet	16*
3.3 Das Wasser verändert die Wahrnehmung	14*
3.4 Speer bewegt sich im Wasser anders	6*
3.5 Wegen der Wasserspiegelung (Reflexion)	4*
3.6 Wegen unterschiedlicher Medien	4*
3.7 Wegen unterschiedlicher Lichtgeschwindigkeit	2
3.8 Common Sense	4
3.9 Keine Zuordnung	8

* einzelne Antworten wurden teilweise zwei Kategorien zugeordnet

Die Anzahl der Nennungen zeigt, dass am häufigsten die Lichtbrechung als Begründung von den Befragten herangezogen wurde (siehe Kategorie 3.1). Die Unterkategorie a) umfasst alle Antworten, welche die Lichtbrechung als Begründung angeben, dies aber nicht detaillierter beschreiben, wie z.B. „Brechung des Lichts“. Unterkategorie b) beinhaltet Antworten wie etwa „es findet eine Brechung vom Lot statt“, wohingegen in der Unterkategorie c) Antworten wie „Lichtbrechung zum Lot“ zusammengefasst sind. Dies zeigt, dass die Schüler/innen in einem Fall den Weg des Lichts vom Fisch zum Jäger beschreiben, im anderen Fall jedoch den Weg vom Jäger zum Fisch, was sich auch durch Antworten wie „Blick wird zum Lot hin gebrochen“ ausdrückt.

Antworten wie „der Jäger sieht es ein bisschen anders als die Position des Fisches im Wasser wirklich ist, da Wasser Lichtstrahlen bricht und das Auge es anders sieht“ sind in Kategorie 3.2 zusammengefasst. Hier weisen die Schüler/innen richtigerweise explizit darauf hin, dass der Fisch an einer anderen Stelle gesehen wird, als er sich wirklich befindet.

Die Kategorie 3.3 setzt sich etwa aus „das Wasser täuscht das Auge“ oder „weil der Fisch durch das Wasser verzerrt ist“ zusammen. Die bereits genannten Antwortkategorien fassen den Großteil der Schülerantworten zusammen, Antworten der anderen Kategorien wurden von den Befragten nur selten genannt.

Die erste Stufe des Testitems FMS1 wurde nur von einem Drittel der Befragten richtig beantwortet. Die offenen Antworten lassen jedoch darauf schließen, dass mehr Schüler/innen ein richtiges Verständnis der Lichtbrechung haben. Es scheint, dass viele bei der Begründung der Antwort auf die optischen Hebung zurückgreifen, also dass das virtuelle Bild des Fisches über dem tatsächlichen Fisch gesehen wird. Aus den Daten lässt sich hier nicht ableiten ob die Schüler/innen das physikalische Konzept der optischen Hebung beherrschen oder ob ihnen bloß das Phänomen aus dem Alltag bekannt ist. Dem Anschein nach ziehen jedoch daraufhin viele den Schluss, man müsse mit dem Speer deshalb auch über den Fisch zielen. Jedoch kann sich dahinter auch nur verbergen, dass sie glauben, der Speer unterliegt beim Wurf der Schwerkraft und „sinkt daher tiefer ab als anvisiert“ und so die Idee entsteht, man müsste höher anzielen um dann den Fisch, dort wo er tatsächlich ist, zu treffen. Womöglich würde das Anfertigen einer Skizze die Beantwortung dieser schwierigen Aufgabenstellung erleichtern, jedoch griff niemand der

Befragten darauf zurück. Bei vielen scheint also ein physikalisches Verständnis der Brechung vorhanden zu sein, wobei sich bei einer komplexeren Aufgabenstellung Probleme ergeben, dieses Wissen anzuwenden. Denn einerseits müssen die Schüler/innen wissen, dass man den Fisch näher an der Wasseroberfläche sieht, als er tatsächlich ist. Andererseits müssen sie dann den richtigen Schluss ziehen, dass man unterhalb des gesehenen Fisches zielen muss, um ihn zu treffen.

Testitem 4: AQ1

Dieses Item behandelt den Übergang von Lichtkegel einer Lampe von Wasser in Luft. Wie in Abb. 25 deutlich zu sehen ist, gaben 61 % der Befragten den richtigen Verlauf der Lichtkegel in der Luft, also eine Brechung vom Lot, an. Rund ein Drittel (32,2 %) gab jene Option an, bei der das Licht beim Übergang von Wasser in Luft zum Lot gebrochen wird. Die anderen Antwortoptionen wurden nur sehr selten (6,8 %) gewählt.

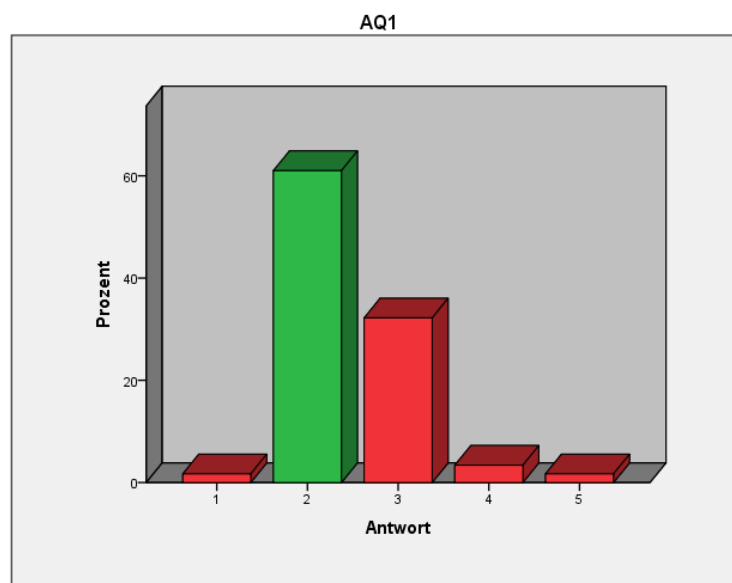


Abb. 25: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 4 (AQ1a)

In der untenstehenden Tab. 7 werden die Kategorien, welche durch die offenen Antworten der Befragten gebildet wurden, dargestellt.

Tab. 7: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 4 (AQ1b)

Kategorien	Anzahl der Nennungen
4.1 a) Wegen der Lichtbrechung	24
b) Wegen der Lichtbrechung durch das Wasser	10
c) Übergang vom optisch dichteren zum optisch dünneren Medium	25*
d) Brechung vom Lot	21*
e) Brechung zum Lot	15*
4.2 Spiegelung durch Wasser	4
4.3 Wasser wirkt wie eine Linse	3
4.4 Geradlinige Ausbreitung von Licht	2
4.5 Keine Zuordnung	11

* einzelne Antworten wurden teilweise zwei Kategorien zugeordnet

Der Großteil der gegebenen Antworten bezog sich auf die Lichtbrechung (siehe Kategorie 4.1). Bei Antworten in Unterkategorie a) wurde als Grund die Lichtbrechung angegeben, jedoch nicht näher darauf eingegangen. Unterkategorie b) umfasst Begründungen die als Grund die Lichtbrechung durch das Wasser angeben. Am häufigsten wurde die Begründung angegeben, dass es sich hier um einen Übergang von einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium handelt. Unterkategorie c) umfasst Antworten wie „Licht fällt vom optisch dichteren ins optisch dünnere Medium“. Ebenfalls sehr häufig wurde die Brechung vom Lot als Begründung angegeben (Unterkategorie d)). Oft wurden Antworten beiden letztgenannten Kategorien zugeordnet, wie etwa „weil der Strahl der Lampe vom optisch dichteren Medium (also Wasser) ins optisch dünnere (Luft) eindringt, also Brechung VOM Lot“. Beinahe alle Schüler/innen, welche die MC-Frage dieses Beispiels richtig beantworteten, konnten ihre Antwort physikalisch korrekt begründen. In Unterkategorie e) zusammengefasst sind Antworten wie „weil die Strahlen zum Lot gebrochen werden“, welche jedoch nicht mit der physikalischen Vorstellung übereinstimmen. Jene Antworten, welche den Kategorien 4.2 bis 4.5 zugeordnet wurden, traten vergleichsweise selten auf.

Testitem 5: SSL1

Dieses Item behandelt den Durchgang von Licht eines Scheinwerfers durch eine Sammellinse. Die unten stehende Abb. 26 gibt einen Überblick über die Häufigkeit der gegebenen Antworten zu diesem Testitem. Am häufigsten (52,9 %) wurde richtigerweise Grafik 2 von den Befragten ausgewählt. Wenn man annimmt, dass der Scheinwerfer sich im Brennpunkt vor der Linse befindet, stellt Grafik 1 die richtige Antwort dar, welche von 12,6 % gewählt wurde. Insgesamt ergibt dies eine Summe von 65,5 % richtiger Antworten. Ebenfalls recht häufig (30,3 %) wurde Grafik 3 von den Befragten angekreuzt. Ihrer Meinung nach laufen die Strahlen hinter der Sammellinse in einem Punkt zusammen, laufen jedoch nicht weiter.

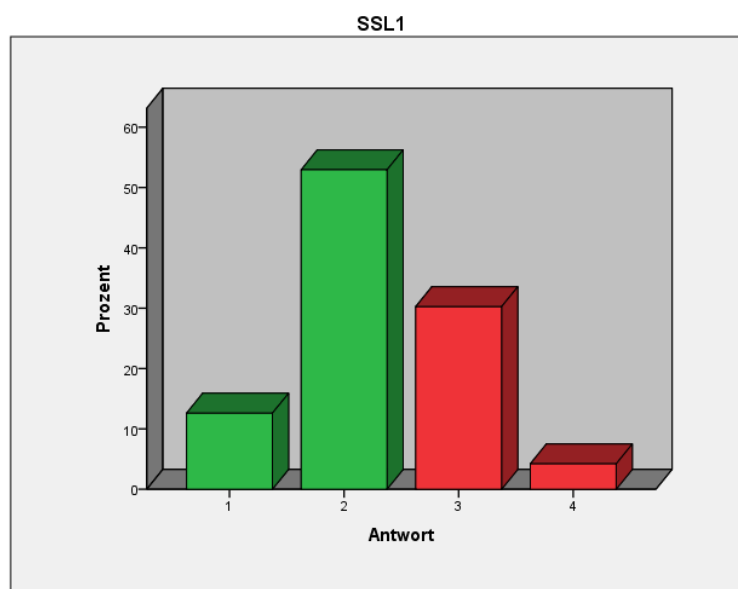


Abb. 26: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 5 (SSL1a)

Tab. 8 gibt einen Überblick über die in den offenen Antworten gegebenen Begründungen.

Tab. 8: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 5 (SSL1b)

Kategorien	Anzahl der Nennungen
5.1 Licht wird gesammelt (gebündelt) bzw. auf einen Punkt geleitet	37*
5.2 Licht wird gesammelt (gebündelt) bzw. auf einen Punkt geleitet und verläuft danach weiter	18*
5.3 Lichtbrechung	12*
5.4 (Sammel-)linse	6
5.5 Lichtstrahlen verlaufen geradlinig weiter	2
5.6 Keine Zuordnung	16

* einzelne Antworten wurden teilweise zwei Kategorien zugeordnet

Am häufigsten wurden Begründungen wie „die Sammellinse sorgt dafür, dass das Licht gesammelt wird“ oder „eine Sammellinse bündelt die Strahlen auf einen Punkt“ gegeben, welche zur Kategorie 5.1 zusammengefasst wurden. Antworten von Kategorie 5.2 sind jene wie „das Licht wird auf einen Punkt geworfen oder konzentriert wenn dort kein Gegenstand ist verläuft das Licht weiter“. Häufig wird dabei direkt Bezug genommen auf die entsprechende Grafik des Testitems. Manche Antworten verweisen nur kurz und knapp als Begründung auf die Lichtbrechung (siehe Kategorie 5.3) oder auf die Sammellinse (siehe Kategorie 5.4).

Nach Wiesner (1986, S. 28) assoziieren viele Kinder die Sammellinse mit dem Phänomen, dass man damit Papier anzünden kann. Dies zeigte sich auch bei dieser Untersuchung etwa durch folgende Begründung: „Alltag: Taschenlampe auf Lupe: Licht wird gebündelt. Licht kann Blätter anzünden“. Oder allgemeiner: „wie bei einer Lupe wird es auf einen genauen Punkt gesammelt“. Weiters wurde von fast einem Drittel der Befragten die Grafik von Antwort 3 dieses Testitems als richtig angesehen. Diese Grafik zeigt eben eine solche Situation, in der das Licht zu einem Punkt gesammelt wird, aber nicht mehr weiterverläuft.

Testitem 6: SSL2

Dieses Testitem ist dem vorigen recht ähnlich, mit dem Unterschied, dass ein paralleles Strahlenbündel auf die Sammellinse trifft. Die unterschiedlichen Grafiken, welche zur Auswahl stehen, sind analog zu jenen in SSL1. Abb. 27 zeigt, dass diese Aufgabe von etwas mehr als der Hälfte (52,1 %) der Befragten richtig beantwortet wurde. Am

zweithäufigsten (22,7 %) entschieden sich die Schüler/innen für Antwort 3. Am dritthäufigsten wurde Grafik 1 (17,6 %) gewählt und lediglich 7,6 % entschieden sich für Grafik 4. Insgesamt betrachtet ist das Antwortverhalten der beiden Items SSL1 und SSL2 sehr ähnlich, wobei Grafik 1 ins SSL2 unter keinen Umständen richtig gewertet werden kann.

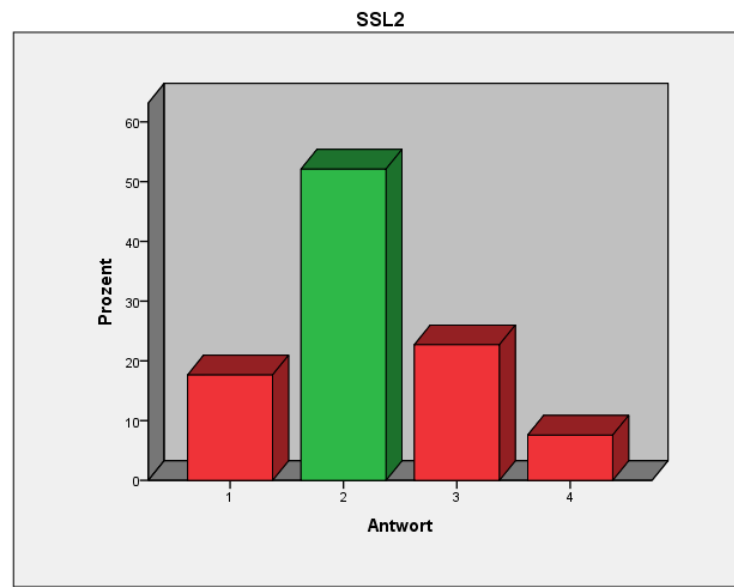


Abb. 27: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 6 (SSL2a)

In der folgenden Tab. 9 sind die aus den offenen Antworten der Schüler/innen gebildeten Kategorien angeführt.

Tab. 9: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 6 (SSL2b)

Kategorien	Anzahl der Nennungen
6.1 Licht wird gesammelt (gebündelt) bzw. auf einen Punkt geleitet	31*
6.2 Licht wird gesammelt (gebündelt) bzw. auf einen Punkt geleitet und verläuft danach weiter	15
6.3 Lichtbrechung	9*
6.4 (Sammel-)linse	5
6.5 Lichtstrahlen verlaufen geradlinig weiter (keine Lichtbrechung)	3
6.6 Keine Zuordnung	12

* einzelne Antworten wurden teilweise zwei Kategorien zugeordnet

Die offenen Antworten dieses Items sind dem vorigen sehr ähnlich. Vielfach wurde von den Schüler/innen nur auf das vorige Testitem 5 (SSL1) verwiesen. Generell unterscheidet sich das Antwortverhalten dieser beiden Testitems nur geringfügig voneinander.

Testitem 7: ZKL1

Die unten angefügte Abb. 28 gibt einen Überblick über das Antwortverhalten bei Testitem 7 (ZKL1), welches die Abbildung mit einer Sammellinse behandelt. Sehr auffällig ist, dass dieses Item von 122 Befragten von 17 nicht beantwortet wurde. Es unterscheidet sich daher deutlich von den anderen Items, wo zwischen zwei und sechs Schüler/innen keine Antwort gaben. Dies kann einerseits ein Zeichen dafür sein, dass die Aufgabe eine hohe Schwierigkeit besitzt, oder andererseits, dass sie für einige der Befragten unverständlich formuliert war.

Von den 105 abgegebenen Antworten fielen 41 % auf die richtige, nämlich dass es keine Schirmposition gibt, bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden. Rund ein Drittel (31,4 %) war der Meinung die Kerzen würden bei einer Schirmposition gleichzeitig scharf abgebildet werden und 20 %, dass dies bei zwei Schirmpositionen der Fall wäre. Nur 7,6 % dachten es gäbe unendlich viele Schirmpositionen, an denen beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet würden.

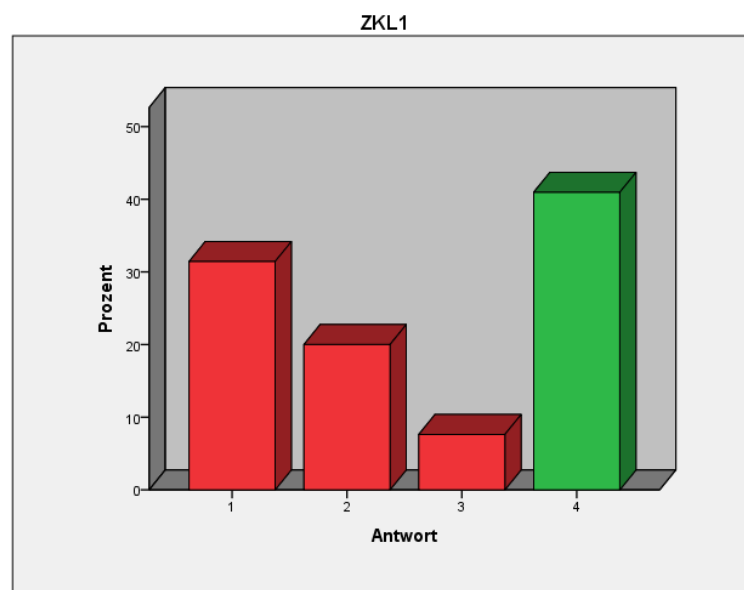


Abb. 28: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 7 (ZKL1a)

Insgesamt gaben die Befragten im zweiten Teil des Testitems 7 (ZKL1) im Vergleich zu den anderen Testitems deutlich seltener Begründungen bei der offenen Antwort an. Im Durchschnitt wurde von 37 der 122 Befragten keine Begründung in der zweiten Stufe des jeweiligen Testitems angegeben. Bei Testitem 7 wurde jedoch von 67 Schüler/innen die zweite Stufe nicht beantwortet. Die gegebenen Begründungen sind in den Kategorien der Tab. 10 zusammengefasst. Weiters wurden von den Schüler/innen häufig Skizzen als Begründung angefertigt, auf welche weiter unten ausführlicher eingegangen wird.

Tab. 10: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 7 (ZKL1b)

Kategorien	Anzahl der Nennungen
7.1 Kerzen befinden sich an unterschiedlichen Positionen	16*
7.2 Es gibt zwei verschiedene Schnittpunkte bzw. Kerzen haben unterschiedliche Brennpunkte	8
7.3 Kerzen haben unterschiedliche Größe	6
7.4 Kerzen sind nur am Brennpunkt scharf	5
7.5 Zwei Gegenstände können nicht auf einem Bildort abgebildet werden	2
7.6 Common Sense	4
7.7 Keine Zuordnung	14

* einzelne Antworten wurden teilweise zwei Kategorien zugeordnet

Am häufigsten sind Antworten der Kategorie 7.1 vertreten, welche etwa lauten „weil die Kerzen hintereinander stehen“ oder „weil die Kerzen an zwei verschiedenen Positionen stehen“. Diese Schüler/innen haben richtig erkannt, dass es keine Schirmposition gibt bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden, da sie in unterschiedlicher Entfernungen zur Linse stehen. Die Kategorie 7.2 bilden Begründungen wie „weil es zwei verschiedene Schnittpunkte gibt“. Jene Schüler/innen gaben dies zumeist als Begründung dafür an, dass die Kerzen bei zwei Schirmpositionen gleichzeitig scharf abgebildet werden. Einige begründeten ihre Auswahl mit Antworten wie „die eine Kerze ist größer als die andere“, welche Kategorie 7.3 bilden. Kategorie 7.4 beinhaltet Begründungen wie „es kann nur einen Brennpunkt geben an dem sie scharf ist“. Antworten anderer Kategorien kamen selten vor.

Sehr interessant sind Skizzen, welche die Schüler/innen teilweise als Begründung angefertigt haben. Abb. 29 zeigt die Zeichnungen zweier Schüler/innen, welche geantwortet haben, dass beide Kerzen bei einer Schirmposition gleichzeitig scharf

abgebildet werden. Die linke Skizze legt die Vermutung nahe, als glaube jener/jene Schüler/in man müsse den Schirm beim Brennpunkt der Linse positionieren, da dort beide Kerzen scharf abgebildet werden. Bei der rechten Skizze scheint das Bild überhaupt in der Linse zu liegen.

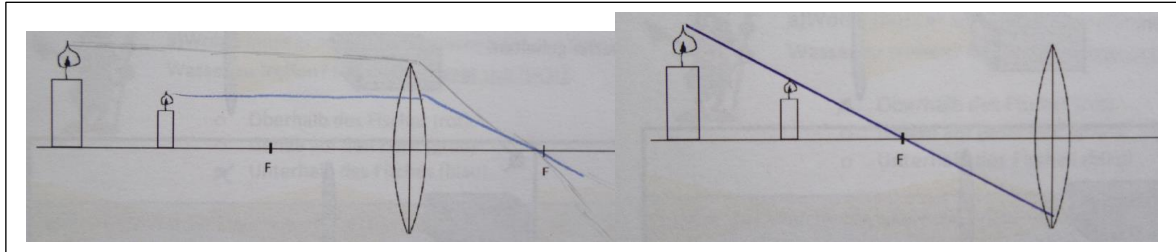


Abb. 29: Skizzen der Befragten als Begründung der Antwort, dass beide Kerzen bei einer Schirmposition gleichzeitig scharf abgebildet werden

Die Skizzen aus Abb. 30 wurden von Befragten angefertigt, welche der Meinung waren, es gäbe zwei unterschiedliche Schirmpositionen, an denen beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden. Jener/jene Schüler/in welche/r die oberste Skizze angefertigt hat, vermischt anscheinend die Regeln der Strahlenkonstruktion für Sammel- und Zerstreuungslinsen, was zu einer falschen Antwort führte. Die mittlere Skizze wurde im Zuge der strahlengeometrischen Konstruktion richtig angefertigt, jedoch wurde der falsche Schluss daraus gezogen. Es wurde nicht beachtet, dass wenn man den Schirm an die eine Position stellt, nur die entsprechende Kerze scharf abgebildet wird und die andere nicht. Die Strahlenkonstruktion der unteren Skizze entspricht nicht jener der physikalischen Bildkonstruktion.

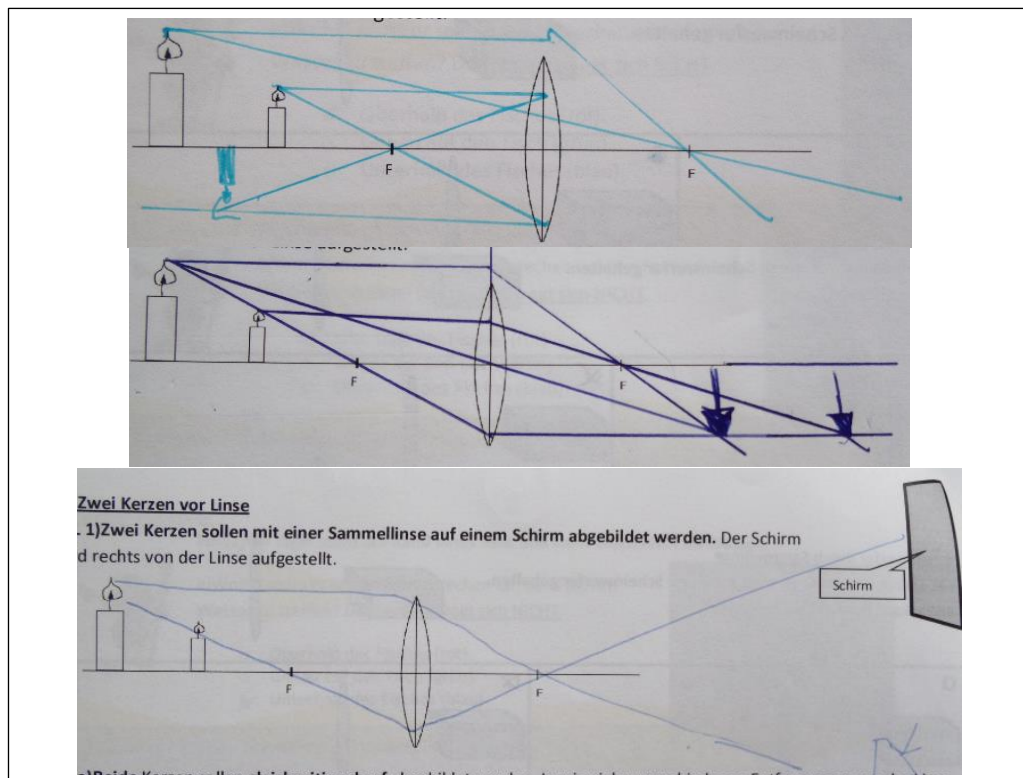


Abb. 30: Skizzen der Befragten als Begründung der Antwort, dass beide Kerzen bei zwei Schirmpositionen gleichzeitig scharf abgebildet werden

Mit der Skizze aus Abb. 31 konnte ein/eine Schüler/in richtig darstellen, dass es keine Schirmposition gibt, bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.

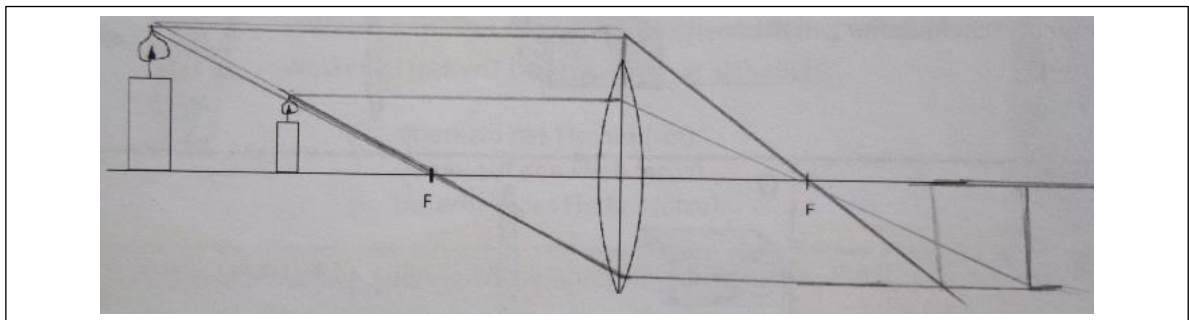


Abb. 31: Skizze eines/einer Befragten als Begründung der Antwort, dass es keine Schirmposition gibt, an der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden

Testitem 8: HAL1

Dieses Item behandelt ebenfalls die Abbildung mit einer Sammellinse, wobei jedoch die obere Hälfte der Linse mit einem Karton verdeckt wird. Wie Abb. 32 zeigt, vertraten lediglich 11 % die physikalisch korrekte Ansicht, dass weiterhin das ganze Bild sichtbar ist, dieses aber weniger gut ausgeleuchtet ist. Etwas weniger als die Hälfte (45,8 %)

glaubte die obere Bildhälfte würde verschwinden und rund ein Drittel (35,6%), dass dies mit der unteren Bildhälfte passiert. 7,6 % waren der Meinung das Bild würde unverändert bleiben.

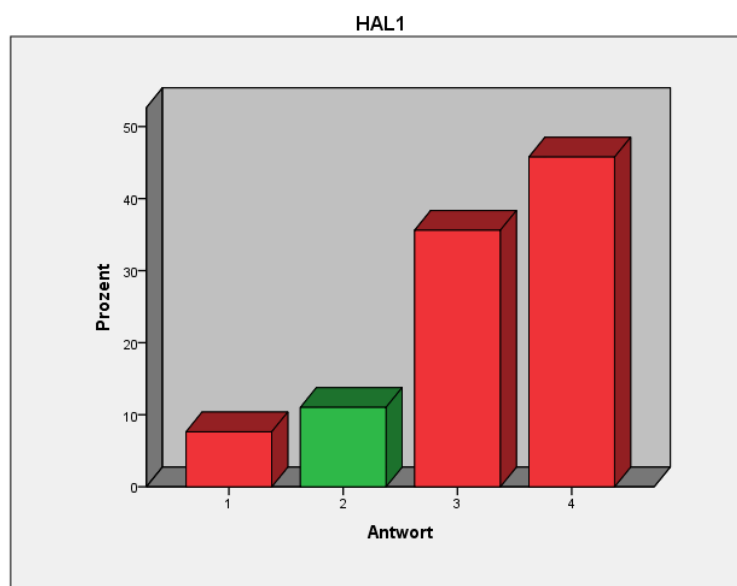


Abb. 32: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 8 (HAL1a)

Die aus den offenen Antworten gebildeten Antwortkategorien und deren Häufigkeit sind in Tab. 11 dargestellt.

Tab. 11: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 8 (HAL1b)

Kategorien	Anzahl der Nennungen
8.1 Ein Teil wird (durch den Karton) abgedeckt	25*
8.2 Das Bild wird umgedreht	24*
8.3 Es ist nur ein Teil sichtbar	9*
8.4 Licht wird an der unteren Hälfte der Linse gebrochen	5
8.5 Es strahlt nicht mehr so viel Licht durch die Linse	1
8.6 Keine Zuordnung	15

* einzelne Antworten wurden teilweise zwei Kategorien zugeordnet

Sehr häufig bezogen sich die Schüler/innen bei ihrer Begründung auf die Funktion des Kartons. In Kategorie 8.1 sind Antworten wie „die obere Hälfte wird durch den Karton abgefangen“ oder „der Karton verdeckt einen Teil des gebrochenen Lichts“ zusammengefasst.

Ebenfalls recht häufig wurden Antworten wie „weil die Bilder immer durch die Linse umgedreht werden“ gegeben, welche in Kategorie 8.2 enthalten sind. Viele Antworten wurden beiden Kategorien zugeordnet, wie etwa „weil es zuerst umgedreht wird und dann erst der Karton das halbe Bild verschwinden lässt“. Solche Schülerantworten lassen auf eine holistische Auffassung des Abbildungsvorganges schließen. Also, dass das Bild in der Linse umgedreht wird und diese als Ganzes verlässt. Der Karton sorgt in diesem Beispiel dann dafür, dass die Hälfte des Bildes verdeckt wird.

Kategorie 8.3 enthält etwa Antworten wie „die untere Hälfte ist noch im Bereich der Linse“. Jene Schüler/innen die glaubten, dass das Bild unverändert bleibt, gaben Begründungen wie „das Licht bricht so, dass es direkt am Karton vorbeigeht“, welche Kategorie 8.4 bilden. Insgesamt beantworteten diese Aufgabe nur 11% der Befragten richtig und nur einer/eine begründete die Antwort auch entsprechend mit „weil nicht mehr so viel Licht durch die Linse strahlt“.

Im zweiten Teil dieses Testitems wurden, wie schon beim vorigen, häufig Skizzen als Begründung angefertigt. Die Skizze in Abb. 33 wurde von einem/einer Schüler/in angefertigt, welche/r der Meinung war, der Karton würde keinen Einfluss auf das Bild haben. Anscheinend werden durch die Linse die Strahlen am Karton vorbeigelenkt und es ändert sich nichts.

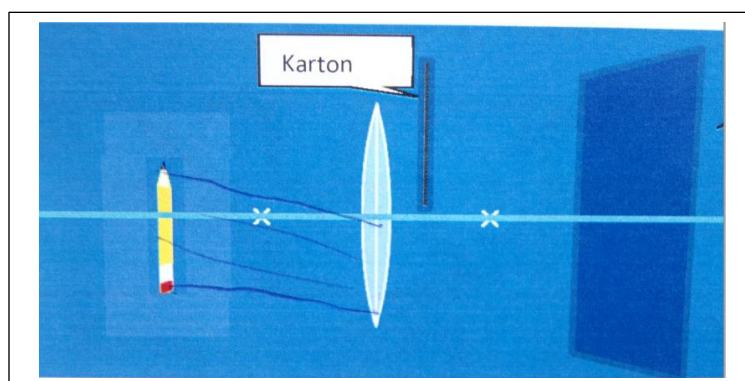


Abb. 33: Skizze eines/einer Schüler/in als Begründung das Bild würde unverändert bleiben

Die Skizzen aus Abb. 34 wurden allesamt von Schüler/innen angefertigt, welche die physikalisch korrekte Meinung vertraten das ganze Bild sei sichtbar, aber weniger gut ausgeleuchtet. Skizze 1 zeigt zwar eine richtige Strahlenkonstruktion, also dass die von einem Objektpunkt ausgehenden Strahlen wieder in einem Bildpunkt zusammenlaufen, jedoch nur für die Spitze des Bleistifts. Skizze 2 zeigt dies auch für das Ende des Bleistifts.

In beiden Fällen wurde das Strahlendiagramm richtig angewendet, jedoch werden die Strahlen teilweise natürlich vom Karton abgeblockt und laufen nicht wie in den Skizzen durch diesen hindurch.

In Skizze 3 wurden nur jeweils die Brennpunkt- und Parallelstrahlen von Spitze und Ende gezeichnet. Somit konnte der Bildort nicht genau bestimmt werden. Jene/jener Schüler/in, welche Skizze 4 angefertigt hat, scheint über kein richtiges Verständnis der geometrischen Strahlenkonstruktion zu verfügen und auch die „Regeln für die Hauptstrahlen“ nicht zu kennen.

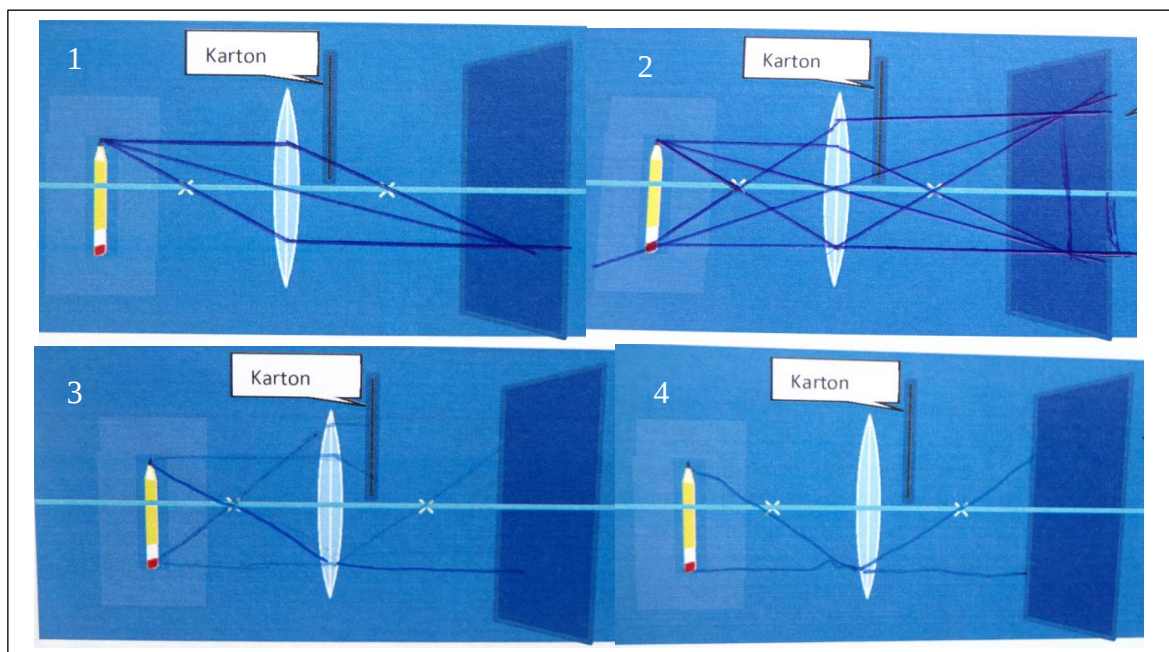


Abb. 34: Skizzen der Befragten als Begründung, dass zwar das ganze Bild sichtbar, aber weniger gut ausgeleuchtet ist

In Abb. 35 sind einige Skizzen von Schüler/innen zu sehen, welche behaupteten die untere Bildhälfte würde verschwinden. In Skizze 1 besteht überhaupt kein Zusammenhang zwischen Objekt- und Bildpunkt, außerdem wird der Brennpunktstrahl nach Durchgang durch die Linse wieder zum Brennpunktstrahl. Skizze 2 zeigt nur die beiden Mittelpunktstrahlen von Bleistiftspitze und -ende. Bei Skizze 3 gehen zwei einzelne parallele Strahlen von Spitze und Ende des Bleistifts aus. Der obere Strahl wird vom Karton abgeblockt und der untere verläuft durch den Brennpunkt hinter der Linse auf den Schirm. In Skizze 4 gehen Strahlen von der Spitze, der Mitte und dem Ende des Bleistifts aus. Der mittlere Strahl geht ungebrochen durch die Linse hindurch, die beiden anderen Strahlen verlaufen durch die beiden Brennpunkte vor und hinter der Linse. Interessant ist

hier, dass jener Strahl, der vom Bleistiftende ausgeht abgeblockt wird, welcher laut der Antwortauswahl aber sichtbar sein sollte. Alle Skizzen haben gemeinsam, dass immer nur ein Strahl von einem Objektpunkt ausgeht. Bei einer Untersuchung von Galili, Bendall und Goldberg (1993, S. 281) haben Befragte die Bildentstehung durch eine Sammellinse häufig mit Skizzen erklärt, welche den Skizzen 2 und 3 aus Abb. 35 entsprechen.

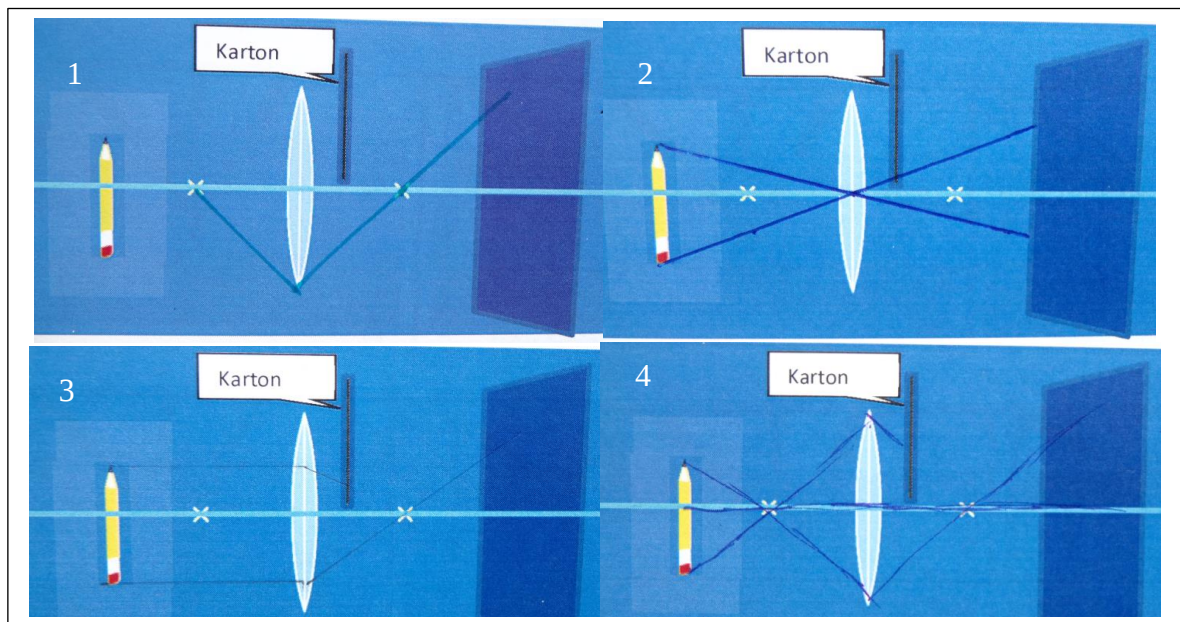


Abb. 35: Skizzen der Befragten als Begründung dafür, dass die untere Bildhälfte verschwindet

Die Skizzen in Abb. 36 wurden von Schüler/innen jener Gruppe gezeichnet, die behauptete, dass die obere Bildhälfte verschwinden würde. Diese Antwort wurde insgesamt am häufigsten gegeben. Die Skizzen 1 und 2 berücksichtigen nur Strahlen welche von der Spitze des Bleistifts ausgehen. In Skizze 3 geht jeweils ein Strahl von der Spitze und dem Ende des Bleistifts durch den Brennpunkt vor der Linse um danach parallel weiter zu verlaufen. Der Strahl, welcher vom Bleistiftende ausgeht wird in der Folge vom Karton abgeblockt.

