

SCHÜLERVORSTELLUNGEN
ZUM REGENBOGEN

SCHRIFTLICHE HAUSARBEIT
FÜR DIE ERSTE STAATSPRÜFUNG
FÜR DAS LEHRAMT AN REALSCHULEN

VON

PHILIPP HENNINGER

GEBOREN AM 24.06.1984 IN BAD MERGENTHEIM

VORGELEGT AM: 28. SEPTEMBER 2010

BETREUER: DR. THOMAS WILHELM

PRÜFER: DR. THOMAS WILHELM

JULIUS-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT WÜRZBURG
FAKULTÄT FÜR PHYSIK UND ASTRONOMIE
LEHRSTUHL FÜR PHYSIK UND IHRE DIDAKTIK

Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei allen Lehrern und Schülern ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Den Lehrern für die Möglichkeit, dass ich bei ihnen im Unterricht die Interviews führen durfte und den Schülern, da sie die Fragebogen so gewissenhaft ausgefüllt haben, obwohl das Schuljahr schon fast zu Ende war. Ganz besonderen Dank auch an Herrn Dr. Thomas Wilhelm für die Unterstützung und Betreuung bei dieser Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Schülervorstellungen	3
2.1. Entstehung von Schülervorstellungen	3
2.2. Schülervorstellungen als Ursache für Lern- und Verständnisschwierigkeiten .	4
2.3. Der Umgang mit Präkonzepten	6
2.3.1. An vorhandene Schülervorstellungen anknüpfen	6
2.3.2. Schülervorstellungen in Konfrontation mit dem physikalischen Modell	6
2.3.3. Schülervorstellungen umdeuten	7
3. Fachliches über den Regenbogen	8
3.1. Voraussetzungen für die Entstehung eines Regenbogens	8
3.2. Relevante Aspekte aus der geometrischen Optik	9
3.2.1. Brechung	9
3.2.2. Reflektion	10
3.2.3. Dispersion	11
3.3. Relevante Aspekte aus der Wellenoptik	12
3.3.1. Licht als Welle	12
3.3.2. Polarisierung	12
3.3.3. Interferenz	13
3.4. Phänomene des Regenbogens	15
3.4.1. Der Regenbogenwinkel	15
3.4.2. Farbverlauf des Regenbogens	18
3.4.3. Sekundäre und höhere Regenbögen	20
3.4.4. Alexanders dunkles Band	23
3.4.5. Polarisierung des Regenbogens	24
3.4.6. Interferenzbögen und überzählige Farben im Regenbogen	25
3.4.7. Weiße Nebelbögen	26
3.4.8. Zusammenfassung	27
4. Empirische Untersuchung	28
4.1. Vorüberlegung	28
4.1.1. Allgemeine Aspekte	28
4.1.2. Untersuchungsabsichten	28

4.1.3.	Untersuchungsmethoden	29
4.1.4.	Interview	29
4.1.5.	Fragebogen	31
4.2.	Interviewleitfaden	33
4.2.1.	Erstellen eines Interviewleitfadens	33
4.2.2.	Der Interviewleitfaden	34
4.2.3.	Für das Interview befragte Schüler	35
4.2.4.	Durchführung des Interviews	35
4.2.5.	Auswertung der Interviews	36
4.3.	Fragebogen	40
4.3.1.	Erstellen des Fragebogens aus den Interviews	40
4.3.2.	Befragte Schüler	42
4.3.3.	Durchführung der Befragung mithilfe des Fragebogens	42
5.	Ergebnisse der Untersuchung	43
5.1.	Auswertung der Fragebögen nach der Häufigkeit der Antworten	43
5.1.1.	Damit du einen Regenbogen sehen kannst, muss	43
5.1.2.	Damit ich einen Regenbogen sehen kann: An der Stelle, an der ich selber stehe	44
5.1.3.	Damit ich einen Regenbogen sehe: An der Stelle, an der der Regenbogen entsteht	46
5.1.4.	Wie sind die Farben des Regenbogens angeordnet?	47
5.1.5.	Welche Farben kommen im Regenbogen vor?	47
5.1.6.	Ordne die in Frage fünf angekreuzten Farben in der richtigen Reihenfolge an	48
5.1.7.	Der Regenbogen ist rund, da	50
5.1.8.	Du beobachtest jemanden, der sich einen Regenbogen ansieht. Wie sind Beobachter, Sonne, Regen und Regenbogen angeordnet	51
5.1.9.	Aus der Vogelperspektive sind Beobachter, Sonne, Regen und Regenbogen wie folgt angeordnet	52
5.1.10.	Du kannst einen Regenbogen sehen	53
5.1.11.	Die Farben des Regenbogens entstehen durch	54
5.1.12.	Der Fuß des Regenbogens	55
5.1.13.	Kannst du unterhalb des eigentlichen Regenbogens etwas beobachten?	56
5.1.14.	Kannst du oberhalb des eigentlichen Regenbogens etwas beobachten?	56
5.1.15.	Falls du bei Frage 13 etwas gesehen hast, ist dir zwischen dem eigentlichen Regenbogen und der Beobachtung darunter etwas aufgefallen?	57
5.1.16.	Falls du bei Frage 14 etwas gesehen hast, ist dir zwischen der Beobachtung und dem Regenbogen etwas aufgefallen?	58

