

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Erstellung, Evaluierung und Re-Design von
forschungsbasierten Unterrichtsmaterialien zum
Thema Farbenlehre in der Sekundarstufe 1

Verfasserin

Iris Fehringer

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:	A 190 412 406
Studienrichtung lt. Studienblatt:	Lehramt UF Physik UF Mathematik
Betreuer:	Univ. Prof. Dr. Martin Hopf

Danksagung

Ich möchte allen, die mich bei meiner Diplomarbeit unterstützt haben danken. Dazu gehören meine Betreuerin Mag. Dr. Claudia Haagen-Schützenhöfer, der ich für ihr Engagement, die gute Betreuung und Zusammenarbeit bei der Entwicklung und Verbesserung der Unterrichtsmaterialien und der Diplomarbeit danken möchte. Außerdem danke ich den Schülerinnen und Schülern der ersten Klassen der Camillo Sitte Lehranstalt, die sich freiwillig für die Befragungen zur Verfügung gestellt haben.

Mein besonderer Dank gilt Christian Ertl, der mir bei vielen technischen Problemen weitergeholfen hat, und meiner Mutter Maria Fehringer, deren Unterstützung ich mir immer sicher sein konnte.

Wien, Mai 2013

Abstract

Viele Lehrerinnen und Lehrer behandeln das Thema geometrische Optik in der Unterstufe im Physikunterricht oft nur sehr kurz, der Farbenlehre wird ebenfalls nur eine geringe Bedeutung beigemessen. Unter anderem existieren aus diesem Grund sehr viele Alltagsvorstellungen von Schülerinnen und Schülern zum Thema Farbenlehre, die mit den physikalischen Vorstellungen nicht übereinstimmen. Wenn die Farbenlehre nur oberflächlich oder gar nicht unterrichtet wird, beenden viele Lernende die Schule mit Alltagsvorstellungen zu diesem Thema.

Im Rahmen der Diplomarbeit von Joachim Rottensteiner (2012) wurden bereits forschungsbasierte Unterrichtsmaterialien zum Thema geometrische Optik erstellt, das Thema Farbenlehre wurde jedoch nicht behandelt. Bei den nachfolgenden Akzeptanzbefragungen stellten viele Schülerinnen und Schüler, die nun die Basiskonzepte verstanden hatten, immer wieder Fragen zur Farhentstehung.

Empirische Untersuchungen zum Thema Schülervorstellungen in der Farbenlehre gibt es viele, meist mangelt es jedoch an der Umsetzung der empirischen Befunde für die Schulpraxis durch die Lehrkräfte. Daher ist es das Ziel der Diplomarbeit, hilfreiche Unterrichtsmaterialien für Schülerinnen und Schüler der vierten Klasse Unterstufe, sowie für die unterrichtenden Lehrerinnen und Lehrer zum Thema Farbenlehre zu entwickeln. Die Materialien sollen auf naive Theorien der Schülerinnen und Schüler aufmerksam machen und weiteren Fehlvorstellungen vorbeugen.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	9
2	THEORETISCHER HINTERGRUND	11
2.1	Die Problematik	11
2.2	Schülervorstellungen zur Farbenlehre.....	12
2.2.1	Schülervorstellungen zu Licht und Interaktion Licht mit Materie	12
2.2.2	Schülervorstellungen zu Körperfarben	13
2.2.3	Schülervorstellungen zu Farbsubtraktion und Farbfiltren	14
2.3	Conceptual Change	15
2.4	Das Modell der didaktischen Rekonstruktion	18
3	ERPROBTE INTERVENTIONEN UND DEREN KEY-IDEAS	25
3.1	Der Lehrgang „Unterricht Physik“	25
3.2	Interventionsvorschlag von Viennot et al. zu Körperfarben	27
3.3	Design Based Research als Entwicklungsprinzip.....	28
4	DAS ENTWICKELTE UNTERRICHTSMATERIAL	30
4.1	Design des Materials	30
4.2	Didaktische Rekonstruktion einzelner Konzepte für das Unterrichtsmaterial.....	36
4.2.1	Weißes Licht.....	37
4.2.2	Absorption, Farbfiler.....	42
4.2.3	Körperfarben.....	46
4.3	Die Sachstruktur der Intervention	52
4.3.1	Sachstruktur von Schulbüchern	52
4.3.2	Sachstruktur des Lehrgangs Unterricht Physik.....	54
4.3.3	Sachstruktur des entwickelten Unterrichtsmaterials.....	55
4.3.4	Vergleich der Sachstrukturen	61
5	UNTERSUCHUNGSDESIGN UND UNTERSUCHUNGSMETHODE	62
5.1	Untersuchungsdesign	62
5.2	Die Untersuchungsmethode	63
5.3	Ziele der Akzeptanzbefragung	65
5.4	Durchführung der Akzeptanzbefragung.....	65
5.4.1	Rahmenbedingungen.....	65
5.4.2	Vorgeschaltete Fragebögen	67
5.5	Auswertungsmethode	71
5.6	Voruntersuchungen.....	72
5.7	Probefragungen.....	75
5.7.1	Probefragung 1.....	75

5.7.2	Expertenbefragung und Implikationen	76
5.7.3	Probebefragung 2	78
5.7.4	Implikationen	94
5.8	Hauptbefragungen	95
5.8.1	Hauptbefragung 1	95
5.8.2	Hauptbefragung 2	120
5.8.3	Hauptbefragung 3	140
5.8.4	Hauptbefragung 4	162
5.9	Auswertung der Fragebögen	181
5.9.1	Auswertung der Pisa-Skalen	181
5.9.2	Auswertung der Farbitems	183
6	UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE.....	188
6.1	Key-idea 1	191
6.2	Key-idea 2	192
6.3	Key-idea 3	193
6.4	Key-idea 4	193
6.5	Key-idea 5	194
6.6	Key-idea 6	194
6.7	Key-idea 7	195
6.8	Key-idea 8	195
6.9	Key-idea 9	196
6.10	Key-idea 10	197
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK	200
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	202
9	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	206
10	QUELLENANGABEN DER ABBILDUNGEN DES LEITFADENS DER AKZEPTANZBEFRAGUNG	212
11	TABELLENVERZEICHNIS	212
12	ANHANG A SCHÜLERMATERIAL DER AUSGANGSVERSION	214
13	ANHANG B SCHÜLERMATERIAL DER ENDVERSION	240
14	ANHANG C LEITFADEN DER AKZEPTANZBEFRAGUNG.....	264
	SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG	297

1 Einleitung

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, Unterrichtsmaterialien für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe 1 zum Thema Farbenlehre zu entwickeln. Die Unterrichtsmaterialien berücksichtigen bekannte Schülerinnen- bzw. Schülervorstellungen, versuchen auf diese aufmerksam zu machen sowie ihnen vorzubeugen. Das soll vor allem durch schülerinnen- bzw. schülergerechte Abbildungen, Erklärungen und Versuche gelingen. Durch Verbesserungen und Erweiterungen am Austrian Educational Competence Centre Physics besteht die Option, dass diese Lernmaterialien zu einem späterem Zeitpunkt in ein Schulbuch integriert werden, um Lernende sowie Lehrende beim Optikunterricht zu unterstützen.

Untersucht wird, wie sich die gewählten Instruktionselemente auf das Verständnis des Konzepts von weißem Licht und auf das Verständnis der Interaktion zwischen Licht und Materie auswirken. Außerdem wird beobachtet, wie die gewählte Rekonstruktion von Körpern als Zwischensender für eine Lichtsorte und als Energiewandler für die anderen Lichtsorten des einfallenden Lichts das Verständnis der Körperfarben beeinflusst. Das Hauptaugenmerk ist dabei auf die Konzepte gerichtet, auf die Schülerinnen und Schüler in den einzelnen Interaktionsphasen zurückgreifen, um die Körperfarben zu erklären.

Kapitel 2 befasst sich anfangs mit durch bekannte Fachdidaktiker erhobene Schülervorstellungen zum Thema Licht und Farbenlehre. In einem Unterkapitel werden die Theorien des Conceptual Change näher erörtert und aufgezeigt, wie man Schülerinnen und Schüler im Idealfall im Lernprozess so unterstützt, dass sie physikalische Ideen und Erkenntnisse in ihr bereits vorhandenes Wissen richtig integrieren. Damit dies gelingen kann, bedarf es guter Vorarbeit durch eine Didaktische Rekonstruktion.

In Kapitel 3 werden Informationen über den Lehrgang von Schmidt-Roedenbeck, Müller, Wiesner und Herdt sowie die Ideen von Viennot gegeben, die die Basis für die entwickelten Unterrichtsmaterialien bildeten. Weiters wird in diesem Kapitel das Entwicklungsprinzip Design Based Research vorgestellt.

Im nächsten Kapitel wird der Planungs- und Entwicklungsprozess des Unterrichtsmaterials näher beschrieben, sowie die didaktische Rekonstruktion einiger Key-ideas. Den Abschluss des Kapitels bildet ein Vergleich zwischen der Sachstruktur von herkömmlichen Schulbüchern und jener des Lehrgangs mit der im Unterrichtsmaterial gewählten Sachstruktur.

Hauptaugenmerk sollte auf das fünfte Kapitel gelegt werden, in dem die Methode der Akzeptanzbefragung näher erläutert wird und die detaillierte Auswertungen der Befragungen zu finden sind.

Im vorletzten Kapitel werden die Ergebnisse der Befragungen zusammengefasst, übersichtlich dargestellt und umfassend beschrieben.

Kapitel 7 befasst sich mit möglichen Erweiterungs- und Verbesserungsmöglichkeiten der entwickelten Unterrichtsmaterialien.

Im Anhang befinden sich die Schülerversion der Unterrichtsmaterialien der Probebefragung 1, die Schülerversion der Hauptbefragungen, sowie der Leitfaden für die Akzeptanzbefragung der Hauptbefragungen.

2 Theoretischer Hintergrund

In diesem Kapitel wird zuerst die Problematik, der Wissenskonstruktion von Lernenden, bei der Schülervorstellungen eine große Rolle spielen, erläutert (→Kap. 2.1). Anschließend werden einige Lösungsmöglichkeiten in Form von *Conceptual Change* Theorien (→Kap. 2.3) vorgestellt. Auch die vier Bedingungen für die Vorstellungsänderung werden besprochen, für die die Kenntnis der vorherrschenden Schülervorstellungen (→Kap. 2.2) unerlässlich ist. Die Alltagsvorstellungen werden dabei in drei Kapitel (→Kap. 2.2.1, Kap. 2.2.2, Kap. 2.2.3) unterteilt. Am Ende des Kapitels wird das Modell der didaktischen Rekonstruktion (→Kap. 2.3) vorgestellt, das Lehrkräften hilft möglichst viele Schülerinnen und Schüler auf ihrem Lernweg optimal zu unterstützen.

2.1 Die Problematik

Da das Thema Optik im Physikunterricht meist sehr kurz behandelt wird, wird die Farbenlehre meist nur oberflächlich betrachtet.

Laut AHS-Lehrplan für die achte Schulstufe sollten alle Schülerinnen und Schüler „grundlegendes Wissen über das Zustandekommen von Farben in der Natur erwerben“ (Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur, 2010). Dabei werden in der Unterstufe, im Gegensatz zu Oberstufe, die Farben nicht durch Wellen erklärt.

Oft werden im Physikunterricht jedoch nur die spektrale Zusammensetzung des Lichts und die Regeln der additiven und subtraktiven Farbmischung besprochen, die Entstehung der Körperfarben wird nicht durchgenommen. Dadurch verlassen viele Schülerinnen und Schüler den Optikunterricht mit nicht angebrachten Vorstellungen zu diesem Thema.

„Will man den – in der Regel unbefriedigenden - Lernerfolg im Physikunterricht verbessern, dann sind bei der Konstruktion erfolgreicher Unterrichtseinheiten die bisher bekanntgewordenen Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten zu berücksichtigen“ (Wiesner, 1992, S. 326).

Um Schülervorstellungen berücksichtigen zu können, muss man wissen wie es zu diesen Lernschwierigkeiten kommt. Laut Jung und Wiesner (1989, S. 278) ist menschliches Lernen ein Prozess bei dem Informationen verarbeitet werden. Dabei geht man von einem Ausgangszustand aus, der durch Informationsangebote, welche vom Gehirn verarbeitet werden, zu einem neuen, relativen Endzustand führt. Schülerinnen und Schüler machen bereits bevor sie den Physikunterricht besuchen viele Alltagserfahrungen und legen sich

ihre eigenen Erklärungen für Naturphänomene zurecht, die oft nicht mit den physikalischen Erklärungen übereinstimmen.

Aus diesem Grund gibt es *Conceptual Change* Strategien, um die Schülerinnen und Schüler im Idealfall zum Wechsel von ihren vorunterrichtlichen Alltagsvorstellungen zu wissenschaftlichen Vorstellungen zu ermöglichen. Diese Strategien werden in Kapitel 2.3 näher vorgestellt.

Egal welche dieser Strategien im Physikunterricht eingesetzt wird, um die Vorstellungsänderung auslösen zu können, ist das Wissen um die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler unerlässlich.

2.2 Schülervorstellungen zur Farbenlehre¹

Die unten angeführten Schülerinnen- bzw. Schülervorstellungen zur Farbenlehre gehen vor allem auf die Erhebungen von Blumör (1993) zurück, die er in dem Werk *Schülerverständnisse und Lernprozesse in der elementaren Optik* publizierte. Auch die von Jung (1981) erhobenen und im Werk, *Erhebungen zu Schülervorstellungen in Optik (Sekundarstufe 1)* veröffentlichten Vorstellungen wurden eingearbeitet (→Kap. 2.2.1 und Kap. 2.2.2). Außerdem wurden die von Wiesner (1994) in der Aufsatzreihe *Unterricht Physik* veröffentlichten Daten berücksichtigt und durch jene von Herdt (1990) und Feher und Meyer (1992) ergänzt. Die Alltagsvorstellungen wurden nach Kontext in drei Kapitel unterteilt, um eine bessere Übersicht zu gewährleisten.

2.2.1 Schülervorstellungen zu Licht und Interaktion Licht mit Materie

Nach Blumör (1993, S. 84) ordnen nur wenige Schülerinnen und Schüler, der vierten Klasse Unterstufe vor dem Optikunterricht, dem Sonnenlicht eine spezielle Farbe zu. Für viele impliziert der Begriff Licht nur *Helligkeit*, die man nach Ansicht der Lernenden für das Sehen benötigt. „Licht bedeutet nicht irgendeine Strahlung oder etwas Körperliches, sondern Helligkeit im Sinne der Sichtbarkeit oder Erkennbarkeit. Lichtmachen bedeutet die latenten Farben zu wirklichen zu machen“ (Jung, 1981, S. S142).

Dadurch leidet natürlich auch das physikalische Konzept des weißen Lichts. Die Tatsache, dass das weiße Licht aus mehreren Spektralfarben besteht, wird nur von wenigen

¹ Alle Schulstufen, auch jene von Studien die nicht in Österreich durchgeführt wurden, werden in der gesamten Arbeit auf das österreichische Schulsystem bezogen.

Schülerinnen und Schülern akzeptiert. „Die Vorstellung, dass Sonnenlicht ein Gemisch verschiedener Lichtsorten ist, also z.B. auch eine blaue Lichtsorte enthält wird massiv abgelehnt“ (Wiesner, 1994, S. S51).

2.2.2 Schülervorstellungen zu Körperfarben

Viele Schülerinnen und Schüler ordnen jedem Gegenstand jene Farbe zu, in der er im weißen Licht wahrgenommen wird. Für sie ist „Farbe eine sinnliche Qualität des Gegenstandes“ (Blumör, 1993, S. S84). In Anlehnung an Wiesner (1994, S. 51) glauben Schülerinnen und Schüler beispielsweise, dass eine Oberfläche in einer bestimmten Farbe erscheint, weil sie diese Farbe hat, und das auftreffende Licht die Farbe lediglich sichtbar macht.

Dass das Licht und unsere Augen die Voraussetzungen für die Farbwahrnehmung sind, wird oft außer Acht gelassen. Als Beispiel liefert Herdt (1990, S. 80) einen im Sonnenlicht grün erscheinenden Baustein. Wird dieser Baustein nun mit rotem Licht beleuchtet, so ordnen 67,2% der Schülerinnen und Schüler dem Baustein immer noch die Farbe Rot zu, sie geben jedoch an, den Baustein nun in einer anderen Farbe zu sehen (Blumör, 1993, S. 79).

Eine gänzlich andere Vorstellung zum Thema Körperfarben sind Mischungsvorstellungen, die Schülerinnen und Schüler in unterschiedlichen Weisen zum Ausdruck bringen. „Die Farbe des Lichts (=Helligkeit) mischt sich irgendwie mit der Farbe des Gegenstandes.“ (Blumör, 1993, S. S84). Dabei dominieren bei dieser Art von Mischung nach Blumör (1993, S. 84) die Wasserfarbenmischungsregeln. Dies kann man mit den im Kindesalter gemachten Erfahrungen mit Wasserfarben erklären. Nach Wiesner (1994, S. 51) ist vor allem die Vorstellung, dass die Mischung von Gelb und Blau Grün ergibt, in den Köpfen der Schülerinnen und Schüler fest verankert.

Begriffe wie *helle* und *dunkle* Farben kommen bei Akzeptanzbefragungen immer wieder vor. „Helle Farben werden auch im Dunkeln ohne Licht gesehen“ (Blumör, 1993, S. S84). Für Schülerinnen und Schüler scheint es auch Abstufungen zwischen den hellen Farben zu geben, wobei Weiß als die hellste aller Farben gesehen wird. „The white light is bright, the colored light has dark in it“ (Feher & Meyer, 1992, S. 505). Das impliziert laut Feher und Meyer (1992, S. 505) auch, dass beim Auftreffen von farbigem Licht auf einen Gegenstand, die Farbe des Gegenstandes dunkler wird. Eine weitere Abstufung von *hellen*

Farben fanden die Autoren bei gelbem Licht, das von Schülerinnen und Schülern heller empfunden wird als rotes Licht.

Doch nicht nur bei scheinbar hellen Farben wird unterschieden. „Es gibt zwei verschiedene Arten von Schwarz: das Dunkle, das die Wirklichkeit von hell und dunkel nicht erkennen lässt, und die Schwärze als Farbe an der Wand, die bei Anwesenheit von Licht ist, was sie wirklich ist“ (Jung, 1981, S. 147).

2.2.3 Schülervorstellungen zu Farbsubtraktion und Farbfiltern

Beim Thema Farbsubtraktion dominieren vor allem Färbepresentationen, die in unterschiedlichsten Variationen in Erscheinung treten. Einerseits gibt es nach Blumör (1993, S. 84) die Vorstellung, dass Licht, egal welcher Farbe, welches auf einen farbigen transparenten Körper trifft, bei Durchgang durch diesen Körper immer dessen Farbe annimmt, egal um welches Licht es sich handelt. „Eine farbige Folie färbt das Licht beim Durchgang durch die Folie, keineswegs absorbiert sie bestimmte Anteile“ (Wiesner, 1994, S. 51). Andererseits dominieren auch Abdeckpresentationen wie Blumör (1993, S. 84) herausfand. „Wenn eine farbige Folie vor die Augen gehalten wird, deckt sie alle anderen Farben ab“ (Blumör, 1993, S. 84).

2.3 Conceptual Change

Physikalische Konzepte sind für Schülerinnen und Schüler häufig schwer zu begreifen. Hierbei bildet das Kapitel Optik leider keine Ausnahme. Aus diesem Grund beschäftigt sich die empirische Untersuchungsforschung schon seit Ende der 70er Jahre mit der Erforschung des *Conceptual Change* (Duit & Treagust, 2012, S. 43).

Der englische Begriff *Conceptual Change* wird im Deutschen leider meist unglücklich mit dem Wort *Konzeptwechsel* übersetzt (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 6). Dieses impliziert jedoch, „Lernen sei als Auswechseln von ‚falschen‘ vorunterrichtlichen“ Vorstellungen gegen „richtige“ zu denken“ (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 6). In vielen Studien hat sich jedoch gezeigt, dass dies nicht möglich ist, da sich die vorunterrichtlich erworbenen Vorstellungen im Alltag oft bewährt haben.

Ziel des Physikunterrichts ist es daher, den Schülerinnen und Schülern die Grenzen der vorunterrichtlichen Vorstellungen aufzuzeigen und sie auf den Weg der wissenschaftlichen Vorstellungen zu bringen. „Lernen bedeutet dann in diesem Zusammenhang die Bildung neuer, fachlich orientierter Vorstellungen, die Strukturierung und Bewertung verfügbarer Vorstellungen und deren angemessene Anwendung“ (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 6). Aus diesem Grund wählen Kattmann et al. (1997, S. 6) als Übersetzung des Begriffs *Conceptual Change* das Wort *Vorstellungsänderung*. Von Hopf et al. (2011, S. 48) wird der Vorgang mit dem Wort *Begriffswechsel* übersetzt.

Doch wieso bereitet der *Conceptual Change* den Lernenden so große Schwierigkeiten? Schülerinnen und Schüler sind „eben keine ‚tabula rasa‘, kein unbeschriebenes Blatt“ (Wiesner, 1992, S. 326). Sie bekommen durch ihre Lebenswelt viele Eindrücke von der Umwelt mit und legen sich ihre eigenen Erklärungen zurecht, bevor sie Jahre später den Physikunterricht besuchen wo Lernschwierigkeiten ihren Anfang finden.

Diese vorunterrichtlichen, meist mit den physikalischen Sichtweisen nicht übereinstimmenden, Vorstellungen beeinflussen die Aufnahme und Verarbeitung der neuen Informationsangebote, die die Lehrkraft den Schülerinnen und Schülern bietet (Wiesner, 1992, S. 326). Die neuen Informationen werden von den Schülerinnen und Schülern „durch die bereits vorhandenen Denk- und Wissensstrukturen bewertet und interpretiert, es werden Teile weggelassen und Teile hinzugefügt und die Informationen können in nicht gewünschte Rahmenvorstellungen eingeordnet werden“ (Wiesner, 1992).

Doch nicht nur die vielleicht unpassende Eingliederung bzw. Verknüpfung von physikalischen Vorstellungen in Alltagsvorstellungen bereitet Probleme. Kattmann et al. (1997, S. 6f) berichten, dass verständliche und einleuchtende Argumente meist nicht ausreichen um Schülerinnen und Schüler von ihren Alltagsvorstellungen abzubringen. Die Lernenden scheinen die physikalischen Sichtweisen bzw. Begründungen nachvollziehen zu können, glauben jedoch nicht daran.

Laut Duit und Treagust (2012, S. 2) müssen mehrere Aspekte abgedeckt werden, damit eine Vorstellungsänderung eintreten kann. Die Autoren beziehen sich dabei auf folgende drei Vorstellungen: „Conceptions of nature of science and science process as well as meta cognitive views of learning“ (Duit & Treagust, 2012, S. 44).

Nach Posner (1982, S. 214) gibt es vier Bedingungen, die erfüllt werden müssen, damit ein die Vorstellungsänderung von naiven Theorien zu physikalischen Konzepten stattfinden kann:

1. Die Schülerinnen und Schüler müssen mit ihren Vorstellungen unzufrieden sein.
2. Das neue Konzept muss nachvollziehbar und logisch sein.
3. Die neue Vorstellung erscheint einleuchtend und ist plausibel.
4. Mit dem neuen Konzept lassen sich Fragen beantworten, die sich mit der Alltagsvorstellung nicht erklären ließen.

Aus diesem Grund wurden verschiedene *Conceptual Change* Strategien entwickelt, die hier näher vorgestellt werden.

Bei der *Anknüpfungsstrategie* geht man davon aus, dass Lernende neben den Alltagsvorstellungen auch lernförderliche Ideen besitzen. Die Anknüpfungsstrategie ist daher vor allem bei Themen geeignet, bei denen es zwischen den Vorstellungen der Wissenschaftlerinnen bzw. Wissenschaftler und den Alltagsvorstellungen der Schülerinnen bzw. Schüler nur geringe Abweichungen gibt. (Hopf, Schecker, & Wiesner, 2011, S. 50)

Eine weitere Möglichkeit um den Conceptual Change auszulösen liefert die *Konfrontationsstrategie*, bei der bei den Lernenden der Kognitive Konflikt ausgelöst wird. Nach Galili (2011, S. 847) muss eine Situation hergestellt werden, in der die Lernenden mit ihren Alltagsvorstellungen unzufrieden sind. Beim Vergleich des Alltagskonzepts mit der physikalisch richtigen Vorstellung, die von der Lehrkraft gegeben wird, muss das physikalisch-wissenschaftliche Konzept nachvollziehbar, glaubhaft und bei physikalischen Problemstellungen anwendbar sein. Dies würde im Idealfall dazu führen, dass die

physikalische Sichtweise in das Wissen eingegliedert und die Alltagsvorstellung verdrängt wird. (Hopf, Schecker, & Wiesner, 2011, S. 50)

Zwei weitere Strategien wären die *Umdeutungsstrategie* und die *Brückenstrategie*. Bei der Umdeutungsstrategie wird davon ausgegangen, dass die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler nicht vollkommen unpassend sind, sondern einfach nur umgedeutet werden müssen. Die Brückenstrategie geht von alltäglichen Konzepten bzw. Begriffen aus und leitet daraus Übergangsbegriffe ab, die anschließend zu den physikalisch richtigen Begriffen entwickelt werden können. (Hopf, Schecker, & Wiesner, 2011, S. 50f)

Der *Conceptual Change* ist jedoch nicht nur für Lernende von Bedeutung, sondern vor allem für Lehrerinnen und Lehrer. Einerseits um die Schülerinnen und Schüler auf ihrem Weg zur Vorstellungsänderung begleiten zu können, andererseits da sie meist selbst Vorstellungen in den Unterricht mitbringen, die mit den wissenschaftlichen Vorstellungen nicht übereinstimmen. Studien der 80er Jahre haben gezeigt, dass „many teachers hold conceptions of science that are not accordance with the science view and often are similar to students ‘pre-instructional conceptions‘ described above“ (Duit & Treagust, 2012, S. 44). Das bedeutet, dass der *Conceptual Change* schon in der Ausbildung der Lehrkräfte eine zentrale Rolle spielen muss.

Heute liegen uns Ergebnisse von rund 40 Jahren Forschung zum Thema *alternative Vorstellungen* vor. Trotzdem gibt es noch begriffliche, theoretische und methodische Verbesserungsmöglichkeiten der Lehr- und Lernmaterialien, damit noch mehr Schülerinnen und Schüler den *Conceptual Change* durchlaufen können (Duit & Treagust, 2012, S. 51).

2.4 Das Modell der didaktischen Rekonstruktion

Laut Duit (2004, S. 1) ist erfolgreicher Physikunterricht von vielen Faktoren, sogenannten *Variablen* abhängig, wobei der Inhalt die zentrale Rolle einnimmt. Ziel des Physikunterrichts ist es, den Schülerinnen und Schülern Methoden und fachliche Inhalte der Physik zu vermitteln, was nicht immer einfach ist.

Die Physik ist eine sehr komplexe und vielseitige Naturwissenschaft, deren Konzepte für Schülerinnen und Schüler häufig schwer zu verstehen sind. Viele dieser Kinder und Jugendlichen kommen mit verschiedenen Vorerfahrungen und Ansichten in den Physikunterricht, die mit den physikalischen Konzepten nicht übereinstimmen. Um Lernschwierigkeiten aufzudecken, oder gar nicht erst entstehen zu lassen, müssen „Überlegungen zum fachlichen Inhalt mit Überlegungen zum Lernen der Schülerinnen und Schüler verbunden werden“ (Duit R. , Didaktische Rekonstruktion, 2004, S. 1). Aus diesem Grund wurde das Modell der Didaktischen Rekonstruktion entwickelt:

„Didaktische Rekonstruktion bedeutet, kurz gefasst, dass ausgehend von der Sachstruktur der Physik die Sachstruktur für den Unterricht unter didaktischer Perspektive konstruiert wird“ (Duit R. , Didaktische Rekonstruktion, 2004, S. 1).

Lehrerinnen und Lehrer müssen sich vor dem Unterricht eines neuen Themas über die Variablen, die den Unterricht zu diesem Thema bestimmen sollen, im Klaren sein. Nach Duit (2004, S. 1) sind die Ziele, Inhalte, Methoden und Medien, die zentralen Variablen die den Unterricht bestimmen. Sie finden sich im Strukturmomentenmodell von Heimann, Otto und Schulz wieder und sind eng miteinander verknüpft (Abb. 1).

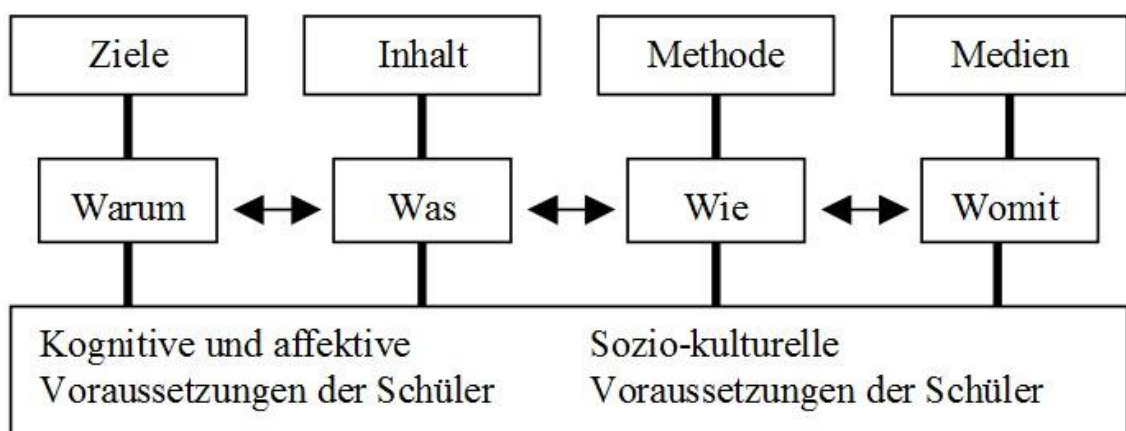


Abbildung 1: Strukturmomentenmodell von Heimann, Otto und Schulz

Quelle: (Duit R. , 2004, S. 1)

Laut Duit (2004, S. 1f) beeinflusst beispielsweise die Methode *Schülerinnen- bzw. Schülerexperiment* auch die Ziele. Denn durch das selbstständige Experimentieren, erlernen die Schülerinnen und Schüler andere Kompetenzen, als bei einem Demonstrationsexperiment. Natürlich dürfen dabei in Anlehnung an Heimann, Otto und Schulz (Duit, 2004, S. 1; zit. n. Heimann, Otto & Schulz, 1969) auch die kognitiven und affektiven, sowie die sozio-kulturellen Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler nicht außer Acht gelassen werden.

Um den engen Zusammenhang der Variablen im Unterricht zu berücksichtigen, kann sich die Lehrkraft mit den fünf Grundfragen der Didaktischen Analyse nach Klafki (1969) beschäftigen. Dabei geht es in Anlehnung an Duit (2004, S. 2) nicht nur um die zu vermittelnden Inhalte, sondern auch um über den Inhalt hinausgehende Aspekte.

- I. „Welchen größeren bzw. Welchen allgemeinen Sinn- und Sachzusammenhang vertritt und erschließt dieser Inhalt? Welches Urphänomen oder Grundprinzip, welches Gesetz, Kriterium, Problem, welche Methode, Technik oder Haltung lässt sich in der Auseinandersetzung mit ihm ‚exemplarisch‘ erfassen?
- II. Welche Bedeutung hat der betreffende Inhalt bzw. die an diesem Thema zu gewinnende Erfahrung, Erkenntnis, Fähigkeit oder Fertigkeit bereits im geistigen Leben der Kinder meiner Klasse, welche Bedeutung sollte er – vom pädagogischen Gesichtspunkt aus gesehen – darin haben?
- III. Worin liegt die Bedeutung des Themas für die Zukunft der Kinder?
- IV. Welches ist die Struktur des (durch die Fragen 1-3 in die spezifische pädagogische Sicht gerückten) Inhaltes?
- V. Welches sind die besonderen Fälle, Phänomene, Situationen, Versuche, in oder an denen die Struktur des jeweiligen Inhaltes den Kindern dieser Bildungsstufe, dieser Klasse interessant, fragwürdig, zugänglich, begreiflich, ‚anschaulich‘ werden kann?“
(Duit R. , Didaktische Rekonstruktion, 2004, S. 2)

Im Modell der didaktischen Rekonstruktion werden die Inhalte und Ideen des Stukturmomentenmodells von Heimann, Otto und Schulz mit den Grundfragen der Didaktischen Analyse nach Klafki verbunden und so zu einem neuen verbesserten Model zusammengefasst.

Bei der didaktischen Rekonstruktion wird der Sachstruktur besondere Bedeutung beigemessen werden, was durch folgende Abbildung (Abb. 2) verdeutlicht wird.

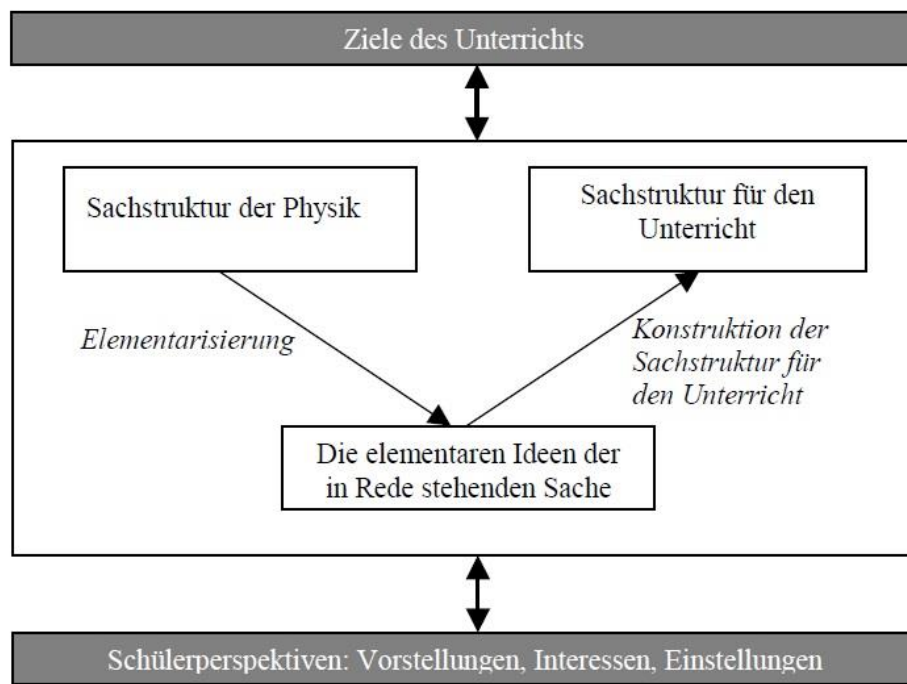


Abbildung 2: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion der Sachstruktur
 Quelle: (Duit R. , 2004, S. 2)

Die Sachstruktur der Physik ist von der Sachstruktur für den Unterricht deutlich zu trennen. Die Sachstruktur der Physik beinhaltet Denk- und Arbeitsweisen, Begriffe, Prinzipien sowie Vorstellungen der Physik als Naturwissenschaft, während die Sachstruktur des Unterrichts die physikalischen Zusammenhänge vereinfacht darstellt, jedoch durch Einbettung von Alltagsbezügen vielfältiger ist.

Beim Prozess der Elementarisierung werden die zentralen Inhalte herausgefiltert und zur Konstruktion der Sachstruktur für den Unterricht herangezogen (Duit R. , 2004, S. 2f). Nach Kattmann et al. (1997, S. 9), die sich an den Ideen von Bleichroth (1991) orientieren, gibt es unterschiedliche Arten der Elementarisierung. Erstens, Elementarisierung als Reduzierung der Komplexität, also als Vereinfachung. Zweitens als „Identifizierung des Elementaren“ (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 9). Dieser Schritt der Elementarisierung bedeutet, dass die Basiskonzepte herausgearbeitet werden müssen. Der dritte und letzte Schritt der Elementarisierung befasst sich mit der „Zerlegung in Unterrichtsinhalte“ (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 9).

Bei der Elementarisierung geht es jedoch nicht nur um die Vereinfachung der Unterrichtsinhalte, sondern auch um die Vereinfachung der Sprache. „Die Sprachverwendung [...] sollte daher in allen Fächern so gestaltet sein, dass Sprache keine Hürde, sondern vielmehr ein Werkzeug des Lernens darstellt“ (Schmölz-Eibinger, Egger,

& Dörner, 2012, S. 4). Das bedeutet, dass die Sprache so gewählt werden muss, dass Lernende, je nach Altersstufe, die Inhalte einfach verstehen können. Die Sätze sollten „so strukturiert sein, dass die Fähigkeit der SchülerInnen, mit zunehmend komplexen Satzstrukturen im Unterricht umzugehen, im Laufe der Schulzeit nach und nach aufgebaut werden kann“ (Schmölz-Eibinger, Egger, & Dörner, 2012, S. 13).

Auch der Einsatz von Fachbegriffen muss geplant werden. Neue Fachbegriffe stellen einerseits eine gewisse Hürde im Lernvorgang dar, andererseits helfen sie auch den Wortschatz zu vergrößern und neue Sachverhalte in einem Wort zusammenzufassen. Das heißt, dass Fachbegriffe gezielt ausgewählt und anfangs in einfachen Worten erklärt werden müssen.

Nun folgt ein Beispiel einer Didaktischen Rekonstruktion am Thema Farben (Abb. 3):

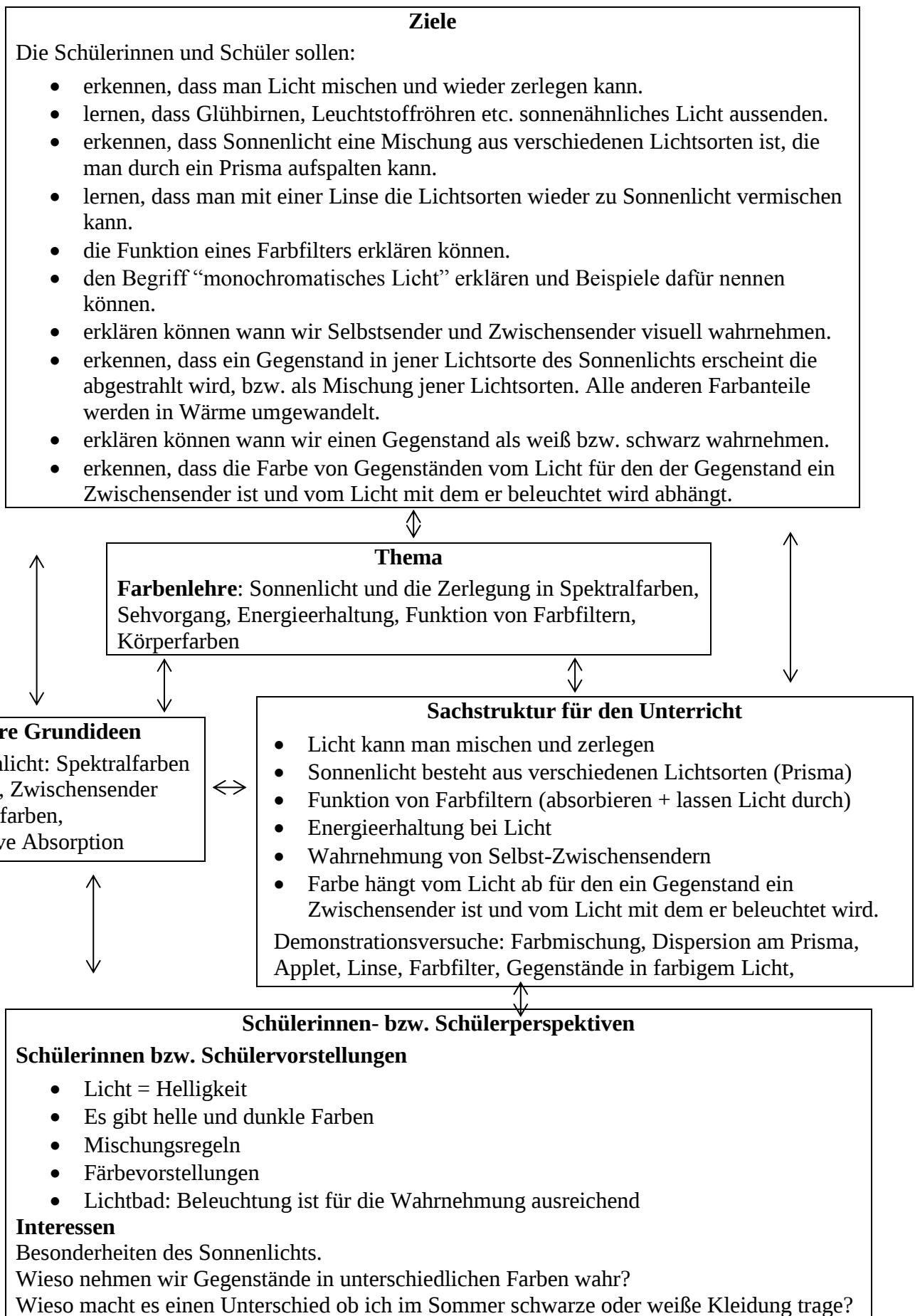


Abbildung 3: Didaktische Rekonstruktion für das Unterrichtsmaterial

Die Didaktische Rekonstruktion befasst sich nicht nur mit der Rekonstruktion der Sachstruktur sondern „umfasst sowohl das Herstellen pädagogisch bedeutsamer Zusammenhänge das Wiederherstellen von im Wissenschafts- und Lehrbetrieb verlorengegangenen Sinnbezügen wie auch Rückbezug auf Primärerfahrungen [...]“ (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 4). Kattmann et al. (1997, S. 4) stellen das Zusammenspiel von fachlicher Klärung, Erfassen von Schülerinnen- und Schülerperspektiven, sowie die didaktische Strukturierung im fachdidaktischen Triplet dar (Abb.4).

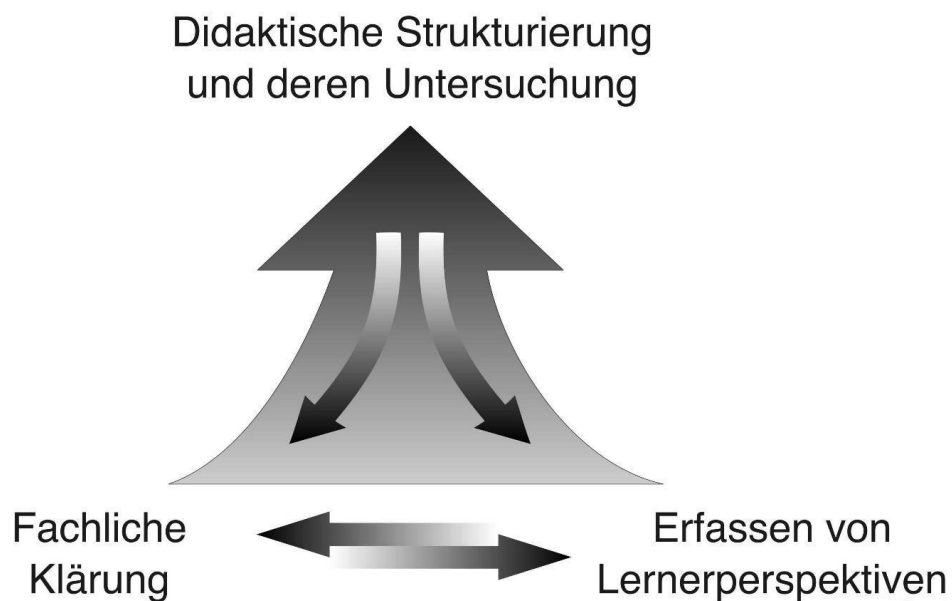


Abbildung 4: Fachdidaktisches Triplet: Beziehungsgefüge der Teilaufgaben im Modell der Didaktischen Rekonstruktion Quelle: (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 4)

Das fachdidaktische Triplet drückt vor allem das Wechselspiel zwischen den oben abgebildeten drei Modulen aus, wobei die fachliche Klärung und das Erfassen von Lernerperspektiven als gleich wichtig angesehen werden.

Bei der fachlichen Klärung gibt es zentrale Fragen, die sich jede Lehrerin und jeder Lehrer stellen sollte. Beispielsweise sollte man sich über die wissenschaftlichen Aussagen und deren Grenzen im Klaren sein, sowie Bedeutung und Funktion von Fachbegriffen kennen. Außerdem sollte man sich im Klaren darüber sein, welche fachlichen Begriffe lernhemmend bzw. lernförderlich sind und nur ausgewählte Begriffe im Unterricht einsetzen (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 11).

Es hat sich gezeigt, dass der Unterricht von physikalischen Inhalten erfolgreicher ist, wenn man bei der Planung der Sachstruktur für den Unterricht die Lernerperspektiven

miteinbezieht (Duit R. , Didaktische Rekonstruktion, 2004, S. 3). Beim Erfassen von Lernerperspektiven geht es nicht nur um fachliches Wissen, das die Schülerinnen und Schüler korrekt oder fehlerhaft wiedergeben. Hier sind verschiedene Komplexitätsebenen wie beispielsweise Denkmodelle, Konzepte, Begriffe oder Vorstellungen zu einem Thema gemeint (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 11). Diese Vorstellungen müssen als „[...]notwendiger Ausgangspunkt des Lernens behandelt[...]“ (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 12) werden.

Die Verknüpfung zwischen der fachlichen Klärung und den Lernerperspektiven bildet die Basis für die didaktische Strukturierung und deren Untersuchung. Im Modell der Didaktischen Strukturierung werden die „Vorstellungen der Wissenschaftler mit denen der Schüler verglichen“ (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 12). Die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler werden dann miteinander verglichen. Bei dieser Gegenüberstellung von Schülervorstellungen zu denen von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sind laut Kattmann et al. (1997, S. 11) sowohl Gemeinsamkeiten als auch Eigenheiten, Unterschiede bzw. Begrenztheiten zu beachten. Dadurch lassen sich viele Ideen für den Unterricht heraus arbeiten.

Die Didaktische Rekonstruktion einiger Key-ideas für das Unterrichtsmaterial ist in Kapitel 4.2 zu finden. Zuerst wurde eine Sachstrukturanalyse an zwei Standardwerken der Optik (Hecht 1999 und Haferkorn 1994) durchgeführt. Anschließend wurden die Lernerperspektiven erhoben (→Kap. 2.2) und mit den Vorstellungen der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verglichen. Durch die Herausarbeitung der Gemeinsamkeiten und Verschiedenheiten und Überlegungen zu verschiedenen Conceptual Change Theorien (→Kap. 2.3) wurde so die Basis für die Erstellung der Unterrichtsmaterialien gebildet.

3 Erprobte Interventionen und deren key-ideas

In Kapitel 3.1 wird der Lehrgang *Unterricht Physik* vorgestellt, der die Basis für das entwickelte Unterrichtsmaterial bildet. Im Kapitel 3.2 werden anschließend die Ideen von Viennot zu Körperfarben vorgestellt, die ebenfalls ins Unterrichtsmaterial eingearbeitet wurden. Abschließend wird in Kapitel 3.3 das Entwicklungsprinzip der Unterrichtsmaterialien, das sogenannte *Design Based Research* vorgestellt.

3.1 Der Lehrgang „Unterricht Physik“

In den Jahren 1992 bis 1994 wurde die zehnteilige Serie *Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Optik* von Hartmut Wiesner in der Fachdidaktikzeitschrift *Physik und Schule* veröffentlicht.

Bereits vor der Veröffentlichung wurden 1988-1989 Vergleiche zwischen einer Kontrollgruppe bestehend aus acht Klassen der siebten Schulstufe, die den traditionellen Optikunterricht besuchten und einer Versuchsgruppe, die sich aus sechs Klassen der siebten Schulstufe zusammensetzte, die mit dem Wiesener, Engelhart und Herdt Lehrgang unterrichtet wurde, wurden angestellt. Die Gruppen wurden nach Intelligenz- und Wissenstests als vergleichbar angesehen. Am Ende des Unterrichts wurde das Verständnis der Schülerinnen und Schüler durch einen Abschlusstest überprüft. Die genauen Ergebnisse sind bei Herdt (1990, S. 93) nachzulesen, die Versuchsgruppe war der Kontrollgruppe jedoch eindeutig überlegen (Wiesner, 1992, S. 330).

1995 erschienen die gesammelten Ideen des Periodikums im Lehrgang *Unterricht Physik*, im Aulis Verlag Deubner & Co. Die Reihe *Unterricht Physik* umfasst zahlreiche Bände zu beinahe allen Themen der Physik im Kontext Schule. 2005 wurde der letzte Band der vierteiligen Optikreihe veröffentlicht (Schmidt-Roedenbeck, Müller, Wiesner, Herdt, & Engelhardt, 2005). Der letzte Band beschäftigt sich unter anderem mit der Farbenlehre, und bildet die Basis für das von mir entwickelte Unterrichtsmaterial.

Die Aufsatzreihe *Unterricht Physik* wurde vor allem für die Sekundarstufe 1 konzipiert, ist jedoch mit Adaptionen, beispielsweise durch Ergänzung der Welleneigenschaften des Lichts und die damit verbundenen Konzepte, auch in der Sekundarstufe 2 einsetzbar.

Guter Physikunterricht fordert von Seiten der Lehrenden ein hohes Maß an Planung und Strukturierung, sowie Kenntnis der Schülervorstellungen zu den verschiedenen Themen. Da im Physikunterricht nicht nur Fachwissen sondern auch Wissen über die Physik

vermittelt werden soll, sollten in speziellen Unterrichtsphasen offene Fragestellungen angeboten werden, sodass die Schülerinnen bzw. Schüler sich als Forscherinnen bzw. Forscher Wissen über die Methoden und die Erkenntnisgewinnung in der Physik aneignen können. (Hopf, Schecker, & Wiesner, 2011, S. 16ff)

Für Lehrerinnen und Lehrer ist die Vorbereitung von gutem Physikunterricht jedoch sehr zeitintensiv. Die Reihe *Unterricht Physik* „setzt sich daher zum Ziel, die Vorbereitungsarbeit durch eine Strukturierung und unterrichtsbezogene Aufarbeitung im Sinne von Bereitstellung von detaillierten Vorschlägen der Unterrichtsdurchführung bis hin zu fertigen Schülerarbeitsblättern, die direkt kopiert werden können, stark zu straffen“ (Schmidt-Roedenbeck, Müller, Wiesner, Herdt, & Engelhardt, 2005, S. 4). Die Reihe ist zwar als Lehrerunterlage konzipiert, Lehrkräfte können dadurch viel Zeit, bei der Planung des Unterrichts bzw. bei der Themenauswahl sparen.

Der Aufbau aller Optikbände im Lehrgang ist gleich. Nach einer kurzen Einleitung wird die Struktur des Inhaltsbereiches mit Hilfe eines Flussdiagrammes dargestellt. Anschließend folgt ein kurzer Abschnitt, genannt *Basiswissen*, der die fachlichen Inhalte kompakt zusammenfasst. Im Gesamtplanungsumfeld wird der Lehrkraft ein kurzer Überblick über die bekannten Präkonzepte der Schülerinnen und Schüler zum Thema geboten. Für Zusatzinformationen kann man die folgenden Literaturhinweise beachten.

Im Anschluss folgen die Unterrichtseinheiten, die immer den gleichen Aufbau aufweisen. Zu Beginn werden der Ablauf der Unterrichtseinheiten und das benötigte Arbeitsmaterial zu einem bestimmten Thema tabellarisch dargestellt. Anschließend folgt eine Auflistung der Lernziele, die die Schülerinnen und Schüler während des Unterrichts erreichen sollen. Danach folgen Vorbereitungshinweise und Unterrichtsschritte, bei denen auf hilfreiche Arbeitsblätter, die sich im Anhang befinden, verwiesen wird.

Die Arbeitsmaterialien, die auch als Kopiervorlage für den Unterricht einsetzbar sind, bilden den größten Teil des Lehrganges (Wiesner, Engelhardt, & Herdt, 1995, S. 5ff).

Aufgrund der großen Erfolge die im Optikunterricht mit dem Lehrgang erzielt wurden, bildete der Lehrgang die Basis für das von mir entwickelte Unterrichtsmaterial. Einige Methoden und Darstellungen erschienen uns jedoch nicht mehr zeitgemäß und wurden durch neue Technologien wie Applets und eigene Ideen ersetzt bzw. ergänzt.

3.2 Interventionsvorschlag von Viennot et al. zu Körperfarben

Die französische Fachdidaktikerin Viennot beschäftigt sich mit einfachen Experimenten zur additiven und subtraktiven Farbmischung, sowie zur selektiven Absorption. Sie legt nicht nur Wert auf den Aspekt der spektralen Zusammensetzung von Sonnenlicht, sondern auch auf die Intensität des Lichts. Viennot und de Hosson (2012, S. 1315) kritisieren zum Beispiel die in Schulbüchern weit verbreitete Darstellung, dass schwarze Gegenstände gar kein Licht reflektieren, da diese Vereinfachung des Physikunterrichts in der Wirklichkeit an ihre Grenzen stößt.

Nach Meinung der Autoren sollte man Schülerinnen und Schüler vom „‘all or nothing‘ way of reasoning to another involving ‘more or less‘ termes“ (Viennot & de Hosson, 2012, S. 1) bringen. Um dieses Ziel zu erreichen, wird eine Reihe von einfachen Schülerexperimenten vorgeschlagen, die bereits in Interviews getestet wurden.

Die Eingliederung von Viennots Versuchen wurde zwar bei der Planung des Unterrichtsmaterials berücksichtigt, aus Zeitgründen jedoch nicht umgesetzt. Daher wird hier auf eine nähere Ausführung der Experimente verzichtet.

Die zentrale Idee, das Wegkommen vom *alles oder nichts* Gedanken, hin zum *mehr oder weniger* Denken wurde jedoch im Unterrichtsmaterial berücksichtigt. In den Schülerinnen- bzw. Schülertexten wurde aus diesem Grund mit dem Wort *fast* gearbeitet. Beispielsweise: *Der Gegenstand nimmt fast das gesamte Licht auf.* In den Abbildungen wurden die absorbierten Spektralfarben als kleinere bzw. kürzere Pfeile dargestellt, als das eintreffende Licht. Eine ausführlichere Darstellung findet sich im Anhang B bei Abbildung 16. Schriftliche Begründungen dafür wurden im Text nicht gegeben, jedoch ließ man die Schülerinnen und Schüler bei der Akzeptanzbefragung Vermutungen für diesen Sachverhalt äußern. Bereits ein Schüler der Probebefragung 1 antwortete mit dem Viennotgedanken, dass nicht das gesamte Licht aufgenommen wird, sondern nur der Großteil.

3.3 Design Based Research als Entwicklungsprinzip

Bei der Entwicklung der Unterrichtsmaterialien wurden nach dem Prinzip des *Design Based Research* vorgegangen. Dieses Entwicklungsprinzip wird in Abbildung 5 dargestellt und anschließend näher erläutert.

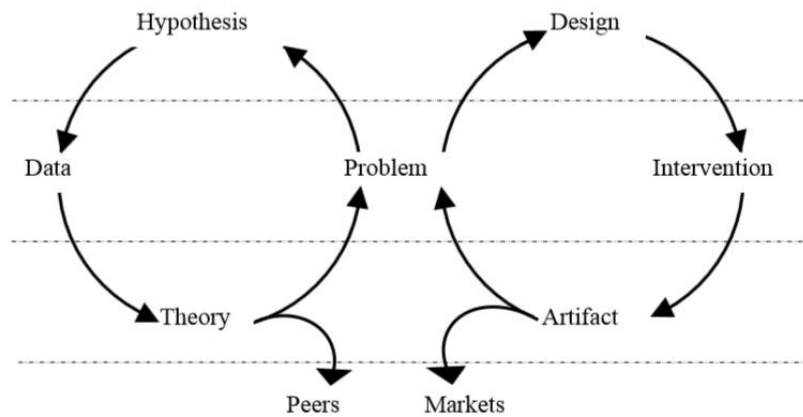


Abbildung 5: Osmotic Model des Design Based Research

Quelle: (Ejersbo, Engelhardt, Frolunde, Hanghoj, Magnussen, & Misfeldt, 2007, S. 5)

Ausgangspunkt im Design Based Research „is a problem area or the theme that a ‘problem owner’ wants to study and have solved“ (Ejersbo, Engelhardt, Frolunde, Hanghoj, Magnussen, & Misfeldt, 2007, S. 3) Um den nächsten Schritt zur Hypothese machen zu können, braucht man ein fundiertes Wissen über bereits existierende Theorien zu dem Themengebiet. Nach der Erstellung der Hypothese werden Daten erhoben, aus denen sich wieder eine Theorie ableiten lässt, die beispielsweise in Schulklassen, überprüft werden kann.

Nach der Überprüfung bzw. Testung durchläuft man die zweite Schleife des Design Based Research. Ausgehend von einem neu entdeckten Problem erfolgt eine Umstrukturierung bzw. das Design eines neuen Lösungsvorschlages bzw. einer neuen Lösungsmethode. Anschließend werden geeignete Maßnahmen ergriffen (*Intervention*), um das Produkt oder den Gegenstand so zu verbessern, sodass er zum Beispiel in der Schule eingesetzt werden kann. (Ejersbo, Engelhardt, Frolunde, Hanghoj, Magnussen, & Misfeldt, 2007, S. 4ff)

Das Entwicklungsprinzip der erstellten Unterrichtsmaterialien zum Thema Farbenlehre ist in Abbildung 6 dargestellt.

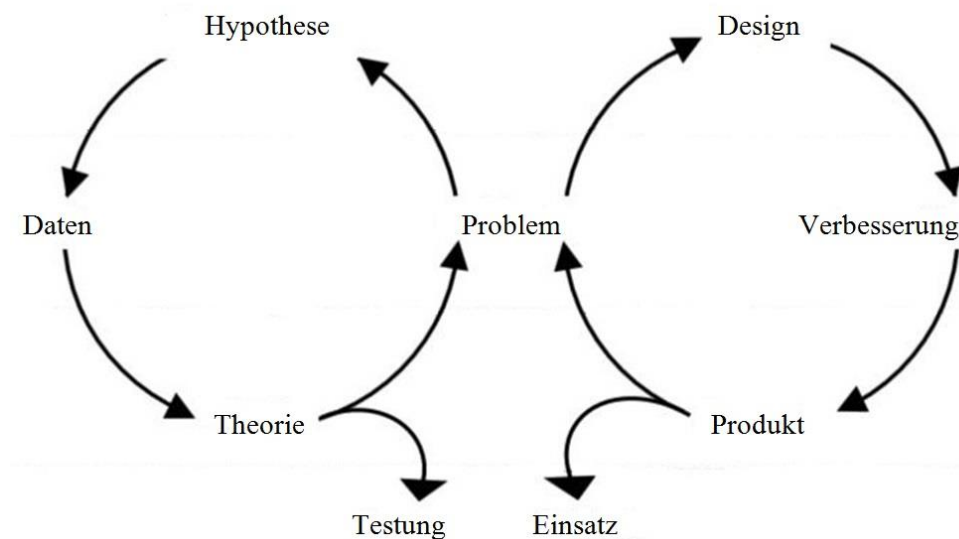


Abbildung 6:Entwicklungsprinzip der Unterrichtsmaterialien

Ausgangsproblem bildeten die geringen Lernerfolge auf dem Themengebiet der geometrischen Optik bzw. der Farbenlehre. Von Schmidt-Roedenbeck et al. wurden Hypothesen entwickelt um den Optikunterricht zu verbessern. Die dazu erstellten Lehr- und Lernmaterialien wurden erprobt und im Periodikum *Unterricht Physik* veröffentlicht.

Ausgangspunkt meiner Diplomarbeit lieferte das Problem, dass die Unterrichtsmaterialien von Schmidt-Roedenbeck et al. vor allem für Lehrkräfte und nicht für Schülerinnen und Schüler konzipiert sind und nicht mehr zeitgemäß sind. Nach Planung mit dem *CoRe-Raster*, sowie einer didaktischen Rekonstruktion wurden die Unterrichtsmaterialien erstellt und in der Probebefragung 1 (→Kap. 5.6.1) getestet.

Anschließend wurde die zweite Schleife des Design Based Research nochmals durchlaufen. Bei der Probebefragung 1 stellte sich heraus, dass die Befragten Probleme mit dem Begriff des weißen Lichts haben. Nach einer Expertenbefragung, einem Redesign der Materialien, sowie der Überarbeitung einiger Kapitel wurden die Materialien nochmals getestet (→ Kap. 5.6.3 und 5.7) und könnten nun in einem Schulbuch zum Einsatz kommen.

4 Das entwickelte Unterrichtsmaterial

Im Folgenden wird zuerst das Design des Materials im Kapitel 4.1 vorgestellt, sowie grundlegende Planungen für das Material mit dem *CoRe- Raster*. Im folgenden Kapitel (→Kap. 4.2) wird die Didaktische Rekonstruktion einiger Key-ideas vorgestellt. Hauptaugenmerk sollte auf das Kapitel 4.3 gelegt werden, bei dem die Sachstrukturen von Schulbüchern und vom Lehrgang Unterricht Physik mit der im Unterrichtsmaterial gewählten Sachstruktur verglichen wird, um Verbesserungsmöglichkeiten in Schulbüchern und die Neuerungen im Vergleich zum Lehrgang aufzuzeigen.

4.1 Design des Materials

Das Unterrichtsmaterial wurde nach den Ideen von Loughran, Mulhall und Berry (2004, S. 370) geplant. Das Konzept dieses Planungsrasters half zwei bedeutende Aspekte der Unterrichtsplanung miteinander zu verknüpfen. „The first is linked to the particular science content, termed Content Representation (CoRe) and the second is linked to teaching practice, termed Professional and Pedagogical experience Repertoire (PaP-eR)“ (Loughran, Mulhall, & Berry, 2004, S. 370). Loughran et al. (2004, S. 376) entwickelten acht Fragen bzw. Leitideen, die der Lehrerin bzw. dem Lehrer einerseits zur Unterrichtsvorbereitung, andererseits als Gedächtnisstütze dienen. Die Fragen bzw. Leitideen befassen sich mit den Lernzielen, Fachwissen der Lehrkraft, Lernschwierigkeiten die durch Schülerinnen und Schülervorstellungen auftreten können und Unterrichtsschritten bzw. Konzepte auf die die Lehrkraft bei der Unterrichtsplanung zurückgreifen kann.

Die acht Leitideen lauten wie folgt:

1. Was sollen meine Schülerinnen und Schüler über dieses Konzept lernen?
2. Warum es wichtig ist, dass meine Schülerinnen und Schüler das verstehen?
3. Was ich sonst noch über dieses Konzept weiß, dass meine Schülerinnen bzw. Schüler nicht wissen müssen?
4. Welche Lernschwierigkeiten können beim Unterrichten dieses Konzepts auftreten?
5. Welche Schülervorstellungen kenne ich, die ich beim Unterrichten bedenken muss (die meinen Unterricht beeinflussen)?
6. Gibt es weitere Faktoren, die meinen Unterricht zu diesem Thema beeinflussen?
7. Welche Unterrichtsschritte wähle ich, zur Vermittlung dieses Konzepts? (inklusive der Gründe warum ich so und nicht anders vorgehe)

8. Konkrete Aufgabenstellungen (inklusive der vermutlich auftretenden Antworten) mit denen ich feststellen kann, ob meine Schülerinnen und Schüler dieses Konzept verstanden haben bzw. welche Missverständnisse entstanden sind.

Das gesamte Thema Farbenlehre wurde mit diesen Fragen geplant. Aufgrund des großen Umfangs wurde jedoch nur ein Teil davon in Unterrichtsmaterialien umgesetzt und erforscht. Die Planungen der nicht umgesetzten Key-ideas sind nicht Teil dieser Arbeit.

Im Folgenden wird die Planung von vier Themen zur Farbenlehre vorgestellt (Tab 1-4). Diese Planung orientiert sich an den oben vorgestellten acht Leitideen von Loughran, Mulhall und Berry (2004, S. 370) und bildete die Basis für die Entwicklung der Unterrichtsmaterialien, die im Anhang zu finden sind. In der ersten Zeile sind die Key-ideas, für den ersten Entwurf der Unterrichtsmaterialien, zu diesem Thema formuliert.

Die Eigenschaften des Lichts	
Licht ist Strahlung, die z.B. von der Sonne auf die Erde gestrahlt wird. Dieses Licht ist die Voraussetzung dafür, dass wir sehen können.	
1.	Ohne Licht und ohne Augen kann man nicht sehen, schon gar keine Farben.
2.	Wir benötigen Licht um überhaupt sehen zu können.
3.	Licht besteht aus masselosen Teilchen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen.
4.	Wenn die Sender – Empfängervorstellung nicht akzeptiert wird, kann die Farbestehung auch nicht richtig erklärt werden.
6.	„Licht bedeutet nicht irgendeine Strahlung oder etwas Körperliches, sondern Helligkeit im Sinne der Sichtbarkeit oder Erkennbarkeit. Lichtmachen bedeutet die latenten Farben zu wirklichen zu machen“ (Jung, 1981, S. S142).
7.	Vergleich zweier Bilder: Sonnenstrahlen versus Laserstrahlen um die Unterschiede zwischen Laserlicht und Sonnenlicht zu verdeutlichen. Historisches zum Sehvorgang von Leifiphysik, als fächerübergreifenden Aspekt um Interesse zu wecken.
8.	<u>Aufgabenstellung:</u> Stell dir vor, du bist an einem kühlen Herbsttag draußen und hast keine Jacke an. Macht es einen Unterschied, ob du in der Sonne oder im Schatten stehst? <u>Mögliche Antworten:</u> Es macht keinen Unterschied, ob ich in der Sonne oder im Schatten stehe. <u>Richtig:</u> In der Sonne friere ich weniger als im Schatten.

Tabelle 1: Planung des Unterrichtskonzepts *Eigenschaften des Lichts* mit dem CoRe- Raster

Untersuchungen zu Sonnenlicht-sonnenähnlichem Licht Sonnenlicht wird in der Physik als <i>weißes Licht</i> bezeichnet. Wenn eine Lampe ein ähnliches Licht wie die Sonne erzeugt, bezeichnen wir auch dieses Licht als weiß. Das weiße Licht besteht aus Spektralfarben. Mit Hilfe eines Glasprismas kann man das weiße Licht in seine Bestandteile zerlegen.	
1.	Menschen versuchen Sonnenlicht mit Lampen, Leuchtstoffröhren etc. nachzumachen. Wenn das Licht der Lampe dem der Sonne ähnlich ist, bezeichnen wir es als sonnenähnliches Licht. Sonnenlicht ist ein Gemisch verschiedener Spektralfarben, die man mit Hilfe eines Glasprismas sichtbar machen kann.
2.	Wenn das Prinzip des weißen Lichts nicht verstanden wird, kann man auch die Farbentstehung nicht erklären bzw. nachvollziehen.
3.	Jeder Spektralfarbe des Sonnenlichts kann ein gewisser Energiebereich zugeordnet werden. An den sichtbaren Bereich des Lichts schließen der infrarote Bereich einerseits und der ultraviolette Bereich auf der anderen Seite an. Jedem Bereich des Spektrums lassen sich die Größen Wellenlänge und Frequenz zuordnen. $c = \lambda \cdot f$.
4.	Vorstellung, dass das Glasprisma das Licht färbt. Es ist schwer zu verstehen, dass das weiße Licht alle Spektralfarben enthält, weil wir sie nur selten (Regenbogen, Kristallluster) sehen. „Die Vorstellung, dass Sonnenlicht ein Gemisch verschiedener Lichtsorten ist, also z.B. auch eine blaue Lichtsorte enthält wird massiv abgelehnt“ (Wiesner, 1994, S. S51).
5.	Durch Primärerfahrungen der Schülerinnen und Schüler könnte das Licht der Sonne als <i>gelb</i> beschrieben werden, was lernhinderlich wäre.
7.	Definition von weißem Licht. Experiment: weißes und gelbes Licht auf weiße Wand <u>Versuch</u> : Dispersion mit Hilfe des Prismas. <u>Begründung</u> : Um die Vorstellung zu festigen, dass weißes Licht aus Spektralfarben besteht. <u>Versuch</u> : Wiederausammenführung des Lichts durch das Glasprisma mithilfe einer Linse. <u>Begründung</u> : Um zu zeigen, dass das Prisma das Licht nicht verändert, nicht <i>färbt</i> . Veranschaulichung des Dispersionsversuchs durch ein Applet.
8.	Fragen wie: „Was macht das Prisma mit dem weißen Licht?“ <u>Mögliche Antworten</u> : Möglicherweise wird hier die Vorstellung genannt, dass das Prisma das Licht <i>bunt</i> macht, bzw. <i>färbt</i> . <u>Richtig</u> : Das Prisma spaltet das weiße Licht in seine Farbbestandteile.

Tabelle 2: Planung des Unterrichtskonzepts *Sonnenlicht- sonnenähnliches Licht* mit dem CoRe- Raster

Lichtsender - Lichtempfänger	
Ein Gegenstand ist entweder ein Selbstsender (selbstleuchtend) oder ein Zwischensender (muss beleuchtet werden). Damit wir einen Gegenstand wahrnehmen muss Licht vom Gegenstand in unser Auge (= Empfänger) fallen.	
1.	Selbstsender sind Gegenstände die selbst Licht erzeugen. Wenn das Licht des Selbstsenders in das Auge gelangt, kann man den Selbstsender sehen. Zwischensender sind Gegenstände die kein Licht erzeugen. Sie müssen beleuchtet werden und das Licht in unser Auge weiterstrahlen, damit wir sie wahrnehmen können.
2.	Menschen benötigen Licht um überhaupt sehen zu können.
3.	Wenn Licht ins Auge trifft, werden die Sinneszellen der Netzhaut gereizt. Dieser Reiz führt zu elektrochemischen Impulsen die im Gehirn weitergeleitet und verarbeitet werden.
4.	Wenn die SEV nicht akzeptiert wird, kann die Farb- und Bildentstehung auch nicht richtig erklärt werden.
6.	Wir sehen Gegenstände wenn sie beleuchtet werden - dazu muss das Licht nicht in unser Auge gelangen. Das Auge sendet Sehstrahlen aus und tastet so die Umgebung ab. Damit man Gegenstände wahrnehmen kann, muss das Licht nur von der Lichtquelle zum Gegenstand leuchten. Der Weg vom Licht ins Auge ist unbedeutend.
7.	Erklärung der Begriffe Selbstsender bzw. Zwischensender. Man sieht Selbstsender, wenn sie Licht in unser Auge senden. <u>Begründung:</u> Damit Schülerinnen bzw. Schüler die Wahrnehmung von Selbstsendern erklären können. Man sieht Zwischensender, wenn sie das Licht eines Selbstsenders weiterstrahlen und es ins Auge gelangt. <u>Begründung:</u> Damit Schülerinnen bzw. Schüler die Wahrnehmung von Selbstsendern erklären können. Transferbeispiele dazu lösen: Wann siehst du die Lampe? Wann siehst du den Tisch? Kann man einen Selbst- bzw. Zwischensender sehen, wenn es vollkommen dunkel ist?
8.	Warum siehst du die Lampe? <u>Mögliche Antworten:</u> Weil die Lampe hell leuchtet <u>Richtig:</u> Die Lampe ist ein Selbstsender. Wenn Licht von der Lampe in mein Auge trifft, kann ich die Lampe sehen. Warum siehst du den Tisch? <u>Mögliche Antworten:</u> Weil es hell im Zimmer ist <u>Richtig:</u> Der Tisch ist ein Zwischensender. Ich sehe den Tisch wenn das Licht der Lampe auf den Tisch trifft und der Tisch es in mein Auge sendet.

Tabelle 3: Planung des Unterrichtskonzepts *Lichtsender-Lichtempfänger* mit dem CoRe- Raster

Wechselwirkung von Licht mit Materie - Körperfarben	
Wenn Licht auf Materie trifft, wird ein Teil des Lichtes abgestrahlt, der andere Teil wird aufgenommen und vorwiegend in Wärme umgewandelt. Farbe ist keine Eigenschaft des Gegenstandes, die Farbe hängt auch vom Licht ab mit dem ein Gegenstand beleuchtet wird. Der Farbeindruck <i>Weiß</i> entsteht, wenn alle Lichtsorten des Sonnenlichts abgestrahlt werden. Der Farbeindruck <i>Schwarz</i> entsteht, wenn alle Lichtsorten aufgenommen werden. Wir können schwarz erscheinende Gegenstände nur wegen ihrer Umgebung, die Licht ins Auge sendet, wahrnehmen. Da schwarz erscheinende Gegenstände kein Licht ins Auge senden, wird im Gehirn der schwarze Farbeindruck erzeugt.	
1.	Jene Lichtsorten, die wieder abgestrahlt werden, überlagern sich zu dem Farbeindruck den wir wahrnehmen, wenn das abgestrahlte Licht in unser Auge gelangt. Je nach Lichtsorte mit der der Gegenstand beleuchtet wird, nehmen wir ihn in einem bestimmten Farbeindruck wahr.
2.	Durch die Wechselwirkung von Licht mit Materie kann erklärt werden, warum ein Gegenstand in einer bestimmten Farbe wahrgenommen wird.
3.	Unser Auge hat nur Rezeptoren für die Farben Rot, Grün und Blau. Andere Farbeindrücke kommen durch die Reizung mehrerer Sinneszellen im Auge zustande, die vom Gehirn als neue Farbeindrücke verarbeitet werden.
4.	Dass dem Gegenstand eine Farbe zugeordnet wird, unabhängig davon mit welchem Licht er beleuchtet wird.
5.	„Die Farbe des Lichts (= Helligkeit) mischt sich irgendwie mit der Farbe des Gegenstandes“ (Blumör, 1993, S. S84). „Helle Farben werden auch im Dunkeln ohne Licht gesehen“ (Blumör, 1993, S. S84).
7.	Abhängigkeit des Farbeindrucks einer Oberfläche vom beleuchtenden Licht. <u>Versuch:</u> Malkasten mit Buntstiften mit farbigem Licht beleuchten. <u>Begründung:</u> Um zu verdeutlichen, dass Farbe keine Eigenschaft des Gegenstandes ist. <u>Versuch:</u> Streulichtversuch. Wegkommen vom <i>alles oder nichts</i> Gedanken zum <i>mehr oder weniger</i> Gedanken. <u>Begründung:</u> Um Phänomene des Alltags beschreiben zu können und sich nicht nur auf idealisierte Vorgänge zu beschränken.
8.	Einen roten Baustein mit weißem Licht beleuchten und fragen wieso wir den Baustein rot wahrnehmen. <u>Mögliche Antworten:</u> Weil er rot ist, weil er rot angemalt ist. <u>Richtig:</u> Weil er rotmachendes Licht abstrahlt und das in unser Auge kommt. <u>Streulichtversuch:</u> Erkläre warum die Wand der Schachtel auf einmal rot erscheint? <u>Mögliche Antworten:</u> Das Blatt färbt die Wand rot. An der Wand ist ein rotes Bild vom Blatt. <u>Richtig:</u> Das Blatt reflektiert die rote Lichtsorte auf die Schachtelwand. Von der Wand gelangt die rote Lichtsorte in unsere Augen.

Tabelle 4: Planung des Unterrichtskonzepts WW Licht-Materie- Körperfarben mit dem CoRe- Raster

4.2 Didaktische Rekonstruktion einzelner Konzepte für das Unterrichtsmaterial

Das Konzept der Didaktischen Rekonstruktion wurde bereits in Kapitel 2.4 näher vorgestellt. Dabei findet ausgehend von der fachlichen Klärung und dem Erfassen der Lernerperspektiven eine Didaktische Strukturierung statt (Abb. 7).

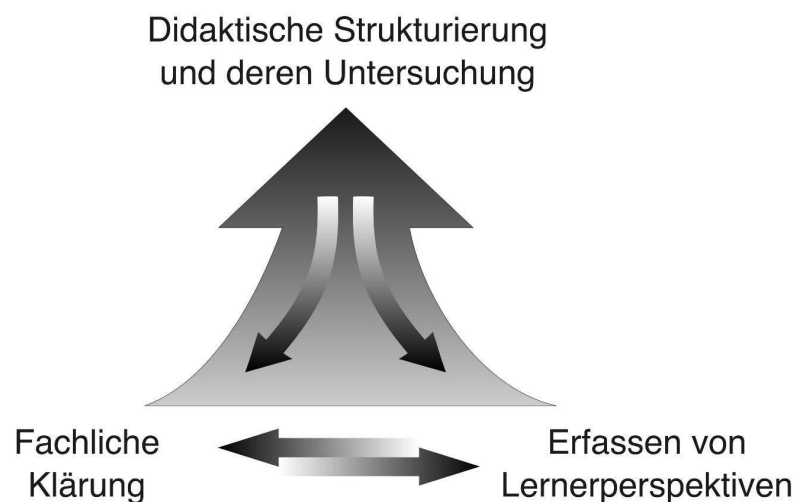


Abbildung 7: Fachdidaktisches Triplet: Beziehungsgefüge der Teilaufgaben im Modell der Didaktischen Rekonstruktion Quelle: (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 4)

Hier werden nun didaktische Rekonstruktionen zu drei Themenbereichen der Farbenlehre vorgestellt, die in die drei Eckpunkte des fachdidaktischen Triplets gegliedert wurde:

Die *fachliche Klärung* umfasst Auszüge aus der Fachliteratur, elementare Konzepte, die historische Entwicklung dieses Themenbereichs, fachwissenschaftliche Aussagen und deren Grenzen, sowie die Funktion und Bedeutung fachlicher Begriffe.

Bei den *Lernerperspektiven* werden Schülervorstellungen mit Wissenschaftsvorstellungen verglichen, sowie deren Gemeinsamkeiten und Verschiedenheiten erläutert.

Im Kapitel *didaktische Strukturierung* werden Probleme, die dieses Thema für die Lernenden aufwirft kurz besprochen, sowie die Eingliederung des entwickelten Themenbereichs in die Unterrichtsmaterialien vorgestellt.

4.2.1 Weißes Licht

4.2.1.1 Fachliche Klärung

„[...] Wir empfinden jenes Licht als weiß, dessen spektrale Zusammensetzung derjenigen des Sonnenlichts ähnelt“ (Hecht, 1999, S. 223).

„Das für uns weiße Licht ist also eine Mischung vieler Spektralfarben zu gleichen Teilen. Eine nicht geringe Zahl unterschiedlicher Frequenzmischungen erscheint uns mehr oder weniger weiß. Ein Blatt Papier beispielsweise zeigt im Licht einer Glühlampe ein „anderes“ Weiß als bei Tageslicht. Die Weißempfindung wird von vielen Paaren farbiger Lichtstrahlen erzeugt[...]. Zwischen den verschiedenen Weißtönen kann das Auge nicht immer unterscheiden, da es das Licht nicht durch Zerlegung in seine harmonischen Komponenten analysieren kann, wie es etwa das Ohr mit dem Schall vermag[...]“ (Hecht, 1999, S. 135f).

Elementare Konzepte

Sonnenlicht besteht aus verschiedenen Spektralfarben, deren Überlagerung der Mensch als weiß empfindet. Mit Lampen versuchen Menschen die spektrale Zusammensetzung des Sonnenlichts nachzuahmen. Licht, das dem der Sonne ähnelt, wird auch als weißes Licht bezeichnet. Mit einem Glasprisma kann weißes Licht in seine Komponenten zerlegt werden. Menschen können nur den sichtbaren Bereich des Spektrums wahrnehmen. An den roten Bereich schließt der infrarote Bereich, an den blauen bzw. violetten der ultraviolette Bereich an.