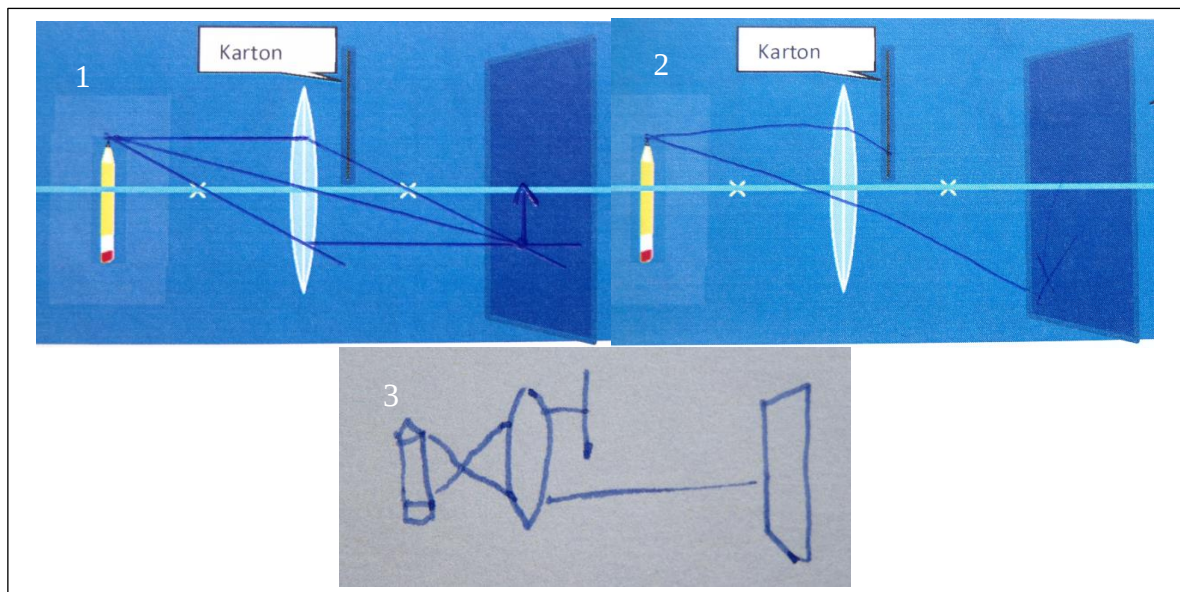


Abb. 36: Skizzen der Befragten als Begründung dafür, dass die obere Bildhälfte verschwindet

Die Tatsache, dass nur 11 % der Befragten die physikalische Sichtweise teilten, jedoch über 81 % vermuteten, die obere oder untere Bildhälfte würde verschwinden, deutet auf große Verständnisschwierigkeiten des Abbildungsvorganges durch Linsen hin. Es scheint, dass ein großer Anteil der Befragten eine holistische Vorstellung des Abbildungsvorganges besitzt. Das Bild läuft als Ganzes zur Sammellinse, dort wird es umgedreht und läuft dann zum Schirm weiter (vgl. Wiesner et al., 2011, S. 40).

Feher und Rice (1988, S. 16) haben in ihrer Untersuchung die optischen Vorstellungen von zukünftigen Grundschullehrern in Naturwissenschaften und Schüler/innen im Alter von 9 bis 13 Jahren verglichen. Sie haben festgestellt, dass ein hoher Anteil künftiger Lehrer ebenfalls eine holistische Vorstellung der Lichtausbreitung hat.

Galili, Bendall und Goldberg (1993, S. 271) weisen darauf hin, dass die Strahlenkonstruktion ein wichtiges Mittel zur Erklärung der Bildentstehung in der geometrischen Optik ist. Jedoch haben Untersuchungen von Schülervorstellungen gezeigt, dass Schüler/innen Probleme haben Strahlenkonstruktionen einzusetzen um Vorhersagen über den Ausgang von Experimenten zu treffen. Dies deutet auf fehlendes Verständnis sowohl bei der Bildentstehung als auch der strahlengeometrischen Bildkonstruktion.

Laut Herdt (1991, S. 85) wird den Schüler/innen im geometrischen Optikunterricht zwar die korrekte Anwendung des Hauptstrahlen-Konstruktionsschemas zur Abbildung durch Sammellinsen beigebracht, jedoch sind weiterhin Schülervorstellungen wie etwa folgende vorhanden:

- Die Notwendigkeit, dass der abzubildende Gegenstand Licht abstrahlen muss, wird von den Schüler/innen oft nicht erkannt. Die Lichtstrahlen haben oft nur geometrische und keine kinematische Bedeutung.
- Schüler/innen halten die Konstruktionsstrahlen (also Parallel-, Mittelpunkt-, und Brennpunktstrahl) für die eigentlichen und notwendigen „Träger“ der Abbildung.

Überblick der Testergebnisse

Abb. 37 gibt einen Überblick der Ergebnisse der Multiple-Choice-Frage der einzelnen Testitems. Die Häufigkeit der richtigen Antwort der ersten Stufe für jedes der acht Testitems wird in dem Diagramm dargestellt. Die Hälfte davon konnte von über 50 % der Befragten richtig beantwortet werden, wobei Testitem 1 (MDR1) bei weitem am häufigsten korrekt beantwortet wurde. Der Prozentsatz an richtigen Antworten der Items AQ1, SSL1 und SSL2 variiert zwischen 52 % und 65 %. Die Testitems MDR2, FMS1 und ZKL1 wurden ebenfalls in etwa gleich häufig korrekt beantwortet (33 % - 41 %). Sehr deutlich ist die geringe Anzahl an richtigen Antworten bei Testitem HAL1, welches nur 11 % korrekt beantworteten. Hier scheinen die größten Verständnisschwierigkeiten vorzuliegen.

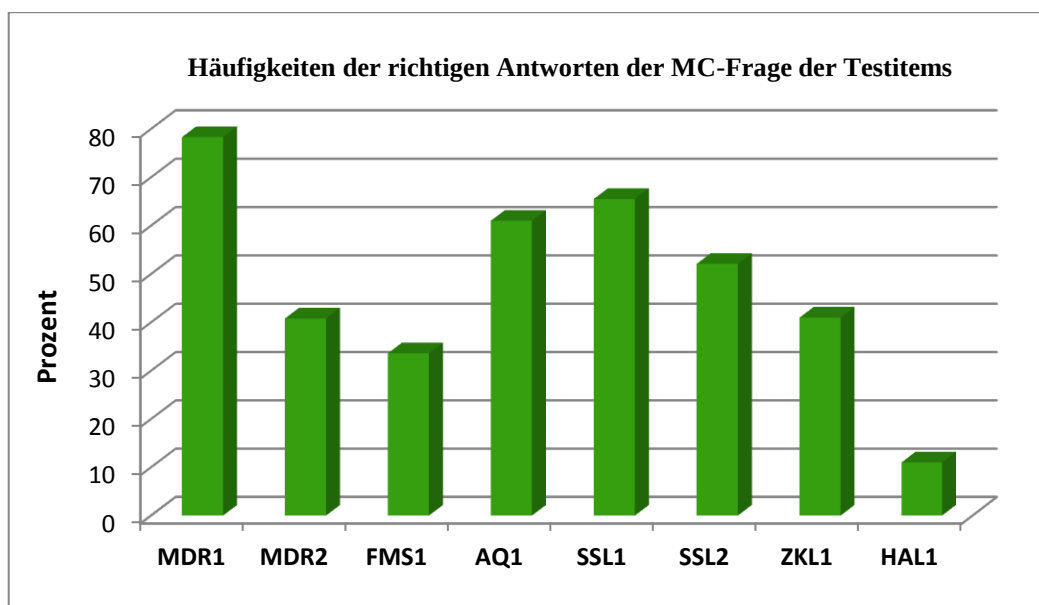


Abb. 37: Vergleich der ersten Stufe der Items nach Richtigkeit der Antworten

6.1.3 Folgerungen und Änderungen der Items in Bezug auf Phase 2

Nach der Auswertung der Fragebogen wurden noch einige Änderungen an den Testitems vorgenommen. Die im Folgenden beschriebenen Änderungen wurden noch vor Durchführung des ersten Interviews durchgeführt:

Bei den Testitems 1 (MDR1) und 2 (MDR2) wurde die blaue Münze durch eine gelbe Münze ersetzt. Dies wurde deshalb geändert, da ein/e Schüler/in bei der offenen Antwort meinte „blau sieht man im Wasser nicht“. Außerdem wurde die Farbe des Rohres, durch welches der Beobachter hindurchsieht, von grün auf grau geändert. Bedingt durch Aussagen wie: „du kannst die Grüne Münze nicht sehen weil dir alles grün vorkommt“ oder „das Wasser wird durch das Rohr grün so sieht man die grüne Münze nicht mehr“.

Weiters wurde aufgrund der Aussage „weil die Schüssel aus Glas ist“ in der Angabe nun geschrieben, dass die Münzen in einem Kochtopf liegen und nicht in einer Schüssel. Außerdem wurde die gelbe (vormals blaue) Münze näher in die Richtung des Betrachters gerückt, um so zu gewährleisten, dass bei Testitem 1 (MDR1) nur die rote Münze sichtbar ist.

Bei Testitem 3 (FMS1) wurde zusätzlich eine Skizze (siehe Abb. 38) hinzugefügt, welche die Situation aus einer seitlichen Perspektive darstellt um es den Schüler/innen zu erleichtern, sich die Situation vorzustellen. Weiters werden sie aufgefordert die Strahlenverläufe einzuzeichnen, was einen weiteren Einblick in ihre Vorstellungen ermöglicht.

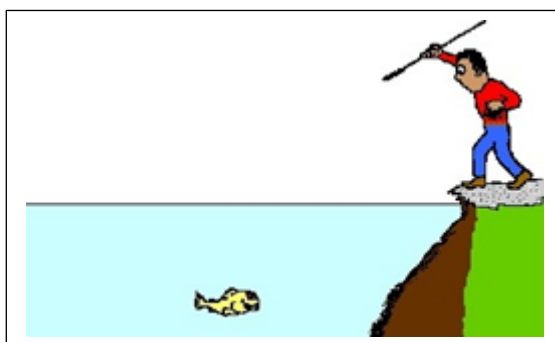


Abb. 38: Skizze zu Testitem 3 (FMS1) (Leifi Physik, 15.02.2013)

Bei Testitem 6 (SSL2) wurde bei Grafik 4 das ausgehende Strahlenbündel an die anderen Grafiken angepasst, weil bei dieser Grafik fälschlicherweise das Strahlenbündel von Item SSL1 zu sehen war.

Nachdem die ersten drei Interviews durchgeführt worden waren, wurden nochmals einige kleinere Änderungen vorgenommen:

Bei Testitem 2 (MDR2) wurden die Antwortmöglichkeiten abgeändert um die Auswertung zu vereinfachen (siehe Abb. 39).

<i>richtig</i>	<i>falsch</i>	
☐	☐	Gar nichts mehr
☐	☐	Die rote Münze
☐	☐	Die gelbe Münze
☐	☐	Die grüne Münze

Abb. 39: Antwortmöglichkeiten bei Testitem 2 (MDR2)

Bei Testitem 5 (SSL1) wurde bei der Grafik in der Angabe die optische Achse mit einem Brennpunkt F hinzugefügt und in der Angabe der Satz „Der Scheinwerfer befindet sich nicht in Brennpunkt F“ zugefügt (siehe Abb. 40). Mit dieser Änderung wird gewährleistet, dass nur mehr Antwort 2 korrekt sein kann.

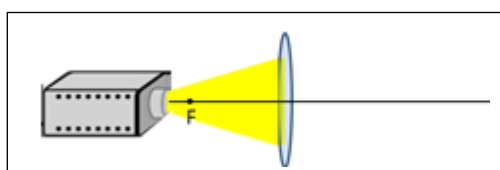


Abb. 40: Grafik der Angabe von Testitem 5 (SSL1)

6.1.4 Gewinnung von Erklärungsdistraktoren

Nachdem die Antworten der Schüler/innen auf die offenen Fragen der einzelnen Testitems des Fragebogens in Kategorien eingeteilt wurden, war der nächste Schritt das Finden und Formulieren von Erklärungsdistraktoren. Bei der Entwicklung der Distraktoren wurde darauf geachtet sie in altersgerechter Sprache zu formulieren, somit wurden häufig Antworten von Schüler/innen direkt übernommen. Für jedes Item wurden auf diese Weise zwischen vier und acht Erklärungsdistraktoren entwickelt. Für das Testitem 8 (HAL1) wurden weiters Grafiken zum Abbildungsvorgang durch eine Sammellinse entworfen. Als Grundlage hierfür dienten die von Schülerinnen und Schülern angefertigten Skizzen im Fragebogen, als auch Ergebnisse aus vorherigen Untersuchungen von Galili, Bendall, und Goldberg (1993, S. 281) sowie Galili und Hazan (2000b, S. 11). Die gebildeten

Erklärungsdistraktoren zu jedem einzelnen Testitem sind übersichtlich im Interviewleitfaden, welcher in Anhang D zu finden ist, einzusehen.

6.2 Auswertung und Interpretation der Interviews

In diesem Kapitel werden die mit neun Schülerinnen und Schülern an drei unterschiedlichen Schulen durchgeführten Interviews ausgewertet. Am Beginn des Interviews wurde der Kurzfragebogen mit diversen PISA-Skalen ausgefüllt. Anschließend wurden dieselben acht Testitems wie in den Fragebogen behandelt. Nachdem die Befragten ein Testitem beantwortet haben sowie ihre Antwort begründet haben, wurden ihnen jeweils schrittweise die entsprechenden Erklärungsdistraktoren präsentiert und um eine Einschätzung gebeten.

6.2.1 Auswertung der PISA-Skalen

Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs von nur neun Befragten im Zuge der Interviewdurchführung wird auf eine detaillierte Betrachtung der Ergebnisse der Auswertung des Kurzfragebogens und der darin enthaltenen PISA-Skalen verzichtet. Anhand der Auswertung kann jedoch überprüft werden ob es sich bei den befragten Schüler/innen hinsichtlich der behandelten Bereiche um durchschnittliche Schüler/innen handelt. Die ausgewerteten Ergebnisse werden in der Folge kurz behandelt.

Die Antworten der Skala „Selbstkonzept der Befähigung in Physik“ (vgl. Kunter et al., 2002, S. 106 f.) zeigen, dass sich die Interviewpartner/innen im Vergleich zu Schüler/innen, welche die Fragebogen ausgefüllt hatten, tendenziell schlechter einschätzten. Bei allen drei Skalenteilen wurde eine eher negative Einschätzung getroffen, wobei sich die Befragten besonders als nicht begabt für Physik (Mittelwert von 3,11) hielten.

Hinsichtlich des Interesses für Physik (vgl. Ramm et al., 2006, S. 269 f.) sind die Befragten der Interviews jenen der Fragebogen sehr ähnlich, wobei das Interesse für das, was in Physik gelernt wird, noch etwas größer ist (Mittelwert von 2,00).

Der Vergleich der Auswertung der Skala „Naturwissenschaftsbezogenes Fähigkeitsselbstkonzept“ (vgl. Frey et al., 2009, S. 86) mit den Ergebnissen der PISA-

Studie 2006 zeigt, dass es sich bei den Befragten in diesem Kontext um durchschnittliche Schüler/innen handelt. Die Schüler/innen stimmten tendenziell allen Aussagen eher zu, mit Ausnahme von „Den Stoff im naturwissenschaftlichen Unterricht finde ich einfach“, wo eine leichte Ablehnung zu erkennen ist. Hinsichtlich der Qualität der Lernmotivation: Intrinsische/ Interessierte Motiviertheit in Physik (vgl. Frey et al., 2009, S. 114) zeigt sich ebenfalls eine überwiegende Übereinstimmung mit den Ergebnissen der PISA-Studie 2006. Es zeigt sich, dass hierzu eine allgemein eher negative Haltung der Schüler/innen besteht. Die Auswertung der Skala „Kognitive Lernaktivitäten: Elaborationen insgesamt in Physik“ (vgl. Frey et al., 2009, S. 117) zeigt teilweise leichte Abweichungen zu den Ergebnissen der PISA-Studie 2006. Allgemein zeigen die Schüler/innen jedoch ebenso wie in der PISA-Studie 2006 eine neutrale Haltung.

6.2.2 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse der einzelnen Testitems

Das vorliegende Kapitel befasst sich mit den acht in Kapitel 4.4 beschriebenen Testitems. Die Testitems wurden vor Durchführung der Interviews teilweise modifiziert, genaue Angaben sind aus Kapitel 6.1.3 zu entnehmen.

Anfänglich wird jeweils die Beantwortung der Schüler/innen der Multiple-Choice Frage und deren Begründung für die Antwortauswahl behandelt. Anschließend wird auf die aus den Fragebogen entwickelten Erklärungsdistraktoren eingegangen. Es wird behandelt ob und inwieweit die Schüler/innen die präsentierten Erklärungsdistraktoren inhaltlich und sprachlich akzeptieren. Im Zuge der Auswertung wird häufig Bezug auf die Aussagen der Schüler/innen während der Interviews genommen, welche im Anhang E zusammengefasst dargestellt sind. Im Text wird in Klammer die Herkunft der Textstelle angeführt: (B1/3-11) bedeutet, dass jene Aussage von befragter Person 1 aus den Zeilen 3 bis 11 des wörtlichen Transkripts stammt. Nachdem die Vorstellungen der Schüler/innen über die einzelnen Erklärungsdistraktoren erläutert wurden, muss entschieden werden ob der entsprechende Distraktor ohne Änderung in die Endversion des zugehörigen Testitems übernommen wird, er eventuell etwas abgeändert werden muss oder unter Umständen komplett entfernt wird. Ziel ist es, dass die zweite Stufe der Endversion der Testitems aus vier bis fünf Erklärungsdistraktoren besteht. Aus den offenen Fragen des Fragebogens wurden bis zu neun Erklärungsdistraktoren für ein einzelnes Testitem entwickelt, welche somit zwangsläufig reduziert werden müssen. Für die Endversion werden nun jene Distraktoren

herangezogen welche sowohl sprachlich als auch inhaltlich am besten von den Befragten akzeptiert werden. Natürlich muss auch darauf geachtet werden, dass für jede mögliche Antwort der ersten Stufe auch eine entsprechende Begründung in der zweiten Stufe wählbar ist. Des Weiteren gilt es ebenfalls zu beurteilen inwieweit der entsprechende Erklärungsdistraktor geeignet ist allfällige Schülervorstellungen abzubilden.

Testitem 1: MDR1

Durch ein Rohr (grau) siehst du auf drei Münzen. Die Münzen liegen in einem Kochtopf. Welche Münze kannst du durchs Rohr sehen?

richtig	falsch	
☐	☐	Die rote Münze
☐	☐	Die gelbe Münze
☐	☐	Die grüne Münze



Erklärungsdistraktoren:

- 1.1. Die Münze liegt am nächsten.
- 1.2. Das Sichtfeld ist durch das Rohr beschränkt.
- 1.3. Das Rohr gibt die Blickrichtung vor.
- 1.4. Lichtstrahlen von der Münze fallen gerade in das Auge ein.
- 1.5. Die Münze, das Rohr und das Auge liegen auf einer Linie.
- 1.6. Augen senden nur geradlinige Sehstrahlen aus.
- 1.7. Das Licht wird gebrochen.
- 1.8. Das Licht wird im Rohr reflektiert.

Abb. 41: Testitem 1 (MDR1) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren

In Abb. 41 sind die erste Stufe des Testitems 1 (MDR1) und die entsprechenden, aus den Fragebogen entwickelten, Erklärungsdistraktoren dargestellt. Bei der Beantwortung des Multiple-Choice Teils dieses Items entschieden sich sechs der neun Schüler/innen für die richtige Antwort, man könne nur die rote Münze sehen. Dabei wird von zwei Befragten die Argumentationsstruktur über den Blickwinkel gewählt: „Man sieht nur die rote Münze, weil man mit dem Winkel des Rohrs in die Schüssel nur diese Münze sehen kann“ (B1/3-11). Zwei weitere begründeten ihre Antwort über geradliniges Sehen bzw. Blicken: „Wenn man gerade reinschaut, dann geht es gerade weiter“ (B4/7-19). Die anderen beiden argumentierten folgendermaßen: „Man sieht nur die rote Münze, weil man nicht über den Rand sieht“ (B5/3-5) und „Nur die rote Münze, weil keine Reflexion wie beim Wasser stattfindet“ (B9/3).

Zwei Schüler/innen waren der Meinung man könne die rote und die gelbe Münze sehen. Zum einen wurde die Wahl der Antwort über den Blickwinkel argumentiert: „Ich glaube man sieht die gelbe und die rote Münze, weil man sie aus dem Winkel halt sehen kann. Die grüne Münze ist nicht mehr im Blickwinkel“ (B7/3-11). Zum anderen erfolgte die Argumentation über geradliniges Sehen: „Man sieht die gelbe und die rote Münze, weil wenn ich da durchschaue, dann schaue ich gerade“ (B8/11-14).

Einmal wurde geantwortet, dass man nur die gelbe Münze sehen kann, mit der Begründung: „Weil durch die Wand sehe ich nur da hin (zeigt auf die gelbe Münze)“ (B2/3-7). Es zeigt sich, dass das Antwortverhalten der Schüler/innen im Interview jenem der Fragebogen sowohl hinsichtlich der gewählten Antworten als auch der Begründungen sehr ähnlich ist.

Für dieses Testitem wurden aus den offenen Antworten des Fragebogens acht Erklärungsdistraktoren gebildet. Bei der Beurteilung der einzelnen Erklärungsdistraktoren für die zweite Stufe dieses Items wurde der Distraktor „1.1. Die Münze liegt am nächsten“ von keinem der Befragten ausgewählt, denn von den meisten wurde die grüne Münze als jene Münze angesehen, welche am nächsten liegt. Bei den Interviews war keiner der Meinung, man könne die grüne Münze sehen. Ein kleiner Anteil bei den Fragebogen jedoch schon, deswegen bleibt der Distraktor erhalten.

Der Begründung „1.2. Das Sichtfeld ist durch das Rohr beschränkt“ wurde von acht der neun Schüler/innen zugestimmt. Es wurde meist so aufgefasst, dass nur mehr ein Teil bzw. ein Ausschnitt zu sehen ist: „Eben, dass man nur einen Teil sieht und nicht das Ganze“ (B6/12). Ebenso oft (8/9)² wurde der Distraktor „1.3. Das Rohr gibt die Blickrichtung vor“ bejaht. Es wurde so aufgefasst, dass man nur mehr in jene Richtung schauen kann, in welche das Rohr zeigt, wobei zumeist den Distraktoren 1.2. und 1.3. dieselbe Bedeutung beigemessen wurde. Zwei der Befragten sahen jedoch schon einen Unterschied zwischen diesen beiden Erklärungen: „Nein, das Sichtfeld ist durch das Rohr beschränkt bedeutet, wenn das Rohr weg wäre, dann könnte man auch noch weiter schauen und auch nach unten. Das Rohr gibt die Blickrichtung vor hat viel mehr damit zu tun, welche Münze man sieht. Da man immer nur durch das Rohr schauen kann, sieht man aus diesem Winkel nur diese Münze“ (B1/52-60) und „Ich würde sagen nicht ganz, weil das 1.2. bezieht sich

² (8/9) meint acht der neun Befragten

darauf, dass man generell weniger sieht. Und 1.3. darauf, dass man nur gewisse Teile nicht sieht“ (B7/29-30). Aus diesem Grund werden beide Distraktoren beibehalten.

Beim Distraktor „1.4. Lichtstrahlen von der Münze fallen gerade in das Auge ein“ gab es viele unterschiedliche Meinungen. Einige (4/9) hatten eine physikalisch richtige Vorstellung vom Sehvorgang, also dass Licht von den Münzen reflektiert wird und dann ins Auge fällt. Der Distraktor eignet sich gut, um zu erfassen, ob die Schüler eine wissenschaftliche Vorstellung des Sehvorgangs haben, jedoch muss er leicht abgeändert werden. Manche konnten mit dieser Begründung jedoch nichts anfangen oder fanden sie unlogisch: „Wenn da die Sonne scheint und von den Münzen wird Licht (Lichtstrahlen) gespiegelt, dann kann ich mir nicht vorstellen, dass da etwas ins Auge fallen soll“ (B1/64-86). Diese Äußerung deutet auf eine verbreitete Schülervorstellung hin, dass für die Wahrnehmung eines Gegenstandes kein Licht von diesem ins Auge fallen muss (vgl. Wiesner, 2009, S. 5). Aufgrund der Schüleräußerungen „Nein, Münzen können keine Lichtstrahlen haben. Aber es kann sein, dass von irgendeiner Licht reflektiert wird“ (B7/34-43) und „Wenn ich über der Schüssel wäre, würden sie gerade in das Auge einfallen. Hier kommen sie eher seitlich“ (B2/35-45) wird der Distraktor auf folgende Form geändert: „Licht von der Münze fällt geradlinig ins Auge ein“.

Der Begründung „1.5. Die Münze, das Rohr und das Auge liegen auf einer Linie“ wurde von allen Befragten zugestimmt. Da dieser Distraktor jedoch keinen Aufschluss darüber gibt, wie der Sehvorgang verstanden wird, wird er entfernt. Viele stimmten dem Distraktor „1.6. Augen senden nur geradlinige Sehstrahlen aus“ zu. Unter Sehstrahlen verstanden einige so viel wie Blickrichtung bzw. Sichtfeld oder konnten sich gar nichts darunter vorstellen. Nur bei einem der Befragten legt die Aussage den Schluss einer Sehstrahlenvorstellung nahe: „Da habe ich das Auge und da gehen die Sehstrahlen weg. Kommt darauf an, wo ich gerade hinschaue“ (B3/53-54). Die Begründung „1.7. Das Licht wird gebrochen“ wurde von allen abgelehnt mit dem häufigen Hinweis, dass nichts vorhanden ist, wo Licht gebrochen werden könnte und wird somit ebenfalls entfernt. Ebenso wie der vorherige Distraktor wurde auch „1.8. Das Licht wird im Rohr reflektiert“ abgelehnt und fällt somit weg.

In Bezug auf den sprachlichen Aspekt gab es für die Befragten bei keinem der präsentierten Erklärungsdistraktoren Probleme hinsichtlich der Verständlichkeit.

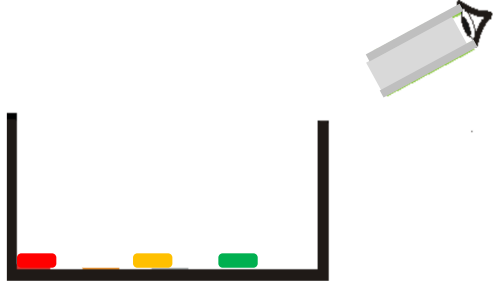
Durch die durchgeführte Untersuchung entstand die in Abb. 42 zu sehende Endversion des Testitems 1 (MDR1).

Münzen durch Rohr

MDR1 Durch ein Rohr (grau) siehst du auf drei Münzen. Die Münzen liegen in einem Kochtopf.

a) Welche Münze kannst du durchs Rohr sehen?

richtig	falsch
☒	☐ Die rote Münze
☐	☐ Die gelbe Münze
☐	☐ Die grüne Münze



b) Wie erklärst du deine Entscheidung?

richtig	falsch
☐	☐ Die Münze liegt am nächsten.
☒	☐ Licht von der Münze fällt geradlinig ins Auge ein.
☐	☐ Augen senden nur geradlinige Sehstrahlen aus.
☐	☐ Das Rohr gibt die Blickrichtung vor.
☐	☐ Das Rohr schränkt das Sichtfeld ein.

Abb. 42: Endversion des Testitems 1 (MDR1)

Testitem 2: MDR2

Item 2: MDR2

Wasser wird in die Schüssel gefüllt.

Was siehst die nun durchs Rohr?

richtig	falsch	
☐	☐	Gar nichts mehr
☐	☐	Die rote Münze
☐	☐	Die gelbe Münze
☐	☐	Die grüne Münze



Erklärungsdistraktoren:

- 2.1. Das Wasser vergrößert die Münzen.
- 2.2. Die Münze, das Rohr und das Auge liegen auf einer Linie.
- 2.3. Die Sehstrahlen, die das Auge aussendet, werden abgelenkt.
- 2.4. Die Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche gespiegelt (Einfallswinkel = Ausfallswinkel).
- 2.5. Lichtstrahlen machen einen Knick, wenn sie von einem Medium in ein anderes laufen.
- 2.6. Die Lichtstrahlen laufen von der Luft ins Wasser.
- 2.7. Die Lichtstrahlen laufen vom Wasser in die Luft.
- 2.8. Die Lichtstrahlen von dieser Münze fallen ins Auge.

Abb. 43: Testitem 2 (MDR2) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren

Abb. 43 zeigt die erste Stufe des Testitems 2 (MDR2) und die zugehörigen, aus den Fragebogen entwickelten, Erklärungsdistraktoren. Bei der Beantwortung des Multiple-Choice Teils dieses Items entschied sich ein Drittel der Befragten (3/9) vertrat die richtige Ansicht, man sehe die rote und die gelbe Münze. Zwei davon waren jedoch auch schon beim Item MDR1 der Meinung, dass man diese beiden Münzen sehe. Sie haben, obwohl richtig geantwortet, kein physikalisch passendes Konzept über den Brechungsvorgang und waren der Meinung das Wasser hätte keinen Einfluss: „Wenn man durchs Wasser schaut, ist alles verschwommen und man sieht eigentlich alles wie oben, nur nicht so gut durch das Wasser“ (B8/59-60). Ein/e Schülerin jedoch argumentierte völlig korrekt mit der Lichtbrechung: „Weil durch das Wasser das Licht gebrochen wird. Da die Luft ein anderes Material ist als das Wasser und dann wird irgendwie das Licht da gebrochen“ (B3/74-82).

Ebenfalls ein Drittel der Schüler/innen (3/9) war der Meinung, man sehe nur mehr die gelbe Münze. Alle drei argumentierten richtig mit der Lichtbrechung: „Man sieht nur die gelbe Münze, weil das ein anderes optisches Medium ist und das lenkt das Licht ab“ (B5/81-83). Wobei in zwei Fällen der Begriff der Reflexion anstatt der Brechung

verwendet wurde. Diese Verwechslung oder Unstimmigkeit dieser beiden Begriffe trat während der Interviews häufig auf.

Zwei der neun Schüler/innen waren der Meinung, man sehe nur die rote Münze. Einmal mit dem Argument, dass sich nichts ändert: „Weil Wasser durchsichtig ist und sich nichts ändert“ (B6/49-53). Der andere Interviewpartner war der Meinung, die anderen Münzen seien zu nahe am Betrachter und würden aufgrund der Spiegelung der Sonne nicht sichtbar sein: „Ich glaube umso näher ich am Wasser dran bin, umso mehr reflektiert das. Wenn die Sonne darauf scheint und das reflektiert, sehe ich fast nichts, wenn ich direkt auf das Wasser schaue. Wenn ich weiter weg schaue, glaube ich, dass man die rote Münze eher sieht. Auch wegen der Farbe“ (B2/83-94).

Einer der neun Befragten war der Meinung, man sehe gar nichts mehr, mit der Begründung der Spiegelung: „Weil das vom Wasser gespiegelt wird, sieht man glaube ich gar keine Münze mehr“ (B1/138-162). Ein Vergleich des Antwortverhaltens der Schüler/innen im Interview mit jenem der Fragebogen ist bei diesem Testitem nicht möglich, da vor Durchführung der Interviews sowohl die Abbildung als auch die Antwortmöglichkeiten geändert wurden.

Die physikalisch korrekte Antwort ist, dass man weiterhin die rote Münze sieht, welche durch das Wasser angehoben erscheint und aufgrund der Lichtbrechung nun eben auch die gelbe Münze. Bei diesem Testitem geht es darum, zu erheben, ob die Schüler/innen eine richtige Vorstellung des Brechungsvorganges haben. Deswegen soll auch als richtige Antwort gewertet, wenn gewählt wird, es sei nur die gelbe Münze sichtbar, wenn auch der korrekte Erklärungsdistraktor dazu gewählt wird.

Für dieses Testitem wurden vor den Interviews ebenfalls acht Erklärungsdistraktoren gebildet. Bei der Beurteilung der einzelnen Erklärungsdistraktoren für die zweite Stufe dieses Items wurde die Begründung „2.1. Das Wasser vergrößert die Münzen“ von mehr als der Hälfte (5/9) abgelehnt und auch jene die zustimmten konnten meist keinen direkten Bezug zum Beispiel herstellen. Aufgrund dessen fällt dieser Distraktor für die Testendversion weg.

Der Distraktor „2.2. Die Münze, das Rohr und das Auge liegen auf einer Linie“ wurde von der Mehrheit (5/9) meist mit der Begründung abgelehnt, dass es nun zur Reflexion oder

Brechung kommt. Es haben jedoch jene zugestimmt, welche meinten, durch das Wasser würde sich nichts ändern.

Bei der Begründung „2.3. Die Sehstrahlen, die das Auge aussendet, werden abgelenkt“ verstanden die Befragten unter Ablenkung entweder, dass die Strahlen reflektiert, gebrochen oder wie bei einer planparallelen Platte versetzt werden. Unter Sehstrahlen konnten sich jedoch viele nichts vorstellen.

Die Erklärung „2.4. Die Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche gespiegelt (Einfallswinkel = Ausfallswinkel)“ wurde teilweise verneint, von den meisten (6/9) jedoch im physikalischen Sinne der Reflexion aufgefasst. Vor allem bietet der Distraktor für jene eine gute Erklärung, welche der Meinung sind, man sehe gar keine Münze mehr: „Wenn das gespiegelt wird, dass ich dann gar nichts (also keine Münzen) mehr durchsehe“ (B6/70-79).

Der Erklärung „2.5. Lichtstrahlen machen einen Knick, wenn sie von einem Medium in ein anderes laufen“ stimmten sechs der Befragten zu. Unter einem Knick verstanden die Schüler/innen entweder eine Reflexion oder Brechung. Die meisten sahen Wasser und Luft als die beteiligten Medien in dieser Aufgabe an, manche hatten jedoch andere Vorstellungen: „Wenn ich von einem Auge in das andere Auge. Eben von der Sonne ins Auge oder so“ (B2/148). Die Ursache für die Lichtbrechung, also die unterschiedliche Lichtgeschwindigkeit in den zwei Medien, war keinem der Befragten bekannt.

Beim Distraktor „2.6. Die Lichtstrahlen laufen von der Luft ins Wasser“ wurde eine sehr interessante Aussage getätigt: „Das, was man sieht, nicht, aber die Lichtstrahlen schon“ (B1/219-220). Anscheinend hat das Licht, das vom Gegenstand ins Auge trifft, nichts mit der Wahrnehmung des Gegenstandes zu tun. Die Unterkategorien dieses Distraktors „Die Lichtstrahlen im Wasser werden zur Wasseroberfläche hin abgelenkt und die Lichtstrahlen im Wasser werden von der Wasseroberfläche weg abgelenkt“ wurden sehr unterschiedlich aufgefasst. Nur ein/e Schüler/in hatte die Vorstellung, dass das Licht nun vom Lot weg oder zum Lot hin gebrochen wird. Der Großteil jedoch verstand unter „werden zur Wasseroberfläche hin abgelenkt“ eine Brechung des Lichts und unter „werden von der Wasseroberfläche weg abgelenkt“ eine Reflexion des Lichts. Aufgrund dieser häufig vertretenen Auffassung muss der Distraktor entfernt werden, da hier mit 2.4. und 2.5. schon Distraktoren vorhanden sind.

Ähnliches ist bei der Bewertung des Distraktors „2.7. Die Lichtstrahlen laufen vom Wasser in die Luft“ festzustellen, welcher nun ebenfalls für die nächste Testversion entfernt wird.

Der Begründung „2.8. Die Lichtstrahlen von dieser Münze fallen ins Auge“ stimmten sechs der Befragten zu. Wie schon beim Testitem MDR1 fanden diese Aussage manche als unglaublich: „Wenn ich sage das Licht kommt nicht von innen, sondern von außen, warum sollten dann die Lichtstrahlen von der Münze ins Auge fallen? Ich glaube im Wasser ist das Licht überall gleich. Der Unterschied ist, wo ich mit dem Rohr hinschaue. Ich verstehe einfach nicht, warum man das so erklären sollte“ (B4/175-185). Hier wird der Sehvorgang offenbar so aufgefasst, dass sich der gesehene Gegenstand in einem Lichtbad befindet und dann der Blick darauf gerichtet wird (vgl. Rhöneck & Niedderer, 2006, S. 62). Der Distraktor wird nur leicht abgeändert und an den Distraktor 1.4. angeglichen: „Licht von der Münze fällt ins Auge ein“.

Wie auch schon beim vorigen Testitem wurden die in den offenen Fragebogen gefundenen Erklärungsdistraktoren für dieses Item sprachlich vollständig akzeptiert und es sind keine Unklarheiten in Bezug auf diesen Aspekt aufgetreten.

In Abb. 44 ist die somit entstandene Endversion des Testitems 2 (MDR2) dargestellt.

MDR2 Wasser wird in den Kochtopf gefüllt.

a) Was siehst du nun durchs Rohr?

richtig	falsch
☐	☒ Gar nichts mehr
☒	☐ Die rote Münze
☒	☐ Die gelbe Münze
☐	☒ Die grüne Münze



b) Wie erklärst du deine Entscheidung?

richtig	falsch
☐	☒ Die Münze, das Rohr und das Auge liegen auf einer Linie.
☐	☒ Die Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche gespiegelt (Einfallswinkel = Ausfallswinkel).
☒	☐ Licht von der Münze fällt ins Auge.
☐	☒ Die Sehstrahlen, die das Auge aussendet, werden abgelenkt.
☒	☐ Lichtstrahlen machen einen Knick, wenn sie von einem Medium in ein anderes laufen.

Abb. 44: Endversion des Testitems 2 (MDR2)

Testitem 3: FMS1

Item 3: FMS1

Ein Jäger steht am Rand eines Sees und sieht einen Fisch im Wasser. Wohin muss er seinen Speer stechen um den Fisch im Wasser zu treffen? Der Fisch bewegt sich NICHT.

☐ Oberhalb des Fisches (rot).
☐ Genau auf den Fisch (grün).
☐ Unterhalb des Fisches (blau).

Erklärungsdistraktoren:

3.1. Der Jäger sieht den Fisch an einer anderen Stelle als er ist.

Er sieht den Fisch näher an der Wasseroberfläche als er tatsächlich ist.

Er sieht den Fisch weiter weg von der Wasseroberfläche als er tatsächlich ist.

3.2. Die Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche gespiegelt (Einfallswinkel = Ausfallswinkel).

3.3. Der Speer wird im Wasser nach unten gezogen.

3.4. Unser Gehirn denkt sich Lichtstrahlen immer als gerade Linie ohne Knick.

Abb. 45: Testitem 3 (FMS1) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren

Abb. 45 zeigt die erste Stufe des Testitems 3 (FMS1) und die zugehörigen, aus den Fragebogen entwickelten, Erklärungsdistraktoren. Bei der Beantwortung des Multiple-Choice Teils dieses Items entschieden sich vier der neun Befragten für Antwort 2, man sollte direkt auf den Fisch zielen, damit man ihn trifft. Davon begründeten drei ihre Antwort damit, dass die Wahrscheinlichkeit ihn zu treffen am höchsten ist, wenn man direkt auf den Fisch zielt: „Man muss bei allem genau darauf zielen, damit man es trifft“ (B7/160-163). Ein/e Schüler/in fand keine Erklärung für ihre Antwort.

Ein Drittel (3/9) entschied sich für die richtige Antwort, man müsse unterhalb des Fisches (blau) zielen, um ihn zu treffen. Zwei Schüler/innen argumentierten physikalisch richtig mit der Lichtbrechung, und dass der Fisch folglich an einer anderen Stelle gesehen wird: „Weil Wasser ist ein dichteres optisches Medium als Luft und deswegen wird das Licht dann gebogen, also weg von der Wasseroberfläche gebrochen. Deswegen glaube ich halt, dass ich den Fisch da sehe (zeigt hinter den Fisch), aber in Wirklichkeit ist er glaube ich dann hier (zeigt auf den Fisch)“ (B5/158-166). Einmal erfolgte die Argumentation über die

Ablenkung des Speers: „Wenn er hier (zeigt auf die Wasseroberfläche zwischen Fisch und Beobachter) hin wirft, wird der Speer irgendwie nach oben abgelenkt“ (B9/134-139).

Am seltensten (2/9) wurde die Antwort 1 gewählt, man müsse oberhalb des Fisches zielen, um ihn zu treffen. Zum einen wurde es über den veränderten Eindruck durch das Wasser begründet: „Weil sich das Wasser bewegt, gibt das vielleicht einen anderen Eindruck, dass der Fisch vielleicht näher ist“ (B2/187-192). Zum anderen mit der Änderung der Flugbahn des Speers: „Ich glaube er schießt so (gerade in Richtung der Wasseroberfläche knapp vor den Fisch) und durch das Wasser wird die Geschwindigkeit des Speers gebremst. Dann geht es halt so runter (Speer wird von der Wasseroberfläche weg in Richtung des Fisches abgelenkt) und so trifft er ihn dann“ (B4/189-198). Im Hinblick auf das Antwortverhalten der Schüler/innen beim Fragebogen zeigen sich deutliche Unterschiede bei den Interviews. Die richtige Antwort wurde zwar in etwa gleich oft gewählt, jedoch wurde Antwort 1 beim Fragebogen bei Weitem am häufigsten ausgewählt, beim Interview hingegen nur sehr selten. Antwort 2 hingegen wurde bei den Fragebogen sehr selten gewählt, im Interview jedoch am häufigsten.

Zu diesem Testitem konnten aus den offenen Antworten des Fragebogens vier Erklärungsdistraktoren gebildet werden. Bei der Beurteilung der einzelnen Erklärungsdistraktoren für die zweite Stufe dieses Items wurde die Erklärung „3.1. Der Jäger sieht den Fisch an einer anderen Stelle, als er ist“ von jenen abgelehnt, die meinten man müsse direkt auf den Fisch zielen. Jene, die zustimmten, waren der Meinung man würde den Fisch näher an der Wasseroberfläche sehen. Deshalb wird dieser Distraktor leicht modifiziert: „Der Jäger sieht den Fisch näher an der Wasseroberfläche, als er tatsächlich ist“.

Die Begründung „3.2. Die Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche gespiegelt (Einfallswinkel = Ausfallswinkel)“ wurde teilweise (4/9) abgelehnt und von Zweien als Grund angesehen, dass man den Fisch an einer anderen Stelle sieht. Weiters wurden darunter die Lichtbrechung und einmal die Umkehrbarkeit der Lichtwege verstanden: „Sie laufen denselben Weg hin und zurück“ (B8/160-164). Aufgrund der sehr unterschiedlichen Interpretation dieses Distraktors wird er entfernt.

Die Erklärung „3.3. Der Speer wird im Wasser nach unten gezogen“ verstanden manche als Ablenkung: „Ich glaube man müsste eher oberhalb des Fisches (rot) zielen, weil der Speer nach unten gezogen wird“ (B9/165-173). Andere wiederum verstanden es als ein

Absinken, oft bedingt durch die Schwerkraft: „Ja, weil er das mit Schwung macht und dann fällt es ja weiter und durch die Schwerkraft“ (B7/191-192). Deshalb wird der Distraktor etwas modifiziert um eine mögliche Begründung zu liefern, wieso man oberhalb des Fisches zielen sollte: „Der Speer wird im Wasser nach unten hin abgelenkt und sinkt tiefer ab als gezielt“.

Dem Distraktor „3.4. Unser Gehirn denkt sich Lichtstrahlen immer als gerade Linie ohne Knick“ wurde von fast allen (7/9) zugestimmt. Ein Schüler verstand die Erklärung so wie beabsichtigt, zog schließlich aber eine falsche Schlussfolgerung: „Das Licht wird hier (zeigt auf die Wasseroberfläche) gebrochen (es ist ein Knick hier) und unser Auge denkt sich das halt nicht und wir sehen es wo anders. Ich glaube man müsste oberhalb des Fisches (rot) zielen, weil man es anders sieht und weil der Speer nach unten gezogen wird“ (B9/177-194). Aus den Interviews geht nicht hervor, ob der Distraktor von allen inhaltlich so verstanden wurde, wie beabsichtigt. Die Äußerungen der Befragten zeigen, dass die Begründung sprachlich akzeptiert wurde, jedoch wird sie für die Testendversion etwas eindeutiger formuliert: „Lichtstrahlen machen beim Übergang zwischen 2 Medien einen Knick, aber unser Gehirn denkt sich Lichtstrahlen immer als gerade Linie“.

Da der Distraktor 3.2. entfernt wurde stehen für dieses Testitem nur mehr drei Erklärungsdistraktoren zur Verfügung. Ziel ist es jedoch, vier bis fünf Erklärungsdistraktoren pro Item hinzuzufügen. Die Auswertung der Interviews zeigt, dass die präsentierten Erklärungsdistraktoren für jene Schüler/innen, welche meinten man müsse genau auf den Fisch zielen, keine passende Begründung lieferten. Angelehnt an die Schüleraussage „Ich glaube man sieht den Fisch trotzdem noch an der Stelle wo er eigentlich ist“ (B1/287-288) wird somit ein neuer Distraktor gebildet: „Der Jäger sieht den Fisch genau an der Stelle, an der er sich befindet“. Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Findung geeigneter verbaler Erklärungsdistraktoren für dieses Testitem wird eine Grafik hinzugefügt, in der die Schüler/innen einzeichnen sollen, wie der Jäger den Fisch sieht und wie er den Speer werfen muss. „Ich glaube man sieht den Fisch trotzdem noch an der Stelle wo er eigentlich ist“ (B1/287-288).

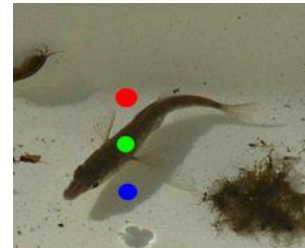
Die Interviews zeigen, dass die sprachliche Akzeptanz der Erklärungsdistraktoren dieses Testitems von Seiten der Schüler/innen gegeben ist.

Die Endversion des Testitems 3 (FMS1) ist in Abb. 46 zu sehen.

Fischen mit Speer**FMS1) Ein Jäger steht am Rand eines Sees und sieht einen Fisch im Wasser.**

- a) Wohin muss er seinen Speer stechen um den Fisch im Wasser zu treffen? Der Fisch bewegt sich NICHT.

- ☐ Oberhalb des Fisches (rot).
☐ Genau auf den Fisch (grün).
☒ Unterhalb des Fisches (blau).



- b) Wie erklärst du deine Entscheidung?

richtig	falsch
☒	☐ Der Jäger sieht den Fisch näher an der Wasseroberfläche, als er tatsächlich ist. ☐ Der Speer wird im Wasser nach unten hin abgelenkt und sinkt tiefer ab als gezielt. ☒ Lichtstrahlen machen beim Übergang zwischen 2 Medien einen Knick, aber unser Gehirn denkt sich Lichtstrahlen immer als gerade Linie. ☐ Der Jäger sieht den Fisch genau an der Stelle, an der er sich befindet.

- c) Zeichne ein wie der Jäger den Fisch sieht und wie er den Speer werfen muss!

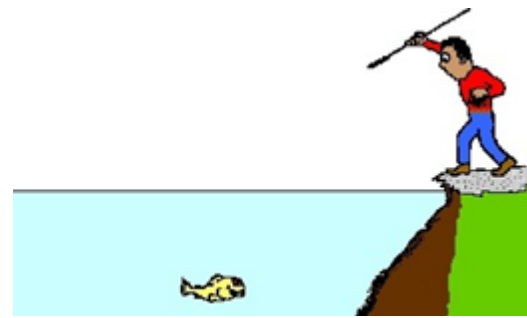


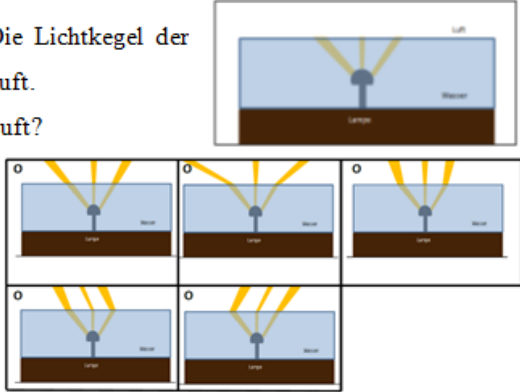
Abb. 46: Endversion des Testitems 3 (FMS1)

Testitem 4: AQ1

Item 4: AQ1

In einem Aquarium ist eine Lampe. Die Lichtkegel der Lampe gehen vom Wasser weg in die Luft.

Welchen Weg nimmt das Licht in der Luft?



Erklärungsdistraktoren:

- 4.1. Die Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche gespiegelt (Einfallswinkel = Ausfallswinkel).
- 4.2. Wasser ist optisch dünner als Luft.
- 4.3. Alle Lichtstrahlen, die von einem Medium in ein anderes laufen, werden gebrochen.
- 4.4. Nur Lichtstrahlen, die schräg auf die Wasseroberfläche fallen, werden gebrochen.
- 4.5. Lichtstrahlen breiten sich in alle Richtungen geradlinig aus.
- 4.6. In Wasser und Luft breitet sich das Licht gleich schnell aus.

Abb. 47: Testitem 4 (AQ1) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren

In Abb. 47 sind die erste Stufe des Testitems 4 (AQ1) und die entsprechenden, aus den Fragebogen entwickelten, Erklärungsdistraktoren dargestellt. Bei der Beantwortung des Multiple-Choice Teils dieses Items entschieden sich die Schüler/innen am häufigsten für die korrekte Antwort 2 (4/9). Zwei davon stützten ihre Antwort auf der Begründung der Spiegelung bzw. Reflexion an der Wasseroberfläche: „Weil sich die Lichtstrahlen an der Wasseroberfläche spiegeln, kommen sie dann so raus“ (B6/133-137). Einmal wurde die Antwort physikalisch korrekt begründet: „Das ist ein dichteres Medium und das Licht wird zum dünneren optischen Medium zur Wasseroberfläche hin gebrochen“ (B5/199-202). Ein/e Schüler/in wählte diese Antwort, weil sie die anderen für falsch hielt, konnte ihre Antwort aber nicht näher begründen.

Zwei der neun Befragten entschieden sich für Antwort 3, wo die Lichtbündel beim Übergang von Wasser in Luft zum Lot hin gebrochen werden. Sie begründeten dies beide mit der Lichtbrechung: „Wenn die Lichtstrahlen vom dünneren ins festere Medium gehen, macht es einen Knick und wenn es anders herum ist, macht es den Knick anders“ (B3/198-201).

Ebenfalls zwei der Befragten waren der Ansicht, die Lichtbündel würden gerade weiter verlaufen und wählten Antwort 1. Beide waren sich bei der Beantwortung unsicher. Einmal wurde es begründet mit: „Weil es gleichmäßig ist“ (B7/200-203), das andere Mal mit: „Wenn die Wasseroberfläche jetzt wirklich nichts mit diesem Lichtstrahl macht, dann wird es natürlich geradeaus weitergehen“ (B1/307-329).

Einmal wurde Antwort 5 gewählt und folgendermaßen begründet: „Weil die Lichtstrahlen von der Optik her, wenn man sie so sieht, geknickt werden. Ich weiß nicht, wieso sie gerade nach rechts und nicht nach links weggehen, das ist nur meine Einschätzung“ (B8/176-182). Bei diesem Testitem sind das Antwortverhalten der Interviews und jenes der Fragebogen im Allgemeinen relativ ähnlich.

Während der Interviews wurden den Schüler/innen sechs Erklärungsdistraktoren für dieses Testitem vorgestellt. Bei der Beurteilung der einzelnen Erklärungsdistraktoren für die zweite Stufe dieses Items wurde die Erklärung „4.1. Die Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche gespiegelt (Einfallswinkel = Ausfallswinkel)“ von der Mehrheit (5/9) abgelehnt, häufig mit der Begründung, dass es hier zu keiner Spiegelung kommt. Mithilfe dieses Distraktors kann jedoch überprüft werden ob es bei den Befragten zu einer Verwechslung der Begriffe Brechung und Reflexion kommt, wie es bei diesem Kommentar der Fall ist: „Die werden da gespiegelt und dann gehen sie dann so rüber (vom Wasser zur Wasseroberfläche in die Luft). Ich glaube es ändert halt dann die Richtung“ (B4/245-246).

Der Distraktor „4.2. Wasser ist optisch dünner als Luft“ wurde von allen Befragten abgelehnt, häufig mit dem Hinweis, dass Luft optisch dünner sei als Wasser und wird deshalb entfernt.

Der Erklärung „4.3. Alle Lichtstrahlen, die von einem Medium in ein anderes laufen, werden gebrochen“ wurde von sechs der neun Befragten zugestimmt, wovon jedoch auch vier der folgenden Erklärung „4.4. Nur Lichtstrahlen, die schräg auf die Wasseroberfläche fallen, werden gebrochen“ zustimmten. Die Befragung zeigte, dass nur in einem Fall eine falsche Interpretation des Begriffs „gebrochen“ auftrat: „Na eben, dass sie nicht weitergehen (aufhören)“ (B6/154-158). Der Begriff „Medium“ wurde ebenfalls nur einmal falsch interpretiert: „Von einem Auge ins andere Auge“ (B2/281). Auf diese Aussage ging der/die Befragte jedoch nicht genauer ein bzw. könnte es nicht ausführlicher erklären. Die

durchgeführten Interviews deuten darauf hin, dass diese beiden Distraktoren von den Schülerinnen und Schülern so aufgefasst werden, wie vom Autor beabsichtigt.

Die Begründung „4.5. Lichtstrahlen breiten sich in alle Richtungen geradlinig aus“ wurde vor allem von jenen, welche Antwort 1 des Multiple-Choice Teils wählten, bejaht und wird somit übernommen.

Der Distraktor „4.6. In Wasser und Luft breitet sich das Licht gleich schnell aus“ wurde von der Mehrheit (5/9) abgelehnt, mit dem Verweis, dass es sich in Luft schneller ausbreite. Manche der Befragten stimmten dieser Erklärung zu, obwohl sie aufgrund ihrer Aussagen und ihrer Antwortwahl im Multiple-Choice Teil die Meinung vertraten, es komme in diesem Beispiel zu einer Brechung. Jenen Befragten scheint das Konzept der Brechung bzw. unter welchen Bedingungen Brechung auftritt nicht ausreichend klar zu sein. Wird dieser Distraktor ausgewählt, ist das ein Zeichen, dass der Grund für die Brechung nicht bekannt ist.

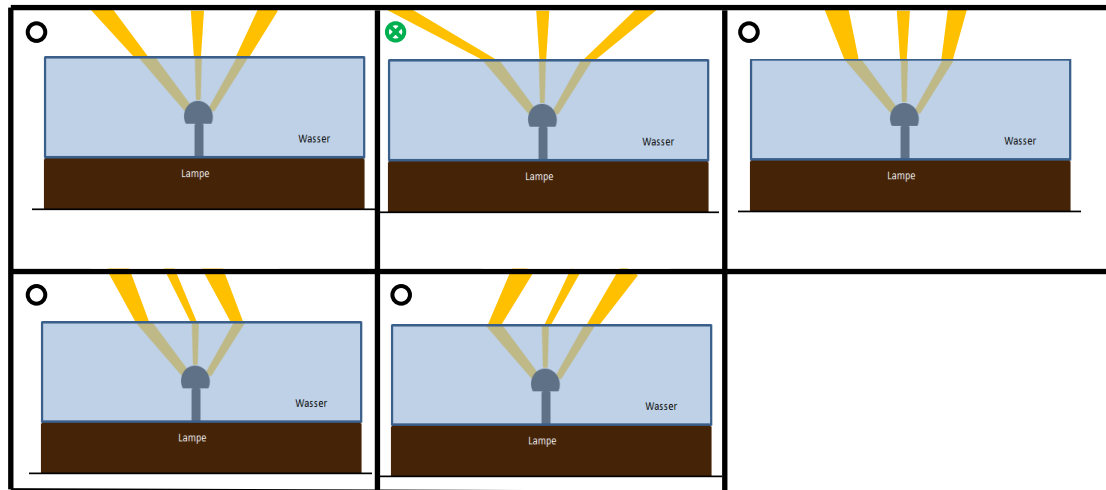
Die Erklärungsdistraktoren wurden sprachlich zur Gänze von den Befragten akzeptiert, jedoch wird für die Endversion des Testitems wird der Begriff „Lichtstrahlen“, welcher in einigen Erklärungsdistraktoren vorkommt, auf „Lichtkegel“ geändert. Zum einen kommt einem auf eine Linie begrenzten Lichtstrahl keine physikalische Realität zu (vgl. Haferkorn, 2003, S. 11), zum anderen beschreibt der Begriff „Lichtkegel“ die Situation in den Abbildungen des Items treffender.

Die somit entstandene Endversion des Testitems 4 (AQ1) ist in Abb. 48 zu sehen.

Aquarium

AQ1) In einem Aquarium ist eine Lampe. Die Lichtkegel der Lampe gehen vom Wasser weg in die Luft.

a) Welchen Weg nimmt das Licht in der Luft?



b) Wie erklärst du deine Entscheidung?

richtig	falsch
☐	☒ Die Lichtkegel werden an der Wasseroberfläche gespiegelt (Einfallswinkel = Ausfallswinkel).
☐	☒ Alle Lichtkegel, die von einem Medium in ein anderes laufen, werden gebrochen.
☒	☐ Nur Lichtkegel die schräg auf die Wasseroberfläche fallen, werden gebrochen.
☐	☒ Lichtkegel breiten sich in alle Richtungen geradlinig aus.
☐	☒ In Wasser und Luft breitet sich das Licht gleich schnell aus.

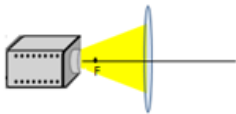
Abb. 48: Endversion des Testitems 4 (AQ1)

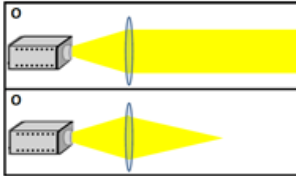
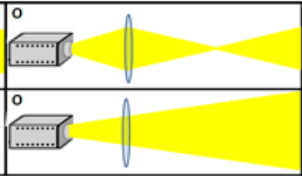
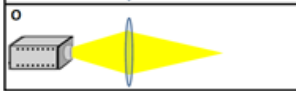
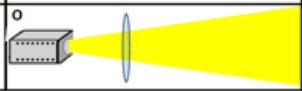
Testitem 5: SSL1

Item 5: SSL1

Eine Sammellinse wird vor einen Scheinwerfer gehalten.

Wie verläuft das Licht weiter?



☐ 1		☐ 3	
☐ 2		☐ 4	

Erklärungsdistraktoren

- 5.1. Lichtstrahlen breiten sich immer geradlinig aus.
- 5.2. Lichtstrahlen werden beim Durchgang durch Linsen abgelenkt.
Was verstehst du unter abgelenkt?
- 5.3. Die Sammellinse lenkt das Licht so ab, dass es auseinander läuft.
- 5.4. Die Sammellinse lenkt das Licht so ab, dass es zusammenläuft.
- 5.5. Die Sammellinse sammelt die Lichtstrahlen in einem Punkt. Das Licht bleibt in diesem Punkt.
- 5.6. Die Sammellinse lenkt die Lichtstrahlen in einen Punkt zusammen. Von dem Punkt aus läuft das Licht dann wieder auseinander.
- 5.7. Die Form vom Strahl nach der Linse hängt von der Form vom Strahl vor der Linse ab.

Abb. 49: Testitem 5 (SSL1) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren

Abb. 49 zeigt die erste Stufe des Testitems 5 (SSL1) und die zugehörigen, aus den Fragebogen entwickelten, Erklärungsdistraktoren. Bei der Beantwortung des Multiple-Choice Teils dieses Items wählten die meisten der Befragten (3/9) Antwort 1. Einmal wurde versucht die Antwort folgendermaßen zu erklären: „Wenn ein Lichtstrahl, der da schon so auseinandergeht, auf die Sammellinse kommt, dann würde er wie in Grafik 1 weitergehen“ (B3/264-267). Begründet wurde die Antwort auch mit Erfahrungen aus dem Physikunterricht oder mit: „Weil es geradlinig weiter geht nach der Linse“ (B6/209).

Zwei der neun Schüler/innen entschieden sich für die richtige Antwort 2. Ein/eine Schüler/in argumentierte wie folgt: „Weil das Licht wird hingeworfen und die Sammellinse konzentriert das Licht dann wieder auf einen Punkt“ (B5/253-254). Jene/jener Befragte gab im weiteren Verlauf des Interviews an, dass das Licht sich von diesem Punkt aus wieder ausbreitet, wenn sich dort kein Gegenstand befindet. Der/die andere Befragte gab an, geraten zu haben.

Ebenso viele (2/9) entschieden sich für Antwort 3. Beide waren der Meinung, das Licht scheine nur bis zu einem gewissen Punkt, wobei einmal auch auf die Lupe Bezug genommen wurde: „Also, wenn man mit Licht durch ein Glas scheint, also durch so eine Sammellinse, dann wird das Licht gebündelt, weil das bei einer Lupe auch so ist. Es geht nur bis zu einem bestimmten Punkt, aber es leuchtet dann immer noch, aber der Strahl ist halt viel kleiner als am Anfang“ (B1/388-409).

Ebenfalls zwei der neun Schüler/innen entschieden sich für Antwort 4. Einmal wurde es begründet durch: „Weil sich durch die Linse die Strahlen weiter ausdehnen und sie gleichmäßig verlaufen“ (B8/229-230) und einmal wurde bloß geraten.

Das Antwortverhalten der Interviews und jenes der Fragebogen unterscheiden sich deutlich. Bei den Interviews sind die Antworthäufigkeiten auf alle Antwortmöglichkeiten in etwa gleich verteilt, bei den Fragebogen wurden Antwort 2 als auch Antwort 3 sichtlich am häufigsten gewählt. Da die Stichprobe der Interviews mit neun Befragten jedoch sehr klein ist, kann man hier nicht von einem signifikanten Unterschied sprechen.

Für dieses Testitem wurden anhand der Antworten des Fragebogens sieben Erklärungsdistraktoren gebildet. Bei der Beurteilung der einzelnen Erklärungsdistraktoren für die zweite Stufe dieses Items wurde die Erklärung „5.1. Lichtstrahlen breiten sich immer geradlinig aus“ von den meisten abgelehnt, da sie der Meinung waren, Licht werde durch die Linse abgelenkt. Einmal wurde jedoch der Erklärung zugestimmt, obwohl in der Aufgabe eine Antwort gewählt wurde, wo das Licht sichtlich nicht geradlinig verläuft. Es wurde folgendermaßen begründet: „Wenn ich so eine Stehlampe habe, dann scheint die auch in alle Richtungen und nicht nur so“ (B2/328-338). Alle anderen interpretierten die Erklärung jedoch so, dass Licht nicht abgelenkt wird und wird für die Endversion des Items nur leicht modifiziert: „Licht breitet sich immer geradlinig aus“.

Dem Distraktor „5.2. Lichtstrahlen werden beim Durchgang durch Linsen abgelenkt“ stimmte die Mehrheit (7/9) zu. Dieser Distraktor wird jedoch etwas modifiziert bzw. erweitert: „Linsen lenken Licht immer so ab, dass parallele Strahlen entstehen“. Denn im Verlauf des Interviews zeigte sich, dass Schüler/innen welche im Multiple-Choice Teil Antwort 1 wählten Schwierigkeiten hatten einen geeigneten Distraktor zu finden.

Dem Distraktor „5.3. Die Sammellinse lenkt das Licht so ab, dass es auseinander läuft“ stimmten zwei der neun Befragten zu. Diese wählten beide Antwort 4 und auch andere

Befragte setzten diese Begründung nur mit Abbildung 4 in Beziehung. Da der Distraktor nur mit dieser Abbildung assoziiert wird, wird er entfernt. Die Erklärungsdistraktoren für dieses Testitem wurden häufig nur mit einer bestimmten Abbildung in Verbindung gesetzt, hatten jedoch für die Schüler/innen keine tiefere Bedeutung. Die Distraktoren geben in diesen Fällen keine weiteren Einblicke in die Vorstellungen der Befragten und erfüllen somit einen wichtigen Zweck eines Distraktors nicht.

Einige (4/9) hatten die Vorstellung, dass das Licht zusammenläuft und stimmten deshalb der Erklärung „5.4. Die Sammellinse lenkt das Licht so ab, dass es zusammenläuft“ zu. Dieser Distraktor wurde jedoch ebenfalls häufig nur mit einer bestimmten Abbildung (Antwort 3) in Verbindung gesetzt und wird somit ebenfalls entfernt.

Der Begründung „5.5. Die Sammellinse sammelt die Lichtstrahlen in einem Punkt. Das Licht bleibt in diesem Punkt“ stimmten vier der neun Befragten zu. Wobei manche die Vorstellung hatten, dass sich der Punkt in der Linse befindet. Bei diesem Distraktor kommt es zu einer kleinen Modifikation, indem der Begriff „Lichtstrahlen“ durch „Licht“ ersetzt wird als auch „Sammellinse“ durch „Linse“ ersetzt wird.

Distraktor „5.6. Die Sammellinse lenkt die Lichtstrahlen in einen Punkt zusammen. Von dem Punkt aus läuft das Licht dann wieder auseinander“ wurde häufig mit der Abbildung 2 in Verbindung gesetzt, jedoch auch einmal mit Abbildung 4. Der Distraktor wird für die Testendversion lediglich leicht auf folgende Form modifiziert: „Die Linse lenkt das Licht so ab, dass es erst in einem Punkt zusammenläuft und dann wieder auseinanderläuft“.

Bei diesem Testitem wurden einzig bei der Erklärung „5.7. Die Form vom Strahl nach der Linse hängt von der Form vom Strahl vor der Linse ab“ umfangreichere Stellungnahmen der Schüler/innen getätigt. Der Begründung stimmten sieben der Befragten zu. Unter der Form des Strahls wurde verstanden, wie sich das Licht ausbreitet, ob es geradlinig weiter geht, zusammenläuft oder auseinandergeht. Nur zwei widersprachen der Aussage, wobei einmal richtig argumentiert wurde: „Naja, ich weiß nicht, so unterschiedlich kann es ja nicht sein, weil die Linse so geformt ist, dass die Lichtstrahlen in einer gewissen Weise gelenkt werden“ (B7/258-260).

Auffallend war, dass die Kommentare der Schüler/innen bei diesem Testitem meist sehr knapp waren. Die einzelnen Distraktoren wurden meist nur mit einer bestimmten

Abbildung in Beziehung gesetzt. Es zeigte sich, dass die Findung geeigneter Distraktoren für dieses Item und auch für das folgende recht schwierig ist.

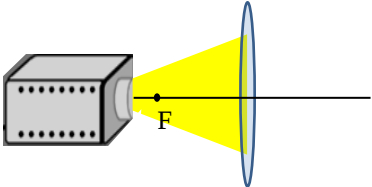
Hinsichtlich des sprachlichen Aspekts der Erklärungs-distraktoren gab es bis auf einen Fall keine Probleme in Bezug auf die Verständlichkeit. Auf die Frage ob es einen Unterschied mache, ob die Sammellinse das Licht bündelt oder sammelt, antwortete ein/eine Proband/in folgendermaßen: „Bündelt ist ein komisches Wort. Ich könnte mir darunter nichts vorstellen“ (B4/320). In der Folge wurde somit auf das Wort „bündelt“ in den Erklärungs-distraktoren verzichtet.

Durch die durchgeführte Untersuchung entstand die in Abb. 50 zu sehende Endversion des Testitems 5 (SSL1).

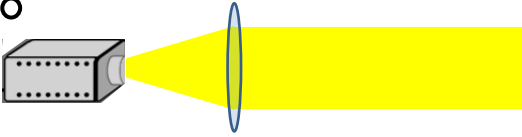
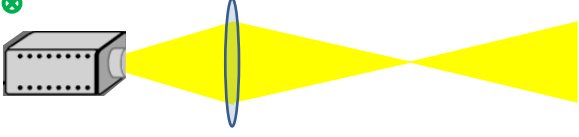
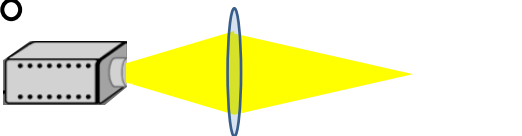
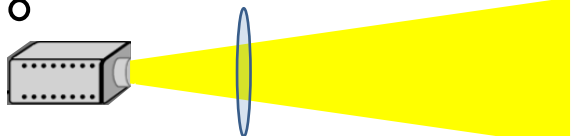
Scheinwerfer durch Sammellinse

SSL 1) Eine Sammellinse wird vor einen Scheinwerfer gehalten.

Der Scheinwerfer befindet sich nicht im Brennpunkt F.



a) Wie verläuft das Licht weiter?

☐ 	☒ 
☐ 	☐ 

b) Wie erklärst du deine Entscheidung?

richtig	falsch	
☐	☒	Licht breitet sich immer geradlinig aus.
☐	☒	Linsen lenken Licht immer so ab, dass parallele Strahlen entstehen.
☐	☒	Die Linse sammelt das Licht in einem Punkt. Das Licht bleibt in diesem Punkt.
☐	☒	Die Form vom Strahl nach der Linse hängt von der Form vom Strahl vor der Linse ab.
☒	☐	Die Linse lenkt das Licht so ab, dass es erst in einem Punkt zusammenläuft und dann wieder auseinander läuft.

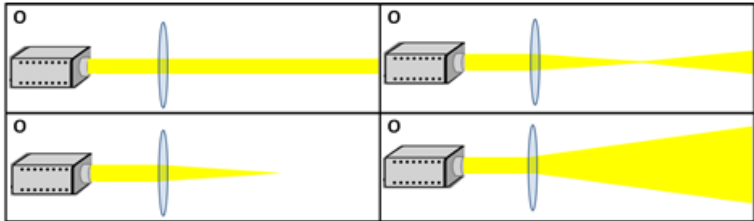
Abb. 50: Endversion des Testitems 5 (SSL1)

Testitem 6: SSL2

Item 6: SSL2

Eine Sammellinse wird vor einen Scheinwerfer gehalten.

Wie verläuft das Licht weiter?



Erklärungsdistraktoren:

- 6.1. Lichtstrahlen breiten sich immer geradlinig aus.
- 6.2. Lichtstrahlen werden beim Durchgang durch Linsen abgelenkt.
- 6.3. Die Sammellinse lenkt das Licht so ab, dass es auseinander läuft.
- 6.4. Die Sammellinse lenkt das Licht so ab, dass es zusammenläuft.
- 6.5. Die Sammellinse sammelt die Lichtstrahlen in einem Punkt. Das Licht bleibt in diesem Punkt.
- 6.6. Die Sammellinse lenkt die Lichtstrahlen in einen Punkt zusammen. Von dem Punkt aus läuft das Licht dann wieder auseinander.
- 6.7. Die Form vom Strahl nach der Linse hängt von der Form vom Strahl vor der Linse ab.

Abb. 51: Testitem 6 (SSL2) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren

Abb. 51 beinhaltet die erste Stufe des Testitems 6 (SLL2) und die zugehörigen, aus den Fragebogen entwickelten, Erklärungsdistraktoren. Der Multiple-Choice Teil dieses Items wurde generell nur von acht der neun Befragten beantwortet. Die Hälfte der Schüler/innen (4/8) entschied sich für Antwort 4. Dabei argumentieren diese zwei mit Alltagserfahrungen mit einem Beamer bzw. Projektor: „Wenn ich in der Klasse einen Beamer habe und ich stelle ihn ganz nah ran, dann habe ich auch nur ein ganz kleines Licht und umso weiter ich weg gehe, ein umso größeres Licht habe ich dann“ (B2/388-390). Die anderen beiden wählten diese Antwort, weil sie die anderen Antworten ihres Erachtens ausschließen konnten. Antwort 1 wurde von zwei der Befragten gewählt, mit dem Argument der Gleichmäßigkeit: „Weil das Licht sich gleichmäßig verteilt und auch so weiter geht“ (B8/279). Nur ein/eine Schüler/in entschied sich für die richtige Antwort 2 und begründete dies folgendermaßen: „Geht das Licht geradlinig in die Linse rein, dann wird es so wie in Grafik 2 gebrochen“ (B2/295-304). Ebenfalls ein/eine Schüler/in entschied sich für Antwort 3, gestützt auf folgende Argumentation: „Weil es eine Sammellinse ist und da werden die Lichtstrahlen auf so einen Punkt gebündelt“ (B3/315-316).

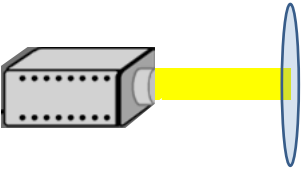
Das Antwortverhalten dieses Items im Vergleich der Interviews mit den Fragebogen ist ebenfalls wieder sehr unterschiedlich. Antwort 4 wurde in den Fragebogen am seltensten gewählt, bei den Interviews jedoch bei Weitem am häufigsten. Genau anders herum verhält es sich mit der physikalisch korrekten Antwort 2.

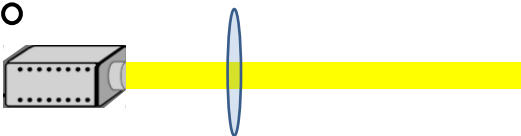
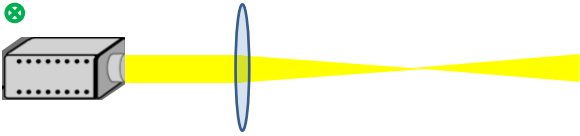
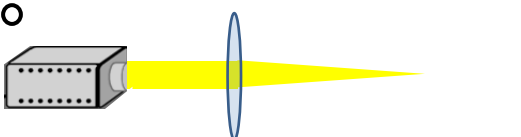
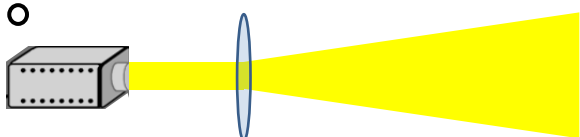
Bei diesem Item wurden dieselben Erklärungsdistraktoren wie beim vorigen Item eingesetzt. Bei der Beurteilung der einzelnen Erklärungsdistraktoren für die zweite Stufe dieses Items unterschieden sich die Kommentare der Schüler/innen kaum und teilweise wurde nur auf das vorige Item verwiesen. Aus diesem Grund werden bis auf einen Distraktor in der Endversion dieselben Distraktoren wie beim Item SSL1 verwendet. Der Distraktor „Linsen lenken Licht immer so ab, dass parallele Strahlen entstehen“ wird entfernt, da in diesem Beispiel eine solche Situation nicht vorkommt. An dessen Stelle tritt der Distraktor: „Die Linse lenkt das Licht so ab, dass es auseinander läuft“.

Die Endversion des Testitems 6 (SSL2) wird in Abb. 52 dargestellt.

SSL2) Eine Sammellinse wird vor einen Scheinwerfer gehalten.

a) Wie verläuft das Licht weiter?



☐ 	☒ 
☐ 	☐ 

b) Wie erklärst du deine Entscheidung?

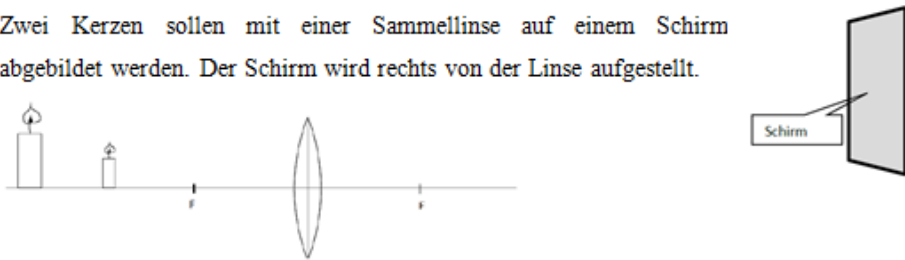
richtig	falsch	
☐	☒	Licht breitet sich immer geradlinig aus.
☐	☒	Die Linse lenkt das Licht so ab, dass es auseinander läuft.
☐	☒	Die Linse sammelt das Licht in einem Punkt. Das Licht bleibt in diesem Punkt.
☐	☒	Die Form vom Strahl nach der Linse hängt von der Form vom Strahl vor der Linse ab.
☒	☐	Die Linse lenkt das Licht so ab, dass es erst in einem Punkt zusammenläuft und dann wieder auseinander läuft.

Abb. 52: Endversion des Testitems 6 (SSL2)

Testitem 7: ZKL1

Item 7: ZKL1

Zwei Kerzen sollen mit einer Sammellinse auf einem Schirm abgebildet werden. Der Schirm wird rechts von der Linse aufgestellt.



Beide Kerzen sollen **gleichzeitig scharf** abgebildet werden. In wie vielen verschiedenen Entfernungen von der Linse kannst du den Schirm aufstellen? Wähle **1 Antwort!**

- ☐ Beide Kerzen werden bei 1 Schirmposition scharf abgebildet.
- ☐ Beide Kerzen werden bei 2 Schirmpositionen scharf abgebildet.
- ☐ Es gibt unendlich viele Schirmpositionen, bei denen beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.
- ☐ Es gibt keine Schirmposition bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.

Erklärungsdistraktoren:

- 7.1. Damit ein Gegenstand scharf abgebildet wird, muss er kleiner sein als die Linse.
- 7.2. Gegenstände sind nur scharf, wenn sie sich im Brennpunkt befinden.
- 7.3. Jede Linse hat mehr als einen Brennpunkt.
- 7.4. Weil das "Scharfstellen" nur funktioniert, wenn beide Kerzen auf gleicher Ebene sind.
- 7.5. Für jede Gegenstandsweite gibt es nur eine Bildweite.
- 7.6. Unterschiedliche Gegenstandsgröße heißt unterschiedliche Bildweite.
- 7.7. Unterschiedliche Gegenstandsweite heißt unterschiedliche Bildweite.
- 7.8. Die Linse bündelt das Licht der Kerze nur an genau einer Stelle zu einem Schnittpunkt.

Abb. 53: Testitem 7 (ZKL1) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren

Abb. 53 zeigt die erste Stufe des Testitems 7 (ZKL1) und die entsprechenden, aus den Fragebogen entwickelten, Erklärungsdistraktoren. Bei der Beantwortung des Multiple-Choice Teils dieses Items entschied sich der Großteil der Befragten (6/9) für die richtige Antwort 4, dass es keine Schirmposition gibt, bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden. Dabei begründeten fünf ihre Antwort mit der unterschiedlichen Entfernung der beiden Kerzen voneinander bzw. zur Linse, wie etwa jene/r Befragte/r: „Weil sie eben eine gewisse Entfernung voneinander haben und die Kerze (zeigt auf die Kerze, welche näher zur Linse ist) bräuchte vom Schirm nicht so viel Abstand wie die Kerze (zeigt auf die Kerze, welche weiter weg von der Linse ist). Deswegen ist eine immer unscharf“ (B3/355-357). Von einem wurde zusätzlich Bezug auf eine Alltagserfahrung genommen: „Ich habe eine Spiegelreflex Kamera und wenn da zwei Sachen weiter auseinander sind, dann kann ich entweder auf das oder das scharf stellen“ (B1/534-542).

Eine/r der sechs Befragten, welche Antwort 4 wählten, argumentierte wie folgt: Ich glaube alles, was hinter einem gewissen Punkt ist, wird scharf abgebildet. Vor diesem Punkt ist es unscharf“ (B9/347-363).

Einmal wurde Antwort 1 gewählt, dass beide Kerzen bei einer Schirmposition scharf abgebildet werden, mit jenem Argument: „Ich glaube, wenn man sie scharf sehen will, müssen sie da (zeigt auf die Linse) gleich einfallen und sich dann da (zeigt auf den Schirm) berühren“ (B4/396-401).

Ebenfalls nur ein/e Schüler/in entschied sich für Antwort 2, dass beide Kerzen an zwei Schirmpositionen scharf abgebildet werden und begründete dies ausführlich: „Ich stell mir das wie beim Fotografieren vor. Umso näher ich rangehe, umso mehr fokussiert es sich auf das Vordere und dann rückt diese in den Hintergrund. Und umso weiter ich weggehe, umso mehr habe ich beide oben. Ich glaube es gibt zwei Schirmpositionen, bei der beide Kerzen gleichzeitig abgebildet werden. Weil den Schirm kann ich da ja irgendwo aufstellen“ (B2/435-460).

Eine/r der Befragten entschied sich für Antwort 3, dass es unendlich viele Schirmpositionen gibt, bei denen beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden. Mit dieser Begründung: „Wenn es eher näher ist, wird es schärfer sein. Wenn es weiter weg ist, wird es nicht so scharf sein. Den Schirm kann man überall hinter der Linse aufstellen und beide Kerzen, also Kerze 1 und Kerze 2, sind gleichzeitig scharf“ (B8/322-334).

Bei diesem Testitem sind das Antwortverhalten der Interviews und jenes der Fragebogen im Allgemeinen relativ ähnlich, jedoch wurde beim Interview im Vergleich zum Fragebogen noch häufiger die richtige Antwort 4 gewählt. Ein möglicher Grund ist jener, dass im Interview gut auf Fragen der Schüler/innen zur Aufgabenstellung eingegangen werden konnte. Vor allem bei diesem Testitem sind häufig Fragen aufgetreten. Fragen wie: „Mit dem Schirm mach ich? Für was ist der da, zum Lichtmachen oder?“ (B1/526) oder „Ein Schirm ist was, ist das ein Spiegel?“ (B4/392) konnten im Interview geklärt werden.

Es zeigte sich auch, dass es Schwierigkeiten beim Verständnis zweier Antwortmöglichkeiten gab: „Wo ist die Schirmposition 2 und was ist Schirmposition 1?“ (B2/440). Für die Weiterentwicklung dieses Testitems bedeutet dies, dass die Ziffern „1“ und „2“ in der Angabe durch die Wörter „einer“ und „zwei“ ersetzt werden, für eine bessere Verständlichkeit. Weiters wurde in der Angabe der Satz „Der Schirm wird rechts

von der Linse aufgestellt und kann verschoben werden“ erweitert sowie ein Pfeil in die Grafik eingefügt welcher dies verdeutlichen soll. Außerdem wurden die vier Antwortmöglichkeiten des Multiple-Choice Teils in eine einheitliche Form gebracht. Zusätzlich wurden die beiden Kerzen in der Abbildung mit K1 und K2 beschriftet und in der Aufgabenstellung kurz Bezug darauf genommen.