Historische Entwicklung

Bereits im 17. Jahrhundert war bekannt, dass man mit einem Prisma *Farben aus Sonnenlicht erzeugen* kann. Damals glaubte man, dass das Prisma das Sonnenlicht färbt und so das weiße Sonnenlicht verändert (Hecht, 1999, S. 135). Newton war der erste, der sich vom wissenschaftlichen Standpunkt aus näher mit den Vorgängen im Prisma beschäftigte. In seiner Abhandlung *A new theory about Light and Colours* wies er darauf hin, „dass weißes Licht eine Mischung von verschiedenen Farbanteilen ist und dass der Brechungsvorgang von der Farbe abhängt[...]“ (Hecht, 1999, S. 309). Somit kann man Newton als den Begründer der Farbenlehre betrachten.

Fachwissenschaftliche Aussagen und deren Grenzen

Die Mischung aller Spektralfarben empfinden wir als weiß. Wenn die spektrale Zusammensetzung des Lichts, beispielsweise bei künstlichen Lichtquellen, der des Sonnenlichts nur ähnelt, jedoch nicht gleicht, empfinden wir das Licht nicht mehr als gänzlich weiß.

Funktion und Bedeutung fachlicher Begriffe

Ein Glasprisma ist ein optisches Hilfsmittel, um Sonnenlicht in seine spektralen Komponenten zu zerlegen. Wenn man ein Glasprisma als Anschauungsmaterial zur Verfügung hat, sollte der Begriff den Schülerinnen und Schülern keine Schwierigkeiten bereiten.

Der Begriff (Farb-)Spektrum ist sicherlich für viele Lernende in der vierten Klasse neu. Je nach Lernziel kann der Begriff eingesetzt werden, oder auch mit Formulierungen wie *Regenbogenfarben* umschrieben werden.

Dispersion nennt man den Vorgang, bei dem weißes Licht in seine Spektralfarben zerlegt wird. Ein dispersives Element ist ein Hilfsmittel, welches das weiße Licht in seine Bestandteile aufspaltet. Den Begriff Dispersion könnte man beispielsweise mit dem Wort *Aufspaltung* oder *Zerlegung* umschreiben.

4.2.1.2 Lernerperspektiven

Lernerperspektiven - Wissenschaftsperspektiven²

LP: „Licht hat keine Farbe, es ist hell“ (Blumör, 1993, S. 84).

WP: Sonnenlicht bzw. sonnenähnliches Licht, d.h. Licht mit der gleichen spektralen Zusammensetzung wie das Sonnenlicht, wird als weißes Licht bezeichnet. Es ist eine Mischung der Spektralfarben.

LP: „Die Vorstellung, dass Sonnenlicht ein Gemisch verschiedener Lichtsorten ist, also z.B. auch eine blaue Lichtsorte enthält, wird massiv abgelehnt“ (Wiesner, 1994, S. 51).

WP: Die Dispersion mit Hilfe des Prismas zeigt uns, dass Sonnenlicht alle Regenbogenfarben enthält.

LP: „Licht bedeutet nicht irgendeine Strahlung oder etwas Körperliches, sondern Helligkeit im Sinne der Sichtbarkeit oder Erkennbarkeit. Lichtmachen bedeutet die latenten Farben zu wirklichen zu machen“ (Jung, 1981, S. 142).

² Im Folgenden werden die Lernerperspektiven immer mit LP, die Wissenschaftsperspektiven mit WP abgekürzt.

WV: Licht ist elektromagnetische Strahlung, die Energie transportiert. Trifft Licht unterschiedlicher Qualität ins Auge, so werden die Sinneszellen der Retina gereizt und die dadurch entstehenden elektrischen Impulse im Gehirn zu einem Bild vereinigt. Farbe ist daher etwas, das in unserem Gehirn entsteht. Gegenstände, die Licht ins Auge senden, sind jedoch dafür verantwortlich, welche Sinneszellen der Retina gereizt werden.

Gemeinsamkeiten und Verschiedenheiten zwischen Lernerperspektiven und Wissenschaftsperspektiven

Genau wie Schülerinnen und Schüler heute, glaubten einige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, bis zu Newtons Publikation (und auch später noch), dass das Prisma das Licht färbt. Auf die genaue strahlengeometrische Herleitung der Dispersion muss im entwickelten Material verzichtet werden, da die mathematischen Inhalte das Wissen der Unterstufenschülerinnen und Schüler bei weitem übersteigt. Die Vorstellungen von Licht gehen bei Physikerinnen und Physikern und Lernenden weit auseinander. Für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist Licht eine elektromagnetische Strahlung bzw. besteht Licht aus Teilen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Schülerinnen und Schüler identifizieren Licht als eine Art Helligkeit und diese als Voraussetzung für den Sehvorgang.

4.2.1.3 Didaktische Strukturierung

Um das Thema Farben zu verstehen, muss man wissen, dass weißes Licht eine Mischung der Spektralfarben ist. Diese kann man mit einem Glasprisma sichtbar machen. Bereits Kleinkindern ist bekannt, dass man in der Nacht, wenn es dunkel ist, wenig und keine Farben sieht. Daher stammt auch das Sprichwort: *In der Nacht sind alle Katzen grau.*

Rekonstruktion des Konzepts für das Unterrichtsmaterial

Da der Begriff des weißen Lichts erhebliche Lernschwierigkeiten bei der Probebefragung 1 verursachte, wurde nach einer Expertenevaluierung entschieden, den Begriff durch Sonnenlicht bzw. sonnenähnliches Licht zu ersetzen. Die Leitidee im verbesserten Unterrichtsmaterial war folgende: *Licht kann man mischen, also muss man es auch zerlegen können.* Dazu wurden von den Schülerinnen und Schülern zuerst Vermutungen zu zwei Bildern angestellt. Ein Bild zeigte eine Schachtel mit Loch, in das eine Röhre gesteckt wurde (Abb. 8). Das andere Bild zeigte das Innere der Schachtel bei einem Blick durch die Röhre (Abb. 9). Die Schülerinnen und Schüler vermuteten eine gelbe Glühbirne

in der Schachtel. In Wirklichkeit waren jedoch eine roten und eine grüne Lampe in der Schachtel, deren Lichtkegel auf der Schachtel zu gelbem Licht vereinigt wurden.



Abbildung 8: Schachtel mit Loch und Röhre



Abbildung 9: Ein Blick durch die Röhre

Anschließend wurde das Licht verschiedener bunter Glühbirnen vermischt um zu demonstrieren, dass man verschiedene Lichtsorten zu einer neuen Lichtsorte mischen kann. In Abbildung 10 ist das Ergebnis der Mischung von Rot und Grün dargestellt. In Abbildung 11 sieht man die Mischung von blauem mit grünem Licht und in Abbildung 12 die Mischung von blauem mit rotem Licht.



Abbildung 10: Mischung von rotem und grünem Licht



Abbildung 11: Mischung von blauem und grünem Licht

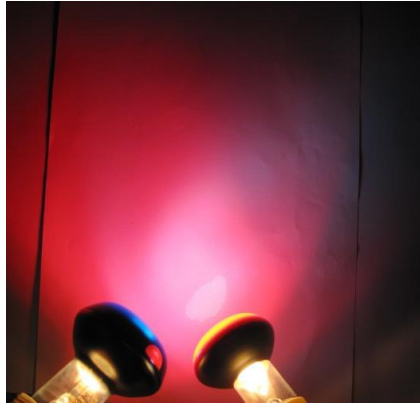


Abbildung 12: Mischung von blauem und rotem Licht

Anschließend wurde die spektrale Zusammensetzung des sonnenähnlichen Lichts des Overheadprojektors mit einem Prisma untersucht (Abb. 13).

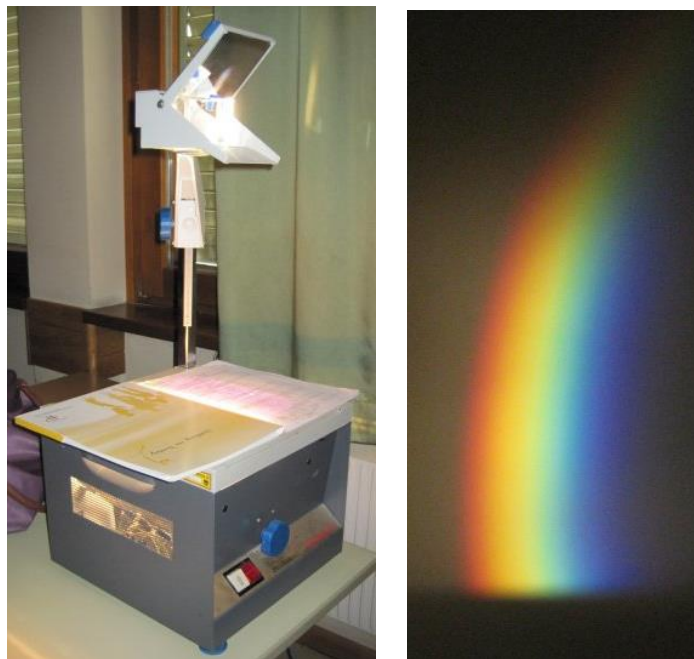


Abbildung 13: Demonstrationsversuch Dispersion mit dem Prisma und Ergebnis

Um zu testen, ob die Regenbogenfarben monochromatisch sind, wurde der rote Lichtstrahl durch ein zweites Prisma gelenkt (Abb. 14).

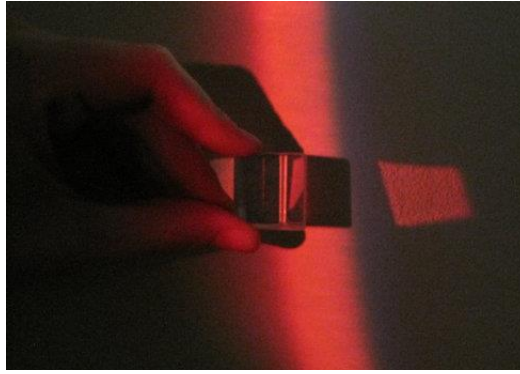


Abbildung 14: Test, ob rotes Licht monochromatisch ist

Zum Schluss wurde mit einer Linse demonstriert, dass die Überlagerung von allen Spektralfarben wieder sonnenähnliches Licht ergibt (Abb. 15).



Abbildung 15: Überlagerung aller Spektralfarben ergibt wieder sonnenähnliches Licht

4.2.2 Absorption, Farbfilter

4.2.2.1 Fachliche Klärung

„Filternde Funktionselemente verändern die spektrale Zusammensetzung des Lichtes. Farbfilter haben einen eingeschränkten spektralen Durchlässigkeitsbereich, Kantenfilter eine kurz- oder langwellige Grenze. Absorptionsfilter beruhen auf der wellenlängenabhängigen Absorption von optisch durchlässigen Stoffen. Planparallel geschliffene Farbgeläser stellen die hochwertigen Absorptionsfilter für optische Geräte dar“ (Haferkorn, 1994, S. 407f).

Elementare Konzepte

Farbfilter sind optisch durchlässige Stoffe. Sie sind Hilfsmittel, die für manche Spektralbereiche des sichtbaren Lichts durchlässig sind, für alle anderen nicht. Dadurch ermöglichen Farbfilter es uns, die unterschiedlichsten Farbeindrücke entstehen zu lassen und finden in verschiedenen optischen Geräten ihre Anwendung. Wenn ein Farbfilter alle Komponenten des sichtbaren Spektrums absorbiert erscheint er schwarz.

Fachwissenschaftliche Aussagen und deren Grenzen

Die Aussage, dass Gegenstände schwarz erscheinen, wenn sie alle Bereiche des sichtbaren Spektrums absorbieren, ist nur teilweise richtig. Auch schwarze Gegenstände reflektieren einen Teil des einfallenden Lichts. Beweise dafür liefert beispielsweise schwarzes Lackleder, in dem man sich trotzdem spiegeln kann (Hecht, 1999, S. 229).

Funktion und Bedeutung fachlicher Begriffe

Der Durchlässigkeitsbereich ist jener Wellenlängenbereich des Spektrums, der von einem Filter durchgelassen, also transmittiert wird. Dieser Begriff ist für Schülerinnen und Schüler nicht von Bedeutung, weil der Begriff durch verschiedene Farbeindrücke umschrieben werden kann. Beispielsweise: Der grüne Farbfilter lässt nur den grünen Farbanteil durch, alle anderen Farbanteile werden aufgenommen und in Wärme umgewandelt.

Der Begriff Absorption beschreibt den Vorgang, bei dem Licht mit Materie in Wechselwirkung tritt und das Licht dabei Energie an den Körper abgibt. Dieser Begriff kann mit dem Wort *Aufnehmen*, oder *Verschlingen*, *Verschlucken* umschrieben werden.

Subtraktive Farbmischung beschreibt die Farbentstehung durch Absorption bestimmter Wellenlängen des sichtbaren Spektrums. Der Farbeindruck entsteht durch Überlagerung der transmittierten Anteile des Spektrums. Die subtraktive Farbmischung hat jedoch nichts mit dem umgangssprachlichen Mischen zu tun und sollte im Sinne von *filtern* verstanden werden, da Anteile des Lichtes weggenommen werden.

4.2.2.2 Lernerperspektiven

Lernerperspektiven – Wissenschaftsperspektiven

LP: „Licht kann verschiedene Farben haben. Wenn es durch einen durchsichtigen farbigen Körper scheint nimmt es dessen Farbe an“ (Blumör, 1993, S. 84). „Eine farbige Folie färbt das Licht beim Durchgang durch die Folie, keineswegs absorbiert sie bestimmte Anteile“ (Wiesner, 1994, S. 51).

WP: Das vom Farbfilter transmittierte Licht erscheint in der Mischung jener Farben, die nicht absorbiert wurden.

LP: „Wenn eine farbige Folie vor die Augen gehalten wird, deckt sie alle anderen Farben ab“ (Blumör, 1993, S. 84).

WP: Eine färbige Folie „deckt keine Farben ab“, sie absorbiert bestimmte Lichtanteile, andere werden transmittiert. Dieser Vorgang wird als selektive Absorption bezeichnet.

Gemeinsamkeiten und Verschiedenheiten zwischen Lernerperspektiven und Wissenschaftsperspektiven

Die Färbepredstellung von Schülerinnen und Schülern beim Durchgang von Licht durch eine färbige Folie ist physikalisch nicht angemessen. Ein Farbfilter absorbiert bestimmte Lichtanteile, andere Lichtanteile werden transmittiert. Wenn man blaues Licht durch einen roten Farbfilter schickt, wird es nicht rot gefärbt.

4.2.2.3 Didaktische Strukturierung

Das Hauptaugenmerk sollte darauf gerichtet werden, dass das Licht beim Durchgang durch den Farbfilter nicht gefärbt wird. Der Vorgang der subtraktiven Farbmischung ist für viele Schülerinnen und Schüler schwer zu verstehen (Viennot & de Hosson, 2012, S. 1). Der Begriff könnte mit dem Begriff physikalische Farbwahrnehmung umschrieben werden.

Eingliederung in das Unterrichtsmaterial

Um die Schülerinnen und Schüler entdecken zu lassen, was färbige Folien mit Licht bewirken, wurde folgender Versuch entwickelt: Das Licht wurde durch ein Prisma in seine Farbbestandteile zerlegt. Auf den Overheadprojektor wurde oben eine grüne und unten eine rote Folie gelegt. Da die grüne Folie nur den grünen Farbanteil transmittiert, erkennt man in Abbildung 13 oben nur den grünen Lichtstreifen. Unten ist nur der rote Lichtstreifen zu sehen, da die rote Folie nur den roten Lichtanteil transmittiert. (Abb. 16)



Abbildung 16: Roter (unten) und grüner (oben) Farbfilter verändern das Spektrum

Um zu demonstrieren, dass die färbige Folie das Licht nicht färbt, wurde die grüne Folie in den, durch die rote Folie erzeugten, roten Lichtstrahl gehalten und das Ergebnis interpretiert. Wenn Farbfilter das Licht färben würden, müsste die grüne Folie den roten Lichtstrahl grün färben. Tatsächlich absorbiert die grüne Folie den roten Lichtanteil, daher sieht man einen schwarzen Farbeindruck am unteren Ende des Spektrums (Abb. 17).



Abbildung 17: Eine grüne Folie absorbiert rotes Licht

4.2.3 Körperfarben

4.2.3.1 Fachliche Klärung

„Die Farbempfindung ist die subjektive physiologische und psychologische Reaktion des Menschen in erster Linie auf die verschiedenen Frequenzbereiche zwischen 384THz und 769THz in der Reihenfolge Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett [...]. Dabei ist die Farbigkeit keine Eigenschaft des Lichts selbst, sondern sie wird durch die elektrochemische Sinneswahrnehmung im Auge, in den Nervenbahnen und im Gehirn hervorgerufen. Wir sollten daher nicht ‚gelbes Licht‘ sagen, sondern ‚von uns als gelb empfundenen Licht‘ (Hecht, 1999, S. 136).

Im Unterrichtsmaterial wurde nicht konsequent mit Ausdrücken wie *von uns als grün wahrgenommenes Licht* gearbeitet, da dies den Satzbau erheblich verkompliziert und die Sätze deutlich verlängert hätte. Das hätte zu weniger Verständnis von Seiten der Schülerinnen und Schüler geführt. In der Akzeptanzbefragung wurden die Befragten jedoch aufgefordert diese beiden Formulierungen zu bewerten.

Elementare Konzepte

Gegenstände erscheinen den Menschen farbig, weil sie bestimmte Bereiche des sichtbaren Lichts weiterstrahlen. Oberflächen haben die Eigenschaft immer die gleichen Bereiche des Spektrums zu absorbieren bzw. abstrahlen. In farbigem Licht kann eine Oberfläche daher auch in einer anderen Farbe, als im weißen Licht, erscheinen.

Unsere Netzhaut hat nur Sinneszellen für die Farben Rot, Grün und Blau. Werden mehr als nur die Sinneszellen für einen Farbeindruck gereizt, so erkennen wir Mischfarben. Die Farbe Gelb ist ein Beispiel für die Reizung der roten und grünen Sinneszellen. Dieses Prinzip nutzen wir beim Fernsehen oder beim Computerbildschirm. Ein Pixel ist aus den Farben Rot, Grün und Blau aufgebaut. Durch unterschiedliche Intensitäten dieser drei Farben erhalten wir den Farbeindruck einer neuen Mischfarbe.

Historische Entwicklung

Nach Hecht (1999, S. 224) erkannte bereits im frühen neunzehnten Jahrhundert der Physiker Young, dass man sehr viele Farben durch Mischung dreier Lichtstrahlen erhalten kann, „vorausgesetzt die Frequenzen dieser Strahlen sind möglichst weit voneinander entfernt“ (Hecht, 1999, S. 224). Drei Farben, die sich zu weißem Licht zusammenmischen lassen, nannte er Grundfarben.

Fachwissenschaftliche Aussagen und deren Grenzen

„Verschiedene Frequenzmischungen können interessanterweise dieselbe Farbempfindung im sensorischen Feld auslösen. Ein roter Lichtstrahl[...] der von einem grünen Lichtstrahl [...] überlagert wird, erzeugt einen gelben Farbeindruck, obwohl die Mischung keinen Anteil aus dem so genannten gelben Bereich des Spektrums besitzt. Das sensorische Feld scheint den einfallenden Frequenzbereich zu mitteln und ‚sieht‘ Gelb[...]“ (Hecht, 1999, S. 136).

Funktion und Bedeutung fachlicher Begriffe

Unter dem Begriff *elektrochemische Sinneswahrnehmung* versteht man die Informationsübertragung im Gehirn die über Nervenzellen erfolgt. Die Nervenzellen verarbeiten elektrische Impulse und leiten sie weiter. Der Begriff elektrochemische Sinneswahrnehmung ist lernhinderlich und für Schülerinnen und Schüler nicht relevant.

Additive Farbmischung beschreibt den Vorgang der Entstehung eines neuen Farbeindrucks durch Überlagerung von zwei unterschiedlichen Farben. Dieser Begriff ist für Schülerinnen und Schüler wichtig, da die additive Farbmischung die Farbeindrücke unserer Umwelt, die durch das Gehirn erzeugt werden, erklärt. Die additiven Farbmischungsregeln stimmen nicht mit den Erfahrungen, die die Lernenden im Kindesalter mit dem Malkasten gemacht haben überein, daher könnten Lernwiderstände ausgelöst werden. Näheres dazu ist in Kapitel 4.2.3.3 zu finden.

Komplementärfarben sind jene Farben, die bei der Überlagerung einen weißen Farbeindruck ergeben. Bei der additiven Farbmischung ist der Begriff Komplementärfarbe wichtig.

Zapfen sind Rezeptoren der Netzhaut, die für das Farbsehen verantwortlich sind. *Stäbchen* sind Rezeptoren der Netzhaut, die für das Sehen bei geringer Helligkeit, daher vor allem für Grautöne verantwortlich sind. Diese Begriffe sind wichtig, um den Wortschatz der Schülerinnen bzw. Schüler zu vergrößern und um die Farbwahrnehmung besser erklären zu können. Es könnte jedoch zu einer Verwechslung mit dem Wort *Zäpfchen* kommen, welches in der Medizin eingesetzt wird.

4.2.3.2 Lernerperspektiven

Lernerperspektiven – Wissenschaftsperspektiven

- LP: „Ein Gegenstand hat eine Farbe, die bei Licht oder richtiger Beleuchtung gesehen wird. Farbe ist also eine sinnliche Qualität des Gegenstandes“ (Blumör, 1993, S. 84). „Ein im Sonnenlicht grün aussehender Baustein der anschließend mit rotem Licht beleuchtet wird ist immer noch grün, man sieht ihn jedoch in einer anderen Farbe“ (Herdt, 1990, S. 80).
- WP: Farbe ist etwas, dass in unserem Gehirn entsteht. Ein Gegenstand hat keine Farbe, er hat die Eigenschaft bestimmte Frequenzen zu absorbieren bzw. andere weiter zu strahlen.
- LP: „Eine Oberfläche sieht man rot, weil sie rot ist und das auffallende Licht das rot sichtbar werden lässt“ (Wiesner, 1994, S. 51).
- WP: Farbe ist keine Eigenschaft des Gegenstandes, sondern wird durch die elektrochemische Sinneswahrnehmung im Auge, in den Nervenbahnen und im Gehirn hervorgerufen. Ob man eine Oberfläche rot wahrnimmt hängt auch von der Lichtsorte oder der Qualität des Lichtes ab, mit dem die Oberfläche beleuchtet wird.
- LP: „Helle Farben werden auch im Dunkeln ohne Licht gesehen“ (Blumör, 1993, S. 84).
- WP: Man darf helle Farben nicht mit Lichtquellen verwechseln. Farben kann man nur wahrnehmen, wenn Licht ins Auge fällt, ohne Licht sieht man gar nichts.
- LP: „Malkastenregeln dominieren: Gelb + Blau = Grün“ (Wiesner, 1994, S. 51).
- WP: Es gibt additive Farbmischungsregeln, die sich von den Malkastenregeln unterscheiden: Grün + Rot = Gelb.
- LP: „Es gibt zwei verschiedene Arten von Schwarz: das Dunkle [...] und die Schwärze als Farbe“ (Jung, 1981, S. 147).
- WP: Dunkelheit ist das Fehlen von Licht, Schwarz erscheinen jene Gegenstände die nahezu alle Farbsorten des Regenbogens fast vollständig zu absorbieren.

Gemeinsamkeiten und Verschiedenheiten zwischen Lernerperspektiven und Wissenschaftsperspektiven

Eine Gemeinsamkeit zwischen Schülerinnen bzw. Schülervorstellungen und denen der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist, dass es Farbmischungsregeln gibt, bzw. dass durch das Mischen zweier unterschiedlicher Farben eine neue entsteht. Bei den Lernenden dominieren jedoch die Malkastenregeln, während sich die Physikerinnen und Physiker auf die additiven Farbmischungsregeln beziehen. Der Unterschied zwischen Licht und Helligkeit ist für Schülerinnen und Schüler schwer zu verstehen, sie unterscheiden zwischen *hellen* und *dunklen* Farben, genauso wie es verschiedene Vorstellungen zu *Schwarz* gibt.

4.2.3.3 Didaktische Strukturierung

Um das Farbsehen verstehen zu können, muss man die Vorgänge im Auge und die Farbmischungsregeln kennen und verstehen. Wichtig ist dabei, die Farbmischungsregeln nicht mit den Malkastenregeln zu verwechseln. Bei den Wasserfarben ergibt die Mischung von Gelb und Blau einen grünen, bei der additiven Farbmischung einen weißen Farbeindruck. Im Material kommen die Farbmischungsregeln nicht vor, da die Unterrichtsmaterialien sonst zu umfangreich geworden wären.

Eingliederung in das Unterrichtsmaterial

Anfangs wurde erklärt, dass wir Gegenstände in jener Farbe wahrnehmen für die der Gegenstand ein Zwischensender ist. Alle anderen Lichtsorten werden vom Gegenstand aufgenommen und in Wärme umgewandelt. Um den Vorgang für Schülerinnen und Schüler verständlich darstellen zu können, wurden die Ergebnisse der Voruntersuchung verwendet. Daraus wurde folgende Darstellungsform entwickelt (Abb. 18):

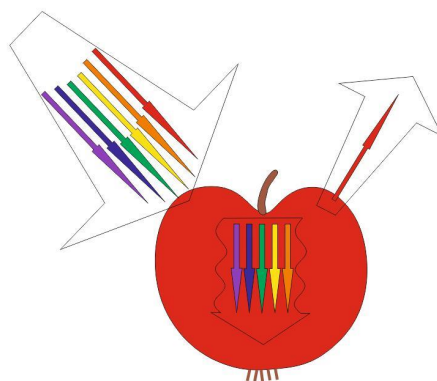


Abbildung 18: Ein Apfel erscheint im Sonnenlicht rot, weil er ein Zwischensender für die rote Lichtsorte ist. Alle anderen Lichtsorten werden aufgenommen und in Wärme umgewandelt.

Da Menschen gewöhnt sind alle Gegenstände in weißem Licht zu betrachten, verblüffte ich die Schülerinnen und Schüler mit folgendem Versuch: Ein Buntstiftkasten wurde mit verschieden farbigem Licht beleuchtet. Dabei wurde der Raum so gut wie möglich abgedunkelt und das Licht einer Taschenlampe durch einen Rot-, Grün- und Blaufilter auf die Buntstifte gesendet. Die Befragten sollten die Farben der Stifte der Reihe nach aufzählen (Abb. 19).

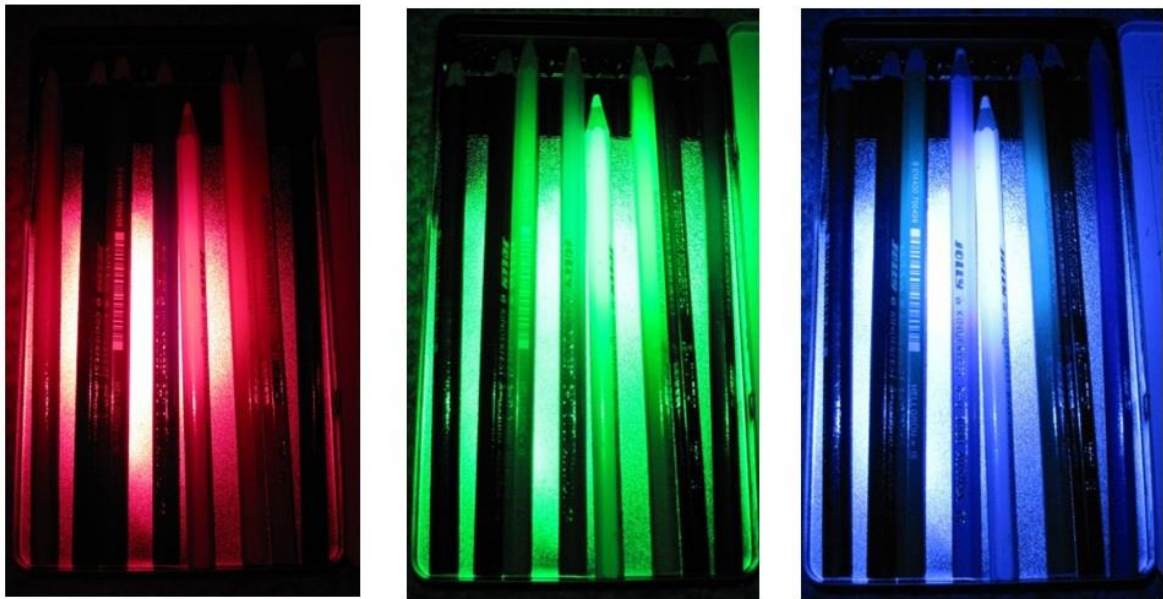


Abbildung 19: Beleuchtung desselben Malkastens mit rotem, grünem und blauem Licht

Anschließend wurde derselbe Malkasten mit sonnenähnlichem Licht beleuchtet (Abb. 20).



Abbildung 20: Beleuchtung des Malkastens mit sonnenähnlichem Licht

Danach folgte die Erklärung, dass die Farbe in der wir Gegenstände wahrnehmen einerseits davon abhängt, für welche Lichtsorte der Gegenstand ein Zwischensender ist und andererseits von dem Licht, mit dem der Gegenstand beleuchtet wird. Dieser Sachverhalt

wurde genauer durch die Darstellung eines im Sonnenlicht rot erscheinenden Apfels, der mit blauem Licht beleuchtet wird, verdeutlicht (Abb. 21).

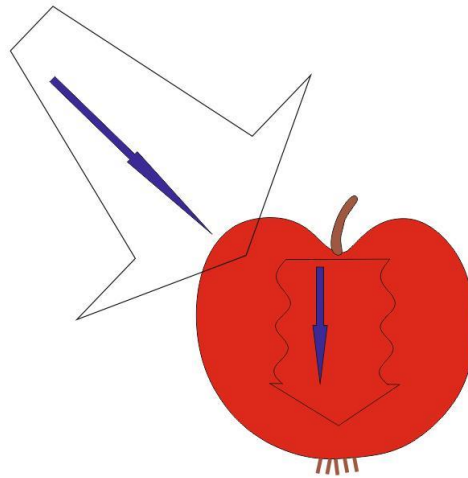


Abbildung 21: Im Sonnenlicht rot erscheinender Apfel wird mit blauem Licht beleuchtet

Um zu kontrollieren, ob die Schülerinnen und Schüler das Konzept verstanden haben, wurden in einem Gedankenexperiment verschiedene Äpfel mit verschiedenen Lichtsorten beleuchtet. Die Befragten mussten erläutern, in welcher Farbe der Apfel dem Beobachter erscheint.

4.3 Die Sachstruktur der Intervention

In diesem Abschnitt werden die Sachstruktur der Farbenlehre von drei bekannten Physikschulbüchern der vierten Klassen mit der Sachstruktur des Lehrgangs *Unterricht Physik*, sowie der gewählten Sachstruktur des entwickelten Unterrichtsmaterials dargestellt und anschließend miteinander verglichen.

Die Sachstrukturen werden durch ein bzw. mehrere Sachstrukturdiagramme dargestellt, die nach den Ideen von Müller und Diut entwickelt wurden (2004, S. 150f). Zusätzliche Informationen, zu den in den Kästchen befindlichen Themenbereichen, sind unter den Sachstrukturdiagrammen zu finden.

4.3.1 Sachstruktur von Schulbüchern

Um die Sachstruktur von Schulbüchern zu untersuchen wurden folgende Werke miteinander verglichen:

- 1.) Physik heute 4 (Fürnstahl & Wolfbauer, 2008)
- 2.) Physik 4 (Gollenz, Stuzka, Eder, & Tentschert, 2000)
- 3.) Physik kompakt 4 (Ruiter-Gangol, 2010)

Diese drei Werke wurden ausgewählt, da sie in vielen Schulen im Unterricht eingesetzt werden bzw. um zwei neuere Werke mit einem bereits älteren Werk zu vergleichen und die Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede darzustellen.

Die Abfolge der Sachstruktur des gesamten Kapitels Farbenlehre war bei allen dreien ähnlich bzw. gleich und lässt vermuten, dass der Verbesserung der Farbenlehre in den letzten zehn Jahren wenig Bedeutung beigemessen wurde. Die Sachstruktur der Schulbücher wurde durch folgendes Sachstrukturdiagramm dargestellt (Abb. 22):

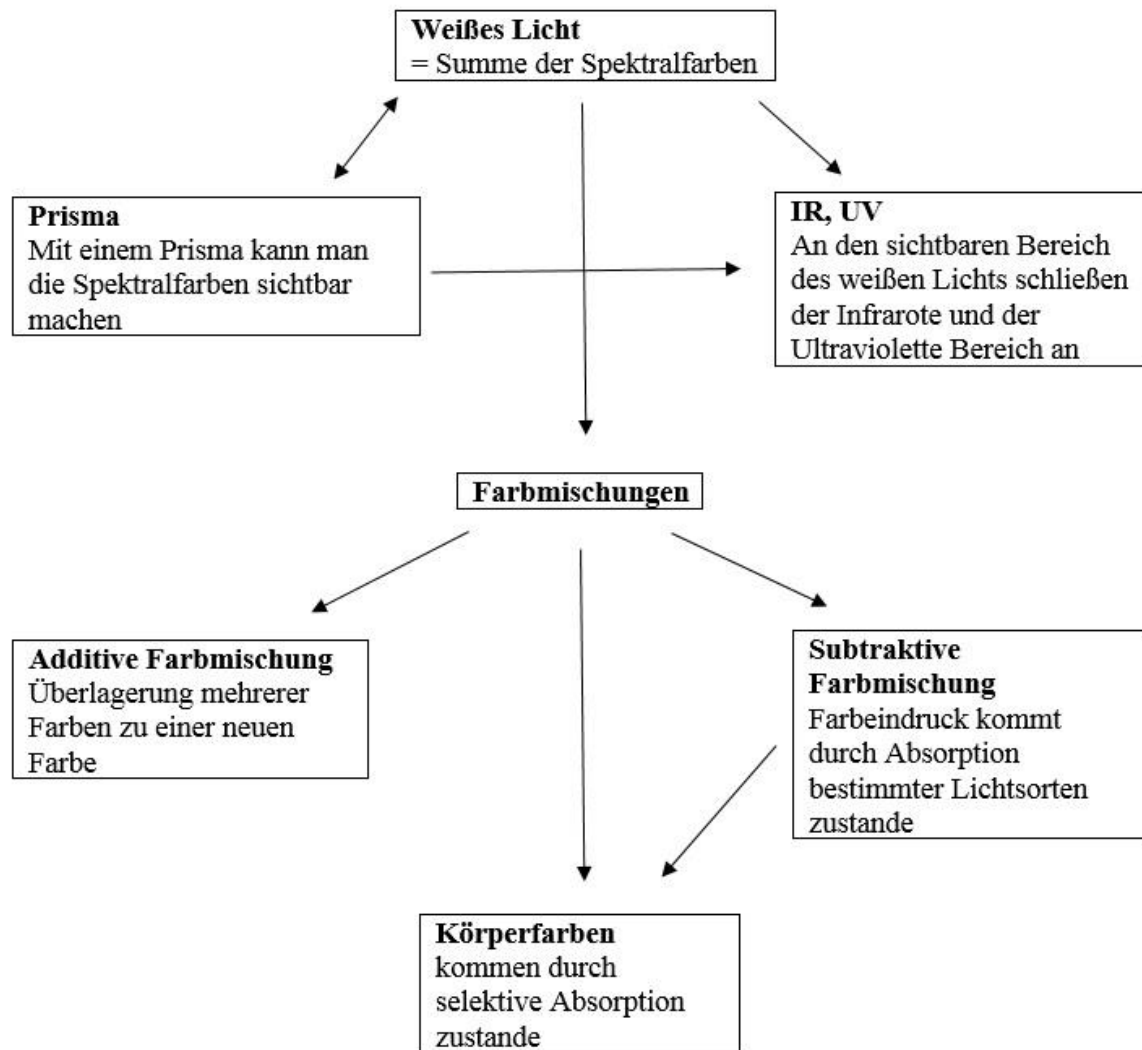


Abbildung 22: Sachstruktur der drei verglichenen Schulbücher

Das Konzept des weißen Lichts wird in allen drei Schulbüchern als Einleitung zum Thema Farbenlehre herangezogen. Dabei wird gezeigt, dass man das weiße Licht mit Hilfe eines Prismas in Spektralfarben zerlegen kann und dass an den sichtbaren Bereich des Spektrums der Infraroten einerseits, sowie der Ultraviolette Bereich andererseits anschließen.

Danach werden die additive Farbmischungen und anschließend die subtraktive Farbmischung besprochen. „Als additive Farbmischung bezeichnet man die Vereinigung von verschiedenen Farbempfindungen durch unser Gehirn zu einer neuen Farbempfindung“. (Gollenz, Stuzka, Eder, & Tentschert, 2000, S. 53) Bei der subtraktiven Farbmischung wird näher darauf eingegangen, dass Farbeindrücke auch durch Farbfilter entstehen können.

Zum Schluss folgt ein kurzes Kapitel über die Entstehung von Körperfarben: Jeder undurchsichtige Körper kann nur in der Farbe bzw. in der Mischung der Farben des von ihm reflektierten Lichtes erscheinen.

4.3.2 Sachstruktur des Lehrgangs Unterricht Physik

Die Abfolge der *Key-ideas* im Lehrgang wird durch folgende Abbildung veranschaulicht: (Abb. 23) (Schmidt-Roedenbeck, Müller, Wiesner, Herdt, & Engelhardt, 2005, S. 35ff):

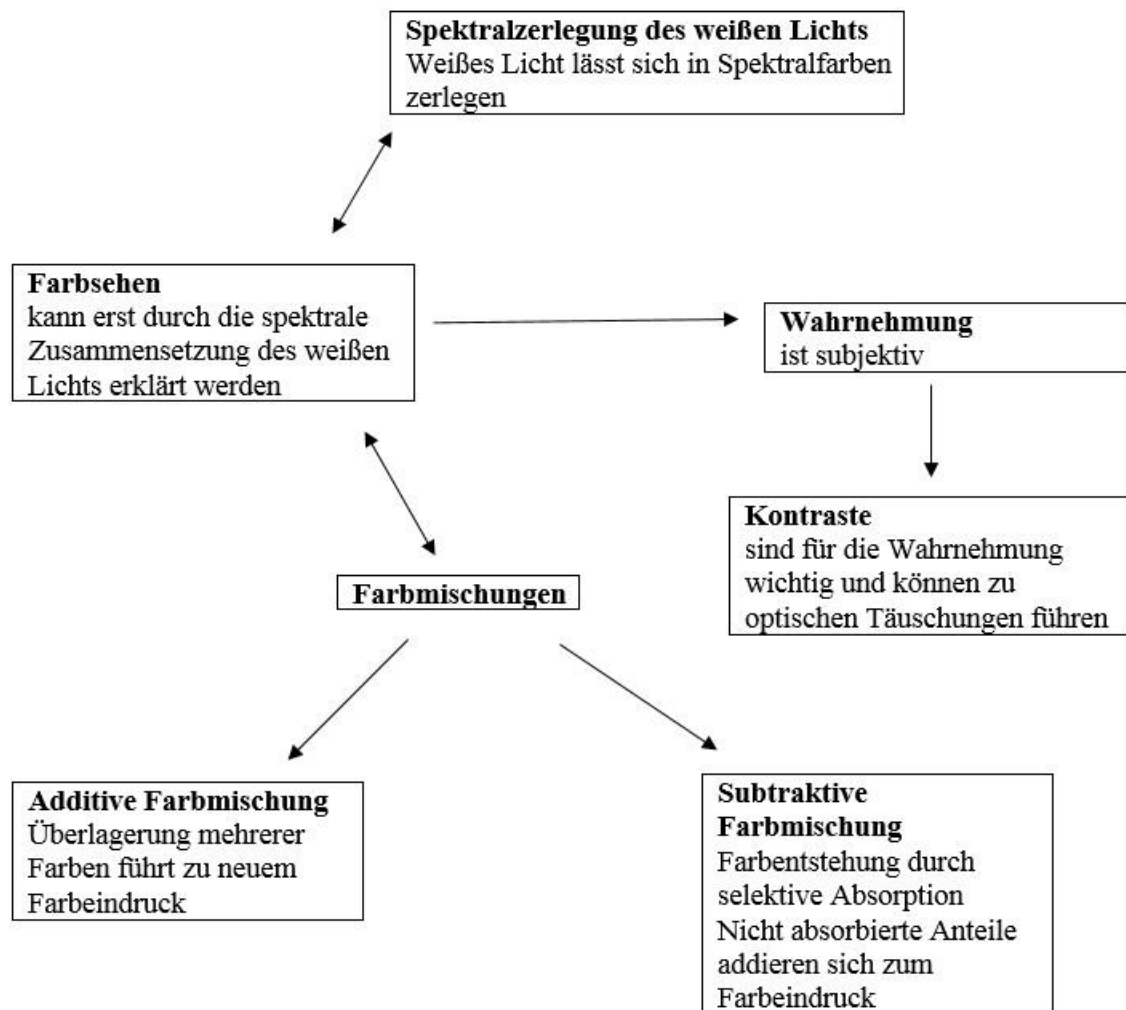


Abbildung 23: Sachstruktur im Lehrgang "Unterricht Physik"

Auch im Lehrgang Unterricht Physik wird der Einstieg über die Spektralzerlegung des weißen Lichts gewählt. Dabei wird das Sonnenlicht als Referenzquelle für weißes Licht herangezogen und in seine spektralen Komponenten zerlegt. Anschließend folgt die Wiedervereinigung der Komponenten durch eine Zylinderlinse. Auch hier findet sich ein kurzer Abschnitt über die Randbereiche des sichtbaren Spektrums.

Anschließend folgt eine Erklärung für das Farbsehen, wobei die additive und die subtraktive Farbmischung besprochen werden. Bei der additiven Farbmischung geht es vor allem darum, dass man Farben mischen kann, es jedoch andere Mischungsregeln als bei den Wasserfarben gibt. Die zentrale Idee bei der subtraktiven Farbmischung ist folgende: „Fällt weißes Licht durch eine Farbfolie, so werden bestimmte Lichtsorten absorbiert (Subtraktion). Das Restliche ergibt den Farbeindruck, den wir von dem Licht haben“ (Schmidt-Roedenbeck, Müller, Wiesner, Herdt, & Engelhardt, 2005, S. 42).

Im letzten Kapitel wird die Subjektivität der Wahrnehmung besprochen. Für die Wahrnehmung ist unser Gehirn zuständig, welches Informationen komprimiert, um schneller arbeiten zu können. Folge davon sind optische Täuschungen (Schmidt-Roedenbeck, Müller, Wiesner, Herdt, & Engelhardt, 2005, S. 43).

4.3.3 Sachstruktur des entwickelten Unterrichtsmaterials

Der erste Entwurf der Key-ideas wurde bereits in Kapitel 4.1 dargestellt. Durch die erste Probebefragung ergaben sich jedoch noch Änderungen, einige Key-ideas wurden noch verbessert bzw. ergänzt. Den Akzeptanzbefragungen der Hauptbefragung lagen folgende Lernziele, die in Form von *Key-ideas* formuliert wurden, zu Grunde, die auch in Kapitel 5.7 zu finden sind:

- 1.) Die Referenzquelle für Licht ist die Sonne. Wenn eine Lampe ähnliches Licht wie die Sonne ausstrahlt, bezeichnen wir auch dieses Licht als sonnenähnliches Licht. Licht kann man nicht nur mischen, sondern auch zerlegen. Sonnenlicht ist eine Mischung verschiedener Lichtsorten.
- 2.) Das Sonnenlicht lässt sich mit Hilfe eines Prismas in seine Lichtsorten zerlegen. Mit einer Linse lassen sich die Lichtsorten wieder zu Sonnenlicht vermischen.
- 3.) Farbfilter transmittieren nur bestimmte Bereiche des sichtbaren Spektrums, die anderen Anteile werden absorbiert.
- 4.) Spektralfarben sind monochromatisch.
- 5.) Ein Gegenstand ist entweder ein Selbstsender (selbstleuchtend) oder ein Zwischensender (muss beleuchtet werden). Damit wir einen Gegenstand wahrnehmen, muss Licht vom Gegenstand in unser Auge fallen.
- 6.) Wenn Licht auf Materie trifft, wird ein Teil des Lichtes abgestrahlt, der andere Teil wird aufgenommen und in Wärme umgewandelt.

- 7.) Der Gegenstand erscheint in jener Lichtsorte des Sonnenlichts, die wieder abgestrahlt wird bzw. als Mischung jener Lichtsorten, alle anderen Farbanteile werden hauptsächlich in Wärme umgewandelt.
- 8.) Die Energie, die die Lichtstrahlung transportiert, wird nicht weniger oder mehr. Wenn ein Gegenstand weniger Lichtenergie absendet als er aufnimmt, dann wird der Rest hauptsächlich in Wärmeenergie umgewandelt.
- 9.) Der Farbeindruck *Weiß* entsteht, wenn alle Lichtsorten des Sonnenlichts abgestrahlt werden. Der Farbeindruck *Schwarz* entsteht, wenn alle Lichtsorten aufgenommen werden. Wir können schwarz erscheinende Gegenstände nur in einer Umgebung wahrnehmen, in der es Selbst-, bzw. Zwischensender gibt, die einen Kontrast zu den Konturen des schwarz erscheinenden Körpers bilden.
- 10.) Farbe ist keine Eigenschaft des Gegenstandes. Die Farbe hängt vom Licht ab für den der Gegenstand ein Zwischensender ist und von dem Licht mit dem der Gegenstand beleuchtet wird.

Das Unterrichtsmaterial wurde in vier große Kapitel gegliedert, die jeweils durch ein Sachstrukturdiagramm veranschaulicht werden. Jedes dieser Kapitel umfasst eine bzw. mehrere *Key-ideas*. (Abb. 24-27):

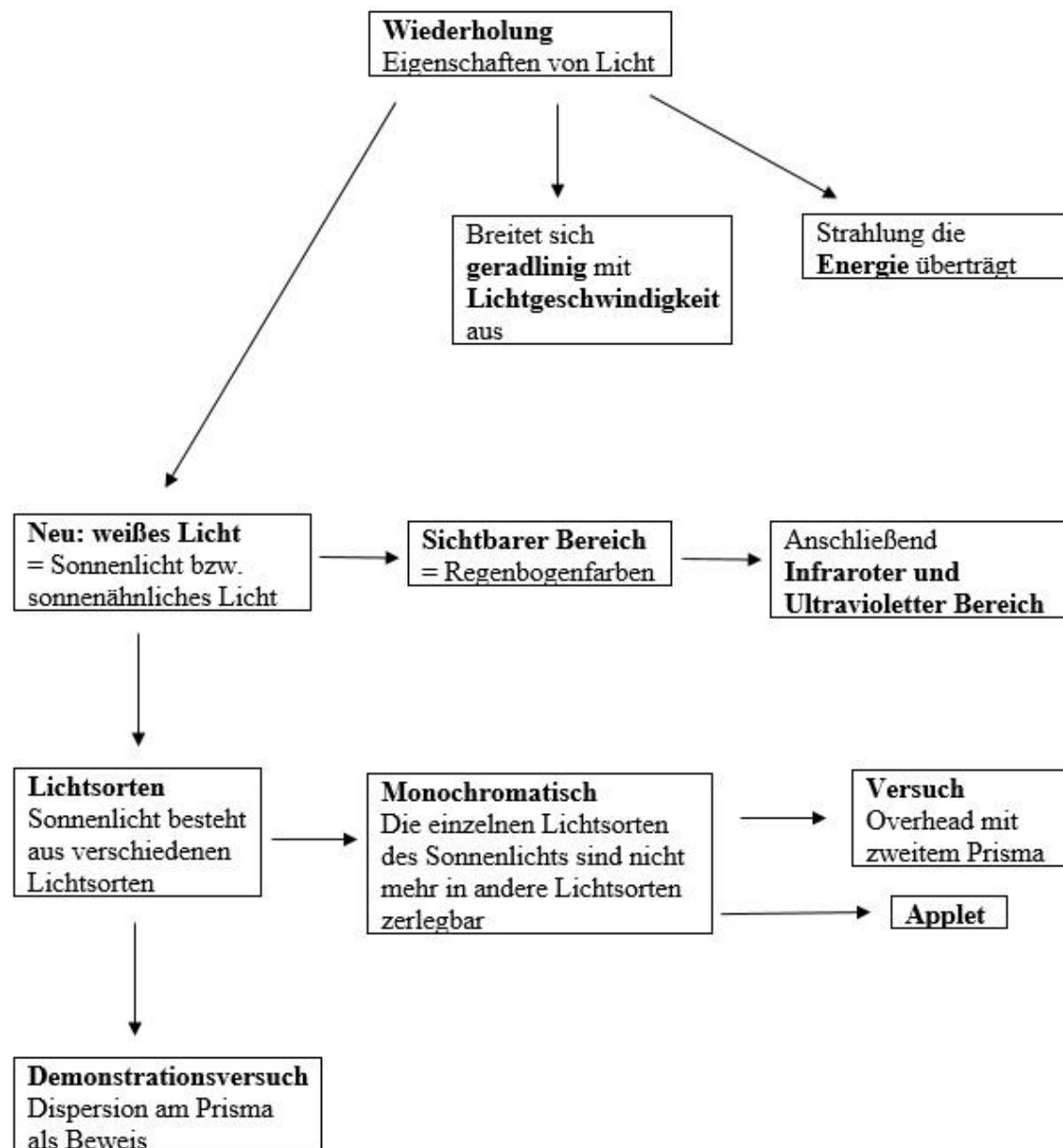


Abbildung 24: Abfolge der Key-ideas zu den Eigenschaften des Lichts

Der Einstieg der entwickelten Unterrichtsmaterialien ist eine Wiederholung über die Eigenschaften des Lichts. Licht ist Strahlung die Energie transportiert, es breitet sich geradlinig mit Lichtgeschwindigkeit aus. Neu ist, dass man das Licht als weißes Licht bezeichnet, wenn es dem Sonnenlicht ähnelt. Der sichtbare Bereich des weißen Lichts enthält alle Regenbogenfarben. Das wird durch den Demonstrationsversuch *Dispersion am Prisma* verdeutlicht. An den sichtbaren Bereich schließen der Infrarote und der Ultraviolette Bereich an. Die Spektralfarben werden im Unterrichtsmaterial als Regenbogenfarben bzw. Lichtsorten bezeichnet. Diese Lichtsorten sind monochromatisch. Dieser Sachverhalt wird durch ein Realexperiment mit dem Overheadprojektor und einem zweiten Prisma bewiesen, sowie durch ein Applet verdeutlicht.

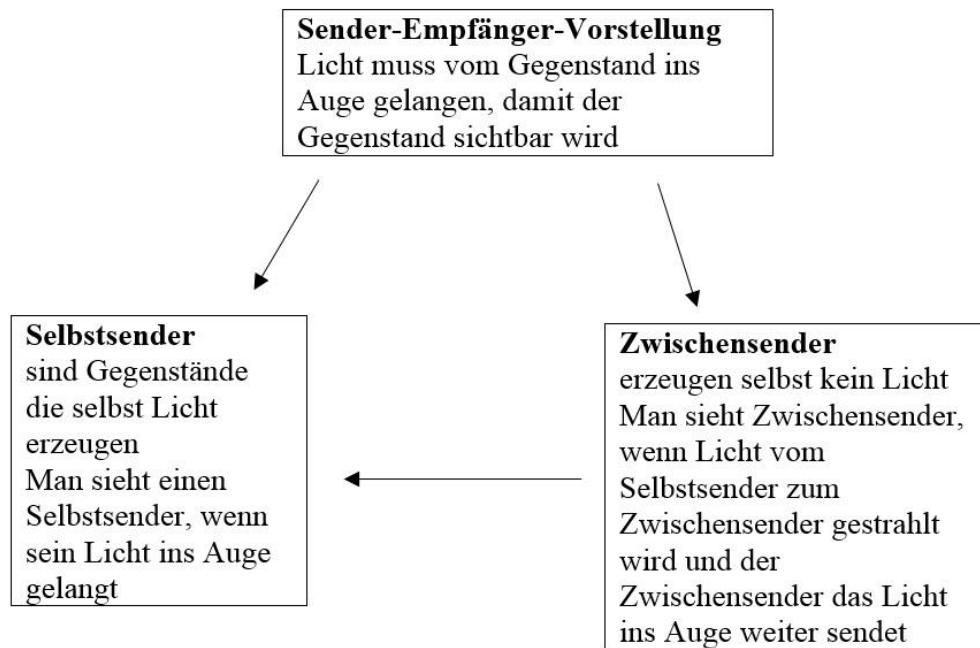


Abbildung 25: Abfolge der Key-ideas zu Lichtsender-Empfänger

Nachdem die Eigenschaften des Lichts besprochen wurden, folgt eine Einführung in die Sender-Empfänger Vorstellung. Dabei werden selbstleuchtende Gegenstände, sogenannte Selbstsender von nicht selbstleuchtenden Gegenständen, den Zwischensendern, unterschieden. In diesem Kapitel wird näher darauf eingegangen, wann Selbstsender bzw. Zwischensender vom Auge wahrgenommen werden.

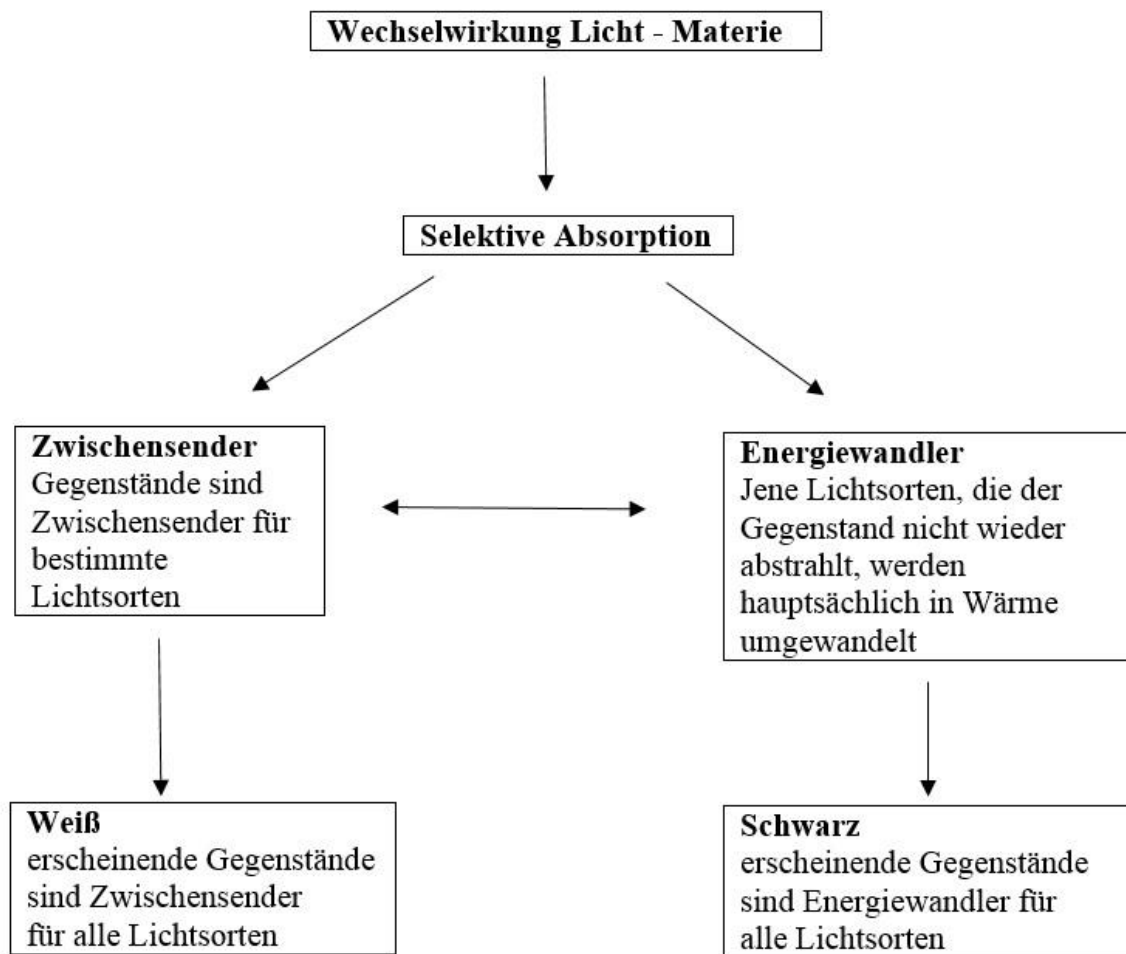


Abbildung 26: Abfolge der Key-ideas zu selektiver Absorption

Nachdem die Wahrnehmung von Selbst- bzw. Zwischensendern abgehandelt wurde, wird die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie besprochen. Hierbei steht die selektive Absorption im Vordergrund. Ein Gegenstand einer bestimmten Farbe ist ein Zwischensender für jene Lichtsorten die wieder abgestrahlt werden. Für alle anderen Lichtsorten ist er ein Energiewandler, er wandelt sie hauptsächlich in Wärme um.

Ist der Gegenstand ein Zwischensender für alle Regenbogenfarben so erscheint er weiß. Wandelt er den Großteil aller Lichtsorten in Wärme um, so erscheint er schwarz.

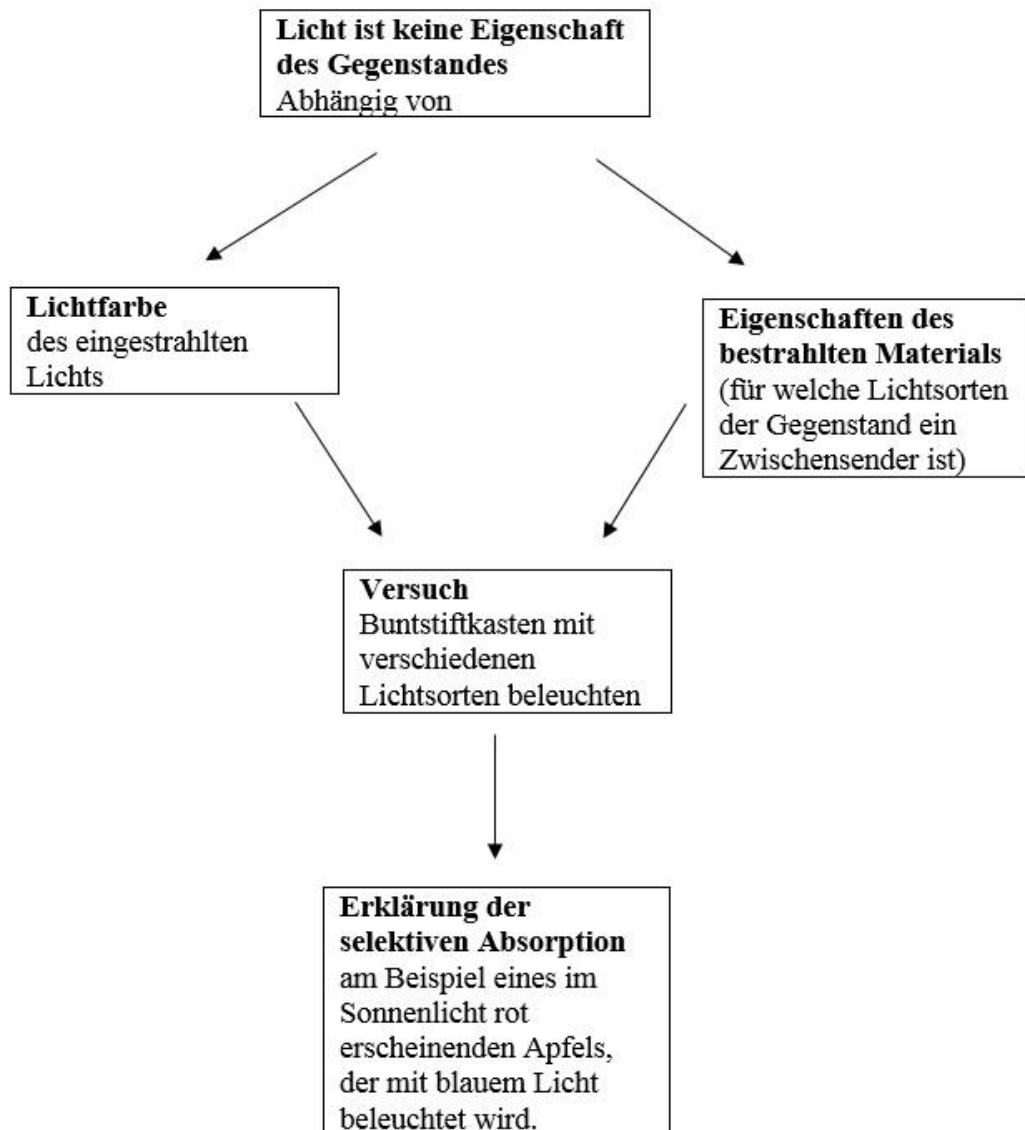


Abbildung 27: Abfolge der Key-ideas zu Körperfarben

Einem Gegenstand kann keine Farbe zugeschrieben werden. Die Farbe, in der uns ein Gegenstand erscheint, hängt jedoch nicht nur damit zusammen für welche Lichtsorten er ein Zwischensender bzw. Energiewandler ist. Auch das Licht mit dem der Gegenstand beleuchtet wird muss beachtet werden. Als Einstieg für dieses Thema wurde ein Versuch gewählt, bei dem ein Buntstiftkasten mit verschiedenen Lichtsorten beleuchtet wird. Erklärt wird die selektive Absorption durch ein Gedankenexperiment mit einem im Sonnenlicht rot erscheinenden Apfel, der mit blauem Licht beleuchtet wird.

4.3.4 Vergleich der Sachstrukturen

Sowohl in den Schulbüchern als auch im Lehrgang Unterricht Physik wird die Farbenlehre erst am Ende des Optikunterrichts eingeführt. Vorher werden Reflexion, Brechung, der Abbildungsvorgang durch Linsen, Optische Geräte und Abbildungen durch den Wölb- und Hohlspiegel besprochen.

Der Hauptunterschied der Sachstrukturen der Schulbücher und jener des Lehrganges im Vergleich zum entwickelten Unterrichtsmaterial liegt vor allem beim Begriff des weißen Lichtes. In der Probebefragung 1 (→ Kap. 5.6) stellte sich heraus, dass der Begriff des weißen Lichts lernhinderlich sein kann. Aus diesem Grund wurde er durch die Begriffe Sonnenlicht bzw. sonnenähnliches Licht ersetzt.

Die spektrale Zusammensetzung des Sonnenlichts ist eine Gemeinsamkeit, die alle drei Sachstrukturen aufweisen. Die Randbereiche des sichtbaren Spektrums waren anfangs im Unterrichtsmaterial integriert, bei den Hauptbefragungen wurde darauf aus Zeitgründen jedoch verzichtet.

In den Schulbüchern bzw. im Lehrgang *Unterricht Physik* folgt sogleich die Überleitung zu den Farbmischungen, während im Unterrichtsmaterial die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie im Vordergrund steht. Den physikalischen Farbmischungsregeln wurde im Unterrichtsmaterial wenig Beachtung geschenkt. Einerseits aus Komplexitätsgründen, andererseits da die Sinneszellen unserer Netzhaut dafür verantwortlich sind und diese Mischungsregeln nur beim menschlichen Auge ihre Anwendung finden. Diese Konzepte werden erst an einer späteren Stelle des Lehrgangs eingeführt.

Sowohl in den Schulbüchern, als auch im Lehrgang und im Unterrichtsmaterial wird das Zustandekommen von Körperfarben abgehandelt. Die Abhängigkeit der Farbe von Gegenständen vom Licht mit dem sie beleuchtet werden wird jedoch nur im Unterrichtsmaterial besprochen. Dies war mir besonders wichtig, da Menschen daran gewöhnt sind, Gegenstände in weißem Licht zu betrachten und es bei der Beleuchtung mit farbigem Licht zu großen Überraschungen kommen kann.

5 Untersuchungsdesign und Untersuchungsmethode

In Kapitel 5.1 wird die Methode der Akzeptanzbefragung, die für die Befragungen der Unterrichtsmaterialien verwendet wurde, erläutert. Im nächsten Kapitel (→Kap. 5.2) werden die Forschungsfragen, die der Diplomarbeit zu Grunde liegen erläutert, im Kapitel 5.3 werden die Rahmenbedingungen der Durchführung und die verwendeten Testitems vorgestellt. Anschließend wird die Auswertungsmethode (→Kap. 5.4), sowie durchgeführte Voruntersuchungen (→Kap. 5.5) und die beiden Probebefragungen (→Kap. 5.6) beschrieben.

5.1 Untersuchungsdesign

Das Untersuchungsdesign wird durch folgendes Ablaufdiagramm dargestellt (Abb. 28)



Abbildung 28: Ablaufdiagramm des Untersuchungsdesigns

Nachdem eine Didaktische Rekonstruktion zum Thema Körperfarben (→Kap. 4.2), sowie eine Planung des Unterrichtsmaterials mit dem Content Repräsentation Raster (→Kap. 4.1) durchgeführt wurden, konnten Teile des Unterrichtsmaterials entwickelt werden. Anschließend folgte eine kurze Befragung von Schülerinnen und Schülern zur Darstellungsform der selektiven Absorption, die in Kapitel 5.5 näher beschrieben wird. Danach wurde die Probebefragung 1 (→Kap. 5.6.1) durchgeführt und die dabei entdeckten Lernschwierigkeiten bei einer Expertenbefragung (→Kap. 5.6.2) geklärt. Dies führte zu

einer Sachstrukturvariation und einem Re-Design der Unterrichtsmaterialien. Zwischen der Probebefragung 2 (→Kap. 5.6.3) und der Hauptbefragung 1 (→Kap. 5.7.1) wurden fast keine Änderungen an den Materialien durchgeführt. Erst nach auftretenden Verständnisproblemen bei der Hauptbefragung 1 (→Kap. 5.7.1) kam es zu einem Re-Design der Materialien, die bei den nächsten drei Hauptbefragungen (→Kap. 5.7.2 - Kap. 5.7.4) unverändert blieben.

5.2 Die Untersuchungsmethode

Die Untersuchungsmethode, die in der fachdidaktischen Forschung gewählt wird, wird zum größten Teil durch die Forschungsfrage bestimmt. Herkömmliche Leitfaden-Interviews mit Schülerinnen und Schülern weisen laut Jung (1992, S. 278) mehrere Mängel auf. Für den Interviewer gibt es keine Möglichkeit zwischen dem Vorwissen, welches die Lernenden vor der Befragung haben, und dem durch das Interview generierte Wissen zu unterscheiden. Wenn die Interviews von Lehrkräften durchgeführt werden, wird die schmale Grenze zwischen Interviewerin bzw. Interviewer und Lehrkraft leicht überschritten. Außerdem sollten die Interviews unterrichtsnäher gestaltet sein, um die Ergebnisse auch für Lehrerinnen und Lehrer interessanter zu machen.

Aus den oben genannten Gründen wurde eine neue Methode der Befragung entwickelt, die die Vorteile von Unterricht und Interview verbindet: Die Akzeptanzbefragung.

Bei den Akzeptanzbefragungen geht es, im Gegensatz zum Unterricht, nicht darum richtige Antworten auf physikalische Fragestellungen zu erhalten. „Es sind vielmehr Versuche, herauszufinden, was sich in der Gedanken- und Vorstellungswelt von Schülern beim Lernen von Physik abspielt“ (Jung, 1981, S. 137).

Bei der Akzeptanzbefragung wird vor allem der „Prozess der Auseinandersetzung mit experimentellen und begrifflichen Angeboten selbst zum Gegenstand der Beobachtung“ (Blumör, 1993, S. 103) gemacht. Untersucht wird primär die Reaktion der Befragten auf Vorstellungsangebote, Erklärungen und Experimente.

Akzeptanzbefragungen finden meist zu größeren Themenbereichen, beispielsweise Farbenlehre, statt. Daher wird der Themenbereich in verschiedene Kapitel unterteilt, denen ein gewisses Lernziel zu Grunde liegt. Das Erreichen der Lernziele wird immer mit einem von Blumör (1993, S. 104) entwickelten, gleich ablaufenden Schema untersucht:

1.) Angebot

Die Interviewerin bzw. der Interviewer gibt mündlich oder schriftlich eine Erklärung zu einem Phänomen.

2.) Textakzeptanz bzw. Key-idea Akzeptanz

Die bzw. der Befragte muss „die Erklärung bewerten; ist sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel u.ä.m“ (Blumör, 1993, S. 104).

3.) Paraphrasierung

- a. Die Erklärung wird anschließend von der Schülerin bzw. dem Schüler selbstständig formuliert und wiedergegeben. Hauptaugenmerk liegt dabei auf Änderungen oder Auslassungen im Vergleich zur ursprünglichen Erklärung.
- b. „Der Befragte wird aufgefordert, die Erklärung auf ein konkretes Beispiel anzuwenden“ (Blumör, 1993, S. 104).
- c. Wenn Missverständnisse auftreten oder wichtige Sachverhalte ausgelassen werden, bietet die Interviewerin bzw. der Interviewer Vorstellungsalternativen, die wieder bewertet und diskutiert werden.

Wie schon Jung (1992, S. 279) feststellte, muss man genau definieren was mit dem Begriff *Verstehen* gemeint ist. Verstehen kann nicht einfach mit *Wiedergeben* gleichgesetzt werden. Aus diesem Grund muss die bzw. der Befragte nach den ersten Schritten der Akzeptanzbefragung im Anschluss Transferbeispiele lösen.

4.) Transfer

Zum Schluss muss die bzw. der Befragte die erhaltene Information bei einer neuen Aufgabe anwenden.

Die Methode der Akzeptanzbefragung bietet den Vorteil, dass nicht nur zwischen physikalischen und nichtphysikalischen Sichtweisen unterschieden werden kann. Es können themenspezifische Hindernisse und Widerstände aufgespürt werden und „einflussreiche Missverständnisse festgestellt und dokumentiert, gravierende sprachliche und semantische Schwierigkeiten isoliert und lernhemmende, aber auch lernfördernde Vorstellungen freigelegt“ (Blumör, 1993, S. 104) werden (siehe auch Jung 1991).

Die Methode der Akzeptanzbefragung zielt nicht darauf ab, dass die Schülerinnen und Schüler ihre Alltagsvorstellungen (→Kap. 2.2) verwerfen und vorläufig durch die physikalisch richtigen Sichtweisen ersetzen.

Ziel der Akzeptanzbefragung ist es, das die Befragten die physikalische Sichtweise als glaubhafte Alternative zu ihren Vorstellungen ansehen, damit argumentieren und arbeiten können (Jung, 1992, S. 255).

Durch die Ermittlung der Lernschwierigkeiten zu verschiedenen physikalischen Themen und das vorbereitete Informationsangebot für die Befragten, liefert die Methode der Akzeptanzbefragung wichtige Ergebnisse und Konzepte, die direkt im Unterricht einsetzbar sind (Jung, 1992, S. 271).

5.3 Ziele der Akzeptanzbefragung

Mit der Akzeptanzbefragung sollte untersucht werden, ob die im Unterrichtsmaterial gewählten Instruktionselemente Lernprozesse im Bereich der Farbenlehre unterstützen. Dabei wurde Hauptaugenmerk auf drei wichtige Prozesse gelegt und dazu Forschungsfragen entwickelt:

- 1.) Wie wirken sich die gewählten Instruktionselemente auf das Verständnis des Konzepts von weißem Licht aus?
- 2.) Wie wirken sich die gewählten Instruktionselemente auf das Verständnis der Interaktion zwischen Licht und Materie aus?
- 3.) a.) Wie wirkt sich die gewählte Rekonstruktion von Körpern als Zwischensender für eine Lichtsorte und als Energiewandler für die anderen Lichtsorten des einfallenden Lichts auf das Verständnis der Körperfarben aus?
b.) Auf welche Konzepte greifen die Schülerinnen und Schüler in einzelnen Instruktionsphasen zurück, um die Körperfarben zu erklären?

Bei jeder in der Forschungsfrage behandelten Thematik sollte untersucht werden, welche physikalisch-begrifflichen Aspekte akzeptiert werden und welche Lernwiderstände hervorrufen.

5.4 Durchführung der Akzeptanzbefragung

5.4.1 Rahmenbedingungen

Die Akzeptanzbefragungen führte ich in der Camillo Sitte Lehranstalt, einer höheren technischen Lehranstalt für Hochbau- Tiefbau und Bauwesen durch. Die Befragungen begannen im Dezember 2012 und wurden im März 2013 abgeschlossen. Insgesamt führte ich sechs Interviews mit je zwei Schülerinnen bzw. Schülern durch. Ich befragte fünf

Jungen und sieben Mädchen der ersten höheren Klassen. Alle Akzeptanzbefragungen wurden gefilmt, die wichtigen Teile davon im Nachhinein transkribiert.

Die erste Befragung (Probefragung 1, →Kap. 5.6.1) diente dazu grobe Mängel aufzuspüren und beseitigen zu können, sowie die Fragen der Akzeptanzbefragung zu verbessern. Bei der Probefragung 2 (→Kap. 5.6.3) testete ich die vorgenommenen Veränderungen und Kürzungen.

Anschließend folgten vier Hauptbefragungen (→Kap. 5.7), wobei die Unterrichtsmaterialien nach der Hauptbefragung 1 nochmals gekürzt und überarbeitet wurden. Bei den letzten drei Hauptbefragungen blieben die Materialien unverändert.

Die meisten Befragungen fanden am Nachmittag in einem freien Klassenzimmer der Lehranstalt statt. Bereits bevor die Schülerinnen bzw. Schüler zur Befragung erschienen, wurden die notwendigen Vorkehrungen für Versuche und Präsentationen getroffen. Zu Beginn der Akzeptanzbefragung füllten die Schülerinnen bzw. Schüler einen Fragebogen zu ihren Einstellungen, sowie einen Wissenstest zur Farbenlehre aus, welche in 5.3.2 zu finden sind.

Nach dem Ausfüllen der Fragebögen begann die Akzeptanzbefragung, wobei das Material in viele kurze Blöcke eingeteilt (Siehe Anhang C) war. Die Befragten erhielten einen kurzen Input in Form einer Präsentation, eines Textes, Versuchs oder Applets. Anschließend wurden die vier Schritte der Akzeptanzbefragung, die bereits in Kapitel 5.1 vorgestellt wurde, durchlaufen. Anschließend folgte die Bearbeitung des nächsten Blocks.

Zum Schluss testete ich, ob die Unterrichtsmaterialien die Vorstellungen der Lernenden zur Farbenlehre verändert haben. Dazu mussten die Befragten nochmals den Wissenstest zur Farbenlehre ausfüllen.

5.4.2 Vorgeschaltete Fragebögen

Folgende Fragebögen wurden für die Probebefragung 2 und alle Hauptbefragungen verwendet.

Beim Fragebogen A handelt es sich um einen Wissenstest über die Farbenlehre. Die Idee für Frage 1 lieferte die Website Leifiphysik (Joachim Herz Stiftung, <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/farben>) Die Inspiration für die übrigen Fragen stammen von Herdt (1990, S. 79).

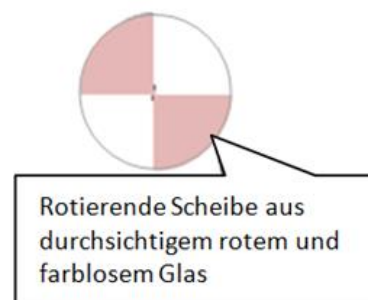
Für die Erstellung des Fragebogen B wurden Fragen aus dem Pisaskalenhandbuch 2006 entnommen (Frey, et al., 2006).

Die Auswertung der Fragebögen ist in den Kapiteln 5.9.1 und 5.9.2 zu finden.

Fragebogen A

Färbige Diskoscheibe

FDS1) Zur Beleuchtung in einer Disko dreht sich vor einem Scheinwerfer eine rot-weiße Glasscheibe. Abwechselnd sind weiße und rote Lichtflecken auf der Tanzfläche zu sehen.



a) Welche Erklärung trifft zu?

<i>richtig</i>	<i>falsch</i>	
☐	☐	Rotes Glas färbt weißes Scheinwerferlicht rot.
☐	☐	Glas bricht Licht und macht es dadurch färbig.
☐	☐	Farbloses Glas färbt Scheinwerferlicht weiß.
☐	☐	Rotes Glas lässt nur den roten Teil des Scheinwerferlichtes durch.

Roter Ball mit Beleuchtung

RBB1) Vor dir liegt ein roter Ball im Licht einer Glühlampe. Du siehst diesen Ball rot, weil ...

(Kreuze für alle Antworten die Antwortmöglichkeit an, die deiner Meinung nach zutrifft!)

<i>richtig</i>	<i>falsch</i>	
☐	☐	Er rot angemalt ist.
☐	☐	Der Ball die Farbe Rot hat.
☐	☐	Wir Farben unterschieden können.
☐	☐	Er rotes Licht in deine Augen sendet.
☐	☐	Er von der Sonne beleuchtet wird.
☐	☐	Der Ball von rotem Licht umgeben ist.
☐	☐	Der Ball rotes Licht aufnimmt.
☐	☐	Er weißes Licht in deine Augen sendet.

RBB2) Nun wird die Glühlampe abgeschaltet und dafür ein Scheinwerfer, der blaues Licht aussendet, eingeschaltet. Wie siehst du den Ball nun?

(Kreuze für alle Antworten die Antwortmöglichkeit an, die deiner Meinung nach zutrifft!)

<i>richtig</i>	<i>falsch</i>	
☐	☐	Ich sehe den Ball immer noch rot, egal mit welchem Licht er beleuchtet wird.
☐	☐	Ich sehe den Ball in schwarz und nicht mehr rot.
☐	☐	Ich sehe den Ball nun blau.
☐	☐	Der Ball ist immer noch rot. Aber ich sehe ihn in einer anderen Farbe.
☐	☐	Der Ball hat nun die Farbe violett.

Fragebogen B

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

	stimme ganz zu	stimme eher zu	stimme eher nicht zu	stimme gar nicht zu
Ich glaube, dass ich anspruchsvollen Stoff im Physikunterricht 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 Physikunterricht,...

	fast immer	oft	manch mal	nie
arbeite ich mit, weil ich es immer so mache.				
strenge ich mich an, weil ich gerne alles richtig mache.				
beteilige ich mich, weil es sich so für einen Schüler gehört.				
arbeite ich mit, weil ich die Inhalte später bestimmt gebrauchen kann.				
sind mir die Inhalte wichtig, weil sie auch für viele Dinge im Alltag sinnvoll sind.				
arbeite ich mit, damit ich mich später in diesem Fach auskenne.				

3. Im Unterricht in Physik,...

	fast immer	oft	manchma l	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.				

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

	fast immer	oft	manchma l	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.				

5. Wie viel Zeit verbringst du normalerweise jeden Tag damit, zu deinem Vergnügen zu lesen?

- ☐ Ich lese nicht zum Vergnügen.
- ☐ Bis zu 30 Minuten täglich.
- ☐ Zwischen einer halben und einer Stunde täglich.
- ☐ 1 bis 2 Stunden täglich.
- ☐ Mehr als 2 Stunden täglich.

5.5 Auswertungsmethode

Die Auswertung der Interviews erfolgte nach der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse von Mayring und Gläser-Zikuda (2005, S. 176) in mehreren Schritten. Zuerst wurden Auswertungsraster zu jeder *Key-idea* entwickelt, die die vier Schritte (Textakzeptanz, Key-idea-Akzeptanz, Paraphrasierung und Transfer) der Akzeptanzbefragung (→Kap. 5.1) enthielten. Nach mehrmaligem Ansehen der Videos wurden die für die Forschungsfragen wichtigen Passagen transkribiert.

Bei der Transkription orientierte ich mich an den Ideen von Mayring-Gläser-Zikuda (2005, S. 176f):

Aussagen oder Fragen der Interviewerin wurden mit dem Buchstaben I gekennzeichnet, Antworten der Befragten mit dem jeweiligen Anfangsbuchstaben des Vornamens. Bei jeder Antwort gab ich den Zeitpunkt und die Nummer des Videos an, zu bzw. in dem die Aussage gemacht wurde. Bedeutende Gesten wurden in Klammer gesetzt und kursiv dargestellt. Auslassungen wurden durch eine eckige Klammer mit drei Punkten gekennzeichnet: [...].

Die Auszüge aus dem Transkript fügte ich an die dafür vorgesehene Stelle in den Raster. Anschließend wurde in den Raster mit unten aufgelisteten Zeichen eingetragen, ob die Erklärung bzw. das Phänomen akzeptiert, nicht akzeptiert oder nur teilweise akzeptiert wurde. Zum Schluss fasste ich die zentralen Aussagen der Befragten in kurzen Worten zusammen.

Für die Auswertung des Probeinterviews 2, sowie die Interviews der Hauptbefragung verwendete ich folgende Zeichen, um physikalisch richtige Sichtweisen oder Alltagsvorstellungen so zu kennzeichnen, sodass sie auf einen Blick erkennbar sind und um die Ergebnisse der Befragungen einfach vergleichbar zu machen.

Welle: ~

Bedeutet, dass die gegebenen Antworten teilweise richtig, jedoch unvollständig waren. Wichtige Aspekte des physikalischen Prinzips wurden ausgelassen. Nähere Informationen dazu finden sich in zusammengefasster Form unter dem Zeichen bzw. im Transkriptionsauszug.

Häkchen: ✓

Wird der Text (Sprache, Fachbegriffe und Formulierungen) von den Befragten als verständlich bewertet, wird im Kästchen *Textakzeptanz* ein Häkchen gesetzt. Wurde die grundlegende Idee akzeptiert, die durch die Key-idea vermittelt wird, wird im Kästchen *Key-idea Akzeptanz* ein Häkchen vermerkt. Wenn die Lernenden das physikalische Konzept in eigenen Worten erklären können, oder es bei neuen konkreten Beispielen anwenden können, so wird dies mit einem Häkchen in den Spalten Paraphrasierung bzw. Transfer gekennzeichnet.

Kreuz: ✕

Die bzw. der Befragte gab gar keine, eine falsche Antwort oder griff bei der Erklärung auf Alltagsvorstellungen zurück.

Nachfrage: N

Nach alternativer Erklärung bzw. genauer Nachfrage gab die Schülerin bzw. der Schüler diese Antwort.

Ohne den Text gelesen zu haben: O

Die Schülerinnen und Schüler wurden nach ihren Vorstellungen zu einem Sachverhalt gefragt, hatten aber noch keine Interaktion mit den Materialien.

5.6 Voruntersuchungen

Während der Erstellung der Unterrichtsmaterialien tauchte die Frage auf, wie man selektive Absorption so darstellt, dass die Darstellung Akzeptanz hervorruft und keine neuen Lernhindernisse entstehen. Da die Darstellung dieses Vorgangs in den entwickelten Interventionen benötigt wird, wurde eine Voruntersuchung durchgeführt.

Bei der Voruntersuchung befragte ich 15 Schülerinnen bzw. Schüler der ersten Klasse (9. Schulstufe) der Camillo Sitte Lehranstalt, einer höheren technischen Lehranstalt, die sich auf Hochbau- Tiefbau und Bauwesen spezialisiert hat. Die Gruppe setzte sich aus 3 Mädchen und 12 Jungen zusammen, die alle zwischen 14 und 15 Jahre alt waren. Für die Bearbeitung des Arbeitsauftrags hatten die Schülerinnen bzw. Schüler sieben Minuten Zeit. Die Befragten erhielten folgenden Vordruck (Abb. 29):

Trifft Licht auf einen Gegenstand, wird das Licht vom Gegenstand aufgenommen. Ein Teil des aufgenommenen Lichts wird in Wärme umgewandelt. Der andere Teil des Lichts wird vom Gegenstand wieder abgestrahlt.

Zeichne den oben beschriebenen Vorgang in den unten gegebenen Würfel ein und kennzeichne das einfallende Licht, den aufgenommenen und den abgegebenen Lichtanteil.

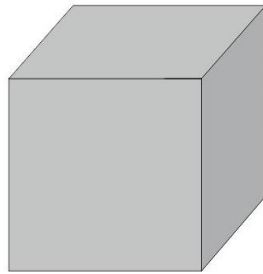


Abbildung 29: Vordruck für die Voruntersuchung

Bei der Untersuchung gab es vier verschiedene Ergebnisse:

1. Der aufgenommene und in Wärme umgewandelte Anteil des einfallenden Lichts wurde als Welle oder ähnlich dargestellt (Abb. 30).

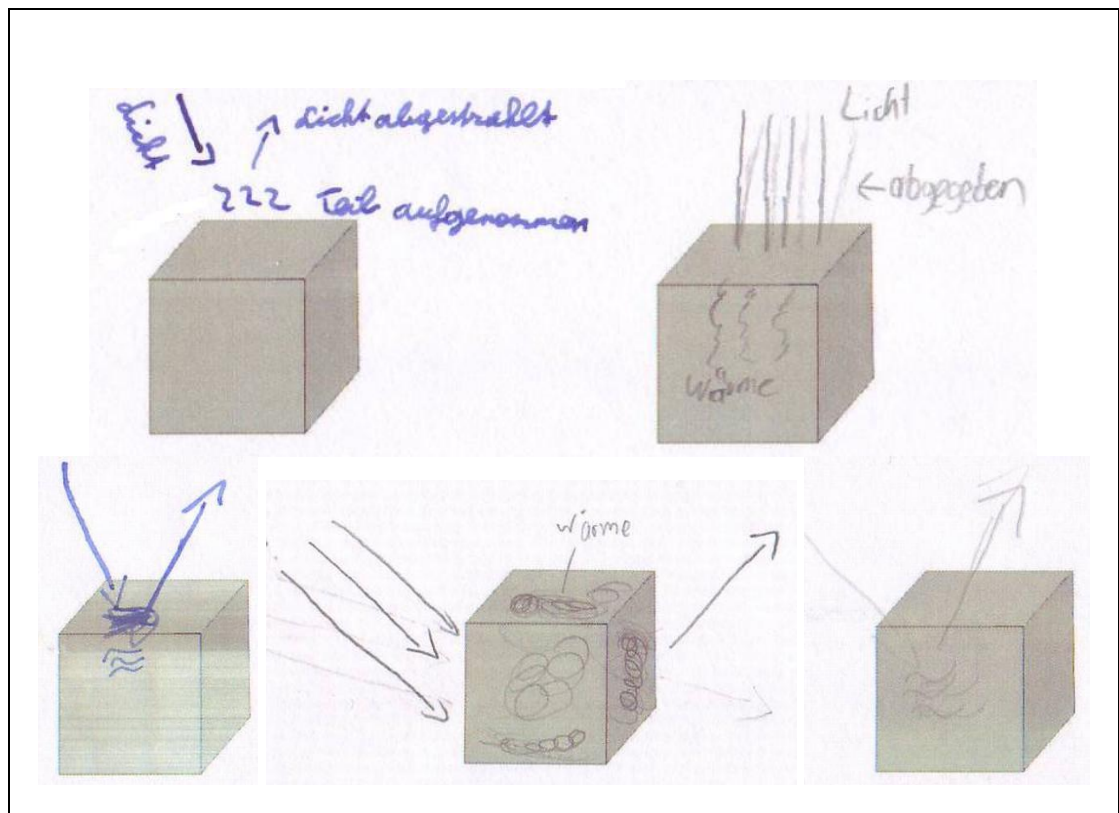


Abbildung 30: Darstellungen der Wärme als Welle oder ähnlich

2. Das Wort Wärme wurde in den Würfel hineingeschrieben (Abb. 31).

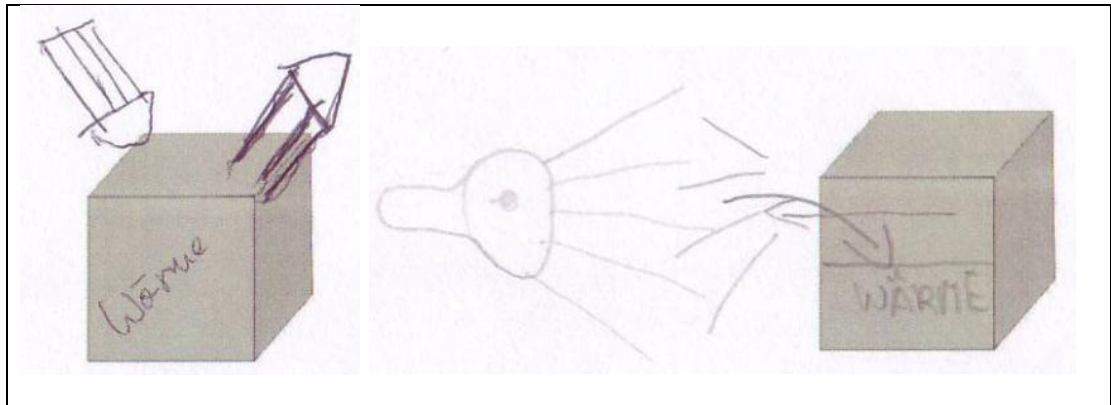


Abbildung 31: Darstellung durch das Wort Wärme

3. Die einfallenden Pfeile sind gleich der Summe der aufgenommenen Pfeile plus die vom Würfel wegzeigenden Pfeile (Abb. 32).

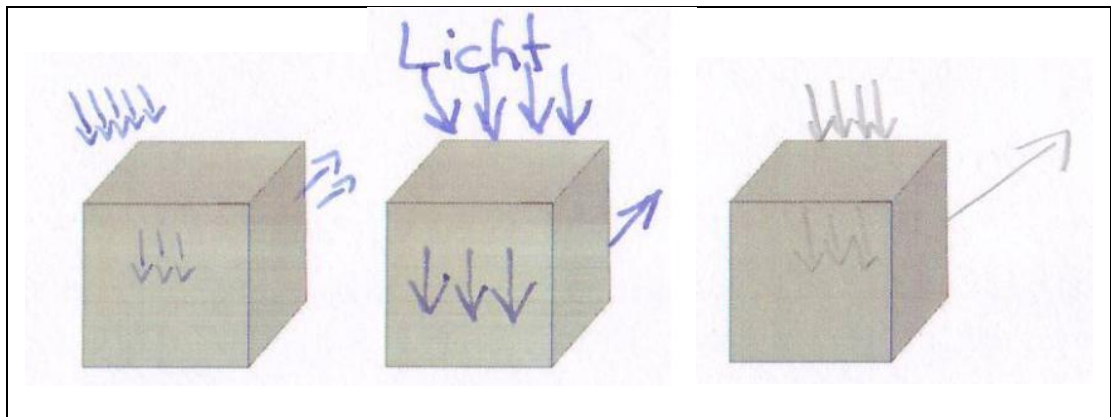


Abbildung 32: Wärme durch Pfeile im Würfel

4. Würfel wurde angemalt oder liefert kein aussagekräftiges Ergebnis.

Auf die Abbildung dieser Zeichnungen wird hier verzichtet.

Die Ideen der Voruntersuchung wurden im Unterrichtsmaterial in einer Darstellung vereint. Ein großer, divergenter, weißer Pfeil, der mehrere kleinere bunte Pfeile beinhaltet, symbolisiert das Sonnenlicht. Dieser Pfeil zeigt zum Gegenstand hin. Je nach Gegenstand strahlt der Gegenstand einen Teil des einfallenden Sonnenlichts wieder ab. Dieser Vorgang wird durch einen divergenten, weißen Pfeil, in dem sich ein bzw. mehrere bunte Pfeile befinden, dargestellt. Die aufgenommenen und in Wärme umgewandelten Lichtanteile werden als kleine, bunte Pfeile in einem welligen Pfeil zusammengefasst (Abb. 33).

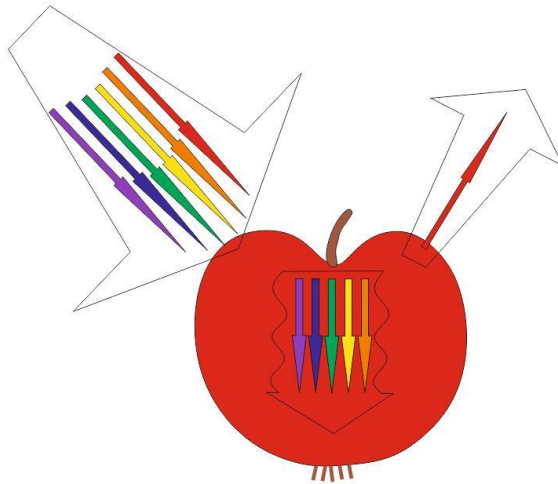


Abbildung 33: Gewählte Darstellungsform als Ergebnis der Voruntersuchung

5.7 Probebefragungen

5.7.1 Probebefragung 1

Die Probebefragung 1 fand am Dienstagnachmittag den 18. Dezember 2012 statt. Zwei Schüler, im folgenden S1 (H) und S2 (E) genannt, der Klasse 1HB der Camillo Sitte Lehranstalt für Hoch- Tiefbau und Bauwesen hatten sich freiwillig für die Befragung gemeldet. Schüler H war zu diesem Zeitpunkt 14 Jahre alt und besuchte vier Jahre lang das Gymnasium der Billrothstraße 26-30. Seine Muttersprache war arabisch. Schüler E war 15 Jahre alt, sprach auch türkisch und besuchte vorher die Vienna Biangular School. Die Dauer der Befragung war für ca. eineinhalb Stunden geplant, leider dauerte sie jedoch über drei Stunden.

Die Grundidee, auf der das gesamte Material der Probebefragung 1 aufgebaut war lautete: *Weißes Licht besteht aus Regenbogenfarben, jeder dieser Regenbogenfarben kann man einen bestimmten Energiebereich zuordnen.*

Bereits nach dem Lesen der ersten vier Blöcke des Unterrichtsmaterials wurden Lernschwierigkeiten bei der Paraphrasierung mit dem Begriff des weißen Lichts deutlich:

V3

05:45 I: E, erzähl mir mal wo weißes Licht ausgestrahlt wird, von welchen Dingen?
Welche Dinge strahlen weißes Licht aus? Welche Quellen, was gibt's für Quellen die weißes Licht ausstrahlen?

06:08: E: Das kann ich leider nicht beantworten.

06:12: I: Strahlt die Sonne weißes Licht aus?

06:15: E: Nein, gelb.

06:17: I: Gelb, und die Leuchtstoffröhre?

06:20: E: (*Schaut zur Leuchtstoffröhre an der Decke*) Eher weiß.

06:23: I: Eher weiß und so eine Glühbirne? Zum Beispiel die? (*Nimmt eine Schreibtischlampe*)

06:26: E: Gelb.

06:31: I: Mhh, eine Taschenlampe? (*Nimmt eine und schaltet sie ein.*)

06:37: E: Blau, Weiß.

06:39: I: Ok, H was sagst du? Welche Dinge strahlen weißes Licht aus?

06:47: H: Ja, also weißes Licht,... Also die Sonne, das Licht der Sonne, eigentlich sieht man gelb, nennt man aber weiß. Und alle Lichter, die der Sonne ähneln, nennt man weißes Licht.

Man erkennt deutlich, dass die Befragten, das Licht der Sonne als gelb beschreiben. Das hängt sicherlich mit Zeichnungen in Kinderbüchern zusammen, in denen die Sonne gelb dargestellt wird.

5.7.2 Expertenbefragung und Implikationen

Da das Konzept des weißen Lichts das gesamte entwickelte Unterrichtsmaterial beeinflusst, wurde beschlossen das aufgetretene Problem in einer Expertenbefragung zu besprechen. Die Expertenrunde setzte sich aus dem Studienprogrammleiter für das Lehramt Physik (Univ.-Prof. Dr. Hopf), vier aktiven Lehrenden des AECC Physik (Mag Korner, Mag Krumphals, Mag. Neumann und Mag. Dr. Haagen-Schützenhöfer) und einer Dissertantin (Mag. Tudor) zusammen.

Nachdem dieses Problem im Rahmen einer Expertenbefragung diskutiert wurde, ergaben sich folgende Änderungen:

Der sich als lernhinderlich erwiesene Begriff des *weißen Lichts* wurde durch den Begriff *Sonnenlicht* für Licht der Sonne bzw. *sonnenähnliches Licht* für Licht von künstlichen Quellen ersetzt. Beschreibungen wie beispielsweise *roter Energiebereich* wurden durch Begriffe wie *rote Lichtsorte* ersetzt.

Eine weitere Änderung betraf die Abbildungen. Da sich Sonnenlicht divergent ausbreitet, wurde das Sonnenlicht im Anschluss immer als divergenter, weißer Pfeil dargestellt, ohne jedoch im Interventionstext näher darauf einzugehen. Um die Aussage von Abbildungen

noch klarer und eindeutiger zu machen, wurde außerdem ein Beobachter, der eine bestimmte Lichtsorte wahrnimmt, eingefügt.

Der Versuchsaufbau zur Dispersion am Prisma mit Spalt, Linse, Farbfilter, Geradsichtprisma und Infrarotthermometer wirkte bei der Probebefragung 1 sehr kompliziert und schaffte mehr Verwirrung als Einsicht. Aus diesem Grund wurde er durch einen Versuch mit einem Prisma auf einem Overheadprojektor ersetzt.

Auch die zentrale Idee des Energiekonzepts, *jeder Lichtsorte kann man einen bestimmten Energiebereich zuordnen*, wurde geändert. Bei späteren Befragungen stand die Idee *Licht kann man mischen und zerlegen. Sonnenlicht ist ein Gemisch von verschiedenen Lichtsorten*. im Mittelpunkt. Dazu wurde ein Farbmischungsversuch mit LEDs eingebaut.

Am Ende der Schülertexte befand sich ein Gedankenexperiment bei denen ein roter und ein grüner Luftballon mit einem roten und dann mit einem grünen Laser beleuchtet wird. Das Versuchsergebnis: Beleuchtet man den roten Luftballon mit dem grünen Laser, so wird so viel Energie aufgenommen und in Wärme umgewandelt, dass der rote Ballon und zerplatzt. Dieses Gedankenexperiment wurde gestrichen, da kein passendes Video als Beweis dafür gefunden wurde.

Das Transferbeispiel mit den Stoffstücken zum Thema Gegenstände in farbigem Licht wurde durch selbst gezeichnete Äpfel, die mit unterschiedlichem Licht beleuchtet wurden, ersetzt. Die Stoffstücke auf den Fotos waren teilweise nur schwer zu erkennen und die Aufgabe war für Schüler H schwer zu lösen und für Schüler E, unlösbar.

Da die Befragung so viel Zeit beansprucht hat, wurden die Blöcke eins bis drei durch eine PowerPoint Präsentation ersetzt und die Testitems deutlich gekürzt.

Auch die zu Beginn von den Schülern ausgefüllten Testitems boten zeitliches Einsparungspotential und wurden deutlich gekürzt.

Auf eine genauere Auswertung des Probeinterview wird jedoch verzichtet, da das Interview der Probebefragung 1 mit den folgenden Befragungen durch die zahlreichen Änderungen nicht mehr vergleichbar ist. Es diene vor allem dazu grobe Mängel der Unterrichtsmaterialien aufzudecken und durch bessere Formulierungen, Darstellungen und Erklärungen zu ersetzen. Der Leitfaden des Probeinterviews 1 ist im Anhang zu finden.

5.7.3 Probebefragung 2

Die Probebefragung 2 fand am Dienstagnachmittag den 29. Jänner 2013 mit zwei Schülern der 1HA der Camillo Sitte Lehranstalt, im folgenden S3 (D) und S4 (M) genannt, statt. Schüler D war 14 Jahre alt sprach mongolisch und hat vier Jahre lang das Gymnasium der Franklinstraße 26 besucht. Schüler M war 15 Jahre alt und kam aus dem Wiedner Gymnasium. Die Befragung dauerte rund eineinhalb Stunden.

KI 1		
Die Referenzquelle für Licht ist die Sonne. Wenn eine Lampe ähnliches Licht wie die Sonne ausstrahlt, bezeichnen wir auch dieses Licht als sonnenähnliches Licht. Licht kann man nicht nur mischen, sondern auch zerlegen. Sonnenlicht ist eine Mischung verschiedener Lichtsorten.		
	S3 D	S4 M
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
V1 11:48: I: M, fällt es dir schwer zu glauben, dass Sonnenlicht aus verschiedenen Lichtsorten besteht? 11:55: M: Mhh, nein, nicht wirklich ich hab schon mal den Versuch gesehen mit einem Prisma. 12:01: I: Ok, und du D? 12:02: D: Ja, ich hab das auch schon mal gemacht mit dem Prisma.		
Paraphrasierung	✓ Lichtsorten findet man im Regenbogen.	✓ Lichtsorte = Farbe
V1 12:34: I: M, was stellst du dir unter eine Lichtsorte vor? Wenn ich sag Sonnenlicht besteht aus verschiedenen Lichtsorten? 12:42: M: Na es gibt ja so Grundfarben und wenn sich die vermischen, also so übereinander treffen dann entsteht halt eine neue Farbe, so wie bei dem Versuch. 12:54: I: Also für dich ist eine Lichtsorte eine Farbe? 12:55: M: Ja. 12:56: I: Und du D, für dich? 12:58: D: Ja für mich auch. 13:00: I: Wie würdest du jemand anderem erklären was eine Lichtsorte ist? 13:02: D: Na Regenbogen, das sind ja die verschiedenen Lichtsorten oder? Die alle eigentlich so,... 13:44: I: Gut und D, wie würdest du einem anderen Schüler erklären was du jetzt über das Sonnenlicht schon weiß? Die verschiedenen Eigenschaften aus der Präsentation oder was du gelesen hast? 13:54: D: Zur Sonne? Ja dass sie aus verschiedenen Farbensorten hat oder so, und dass sie Energie überliefert sowas und dass es halt dunkel wäre.		

Transferbeispiel	✓ Quellen von Sonnenlicht: Lampen, Sonne, LED,...	✓ Quellen von Sonnenlicht: Lampen, Glühbirnen,...
V1 13:14: I: Und M, wo wird Sonnenlicht ausgestrahlt? Welche Quellen von Sonnenlicht gibt es jetzt außer die Sonne? Wo wird noch Sonnen-, oder sonnenähnliches Licht ausgestrahlt? 13:22: M: Ja, Lampen oder so Glühbirnen und sowas. 13:28: I: D, was würdest du sagen? 13:33: D: Ja eh dasselbe. 13:36: I: Ja sags nochmal. 13:38: D: Lampe, Sonne, Leuchtstoffröhre, LED's,...		

KI 2		
Das Sonnenlicht lässt sich mit Hilfe eines Prismas in seine Lichtsorten zerlegen. Mit einer Linse lassen sich die Lichtsorten wieder zu Sonnenlicht vermischen.		
	S3 D	S4 M
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ Sonnenlicht besteht aus verschiedenen Farben. Durch das Prisma wird das Licht gebrochen und aufgespalten. Versuch wurde richtig skizziert.	✓ Zusammensetzung des Lichts wird durch das Prisma gezeigt. Versuch wurde richtig skizziert. Wenn man das Licht des Overheads zusammenmischt entsteht sonnenähnliches Licht.
V1 20:25: I: D, beschreib mal die Abbildung 5. Das ist das mit den Pfeilen. Wofür stehen da die einzelnen Pfeile? 20:33: D: Für die Farben da, da steht Farben. 20:36: I: Mhh, und der große Pfeil steht wofür? 20:38: D: Für das Sonnenlicht, weil das ganze Licht,... 20:40: I: Ja, und was passiert mit dem Licht? 20:43: D: Es wird gebrochen. 20:45: I: Und dann? 20:47: D: Steht hier aufgespaltet. 20:51: I: Ok und M, wie würdest du den Versuch in eigenen Worten erklären? 20:57: M: Mh, also man braucht eine Lichtquelle, die Lichtquelle leitet man durch das Prisma und den Strahl vom Prisma auf eine weiße Wand, auf der man das halt gut erkennen kann. Und dann sieht man wie das, was das Licht, also aus welchen Lichtsorten das Licht besteht.		
V2 12:12: I: Also M, wie würdest du die ganzen Fragen beantworten? Was passiert wenn wir die Lichtsorten des Overheads wieder zusammenmischen? 12:22: M: Dann hat man ganz normal, sonnenähnliches Licht.		

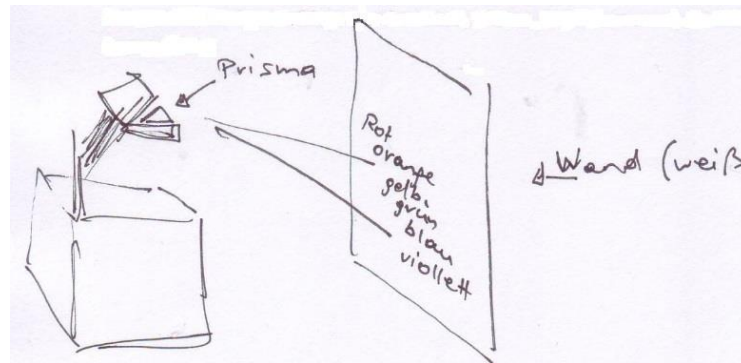


Abbildung 34: Zeichnung von S3

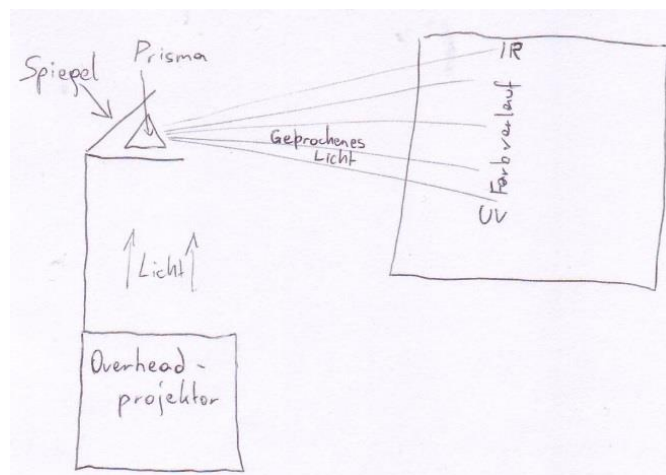


Abbildung 35: Zeichnung von S4

Transferbeispiel	×	
	Geht nur auf die Voraussetzung für die Entstehung des Regenbogens ein, aber nicht auf die Lichtsorten.	~ Sonne scheint auf das Wasser, dieses bricht das Licht.

V1

21:27: I: Genau, D kannst du jetzt erklären warum ein Regenbogen so aussieht, wie er aussieht mit so bunten Streifen?

21:24: D: Ein Regenbogen? Ja,... Ein Regenbogen entsteht dann wenn,... Regen

21:40: I: Ja,...?

21:43: D: Sonne und so, vielleicht irgendwas mit den Wolken?

21:49: I: Ja, M hast du eine Idee?

V2

00:00: M: Ja genau weiß ichs jetzt auch nicht, ob der Regenbogen durch die Wolken entsteht oder durch den Regen der am Boden liegt.

00:08: I: Ok, aber prinzipiell?

00:10: M: Ja äh, die Sonne scheint auf den Regen und der Regen, also das Wasser bricht die Sonnenstrahlen und projiziert sie auf irgendwas.

KI 3		
Farbfilter transmittieren nur bestimmte Bereiche des sichtbaren Spektrums, die anderen Anteile werden absorbiert.		
	S3 D	S4 M
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ Die rote Folie ist wie ein Sieb, beim roten Strahl gibt es kein grünes Licht. Man erhält mit beiden Folien gar nichts.	✓ Es gibt nach der roten Folie kein grünes Licht mehr, das herausgefiltert werden könnte.
V2 04:40: D: Aber Frau Professor? 04:41: I: Ja? 04:42: D: Bei dem da, werden die grüne Folie in den roten Lichtstrahl. Zuerst hat mal alle Farben und dann die rote drauf und dann kommt nur das rote raus und dann die grüne. 04:52: I: Mh, und dann ist die Frage. 04:54: D: Ja aber, das ist ja wie ein Sieb, das steht ja da. Das lässt nur das Grüne durch aber bei dem roten Strahl gibt's ja kein grünes. 05:05: I: Genau, was sieht man dann zum Schluss, wenns keines gibt? 05:10: D: Nichts. 09:35: I: Also M, was meinst du zu diesen zwei Ideen? Was passiert mit dem roten Licht, wenn ich die grüne Folie in den roten Lichtstrahl halte? 09:45: M: Naja, da kann kein weiteres Licht mehr durchgehen. 09:50: I: Weil? 09:52: M: Weil es gibt kein grünes Licht mehr, dass da rausgefiltert werden kann.		
Transferbeispiel	✓ Die nicht durchgelassenen Lichtsorten, bleiben im Filter. Wenn ich den Regenbogen mit blauen Sonnenbrillengläsern betrachte, sehe ich blaues und blauähnliches Licht, also auch noch Lila.	✓ Die Lichtsorten, die nicht durchgelassen werden, werden vom Filter verschluckt. Wenn ich den Regenbogen mit blauen Sonnenbrillengläsern betrachte, sehe ich nur den blauen Teil.
V2 12:54: I: Wenn, D, wenn Sonnenlicht auf einen Rotfilter trifft, dann haben wir gesagt wird nur die rote Lichtsorte durchgelassen. Was glaubst du was mit den anderen		

Lichtsarten passiert?

13:10: D: Die anderen Lichtarten?

13:12: I: Ja, die die nicht durchgehen.

13:14: D: Die, wenn das Licht durchgelassen wird. Die bleiben dort und so, oder da stand vorher irgendwas mit Dispersion oder sowas?

13:35: I: Also es stand noch nicht da. Was glaubst du was passiert? Was mit den anderen Lichtarten passiert, die nicht durchgelassen werden.

13:44: M: Ahm, ja die werden von dem Filter verschluckt. Also kommen nicht durch.

13:50: I: Und M, stell dir vor du hast eine Sonnenbrille mit blauen Gläsern. Also so blaue Filter. Wie würdest du den Regenbogen dann sehen?

13:58: M: Mh, nur den blauen Teil.

14:00: I: Was sagst du D?

14:01: D: Ich sag Blau und blauähnliches. Violett ein bisschen oder so.

KI 4		
Spektralfarben sind monochromatisch.		
	S3 D	S4 M
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ Stimmt S4 zu, dass man mit dem zweiten Prisma den roten Lichtstrahl untersuchen sollte.	✓ Wenn man nur eine Lichtsorte durch das Prisma schickt, wird das Licht nur gebrochen, sonst nicht verändert. Rotes Licht lässt sich nicht weiter aufspalten.
V2 09:56: I: Genau, und was glaubst du passiert wenn wir ein zweites Prisma in den roten Lichtstrahl halten? 10:00: M: Na dann verändert sich das gar nicht, dann wird's nur in eine andere Richtung abgelenkt. 10:04: I: Mh, und warum glaubst du verändert es sich nicht mehr? 10:06: M: Weil rotes Licht sich dann nicht mehr wieder, sich nicht weiter brechen lässt. 10:12: I: Mh und was ist die bessere Lösung, wenn man den roten Lichtstreifen untersuchen möchte ob er sich in weitere Lichtsorten zerlegen lässt oder nicht? 10:26: M: Ähm, das mim Prisma eigentlich. 10:28: I: Und was hast du gemeint D? 10:30: D: Ich sag auch das mim Prisma.		
Transferbeispiel		

KI 5		
Ein Gegenstand ist entweder ein Selbstsender (selbstleuchtend) oder ein Zwischensender (muss beleuchtet werden). Damit wir einen Gegenstand wahrnehmen muss Licht vom Gegenstand in unser Auge fallen.		
	S3 D	S4 M
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ Der Mensch wird vom Licht beleuchtet und reflektiert es. Man kann den Menschen erst sehen, wenn das Licht ins Auge trifft. Die Einser stehen für Sender, die Zweier für Zwischensender. Zwischensender sind z.B. der Mond.	~ Mensch wird von Licht beleuchtet und reflektiert es. Der Weg vom Mensch ins Auge wurde nicht erwähnt. ✓ Selbstsender sind Lichtquellen. Zwischensender reflektieren Licht. N: Wir sehen Selbstsender wenn deren Licht ins Auge trifft.
V3 01:21: I: Genau, mhh M, wie würdest du einem Mitschüler erklären was ein Selbstsender ist und was ein Zwischensender ist? 01:27: M: Ja ähm ein Selbstsender is äh, das was äh, von dem die, die äh Lichtquelle ist, was die Lichtquelle ist und äh ein Zwischensender is einfach nur etwas von dem das Licht reflektiert wird. Was man dann sieht. 01:43: I: Mh, nenn mir ein paar Selbstsender. 01:45: M: Äh, Sonne, die Lampen, und Laptop,... 01:52: I: Ja gut, und D, ein paar Zwischensender? 01:54: D: Der Mond, die Wolken, Tisch, das Blatt hier oder wie beim Beispiel Mensch,... 02:08: M: Also alles was nicht Selbstsender ist, ist Zwischensender. 02:12: I: M, wann sehen wir einen Selbstsender? 02:14: M: Ähm, wenn er anblitzt (<i>lacht</i>), oder ähm,... 02:23: I: Und was passiert mit dem Licht von dem Sender? Weil wenn ich die Augen zu hab seh ich,... (<i>D zeigt mit seinen Fingern ins Auge</i>) 02:24: M: Aso, ähm ja, wenn es ins Auge trifft? 02:35: I: Genau und D, wann sehen wir einen Zwischensender? 02:40: D: Ja dasselbe, auch wenns in Auge trifft, oder? 02:43: I: Was trifft ins Auge? 02:45: D: Das Licht.		

02:46: I: Und von wo kommts?
 02:47: D: Vom Zwischensender. Das Licht geht vom Selbstsender zum Zwischensender und dann ins Auge.

Transferbeispiel	✓ Pfeile beim Lichtquelle- Buch-Mensch-Beispiel richtig gezeichnet. Schachtelbeispiel richtig gezeichnet	✓ Pfeile beim Lichtquelle- Buch-Menschbeispiel richtig gezeichnet. Schachtelbeispiel richtig gezeichnet
-------------------------	---	--

V3

06:30: I: Warum kannst du die Zeichnung sehen M?
 06:34: M: Weil von der Lampe das Licht auf das Blatt Papier reflektiert und es wird mich bestrahlt. (*M zeigt den Lichtweg ins Auge*)
 06:43: I: Genau, und wenn ich den Raum ganz finster mache, was wirst du dann sehen M?
 06:45: M: Gar nix.
 07:00: I: D, versuch mir mal das Bild da (*Abbildung 12*) zu erklären?
 07:03: D: Zu erklären? Ja, ist wieder so ein Beispiel. Ja das, das dort wo die Taschenlampe genau auftrifft, dort ists am hellsten. Da seh ich deshalb am besten, am meisten. Das Licht wird dann auch reflektiert gegen die Wände von dem. Deshalb kann ich die Wände auch leicht sehen. Und das gelangt in mein Auge.

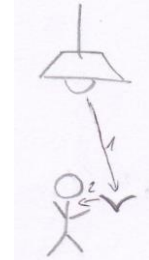


Abbildung 36: links: Zeichnung von S3, rechts: Zeichnung von S4

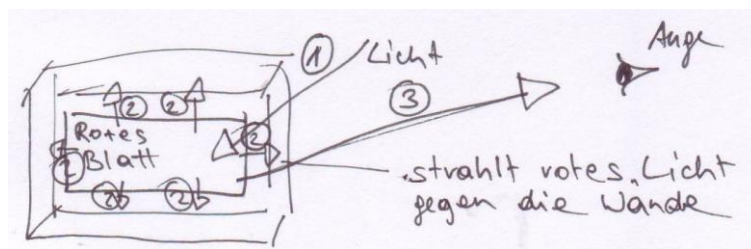


Abbildung 37: Zeichnung von S3

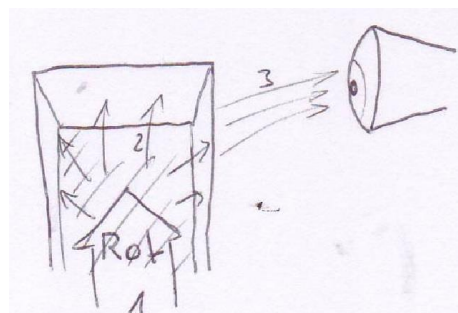


Abbildung 38: Zeichnung von S4

KI 6		
Wenn Licht auf Materie trifft, wird ein Teil des Lichtes abgestrahlt, der andere Teil wird aufgenommen und in Wärme umgewandelt.		
	S3 D	S4 M
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓ Kann sich vorstellen, dass Licht von Gegenständen aufgenommen wird, weil man die Wärme auf der Haut spürt. Genauso wie bei einer Glühbirne, die 80% in Wärme umwandelt.	✓
V3 08:45: I: Könnt ich euch, dass Licht von einem Gegenstand aufgenommen werden kann? 08:56: D: Ja, das ist ja zum Beispiel ein Beispiel der Mensch. Es ist dann wärmer. 09:00 I: Mh, könnt ihr euch auch vorstellen, dass ein Teil davon wieder abgestrahlt wird? 09:06: D: Jap. 09:07: I: Martin? 09:08: M: Ja sicher. 13:10: I: Könnt ihr euch vorstellen, dass das Licht in Wärme umgewandelt wird? Das Sonnenlicht in Wärme umgewandelt wird? 13:14: D: Ja sicher, das ist ja genauso wie bei einer Glühbirne, mit 80% in Wärme.		
Paraphrasierung	~ Wenn Licht auf einen Gegenstand trifft, wird es aufgenommen und wieder abgestrahlt. Auf die Umwandlung in Wärme wird vergessen.	✓ Schachtel wird mit Sonnenlicht beleuchtet. Da die Schachtel grün ist, wird grünes Licht abgegeben.
V3 13:36: I: Genau und D, wie würdest du einem anderen Schüler erklären, was passiert wenn Licht auf einen Gegenstand trifft? Oder auf dein T-Shirt trifft? 13:45: D: Ja es ist wieder das gl,... Dass es aufnimmt erst einmal, und dass es wieder abstrahlt auch.		
Transferbeispiel		

KI 7		
Der Gegenstand erscheint in jener Lichtsorte des Sonnenlichts, die abgestrahlt wird bzw. als Mischung jener Lichtsorten, alle anderen Farbanteile werden hauptsächlich in Wärme umgewandelt.		
	S3 D	S4 M
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ Licht trifft auf das Blatt, das Blatt reflektiert die rote Lichtsorte, aber nicht so stark. Man sieht es, wenn es in unser Auge gelang.	✓ Die Schachtelwände wirken weniger rötlich als der Boden. Das Licht, welches auf das rote Blatt trifft, wird reflektiert und ist dann auch rot. Dieses Licht trifft auf die Wände, die dadurch rötlich wirken.
V3 09:20: I: Versuch mal zu erklären was auf dem Bild da (<i>Abbildung 13</i>) zu sehen ist. 09:23: M: Das Sonnenlicht strahlt auf die Box, und dieser Pfeil soll darstellen, das ist das Licht was aufgenommen wird. Und das wird wieder abgegeben. Und trifft aufs Auge und deswegen können wirs sehen. 09:38: I: Und warum ist der Pfeil weiß und der grün? 09:39: M: Ähm weil das das normale Sonnenlicht ist und weil die Schachtel grün ist, wird da auch grünes Licht abgegeben. 18:14: I. D, versuch mal zu erklären, irgendjemand anderem, dass man so eine Schachtelwand auch in einer anderen Farbe wahrnehmen kann, obwohl sie eigentlich nicht diese Farbe hat. 18:24: D: Erklären? 18:25: I: Ja, so ähnlich wie der Martin vorher. 18:26: D: Ja er hats ja grad gesagt. Ja dass es auf das rote Blatt draufscheint und dann reflektiert das Blatt halt in Rot, nur halt nicht so stark, bisschen weniger dann bleibt das Hellrot und das sieht man dann halt, weils in unser Auge gelangt.		
Transferbeispiel	✓ Licht fällt auf das blaue T-Shirt, es wird aufgenommen, ein Teil wird abgestrahlt und gelangt ins Auge.	✕ Einen grünen Apfel sehen wir grün, weil er grün ist. N: ✓ Wenn wir einen grünen Apfel mit Licht beleuchten, dann verschluckt er alle Lichtsorten außer die grüne, die wird abgegeben.

V3

09:54: I: D, warum ist den T-shirt blau? Warum siehst du dein T-Shirt blau?

10:04: D: Sonnenlicht kommt da rauf, das Blaue, und es wird auch aufgenommen, und dann strahlt wieder ab und es ist blau, und es kommt in mein Auge, ich sehe dann blau.

10:13: I: Was ist blau?

10:15: D: Dieses Licht da, *(zeigt auf den grünen Pfeil beim grünen Würfel)*.

20:44: I: Ähm, M, versuch mal zu erklären wann wir einen Apfel grün sehen, also einen grünen Apfel, wann wir den grün wahrnehmen? Ein grün erscheinender Apfel, wann nehmen wir den grün wahr?

20:56: M: Wenn er grün ist?

20:58: I: Da haben wir einen roten Apfel, da sehen wir wann wir einen roten Apfel rot wahrnehmen. Und der grüne?

20:04: M: Ist jetzt die Frage wann wir einen roten Apfel grün wahrnehmen?

20:06: I: Nein, nein, einen grünen Apfel.

21:15: M: Naja, wenn er grün ist und wenn Licht drauftrifft dann verschluckt er alle Farbsorten, also Lichtsorten außer die grüne, die wird dann abgegeben. Und die sieht man dann.

21:26: D: Ins Auge.

KI 9		
Der Farbeindruck <i>Weiß</i> entsteht, wenn alle Lichtsorten des Sonnenlichts abgestrahlt werden. Der Farbeindruck <i>Schwarz</i> entsteht, wenn alle Lichtsorten aufgenommen werden. Wir können schwarz erscheinende Gegenstände nur in einer Umgebung wahrnehmen in der es Selbstsender bzw. Zwischensender gibt, die einen Kontrast zu den Konturen des schwarz erscheinenden Körpers bilden.		
	S3 D	S4 M
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	~	✓
Paraphrasierung	O: × Das weiß erscheinende T-shirt strahlt weniger Sonnenlicht ab, das Schwarz erscheinende T-shirt mehr. Wenn das Schwarze mehr aufnimmt kann es auch mehr abstrahlen. ✓ Bei Weiß wird nichts aufgenommen und alles wieder abgestrahlt. Bei Schwarz wird gar nichts abgestrahlt, da wird alles aufgenommen und in Wärme umgewandelt.	✓ Das weiß erscheinende T-shirt strahlt mehr Sonnenlicht ab, das Schwarz erscheinende T-shirt weniger. Im weißen Pullover ist einem nicht so heiß, weil er das Licht abstrahlt, der schwarze Pullover fängt mehr Licht ein und wandelt es in Wärme um. × Der schwarze Würfel verschluckt alles, eine Mischung aus allem ergibt dann Schwarz. Wir sehen nur die Umrisse.
V3 12:00 I: Also was hast du eingeringelt M? 12:02: M: Das weiße T-shirt strahlt mehr Sonnenlicht ab. 12:07: I: Mh und das schwarze T-shirt? 12:08: M: Weniger. 12:10: I: Und warum glaubst du das? 12:11: M: Weil ähm, weil das weiße T-shirt ähm die, die Sonnenstrahlen reflektiert und nicht zu viel aufnehmen kann. 12:18: D: Ist das richtig? 12:19: I: Was sagst du? 12:20: D: Ich sags genau umgekehrt. 12:26: I: Du sagst das weiße strahlt weniger ab und das schwarze strahlt mehr ab. Und warum glaubst du das? 12:28: D: Weil ich weiß, dass das schwarze mehr aufnimmt, ja,...		

12:35: M: (*Unverständlich*)

12:36: D: Wenn das schwarze mehr aufnimmt, dann strahlt es auch mehr ab oder?

V4

02:48: I: Versuch mal den Unterschied zwischen den beiden Bildern (*Abbildungen 17 und 18*) zu erklären, warum nehmen wir den schwarzen Würfel schwarz wahr und den weißen Würfel weiß?

02:55: M: Na da weiße Würfel strahlt das Ganze, also alle Lichtsorten strahlt er wieder ab, also hat er gar keine Farbe, also weiß. Und der schwarze verschluckt alles und eine Mischung aus allen ist dann Schwarz. Ja, dann sehen wir nur, sehen wir nur die Umrisse von dem.

03:18: I: Mhh, ja, wie würdest du das erklären D? Der schwarze und der weiße Würfel. Warum erscheint der Weiß und der Schwarz?

03:20: D: Ja weil da nix aufgenommen und alles wieder abgestrahlt wird, deswegen kommt er uns weiß vor. Und bei dem wird gar nix abgestrahlt sondern wird alles aufgenommen und in Wärme umgewandelt.

03:43: M: Und M, wie kommst du auf die Idee, dass wenn man alle Farben zusammenmischt, dass dann Schwarz rauskommt? Das hat er vorher ja gesagt, wir haben das vorher ja mit der Linse ausprobiert. Da haben wir ja auch alle Farben wieder zusammengemischt.

04:00 D: Dann kommt wieder das Ausgangslicht, sonnenähnliches Licht.

04:05: M: Oha!

11:50: I: Aber wenns Schwarz ist, wird dann was abgestrahlt?

11:54: M: Nein, das wird ja verschluckt hier.

12:02: I: Genau, und warum sehen wir, warum nehmen wir ihn trotzdem wahr?

12:05: M: Weil er ja trotzdem da is,... (*unverständlich*)

Transferbeispiel	✓ Weiß nimmt nichts auf, schwarz strahlt nichts ab.	✓ Im schwarzen Pullover wird einem wärmer, weil er das Licht einfängt. Der weiße Pullover strahlt das Licht wieder ab.
-------------------------	---	--

V4

02:14: I: Also, machts einen Unterschied welche Farbe der Pullover hat?

02:17: M: Mh.

02:18: I: Nämlich?

02:20: M: Im schwarzen Pullover wird einem heißer, weil er das Licht einfängt und in Wärme umwandelt. Und im weißen, ja is einem nicht so heiß, weil er die, weil er das Licht wieder abstrahlt.

02:35: I: Den Versuch haben wir vorher eh schon gemacht was ist da rausgekommen?

02:37: M: Ja, das der schwarze Stofffetzen ist wärmer geworden.

04:10: I: D, kann ein Bilder den Unterschied zwischen einem schwarzen und einem weißen Pullover erkennen?

04:19: D: Fix, is wärmer. Der Schwarze is wärmer.

04:24: I: Und, wie würdest du einem Schüler erklären, wann wir die Jacke schwarz sehen und das Etikett darauf weiß?

04:30: D: Das hab ich ja gerade erklärt.

04:32: I: Versuchs nochmal. Ob dus dir gemerkt hast.

04:34: D: Ja beim weißen ist das nix aufgenommen wird und bei schwarz alles aufgenommen wird.

04:45: I: Und was ist mit dem weißen, da wird nix aufgenommen, was passiert mit dem Licht dann, wenns nicht aufgenommen wird?

04:51: D: Es wird dann wieder genauso abgestrahlt.

04:53: M: Ins Auge.

KI 10		
Farbe ist keine Eigenschaft des Gegenstandes. Die Farbe hängt vom Licht ab für den der Gegenstand ein Zwischensender ist und von dem Licht mit dem der Gegenstand beleuchtet wird.		
	S3 D	S4 M
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung		✓ Wenn man einen roten Apfel mit grünem Licht bestrahlt, sieht er anders aus.
V4 13:23: I: Und M, wie würdest du irgendeinem Mitschüler erklären, dass man Äpfel auch in anderen Farben wahrnehmen kann, als man sie im Sonnenlicht sieht? Ah, wie würdest du jemand anderem erklären, dass man Äpfel auch in anderen Farben sehen kann, als sie im,... Der ist im Sonnenlicht Rot und kann auch anders ausschauen, wie? 13:55: M: Ja, wenn man ihn mit anderem Licht bestrahlt, dann, wenn ich einen roten Apfel mit grünem Licht bestrahl, dann sieht der Apfel anders aus.		
Transferbeispiel	✓ Apfelbeispiele richtig gelöst. Wenn man einen grünen Apfel mit rotem Licht beleuchtet, wird kein Licht abgegeben. ✕ Keine Erklärung dafür wieso wir schwarz wahrnehmen, obwohl kein Licht ins Auge gelangt.	✓ Apfelbeispiele richtig gelöst.
V4 12:28: I: D, was passiert, wenn man einen grünen Apfel mit rotem Licht beleuchtet? 12:34: D: Grüner Apfel mit Rot? Mh,... es wird kein Licht ausgesendet. 12:36: I: Und wie nehmen wir ihn wahr? 12:39: D: Schwarz. 12:41: I: Ja, und warum sehen wir Schwarz? 12:46: D: Weil kein Licht in unser Auge gelangt. 12:48: I: Und wenn kein Licht in unser Auge gelangt, wieso können wir ihn trotzdem sehen? Es kommt ja eben kein Licht, weil bei Schwarz kommt kein Licht. Und		

warum seh ich ihn trotzdem, das stand da,...

12:56: D: Warum ich ihn trotzdem wahrnehme?

13:10: I: Die Jacke, strahlt ja nix ab eigentlich, weil sie ist ja Schwarz. Warum sehen wir sie trotzdem?

13:14: D: Wegen dem Pult da? Na ich dachte es ist ein ganz dunkler Raum, deswegen.

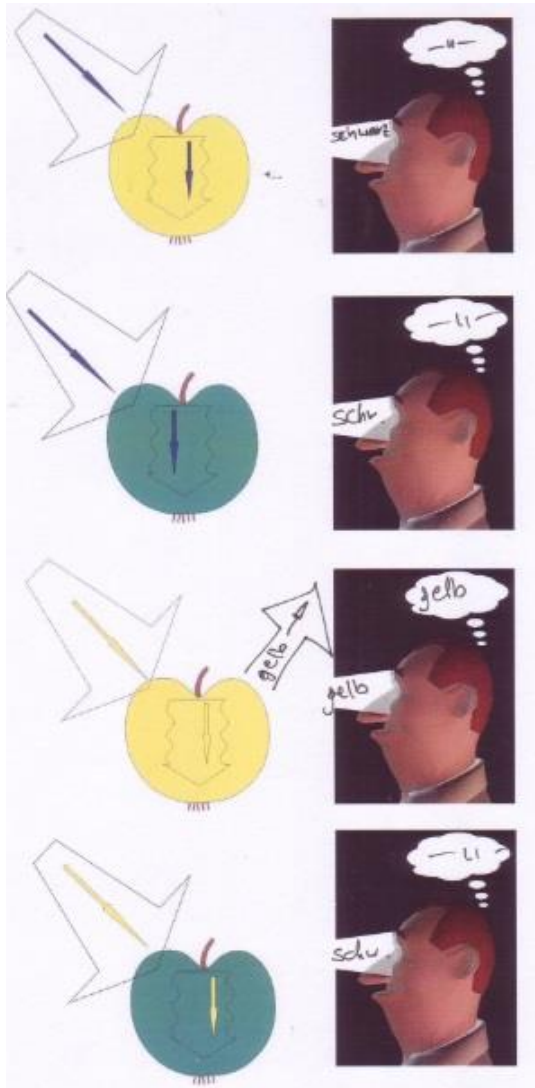
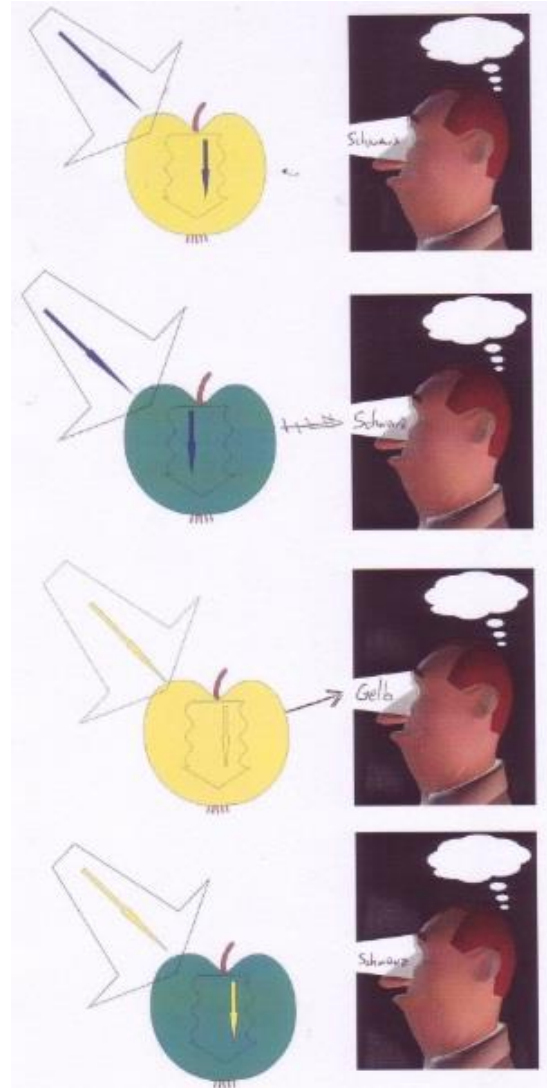


Abbildung 39: links: Abbildung von S3



rechts: Abbildung von S4

5.7.4 Implikationen

Nach der Probebefragung 2 wurde der Einstiegsversuch zur Farbmischung mit den LED's verbessert, da das Versuchsergebnis nicht eindeutig war. Die LED's wurden durch färbige (rote, grüne und blaue) Glühbirnen ersetzt, da dieser Versuch deutlichere und bessere Ergebnisse erzielte. Außerdem wurde der Energieaspekt als neue Key-idea formuliert und als Zusatzinformation, jedoch nicht mehr als Leitidee, sowohl in die Unterrichtsmaterialien als auch in die Akzeptanzfragen eingefügt.

5.8 Hauptbefragungen

5.8.1 Hauptbefragung 1

Die Hauptbefragung 1 fand am Mittwoch den 20. Februar 2013 statt. Die Befragten werden S5 (B) und S6 (L) genannt. Beide Schülerinnen waren 14 Jahre alt. Schülerin B besuchte vier Jahre lang das Gymnasium der Erlgasse, Schülerin L das Gymnasium der Franklinstraße 21.

KI 1 Die Referenzquelle für Licht ist die Sonne. Wenn eine Lampe ähnliches Licht wie die Sonne ausstrahlt, bezeichnen wir auch dieses Licht als sonnenähnliches Licht. Licht kann man nicht nur mischen, sondern auch zerlegen. Sonnenlicht ist eine Mischung verschiedener Lichtsorten.		
	S5 B	S6 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	~ Für S5 besteht Sonnenlicht aus einer Mischung der Farben Gelb, Orange und Rot.	~ Für S6 besteht Sonnenlicht aus einer Mischung der Farben Gelb, Orange.
V1 14:50: I: Kommt es euch komisch vor, dass Sonnenlicht aus verschiedenen Lichtsorten bestehen soll oder so? Könnt ihr das glauben oder nicht? 14:55: B: Ähm das ist mir ein bisschen komisch vorgekommen, weil wenn wir halt Bilder anschauen von der Sonne ist es ja eher rötlich, Orange, Gelb, halt so eine Mischung von dem. Und warum das halt jetzt, halt von allen Farben besteht, das hab ich,... 15:20: I: Was ist mit dir? 15:24: L: Ja, weil wir sehen ja nur ähm Gelb, Orange.		
Paraphrasierung		✓ Sonnenlicht besteht aus verschiedenen Farben. An den sichtbaren Bereich schließen der infrarote und der ultraviolette Bereich an.
V1 17:05 I: L, versuch mal der B zu erklären, sie hat das nicht gelesen, was du über Sonnenlicht weißt. Was du jetzt schon gelernt hast. 17:12: L: Also, Sonnenlicht besteht aus verschiedenen Farben, also Rot, Grün, Blau und Violett,... Es gibt den Infraroten Bereich, den sieht man nicht und den Ultravioletten sieht man auch nicht.		
Transferbeispiel	✓ S5 meint, dass Glühlampen	

	ein sonnenähnliches Licht erzeugen. S5 sagt, dass man auf der Wand einen weißen Fleck sieht, weil unser Auge die Farben, aus denen das Sonnenlicht besteht, nicht getrennt wahrnehmen kann. S1 kann den Unterschied zwischen gelbem Licht und Sonnenlicht richtig erklären.	✓ S6 stimmt S5 zu, dass Glühlampen sonnenähnliches Licht ausstrahlen.
V1 16:20: I: Welche Gegenstände fallen euch ein, die Sonnenlicht oder sonnenähnliches Licht ausstrahlen? 16:24: B: Glühlampen. 15:30: L: Handys. 16:10: I: Und wieso sagst du auf einmal, dass die Glühlampe ein sonnenähnliches Licht ausstrahlt, wenn du vorher gesagt hast es ist eher weiß und die Sonne ist Gelb? 16:25: B: Weil nach dem Text, weil das ist ein sonnenähnliches Licht und das ist ja auch aus verschiedenen Farben. 16:45: I: Stimmst du ihr da zu? 16:59: L: Ähm, ja. 18:05: I: Warum sehe ich das weiß, wenn im Sonnenlicht verschiedene Farben enthalten sind? 18:09: B: Weil unser Auge das nicht wahrnehmen kann mit wie vielen Farben das gemischt ist? 18:58: I: Und wie würdest du jemandem den Unterschied zwischen sonnenähnlichem und gelbem Licht erklären? 19:22: B: Halt sonnenähnliches Licht, wie wir schon gesagt haben, ich hab Glühlampe gesagt. Das ist so eher weißlich, weil unser Auge die Farben nicht trennen kann. Und gelbes Licht, wenn es so gefärbt ist (zeigt auf die farbigen Glühbirnen) dann sieht man das weil ähm ich glaub die Farbe außerhalb der Glühlampe ist stärker als halt das Licht drinnen.		

KI 2		
Das Sonnenlicht lässt sich mit Hilfe eines Prismas in seine Lichtsorten zerlegen. Mit einer Linse lassen sich die Lichtsorten wieder zu Sonnenlicht vermischen.		
	S5	S6 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	N: ✓ S5 hat erkannt, dass der Prismenversuch auch mit anderen sonnenähnlichen Lichtquellen funktionieren würde. ✓ S5 konnte den Versuch mit der Linse richtig erklären. S5 konnte den Dispersionsversuch richtig skizzieren.	N: ✓ S6 hat erkannt, dass die Form des Prismas für die Dispersion verantwortlich ist. Beim fehlerhaften Bild erkennt S6, dass auch im Prisma bereits eine Aufspaltung in die Spektralfarben erfolgen sollte. ✓ S6 konnte den Versuch mit der Linse richtig erklären. S5 konnte den Dispersionsversuch richtig skizzieren.
V3 03:07: I: L, wieso kann ein Prisma Sonnenlicht in verschiedene Lichtsorten zerlegen? 03:08: L: Ähm, weil sie keine Farbe hat? 03:24: I: Äh, keine Farbe? Wie meinst du das? 03:20: B: Weils durchsichtig ist. 03:34: L: Ja. 04:00: I: Das Fenster ist ja auch durchsichtig. Spaltete das Fenster das Licht auch auf? 04:04: L: Nein, es ist ja,... 04:06: B: Natürlich, eigentlich schon. Weil wenn Sonnenlicht hineintritt ist es ja nicht nur eine Linie hier, es breitet sich aus. 04:19: L: Ja, aber es zerlegt die Farben nicht. 04:20: B: Ja, es zerlegt keine Farben. 04:24: I: Ok, also irgendwas muss das Prisma noch haben, dass das Glas noch nicht hat. 04:28: L: Ja es is, es hat drei Seiten so, pyramidenhaft. 04:34: B: Es hat auch eine andere Volumsdichte. 06:03: I: Und wie würdest du den Prismenversuch in eigenen Worten beschreiben? 06:09: B: Halt man braucht dazu ein Prisma, und das, eigentlich kann man das auch glaub		

ich ohne Overheadprojektor machen, auch mit einem normalen Licht.

06:21: I: Was ist ein normales Licht?

06:22: B: Taschenlampen oder so. Und dann man hat dann halt Licht ins Prisma hinein und dafür braucht man eine weiße Wand und man sieht dann die Aufspaltung von Sonnenlicht.

06:44: I: Würdest du irgendetwas ergänzen? Oder das genauso sehen? Was anders?

06:45: L: Ja, ich würds auch so wie sie erklären.

06:47: I: Und meinst du auch, dass es auch mit einer Taschenlampe funktioniert?

06:52: L: Es kommt drauf an welche Farbe.

06:56: I: Die Taschenlampe hat? Und mit welchen funktioniert und mit welchen nicht?

06:58: L: Mit sonnenähnlichem Licht.

07:03: I: Und mit welchem funktioniert? Funktioniert oder funktioniert nicht?

07:04: B: Aber künstliches Licht ist ja sonnenähnliches Licht.

07:12: I: Ok also,...? (zuckt mit den Schultern)

07:14: L: Ja, es würde funktionieren. Auch mit der Taschenlampe glaube ich.

07:21: I: Ok und mit welchem Licht funktioniert nicht?

07:23: L: Ähm mit, grün (zeigt auf die farbigen Glühbirnen).

V5

02:40: I: [...] Was hat die Linse mit den Farben gemacht?

02:47: B: Wieder zusammengemischt.

02:48: L: Es ist das Gegenteil von zerlegen.

02:55: B: Es ist so rausgekommen wie es eigentlich war.

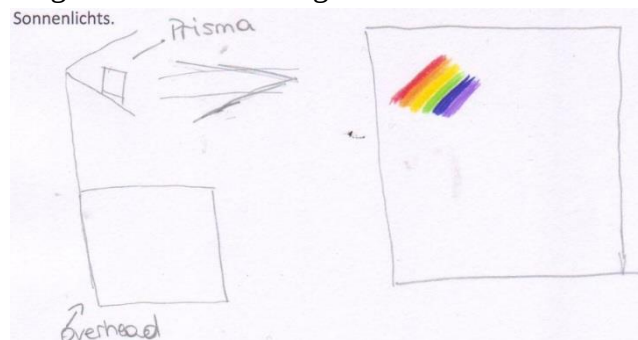


Abbildung 40: Zeichnung von S5

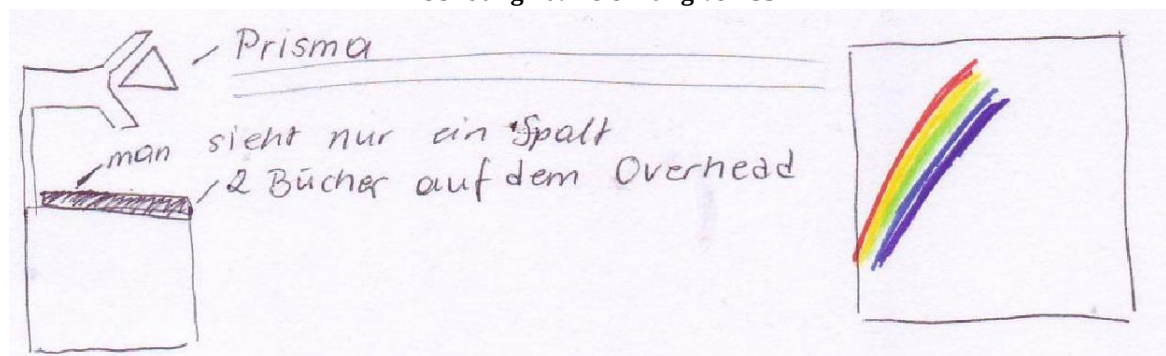


Abbildung 41: Zeichnung von S6

Transferbeispiel	× S5 meint, die Reihenfolge	× S6 meint es gibt keinen
------------------	--------------------------------	------------------------------

	der Farben bei der Dispersion durch das Prisma hängt von der „Helligkeit“ und der „Dunkelheit“ der Farben ab. N: ~ Nach Nachfrage, zeichnet sie Farben ein, sie zeichnet sie jedoch falsch ein. Bei ihr gibt es Regenbogenfarben, man erkennt sie jedoch auf dem Schirm nicht, weil sie wieder aufeinandertreffen. ✓ S5 erkennt, dass der Regenbogen zustande kommt, wenn das Sonnenlicht in seine Spektralfarben zerlegt wird.	Unterschied beim Durchgang der verschiedenen Lichtsorten durch das Prisma. ✓ S6 erkennt, dass der Regenbogen zustande kommt, wenn das Sonnenlicht in seine Spektralfarben zerlegt wird.
--	--	--

V2

05:05: L: [...] Es ist doch egal welches Licht.

05:20: B: Ich habs anders gezeichnet, halt ich hab die dunkleren Farben hab ich nach unten gebrochen und die helleren eher nach oben.

05:27: I: Warum hast du das gemacht?

05:28: B: Ich hab gedacht, vielleicht halt, weil es ja, wie wir hier sehen (*Abbildung 4*) das ist ja im Hellen, halt der Sonne näher. Weil das unser Auge ja so wahrnimmt hab ich das eher so gezeichnet.

05:50: I: Und wenn du dir überlegst, du hast vorher gesagt gelb entsteht aus Rot und Grün, hat das darauf einen Einfluss?

06:00: B: Aber unser Auge kann ja die Farben nicht trennen, deswegen entsteht ja eine neue Farbe. Das heißt, nein ich glaub nicht.

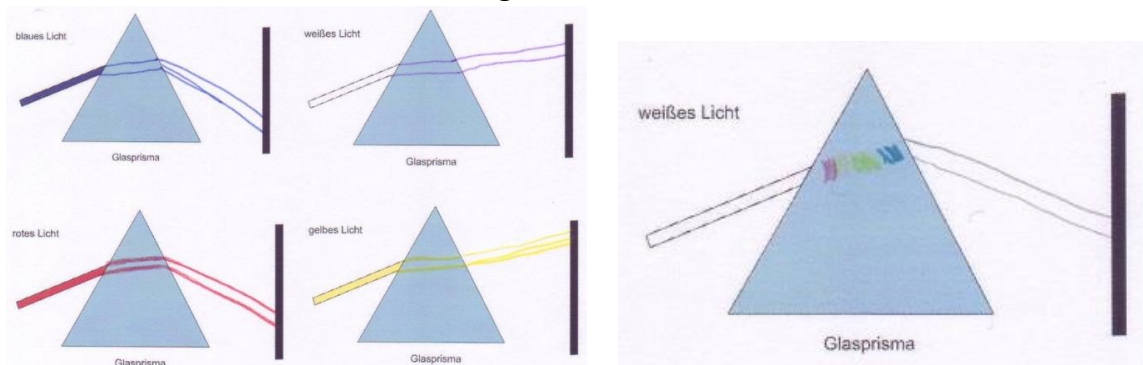


Abbildung 42: Bilder von S5

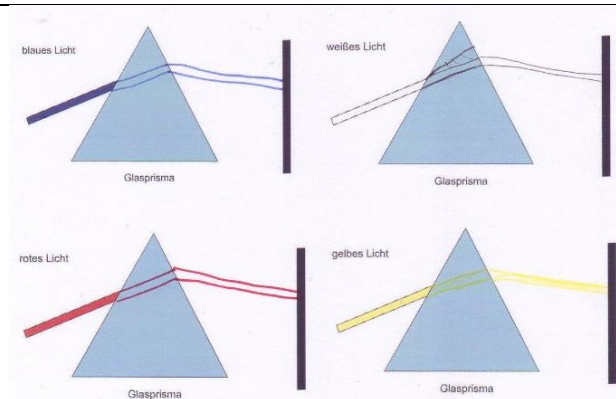


Abbildung 43: Bild von S6

10:24: B: Ich glaub, dass beim weißen Licht, wenn das hineintrifft so ein Regenbogen entsteht, halt ein paar verschiedene Farben. Weil das weiße Licht hat ja auch andere Dingsda, wenn mans,...

10:55: B: Würdest du jetzt nochmal ändern, auf was Buntes, oder würdest du so lassen?

11:23: B: Ja, ich würds nochmal ändern.

11:43: I: Und am Schirm was würd man dann da sehen?

11:47: B: Da würd mans wieder weiß sehen.

19:45: I: L, fallen dir irgendwelche Fehler auf, an der Zeichnung (*Abbildung 7*)?

20:22: B: Vielleicht, dass das Licht da ausgestrahlt wird und eigentlich zusammen gehört?

21:54: B: Ich hab das hier halt so eingezeichnet, dass das Licht danach zusammen kommt, aber hier ist es so, dass das Licht geteilt wird. Halt ausgestrahlt wird, ich weiß nicht welches richtig ist. Aber das könnte der Fehler sein.

V3

01:00 L: Ich weiß, es sollte sich auch hier (*zeigt ins Prisma*) färben.

08:07: I: L, kannst du erklären warum ein Regenbogen diese bunten Streifen hat?

08:29: L: Also die Sonnenstrahlen, also sie fallen auf,... Ich weiß nicht wo sie hinfallen und dann kommt eine Farbenzerlegung und das strahlt dann.

09:25: B: Keine Ahnung ich weiß nicht was mit dem, weil ich glaub ich hab das nicht gelernt. Und ich glaub wegen der Sonnenstrahlen, wie sie das gesagt hat das, es hängt glaube ich auch halt mit der Zerteilung, Aufspaltung vom Sonnenlicht. Weil das halt weißes Licht ist. Und das teilt sich von Infrarot bis Vio, ähm Ultraviolett. Die zwei Farben sehen wir nicht und halt die mittlere Spalte schon und das ist der Regenbogen.

09:53: I: Und wie kommt der zustande?

09:55: B: Durch die Sonnenstrahlen.

10:00: I: Also würden wir immer einen Regenbogen sehen?

10:01: B: Nein, halt es regnet, Regen ist ja durchsichtig,... Wegen, weil Regen ist ja durchsichtig,... Wegen, weil Regen ja durchsichtig ist, halt es hat eine andere Dicke,...

KI 3		
Farbfilter transmittieren nur bestimmte Bereiche des sichtbaren Spektrums, die anderen Anteile werden absorbiert.		
	S5 B	S6 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ S5 erklärt die Funktion des Farbfilters zuerst intuitiv richtig, lässt sich dann aber verunsichern. Den Versuch Überlagerung von rotem und grünem Farbfilter erklärt S5 richtig.	✓ S6 erklärt die Funktionsweise eines Farbfilters richtig.
V2: 19:50: I: Ok, könnt ihr das erklären? 19:57: B: Die grüne Folie lässt nur die grünen Lichtsorten durch, Rot enthält kein Grün deswegen lässt es auch nichts durch. 20:11: L: Also Grün lässt ja nur Grün durch und Rot nur Rot und das ist halt so schwarz gefärbt. V3: 03:14: I: L, wenn Sonnenlicht auf so eine rote Folie trifft, was passiert dann? 03:16: L: Sie gibt dann, dann ähm. Lässt nur rot durch. 03:24: I: Ok, und was passiert mit den anderen Farben? 03:25: L: Ähm sie werden gefiltert und sie wandeln sich in Wärme. 03:33: B: Ja ich würds auch so sagen. 03:42: I: Ok, Wärme wie seh ich das dann, oder kann ich das messen? 03:43: B: Als Energie vielleicht. 04:10: I: Wie stellst du dir das vor, wie macht das die Folie? 04:12: B: Das liegt nicht an der Folie sondern an der Farbe. Wenns grün wäre, dann hätte es nur Grün durchgelassen. Wärs Blau dann nur blau.		
Transferbeispiel	✓ Erkennt, dass man durch eine Brille mit blauen Gläsern nur den blauen Streifen des Regenbogens sehen würde.	✓ S6 erklärt die Funktionsweise eines Blaufilters richtig.
V3 04:30: I: Versuch mal einem Mitschüler die Funktion eines Blaufilters zu erklären, L. 04:33: L: Also wenn Sonnenlicht auf einen, auf eine blaue, Folie fällt, oder fällt, dann lässt die blaue Folie, nur Blau und die anderen Farben werden gefiltert und ja. Und		

sie werden in Wärme umgewandelt.

V4:

11:49: I: Stell dir vor du hast eine Brille mit blauen Gläsern und schaust auf den Regenbogen. Was siehst du da?

11:55: L: Ich glaub ich würd, ich würds nicht sehen.

12:01: I: Gar nix, oder was?

12:03: B: Du würdest nur Blau sehen.

12:04: L: Ja nur Blau sehen.

12:08: I Ok und was passiert mit der gelben Farbe vom Regenbogen zum Beispiel?

12:10: B: Das würd man nicht sehen, weil es ja kein Blau enthält.

12:13: L: Es ist ja weil es ja eine Hauptfarbe ist.

12:18: I: Und wie seh ichs nicht, seh ichs in einer anderen Farbe das Gelb? Seh ichs als durchsichtig, seh ichs als Schwarz?

12:23: L: Ich sehs gar nicht.

12:26: B: Ja eh, durchsichtig. Ich glaub schon durchsichtig.

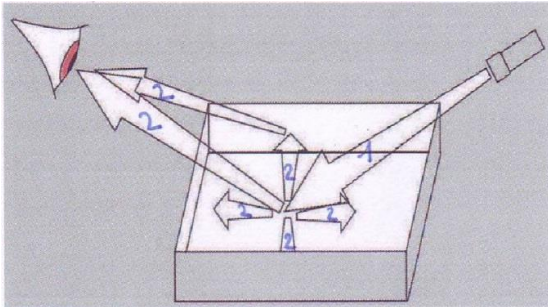
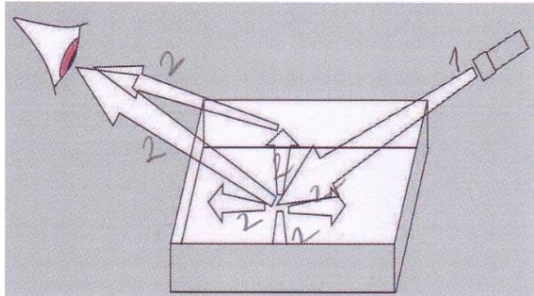
12:30: L: Ich glaub auch durchsichtig, weil also es filtert ja wieder, die Farben werden gefiltert und ich seh nur blau.

12:41: I: Also das Gelb kommt auf die Brille und wird gefiltert und wir was?

12:50: L: Wird zu Energie, Wärme.

KI 4		
Spektralfarben sind monochromatisch.		
	S5 B	S6 L
Textakzeptanz	~ S5 leitet das Wort nach Schwierigkeiten richtig ab.	~ Das Wort monochromatisch bereitet S6 Schwierigkeiten.
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ S5 erkennt, dass man mit einem zweiten Prisma testen kann, ob es sich um monochromatisches Licht handelt.	✗ S6 hat keine Idee, wie man testen könnte, ob eine bestimmte Lichtsorte monochromatisch ist.
V3 16:13: I: Was haltet ihr von diesen beiden Ideen? Also, ob der rote Lichtstreifen in weitere Lichtsorten zerlegt werden kann? Ist es gescheit, wenn ich die grüne Folie in den roten Lichtstrahl lege, oder wenn ich ein zweites Prisma in den roten Lichtstrahlen halte? 16:34: L: Ich hab keine Ahnung. 16:38: B: Grüne Filter, lässt nur die grünen Lichtsorten durch. Das heißt, eine grüne Folie würde keinen roten Lichtstrahl durchlassen. Deswegen das zweite glaub ich, mit dem zweiten Prisma. 17:00: I: Ok und wie stellst du dir das vor, wieso glaubst du das? 17:07: B: Weil wie wir gelesen haben. Der grüne Filter lässt nur die grünen Lichtsorte durch aber, und Rot enthält glaub ich kein grün. Das heißt das kann nicht funktionieren.		
Transferbeispiel	✓ Rot, Grün und Blau sind monochromatisch.	✓ Die rote Lichtsorte ist monochromatisch.
V3 21:22: I: Ich verwende ein zweites Prisma und ich seh dann da so einen kleinen Fleck, seht ihr das? 21:25: B&L: Ja 21:27: I: Ok und was seht ihr bei dem Fleck? 21:28: B: Das es rot ist. 21:33: I: Ok und was bedeutet das? 21:40: L: Rot gibt wieder Rot. 21:43: I: Ok, das heißt ist es zerlegbar? 21:44: B: Nein, weil es eine Hauptfarbe ist. Man kann Blau, Rot und Grün nicht zerlegen aber halt die anderen Farben schon. Und zum Beispiel bei den anderen Farben gibt es dann auch ein Farbspektrum.		

KI 5		
Ein Gegenstand ist entweder ein Selbstsender (selbstleuchtend) oder ein Zwischensender (muss beleuchtet werden). Damit wir einen Gegenstand wahrnehmen muss Licht vom Gegenstand in unser Auge fallen.		
	S5 B	S6 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ S5 kann erklären was ein Selbstsender und ein Zwischensender ist und Beispiele nennen.	~ Kann erklären wann wir einen Tisch sehen, vergisst jedoch auf den Lichtweg vom Tisch ins Auge
V5 12:00 I: L, wie würdest du jemandem erklären was ein Selbstsender ist, und was ein Zwischensender? 12:02: L: Ähm ein Selbstsender ist zum Beispiel eine Glühbirne oder die Sonne. 12:13: B: Es kann selbst Licht erzeugen. 12:15: L: Ja und Strom und Hitze. Und ein Zwischensender kann selbst nicht Licht erzeugen, sie muss mal zuerst beleuchtet werden von einem Selbstsender, damit sie dann wieder,... damit sie die Lichtstrahlen weitersenden können. 13:18: I: Wann sehe ich den Tisch, der Tisch ist ein Zwischensender. 13:21: L: Wenn Sonne drauffällt. 13:23: I: Ok in dem Fall hab ich diese Leuchtstoffröhre. Ok, wie geht der Lichtweg? 13:34: L: Also die Strahlen werden immer größer und dann treffen sie auf den Tisch und dann seh ich den Tisch. 13:45: I: Und muss noch irgendetwas passieren, damit ich den Tisch sehe? Oder nur von der Lichtquelle auf den Tisch? 13:57: L: Weiß ich nicht. 13:58: I: B, hast du eine Idee? 14:00 B: Halt das Licht geht gerade auf den Tisch und dann halt auf unser Auge. Und danach sehen wirs. 14:21: B: Ein Selbstsender ist, zum Beispiel halt es kann selbst Licht erzeugen, es ist zum Beispiel die Sonne, eine Glühbirne und so. Und ein Zwischensender kann selbst kein Licht erzeugen, es ist halt immer, es nimmt die Strahlen ab, nein an, ab. Das strahlt das nur ab halt. Es kommt vom Selbstsender und strahlt auf unser Auge.		
Transferbeispiel	✓ S5 kann erklären warum man den Tisch sieht bzw. wann man ein Buch lesen kann.	✓ S6 kann erklären wann man einen Stift sieht. × Glaubt, dass man auch ohne

	N: ✓ Erkennt, dass man ohne Licht auch nichts sehen kann	Licht Umrisse wahrnehmen kann, erinnert sich dabei an fluoreszierende Gegenstände.
V5 15:15: I: Stellt euch vor ihr würdet ein Buch lesen oder diesen Zettel da. Wann könntet ihr den Zettel sehen? 15:19: B: Wenn Licht auf das draufkommt und wenn es genug hell ist. Und man die Schrift lesen kann. Halt in diesem Fall ist auch das Blatt ein Zwischensender und das trifft aufs Blatt und danach auf unser Auge. 15:45: I: Warum siehst du diesen Bleistift? 15:50: L: Weil der Selbstsender, ähm es nimmt halt, also der Selbstsender leitet Licht und dann sendet dieser Zwischensender Licht in mein Auge. V5 20:48: I: Wenn ich den Raum ganz finster mache, oder wenns da ganz dunkel wäre könnt ihr dann das Männchen und den Baum und die Wolke sehen. 21:02: B&L: Ja, Mondlicht. 21:03: I: Und wenns keinen Mond gibt, das ist nur so ein kleinen Sichelmond und da sind ganz viele Wolken davor? 21:08: B: Man siehst nicht ganz, aber man würde,... 21:09: L: Man sieht so Umrisse. 21:11: B: So Umrisse, halt man weiß, dass dort irgendwas ist. 21:15: I: Aha, auch wenns ganz dunkel ist? Wenns keinen Mond gibt. 21:17: B: Ja, ich glaub man spürt das dann. Weil ganz, ganz dunkel ist es ja draußen nie. 21:22: I: Ok ich sag aber jetzt es wäre extrem dunkel [...]. 21:35: B: Ok, dann würd man nichts sehen. 21:36: L: Manche Körper speichern ja so Licht. 21:40: I: Ok, nämlich welche Körper. 21:42: L: Ich weiß nicht. 21:43: I: Ein Baum zum Beispiel? 21:44: L: Vielleicht und dann gibt es das dann wieder zurück. Vielleicht würde man dann die Umrisse sehen.		
 		