Für dieses Testitem wurden vor den Interviews acht Erklärungsdistraktoren gebildet. Bei der Beurteilung der einzelnen Erklärungsdistraktoren für die zweite Stufe dieses Items wurde die Begründung „7.1. Damit ein Gegenstand scharf abgebildet wird, muss er kleiner sein als die Linse“ von den meisten (6/8) inhaltlich abgelehnt, sprachlich jedoch verstanden. Aufgrund der Auswertung der Fragebogen, wo diese Begründung häufiger auftrat, wird dieser Distraktor jedoch weiterhin in leicht modifizierter Form erhalten bleiben: „Weil Gegenstände nur scharf von einer Linse abgebildet werden, wenn sie kleiner sind als die Linse“.

Dem Distraktor „7.2. Gegenstände sind nur scharf, wenn sie sich im Brennpunkt befinden“ stimmten drei der neun Befragten zu. Der Großteil jener, die nicht zustimmten, hatte keine konkrete Vorstellung vom Brennpunkt und konnte mit dieser Erklärung somit nichts anfangen. Jene die zustimmten interpretierten den Begriff des Brennpunkts wiederum völlig unterschiedlich: „Ich denke mal der Punkt auf der Linse, wo das Licht durchfällt oder der Docht von der Kerze“ (B2/478-484), „Das ist glaube beim Anfang der Strahlen, vom Ausgangspunkt“ (B8/350-351) oder „Der Punkt, ab dem man es scharf sieht“ (B9/375).

Die Auswertung der Fragebogen zeigt, dass einige Schüler/innen eine ähnliche Erklärung benutzten und meinten, dass am Brennpunkt der Schirm positioniert werden muss, um beide Kerzen gleichzeitig scharf abzubilden. Aus diesem Grund bleibt der Distraktor in leicht modifizierter Form bestehen: „Weil Gegenstände immer nur scharf von einer Linse abgebildet werden, wenn sie sich im Brennpunkt befinden“.

Zur Begründung „7.3. Jede Linse hat mehr als einen Brennpunkt“ nahmen nur wenige Schüler/innen Stellung. Es scheint als würde dieser Distraktor als Erklärung kaum angenommen werden, deshalb wird er entfernt.

Die Erklärung „7.4. Weil das ‘Scharfstellen‘ nur funktioniert, wenn beide Kerzen auf gleicher Ebene sind“ wurde von den Befragten inhaltlich unterschiedlich aufgefasst. Einige

verstanden unter gleicher Ebene, so wie vom Autor beabsichtigt, dass die Kerzen die gleiche Entfernung zur Linse besitzen. Jedoch wurde darunter auch verstanden, dass die Kerzen die gleiche Größe besitzen oder auf unterschiedlicher Höhe stehen würden. Aus diesem Grund muss dieser Distraktor durch Rückgriff auf die Fragebogenauswertung, umformuliert werden: „Weil K1 und K2 verschieden weit von der Linse weg sind, schneiden sich ihre Strahlen auch an zwei verschiedenen Punkten hinter der Linse“. Diese Erklärung wurde häufig in ähnlicher Form bei den offenen Antworten des Fragebogens erwähnt.

Die folgenden drei Distraktoren enthielten alle die Begriffe „Gegenstandsweite“ und/oder „Bildweite“, welche von den Schülerinnen und Schülern teilweise nicht verstanden oder fehlinterpretiert wurden. Aus diesem Grund werden diese drei Erklärungsdistraktoren entfernt. Unter der Erklärung „7.8. Die Linse bündelt das Licht der Kerze nur an genau einer Stelle zu einem Schnittpunkt“ konnten sich ebenfalls viele Schüler/innen nichts vorstellen.

Es konnten nur drei der acht Distraktoren für die Endversion der Testitems übernommen werden, da Schüler/innen Schwierigkeiten hatten die Distraktoren 7.5. bis 7.8. sowohl sprachlich als auch inhaltlich zu verstehen. Des Weiteren konnten die Befragten in diesen Fällen keine eigenen Formulierungen hinzufügen. Aus diesem Grund wurde die Auswertung der Fragebogen noch einmal ausführlich betrachtet. Durch die freien Antworten der Schüler/innen konnte ein weiterer Distraktor gebildet werden: „Weil die beiden Kerzen unterschiedlich groß sind“. und „Es gibt zwei verschiedene Schnittpunkte“. Diese Begründung wurde häufig in ähnlicher Form von den Schülerinnen und Schülern in den Fragebogen als Begründung verwendet. Im Interview gab ebenfalls ein/eine Befragte/r eine ähnliche Erklärung ab: „Man sieht immer nur eine Kerze scharf, weil sie verschiedene Größen haben und weiter weg sind“ (B9/392-410).

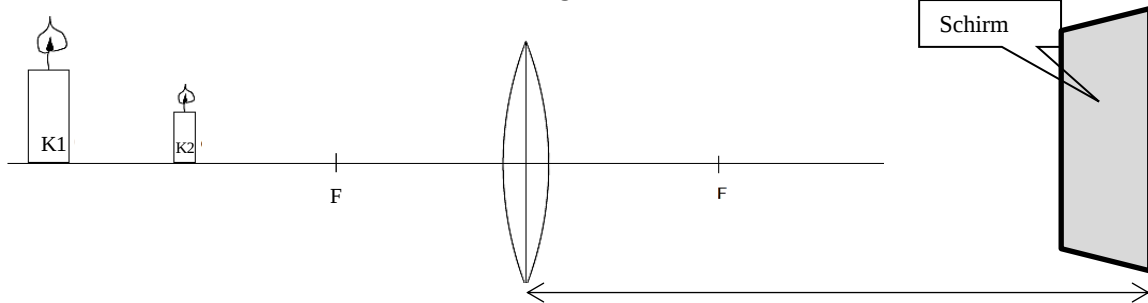
Hinsichtlich des sprachlichen Aspekts scheint es, dass zwei Antworten des Multiple-Choice Teils etwas unverständlich formuliert waren. Wie schon oben erwähnt gab es Probleme damit, was unter den Ziffern „1“ und „2“ bei den ersten beiden Antwortmöglichkeiten zu verstehen ist. In Folge dessen wurden die oben beschriebenen Änderungen für die Testendversion durchgeführt. Außerdem wurden die Distraktoren 7.5. bis 7.8. von einzelnen Schüler/innen nicht nur inhaltlich sondern auch sprachlich nicht verstanden. Was, wie oben schon beschrieben, dazu führte, dass sie verworfen wurden.

Die im Zuge dieser Untersuchung entstandene Endversion des Testitems 7 (ZKL1) ist in Abb. 54 zu sehen.

Zwei Kerzen vor Linse

ZKL 1) Zwei Kerzen sollen mit einer Sammellinse auf einem Schirm abgebildet werden.

Der Schirm wird rechts von der Linse aufgestellt und kann verschoben werden.



a) Beide Kerzen K1 und K2 sollen gleichzeitig scharf abgebildet werden. In wie vielen verschiedenen Entfernungen von der Linse kannst du den Schirm aufstellen? Wähle 1 Antwort!

- ☐ Es gibt **eine** Schirmposition, bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.
- ☐ Es gibt **zwei** Schirmpositionen, bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.
- ☐ Es gibt **unendlich viele** Schirmpositionen, bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.
- ☒ Es gibt **keine** Schirmposition, bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.

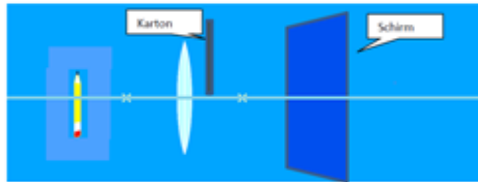
b) Wie erklärst du deine Entscheidung?

richtig	falsch
☒	☐ Weil K1 und K2 verschieden weit von der Linse weg sind, schneiden sich ihre Strahlen auch an zwei verschiedenen Punkten hinter der Linse.
☐	☒ Weil die beiden Kerzen unterschiedlich groß sind.
☐	☒ Weil Gegenstände immer nur scharf von einer Linse abgebildet werden, wenn sie sich im Brennpunkt befinden.
☐	☒ Weil Gegenstände nur scharf von einer Linse abgebildet werden, wenn sie kleiner sind als die Linse.

Abb. 54: Endversion des Testitems 7 (ZKL1)

Testitem 8: HAL1**Item 8: HAL1**

Ein Bleistift wird mit einer Sammellinse am Schirm abgebildet. Dann wird der obere Teil der Linse mit einem Karton abgedeckt.



Wie wirkt sich der Karton vor der Linse auf das Bild am Schirm aus?

Das Bild bleibt unverändert.		☐	Das ganze Bild ist sichtbar, aber weniger gut ausgeleuchtet.		☐
Die untere Bildhälfte verschwindet.		☐	Die obere Bildhälfte verschwindet.		☐

Erklärungsdistraktoren:

- 8.1. Von jedem Punkt des Bleistifts geht nun weniger Licht durch die Linse durch.
- 8.2. Nur vom unteren Teil des Bleistifts geht Licht durch die Linse durch.
- 8.3. Nur vom oberen Teil des Bleistifts geht Licht durch die Linse durch.
- 8.4. Die Sammellinse macht verkehrte Bilder. Deshalb wechselt die verdeckte Seite die Position.
- 8.5. Die Sammellinse macht verkehrte Bilder. Deshalb kommt das Licht vom unteren Teil des Bleistifts auf den oberen Teil des Schirms.
- 8.6. Die Sammellinse macht verkehrte Bilder. Deshalb kommt das Licht vom oberen Teil des Bleistifts auf den unteren Teil des Schirms.
- 8.7. Die Linse bricht das Licht und lenkt es am Karton vorbei.

Abb. 55: Testitem 8 (HAL1) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren

In Abb. 55 sind die erste Stufe des Testitems 2 (MDR2) und die zugehörigen, aus den Fragebogen entwickelten, Erklärungsdistraktoren dargestellt. Bei der Beantwortung des Multiple-Choice Teils dieses Items wählten vier der neun Schüler/innen Antwort 3, die untere Bildhälfte verschwindet. Alle argumentierten damit, dass das Bild umgedreht wird und ein Teil verschwindet bzw. vom Karton verdeckt wird, z.B.: „Weil das wird ja dann auf dem Kopf herum dargestellt und wenn jetzt der Teil (zeigt auf die Bleistiftspitze) verschwindet, dann sieht man nur noch den Teil.“ (B7/272-273).

Ebenso häufig (4/9) wurde Antwort 4, die obere Bildhälfte verschwindet, gewählt. Drei davon erklärten ihre Wahl mithilfe einer Strahlenkonstruktion: „Weil die Lichtstrahlen die ja so gehen und es da halt nicht durchgehen kann, weil der Karton im Weg ist. Deswegen

wird nur der obere Teil des Bleistifts dort unten abgebildet“ (B3/419-421). Wobei sich einmal sehr deutlich eine holistische Vorstellung des Abbildungsvorganges zeigt: „Der Bleistift geht so zur Linse, in der Linse wird er umgekehrt und der Karton nimmt dann den oberen Teil weg und die Spitze geht dann weiter“ (B4/445-455). Einer der Befragten argumentierte seine Antwort folgendermaßen: „Wenn der Karton fest ist und über die obere Hälfte gestellt wird, kann es ja keine Strahlen sammeln und dann auf den Schirm weitergeben. Die untere Hälfte ist ja nicht verdeckt und da geht es glaube ich“ (B8/416-420).

Einmal wurde Antwort 1, „das Bild bleibt unverändert“, gewählt. Jene/r Befragte begründete dies und meinte man sehe den Bleistift in der Linse und nicht am Schirm: „Ich glaube man sieht den ganzen Bleistift. Den Bleistift sieht man wieder in der Linse“ (B1/660-672).

Die physikalisch richtige Antwort, dass das ganze Bild weniger gut ausgeleuchtet sichtbar ist, wurde von niemandem gewählt. Das Antwortverhalten dieses Testitems bei den Interviews stimmt auch in etwa mit jenem bei den Fragebogen überein, wo auch überwiegend die Antworten 3 und 4 gewählt wurden.

Durch die Auswertung der offenen Antworten der Schüler/innen beim Fragebogen konnten sieben Erklärungsdistraktoren und sechs Abbildungen für dieses Testitem erstellt werden. Aufgrund von Zeitmangel konnten die Erklärungen nur sieben der neun Befragten präsentiert werden, zudem wurden zwei Abbildungen (Abbildungen e) und f)) erst nach Durchführung der ersten drei Interviews erstellt. Auf die Abbildungen wird nach Behandlung der Erklärungsdistraktoren näher eingegangen.

Bei der Beurteilung der einzelnen Erklärungsdistraktoren für die zweite Stufe dieses Items wurde der Distraktor „8.1. Von jedem Punkt des Bleistifts geht nun weniger Licht durch die Linse durch“ von allen Befragten (7/7) abgelehnt. Auf Basis der Aussage „Nein, eigentlich gleich viel, aber man sieht halt das da oben nicht. Sie gehen zwar gleich durch, aber sie werden halt aufgehalten“ (B2/583-584) werden aus diesem Distraktor zwei neue Distraktoren gebildet: „Von jedem Punkt des Bleistifts kommt Licht durch die Linse durch, aber ein Teil wird vom Karton aufgehalten“ und „Von jedem Punkt des Bleistifts kommt nun weniger Licht bei der Linse an.“

Den Distraktoren 8.2. und 8.3. wurde nur vereinzelt zugestimmt. Es hat sich beim Distraktor 8.1. gezeigt, dass einige Schüler/innen der Meinung sind, es gehe von allen Punkten Licht durch die Linse durch, wie etwa: „Es geht gleich viel Licht von jedem Punkt“ (B8/424). Da der Karton hinter der Linse steht, hat er somit keinen Einfluss und die beiden Distraktoren 8.2. und 8.3. werden entfernt.

Der Erklärung „8.4. Die Sammellinse macht verkehrte Bilder. Deshalb wechselt die verdeckte Seite die Position“ stimmten sechs der sieben Befragten zu, egal ob sie Antwort 3 oder Antwort 4 wählten. Dem Distraktor „8.5. Die Sammellinse macht verkehrte Bilder. Deshalb kommt das Licht vom unteren Teil des Bleistifts auf den oberen Teil des Schirms“ stimmten nur jene zu, die Antwort 3 wählten. Hingegen dem Distraktor „8.6. Die Sammellinse macht verkehrte Bilder. Deshalb kommt das Licht vom oberen Teil des Bleistifts auf den unteren Teil des Schirms“ nur jene, welche Antwort 4 wählten. Es zeigt sich, dass diese beiden Distraktoren nur mit der entsprechenden Antwort in Verbindung gesetzt werden, ohne dass für die Auswertung zusätzliche Erkenntnis gewonnen wird. Aus diesem Grund werden auch diese beiden Erklärungen entfernt.

Der Erklärung „8.7. Die Linse bricht das Licht und lenkt es am Karton vorbei“ stimmten nur zwei der sieben Befragten zu. Die Befragung zeigt, dass sie sprachlich und inhaltlich verstanden wird, jedoch für die Mehrheit, welche Antwort 3 oder 4 wählte, keine Begründung darstellt. Für die Endversion der Testaufgabe wird der Distraktor aber nur leicht modifiziert: „Die Linse bricht das Licht und lenkt das Licht am Karton vorbei“.

In Bezug auf den sprachlichen Aspekt gab es für die Befragten bei keinem der präsentierten Erklärungsdistraktoren Probleme hinsichtlich der Verständlichkeit.

Den Befragten wurden weiters bis zu sechs Abbildungen präsentiert, welche in der Folge beschrieben werden. Zur Übersichtlichkeit wurden die Abbildungen hier ebenfalls eingefügt. Größere Darstellungen sind aus dem Interviewleitfaden in Anhang D zu entnehmen.

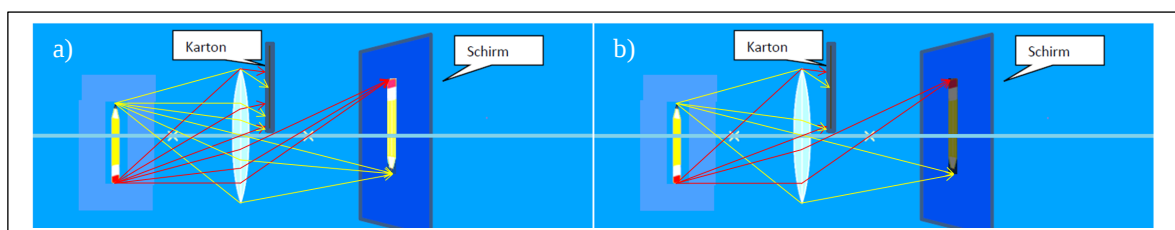


Abb. 56: Abbildungen a) und b) des Testitems 8 (HAL1)

Abbildung a) stimmten überraschenderweise sechs der sieben Befragten zu, obwohl nur eine/r davon die zugehörige Antwort 1 gewählt hat. Für die meisten erschien die Abbildung logisch und nachvollziehbar, bei manchen blieben jedoch trotzdem kleine Zweifel bestehen.

Abbildung b) wurde von allen abgelehnt, hauptsächlich, weil es für sie unglaublich erscheint, dass der Bleistift ganz aber lichtschwächer abgebildet wird. Außerdem erschien einigen die Strahlenkonstruktion seltsam.

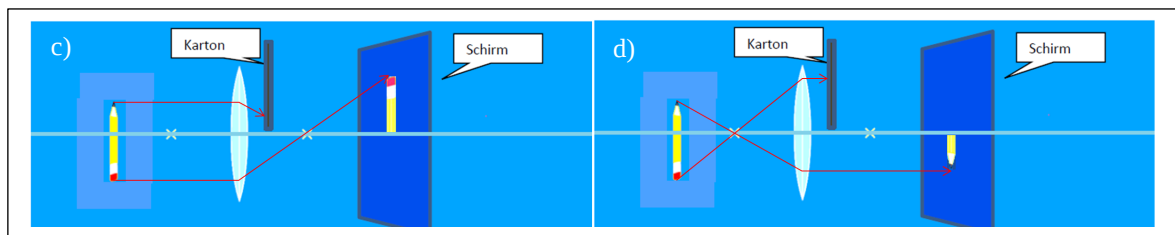


Abb. 57: Abbildungen c) und d) des Testitems 8 (HAL1)

Abbildung c) stimmten vier der sieben Schüler/innen zu, welche jedoch auch Abbildung a) für richtig hielten. Alle von ihnen fielen wieder zu ihrer ursprünglichen Antwort zurück und sahen sich durch diese Abbildung in ihrer ursprünglichen Antwortwahl bekräftigt.

Der Abbildung d) stimmte nur ein/e Schüler/in zu. Ein Grund ist, dass von den vier Befragten, welche Antwort 4 wählten, diese Abbildung nur mehr zwei bewerteten und dass einer der zwei verbliebenen eine eigene Strahlenkonstruktion anfertigte, welche von Abbildung d) abweicht. Diese Skizze wurde für die weiteren Interviews übernommen und den Befragten als Abbildung e) präsentiert, jedoch von allen abgelehnt.

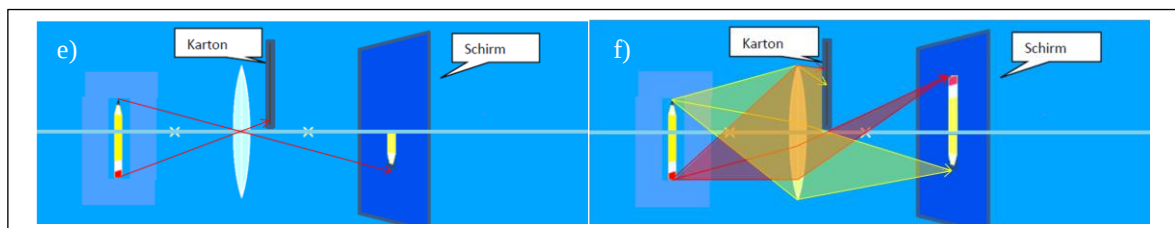


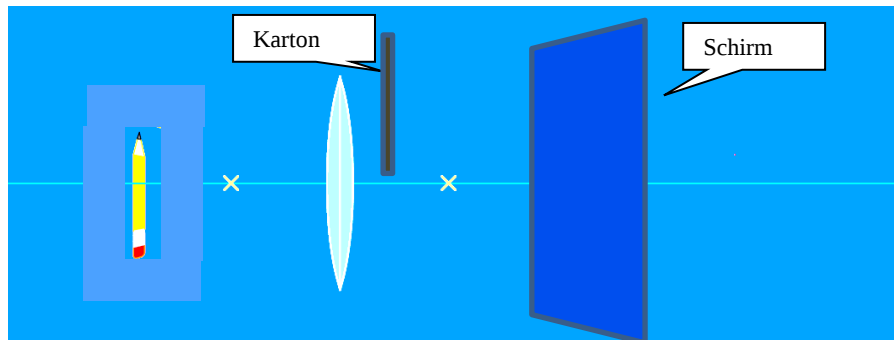
Abb. 58: Abbildungen e) und f) des Testitems 8 (HAL1)

Abbildung f) wurde nur von vier Schülerinnen und Schülern bewertet, wovon jedoch zwei zustimmten. Aufgrund der Schüleraussagen werden die Abbildungen a), c) und d) für das Testitem übernommen. Bei Abbildung f) wird der helle Bleistift durch einen dunkleren ersetzt und sonst unverändert übernommen.

Abb. 59 zeigt die Teile a) und b) Endversion des Testitems 8 (HAL1).

Halb abgedeckte Linse**HAL 1) Ein Bleistift wird mit einer Sammellinse am Schirm abgebildet.**

Dann wird der obere Teil der Linse mit einem Karton abgedeckt.



a) Wie wirkt sich der Karton vor der Linse auf das Bild am Schirm aus?

Das Bild bleibt unverändert.		☐	Das ganze Bild ist sichtbar, aber weniger gut ausgeleuchtet.		☒
Die untere Bildhälfte verschwindet.		☐	Die obere Bildhälfte verschwindet.		☐

b) Wie erklärst du deine Entscheidung?

richtig	falsch	
☐	☒	Die Sammellinse macht verkehrte Bilder. Deshalb wechselt die verdeckte Seite die Position.
☒	☐	Die Sammellinse bricht das Licht und lenkt das Licht am Karton vorbei.
☐	☐	Von jedem Punkt des Bleistifts kommt Licht durch die Linse durch, aber ein Teil wird vom Karton aufgehalten.
☐	☒	Von jedem Punkt des Bleistifts kommt nun weniger Licht bei der Linse an.

Abb. 59: Teile a) und b) der Endversion des Testitems 8 (HAL1)

Teil c) der Endversion des Testitems 8 (HAL1) ist in Abb. 60 zu sehen.

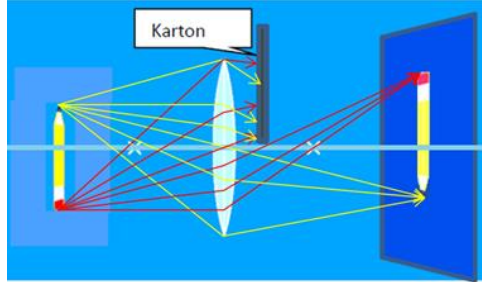
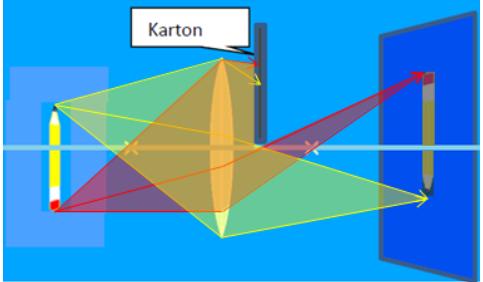
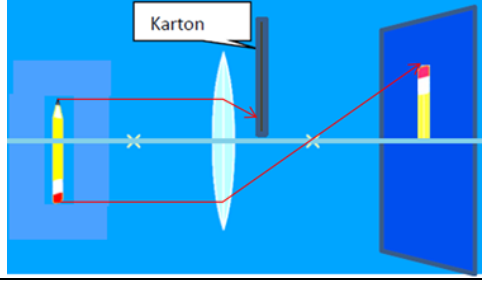
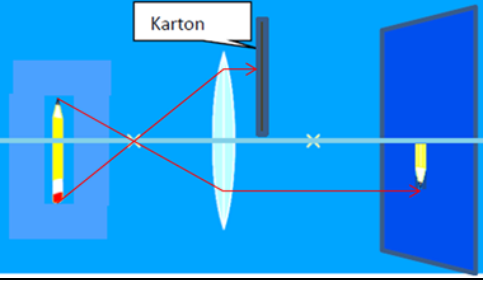
c) Welche dieser Abbildungen beschreibt den Vorgang deiner Meinung nach am besten?			
	O		☒
	O		O

Abb. 60: Teil c) der Endversion des Testitems 8 (HAL1)

7. Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse

7.1 Beantwortung der Forschungsfragen

In diesem Abschnitt werden die in Kapitel 3 formulierten Forschungsfragen beantwortet.

Forschungsfrage 1

Ist es möglich, mit offenen Fragebogen geeignete Erklärungsdistraktoren zu entwickeln, mit denen Schülervorstellungen zu Brechung und Linsen identifiziert werden können?

In der ersten Phase der Untersuchung wurden die Daten von 131 Fragebogen herangezogen, wobei davon 122 für die Auswertung berücksichtigt werden konnten. Die acht, für die Auswertung im Themenbereich Brechung und Linsen relevanten, Testitems bestanden jeweils aus einer Multiple-Choice Frage und einer offenen Frage, in der die Antwort des Multiple-Choice Teils begründet werden sollte. Wobei für die Entwicklung von Erklärungsdistraktoren besonders die Auswertung der offenen Fragen von Relevanz war.

Die offenen Antworten der Schüler/innen wurden für jedes Testitem analysiert und entsprechenden Kategorien zugeordnet. Die Bildung und Benennung der Kategorien erfolgte nach der von Gropengießer (2005, 172 ff.) beschriebenen Methode der qualitativen Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr- und Lernforschung weitestgehend anhand der von Schüler/innen niedergeschriebenen Antworten. In einem weiteren Schritt wurden die Erklärungen der Schüler/innen so formuliert, dass sie als Erklärungen für verschiedene Antworten des jeweiligen Testitems dienen konnten. Bei der Formulierung der Erklärungen wurde besonders darauf geachtet, dass sie dem vertrauten Wortschatz der Befragten entsprechen sowie kurz und einfach gehalten werden. In der Folge konnten dadurch für jedes Testitem zwischen vier und acht Erklärungsdistraktoren gebildet werden. Bei der Beantwortung des Testitems 8 (HAL1) wurde von den Schüler/innen bei der Erklärung der Antwort des Multiple-Choice Teils häufig auf das Anfertigen von Skizzen zurückgegriffen. Für dieses Testitem konnten neben den verbalen Erklärungsdistraktoren

auch vier Abbildungen aus den Antworten der Schüler/innen im Fragebogen gebildet werden.

Mit Hilfe offener Fragebogen konnten somit für jedes Testitem Erklärungsdistraktoren zur Abbildung von Schülervorstellungen zu Brechung und Linsen entwickelt werden. Die erste Forschungsfrage kann somit positiv beantwortet werden.

Um mit den erhaltenen Distraktoren zuverlässig Schülervorstellungen abbilden zu können mussten sie jedoch in einer weiteren Phase näher untersucht werden. Einerseits mussten die Distraktoren im Zuge qualitativer Interviews mit Schülerinnen und Schülern hinsichtlich sprachlicher als auch inhaltlicher Aspekte untersucht werden. Andererseits sollten die bis zu acht Erklärungsdistraktoren für ein einzelnes Testitem aus testtechnischen Überlegungen auf vier bis fünf Stück reduziert werden. Wobei darauf zu achten war, dass die Antwortalternativen disjunkt sind, sich also gegenseitig ausschließen und die Schnittmenge ihrer Aussagen somit leer ist. Sofern möglich, sollte nur genau eine richtige Antwort existieren und nicht mehrere. Außerdem sollte die Exhaustivität (Vollständigkeit) der Erklärungsdistraktoren gegeben sein, dass sie also den Antwortraum erschöpfend abdecken. (vgl. Jonkisz et al., 2012, S. 45 f.) Die in dieser zweiten Phase gewonnenen Ergebnisse dienen der Beantwortung der zweiten Forschungsfrage.

Forschungsfrage 2

Können die in offenen Fragebogen gefundenen Erklärungsdistraktoren in problemzentrierten Interviews validiert werden?

In Phase 2 wurde versucht mithilfe problemzentrierter Interviews, welche sich für der Erforschung subjektiver Theorien besonders eignen (vgl. Flick, 2009, S. 213), einen tiefergehenden Einblick in die Vorstellungen der befragten Schüler/innen zu erlangen. Dazu wurden Interviews mit je drei Schüler/innen der Zielgruppe an drei unterschiedlichen Schulen in Wien und Niederösterreich durchgeführt. Zum einen ging es darum die Vorstellungen der Schüler/innen bei der Beantwortung der Multiple-Choice Frage der einzelnen Testitems zu erheben. Zum anderen sollten die aus Phase 1 gewonnenen Erklärungsdistraktoren auf ihre Verständlichkeit überprüft werden sowie erhoben werden, welche Vorstellungen der Schüler/innen hinter den verschiedenen Antwortmöglichkeiten stecken.

Ziel war es, für jedes Testitem vier bis fünf geeignete Distraktoren im Zuge der Interviews auszuwählen. Diese sollten einerseits mögliche Begründungen für die Antwortmöglichkeiten des Multiple-Choice Teils liefern und andererseits verlässlich bereits aus der Literatur bekannte Schülervorstellungen abbilden.

Für die Testitems 1 (MDR1), 2 (MDR2) und 4 (AQ1) konnten im Zuge der Interviews jeweils fünf aus den Fragebogen entwickelte Erklärungs-distraktoren ausgewählt werden. Diese konnten durch die Interviews geprüft werden und erfüllen nach geringfügigen Modifikation in der Formulierung die im oberen Absatz genannten Kriterien.

Für das Testitem 8 (HAL1) konnten zwei Distraktoren ohne Änderungen für Endversion übernommen werden. Zwei weitere Distraktoren mussten aufgrund von Anmerkungen der Interviewpartner inhaltlich geringfügig geändert werden. Aus den entwickelten Abbildungen konnten vier passende für das endgültige Testitem ausgewählt werden.

Für die Testitems 3 (FMS1), 5 (SSL1) und 6 (SSL2) musste nach der Auswertung der Interviews jeweils ein neuer Erklärungs-distraktor gebildet werden, da aus den vorab gebildeten Distraktoren nicht die ausreichende Anzahl von vier bis fünf Begründungen den festgelegten Kriterien entsprach. Diese drei neu gebildeten Erklärungs-distraktoren konnten folglich nicht durch Interviews auf ihre Gültigkeit überprüft werden. Jedoch orientierte man sich bei der Bildung der neuen Distraktoren an den Anmerkungen der befragten Schüler/innen.

Für das Testitem 7 (ZKL1) konnten lediglich zwei der vorab gebildeten Distraktoren validiert werden und zwei mussten durch die Aussagen der Befragten und den Rückgriff auf die Schülerantworten aus den Fragebogen neu gebildet werden. Wie auch die bei den vorherigen Items neu gebildeten Distraktoren konnten diese durch Interviews nicht auf ihre Gültigkeit überprüft werden.

Es zeigt sich, dass der für alle acht Items entsprechende Erklärungs-distraktoren für die Endversion ausgewählt werden konnten, wobei der Großteil durch problemzentrierte Interviews validiert wurde. Jedoch musste auch eine Vielzahl der vorab aus Fragebogen gebildeten Distraktoren verworfen werden, da ihre Gültigkeit in den Interviews nicht bestätigt werden konnte. Es erwies sich als vorteilhaft, vor den Interviews mehr als die benötigten vier bis fünf Distraktoren zu bilden um dem entgegenzuwirken und nicht noch eine weitere Interviewphase durchführen zu müssen.

Die entwickelte zweite Itemstufe mit den dazugehörigen Erklärungsdistraktoren gibt nun Klarheit über die bei der Lösung verwendeten Konzepte der Schüler/innen. Die entwickelten Testitems können in Zukunft dabei helfen Schülervorstellungen für den untersuchten Bereich auf einfache und verlässliche Art diagnostizieren zu können, um Lehrkräfte dabei zu unterstützen Lernprozesse optimaler gestalten zu können. Das Testitem erspart somit eine zeit- und arbeitsaufwändige Interviewführung bzw. Auswertung offener Antworten eines Fragebogens. Da jedoch keine weitere Erhebungsphase mit der Endversion des Testitems im Zuge dieser Untersuchung durchgeführt wurde, muss dies in einem nächsten Schritt erfolgen.

Forschungsfrage 3

In wie weit werden die in offenen Fragebogen gefundenen Erklärungsdistraktoren

a. inhaltlich

b. sprachlich

von Probanden und Probandinnen akzeptiert?

Inwiefern ein einzelner Distraktor von den Befragten inhaltlich akzeptiert wird hängt zu einem großen Teil auch damit zusammen, welche Antwort im Multiple-Choice Teil des jeweiligen Testitems gewählt wurde. Im Kapitel 6.2.2 wurde vor allem die inhaltliche Auffassung der einzelnen in offenen Fragebogen gefundenen Erklärungsdistraktoren ausführlich behandelt. Die durch die Interviews geprüften Distraktoren, welche nun die zweite Stufe der acht Testitems bilden, wurden von Befragten überwiegend in derselben Art und Weise aufgefasst. Wenn sich die inhaltliche Auffassung der Schüler/innen eines Distraktors stark unterschied, so führte dies dazu, dass er stark umformuliert oder gar verworfen wurde, da er somit nicht mehr die Gültigkeit besaß Schülervorstellungen eindeutig abzubilden. Dies musste in etlichen Fällen vorgenommen werden. Dem wurde glücklicherweise vorab entgegengewirkt indem mehr als die vier bis fünf benötigten Erklärungsdistraktoren pro Testitem aus den offenen Fragebogen gebildet wurden.

In Bezug auf den sprachlichen Aspekt wurden beinahe alle der in offenen Fragebogen gefundenen Erklärungsdistraktoren von den befragten Schüler/innen vollständig akzeptiert. Bei Testitem 4 (AQ1) wurde für die Endversion des Testitems lediglich der Begriff „Lichtstrahlen“, welcher in einigen Erklärungsdistraktoren vorkommt, auf „Lichtkegel“ geändert. Dies geschieht jedoch nicht, weil der Begriff den Befragten Probleme bereitet

sondern zum einen kommt einem auf eine Linie begrenzten Lichtstrahl keine physikalische Realität zu (vgl. Haferkorn, 2003, S. 11) und zum anderen beschreibt der Begriff „Lichtkegel“ die Situation in den Abbildungen des Items treffender.

Bei den Items 5 (SSL1) und 6 (SSL2) wurde auf die Verwendung des Begriffs „bündelt“ verzichtet, da für einen/eine Befragte/n dieser Begriff seltsam erschien. Dieser Begriff wurde somit nicht von allen Schüler/innen sprachlich akzeptiert und somit nicht in den Erklärungsdistraktoren verwendet.

Die Distraktoren 7.5. bis 7.8. des Items (ZKL1) enthielten allesamt Begriffe wie „Gegenstandsweite“ oder „Bildweite“. Diese wurden von den einzelnen Schüler/innen nicht nur inhaltlich sondern auch sprachlich nicht verstanden. Die Begriffe scheinen den Schüler/innen aus ihrer Umgangssprache nicht geläufig zu sein. Dies führte dazu, dass die entsprechenden Distraktoren verworfen wurden.

Forschungsfrage 4

Können aus der Untersuchung neue, noch nicht in der Literatur beschriebene, Schülervorstellungen zu Brechung und Linsen gefunden werden?

Viele in der Literatur beschriebene Schülervorstellungen im Bereich der Optik (siehe Kapitel 2.2.2) traten auch bei der im Zuge einer Diplomarbeit durchgeführten Untersuchung auf.

Es konnte unter anderem die schon von Guesne (1985, S. 27 f.) beschriebene Vorstellung beobachtet werden, dass zwar Licht auf einen Gegenstand treffen muss damit dieser sichtbar wird. Der reflektierte Anteil des Lichts vom Gegenstand muss jedoch in der Folge nicht ins Auge fallen damit der Gegenstand auf der Retina abgebildet werden kann.

Sehr häufig konnte auch beobachtet werden, dass Unklarheit über die Bedeutung von Reflexion und Brechung herrscht und es häufig zu einer Verwechslung dieser beiden Begriffe kam. Dies wurde ebenfalls in der von Kaewkhong, Mazzolini, Emarat und Arayathanitkul (2010, S. 100 f.) durchgeführten Studie mit 15- bis 17-jährigen thailändischen Schüler/innen festgestellt. Da es sich hierbei nicht um eine deutschsprachige Studie handelt, gibt das Ergebnis dieser Untersuchung einen Hinweis darauf, dass es sich nicht um eine begriffliche Verwirrung handelt, sondern um eine konzeptuelle.

Erwähnenswert ist auch das Auftreten einer „holistischen“ Auffassung des Abbildungsvorganges während der Untersuchung, welche unter anderem von Wiesner (2011, S. 40 f.) beschrieben wird.

Neue, noch nicht in der Literatur beschriebene Schülervorstellungen zu Brechung und Linsen konnten während der Untersuchung keine festgestellt werden. Mögliche Gründe hierfür sind, dass dieser Bereich in der fachdidaktischen Forschung bereits relativ gut untersucht ist. Weiters lag der Schwerpunkt der Untersuchung in der Entwicklung einer zweiten Stufe bereits bestehender einstufiger Testitems. Durch diese Auslegung konnte in den Interviews, welche das Kernstück der Untersuchung bildeten, nicht in benötigtem Maße auf Äußerungen von Schüler/innen eingegangen werden, um eventuell noch nicht erforschte Schülervorstellungen offenzulegen.

8. Folgerungen und Ausblick

Durch die Weiterentwicklung der untersuchten Testitems zu zweistufigen Multiple-Choice Items wurde eine Maßnahme gesetzt, die den zukünftigen Einsatz als Test- und Kontrollinstrument im Rahmen der geometrischen Optik an Schulen ermöglicht. Die im Zuge dieser Arbeit behandelten Teilgebiete umfassen die Bereiche der Lichtbrechung sowie die Abbildung durch Linsen. Für eben diese Gebiete kann das Testinstrument zukünftig zur Erhebung von Schülervorstellungen eingesetzt werden. Am AECCP der Universität Wien befinden sich derzeit weitere Testitems zu anderen Bereichen der geometrischen Optik in der Entwicklung, welche zukünftig zu einem umfassenderen Testinstrument zusammengefügt werden können.

Dieses Testinstrument soll in Zukunft vor allem Lehrpersonen dabei unterstützen Schülervorstellungen auf einfache und verlässliche Art diagnostizieren zu können. In der Vergangenheit wurde die Erhebung von Schülervorstellungen meist nur durch Interviews oder offenen Fragebogen vorgenommen, was sehr zeitintensiv war und daher selten durchgeführt wurde. Es ist zu beobachten, dass in den vergangenen Jahren im Zuge fachdidaktischer Forschung vielfach Multiple-Choice Tests, oftmals mit einer Erweiterung auf zwei oder drei Stufen, entwickelt wurden. Durch den Aufbau des in dieser Untersuchung entwickelten zweistufigen Multiple-Choice-Tests sollen Lehrkräfte die Möglichkeit haben die Vorstellungen ihrer Schüler/innen im Bereich der Brechung und Linsen mit geringem Zeitaufwand zu erheben. Dies soll dann vor allem den unterrichteten Schüler/innen zu Gute kommen, indem aufbauend auf den Resultaten Lernprozesse optimaler gestaltet werden können. Denn wie bereits von Ausubel (1968, S. VI) in seiner Forschungsarbeit betont, bildet das Vorwissen von Schüler/innen den wichtigsten Faktor für den weiteren Lernprozess: "If I had to reduce all of educational psychology to just one principle, I would say this: The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly."