Abbildung 44: links: Bild von S5 , rechts: Bild von S6		

KI 6		
Wenn Licht auf Materie trifft, wird ein Teil des Lichtes abgestrahlt, der andere Teil wird aufgenommen und in Wärme umgewandelt.		
	S5 B	S6 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✗ S5 meint, dass nur <i>dunkle</i> Farben Licht aufnehmen. Dass ein Teil des Lichts vom Gegenstand wieder abgestrahlt wird glaubt S5 nicht. ✓ S5 kann sich vorstellen, dass Licht in Wärme umgewandelt werden kann.	~ S6 erwähnt die Umwandlung in Wärme, vergisst aber den Teil der wieder abgestrahlt wird. S6 verwechselt das Abstrahlen mit Fluoreszenz. ✓ S6 kann sich vorstellen, dass Licht in Wärme umgewandelt werden kann.
V6 09:50: I: Wie genau stellst du dir das vor, was passiert dann mit dem aufgenommenen Licht? 10:10: B: Oder zum Beispiel hier beim schwarzen Penal, wenn Sonnenlicht hier hin trifft dann wird's ja wärmer. Es ist eine Energie da drin. Und ist warm. 11:10: I: Und was passiert beim grünen? 11:13: B: Is glaub ich das speichert, weil grün ist eine dunkle Farbe. 11:15: L: Ja. 11:23: I: Und warum sehe ich den Würfel dann grün und nicht schwarz? 11:26: B: Warum sollten wir schwarz sehen? 11:27: I: Weil du gesagt hast schwarz speichert alles. 11:28: L: Nicht nur Schwarz. 11:29: B: Nicht nur Schwarz, dunkle Farben. 11:32: I: Was sind dunkle Farben? 11:33: B: Halt Dunkelblau, Grün, dann Schwarz, Braun,... 12:45: I: Könnt ihr euch auch vorstellen, dass ein Teil des eingestrahlt Lichts wieder abgestrahlt wird? 12:50: B: Ich glaub eher nicht. 12:57: L: Es könnte aber sein. Vielleicht im Dunkeln. 12:59: B: Zum Beispiel, ich hab mein Federpenal hier, Licht kommt rein und da drinnen strahlt Sonnenlicht. Das speichert das und wenn ich zumach, ich sehs zwar nicht aber strahlt das da drinnen jetzt? 13:10: L: Nein nicht strahlen, aber zum Beispiel wenn es jetzt dunkel ist vielleicht sieht man es ja dann. Aber es, es strahlt nicht. V7 02:26: Könnt ihr euch vorstellen, dass Licht in Wärme umgewandelt werden kann?		

02:28: L: Ja, weil zum Beispiel wenn die Glühbirne lange leuchtet wird sie ja irgendwann sehr warm. 02:40: B: Oder ein schwarzes Auto wenn die ganze Zeit Sonnenstrahlen aufs Auto treffen dann wird es auch warm.		
Paraphrasierung		
Transferbeispiel		

KI 7		
Der Gegenstand erscheint in jener Lichtsorte des Sonnenlichts, die abgestrahlt wird bzw. als Mischung jener Lichtsorten, alle anderen Farbanteile werden hauptsächlich in Wärme umgewandelt.		
	S5 B	S6 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	× S5 glaubt nicht, dass Gegenstände Licht abstrahlen, bzw. dass das abgestrahlte Licht für die Farbwahrnehmung verantwortlich ist.	✓ S6 erklärt Abbildung 13 richtig.
Paraphrasierung		✓
V6 14:10: I: Versuch mal dann die Zeichnung (<i>Abbildung 13</i>) zu erklären. 14:14: L: Sonnenlicht strahlt auf einen Würfel. Ich glaub hier wird Wärme gespeichert. [...] Dieser Pfeil, das trifft dann auf mein Auge, damit ichs dann halt grün sehe. 14:46: I: Ok, und wie wird das grün? Oder warum ist der weiß und der grün? 14:47: L: Das ist Sonnenlicht und das ist die Farbe von dem Würfel. 14:54: I: Also wird doch etwas abgestrahlt? 14:55: L: Ja eigentlich schon, die Farbe. 15:00 B: Ich glaub noch immer nicht, dass das Licht abgestrahlt wird. 15:02: I: Also ist die Zeichnung deiner Meinung nach falsch? 15:04: B: Ich glaub schon. Weil wie soll das nur hier hineingehen und danach,... Es so, wärs so transparent, halt so wie diese Folie da, wärs so etwas halt aus diesem Material dann würd ich sagen es kann halt noch ähm reflektieren. So in dem Fall nicht, weil es ist ja, sag ma es ist aus Metall oder so, aus Metall halt aus türkisem, gefärbten Metall und das, das kann,... nein. 16:02: B: Ich glaub so, das halt Sonnenlicht darauf trifft und danach einfach zerstreut, oder so,... halt das. [...] Ja aber Sie meinen glaub ich, dass dieser Würfel das abgibt, aber ich, ich glaub an das nicht.		
Transferbeispiel	~ S5 erklärt den Lichtweg vom Selbstsender ins Auge richtig, vergisst jedoch auf die Wärmeumwandlung.	✓ S6 erklärt den Vorgang mit Energieumwandlung, und Abstrahlung einer Lichtsorte ins Auge richtig.
	× Glaubt nicht daran, dass Gegenstände farbiges Licht	✓ S6 kann erklären, warum man einen grünen Apfel grün wahrnimmt.

	abstrahlen. ✓ Kann den Versuch mit dem roten Blatt am Schachtelboden richtig erklären. ~ S5 kann erklären, warum man einen gelben Apfel gelb wahrnimmt, glaubt jedoch das abgestrahlte Licht sei weiß.	
--	---	--

V6

19:19: I: L, versuch mal zu erklären warum du den Stift gelb siehst. Oder warum die Hose von B rot ist, oder sowas.

19:20: L: Ok, Also Sonnenlicht strahlt auf ihre Hose und hier wird Wärme gespeichert und ein Teil von diesem Strahl reflektiert in mein Auge.

19:43: I: Und welcher Teil?

19:45: L: Das Rote.

19:50: I: B, warum seh ich den Stift gelb?

19:51: B: Wie sies gesagt hat. Also künstliches Licht halt trifft auf unseren Zwischensender und dann reflektiert das in mein Auge.

20:08: I: Und was reflektiert in mein Auge?

20:09: B: Die Farbe Gelb und [...] ich sehe dann alles gelb.

V7

07:06: I: Warum seh ich den Stift gelb?

07:09: B: Weils gelb ist.

07:08: I: Und weißes Licht trifft drauf, und wie schaut das Licht aus das wegreflektiert, auch Weiß, oder eine andere Farbe? Oder gar keine Farbe?

07:23: B: Ich würd jetzt mal Weiß sagen, weil Gelb ist ja,... Gelb ist das ja und wie soll das Licht dann Gelb sein. Sonst würde ich Licht ja auch sehen, (*macht eine Handbewegung zwischen Stift und Auge*) aber ich sehs ja nicht.

V7

14:05: I: Warum ist es Rot, das Licht das an die Wände (*Schachtelwände*) kommt?

15:50: B: Aja, aja, das ist wegen dem Filter glaub ich oder?

16:00: I: Und was macht dieses Blatt mit dem Licht?

16:02: B: Das filterts auch! Deswegen sehen wir nur rotes Licht auf der Seite. Und kein anderes, weil das ist ja sonnenähnliches Licht das heißt das ist weißes Licht und das ist ja so aus vielen verschiedenen Farben und wenn rotes Licht, halt das filtert und nur rote Sorten nehmen kann, das heißt es kann nur so sein, und das andere wird Energie und wird irgendwo ich habs irgendwo, ja irgendwo steht das da.

16:58: B: Das rote Licht wird gefiltert und danach auf die Wände reflektiert.

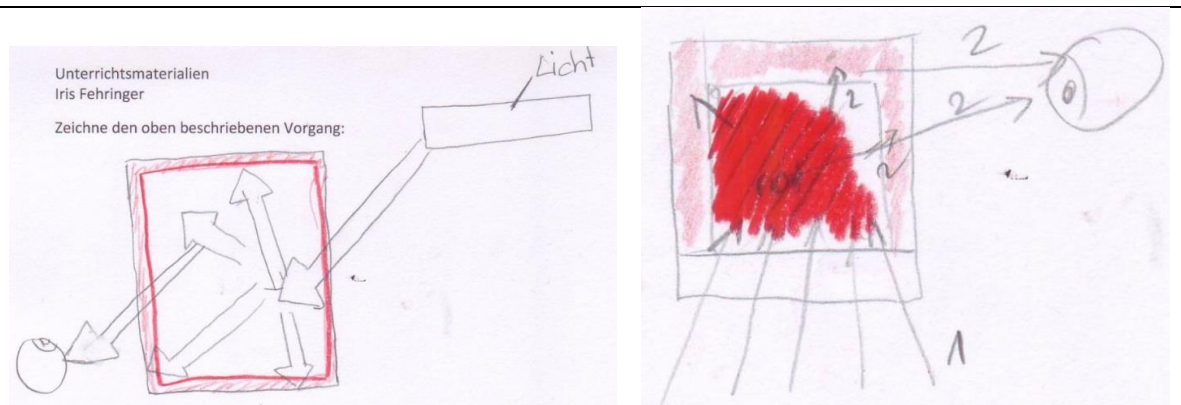


Abbildung 45: links Bild von S5, rechts Bild von S6

V8

- 05:20: I: L, wie würdest du jemand anderem erklären warum ein grüner Apfel grün erscheint?
- 05:27: L: Ok, also Sonnenstrahlen, Sonnenlicht strahlt auf den Apfel, sie wird, er ist grün und halt es wird nur die Farbe grün weiterreflektiert ins Aug und die restlichen Farben werden als Wärme oder als Energie gespeichert.
- 05:58: I: Und warum sehen wir einen gelben Apfel gelb, im Sonnenlicht?
- 06:00: B: Weil Gelb besteht aus Rot und Grün und wenn es, wenn es gemischt wird,...
- 06:20: I: Ich beleuchte den gelben Apfel mit Sonnenlicht, warum sehe ich ihn Gelb?
- 06:30: B: Weil, ich weiß es, weil Gelb, Grün und Rot werden zurück reflektiert und unser Auge erkennt das als Gelb und alle anderen, halt Violett, Blau und Orange bleiben und das wird dann zu Wärme, halt zu Energie.

KI 8		
Die Energie, die die Lichtstrahlung transportiert, wird nicht weniger oder mehr. Wenn ein Gegenstand weniger Lichtenergie absendet als er aufnimmt, dann wird der Rest hauptsächlich in Wärmeenergie umgewandelt.		
	S5 B	S6 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	× S1 glaubt, dass die Energie der Lichtsorte von der Farbe der Lichtsorte abhängt. Sie teilt die Lichtsorten in jene die <i>stark</i> und jene die <i>sanft</i> sind ein. Ihrer Meinung nach erhält man am Kreuzungspunkt zweier Lichtsorten die Energie der Lichtsorte die stärker ist.	~ S2 meint, zuerst dass die Lichtenergie am Kreuzungspunkt gleich der Summe der Energien der einzelnen Lichtsorten ist. Anschließend ändert sich ihre Meinung und glaubt, dass die Lichtenergie am Kreuzungspunkt nur jene der „stärkeren“ Farbe ist.
V1: 11:07: I: Und wenn ich die Lichtmenge messe, an der Stelle wo sich beide treffen? Und die Lichtmenge von den einzelnen Strahlen was glaubt ihr kommt da raus? Also ich weiß, die hat so und so viel Lichtmenge, die so und so viel und wenn ich sie an dem Punkt wo sie beide Überlappen die Lichtstrahlung messe, was kommt dann da raus? 11:27: B: Meinen Sie jetzt halt nur von einem Licht? 11:36: I: Die hat eine gewisse Lichtenergie, die auch, und ich überlagere die, kommt dann mehr Lichtenergie raus wie bei der einzelnen, gleich viel, oder weniger? 11:41: B: Weniger glaube ich, weil es hat, das ist ja eine andere Farbe und das hat ja vielleicht eine andere Stärke. 11:51: L: Ich würd sagen gleich viel. 11:53: I: Wie beide zusammen, oder wie eins? 11:55: L: Wie beide zusammen. 11:58: I: Also du meinst, wenn ichs überlagere, so wie beide zusammen die Energie? Die Energie von Rot und die Energie von Grün? 12:00: L: Nein, die von einem. 12:05: I: Ok und welche, die von Rot oder die von Grün? 12:09: B: Welche stärker ist. 12:10: L: Ja. 12:17 I: Und warum glaubt ihr ist das so? 12:17 B: Weil eine Farbe vielleicht so,... 12:18: L: Stärker ist. 12:19 B: Ja wie wir gesagt haben eines ist sanft und eines ist stärker.		

	N: ✓	×
Paraphrasierung	S5 erkennt, dass die Lichtenergie gleich die Summe aus Wärmeenergie der aufgenommenen Farben im Filter und der Energie der durchgelassenen Lichtsorte ist.	S6 meint die Energiemenge, die das Licht transportiert bleibt auch gleich, wenn Sonnenlicht auf einen Farbfilter trifft. Sie erkennt anfangs keinen Zusammenhang zwischen Lichtsorte und Energie des Sonnenlichtes. Später spricht sie die Umwandlung in Wärme an, kann aber auch nicht begründen warum ihrer Meinung nach, nach dem Prozess am Filter mehr Energie herauskommt als auf den Filter fällt.

V4

06:25: I: Und wenn wir die Lichtmenge vor und nach dem Filter messen, was glaubst du würde rauskommen L?

06:30: L: Ich weiß es nicht.

06:33: I: Also vorher hats die Lichtmenge von Eins oder so, ja? Dann trifftts auf den Filter, welche Lichtmenge hats nach dem Filter?

06:40: L: Auch wieder Eins.

06:48: B: Mehr? Es könnte mehr sein oder weniger, aber ich glaub nicht dass es gleich is.

07:00: B: Weil, hats die Doppelte Energie danach oder so?

07:08: B: Weil wenn zum Beispiel rotes Licht. Also die Energie von Eins hat, nur,...

07:14: I: Sagen wir, wir schicken weißes Licht auf einen Rotfilter. Und das weiße Licht hat vorher die Energie von Eins ja, und nachher?

07:21: B: Es wird ja in Wärme umgewandelt. Und vielleicht ähm, multipliziert sich das dann irgendwie. Und es wird glaub ich mehr. Ich bin für mehr.

07:36: I: Ok, was multipliziert sich womit?

07:38: B: Halt die, zum Beispiel wir haben einen roten Filter, es lässt nur rotes Licht durch und die anderen bleiben ja. Und die gebliebenen werden in Wärme umgewandelt. Und ähm das, halt die Anzahl keine Ahnung ich weiß nicht wie man das rechnet. Das mal Eins zum Beispiel.

08:12: B: Nein das rote Licht hat dann die Anzahl die man multipliziert.

08:13: I: Ähm, also ich hab weißes Licht kommt drauf auf den Rotfilter, vorher hats Eins, danach der Rotfilter lässt nur rotes Licht durch. Welche Lichtmenge hat das rote Licht deiner Meinung nach?

08:21: B: Es muss weniger sein, weil es wird ja geteilt und dann das weiße Licht hat dann auch weniger weil ein Anteil von dem ist ja weg. Das rote Licht ist ja schon weg. Das rote Licht hat sicher weniger als Eins, weil ähm es geteilt wird.

08:55: I: Und wo ist der Rest, der fehlt auf Eins?

08:57: B: Das wurde gefiltert.

08:59: I: Und was passiert mit dem im Filter?

09:00: B: Es wird Wärme.

09:08: I: Würdest du das anders sehen?

09:10: L: Ich bleib bei Eins.

09:12: I: Also vorher Eins und nachher Eins?

09:13: L: Ja.

09:18: I: Und wie stellst du dir das vor?

09:20: L: Es wird ja nur die Farbe, die Farbe wird durchgelassen.

09:25: I: Das hat nichts mit der Energie zu tun deiner Meinung nach?

09:29: L: Nein. Oder vielleicht doch, weil die, die nichtdurchlässigen Farben wandeln sich so in Wärme und deshalb könnte es vielleicht mehr sein.

09:47: I: Ok, wie kommst du auf mehr? Wir haben die Wärme und das Licht von, die Energie vom roten oder die Lichtmenge vom roten.
Also wir haben Lichtmenge vom weißen, dann Lichtmenge vom roten nach dem Filter und die Wärme, wie sind diese Lichtmengen zueinander?

10:40: L: Ich glaub, sie werden zuerst, also das Sonnenlicht strahlt auf eine rote Folie und es wird rot durchgelassen und die anderen Farben werden gefiltert aber sie erzeugen dort Energie, also die Energie von den durchgefilterten Farben plus die Energie von den roten, ...
Also die roten und die nichtdurchlässigen, ...

11:22: I: Mh, die haben was für eine? Haben die mehr, weniger oder gleich viel Energie, wie das Sonnenlicht das vorher drauftrifft?

11:24: L: Weniger. Na Rot hat mehr, als die nichtdurchlässigen.

Transferbeispiel	✓ S5 hat ähnliche Vorstellungen wie S6 ~	✓
	S5 kann die Erhaltung der Lichtmenge erklären, vergisst jedoch auf den in Wärme umgewandelten Teil des Lichts.	S6 erkennt, dass das Verhältnis von Energie gleich bleibt, sie sich nach der Linse jedoch auf einen kleinen Punkt fokussiert. ✓ Erkennt, dass ein Teil der Lichtmenge in Wärme umgewandelt wird, der andere Teil wird wieder abgestrahlt.

V5

05:50: I: Und B, wenn du die Lichtmenge vor und nach der Linse messen würdest, wie verändert sich die, oder bleibt die gleich?

06:07: B: Ich glaub am Anfang ist es weniger, weil es zerstreut sich ja und später, halt hier ist es dann mehr, weils wieder zusammengeführt wird.

06:27: L: Also hier ist es so verbreitert, halt da fallen Strahlen auch überall hin und hier nur auf einen Fleck. Also ich würd sagen es wird hier kleiner, aber stärker und hier ist es größer aber schwächer.

V6

16:33: I: Ok, L, wir messen die Lichtmenge die auf den Würfel draufgeht, vom weißen, und die vom Würfel weggeht. Verändert sich die Lichtmenge? Wird die mehr, wird die weniger, bleibt die gleich?

16:53 L: Sie wird weniger, weil hier ist der Pfeil größer und hier kleiner. [...] Ja, also Sonnenlicht trifft auf den Würfel, ein Teil von dem Sonnenlicht wird zu Wärme und ein Teil wird wieder wegreflektiert.

17:20: I: Hast du eine andere Begründung?

1730: B: Ich glaub da halt Sonnenlicht trifft darauf und es wird weniger, weils, weils danach in alle Richtungen reflektiert wird.

17:40: I: Die Summe von dem Ganzen ist weniger als das Einfallende meinst du?

17:45: B: Oja, ich hab gedacht Sie meinen jetzt wenn das zum Beispiel in alle Richtungen so *(zeichnet)*, dass die einzelnen weniger sind als das Ganze. Halt alles zusammen ergibt das *(zeigt auf weißen Pfeil)*.

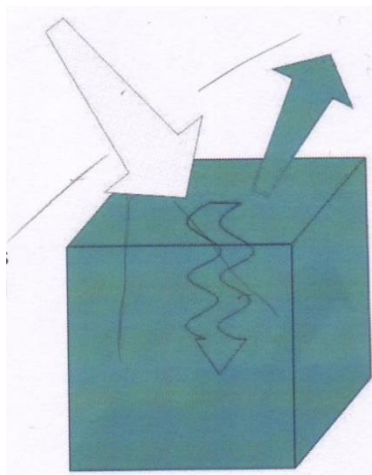


Abbildung 46: Zeichnung von S5

KI 9		
Der Farbeindruck <i>Weiß</i> entsteht, wenn alle Lichtsorten des Sonnenlichts abgestrahlt werden. Der Farbeindruck <i>Schwarz</i> entsteht, wenn alle Lichtsorten aufgenommen werden. Wir können schwarz erscheinende Gegenstände nur in einer Umgebung wahrnehmen in der es Selbstsender bzw. Zwischensender gibt, die einen Kontrast zu den Konturen des schwarz erscheinenden Körpers bilden.		
	S5 B	S6 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	O: ~ S5 glaubt an helle und dunkle Farben.	O: ~ S6 glaubt Schwarz zieht Licht an, und Weiß strahlt es ab.
V7 00:39: B: Ich weiß das Schwarz aufnimmt, das heißt Schwarz strahlt weniger ab. Und Weiß strahlt mehr ab. 00:48: I: Und warum? 00:50: B: Weil, weil Weiß ne helle Farbe ist und Schwarz ne dunkle Farbe ist. 01:09: L: Also das weiß erscheinende T-shirt mehr Sonnenlicht abstrahlt und das Schwarz erscheinende T-shirt weniger abstrahlt. Weil Schwarz ist anziehend und Weiß strahlt ab.		
Paraphrasierung	✓ S5 kann die Abbildungen 17 und 18 richtig erklären.	✓ S6 kann die Abbildungen 17 und 18 richtig erklären.
12:00: L: Hier wird vom Selbstsender auf einen Zwischensender Licht gestrahlt und von dem Zwischensender wird wieder Licht ins Auge reflektiert. 12:15: I: Was für ein Licht? 12:19: L Ein weißes Licht. 12:23: I: Ok und beim Schwarzen? 12:30: L: Hier wird weißes Licht, also Sonnenlicht gestrahlt auf den Gegenstand und hier werden alle Farben eingespeichert und nicht, man sieht danach nix mehr, weil da es, keinen reflektierten Teil mehr gibt. 12:58: B: Halt bei weiß, das speichert überhaupt nicht, halt die Farben man siehts halt nicht die Farben werden automatisch wieder wegreflektiert und bei dem, halt speichert das die ganzen Farben ein.		
Transferbeispiel	✓ Erkennt, dass ein Blinder durch Berühren einen Unterschied zwischen Schwarz und Weiß feststellen kann.	✓ Kann erklären warum wir einen schwarzen Pulli schwarz wahrnehmen und ein weißes T-shirt Weiß.

	~ S5 meint, dass auch Schwarz aus verschiedenen Farben besteht, weil sie schon einmal einen Versuch gesehen hat bei dem die schwarze Farbe eines Filzstiftes in verschiedene Farben zerlegt wurde.	
V8 16:00: I: Kann ein Blinder den Unterschied zwischen Schwarz und Weiß erkennen? 16:02: B: Wenn ers spürt dann ja. 16:06: L: Nein, weil er sieht ja nichts. 16:10: I: Und wenn ers berührt? 16:16: L: Ja, bei dem so schon (<i>Versuch weißes, schwarzes Stoffstück mit Licht beleuchten</i>). V8 16:34: I: Warum siehst du das weiße T-shirt weiß und das schwarze T-shirt Schwarz? 16:45: L: Ok, es wird Sonnenlicht draufgestrahlt und dann reflektiert das wieder zurück in mein Auge. 17:07: I: Was wird reflektiert? 17:00: L: Alle Farben. 17:10: I: Ok, und beim Schwarzen? 17:12: L: Bei Schwarz wird nichts reflektiert. 17:15: B: Es werden alle Farben eingespeichert. Ich stimme ihr vollkommen zu. 17:23: I: Würdet ihr sagen das Schwarz und Weiß eine Farbe ist? 17:25: L: Nein, Weiß ist eine Mischfarbe, bei Schwarz bin ich mir nicht sicher, weil sie gibt ja nichts von sich ab. 17:33: B: Es ist eine Mischfarbe, weil das hängt mit diesem Versuch zusammen. (<i>Schwarzen Stift auf ein weißes Papier, Papier ins Wasser tauchen.</i>)		

KI 10		
Farbe ist keine Eigenschaft des Gegenstandes. Die Farbe hängt vom Licht ab für den der Gegenstand ein Zwischensender ist und von dem Licht mit dem der Gegenstand beleuchtet wird.		
	S5 B	S6 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	~	~
Paraphrasierung	~ S5 erkennt zwar, dass die Farbe des Gegenstandes von der Lichtquelle mit dem er beleuchtet wird, abhängt, geht aber nicht darauf ein welcher Teil aufgenommen wird, und welcher abgestrahlt wird.	~ S6 erkennt zwar, dass die Farbe des Gegenstandes von der Lichtquelle mit dem er beleuchtet wird, abhängt, geht aber nicht darauf ein welcher Teil aufgenommen wird, und welcher abgestrahlt wird.
V9 10:40: I: Könnt ihr erklären was man auf dem Bild(<i>Abbildung 19</i>) sieht? 10:42: B: Blaues Licht trifft auf den Apfel. Blaues Licht wird eingespeichert, der Betrachter sieht das Schwarz. 10:52: I: Und warum passiert das da (<i>Beispiele beim Arbeitsauftrag</i>) nicht? 11:00: L: Vielleicht könnte das (<i>Grüner Apfel mit blauem Licht</i>) Schwarz sein. Weil da beide dunkle Farben sind. 11:55: I: Wieso führt kein Pfeil vom Apfel weg? 12:00: B: Weil sonst würde er ja eine Farbe sehen. 12:03: L: Hier (<i>grüner Apfel blaues Licht</i>) brauchen wir das (<i>Pfeil vom Apfel weg</i>) nicht. Weil es Schwarz ist. 13:10: I: Und wie würdet ihr einem Mitschüler erklären, dass man Äpfel auch in anderen Farben sehen kann? 13:18: L: Es kommt drauf an, von der Lichtquelle. 13:19: B: Mit welchem Licht es bestrahlt wurde.		
Transferbeispiel	× S5 konnte nur das Beispiel gelber Apfel mit gelbem Licht richtig lösen. Es kam die Vorstellung, dass sich die Farbe des Lichts mit der Farbe des Gegenstandes misch deutlich zur Ausprägung. Der	× S6 konnte nur das Beispiel gelber Apfel mit gelbem Licht richtig lösen. Bei S6 kamen die Wasserfarbenmischungsregeln zum Ausdruck. S6 meinte ein gelber Apfel mit blauem Licht beleuchtet ergebe den Farbeindruck Grün.

	Farbeindruck Schwarz ergibt sich für S5 nur durch das Mischen von ihrer Meinung nach <i>dunkeln</i> Farben.	
V9 00:45: I: Also grünes Licht mit keine Ahnung, zum Beispiel weißem Buntstift, was passiert dann? 00:50: B: Dann kommt eine andere Farbe raus. [...] Zum Beispiel grünes Licht mit weißem Buntstift da kommt so ein neoniges Grün. Da kommt grün (<i>zeigt auf gelben Stift</i>), blau (<i>zeigt auf hellroten Stift</i>), schwarz (<i>zeigt auf dunkelroten Stift</i>). 01:23: I: Also ihr meint welche Farben mischen sich? 01:24: L: Die dunk, nein die helleren. 01:31: I: Zwei Farben mischen sich, also zum Beispiel das Grün von der Lampe mit was? 01:32: B: Ja, das grün von dem Licht mit zum Beispiel das Weiß von dem Buntstift. 12:20: I: Was glaubt ihr passiert, wenn man einen grünen Apfel mit rotem Licht beleuchtet? 12:25: L: Es wird dann,... 12:26: B: Grün, Orange, Orange! Orange!! Es wird Orange. 12:30: L: Wir habens ja vorher gemacht. Es,... 12:33: B: Unser erstes Experiment. 12:38: L: Wir haben ja vorhin mit dem roten Licht auf die bunten Farben geschaut, aber es war da Grün. 12:46: B: Bist du dir sicher? 12:51: I: Wenn ichs umdrehe. Was passiert, wenn ich einen roten Apfel, oder einen roten Stift mit grünem Licht beleuchte? Das haben vorher auch gesehen. 12:56: L: Blau. Es wird dann Blau. 12:58: B: Ja Blau. Oder halt eine dunkle Farbe, weil wir nehmen es als Blau wahr, Sie könnten aber als Schwarz wahrnehmen.		

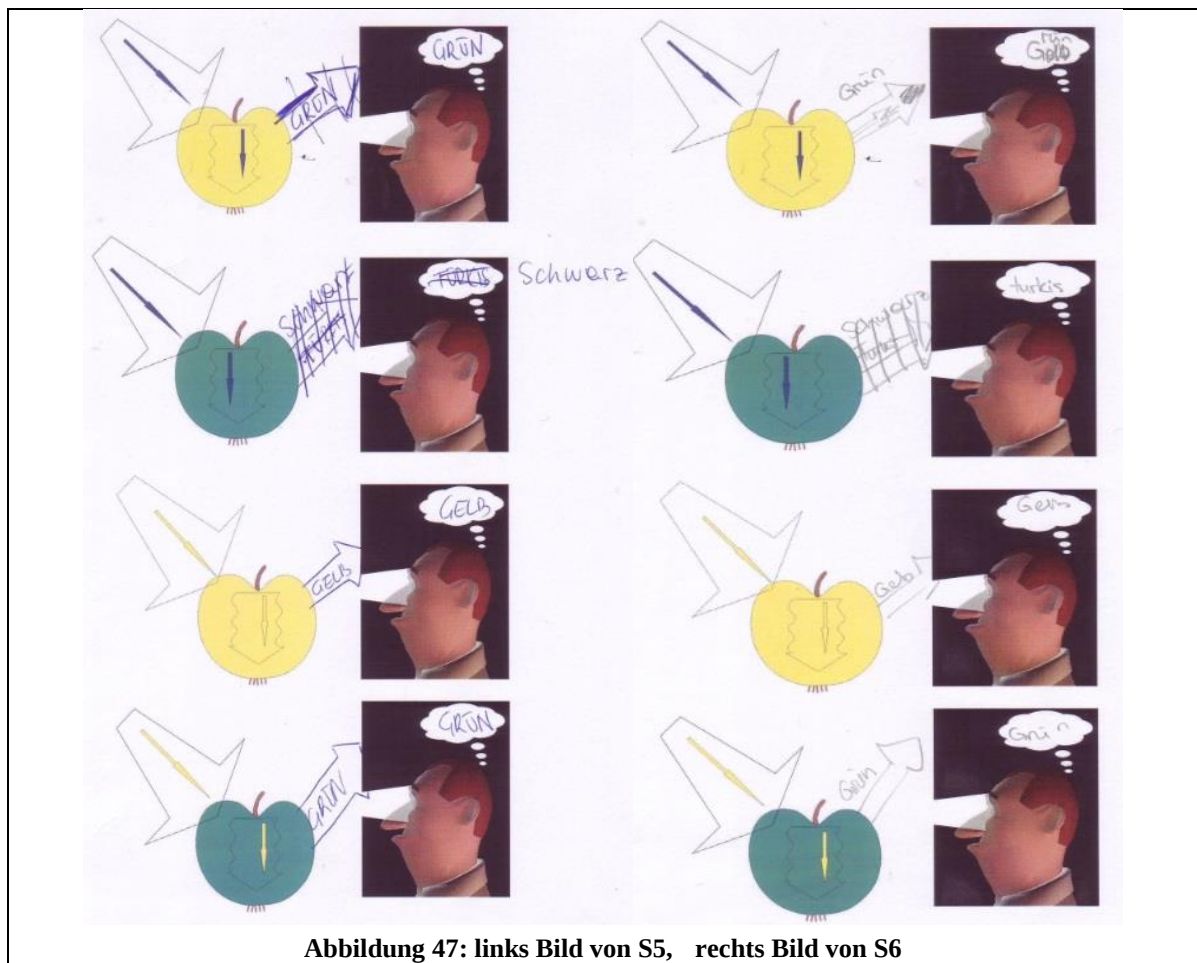


Abbildung 47: links Bild von S5, rechts Bild von S6

Nachdem die Hauptbefragung 1 über drei Stunden dauerte und die Schülerinnen bei der Befragung sehr viele Alltagsvorstellungen nannten, wurde das Unterrichtsmaterial nochmals gestrafft und verbessert.

Als Einstieg wurden zwei Bilder eines Versuchs gewählt, die die Schülerinnen und Schüler in Staunen versetzen sollten (→ Anhang B). Das erste Bild zeigte eine Schachtel mit einem Rohr. Das zweite Bild gewährte einen Blick durch das Rohr in die Schachtel, wobei man einen gelben Kreis auf der gegenüberliegenden Schachtelwand sah. Nach Betrachten der beiden Bilder sollten Vermutungen über den Schachtelinhalt angestellt werden. Tatsächlich befanden sich in der Schachtel eine rote und eine grüne Lampe, deren Lichtkegel auf der Schachtelwand überlagert wurden und so einen gelben Farbeindruck vermittelten.

Um das Unterrichtsmaterial zu straffen wurde das Kapitel über die Randbereiche des sichtbaren Spektrums entfernt. Beim Transferbeispiel zur Dispersion am Prisma wurde auf die Bilder, bei denen man den Strahlenverlauf von weißem und gelbem Licht beim Durchgang durch das Prisma einzeichnen sollte, verzichtet. Für leichtere Verständlichkeit

wurden Bilder bei der Erklärung von Farbfiltern, sowie bei der Zusammenführung des Spektrums durch eine Linse eingefügt.

Das Applet zur Dispersion am Prisma wurde durch ein neues ersetzt und wieder ins Unterrichtsmaterial eingegliedert.

Die zwei Blöcke über Lichtsender und Lichtempfänger wurden durch eine PowerPoint Präsentation ersetzt, der Streulichtversuch mit der Schachtel wurde komprimiert. Der Energieaspekt wurde wieder eingefügt, diesmal lag das Hauptaugenmerk jedoch bei der Energieerhaltung: *Die Energie des einfallenden Lichts wird nur teilweise wieder abgegeben, der andere Teil wird in Wärmeenergie umgewandelt.* Bei den letzten drei Hauptbefragungen blieb das Unterrichtsmaterial unverändert.

5.8.2 Hauptbefragung 2

Die Hauptbefragung 2 fand am Mittwochvormittag den 27. Februar 2013 statt. Die Befragten werden im folgenden S7 (V) und S8 (L) genannt. Schülerin V war zu diesem Zeitpunkt 15 Jahre alt, und besuchte vorher das Gymnasium der Klostersgasse. Schülerin L war 14 Jahre alt und besuchte in der Unterstufe das Gymnasium der Ettenreichgasse.

KI 1		
Die Referenzquelle für Licht ist die Sonne. Wenn eine Lampe ähnliches Licht wie die Sonne ausstrahlt, bezeichnen wir auch dieses Licht als sonnenähnliches Licht. Licht kann man nicht nur mischen, sondern auch zerlegen. Sonnenlicht ist eine Mischung verschiedener Lichtsorten.		
	S7 V	S8 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	~ S7 kommt es komisch vor, dass Sonnenlicht aus verschiedenen Lichtsorten bestehen soll.	~ S8 kommt es auch komisch vor, dass Sonnenlicht aus verschiedenen Lichtsorten bestehen soll.
Paraphrasierung	✓ Kann einige Farben aufzählen, aus denen das Sonnenlicht besteht. Für sie ist Sonnenlicht weiß. Erkennt dass Lichtsorten Farben sind.	~ S8 nennt das Sonnenlicht weiß-gelb. ✓ Kann richtig erklären, dass das Sonnenlicht aus verschieden Farben besteht.

V1

- 14:30: I: Wie würdet ihr den Unterschied erklären zwischen Sonnenlicht und dem Licht, das durch Mischen von Grün und Rot entstanden ist?
- 14:38: L: Sonnenlicht ist natürliches Licht und das ist halt durch Energie erzeugtes Licht.
- 14:45: I: Und von der Farbe her, unterscheiden sich die?
- 14:50: L: Ja. Ja es ist gelblich wenn mans mischt.
- 15:00: I: Das von dem? Und das von der Sonne?
- 15:02: V: Ist weiß.
- 15:03: L: Ist weiß-gelb, ja.
- 15:05: V: Ja eben das mischt sich ja so ins Gelbliche hinein und das von der Sonne ist klarer irgendwie für mich und weißlich.
- 17:40: I: Und was stellt ihr euch unter einer Lichtsorte vor? Wie würdet ihr jemandem erklären was eine Lichtsorte ist?
- 18:00: V: Na das Licht besteht aus mehreren Farben und jede Farbe davon ist eine Lichtsorte.
- 18:05: L: Ja, ihr stimme ich immer zu. (*lacht*).
- 18:10: I: L, versuch mal jemandem zu erklären was du über die Zusammensetzung des Sonnenlichts schon weißt.
- 18:15: L: Also unser Sonnenlicht besteht aus mehreren Farben, daraus ist es zusammengesetzt und dann sehen wir das was wir sehen.

Transferbeispiel	✓ Kann bei genannten Lichtquellen sagen, ob das Licht sonnenähnlich ist oder nicht.	~ Kann Dinge nennen die sonnenähnliches Licht aussenden. Das Licht der Leuchtstoffröhre ist für sie kein sonnenähnliches Licht.

V1

- 17:00: I: Könnt ihr Dinge nennen, die sonnenähnliches Licht ausstrahlen?
- 17:01: L: Halt Lampen. Halt alles was man anzünden kann.
- 17:03: V: Kerzen.
- 17:15: I: Ok und Leuchtstoffröhre, erzeugt was für ein Licht? Sonnenähnliches oder nicht?
- 17:18: L: Naja nicht so. Ich finds zu grell.
- 17:19: V: Ich glaub schon. Aber ich glaub, dass es aus mehreren Farben besteht und sonnenähnliches Licht ist.

KI 2		
Das Sonnenlicht lässt sich mit Hilfe eines Prismas in seine Lichtsorten zerlegen. Mit einer Linse lassen sich die Lichtsorten wieder zu Sonnenlicht vermischen.		
	S7 V	S8 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓ S7 erkennt, dass die Linse die bunten Lichtstrahlen zu einem Punkt zusammenführt. Warum die Linse das kann, kann sie erst bei Nachfrage beantworten.	✓ S8 erkennt, dass die Linse die bunten Lichtstrahlen zu einem Punkt zusammenführt. Warum die Linse das kann, kann sie erst bei Nachfrage beantworten.
V3 10:05: I: Also was macht die Linse mit dem Licht? 10:06: L: Sie mischt es wieder zusammen zu einem Punkt. 10:10: V: Ja würd ich auch sagen. Sie mischts und brings auf einen Punkt.		
Paraphrasierung	✕ S7 weiß nicht, wie das Prisma das Sonnenlicht in die Regenbogenfarben zerlegt. ✓ S7 konnte den Prismenversuch richtig erklären. ✓ S7 kann den Versuch mit der Linse richtig wiedergeben.	~ S8 weiß, dass das Prisma das Sonnenlicht zerlegen kann, weil es aus Glas besteht, geht dabei aber nicht auf die notwendige Form des Prismas ein. ✓ S7 konnte den Prismenversuch richtig erklären. ✓ S8 kann den Versuch mit der Linse richtig erklären.
V2 00:32: I: Also was macht das Prisma mit dem Sonnenlicht? 00:34: V: Es spaltete es auf 00:35: L: Es bricht es halt. 00:38: I: Und wie macht das Prisma das, wieso kann das Prisma das? 00:43: V: Ich hab keine Ahnung 00:40: L: Weils aus Glas ist. 01:30: I: Und wie würdet ihr einem Mitschüler den Prismenversuch erklären? 01:40: V: Also wir haben das Licht von einem Overheadprojektor und wir versuchen das		

Licht mit einem Prisma zu spalten. [...] Wir sehen das Licht in bunten Farben. 02:05: L: Also wir legen ein Prisma auf das obere [...] ja und ähm wenn Licht draufkommt wird's gespalten und dann sehen wir halt einen regenbogenfarbigen Strich. V3 11:15: I: Und wie würdet ihr einem Mitschüler den Versuch erklären? 11:17: L: Also wenn wir eine Linse haben und jetzt das Prisma die, den, das Licht halt teilt und wir von dem was auf der Tafel abgebildet ist immer weiter nach vorne gehen dann sammelt die Linse, also verschiedene Farben ein und reflektiert sie wieder zu einem Punkt. Zu einem weißen kleinen Punkt. [...] Nicht reflektieren, sondern gibt sie ab halt. 11:45: V: Eh so irgendwie. Das Prisma spaltet das Licht und wir sehen die verschiedenen Farben wenn wir die Linse reinhalten. Je weiter wir von der Wand hinten mit der Linse weggehen, desto mehr vermischen sich die Farben wieder zu einem weißen Punkt.		
Transferbeispiel	✓ S7 kann erklären warum man den Regenbogen in mehreren Farben wahrnimmt. N: ✓ Bei Nachfrage zeichnet S7 die blaue Lichtsorte nach dem Durchgang durchs Prisma weiter unten und die rote Lichtsorte weiter oben. ~ S7 zeichnet die Farbe Violett falsch ein.	✓ S8 erkennt den Zusammenhang zwischen den Lichtsorten des Sonnenlichts und den Farben des Regenbogens. ✓ S8 kann begründen warum die rote Lichtsorte weiter oben auf den Schirm trifft und die blaue weiter unten. ~ S8 zeichnet die Farbe Violett falsch ein.
V2 03:42: I: Und könnt ihr erklären warum ein Regenbogen aus bunten Streifen besteht? 03:47: V:[...]Durch das Wasser wird das Licht, so wie bei der Linse, bei diesem Prisma gebrochen und dann sehen wir die bunten Farben. 04:02: I: Würdest du das auch sagen, oder? 04:05: L: Ja und weil das Sonnenlicht ja aus mehreren Farben zusammengesetzt ist. 08:15: I: Bei dir sind sie jetzt gleich, warum glaubst du dass sie gleich sind? 08:18: V: Aso, das eine ist unten das andere ist oben. Dann geht das vielleicht in die Richtung und dann runter. 08:30: I: Was sagst du, du hast es ein bisschen anders gezeichnet. Warum? 08:35: L: Ja das rote Licht ist ja ein bisschen schneller als das Blaue. Und dadurch wird's weniger gebrochen als das Blaue.		

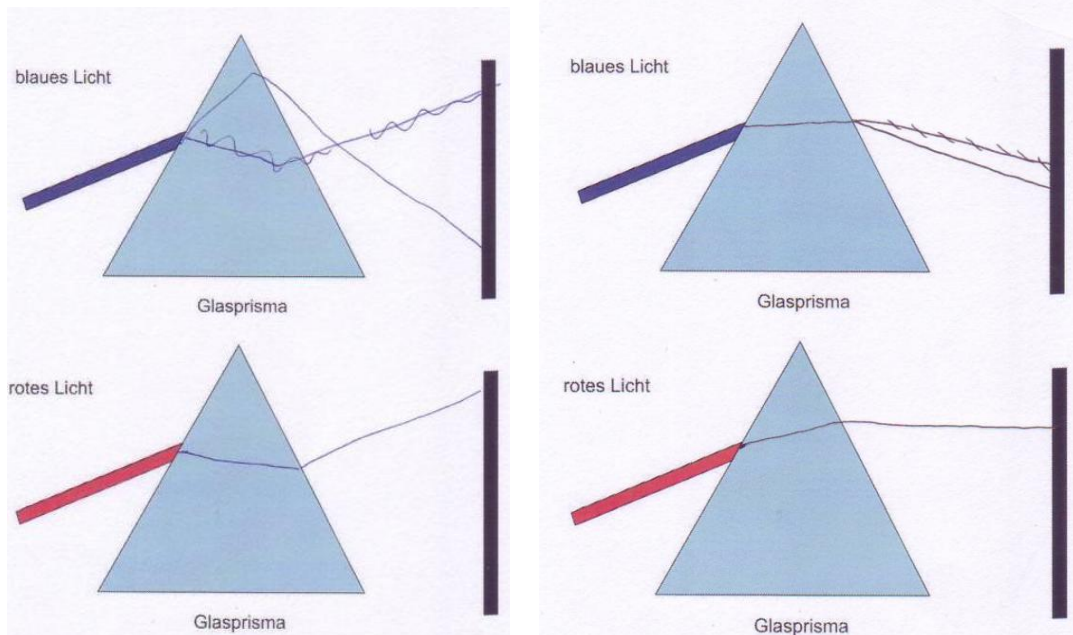


Abbildung 48: links: Bild von S7, rechts: Bild von S8

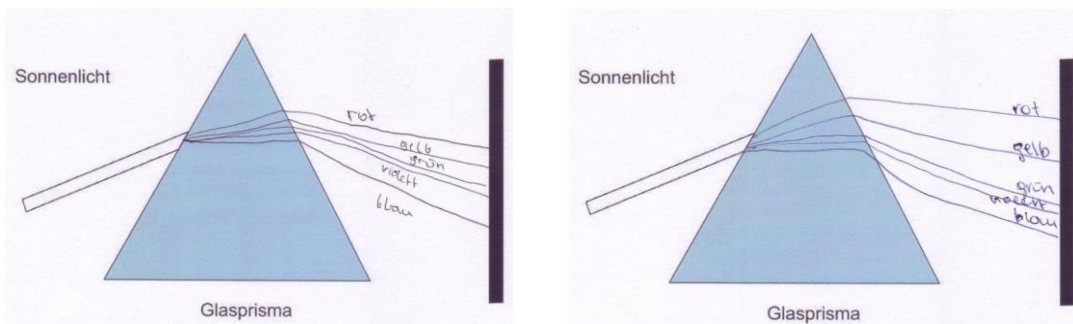


Abbildung 49: links: Bild von S7, rechts: Bild von S8

KI 3		
Farbfilter transmittieren nur bestimmte Bereiche des sichtbaren Spektrums, die anderen Anteile werden absorbiert.		
	S7 V	S8 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ S7 erkennt, dass eine Energieumwandlung stattfindet. ~ Erklärt nicht die Funktionsweise eines Filters, sondern die Farbe von Gegenständen.	✓ S8 erkennt, dass die nicht absorbierten Farben in Wärme umgewandelt werden. ✓ Erklärt die Funktion des Rotfilters richtig.
V2 19:40: I: Und was passiert mit den Lichtsorten die nicht durchgelassen werden? 19:45: L: Wandeln sich in Wärme um. 19:47: V: In Energie. [...] Wärmeenergie. 19:50: I: Wie würdet ihr die Funktion eines Farbfilters einem Mitschüler erklären? 20:02: L: Also, wenn wir zum Beispiel beim Overhead jetzt eine rote Folie drauf tun, dann sehen wir nur das rote Licht, weil der Farbfilter die restlichen Lichtsorten nicht durchlässt sondern in Wärme umwandelt. 20:18: V: Also beim Grünfilter also wenn man zum Beispiel einen grünen Pulli anhat und da fällt Licht drauf dann nimmt der Pulli, die, alle Farben auf bis auf das Grün, die grüne Farbe gibt er wieder ab.		
Transferbeispiel	~ S7 geht nur bei Nachfrage auf die Umwandlung in Wärme ein, das Wort durchlassen kommt bei ihrer Erklärung nicht vor. Sie erklärt eigentlich die Farbe des Farbfilters und nicht die Funktion. N: ✓ Nach Nachfrage erklärt S7, dass man nur den blauen und ein wenig des violetten Farbanteils des Regenbogens	~ S8 geht nur bei Nachfrage auf die Umwandlung in Wärme ein, das Wort durchlassen kommt bei ihrer Erklärung nicht vor. Sie erklärt eigentlich die Farbe des Farbfilters und nicht die Funktion. ✓ S8 stimmt S7 zu, meint jedoch anfangs, dass man den Regenbogen bläulich wahrnehmen würde.

	durch eine blaue Brille sehen würde.	
V2 21:20: I: Wenn sonnenähnliches Licht auf einen Blaufilter trifft. Was passiert dann? 21:25: L: Dann wird nur das Blau abgegeben und der Rest wird wieder umgewandelt. 21:33: V: Ja, auch der blaue Filter nimmt halt das Licht auf, also nimmt schon das ganze Licht auf, gibt aber nur das Blaue wieder ab. [...] Das andere wird in Wärme umgewandelt. V3 00:35: I: Und stellt euch vor wir schauen uns einen Regenbogen an mit einer Brille mit blauen Gläsern. So mit so blauen Farbfilttern. Wie würdet ihr den Regenbogen dann sehen? 00:48: L: Bläulich. 00:49: I: Wie bläulich? 00:50: L: Halt ich glaub nicht ganz Blau, aber es wird mehr das blaue Licht einfallen ins Auge. 01:00: V: Ich weiß nicht, der Regenbogen ist so hell, dann sieht man ihn vielleicht gar nicht mehr mit einer blauen Brille oder so. 01:08: I: Sieht man vielleicht nur bestimmte Farben oder so? 01:10: V: Vielleicht ja nur das Blaue und ein bisschen Violett. 01:15: I: Was sagst du? 01:16: L: Auch. 01:17: I: Und was passiert mit zum Beispiel, Rot, Orange, und Gelb? 01:18: V: Naja, die werden durch die blaue Brille nicht durchgelassen und deswegen sehen wir sie nicht. 01:28: I: Was sagst du? 01:30: L: (Nickt) Auch. 01:32: I: Und was passiert mit den Farben die nicht durchgelassen werden auf der Brille? 01:34: V: Wandeln sich in Wärme um. 01:13: L: Ja.		

KI 4		
Spektralfarben sind monochromatisch.		
	S7 V	S8 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
V3 03:08: I: Ok, könnt ihr euch vorstellen, dass man verschiedene Lichtsorten zerlegen kann und andere wieder nicht? 03:14: V: Ja, weil zum Beispiel, Blau und Rot ergibt ja so ein Violett. Also kann man Violett zerlegen in Blau und Rot. 03:26: L: Na ich wär mir da nicht so sicher. Wenns schon mal gespalten ist, dann kann mans ja nicht mehr weiter spalten.		
Paraphrasierung	✓ S7 kann den Begriff monochromatisch richtig erklären.	✓ S8 kann den Begriff monochromatisch richtig erklären.
V3 03:58: I: Ok und was versteht ihr unter dem Begriff monochromatisches Licht? 04:02: V: Licht das nicht mehr aufgespalten werden kann. 04:03: L: Ja. 05:50: L: Also monochromatisch ist ein Licht, dass nicht mehr gespalten werden kann in andere Farben.		
Transferbeispiel	× S7 kann monochromatische Lichtsorten nennen, es kommt aber auch die Wasserfarbenmischungsregel Gelb+Blau=Grün zum Ausdruck. ✓ S7 weiß, dass Sonnenlicht nicht monochromatisch ist.	✓ S8 nennt den Regenbogen als Beispiel für monochromatische Farben.
V4 03:35: I: Und wenns eine Lichtsorte gibt, die noch nicht gespalten ist, kann man die dann wieder aufspalten? 03:37: L: Ja. 03:41: I: Ok und kann man die blaue Lichtsorte aufspalten? 03:42: L: Ich glaub nicht. [...] Ja weils schon durchgespalten ist zu Blau, dann bleibt ja nur noch die Blaue. Die anderen sind ja zu Wärme umgewandelt. 04:07: I: Und wo kommt so ein Licht (<i>monochromatisches</i>) vor? 04:12: L: Zum Beispiel beim Regenbogen.		

04:17: V: Zum Beispiel ein Laserpointer, der ist Rot. Und Rot kann ja nicht mehr aufgespalten werden.

04:23: I: Stimmt ihr euch gegenseitig zu? Die L hat gesagt Regenbogen?

04:24: V: Naja, Regenbogen sind ja mehrere Farben, also,...

04:30: I: Aber wenn ich eine von diesen Regenbogenfarben nehme?

04:33: V: Kommt drauf an welche.

04:34: I: Ok, sag mir eine die aufspaltbar ist und eine die nicht aufspaltbar ist.

04:38: V: Also Grün zum Beispiel, ist aufspaltbar und Rot eben nicht.

04:48: I: Und in was würde sich Grün aufspalten glaubst du?

04:50: V: In Blau und Gelb.

04:55: I: Aha, und wie kommst du da drauf?

04:57: V: Weil ich mich noch erinnern kann, im Kindergarten hatten wir so ne Geschichte mit zwei Kreisen und der eine war Gelb und der andere war Blau und das hat glaube ich grün ergeben oder so.

05:30: I: Also ist blaues Licht monochromatisch? Eurer Meinung nach?

05:35: V: Ja, glaub schon.

05:37: I: Ok und ist Sonnenlicht monochromatisch?

05:38: V: Nein, weil es besteht ja aus mehreren Farben.

05:40: L: Ja.

KI 5		
Ein Gegenstand ist entweder ein Selbstsender (selbstleuchtend) oder ein Zwischensender (muss beleuchtet werden). Damit wir einen Gegenstand wahrnehmen muss Licht vom Gegenstand in unser Auge fallen.		
	S7 V	S8 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ S7 kann den Unterschied zwischen Selbstsender und Zwischensender richtig wiedergeben.	✓ S8 kann Beispiele für Selbstsender und Zwischensender geben und erklären wann wir einen Selbstsender sehen.
V3 16:20: I: Was sind die Unterschiede (<i>zwischen Selbstsender und Zwischensender</i>)? 15:24: V: Na der Selbstsender der strahlt selber, sozusagen diese Ursprungsquelle von Licht. Und der Zwischensender der kann selber nicht leuchten, also strahlen aber er kanns aufnehmen und wieder abgeben. 16:45: I: Und kannst du Beispiele nennen für Selbstsender und für Zwischensender? 16:47: L: Also Selbstsender zum Beispiel die Leuchtstoffröhre, Glühbirne, halt Licht der Sonne. Und Zwischensender halt wir Menschen, der Baum zum Beispiel und alle Gegenstände die nicht leuchten. 17:05: I: Wann kann man einen Selbstsender sehen? 17:08: L: Wenn er eingeschaltet ist. 17:10: I: Und wie ist der Lichtweg? 17:13: L: Halt vom Selbstsender in unser Auge. Und dann können wir auch ein Zwischensender sein, damit uns wer anderer sieht. 17:20: I: Gut, also wie ist das mit dem Zwischensender? 17:21: V: Also der Zwischensender kann nur das Licht eben aufnehmen und das prallt dann wieder ab und also nimmts auf und gibt's wieder ab und das fällt dann in das Auge vom anderen und dadurch können wir gesehen werden.		
Transferbeispiel	✓ S7 kann erklären wann wir einen Zwischensender sehen und weiß, dass man einen Selbstsender im Dunkeln sehen kann, einen Zwischensender jedoch nicht.	✓ S8 kann erklären wann wir einen Selbstsender sehen und weiß, dass man einen Selbstsender im Dunkeln nicht sehen kann, wenn er nicht eingeschaltet ist.
	✓ S7 kann den Lichtweg von	✓ S8 kann den Lichtweg

	der Lampe zum Stift ins Auge richtig einzeichnen.	von der Lampe zum Stift ins Auge richtig einzeichnen.
--	--	---

V3

17:45: I: Kann man einen Selbstsender sehen, wenn es vollkommen dunkel ist?

17:48: L: Nein, eigentlich nicht, also wenn er nicht leuchtet dann nicht.

17:50: I: Und wenn er eingeschalten ist?

17:51: L: Na dann schon.

17:55: V: Ja.

17:56: I: Und kann man einen Zwischensender sehen, wenn es vollkommen dunkel ist?

17:59: V: Nein.

18:00: L: Wenn ein Licht auf ihn drauffällt dann schon.

18:01: I: Und wenn kein Licht auf ihn drauffällt?

18:02: L: Dann nicht. Dann sieht man nur Umrisse, manchmal wenns nicht so dunkel ist.

18:10: I: Und wenns ganz dunkel ist?

18:13: L: Na dann nicht.

18:20: I: Und warum siehst du die Leuchtstoffröhre im Klassenzimmer?

18:21: L: Weil sie ein Selbstsender ist und Licht ausstrahlt [...] der Lichtweg von der Lampe ins Auge.

18:29: I: Ok und warum kann ich den Tisch sehen, V?

18:30: V: Weil die Lampe scheint auf den Tisch, und der Tisch scheint in mein Auge und deswegen seh ich das.

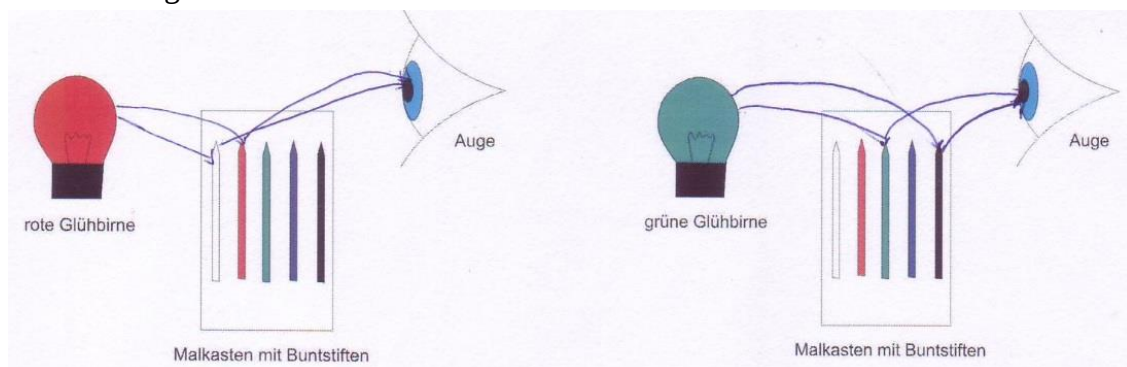


Abbildung 50: Bild von S7 (S7 weiß, dass die Lichtwege geradlinig verlaufen sollten.)

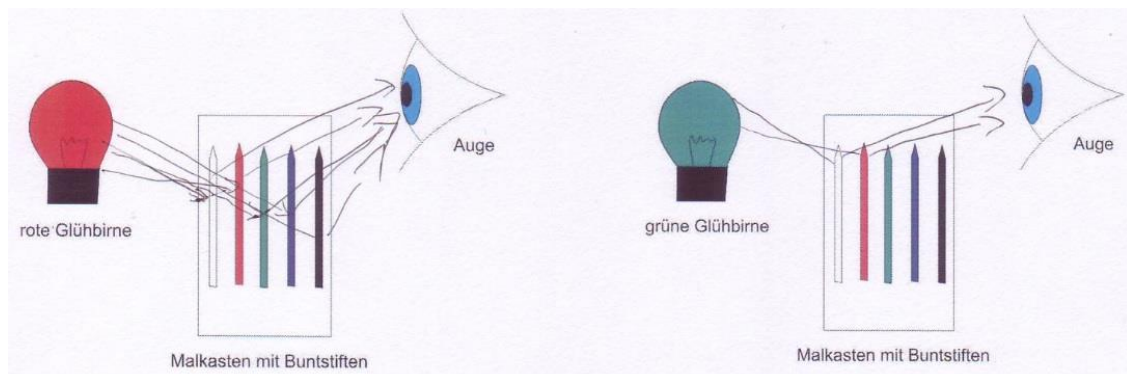
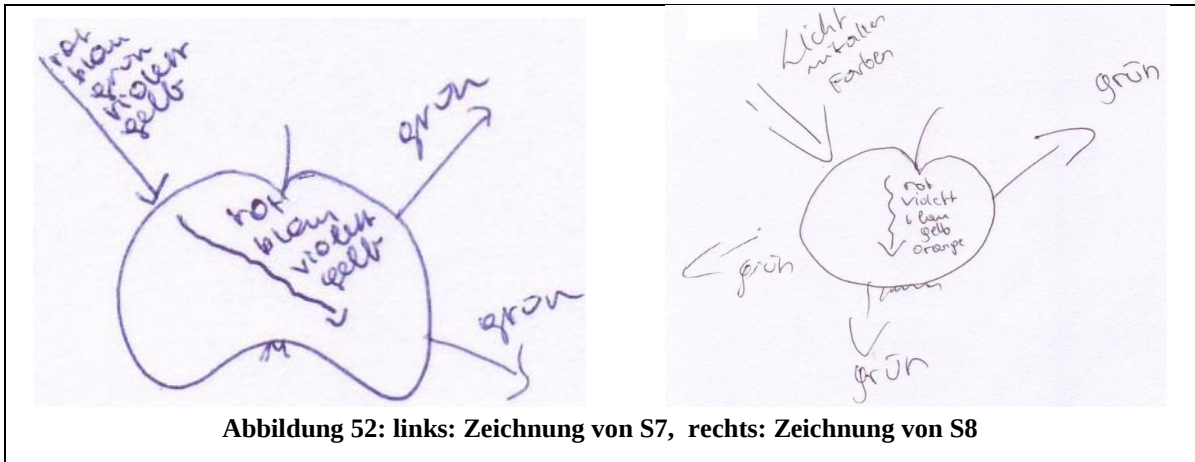


Abbildung 51: Bild von S8

KI 6		
Wenn Licht auf Materie trifft, wird ein Teil des Lichtes abgestrahlt, der andere Teil wird aufgenommen und in Wärme umgewandelt.		
	S7 V	S8 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓ S7 stellt sich das Aufnehmen wie <i>Verschlingen</i> vor.	✓
Paraphrasierung	✓	✓
V4 01:45: I: Und wie stellt ihr euch das vor, das Aufnehmens und Abgeben und so weiter? 01:51: L: Also der Lichtstrahl fällt auf den Gegenstand er nimmt ihn auf, und reflektiert halt das was wir sehen sollen. 02:04: I: Und wie macht der Würfel das, wie bestimmt er was wir sehen sollen? 02:06: L: Hier ist es zum Beispiel Grün, weil vielleicht es ist ein grüner Würfel. 02:19: V: Ja auch, also das Licht fällt drauf und der, der verschlingts so ein bisschen und das grüne gibt er aber wieder ab, weil er selbst grün ist. 02:33: I: Ok, und was passiert im Würfel wenn man sich das irgendwie auf Molekülebene vorstellt oder so. 02:34: V: Mh da geht Energie rein, Wärmeenergie. 02:41: L: Ja und die wird dann wieder auch abgegeben. Ja als Wärme halt.		
Transferbeispiel		

KI 7		
Der Gegenstand erscheint in jener Lichtsorte des Sonnenlichts, die abgestrahlt wird bzw. als Mischung jener Lichtsorten, alle anderen Farbanteile werden hauptsächlich in Wärme umgewandelt.		
	S7 V	S8 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
V4 13:00: I: Und wie stellt ihr euch das vor, das mit dem Aufnehmen von den Farben? 13:15: V: Der verschlingt das einfach so.		
Paraphrasierung	✓ S7 kann erklären warum wir den Würfel auf dem Bild grün sehen.	✓ S8 kann erklären warum wir den Würfel auf dem Bild grün sehen.
Transferbeispiel	N: ✓ S7 kann erklären warum man die Bluse blau sieht. Auf das Aufnehmen der Farben und die Energieumwandlung geht sie erst bei Nachfrage ein. ✓ S7 kann richtig zeichnen warum wir einen Apfel grün wahrnehmen.	N: ✓ S8 kann erklären warum wir eine Weste rot wahrnehmen, erklärt aber erst bei Nachfrage was mit dem abgestrahlten Licht passiert. ✓ S7 kann richtig zeichnen warum wir einen Apfel grün wahrnehmen.
V4 03:17: I: Und wie würdet ihr nun erklären warum das Oberteil von der L blau ist, oder blau erscheint? 03:19: L: Licht fällt drauf, das Licht von der Lampe und also ihr, ihre Bluse nimmt halt das Licht auf. Und weil sie blau ist, gibt sie nur das blaue Licht wieder ab und das fällt in mein Auge und deswegen seh ichs blau. 03:44: I: Und was passiert mit den Lichtsorten die nicht blau sind? 03:45: V: Die nimmt er auf. [...] Wandelt sie in Wärme um. 03:53: I: Und L, wie würdest du erklären warum wir diese Weste dahinten Rot sehen? 03:57: L: Also das Licht der Lampe fällt drauf und weil die Weste Rot ist wird es als rote Farbe wieder abgegeben, also gibt nur die rote Farbe ab und die anderen werden halt teilweise in Wärme umgewandelt. 04:16: I: Und mit der roten Farbe die abgegeben wird passiert was? 04:18: L: Die fällt in unser Auge. 04:25: I: Geht Licht noch in irgendwelche anderen Richtungen außer in das Auge. 04:27: L: Ja. 04:28: V: Ja, es geht in alle Richtungen.		



KI 8		
Die Energie, die die Lichtstrahlung transportiert, wird nicht weniger oder mehr. Wenn ein Gegenstand weniger Lichtenergie absendet als er aufnimmt, dann wird der Rest hauptsächlich in Wärmeenergie umgewandelt.		
	S7 V	S8 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ S7 erkennt, dass die Energie des einfallenden Sonnenlichts gleich der Wärme der aufgenommenen Farben plus der Strahlungsenergie ist.	✓ S8 erkennt, dass die Strahlungsenergie, die Energie der abgestrahlten Lichtsorte ist.
V4 06:28: I: Energiemenge die Sonnenlicht zum Körper transportiert ist gleich? 06:30: V: Wärme und Strahlung. 06:35: I: Welche Strahlung? 06:38: L: Die er wegstrahlt. 06:40: V: Ja.		
Transferbeispiel	✓ S7 erkennt, dass das Licht nach dem Filter weniger Energie hat als das einfallende Licht.	✓ S8 erklärt, dass die Energie der aufgenommenen Farben in Wärme umgewandelt wird.
	✓ S7 kann richtig erklären, dass ein Teil der Energie des einfallenden Sonnenlichts in Wärme umgewandelt wird, der andere Teil wird als Energie der abgegebenen Lichtsorte wieder abgestrahlt.	✓ S8 erkennt, dass die Energie der in Wärme umgewandelten Farben und die Strahlungsenergie der abgestrahlten Farbe weniger Energie als das einfallende Sonnenlicht hat. Und, dass Wärme plus Strahlungsenergie gleich der Energie des einfallenden Sonnenlichts ist.
V3 00:11: I: Und mit der Energie, könnt ihr das irgendwie erklären? Also er trifft,... Was weiß ich auf das (zeigt auf Sonnenlicht in Abbildung 11) hat Energie Eins. Da		

gibt's dann den Filter und was hat dann das Rote zum Beispiel?

00:20: V: Weniger, weil es ist ja nur Rot und die anderen Farben fehlen.

00:25: I: Ok und was passiert mit der Energie?

00:28: L: Die wird halt in Wärme umgewandelt.

00:30: V: Ja.

V4

07:22: I: Sonnenlicht mit einer bestimmten Energie trifft auf einen Gegenstand und ein Teil des Sonnenlichts wird wieder abgestrahlt, was passiert mit der Energie die das Sonnenlicht vorher hatte?

07:32: L: Es bleibt gleich, [...] es wird halt nur umgewandelt in Wärme.

07:40: I: Wird alles in Wärme umgewandelt?

07:41: L: Nein.

07:42: V: Nein, nur der Teil der aufgenommen wird.

07:47: I: Ok und was ist mit dem Teil der nicht aufgenommen wird?

07:48: V: Der wird wieder abgestrahlt.

07:50: I: Und hat eine Energie, oder keine?

07:52: V: Ja Strahlungsenergie.

07:58: I: Ok und hat der mehr oder weniger Energie als das Sonnenlicht am Anfang?

07:59: L: Alles zusammen hat gleich viel, aber weniger, ... Einzelne haben weniger.

08:08: I: Und wie würdet ihr einem Mitschüler erklären was passiert wenn Licht auf einen Gegenstand trifft?

08:16: V: Also Licht trifft auf einen Gegenstand und er nimmt das ganze Licht auf [...] Ja genau der Stift nimmt das ganze Licht auf und er gibt nur das gelbe Licht wieder ab und den Rest wandelt er in Wärme um, in Wärmeenergie. Und die Energie wird halt aufgespalten, die das Sonnenlicht ursprünglich hatte. [...] In den Teil der abgestrahlt wird und in die Wärme die er aufnimmt.

KI 9		
Der Farbeindruck <i>Weiß</i> entsteht, wenn alle Lichtsorten des Sonnenlichts abgestrahlt werden. Der Farbeindruck <i>Schwarz</i> entsteht, wenn alle Lichtsorten aufgenommen werden. Wir können schwarz erscheinende Gegenstände nur in einer Umgebung wahrnehmen in der es Selbstsender bzw. Zwischensender gibt, die einen Kontrast zu den Konturen des schwarz erscheinenden Körpers bilden.		
	S7 V	S8 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ S7 erkennt, dass Weiß ein Zwischensender für alle Lichtsorten ist, jedoch für keine ein Energiewandler.	✓ S8 erkennt, dass Schwarz ein Energiewandler für alle Lichtsorten ist, jedoch für keine ein Zwischensender.
V4 19:25: I: Ok und für welche Dinge ist Weiß ein Zwischensender und für welche ein Energiewandler? 19:35: L: Also er ist ein Zwischensender für alle Lichtsorten weil er keine Lichtsorte in Wärme umwandelt. 19:44: I: Und für welche ist er ein Energiewandler? 19:45: V: Für keine, weil er nimmt ja, er gibt ja alle wieder ab, also kann er keine in Wärme umwandeln. 19:52: I: Und bei dem, bei Schwarz? 19:53: V: Ist genau umgekehrt der nimmt alles auf und wandelts in Wärme um. 20:00: I: Das heißt für welche ist er ein Zwischensender? 20:03: L: Für keine. 20:05: I: Und ein Energiewandler? 20:05: L&V: Für alle.		
Transferbeispiel	✓ S7 erkennt, dass ein Blinder den Unterschied zwischen einem schwarzen und einem weißem Pullover erkennen kann. × Für S7 sind Schwarz und Weiß Farben. × S7 meint Gegenstände die kein Licht abstrahlen müssten durchsichtig sein.	✓ S8 erkennt, dass ein Blinder den Unterschied zwischen einem schwarzen und einem weißem Pullover erkennen kann. × Für S8 sind Schwarz und Weiß Farben. ✓ S8 kann erklären warum man den Stift, der kein Licht ins Auge sendet sieht.

V4

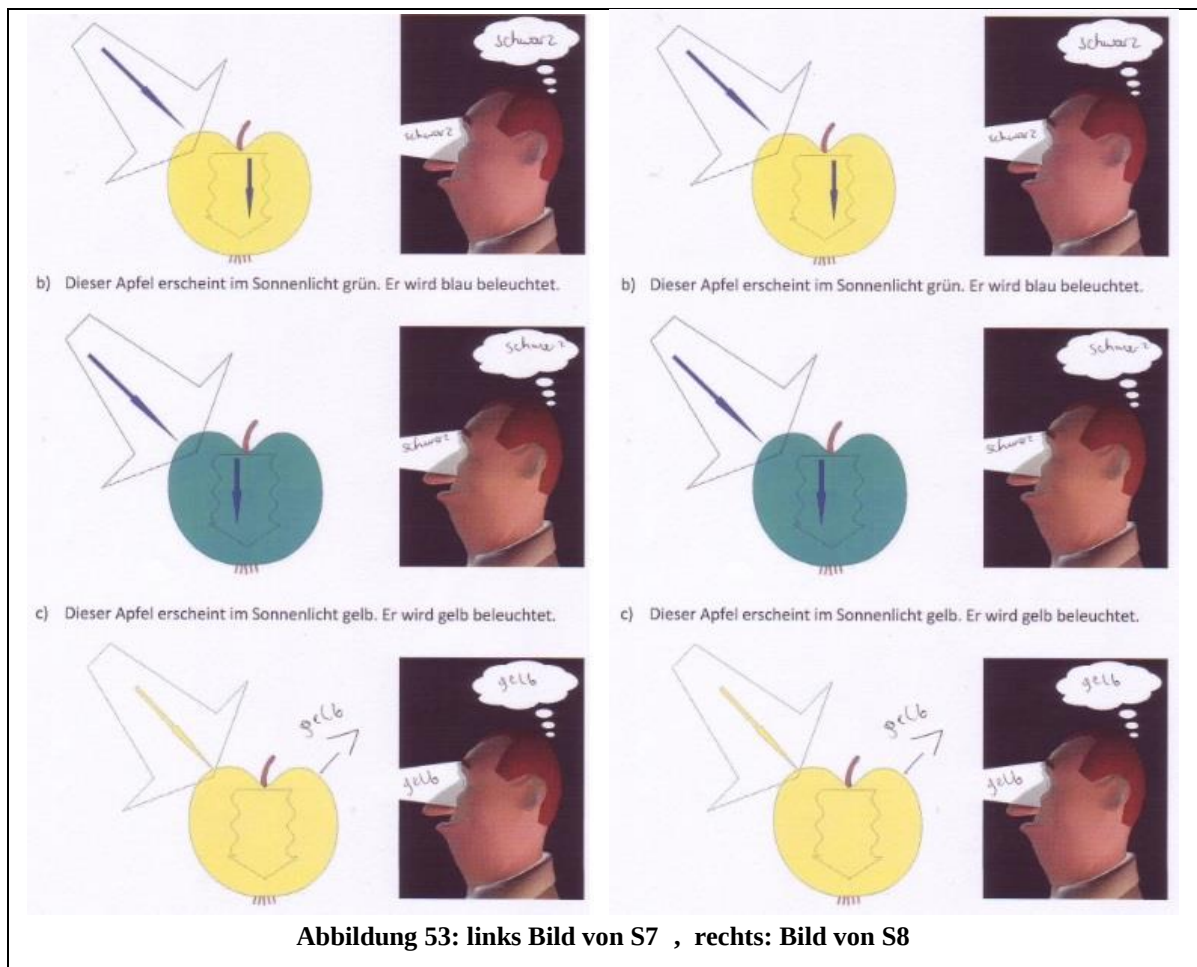
- 21:20: I: Kann ein Blinder den Unterschied zwischen einem schwarzen und einem weißen Pullover erkennen?
- 21:22: L: Nein.
- 21:25: V: Doch.
- 21:26: L: Oja, wenn er ihn anhat schon. Also sehen kann ers nicht.
- 21:28: V: Die können das fühlen wenn die Sonne scheint.
- 21:34: L: Wie würdest du einem Mitschüler erklären, wann wir einen Gegenstand schwarz sehen?
- 21:36: L: Wir sehen einen Gegenstand Schwarz, wenn er alle, also wenn er das Licht aufnimmt jedoch gar nichts reflektiert sondern alles in Wärme umwandelt.
- 21:47: I: Und wann sehen wir einen Gegenstand Weiß?
- 21:49: V: Wir sehen einen Gegenstand Weiß, wenn er alle Lichtfarben wieder abgibt und davon alle Lichtfarben in unser Auge, wir sehen wir ihn Weiß dann so ein Gemisch.
- 21:58: I: Würdet ihr sagen, dass Schwarz und Weiß eine Farbe ist?
- 22:01: V: Ja,
- 22:02: L: Ja, wenn mans so sieht schon. Weil wir sehens ja auch in den Farben Schwarz und Weiß.

V5

- 00:00: V: Also ich verstehe das so: Also zum Beispiel Schwarz besteht ja aus mehreren Farben und es ist trotzdem eine Farbe.
- 00:10: I: Aha würdest du nicht sagen es ist eine Mischung, oder was weiß ich Weiß ist eine Mischung von allen Farben?
- 00:13: V: Nein zum Beispiel Violett ist auch eine Mischung aus Rot und Blau und es ist trotzdem eine Farbe.
- 00:20: I: Und du hast vorher gesagt Schwarz ist eine Mischung aus allen Farben. [...] Und wenn wir da Schwarz, wie ist das da (*zeigt auf den Zettel*) ist es eine Mischung eigentlich, oder eher nicht?
- 00:40: V: Naja, schon aber es, es strahlt keine Farbe ab, deswegen.
- 00:50: I: Ok das heißt wo ist die Farbmischung eigentlich?
- 00:51: L&V: Innen drin.
- 00:55: I: Ist Schwarz und Weiß für dich eine Farbe?
- 01:00: V: Ja schon, weil wir sehen ja nicht alle Farben, sondern wir sehen ja nur das Gemischte.
- 01:09: I: Und warum können wir Schwarz erscheinende Gegenstände sehen, wenn sie kein Licht in unsere Auge strahlen?
- 01:11: L: Ja weil sie halt in der Umgebung rausstechen. [...] Weil alles andere, zum Beispiel der Tisch ist jetzt Grün und der strahlt nur Grün ab und wenn man jetzt den schwarzen Stift nimmt, der strahlt ja nichts ab aber man sieht in trotzdem. [...] Weil er auf der grünen Oberfläche ist.
- 01:30: I: Ok wir würdest du das erklären?
- 01:30: V: Eigentlich frag ich mich schon wieso mans sieht, weil es ist ja schon komisch wenn er alle Farben aufnimmt müsste er eigentlich unsichtbar sein, oder?

KI 10		
Farbe ist keine Eigenschaft des Gegenstandes. Die Farbe hängt vom Licht ab für den der Gegenstand ein Zwischensender ist und von dem Licht mit dem der Gegenstand beleuchtet wird.		
	S7 V	S8 L
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	~	✓
Paraphrasierung	Ohne den Text gelesen zu haben: × S7 hat eine Mischungsvorstellung, so erklärt sie sich warum die Stifte nicht alle Rot gewesen sind, wenn sie mit rotem Licht beleuchtet wurden. S7 erkennt jedoch, dass kein grünes Licht abgegeben werden kann, wenn mit rotem Licht beleuchtet wird.	Ohne den Text gelesen zu haben: × S8 glaubt ebenfalls, dass sie Farbe des Lichts sich mit der Farbe des Gegenstandes vermischt. ✓ S8 erkennt, dass die Formulierung „gelb erscheinend“ passender ist.
V5 07:10: I: Und könnt ihr erklären wie Gegenstände in anderen Farben erscheinen können? 07:13: L: Ja also sie werden mit anderem Licht beleuchtet. Und dann reflektieren sie die Farbe ab, die sie halt abspalten. 07:28: I: Aha, wie meinst du das die Farbe die sie abspalten? 07:30: L: Na zum Beispiel bei Rot ist es bei Sonnenlicht Rot, aber wenn anderes Licht drauffällt kanns auch in einer anderen Farbe erscheinen. 07:45: I: Also zum Beispiel rotes Licht trifft auf den grünen Stift. Was passiert mit dem roten Licht beim grünen Stift? 07:55: L: Es erscheint rötlicher. Halt es verändert die Farbe des grünen Stifts. 07:58: I: Aha und der erscheint dann rötlicher, oder irgendwie dunkler? 08:03: V: Dunkler. [...] So bräunlich. 08:20: I: Und wie würdest du das erklären, dass man Stifte auch in anderen Farben wahrnehmen kann? 08:25: V: Naja wenn ein anderes Licht, ein Licht mit einer anderen Lichtsorte draufleuchtet, dann kann er nicht das Licht was er normalerweise abgeben würde abgeben. Sondern irgendwie vermischt ers vielleicht mit Rot oder so. 08:30: I: Wie stellst du dir das vor mit dem Vermischen? 09:10: V: Also es ist ja rotes Licht also wenn alle Farben zusammen sind dann kanns ja das Grüne wieder abgeben. Der grüne Stift. Aber wenn jetzt da nur rotes Licht draufkommt dann kann er ja kein grünes Licht abgeben irgendwie. Weil ja kein		

grünes drinnen ist. 09:40: I: Und wovon hängt die Farbe ab, in der wir einen Gegenstand wahrnehmen? 09:44: V: Von dem Licht das drauf fällt [...] und von der Farbe die es selber hat. 09:52: I: Und wie würdet ihr die Aussagen bewerten der Stift ist gelb oder er erscheint gelb? 09:58: L: Also er erscheint gelb eher, nicht dass er gelb ist, weil Sie können ja nicht sehen wie er, die Farbe wird ja nur abgestrahlt. 10:10: V: Im Moment ist beides richtig. Weil er ist gelb, das ist immer so. Er ist gelb, aber jetzt erscheint er gelb, aber wenn jetzt zum Beispiel rotes Licht drauf fällt dann erscheint er vielleicht nicht mehr gelb, aber er ist noch immer gelb. 10:30: I: Und wenn ein Schüler sagt wenn wir einen gelben Apfel mit blauem Licht beleuchten sehen wir ihn grün, also die Farbe des Apfels und des Lichts mischen sich. Ist das richtig oder falsch? 10:40: V: Das ist richtig. 10:41: L: Ja. 10:45: I: Ok, wieso glaubt ihr das, haben sich da <i>(zeigt auf den Versuch mit den Stiften)</i> die Farben gemischt? 10:50: L: Ja. 10:51: V: Schon, weil sonst hätten ja alle rot sein müssen oder?		
Transferbeispiel	✓ S7 erkennt die Schwächen des Versuchs. Die Transferbeispiele wurden von S7 richtig gelöst.	✓ S8 kann richtig erklären, dass wir einen grünen Apfel der mit rotem Licht beleuchtet wird Schwarz wahrnehmen. Die Transferbeispiele wurden von S8 richtig gelöst.
V5 13:35: I: Und was glaubt ihr passiert, wenn wir einen grünen Apfel mit rotem Licht beleuchten? 13:40: L: Ja dann sieht man ihn auch Schwarz. 13:44: I: Warum, wie funktioniert das? 13:45: L: Weil der gibt auch nur grünes Licht ab und wenn wir mit Rot drauf scheinen wandelt er das in Energie um. 13:55: L: Aber dann müssten wir alles schwarz sehen. Aber wenns mit einem anderen Licht bestrahlt wird, aber das, wir haben ja nicht alle Stifte schwarz gesehen.		



5.8.3 Hauptbefragung 3

Die Hauptbefragung 3 fand am Mittwochnachmittag den 27. Februar 2013 statt. Die Befragten werden im folgenden S9 (A) und S10 (S) genannt. Schülerin A war zu diesem Zeitpunkt 14 Jahre alt und besuchte das Sigmund Freud Gymnasium. Schüler S war 15 Jahre alt und absolvierte die Unterstufe im Gymnasium der Rosasgasse.

KI 1		
Die Referenzquelle für Licht ist die Sonne. Wenn eine Lampe ähnliches Licht wie die Sonne ausstrahlt, bezeichnen wir auch dieses Licht als sonnenähnliches Licht. Licht kann man nicht nur mischen, sondern auch zerlegen. Sonnenlicht ist eine Mischung verschiedener Lichtsorten.		
	S9 A	S10 S
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	O: ~ Sonnenlicht ist für S9 gelb. Das Licht von Lampen ist für sie aber weiß. × S9 meint Sonnenlicht ist eine Mischung aus den Farben Weiß, Gelb, Orange und Rot. Bei Nachfragen meint sie auch, dass Blau und Grün enthalten ist.	O: ~ Sonnenlicht ist für S10 gelb-weiß. Er meint auch Lampen senden gelbes Licht aus. × S10 meint Sonnenlicht ist eine Mischung aus den Farben Weiß, Gelb, Orange und Rot.
V1 09:00: I: Wie würdet ihr die Farbe des Sonnenlichts beschreiben? 09:02: S: Gelb-weiß. 09:04: A: Ich glaub es hat keine Farbe, nur dass wir das so sehen, Gelb. 09:16: S: Ja eher so gelblich, aber weißlich. 09:30: I: Wie würdet ihr den Unterschied zwischen gelbem Licht und weißem Licht erklären? Oder könnt ihr irgendwelche Quellen nennen die gelbes Licht ausstrahlen und welche die weißes Licht ausstrahlen? 09:34: S: Lampe, sendet [...] gelbes Licht aus. 09:40: A: Nein, weißes. Ich bin für Weiß. 09:50: I: Und genau umgekehrt, was sendet dann gelbes Licht aus [...]? 09:55 A: Ähm, so in der Disco, [...] Scheinwerfer. Nein, Scheinwerfer auch Weiß. Und diese Lampen, die die Farbe so ändern. 10:08: I: Du hast gesagt das Licht ist gelb, also was ist dann weißes Licht? 10:10: S: Keine Ahnung. 18:06: I: Kommt es euch komisch vor, dass Sonnenlicht aus verschiedenen Lichtsorten besteht, oder bestehen soll? 18:08: A: Schon. 18:10: A: Ja. 18:13: I: Habt ihr das vorher schon gehört, oder gewusst? 18:14: A&S: Nein. 18:18: I: Versucht mal Lichtsorten zu nennen von denen ihr glaubt die kommen im Sonnenlicht vor. 18:20: S: Orange, Gelb, Weiß,... Rot.		

18:24: A: Weiß, Gelb Orange und Rot. 18:30: I: Und Blau? 18:32: A: Blau auch, weil der Himmel ist ja blau. [...] Ich glaub auch Grün, weil die Wiese ist ja grün und ich glaub das hat dann auch irgendeinen Effekt. 18:45: I: Und Rosa? [...] Ist Rosa auch dabei? 18:50: A&S: Nein.		
Paraphrasierung	✓ Erkennt, dass Sonnenlicht aus verschiedenen Farben besteht.	✓ S10 weiß, dass man aus zwei Farben neue Farben entstehen lassen kann.
V1 21:27: I: Wie würdest du einem Mitschüler, erklären was du schon über die Zusammensetzung von Sonnenlicht weißt? 21:39: A: Ja, ahm dass das Sonnenlicht auch aus mehreren Mischungen besteht von Farben und dass es halt Lichtsorten gibt. 21:55: I: Würdest du ihr zustimmen, möchtest du noch etwas ergänzen? 21:56: S: Schon, dass man mit zwei verschiedenen Farben eine ganz neue Farbe entstehen lassen kann.		
Transferbeispiel	✓ S9 kann Dinge nennen, die sonnenähnliches Licht ausstrahlen. N: Lichtsorten sind Farben.	✓ S10 kann Dinge nennen, die sonnenähnliches Licht ausstrahlen. Für ihn sind Lichtsorten Farben.
V1 20:06: I: Könnt ihr Dinge nennen, die sonnenähnliches Licht ausstrahlen? 20:14: A: Ja, Lampen, Taschenlampen, Scheinwerfer. 20:25: S: Ja Lampen eben. 20:28: I: Was ist mit der Leuchtstoffröhre? 20:31: S: Ja die auch. 20:35: I: Was stellt ihr euch unter einer Lichtsorte vor? 20:37: S: Eine Farbe. 20:47: A: Eine Mischung aus mehreren Farben. 20:53: I: Und Rot ist jetzt eine Lichtsorte oder nicht? 20:55: A: Schon, also doch keine Mischung. 21:02: S: Es kommt drauf an, es gibt Weinrot, Dunkelrot, Kirschrot,... 21:07: I: Ok und sind das alles Mischungen? 21:08: S: Ja sicher, Hellrot ist ja eine Mischung zwischen Rot und Weiß. Nur das klare richtige Rot ist, ist ein, naja, ja Rot ist halt Rot.		

KI 2		
Das Sonnenlicht lässt sich mit Hilfe eines Prismas in seine Lichtsorten zerlegen. Mit einer Linse lassen sich die Lichtsorten wieder zu Sonnenlicht vermischen.		
	S9 A	S10 S
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
V3 19:24: I: Also was macht die Linse mit dem Licht? 19:27: S: Es bündelt. Sammelt die Regenbogenfarben. 19:35: A: Zu einem [...] Licht. [...] Weiß, Sonnenlicht. 19:43: S: Es mischt sie wieder zu der ursprünglichen Farbe zurück.		
Paraphrasierung	N: ✓ Glaubt zuerst, dass auch die Fensterscheibe das Licht in seine Spektralfarben zerlegen kann. Bei Nachfrage ändert sie ihre Meinung, kann jedoch nicht erklären woher die Farben kommen. ~ Kann den Prismenversuch teilweise erklären. ✓ Kann den Versuch mit der Linse richtig erklären.	N: ✓ Glaubt zuerst, dass auch die Fensterscheibe das Licht in seine Spektralfarben zerlegen kann. Bei Nachfrage ändert er seine Meinung. S10 glaubt das Licht des Overheads sei gelb. ✓ Kann den Prismenversuch richtig erklären. ✓ Kann den Versuch mit der Linse richtig erklären.
V2 03:28: I: Also was macht ein Prisma mit dem Sonnenlicht? 03:30: S: Es spaltet es. [...] In die Farben aus denen es besteht. 03:45: A: Ich bin seiner Meinung. 03:45: I: Und wie macht das Prisma das, wieso kann das Prisma das? 03:50: A: Ich weiß nicht. [...] Das hab ich nicht verstanden. 04:15: S: Also wenn das Licht schräg in das Glas läuft oder umgekehrt eben, dann ändert sich die Geschwindigkeit und dadurch ändert das Licht eben auch seine, nein es spaltet sich dann in seine, es macht einen Knick und dadurch kann man sich das auch besser ansehen, die Farben. 04:50: I: Funktioniert auch mit der Fensterscheibe? 04:51: S: Glaub schon. 04:56: A: Ich glaub auch. 04:59: I: Ok und wenn ich die Rollo aufmachen würde, warum würden wir hier nicht lauter Regenbogenfarben auf der Wand sehen?		

05:00: A: Gute Frage, ich glaub doch nicht. [...] Vielleicht hat es Spiegel in sich. [...] Es hat halt drei Seiten, vielleicht haben die etwas damit zu tun.

05:37: S: Aso, weil die Farben auf das Glasprisma treffen, es hat ja mehrere Kanten und bei diesen Kanten kommt Luft hinzu und dadurch knickt sich die Farbe irgendwie.

05:56: I: Meint ihr, dass das was mit der Form des Prismas zu tun hat das Aufspalten?

05:58: I: A&S: Ja

06:02: I: Wie würdet ihr einem Mitschüler diesen Versuch erklären?

06:11: S: Wir haben das Glasprisma bei der Klappe befestigt, haben das Gerät eingeschaltet. Das Licht ist so nach oben gewandert sag ich mal und, und ja dann ist halt die Farbe, das gelbe Licht, auf das Glasprisma getroffen und das Glasprisma hats dann an die Wand reflektiert.

06:41: I: Mh und du sagst das gelbe Licht, von wo kommt das gelbe Licht?

06:43: S: Vom Overheadprojektor.

06:44: I: Und würdest du sagen, dass das Licht gelb ist, oder weiß?

06:47: S: Auf der Wand sieht mans weiß, aber wenn man sich den Overhead anschaut, dann ist es gelb, finde ich.

06:58: A: Ja also für mich ist es weiß, nicht gelb.

07:00: A: Ja also man sieht halt jetzt eine Seite von dem Prisma und dann sind halt diese Farbstrahlen gekommen und der hat das dann so geteilt die Farben.

07:24: I: Hab ich die Farben vorher gesehen?

07:25: A: Nein.

07:27: I: Und wo waren die?

07:28: A: Weiß nicht.

07:30: S: Im Licht.

V3

19:46: I: Wie würdet ihr jemand anderem, erklären was ihr da jetzt gerade gesehen habt? Was wir gemacht haben?

19:50: A: Also man hat auf der Wand mehrere Farben gesehen. [...] Dann hat man halt eine Linse benützt und je weiter man weggegangen ist dann hat man halt alle Farben nur noch zu einer gesehen und die war weiß.

20:23: S: Wir haben halt mehrere Farben an der Wand gesehen, die halt durch das Prisma aufgespalten wurden. Sind mit der Linse hingegangen, habens vor die aufgespaltenen Farben gehalten mit der Linse haben sich die Farben gebündelt und auf der Wand hat man dann nur mehr eine Farbe sehen können.

Transferbeispiel	×	✓
	S9 glaub, der Regenbogen hängt von den Farben der Umgebung ab.	S10 kann erklären warum der Regenbogen aus bunten Streifen besteht.
	×	×
	Kann den Lichtweg des blauen und roten Strahls nicht richtig einzeichnen.	Meint es gibt helle und dunkle Farben. Dunkle Farben sind für ihn „kräftige

	✓ Kann den Farbverlauf der Regenbogenfarben richtig einzeichnen. ✗ Glaubt nicht, dass sich verschiedene Lichtsorten unterschiedlich schnell ausbreiten.	Farben“. Er meint die Reihenfolge der Farben sei vertauscht. ✓ Zeichnet einen Unterschied zwischen rotem und blauem Lichtstrahl, vergisst jedoch auf die Brechung. ✓ Kann den Farbverlauf der Regenbogenfarben richtig einzeichnen.
--	---	--

V2

08:41: I: Könnt ihr nun erklären warum ein Regenbogen aus bunten Streifen besteht?

08:45: S: Das ist halt wenns regnet und Sonnenstrahlen. Aso das ist genauso wie bei diesem Prisma. Es regnet, es scheint die Sonne diese Farben von der Sonne werden vom Wasser reflektiert, werden da aufgespalten deswegen entsteht ein Regenbogen, so wie beim Overhead.

09:07: A: Würd ich auch sagen aber die Farben kommen ja zum Beispiel auch von der Wiese, ist es grün vielleicht kommt die Farbe mit oder so?

09:15: I: Von der Wiese in den Regenbogen?

09:15: A: Ja genau.

09:18: I: Und Blau kommt?

09:19: A: Vom Himmel.

09:20: I: Und Rot?

09:22: A: Blumen?

10:10: I: Und wieso glaubst du die Farben vom Regenbogen haben irgendetwas mit der Umgebung zu tun?

10:15: A: Ich hab das mal irgendwo gehört aber ich weiß nicht mehr wo.

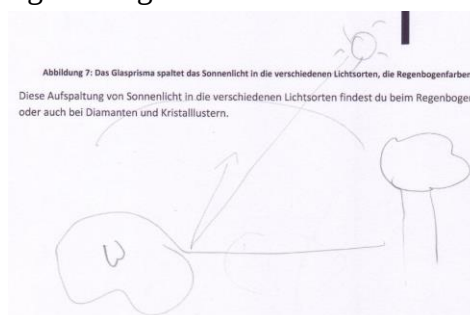


Abbildung 54: Zeichnung zur Entstehung des Regenbogens von S9

11:52: I: Fallen euch irgendwelche Fehler auf, die da nicht stehen?

12:34 S: Es sind aber noch viele Farben dazwischen. Dann kann ja nicht auf einmal von Rot auf Orange wechseln.

12:50: I: Du meinst da sind noch welche dazwischen, welche?

12:51: S: Eher so noch helleres Rot. Es kann überhaupt nicht wahr sein weil von einer

hellen Farbe auf eine dunkle Farbe wieder auf eine dunkle Farbe. Also dunkel, hell, hell, dunkel, dunkel, dunkel, dunkel. Na es kann ja nicht von hell auf dunkel, oder?

13:10: I: Was ist eine helle Farbe, was ist eine dunkle Farbe?

13:12: S: Dunkel sind für mich Farben die eher kräftig sind, die ich kräftig wahrnehmen kann und helle Farben sind für mich,...

13:18: I: Kannst du Beispiele dazu nennen?

13:23: S: Rot, ist eher so kräftig. Schwarz, Lila, ist auch dunkel. Hell sind für mich eher so Sachen wie Gelb oder Weiß.

15:28: I: Was sind Übergangsfarben?

15:31: A: Ein Gemisch aus zwei Farben.

15:45: I: Und da unten habts ihr da einen Unterschied zwischen Rot und,...

15:50: A: Nein, für mich ist es eigentlich gleich. Ich glaub nicht, dass das so viel mit der Farbe zu tun hat.

15:59: S: Ich glaub schon, weil ja immer Dunkel, so blaue Farben eher unten sind und Rot immer am Anfang ist.

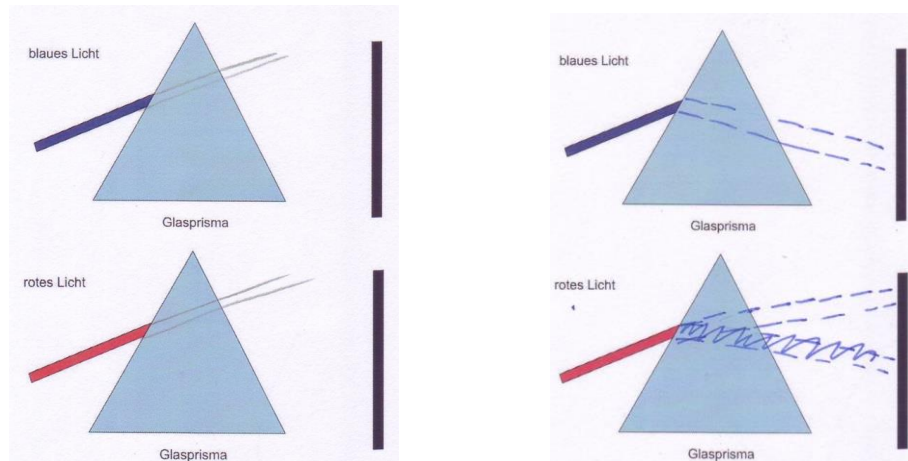


Abbildung 55: links: Bild S9, rechts: Bild S10

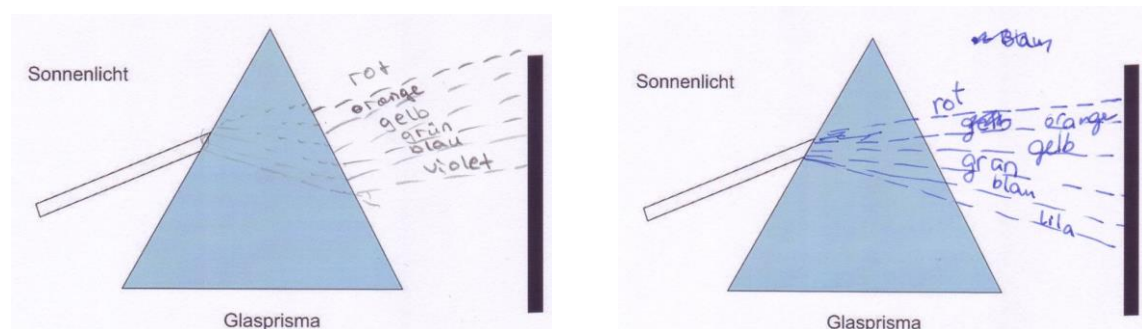


Abbildung 56: links Bild von S9, rechts Bild von S 10

KI 3 Farbfilter transmittieren nur bestimmte Bereiche des sichtbaren Spektrums, die anderen Anteile werden absorbiert.		
	S9 A	S10 S
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	~ Dass Farbfilter nur Teile des Lichts durchlassen und die anderen in Wärme umwandeln kommt ihm komisch vor.
Paraphrasierung	× S9 glaubt, dass Farbfilter das Licht färben.	✓ S10 hat kann die Funktionsweise eines Blaufilters richtig erklären.
V3 07:20: I: Wie würdest du einem Mitschüler die Funktion eines Farbfilters erklären? 07:24: S: Weil sie die grüne Energie durchlässt und die anderen Farben in Wärme umwandelt. 07:16: A: Weil die grüne Farbe stärker ist als,... 08:05: A: Ja wenn die Sonnenstrahlen jetzt weiß sind und durch grün halt gehen dann geht halt die grüne Energie oder Farbe mit. 08:10: I: Und was ist mit den anderen? Was ist mit der Farbe Rot und Blau? 08:15: A: Ja die kommt auch mit aber halt leichter als grün. 08:20: I: Ja die anderen Farben werden einfach in Wärme umgewandelt. 08:34: I: Wie würdest du die Funktion eines Blaufilters erklären? 08:36: S: Die Sonnenstrahlen gehen eben auf diesen Blaufilter. Da wird nur die blaue Farbe durchgelassen, weil die rote Farbe, nein blaue Farbe. Die blaue Farbe wird halt durchgelassen und die anderen Farben werden in Wärme umgewandelt.		
Transferbeispiel	× S9 glaubt, die Farbe des Filters mischt sich mit den Farben des Regenbogens.	× S10 glaubt Filter färben das Licht.
V3 09:24: I: A, stell dir vor du hast eine Brille mit blauen Gläsern und du siehst dir den Regenbogen an. Was glaubst du würdest du sehen? 09:28: A: Ja halt die Farben, so mit blau gemischt. Rot wird dann eher so lila. 09:42: I: Und Gelb? 09:42: A: Gelb, Blau, Hellblau so? 10:00: I: Wir schauen einen Regenbogen mit diesem Blaufilter an und du siehst was? 10:06: S: Blau.		

10:08: I: Ok und die anderen Farben, was ist mit denen?

10:10: S: Die sieht man dann nur sehr leicht aber auch eher bläulich.

10:17: I: Und wenn du das mit dem vergleichst (*zeigt auf das Bild des Farbfilters*) wo wir gesagt haben die anderen Farben werden in Wärme umgewandelt? Passiert das beim Regenbogen auch?

10:24: S: Nein, es ist ja dort, bei uns haben wir jetzt das Licht, wenn du jetzt den Filter drauflegst, dann geht das ja eben durch bei uns, unsere Augen sind ja keine Lichtquelle.

10:50: S: Das ist so wie beim Schifahren. Durch so eine orangene Brille sieht man den weißen Schnee Orange.

11:00 I: Ok und das blaue Pistenschild, wie sieht man das?

11:03: S: Auch so eher orangelich.

11:25: I: Und der Bereich der vorher gelb war, beim Regenbogen?

11:30 S: Den sehe ich dann gar nicht mehr. Na weil Gelb eher hell ist und wenn du mit der blauen Brille drüber schaust dann ist Blau viel stärker als Gelb. Daher siehst du einfach gar nicht.

KI 4		
Spektralfarben sind monochromatisch.		
	S9 A	S10 S
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	~	✓
Paraphrasierung	✓ S9 kann den Unterschied zwischen monochromatisch und nicht monochromatisch erklären.	✓ S10 kann erklären was monochromatisch bedeutet.
V3 16:10: I: Und wie würdest du jemand anderem erklären was das Wort monochromatisch bedeutet? 16:16: S: Eine Farbe die nicht mehr teilbar ist. 16:18: A: Auch. 16:25: I: Und wie würdest du jemandem den Unterschied zwischen monochromatischem und nicht monochromatischem Licht erklären? 16:32: A: Das nichtmonochromatisch sich aufspalten kann und monochromatisch sich [...] nicht aufspalten kann. 16:45: I: Und wie kann man testen ob eine Lichtsorte monochromatisch ist, oder nicht? 16:45: S: Mit einem Prisma. 14:47: A: So wie Sie jetzt.		
Transferbeispiel	✕ Für S9 ist jedes Licht monochromatisch, auch weißes Licht. Sie kann das Wort jedoch erklären.	✓ Erkennt, dass Sonnenlicht nicht monochromatisch ist und sich in die Regenbogenfarben aufspaltet.
V3 14:00: I: Und was stellt ihr euch unter dem Begriff monochromatisches Licht vor? 14:01: S: Mono heißt eins, chrom, kann vielleicht aus chronos sein, aber das hat jetzt nichts damit zu tun. 14:13: A: Eine Lichtart oder eine Farbe. 14:23: I: Ist blaues Licht monochromatisch? 14:24: A: Ich glaub jedes Licht ist monochromatisch. 14:33: S: Aber es gibt ja verschiedene Töne von Rot, von Orange von Grün von Gelb. Weiß nicht. Weiß ist weiß, das kann man nicht mehr irgendwie ändern. 14:45: I: Aha und wenn wir gerade das weiße Licht aufgespalten haben, in die Regenbogenfarben? 14:47: S: Ja eh aber wenns schon aufgespaltet wurde und Sie gehen mit dem Prisma hin		

dann kann sichs ja nicht mehr verändern.

14:55: I: Ist Sonnenlicht monochromatisch?

14:56: A: Ja. [...] Für mich ist das Sonnenlicht weiß, und Weiß kann sich nicht mehr aufspalten. Es ist halt so.

14:57: S: Nein. Wenn man das Prisma so hält und die Sonnenstrahlen fallen drauf dann knickt das um in die Farben und dann sieht man das in seinen Bestandteilen.

KI 5		
Ein Gegenstand ist entweder ein Selbstsender (selbstleuchtend) oder ein Zwischensender (muss beleuchtet werden). Damit wir einen Gegenstand wahrnehmen muss Licht vom Gegenstand in unser Auge fallen.		
	S9 A	S10 S
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	~	~
Paraphrasierung	✓ Kann erklären was Zwischensender sind und Beispiele für Selbstsender nennen.	~ Kann erklären was Selbstsender sind und Beispiele für Zwischensender nennen.
V4 03:49: I: Was ist ein Selbstsender? 03:50: S: Ein Objekt, dass selber Licht ausstrahlt. 03:51: I: Ok und was ist ein Zwischensender? 03:53: A: Ja halt wie der Tisch, der das Licht einfach nur,... also der das Licht nicht erzeugt aber es weiterleitet. 04:05: A: Selbstsender: Lampe, Glühbirne, Overheadprojektor. 04:13: S: Zwischensender, alles Mögliche: Tisch, [...], Vorhänge, Bäume.		
Transferbeispiel	~ Vergisst den Lichtweg vom Selbstsender ins Auge. ✓ Kann erklären warum wir das rote Blatt am Schachtelboden rot wahrnehmen.	~ Vergisst den Lichtweg vom Selbstsender ins Auge.
V4 04:27: I: Wann kann ich einen Selbstsender sehen? 04:30: A: Wenn er eingeschaltet ist, zum Beispiel die Glühbirne. [...] Es strahlt auf einen Tisch. 04:46: I: Wann siehst du die Lampe selbst, wo muss das Licht dahin strahlen? 04:56: A: Ich weiß nicht. 05:55: I: Warum siehst du den Tisch? 06:00: S: Weil das Licht drauffällt. [...] Von der Lampe. 09:35: I: Sonnenlicht trifft auf das rote Blatt am Schachtelboden und was passiert dann weiter mit dem Licht? 09:44: A: Das rote Papier nimmt das Licht auf, und dann wird der rote Strahl abgestrahlt, also weiter [...] Der trifft in das Auge des Betrachters.		

KI 6		
Wenn Licht auf Materie trifft, wird ein Teil des Lichtes abgestrahlt, der andere Teil wird aufgenommen und in Wärme umgewandelt.		
	S9 A	S10 S
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✕ Glaubt die Farbe die wir wahrnehmen kommt daher, dass das Sonnenlicht durch die Farbe des Gegenstandes gefärbt wird.	
V4 11:32: I: Wie stell ihr euch das vor, das mit dem Aufnehmen und wieder Abgeben? 11:36: A: Also das ein Lichtstrahl draufgeht und dann, wie da halt (<i>Abbildung grüner Würfel</i>) es ist grün und dann grüne Farbe mitgeht. [...] Ja mit dem Lichtstrahl halt, halt zur Wand oder zu den Augen. 12:00: I: Wovon hängt das ab, welche Farbe mitgeht? 12:03: A: Vom Körper der Farbe, also von der Farbe da (<i>zeigt auf den grünen Würfel</i>). 12:25: I: Was passiert mit den nichtgrünen Lichtsorten? 12:26: A: Die werden in Wärme umgewandelt.		
Transferbeispiel		

KI 7		
Der Gegenstand erscheint in jener Lichtsorte des Sonnenlichts, die abgestrahlt wird bzw. als Mischung jener Lichtsorten, alle anderen Farbanteile werden hauptsächlich in Wärme umgewandelt.		
	S9 A	S10 S
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	O: X S9 glaubt Farben kann man erst sehen, wenn Licht auf sie trifft. Licht macht die Farben für sie erkennbar.	O: X S10 meint Gegenstände haben jene Farbe des Sonnenlichts die sie aufnehmen.
V1 18:55: I: Aber mein Oberteil ist trotzdem Rosa. 18:59: S: Aber das ist weil bestimmte Sachen nehmen bestimmte Farben auf und dadurch siehst du die Farben dann viel stärker. 19:07: I: Aha, stärker, vorher sieht man sie nicht, oder wie? 19:10: S: Naja bestimmte Objekte nehmen Farben stark auf, so dass sie eben die Farbe bekommen die sie, wie wir sie halt sehen. 19:25: I: Und welche Gegenstände sind das zum Beispiel? 19:26: S: Groß zum Beispiel, Bäume es kann alles Mögliche sein. 19:34: I: Und wie nimmt das die Farbe auf, oder wie stellst du dir das vor? 19:34: S: Durch die Sonnenstrahlen. Es nimmt eben diese Farbe wahr und passt sich danach an. 19:40: I: Ok und wenn ichs jetzt mit anderem Licht beleuchte, Groß mit blauem Licht, wie seh ichs dann, nimmst dann die blaue Farbe an? 19:50: S: Nein, es bleibt Grün. 19:58: I: Und du siehst es wie? 19:59: S: Grün unter blauem Licht. V4 12:30: I: Ok, wie stellst du dir das vor? 12:33: S: Wir haben ja schon gehört, dass Sonnenlicht aus mehreren Farben besteht. Wenn dieses Sonnenlicht auf ein bestimmtes Objekt fällt, also trifft, dann nimmt sich dieses Objekt die Farben die es benötigt und alle anderen Farben, die es nicht braucht, werden dann in Wärme umgewandelt. Das kann man sich bei Tomaten vorstellen: Grünes Licht auf den Strauch und rotes Licht auf die Tomaten. Die Tomate nimmt sich die rote Farbe und alle anderen Farben werden weggestrahlt, also werden in Wärme umgewandelt. 13:12: I: Und du hast gesagt rotes Licht auf die Tomate und grünes Licht auf den Strauch. Was ist wenn ich die beide mit Sonnenlicht beleuchte? 13:11: S: Mit Sonnenlicht, na die holen sich beide, holen sich ja die Farben. Das Sonnenlicht ist ja, besteht ja aus mehreren Farben. Die holen sich dann eben die Farbe, die sie benötigen.		

13:26: I: Und was machen sie mit der benötigten Farbe? 13:27: S: Ja sie färben sich. In die Farbe, in Rot. 13:37: A: Die ist ja schon rot. 13:43: I: Wir leuchten mit Sonnenlicht auf die Tomate mit dem grünen Stängel und der roten Frucht. Was passiert, warum sehe ich die Tomate rot und den Stängel grün? 13:53: A: Ja wenn Licht draufkommt dann ist es ja noch heller und dann seh ich es noch besser. 14:00: I: Hat das Nichts mit den Lichtsorten zu tun, die im Sonnenlicht vorhanden sind? 14:02: S: Doch. 14:05: A: Nein.		
Paraphrasierung	✓ Kann erklären wann ich einen Apfel rot wahrnehme.	× Glaubt die Farbe bleibt im Gegenstand, und <i>färbt den Gegenstand</i> dadurch. ~ Kann erklären wann ich einen Apfel grün sehe, vergisst jedoch, dass die grüne Farbe ins Auge gelangen muss.
V5 05:25: I: Wie würdest du jemandem erklären warum ich den Apfel rot sehe? 05:30: A: Also die verschiedenen Farben, Sonnenstrahlen, gehen sozusagen in den Apfel rein, und dann werden halt die anderen Farben außer Rot in Wärme umgewandelt, und dann bleibt nur Rot und dann sieht man es rot. 05:45: I: Und Rot strahlt wohin? 05:53: A: Zum Beispiel in die Augen des Betrachters. 05:55: I: Wann sehen wir den Apfel grün? 05:57: S: Wir nehmen den Apfel grün wahr, weil er ein Zwischensender für die grüne Farbe ist, das heißt er nimmt alle Farben außer Grün an. [...] Es wandelt sie in Energie um. 06:21: I: Und mit der grünen Farbe, was macht er damit? 06:23: S: Die wird abgestrahlt.		
Transferbeispiel	✓ Kann richtig erklären was mit dem Licht auf dem Stift passiert. S9 hat auch die Wahrnehmung des roten Apfels richtig gezeichnet.	× Die Farben im Apfelbeispiel hat S10 nicht richtig eingezeichnet. Rot wird bei ihm aufgenommen, die anderen Farben abgestrahlt. Spricht bei den abgestrahlten

		Farben davon, dass die Farben vom Gegenstand wahrgenommen werden. ~ S10 konnte zeichnen wann wir einen Apfel grün wahrnehmen. Bei ihm ist auch Rosa eine Regenbogenfarbe.
--	--	--

V4

19:09: I: Das Licht der Lampe trifft auf den Stift. Was passiert mit dem Licht auf dem Stift?

19:12: A: Ja halt das Licht, das er nicht braucht [...] Die Farben halt, die nichts mit Gelb zu tun haben die werden umgewandelt in Wärme. [...] Die (gelbe Farbe) wird weiter reflektiert.

V5

01:20: S: Mh, es nimmt alle Farben nur Rot nicht wahr, oder was?

01:27: I: Also wie würdest du dieses Bild beschreiben?

01:29: S: Die Sonnenstrahlen fallen auf den Apfel, der Apfel nimmt alle Farben außer Rot wahr die Farbe Rot wird wegge, also abgestrahlt.

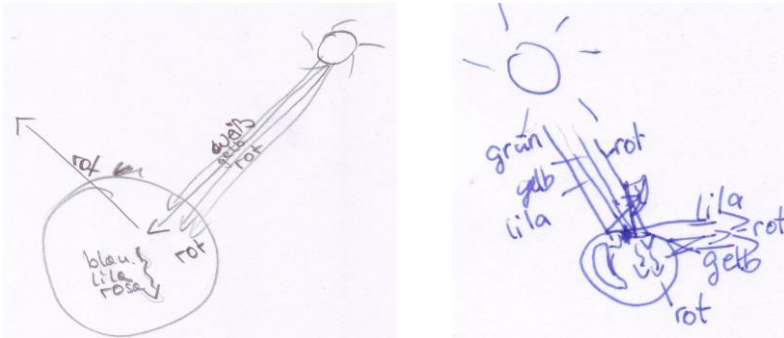


Abbildung 57: links: Zeichnung von S9 , rechts: Zeichnung von S10

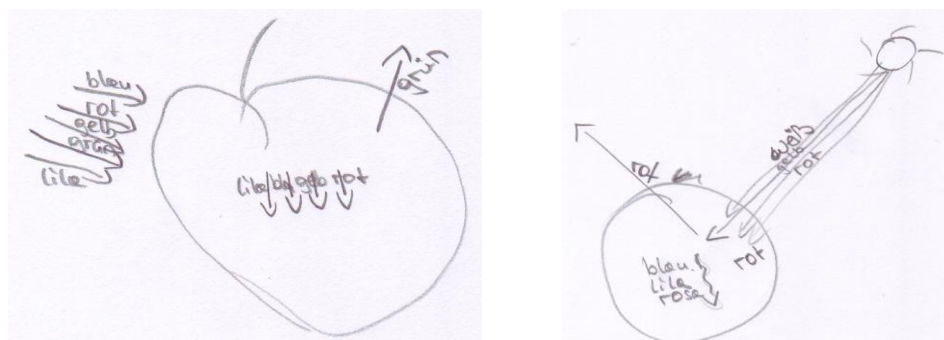


Abbildung 58: links: Zeichnung von S9 , rechts: Zeichnung von S10

KI 8		
Die Energie, die die Lichtstrahlung transportiert, wird nicht weniger oder mehr. Wenn ein Gegenstand weniger Lichtenergie absendet als er aufnimmt, dann wird der Rest hauptsächlich in Wärmeenergie umgewandelt.		
	S9 A	S10 S
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ Kann erklären, dass der Körper einen Teil des Lichts wieder abstrahlt und den anderen Teil des Lichts aufnimmt und in Wärme umwandelt.	~ Geht nur auf jenen Anteil des Lichts ein, der aufgenommen und in Wärme umgewandelt wird, jedoch nicht auf den wieder abgegebenen Teil.
V4 16:54: I: Licht trifft auf den Tisch. Das hat vorher sagen wir die Energiemenge Eins und was passiert dann mit dem Licht? 17:08: S: Das wird in Wärme umgewandelt. [...] Ein kleiner Teil davon. 17:32: I: Und was ist mit dem anderen Teil? 17:43: S: Der bleibt in diesem Körper. 17:39: A: (<i>Schüttelt den Kopf</i>) Also ein Teil wird in Wärme umgewandelt und ein Teil nimmt die Farbe des Lichts und reflektiert weiter. 17:45: I: Und die Farbe des Lichts, hat die eine bestimmte Energie? 17:49: A: Ja schon. 17:55: I: Wie würdet ihr einem Mitschüler erklären was passiert, wenn Licht auf einen Gegenstand trifft? Warum sehen wir diesen Stift Gelb? Da trifft Licht drauf und was passiert dann? 18:04: S: Der Bleistift nimmt das Licht auf und ein Teil davon wird in Wärme umgewandelt. Das kann man sich ungefähr so vorstellen. Wenn man im Sommer im Schwimmbad ist, dann trifft Wärme auf den Körper deshalb werden wir auch braun. Und der andere Teil wird dann in Wärme umgewandelt und wir schwitzen.		
Transferbeispiel		

KI 9		
Der Farbeindruck <i>Weiß</i> entsteht, wenn alle Lichtsorten des Sonnenlichts abgestrahlt werden. Der Farbeindruck <i>Schwarz</i> entsteht, wenn alle Lichtsorten aufgenommen werden. Wir können schwarz erscheinende Gegenstände nur in einer Umgebung wahrnehmen in der es Selbstsender bzw. Zwischensender gibt, die einen Kontrast zu den Konturen des schwarz erscheinenden Körpers bilden.		
	S9 A	S10 S
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	~	~
Paraphrasierung	~ Nach einigen Unklarheiten kann S9 erklären für welche Lichtsorten Schwarz bzw. Weiß Zwischensender bzw. Energiewandler sind.	× S10 kann nicht erklären für welche Lichtsorten Schwarz bzw. Weiß Zwischensender bzw. Energiewandler sind.
V5 08:26: I: Für welche Lichtsorte ist der Würfel der weiß erscheint ein Zwischensender? 08:36: A: Für alle. 08:39: S: Für alle außer Weiß. [...] Äh nein, nur für Weiß. Weil die anderen Farben wandelt er in Energie um, oder? 08:50: A: Nein tut er nicht, er reflektiert sie weiter. 09:24: I: Und für welche Lichtsorten ist er ein Energiewandler? 09:25: S: Schwarz, vielleicht? 10:17: I: Für welche Lichtsorten ist Schwarz ein Zwischensender? 10:22: S: Alle. 10:26: S: Keine. Was war nochmal die Frage? 10:37: S: Aso, gar keine. 10:40: I: Ok und für welche ist er ein Energiewandler? 10:42: S: Für alle. 10:44: A: Also Blau, Rot, Grün, Gelb, halt die da sind.		
Transferbeispiel	✓ Erkennt, dass ein Blinder den Unterschied zwischen Weiß und Schwarz wahrnehmen kann. S9 kann erklären warum wir die Weste schwarz wahrnehmen.	✓ Erkennt, dass ein Blinder den Unterschied zwischen Weiß und Schwarz wahrnehmen kann und kann erklären warum wir ein Blatt Papier weiß wahrnehmen.

	× Meint Schwarz und Weiß sind Farben. ~ Kann nicht ganz richtig erklären warum wir schwarze Gegenstände wahrnehmen können, obwohl sie kein Licht in unser Auge senden.	× Meint schon wieder, dass der Gegenstand in jener Farbe erscheint die er aufnimmt, weil er an den Lichtweg vom Gegenstand ins Auge nicht denkt. ~ Kann nicht ganz richtig erklären warum wir schwarze Gegenstände wahrnehmen können, obwohl sie kein Licht in unser Auge senden.
--	--	---

V5

- 10:53: I: Kann ein Blinder den Unterschied zwischen einem weißen und einem schwarzen Pullover erkennen?
- 11:10: A: Ich glaub schon. Er sieht ja nur dunkel, und vielleicht wenn er was Schwarzes sieht, vielleicht hat er dann so Lichtstrahlen im Auge.
- 11:34: I: Kann ers vielleicht spüren, den Unterschied?
- 11:37: S: Ja die Wärme kann er schon spüren.
- 11:38: I: Gibts einen Wärmeunterschied zwischen Weiß und Schwarz?
- 11:42: A: Ja im Schwarzen ist es wärmer als im Weißen weil Schwarz zieht die Sonnenstrahlen an.
- 11:45: S: Und Weiß strahlt fast alles ab.
- 11:55: I: Und wie würdest du einem Mitschüler erklären, warum wir diesen Zettel weiß sehen?
- 11:56: S: Also er kann Farben nicht in Energie umwandeln, [...] es wird weggestrahlt.
- 12:23: I: Ok und warum sehen wir meine Weste schwarz, A?
- 12:25: A: Es wird nichts zwischenge,..., also es wird nichts reflektiert. Sondern es bleibt halt im Schwarz und wir in Wärme umgewandelt.
- 12:38: I: Würdet ihr sagen, dass Schwarz und Weiß Farben sind?
- 12:43: A&S: Ja.
- 12:45: I: Und warum ist Schwarz und Weiß eine Farbe?
- 12:47: A: Das ist ja eigentlich so wie jede andere Farbe.
- 12:54: I: So wie Rot und Gelb und Blau?
- 12:54: A&S: Schon.
- 13:00: I: Und wenn ich sage Schwarz ist das Fehlen von Farbe und Weiß ist eine Mischung aus allen Farben?
- 13:03: S: Nein, das ist falsch, Schwarz ist eine Mischung aus allen Farben und Weiß ist das Fehlen von Farben.
- 13:12: I: Ok und wie kommst du drauf, das Schwarz eine Mischung von allen Farben ist?

13:15: S: Weil Schwarz eben alle Farben aufnimmt das heißt man kann genauso viele Farben miteinander vermischen wie man möchte, es kommt immer wieder Schwarz raus. Wenn man mehr als zwei Farben miteinander vermischt kommt schwarz raus. Und bei Weiß, Weiß ist weiß, wenn du zu Weiß Rot gibst, dann wird's hellrot, es ist nicht mehr weiß.

13:40: I: Du hast vorher gesagt Weiß ist das Fehlen von Farbe, weil?

13:48: S: Weil es keine Farben aufnehmen kann.

13:54: I: Warum können wir schwarz erscheinende Gegenstände sehen, obwohl sie kein Licht in unser Auge strahlen?

13:57: A: Von der Umgebung. Wenn etwas hell ist und der ist dann schwarz, dann reflektiert das in unser Auge. [...] Na das Licht

14:45: S: Da zum Beispiel bei den Steckdosen. Wir haben ein schwarzes Kabel und ein weißes Kabel. Das schwarze Kabel grenzt sich einfach vom weißen Kabel ab.

14:50: I: Und wie macht das schwarze Kabel das?

14:57: A: Die strahlen kein Licht weiter. Und die weißen Kabel strahlen Licht weiter.

KI 10		
Farbe ist keine Eigenschaft des Gegenstandes. Die Farbe hängt vom Licht ab für den der Gegenstand ein Zwischensender ist und von dem Licht mit dem der Gegenstand beleuchtet wird.		
	S9 A	S10 S
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	~
Paraphrasierung	O: X S9 denkt die Farbe des einfallenden Lichts mischt sich mit der Farbe des Gegenstandes. X Farbe ist für S9 eine Eigenschaft des Gegenstandes. Denkt an die Wasserfarbemischungsregeln Gelb+Blau=Grün.	O: X S10 denkt die Farbe des einfallenden Lichts mischt sich mit der Farbe des Gegenstandes. ✓ Kann richtig erklären warum man einen roten Apfel der mit blauem Licht beleuchtet schwarz wahrnimmt.
V5 19:50: I: Und wie funktioniert das, wieso seh ichs dann in einer anderen Farbe? 20:00: S: Weil die Buntstifte nur eine Farbe haben, also nur eine Farbe zur Auswahl haben. 20:15: I: Ok ich strahle rotes Licht auf den weißen Stift? 20:25: S: Er wird rot. 20:27: I: Ok und ich strahle rotes Licht auf den blauen Stift. 20:36: S: Es wird dann so eine blau-rot Mischung. 20:44: A: Lila. 20:48: I: Ok, wie kommst du auf Lila? 20:50: A: Vom Kindergarten von diesen Malfarben. Rot und Blau ergibt Lila. 21:00: I: Die Farbe des Gegenstandes die wir wahrnehmen, wovon hängt die ab? 21:03: A: Ja vom Licht der Lampe.[...] Von dem Stift der Farbe. 21:15: S: Für welche Farbe der Körper ein Zwischensender ist. 21:20: I: Wie würdet ihr die Aussagen bewerten der Pullover ist gelb, oder er erscheint gelb? 21:35: A: Ja es ist gelb, halt so wenn es wirklich gelb ist. Und erscheint ist es nur wenn Licht drauffällt und du siehst es als Gelb, aber es ist nicht Gelb. Ja wenn jetzt jemand sagt es ist gelb, dann ist es halt angemalt, also es ist gelb, wirklich so, die Farbe ist gelb. V6 00:00 I: Und erscheint gelb, trifft wann zu? 00:03: A: Wenn jetzt zum Beispiel Licht draufstrahlt und dann, es ist nicht Gelb aber du siehst es als Gelb, wegen dem Licht, wegen den Lichtstrahlen.		

Transferbeispiel	×	×
	Kann nicht erklären was passiert wenn man einen grünen Apfel mit rotem Licht beleuchtet. Kann die Transferbeispiele nur teilweise richtig lösen. Glaubt an Farbmischung.	Kann nicht erklären was passiert wenn man einen grünen Apfel mit rotem Licht beleuchtet. Kann die Transferbeispiele nur teilweise richtig lösen. Glaubt an Farbmischung.

V6

04:12: I: Was glaubt ihr passiert, wenn wir einen grünen Apfel mit rotem Licht beleuchten?

04:23: S: Er wäre so rötlich, aber auch eher dunkel, so schwarz. So eher ein dunkelrot.

04:35: A: Auch eher dunkler, so vielleicht dunkelorange, nicht grad rot aber orange.

05:07: I: Wie kommst du auf die Idee?

05:09: A: Weil Blau war ja eine dunkle Farbe und Grün und Rot ist halt nicht wirklich eine dunkle Farbe.

05:17: I: Und was passiert bei Grün und Rot die keine dunklen Farben sind?

05:19: A: Ja die mischen sich dann zu einer helleren Farbe.

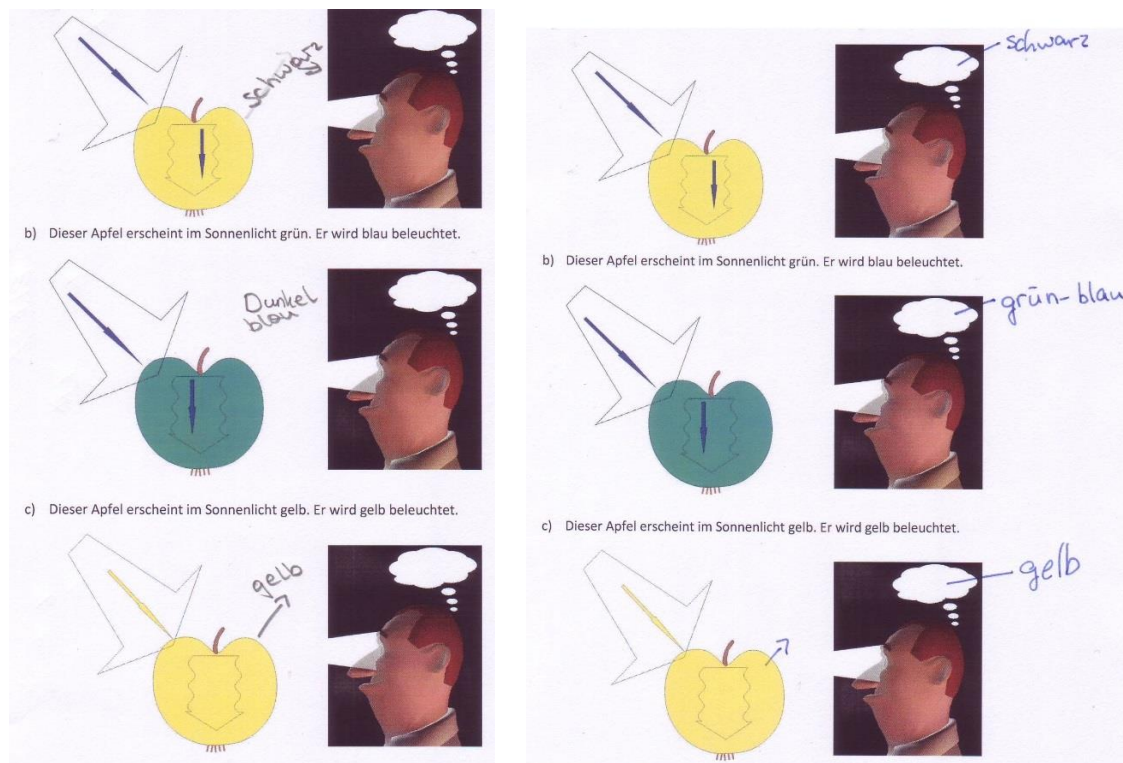


Abbildung 59: links Bild von S9 , rechts Bild von S10

5.8.4 Hauptbefragung 4

Die Hauptbefragung 4 fand am Freitag den 1. März 2013 statt. Die Befragten werden im folgenden S11 (Z) und S12 (P) genannt. Beide Schülerinnen waren zu diesem Zeitpunkt 15 Jahre alt. Schülerin Z besuchte vorher das islamische Gymnasium, Schülerin P die Mittelschule Prinzgasse.

KI 1		
Die Referenzquelle für Licht ist die Sonne. Wenn eine Lampe ähnliches Licht wie die Sonne ausstrahlt, bezeichnen wir auch dieses Licht als sonnenähnliches Licht. Licht kann man nicht nur mischen, sondern auch zerlegen. Sonnenlicht ist eine Mischung verschiedener Lichtsorten.		
	S11 Z	S12 P
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	O: X Für S11 ist Sonnenlicht durchsichtig oder hellgelb, das führt sie auf Kindergartenzeichnungen zurück. X S11 findet es komisch, dass Sonnenlicht aus verschiedenen Lichtsorten bestehen soll.	O: X Licht ist entweder farblos oder hellgelb. S12 beschreibt Licht als Helligkeit. ✓ S12 Findet es nicht komisch, dass Sonnenlicht aus verschiedenen Lichtsorten bestehen soll. Sonnenlicht besteht für sie aus den Grundfarben Grün, Rot und Blau.
V1 04:50: I: Und die Farbe des Sonnenlichts, wie würdet ihr die beschreiben? 05:00: P: Weiß, Gelb, so eine Mischung so ein helles Weiß. Äh helles Gelb. 05:06: Z: Durchsichtig [...]. So hell ganz hell. 05:14: P: Irgendwie farblos würd ich auch sagen, weil Wasser bleibt blau egal ob die Sonne draufscheint oder nicht. Also wenn man in die Sonne schaut kommt es einem als ur helles Gelb vor. 05:30: Z: Ich würd auch Gelb sagen, weil von klein auf zeichnet man die Sonne immer Gelb. [...] Sie ist helles Gelb. 05:38: I: Und was stellt ihr euch unter weißem Licht vor? 05:40: Z: UV, Laser. 05:41: P: Nein, den Tod. [...] Man sagt ja so man geht jetzt ins weiße Licht. Vielleicht ur so Scheinwerfer so,... 05:50: I: Ok welche Dinge strahlen weißes Licht aus? 05:53: Z: Elektronische. 05:54: P: Wie heißt das, eh so ähnliche. Glühlampen, wie heißen diese Stangen? 06:00: I: Leuchtstoffröhre? 06:01: P: Ja, vielleicht die weiß. 06:07: Z: Ja, Laser und so weiter. Die künstlichen Farben, also künstliche Lichter. 06:28: I: Und wie würdet ihr jemandem den Unterschied zwischen gelbem und weißem Licht erklären? 06:30: P: Ich könnte es nicht, weil für mich ist Licht einfach hell. Ich hab noch nie		

wirklich darüber nachgedacht, ob das jetzt gelbes oder weißes Licht ist. 06:42: Z: Gelbes Licht ist eher so irgendwie natürlicher, weils von der Sonne irgendwie so aufgenommen wird. Und weißes Licht ist eher so eine künstliche Farbe und die verarbeitet worden ist oder so denk ich mal.		
Paraphrasierung	N: ✓	N: ✓
	Lichtsorten sind Farben. ~ Kann erst bei Nachlesen zusammenfassen, was sie über das Sonnenlicht gelernt hat.	Lichtsorten sind Farben. ~ Kann erst bei Nachlesen zusammenfassen, was sie über das Sonnenlicht gelernt hat.
V1 16:42: I: Und was stellt ihr euch unter einer Lichtsorte vor? 16:54: P: Vielleicht dass es verschiedene Arten von Schwingungen von Sonnenlicht gibt? 17:06: Z: Ja, ich finde auch, dass es Farben sind. 17:16: I: Ok, das heißt für dich sind Lichtsorten Farben. Für dich auch? 17:16: P: Ja. 17:20: I: Wie würdet ihr wem anderen erklären, was ihr über die Zusammensetzung von Sonnenlicht schon wisst? 17:45: Z: Ja, da steht halt, dass es eine Mischung aus verschiedenen Lichtsorten ist, und wie wir gesagt haben, denken wir, dass Lichtsorten Farben sind. Denken wir also das Licht, es ist eine Mischung aus mehreren Farben. 18:02: P: Ja, ich stimme ihr zu.		
Transferbeispiel	×	×
	Glühbirnen und Leuchtstoffröhren strahlen kein sonnenähnliches Licht aus.	S12 sagt zuerst Glühbirnen strahlen sonnenähnliches Licht aus, später meint sie jedoch, dass man Sonnenlicht nicht nachmachen kann und begründet dies mit Sinneseindrücken.
V1 16:08: I: Könnt ihr Dinge nennen, die sonnenähnliches Licht ausstrahlen? 16:10: P: Glühbirnen. 16:20: Z: Keine Ahnung. 16:22: I: Strahlt die Leuchtstoffröhre sonnenähnliches Licht aus? 16:24: Z: Nein. 16:25: P: Man kann kein Licht mit dem von dem Sonnenlicht irgendwie vergleichen, weil wenn man am Abend das Licht anmacht dann wird's nie so wie am Tag hell sein. 16:38: I: Und eine Glühbirne, strahlt die sonnenähnliches Licht aus? 16:40: Z: Nein.		

KI 2		
Das Sonnenlicht lässt sich mit Hilfe eines Prismas in seine Lichtsorten zerlegen. Mit einer Linse lassen sich die Lichtsorten wieder zu Sonnenlicht vermischen.		
	S11 Z	S12 P
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ Kann den Prismenversuch richtig wiedergeben. S11 erklärt den Versuch mit der Linse richtig.	✓ S12 hat eine <i>Teilchenvorstellung</i> zu Licht und geht auf die Geschwindigkeitsänderung im Prisma ein. Kann den Prismenversuch erklären. S11 kann erklären, dass die Linse das Licht zu Sonnenlicht vermischt.
V1 21:45: I: Also was macht ein Prisma mit dem Sonnenlicht? 21:48: Z: Das bricht das Licht. 21:52: P: Es verlangsamt es und jede Farbe ist anders schnell. Und ich glaub halt so, ist stell mir das so vor, wie lauter so kleine Männchen die dann so laufen und nur so bis zum Prisma und jeder ist anders schnell und jeder wird anders wiedergeben halt. Jeder macht dann so einen Solo Trip. Einmal Rot, einmal Blau einmal Gelb. 21:57: Z: Die Geschwindigkeit wird anders schnell. V2 00:12: I: Und wie macht das Prisma das? 00:14: Z: Es ist aus Glas. 00:16: P: Es hat so eine Form. Und da muss das Licht erst durch, durchkämpfen so. 00:20: I: Du hast gesagt es ist aus Glas, das ist die Fensterscheibe aber auch. Kann die Fensterscheibe das auch? 00:25: Z: Die ist aber glatt. Vielleicht dass es zwei Kanten aneinander (<i>formt ein Dach mit den Händen</i>) Da kommts einmal hier und dann wird's da gestoppt und dann hier noch einmal. (<i>Zeigt die Brechung mit ihren Händen</i>) noch mal geknickt, also gebrochen. 00:49: I: Und wie würdet ihr einem Mitschüler den Versuch erklären, den wir gerade gemacht haben? 00:54: Z: Also verschiedene ähm Arten von Licht werden in dem Prisma oder,... Soll ichs mit Prisma erzählen, oder mit Overheadprojektor? [...] Sonnenähnliches Licht wird projiziert und die Farben die drauf sind werden durch ein Prisma an die Wand projiziert oder so und die werden gebrochen und da entstehen halt verschiedene Farben. 01:25: I: Und die entstehen durch das Prisma oder die gibt's vorher schon?		

01:30: Z: Die gibt's vorher schon.
 01:35: I: Und P, wie würdest du das erklären?
 01:38: P: Auch so, halt dass man den [...] Overhead anmacht und dann der Overhead schickt das Licht auf diesen oberen Teil und das Prisma tut das dann brechen und auf die Leinwand projizieren.

V3

07:33: I: Also was macht die Linse mit dem Licht?
 07:56: P: Es ist eh beschrieben mit dem Puzzle. Jede Lichtfarbe [...] ist ein Puzzlestück und man braucht alle Puzzleteile damit das Sonnenlicht ist. Und die Linse ist wie so ein Schlichter der schlichtet das und bündelt und das gelangt ins Auge wieder.
 08:00: I: Mh, wie stellst du dir das vor mit dem Schlichten. Die Linse schlichtet das Licht?
 08:07: P: Ja, die tut das Vermischen halt so zusammenbringen, vereint.
 08:20: Z: Nein er verkleinert das irgendwie. Oder er bringt es zurück?
 08:24: I: Was verkleinert es?
 08:27: Z: Die Fläche wo es ankommt? Den Teil da (*zeigt auf das Sonnenlicht in Abbildung 13*) der wird immer kleiner. Und dann sieht man nur so ein kleines Sonnenlicht.
 09:12: I: Und wie würdet ihr jemand anderem erklären, was wir bei dem Versuch gemacht haben?
 09:15: Z: Das alle Farben durch die Linse auf einen Punkt kommen und dann ein Sonnenlicht wird daraus.
 09:24: P: Das es alle Farben auf einen Punkt gezielt hat.

Transferbeispiel	~	✓
	Der Regenbogen entsteht durch die Brechung des Lichts von Wasser auf dem Boden.	Der Regenbogen entsteht durch die Brechung des Lichts an Regentropfen.
	×	✓
	Glaubt nicht, dass Orange im Sonnenlicht vorkommt und gibt an, dass die Reihenfolge der Farben vertauscht sei.	Erkennt, dass zweimalige Brechung eingezeichnet werden müsste, und dass die Farbe Magenta falsch ist.
	~	✓
	Zeichnet keine Brechung beim Eintreten des Strahls, Rot wird jedoch weniger stark gebrochen als Blau.	Strahlen werden zweimal gebrochen, zwischen Rot und Blau gibt es einen Unterschied.
	×	✓
	Vergisst Farben und	Zeichnet den Farbverlauf richtig ein.

	vertauscht auch die Reihenfolge von Lila und Blau.	
--	--	--

V2

02:12: I: Könnt ihr nun erklären, warum ein Regenbogen aus diesen bunten Streifen besteht?

02:14: Z: Wasser und Sonnenlicht. Wir haben ja gesagt, dass Wasser ein Hindernis ist für Sonnenlicht und,...

02:20: P: Wie Glas, weil Wasser ist rund, und wenns gebrochen wird, ist es ähnlich wie beim Prisma wahrscheinlich und das würden dann die einzelnen Farben wieder ergeben.

02:38: Z: Ich hab noch eine andere Idee: Es ist auf dem Boden so eine Pfütze, zum Beispiel so eine Wasserpfütze und Licht, Licht besteht aus einer Farbe, das wir dann, das kommt dann auf diese Pfütze das bricht dann, Wasser bricht das Ganze und das, da entstehen dann verschiedene Farben.

03:07: I: Fallen euch bei dieser Abbildung irgendwelche Fehler auf?

03:13: Z: Pink [...] Und die Reihenfolge ist irgendwie falsch denke ich mal wegen Grün und, ich glaub,... Ich find die Reihenfolge ist falsch.

03:25: P: Nein das passt. Aber wies reinkommt. Irgendwie wurde es immer in einem bestimmten Grad gebrochen.

03:54: Z: Ich find das (*zeigt auf die Farbe Orange*) ist falsch das gibt's ja hier nicht. [...] Die zweite (*Orange*) und die vorletzte (*Magenta*) Farbe.

03:55: P: Ich find ein bisschen Orange ok, aber Pink gibt's gar nicht.

04:48: P: Ich finds überhaupt ein bisschen falsch, weil es sollte alles gebrochen sein.

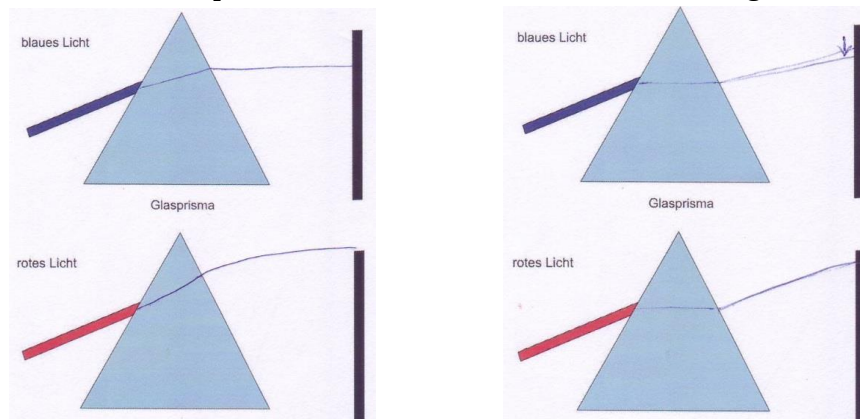


Abbildung 60: links Bild von S11, rechts Bild von S12

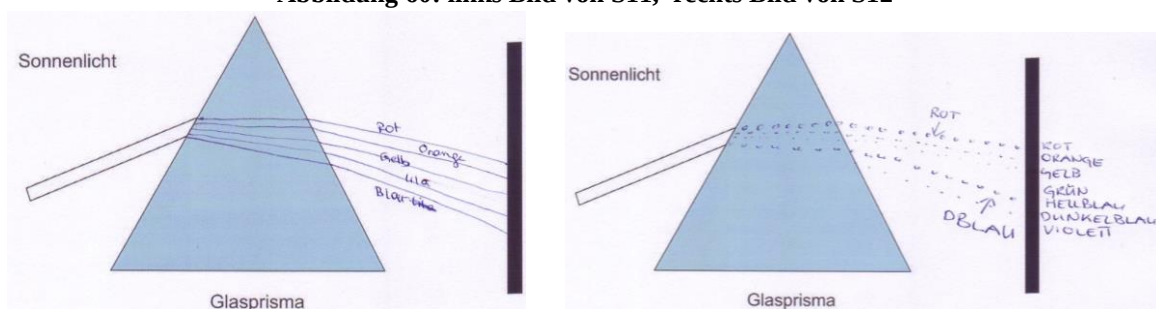


Abbildung 61: links Bild von S11, rechts Bild von S12

KI 3		
Farbfilter transmittieren nur bestimmte Bereiche des sichtbaren Spektrums, die anderen Anteile werden absorbiert.		
	S11 Z	S12 P
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ S11 kann die Funktionsweise eines Farbfilters erklären.	✓ S12 kann die Funktionsweise eines Farbfilters erklären.
V2 15:58: I: Und wie würdet ihr irgendjemand anderem die Funktion eines Farbfilters erklären? 16:03: P: Wie ein Sieb, weil zum Beispiel der rote Farbfilter lässt nur die Roten durch. Weil die zum Beispiel die kleinsten sind und die anderen sind zu groß die werden dann halt in was anderes umgewandelt, die bleiben hängen im Sieb und dann,... 16:25: I: Wie würdest du erklären? 16:27: Z: Eh mit dem Sieb. Das Beispiel ist sehr gut. Man nimmt nur wenns grün ist die grüne Farbe und wenns rot ist die rote Farbe.		
Transferbeispiel	× Spricht von hellen und dunklen Farben und Farbmischung beim Farbfilter. ~ Meint, dass gelbes plus blaues Licht grünes Licht ergibt. S11 erkennt, dass man nur den blauen Streifen durch eine blaue Brille sehen würde und die anderen Streifen schwarz wahrnehmen würde.	✓ Erkennt, dass wenn man blaues Licht auf einen Grünfilter schickt der Filter alles absorbiert. × Glaubt, sie würde beim Blick durch die blaue Brille alle anderen Farben außer Blau wahrnehmen.
V2 16:38: I: Und wenn ich blaues Licht auf einen Grünfilter schicke? 16:40: P&Z: Dann ist es schwarz. 16:43: Z: Weil die nicht dieselben Farben haben und das ist dann irgendwie zu dunkel und man siehts schwarz. 16:47: P: Sie passen nicht durch das Sieb. 16:48: I: Wie hast du gemeint, es ist dann zu dunkel und dann wird's schwarz? 16:54: Z: Äh das sind zwei dunkle Farben, wenn man sie aufeinander legt dann sind sie		

halt schwarz. Wenn man sie mischt oder so.

17:00: I: Und was sind helle Farben, ist Rot eine helle Farbe?

17:05: Z: Etwas heller als Blau.

17:07: I: Und Gelb?

17:08: Z: Ja auch.

17:10: I: Und wenn ich gelbes Licht durch einen Rotfilter schicke?

17:12: Z: Das ist trotzdem auch noch schwarz, aber die passen halt nicht zueinander. Sie müssen dieselben Farben haben, das meine ich damit.

17:40: I: Stellt euch vor, ihr habt eine Sonnenbrille mit blauen Gläsern auf und ihr schaut einen Regenbogen an, was würdet ihr da sehen?

17:46: Z: Nur den blauen Streifen.

17:51: P: Ich glaub ich würd gar nichts mehr sehen. Ich glaub ich würd eher die anderen Farben statt blau sehen.

17:58: I: Ok, wie kommst du auf die Idee?

18:00: P: Weil ich sehe dann blau, und wenn ich dann nochmal auf Blau schau, dann kommts mir vor wie wenn, als obs dunkel wär einfach.

18:16: I: Ok und wenn du auf die Farbe Gelb schaust?

18:18: Z: Wenn du Blau und Gelb mischst dann ist es grün, oder?

18:23: P: Ja dann würde eben irgendeine Farbmischung dabei rauskommen oder so.

18:32: Z: Ich würd Schwarz sehen, also die anderen Farben Schwarz und [...] Blau würde ich dann als Blau sehen. Gelb würde ich auch Schwarz sehen, weil das ist ja so wie beim Sieb, der kann nicht reinkommen. Das geht einfach nicht.

18:50: I: Und vorher hast du gesagt, dass Gelb und Blau Grün ergibt?

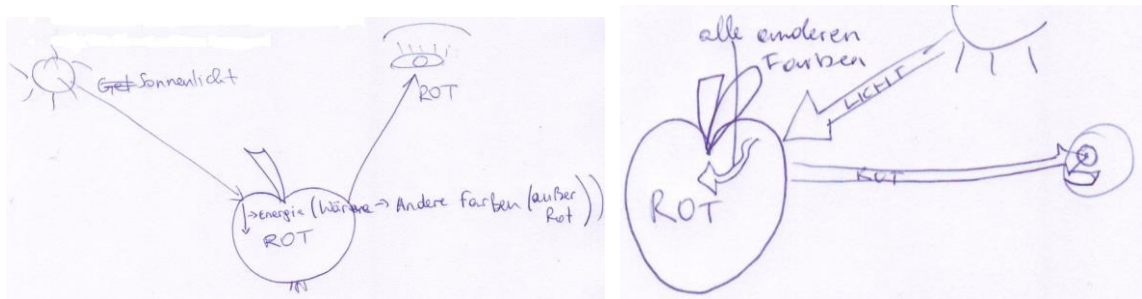
18:52: Z: Ja das ist einfach so eine Farbmischung, ich dachte sie meint es so.

KI 4		
Spektralfarben sind monochromatisch.		
	S11 Z	S12 P
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
V2 21:55: I: Und was stellt ihr euch unter monochromatischem Licht vor? V3 00:00: P: Mono heißt ja Eins. Chromatisch ist vielleicht die Bezeichnung für Farbe. 00:08: Z: Einfarbig. 00:12: P: Sag ich auch.		
Paraphrasierung	✓ S11 kann das Wort monochromatisch erklären.	✓ S12 kann das Wort monochromatisch erklären.
V3 00:16: I: Wo kommt monochromatisches Licht vor? 00:19: P: Rot, Grün und Blau. 00:22: Z: Farbiges Licht, das nicht zerlegt werden kann. 00:23: I: Das Licht, das sich nicht brechen kann. Also Licht, das man benutzt um andere Farben zu erzeugen. 02:32: I: Wie würdet ihr jemand anderem erklären, was das Wort monochromatisch bedeutet? 02:34: P: Ich würds erst mal probieren so stückweise. Also mono bedeutet einzeln, chromatisch ist wahrscheinlich Farbe oder so. Monochromatisch einzelne Farbe oder so, das heißt es kann nicht aufgeteilt werden in andere Farben, weils eine einzelne Farbe ist, es besteht aus sich selbst. Gelb zum Beispiel besteht aus Grün und Rot. 03:05: Z: Das mit dem einfarbig würd ich erklären und dann halt erzählen, dass man es nicht zerlegen kann und in verschiedene Lichtfarben und so.		
Transferbeispiel	✓ Erkennt, dass Sonnenlicht nicht monochromatisch ist und, dass man mit einem Prisma testen kann, ob Licht monochromatisch ist oder nicht.	✓ Kann Beispiele für monochromatisches Licht nennen. Erkennt, dass Sonnenlicht nicht monochromatisch ist.
V3 00:50: I: Was für Dinge strahlen dann monochromatisches Licht aus? Was für Gegenstände, Lampen oder so? Ist das (<i>zeigt auf die farbigen Glühbirnen</i>) monochromatisch? 01:29: P: Ja.		

01:30: I: Das heißt kann ichs in andere Farben zerlegen?
01:31: P: Nein.
01:40: Z: Ich glaub ja, [...] also monochromatisch.
01:44: I: Ist blaues Licht monochromatisch?
01:46: P: Ja.
01:47: Z: Warum nicht.
01:50: I: Und ist Sonnenlicht monochromatisch?
01:51: P&Z: Nein.
01:53: I: Warum nicht?
01:57: P: Es ergibt einen Regenbogen.
03:14: I: Und wie kann man testen, ob eine bestimmte Lichtsorte monochromatisch ist oder nicht?
03:17: P: Einfach ein Prisma reinhalten.
03:28: Z: Ja ich würds auch mit dem Prisma machen.

KI 5		
Ein Gegenstand ist entweder ein Selbstsender (selbstleuchtend) oder ein Zwischensender (muss beleuchtet werden). Damit wir einen Gegenstand wahrnehmen muss Licht vom Gegenstand in unser Auge fallen.		
	S11 Z	S12 P
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ S11 kann erklären, was ein Selbstsender ist und Zwischensender nennen.	✓ S12 kann erklären, was ein Zwischensender ist Selbstsender nennen.
V3 15:42: I: Und was gibt es für Arten von Sendern? 15:46: P: Zwischensender und Selbstsender. 15:50: I: Und was ist ein Selbstsender? 15:54: Z: Also der das Licht selbst erzeugt und sendet. 16:00: I: Und was ist ein Zwischensender? 16:01: P: Einer auf den das Licht strahlt und der es abstrahlt. 16:07: I: Ok und könnt ihr Beispiele nennen? Nenn mir Beispiele für Selbstsender. 16:09: P: Glühbirne, Sonne,... 16:17: I: Ok und Beispiele für Zwischensender? 16:19: Z: Geodreieck, Tisch, alles was nicht Licht erzeugt.		
Transferbeispiel	✓ S11 kann erklären, warum man den Tisch sieht. Erkennt, dass man einen Zwischensender nicht sieht, wenn es vollkommen dunkel ist.	✓ S12 kann erklären, warum man die Leuchtstoffröhre sieht. Erkennt, dass man einen Selbstsender sieht, wenn es vollkommen dunkel ist.
V3 17:11: I: Kann man einen Selbstsender sehen, wenns vollkommen dunkel ist? Wenn er eingeschaltet ist? 17:23: P&Z: Ja. 17:14: I: Und kann man einen Zwischensender sehen, wenns vollkommen dunkel ist? 17:27: P&Z: Nein. 17:30: Z: Weil kein Licht das reflektiert werden kann. 17:36: I: Warum siehst du eine Leuchtstoffröhre da im Klassenzimmer? Warum kannst du die sehen? 17:39: Z: Weils beleuchtet ist und direkt in mein Auge kommt. 17:40: I: Und warum sehe ich den Tisch? 17:43: P: Zwischensender, weil Licht von der Röhre draufscheint und von dort in mein Auge.		

KI 6		
Wenn Licht auf Materie trifft, wird ein Teil des Lichtes abgestrahlt, der andere Teil wird aufgenommen und in Wärme umgewandelt.		
	S11 Z	S12 P
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ Licht trifft auf ein Objekt, es wird aufgenommen, das Objekt erwärmt sich, ein Teil wird abgestrahlt.	✓ Alle Farben die aufgenommen werden, werden in Wärme umgewandelt. Die grüne Farbe wird wieder abgestrahlt. Die Lichtteilchen, die nicht die Farbe der Oberfläche haben, erwärmen den Körper.
V4 00:55: I: Und wie stellt ihr euch das vor, mit dem Aufnehmen und dem Abstrahlen? 01:15: Z: Beim Wasser. [...] Sonnenstrahl kommt ins Wasser rein und das wird ja etwas wärmer und da wird es aufgenommen und es wird ja auch reflektiert weil es ein Zwischensender ist. Ich stell's mir so vor. 01:25: P: Wie bei der Box (<i>Abbildung grüner Würfel</i>), also es ist wie ein Sieb und das Licht kommt rein und alles Rote, halt alle Farben die jetzt nicht grünlich sind, werden aufgenommen und erwärmen die Box und alles was grün ist wird abgestoßen. Ab, als Zwischensender weiter geschickt. 04:48: I: Also was passiert mit dem Licht, wenn es auf einen Gegenstand trifft? Was passiert im Körper? 04:52: P: Er wird erwärmt von den Lichtteilchen. Die die nicht die Farbe von der Oberfläche haben. 04:59: Z: Ich stimme ihr zu.		
Transferbeispiel		✓ Erklärt richtig, warum das T-shirt blau erscheint.
V4 02:06: I: Und wie würdet ihr erklären warum ich mein Leiberl da blau sehe? 02:18: P: Weils so gefärbt wurde? Weils nur die blaue Farbe, weils die anderen Farben in Wärme umwandelt und Blau wieder abstrahlt. [...] Und dann wird's wieder irgendwie ins Auge.		

KI 7		
Der Gegenstand erscheint in jener Lichtsorte des Sonnenlichts, die abgestrahlt wird bzw. als Mischung jener Lichtsorten, alle anderen Farbanteile werden hauptsächlich in Wärme umgewandelt.		
	S11 Z	S12 P
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ Kann zeichnen, wann wir einen roten Apfel rot wahrnehmen.	✓ Kann zeichnen, wann wir einen roten Apfel rot wahrnehmen.
 Abbildung 62: links Zeichnung von S11, rechts Zeichnung von S12		
Transferbeispiel	✓ Erkennt, dass das rote Blatt das Licht nicht färbt. ✓ Kann erklären, warum wir einen gelb erscheinenden Apfel gelb wahrnehmen.	~ Sagt zwar, dass das Blatt das Licht färbt, erklärt den Vorgang jedoch richtig. ✓ S12 kann erklären, warum wir einen rot erscheinenden Apfel rot wahrnehmen.
V3 19:42: I: Und wenn jemand behaupten würde, das rote Blatt färbt das weiße Licht der Taschenlampe rot. Hat er Recht, oder nicht? 20:02: P: Ja, weil es ja nur die roten weiterschickt, und die anderen umwandelt, in Energie, in Wärme. 20:07: Z: Ich bin mir nicht sicher, weil ich denk eher, dass das Lichtstrahlen von dem Papier reflektiert wird, also die Farben vom Papier, nicht von der Taschenlampe. Weil die Taschenlampe ist ja eigentlich diese Farbe (<i>zeigt auf den weißen Lichtpunkt in Abbildung 14</i>) und egal was, weil die kann man eigentlich nicht vermischen mit der Farbe vom Papier. 20:38: I: Das heißt, strahlt das Papier selber Licht aus? Ein anderes Licht als das Licht von der Taschenlampe? 20:40: Z: Nein, eh das von der Taschenlampe, aber es wird halt nicht gefärbt [...].		

- 10:00: I: Wie würdet ihr jemandem erklären, also es gibt einen grünen Apfel, warum wir den Apfel grün sehen?
- 10:10: P: Weil das Licht strahlt drauf und alle Farben bis auf die grüne Farbe werden von dem Apfel aufgenommen als Wärme und nur die grüne Farbe wird weitergegeben ans Auge oder an einen anderen Zwischensender. Bis es ins Auge gelangt und deswegen sehen wir den Apfel grün.
- 10:27: I: Und wie würdest du jemand anderem erklären wann ich einen gelben Apfel gelb sehe?
- 10:29: Z: Das Sonnenlicht hat verschiedene Farben, und da ist auch Gelb dabei. Und wenn sie in einen gelben Apfel reinkommen werden sie gefiltert und die gelbe Farbe geht wieder raus und kommt in die Linse und die anderen Farben werden als Energie, Wärme und so weiter umgewandelt und bleiben im Apfel.