9. Literaturverzeichnis

- Altrichter, H. & Posch, P. (2007). *Lehrerinnen und Lehrer erforschen ihren Unterricht* (4., überarb. und erw. Aufl.). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Andersson, B., & Kärrqvist, C. (1983). How Swedish pupils, aged 12-15 years, understand light and its properties. *European Journal of Science Education*, 5(4), 387-402.
- Ausubel, D.P. (1968). *Educational Psychology. A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston
- Bardar, E. M., Prather, E. E., Brecher, K., & Slater, T. F. (2006). Development and validation of the Light and Spectroscopy Concept Inventory. *Astronomy Education Review*, 5(2), 103-113. Zugriff am 18. März unter http://aer.aas.org/resource/1/aerscz/v5/i2/p103_s1
- Bos, W. & Koller, H.C. (2002). Triangulation. In E. König & P. Zedler (Hrsg.), *Qualitative Forschung* (S. 271-285). Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Chu, H. E., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2009). A stratified study of students' understanding of basic optics concepts in different contexts using two-tier multiple-choice items. *Research in Science & Technological Education*, 27(3), 253-265. Zugriff am 16. März 2013 unter <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/02635140903162553>
- Chen, C.C., Lin, H.S. & Lin, M.L. (2002). Developing a Two-Tier Diagnostic Instrument to Assess High School Students' Understanding. The Formation of Images by a Plane Mirror. *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(D)*, 12(3), 106-121.
- Duit, R. (2009a). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In E. Kircher, R. Girwidz, P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 605-630). Berlin: Springer-Verlag.
- Duit, R. (2009b). *Bibliography – STCSE. Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*. Zugriff am 12. März 2013 unter http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/download_stcse.html

- Feher, E. & Rice, K. (1988). Ein Vergleich optischer Vorstellungen von Lehrern und Schülern. *physica didactica*, 15(2), 3-20.
- Fetherstonhaugh, T., & Treagust, D. F. (1992). Students' understanding of light and its properties: Teaching to engender conceptual change. *Science Education*, 76(6), 653-672.
- Flick, U. (2009). *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag
- Frey, A., Taskinen, P., Schütte, K., Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J, ... Pekrun, R. (2009). PISA-2006-Skalenhandbuch: Dokumentation der Erhebungsinstrumente. Münster: Waxmann Verlag.
- Galili, I., Bendall, S., & Goldberg, F. (1993). The effects of prior knowledge and instruction on understanding image formation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 271-301.
- Galili, I., & Hazan, A. (2000a). Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22(1), 57-88.
- Galili, I., & Hazan, A. (2000b). The influence of an historically oriented course on students' content knowledge in optics evaluated by means of facets-schemes analysis. *American Journal of Physics*, 68(7), 3-15.
- Goldberg, F. M., & McDermott, L. C. (1987). An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal of Physics*, 55(2), 108-119.
- Goldberg, F., Bendall, S. & Galili, I. (1991). Lenses, Pinholes, Screens and the Eye, *The Physics Teacher* 29(4), 221-224.
- Gropengießer, H. (2005). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In P. Mayring und M. Gläser-Zikuda (Hrsg.), *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* (S. 172-189). Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Guesne, E. (1985). Light. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien, *Children's Ideas in Science* (S. 10-32). Milton Keynes: Open University Press.
- Haagen-Schützenhöfer, C. & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zur geometrischen Optik. In S. Bernholt (Hrsg.), *GDGP Jahrestagung in Oldenburg*

- 2011: *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht*. Münster, New York: LIT Verlag.
- Haagen-Schützenhöfer, C. & Hopf, M. (i.V.). Testing students' conceptual understanding in geometrical optics with a two-tier instrument. In M. Taşar (Hrsg.), *World Conference of Physics Education 2012 in Istanbul: Book of Proceedings*. Ankara.
- Haferkorn, H. (2003). *Optik. Physikalisch-technische Grundlagen und Anwendungen* (4., bearb. und erw. Aufl.). Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Hartig, J., Frey, A. & Jude, N. (2012). Validität. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 143-171). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Häußler, P., Bünder, W., Duit, R., Gräber, W. & Mayer, J. (1998). *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung. Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel: IPN.
- Hecht, E. (2005). *Optik* (4., überarb. Aufl.). München, Wien: Oldenbourg Verlag.
- Heinze, T. (2001). *Qualitative Sozialforschung. Einführung, Methodologie und Forschungspraxis*. München, Wien: Oldenbourg Verlag.
- Herd, D. (1991). Vergleichende Untersuchungen zum Lernerfolg verschiedener Konzeptionen für den Einführungsunterricht in Optik (Sekundarstufe I). In H. Wiesner (Hrsg.), *Aufsätze zur Didaktik der Physik II* (S. 84-98). Bad Salzdetfurth: Franzbecker.
- Hopf, C. (2003). Qualitative Interviews – ein Überblick. In U. Flick, E. von Kardorff & I. Steinke (Hrsg.), *Qualitative Forschung. Ein Handbuch* (S. 349-360). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Jonkisz, E., Moosbrugger, H. & Brandt, H. (2012). Planung und Entwicklung von Tests und Fragebogen. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 27-74). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie*, 34, 2-6.

- Kaewkhong, K., Mazzolini, A., Emarat, N., & Arayathanitkul, K. (2010). Thai high-school students' misconceptions about and models of light refraction through a planar surface. *Physics Education* 45(1), 97-107.
- Kaltakci, D., & Eryilmaz, A. (2008). *Does the Ray Model make it easy or difficult?*. GIREP 2008 International Conference: Physics Curriculum Design, Development and Validation. Zugriff am 26. März 2013 unter <http://ebookbrowse.com/does-ray-model-make-it-easy-or-difficult-pdf-d273970981>
- Kelava, A. & Moosbrugger, H. (2012). Deskriptivstatistische Evaluation von Items (Itemanalyse) und Testwertverteilungen. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 75-102). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Kelle, U. & Erzberger, C. (2003). Qualitative und Quantitative Methoden: kein Gegensatz. In U. Flick, E. von Kardorff & I. Steinke (Hrsg.), *Qualitative Forschung. Ein Handbuch* (S. 299-309). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Kuckartz, U., Dresing, T., Rädiker, S. & Stefer, C. (2008). *Qualitative Evaluation. Der Einstieg in die Praxis*. Wiesbaden: VS Verlag.
- Kunter, M., Schümer, G., Artelt, C., Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., ... Weiß, M. (2002). PISA 2000: Dokumentation der Erhebungsinstrumente (Materialien aus der Bildungsforschung: Bd. 72). Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung. Zugriff am 03. April 2013 unter <http://edoc.mpg.de/14414>
- Kutluay, Y. (2005). *Diagnosis of 11th grade students' misconceptions about geometric optic by a threetier test*. Masterthesis, Ankara: Middle East Technical University. Zugriff am 17. März 2013 unter <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12606660/index.pdf>
- Lamnek, S. (2002). Qualitative Interviews. In E. König & P. Zedler (Hrsg.), *Qualitative Forschung* (S. 157-193). Weinheim, Basel: Beltz Verlag
- Mayring, P. (2002). *Einführung in die qualitative Sozialforschung* (5.Aufl.). Weinheim, Basel: Beltz Verlag.

- Mayring, P. (2003). Qualitative Inhaltsanalyse. In U. Flick, E. von Kardorff & I. Steinke (Hrsg.), *Qualitative Forschung. Ein Handbuch* (S. 468-475). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Meschede, D. (2004). *Gerthsen Physik* (22., völlig neu bearb. Aufl.). Berlin: Springer Verlag.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2012). Qualitätsanforderungen an einen psychologischen Test (Testgütekriterien). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 7-26). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Niedderer, H., & Schecker, H. (1992). Towards an explicit description of cognitive systems for research in physics learning. *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. IPN. Kiel (D)*, 74-98.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science education*, 66(2), 211-227.
- Quick, T. & Grebe-Ellis, J. (2011). Wo wird das Bild einer unter Wasser liegenden Münze gesehen? *PhyDid B – Didaktik der Physik. Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2011 in Münster*. Zugriff am 13. März 2013 unter <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/299/374>
- Ramm, G., Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehmann, R., Leutner, D., ... Schiefele, U. (2006). PISA 2003: Dokumentation der Erhebungsinstrumente. Münster: Waxmann Verlag.
- Rhöneck, C. v. & Niedderer, H. (2006). Schülervorstellungen und ihre Bedeutung beim Physiklernen. In H. Mikelskis (Hrsg.), *Physikdidaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 52-73). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Schermelleh-Engel, K. & Werner, C.S. (2012). Methoden der Reliabilitätsbestimmung. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 119-141). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Sokoloff, R. (2006). *Active Learning in Optics and Photonics Training Manual*. Paris: UNESCO. Zugriff am 30. März 2013 unter <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002171/217100e.pdf>

- Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2007). The Taiwan national science concept learning study in an international perspective. *International Journal of Science Education*, 29(4), 391-403. Zugriff am 19. März 2013 unter <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500690601072790>
- Tipler, P. & Mosca, G. (2009). *Physik. Für Wissenschaftler und Ingenieure* (6. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Waltner, C. (2008). *Physik lernen im Deutschen Museum*. Berlin: Logos-Verlag.
- Wiesner, H. (1986). Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Bereich der Optik. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie*, 34(13), 25-29.
- Wiesner, H. (1992). Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Optik (I). *Physik in der Schule*, 30, 286-290.
- Wiesner, H., Engelhardt, P. & Herdt, D. (1996). *Unterricht Physik. Experimente, Medien, Modelle. Band 2: Optik II Brechung, Linsen*. Köln: Aulis Verlag
- Wiesner, H. (2008). Physikunterricht - an Schülervorstellungen orientiert. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 57(6), 4-5.
- Wiesner, H. (2009). Einführungsunterricht über Optik – an Schülervorstellungen orientiert. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 58(3), 5-14.
- Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (Hrsg.). (2011). *Physikdidaktik kompakt*. Freising: Aulis Verlag.
- Witzel, A. (1985). Das problemzentrierte Interview. In G. Jüttemann (Hrsg.), *Qualitative Forschung in der Psychologie. Grundfragen, Verfahrensweisen, Anwendungsfelder* (S. 227-255). Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Wodzinski, R. (2011). Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. In R. Müller, R. Wodzinski & M. Hopf (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik* (S. 23-36). Köln: Aulis Verlag.
- Zinth, W. & Zinth, U. (2005). *Optik. Lichtstrahlen – Wellen – Photonen*. München, Wien: Oldenbourg Verlag.

10. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Reflexion und Brechung an der Grenzfläche zweier Medien (Tipler & Mosca, 2009, S. 1199).....	4
Abb. 2: Diffuse Reflexion an einer rauen Oberfläche (Tipler & Mosca, 2009, S. 1202).....	4
Abb. 3: Strahlengang bei einer Sammel- und einer Zerstreuungslinse (Tipler & Mosca, 2009, S. 1254).....	6
Abb. 4: Bildkonstruktion bei einer dünnen Sammellinse (Tipler & Mosca, 2009, S. 1257)	7
Abb. 5: Die Entwicklung einer Theorie des Sehvorgangs (Rhöneck & Niedderer, 2006, S. 62 mod. n. Guesne, 1985, S. 28)	13
Abb. 6: Schülerskizze mit einer holistischen Abbildung durch eine Linse (Wiesner, Schecker & Hopf, 2011, S. 40).....	19
Abb. 7: Ebenen der Triangulation qualitativer und quantitativer Forschung (Flick, 2009, S. 45).....	32
Abb. 8: Ablaufmodell des problemzentrierten Interviews (Mayring, 2002, S. 71).....	35
Abb. 9: Testitem 1 (MDR1) in der ursprünglichen Version.....	44
Abb. 10: Testitem 2 (MDR2) in der ursprünglichen Version.....	45
Abb. 11: Testitem 3 (FMS1) in der ursprünglichen Version.....	46
Abb. 12: Scheinbare optische Hebung einer Münze (Wiesner, Engelhardt & Herdt, 1996, S. 85).....	46
Abb. 13: Testitem 4 (AQ1) in der ursprünglichen Version	47
Abb. 14: Testitem 5 (SSL1) in der ursprünglichen Version.....	48
Abb. 15: Testitem 6 (SSL2) in der ursprünglichen Version.....	49
Abb. 16: Testitem 7 (ZKL1) in der ursprünglichen Version.....	50
Abb. 17: Testitem 8 (HAL1) in der ursprünglichen Version	51
Abb. 18: Ausschnitt aus dem Interviewleitfaden.....	56
Abb. 19: Ausgefüllte Fragebogen pro Schule	57
Abb. 20: Prozentanteil der von Schülern und Schülerinnen ausgefüllten Fragebogen	58
Abb. 21: Prozentanteil der letzten in Physik erlangten Note.....	59
Abb. 22: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 1 (MDR1a).....	62
Abb. 23: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 2 (MDR2a).....	65
Abb. 24: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 3 (FMS1a).....	67
Abb. 25: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 4 (AQ1a).....	69

Abb. 26: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 5 (SSL1a).....	71
Abb. 27: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 6 (SSL2a).....	73
Abb. 28: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 7 (ZKL1a).....	74
Abb. 29: Skizzen der Befragten als Begründung der Antwort, dass beide Kerzen bei einer Schirmposition gleichzeitig scharf abgebildet werden.....	76
Abb. 30: Skizzen der Befragten als Begründung der Antwort, dass beide Kerzen bei zwei Schirmpositionen gleichzeitig scharf abgebildet werden	77
Abb. 31: Skizze eines/einer Befragten als Begründung der Antwort, dass es keine Schirmposition gibt, an der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.....	77
Abb. 32: Antwortschema der MC-Frage von Testitem 8 (HAL1a)	78
Abb. 33: Skizze eines/einer Schüler/in als Begründung das Bild würde unverändert bleiben	79
Abb. 34: Skizzen der Befragten als Begründung, dass zwar das ganze Bild sichtbar, aber weniger gut ausgeleuchtet ist.....	80
Abb. 35: Skizzen der Befragten als Begründung dafür, dass die untere Bildhälfte verschwindet.....	81
Abb. 36: Skizzen der Befragten als Begründung dafür, dass die obere Bildhälfte verschwindet.....	82
Abb. 37: Vergleich der ersten Stufe der Items nach Richtigkeit der Antworten.....	83
Abb. 38: Skizze zu Testitem 3 (FMS1) (Leifi Physik, 15.02.2013).....	84
Abb. 39: Antwortmöglichkeiten bei Testitem 2 (MDR2)	85
Abb. 40: Grafik der Angabe von Testitem 5 (SSL1).....	85
Abb. 41: Testitem 1 (MDR1) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren.....	88
Abb. 42: Endversion des Testitems 1 (MDR1)	91
Abb. 43: Testitem 2 (MDR2) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren.....	92
Abb. 44: Endversion des Testitems 2 (MDR2)	95
Abb. 45: Testitem 3 (FMS1) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren.....	96
Abb. 46: Endversion des Testitems 3 (FMS1)	99
Abb. 47: Testitem 4 (AQ1) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren	100
Abb. 48: Endversion des Testitems 4 (AQ1).....	103
Abb. 49: Testitem 5 (SSL1) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren	104
Abb. 50: Endversion des Testitems 5 (SSL1)	107
Abb. 51: Testitem 6 (SSL2) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren	108

Abb. 52: Endversion des Testitems 6 (SSL2)	109
Abb. 53: Testitem 7 (ZKL1) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren	110
Abb. 54: Endversion des Testitems 7 (ZKL1).....	114
Abb. 55: Testitem 8 (HAL1) mit dazugehörigen Erklärungsdistraktoren.....	115
Abb. 56: Abbildungen a) und b) des Testitems 8 (HAL1)	117
Abb. 57: Abbildungen c) und d) des Testitems 8 (HAL1)	118
Abb. 58: Abbildungen e) und f) des Testitems 8 (HAL1).....	118
Abb. 59: Teile a) und b) der Endversion des Testitems 8 (HAL1)	119
Abb. 60: Teil c) der Endversion des Testitems 8 (HAL1)	120

Leifi Physik. Zugriff am 15. Februar 2013 unter

http://www.leifiphysik.de/web_ph07_g8/musteraufgaben/02brechung/speerfisch/speerfisch.htm

11. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Erklärungen von Schüler/innen zum Phänomen der Brechung (mod. n. Andersson & Kärrqvist, 1983, S. 396)	15
Tab. 2: Prozentuale Antworthäufigkeiten der Skala "Selbstkonzept der Befähigung in Physik"	61
Tab. 3: Prozentuale Antworthäufigkeiten der Skala "Interesse für Physik"	61
Tab. 4: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 1 (MDR1b)	63
Tab. 5: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 2 (MDR2b)	65
Tab. 6: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 3 (FMS1b)	67
Tab. 7: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 4 (AQ1b).....	70
Tab. 8: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 5 (SSL1b).....	72
Tab. 9: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 6 (SSL2b).....	73
Tab. 10: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 7 (ZKL1b).....	75
Tab. 11: Antwortkategorien der offenen Frage von Testitem 8 (HAL1b)	78

12. Anhang

A – Optikfragebogen_III



Liebe Schülerin, lieber Schüler!

Danke, dass du bei unserer Befragung mitmachst. Du hilfst uns dabei unsere Materialien zu verbessern. Deine Daten bleiben selbstverständlich anonym. Bitte kreuze die Antworten nicht nur an, sondern schreibe auch kurze **Erklärungssätze** bei den **Warum-Fragen**. DANKE!

Ein paar Angaben für die Statistik:

Geschlecht: ☐ weiblich ☐ männlich Ich bin _____ Jahre alt. Meine letzte Note in Physik war: _____
Mit meiner Familie spreche ich außer Deutsch noch folgende Sprache(n): _____

Bitte kreuze an!	trifft völlig zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft gar nicht zu
Mir fällt Physik leicht.	☐	☐	☐	☐
Ich bin für Physik begabt.	☐	☐	☐	☐
Ich bringe in Physik gute Leistungen.	☐	☐	☐	☐

Bitte kreuze an!	stimmt ganz genau	stimmt eher	stimmt eher nicht	stimmt überhaupt nicht
Ich mag Bücher über Physik.	☐	☐	☐	☐
Ich freue mich auf meine Physikstunden.	☐	☐	☐	☐
Ich mache Physik weil es mir Spaß macht.	☐	☐	☐	☐
Mich interessiert das, was ich in Physik lerne.	☐	☐	☐	☐

Münzen durch Rohr

MDR1 Durch ein Rohr (grün) siehst du auf drei Münzen. Die Münzen liegen in einer Schüssel.

a) Welche Münze kannst du durchs Rohr sehen?

<i>richtig</i>	<i>falsch</i>	
☐	☐	Die rote Münze
☐	☐	Die blaue Münze
☐	☐	Die grüne Münze



b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

MDR2 Wasser wird in die Schüssel gefüllt.

a) Was siehst du nun durchs Rohr?



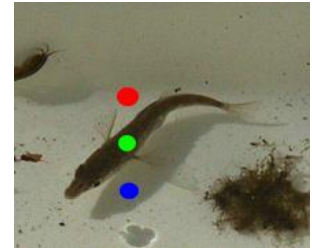
<i>richtig</i>	<i>falsch</i>	
☐	☐	Die gleiche Münze wie ohne Wasser.
☐	☐	Gar nichts mehr.
☐	☐	Eine andere Münze, nämlich die rote.
☐	☐	Eine andere Münze, nämlich die blaue.
☐	☐	Eine andere Münze, nämlich die grüne.

b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

Fischen mit Speer**FMS1) Ein Jäger steht am Rand eines Sees und sieht einen Fisch im Wasser.**

a) Wohin muss er seinen Speer stechen um den Fisch im Wasser zu treffen? Der Fisch bewegt sich NICHT.

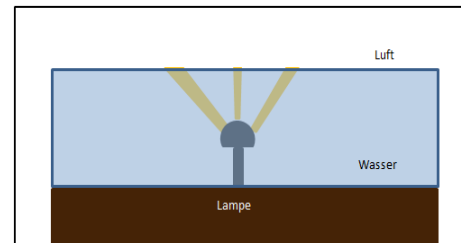
- ☐ Oberhalb des Fisches (rot).
- ☐ Genau auf den Fisch (grün).
- ☐ Unterhalb des Fisches (blau).



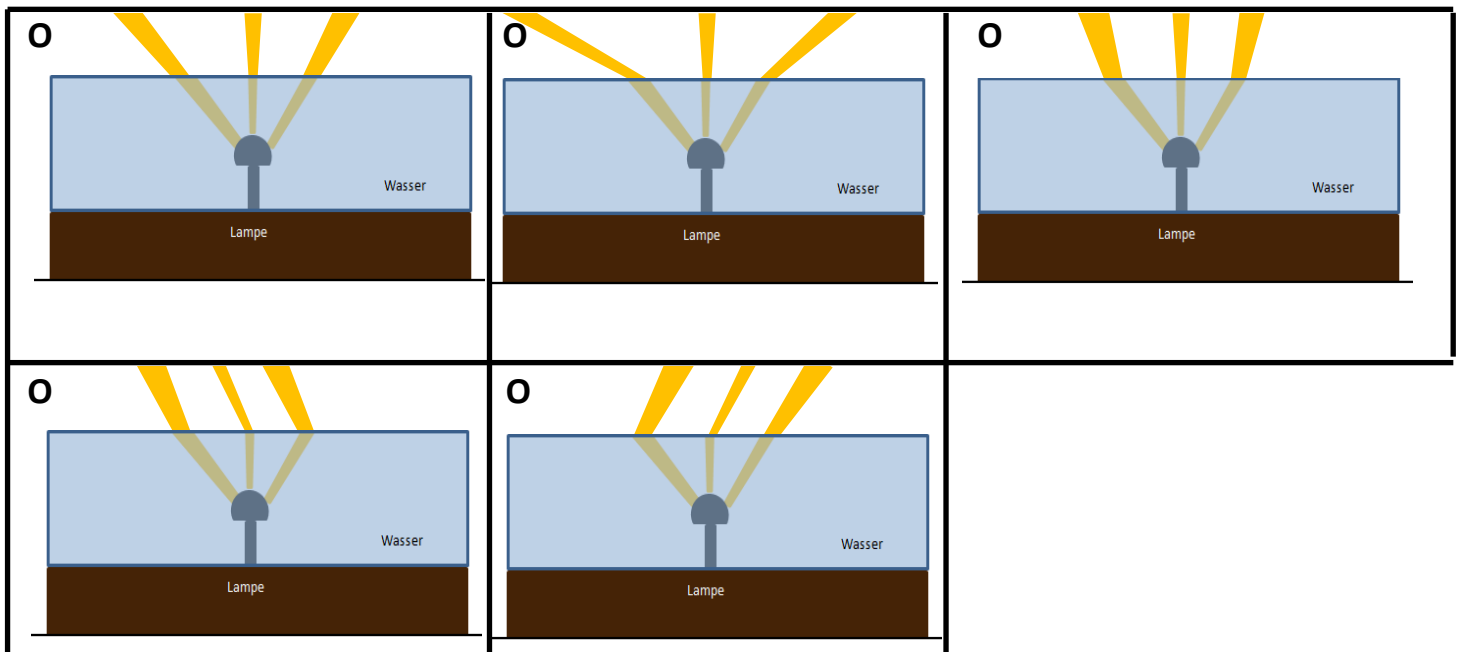
b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

Aquarium

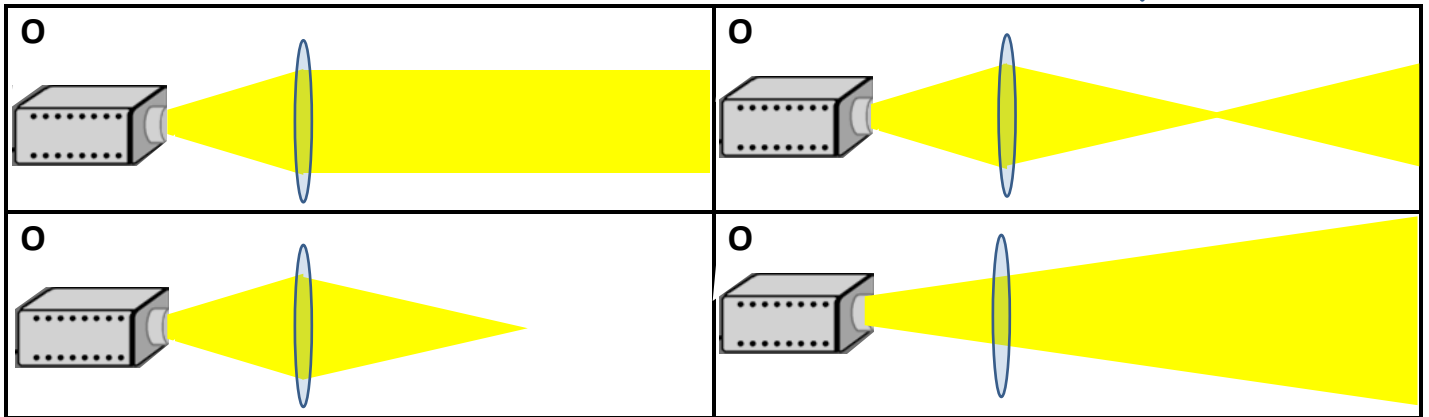
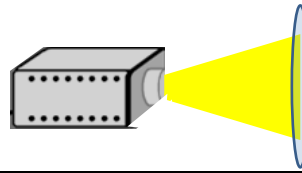
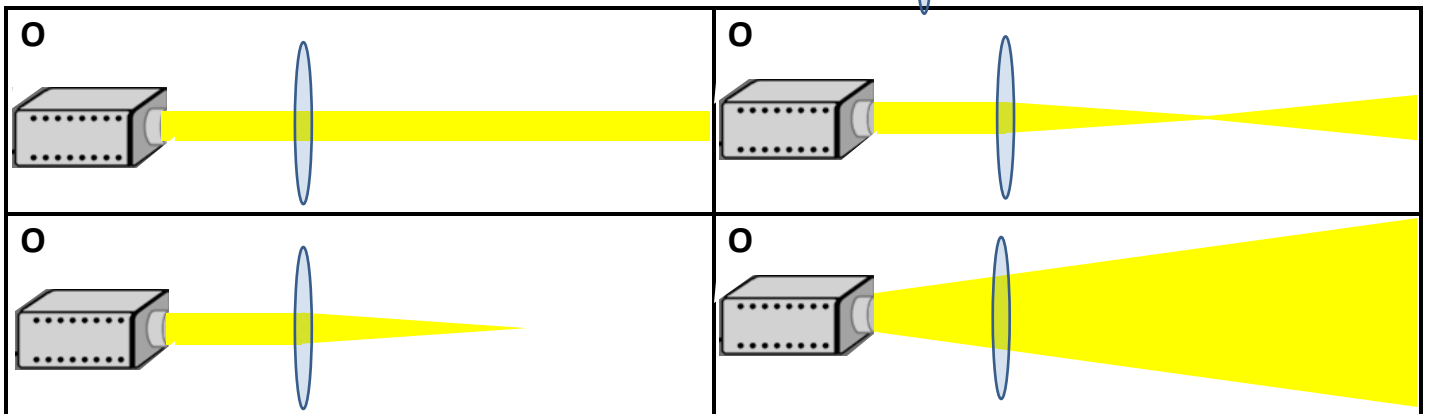
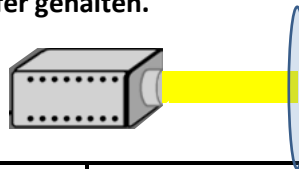
AQ1) In einem Aquarium ist eine Lampe. Die Lichtkegel der Lampe gehen vom Wasser weg in die Luft.



a) Welchen Weg nimmt das Licht in der Luft?

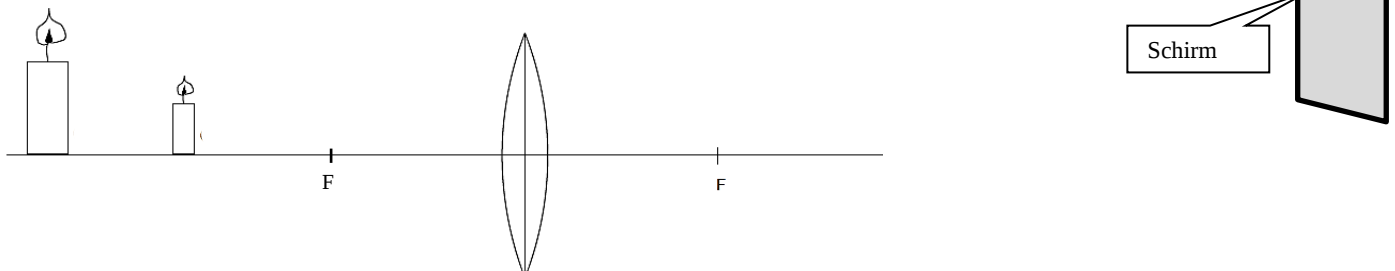


b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du für deine Entscheidung?

Scheinwerfer durch Sammellinse**SSL 1) Eine Sammellinse wird vor einen Scheinwerfer gehalten.****a) Wie verläuft das Licht weiter?****b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du für deine Entscheidung?****FSL2) Eine Sammellinse wird vor einen Scheinwerfer gehalten.****a) Wie verläuft das Licht weiter?****b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du für deine Entscheidung?**

Zwei Kerzen vor Linse

ZKL 1) Zwei Kerzen sollen mit einer Sammellinse auf einem Schirm abgebildet werden. Der Schirm wird rechts von der Linse aufgestellt.



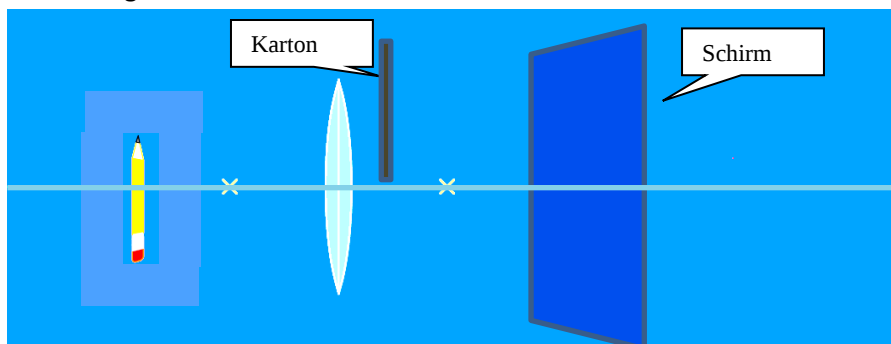
a) Beide Kerzen sollen **gleichzeitig scharf** abgebildet werden. In wie vielen verschiedenen Entfernungen von der Linse kannst du den Schirm aufstellen? Wähle **1 Antwort!**

- ☐ Beide Kerzen werden bei 1 Schirmposition gleichzeitig scharf abgebildet.
☐ Beide Kerzen werden bei 2 Schirmpositionen gleichzeitig scharf abgebildet.
☐ Es gibt unendlich viele Schirmpositionen, bei denen beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.
☐ Es gibt keine Schirmposition bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.

b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du für deine Entscheidung?

Halb abgedeckte Linse

HAL 1) Ein Bleistift wird mit einer Sammellinse am Schirm abgebildet. Dann wird der obere Teil der Linse mit einem Karton abgedeckt.



a) Wie wirkt sich der Karton vor der Linse auf das Bild am Schirm aus?

Das Bild bleibt unverändert.		☐	Das ganze Bild ist sichtbar, aber weniger gut ausgeleuchtet.		☐
Die untere Bildhälfte verschwindet.		☐	Die obere Bildhälfte verschwindet.		☐

b) Warum? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

B - Einverständniserklärung



Sehr geehrte Eltern,



universität
wien

das österreichische Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik (**AECC**) an der **Universität Wien** beschäftigt sich damit, den **Lernerfolg im Physikunterricht zu verbessern**. Momentan werden im Rahmen einer Diplomarbeit von Herrn Glantschnig gerade Fragebogenaufgaben entwickelt, welche die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zur geometrischen Optik ermitteln sollen.

Wir laden Schülerinnen und Schüler der 9. Schulstufe ein, an einer 20-30 minütigen Befragung teilzunehmen und dadurch zu helfen die entwickelten Fragebogenaufgaben zu verbessern. Die **Teilnahme an der Befragung** erfolgt selbstverständlich freiwillig.

Zur Bewertung der Fragebogenaufgaben ist es notwendig den Verlauf dieser Befragung auf Tonband aufzuzeichnen. Diese Audio-Aufnahmen werden ausschließlich für Forschungszwecke angefertigt, streng vertraulich behandelt, und keinesfalls an unbeteiligte Dritte weitergegeben.

Wir bitten Sie die **fachdidaktische Forschung zu unterstützen** und Ihrer Tochter/ Ihrem Sohn die Teilnahme an dieser Befragung durch Ihre Unterschrift zu gestatten.

Ich gestatte meiner Tochter / meinem Sohn _____
(Name) _____ (Klasse) die Teilnahme an der Befragung zu Optikaufgaben und habe keine Einwände gegen für Forschungszwecke durchgeführte Audioaufnahmen während dieser Befragung.

(Datum und Unterschrift eines Erziehungsberechtigten)

C – Kurzfragebogen



Liebe Schülerin, lieber Schüler!

Danke, dass du bei unserer Befragung mitmachst. Du hilfst uns dabei unsere Materialien zu verbessern. Deine Daten bleiben selbstverständlich anonym.

Ersten 2 Buchstaben des Vornamens der Mutter Ersten 2 Buchstaben des Vornamens des Vaters

Ein paar Angaben für die Statistik:

Geschlecht: ☐ weiblich ☐ männlich Ich bin _____ Jahre alt. Meine letzte Note in Physik war: _____
Mit meiner Familie spreche ich außer Deutsch noch folgende Sprache(n): _____

Bitte kreuze an!	trifft völlig zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft gar nicht zu
Mir fällt Physik leicht.	☐	☐	☐	☐
Ich bin für Physik begabt.	☐	☐	☐	☐
Ich bringe in Physik gute Leistungen.	☐	☐	☐	☐

Bitte kreuze an!	stimmt ganz genau	stimmt eher	stimmt eher nicht	stimmt überhaupt nicht
Ich mag Bücher über Physik.	☐	☐	☐	☐
Ich freue mich auf meine Physikstunden.	☐	☐	☐	☐
Ich mache Physik weil es mir Spaß macht.	☐	☐	☐	☐
Mich interessiert das, was ich in Physik lerne.	☐	☐	☐	☐

1. Wie sehr stimmst du mit den folgenden Aussagen überein?

Bitte kreuze an!	stimme ganz zu	stimme eher zu	stimme eher nicht zu	stimme gar nicht zu
Ich glaube, dass ich anspruchsvollen Stoff im naturwissenschaftlichen Unterricht leicht lernen kann.	☐	☐	☐	☐
Normalerweise kann ich Prüfungsfragen im naturwissenschaftlichen Unterricht gut beantworten.	☐	☐	☐	☐
Ich lerne neuen Stoff im naturwissenschaftlichen Unterricht schnell.	☐	☐	☐	☐
Den Stoff im naturwissenschaftlichen Unterricht finde ich einfach.	☐	☐	☐	☐
Wenn ich in Naturwissenschaften unterrichtet werde, verstehe ich neue Begriffe leicht.	☐	☐	☐	☐
Es fällt mir leicht, neue Ideen im naturwissenschaftlichen Unterricht zu verstehen.	☐	☐	☐	☐

2. Im Unterricht in Physik/NaWi,...

Bitte kreuze an!	fast immer	oft	manchmal	nie
finde ich die Inhalte richtig spannend.	☐	☐	☐	☐
bin ich mit Freude dabei.	☐	☐	☐	☐
macht mir der Unterricht Spaß.	☐	☐	☐	☐
möchte ich gern mehr über dieses Thema erfahren.	☐	☐	☐	☐
bekomme ich Lust, mich weiter damit zu beschäftigen.	☐	☐	☐	☐

3. Im Unterricht in Physik/NaWi,...

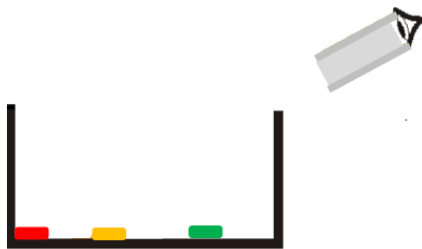
Bitte kreuze an!	fast immer	oft	manchmal	nie
kann ich die einzelnen Schritte gut nachvollziehen.	☐	☐	☐	☐
sind mir die wesentlichen Dinge klar.	☐	☐	☐	☐
komme ich die ganze Zeit über gut mit.	☐	☐	☐	☐
gehen mir viele Ideen durch den Kopf.	☐	☐	☐	☐
stelle ich mir die Inhalte an Beispielen vor.	☐	☐	☐	☐
wende ich den Stoff auf andere Aufgaben/Beispiele/Experimente an.	☐	☐	☐	☐
denke ich darüber nach, wie die Dinge im Einzelnen zusammenhängen.	☐	☐	☐	☐
versuche ich Zusammenhänge zu sehen.	☐	☐	☐	☐
ist mir klar, was bei diesem Thema besonders wichtig und was eher unwichtig ist.	☐	☐	☐	☐

D - Interviewleitfaden

Item 1: MDR1

Durch ein Rohr (grau) siehst du auf drei Münzen. Die Münzen liegen in einem Kochtopf. Welche Münze kannst du durchs Rohr sehen?

<i>richtig</i>	<i>falsch</i>	
☐	☐	Die rote Münze
☐	☐	Die gelbe Münze
☐	☐	Die grüne Münze



Warum hast du so geantwortet? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

In der Folge werden dir einige Erklärungen präsentiert. Lies die Erklärung bitte laut vor!

- Was fällt dir zu dieser Erklärung ein?
- Wie stellst du dir das vor?
- Hältst du diese Erklärung für richtig oder falsch? Warum?
- Sind Worte dabei, die dir komisch vorkommen bzw. die du nicht verstehst?
- *Würdest du es anders formulieren? Wenn ja, wie?(nur bei Bedarf)*

1.1. Die Münze liegt am nächsten.

1.2. Das Sichtfeld ist durch das Rohr beschränkt.

1.3. Das Rohr gibt die Blickrichtung vor.

Haben die beiden Antworten die gleiche Bedeutung für dich?

1.4. Lichtstrahlen von der Münze fallen gerade in das Auge ein.

1.5. Die Münze, das Rohr und das Auge liegen auf einer Linie.

Gleiche Bedeutung?

1.6. Augen senden nur geradlinige Sehstrahlen aus.

Wie stellst du dir solche Sehstrahlen vor?

1.7. Das Licht wird gebrochen.

1.8. Das Licht wird im Rohr reflektiert.

Item 2: MDR2

Wasser wird in die Schüssel gefüllt.

Was siehst du nun durchs Rohr?



richtig	falsch	
☐	☐	Gar nichts mehr.
☐	☐	Die rote Münze.
☐	☐	Die gelbe Münze.
☐	☐	Die grüne Münze.

Warum hast du so geantwortet? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

In der Folge werden dir einige Erklärungen präsentiert. Lies die Erklärung bitte laut vor!

- Was fällt dir zu dieser Erklärung ein?
- Wie stellst du dir das vor?
- Hältst du diese Erklärung für richtig oder falsch? Warum?
- Sind Worte dabei, die dir komisch vorkommen bzw. die du nicht verstehst?
- Würdest du es anders formulieren? Wenn ja, wie?(nur bei Bedarf)

2.1. Das Wasser vergrößert die Münzen.

2.2. Die Münze, das Rohr und das Auge liegen auf einer Linie.

2.3. Die Sehstrahlen, die das Auge aussendet, werden abgelenkt.

2.4. Die Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche gespiegelt (Einfallswinkel = Ausfallswinkel).

2.5. Lichtstrahlen machen einen Knick, wenn sie von einem Medium in ein anderes laufen.

Wie stellst du dir das mit dem Knick vor? Wohin wird der Lichtstrahl geknickt? Wovon hängt die Knickrichtung ab? Weißt du wodurch der Knick entsteht?

2.6. Die Lichtstrahlen laufen von der Luft ins Wasser.

Warum glaubst du, dass die Lichtstrahlen so verlaufen? Fallen dir Beispiele dafür ein, wo das so ist?

Die Lichtstrahlen im Wasser werden zur Wasseroberfläche hin abgelenkt.

Schüler/innen Zeichnen lassen!

Die Lichtstrahlen im Wasser werden von der Wasseroberfläche weg abgelenkt.

Schüler/innen Zeichnen lassen!

2.7. Die Lichtstrahlen laufen vom Wasser in die Luft.

Warum glaubst du, dass die Lichtstrahlen so verlaufen? Fallen dir Beispiele dafür ein, wo das so ist?

Die Lichtstrahlen in der Luft werden zur Wasseroberfläche hin abgelenkt.

Schüler/innen Zeichnen lassen!

Die Lichtstrahlen in der Luft werden von der Wasseroberfläche weg abgelenkt.

Schüler/innen Zeichnen lassen!

2.8. Die Lichtstrahlen von dieser Münze fallen ins Auge.

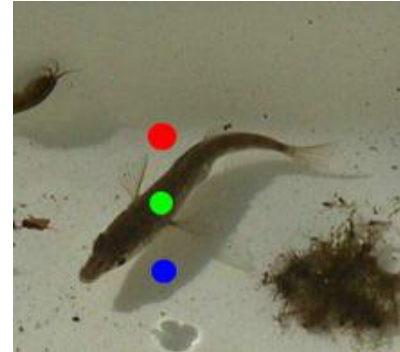
Item 3: FMS1

Ein Jäger steht am Rand eines Sees und sieht einen Fisch im Wasser.

Wohin muss er seinen Speer stechen um den Fisch im

Wasser zu treffen? Der Fisch bewegt sich NICHT.

- Oberhalb des Fisches (rot).
- Genau auf den Fisch (grün).
- Unterhalb des Fisches (blau).



Warum hast du diese Antwort gewählt? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

In der Folge werden dir einige Erklärungen präsentiert. Lies die Erklärung bitte laut vor!