KI 8		
Die Energie, die die Lichtstrahlung transportiert, wird nicht weniger oder mehr. Wenn ein Gegenstand weniger Lichtenergie absendet als er aufnimmt, dann wird der Rest hauptsächlich in Wärmeenergie umgewandelt.		
	S11 Z	S12 P
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	~	~
Paraphrasierung	~ Erkennt, dass das abgestrahlte Licht weniger Energie als das einfallende besitzt. Kann jedoch keine Gleichung formulieren.	~ Erkennt, dass das abgestrahlte Licht weniger Energie als das einfallende besitzt. Ein Teil des Lichts wird in Wärme umgewandelt. Kann keine Gleichung formulieren.
V4 05:04: I: Sonnenlicht mit einer bestimmten Energie trifft auf diesen Stift oder so, ein Teil des Sonnenlichts wird abgestrahlt, und wie schaut das mit den Energien aus? Also Sonnenlicht hat Energie Eins oder so, trifft da drauf und spaltet sich die Energie? 05:39: P: Die Energie vom Sonnenlicht, halt die Wärme, das ist ein Plus zu der Wärme der Energieumwandlung. 05:57: I: Hat das Licht das weggestrahlt wird eine Energie? 05:59: Z: Nein. 06:00: P: Ja. 06:05: I: Aha, könnt ihr euch irgendwie einigen? 06:07: P: Weil wenns dann irgendwo drauftrifft wird's dann auch zu Energie. Verstehst du? 06:11: Z: Aber das kommt dann ins Auge und dann ist Schluss, aus, basta. 06:20: P: Ich würd eigentlich ja sagen. [...] Schau, das hier (<i>Kugelschreiber</i>) ist jetzt dunkelblau. Sagen wir Blau wird weitergeleitet und kommt jetzt auf das grüne (<i>T-shirt</i>) dann wird's da auch in Energie umgewandelt, dann gibt es das nicht mehr. Verstehst du? 06:34: Z: Aso, ja. 06:30: I: Und zwar was für eine Energie hat das Licht, das abgestrahlt wird, gleich viel wie das Sonnenlicht das eintrifft, weniger als das Sonnenlicht oder mehr? 06:40: P&Z: Weniger. 06:42: I: Wie kommt ihr auf weniger? 06:45: P: Weils weniger, halt weniger zum Wegdingsen ist. 06:49: Z: Und die Geschwindigkeit haben wir ja gesagt, die wird weniger, also muss unbedingt die Energie auch weniger sein. Weil das hat ja irgendwie auch mit der Bewegungsenergie zu tun, oder?		
Transferbeispiel		

KI 9		
Der Farbeindruck Weiß entsteht, wenn alle Lichtsorten des Sonnenlichts abgestrahlt werden. Der Farbeindruck Schwarz entsteht, wenn alle Lichtsorten aufgenommen werden. Wir können schwarz erscheinende Gegenstände nur wegen ihrer Umgebung wahrnehmen.		
	S11 Z	S12 P
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	✓	✓
Paraphrasierung	✓ Kann erklären, wann wir einen Gegenstand weiß wahrnehmen.	✓ S12 erkennt, warum wir schwarze Gegenstände wahrnehmen, obwohl sie kein Licht in unser Auge senden. Kann erklären, wann wir einen Gegenstand schwarz wahrnehmen.
V4 13:51: P: Weil mit einem schwarzen Sakko nehme ich eigentlich nur die Form wahr. Weil alles tut weitersenden nur das Sakko, das Schwarze nicht. Und dann ist es wie so ein Loch und das wird aufgefüllt. 14:30: I: Und wie würdet ihr jemandem erklären, wann ich einen Gegenstand weiß sehe? 14:35: Z: Das speichert keine Energien und reflektiert alle Farben. Alle, alle, die Farben vom Sonnenlicht halt. 14:43: I: Und warum erscheint er uns dann weiß, wenn er alle Farben reflektiert? 14:45: Z: Weil alle Farben dann als Sonnenlicht erscheinen und Sonnenlicht ist weiß, oder? 14:54: I: Und wann sehen wir einen Gegenstand schwarz? 14:55: P: Wenn er alle Farben enthält, weil er sich von der Umgebung absetzt. Er nimmt alle Farben auf. Er enthält keine Farben und er nimmt alle Farben auf. Dadurch das nichts abgestrahlt wird, das heißt keine Farbe weitergibt, erscheint er, als ob er gar nicht da wäre und da würde sich in dem Raum ein Loch bilden, das wird ausgefüllt dann mit Schwarz vom Auge.		
Transferbeispiel	✓ Für S11 sind Schwarz und Weiß keine Farben. Weiß ist eine Mischung aus allen Farben. × Kann nicht erklären warum wir schwarze Gegenstände wahrnehmen, obwohl sie kein Licht in unser Auge senden.	✓ Ein Blinder kann durch Berühren feststellen, ob ein Pullover schwarz oder weiß erscheint. × Schwarz und Weiß sind Farben.

V4

14:14: I: Kann ein Blinder den Unterschied zwischen einem schwarzen und einem weißen Pullover erkennen?

14:19: Z: Ja.

14:20: P: Ja, wenn er ihn anfasst dann vielleicht, aber so sehen nicht.

15:28: I: Würdet ihr sagen Schwarz und Weiß ist eine Farbe?

15:35: Z: Nein.

15:36: P: Ja, das ist immer so eine Diskussion ob Schwarz und Weiß Farben sind. Für mich ist es eine.

15:15: Z: Nein, weil da (*weißer Würfel*) wird ja alles zurückreflektiert. Das ist ja eine Mischung aus mehreren Farben. Und da (*schwarzer Würfel*) ist es wieder eine Mischung aus mehreren Farben.

16:00: I: Aber was passiert mit der Mischung?

16:01: Z: Die wird nicht wieder zurückreflektiert.

16:07: P: Für mich ist alles eine Farbe. Ist einfach so. Schwarz ist eine Farbe, Weiß ist eine Farbe und Blau, Gelb, Grün,...

KI 10		
Farbe ist keine Eigenschaft des Gegenstandes. Die Farbe hängt vom Licht ab für den der Gegenstand ein Zwischensender ist und von dem Licht mit dem der Gegenstand beleuchtet wird.		
	S11 Z	S12 P
Textakzeptanz	✓	✓
Key-Idea Akzeptanz	~	~
Paraphrasierung	✓ Erklärt richtig, dass wir einen grünen Stift im blauen Licht schwarz wahrnehmen. Meint die Aussage <i>erscheint gelb</i> ist passender.	~ S12 denkt Farbe sei eine Eigenschaft des Gegenstandes.
V4 01:39: I: Wenn ich zum Beispiel den grünen Stift mit blauem Licht beleuchte. Wie würde ich den grünen Stift sehen? 01:41: Z: Schwarz. 01:44: P: Schwarz glaube ich auch. 01:45: I: Aha, warum? 01:46: Z: Da kein blaues Licht ist, das wieder zurückreflektiert werden kann. 01:51: I: Mh, und wenn jemand sagt, das grüne mischt sich mit dem blauen, das sind beides dunkle Farben, die vermischen sich, ist das richtig? 01:59: P&Z: Nein, mhmh. 02:00: I: Warum nicht? 02:02: P: Weil das ja keine Lichtquellen sind, die sich vermischen. 02:19: I: Wovon hängt die Farbe ab, die wir wahrnehmen von einem Gegenstand? 02:25: P: Von der Farbe des Gegenstandes und vom Licht. Von beidem. 02:29: Z: Mh. 02:36: I: Ich sag euch zwei Aussagen: Der Pullover ist gelb, oder er erscheint uns gelb. 02:36: Z: Erscheint uns gelb ist richtig. 02:39: P: Ist gelb. 02:40: I: Ok, warum? 02:43: P: Weils ja nur die gelbe Farbe weiterstrahlen kann. Er erscheint mir nicht gelb, er muss gelb sein, wenn er Gelb weiterstrahlt. 02:50: I: Und wenn ich ihn mit blauem Licht beleuchte? Ist er dann immer noch gelb? 02:51: P: Oh Gott, nein. 02:55: I: Erscheint er dann anders, oder ist er dann anders? 02:56: P: Er erscheint anders. Ok er erscheint gelb.		
Transferbeispiel	✓ Transferbeispiele wurden richtig gelöst. Kann erklären	✓ Transferbeispiele wurden richtig gelöst.

	wie man einen grünen Apfel der mit rotem Licht beleuchtet wird, wahrnimmt.	
--	---	--

V4

07:28: I: Was glaubst du passiert, wenn man einen grünen Apfel mit rotem Licht beleuchtet?

07:29: Z: Die bleibt gleich, aber mans siehts halt schwarz. Der Apfel ist grün, rotes Licht. Da kommt rotes Licht rein, halt die wird als Energie verwendet und Wärme und reflektiert wird's dann schwarz.

07:50: I: Wird schwarz reflektiert?

07:51: Z: Nein, also man siehts schwarz.

07:52: I: Und was wird dann reflektiert wenn mans schwarz sieht?

07:55: Z: Nichts.

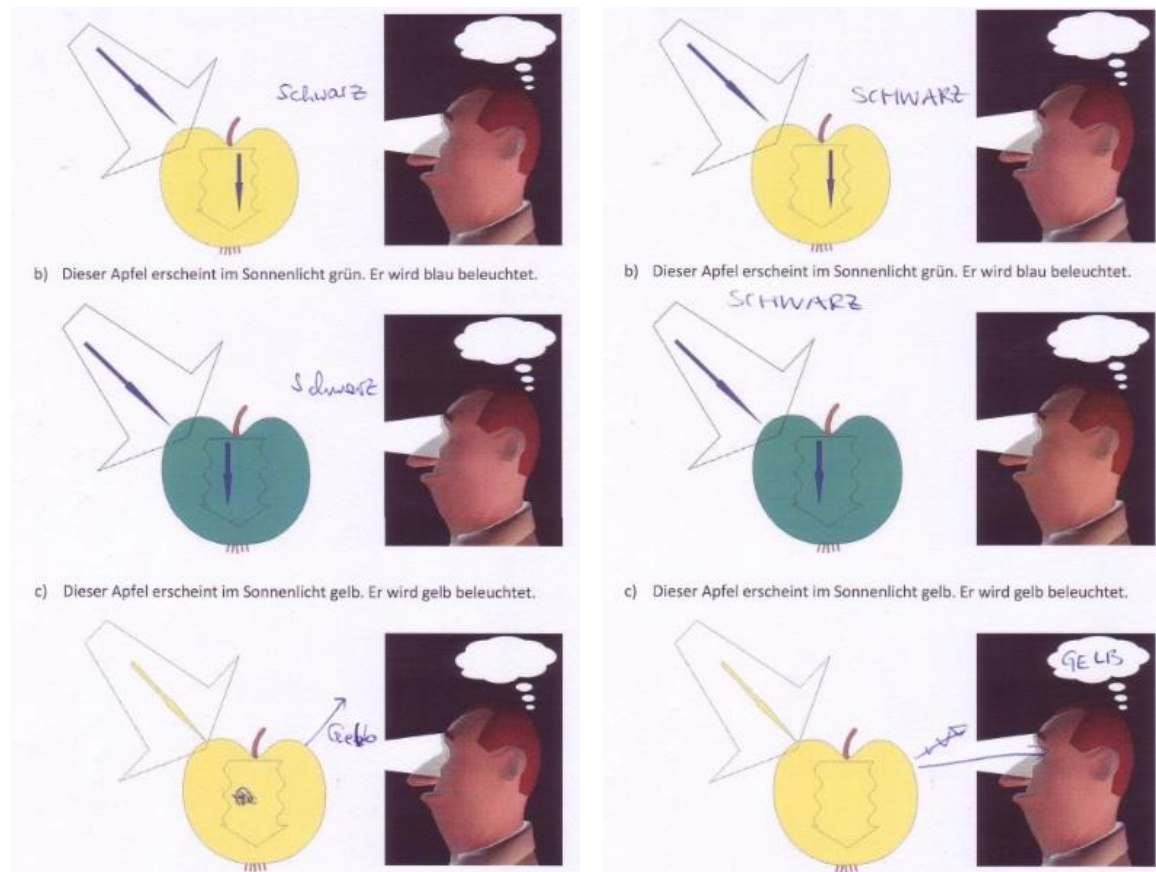


Abbildung 63: links Bild von S11, rechts Bild von S12

5.9 Auswertung der Fragebögen

In diesem Kapitel wird die Auswertung der Pisa-Skalen, sowie die der Farbitems besprochen. Die Fragebögen dazu sind in Kapitel 5.3.2 zu finden.

5.9.1 Auswertung der Pisa-Skalen

Für jede Frage der Pisaskalenhandbuchs wurde eine einzelne Tabelle angefertigt. In diesen Tabellen sind dann die Unterfragen zu finden.

Die einzelnen Aussagen wurden mit den Punkten 1-4 bewertet, wobei 1 Punkt für die Aussagen *stimme ganz zu* bzw. *fast immer* gegeben wurde und 4 Punkte für die Angaben *stimme gar nicht zu* bzw. *nie*. Die anderen beiden Aussagen wurden mit 3 bzw. 2 Punkten bewertet. Anschließend wurde der Mittelwert der Punkte berechnet und in die zweite Spalte der Tabelle eingetragen. (Tab. 5-8)

Frage 1	
Nummer der Frage	Mittelwert
Frage 1.1	2,1
Frage 1.2	1,8
Frage 1.3	2,2
Frage 1.4	2,3
Frage 1.5	2,3
Frage 1.6	2,1

Tabelle 5: Auswertung Frage 1

Frage 2	
Nummer der Frage	Mittelwert
Frage 2.1	2,1
Frage 2.2	2,3
Frage 2.3	2,2
Frage 2.4	2,3
Frage 2.5	2,2
Frage 2.6	2,3

Tabelle 6: Auswertung Frage 2

Frage 3	
Nummer der Frage	Mittelwert
Frage 3.1	2,6
Frage 3.2	2,9
Frage 3.3	2,3
Frage 3.4	2,6
Frage 3.5	3,0

Tabelle 7: Auswertung Frage 3

Frage 4	
Nummer der Frage	Mittelwert
Frage 4.1	2,4
Frage 4.2	1,9
Frage 4.3	2,5
Frage 4.4	2,5
Frage 4.5	2,7
Frage 4.6	3,0
Frage 4.7	2,0
Frage 4.8	2,3
Frage 4.9	2,1

Tabelle 8: Auswertung Frage 4

Frage 5 beschäftigte sich mit dem Leseverhalten der Schülerinnen und Schüler. Die Aussage *ich lese nicht zum Vergnügen* wurde mit 1 Punkt bewertet, die Aussage *mehr als 2 Stunden täglich* wurde mit 5 Punkten bewertet. Für die Antworten dazwischen wurden 2-4 Punkte vergeben. Die Auswertung ist in Tabelle 9 zu finden.

Frage 5	
Nummer der Frage	Mittelwert
Frage 5.1	2,2

Tabelle 9: Auswertung Frage 5

5.9.2 Auswertung der Farbitems

Die Auswertung der Farbitems erfolgte auf zwei Arten.

Die erste Auswertung zeigt wie viele Befragte die jeweilige Aussage richtig beantwortet haben. Auf der x-Achse finden sich die Aussagen der einzelnen Fragen, wobei sich beispielsweise 1.3 auf die dritte Antwort der ersten Frage bezieht. Auf der y-Achse ist die Anzahl der richtigen Antworten vermerkt. (Abb. 64)

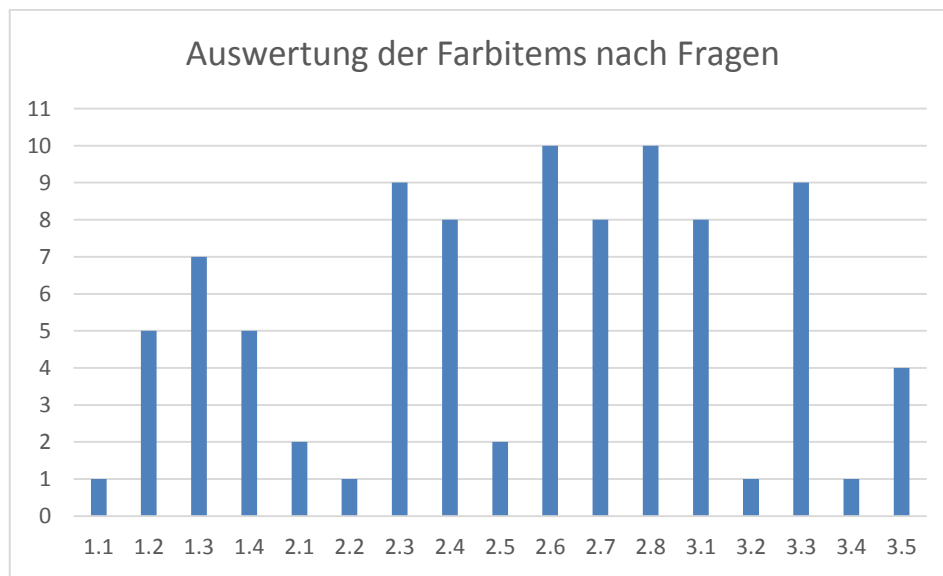


Abbildung 64: Auswertung der Farbitems nach Fragen

Die folgenden Diagramme zeigen das Vorwissen der einzelnen Schülerinnen und Schüler vor der Befragung. Jedes Diagramm entspricht dem Vorwissen von einer bzw. einem Befragten. (Abb. 65-74)

Auf der x-Achse sind die Fragen zu finden, auf der y-Achse die Anzahl der richtig bzw. falsch beantworteten Fragen. Die blauen Säulen zeigen die Anzahl der richtigen Antworten an, die roten die Anzahl der falschen Antworten.

Bei den Farbitems wurden drei Situationen geschildert, darunter fand man verschiedene Aussagen, die von den Schülerinnen und Schülern als richtig oder falsch bewertet werden mussten. Bei den Antwortmöglichkeiten wurden auch bekannte Schülervorstellungen berücksichtigt. Wurden Alltagsvorstellungen von den Befragten als richtig bewertet, so zählte ich dies als falsche Aussage.

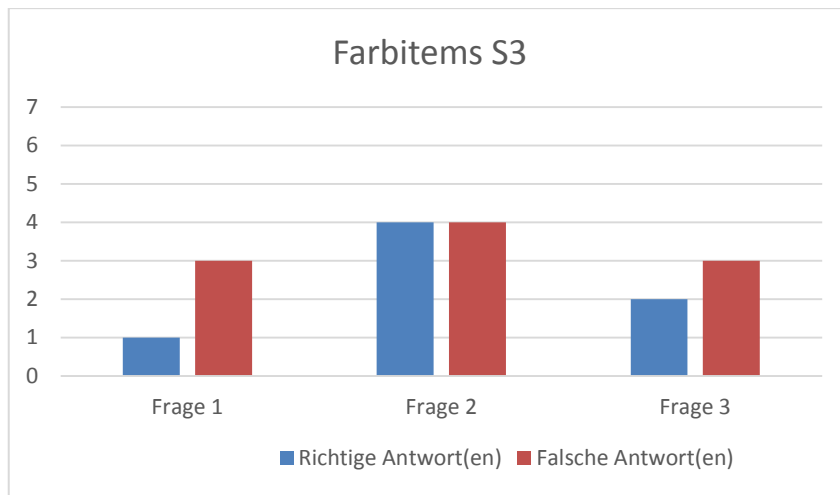


Abbildung 65: Auswertung Farbitems S3

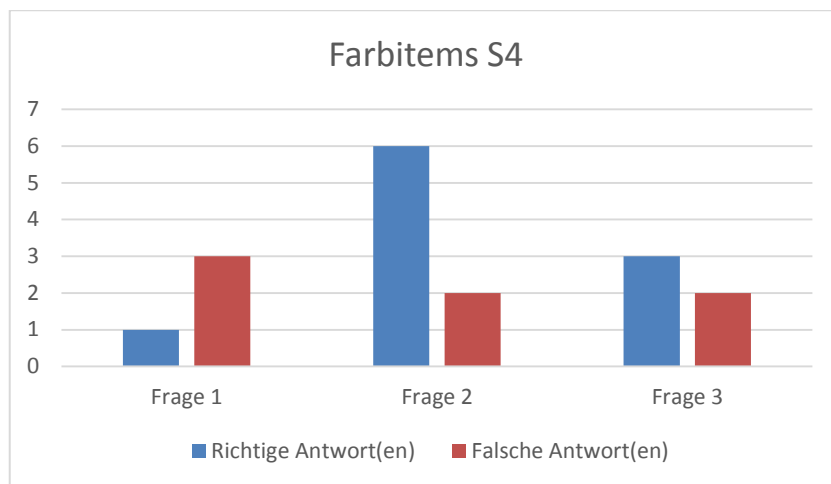


Abbildung 66: Auswertung Farbitems S4

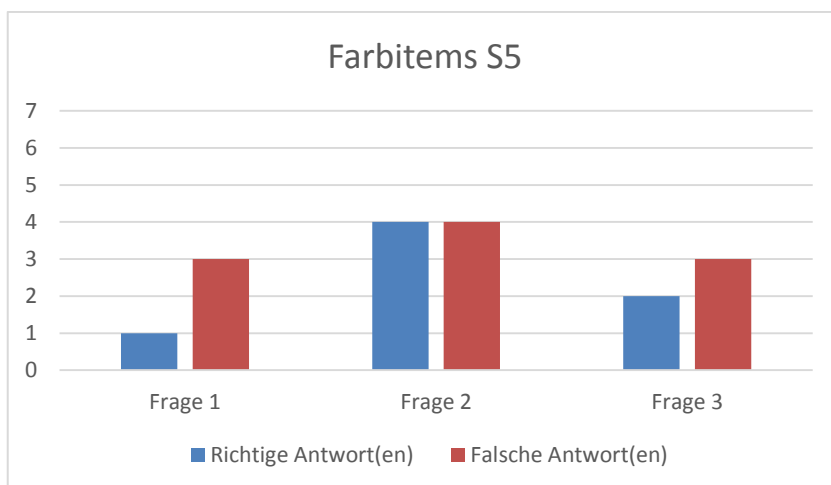


Abbildung 67: Auswertung Farbitems S5

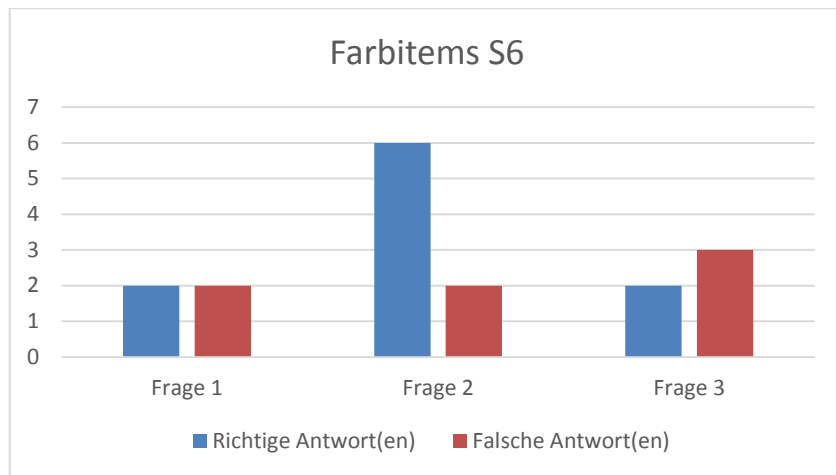


Abbildung 68: Auswertung Farbitems S6

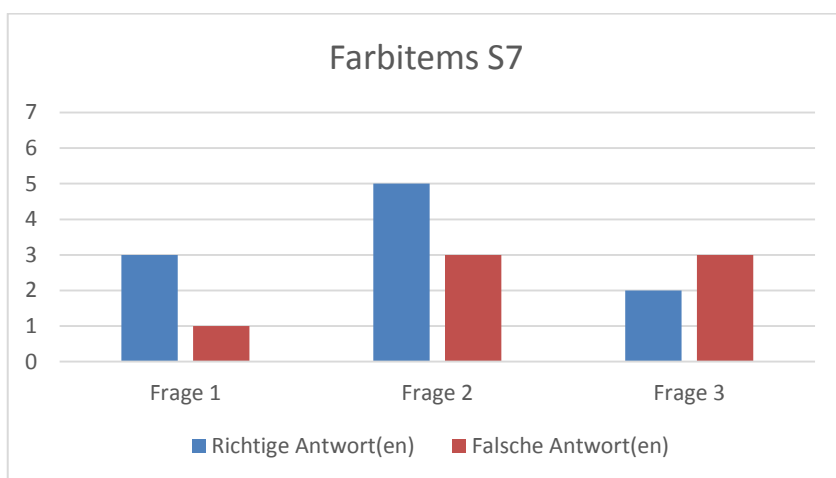


Abbildung 69: Auswertung Farbitems S7

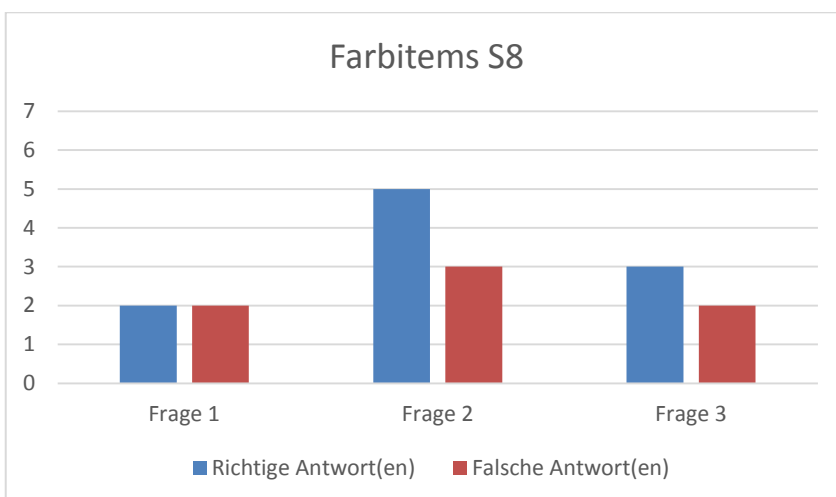


Abbildung 70: Auswertung Farbitems S8

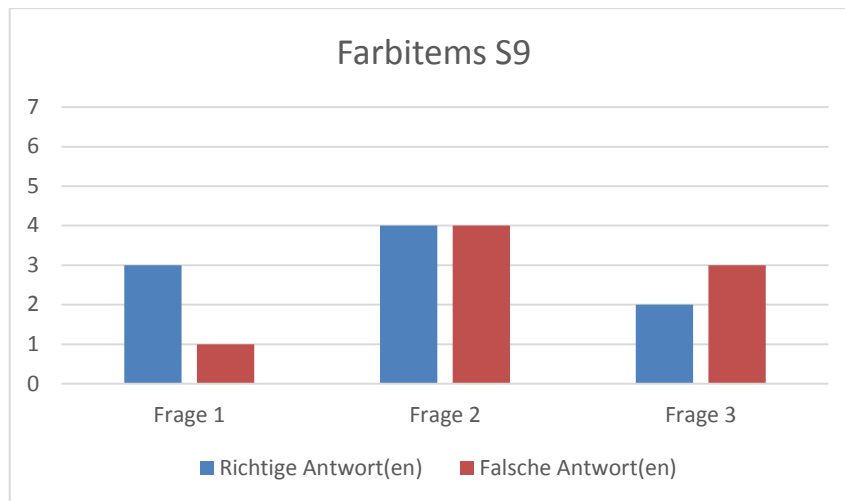


Abbildung 71: Auswertung Farbitems S9

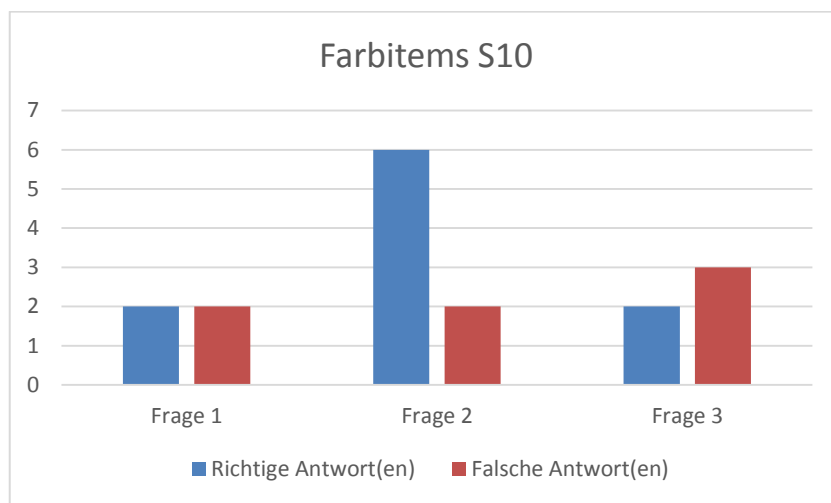


Abbildung 72: Auswertung Farbitems S10

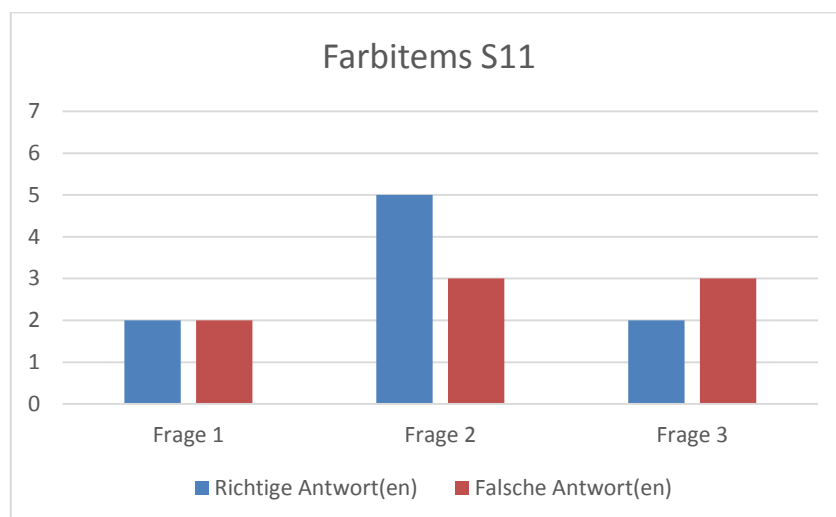


Abbildung 73: Auswertung Farbitems S11

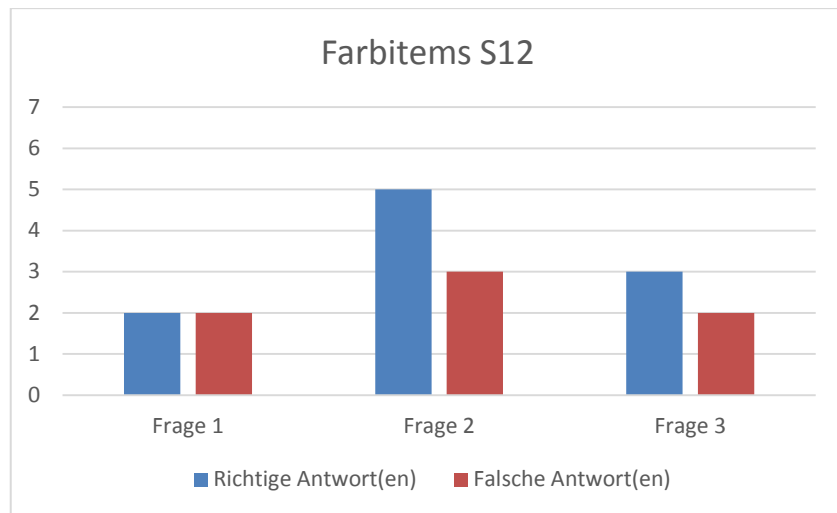


Abbildung 74: Auswertung Farbitems S12

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten mit den Aussagen 1.1, 2.2, 3.2 und 3.4 hatten. Genau diese zielten auf bekannte Schülervorstellungen zum Thema Farbenlehre ab.

Neun von zehn Befragten glaubten, dass rotes Glas Scheinwerferlicht färben kann. Alle außer ein Schüler ordneten dem Ball die Farbe Rot zu. Neun von zehn Befragten glaubten nicht, wenn man einen roten Ball mit blauem Licht beleuchtet, dass der Ball dann schwarz erscheint. Die Befragten, die bei Frage 2.2 den Gegenständen Farben zugeordnet haben, meinten bei Aussage 3.4, dass der Ball immer noch die Farbe Rot hat, das man ihn aber in einer anderen Farbe wahrnimmt.

6 Untersuchungsergebnisse

Um die Ergebnisse vergleichbar zu machen, wurden alle Ergebnisse in eine Tabelle eingetragen. In der Tabelle werden die gleichen Zeichen wie bei den detaillierten Auswertungen verwendet. Wenn mehrere Zeichen in einem Kästchen eingetragen sind bedeutet dies, dass die Befragten bei verschiedenen Beispielen unterschiedlich geantwortet haben.

Da die Befragungen immer mit zwei Schülerinnen bzw. Schülern gleichzeitig stattgefunden hat, kam es vor, dass eine Akzeptanzfrage nur einer Schülerin bzw. einem Schüler gestellt wurde. Die Spalte der bzw. des anderen Befragten blieb leer.

Die Textakzeptanz blieb unberücksichtigt, da lediglich S6 einmal angegeben hat, das Wort monochromatisch sei ihr unbekannt. Sonst traten keine Schwierigkeiten beim Textverständnis auf. In der vertikalen Spalte finden sich die Key-ideas mit KI 1- KI 10 (→Kap. 4.3.3) abgekürzt und in KI A (Key-idea Akzeptanz), P (Paraphrasierung) und T (Transfer) unterteilt. Die horizontale Spalte ist mit der Schülerinnen- bzw. Schülernummer und einem Buchstaben versehen.

Die anschließende detaillierte Beschreibung der Ergebnisse erfolgt nach Key-ideas in den Unterkapiteln 6.1-6.10.

		S3 D	S4 M	S5 B	S6 L	S7 V	S8 L	S9 A	S10 S	S11 Z	S12 P
KI 1	KI A	✓	✓	~	~	~	~	~, X	~, X	O: X, X	O: X, ✓
	P	✓	✓		✓	✓	~, ✓	✓	✓	N: ✓, ~	N: ✓, ~
	T	✓	✓	✓	✓	✓	~	✓	✓	X	X
KI 2	KI A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	P	✓	✓	N: ✓, ✓	N: ✓, ✓	X, ✓, ✓, ~	~, ✓, ✓	N: ✓, ~, ✓	N: ✓, ✓, ✓	✓	✓
	T	X	~	X, ✓	X, ✓	✓, N: ✓, ~	✓, ✓, ~	X, X, ✓, X	✓, X, ✓, ✓	~, X, ~, X	✓, ✓, ✓, ✓
KI 3	KI A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	~	✓	✓
	P	✓	✓	✓	✓	✓, ~	✓, ✓	X	✓	✓	✓
	T	✓	✓	✓	✓	~, N: ✓	~, ✓	X	X	X, ~	✓, X
KI 4	KI A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	~	✓	✓	✓
	P	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	T			✓	✓	X, ✓	✓	X	✓	✓	✓
KI5	KI A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	~	~	✓	✓
	P	✓	~, ✓	✓	~	✓	✓	✓	~	✓	✓
	T	✓	✓	X, N: ~, ✓	✓, X	✓, ✓	✓, ✓	~, ✓	~	✓	✓

KI 6	KI A	✓	✓	X, ✓	~, ✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	P	~	✓			✓	✓	X		✓	✓
	T										✓
KI 7	KI A	✓	✓	X	✓	✓	✓	O: X	O: X	✓	✓
	P	✓	✓		✓	✓	✓	✓	X, ~	✓	✓
	T	✓	X, N: ✓	~, X, ✓, ~	✓, ✓	N: ✓, ✓	N: ✓, ✓	✓	X, ~	✓, ✓	~, ✓
KI 8	KI A			X	~	✓	✓	✓	✓	~	~
	P			N: ✓	X	✓	✓	✓	~	~	~
	T			✓, ~	✓, ✓	✓, ✓	✓, ✓				
KI 9	KI A	~	✓	~	~	✓	✓	~	~	✓	✓
	P	O: X, ✓	✓, X	✓	✓	✓	✓	~	X	✓	✓
	T	✓	✓	✓, ~	✓	✓, X, X	✓, X, ✓	✓, X, ~	✓, X, ~	✓, X	✓, X
KI 10	KI A	✓	✓	~	~	~	✓	✓	~	~	~
	P		✓	~	~	O: X	O: X, ✓	O: X, X	O: X, ✓	✓	~
	T	✓, X	✓	X	X	✓	✓	X	X	✓	✓

6.1 Key-idea 1

Der Gedanke, dass Sonnenlicht aus verschiedenen Lichtsorten besteht, bereitete acht von zehn Befragten erhebliche Schwierigkeiten. Sechs Befragte hatten sich vorher noch nie Gedanken über die Farbe, oder die Zusammensetzung des Sonnenlichts gemacht. S5, S6, S9 und S10 gaben an, Sonnenlicht bestehe aus einer Mischung von Weiß, Gelb, Orange und Rot. S9 und S10 beschrieben das Licht der Sonne gelb. S5 gab als Beweis für gelbes Sonnenlicht an, dass man auf Bildern die Sonne immer gelb sehe. S11 nennt als Begründung Primärerfahrungen aus dem Kindergarten. Damals zeichnete sie die Sonne immer gelb. Auch nach dem Lesen des Textes änderten die Befragten ihre Meinung nicht. Nur S3 und S4 akzeptierten die spektrale Zusammensetzung des Sonnenlichts nach dem Lesen des Textes, da sie in der Sekundarstufe 1 den Dispersionsversuch schon gesehen hatten.

Die Befragten Schülerinnen und Schüler akzeptierten jedoch die Idee der Zusammensetzung des Sonnenlichts aus verschiedenen Lichtsorten. Die sechs von zehn antworteten bei der Paraphrasierung und sieben von zehn beim Transfer nach diesem Konzept. Lediglich S11 und S12 konnten keine Quellen für sonnenähnliches Licht nennen. S12 begründet dies mit der ‚Lichtmenge‘: Wenn man am Abend eine Lampe einschaltet, wird es im Zimmer nie so hell wie am Tag werden, wenn die Sonne von draußen durch das Fenster scheint (I6, V1, 16:25). S8 kann zwar Quellen für sonnenähnliches Licht nennen, sie erklärt jedoch, dass das Licht der Leuchtstoffröhre nicht sonnenähnlich ist, weil es ihr zu grell, zu künstlich, erscheint. (I4, V1, 17:18).

Fünf (S5, S6, S7, S9, und S10) von zehn Schülerinnen bzw. Schüler konnten die Transferbeispiele richtig lösen, obwohl ihnen der Gedanke über die Zusammensetzung des Sonnenlichts aus Spektralfarben anfangs Schwierigkeiten bereitete. S11 und S12 hatten Schwierigkeiten bei der Paraphrasierung und konnten die Transferbeispiele auch nicht lösen. Der Auswertung der Pisa-Skalen zu Folge handelt es sich bei S11 und S12 um Schülerinnen, denen es schwer fällt neue naturwissenschaftliche Sachverhalte zu erlernen.

6.2 Key-idea 2

Die Key-idea 2, die Zerlegung des sonnenähnlichen Lichts und die Vereinigung der Spektralfarben zu sonnenähnlichem Licht, wurden von allen Schülerinnen und Schülern akzeptiert. Bei der Paraphrasierung hatten die Befragten Schwierigkeiten bei der Erklärung warum das Prisma das Sonnenlicht in die Regenbogenfarben aufspalten kann. Oft wurde als Begründung *weil es aus Glas ist* genannt, die spezielle Form des Prismas blieb jedoch unberücksichtigt.

Es traten keine falschen Antworten auf. Der Transfer gestaltete sich schwieriger. Beispielsweise ging S3 nur auf die Voraussetzungen für die Entstehung des Regenbogens ein, nicht jedoch auf die Farben. S11 glaubte, dass der Regenbogen durch Brechung an Pfützen entsteht. S9 gab an, die Farben des Regenbogens ergeben sich durch die Farben der Umgebung. Der grüne Streifen entsteht, ihrer Meinung nach, beispielsweise durch das grüne Gras, der blaue Streifen durch den blauen Himmel. Beim Transferbeispiel mit der falschen Darstellung des Dispersionsversuches gaben S7 und S10 an, dass die Reihenfolge der Farben vertauscht sein. S10 begründete seine Antwort damit, dass die Farbabfolge seiner Meinung nach nicht stimmen könne, da auf eine dunkle Farbe (Rot), anschließend zwei helle Farben (Orange und Gelb) und abschließend nur dunkle Farben (Grün, Blau Violett) folgten (I5, V2, 12:51). S5, S6, S8, S9, S11 und S12 konnten die Aufgabe richtig lösen. Bei der Befragung von S3 und S4 war dieses Beispiel noch nicht in das Unterrichtsmaterial integriert, daher können keine Aussagen darüber gemacht werden. S8, S10, S11 und S12 zeichneten den Unterschied beim Durchgang eines roten und eines blauen Lichtstrahls durch das Prisma richtig ein. S7 erst bei Nachfrage. S5, S6 und S9 erklärten auch bei Nachfrage, dass die Farbe des Lichts ihrer Meinung nach keinen Einfluss auf die Richtungsänderung beim Durchgang durch das Prisma hat.

Der Versuch mit der Zusammenführung des Spektrums mit einer Linse bereitete wenig Akzeptanz- bzw. Paraphrasierungsschwierigkeiten.

Key-idea 2 wurde von allen Schülerinnen bzw. Schülern akzeptiert, bereits bei der Paraphrasierung ließen jedoch drei (S7, S8 und S9) von zehn Befragten die spezielle Form des Glasprismas unberücksichtigt. Der Transfer gestaltete sich noch schwieriger, fünf (S3, S5, S6, S9, S10 und S11) von zehn Lernenden konnten mindestens ein Transferbeispiel gar nicht lösen, drei (S4, S7 und S8) konnten das Konzept nur teilweise auf die neue Aufgabenstellung anwenden.

6.3 Key-idea 3

Die Funktionsweise von Farbfiltren wurde von allen Befragten außer S10 akzeptiert. Trotzdem machte sich bei der Paraphrasierung bei S9 eine Färbenvorstellung bemerkbar, die auch bei S10 beim Transfer zur Ausprägung kam. Zusätzlich nannten S8, S9, und S11 Mischungsvorstellungen. Sie meinten die Farbe des Filters mische sich mit der Regenbogenfarbe mit der der Filter beleuchtet wird. S12 glaubte, alle anderen Farben außer Blau bei einem Blick durch einen Blaufilter auf den Regenbogen wahrzunehmen.

Lediglich ein (S10) von zehn Schülerinnen bzw. Schülern hatte Schwierigkeiten bei der Key-idea Akzeptanz, trotzdem konnte dieser Schüler das Beispiel richtig paraphrasieren. Eine Befragte (S7) hatte leichte Schwierigkeiten bei der Paraphrasierung, da sie auf den transmittierten Lichtanteil beim Farbfilter vergaß. Diese Schwierigkeit setzte sich beim Transfer fort. S9 konnte weder paraphrasieren noch das Transferbeispiel richtig lösen. Zusätzlich zeigten sich noch bei drei (S10, S11 und S12) weiteren Schülerinnen bzw. Schülern Probleme beim Transfer.

6.4 Key-idea 4

Die Idee von monochromatischem Licht bewertete lediglich S9 als seltsam. Die Paraphrasierung fiel nur S6 schwer. S6 fiel keine Möglichkeit ein um zu testen, ob es sich um monochromatisches Licht handelt oder nicht (I3, V3, 16:34). Beim Transfer nannte S7 die Wasserfarbenmischung Gelb + Blau = Grün, für S9 war auch sonnenähnliches Licht monochromatisch. Von acht von zehn Befragten wurde die Idee ein zweites Prisma zu Hilfe zu nehmen, um zu testen ob es sich um monochromatisches Licht handelt, positiv aufgenommen und sowohl paraphrasiert, als auch beim Transfer wiedergegeben.

Die Key-idea 9 wurde nur von S9 nicht akzeptiert, die Paraphrasierung bereitete ihr keine Schwierigkeiten, der Transfer jedoch erhebliche. S6 hatte keine Idee wie man testen könnte, ob eine bestimmte Lichtsorte monochromatisch ist, konnte das Transferbeispiel jedoch vollkommen richtig lösen.

S7 und S9 akzeptierten die Key-idea, konnten das Konzept in eigenen Worten wiedergeben, jedoch das Transferbeispiel nicht lösen.

6.5 Key-idea 5

Das Modell von Selbstsender und Zwischensender akzeptierten alle Schülerinnen und Schüler. Nur S9 und S10 fanden es seltsam, dass Zwischensender Licht ins Auge senden, obwohl sie selbst nicht leuchten. Sieben von zehn Schülerinnen und Schüler konnten die Transferbeispiele und die Paraphrasierung mit dem Selbstsender-Zwischensender Modell lösen. S6, S9 und S10 vergaßen dabei auf den Lichtweg vom Zwischensender ins Auge, auch bei Nachfrage wurde der Aspekt nicht genannt. Lediglich S6 gab an, auch Umrisse von Zwischensendern sehen zu können, wenn es vollkommen dunkel ist. Sie bezog sich dabei auf das Konzept von fluoreszierenden Gegenständen (I3, V5, 21:36-21:44).

Diese Key-idea wurde von zwei (S9 und S10) von zehn Befragten nicht vollständig akzeptiert, S9 konnten richtig paraphrasieren, vergaß jedoch beim Transfer auf den Lichtweg vom Zwischensender ins Auge. Die Probleme von S10 zogen sich durch die gesamte Befragung zu dieser Key-idea. Zusätzlich zeigten sich noch bei S4 und S6 kleine Schwierigkeiten bei der Paraphrasierung. S4 konnte das Konzept der Key-idea beim Transfer anwenden, S6 gelang dies nicht.

6.6 Key-idea 6

Bei Key-idea 6 finden sich viele freigelassene Felder. Begründet werden kann dies mit der Key-idea 7, die der Key-idea 6 sehr ähnlich ist. Key-idea 6 bezieht sich auf die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie, Key-idea 7 berücksichtigt außerdem den Farbaspekt. Neun Befragte antworteten prompt mit dem Farbaspekt, wodurch die Antwort der Key-idea 7 zugeordnet wurde. Nur S6 lehnte die Key-Idea 6 entschieden ab. Sie ordnete Gegenständen *helle* und *dunkle* Farben zu. Sie konnte zwar glauben, dass *dunkle* Gegenstände Licht aufnehmen, sie weigerte sich jedoch zu akzeptieren, dass auch *helle* Gegenstände Licht aufnehmen. Den Vorgang des wieder Abstrahlens stellt sie sich zeitverzögert vor, ähnlich wie bei der Fluoreszenz (I3, V6, 12:59). S9 nahm an, dass die Farbe des Gegenstandes das weiße Sonnenlicht färbt und dann mit in das Auge *nimmt* (I5, V4, 11:32-12:26).

Obwohl S9 angab das Konzept und den Text verstanden zu haben, konnte sie es nicht in eigenen Worten wiedergeben.

6.7 Key-idea 7

Auch die Key-idea 7 lehnte S6 mit der gleichen Begründung wie bei Key-idea 6 ab. Ohne den Text gelesen zu haben, ordnete S9 jedem Gegenstand eine Farbe zu. Licht ist ihrer Meinung nach nur dafür verantwortlich, dass man die Farben wahrnehmen kann, weil sie es mit Helligkeit assoziierte (I5, V4, 13:26-14:05). S10 glaubte, dass die Farbe von Gegenständen dadurch zustande kommt, weil der Gegenstand diese Farbe aufnimmt. Der Gegenstand färbt sich mit einer Lichtsorte des Sonnenlichts. Er lässt dabei jedoch den Lichtweg vom Gegenstand ins Auge außer Acht (I5, V4, 18:55-19:34). Auch bei der Paraphrasierung und beim Transfer hielt er an dieser Vorstellung fest. Beim Transfer ordnete S4 jedem Gegenstand eine bestimmte Farbe zu. Da S9 nicht glaubte, dass Gegenstände Licht wieder abstrahlen, glaubte sie auch nicht, dass beispielsweise nur eine Lichtsorte wieder abgestrahlt werden kann.

S4 akzeptierte die Key-idea 7, konnte richtig paraphrasieren, hatte jedoch Probleme beim Transfer. S5 hatte sowohl bei der Key-idea Akzeptanz, als auch beim Transfer Schwierigkeiten. Obwohl S9 die Key-idea nicht akzeptiert hat, konnte sie richtig paraphrasieren und transferieren. S10 hatte in allen Schritten der Akzeptanzbefragung Probleme.

6.8 Key-idea 8

Da Key-idea 8 erst nach der Probebefragung 2 ins das Unterrichtsmaterial eingegliedert wurde, können bei S3 und S4 keine Aussagen gemacht werden. S5 ordnete den verschiedenen Lichtsorten verschiedene Energien zu. Dabei sprach sie von *sanften* und *starken* Farben. Am Kreuzungspunkt zweier Lichtsorten erhält man, ihrer Meinung nach, die Energie jener Lichtsorte, die *stärker* ist (I3, V1, 11:58-12:19). Nachdem S6 anfangs eine richtige Erklärung abgegeben hat, schloss sie sich der Alltagsvorstellung von S5 an. S11 und S12 erkannten, dass ein Teil der Energie des einfallenden Lichts in Wärme umgewandelt wird und dass ein Teil wieder abgegeben wird. Sie konnten jedoch nicht bilanzieren.

Eine Schülerin (S5) von 10 Befragten akzeptierte diese Key-idea gar nicht, drei (S6, S11 und S12) weitere nur teilweise. S5 konnte jedoch paraphrasieren, und das Transferbeispiel fast vollkommen lösen, auf die Energie des wieder abgestrahlten Lichts hat sie dabei vergessen. S6 konnte nicht paraphrasieren, jedoch transferieren. S11 und S12 hatten

sowohl bei der Key-idea Akzeptanz, als auch bei der Paraphrasierung leichte Probleme, sie konnten keine Bilanz für die Energien bei der selektiven Absorption aufstellen.

6.9 Key-idea 9

S3, S5, S6, S9 und S10 gaben an, dass es ihnen seltsam vorkommt, dass weiß erscheinende Gegenstände alle Lichtsorten abstrahlen und schwarz erscheinende Gegenstände alle Lichtsorten aufnehmen. Ohne den Text gelesen zu haben, dachte S3, dass Körper die alle Lichtsorten aufnehmen auch mehr Abstrahlen können (I2, V3, 12:19-12:36). S4 glaubte, dass eine Mischung aus allen aufgenommenen Lichtsorten den Farbeindruck Schwarz ergibt. (I2, V4, 2:48-4:00). S10 konnte nicht erklären für welche Lichtsorten schwarz bzw. weiß erscheinende Gegenstände Zwischensender sind. S9 löste die Aufgabe bei Nachfrage richtig.

S3 akzeptiere die Key-idea 9 nur mit Einschränkungen, zeigte Probleme bei der Paraphrasierung, konnte jedoch das Transferbeispiel lösen. Für ihn kann ein Körper der mehr aufnimmt auch mehr abstrahlen. Vier (S7, S8, S11 und S12) von zehn Befragten hatten bei der Key-idea Akzeptanz und Paraphrasierung keine Probleme, jedoch beim Transfer. Die beiden Hauptprobleme waren dabei die Frage, ob man bei den Farbeindrücken Weiß und Schwarz wirklich von Farben sprechen kann. Für die Befragten sind alle Farbeindrücke für die es Buntstifte gibt Farben. Das zweite Problem war die Erklärung warum man schwarz erscheinende Gegenstände wahrnehmen kann, obwohl sie gar kein Licht ins Auge senden. S9 und S10 hatten Schwierigkeiten in allen Bereichen der Akzeptanzbefragung.

6.10 Key-idea 10

Da wir Menschen es gewöhnt sind alle Gegenstände in weißem Licht wahrzunehmen, gestaltete sich die Key-idea Akzeptanz von Key-idea 10 bei der Hälfte der Befragten schwierig. S5 und S6 gaben zwar an, dass die Farbe des Lichts und die Farbe für den ein Gegenstand ein Zwischensender ist, für die Farbe, in der wir den Gegenstand wahrnehmen verantwortlich sind. Sie konnten jedoch nicht erklären, welche Lichtsorten aufgenommen und welche abgegeben werden. Ohne den Text gelesen zu haben dachten S7, S8, S9 und S10, dass sich die Farbe des Gegenstandes mit der Farbe des Lichts mischt. S9 argumentierte auch nach Lesen des Textes mit Wasserfarbenmischungsregeln (Die Mischung von Blau und Gelb ergibt einen grünen Farbeindruck). Die Transferbeispiele wurden von S5, S6, S9 und S10 falsch gelöst. Dabei gab S5 an, dass der schwarze Farbeindruck nur entsteht, wenn sich zwei, ihrer Meinung nach, dunkle Farben miteinander mischen. Auch S6 argumentierte mit dem Mischungsgedanken. Dabei griff sie auch auf Wasserfarbenmischungsregeln zurück. S9 und S10 lösten zwei der drei Transferbeispiele richtig. Einen mit blauem Licht beleuchteten, in der Sonne grün erscheinenden Apfel, nehmen wir ihrer Meinung nach jedoch blau-grün wahr. Sechs der zehn Befragten konnten die Transferbeispiele jedoch ohne Schwierigkeiten lösen.

S5 und S6 zeigten Probleme bei der Key-idea Akzeptanz, der Paraphrasierung, und konnten das Konzept beim Transfer nicht anwenden. S7 und S8 und S12 hatten kleine Schwierigkeiten bei der Paraphrasierung, konnten das Konzept jedoch transferieren. S9 und S10 zeigten vor dem Lesen des Textes Alltagsvorstellungen, die auch beim Transfer zur Ausprägung kamen.

Fazit

Wie bereits in Kapitel 5.3 vorgestellt, wurde untersucht, wie die im Unterrichtsmaterial gewählten Instruktionselemente die Lernprozesse im Bereich der Farbenlehre unterstützen. Die Forschungsfragen wurden mit Nummern versehen, die Ergebnisse finden sich im anschließenden Absatz darunter.

- 1.) Wie wirken sich die gewählten Instruktionselemente auf das Verständnis des Konzepts von weißem Licht aus?

Der Begriff des weißen Lichts bereitet den Schülerinnen bzw. Schülern erhebliche Schwierigkeiten. Die bei den Hauptbefragungen gewählten Formulierungen wie Sonnenlicht bzw. sonnenähnliches Licht haben sich besser bewährt. Auch wenn viele Lernende dem Sonnenlicht die Farbe Gelb zuordnen, beeinflusst dies den Gedanken von der spektralen Zusammensetzung von Sonnenlicht, nach dem Lesen der Erklärungen, in keiner Weise.

- 2.) Wie wirken sich die gewählten Instruktionselemente auf das Verständnis der Interaktion zwischen Licht und Materie aus?

Das Konzept des Aufnehmens und wieder Abgebens hatte nur bei einer Schülerin eine lernhemmende Wirkung. Das Problem lag darin, dass sie sich diesen Vorgang extrem zeitverzögert vorstellte, ähnliche wie bei der Fluoreszenz. Ein anderer Schüler konzentrierte sich nur auf den Vorgang des Aufnehmens. Er ordnete jedem Gegenstand eine Farbe zu und war der Meinung, dass sich der Gegenstand beim Aufnehmen der Lichtsorte färbt. Alle anderen Farben wandeln sich, seiner Meinung nach, in Wärme um. Da bei vier Fünftel der Befragten jedoch keine solcher Fehlvorstellungen auftraten, können die Erklärungen und Abbildungen als lernförderlich beurteilt werden.

- 3.) a.) Wie wirkt sich die gewählte Rekonstruktion von Körpern als Zwischensender für eine Lichtsorte und als Energiewandler für die anderen Lichtsorten des einfallenden Lichts auf das Verständnis der Körperfarben aus?

Das Konzept vom Zwischensender für einige Lichtsorten und Energiewandler für alle anderen hat sich bewährt. Fast allen Befragten bereitete die Beurteilung, für welche Lichtsorte ein Gegenstand ein Zwischensender und für welche er ein Energiewandler ist, keine Schwierigkeiten. Die Anwendung dieses Konzepts bei den Transferbeispielen gestaltete sich deutlich schwieriger. Bei vier Schülerinnen bzw. Schülern traten Mischungsvorstellungen auf. Ihrer Meinung nach mischte sich die Farbe des Gegenstandes

mit der Farbe des Lichtes, mit dem der Gegenstand beleuchtet wurde. Da die anderen sechs Befragten jedoch keine Schwierigkeiten hatten die Transferbeispiele richtig zu lösen, wird das Material als für den Unterricht geeignet bewertet.

b.) Auf welche Konzepte greifen die Schülerinnen und Schüler in einzelnen Instruktionsphasen zurück, um die Körperfarben zu erklären?

Mehr als die Hälfte der Befragten (vier von zehn Schülerinnen bzw. Schülern) griff bei der Erklärung der Körperfarben auf das gewählte Modell von Zwischensendern für bestimmte Lichtsorten und Energiewandler für anderen Lichtsorten zurück. Die anderen vier Schülerinnen bzw. Schüler argumentierten mit der Vorstellung, dass sich das Licht mit dem ein Gegenstand angestrahlt wird mit der Farbe des Gegenstandes mischt.

Aufgrund dieser Ergebnisse sollten im Unterrichtsmaterial folgende Änderungen vorgenommen werden:

Der Vergleich der Brechung mit einem Schifahrer, der von Schnee auf Gras fährt sollte verbessert werden, vier von sechs Befragten gaben an, dass sie der Vergleich verwirrt.

Beim Dispersionsversuch am Prisma sollte noch mehr auf die unterschiedlichen Ausfallswinkel der Spektralfarben hingewiesen werden, nur zwei von acht Schülerinnen bzw. Schülern zeichneten einen Unterschied beim Verlauf eines roten im Vergleich zu einem blauen Lichtstrahl durch ein Prisma ein, zwei weitere Befragte kennzeichneten den Unterschied erst bei Nachfrage.

Der Energieerhaltungsaspekt sollte in den Materialien noch mehr ausgebaut werden, bei den Befragung zeigten sich große Schwierigkeiten bei der Bilanzierung (Energie des einfallenden Sonnenlichts = Energie des abgestrahlten Lichtanteils + Wärmeenergie der aufgenommenen Lichtanteile)

Um Farbphänomene im Alltag physikalisch erklären zu können, sollte auch noch ein kurzer Absatz über das Viennotprinzip (→Kap. 3.2) in das Unterrichtsmaterial eingefügt werden.

7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Trotz zahlreicher Überarbeitungen konnten nicht alle Lernziele von allen Schülerinnen und Schülern erreicht werden. Vor allem das Kapitel *Gegenstände in farbigem Licht* löste Lernwiderstände aus. Positiv war jedoch, dass viele Befragte mit Alltagsvorstellungen antworteten, die auch in der Literatur nachzulesen sind. Mit der Methode der Akzeptanzbefragung konnte man diesen Alltagsvorstellungen auf den Grund gehen. Dies kann helfen die Materialien nochmals so zu verbessern bzw. so zu überarbeiten, dass diesen naiven Theorien Schülerinnen bzw. Schülervorstellungen vorgebeugt wird.

Besonders problematisch war der Begriff des weißen Lichts, welcher in jedem Schulbuch vorkommt. Schon zu Beginn jeder Akzeptanzbefragung wurde deutlich, dass sechs von zehn Schülerinnen und Schüler das Sonnenlicht nur als hell oder durchsichtig beschreiben. Wenn sie dem Sonnenlicht eine Farbe zuordnen müssten, dann nennen sechs von zehn der Schülerinnen und Schüler die Farbe Gelb, oder eine Mischung als Gelb, Orange und Rot. Nachforschungen in Fachliteratur lieferten weder Ergebnisse auf diesem Gebiet, noch Lösungsmöglichkeiten für dieses Problem. Diese Diplomarbeit zeigte daher einen bedeutenden Schwachpunkt der Schulbücher auf, der durch weitere Forschungsarbeit beseitigt werden sollte.

Auch wenn das entwickelte Unterrichtsmaterial schon sehr umfangreich ist, wurden bedeutende Aspekte, beispielsweise die Farbmischungen und die Wahrnehmung durch das menschliche Auge, noch nicht behandelt. Um das Unterrichtsmaterial in ein Schulbuch eingliedern zu können, sollten diese Themen unbedingt noch behandelt werden.

Zum Thema Farbenlehre existieren nur wenige Applets. Eines wurde bereits in das Unterrichtsmaterial integriert, doch dieser Bereich bietet in Zukunft sicherlich noch zahlreiche Erweiterungsmöglichkeiten. Auch andere neue Technologien wie beispielsweise LED's, Smartphones oder Tabletts können in Zukunft im Unterricht und in den Unterrichtsmaterialien vermehrt eingesetzt werden. Dies würde helfen die Motivation der Lernenden zu steigern und, durch den Bezug zur Lebenswelt, diese mehr für das Fachgebiet Physik zu begeistern.

8 Literaturverzeichnis

- Bleichroth, W. (März 1991). Elementarisierung, das Kernstück der Unterrichtsvorbereitung. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, S. 4-11.
- Blumör, R. (1993). *Schülerverständnisse und Lernprozesse in der elementaren Optik*. Spektrum akademischer Verlag.
- Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur. (21. 07 2010). *Lehrpläne der AHS-Unterstufe*. Abgerufen am 01. 05 2013 von http://www.bmukk.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_ahs_unterstufe.xml
- Duit, R. (April 2004). Didaktische Rekonstruktion. *Piko Brief*, S. 1-5.
- Duit, R. H., & Treagust, D. F. (2012). Chapter 4 Conceptual Change - Still a powerfull framework for improving the practice of science instruction. In K. Chwee, D. Tan, & M. Kim, *Issues and Challenges in Science Education Research* (S. 43-56). Dordrecht, Heidelberg, New York, London: Springer.
- Ejersbo, L. R., Engelhardt, R., Frolunde, L., Hanghoj, T., Magnussen, R., & Misfeldt, M. (2007). Balancing Product Design and Theoretical Insights. In M. Erlbaum, *THE Handbook of Design REsearch in Mathematics, Scinende and Technology Education* (S. 1-25). Danish University of Education.
- Feher, E., & Meyer, K. R. (1992). Children's Conceptions of Color. *Journal of research in science teaching*, S. 505-520.
- Frey, A., Taskinen, P., Schütte, K., Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J., et al. (2006). *PiSA '06 PISA 2006 Skalenhandbuch Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Waxmann.
- Fürnstahl, H., & Wolfbauer, M. (2008). *Physik heute 4*. Linz: Veritas Verlag.
- Galili, I. (April 2011). Student's conceptual change in geometrical optics. *International Journal of science education*, S. 847-867.
- Gollenz, F., Stuzka, W. M., Eder, J., & Tentschert, H. H. (2000). *Lehrbuch der Physik 4. Klasse*. Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH Co. KG.
- Haferkorn, H. (1994). *Optik - physikalisch-technische Grundlagen und Anwendungen*, 3. Auflage. Leipzig: Barth.
- Hecht, E. (1999). *Optik 4. Auflage*. München; Wien: Oldenbourg.

- Herdt, D. (1990). *Einführung in die elementare Optik, Vergleichende Untersuchung eines neuen Lehrgangs*. Westarp Wissenschaftenverlagsgesellschaft .
- Hopf, M., Schecker, H., & Wiesner, H. (2011). *Physikdidaktik kompakt*. Aulis Verlag.
- Joachim Herz Stiftung. (kein Datum). *LEIFI Physik*. Abgerufen am 16. 12 2012 von <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/farben>
- Jung, W. (1981). Erhebungen zu Schülervorstellungen in Optik (Sekundarstufe 1). *physica didactica* 8, 137-153.
- Jung, W. (1992). Probing acceptance, a technique for investigating learning difficulties. In D. R., F. Goldberg, & H. Niedderer, *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and* (S. 278-295). IPN: Kiel.
- Jung, W., & Wiesner, H. (1989). *Zur Didaktik der Physik und Chemie Probleme und Pespektiven*. Kassel: Leuchtturm-Verlag.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Heft* 3, S. 3-18.
- Klafki, W. (1969). *Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung*. Hannover: Schroedel.
- Loughran, J., Mulhall, P., & Berry, A. (2004). In Search of Pedagogical Content Knowlwdge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice. *Journal of research in science teaching*, S. 370-391.
- Mayring, P., & Gläser-Zikuda, M. (2005). *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*. Weinheim und Basel: Beltz-Verlag.
- Müller, C. T., & Duit, R. (Oktober 2004). Die unterrichtliche Sachstruktur als Indikator für Lernerfolg - Analyse von Sachstrukturdiagrammen und ihr Bezug zu Leistungsergebnissen im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, S. 147-161.
- Posner, G. J., Strike, K., Hewson, P., & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of conceptual Change. *Sciene Education* 66 (2), S. 211-227.

- Rottensteiner, J. (2012). *Erstellung von Unterrichtsmaterialien zur geometrischen Optik*. Wien.
- Ruiter-Gangol, M. (2010). *Physik kompakt 4*. Linz: Veritas Verlag .
- Schmidt-Roedenbeck, C., Müller, R., Wiesner, H., Herdt, D., & Engelhardt, P. (2005). *Unterricht Physik Experimente- Medien-Modelle; Band 3/2: Optik:3/2; Wölb-und Hohlspiegel, Spiegelteleskop, Auge, Farben*. Köln: Aulis Verlag Deubner & Co.
- Schmölz-Eibinger, S., Egger, E., & Dorner, M. (2012). *Sprache in Schulbüchern - Empfehlungen zur Sprachverwendung in Schulbüchern für SchulbuchautorInnen, GutachterInnen und Schulbuchverlage*. Wien: BMUKK.
- Viennot, L., & de Hosson, C. (23. April 2012). Beyond a Dichotomic Approach, The Case of Colour Phenomena. *International Journal of Science*, S. 1315-1336.
- Viennot, L., & de Hosson, C. (2012). *Colour Phenomena and Partial Absorption*. MUSE group (More Understanding with Simple Experiments).
- Wiesner, H. (1992). Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Optik 2. *Physik in der Schule* 30, 10, S. 326-331.
- Wiesner, H. (1994). Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Optik (14), Physik in der Schule 32,2. *Physik in der Schule*, S. 51-54.
- Wiesner, H., Engelhardt, P., & Herdt, D. (1995). *Unterricht Physik Experimente- Medien-Modelle; Band 1: Optik:1; Lichtquellen, Reflexion*. Köln: Aulis Verlag Deubner & Co.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stukturmomentenmodell von Heimann, Otto und Schulz	18
Abbildung 2: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion der Sachstruktur Quelle: (Duit R. , 2004, S. 2).....	20
Abbildung 3: Didaktische Rekonstruktion für das Unterrichtsmaterial	22
Abbildung 4: Fachdidaktisches Triplet: Beziehungsgefüge der Teilaufgaben im Modell der Didaktischen Rekonstruktion Quelle: (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 4).....	23
Abbildung 5: Osmotic Model des Design Based Research	28
Abbildung 6:Entwicklungsprinzip der Unterrichtsmaterialien	29
Abbildung 7: Fachdidaktisches Triplet: Beziehungsgefüge der Teilaufgaben im Modell der Didaktischen Rekonstruktion Quelle: (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 4).....	36
Abbildung 8: Schachtel mit Loch und Röhre Abbildung 9: Ein Blick durch die Röhre .	40
Abbildung 10: Mischung von rotem und grünem Licht	40
Abbildung 11: Mischung von blauem und grünem Licht	40
Abbildung 12: Mischung von blauem und rotem Licht	41
Abbildung 13: Demonstrationsversuch Dispersion mit dem Prisma und Ergebnis	41
Abbildung 14: Test, ob rotes Licht monochromatisch ist	42
Abbildung 15: Überlagerung aller Spektralfarben ergibt wieder sonnenähnliches Licht ...	42
Abbildung 16: Roter (unten) und grüner (oben) Farbfilter verändern das Spektrum.....	45
Abbildung 17: Eine grüne Folie absorbiert rotes Licht	45
Abbildung 18: Ein Apfel erscheint im Sonnenlicht rot, weil er ein Zwischensender für die rote Lichtsorte ist. Alle anderen Lichtsorten werden aufgenommen und in Wärme umgewandelt.....	49
Abbildung 19: Beleuchtung desselben Malkastens mit rotem, grünem und blauem Licht .	50
Abbildung 20: Beleuchtung des Malkastens mit sonnenähnlichem Licht	50
Abbildung 21: Im Sonnenlicht rot erscheinender Apfel wird mit blauem Licht beleuchtet	51

Abbildung 22: Sachstruktur der drei verglichenen Schulbücher	53
Abbildung 23: Sachstruktur im Lehrgang "Unterricht Physik"	54
Abbildung 24: Abfolge der Key-ideas zu den Eigenschaften des Lichts	57
Abbildung 25: Abfolge der Key-ideas zu Lichtsender-Empfänger	58
Abbildung 26: Abfolge der Key-ideas zu selektiver Absorption	59
Abbildung 27: Abfolge der Key-ideas zu Körperfarben	60
Abbildung 28: Ablaufdiagramm des Untersuchungsdesigns	62
Abbildung 29: Vordruck für die Voruntersuchung	73
Abbildung 30: Darstellungen der Wärme als Welle oder ähnlich.....	73
Abbildung 31: Darstellung durch das Wort Wärme	74
Abbildung 32: Wärme durch Pfeile im Würfel	74
Abbildung 33: Gewählte Darstellungsform als Ergebnis der Voruntersuchung	75
Abbildung 34: Zeichnung von S3.....	81
Abbildung 35: Zeichnung von S4.....	81
Abbildung 36: links: Zeichnung von S3, rechts: Zeichnung von S4.....	86
Abbildung 37: Zeichnung von S3.....	86
Abbildung 38: Zeichnung von S4.....	86
Abbildung 39: links: Abbildung von S3 rechts: Abbildung von S4.....	94
Abbildung 40: Zeichnung von S5.....	98
Abbildung 41: Zeichnung von S6.....	98
Abbildung 42: Bilder von S5.....	99
Abbildung 43: Bild von S6.....	100
Abbildung 44: links: Bild von S5 , rechts: Bild von S6.....	105
Abbildung 45: links Bild von S5, rechts Bild von S6	110
Abbildung 46: Zeichnung von S5.....	114
Abbildung 47: links Bild von S5, rechts Bild von S6.....	119

Abbildung 48: links: Bild von S7, rechts: Bild von S8	124
Abbildung 49: links: Bild von S7 , rechts: Bild von S8.....	124
Abbildung 50: Bild von S7 (S7 weiß, dass die Lichtwege geradlinig verlaufen sollten.)	130
Abbildung 51: Bild von S8.....	130
Abbildung 52: links: Zeichnung von S7, rechts: Zeichnung von S8.....	133
Abbildung 53: links Bild von S7 , rechts: Bild von S8.....	140
Abbildung 54: Zeichnung zur Entstehung des Regenbogens von S9.....	145
Abbildung 55: links: Bild S9, rechts: Bild S10	146
Abbildung 56: links Bild von S9, rechts Bild von S 10	146
Abbildung 57: links: Zeichnung von S9 , rechts: Zeichnung von S10.....	155
Abbildung 58: links: Zeichnung von S9 , rechts: Zeichnung von S10.....	155
Abbildung 59: links Bild von S9 , rechts Bild von S10.....	161
Abbildung 60: links Bild von S11, rechts Bild von S12	167
Abbildung 61: links Bild von S11, rechts Bild von S12	167
Abbildung 62:links Zeichnung von S11, rechts Zeichnung von S12.....	174
Abbildung 63: links Bild von S11, rechts Bild von S12	180
Abbildung 64: Auswertung der Farbitems nach Fragen.....	183
Abbildung 65: Auswertung Farbitems S3	184
Abbildung 66: Auswertung Farbitems S4	184
Abbildung 67: Auswertung Farbitems S5	184
Abbildung 68: Auswertung Farbitems S6	185
Abbildung 69: Auswertung Farbitems S7	185
Abbildung 70: Auswertung Farbitems S8	185
Abbildung 71: Auswertung Farbitems S9	186
Abbildung 72: Auswertung Farbitems S10	186
Abbildung 73: Auswertung Farbitems S11	186

Abbildung 74: Auswertung Farbitems S12	187
Abbildung 1: Sonnenstrahlen Abbildung 2: Laserstrahlen.....	216
Abbildung 3: Glasprisma.....	220
Abbildung 4: links: Zylinderlinse, rechts: Zylinderlinse bündelt Licht	222
Abbildung 5: Das Glasprisma spaltet das Licht in die Regenbogenfarben auf	224
Abbildung 6: Ultraviolettes Licht schließt an den blauen Bereich an. Infrarotes Licht schließt an den roten Bereich an.....	226
Abbildung 7: Licht des Selbstsenders und des Zwischensenders gelangt ins Auge	228
Abbildung 8: Licht wird vom Zwischensender weitergestrahlt und gelangt ins Auge	229
Abbildung 9: Schachtel mit weißem Boden	229
Abbildung 10: Lichtweg bei der Schachtel	230
Abbildung 11: Bei unserem Beispiel sendet der Würfel nur einen Teil des Lichts weiter. Wenn dieses weitergestrahlte Licht vom Würfel in deine Augen kommt, dann kannst du den Würfel sehen.	231
Abbildung 12: Schachtel mit gelbem Blatt am Boden	233
Abbildung 13: Roter Lichtanteil wird wieder abgestrahlt, alle anderen Anteile werden aufgenommen	233
Abbildung 14: Schachtel mit gelbem Blatt am Boden	234
Abbildung 15: Schwarz nimmt fast alles auf, weiß strahlt fast alles ab.....	235
Abbildung 16: Apfel nimmt den blauen Lichtanteil auf und erscheint dadurch schwarz .	237
Abbildung 17: Stoffstücke in farbigem Licht.....	238
Abbildung 1: Schachtel mit Loch Abbildung 2: Ein Blick durch das Rohr in die Schachtel	242
Abbildung 3: Ein Blick in die Schachtel	243
Abbildung 4: Wand mit Sonnenlicht beleuchtet Wand mit sonnenähnlichem Licht von Lampe beleuchtet.....	244
Abbildung 5: Prisma.....	245
Abbildung 6: Laserlicht wird im Glasprisma abgelenkt, gebrochen	245

Abbildung 7: Das Glasprisma spaltet das Sonnenlicht in die verschiedenen Lichtsorten, die Regenbogenfarben	246
Abbildung 8: Fehlerhafte Darstellung des Prismenversuchs.....	247
Abbildung 9: Verschiedene Lichtstrahlen treffen auf ein Glasprisma.....	247
Abbildung 10: Sonnenlicht trifft auf das Prisma	248
Abbildung 11: links: Funktion eines Rotfilters, rechts: Funktion eines Grünfilters	249
Abbildung 12: Rotes Licht wird nicht mehr aufgespalten, es ist monochromatisch.....	251
Abbildung 13: Linse mischt die Regenbogenfarben wieder zu Sonnenlichtzusammen ...	252
Abbildung 14: Links: Schachtel mit weißem Boden und Wänden. Mitte: Schachtel mit rotem Blatt am Boden. Rechts: Der Beobachter nimmt die Farbe Rot wahr.	253
Abbildung 15: Bei unserem Beispiel ist der Würfel ein Zwischensender für die grüne Lichtsorte des Sonnenlichts. Seine Farbe erscheint dir grün.....	254
Abbildung 16: Die rote Lichtsorte wird wieder abgestrahlt, alle anderen Anteile werden aufgenommen. Wir nehmen den Apfel rot wahr.	257
Abbildung 17: Weiß strahlt fast alles ab, für den Beobachter erscheint der Würfel weiß.	258
Abbildung 18: Schwarz nimmt fast alles auf, kein Licht gelangt in unser Auge. Nichts gelangt zum Beobachter, daher denkt der Beobachter der Gegenstand erscheint schwarz.	259
Abbildung 19: Malkasten wird mit rotem und grünem Licht beleuchtet	260
Abbildung 20: Der Apfel nimmt den blauen Lichtanteil auf, kein Licht gelangt in unser Auge. Wir nehmen den Apfel schwarz wahr.....	261
Abbildung 1: Schachtel mit Loch Abbildung 2: Ein Blick durch das Rohr in die Schachtel	270
Abbildung 3: Ein Blick in die Schachtel	271
Abbildung 4: Wand mit Sonnenlicht beleuchtet, Wand mit sonnenähnlichem Licht von Lampe beleuchtet.....	272
Abbildung 5: Prisma.....	273
Abbildung 6: Laserlicht wird im Glasprisma abgelenkt, gebrochen	273

Abbildung 7: Das Glasprisma spaltet das Sonnenlicht in die verschiedenen Lichtsorten, die Regenbogenfarben	274
Abbildung 8: Fehlerhafte Darstellung des Prismenversuchs.....	275
Abbildung 9: Verschiedene Lichtstrahlen treffen auf ein Glasprisma.....	275
Abbildung 10: Sonnenlicht trifft auf das Prisma	276
Abbildung 11: links: Funktion eines Rotfilters, rechts: Funktion eines Grünfilters	277
Abbildung 12: Rotes Licht wird nicht mehr aufgespalten, es ist monochromatisch.....	279
Abbildung 13: Linse mischt die Regenbogenfarben wieder zu Sonnenlichtzusammen ...	280
Abbildung 14: Links: Schachtel mit weißem Boden und Wänden. Mitte: Schachtel mit rotem Blatt am Boden. Rechts: Der Beobachter nimmt die Farbe Rot wahr.	284
Abbildung 15: Bei unserem Beispiel ist der Würfel ein Zwischensender für die grüne Lichtsorte des Sonnenlichts. Seine Farbe erscheint dir grün.....	285
Abbildung 16: Die rote Lichtsorte wird wieder abgestrahlt, alle anderen Anteile werden aufgenommen. Wir nehmen den Apfel rot wahr.	288
Abbildung 17: Weiß strahlt fast alles ab, für den Beobachter erscheint der Würfel weiß.	289
Abbildung 18: Schwarz nimmt fast alles auf, kein Licht gelangt in unser Auge. Nichts gelangt zum Beobachter, daher denkt der Beobachter der Gegenstand erscheint schwarz.	290
Abbildung 19: Malkasten wird mit rotem und grünem Licht beleuchtet	292
Abbildung 20: Der Apfel nimmt den blauen Lichtanteil auf, kein Licht gelangt in unser Auge. Wir nehmen den Apfel schwarz wahr.....	294

10 Quellenangaben der Abbildungen des Leitfadens der Akzeptanzbefragung

Seite 244 Folie 2 Abb. Links: <http://www.panoramio.com/photo/28647277>

Seite 244 Folie 2 Abb. Rechts:

<https://www.univie.ac.at/physikwiki/index.php/Hauptseite?elearning=1#an>

Seite 250 Abb. 5: <http://www.glas-per-klick.de/optisch-reines-glas/glasprismen-diverses/>

Seite 253 Abb. 8: http://www.leifiphysik.de/web_ph07_g8/leifitest/quiz/sq07_02b.htm

Beobachter Folie 5 und Abb. 14, 15, 16, 17, 18, 20:

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/colorvision>

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Planung des Unterrichtskonzepts <i>Eigenschaften des Lichts</i> mit dem CoRe-Raster	32
Tabelle 2: Planung des Unterrichtskonzepts <i>Sonnenlicht- sonnenähnliches Licht</i> mit dem CoRe- Raster	33
Tabelle 3: Planung des Unterrichtskonzepts <i>Lichtsender-Lichtempfänger</i> mit dem CoRe-Raster	34
Tabelle 4: Planung des Unterrichtskonzepts <i>WW Licht-Materie- Körperfarben</i> mit dem CoRe- Raster	35
Tabelle 5: Auswertung Frage 1	181
Tabelle 6: Auswertung Frage 2	181
Tabelle 7: Auswertung Frage 3	181
Tabelle 8: Auswertung Frage 4	182
Tabelle 9: Auswertung Frage 5	182

12 Anhang A Schölermaterial der Ausgangsversion

1.Block

Farbenlehre

Das Wesen des Lichts

Im folgenden Abschnitt kannst du mehr über die besonderen Eigenschaften des Lichts herausfinden. Das hilft dir Phänomene in der Natur besser zu verstehen.

Betrachte folgende Fotos und beantworte die Frage:



Abbildung 1: Sonnenstrahlen³



Abbildung 2: Laserstrahlen⁴

Was fällt dir dabei auf? Wie breitet sich das Licht aus? Beschreibe:

Richtig, Licht breitet sich immer **geradlinig** aus!

Zeichne in Abbildung 1 die Lichtstrahlen nach. Wie verlaufen sie?

Wie unterscheiden sich die Lichtstrahlen in den Abbildungen 1 und 2?

Licht ist auch sehr schnell. Es ist schneller als das schnellste Auto bei der Formel 1 und auch schneller als das schnellste Flugzeug, oder die schnellste Rakete. **Nichts ist schneller als das Licht.** Eine Autofahrt von Wien nach Innsbruck dauert ca. 5 Stunden und 15 Minuten. Mit dem Flugzeug braucht man nur ca. 1 Stunde (reine Flugzeit). Das **Licht** benötigt viel **weniger als 1 Sekunde**, für den gleichen Weg!

Die **Lichtgeschwindigkeit** im Vakuum (luftleerer Raum) beträgt rund **300.000km/s**.

³ <http://www.panoramio.com/photo/28647277>

⁴ <https://www.univie.ac.at/physikwiki/index.php/Hauptseite?elearning=1#an>

2.Block

Wir wissen jetzt schon, dass sich Licht immer geradlinig und mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. Nun wollen wir untersuchen, wieso das Licht für uns Menschen so wichtig ist.

Denke nun an einen völlig dunklen Raum. Kannst du Gegenstände erkennen, wenn es völlig dunkel ist?

Begründe deine Entscheidung und gib Beispiele/Erlebnisse an!

Versuche eine Definition von Dunkelheit zu geben. Wann ist ein Raum völlig finster? Wo kannst du solche Räume finden?

Wir benötigen Licht, um sehen zu können. **Ohne Licht können wir auch nichts sehen.**

Denke nun an einen kühlen Herbsttag. Stell dir vor, du bist im Freien und hast nur einen dünnen Pullover aber keine Jacke an. Überlege, ob es einen Unterschied macht, ob du in der Sonne oder im Schatten stehst? Erkläre den Unterschied:

Richtig, in der Sonne frierst du weniger, als im Schatten. Aber warum ist das so?

Licht ist Strahlung die Energie überträgt. Die Sonne sendet Licht auf die Erde. Die Sonnenstrahlung und die Erdatmosphäre sind dafür verantwortlich, dass es auf der Erde eine höhere Temperatur als im Weltraum hat. Die Temperatur im Weltraum beträgt nämlich -270°C . Bei so niedrigen Temperaturen könnten Pflanzen, Tiere und Menschen nicht leben.

3.Block

Nun noch eine schwierige Frage: Glaubst du, dass Sonnenlicht weiter strahlen kann als das Licht einer einfachen Kerze?

Warum glaubst du das?

Breitet sich das Licht einer Kerze in der Nacht weiter aus, als am Tag? Begründe deine Antwort!

Das Licht der Sonne **unterscheidet sich** in diesem Fall **nicht vom Licht der Kerze**. Egal welche Quelle das Licht aussendet. Licht **bewegt sich so lange, bis** es auf ein **Hindernis trifft**. Im Weltraum ist das sehr lange, da in vielen Teilen des Weltraums Vakuum herrscht. Eine Kerze in deinem Zimmer kann beispielsweise nicht sehr weit leuchten, da das Licht schnell auf eine Zimmerwand, einen Tisch, einen Sessel oder auf andere Gegenstände trifft.

Glaubst du, dass auch folgende Dinge ein „Hindernis“ sein können. Ja oder Nein? Finde Gründe für deine Entscheidung!

- a.) Wasser
- b.) Luft
- c.) Ein Spiegel
- d.) Glas

Das **Licht breitet sich** unabhängig von Tag bzw. Nacht **immer gleich weit** aus. In der Nacht können wir den Kerzenschein zwar besser wahrnehmen, trotzdem leuchtet die Kerze immer gleich weit!

4.Block

Weißes Licht

Die oben genannten Eigenschaften des Lichts waren dir vorher vielleicht schon bekannt. Jetzt wirst du eine neue, wichtige Eigenschaft des Lichts kennen lernen. Mit dieser Eigenschaft kannst du nachher erklären, warum dir Gegenstände in bestimmten Farben erscheinen.

Sonnenlicht wird in der Physik als „**weißes Licht**“ bezeichnet. Auch Lampen erzeugen Licht. Ist das Licht der Lampe dem Sonnenlicht ähnlich, bezeichnen wir auch dieses Licht als weiß.

Weißes Licht setzt sich aus allen Farben des Regenbogens zusammen. Die **Regenbogenfarben** nennt man in der Physik **Spektralfarben**. Jeder Regenbogenfarbe kann man eine bestimmte Energie zuordnen. Blaues Licht hat beispielsweise mehr Energie als rotes Licht. Mischt man alle Regenbogenfarben, so können wir die einzelnen Spektralfarben nicht mehr erkennen. Wir empfinden dieses Gemisch aller Spektralfarben als weißes Licht. Die Mischung der Regenbogenfarben hat dann mehr Energie, als jede einzelne Regenbogenfarbe. Die Energie des weißen Lichts ist die Summe der Energien der Regenbogenfarben.

5.Block

Das kannst du nun durch ein Experiment selbst feststellen:

Versuchsmaterialien:

Lichtquelle, Filter (rot, blau, gelb), Spalt, Linse, Glasprisma, Schirm, weißes Blatt Papier, farbige (rot, blau, gelb) Stifte.

Versuchsaufbau:

Bei dem Versuch gelangt Licht aus der Lichtquelle durch einen Spalt und auf einen Farbfilter. Der Filter lässt nur eine bestimmte Farbe durch. Du weißt ja, dass eine Lichtfarbe immer einen bestimmten Energiebereich hat. Ein Rotfilter ist also ein Stoff, der fast alle Energiebereiche vom weißen Licht in sich aufnimmt. Nur den Energiebereich, den rotes Licht hat, lässt er durch. Du kannst dir das wie ein Sieb vorstellen, mit dem du Sand siebst. Körner, mit einer bestimmten Größe werden durchgelassen, die anderen bleiben im Sieb. Gehen wir noch einmal zum Rotfilter zurück. Kannst du dir vorstellen, was mit den Energiebereichen passiert, die der Filter nicht durchlässt?

Das einfarbige Licht vom Filter trifft anschließend auf die Linse und dann auf ein Glasprisma.

Du kannst dir das Glasprisma so vorstellen: Ein kleiner Glaskörper, der nur einige cm groß ist, und ein Dreieck als Grundfläche hat. Um es dir besser vorstellen zu können, betrachte folgendes Bild:

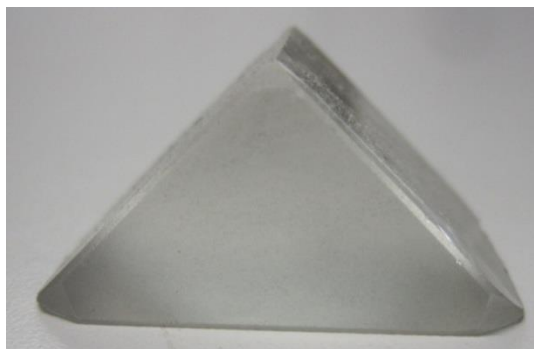


Abbildung 3: Glasprisma

Mit dem **Glasprisma** kann man die **Zusammensetzung von Licht untersuchen**. In Glas breitet sich Licht verschiedener Farbe verschieden schnell aus. Hinter dem Glasprisma befindet sich ein Schirm mit einem weißen Blatt Papier. Auf dem Papier kann man später die Farbbereiche einzeichnen.

Was mit dem Licht beim Glasprisma passiert, kannst du jetzt selbst herausfinden:

Versuchsdurchführung:

- 1.) Gib einen **Rotfilter** vor die Lichtquelle und schalte die Lichtquelle ein. Der Rotfilter lässt nur den roten Farbanteil des weißen Lichts durch. Das rote Licht trifft auf das Glasprisma. Das Prisma bricht das Licht. **Zeichne den Bereich des roten Lichtbündels** mit dem **roten Stift** auf das Blatt **Papier**, das sich auf dem Schirm befindet.

- 2.) Führe den gleichen Versuch anschließend mit dem **Blaufilter** durch. Der Blaufilter lässt nur den blauen Farbanteil des weißen Lichts durch. **Zeichne** den **Bereich des blauen Lichtbündels** auf das **Blatt**.
- 3.) Führe nun den gleichen Versuch mit dem **Gelbfilter** durch. Der Gelbfilter lässt nur den gelben Anteil des weißen Lichts durch. **Zeichne** den **Bereich des gelben Lichtbündels** auf das **Blatt**.

Was ist passiert, als du das Prisma nacheinander mit dem roten, blauen und gelben Lichtanteil beleuchtet hast? Haben sich die **Farben** rot, gelb und blau beim Durchgang durchs Prisma irgendwie **verändert**?

Entferne nun den Filter und beleuchte das Prisma mit weißem Licht. Was passiert mit dem Licht beim Prisma? Vergleiche das Licht vor dem Prisma mit dem Licht beim bzw. nach dem Durchgang durch das Prisma. Beschreibe Unterschiede und Ähnlichkeiten:

Skizziere den Versuch und das Ergebnis mit farbigen Stiften:

Halte hier noch einmal fest, was du bisher schon über den Versuch mit dem Prisma gelernt hast. Formuliere einen Merksatz!

6.Block

Nun brauchst du die **Zylinderlinse**. **Zylinderlinsen bündeln Licht**. Die Zylinderlinse kann das Licht nach dem Prisma wieder zusammenführen. Zylinderlinsen sehen zum Beispiel so aus:

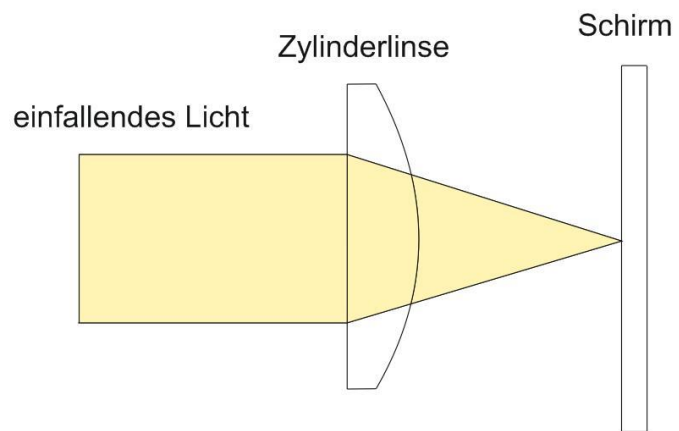
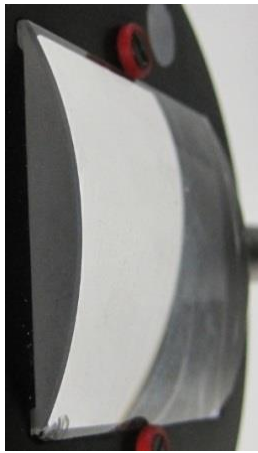


Abbildung 4: links: Zylinderlinse, rechts: Zylinderlinse bündelt Licht

Halte die Zylinderlinse in den regenbogenfarbigen Lichtstrahl. Beschreibe was mit dem farbigen Lichtbündel nach der Zylinderlinse passiert:

7.Block

Wir führen einen ähnlichen Versuch nun am Computer durch:

Verwende dazu folgendes Applet:

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=415.0>

Erklärungen zum Applet:

Du findest das Lichtbündel in der linken Bildhälfte. Es ist der weiße Punkt mit dem weißen Pfeil.

Wenn du auf den Punkt klickst und gedrückt hältst, kannst du das Lichtbündel verschieben.

Bei dem Regler in der rechten unteren Ecke, mit der Aufschrift „Angle“, lässt sich der Winkel des Prismas verändern.

Mit dem Play Knopf kannst du das Experiment starten.

Mit dem Clear Knopf kannst du den Strahlengang rückgängig machen.

Mit dem Reset Knopf kannst du wieder die Anfangseinstellungen erhalten.

Probiere das Applet aus und mach dir Notizen. Was kannst du beobachten? Ist es egal, wo der Lichtstrahl auf das Prisma trifft? Beschreibe!

Macht die Größe des Glasprismenwinkels einen Unterschied? Erkläre!

8.Block

Newton's Versuch

Der Wissenschaftler **Isaac Newton** erklärte als erster die Zusammensetzung des weißen Lichts. Er verwendete dazu, genau wie du vorher, ein **Glasprisma**.

Mit dem **Glasprisma** kann man die **Zusammensetzung von Licht untersuchen**. In Glas **breitet** sich **Licht verschiedener Farbe verschieden schnell** aus. Anders gesagt, Lichtstrahlung, die verschiedenen Energiebereiche transportiert, breitet sich verschieden schnell in Glas aus.

Deshalb werden in einem Prisma die verschiedenen Regenbogenfarben verschieden stark von ihrer Strahlungsrichtung abgelenkt. Dadurch können die einzelnen **Farbanteile des weißen Lichts sichtbar** gemacht werden.

Newton verdunkelte sein Zimmer, bis nur mehr ein dünnes Lichtbündel durch das Fenster schien. Dieses Licht ließ er auf das Glasprisma fallen. Das Glasprisma spaltete das weiße Licht in die Regenbogenfarben auf. Newton entdeckte einen Streifen mit Regenbogenfarben an der Zimmerwand.

Es war so erstaunt darüber, dass er diese Regenbogenfarben „**Spektrum**“ nannte. Das Wort Spektrum kommt vom lateinischen Wort „spectrum“ und bedeutet **Erscheinung** oder **Gespens**.

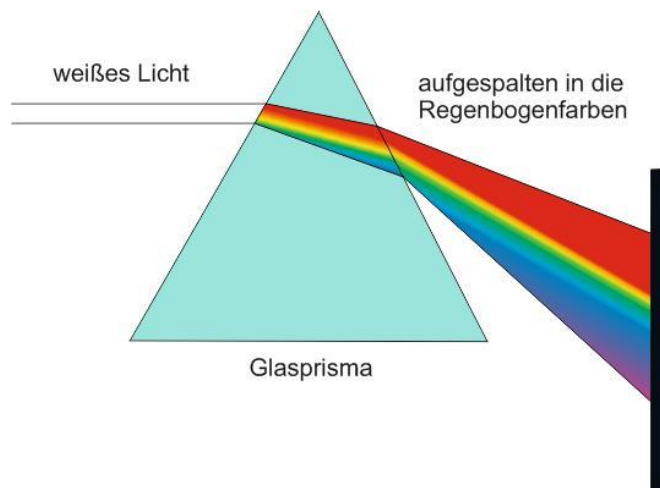


Abbildung 5: Das Glasprisma spaltet das Licht in die Regenbogenfarben auf

9. Block

Newton erklärte den Versuch folgendermaßen:

Weißes Licht besteht aus den Regenbogenfarben. Das **Glasprisma** kann das **weiße Licht** in seine **Regenbogenfarben aufspalten**. Doch wie schafft das Glasprisma das?

Wie du schon gelernt hast, ist **Licht Strahlung**, die **Energie** transportiert. Je nachdem welche **Regenbogenfarbe** des weißen Lichts man betrachtet, transportiert sie **mehr oder weniger Energie**.

Blaues Licht hat am **meisten Energie**. **Rotes Licht** hat am **wenigsten Energie**. Die farbigen Anteile des Lichts werden vom Prisma unterschiedlich stark abgelenkt. Der **blaue Anteil** des weißen Lichts hat die meiste Energie und wird am **stärksten abgelenkt**. Der **rote Anteil** des weißen Lichts hat am wenigsten Energie und wird daher am **schwächsten abgelenkt**. Auch die Regenbogenfarben, die zwischen blau und rot liegen, entsprechen Energiebereichen dazwischen. Der Energiebereich, den grünes Licht transportiert, liegt zum Beispiel zwischen der Energie vom roten und vom blauen Anteil. Aus diesem Grund wird der grüne Anteil weniger stark als der blaue Anteil abgelenkt, aber stärker als der rote Anteil.

Zusammengefasst können wir also sagen: Ein **Prisma spaltet das weiße Licht nach Energie der Regenbogenfarben auf**. Jede Regenbogenfarbe entspricht einer anderen Energie.

Wenn Licht in seine Regenbogenfarben aufgespalten wird, sprechen die PhysikerInnen von **Dispersion**. Das Wort Dispersion leitet sich vom lateinischen Wort „dispegere“ ab und bedeutet **zerstreuen**.

Mit Hilfe der **Zylinderlinse** kann man die **Regenbogenfarben** wieder **zu weißem Licht** zusammenmischen. Auch die Linse ist aus Glas, daher ist der Licht der verschiedenen Regenbogenfarben wieder unterschiedlich schnell. Die Linse ist aber so geformt, dass diesmal die einzelnen Lichtfarben gebündelt werden. Anders gesagt, die Zylinderlinse fügt die Energiebereiche der einzelnen Farben wieder zur Gesamtenergie von weißem Licht zusammen.

Beleuchtest du das Prisma **nur mit einer Regenbogenfarbe**, dann schickst du nur einen Energiebereich durchs Prisma durch. Diese eine Farbe wird **nicht mehr aufgespalten**. Wir lassen beispielsweise den grünen Anteil des weißen Lichts durch das Prisma fallen. Der grüne Anteil wird nicht verändert. Er wird auch nicht in andere Farben aufgespalten. Farbige Licht, das nicht mehr zerlegt werden kann, nennen wir **monochromatisch**.

10.Block

Bereiche des Lichts

Newton sah jedoch nur den sichtbaren Bereich des Lichts. Den sichtbaren Bereich des Lichts können wir Menschen mit unseren Augen wahrnehmen. Es gibt aber auch Bereiche die wir nicht sehen oder wahrnehmen können. Diese Bereiche nennen wir den **infraroten** und den **ultravioletten Bereich der Strahlung**. Der infrarote Bereich schließt an den roten Bereich des sichtbaren Lichts an. Der ultraviolette Bereich schließt an den blauen Bereich des sichtbaren Lichts an. Das kannst du dir mit folgendem Bild leichter vorstellen:

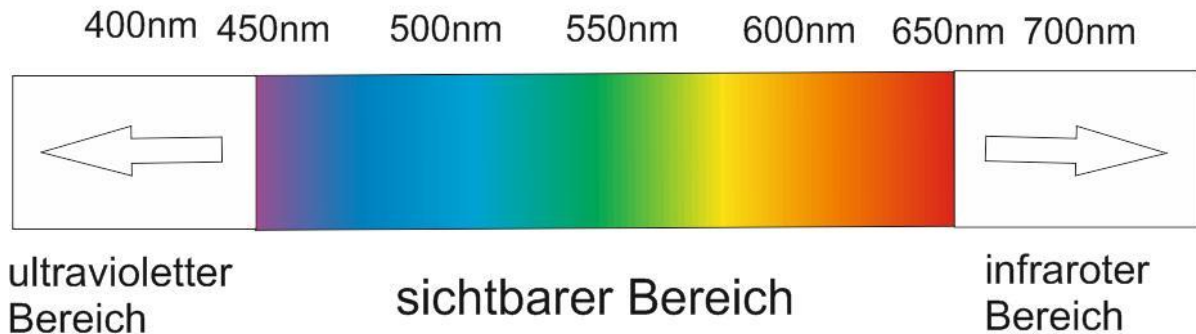


Abbildung 6: Ultraviolettes Licht schließt an den blauen Bereich an. Infrarotes Licht schließt an den roten Bereich an.

Auf Bild 6 sind die Regenbogenfarben nach ihren Energiebereichen geordnet. Der blaue/violette Teil der Regenbogenfarben hat am meisten Energie. Der rote Bereich hat am wenigsten Energie. Der ultraviolette Bereich hat mehr Energie als der blaue/violette sichtbare Bereich. Der infrarote Bereich hat weniger Energie als der rote sichtbare Bereich.

11.Block

Du hast schon gelernt, dass Licht Strahlung ist, die Energie transportiert. Je nachdem welche Farbe das Licht hat, transportiert es mehr oder weniger Energie. Überlege dir mit deiner/m Sitznachbar/in bei welcher Strahlung mehr Energie transportiert wird. Bei infraroter Strahlung oder bei UV-Strahlung? Findet auch Begründungen und Beweise dafür!

Infrarotes Licht wird auch **Wärmestrahlung** genannt. Auch dein Körper sendet Wärmestrahlung aus. Das **ultraviolette Licht** wird auch **UV-Strahlung** genannt. UV-Strahlung ist für die Menschen lebensnotwendig. Nur so kann der Körper Vitamin D produzieren. Zu viel UV-Strahlung ist schädlich und führt zu Sonnenbrand.

Den infraroten Bereich kannst du mit folgendem Versuch nachweisen:

Nun verwenden wir den Versuchsaufbau vom Prismenversuch nochmals. Richte das Infrarotthermometer neben den roten Bereich des Spektrums. Was fällt dir dabei auf, kannst du etwas messen?

12.Block

Lichtsender-Empfänger

Um zu verstehen wie wir Farben sehen, müssen wir zuerst verstehen, wann wir Gegenstände wahrnehmen können. Im folgenden Kapitel wirst du lernen, wann du einen Gegenstand siehst und wann nicht.

Sender sind Gegenstände, die **Licht abstrahlen**. Wir unterscheiden **zwei Arten** von Sendern:

1. Selbstsender: Selbstsender **erzeugen selbst Licht**. Sie strahlen das erzeugte Licht in alle Richtungen ab. (z. B. Glühbirne, Sonne). Selbstsender werden durch Erhitzen, Strom etc. zum Strahlen angeregt.

2. Zwischensender: Zwischensender **erzeugen selbst kein Licht**. Sie strahlen nur dann Licht ab, wenn sie beleuchtet werden. Sie leiten das Licht eines anderen Lichtsenders weiter. (Tisch, Fußboden, Mond, Wolken).

Selbstsender und Zwischensender sind Sender, weil sie Licht abstrahlen können. Für unser Auge funktioniert das Sehen eines Selbstsenders ganz gleich wie das Sehen eines Zwischensenders.

Dazu muss **immer Licht vom Sender ins Auge gelangen**.

Zwischensender(wie ein Tisch), siehst du nur, wenn sie von einer Lichtquelle angestrahlt werden. Beleuchten wir den Zwischensender, so sendet er Licht weiter. Du siehst den Gegenstand, wenn das Licht, das er weiterstrahlt, in dein Auge kommt.

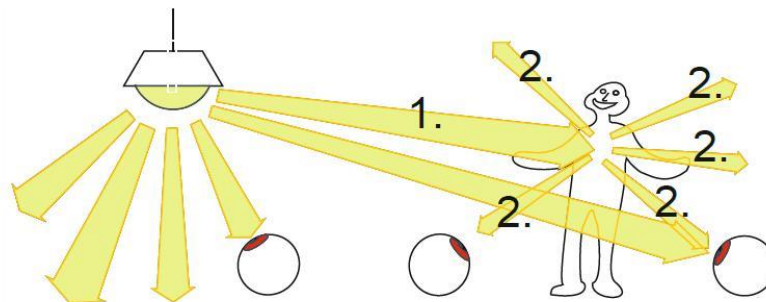


Abbildung 7: Licht des Selbstsenders und des Zwischensenders gelangt ins Auge

13.Block

Im folgenden Bild kannst du beobachten, wann wir Gegenstände sehen:

Das Sonnenlicht scheint auf die Wolke. Die Wolke ist ein Zwischensender und strahlt einen Teil des Lichts in dein Auge. Darum kannst du die Wolke sehen. Ein anderer Teil wird auf den Baum gestrahlt. Der Baum ist ein Zwischensender und strahlt das Licht in dein Auge. Aus diesem Grund siehst du auch den Baum.

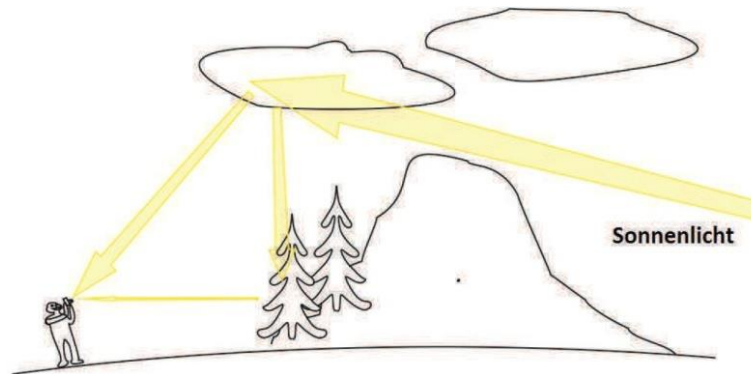


Abbildung 8: Licht wird vom Zwischensender weitergestrahlt und gelangt ins Auge

Führe folgenden Versuch durch:

Beleuchte eine Schachtel mit weißem Boden mit einer Taschenlampe. Der Boden verhält sich wie die Wolke aus dem vorigen Beispiel.



Abbildung 9: Schachtel mit weißem Boden

Wieso kannst du die Schachtel überhaupt sehen? Was macht der Schachtelboden, wenn er mit weißem Licht beleuchtet wird? Versuche es mit der gleichen Argumentation wie im Wolke-Baum Beispiel! Wenn du Hilfe brauchst, dann schau dir die Abbildung 9 genauer an.

Der Boden wird angeleuchtet. Der **Schachtelboden** ist ein **Zwischensender**. Er sendet einen Teil des Lichts in dein Auge. Darum siehst du den Schachtelboden. Ein **anderer Teil** des Lichts wird, vom Schachtelboden, an die **Schachtelwand** gestrahlt. Auch die Schachtelwand strahlt das Licht weiter. Gelangt das Licht in dein Auge, siehst du die Schachtelwand. Darum kannst du sowohl den Schachtelboden, als auch die Schachtelwand sehen.

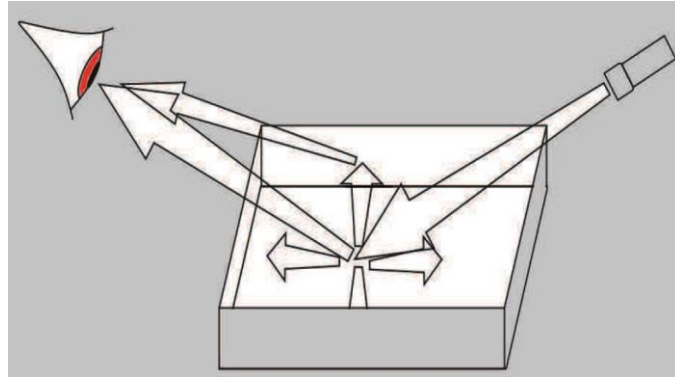


Abbildung 10: Lichtweg bei der Schachtel

14.Block

Oben haben wir erfahren, dass wir Gegenstände wahrnehmen, wenn Licht vom Gegenstand in unsere Augen gestrahlt wird. Nun wollen wir untersuchen was genau mit dem Licht passiert, das auf einen Gegenstand trifft. Bis jetzt wissen wir noch nicht alles darüber.

Trifft Licht auf einen Gegenstand, wird das **Licht** vom Gegenstand **aufgenommen**. Der Gegenstand wandelt einen **Teil** des Lichts in **Wärme** um. Der andere **Teil** des Lichts **wird wieder abgestrahlt**. Gegenstände haben die Eigenschaft, dass sie immer denselben Teil des weißen Sonnenlichts weiterstrahlen. Der abgestrahlte Lichtanteil ist für die Farbe verantwortlich, in der uns der Gegenstand im weißen Licht erscheint. Das hört sich jetzt vielleicht verwirrend an, aber im nächsten Beispiel wird das gleich klar werden:

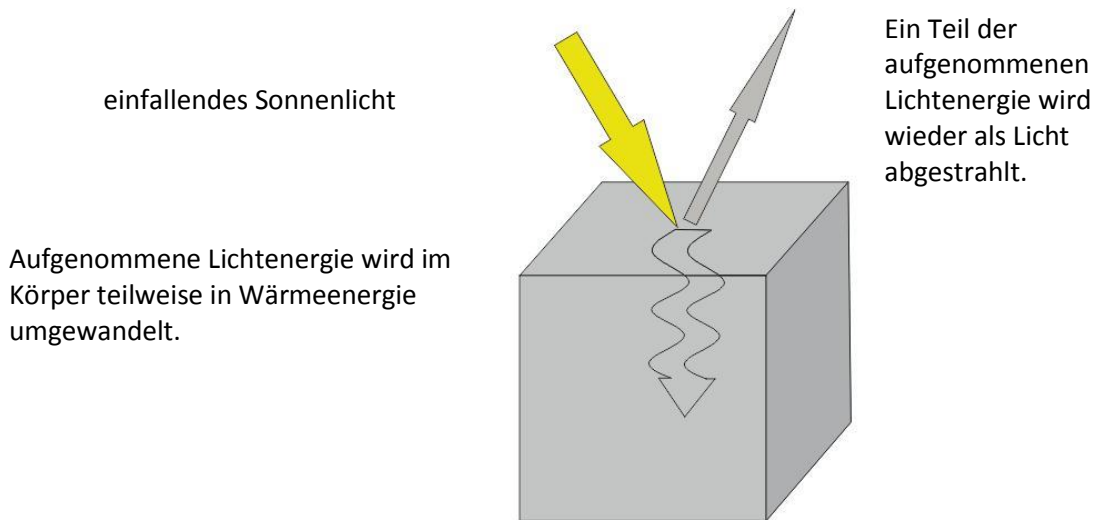


Abbildung 11: Bei unserem Beispiel sendet der Würfel nur einen Teil des Lichts weiter. Wenn dieses weitergestrahlte Licht vom Würfel in deine Augen kommt, dann kannst du den Würfel sehen.

15.Block

Nun wollen wir untersuchen, was mit dem aufgenommenen Licht passiert:

Erinnere dich an die Eigenschaften des Lichts. Licht ist Strahlung, die Energie übertragen kann.

Auch **Wärme** ist eine **Form der Energie**. Das **aufgenommene Licht** wird in **Wärme umgewandelt**.

Das hast du vielleicht selbst schon gespürt: Du kennst sicher Rotlichtlampen. Mit Rotlichtlampen werden Körperteile angeleuchtet, um Muskelverspannungen zu lösen. Der aufgenommene Lichtanteil wird in Wärme umgewandelt. Diese Wärme löst die Verspannung und lindert den Schmerz.

Du weißt nun: **Verschiedene Körper wandeln einen unterschiedlichen Teil des Sonnenlichts, mit dem sie beleuchtet werden, in Wärmeenergie um.** Stellt Vermutungen an:

Welches T-Shirt wandelt mehr Sonnenlicht in Wärmeenergie um:

Ein T-Shirt, das im Sonnenlicht weiß erscheint oder eines das schwarz erscheint?

Ringle das Zutreffende ein und begründe:

Das weiß erscheinende T-Shirt wandelt mehr/weniger Sonnenlicht in Wärmeenergie um, weil:

Das schwarz erscheinende T-Shirt wandelt mehr/weniger Sonnenlicht in Wärmeenergie um, weil:

16.Block

Farben

Die Regenbogenfarben des weißen Lichts tragen dazu bei, dass wir Gegenstände farbig wahrnehmen.

Führe nun folgenden Versuch durch:

Erinnere dich an den Versuch mit der Schachtel.

Nun wird der Versuch ein wenig verändert. Lege ein gelbes Blatt Papier auf den Schachtelboden. Betrachte nun die Schachtelwände.



Abbildung 12: Schachtel mit gelbem Blatt am Boden

Fällt dir eine Veränderung bei der vorher weißen Schachtelwand auf? Beschreibe die Veränderung:

Nun wollen wir das Phänomen erklären:

Stell dir einen **roten Apfel** vor. Genauer gesagt, einen Apfel, der im Sonnenlicht rot erscheint.

Weißes Licht trifft auf den rot erscheinenden Apfel. Der **rote Anteil** des weißen Lichts wird vom Apfel **wieder abgestrahlt**. Der rote Anteil trifft in dein Auge. Du nimmst den Apfel in der Farbe Rot wahr. Die **anderen Teile** des weißen Lichts werden vom Apfel **aufgenommen**. Die aufgenommenen Anteile werden in **Wärme umgewandelt**. Wir wollen das nun mit Energien erklären: Der rote Apfel ist ein Zwischensender. Auf die Schale des Apfels strahlen alle Regenbogenfarben mit verschiedenen Energien. Der Apfel strahlt aber nur einen Energiebereich wieder ab. Das ist der Energiebereich, den wir rot wahrnehmen. Aus diesem Grund sehen wir den Apfel rot.

weißes Licht
besteht aus
den Regenbogenfarben

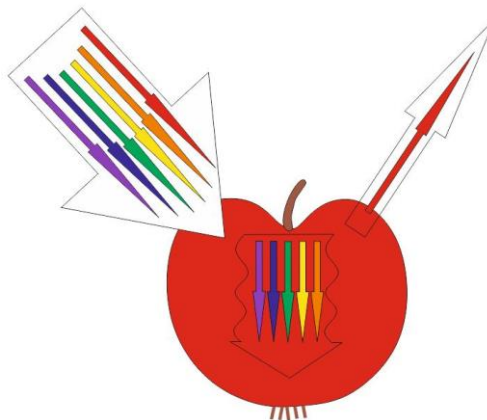


Abbildung 13: Roter Lichtanteil wird wieder abgestrahlt, alle anderen Anteile werden aufgenommen

17.Block

Nun zurück zur Erklärung des Schachtelversuchs:

Das **gelbe Blatt** im Schachtelversuch **verhält** sich genauso **wie der Apfel** im oberen Beispiel. Das weiße Licht trifft auf das gelbe Papier am Schachtelboden. Das gelbe Blatt nimmt das weiße Licht auf. Der **gelbe Farbanteil** wird wieder **abgegeben**. Alle **anderen Farbanteile** werden vom Blatt **aufgenommen** und in **Wärme** umgewandelt. Das gelbe Blatt strahlt den gelben Farbanteil in alle Richtungen ab. Ein Teil davon gelangt in unser Auge. Daher sehen wir ein gelbes Blatt am Schachtelboden.

Ein anderer **Teil des abgestrahlten gelben Lichts trifft** auf die **Schachtelwand**. Nun trifft sie das gelbe Licht vom gelben Blatt am Schachtelboden. Die Schachtelwand nimmt den gelben Farbanteil auf und strahlt ihn auch wieder ab. Der abgestrahlte Anteil gelangt in unser Auge. Wir sehen die Schachtelwand leicht gelblich.

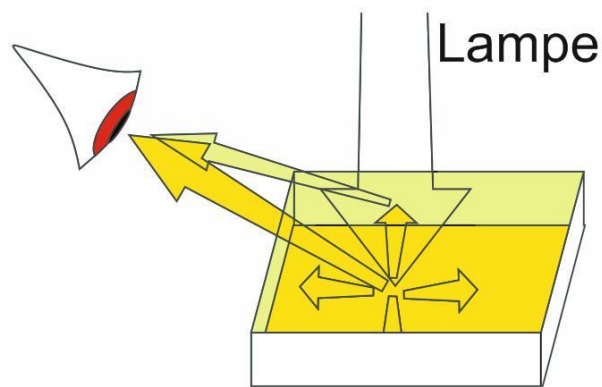


Abbildung 14: Schachtel mit gelbem Blatt am Boden

Warum wird von den Schachtelwänden weniger Licht als vom Schachtelboden aufgenommen?

18.Block

Wir wollen uns nun mit **zwei speziellen Fällen** beschäftigen.

Wann erscheint ein **Gegenstand weiß**, wann erscheint er **schwarz**?

Wie kann ein Körper schwarz erscheinen, wenn keine der Regenbogenfarben schwarz ist?

Welche Regenbogenfarben müssen abgestrahlt werden, damit wir einen Gegenstand weiß wahrnehmen?

Auf diese Fragen wirst du gleich eine Antwort erhalten!

Ein Gegenstand erscheint **weiß**, wenn von jedem Energiebereich der einzelnen Regenbogenfarben **Lichtanteile** wieder **abgegeben** werden und in unser Auge gelangen. Du nimmst einen Gegenstand **schwarz** wahr, wenn vom Gegenstand **alle Energiebereiche** der Regenbogenfarben **aufgenommen** werden. Es gelangt fast kein Licht in unser Auge.

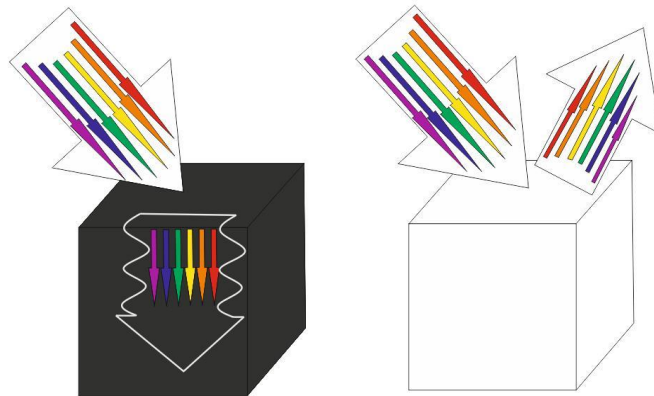


Abbildung 15: Schwarz nimmt fast alles auf, weiß strahlt fast alles ab.

Stell dir vor, du hast einen schwarzen und einen weißen Pullover. Du ziehst zuerst den weißen Pullover an und stellst dich damit in die Sonne. Anschließend ziehst du den weißen Pullover aus und den schwarzen Pullover an. Dann stellst du dich wieder in die Sonne.

Was glaubst du passiert? Macht es einen Unterschied welche Farbe der Pullover hat? Fühlst du dich im weißen Pullover anders, als im schwarzen Pullover?

Führe nun folgenden Versuch durch:

Beleuchte ein weißes und schwarzes Stoffstück 2 Minuten lang mit einer Lampe.
Berühre anschließend die beiden Stoffstücke. Beschreibe den Unterschied!

Erinnere dich nochmals an das Pullover Beispiel. Versuche nun mit der Energie zu argumentieren!

Der **weiße Pullover** gibt fast das gesamte **einfallende Licht wieder ab**. Deshalb erscheint er weiß. Der **schwarze Pullover nimmt** fast das gesamte **Licht auf**. Darum erscheint er schwarz. Da das aufgenommene Licht in Wärme umgewandelt wird, spürst du das im **schwarzen Pullover schneller als im weißen Pullover**.

19.Block

Gegenstände in farbigem Licht

In diesem Kapitel wirst du wahrscheinlich eine Überraschung erleben. Wir Menschen sind es gewöhnt, alle Gegenstände in weißem Licht zu betrachten. Doch was passiert, wenn du einen Gegenstand in farbigem Licht betrachtest? Auf diese Frage wirst du bald eine Antwort finden.

Zu Beginn führe folgenden Versuch durch:

Beleuchte einen Buntstiftkasten mit einer Taschenlampe. Halte vor die Taschenlampe nun eine rote Folie. Beschreibe was dir auffällt? Verändern sich die Farben der Buntstifte?

Halte nun die gelbe Folie vor die Taschenlampe. Beschreibe was dir auffällt? Verändern sich die Farben der Buntstifte?

Halte nun die grüne Folie vor die Taschenlampe. Beschreibe was dir auffällt? Verändern sich die Farben der Buntstifte?

Halte zum Schluss die blaue Folie vor die Taschenlampe. Beschreibe was dir auffällt? Verändern sich die Farben der Buntstifte?

20.Block

Welcher Anteil des weißen Lichts abgestrahlt wird, hängt vom Material des Gegenstands ab. Ein **bestimmter Gegenstand strahlt immer den gleichen Energiebereich ab**. Unser Apfel (aus dem vorigen Beispiel) strahlt immer den Energiebereich des roten Anteils des weißen Lichts ab. Gegenstände haben im weißen Licht immer dieselbe Farbe. Beleuchtet man die Gegenstände jedoch mit farbigem Licht, erscheinen sie plötzlich in einer anderen Farbe. Die **Farbe eines Gegenstands hängt vom Licht ab, mit dem er beleuchtet wird**. Der Gegenstand kann in z.B. blauem Licht in einer anderen Farbe erscheinen als z.B. in rotem Licht oder in weißem Licht. **Farbe ist also keine Eigenschaft des Gegenstands! Den Farbeindruck, den wir haben, hängt vom Licht ab, in dem wir den Gegenstand sehen.**

Wir beleuchten den **Apfel**, der in der Sonne rot erscheint, mit einer **blauen Glühbirne**. Der Apfel erscheint dir dann schwarz! Die Schale des Apfels kann nur den roten Lichtanteil abstrahlen. Wenn der Apfel mit blauem Licht beleuchtet wird, nimmt die Schale den blauen Lichtanteil auf. Nichts wird wieder abgestrahlt. Daher gelangt auch kein Licht in unser Auge und auch keine Information über die Farbe. Der Apfel hebt sich aber von seiner Umgebung ab, die Licht in unser Auge sendet. Daher erkennen wir seine Form, die uns **schwarz erscheint**.

Der rote Apfel ist nur für rotes Licht ein Zwischensender. Wird der Apfel mit weißem Licht beleuchtet, so strahlt der Apfel den roten Anteil des weißen Lichts wieder ab. Der Apfel ist ein „Energiewandler“ für alle anderen Energiebereiche außer rot. **Das bedeutet er wandelt alle anderen farbigen Anteile des weißen Lichts in Wärmeenergie um.**

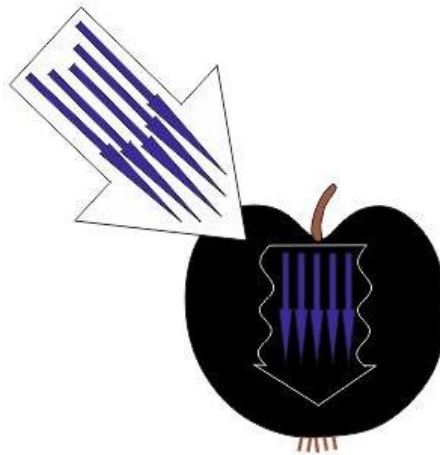


Abbildung 16: Apfel nimmt den blauen Lichtanteil auf und erscheint dadurch schwarz

21.Block

Versuch: Beleuchtung von Gegenständen mit verschieden farbigem Licht.

Auf den folgenden Bildern kannst du die gleichen Stoffstücke in unterschiedlichem Licht betrachten.

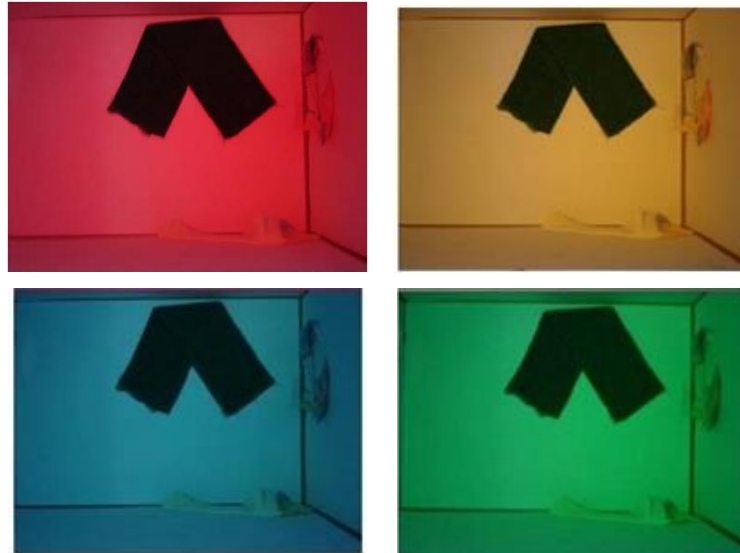


Abbildung 17: Stoffstücke in farbigem Licht⁵

Welche Farbe haben die Stoffstücke in weißem Licht? Begründe deine Entscheidung!

Richtig, **dasselbe Stoffstück erscheint in farbigem Licht in einer anderen Farbe.**

Gedankenexperiment:

Was glaubst du passiert, wenn du einen roten Luftballon mit einem roten Laser beleuchtest?

Warum glaubst du passiert das?

Was glaubst du passiert, wenn du einen grünen Luftballon mit einem grünen Laser beleuchtest?

Warum glaubst du passiert das?

⁵ http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/lernzirkel_optik/index.html

Und was passiert, wenn du einen roten Luftballon mit einem grünen Laser beleuchtest?

Warum glaubst du passiert das?

Betrachte nun folgendes Video:

<http://www.youtube.com/watch?feature=endscreen&v=680xwwEs7Lg&NR=1>

Erkläre warum das passiert!

Der **rote Luftballon strahlt** das **Licht des roten Lasers ab**. Aus diesem Grund zerplatzt er nicht. Der **grüne Luftballon strahlt** das **Licht des grünen Lasers ab**. Auch dieser zerplatzt nicht. Anschließend leuchten wir den roten Ballon mit dem grünen Laser an. Der **rote Ballon nimmt das grüne Laserlicht auf**. Das **aufgenommene Licht** wird in **Wärme umgewandelt**. Wenn die Luftballonhülle **zu warm** wird, **platzt** der Luftballon.

13 Anhang B Schülermaterial der Endversion

Farbenlehre

1.Block

Sonnenlicht, sonnenähnliches Licht

Die eben präsentierten Eigenschaften des Lichts waren dir vorher vielleicht schon bekannt. Jetzt wirst du eine neue, wichtige Eigenschaft des Lichts kennen lernen. Mit dieser Eigenschaft kannst du nachher erklären, warum du Gegenstände in bestimmten Farben wahrnimmst.

Wir machen nun ein Experiment, dass dir weitere Eigenschaften des Lichts zeigen soll.

Unten siehst du eine Schachtel mit einem Loch (Abbildung 1). In Abbildung 2 Siehst du was du siehst, wenn du durch das Loch in die Schachtel siehst.



Abbildung 1: Schachtel mit Loch



Abbildung 2: Ein Blick durch das Rohr in die Schachtel

Beschreibe was du siehst!

Ich sehe...

Stelle eine Vermutung an! Was ist in der Schachtel drinnen?

Ich vermute in der Schachtel ist...

2.Block



Nun wollen wir in die Schachtel hineinschauen (Abbildung 3). Beschreibe was du siehst! Beschreibe die Wege und Farben der Lichtkegel am Schachtelboden!

In der Schachtel...

Abbildung 3: Ein Blick in die Schachtel

Du siehst also, verschiedene Lichtsorten kann man mischen.

Der Lichtkegel der grünen und der roten Lampe werden zusammengemischt, wenn sich ihr Licht an einer Stelle trifft. Eine neue Lichtfarbe entsteht.

Das geht natürlich auch mit anderen Farben. Beobachte nun im Demoversuch was mit den Lichtkegeln passiert, wenn sich farbige Lichtkegel kreuzen und dann wieder auseinanderlaufen.

Demo 1:

Erst gibt es einen und einen

Lichtkegel. Am Kreuzungspunkt sehe ich

.....

Hinter dem Kreuzungspunkt sehe ich

.....

Wir können also zusammenfassen: **Verschiedene Lichtsorten können zusammengemischt werden** und ergeben an der **Kreuzungsstelle** eine **neue Lichtfarbe**. Die **Kreuzungsstelle** erscheint uns heller, weil dort **doppelt so viel Licht** hinkommt, wie bei den einzelnen Lichtkegeln. Nach der Kreuzungsstelle hat jeder Kegel wieder seine ursprünglich Lichtfarbe und Lichtmenge.

3.Block

Wenn du nun mehrere Lichtsorten zusammenmischt, dann entsteht Licht, dass dem der Sonne ähnlich ist.

Auch **Sonnenlicht** ist in Wirklichkeit eine **Mischung** aus **verschiedenen Lichtsorten**. Unser Auge kann die verschiedenen Lichtsorten im Sonnenlicht aber nicht getrennt wahrnehmen. Wie du später sehen wirst, kann man die Lichtsorten aber mit Hilfsmitteln sichtbar machen.

Auch Lampen erzeugen Licht. Meistens ist das Licht von Lampen dem Sonnenlicht sehr ähnlich. Du kannst nicht unterscheiden, ob eine Lampe oder die Sonne auf eine weiße Wand leuchtet.

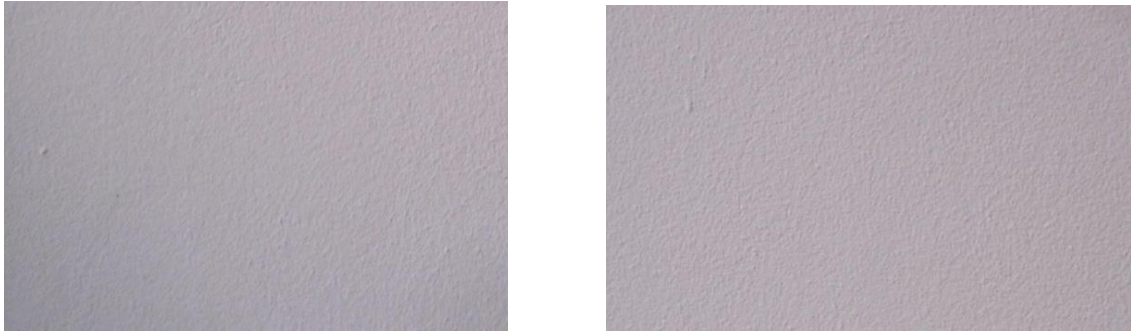


Abbildung 4: Wand mit Sonnenlicht beleuchtet Wand mit sonnenähnlichem Licht von Lampe beleuchtet.

Wenn wir also vom Licht von Lampen sprechen, meinen wir immer sonnenähnliches Licht. Auch das sonnenähnliche Licht lässt sich, wie das Sonnenlicht in verschiedene Lichtsorten zerlegen.

4.Block

Nun wollen wir die verschiedenen Lichtsorten des Sonnenlichts durch einen Versuch sichtbar machen:

Zur Untersuchung von Licht verwenden wir ein Prisma. Das ist ein kleiner Kunststoff-oder Glaskörper, mit einem Dreieck als Grundfläche (Abbildung 5).



Abbildung 5: Prisma

Kunststoff, Wasser und Glas sind optisch dichter als Luft. Wenn Licht schräg von Luft in Glas läuft, oder umgekehrt, dann **ändert** sich die **Lichtgeschwindigkeit**. Dadurch **ändert** das Licht auch seinen **Weg**, es macht einen **Knick**. PhysikerInnen sagen „das Licht wird gebrochen“. Um dir das besser vorstellen zu können, betrachte Abbildung 6. Hier siehst du wie ein roter Lichtstrahl von einem Laser zweimal an der Grenze zwischen Glas und Luft gebrochen wird.

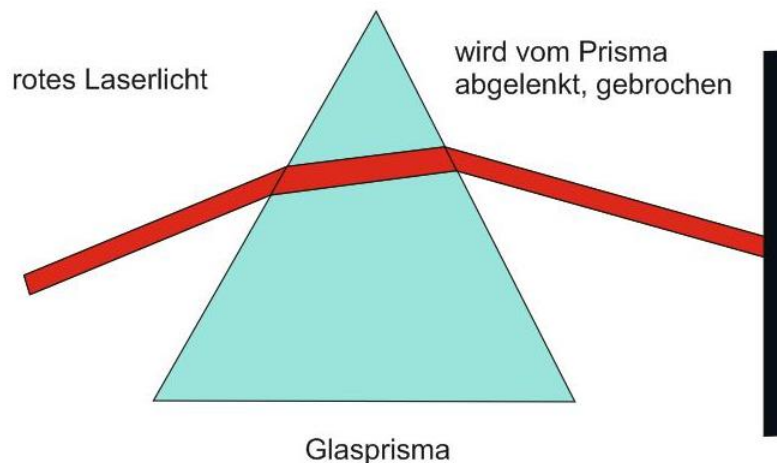


Abbildung 6: Laserlicht wird im Glasprisma abgelenkt, gebrochen

Arbeitsauftrag: Zeichne in Abbildung 6 ein wie der rote Strahl verlaufen würde, wenn er nicht, gebrochen würde!

5.Block

Aber warum können wir mit dem **Prisma** die **Zusammensetzung von Licht untersuchen**?

Dazu musst du wissen, dass die verschiedenen Lichtsorten des Sonnenlichts verschieden schnell sind. Rot ist z.B. schneller als Blau und wird daher weniger vom ursprünglichen Weg abgelenkt. Das ist so wie wenn du mit deinen Schi vom Schnee auf eine Wiese fährst. Du wirst abgebremst und vom Weg abgebracht. Je schneller du unterwegs bist, umso weniger wirst du von deinem Weg abgelenkt.

Wir sehen uns nun im Versuch an, was mit Sonnenlicht im Prisma passiert.

Wir verwenden dazu das starke Licht eines Overheadprojektors. Ein **Teil des Lichtstrahls** trifft schräg auf das Prisma und wird gebrochen. Die verschiedenen Lichtsorten werden im Prisma verschieden stark abgebremst. Deshalb werden sie auch verschieden stark an der Grenze zwischen Glas und Luft geknickt (gebrochen). So **spaltet** das **Glasprisma** das Licht des Overheadprojektors in **die verschiedenen Lichtsorten auf**.

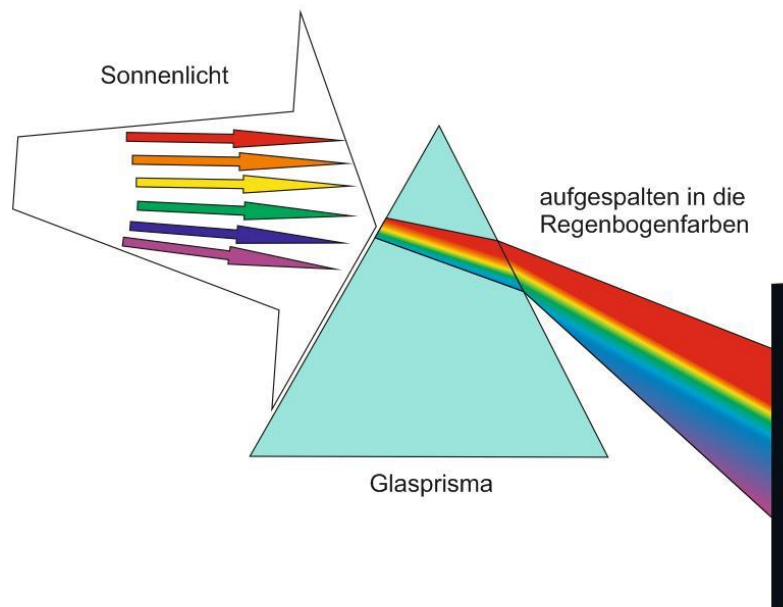


Abbildung 7: Das Glasprisma spaltet das Sonnenlicht in die verschiedenen Lichtsorten, die Regenbogenfarben

Diese Aufspaltung von Sonnenlicht in die verschiedenen Lichtsorten findest du beim Regenbogen, oder auch bei Diamanten und Kristalllustern.

6.Block

Unten siehst du nun den Versuch und das Ergebnis dargestellt:

Der Zeichner dieses Bildes hat mehrere Fehler gemacht. Welche Fehler fallen dir auf? Welche Aussagen sind richtig?

- Die Reihenfolge der Farben ist vertauscht?
- Der Weg des roten Lichts beim Eintritt ins Prisma ist falsch.
- Der Weg des violetten Lichts beim Austritt aus dem Prisma ist falsch.
- Die zweite Farbe von unten (Magenta) kommt im sonnenähnlichen Licht nicht vor.

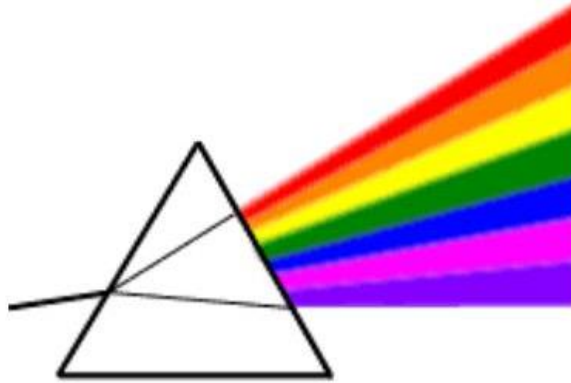


Abbildung 8: Fehlerhafte Darstellung des Prismenversuchs⁶

Arbeitsauftrag: Zeichne unten ein, wie ein roter und ein blauer Strahl durchs Prisma gehen!

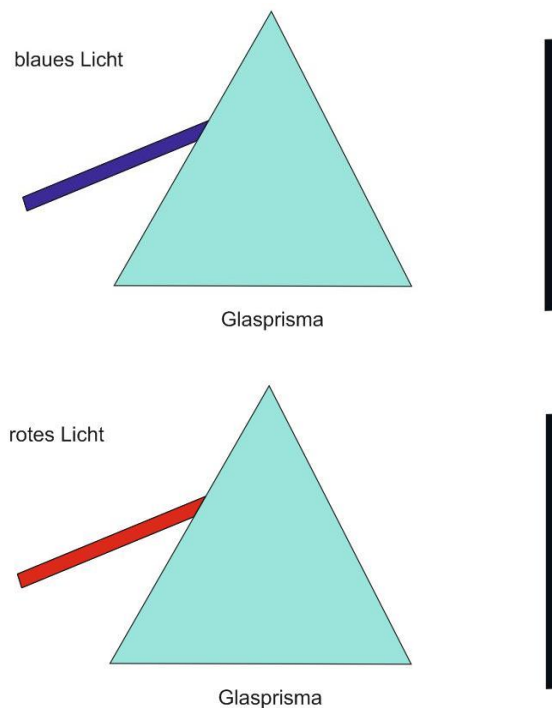


Abbildung 9: Verschiedene Lichtstrahlen treffen auf ein Glasprisma

⁶ Quelle: http://www.leifiphysik.de/web_ph07_g8/leifitest/quiz/sq07_02b.htm

7.Block

Nun wirst du eine Darstellung unseres Experiments am Computer sehen. Damit du die **Geschwindigkeitsänderungen** besser nachvollziehen kannst, sind von den Lichtstrahlen nur einzelne Punkte dargestellt. Zusätzlich musst du dir auch vorstellen, dass wir eine Super-Super-Zeitlupe sehen, denn wie du ja weißt, ist das Licht extrem schnell.

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Light_dispersion_conceptual.gif

Arbeitsauftrag: Beobachte und beschreibe die Bewegung von einem roten und einem blauen Lichtpunkt, die gleichzeitig aus dem Sonnenlicht aufgespaltet werden.

Im Prisma: Der rote Lichtpunkt..... im Vergleich zum blauen Lichtpunkt. Die..... Lichtsorte wird im Prisma stärker von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt als.....

Arbeitsauftrag: Zeichne nun mit Buntstiften die Lichtwege ein! Zur Kontrolle kannst du dann mit Abbildung 7 vergleichen.

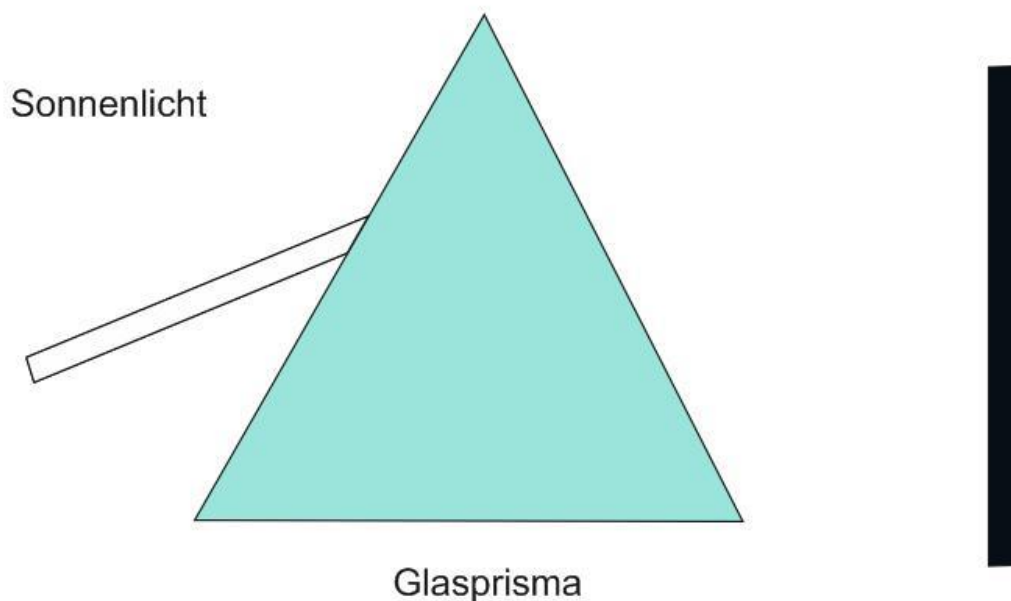


Abbildung 10: Sonnenlicht trifft auf das Prisma

8.Block

Nun werden eine rote und eine grüne Folie auf den Overheadprojektor gelegt.

Arbeitsauftrag:

- Beschreibe was du nun beobachtest?

Wenn die **grüne** Folie am Overhead liegt, dann sehe ich an der Wand...

Wenn die **rote** Folie am Overhead liegt, dann sehe ich an der Wand...

- Hast du eine Vermutung was die Farbfolien mit den verschiedenen Lichtsorten machen?

Ich vermute, dass die Farbfolien Licht.....

Die Folien wirken wie **Farbfilter**. Farbfilter lassen **nur** eine **bestimmte Lichtsorte** durch. Der Rotfilter lässt beispielsweise nur die rote Lichtsorte durch. Der Grünfilter lässt nur die grüne Lichtsorte durch.

Du kannst dir das wie ein Sieb vorstellen, mit dem du Sand siebst. Körner, mit einer bestimmten Größe werden durchgelassen, die anderen bleiben im Sieb.

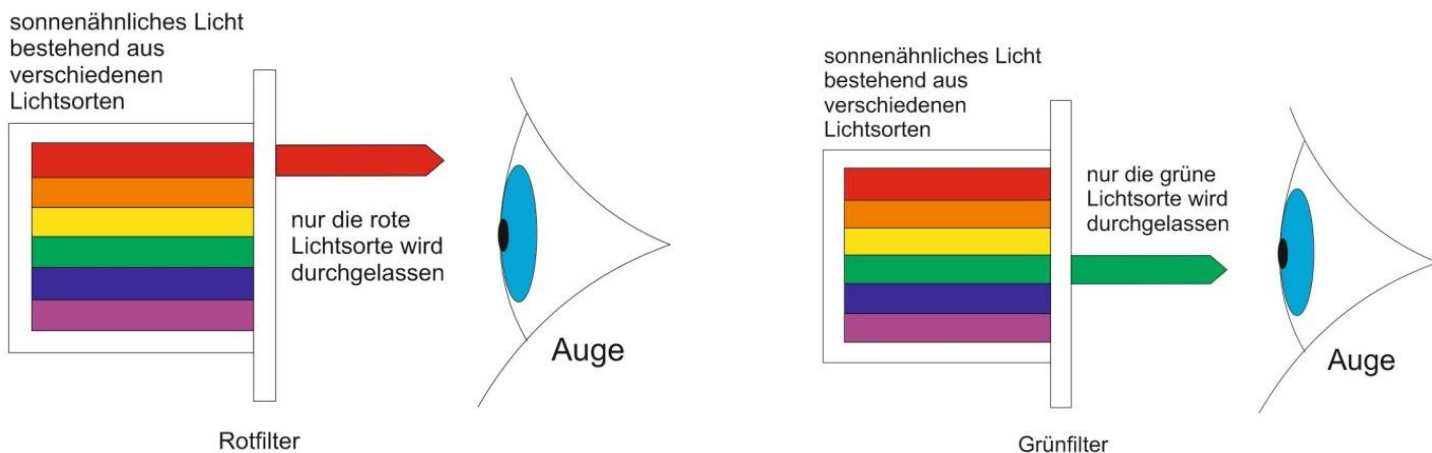


Abbildung 11: links: Funktion eines Rotfilters, rechts: Funktion eines Grünfilters

Du weißt ja, das Licht Energie transportiert. Die **Energiemenge**, die die Lichtstrahlung transportiert **geht im Filter NICHT verloren**. Durch den Rotfilter z.B. geht nur die rote Lichtsorte durch, also auch nur ein Teil der Lichtenergie vom Sonnenlicht. Die **restliche Energie** bleibt im Rotfilter. Dort wird sie in **Wärme umgewandelt**.

Wir können also sagen: Der **Rotfilter** ist ein **Zwischensender für die rote Lichtsorte**, er lässt sie durch. Der Rotfilter ist aber ein **Energiewandler für alle NICHT-roten Lichtsorten**, er verwandelt ihre Lichtenergie in **Wärmeenergie**.

Arbeitsauftrag: Was glaubst du passiert, wenn man eine grüne Folie in einen roten Lichtstrahl hält?

Meine Vermutung:

Wenn man eine grüne Folie in einen roten Lichtstrahl hält, dann sieht man...

Die rote Lichtsorte kommt auf den Grünfilter. Dort...

Nun sehen wir uns das nun im Versuch an:

Du siehst also: Die **grüne Folie lässt nur grünes Licht durch**. Sie ist ein **Zwischensender** für **grünes Licht** und ein **Energiewandler** für alle **NICHT-grünen Lichtsorten**. Rotes Licht wird von der grünen Folie also herausgefiltert und in Wärme umgewandelt. An die Wand kommt deswegen kein Licht mehr.

9.Block

Wir wollen nun untersuchen, ob man den roten Lichtstrahl in weitere Lichtsorten zerlegen kann.

Versuch:

Dazu halten wir ein zweites Prisma in den roten Lichtstrahl.

Beleuchtest du das Prisma **nur mit einer Lichtsorte des Sonnenlichts**, dann wird diese Lichtsorte **nicht mehr in andere Lichtsorten aufgespalten**. Wir lassen beispielsweise die rote Lichtsorte des Sonnenlichts durch das Prisma fallen. Die rote Lichtsorte wird dabei nicht verändert, sie wird nicht in andere Farben aufgespalten. Farbiges Licht, das nicht mehr zerlegt werden kann, nennen wir **monochromatisch**.

Die **Regenbogenfarben** können also **nicht mehr in andere Lichtsorten aufgespalten** werden.

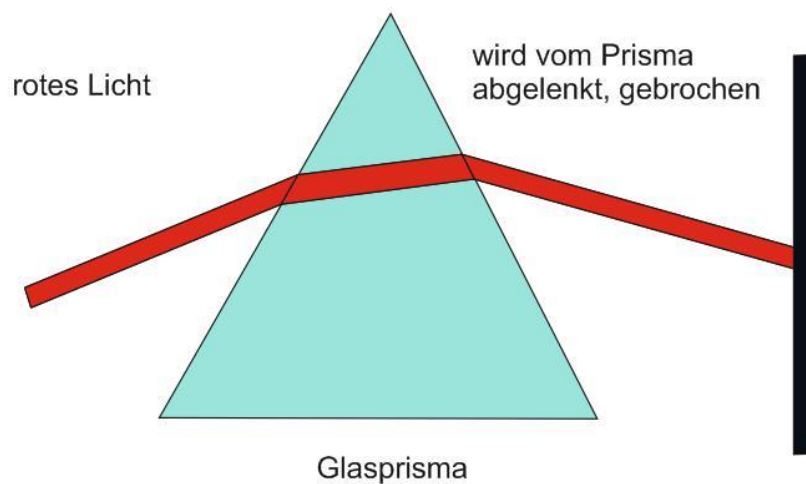


Abbildung 12: Rotes Licht wird nicht mehr aufgespalten, es ist monochromatisch

10. Block

Wir wollen nun herausfinden, was passiert, wenn wir alle Lichtsorten des sonnenähnlichen Overheadlights wieder vermischen. Hast du eine Vermutung was passiert?

Meine Vermutung:

Wenn wir alle Regenbogenfarben mischen dann.....

Hast du eine Idee wie man Licht vermischen kann?

Wir machen das Gegenteil von dem was ein Prisma macht. Wir lenken das Licht an einer Stelle zusammen. Dazu verwenden wir eine Linse. **Linse brechen das Licht** auch. Sie sind aber so **geformt**, dass sie **Licht bündeln** können.

Was beobachtest du, wenn die Linse in den bunten Lichtstreifen gehalten wird? Beschreibe was mit dem farbigen Lichtbündel nach dem Durchgang durch die Linse passiert:

Die **Linse** führt **alle** einzelnen Lichtsorten des Sonnenlichts an einer Stelle zusammen. An dieser Stelle sehen wir einen weißen Lichtfleck, weil unser **Auge** wieder die **Lichtsorten des Sonnenlichts** nun **nicht getrennt wahrnehmen** kann.

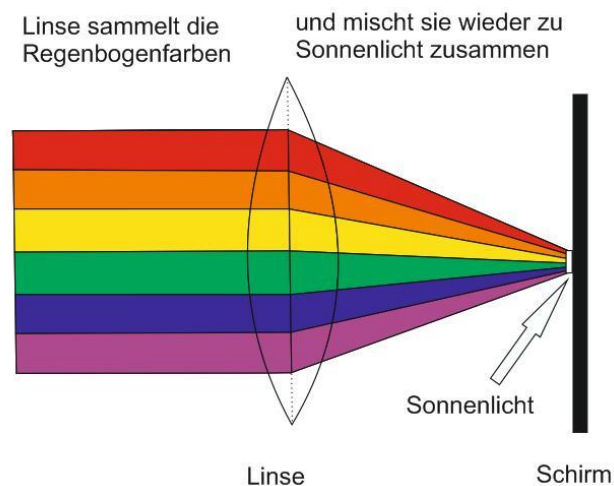


Abbildung 13: Linse mischt die Regenbogenfarben wieder zu Sonnenlicht zusammen

Du kannst dir das so vorstellen:

Sonnenlicht ist wie ein großes **Puzzle**. Für dieses Puzzle brauchen wir verschiedene Lichtsorten. Diese **Lichtsorten** entsprechend den **Puzzlesteinen**. Erst wenn man alle Lichtsorten zusammenmischt, entsteht Sonnenlicht. Vergisst man einen Puzzlestein, so ist das Puzzle nicht vollständig. Dann entsteht kein Sonnenlicht, sondern eine andere, neue Lichtfarbe.

11.Block

Wir wollen nun herausfinden, warum wir Körper in verschiedenen Farben sehen. Dazu beleuchte eine Schachtel mit weißem Boden mit einer Taschenlampe (Abbildung 13). Der Boden verhält sich wie die Wolke aus dem Beispiel.

Stell dir folgenden Versuch vor:

Lege ein rotes Blatt Papier auf den Schachtelboden einer weißen Schachtel. Beleuchte das rote Blatt mit einer Taschenlampe, die sonnenähnliches Licht aussendet. Betrachte nun die Schachtelwände.



Abbildung 14: Links: Schachtel mit weißem Boden und Wänden.

Mitte: Schachtel mit rotem Blatt am Boden.

Rechts: Der Beobachter nimmt die Farbe Rot wahr.

Du siehst, dass die Schachtelwände jetzt rötlich erscheinen, obwohl sie doch eigentlich weiß sind. Wie funktioniert das? Das sonnenähnliche Licht der Taschenlampe trifft das rote Papier am Schachtelboden. Das rote Blatt nimmt das Licht der Taschenlampe auf. Die rote Lichtsorte wird wieder **abgestrahlt**. Alle **anderen Lichtsorten** des sonnenähnlichen Lichts werden vom Blatt **aufgenommen** und in **Wärme** umgewandelt.

Das rote Blatt strahlt die rote Lichtsorte in alle Richtungen ab. Ein Teil davon gelangt direkt in unser Auge. Ein anderer **Teil trifft** erst auf die **Schachtelwand** und von dort in unser Auge. Wir sehen die Schachtelwand daher leicht rötlich.

Das **rote Blatt** am Schachtelboden ist ein also **Zwischensender für die rote Lichtsorte** und ein **Energiewandler für alle NICHT-roten Lichtsorten**. Die **Schachtelwände sind ebenfalls Zwischensender** und strahlen das rote Licht weiter in dein Auge.

Zeichne den oben beschriebenen Vorgang:

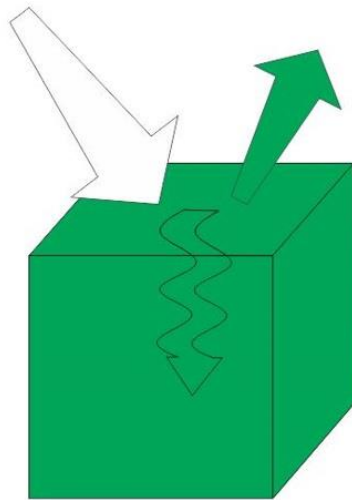
12.Block

Oben haben wir erfahren, dass **Gegenstände Zwischensender für bestimmte Lichtsorten** sein können. Wir nehmen den Gegenstand in der Farbe wahr, die er in unsere Augen weiterstrahlt. Nun wollen wir untersuchen was genau mit dem Licht passiert, das auf einen Gegenstand trifft. Bis jetzt wissen wir noch nicht alles darüber.

Trifft Licht auf einen Gegenstand, wird das **Licht** vom Gegenstand **aufgenommen**. Der Gegenstand wandelt einen **Teil** des Lichts in **Wärme** um (**Energiewandler**). Der andere **Teil** des Lichts **wird wieder abgestrahlt (Zwischensender)**. Gegenstände haben die Eigenschaft, dass sie immer einen bestimmten Teil des Sonnenlichts weiterstrahlen können. **Es ist eine feste, nicht veränderbare Eigenschaft eines Körpers für welche Lichtsorten er ein Zwischensender ist.** Wir sehen den Körper dann genau in der Farbe für die er ein Zwischensender ist. Das hört sich jetzt vielleicht verwirrend an, aber im nächsten Beispiel wird das gleich klar werden:

einfallendes
Sonnenlicht

Aufgenommenes
Sonnenlicht wird
im Körper
teilweise in
Wärmeenergie
umgewandelt.



Ein Teil des
aufgenommenen
Sonnenlichts wird
wieder als Licht
abgestrahlt



Abbildung 15: Bei unserem Beispiel ist der Würfel ein Zwischensender für die grüne Lichtsorte des Sonnenlichts. Seine Farbe erscheint dir grün.

13.Block

Nun wollen wir untersuchen, was mit dem aufgenommenen Licht passiert:

Erinnere dich an die Eigenschaften des Lichts. Licht ist Strahlung, die Energie übertragen kann. Auch **Wärme** ist eine **Form der Energie**.

Erinnere dich nun an den Farbfilter, den wir mit einem Sieb verglichen haben. Nur ein Teil des Sonnenlichts geht nach dem Filter weiter, der Rest bleibt im Filter und wird dort in Wärme umgewandelt. Genauso ist es mit Gegenständen. Wenn **Sonnenlicht auf einen Gegenstand fällt**, dann sind sie für **manche Lichtsorten Zwischensender** und für **alle anderen Energiewandler**. Wie bei Filtern geht natürlich auch hier nichts von der Energiemenge, die vom Sonnenlicht zum Gegenstand transportiert wird, verloren. Diese **Energiemenge teilt sich nur auf**. Kannst du schon vermuten in welche Teile? Ergänze unten:

Energiemenge, die Sonnenlicht zum Körper transportiert =

_____ + _____

Man kann die Lösung so zusammenfassen: Die erhöhte **Wärmeenergie im Gegenstand** / Filter und die **Strahlungsenergie im abgestrahlten Licht**, ergeben zusammen genau so viel **Energie**, wie das **sonnenähnliche Licht** am Anfang transportiert hat.

Körper können also **Licht aufnehmen und in Wärme umwandeln**. Das hast du vielleicht selbst schon gespürt: Du kennst sicher Rotlichtlampen. Mit Rotlichtlampen werden Körperteile angeleuchtet, um Muskelverspannungen zu lösen. Der aufgenommene Lichtanteil wird in Wärme umgewandelt. Diese Wärme löst die Verspannung und lindert den Schmerz.

Damit haben wir nun auch erklärt, warum eine **größere Licht- bzw. Energiemenge zum Körper hingeht als von ihm weggeht**.

14.Block

So, nun bist du an der Reihe.

Stell dir einen **roten Apfel** vor. Genauer gesagt, einen Apfel, der im Sonnenlicht rot erscheint. **Das Sonnenlicht** trifft auf den rot erscheinenden Apfel. Wieso glaubst du nehmen wir den Apfel rot wahr?

Arbeitsauftrag:

- Beschreibe den Lichtweg von der Sonne bis zu deinen Augen!
- Fertige eine Skizze von diesem Vorgang an!

Hier kannst du nun deine Antworten vergleichen!

Wir nehmen den Apfel als rot wahr, weil er ein **Zwischensender** für die **rote Lichtsorte** des Sonnenlichts ist. **Nur** die **rote Lichtsorte** vom Sonnenlicht wird vom Apfel **wieder abgestrahlt**. Dieser rote Lichtanteil trifft in dein Auge. Du nimmst den Apfel in der Farbe Rot wahr. Für alle **NICHT-roten Lichtsorten** ist der Apfel ein **Energiewandler**. Diese aufgenommenen Anteile werden in **Wärme umgewandelt**.

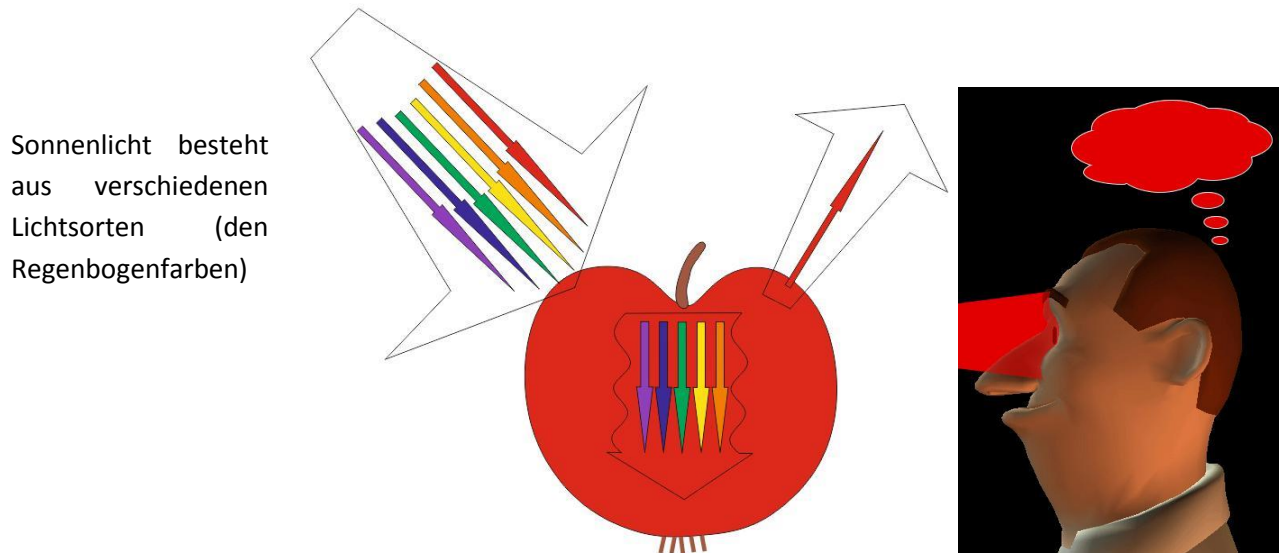


Abbildung 16: Die rote Lichtsorte wird wieder abgestrahlt, alle anderen Anteile werden aufgenommen. Wir nehmen den Apfel rot wahr.

15.Block

Wir wollen uns nun mit **zwei speziellen Fällen** beschäftigen.

Wann erscheint ein **Gegenstand weiß**, wann erscheint er **schwarz**?
Wie kann ein Körper schwarz oder weiß erscheinen, wenn es keine weiße oder schwarze Regenbogenfarbe gibt?

a) Welche Lichtsorten müssen abgestrahlt werden, damit wir einen Gegenstand weiß wahrnehmen?