- Was fällt dir zu dieser Erklärung ein?
- Wie stellst du dir das vor?
- Hältst du diese Erklärung für richtig oder falsch? Warum?
- Sind Worte dabei, die dir komisch vorkommen bzw. die du nicht verstehst?
- Würdest du es anders formulieren? Wenn ja, wie?(nur bei Bedarf)

3.1. Der Jäger sieht den Fisch an einer anderen Stelle als er ist.

Er sieht den Fisch näher an der Wasseroberfläche als er tatsächlich ist.

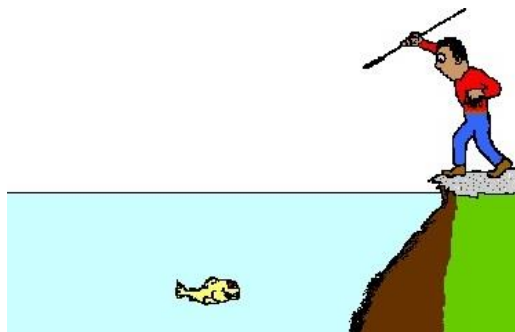
Er sieht den Fisch weiter weg von der Wasseroberfläche als er tatsächlich ist.

3.2. Die Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche gespiegelt (Einfallswinkel = Ausfallswinkel).

3.3. Der Speer wird im Wasser nach unten gezogen.

3.4. Unser Gehirn denkt sich Lichtstrahlen immer als gerade Linie ohne Knick.

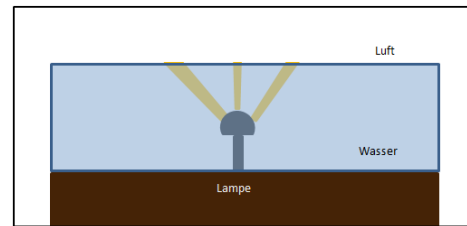
Zeichne ein wie die Strahlen verlaufen! (auf einer Abbildung ohne Strahlengänge)



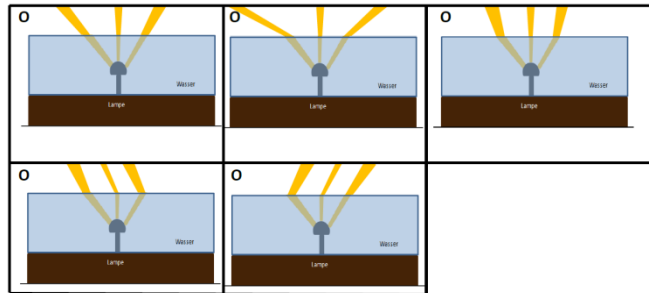
Item 4: AQ1

In einem Aquarium ist eine Lampe. Die Lichtkegel der Lampe gehen vom Wasser weg in die Luft.

Welchen Weg nimmt das Licht in der Luft?



Warum hast du diese Antwort gewählt? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?



In der Folge werden dir einige Erklärungen präsentiert. Lies die Erklärung bitte laut vor!

- Was fällt dir zu dieser Erklärung ein?
- Wie stellst du dir das vor?
- Hältst du diese Erklärung für richtig oder falsch? Warum?
- Sind Worte dabei, die dir komisch vorkommen bzw. die du nicht verstehst?
- Würdest du es anders formulieren? Wenn ja, wie?(nur bei Bedarf)

4.1. Die Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche gespiegelt (Einfallswinkel = Ausfallswinkel).

4.2. Wasser ist optisch dünner als Luft.

Was verstehst du unter „optisch dünner“?

4.3. Alle Lichtstrahlen, die von einem Medium in ein anderes laufen, werden gebrochen.

Was verstehst du unter "gebrochen"? Was verstehst du unter "Medium"? Welche Medien sind in unserem Beispiel beteiligt?

4.4. Nur Lichtstrahlen, die schräg auf die Wasseroberfläche fallen, werden gebrochen.

Zeichne einen Lichtstrahl der nicht schräg auf die Wasseroberfläche fällt! Was passiert mit solchen Lichtstrahlen, wie laufen die weiter?

4.5. Lichtstrahlen breiten sich in alle Richtungen geradlinig aus.

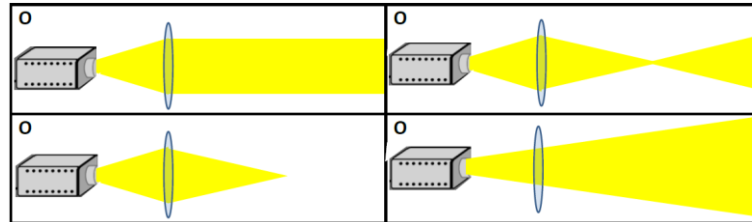
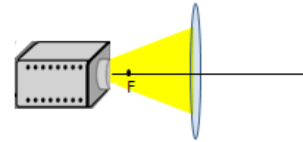
4.6. In Wasser und Luft breitet sich das Licht gleich schnell aus.

Falls Antwort 4 oder 5 gewählt wird nachfragen: Warum glaubst du, dass jeder der 3 Lichtkegel in eine andere Richtung abgelenkt/gebrochen wird? Wie so genau in diese Richtung und nicht auf die andere Seite?

Item 5: SSL1

Eine Sammellinse wird vor einen Scheinwerfer gehalten.

Wie verläuft das Licht weiter?



Warum hast du diese Antwort gewählt? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

In der Folge werden dir einige Erklärungen präsentiert. Lies die Erklärung bitte laut vor!

- Was fällt dir zu dieser Erklärung ein?
- Wie stellst du dir das vor?
- Hältst du diese Erklärung für richtig oder falsch? Warum?
- Sind Worte dabei, die dir komisch vorkommen bzw. die du nicht verstehst?
- Würdest du es anders formulieren? Wenn ja, wie?(nur bei Bedarf)

5.1. Lichtstrahlen breiten sich immer geradlinig aus.

5.2. Lichtstrahlen werden beim Durchgang durch Linsen abgelenkt.

Was verstehst du unter abgelenkt?

5.3. Die Sammellinse lenkt das Licht so ab, dass es auseinander läuft.

5.4. Die Sammellinse lenkt das Licht so ab, dass es zusammenläuft.

5.5. Die Sammellinse sammelt die Lichtstrahlen in einem Punkt. Das Licht bleibt in diesem Punkt.

Ist es für ich das gleich ob ich sage, die Sammellinse sammelt das Licht oder bündelt das Licht? Was stellst du dir darunter vor?

5.6. Die Sammellinse lenkt die Lichtstrahlen in einen Punkt zusammen. Von dem Punkt aus läuft das Licht dann wieder auseinander.

5.7. Die Form vom Strahl nach der Linse hängt von der Form vom Strahl vor der Linse ab.

Kannst du genauer erklären wie du dir das vorstellst mit der Form? Welche Formen von Strahlen kennst du?

Bei Antwort 1 nachfragen: Warum kommt nach der Linse gerade ein paralleles Lichtbündel raus? Warum wird es nicht so wie in Abb. 2 gebrochen?

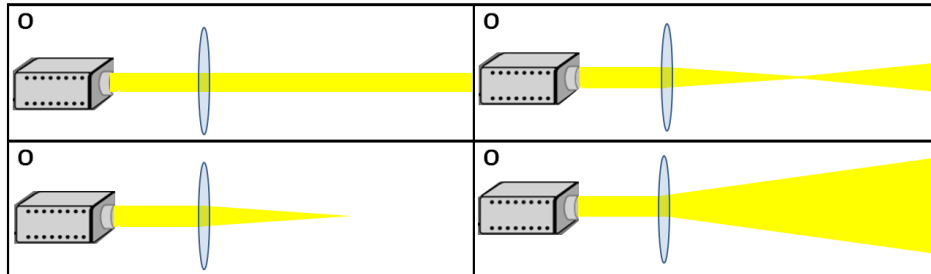
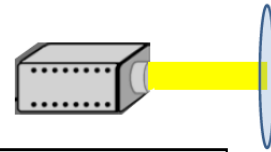
Bei Antwort 2 nachfragen: Warum läuft das Licht hinten wieder breiter auseinander? Warum geht es nicht gerade in einem parallelen Strahl weiter?

Bei Antwort 3 nachfragen: Was passiert mit dem Licht in dem Punkt? Wohin geht es? Bleibt es dort? Hat der Punkt einen Namen?

Item 6: SSL2

Eine Sammellinse wird vor einen Scheinwerfer gehalten.

Wie verläuft das Licht weiter?



Warum hast du diese Antwort gewählt? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

In der Folge werden dir einige Erklärungen präsentiert. Lies die Erklärung bitte laut vor!

- Was fällt dir zu dieser Erklärung ein?
- Wie stellst du dir das vor?
- Hältst du diese Erklärung für richtig oder falsch? Warum?
- Sind Worte dabei, die dir komisch vorkommen bzw. die du nicht verstehst?
- Würdest du es anders formulieren? Wenn ja, wie?(nur bei Bedarf)

6.1. Lichtstrahlen breiten sich immer geradlinig aus.

6.2. Lichtstrahlen werden beim Durchgang durch Linsen abgelenkt.

Falls in SSL1 eine andere Antwort gewählt wurde → Warum wird dieser Strahl jetzt nicht abgelenkt? Wovon hängt es ab, ob ein Strahl abgelenkt wird oder nicht?

6.3. Die Sammellinse lenkt das Licht so ab, dass es auseinander läuft.

6.4. Die Sammellinse lenkt das Licht so ab, dass es zusammenläuft.

6.5. Die Sammellinse sammelt die Lichtstrahlen in einem Punkt. Das Licht bleibt in diesem Punkt.

6.6. Die Sammellinse lenkt die Lichtstrahlen in einen Punkt zusammen. Von dem Punkt aus läuft das Licht dann wieder auseinander.

6.7. Die Form vom Strahl nach der Linse hängt von der Form vom Strahl vor der Linse ab.

Bei Antwort 1 nachfragen: Warum geht der Lichtstrahl unverändert durch?

Bei Antwort 2 nachfragen: Warum läuft das Licht hinten wieder breiter auseinander?

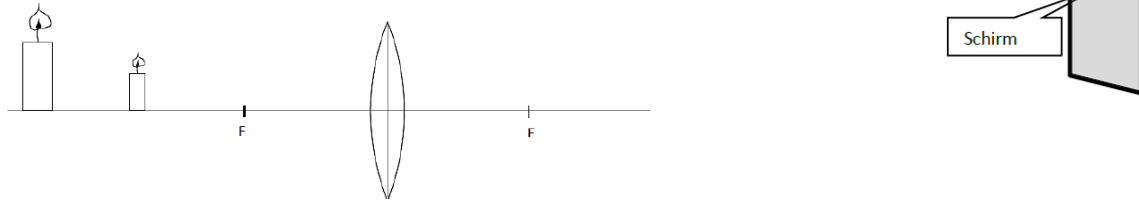
Warum geht es nicht gerade in einem parallelen Strahl weiter?

Bei Antwort 3 nachfragen: Was passiert mit dem Licht in dem Punkt? Wohin geht es?

Bleibt es dort? Hat der Punkt einen Namen?

Item 7: ZKL1

Zwei Kerzen sollen mit einer Sammellinse auf einem Schirm abgebildet werden. Der Schirm wird rechts von der Linse aufgestellt.



Beide Kerzen sollen **gleichzeitig scharf** abgebildet werden. In wie vielen verschiedenen Entfernungen von der Linse kannst du den Schirm aufstellen? Wähle **1 Antwort!**

- ☐ Beide Kerzen werden bei 1 Schirmposition scharf abgebildet.
- ☐ Beide Kerzen werden bei 2 Schirmpositionen scharf abgebildet.
- ☐ Es gibt unendlich viele Schirmpositionen, bei denen beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.
- ☐ Es gibt keine Schirmposition bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.

- Verstehst du die Formulierung der Frage?
- Ist dir klar was mit „Schirmposition“ gemeint ist?

Warum hast du diese Antwort gewählt? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

In der Folge werden dir einige Erklärungen präsentiert. Lies die Erklärung bitte laut vor!

- Was fällt dir zu dieser Erklärung ein?
- Wie stellst du dir das vor?
- Hältst du diese Erklärung für richtig oder falsch? Warum?
- Sind Worte dabei, die dir komisch vorkommen bzw. die du nicht verstehst?
- *Würdest du es anders formulieren? Wenn ja, wie?(nur bei Bedarf)*

7.1. Damit ein Gegenstand scharf abgebildet wird, muss er kleiner sein als die Linse.

7.2. Gegenstände sind nur scharf, wenn sie sich im Brennpunkt befinden.

Was verstehst du unter „Brennpunkt“?

7.3. Jede Linse hat mehr als einen Brennpunkt.

Wieviele? Wovon hängt das ab?

7.4. Weil das "Scharfstellen" nur funktioniert, wenn beide Kerzen auf gleicher Ebene sind.

7.5. Für jede Gegenstandsweite gibt es nur eine Bildweite.

7.6. Unterschiedliche Gegenstandsgröße heißt unterschiedliche Bildweite.

7.7. Unterschiedliche Gegenstandsweite heißt unterschiedliche Bildweite.

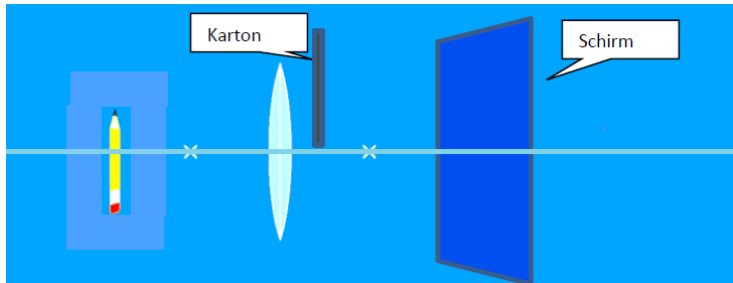
Wenn diese Erklärung angegeben wird, S/S nach eigener (schülergerechter) Formulierung fragen!

7.8. Die Linse bündelt das Licht der Kerze nur an genau einer Stelle zu einem Schnittpunkt.

Was verstehst du unter „Schnittpunkt“?

Item 8: HAL1

Ein Bleistift wird mit einer Sammellinse am Schirm abgebildet. Dann wird der obere Teil der Linse mit einem Karton abgedeckt.



Wie wirkt sich der Karton vor der Linse auf das Bild am Schirm aus?

Das Bild bleibt unverändert.		☐	Das ganze Bild ist sichtbar, aber weniger gut ausgeleuchtet.		☐
Die untere Bildhälfte verschwindet.		☐	Die obere Bildhälfte verschwindet.		☐

Warum hast du diese Antwort gewählt? Welche physikalische Erklärung hast du dafür?

In der Folge werden dir einige Erklärungen präsentiert. Lies die Erklärung bitte laut vor!

- Was fällt dir zu dieser Erklärung ein?
- Wie stellst du dir das vor?
- Hältst du diese Erklärung für richtig oder falsch? Warum?
- Sind Worte dabei, die dir komisch vorkommen bzw. die du nicht verstehst?
- Würdest du es anders formulieren? Wenn ja, wie?(nur bei Bedarf)

8.1. Von jedem Punkt des Bleistifts geht nun weniger Licht durch die Linse durch.

8.2. Nur vom unteren Teil des Bleistifts geht Licht durch die Linse durch.

8.3. Nur vom oberen Teil des Bleistifts geht Licht durch die Linse durch.

8.4. Die Sammellinse macht verkehrte Bilder. Deshalb wechselt die verdeckte Seite die Position.

8.5. Die Sammellinse macht verkehrte Bilder. Deshalb kommt das Licht vom unteren Teil des Bleistifts auf den oberen Teil des Schirms.

8.6. Die Sammellinse macht verkehrte Bilder. Deshalb kommt das Licht vom oberen Teil des Bleistifts auf den unteren Teil des Schirms.

8.7. Die Linse bricht das Licht und lenkt es am Karton vorbei.

Welche der folgenden Abbildungen erklärt deiner Ansicht nach die Bildentstehung am Schirm?

Abbildung a)

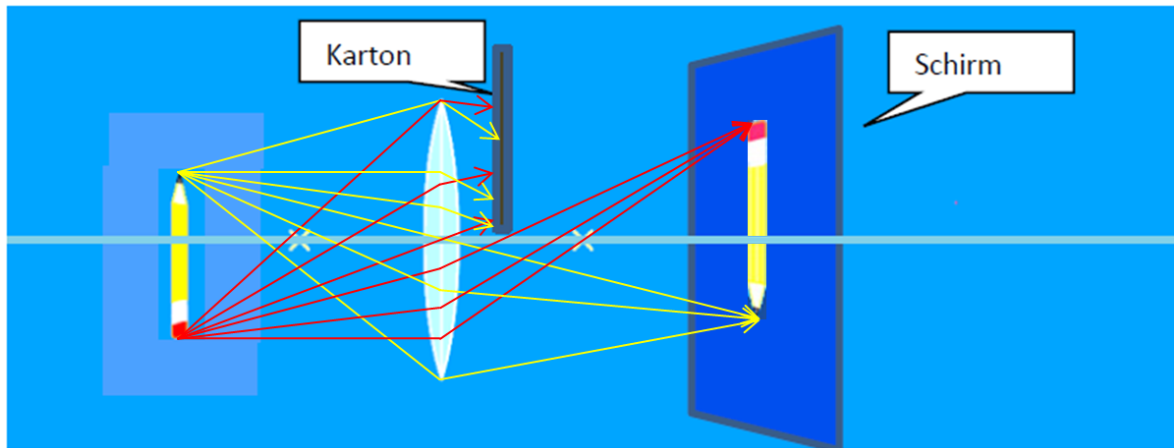


Abbildung b)

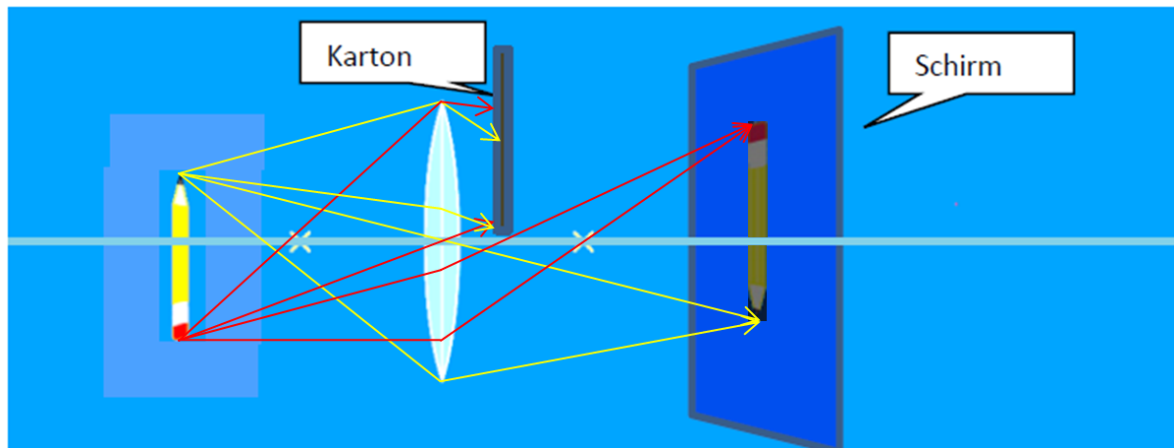


Abbildung c)

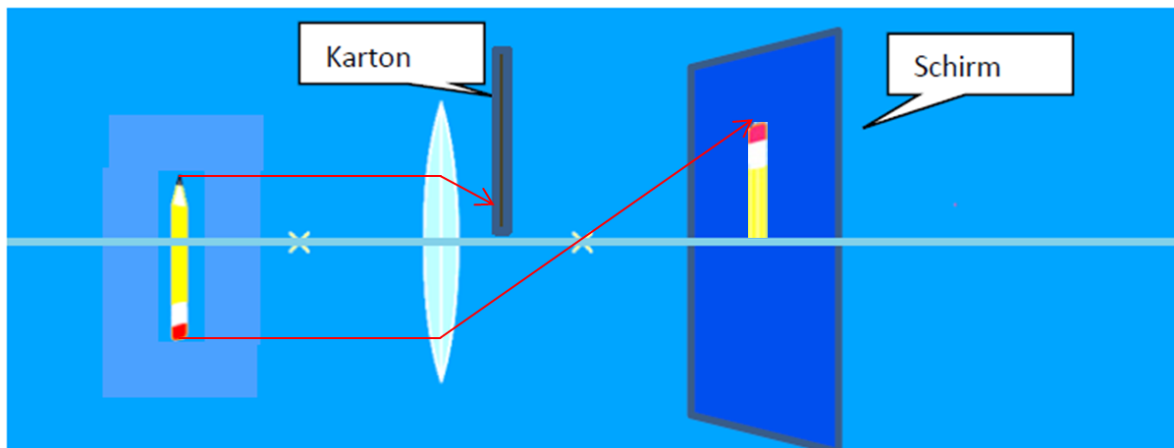


Abbildung d)

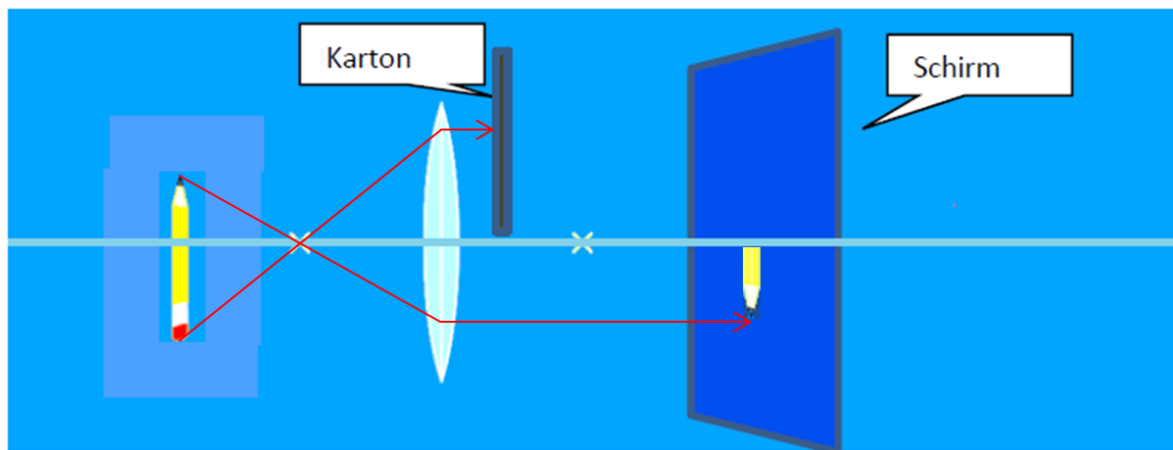


Abbildung e)

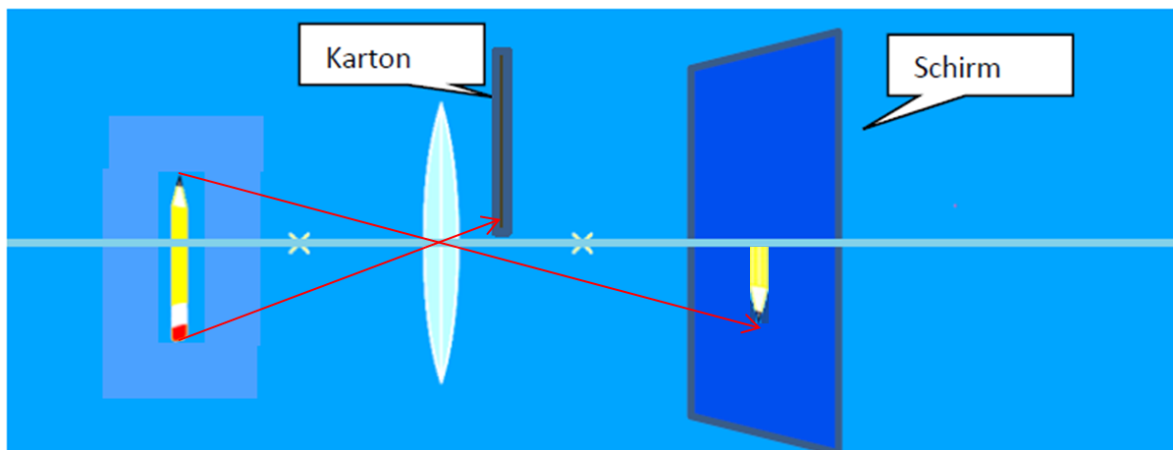
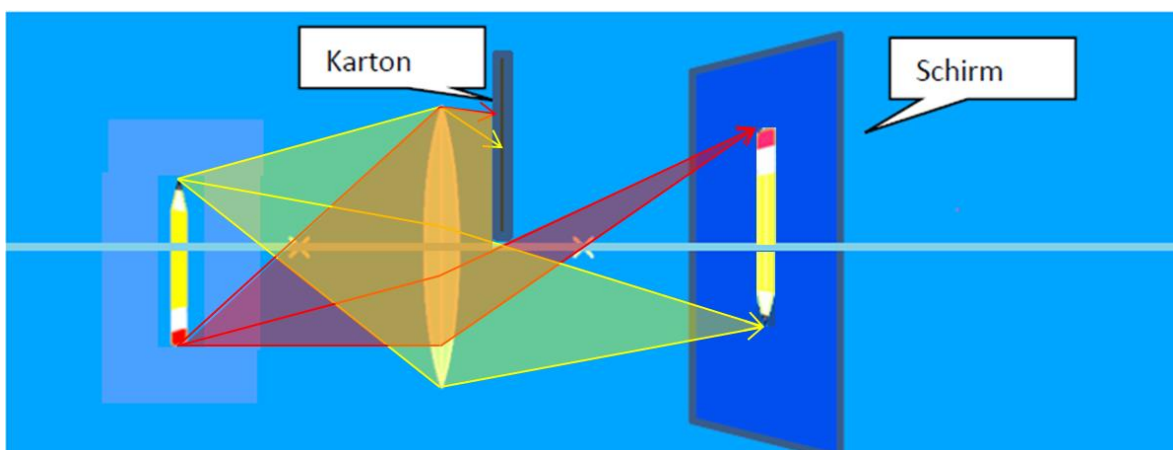


Abbildung f)



E – Zusammenfassung der Interviews

MDR1

- B1:** (3-11) Man sieht nur die rote Münze, weil man mit dem Winkel des Rohrs in die Schüssel nur diese Münze sehen kann.
- B2:** (3-7) Man sieht nur die gelbe Münze, weil durch die Wand sehe ich nur da hin (zeigt auf die gelbe Münze).
- B3:** (9-17) Man sieht nur die rote Münze. Die grüne Münze kann ich nicht sehen, weil der Schüsselrand im Weg ist. Die gelbe kann ich eventuell zur Hälfte sehen. Die rote sehe ich auf jeden Fall, denn wenn man reinsieht, fällt sofort der Blick darauf.
- B4:** (7-19) Man sieht nur die rote Münze. Wenn man gerade reinschaut, dann geht es gerade weiter. Ich denke mir, wenn ich geradeaus schaue, dann sehe ich ja auch das. Ich weiß es nicht, es war einfach nur geraten.
- B5:** (3-5) Man sieht nur die rote Münze, weil man nicht über den Rand sieht.
- B6:** (3-4) Ich glaube man sieht nur die rote Münze, weil wenn das der Winkel ist, dann gehen sich die zwei anderen Münzen nicht aus.
- B7:** (3-11) Ich glaube man sieht die gelbe und die rote Münze, weil man sie aus dem Winkel halt sehen kann. Die grüne Münze ist nicht mehr im Blickwinkel.
- B8:** (11-14) Man sieht die gelbe und die rote Münze, weil wenn ich da durchschaue, dann schaue ich gerade. Die grüne Münze kann ich nicht sehen, weil da dieser Topf ist.
- B9:** (3) Nur die rote Münze, weil keine Reflexion wie beim Wasser stattfindet.

1.1. Die Münze liegt am nächsten.

- B1:** (15-30) Das stimmt nicht, weil das in diesem Fall die grüne Münze ist.
- B2:** (11-15) Nein, das wäre dann die grüne Münze.
- B3:** (21) Das wäre die grüne Münze, aber die kann ich nicht sehen, weil die Schüssel im Weg ist.
- B4:** (23) Das glaube ich nicht, die grüne Münze ist jene die am nächsten liegt.
- B5:** (9) Ich verstehe darunter, dass die Münze am nächsten zum Auge liegt.
- B6:** (8) Keine Ahnung.
- B7:** (15) Am nächsten zum Auge liegt die grüne Münze.
- B8:** (18) Die gelbe liegt am nächsten.
- B9:** (9) Falsch, die grüne ist nahe am Auge.

1.2. Das Sichtfeld ist durch das Rohr beschränkt

- B1:** (32) Ja, da man von dem Winkel ja nicht alles sieht.
- B2:** (19-23) Ja, weil ich nur so durch ein Rohr sehe, kann ich nicht alles sehen.
- B3:** (25) Das kann sein, weil ich eigentlich nur beim Rohr rausschauen kann.

B4: (27-28) Ja, das schon, weil sonst könnte ich darüber schauen. Ich würde nicht nur auf einen Blick (auf einen Winkel) sehen.

B5: (13-14) Ich kann nur durch den kleinen Ausschnitt vom Rohr sehen und nicht irgendwo links oder rechts.

B6: (12) Eben, dass man nur einen Teil sieht und nicht das Ganze.

B7: (19-20) Ja, ich würde sagen das stimmt. Dass man eine größere Sichtweite hat, wenn das Rohr nicht ist, weil man weniger sieht wenn man durch das Rohr sieht.

B8: (22) Kommt darauf an wie groß das Rohr ist. Wenn das Rohr so groß ist dann nicht.

B9: (15-16) Ja, weil man normalerweise die gelbe und die grüne Münze sieht, aber durch das Rohr sieht man sie nicht mehr.

1.3. Das Rohr gibt die Blickrichtung vor.

B1: (48) Ja, das könnte man auch als Begründung angeben.

B2: (27) Ja, das glaube ich auch.

B3: (29) Ja, bis zu einem gewissen Grad.

B4: (32-33) Ja, das glaube ich schon, weil wenn ich da reinschaue kann ich nur in die eine Richtung schauen.

B5: (18) Ich kann nur in die eine Richtung schauen kann wo das Rohr hinzeigt.

B6: (16) Ja, man kann eben nur in einer bestimmten Richtung durch das Rohr sehen.

B7: (24-25) Ja, wenn das Rohr in einer gewissen Position ist, kann man eben nur gewisse Teile sehen.

B8: (26) Nein.

B9: (20) Eigentlich schon, weil wenn man das Rohr nach unten gibt, dann sieht man die gelbe.

Haben die Erklärungen 1.2. und 1.3. für dich dieselbe Bedeutung?

B1: (52-60) Nein, das Sichtfeld ist durch das Rohr beschränkt bedeutet wenn das Rohr weg wäre dann könnte man auch noch weiter schauen und auch nach unten. Das Rohr gibt die Blickrichtung vor hat viel mehr damit zu tun welche Münze man sieht. Da man immer nur durch das Rohr schauen kann sieht man aus diesem Winkel nur diese Münze.

B2: (31) Ja.

B3: (33) Ja, eigentlich schon.

B4: (37) Ja, eigentlich schon.

B5: (22) Ja, schon.

B6: (20) Ja.

B7: (29-30) Ich würde sagen nicht ganz, weil das 1.2. bezieht sich darauf, dass man generell weniger sieht. Und 1.3. darauf, dass man nur gewisse Teile nicht sieht.

B8: (30) Nein.

B9: (24) Eigentlich schon.

1.4. Lichtstrahlen von der Münze fallen gerade in das Auge ein.

- B1:** (64-86) Darunter kann ich mir nichts vorstellen. Wenn da die Sonne scheint und von den Münzen wird Licht (Lichtstrahlen) gespiegelt, dann kann ich mir nicht vorstellen, dass da etwas ins Auge fallen soll. Obwohl vielleicht von der roten Münze, weil es sich vom Winkel her ausgeht.
- B2:** (35-45) Das klingt unlogisch. Wenn ich über der Schüssel wäre, würden sie gerade in das Auge einfallen. Hier kommen sie eher seitlich.
- B3:** (37) Ja, dass die Lichtstrahlen in dieser Linie ins Rohr einfallen.
- B4:** (41-45) Keine Ahnung, darunter kann ich mir nichts vorstellen.
- B5:** (26-27) Ja, wenn die Lichtstrahlen auf den Körper fallen, halt jetzt auf die rote Münze, dann muss es so reflektiert werden, dass die Lichtstrahlen genau ins Auge reinkommen.
- B6:** (24) Ich weiß es nicht, darunter kann ich mir nichts vorstellen.
- B7:** (34-43) Nein, Münzen können keine Lichtstrahlen haben. Aber es kann sein, dass von irgendeiner Licht reflektiert wird.
- B8:** (34-35) Nein, sie fallen schräg ein. Von der gelben kommen sie so in das Rohr, gegen die Wand und dann in das Auge und von der roten geht es direkt ins Auge [siehe Skizze].
- B9:** (28) Ja, ich glaube, dass sie gerade hinkommen.

1.5. Die Münze, das Rohr und das Auge liegen auf einer Linie

- B1:** (94-96) Das ist plausibel, weil das Auge, das Rohr und die Münze schon zirka in einer Linie liegen.
- B2:** (49) Ja, weil das Auge hier ist und ich dann genau auf die Münze draufschaue.
- B3:** (41) Ja.
- B4:** (49-51) Ja, wenn ich so das Auge habe und dann das Rohr und dann ist ja die Münze. Also ich hab hier eine Linie gezeichnet und das liegt einfach alles auf einer Linie.
- B5:** (31-33) Ich weiß nicht wie ich das formulieren soll. Man kann halt nirgends anders hinsehen. Außer der Luft gibt es halt nichts anderes dazwischen.
- B6:** (28-29) Ja, dass es so auf einer Linie ist. Ich glaube es ist richtig.
- B7:** (47) Ja, würde ich schon sagen. Es liegt halt in einem bestimmten Bereich.
- B8:** (39) Bei der roten schon, bei der gelben ist es bisschen schräg.
- B9:** (32) Ja.

Haben die Erklärungen 1.4. und 1.5. dieselbe Bedeutung?

- B3:** (45) Ja.
- B4:** (55) Ich weiß nicht was 1.4. bedeutet.
- B9:** (36) Eigentlich schon.

1.6. Augen senden nur geradlinige Sehstrahlen aus.

- B1:** (100-102) Wenn man durch das Rohr schaut stimmt das schon, weil man einen viel kleineren Radius hat als wenn man mit dem freien Auge darauf schaut.

B2: (53-66) Ich weiß nicht, dass ich nur gerade sehe und nicht auf der Seite. Als hätte ich ein Rohr vor dem Auge.

B3: (49) Ja, sicher gerade.

B4: (59) Keine Ahnung was das heißen soll.

B5: (37-40) Das was man sieht ist ja hier nicht verschwommen. Zum Beispiel beim Wasser ist das irgendwie gebrochen oder so.

B6: (33-37) Das weiß ich nicht, darunter kann ich mir nichts vorstellen.

B7: (51-52) Ja, das stimmt, weil wenn man auf etwas schaut, dann schaut man gerade darauf hin.

B8: (43) Ja.

B9: (40) Ja.

Wie stellst du dir solche Sehstrahlen vor?

B1: (106-113) Ich weiß nicht genau, ich denke es geht darum wie viel man vom Radius her sieht. Sehstrahlen und Sichtfeld würde ich sagen hängen zusammen.

B3: (53-54) Da habe ich das Auge und da gehen die Sehstrahlen weg. Kommt darauf an wo ich gerade hinschaue.

B4: (61-63) Ich kann mir unter Sehstrahlen nichts vorstellen.

B5: (44-60) Keine Ahnung, wie Linien halt [siehe Skizze]. Vom Auge geht kein Licht aus, weil das ja dann einfällt. Man kann sich das jetzt irgendwie nicht ganz vorstellen, weil es kommt ja nichts vom Auge, es ist kein Licht oder so. Wenn man zum Beispiel durch das Rohr sieht, dann sind da halt die Strahlen von dort. Man kann nicht irgendwie schräg schauen.

B6: (33-37) Das weiß ich nicht, darunter kann ich mir nichts vorstellen.

B7: (56-62) Wenn das Auge auf irgendetwas gerichtet ist, stell ich mir eine gerade Linie vor. Anders geht es ja nicht, weil ein Auge kann ja nicht schief schauen.

B8: (47) Direkt zum Objekt.

B9: (44-48) Gerade vom Auge aus, aber ich weiß es nicht. Ich kann mir nichts Genaues unter einem Sehstrahl vorstellen.

1.7. Das Licht wird gebrochen.

B1: (119-124) Ich denke nicht, weil wieso sollte Licht gebrochen werden nur weil man durch ein Rohr schaut.

B2: (70) Ich glaube nicht.

B3: (58) Keine Ahnung in der Röhre nicht.

B4: (67-73) Ja, weil das Rohr dunkel ist, also kann da kein Licht hinkommen. Keine Ahnung was man damit meint.

B5: (64-70) Ja, beim Wasser zum Beispiel, bei einem anderen optischen Medium ändert es halt die Richtung. Bei diesem Beispiel bei den Farben glaube ich, weil das andere Wellenlinien aussendet.

B6: (41) Ich glaube nicht, weil es wäre ja nichts das irgendwo brechen könnte.

B7: (66-69) Ich verstehe jetzt nicht genau welches Licht damit gemeint ist. Vielleicht wenn die Sonne oder irgendeine Lichtquelle auf die Münzen scheint, dass das dann geknickt wird und dann wird es gebrochen.

B8: (51) Ja, ich denke das wird durch dieses Rohr gebrochen [siehe Skizze].

B9: (52) Eigentlich erst beim Wasser.

1.8. Das Licht wird im Rohr reflektiert.

B1: (132-134) Da ich nicht glaube, dass Lichtstrahlen von der Münze in das Rohr rein gehen, glaube ich nicht, dass das Licht im Rohr reflektiert wird.

B2: (74-79) Nein, ich glaube nicht, dass Licht an den Wänden im Rohr reflektiert wird und dann ins Auge geht [siehe Skizze].

B3: (66-70) Wenn das Rohr aus Karton ist, dann eher nicht.

B4: (77-81) Keine Ahnung, darunter kann ich mir nichts vorstellen.

B5: (74-77) Es wird nur reflektiert wenn es eine glänzende Oberfläche ist. Also innerhalb des Rohrs sieht man schon und deswegen muss auch Licht reinfallen, weil man es sonst nicht sehen würde.

B6: (45) Das glaube ich nicht, weil welches Licht soll hier überhaupt reflektieren.

B7: (73-74) Es kann sein, dass das Licht vielleicht nicht direkt so reinkommt. Ich weiß aber nicht wie ich das erklären soll.

B8: (55) Das glaube ich nicht.

B9: (56) Nein.

MDR2

B1: (138-162) Weil das vom Wasser gespiegelt wird, sieht man glaube ich gar keine Münze mehr. Aus diesem Winkel könnte man sowieso nur die rote Münze sehen, aber es wird hier schon von der Wasseroberfläche gespiegelt. Oder es könnte auch sein, dass es so runter geht und sich die Sicht verändert und vielleicht zur grünen oder zur gelben Münze fällt. Aber ich bin mir da jetzt nicht genau sicher, aber ich glaube man sieht gar keine Münze.

B2: (83-94) Ich glaube die rote Münze. Ich glaube umso näher ich am Wasser dran bin, umso mehr reflektiert das. Wenn die Sonne darauf scheint und das reflektiert sehe ich fast nichts wenn ich direkt auf das Wasser schaue. Wenn ich weiter weg schaue, glaube ich, dass man die rote Münze eher sieht. Auch wegen der Farbe.

B3: (74-82) Das wird ja da irgendwie so gebrochen. Das ist dasselbe wie mit dem Strohalm wenn man den ins Wasser gibt, dass der auch so einen Knick hat. Ich sage man sieht die rote Münze und die gelbe Münze sieht man auch, weil durch das Wasser das Licht gebrochen wird. Da die Luft ein anderes Material ist als das Wasser und dann wird irgendwie das Licht da gebrochen.

B4: (85-88) Da muss ich halt irgendwas raten. Ich würde sagen man sieht die gelbe Münze. Keine Ahnung warum. Ich glaube irgendwie, dass das Wasser das anders reflektiert und dann sieht man halt was anderes. Ich schaue halt da so her (es geht vom Auge aus da her) und dann geht das halt so runter.