Ein Gegenstand erscheint **weiß**, wenn von allen Lichtsorten des Sonnenlichts **Lichtanteile** wieder **abgegeben** werden und in unser Auge gelangen. Um dir das besser vorstellen zu können betrachte

Abbildung 17.

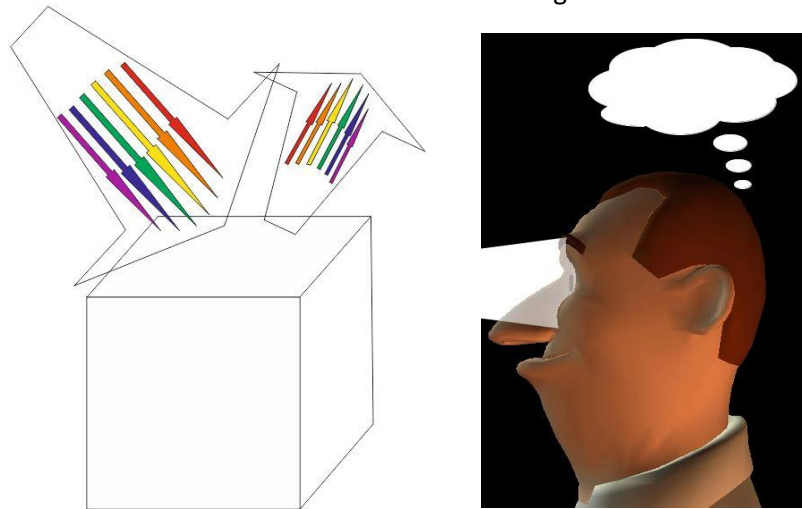


Abbildung 17: Weiß strahlt fast alles ab, für den Beobachter erscheint der Würfel weiß.

Nun bist wieder du an der Reihe. Beantworte die Fragen:

- Für welche Lichtsorten ist der Würfel, der uns weiß erscheint ein Zwischensender? Warum?
- Für welche Lichtsorten ist er ein Energiewandler? Warum?

b) Welche Lichtsorten müssen abgestrahlt werden, damit wir einen Gegenstand schwarz wahrnehmen?

Du nimmst einen Gegenstand **schwarz** wahr, wenn vom Gegenstand **alle Lichtsorten des Sonnenlichts aufgenommen** werden. Es gelangt fast kein Licht in unser Auge. Um dir das besser vorstellen zu können schau dir Abbildung 18 an.

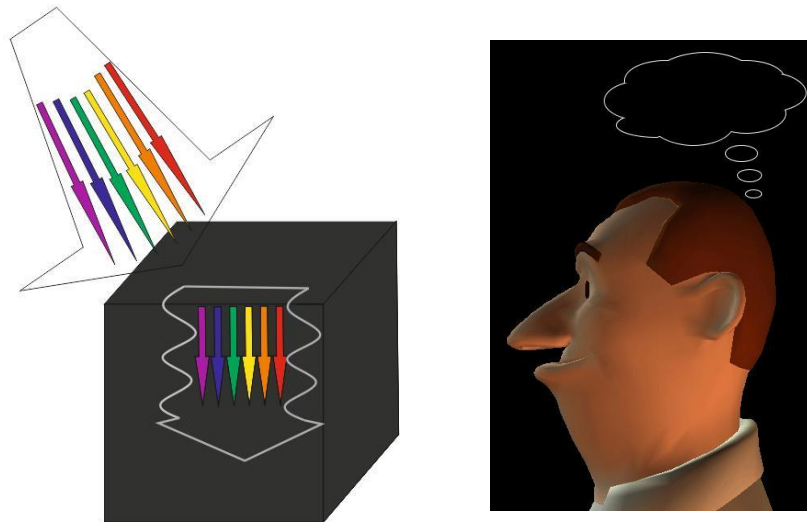


Abbildung 18: Schwarz nimmt fast alles auf, kein Licht gelangt in unser Auge. Nichts gelangt zum Beobachter, daher denkt der Beobachter der Gegenstand erscheint schwarz.

Nun bist wieder du an der Reihe. Beantworte die Fragen:

- Für welche Lichtsorten ist der Würfel, der uns schwarz erscheint ein Zwischensender? Warum?
- Für welche Lichtsorten ist er ein Energiewandler? Warum?

Wir können **Gegenstände**, die **alle Lichtsorten aufnehmen** und in Wärme umwandeln eigentlich gar **nicht sehen**. Solche Gegenstände strahlen ja kein Licht ab. Licht vom Gegenstand muss aber in unser Auge kommen, damit wir den Gegenstand sehen können.

Warum wir sie trotzdem erkennen können, **hängt** von der **Umgebung ab**, in der sich der Würfel befindet. Wenn es hell ist, sendet die Umgebung Licht in unser Auge. Der Gegenstand, der kein Licht weiterstrahlt, hebt sich von der Umgebung ab. Wir nehmen nur seine **Form wahr**, die uns schwarz erscheint.

Stell dir vor, du hast einen schwarzen und einen weißen Pullover. Du ziehst zuerst den weißen Pullover an und stellst dich damit in die Sonne. Anschließend ziehst du den weißen Pullover aus und den schwarzen Pullover an. Dann stellst du dich wieder in die Sonne.

Nun bist du wieder an der Reihe:

- Fühlst du dich im weißen Pullover anders, als im schwarzen Pullover? Wie?
- Wie würde das ein/e Physiker/in erklären?

16.Block

Gegenstände in farbigem Licht

Du weißt schon, dass die **Farbe** in der wir einen Gegenstand sehen davon **abhängt**, für welche **Lichtsorte** er ein **Zwischensender** ist. Bisher haben wir die Gegenstände immer mit sonnenähnlichem Licht, das alle Regenbogenfarben enthält, beleuchtet. In diesem Kapitel wirst du wahrscheinlich eine Überraschung erleben. Wir Menschen sind es **gewöhnt, alle Gegenstände im Sonnenlicht zu betrachten**. Doch was passiert, wenn du einen Gegenstand in farbigem Licht betrachtest? Auf diese Frage wirst du bald eine Antwort finden.

Zu Beginn führe folgenden Versuch durch:

- Beleuchte verschiedenfarbige Buntstifte mit einer Rotlichtlampe. Zähle die Farben der Stifte nach einander auf!
- Beleuchte nun die Buntstifte mit der Taschenlampe. Halte nun die grüne Folie vor die Taschenlampe. Beschreibe was dir auffällt? Zähle die Farben der Stifte nach einander auf!
- Hast du eine Vermutung für deine Beobachtung? Welche?
- Zeichne den Lichtwege für beide Beispiele von der Glühbirne bis in dein Auge!

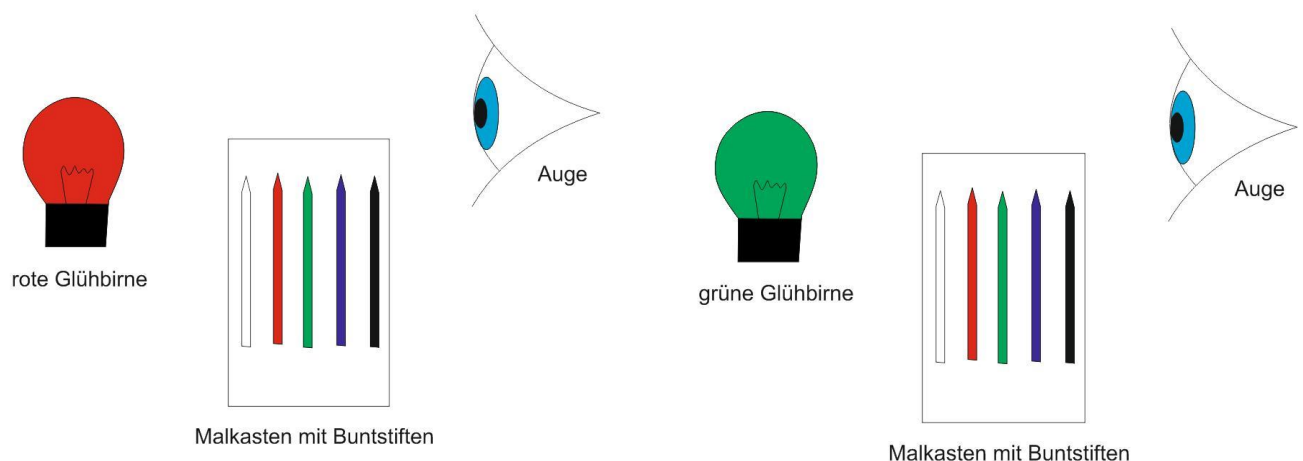


Abbildung 19: Malkasten wird mit rotem und grünem Licht beleuchtet

Wir haben ja schon gehört, dass **Gegenstände** immer **nur für bestimmte Lichtsorten Zwischensender** sind. Für welche, hängt vom Material des Körpers ab. Gegenstände haben im Sonnenlicht, oder in sonnenähnlichem Licht, daher immer dieselbe Farbe. Beleuchtet man die Gegenstände jedoch mit anderen Lichtsorten, können sie plötzlich in einer anderen Farbe erscheinen.

In welcher **Farbe wir einen Gegenstand sehen, hängt also von 2 Faktoren ab:**

- 1) **Für welche Lichtsorte der Körper ein Zwischensender ist**
- 2) **Mit welchen Lichtsorten ein Körper beleuchtet wird.** Schließlich kann der Körper nur Lichtsorten weitersenden, die bei ihm ankommen.

Ein Gegenstand kann in z.B. blauem Licht in einer anderen Farbe erscheinen als z.B. in rotem Licht oder in Sonnenlicht. **Farbe ist also keine Eigenschaft des Gegenstands!**

17.Block

Wir wollen uns das mit den Farben von Gegenständen noch einmal genauer an einem Beispiel ansehen.

Wir beleuchten einen **Apfel**, der in der Sonne rot erscheint, mit einer **blauen Glühbirne**. Der Apfel erscheint dir dann schwarz! Warum? Überlege dir folgendes!

- Für welche Lichtsorte ist ein Apfel, der im Sonnenlicht Rot ist, ein Zwischensender?
- Mit welcher Lichtsorte wird der Apfel beleuchtet?
- Was vom einfallenden Licht kann der Apfel wieder weitersenden?

Die vollständige Erklärung geht so. Bist du draufgekommen?

Die Schale des Apfels kann nur die rote Lichtsorte abstrahlen, er ist nur ein Zwischensender für die rote Lichtsorte. Wenn der Apfel mit blauem Licht beleuchtet wird, nimmt die Schale das blaue Licht auf. Im blauen Licht ist **keine roter Anteil**. Der Apfel ist ein Energiewandler für alle NICHT-roten Lichtsorten und wandelt blaues Licht in Wärme um. Der Apfel kann daher auch **nichts** wieder **abstrahlen**. Das bedeutet, der Apfel erscheint uns **schwarz**.

Erinnerst du dich warum wir den „schwarzen“ Apfel sehen können, obwohl er kein Licht abstrahlt?

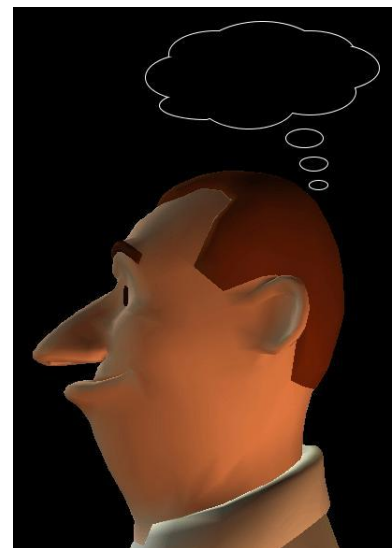
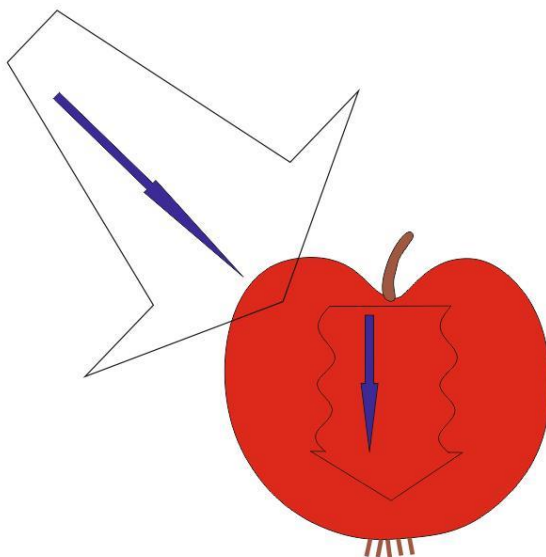


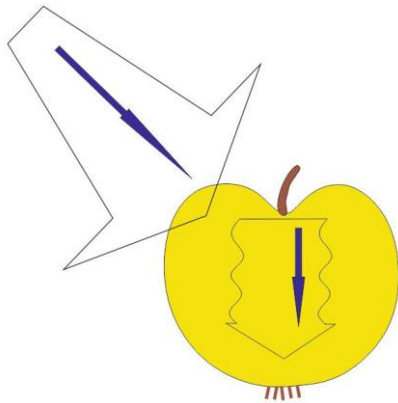
Abbildung 20: Der Apfel nimmt den blauen Lichtanteil auf, kein Licht gelangt in unser Auge. Wir nehmen den Apfel schwarz wahr.

18.Block

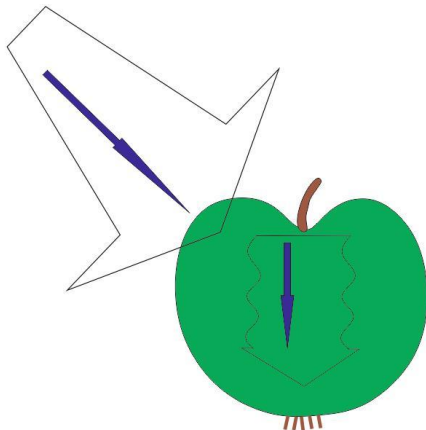
Arbeitsauftrag

In den folgenden Bildern siehst du verschiedene Äpfel, die mit farbigem Licht beleuchtet werden. Zeichne einen Pfeil (vom Apfel weg) ein, wenn Licht abgestrahlt wird. Zeichne daneben ein, welche Farbe der Beobachter wahrnimmt. Am besten malst du dazu das Lichtbündel, das zu seinem Auge gelangt und die Gedankenblase mit Buntstiften an.

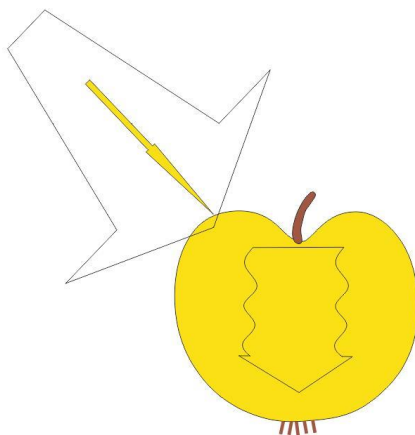
- a) Dieser Apfel erscheint im Sonnenlicht gelb. Er wird blau beleuchtet.



- b) Dieser Apfel erscheint im Sonnenlicht grün. Er wird blau beleuchtet.



- c) Dieser Apfel erscheint im Sonnenlicht gelb. Er wird gelb beleuchtet.



14 Anhang C Leitfaden der Akzeptanzbefragung

Farbenlehre

Vorinformationen

Begrüßung und Erklärung der Sinnhaftigkeit der Befragung.

Wir wissen, dass die Farbenlehre ein schwieriges Teilgebiet der Optik ist, das im Unterricht meist nur wenig, oder gar nicht behandelt wird. Ziel meiner Diplomarbeit ist es, Unterrichtsmaterialien zu entwickeln, die Schülerinnen und Schüler der 4. Klasse dabei helfen, die Farbenlehre besser zu verstehen.

Fragen nach:

Aus welcher Schule kommt ihr?

Welche Physiknote hattet ihr in der 4ten Klasse.

Was für eine NAWI Note habt ihr jetzt ungefähr?

Welche Deutschnote habt ihr?

Was ist eure Muttersprache?

Wenn euch am Text irgendetwas komisch vorkommt, dann markiert es bitte sofort mit dem Leuchtstift!

DAS WESEN DES LICHTS



AUSBREITUNG DES LICHTS

- Geradlinig
- Lichtgeschwindigkeit 300000km/s
 - Wien-Innsbruck
 - Auto: 5h15min
 - Flugzeit 1h
 - Licht: <1s

3

WARUM IST LICHT FÜR UNS WICHTIG?

- Dunkler Raum → sehen?
- NICHTS SEHEN!
- Kühler Herbsttag, ohne Jacke
- Unterschied: Sonne oder Schatten?
- Sonne weniger frieren
- Licht: Strahlung, Energie
- Atmosphäre und Sonnenstrahlung,
sonst -270°C

4

HINDERNIS

- Licht bewegt sich bis Hindernis
- Unabhängig von Tag/Nacht gleich weit
- Hindernis?
 - Wasser
 - Luft
 - Ein Spiegel
 - Glas

5

- *Glaubt ihr, dass man Licht sehen kann?*
- *Wie ist es mit der Farbe des Sonnenlichts, wie würde ihr die beschreiben?*
- *Was stellt ihr euch unter weißem Licht vor? Warum?*
- *Wie würdet ihr den Unterschied zwischen gelbem und weißem Licht beschreiben? Nennt Beispiele!*

1.Block

Sonnenlicht, sonnenähnliches Licht

Die eben präsentierten Eigenschaften des Lichts waren dir vorher vielleicht schon bekannt. Jetzt wirst du eine neue, wichtige Eigenschaft des Lichts kennen lernen. Mit dieser Eigenschaft kannst du nachher erklären, warum du Gegenstände in bestimmten Farben wahrnimmst.

Wir machen nun ein Experiment, dass dir weitere Eigenschaften des Lichts zeigen soll.

Unten siehst du eine Schachtel mit einem Loch (Abbildung 1). In Abbildung 2 Siehst du was du siehst, wenn du durch das Loch in die Schachtel siehst.



Abbildung 1: Schachtel mit Loch



Abbildung 2: Ein Blick durch das Rohr in die Schachtel

Beschreibe was du siehst!

Ich sehe...

Stelle eine Vermutung an! Was ist in der Schachtel drinnen?

Ich vermute in der Schachtel ist...

2.Block



Nun wollen wir in die Schachtel hineinschauen (Abbildung 3). Beschreibe was du siehst! Beschreibe die Wege und Farben der Lichtkegel am Schachtelboden!

In der Schachtel...

Abbildung 3: Ein Blick in die Schachtel

Du siehst also, verschiedene Lichtsorten kann man mischen.

Der Lichtkegel der grünen und der roten Lampe werden zusammengemischt, wenn sich ihr Licht an einer Stelle trifft. Eine neue Lichtfarbe entsteht.

Das geht natürlich auch mit anderen Farben. Beobachte nun im Demoversuch was mit den Lichtkegeln passiert, wenn sich farbige Lichtkegel kreuzen und dann wieder auseinanderlaufen.

Demo 1:

Erst gibt es einen und einen Lichtkegel.

Am Kreuzungspunkt sehe ich

.....

Hinter dem Kreuzungspunkt sehe ich

.....

Wir können also zusammenfassen: **Verschiedene Lichtsorten können zusammengemischt werden** und ergeben an der **Kreuzungsstelle** eine **neue Lichtfarbe**. Die **Kreuzungsstelle** erscheint uns heller, weil dort **doppelt so viel Licht** hinkommt, wie bei den einzelnen Lichtkegeln. Nach der Kreuzungsstelle hat jeder Kegel wieder seine ursprünglich Lichtfarbe und Lichtmenge.

- *Wie würdest du einem Mitschüler den Demonstrationsversuch und sein Ergebnis erklären?*
- *Wie würdet ihr den Unterschied zwischen Sonnenlicht und dem gelben Licht, das durch das Mischen von grün und rot entstanden ist, erklären?*

3.Block

Wenn du nun mehrere Lichtsorten zusammenmischt, dann entsteht Licht, dass dem der Sonne ähnlich ist.

Auch **Sonnenlicht** ist in Wirklichkeit eine **Mischung** aus **verschiedenen Lichtsorten**. Unser Auge kann die verschiedenen Lichtsorten im Sonnenlicht aber nicht getrennt wahrnehmen. Wie du später sehen wirst, kann man die Lichtsorten aber mit Hilfsmitteln sichtbar machen.

Auch Lampen erzeugen Licht. Meistens ist das Licht von Lampen dem Sonnenlicht sehr ähnlich. Du kannst nicht unterscheiden, ob eine Lampe oder die Sonne auf eine weiße Wand leuchtet.

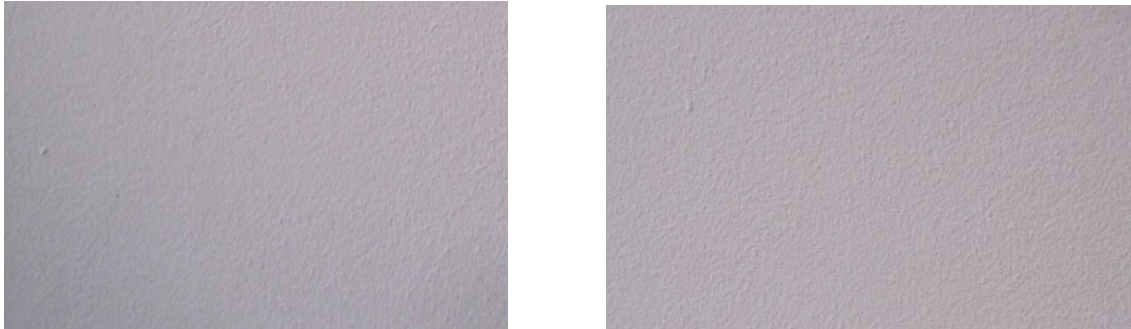


Abbildung 4: Wand mit Sonnenlicht beleuchtet, Wand mit sonnenähnlichem Licht von Lampe beleuchtet.

Wenn wir also vom Licht von Lampen sprechen, meinen wir immer sonnenähnliches Licht. Auch das sonnenähnliche Licht lässt sich, wie das Sonnenlicht in verschiedene Lichtsorten zerlegen.

- *Kommt es euch komisch vor, dass Sonnenlicht aus verschiedenen Lichtsorten besteht?*
- *Nenne Lichtsorten, die im Sonnenlicht vorkommen.*
- *Nenne Dinge/Quellen, die sonnenähnliches Licht ausstrahlen.*
- *Was stellst du dir unter einer Lichtsorte vor? Bzw. wie würdest du erklären was eine Lichtsorte ist?*
- *Versuch einem Mitschüler zu erklären was du über die Zusammensetzung von Sonnenlicht weißt.*

4.Block

Nun wollen wir die verschiedenen Lichtsorten des Sonnenlichts durch einen Versuch sichtbar machen:

Zur Untersuchung von Licht verwenden wir ein Prisma. Das ist ein kleiner Kunststoff-oder Glaskörper, mit einem Dreieck als Grundfläche (Abbildung 5).



Abbildung 5: Prisma

Kunststoff, Wasser und Glas sind optisch dichter als Luft. Wenn Licht schräg von Luft in Glas läuft, oder umgekehrt, dann **ändert** sich die **Lichtgeschwindigkeit**. Dadurch **ändert** das Licht auch seinen **Weg**, es macht einen **Knick**. PhysikerInnen sagen „das Licht wird gebrochen“. Um dir das besser vorstellen zu können, betrachte Abbildung 6. Hier siehst du wie ein roter Lichtstrahl von einem Laser zweimal an der Grenze zwischen Glas und Luft gebrochen wird.

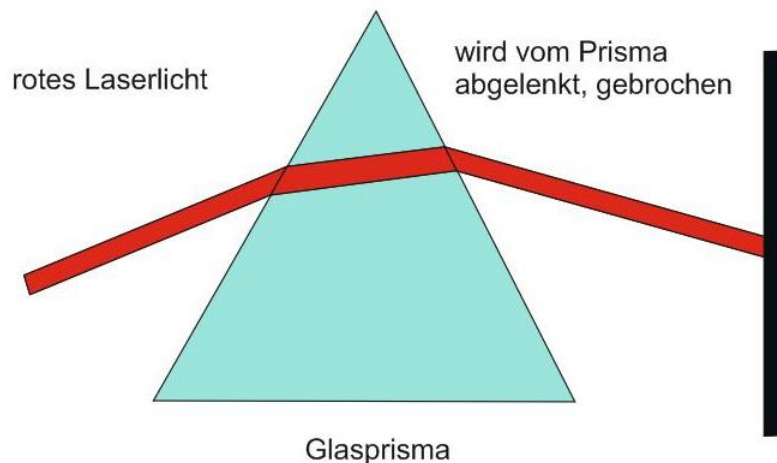


Abbildung 6: Laserlicht wird im Glasprisma abgelenkt, gebrochen

Arbeitsauftrag: Zeichne in Abbildung 6 ein wie der rote Strahl verlaufen würde, wenn er nicht, gebrochen würde!

5.Block

Aber warum können wir mit dem **Prisma** die **Zusammensetzung von Licht untersuchen**?

Dazu musst du wissen, dass die verschiedenen Lichtsorten des Sonnenlichts verschieden schnell sind. Rot ist z.B. schneller als Blau und wird daher weniger vom ursprünglichen Weg abgelenkt. Das ist so wie wenn du mit deinen Schi vom Schnee auf eine Wiese fährst. Du wirst abgebremst und vom Weg abgebracht. Je schneller du unterwegs bist, umso weniger wirst du von deinem Weg abgelenkt.

Wir sehen uns nun im Versuch an, was mit Sonnenlicht im Prisma passiert.

Wir verwenden dazu das starke Licht eines Overheadprojektors. Ein **Teil des Lichtstrahls** trifft schräg auf das Prisma und wird gebrochen. Die verschiedenen Lichtsorten werden im Prisma verschieden stark abgebremst. Deshalb werden sie auch verschieden stark an der Grenze zwischen Glas und Luft geknickt (gebrochen). So **spaltet** das **Glasprisma** das Licht des Overheadprojektors in **die verschiedenen Lichtsorten auf**.

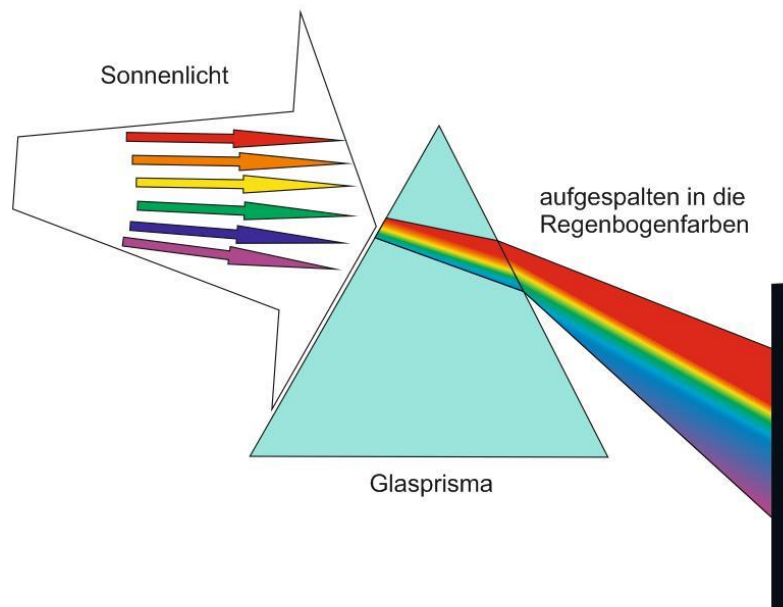


Abbildung 7: Das Glasprisma spaltet das Sonnenlicht in die verschiedenen Lichtsorten, die Regenbogenfarben

Diese Aufspaltung von Sonnenlicht in die verschiedenen Lichtsorten findest du beim Regenbogen, oder auch bei Diamanten und Kristalllustern.

- Was macht ein Prisma mit dem Sonnenlicht?
- Wie macht das Prisma das? Wieso kann das Prisma das? Kann das eine normale Fensterscheibe auch?
- Wie würdest du einem Mitschüler den Prismenversuch erklären?
- Was am Vergleich mit dem Schi hilft dir Brechung zu verstehen / was macht es schwieriger?
- Kannst du nun erklären warum ein Regenbogen aus bunten Streifen besteht?

6.Block

Unten siehst du nun den Versuch und das Ergebnis dargestellt:

Der Zeichner dieses Bildes hat mehrere Fehler gemacht. Welche Fehler fallen dir auf? Welche Aussagen sind richtig?

- Die Reihenfolge der Farben ist vertauscht?
- Der Weg des roten Lichts beim Eintritt ins Prisma ist falsch.
- Der Weg des violetten Lichts beim Austritt aus dem Prisma ist falsch.
- Die zweite Farbe von unten (Magenta) kommt im sonnenähnlichen Licht nicht vor.

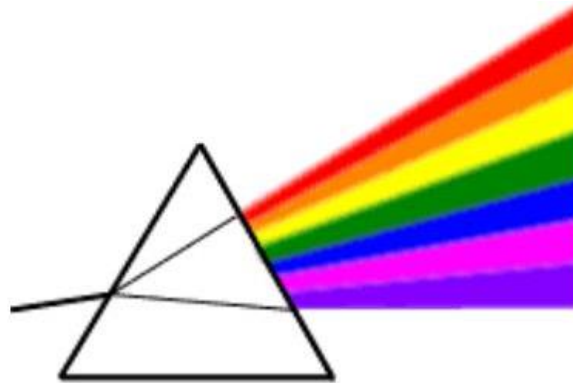


Abbildung 8: Fehlerhafte Darstellung des Prismenversuchs

Arbeitsauftrag: Zeichne unten ein, wie ein roter und ein blauer Strahl durchs Prisma gehen!

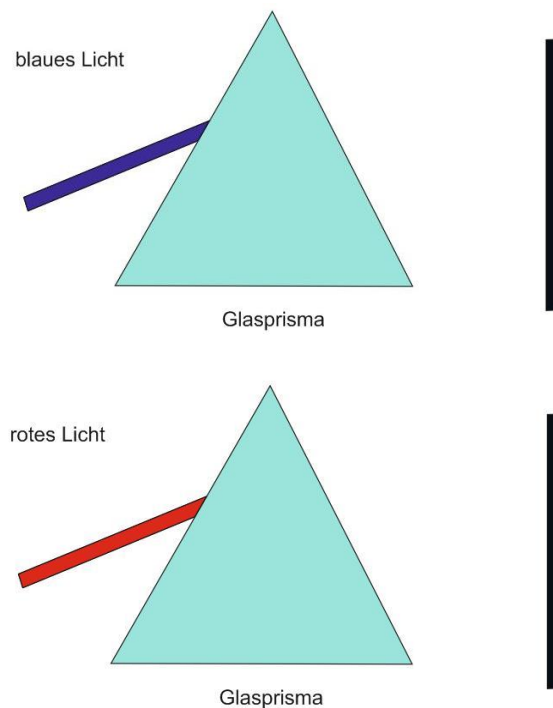


Abbildung 9: Verschiedene Lichtstrahlen treffen auf ein Glasprisma

7.Block

Nun wirst du eine Darstellung unseres Experiments am Computer sehen. Damit du die **Geschwindigkeitsänderungen** besser nachvollziehen kannst, sind von den Lichtstrahlen nur einzelne Punkte dargestellt. Zusätzlich musst du dir auch vorstellen, dass wir eine Super-Super-Zeitlupe sehen, denn wie du ja weißt, ist das Licht extrem schnell.

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Light_dispersion_conceptual.gif

Arbeitsauftrag: Beobachte und beschreibe die Bewegung von einem roten und einem blauen Lichtpunkt, die gleichzeitig aus dem Sonnenlicht aufgespaltet werden.

Im Prisma: Der rote Lichtpunkt..... im Vergleich zum blauen Lichtpunkt. Die..... Lichtsorte wird im Prisma stärker von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt als.....

Arbeitsauftrag: Zeichne nun mit Buntstiften die Lichtwege ein! Zur Kontrolle kannst du dann mit Abbildung 7 vergleichen.

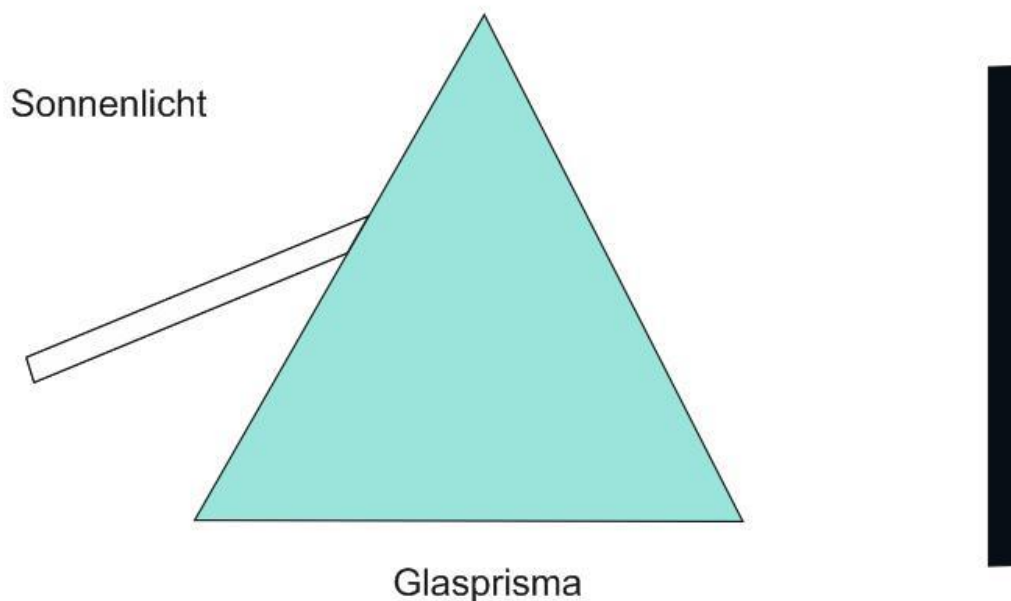


Abbildung 10: Sonnenlicht trifft auf das Prisma

8.Block

Nun werden eine rote und eine grüne Folie auf den Overheadprojektor gelegt.

Arbeitsauftrag:

- Beschreibe was du nun beobachtest?

Wenn die **grüne** Folie am Overhead liegt, dann sehe ich an der Wand...

Wenn die **rote** Folie am Overhead liegt, dann sehe ich an der Wand...

- Hast du eine Vermutung was die Farbfolien mit den verschiedenen Lichtsorten machen?

Ich vermute, dass die Farbfolien Licht.....

Die Folien wirken wie **Farbfilter**. Farbfilter lassen **nur** eine **bestimmte Lichtsorte** durch. Der Rotfilter lässt beispielsweise nur die rote Lichtsorte durch. Der Grünfilter lässt nur die grüne Lichtsorte durch.

Du kannst dir das wie ein Sieb vorstellen, mit dem du Sand siebst. Körner, mit einer bestimmten Größe werden durchgelassen, die anderen bleiben im Sieb.

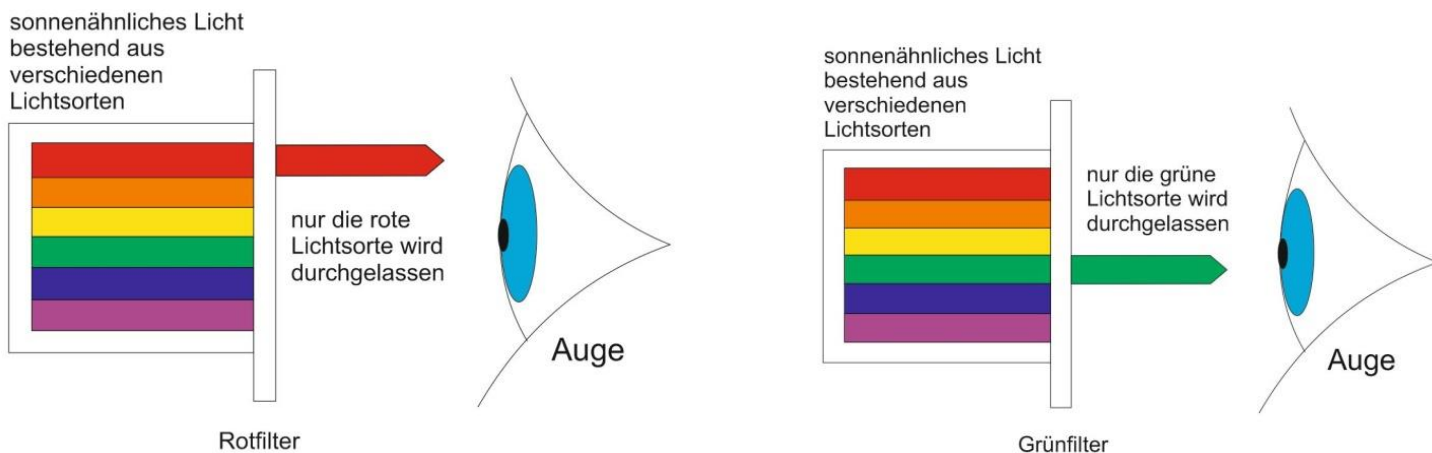


Abbildung 11: links: Funktion eines Rotfilters, rechts: Funktion eines Grünfilters

Du weißt ja, das Licht Energie transportiert. Die **Energiemenge**, die die Lichtstrahlung transportiert **geht im Filter NICHT verloren**. Durch den Rotfilter z.B. geht nur die rote Lichtsorte durch, also auch nur ein Teil der Lichtenergie vom Sonnenlicht. Die **restliche Energie** bleibt im Rotfilter. Dort wird sie in **Wärme umgewandelt**.

Wir können also sagen: Der **Rotfilter** ist ein **Zwischensender für die rote Lichtsorte**, er lässt sie durch. Der Rotfilter ist aber ein **Energiewandler für alle NICHT-roten Lichtsorten**, er verwandelt ihre Lichtenergie in **Wärmeenergie**.

Arbeitsauftrag: Was glaubst du passiert, wenn man eine grüne Folie in einen roten Lichtstrahl hält?

Meine Vermutung:

Wenn man eine grüne Folie in einen roten Lichtstrahl hält, dann sieht man...

Die rote Lichtsorte kommt auf den Grünfilter. Dort...

Nun sehen wir uns das nun im Versuch an:

Du siehst also: Die **grüne Folie lässt nur grünes Licht durch**. Sie ist ein **Zwischensender** für **grünes Licht** und ein **Energiewandler** für alle **NICHT-grünen Lichtsorten**. Rotes Licht wird von der grünen Folie also herausgefiltert und in Wärme umgewandelt. An die Wand kommt deswegen kein Licht mehr.

- *Kommt es euch komisch vor, dass Farbfilter einen Teil des Lichts durchlassen und alle anderen Teile in Wärme umwandeln?*
- *Wie würdest du einem Mitschüler die Funktion eines Farbfilters erklären?*
- *Was am Vergleich mit einem Sieb hilft dir die Funktionsweise eines Filters zu verstehen / was macht es schwieriger?*
- *Sonnenähnliches Licht trifft auf einen Blaufilter, was passiert mit dem Licht beim Filter? Was passiert dabei mit der Energie des Sonnenlichts?*
- *Stell dir vor, du würdest eine Sonnenbrille mit blauen Gläsern aufhaben, wie würdest du den Regenbogen dann sehen? Warum? Erkläre!*
- *Wie siehst du den Bereich, der vorher gelb erschienen ist? Was passiert mit dem gelben Licht des Regenbogens bei deinem Brillenglas?*

9.Block

Wir wollen nun untersuchen, ob man den roten Lichtstrahl in weitere Lichtsorten zerlegen kann.

Versuch:

Dazu halten wir ein zweites Prisma in den roten Lichtstrahl.

Beleuchtest du das Prisma **nur mit einer Lichtsorte des Sonnenlichts**, dann wird diese Lichtsorte **nicht mehr in andere Lichtsorten aufgespalten**. Wir lassen beispielsweise die rote Lichtsorte des Sonnenlichts durch das Prisma fallen. Die rote Lichtsorte wird dabei nicht verändert, sie wird nicht in andere Farben aufgespalten. Farbige Licht, das nicht mehr zerlegt werden kann, nennen wir **monochromatisch**.

Die **Regenbogenfarben** können also **nicht mehr in andere Lichtsorten aufgespalten** werden.

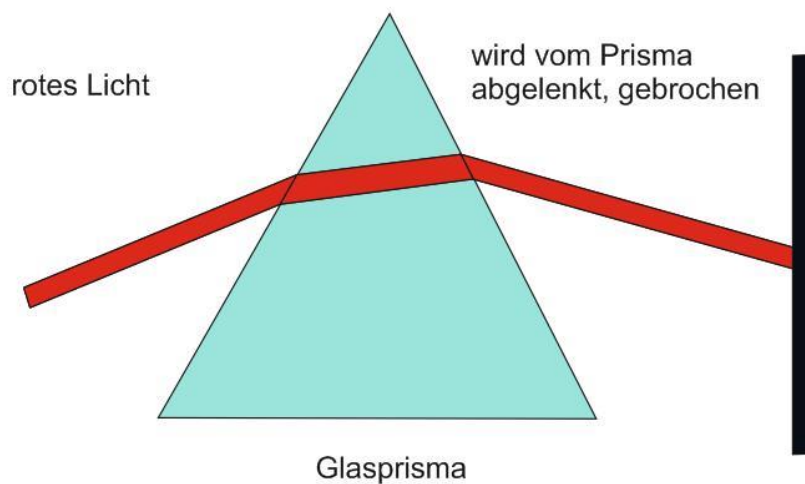


Abbildung 12: Rotes Licht wird nicht mehr aufgespalten, es ist monochromatisch

- Kannst du dir vorstellen, dass man manche Lichtsorten zerlegen kann und andere nicht?
- Was stellst du dir unter monochromatischem Licht vor? Wo kommt es vor?
- Ist blaues Licht monochromatisch?
- Ist Sonnenlicht monochromatisch?
- Wie würdest du einem Mitschüler erklären, was das Wort monochromatisch bedeutet.
- Wie würdest du einem Mitschüler den Unterschied zwischen monochromatischem Licht und nichtmonochromatischem Licht erklären?
- Wie kann man testen, ob eine bestimmte Lichtsorte monochromatisch ist?

10. Block

Wir wollen nun herausfinden, was passiert, wenn wir alle Lichtsorten des sonnenähnlichen Overheadlights wieder vermischen. Hast du eine Vermutung was passiert?

Meine Vermutung:

Wenn wir alle Regenbogenfarben mischen dann.....

Hast du eine Idee wie man Licht vermischen kann?

Wir machen das Gegenteil von dem was ein Prisma macht. Wir lenken das Licht an einer Stelle zusammen. Dazu verwenden wir eine Linse. **Linse brechen das Licht** auch. Sie sind aber so **geformt**, dass sie **Licht bündeln** können.

Was beobachtest du, wenn die Linse in den bunten Lichtstreifen gehalten wird? Beschreibe was mit dem farbigen Lichtbündel nach dem Durchgang durch die Linse passiert:

Die **Linse** führt **alle** einzelnen Lichtsorten des Sonnenlichts an einer Stelle zusammen. An dieser Stelle sehen wir einen weißen Lichtfleck, weil unser **Auge** wieder die **Lichtsorten des Sonnenlichts** nun **nicht getrennt wahrnehmen** kann.

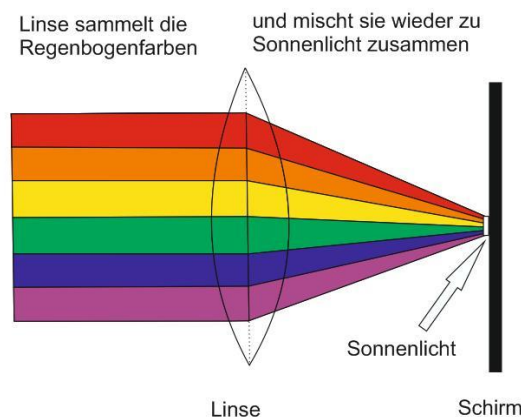


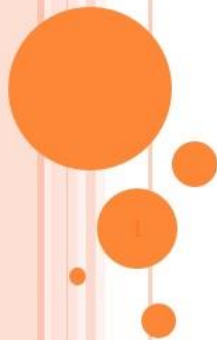
Abbildung 13: Linse mischt die Regenbogenfarben wieder zu Sonnenlicht zusammen

Du kannst dir das so vorstellen:

Sonnenlicht ist wie ein großes **Puzzle**. Für dieses Puzzle brauchen wir verschiedene Lichtsorten. Diese **Lichtsorten** entsprechen den **Puzzlesteinen**. Erst wenn man alle Lichtsorten zusammenmischt, entsteht Sonnenlicht. Vergisst man einen Puzzlestein, so ist das Puzzle nicht vollständig. Dann entsteht kein Sonnenlicht, sondern eine andere, neue Lichtfarbe.

- Was macht die Linse mit dem Licht?
- Wie würdest du einem Mitschüler den Versuch erklären?
- Was am Vergleich mit den Puzzlesteinen hilft dir zu verstehen, woraus Sonnenlicht besteht? Was macht es schwieriger?

LICHTSENDER - EMPFÄNGER

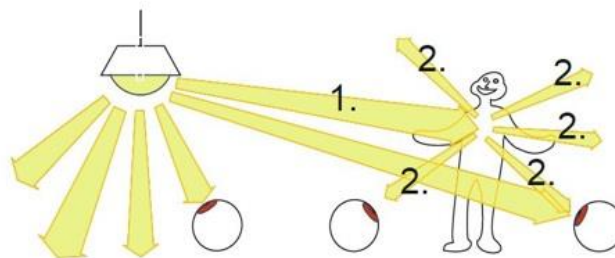


SELBSTSENDER- ZWISCHENSENDER

- Sender: Gegenstände, die Licht abstrahlen
- 2 Arten:
 - **Selbstsender** (z.B. Glühbirne, Sonne...)
 - erzeugen selbst Licht
 - **Zwischensender** (z.B. Tisch, Sessel, Mensch,...)
 - Erzeugen kein Licht, strahlen Licht weiter

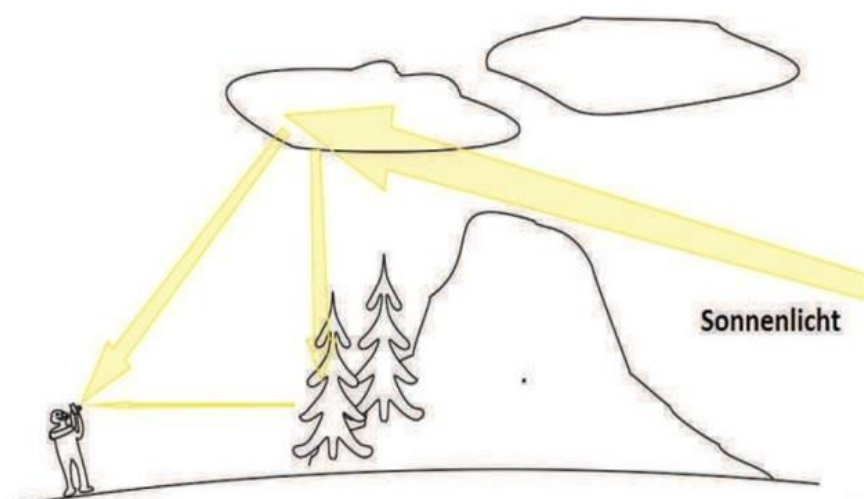
SEHVORGANG

- Sehen: **LICHT IN UNSER AUGE**
- Sehen von Zwischensender funktioniert wie bei Selbstsendern



3

BEISPIEL



4

VERSUCH

- Wieso kannst du die Schachtel sehen?



5

- *Kommt es euch komisch vor, dass Gegenstände, die nicht selber leuchten, Licht abstrahlen oder weiterstrahlen?*
- *Was gibt es für Arten von Sendern?*
- *Was ist ein Selbstsender, was ein Zwischensender. Nenne Beispiele.*
- *Wann kannst du einen Selbstsender, wann einen Zwischensender sehen?*
- *Kann man einen Selbstsender / Zwischensender sehen, wenn es vollkommen dunkel ist? Warum, warum nicht?*
- *Warum siehst du die Leuchtstoffröhre im Klassenzimmer?*
- *Warum siehst du den Tisch im Klassenzimmer?*

11.Block

Wir wollen nun herausfinden, warum wir Körper in verschiedenen Farben sehen. Dazu beleuchte eine Schachtel mit weißem Boden mit einer Taschenlampe (Abbildung 13). Der Boden verhält sich wie die Wolke aus dem Beispiel.

Stell dir folgenden Versuch vor:

Lege ein rotes Blatt Papier auf den Schachtelboden einer weißen Schachtel. Beleuchte das rote Blatt mit einer Taschenlampe, die sonnenähnliches Licht aussendet. Betrachte nun die Schachtelwände.



Abbildung 14: Links: Schachtel mit weißem Boden und Wänden.

Mitte: Schachtel mit rotem Blatt am Boden.

Rechts: Der Beobachter nimmt die Farbe Rot wahr.

Du siehst, dass die Schachtelwände jetzt rötlich erscheinen, obwohl sie doch eigentlich weiß sind. Wie funktioniert das? Das sonnenähnliche Licht der Taschenlampe trifft das rote Papier am Schachtelboden. Das rote Blatt nimmt das Licht der Taschenlampe auf. Die rote Lichtsorte wird wieder **abgestrahlt**. Alle **anderen Lichtsorten** des sonnenähnlichen Lichts werden vom Blatt **aufgenommen** und in **Wärme** umgewandelt.

Das rote Blatt strahlt die rote Lichtsorte in alle Richtungen ab. Ein Teil davon gelangt direkt in unser Auge. Ein anderer **Teil trifft** erst auf die **Schachtelwand** und von dort in unser Auge. Wir sehen die Schachtelwand daher leicht rötlich.

Das **rote Blatt** am Schachtelboden ist ein also **Zwischensender für die rote Lichtsorte** und ein **Energiewandler für alle NICHT-roten Lichtsorten**. Die **Schachtelwände sind ebenfalls Zwischensender** und strahlen das rote Licht weiter in dein Auge.

Zeichne den oben beschriebenen Vorgang:

- *Wie ging es dir beim Lesen des Textes? Gab es schwierige Stellen?*
- *Was glaubst du warum der Mann da eine Gedanken/Sprechblase hat? Was soll das darstellen?*
- *Warum ist der Fleck am Boden der Schachtel heller als der Rest der Schachtel?*
- *Wie stellst du dir das vor: Licht trifft auf das rote Blatt am Boden der Schachtel, was passiert dann mit dem Licht auf dem roten Blatt?*
- *Ein Mitschüler behauptet: Das rote Blatt färbt das weiße Licht der Taschenlampe rot. Hat er Recht, oder nicht? Begründe!*

12.Block

Oben haben wir erfahren, dass **Gegenstände Zwischensender für bestimmte Lichtsorten** sein können. Wir nehmen den Gegenstand in der Farbe wahr, die er in unsere Augen weiterstrahlt. Nun wollen wir untersuchen was genau mit dem Licht passiert, das auf einen Gegenstand trifft. Bis jetzt wissen wir noch nicht alles darüber.

Trifft Licht auf einen Gegenstand, wird das **Licht** vom Gegenstand **aufgenommen**. Der Gegenstand wandelt einen **Teil** des Lichts in **Wärme** um (**Energiewandler**). Der andere **Teil** des Lichts **wird wieder abgestrahlt (Zwischensender)**. Gegenstände haben die Eigenschaft, dass sie immer einen bestimmten Teil des Sonnenlichts weiterstrahlen können. **Es ist eine feste, nicht veränderbare Eigenschaft eines Körpers für welche Lichtsorten er ein Zwischensender ist.** Wir sehen den Körper dann genau in der Farbe für die er ein Zwischensender ist. Das hört sich jetzt vielleicht verwirrend an, aber im nächsten Beispiel wird das gleich klar werden:

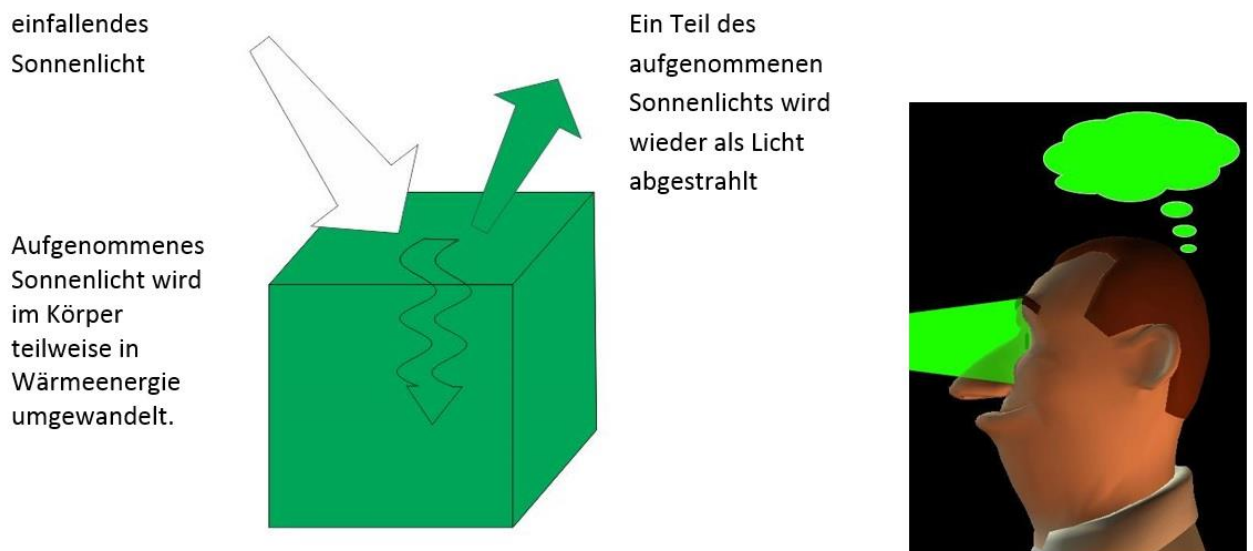


Abbildung 15: Bei unserem Beispiel ist der Würfel ein Zwischensender für die grüne Lichtsorte des Sonnenlichts. Seine Farbe erscheint dir grün.

- Kommt es euch komisch vor, dass Gegenstände Licht aufnehmen bzw. abstrahlen können?
- Wie stellt ihr euch das vor, dass das so abläuft mit dem Aufnehmen und Abgeben?
- Erkläre was du in Abbildung 15 siehst.
- Wie würdest du mir nun erklären, warum ich deinen Pulli gelb sehe? Wie verlaufen die Lichtwege? Nachfragen: Was passiert mit dem Licht am Pullover, welches Licht kommt in mein Auge, geht Licht noch in andere Richtungen?

13.Block

Nun wollen wir untersuchen, was mit dem aufgenommenen Licht passiert:

Erinnere dich an die Eigenschaften des Lichts. Licht ist Strahlung, die Energie übertragen kann. Auch **Wärme** ist eine **Form der Energie**.

Erinnere dich nun an den Farbfilter, den wir mit einem Sieb verglichen haben. Nur ein Teil des Sonnenlichts geht nach dem Filter weiter, der Rest bleibt im Filter und wird dort in Wärme umgewandelt. Genauso ist es mit Gegenständen. Wenn **Sonnenlicht auf einen Gegenstand fällt**, dann sind sie für **manche Lichtsorten Zwischensender** und für **alle anderen Energiewandler**. Wie bei Filtern geht natürlich auch hier nichts von der Energiemenge, die vom Sonnenlicht zum Gegenstand transportiert wird, verloren. Diese **Energiemenge teilt sich nur auf**. Kannst du schon vermuten in welche Teile? Ergänze unten:

Energiemenge, die Sonnenlicht zum Körper transportiert =

_____ + _____

Man kann die Lösung so zusammenfassen: Die erhöhte **Wärmeenergie im Gegenstand** / Filter und die **Strahlungsenergie im abgestrahlten Licht**, ergeben zusammen genau so viel **Energie**, wie das **sonnenähnliche Licht** am Anfang transportiert hat.

Körper können also **Licht aufnehmen und in Wärme umwandeln**. Das hast du vielleicht selbst schon gespürt: Du kennst sicher Rotlichtlampen. Mit Rotlichtlampen werden Körperteile angeleuchtet, um Muskelverspannungen zu lösen. Der aufgenommene Lichtanteil wird in Wärme umgewandelt. Diese Wärme löst die Verspannung und lindert den Schmerz.

Damit haben wir nun auch erklärt, warum eine **größere Licht- bzw. Energiemenge zum Körper hingeht als von ihm weggeht**.

- Hast du Fragen zum Text?
- Kannst du dir vorstellen, dass das aufgenommene Licht in Wärme umgewandelt wird?
- S1: Was passiert mit dem Licht wenn es auf einen Gegenstand trifft? Was passiert mit /im Körper?
- Sonnenlicht mit einer bestimmten Energie trifft auf einen Gegenstand. Ein Teil des Sonnenlichts wird wieder abgestrahlt. Was passiert mit der Energie des Sonnenlichts?
- S2: Wie würdest du einem Mitschüler erklären, was mit Licht passiert, das auf einen Gegenstand trifft? Genauer nachfragen, wie stellst du dir das vor, ...?

14.Block

So, nun bist du an der Reihe.

Stell dir einen **roten Apfel** vor. Genauer gesagt, einen Apfel, der im Sonnenlicht rot erscheint. **Das Sonnenlicht** trifft auf den rot erscheinenden Apfel. Wieso glaubst du nehmen wir den Apfel rot wahr?

Arbeitsauftrag:

- Beschreibe den Lichtweg von der Sonne bis zu deinen Augen!
- Fertige eine Skizze von diesem Vorgang an!

Hier kannst du nun deine Antworten vergleichen!

Wir nehmen den Apfel als rot wahr, weil er ein **Zwischensender** für die **rote Lichtsorte** des Sonnenlichts ist. **Nur** die **rote Lichtsorte** vom Sonnenlicht wird vom Apfel **wieder abgestrahlt**. Dieser rote Lichtanteil trifft in dein Auge. Du nimmst den Apfel in der Farbe Rot wahr. Für alle **NICHT-roten Lichtsorten** ist der Apfel ein **Energiewandler**. Diese aufgenommenen Anteile werden in **Wärme umgewandelt**.

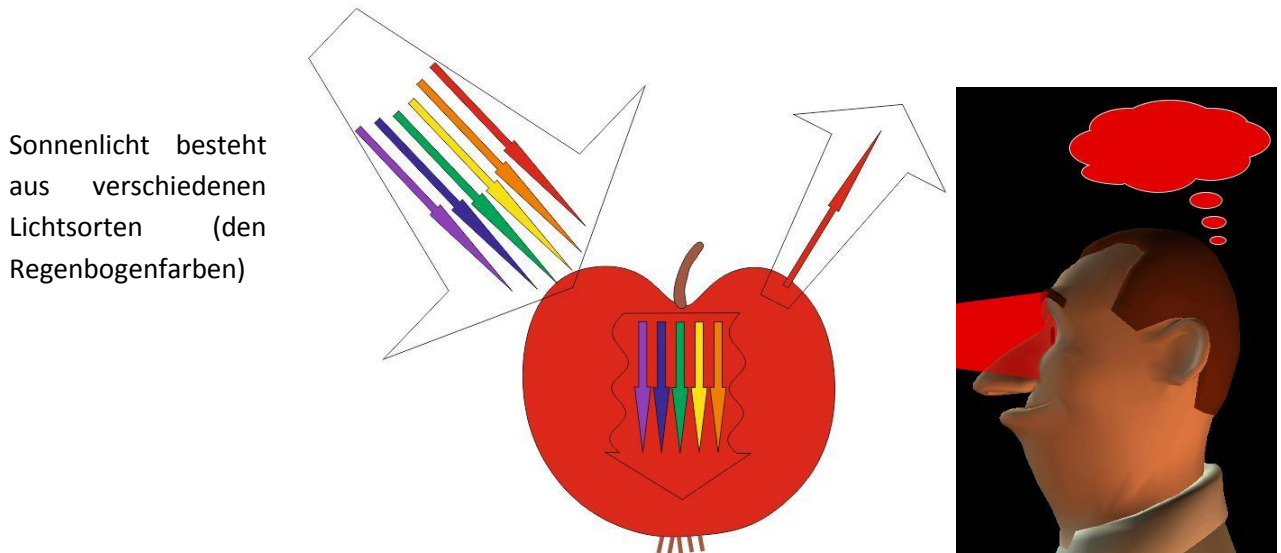


Abbildung 16: Die rote Lichtsorte wird wieder abgestrahlt, alle anderen Anteile werden aufgenommen. Wir nehmen den Apfel rot wahr.

- Beschreib was du im Bild 16 siehst. Wofür stehen die einzelnen Pfeile?
- Warum ist um die einzelnen Pfeile ein großer Pfeil?
- Ist dir aufgefallen, dass die Pfeile im Apfel kürzer sind? Hast du eine Erklärung dafür?
- Was soll der wellige Pfeil darstellen?
- Was wird aufgenommen? Wie stellst du dir das vor, dass die Farben aufgenommen werden? Wo sind diese Farben dann, wenn sie aufgenommen sind?
- Wie findest du das, dass wir die Wärme mit einem welligen Pfeil darstellen? Hilft dir der wellige Pfeil zu sehen, dass hier Lichtenergie in Wärmeenergie umgewandelt wird, oder macht es dir das schwerer?
- Wie würdest du einem Mitschüler erklären, warum wir den Apfel auf dem Bild Rot sehen?
- Versuche zu erklären und zu zeichnen wann wir einen Apfel grün sehen.

15.Block

Wir wollen uns nun mit **zwei speziellen Fällen** beschäftigen.

Wann erscheint ein **Gegenstand weiß**, wann erscheint er **schwarz**?
Wie kann ein Körper schwarz oder weiß erscheinen, wenn es keine weiße oder schwarze Regenbogenfarbe gibt?

a) Welche Lichtsorten müssen abgestrahlt werden, damit wir einen Gegenstand weiß wahrnehmen?

Ein Gegenstand erscheint **weiß**, wenn von allen Lichtsorten des Sonnenlichts **Lichtanteile** wieder **abgegeben** werden und in unser Auge gelangen. Um dir das besser vorstellen zu können betrachte Abbildung 17.

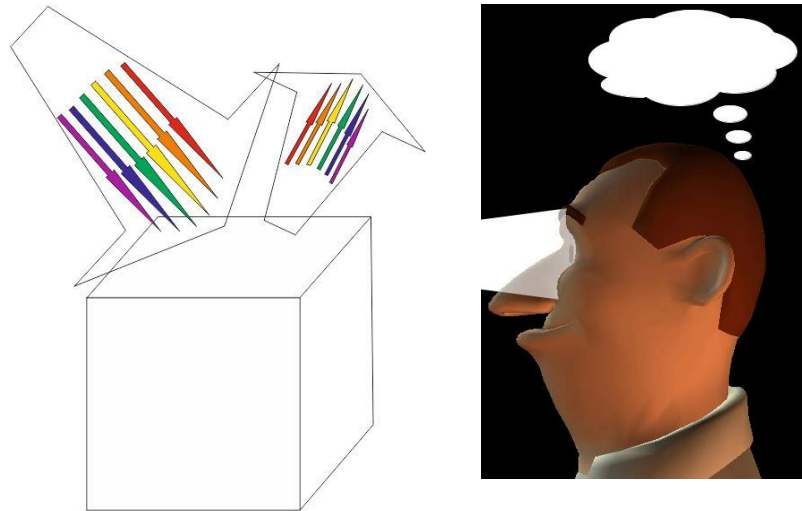


Abbildung 17: Weiß strahlt fast alles ab, für den Beobachter erscheint der Würfel weiß.

Nun bist wieder du an der Reihe. Beantworte die Fragen:

- Für welche Lichtsorten ist der Würfel, der uns weiß erscheint ein Zwischensender? Warum?
- Für welche Lichtsorten ist er ein Energiewandler? Warum?

b) Welche Lichtsorten müssen abgestrahlt werden, damit wir einen Gegenstand schwarz wahrnehmen?

Du nimmst einen Gegenstand **schwarz** wahr, wenn vom Gegenstand **alle Lichtsorten des Sonnenlichts aufgenommen** werden. Es gelangt fast kein Licht in unser Auge. Um dir das besser vorstellen zu können schau dir Abbildung 18 an.

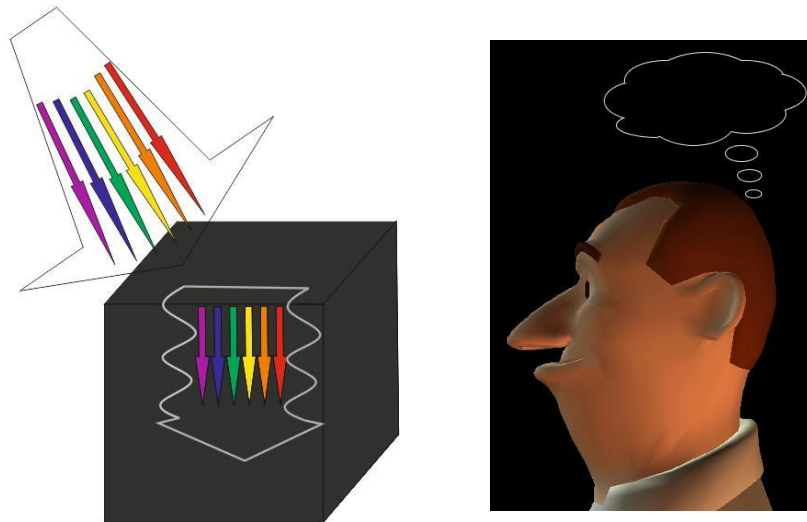


Abbildung 18: Schwarz nimmt fast alles auf, kein Licht gelangt in unser Auge. Nichts gelangt zum Beobachter, daher denkt der Beobachter der Gegenstand erscheint schwarz.

Nun bist wieder du an der Reihe. Beantworte die Fragen:

- Für welche Lichtsorten ist der Würfel, der uns schwarz erscheint ein Zwischensender? Warum?
- Für welche Lichtsorten ist er ein Energiewandler? Warum?

Wir können **Gegenstände**, die **alle Lichtsorten aufnehmen** und in Wärme umwandeln eigentlich gar **nicht sehen**. Solche Gegenstände strahlen ja kein Licht ab. Licht vom Gegenstand muss aber in unser Auge kommen, damit wir den Gegenstand sehen können.

Warum wir sie trotzdem erkennen können, **hängt** von der **Umgebung ab**, in der sich der Würfel befindet. Wenn es hell ist, sendet die Umgebung Licht in unser Auge. Der Gegenstand, der kein Licht weiterstrahlt, hebt sich von der Umgebung ab. Wir nehmen nur seine **Form wahr**, die uns schwarz erscheint.

Stell dir vor, du hast einen schwarzen und einen weißen Pullover. Du ziehst zuerst den weißen Pullover an und stellst dich damit in die Sonne. Anschließend ziehst du den weißen Pullover aus und den schwarzen Pullover an. Dann stellst du dich wieder in die Sonne.

Nun bist du wieder an der Reihe:

- Fühlst du dich im weißen Pullover anders, als im schwarzen Pullover? Wie?
- Wie würde das ein/e Physiker/in erklären?

- *Wieso sind beim schwarzen Würfel die Pfeile in einem welligen Pfeil zusammengefasst?*
- *Warum ist beim weißen Würfel der Pfeil der weg zeigt kleiner, als der Pfeil der zum Würfel hinzeigt? Warum gibt es beim schwarzen Würfel einen welligen Pfeil in den Würfel hinein und beim weißen Würfel einen Pfeil vom Würfel weg?*
- *Kann ein Blinder den Unterschied zwischen einem weißen und einem schwarzen Pullover erkennen, wenn er in der Sonne steht?*
- *Wie würdest du einem Mitschüler erklären, wann uns ein Gegenstand weiß, wann er uns schwarz erscheint?*
- *Würdest du sagen, dass weiß und schwarz eine Farbe ist? Begründe?*
- *Warum können wir schwarz erscheinende Gegenstände sehen, wenn sie kein Licht in unser Auge senden?*

16.Block

Gegenstände in farbigem Licht

Du weißt schon, dass die **Farbe** in der wir einen Gegenstand sehen davon **abhängt**, für welche **Lichtsorte** er ein **Zwischensender** ist. Bisher haben wir die Gegenstände immer mit sonnenähnlichem Licht, das alle Regenbogenfarben enthält, beleuchtet. In diesem Kapitel wirst du wahrscheinlich eine Überraschung erleben. Wir Menschen sind es **gewöhnt, alle Gegenstände im Sonnenlicht zu betrachten**. Doch was passiert, wenn du einen Gegenstand in farbigem Licht betrachtest? Auf diese Frage wirst du bald eine Antwort finden.

Zu Beginn führe folgenden Versuch durch:

- Beleuchte verschiedenfarbige Buntstifte mit einer Rotlichtlampe. Zähle die Farben der Stifte nach einander auf!
- Beleuchte nun die Buntstifte mit der Taschenlampe. Halte nun die grüne Folie vor die Taschenlampe. Beschreibe was dir auffällt? Zähle die Farben der Stifte nach einander auf!
- Hast du eine Vermutung für deine Beobachtung? Welche?
- Zeichne den Lichtwege für beide Beispiele von der Glühbirne bis in dein Auge!

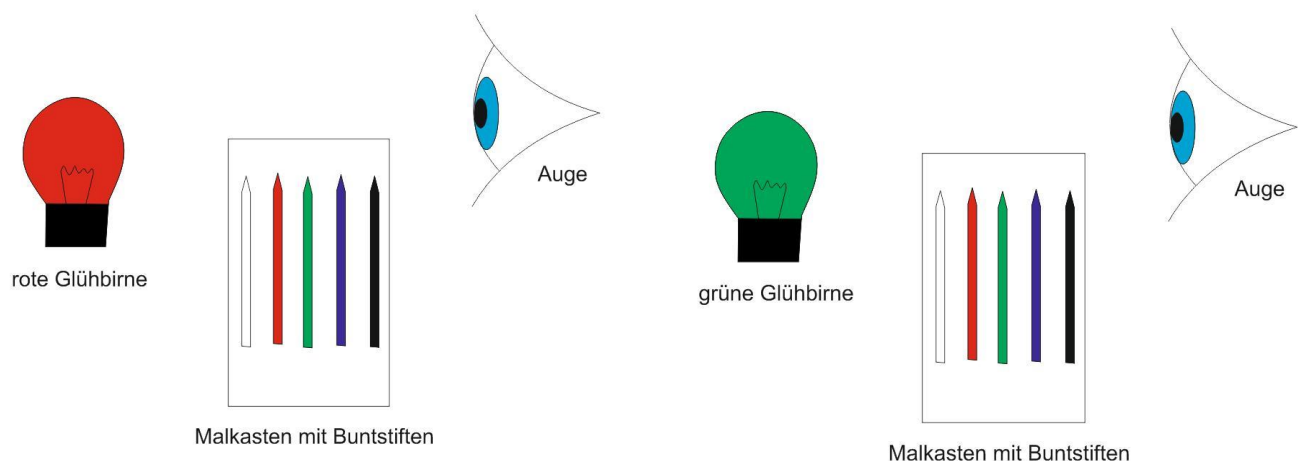


Abbildung 19: Malkasten wird mit rotem und grünem Licht beleuchtet

Wir haben ja schon gehört, dass **Gegenstände** immer **nur für bestimmte Lichtsorten Zwischensender** sind. Für welche, hängt vom Material des Körpers ab. Gegenstände haben im Sonnenlicht, oder in sonnenähnlichem Licht, daher immer dieselbe Farbe. Beleuchtet man die Gegenstände jedoch mit anderen Lichtsorten, können sie plötzlich in einer anderen Farbe erscheinen.

In welcher **Farbe wir einen Gegenstand sehen, hängt also von 2 Faktoren ab:**

1. **Für welche Lichtsorte der Körper ein Zwischensender ist**
2. **Mit welchen Lichtsorten ein Körper beleuchtet wird.** Schließlich kann der Körper nur Lichtsorten weitersenden, die bei ihm ankommen.

Ein Gegenstand kann in z.B. blauem Licht in einer anderen Farbe erscheinen als z.B. in rotem Licht oder in Sonnenlicht. **Farbe ist also keine Eigenschaft des Gegenstands!**

- *Kommt es euch komisch vor, dass Gegenstände in anderen Farben erscheinen können?*
- *Erkläre wie Gegenstände in anderen Farben erscheinen können.*
- *Wovon hängt die Farbe ab, in der wir einen Gegenstandes wahrnehmen?*
- *Bewerte die Richtigkeit folgender Aussagen: „Mein Pulli ist gelb.“ „Mein Pulli erscheint in Sonnenlicht gelb.“*
- *Roman sagt: Wenn wir eine gelben Apfel mit blauem Licht beleuchten, sehen wir ihn grün. Die Farbe des Apfels und des Lichts mischen sich. Beurteile die Richtigkeit dieser Aussage!*

17.Block

Wir wollen uns das mit den Farben von Gegenständen noch einmal genauer an einem Beispiel ansehen.

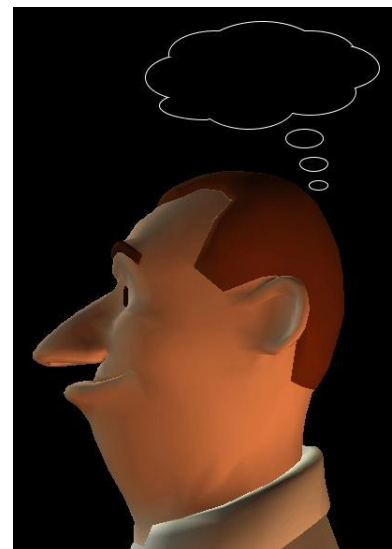
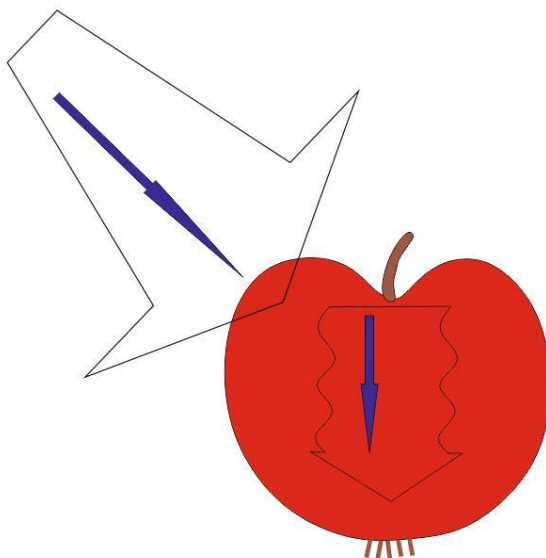
Wir beleuchten einen **Apfel**, der in der Sonne rot erscheint, mit einer **blauen Glühbirne**. Der Apfel erscheint dir dann schwarz! Warum? Überlege dir folgendes!

- Für welche Lichtsorte ist ein Apfel, der im Sonnenlicht Rot ist, ein Zwischensender?
- Mit welcher Lichtsorte wird der Apfel beleuchtet?
- Was vom einfallenden Licht kann der Apfel wieder weitersenden?

Die vollständige Erklärung geht so. Bist du draufgekommen?

Die Schale des Apfels kann nur die rote Lichtsorte abstrahlen, er ist nur ein Zwischensender für die rote Lichtsorte. Wenn der Apfel mit blauem Licht beleuchtet wird, nimmt die Schale das blaue Licht auf. Im blauen Licht ist **keine roter Anteil**. Der Apfel ist ein Energiewandler für alle NICHT-roten Lichtsorten und wandelt blaues Licht in Wärme um. Der Apfel kann daher auch **nichts** wieder **abstrahlen**. Das bedeutet, der Apfel erscheint uns **schwarz**.

Erinnerst du dich warum wir den „schwarzen“ Apfel sehen können, obwohl er kein Licht abstrahlt?



**Abbildung 20: Der Apfel nimmt den blauen Lichtanteil auf, kein Licht gelangt in unser Auge.
Wir nehmen den Apfel schwarz wahr.**

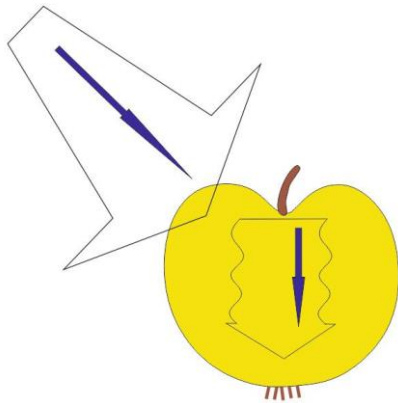
- Kannst du erklären, was man auf dem Bild 20 sieht?
- Wieso führt kein Pfeil von dem Apfel weg? Wieso erscheint der vorher rote Apfel nun schwarz?
- Was glaubst du passiert, wenn man einen grünen Apfel mit rotem Licht beleuchtet?

18.Block

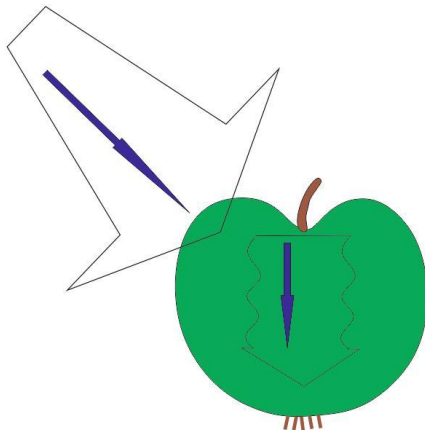
Arbeitsauftrag

In den folgenden Bildern siehst du verschiedene Äpfel, die mit farbigem Licht beleuchtet werden. Zeichne einen Pfeil (vom Apfel weg) ein, wenn Licht abgestrahlt wird. Zeichne daneben ein, welche Farbe der Beobachter wahrnimmt. Am besten malst du dazu das Lichtbündel, das zu seinem Auge gelangt und die Gedankenblase mit Buntstiften an.

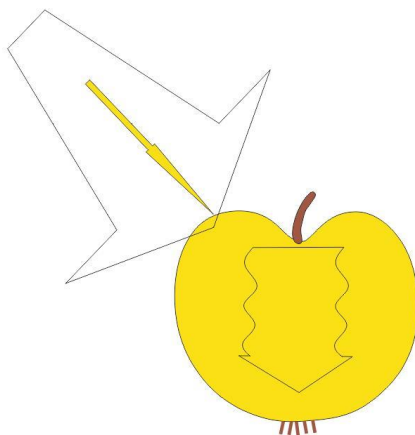
- d) Dieser Apfel erscheint im Sonnenlicht gelb. Er wird blau beleuchtet.



- e) Dieser Apfel erscheint im Sonnenlicht grün. Er wird blau beleuchtet.



- f) Dieser Apfel erscheint im Sonnenlicht gelb. Er wird gelb beleuchtet.



Selbstständigkeitserklärung

„Ich erkläre hiermit, dass ich die Diplomarbeit eigenständig angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.“

Unterschrift

Wien, im Mai 2013

Lebenslauf Iris Fehringer

Persönliche Angaben

Geboren am 1.3.1990, Wien

Wohnhaft: 1220 Wien

Studium

Seit WS 2008 Lehramtsstudium Physik und Mathematik an der Universität Wien

Schule und Ausbildung

09/2000-06/2008 BRG22 Polgarstraße

Berufliche Tätigkeiten

Seit 09/2007 Tanzassistentin der Tanzschule Elmayer

10/2010-01/2013 Tutorin an der Universität Wien

Seit 09/2012 Lehrerin an der Camillo Sitte Lehranstalt (HTL 3)