- B5:** (81-83) Man sieht nur die gelbe Münze, weil das ein anderes optisches Medium ist und das lenkt das Licht ab.
- B6:** (49-53) Ich glaube man sieht noch immer die rote Münze, weil Wasser durchsichtig ist und sich nichts ändert.
- B7:** (78-87) Also man sieht die rote Münze und immer noch die gelbe. Ich glaube es ändert sich nichts durch das Wasser. Diese Sehlinie geht ja wieder so wie vorher, da ändert sich ja nichts.
- B8:** (59-60) Man sieht immer noch die rote und die gelbe Münze. Wenn man durchs Wasser schaut, ist alles verschwommen und man sieht eigentlich alles wie oben, nur nicht so gut durch das Wasser.
- B9:** (60-69) Ich glaube man sieht nur die gelbe Münze, weil das Licht reflektiert (gebrochen) wird und deswegen geht es ungefähr so [siehe Skizze]

2.1. Das Wasser vergrößert die Münzen.

- B1:** (166-167) Wenn das Rohr von oben wäre würde es sie vergrößern. Da ich aber glaube, dass man keine Münze mehr sieht, ist diese Antwort unplausibel.
- B2:** (98-103) Ja, schon. Entweder sind sie umso größer je näher man dran ist oder sie sind umso größer je weiter man weg ist.
- B3:** (86) Nein, hätte ich jetzt nicht gesagt.
- B4:** (92-93) Ja, dass ich einfach die Münze dann größer sehe, aber ich weiß nicht was das mit dem zu tun hat.
- B5:** (91-94) Weil das Licht durch das Wasser gebrochen wird, dass man das halt dann anders sieht. Irgendwie stimmt das, weil man das auch schon selber öfters gesehen hat. Wenn man zum Beispiel durch ein Glas in dem Wasser ist durchschaut, dann ist das wie eine Lupe.
- B6:** (57) Ich glaube nicht.
- B7:** (91-92) Ich glaube nicht, also ich weiß nicht und wüsste ich nicht wie ich es erklären soll.
- B8:** (64-65) Ja, ich habe selbst schon eine Münze ins Wasser geworfen und wenn ich reinschaue, dann wirkt das viel größer. Ich weiß aber nicht genau warum.
- B9:** (73-74) Ja, das wird einfach größer, aber ich weiß nicht warum. Wenn man irgendwas in ein Glas mit Wasser gibt, dann wird es größer.

2.2. Die Münze, das Rohr und das Auge liegen auf einer Linie.

- B1:** (172-173) Das würde ich auch nicht als Antwort benutzen, weil ich eben glaube, dass man keine Münze sieht.
- B2:** (107-108) Das würde sich auch ausgehen, aber halt in einem anderen Winkel.
- B3:** (90) Nein, das ist jetzt alles optisch betrachtet und nicht real.
- B4:** (97) Nein, glaube ich nicht.
- B5:** (98-99) Das stimmt jetzt nicht, weil die Linie von diesem Licht (Augenlicht oder Lichtstrahl) dann durch das Wasser verändert wird.
- B6:** (61) Ja, das ist wie oben, da ändert sich nichts.
- B7:** (96) Ja, so wie vorher, dass es halt wieder nur in einem bestimmten Bereich liegt.

B8: (69-73) Ja, ich denke schon. Das ist gleich wie bei MDR1.

B9: (78) Nein, weil das durch die Wasseroberfläche oder das Wasser gebrochen wird.

2.3. Die Sehstrahlen, die das Auge aussendet, werden abgelenkt.

B1: (177-178) Ich denke sie werden von der Wasseroberfläche, deswegen sieht man keine dieser Münzen mehr.

B2: (120-125) Ja, durch die Reflexion werden sie abgelenkt. Wenn ich draufschau geht das dann irgendwie wieder weg.

B3: (94-98) Ja, indem der Strahl ins Wasser einfährt knickt er.

B4: (101-102) Warum werden die abgelenkt? Ich denke das bringt keine Erklärung für das, also so kann ich mir das nicht vorstellen.

B5: (103) Das ist das gleiche. Die Linie von diesem Licht (Augenlicht oder Lichtstrahl) wird durch das Wasser verändert.

B6: (65) Darunter kann ich mir nichts vorstellen.

B7: (100-106) Ich weiß nicht, vielleicht wird es durch das Wasser irgendwie gebrochen. Dass es jetzt statt so dann so geht. [siehe Skizze: seitlich versetzt (Planparallele Platte)]

B8: (77) Nein.

B9: (82) Ja, weil es gebrochen wird.

Was stellst du dir unter Sehstrahlen vor?

B4: (106) Keine Ahnung, wie ich halt schaue, aber eigentlich verstehe ich nicht was das heißen soll.

2.4. Die Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche gespiegelt (Einfallswinkel = Ausfallswinkel).

B1: (183) Ja, also das habe ich eh schon gesagt dass sie gespiegelt werden.

B2: (130-135) Ja, ich glaube das stimmt. Wenn die Sonne so runter scheint, dann spiegelt es ja wieder weg.

B3: (103) Nein.

B4: (111-112) Das ist Physik, so etwas verstehe ich nicht. Irgendwas, dass das Licht da her scheint und ich das dann so sehe oder so.

B5: (108-109) Nein, das stimmt nicht. Dann wäre das Wasser ein Spiegel, ist es aber nicht weil es ein viel schwächeres Medium ist.

B6: (70-79) Ich glaube schon, dass das sein kann. Wenn das gespiegelt wird, dass ich dann gar nichts (also keine Münzen) mehr durchsehe.

B7: (111-113) Wenn zum Beispiel eine Lichtquelle ist, dann kommt sie halt auf die Wasseroberfläche und das wird halt gespiegelt und dann prallt es wieder ab, es wird halt gebrochen und dann geht es wo anders hin. [Skizze 1]

B8: (82-92) Ich glaube schon. Ich schaue rein und die werden durch das Wasser gebrochen (nach unten geknickt) [siehe Skizze]. Bei der gelben ist nur ein ziemlich feiner Knick und bei der roten ist es stärker, weil sie weiter weg ist.

B9: (87) Ja, oder?

2.5. Lichtstrahlen machen einen Knick, wenn sie von einem Medium in ein anderes laufen.

B1: (188-193) Darum geht es jetzt, dass sie vielleicht wenn sie da ankommen dann so runter gehen. Das glaube ich eher nicht, sonst hätte ich angestrichen, dass man eine andere Münze sieht.

B2: (140) Ja, ich glaube schon.

B3: (108) Ja.

B4: (117) Ja, das habe ich ja eh hier so gezeichnet. [siehe Skizze]

B5: (114) Wenn es ein unterschiedliches Medium ist, dann schon.

B6: (84) Das verstehe ich gar nicht.

B8: (97) Ja.

B9: (92) Wie hier (zeigt auf Skizze 1).

Wie stellst du dir so einen Knick vor?

B2: (144) So etwas [Reflexion an der Wasseroberfläche].

B3: (112-113) Wenn der da jetzt so reingeht, dass er dann irgendwie so einen Knick hat [siehe Skizze].

B4: (121-127) Ja, so wie beim Spiegel. Wenn ich eine Lampe habe, die hier her leuchtet, dann geht das so. Oder wenn ich ein Lineal nehme und ich halte das in die Sonne, dann leuchtet es wo anders hin. Es wird zurückgeworfen oder wo anders hingeworfen.

B8: (101-102) Wenn ich zum Beispiel einen Stock ins Wasser gebe, dann schaut der irgendwie schräg aus.

Was verstehst du unter Medium?

B1: (197-202) Also, irgendein Element, zum Beispiel Wasser. Dass der Sehstrahl dann einfach von diesem Medium entweder runter geht oder wieder da rauf geht.

B2: (148) Wenn ich von einem Auge in das andere Auge. Eben von der Sonne ins Auge oder so.

B4: (131) Wenn ich das mit einem Lineal mache, dass das dann das Lineal ist.

B7: (118) Was ist da mit Medium gemeint? Zum Beispiel Wasser?

B8: (106) Einfach so Licht, Wasser, halt so normale Sachen.

B9: (96-100) Ist eine andere Teilchenkonstruktion oder so halt. Wasser, Gas oder Sonstiges.

Welche Medien gibt es in diesem Beispiel?

B1: (201-211) Die Wasseroberfläche und das Wasser halt.

B4: (135-139) Das Wasser. Also die Wasseroberfläche oder ich weiß nicht. Von der Luft ins Wasser halt.

B9: (104) Wasser und Luft.

Wovon hängt die Richtung in die der Knick entsteht ab?

B3: (117) Wie unterschiedlich die Medien sind.

B4: (143-146) Es kommt darauf an mit welchem Winkel es da auf die Wasseroberfläche kommt.

B5: (118) Ja was das für ein optisches Medium ist.

Weißt du wodurch der Knick entsteht?

B5: (122) Nein, weiß ich nicht.

2.6. Die Lichtstrahlen laufen von der Luft ins Wasser.

B1: (219-220) Das was man sieht nicht, aber die Lichtstrahlen schon.

B2: (152) Das kann ich mir nicht vorstellen.

B3: (121) Ja.

B4: (150) Ja, das glaube ich schon, weil wie sollte ich das sonst sehen.

B5: (126) Ja, da sind dann halt zwei Medien und deshalb wird das Licht dann auch gebrochen.

B6: (88) Keine Ahnung.

B7: (131-136) Ich finde das irgendwie komisch ausgedrückt, ich weiß es aber nicht.

B8: (110) Ja.

B9: (108) Ja, ein Teil davon, weil das andere reflektiert wird.

Die Lichtstrahlen im Wasser werden zur Wasseroberfläche hin abgelenkt und die Lichtstrahlen im Wasser werden von der Wasseroberfläche weg abgelenkt.

B1: (225-232) Entweder ob sie reflektiert werden oder ob sie direkt reinlaufen. Wenn man so auf ein Becken schaut und da kommt jetzt Licht drauf, dann wird das auch meistens gespiegelt. Ich würde als Begründung die Lichtstrahlen im Wasser werden von der Wasseroberfläche weg abgelenkt nehmen. Das bedeutet so viel wie, dass die Strahlen reflektiert werden.

B2: (157-163) Ich glaube, die Lichtstrahlen im Wasser werden zur Wasseroberfläche hin gelenkt. Hier scheint die Sonne und dann werden sie hier hingelenkt weil im Wasser bekommt man ja eigentlich leichter einen Sonnenbrand als draußen. [siehe Zeichnung 1]

B3: (126) Die Lichtstrahlen im Wasser werden von der Wasseroberfläche weg abgelenkt. [Skizze 1]

B4: (157-159) Die Lichtstrahlen im Wasser werden zur Wasseroberfläche hin abgelenkt bedeutet, dass es da so leuchtet und ich es deswegen sehe. Die Lichtstrahlen im Wasser werden von der Wasseroberfläche weg abgelenkt bedeutet so runter. Ich finde das komisch.

B5: (131-137) Die Lichtstrahlen im Wasser werden von der Wasseroberfläche weg abgelenkt [siehe Skizze]. Damit die Lichtstrahlen im Wasser zur Wasseroberfläche hin abgelenkt werden müsste das ein anderes optisches Medium sein. Vakuum glaube ich.

B8: (115-121) Die Lichtstrahlen im Wasser werden zur Wasseroberfläche hin abgelenkt. Also wenn ich reinschaue zur Münze dann werden die Strahlen ja da geknickt und dann halt genau anders rum. Aber ich verstehe die Frage nicht ganz.

B9: (115-122) Die Lichtstrahlen im Wasser werden zur Wasseroberfläche hin abgelenkt bedeutet, dass von hier etwas runter gelenkt wird [Skizze 1]. Und die Lichtstrahlen im Wasser werden von der Wasseroberfläche weg abgelenkt bedeutet, ein Teil wird von der Wasseroberfläche reflektiert [Skizze 2].

2.7. Die Lichtstrahlen laufen vom Wasser in die Luft.

B1: (236-241) Das glaube ich nicht, da muss das Licht aus dem Wasser kommen. Wenn da drinnen ein Licht ist, glaube ich nicht, dass es da oben noch einmal gespiegelt wird und raus kommt.

B2: (167) Ja, weil sie wieder wegsendet werden (wieder dort raus).

B3: (130) Nein.

B4: (163-171) Warum sollte das so sein? Ich habe das Licht ja nicht im Wasser sondern in der Luft. Eigentlich kommt es schon wieder raus aber ich weiß es nicht.

B5: (141) Dann stimmt das auch, ist halt anders herum.

B6: (92) Das glaube ich nicht.

B7: (140-142) Wenn sie dann abprallen oder sich knicken, dann gehen sie wieder in die Luft und treffen vielleicht auf anderes Objekt oder Medium. So wie halt hier in 1 gezeichnet habe.

B8: (125-129) Ja, sie laufen hin und wieder zurück.

B9: (126) Vom Wasser? Also nicht von der Oberfläche. Weiß ich nicht.

Die Lichtstrahlen in der Luft werden zur Wasseroberfläche hin abgelenkt oder Die Lichtstrahlen in der Luft werden von der Wasseroberfläche weg abgelenkt

B1: (246-264) Die Lichtstrahlen in der Luft werden zur Wasseroberfläche hin abgelenkt. Wenn da zum Beispiel eine Lichtquelle wäre, die da überall raufleuchtet. Dann denke ich, dass sie an der Wasseroberfläche gespiegelt werden. Wenn es von oben kommt, dann halt oben an der Wasseroberfläche. Denn wenn man auf das Meer schaut und die Sonne strahlt drauf, dann kann man ja auch geblendet werden.

B2: (172-173) Die Lichtstrahlen in der Luft werden von der Wasseroberfläche weg abgelenkt. [siehe Zeichnung 2]

B5: (146) Die Lichtstrahlen in der Luft werden zur Wasseroberfläche hin abgelenkt stimmt.

B7: (147) Die Lichtstrahlen in der Luft werden von der Wasseroberfläche weg abgelenkt.

B8: (134-135) Die Lichtstrahlen in der Luft werden von der Wasseroberfläche weg abgelenkt. Also die Strahlen in der Luft vom Auge werden dann abgelenkt.

2.8. Die Lichtstrahlen von dieser Münze fallen ins Auge.

B1: (268) Wie beim vorigen Beispiel glaube ich das nicht.

B2: (177-179) Ja, ich glaube schon von der roten Münze.

B3: (138-147) Wenn ich da jetzt ja sage, dann passt das nicht mit der Behauptung zusammen, laufen von der Luft ins Wasser. Dann stimmt eigentlich die Aussage von der Nummer 6 nicht und die Aussage von der Nummer 7 schon. Ich glaube ich verwirre mich gerade selber, aber ich glaube immer noch, dass das stimmt.

B4: (175-185) Wenn ich sage das Licht kommt nicht von innen sondern von außen, warum sollten dann die Lichtstrahlen von der Münze ins Auge fallen? Ich glaube im Wasser ist das Licht überall gleich. Der Unterschied ist, wo ich mit dem Rohr hinschaue. Ich verstehe einfach nicht, warum man das so erklären sollte.

B5: (150-154) Ja, von der gelben halt jetzt.

- B6:** (96-97) Ich kann mir vorstellen wenn Licht draufscheint, dass die Münze das dann reflektiert und mir das ins Auge scheint.
- B7:** (155-156) Wenn Licht zur Münze hinkommt und das reflektiert dann Licht, dann kommt es auch in die Röhre.
- B8:** (139-143) Nicht direkt glaube ich, weil das Wasser lenkt die Strahlen von der Münze ab und dann kommen sie ins Auge.
- B9:** (130) Ja, dass die Lichtstrahlen den gleichen Weg zurück zum Auge gehen.

FMS1

- B1:** (272-278) Ich denke, man muss genau auf den Fisch zielen. Es kommt auch darauf an wie der Speer geworfen wird. Ich meine er kann schon vom Wasser ein bisschen abgelenkt werden. Aber ich glaube die beste Chance hat man, wenn man direkt auf den Fisch schießt.
- B2:** (187-192) Ich glaube man müsste oberhalb zielen, damit man den Fisch trifft. Weil sich das Wasser bewegt gibt das vielleicht einen anderen Eindruck, dass der Fisch vielleicht näher ist.
- B3:** (151-169) Ich kann mir das irgendwie nicht vorstellen. Das heißt er sieht in eigentlich näher dran als er eigentlich ist, somit müsste er dann weiter zielen damit er ihn ungefähr erwischt. Der Jäger sieht in ein bisschen weiter vorne, weil der Lichtstrahl gebrochen wird. Nein, ich glaube er sieht ihn weiter hinten. Das heißt er müsste eigentlich auf das blaue (unterhalb des Fisches) zielen, also ein bisschen weiter nach vorne, damit er ihn dahinter trifft. Weil der Lichtstrahl einen Knick macht könnte der Jäger vielleicht meinen, dass der ein bisschen weiter weg ist. Wahrscheinlich ist er eh weiter vorne. Ich weiß es nicht.
- B4:** (189-198) Er muss auf den roten Punkt (oberhalb des Fisches) zielen, damit er den Fisch trifft. Ich glaube er schießt so (gerade in Richtung der Wasseroberfläche knapp vor den Fisch) und durch das Wasser wird die Geschwindigkeit des Speers gebremst. Dann geht es halt so runter (Speer wird von der Wasseroberfläche weg in Richtung des Fisches abgelenkt) und so trifft er ihn dann. Wasser hat ja eine andere Dichte als Luft.
- B5:** (158-166) Ich glaube er muss auf Rot (oberhalb des Fisches) zielen, damit er ihn trifft. Weil Wasser ist ein dichteres optisches Medium als Luft und deswegen wird das Licht dann gebogen, also weg von der Wasseroberfläche gebrochen. Deswegen glaube ich halt dass ich den Fisch da sehe (zeigt hinter den Fisch), aber in Wirklichkeit ist er glaube ich dann hier (zeigt auf den Fisch). Ok, jetzt weiß ich es, er muss auf Blau (unterhalb des Fisches) zielen. [Skizze: man sieht den Fisch an Punkt 1]
- B6:** (101-112) Ich glaube man muss oberhalb hinzielen, denn wenn der Speer vielleicht ins Wasser eindringt dass der irgendwie absinkt. Oder ich glaube es ist doch grün (genau auf den Fisch) weil ich finde keine Erklärung warum oberhalb oder unterhalb.
- B7:** (160-163) Man muss genau auf den Fisch zielen (grün). Man muss bei allem genau darauf zielen, damit man es trifft. Wenn man auf Rot (oberhalb des Fisches) zielen würde, dann würde es daneben gehen und bei blau (unterhalb des Fisches) da ist es auch wo anders.
- B8:** (147-151) Man muss dort hinzielen wo der Fisch ist damit man ihn trifft, wenn er sich nicht bewegt.

B9: (134-139) Er muss unterhalb des Fisches (blau) zielen, damit er ihn trifft, weil es nach oben gelenkt wird. Wenn er hier (zeigt auf die Wasseroberfläche zwischen Fisch und Beobachter) hin wirft, wird der Speer irgendwie nach oben abgelenkt.

3.1. Der Jäger sieht den Fisch an einer anderen Stelle als er ist.

B1: (282) Das glaube ich nicht, denn sonst würde ich ja nicht genau auf den Fisch schießen.

B2: (196) Ja. [siehe Skizze]

B3: (173) Ja, weil der Lichtstrahl gebrochen wird.

B4: (202) Nein, ich glaube er sieht ihn an der Stelle.

B5: (170) Ja, das stimmt weil das Licht ja gebrochen wird.

B6: (116) Glaube ich nicht.

B7: (171-172) Ich glaube da ist gemeint, dass es durch das Wasser irgendwie verschoben wird.

B8: (155) Ich glaube nicht. Er sieht ihn genau dort.

B9: (143) Aja, durch das Wasser ist es so zu sagen eine optische Täuschung.

Er sieht den Fisch näher an der Wasseroberfläche als er tatsächlich ist oder er sieht den Fisch weiter weg von der Wasseroberfläche als er tatsächlich ist.

B2: (201) Er sieht in näher an der Wasseroberfläche.

B3: (178-179) Ah, da geht es um die Wasseroberfläche. Dann sieht er ihn weiter oben als er tatsächlich ist.

B5: (175) Ich glaube näher, weil das irgendwie lupenartig wird.

B7: (177-181) Näher, weil er vielleicht größer aussieht.

B9: (147-156) Er sieht den Fisch näher, weil das ist ja das gleiche wie vorher mit der Münze. Man würde den Fisch ein bisschen darüber sehen.

3.2. Die Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche gespiegelt (Einfallswinkel = Ausfallswinkel).

B1: (287-288) Das schon, aber ich glaube man sieht den Fisch trotzdem noch an der Stelle wo er eigentlich ist.

B2: (206-209) Ja, das auch. Das ist ein Grund, wieso ich den Fisch wo anders sehe. Wenn die Sonne drauf scheint, dann werde ich vielleicht gerade geblendet, wenn es da auftrifft und dann da in meine Augen geht. Vielleicht bilde ich mir auch ein, dass der Fisch da ist und nicht da.

B3: (184) Nein.

B4: (207-208) Eigentlich kann ich es mir nicht vorstellen. Wenn das Licht kommt und es scheint so drauf, dass es dann so spiegelt.

B5: (180-181) Nein, es kommt darauf an wie dunkel das ist. In der Nacht ist dann sieht man das ja, dann ist es schon so aber wenn es hell ist dann nicht.

B6: (121) Nein, glaube ich auch nicht.

B7: (186-187) Wie vorher, dass es eben hin strahlt zum Wasser und dann abprallt. Also geknickt wird, weil es reflektiert wird durch das Wasser.

B8: (160-164) Ja, also die Strahlen die vom Wasser weggehen sind halt so wie sie eintreffen. Sie laufen denselben Weg hin und zurück.

B9: (161) Dass wieder was gespiegelt wird und das irgendwie den Effekt hat, dass es größer wird.

3.3. Der Speer wird im Wasser nach unten gezogen.

B1: (292-298) Vielleicht minimal, aber mit dieser Begründung fang nichts an, weil ich gesagt habe, dass ich direkt auf den Fisch schieße. Sonst hätte ich oberhalb des Fisches gesagt.

B2: (213-231) Ich denke wenn er irgendwie schwerer ist, dann geht er auch weiter runter. Ein Holzspeer taucht wieder auf. Ein Metallspeer würde untergehen. Ich glaube er würde noch bis zum Fisch kommen und dann weiter nach unten gezogen werden.

B3: (188-190) Ja, wenn man ihn reinwirft zieht es ihn ja nach unten. Der wirft ihn da rein und dann zieht er nach unten bis er den Fisch trifft.

B4: (212-217) Ja, wenn ich irgendetwas ins Wasser werfe geht es immer unter. Wenn ich den Speer da reinwerfe, dass er dann untergeht. Mit dem Fisch, wenn ich ihn treffe.

B5: (185-191) Wenn man den Speer ins Wasser reinsticht und er zirka bei der Hälfte ist, dann sieht man wie er so einen Knick bekommt. In Wirklichkeit ist er aber gerade [siehe Skizze]. Mit dem Speer als Gegenstand ändert sich nicht, man sieht in nur anders.

B6: (125) Das könnte schon sein.

B7: (191-192) Ja, weil er das mit Schwung macht und dann fällt es ja weiter und durch die Schwerkraft.

B8: (168) Ja, wenn man ihn mit Schwung reinwirft dann versinkt er halt im Wasser.

B9: (165-173) Kommt darauf an wie man ihn wirft. Ich glaube man müsste eher oberhalb des Fisches (rot) zielen, weil der Speer nach unten gezogen wird.

3.4. Unser Gehirn denkt sich Lichtstrahlen immer als gerade Linie ohne Knick.

B1: (302-303) Ich versteh das nicht ganz.

B2: (235-237) Ja, schon. Wenn ich im Sommer irgendwo bin und in die Sonne schaue, dann sehe ich auch nur so einen Lichtstrahl und nicht irgendwie so einen geknickten Lichtstrahl.

B3: (194) Ja.

B4: (221-222) Ich glaube schon, dass das so ist. Ich stelle mir vor, wenn da die Sonne ist, dass es einfach runter geht ohne einen Knick.

B5: (195) Das stimmt, weil man immer geradlinig schaut.

B6: (129) Ja, ich glaube nicht dass wir sehen wenn sich etwas knickt.

B7: (196) Ich weiß nicht, keine Ahnung.

B8: (172) Ja, eigentlich schon.

B9: (177-194) Das Licht wird hier (zeigt auf die Wasseroberfläche) gebrochen (es ist ein Knick hier) und unser Auge denkt sich das halt nicht und wir sehen es wo anders. Ich glaube man müsste oberhalb des Fisches (rot) zielen, weil man es anders sieht und weil der Speer nach unten gezogen wird. Weil man ihn oberhalb sieht muss man oberhalb hinzielen?

AQ1

- B1:** (307-329) Ich weiß halt jetzt nicht genau ob sich der Winkel durch die Wasseroberfläche verändert, aber ich denke sie werden nicht gerade bleiben. Das kann ich leider nur raten. Vielleicht geht es auch gerade raus. [Grafik 1 wurde gewählt] Wenn da jetzt das Licht raufgeht und wenn die Wasseroberfläche jetzt wirklich nichts mit diesem Lichtstrahl macht, dann wird es natürlich geradeaus weitergehen. Wenn das Wasser aber doch den Lichtstrahl irgendwie beeinflussen würde, kann es schon sein dass es so nach rechts geht oder links halt.
- B2:** (241-250) [Grafik 3 gewählt] Zuerst strahlen sie gerade und dann werden sie aber irgendwie geknickt und gehen dann irgendwie gerade hinauf. Weil sie außerhalb besser sichtbar sind als im Wasser, neigen sie sich in diese Richtung.
- B3:** (198-201) [Grafik 3 gewählt] So etwas Ähnliches haben wir im Gymnasium auch gehabt. Wenn die Lichtstrahlen vom dünneren ins festere Medium gehen, macht es einen Knick und wenn es anders herum ist macht es den Knick anders.
- B4:** (226-240) [Grafik 2 gewählt] Ich glaube schon mal nicht, dass das so hell sein kann. Die Grafiken 4 und 5 sind auch nicht logisch, weil warum sollte das immer in eine andere Richtung gehen. Grafik 1, dass es genau gerade geht, das wäre einfach zu schön. Es kann eines von den drei sein.
- B5:** (199-202) Ich glaube es ist Grafik 2, weil so wie vorher ist. Das ist ein dichteres Medium und das Licht zum dünneren optischen Medium zur Wasseroberfläche hin gebrochen wird.
- B6:** (133-137) [Grafik 2 gewählt] Weil sich die Lichtstrahlen an der Wasseroberfläche spiegeln kommen sie dann so raus.
- B7:** (200-203) Ich würde Grafik 1 wählen, weil es gleichmäßig ist. Denn warum sollte es so gehen, wie in Grafik 4 und 5. Die anderen beiden finde ich auch irgendwie komisch, das geht dann so und dann wird es noch mehr gebrochen. Ich weiß es nicht, aber ich glaube es geht halt so gerade ohne irgendeinen Knick.
- B8:** (176-182) [Grafik 5 gewählt] Weil die Lichtstrahlen von der Optik her, wenn man sie so sieht, geknickt werden. Deswegen denke ich nicht, dass sie genau gerade, so wie die Strahlen von der Lampe weggehen, sondern halt anders. Ich weiß nicht wieso sie gerade nach rechts und nicht nach links weggehen, das ist nur meine Einschätzung.
- B9:** (198) Ich glaube Grafik 2, weil das Licht wieder reflektiert wird.

4.1. Die Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche gespiegelt (Einfallswinkel = Ausfallswinkel).

- B1:** (334-335) Nein, glaube ich nicht, weil sie sonst da runter gehen würden. Es würde gar nicht aus dem Wasser rauskommen.
- B2:** (255-260) Ja, wenn ich jetzt da unten (im Wasser) wäre, würde ich die Lichtstrahlen ja auch irgendwie von da oben runterkommen sehen.
- B3:** (210) Nein.
- B4:** (245-246) Die werden da gespiegelt und dann gehen sie dann so rüber [Vom Wasser zur Wasseroberfläche in die Luft]. Ich glaube es ändert halt dann die Richtung.

B5: (206-211) Nur wenn man von oben auf Wasser hinschaut wird das dann genau gespiegelt. Dass man sich selbst spiegelverkehrt wieder sieht. In diesem Beispiel würde das bedeuten, dass das Licht wieder zurückgeworfen wird, aber das stimmt nicht.

B6: (142) Genau, ja.

B7: (208) Ich glaube nicht, dass sie gespiegelt werden.

B8: (187-192) In dem Fall nicht, weil die Strahlen anders raus gehen als sie reinkommen. Also beim linken Strahl in Grafik 5 ist es nicht so, beim rechten schon.

B9: (203-208) Ich weiß nicht was da gespiegelt wird. Es wird nach raus (aus dem Wasser in die Luft) gespiegelt.

4.2. Wasser ist optisch dünner als Luft.

B1: (339) Nein.

B2: (264) Ich glaube nicht.

B3: (214) Nein, umgekehrt.

B4: (250-251) Keine Ahnung, das ist voll unlogisch. Warum sollte Wasser dünner sein. Heißt das jetzt, dass ich besser durchsehen kann?

B5: (215) Nein.

B6: (146) Verstehe ich nicht.

B7: (212-213) Also, dass es so aussieht als wäre es dünner als die Luft. Ich weiß nicht, ich finde die Aussage ein bisschen komisch.

B8: (196) Das weiß ich nicht ganz genau, aber ich denke Luft ist dünner.

B9: (212) Ich weiß es nicht, in der Luft ist der Übergang einfach anders.

Was verstehst du unter „optisch dünner“?

B1: (343-352) Ich glaube es geht da um die Masse oder darum wie man sieht. Ich denke nicht, dass Wasser optisch dünner als Luft ist, weil in der Luft kann man hunderte Meter weit sehen und das Bild wird nicht wirklich schlechter. Wenn man im Wasser schaut, dann wird es schon verschwommener. Aber ich weiß nicht genau was mit dünner gemeint ist. Ich glaube, dass Wasser optisch dicker ist als Luft.

B2: (268-269) So wie ich es sehe. Wenn ich jetzt am Meer bin und ich schau das Meer an, dann kommt es mir nicht so vor als wäre es dünner als die Luft.

B3: (218-219) Wenn das Aquarium mit Wasser gefüllt ist und da fällt ein Lichtstrahl ein, ist die Luft irgendwie dünner und das Wasser dicker und deswegen macht es einen Knick.

B8: (200-201) Halt wie man es sieht, zum Beispiel Luft sieht man nicht und Wasser sieht man halt und man kann es auch fühlen.

B9: (216) Keine Ahnung.

4.3. Alle Lichtstrahlen, die von einem Medium in ein anderes laufen, werden gebrochen.

B1: (356-357) Das glaube ich durch meine Antwort nicht, weil ich sonst eines der vier anderen angekreuzt hätte.

B2: (273) Ja, ich denke schon.

B3: (223) Es müssen unterschiedliche Medien sein, dann schon.

B4: (255-257) Wenn das Wasser halt das Medium ist, glaube ich einfach, dass sie gebrochen werden. Keine Ahnung warum.

B5: (219) Optische Medien, also.

B6: (150) Nein, glaube ich nicht.

B7: (217) Ich glaube nicht, weil es kann ja gerade durchgehen oder so.

B8: (205) Ja.

B9: (220) Meistens, ja.

Und was verstehst du unter „gebrochen“?

B1: (361) Dass sie von ihrem Ausgangswinkel dann einen anderen einnehmen.

B2: (277) Dass sie so einen Knick machen.

B4: (261) Wenn sie so knicken oder so.

B5: (223) Ja, dass diese Lichtstrahlen dann so geknickt werden.

B6: (154-158) Na eben, dass sie nicht weitergehen (aufhören).

B8: (209) So ein Knick, zum Beispiel von Luft in Wasser oder umgekehrt.

B9: (224) So wie das hier, dass es einen anderen Winkel bekommt.

Was verstehst du unter Medium?

B2: (281) Von einem Auge ins andere Auge.

B3: (227-229) Ein Medium ist irgendwie so ein Zustand. Wasser und Luft sind unterschiedliche Medien und wenn ich jetzt irgendeinen festen Stoff oder derartiges habe, ist das auch ein anderes Medium.

B5: (227-228) Ich glaube, alles was es gibt ist ein Medium. Ein Tisch ist ein Medium, das ist ein Medium.

B6: (162) Ähm, ich weiß nicht. Irgendwie so Schichten, wie Wasser und Luft.

Welche Medien in unserem Beispiel beteiligt?

B1: (370) Der Lichtstrahl und das Wasser. Oder das Wasser und die Luft.

B5: (232) Wasser, Luft und da unten.

4.4. Nur Lichtstrahlen, die schräg auf die Wasseroberfläche fallen, werden gebrochen.

B1: (374-375) Das glaube ich auch nicht, weil ich sonst nicht das erste angekreuzt hätte.

B2: (289-293) Nein, ich glaube auch die die gerade drauf kommen werden gebrochen.

B3: (233) Ja.

B4: (265) Ja, ich glaube, dass das dann halt gerade runter geht.

B5: (236-237) Ja, das stimmt. Weil wenn so wie hier im Beispiel ein Lichtstrahl mit 90 Grad aufs Wasser fällt, dann wird er nicht gebrochen sondern geht geradlinig weiter.

B6: (166-170) Ja, einer der gerade rein geht, geht auch gerade weiter.

B7: (221-222) Naja, wenn es gerade durchgeht dann kann es nicht brechen. [Skizze: Brechung = seitliche Versetzung]

B8: (213-217) Nein, es macht keinen Unterschied ob der gerade kommt oder schräg.

B9: (228-229) Ja, so wie hier und nicht so wie hier, dass sie gebrochen werden, sondern direkt nach oben gehen.

Was passiert mit einem Lichtstrahl der nicht schräg auf die Wasseroberfläche fällt?

B3: (237-242) Der wird einfach nicht gebrochen, weil es keinen Sinn machen würde, wenn der gebrochen werden würde. Er geht ganz normal durch, aber wenn man da von oben draufschaut, sieht er kleiner aus.

B4: (269-273) Der geht einfach gerade weiter und er wird halt größer. Wenn er vorher im Wasser war, wird er halt dann heller.

B5: (241) Er wird vielleicht schwächer.

B6: (172-184) Ich glaube sie werden abgelenkt aber nicht gebrochen.

4.5. Lichtstrahlen breiten sich in alle Richtungen geradlinig aus.

B1: (379-380) Ja, ich denke das stimmt. Ich glaube nicht, dass sie an der Wasseroberfläche gebrochen werden und einen anderen Winkel einnehmen.

B2: (297-303) Ja, ich denke das stimmt. Wenn da jetzt der Boden ist und dann ist das Wasser und das trifft jetzt die Sonne da drauf. Ich denke dann würde es so weggehen. [siehe kleine Skizze] Das geht dann von dem Punkt überall in alle Richtungen gerade aus.

B3: (246-252) Naja optisch, wenn da jetzt ein Lichtstrahl ins Wasser einfällt dann wird er ja gebrochen. Aber in Wirklichkeit auch oder schaut das einfach nur so aus? Prinzipiell sind sie ja geradlinig, ich denke nur dass wir das gebrochen sehen.

B4: (277) In diesem Beispiel nicht.

B5: (245) Ja, sie breiten sich schon geradlinig aus, bis es halt gebrochen wird.

B6: (188-201) Ja, gerade eben bis sie gespiegelt werden.

B7: (226) Ja, es kann ja keine Kurve machen oder so.

B8: (221) Nein.

B9: (238-246) Nein.

4.6. In Wasser und Luft breitet sich das Licht gleich schnell aus.

B1: (384) Nein, ich glaube, dass es sich in Luft schneller ausbreitet als in Wasser.

B2: (307-311) Ja, ich glaube schon, überall mit Lichtgeschwindigkeit.

B3: (256-260) Nein, in der Luft ist es schneller, weil es ein dünneres Medium ist.

B4: (281-282) Ich glaube in Luft breitet es sich schneller weil, ich halt kein Wasser habe. Das ist ja auch viel heller.

B5: (249) Nein, ich denke nicht.

B6: (205) Weiß ich nicht.

B7: (230-234) Naja, ich weiß nicht. Man kann ja unter Wasser auch nicht so gut sehen, also unscharf, und bei mehr Wasser kann man auf Distanz immer weniger. Durch Luft kann man weiter sehen als in Wasser. Vielleicht ist es ja nicht so, es verbreitet sich gleich schnell, nur es ist dann einfach schwächer.

B8: (225) Ja, ich denke schon, aber ich glaube das hat keinen Einfluss darauf.

B9: (250-254) Falsch, in der Luft ist es schneller.

SSL1

B1: (388-409) Besteht eine Sammellinse aus Glas? Grafik 2 stimmt glaube ich nicht, weil da der Lichtstrahl zuerst enger und dann wieder dicker wird. Das kann ich mir nicht vorstellen. Aber ich glaube auch nicht, wenn was auf Glas scheint, dass es normal weiter scheint. Also ich denke, entweder ist Grafik 3 oder 4 richtig. Ich glaube Grafik 3 ist richtig, weil bei einer Lupe ist das auch so. Wenn man mit einem Licht reinscheint und den richtigen Winkel findet, wird das Licht dann auch viel dünner. Also, wenn man mit Licht durch ein Glas scheint, also durch so eine Sammellinse, dann wird das Licht gebündelt, weil das bei einer Lupe auch so ist. Nach dem Punkt hört das Licht auf (ist es aus). Obwohl nein, das kann auch nicht sein. Es geht nur bis zu einem bestimmten Punkt, aber es leuchtet dann immer noch, aber der Strahl ist halt viel kleiner als am Anfang.

B2: (315-324) Ich glaube es würde wie in Grafik 3 ausschauen. Irgendwann hört das Licht einfach auf und wird dann immer weniger, weil man sie auf irgendeine Distanz nicht mehr wirklich sieht. Die Form ist vielleicht so, weil genau so etwas ins Auge trifft.

B3: (264-267) Ich hätte gesagt, wenn so ein Lichtstrahl auf die Sammellinse kommt, dann würde es so zusammengehen. Wenn ein Lichtstrahl, der da schon so auseinander geht, dann würde er wie in Grafik 1 weitergehen. Entweder 1 oder 3, aber ich sage 1.

B4: (286-288) [Grafik 2 gewählt] Ich weiß nicht was eine Linse ist, also habe ich geraten, außerdem haben wir das irgendwann gemacht. Das war nicht so wie in Grafik 3, weil wieso sollte das dann aufhören. Und so gerade weitergegangen [wie in Grafik 1] ist es glaube ich auch nicht.

B5: (253-254) [Grafik 2 gewählt] Weil das Licht wird hingeworfen und die Sammellinse konzentriert das Licht dann wieder auf einen Punkt.

B6: (209) Ich glaube Grafik 1, weil es geradlinig weiter geht nach der Linse.

B7: (238-239) Ja, ich würde sagen so wie in Grafik 4. Aber ich kenne mich nicht wirklich aus mit Linsen, deshalb weiß ich es nicht besser.

B8: (229-230) Ich glaube Grafik 4, weil sich durch die Linse die Strahlen weiter ausdehnen und sie gleichmäßig verlaufen.

B9: (258-267) Das haben wir letztes Jahr oder vorletztes Jahr in Physik gemacht. Ich glaube wie in Grafik 1, weil da immer diese Linse war und das Licht wird ja auch so geteilt.

5.1. Lichtstrahlen breiten sich immer geradlinig aus.

B1: (413-415) Nein, glaube ich nicht, weil wenn man mit einer Lampe normal scheint geht es auch immer nach außen. Und bei diesem Beispiel bündelt es sich und wird enger.

B2: (328-338) Ja, ich denke schon. Wenn ich so eine Stehlampe habe, dann scheint die auch in alle Richtungen und nicht nur so. Wenn ich dann da stehe, dann wird es ja immer dünner und irgendwann (umso weiter ich weg gehe) sehe ich dann nur mehr ganz wenig Licht.

B3: (271-272) Ja, so lange sie nicht gebrochen werden durch irgendwas (Sammellinse oder Streulinse).

B4: (292) Nein, ich glaube nicht.

B5: (258) Ja, außer es wird halt gebrochen, dann nicht.

B6: (213) Nein, glaube ich nicht.

B7: (243) Ja, weil es keine Kurven sind oder so.

B8: (234) Ja.

B9: (271) So lange es nicht in ein anderes Medium kommt.

5.2. Lichtstrahlen werden beim Durchgang durch Linsen abgelenkt.

B1: (419) Ja, nach innen halt.

B2: (342-347) Ja, das ist doch bei der Lupe auch, wenn man sie hinhält, dass sie dann anders hin scheint [sieh Skizze].

B3: (276) Ja, eigentlich schon.

B4: (296-297) Was soll „durch Linsen“ überhaupt heißen? Dass es abgelenkt werden soll. Ich verstehe nicht was Licht mit Ablenkung zu tun hat.

B5: (263) Ja.

B6: (217-221) Ja, dass sie in eine andere Richtung gehen.

B7: (247-248) Ja, weil die Linse in einer gewissen Art geformt ist, sodass das Licht dann abgelenkt wird.

B8: (238-239) Nicht immer, denke ich. In dem Fall nicht. Es gibt schon verschiedenen Linsen, also Streulinse und Sammellinse.

B9: (275) Ja.

5.3. Die Sammellinse lenkt das Licht so ab, dass es auseinander läuft.

B1: (423) Nein, glaube ich nicht.

B2: (351) Nein.

B3: (280) Nein.

B4: (301) Nein. [Stellt sich Grafik 4 vor]

B5: (267) Nein, die Sammellinse sammelt ja das Licht und deswegen wird es konzentriert.

B6: (225) Nein, glaube ich nicht. [wie bei Bsp. 4]

B7: (252-253) Ja, ich weiß es nicht, glaube es aber schon. Ich weiß aber nicht, was genau die Sammellinse macht.

B8: (243) Ja.

B9: (279-283) Wie auseinander? Ich würde mir das so wie in Abbildung 4 vorstellen.

5.4. Die Sammellinse lenkt das Licht so ab, dass es zusammenläuft.

B1: (427) Ja, ich glaube das stimmt.

B2: (355) Ja, das eher.

B3: (284) Ja.

B4: (305) So. [Grafik 3]

B5: (271) Ja.

B6: (229) Nein, glaube ich nicht. [wie bei Bsp. 3]

B8: (247) Denke ich nicht.

B9: (287) Das hier [Abb. 3]

5.5. Die Sammellinse sammelt die Lichtstrahlen in einem Punkt. Das Licht bleibt in diesem Punkt.

B1: (432-433) Ja, das habe ich hier eingezeichnet. Ich denke schon, dass es so ist, bin mir aber nicht ganz sicher.

B2: (360-365) Ja, ich glaube schon. Obwohl nein, das wäre dann da drinnen (in der Linse) irgendwo.

B3: Kommt drauf an. Bei diesem Beispiel, da es so zerstreut weggeht sammelt sie das einfach nur in einem geraden Lichtstrahl.

B4: (310-315) Würde ich mir so vorstellen wie Grafik 1. Der Punkt ist überall in der Linse [siehe Skizze] und da geht es halt gerade weiter.

B5: (276-278) Nein das stimmt nicht, außer es wäre ein Gegenstand hier. Wenn ein Gegenstand da wäre, dann würde es da bleiben. Wenn aber da kein Gegenstand ist, dann breitet es sich danach wieder aus.

B6: (234-238) Ja, ich weiß nicht was mit „das Licht bleibt in diesem Punkt“ gemeint ist.

B8: (252) Nein. [Wie Grafik 3]

B9: (292) Also das hier [Abb. 3]

Macht es für dich einen Unterschied ob die Sammellinse das Licht sammelt oder bündelt.

B1: (455-468) Ich denke bei dem Beispiel bündelt sie das Licht, es geht dann alles auf diesen Punkt ein. Wenn es das sammelt, dann würde ich mir eher vorstellen, dass es da dann aufhört (in der Linse bleibt). Dass es nicht wirklich durchscheint, vielleicht ganz wenig. Bündelt ist eigentlich ein besserer Ausdruck.

B3: (295) Nein, ist kein Unterschied.

B4: (320) Bündelt ist ein komisches Wort. Ich könnte mir darunter nichts vorstellen.

5.6. Die Sammellinse lenkt die Lichtstrahlen in einen Punkt zusammen. Von dem Punkt aus läuft das Licht dann wieder auseinander.

B1: (438) Nein, glaube ich nicht, sonst wäre es ja dieses Beispiel (Grafik 2).

B2: (370) Ja, das wäre dann die Erklärung.

B3: (300) Nein.

B4: (325) Wie in Abbildung 4.

B5: (283) Ja, was ich gerade gesagt habe.

B6: (243) Das wäre Bsp. 2. Nein.

B8: (257) Nein. [Wie Grafik 2]

B9: (297-301) Das ist das [Abb. 2]. Ich würde das mit den Abbildungen in Beziehung setzen.

5.7. Die Form vom Strahl nach der Linse hängt von der Form vom Strahl vor der Linse ab.

B1: (433-445) Ja, das kann schon gut sein, weil ich denke, hier wird es auch so weitergehen. Dass es mal so anfängt, dann wird es da dicker und wieder dünner. Also ich denke, dass die beiden Seiten symmetrisch sind.

B2: (375) Nein, ich glaube nicht.

B3: (305) Ja.

B4: (330-332) Also, die Form nach der Linse, wenn es halt da so zusammengeht, dass es dann halt nachher so spiegelt. Noch einmal das gleiche halt.

B5: (288-291) Ja, das stimmt. Wenn dieser Scheinwerfer so ein großes Ding hätte, wo sich Licht ausbreitet und die Linse ist so klein, dann würde das Licht eher geradlinig gehen. Wenn es genau anders herum wäre, dann würde das Licht eher auseinander gehen. Es kommt auch darauf an, was für eine Linse das ist.

B6: (248) Ja, das glaube ich schon.

B7: (258-260) Naja, ich weiß nicht, so unterschiedlich kann es ja nicht sein, weil die Linse so geformt ist, dass die Lichtstrahlen in einer gewissen Weise gelenkt werden. Dann kann es ja nicht so unterschiedlich sein.

B8: (266-267) Ja, also wenn der Strahl eher breiter ist, dann bleibt das auch so, also wird breiter und geht nicht so zusammen.

B9: (306) Ja.

Was verstehst du unter Form?

B1: (449-450) Wie der Lichtstrahl weiterleuchtet. Da sieht man halt, dass er gerade weiterläuft und in dem wird er halt gebündelt und sieht halt aus wie so ein Dreieck eigentlich.

B2: (379-384) Wenn der Strahl jetzt so weggehen würde, dann würde er dann wieder so aussehen. Also, ob das ein Kegel ist oder gerade.

B3: (309-311) Wenn das Licht so zerstreut und wird es dann halt anders gebündelt als wie wenn es von Anfang an so aussehen würde, da würde es dann anders gebündelt werden.

B6: (252-256) Naja, so wie das da aufkommt so geht es auch weiter. Für mich ist Grafik 1 am wahrscheinlichsten, das kann ich mir am besten vorstellen.

B8: (273-275) Also ob es schmaler oder breiter ist oder zusammengeht.

B9: (310) Also, dass sie sich halt weiter ausbreiten, dann geradlinig und keine Ahnung.

SSL2

- B1:** (472-484) Ich glaube Grafik 1 stimmt, weil die Ausgangsform anders ist als bei dem ersten Beispiel. Beim vorigen Beispiel wird es immer größer und dann wird es wieder kleiner und bei diesem Beispiel ist es eigentlich immer durchgehend gleich.
- B2:** (388-390) [Grafik 4 gewählt] Wenn ich in der Klasse einen Beamer habe und ich stelle ihn ganz nah ran, dann habe ich auch nur ein ganz kleines Licht und umso weiter ich weg gehe, ein umso größeres Licht habe ich dann.
- B3:** (315-316) Grafik 3, weil es eine Sammellinse ist und da werden die Lichtstrahlen auf so einen Punkt gebündelt.
- B4:** (339-348) Ich glaube nicht, dass es gerade weiterlaufen wird und dass es so zusammengeht glaube ich auch nicht. Dass es da einfach aufhört, glaube ich auch nicht. Wenn das so gerade raufleuchtet und dann so zusammengeht und dann wieder so auseinander, das glaube ich einfach auch nicht. Es bleibt also nichts anderes mehr übrig, ich glaube es ist jetzt Grafik 4.
- B5:** (295-304) Jetzt sehe ich, dass es da oben falsch sein. [Es müsste bei SSL1 Antwort 1 und nicht 2 sein] Geht das Licht geradlinig in die Linse rein, dann wird es so wie in Grafik 2 gebrochen. Und wenn es vorigen Beispiel gleich ist und das Licht geht aber schräg rein, dann darf es nicht auch so sein. Dann müsste es gerade weiter gehen. Weil einmal scheint das Licht vom Scheinwerfer gerade rein und das andere Mal schräg, deswegen kann es nicht das gleiche Ergebnis sein.
- B6:** (260-261) Ich glaube Grafik 4, weil das für mich auch wieder am wahrscheinlichsten ist und ich mir die anderen nicht erklären kann.
- B7:** (267) Ich weiß es nicht, keine Ahnung.
- B8:** (279) Ich denke Grafik 1, weil das Licht sich gleichmäßig verteilt und auch so weiter geht.
- B9:** (314-320) Ich glaube Grafik 4. Das ist glaube ich so, wie beim Kino. Wenn Licht da einstrahlt wird es größer und gebrochen. Das Bild wird ja klein abgebildet und dann geht es durch diese Linse und wird größer. Wie beim Beamer oder Projektor.

6.1. Lichtstrahlen breiten sich immer geradlinig aus.

- B1:** (488) Nein, nicht immer.
- B2:** (394) In dem Fall ja.
- B3:** (320) Bis sie gebrochen werden durch irgendwas.
- B4:** (352) Glaube ich nicht, weil das wäre Grafik 1.
- B6:** (265) Nein, glaube ich nicht.
- B8:** (283) Also ja.
- B9:** (324) So lange es nicht in ein anderes Medium kommt.

6.2. Lichtstrahlen werden beim Durchgang durch Linsen abgelenkt.

- B1:** (492-499) Nein, sonst würde es nicht stimmen, dass der Lichtstrahl nach der Sammellinse so weitergeht. Ich glaube nicht, dass es abgelenkt wird. Im vorigen Beispiel wird der wegen der Ausgangsform abgelenkt.
- B2:** (398) Nein, ich glaube nicht.
- B3:** (324) Ja.

B4: (356-361) Unter abgelenkt kann ich mir nichts vorstellen. Wenn es heißen würde, die Lichtstrahlen ändern beim Durchgang durch Linsen ihre Richtung, dann würde ich darunter verstehen, dass wenn es gerade auftrifft dann so runter geht.

B6: (269) Ja, das glaube ich schon.

B8: (287-295) Nein, bei der Sammellinse nicht. Bei der Zerstreuungslinse würden sie, glaube ich, zueinander laufen.

B9: (328) Ja.

6.3. Die Sammellinse lenkt das Licht so ab, dass es auseinander läuft.

B1: (503) Nein, bei diesem Beispiel nicht.

B2: (402-406) Ja, dass es dann breiter auseinander geht.

B3: (328) Nein.

B4: (365-368) Ja, das glaube ich, dass es da so spiegelt und dann größer wird, auseinander geht. Also in der Linse wird es gespiegelt und läuft dann auseinander.

B5: (308) Nein.

B6: (273-278) Ja, in dem Fall schon. Beim vorigen Beispiel nicht, weil es da anders aus diesem Scheinwerfer rauskommt. Da ist es ja von dünn auf breit und da bleibt es gleich.

B8: (299) Nein.

B9: (332) Ja.

6.4. Die Sammellinse lenkt das Licht so ab, dass es zusammenläuft.

B1: (507) Nein.

B2: (410) Nein.

B3: (332) Ja.

B4: (372) Ich glaube nicht, dass es so zusammenläuft.

B5: (312) Ja.

B6: (282) Nein, glaube ich nicht.

B8: (303) Auch nicht.

6.5. Die Sammellinse sammelt die Lichtstrahlen in einem Punkt. Das Licht bleibt in diesem Punkt.

B1: (512) Nein, sonst hätte ich Grafik 3 angekreuzt.

B2: (415-419) Nein, dann würde das Licht in der Linse bleiben.

B3: (337) Ja.

B4: (377) Wenn ich da den Punkt habe und es dann da so gleich bleibt [siehe Skizze].

B5: (317) Nein, außer es ist ein Gegenstand da, weil das muss ja auch wieder wohin,

B8: (308) Auch nicht.

Was passiert mit dem Licht in dem Punkt?

B3: (341) Es geht immer geradlinig weiter, bis man es nicht mehr sieht.

6.6. Die Sammellinse lenkt die Lichtstrahlen in einen Punkt zusammen. Von dem Punkt aus läuft das Licht dann wieder auseinander.

B1: (517) Nein.

B2: (424) Nein, das wäre Grafik 2.

B3: (346) Nein.

B4: (382-383) Wenn da ein Punkt ist und dann läuft es zusammen und dann wieder auseinander. [Grafik 2]

B5: (322) Ja, also wenn kein Gegenstand da ist.

B8: (313) Nein.

6.7. Die Form vom Strahl nach der Linse hängt von der Form vom Strahl vor der Linse ab.

B1: (522) Ja, das würde ich als Begründung nehmen.

B2: (429-431) Naja, wenn da jetzt dieser Scheinwerfer wäre und das Licht würde so weggehen, dann würde es ja eigentlich nicht geradlinig rauskommen und dann würde der Strahl nachher auch nicht so ausschauen, wie wenn er da raus kommt.

B3: (351) Ja.

B4: (388) Ja, das glaube ich schon, weil ich sonst wieder das gleiche wie vorher genommen hätte.

B5: (237) Ja, so wie ich es oben gesagt habe.

B6: (293) Weil das hier eine andere Form hat als oben, wird es so abgelenkt.

B8: (318) Genau.

B9: (343) Ich glaube schon.

ZKL1

B1: (534-542) Ich glaube, dass es keine Schirmposition gibt bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden. Außer sie würden nebeneinander stehen. Ich habe eine Spiegelreflex Kamera und wenn da zwei Sachen weiter auseinander sind, dann kann ich entweder auf das oder das scharf stellen. Deswegen denke ich, dass man es nicht schafft beides scharf zu stellen, weil sie unterschiedliche Entfernungen haben.

B2: (435-460) Ich stell mir das wie beim Fotografieren vor. Umso näher ich rangehe, umso mehr fokussiert es sich auf das vordere und dann rückt diese in den Hintergrund. Und umso weiter ich weggehe, umso mehr habe ich beide oben. Ich glaube es gibt zwei Schirmpositionen, bei der beide Kerzen gleichzeitig abgebildet werden. Weil den Schirm kann ich da ja irgendwo aufstellen. Wenn ich ihn da aufstelle, dann habe ich sie immer noch eigentlich scharf abgebildet. Und wenn ich ihn dann da aufstelle, dann auch. [Kerzen werden am Schirm voreinander abgebildet: Skizze 1]

B3: (355-357) Ich hätte gesagt, es gibt keine Schirmposition bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden. Weil sie eben eine gewisse Entfernung voneinander haben und die Kerze (zeigt auf die Kerze, welche näher zur Linse ist) bräuchte vom Schirm nicht so viel

Abstand wie die Kerze (zeigt auf die Kerze, welche weiter weg von der Linse ist). Deswegen ist eine immer unscharf.

- B4:** (396-401) Ich glaube, dass es nur eine oder doch zwei Positionen gibt bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden. Ich glaube, wenn man sie scharf sehen will, müssen sie da (zeigt auf die Linse) gleich einfallen und sich dann da (zeigt auf den Schirm) berühren. Keine Ahnung, es gibt glaube ich nur eine Position.
- B5:** (331-338) [Es gibt keine Schirmposition bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden] Wenn die da hinten steht, kann die ja nicht gleich scharf sein. Weil es ja nur ein Schirm ist und wenn die Kerzen hintereinanderstehen, dann kann das nicht gleich scharf sein. Also es ist schon scharf wahrscheinlich, aber nicht ganz genau gleich scharf.
- B6:** (297-298) [Es gibt keine Schirmposition bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden] Weil ja immer eine im Vordergrund stehen muss und dann glaube ich, dass die andere unscharf werden muss.
- B7:** (268) [Es gibt keine Schirmposition bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden] Weil die eine Kerze immer weiter entfernt sein wird von der Linse als die andere Kerze.
- B8:** (322-334) Ich glaube es gibt unendlich viele Schirmpositionen, bei denen beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden. Es kommt darauf an wie weit es entfernt ist und auf die Schärfe des Bildes. Wenn es eher näher ist, wird es schärfer sein. Wenn es weiter weg ist, wird es nicht so scharf sein. Den Schirm kann man überall hinter der Linse aufstellen und beide Kerzen, also Kerze 1 und Kerze 2, sind gleichzeitig scharf.
- B9:** (347-363) [Es gibt keine Schirmposition bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden] Das wird irgendwie reflektiert wieder. Ich glaube desto weiter hinten (...) Ich glaube bei einer, weil nur einmal beide scharf sind, weil sie diesen (...) ich habe vergessen, wie das heißt wenn man was anschaut ab dem man das scharf sieht. Ich glaube alles was hinter einem gewissen Punkt ist, wird scharf abgebildet. Vor diesem Punkt ist es unscharf.

7.1. Damit ein Gegenstand scharf abgebildet wird, muss er kleiner sein als die Linse.

- B1:** (546-551) Damit würde ich als Begründung gar nichts anfangen, weil ich meine diese Linse bündelt auch.
- B2:** (464-470) Ja, ich glaube schon. Eine große Blume wird sicher nicht so scharf abgebildet werden wie eine kleine, also es werden nicht so viele Details gezeigt.
- B3:** (361-366) Das muss eigentlich nicht sein, weil das Licht da irgendwie so zusammen geht und dann geht es da wieder auseinander
- B4:** (405-406) Keine Ahnung, ob das sein muss. Nein, das glaube ich eigentlich nicht. Ich glaube, dass es egal ist wie groß die Linse ist.
- B5:** (342) Nein.
- B6:** (302-306) Ja, glaube ich schon. In diesem Beispiel sind aber beide Kerzen kleiner als die Linse.
- B8:** (338-342) Nein, er kann auch größer sein, weil die Strahlen eh durch die Linse gehen.
- B9:** (367) Ich glaube nicht weil das Licht ja so reflektiert wird, dass man das sieht. Halt nach oben.

7.2. Gegenstände sind nur scharf, wenn sie sich im Brennpunkt befinden.

B1: (555-562) Ich weiß nicht genau was der Brennpunkt ist. Vielleicht das, was man von dieser Linse im Winkel sieht, das kann man scharfstellen, das würde ich als Brennpunkt sehen. Oder vielleicht was in der Mitte von der Linse ist. Obwohl nein, unter Brennpunkt könnte ich mir nichts vorstellen genau.

B2: (474) Ja.

B3: (370-378) Ich weiß nicht, was Brennpunkt im optischen Sinn für eine Bedeutung hat.

B4: (410) Was ist der Brennpunkt?

B5: (346) Nein, ich denke nicht.

B6: (310) Ich weiß was damit gemeint ist, aber ich weiß nicht ob das nur dann scharf ist.

B8: (346) Ja.

B9: (371) Ja, oder halt danach.

Was verstehst du unter Brennpunkt?

B2: (478-484) Ich denke mal der Punkt auf der Linse wo das Licht durchfällt oder der Docht von der Kerze.

B5: (350) Dort wo sich das Licht bei der Sammellinse konzentriert, aber ich weiß es nicht mehr.

B6: (314) Das da (zeigt auf F auf der Abbildung).

B8: (350-351) Das haben wir voriges Jahr gemacht. Das ist glaube beim Anfang der Strahlen, vom Ausgangspunkt, aber ich bin mir nicht ganz sicher um ehrlich zu sein.

B9: (375) Der Punkt, ab dem man es scharf sieht.

7.3. Jede Linse hat mehr als einen Brennpunkt.

B1: (566-571) Das ist halt schwer, weil ich weiß halt nicht genau was ein Brennpunkt ist.

B2: (491) Ja, ich glaube schon. Kommt halt drauf an wie man durchschaut.

B5: (354) Nein nur einen. Wir haben immer nur einen aufgezeichnet.

B6: (318) Nein, glaube ich nicht.

B8: (355) Nein, ich denke nur einen.

Wie viele Brennpunkte hat eine Linse?

B2: (495) Wenn ich von da drauf schaue, da drauf schaue. Ja, halt von allen Seiten.

7.4. Weil das "Scharfstellen" nur funktioniert, wenn beide Kerzen auf gleicher Ebene sind.

B1: (576) Ja, das würde ich nehmen.

B2: (500-519) Ja wenn beide so stehen, funktioniert das scharfstellen [siehe Skizze 1]. Ich denke, dann würde irgendeine Kerze schärfer sein und ich glaube das wäre die größere. Ich habe es mir vorher so vorgestellt, dass sie so stehen. Jetzt glaube ich, dass es keine Schirmposition gibt, bei der beide Kerzen gleichzeitig scharf abgebildet werden.

B3: (383) Ja.

B4: (415-416) Wenn sie auf gleicher Ebene wären, dann würden sie ja gleich groß sein. Aber das sind sie nicht und ich glaube auch, dass es egal ist wie groß sie sind.

B5: (359) Also, damit beide scharf sind dann, schon.

B6: (323-327) Wenn die zwei Kerzen nebeneinander stehen, kann es schon sein, dass beide scharf sind.

B8: (360-372) Ja. Ebene bedeutet für mich wenn eine darunter (niedriger) und eine darüber (höher) ist. In diesem Beispiel sind die Kerzen auf einer Ebene, aber nur halt näher bei der Linse und weiter weg.

B9: (384-388) Aja, die haben glaube ich jeweils einen anderen Brennpunkt. Die Kerzen sind auf gleicher Ebene bedeutet, dass sie am gleichen Punkt stehen.

7.5. Für jede Gegenstandsweite gibt es nur eine Bildweite.

B1: (580-583) Nein, das glaube ich nicht dass es stimmt. Wahrscheinlich ist damit gemeint, wenn der Gegenstand hier steht, dass man mit dieser Linse nur ein Bild, also eine Bildweite, von dem machen könnte. Diese Antwort (diese Begründung) verstehe ich auch nicht ganz.

B2: (523-531) Das verstehe ich nicht ganz. Unter Gegenstandsweite stell ich mir die Größe des Gegenstandes vor und unter Bildweite, vielleicht wie weit ich durch die Linse sehe.

B3: (387-394) Ja. Gegenstandsweite ist das, wie weit der Gegenstand von der Linse entfernt ist. Und Bildweite ist das, wenn ich jetzt den Gegenstand habe und da die Linse, dann muss der Bildschirm in einem gewissen Abstand von der Linse sein damit ich das Bild scharf sehen kann.

B4: (420-427) Ja, ich glaube schon. Es gibt halt nur eine Richtung, wo sie dann wieder hin leuchten oder so. Gegenstandsweite bedeutet, wie weit die Gegenstände von dieser Linse entfernt sind und Bildweite die Entfernung von Linse zu Schirm.

B5: (363-367) Ich denke nicht, aber ich weiß es nicht. Was Gegenstand- oder Bildweite bedeutet weiß ich nicht mehr.

B6: (331) Keine Ahnung was das heißt.

B8: (376-389) Nein. Gegenstandsweite ist, wie weit das voneinander entfernt, also der Gegenstand von der Linse. Und Bildweite, also die Entfernung vom Schirm von der Linse, ist abhängig von dieser Gegenstandsweite.

B9: (392-410) Ich glaube schon, weil man sieht immer nur eine Kerze scharf, weil sie verschiedene Größen haben und weiter weg sind. Unter Gegenstandsweite verstehe ich den Abstand des Gegenstandes von der Linse, ob er weiter weg ist oder näher dran ist. Und unter Bildweite von wo weit weg das Bild von der Kerze reflektiert wird.

7.6. Unterschiedliche Gegenstandsgröße heißt unterschiedliche Bildweite.

B1: (587-627) Ja. Geht es darum, wenn die Kerze jetzt noch doppelt so groß wäre, dann wäre die Bildweite ja auch anders? Die Bildweite ist, wie ich das von der Linse aus sehe und natürlich sehe ich diese Kerze anders als die. Die Kerzen würde ich in der Linse sehen. Und kleinere Kerze ist wahrscheinlich auch dünner, also wird man von der nur den Rand so sehen und das obere. Der Schirm ist vielleicht da, um Schatten zu machen aber das weiß ich nicht genau.

B2: (535-547) Ja, das glaube ich schon. Unter Gegenstandsgröße verstehe ich wieder die Größe des Gegenstandes. Gegenstandsweite bedeutet, so weit wie ich den Gegenstand sehe. Und die Bildweite bedeutet, so weit wie ich ein Bild sehen.

B3: (398-405) Wenn ich die Kerze da herstelle werde ich sie nicht scharf sehen können am Bildschirm. Die muss schon ein bisschen weiter weg sein. Weil sie eben größer ist als die Linse.

B4: (431-432) Ja, ich glaube wenn ich die Kerzen näher dran stelle dann (...) Also wenn die unterschiedlich groß sind. Keine Ahnung.

B5: (371) Gegenstandsgröße weiß ich schon was das ist. Wie groß halt der Gegenstand ist.

B6: (335) Keine Ahnung.

B8: (393) Nein, ich denke nicht.

B9: (414) Ja, glaube schon. Keine Ahnung.

7.7. Unterschiedliche Gegenstandsweite heißt unterschiedliche Bildweite.

B1: (631-641) Das stimmt glaube ich auch, weil wenn diese Kerze genau vor der Linse wäre, würde man von der anderen gar nichts mehr sehen, weil sie halt im Hintergrund steht. Das bedeutet diese Kerze wird größer wenn man sie weiter nach vorne gibt. Gegenstandsweite bedeutet wie weit der Gegenstand von der Linse entfernt ist. Bildweite bedeutet wie groß man es in der Linse sieht.

B2: (551-552) Ja, weil wenn der Gegenstand weiter entfernt ist, habe ich auch eine größere Bildweite.

B3: (409) Ja.

B4: (436) Ja, ich glaube schon. Das ist eh das, was ich gemeint habe.

B8: (397-398) Ja oder nein. In dem Fall nicht weil sonst hätte ich meine Aussage selbst in Frage gestellt. Ich denke nicht, nein.

B9: (418-419) Halt wie weit der Gegenstand entfernt ist und bei der Bildweite am Schirm verändert sich das auch.

7.8. Die Linse bündelt das Licht der Kerze nur an genau einer Stelle zu einem Schnittpunkt.

B1: (646-656) Mit dieser Begründung würde ich auch nichts anfangen, weil ich sie nicht ganz verstehe. Da geht das Licht durch und wird jetzt nur in einer Stelle der Linse gebündelt? Für mich wäre der Schnittpunkt in der Mitte der Linse.

B2: (561-569) Ja, der Schnittpunkt wäre irgendwo auf der Linse.

B3: (414-415) Ja, vor der Linse gehen die Lichtstrahlen zusammen und dann gehen sie wieder auseinander und auf den Schirm drauf.

B4: (441) Habe keine Ahnung was das meint.

B5: (378) Keine Ahnung.

B6: (342) Keine Ahnung.

B8: (403-412) Ja, also wo halt das Licht von der Linse auf den Schirm geworfen wird. Es gibt nur einen Schnittpunkt, aber der Schirm kann an verschiedenen Stellen aufgestellt werden und trotzdem ist es scharf.

B9: (424) Ich glaube schon weil es sonst mehrere Bilder geben würde.

HAL1

B1: (660-672) [Grafik 1 gewählt] Das ist jetzt aber spiegelverkehrt. Weil wenn das abgedeckt wäre, würde man eh das nicht sehen, aber das würde dann nicht nach oben schauen. Ist blöd, weil ich nicht weiß für was der Schirm gut ist, aber ich glaube das ändert nichts. Ich glaube man sieht den ganzen Bleistift. Den Bleistift sieht man wieder in der Linse.

B2: (573-579) Logisch wäre Grafik 3, weil wenn es ganz gerade wäre, dann wäre es für mich logisch dass das zu sehen bleibt. Weil das sieht man ja dann nicht mehr. Weil das ja nur da durch geht und wenn da ein Karton ist dann verdeckt es ja eigentlich das Bild.

B3: (419-421) Grafik 4, weil die Lichtstrahlen die ja so gehen und es da halt nicht durchgehen kann, weil der Karton im Weg ist. Deswegen wird nur der obere Teil des Bleistifts dort unten abgebildet.

B4: (445-455) [Grafik 4 gewählt] Ich glaube, dass das einfach so geht, dann dreht sich das um und dann sehe ich das halt so. Keine Ahnung warum. Ich glaube nicht dass das Bild unverändert wird. Der Bleistift geht so zur Linse, in der Linse wird er umgekehrt und der Karton nimmt dann den oberen Teil weg und die Spitze geht dann weiter.

B5: (382-385) Sind die nicht irgendwie verkehrt? Hier ist es so und da ist es so. Aso, nein das dreht das da irgendwie. Ich glaube es ist Grafik 3. Wenn das so gedreht wird und der Karton deckt halt dann das ab. Wenn der Bleistift dann so ist, dann sieht man halt nur mehr (...) Das da wird dann da rein und wird dann halt verkehrt da so rauf projiziert.

B6: (346-351) [Grafik 3 gewählt] Weil ja theoretisch dann nur die Hälfte von der Linse da ist und deswegen glaube ich nicht dass man das obere dann sieht. Der untere Teil ist dann oben auf dem Schirm, weil das immer verkehrt ist.

B7: (272-273) [Grafik 3 gewählt] Weil das wird ja dann auf dem Kopf herum dargestellt und wenn jetzt der Teil (zeigt auf die Bleistiftspitze) verschwindet dann sieht man nur noch den Teil.

B8: (416-420) [Grafik 4 gewählt] Wenn der Karton fest ist und über die obere Hälfte gestellt wird, kann es ja keine Strahlen sammeln und dann auf den Schirm weitergeben. Die untere Hälfte ist ja nicht verdeckt und da geht es glaube ich. Also man sieht die untere Hälfte.

B9: (428-434) [Grafik 4 gewählt] Das wird irgendwie unten reflektiert. Ich glaube das geht so und dann so. Ich glaube das hier wird durch diesen Schnittpunkt da und dann so reflektiert und hier wird das dann abgebildet [siehe Skizze].

8.1. Von jedem Punkt des Bleistifts geht nun weniger Licht durch die Linse durch.

B1: (676) Das glaube ich stimmt nicht.

B2: (583-584) Nein, eigentlich gleich viel, aber man sieht halt das da oben nicht. Sie gehen zwar gleich durch, aber sie werden halt aufgehalten.

B3: (425) Nein.

B5: (389-393) Warum sollte weniger Licht durch die Linse durchgehen. Nein das stimmt nicht, nur halt dort wo der Karton ist.

B6: (355) Ich weiß nicht was damit gemeint ist.

B8: (424) Es geht gleich viel Licht von jedem Punkt, glaube ich.

B9: (438) Nein, ich glaube nur von der unteren Hälfte geht weniger Licht durch

8.2. Nur vom unteren Teil des Bleistifts geht Licht durch die Linse durch.

B1: (680) Das glaube ich auch nicht, weil sonst hätte ich halt das angekreuzt.

B2: (588) Nein, weil vom oberen geht es ja auch durch, aber es wird dann wieder aufgehalten.

B3: (429) Nein.

B5: (397) Nein.

B6: (359) Ja, das glaube ich. Eben, dass nur das untere auf den Schirm geht.

B8: (428) Wenn der Karton darüber ist, dann schon.

B9: (442) Ich glaube nur vom oberen.

8.3. Nur vom oberen Teil des Bleistifts geht Licht durch die Linse durch.

B2: (592) Nein, weil auch was vom unteren Teil durchgeht.

B3: (433) Ja.

B5: (401) Nein.

B6: (363) Nein.

B8: (432) Nein.

8.4. Die Sammellinse macht verkehrte Bilder. Deshalb wechselt die verdeckte Seite die Position.

B1: (687-693) Das glaube ich stimmt, weil da sieht man den Bleistift mit der Spitze nach oben und da wird das Bild dann halt umgekehrt angezeigt. Also könnte man das als Begründung eigentlich schreiben.

B2: (597-602) Nein, ich bleibe bei dem. Wenn ich das als Begründung wählen würde, wäre die Spitze unten.

B3: (438) Ja.

B5: (406) Ja, ich habe es mir so gedacht.

B6: (368) Ja.

B8: (437-451) Das stimmt. Ich denke dass das Licht da weiter geht und dann hier auf dem Schirm wieder projiziert wird. Deswegen glaube ich dass eher die untere Bildhälfte verschwindet weil die Sammellinse verkehrte Bilder wiedergibt. Die Bleistiftspitze wird dann auf dem oberen Teil des Schirms dargestellt. [siehe Skizze]

B9: (449) Das habe ich eh hier aufgezeichnet.

8.5. Die Sammellinse macht verkehrte Bilder. Deshalb kommt das Licht vom unteren Teil des Bleistifts auf den oberen Teil des Schirms.

B1: (698-706) Also, dass die Sammellinse verkehrte Bilder macht glaube ich schon. Und dass das Licht vom unteren Teil des Bleistifts auf den oberen Teil des Schirms kommt kann auch sein. Wenn da der untere Teil des Bleistifts ist, geht das vielleicht am Karton vorbei und zum oberen Teil des Schirms. Es geht vielleicht gerade da in die Linse rein und dann wird es da vielleicht abgelenkt von der Linse und geht dann da her zum Schirm.

B2: (607) Ja.

B3: (443) Nein.

B5: (411) Ja.

B6: (373) Ja.

B8: (456-466) Nein ich denke nicht. Ich würde meine Antwort ändern, aber ich habe mir jetzt selber widersprochen. Also ich glaube das Bleistiftende wird oben auf dem Schirm abgebildet. Das heißt die untere Bildhälfte verschwindet und nicht die obere. Ich glaube es ist eher Antwort 3 richtig.

B9: (454) Dann würde das da rauf.

8.6. Die Sammellinse macht verkehrte Bilder. Deshalb kommt das Licht vom oberen Teil des Bleistifts auf den unteren Teil des Schirms.

B1: (711-718) Das glaube ich nicht, weil wenn er da zur Linse geht wird er halt da vielleicht gespiegelt und dann geht er nur auf den Karton drauf. Wenn man den Karton vor die Linse stellen würde, dann würde man nur noch die Hälfte des Bildes sehen. Also wahrscheinlich die obere Hälfte vom Bleistift nicht oder nur zum Teil. [wie Antwort 3]

B2: (612) Wäre der Karton nicht da, dann glaube ich schon.

B3: (448) Ja.

B5: (416) Nein.

B6: (378-384) Ja, das stimmt auch, dass sich das umdreht. Also, dass jetzt eben die Bleistiftspitze unten ist und das Ende oben. Aber das Licht kommt nicht auf den Schirm, weil ja der Karton da ist.

B8: (471) Ja, aber durch den Karton nicht denke ich mal.

B9: (459) So, wie bei mir.

8.7. Die Linse bricht das Licht und lenkt es am Karton vorbei.

B1: (722-724) Wenn man 8.5. als Begründung nimmt dann würde 8.7. da auch dazu passen. Weil die Linse das Licht vom Bleistift brechen und dann zum Schirm lenken wird. Also am Karton vorbei.

B2: (616) Nein, das glaube ich nicht.

B3: (452-453) Nur von dem Stück da oben wird Licht praktisch am Karton vorbei gelenkt, aber das würde es auch wenn der Karton nicht da wäre.

B5: (420) Ja, es bricht halt hinter dem Karton.

B6: (388) Keine Ahnung was damit gemeint ist.

B8: (475) Nein, nicht.

B9: (463-464) Nur das von hier wird reflektiert, das andere wird gleich aufgehalten oder es geht ganz wenig durch.

Abbildung a)

B1: (728-733) Ich habe mir eher gedacht wenn es reflektiert, dass es dann gerade reflektiert. Und da gehen nur drei Lichtstrahlen runter zur Linse und die werden dann dagegen gebündelt. Da auch nur drei, aber man sieht trotzdem den ganzen Bleistift. Es sollte schon gehen, aber ich bin mir nicht sicher.

B2: (620-622) Sieht kompliziert aus, aber ergibt irgendwie Sinn. Dass von jedem Punkt des Bleistifts also vom oberen, vom Anfang des Bleistifts, vom Ende des Bleistifts da gehen die Strahlen weg und manche treffen sie dann den Karton und manche gehen halt unten am Karton vorbei.

B3: (457-461) Da würde ich nicht allem zustimmen. Das heißt eigentlich, dass das Licht an sehr vielen Stellen an der Linse gebrochen wird und dann wieder zur selben zum selben Endergebnis kommt. Das könnte ich mir eigentlich schon vorstellen, aber ich glaube nicht, dass es komplett richtig ist. Ein paar Pfeile sind sicher richtig, aber ich glaube nicht dass es komplett richtig ist. Nein das stimmt nicht.

B5: (424-245) Sieht sehr kompliziert aus. Wenn man das in langsamen Schritten erklärt, ist es glaube ich nicht so kompliziert. Das würde aber nicht passen weil der Karton da ist.

B6: (392-400) Könnte stimmen. Ich bin mir aber nicht sicher, weil es ja doch ein paar auf den Karton gehen.

B8: (479-485) Da wird von der Linse alles auf den Schirm am Karton vorbei gelenkt Die Linse macht es möglich das Licht des Bleistiftes auf den Schirm zu werfen, obwohl ein Karton eigentlich auf der oberen Ebene ist. Das könnte richtig sein.

B9: (468-470) Das da oben wird da dargestellt, das habe ich eh. Und das da unten wird teilweise aufgehalten und geht teilweise durch. Dass der Karton nichts beeinträchtigt. Ich glaube das ist richtig.

Abbildung b)

B1: (737-747) Ich glaube nicht, dass man die Abbildung dunkler aber trotzdem noch als ganzer sieht. Ich kann mir nicht vorstellen, dass der Bleistift jetzt dunkler angezeigt wird, nur wegen einem Stückchen Karton.

B2: (626-627) Nein, das ist komisch, weil die Strahlen ober der Linse so einen Knick machen.

B3: (465-466) Nein, das ist es sicher nicht, weil da wäre der Bleistift da viel dunkler. Außerdem sieht man nur das untere und das obere gar nicht.

B5: (429-430) Ja, das ist irgendwie dunkler und das glaube ich nicht. Es kommt drauf an wo das Licht ist, wenn das Licht da hinten ist. Weiß ich nicht.

B6: (404-408) Nein, das glaube ich nicht. Das sieht komisch aus.

B8: (489-495) Das könnte auch richtig sein, ich denke aber nicht. Weil oben wollen zwei Strahlen vorbei am Karton und dann wird von der Spitze eins ganz unten an der Linse und eins direkt durch. Die sammeln sich dann und gehen auf den Schirm, aber ich glaube das ist nicht richtig.

B9: (474-482) Ich glaube, dass mehr Licht (Lichtstrahlen) vom Bleistift reflektiert wird, halt vom Bleistift. Der Bleistift ist bisschen dunkler, weil weniger Licht da ist. Aber das glaube ich nicht.

Abbildung c)

B1: (748-750) Ja, das hätte auch stimmen können, aber ich denke halt, dass die Abbildung a gestimmt hat.

B2: (631-632) Ja, das war meine Erklärung, das würde auch Sinn machen. Ich glaube das ist die Vereinfachung von a), weil da halt nur ein Pfeil weggeht.

B3: (470) Nein, man sieht das untere, das ist auch falsch.

B5: (434-435) Ist halt so wie ich gesagt habe, also dass es dann so aussehen sollte. Ich denke halt dass es so richtig ist.

B6: (412) Ja, das ist meine.

B8: (499-504) Ja, ich glaube das, das war ja meine Meinung, dass die oberen halt nicht durchgehen und das untere halt direkt.

B9: (486) Ist völlig falsch glaube ich.

Abbildung d)

B1: (754-756) Ist eh genau dasselbe nur umgekehrt. Also ich glaube eben, dass da Licht gespiegelt wird und das dann da aufkommt. Das vielleicht nur ein bisschen was am Karton vorbeikommt aber es trotzdem reicht um den ganzen Bleistift zu sehen.

B2: (636-637) Würde es stimmen das die Linse das Bild umdreht, dann wäre das auch noch logisch. Aber das weiß ich nicht ob sich das dreht.

B3: (474-479) Nein, hier wird das Licht ja gebrochen. Hätte auch nicht gesagt, dass das stimmt.

B5: (439-440) Das sieht aber auch ziemlich logisch aus. Nein, das kann nicht sein weil da wird ja der Bleistift schon irgendwie vorher gedreht. Ich glaube nicht dass es richtig ist.

B6: (416) Nein.

B8: (508) Ja, das habe ich halt zuerst geglaubt aber ich glaube das ist falsch.

B9: (490-491) Das habe ich so gezeichnet. So ähnlich ist es, aber ich glaube auch nicht richtig.

Abbildung e)

B5: (444-445) Das kann nicht richtig sein, weil wenn es durch diesen Punkt durch geht, da wird es ja nicht gebrochen.

B6: (420) Nein.

B8: (512) Das ist auch falsch, da nur ein Strahl durchgeht und es sollten mehrere sein.

B9: (495) Das ist glaube ich falsch, weil es durch diese Punkte (die Brennweite) gehen sollte.

Abbildung f)

B5: (449) Ja, weiß ich nicht. Keine Ahnung.

B6: (424-428) Glaube ich auch nicht. Die ist komplizierter als Abbildung a).

B8: (516-529) Ja, da sammeln sich die Strahlen und gehen auf einen Punkt. Die Linse umgeht also den Karton. Das könnte auch richtig sein. Die Abbildung ist einfacher als Abbildung a), weil sich da alle sammeln und dann auf einen Punkt gehen.

B9: (503-507) Ich glaube, dass das gerade da reingeht und dann wird es halt gebrochen weil das die Brennweite ist und dann wird nur der untere Teil auf der verkehrten Seite abgebildet. Das ist eine andere Variante [Kugelschreiber Skizze] ich weiß nicht welches von denen richtig ist. Ich glaube die ist teilweise falsch. Es sollten auch mehr Lichtstrahlen weggehen oder nicht nur drei.

Wenn du jetzt alle gesehen hast, welche würde das am besten erklären?

B2: (641) Abbildung a)

F – Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Sebastian Glantschnig
Geburtsdatum: 12.12.1988
Geburtsort: Mistelbach

Ausbildung

1995-1999 Volksschule Gaweinstal
1999-2003 Hauptschule Gaweinstal
2003-2007 BORG Mistelbach
2008-2013 Lehramtsstudium (UF Bewegung und Sport UF Physik)
an der Universität Wien

Berufliche Tätigkeiten

2007: Ableisten des Grundwehrdienstes beim Österreichischen Bundesheer
2009: Snowboardlehrer in der Skischule Radstadt
seit 2009: Snowboardbegleitlehrer bei Schulschikursen
2009: Ballsporttrainer für Volksschulkinder
seit 2010: Tutor für die Übungen zur Physik für Ernährungswissenschaften
an der Fakultät für Physik der Universität Wien

Wien, am 15.Mai 2013