5.2.	Auswertung der Fragebögen nach konsequenter Beantwortung	59
5.2.1.	Bedingungen an der Stelle, an der der Regenbogen entsteht	59
5.2.2.	Konstellation von Regen, Sonne, Regenbogen und Beobachter	60
5.2.3.	Der See als Voraussetzung für die Entstehung eines Regenbogens	61
6.	Interpretation der Ergebnisse	62
6.1.	Der Regenbogen als unerreichbare Erscheinung	62
6.2.	Wie entsteht ein Regenbogen, die Voraussetzungen	62
6.3.	Erscheinungsbild des Regenbogens	63
6.4.	Warum kann man einen Regenbogen sehen?	64
6.5.	weitere Thesen	64
6.6.	Zusammenfassung	65
7.	Schlusswort	66
A.	Selbstständigkeitserklärung	69
B.	leerer Fragebogen	70
C.	ausgefüllter Fragebogen	74
D.	Auswertung als Tabelle	79

Vorbemerkung

In nachfolgender Arbeit verzichte ich bewusst auf genderneutrale Formulierungen wie SS, SuS oder Schülerinnen und Schüler. Stattdessen wird zu Gunsten der Einfachheit und des Leseflusses im Regelfall auf die hier neutrale Formulierung Schüler zurückgegriffen. Sofern nicht anders explizit hervorgehoben, sind hier somit Schüler beider Geschlechter angesprochen.

1. Einleitung

Wer stand nicht schon einmal an einem Sommertag in der Natur und bestaunte das faszinierende Zusammenspiel von Regen und Sonne, das einen Regenbogen erzeugt? Der Regenbogen berührt von jeher die Menschen. Er ist fester Bestandteil unserer Kultur, egal ob in Kunst, Religion oder Wissenschaft. So war in der Romantik der Regenbogen in vielen Bildern und Gedichten ein fester Bestandteil der Kunstwerke, so zum Beispiel in CASPAR DAVID FRIEDRICHS „Landschaft mit Regenbogen“.¹ Aber nicht nur in der klassischen Kunst, auch in der heutigen Zeit ist der Regenbogen noch immer in der Kunst präsent, so zum Beispiel in dem Lied „Over the Rainbow“ aus dem Märchen „Der Zauberer von Ozz“.² In der Bibel bekommt der Regenbogen gleich mehrere Bedeutungen zugeschrieben. Als Friedenszeichen zwischen Gott und den Menschen, als Thron Gottes in der Apokalypse und als Symbol der Verherrlichung von Gott und den Heiligen. So wurde der Regenbogen am Ende der Sintflut, die Gott als Strafe über die Menschheit schickte und Noah in seiner Arche überlebte, genutzt, um zu zeigen, dass dies nicht noch einmal geschehen soll. Die Wissenschaft versuchte sich schon früh an Erklärungsversuchen für dieses beeindruckende Phänomen. So wurde um 1300 von DIETRICH VON FREIBERG bereits vermutet, dass der Regenbogen durch Brechung des Lichts in einzelnen Regentropfen entstehen müsste. RENÉ DESCARTES beschrieb 1637 im Anhang seiner „Discours de la Méthode“ unter dem Titel „Les Météores“ den Regenbogen mithilfe der geometrischen Optik³. Er griff dabei die Idee von FREIBERG auf und verknüpft das kurz zuvor von SNELLIUS veröffentlichte Brechungsgesetz damit. Die von DESCARTES ausgearbeiteten Erklärungen haben bis heute ihre Gültigkeit nicht verloren, sie genügen immer noch den Anforderungen an die Sekundarstufe I. Die ersten wissenschaftlichen Beschreibungen des Regenbogens gehen sogar noch weiter zurück. Bereits bei den Griechen um 580 vor Christus wurden durch ANAXIMENES erste Überlegungen zum Zusammenhang zwischen Sonne und Regenbogen gemacht.⁴ Der Regenbogen beschäftigte die Forschung bis in die Moderne. Die letzten Phänomene, wie zum Beispiel die Interferenzbögen, konnten erst mit der Hilfe der Wellenoptik beschrieben und erklärt werden.

Der Regenbogen übt seine Faszination aber nicht nur auf Künstler, Gelehrte und Forscher aus, sondern auch auf den „normalen“ Menschen. Da auch Schüler schon vor dem

¹vgl. FRIEDRICH, CASPAR DAVID: *Landschaft mit Regenbogen*. (URL: <http://www.zeno.org/Kunstwerke/B/Friedrich,+Caspar+David/%3A+Landschaft+mit+Regenbogen>) .

²vgl. WILLERDING, EUGEN (2005): *Zur Theorie von Regenbögen, Glorien und Halos*. Artikel am Argelder Institut für Astronomie, Bonn, Deutschland, (URL: <http://www.astro.uni-bonn.de/~willerd/regenbogen.pdf>) S.2.

³vgl. WILLERDING: *Zur Theorie von Regenbögen, Glorien und Halos*, S.2.

⁴vgl. VOLLMER, MARTIN (2009): *Lichtspiele in der Atmosphäre*. Heidelberg, Berlin: Spektrum Verlag S.123.

Physikunterricht nach Erklärungen für Naturphänomene in ihrer Umwelt suchen, um sich diese zu erklären und zu verstehen, muss auf die dadurch entstandenen Schülervorstellungen bei der Gestaltung des Unterrichts und der Materialien eingegangen werden. Zusammenfassend lässt sich dies im bekannten „pädagogischen Gassenhauer“ von DIESTERWEG beschreiben: Den Schüler dort abholen, wo er sich (von seinem Wissensstand her) befindet. Aus diesem Grund ist es in der Didaktik wichtig Schülervorstellungen zu erforschen und auf diesen Grundlagen geeignete Unterrichtskonzepte für die Schule zu entwickeln. Darin lag auch der Grund, warum ich mich entschied als Thema für meine Zulassungsarbeit die „Schülervorstellungen zum Regenbogen“ zu untersuchen.

Die Arbeit ist in sechs Kapitel aufgeteilt. Das zweite Kapitel umfasst die Entstehung von Schülervorstellungen, Schülervorstellungen als Ursache für Lern- und Verständnisschwierigkeiten, sowie den Umgang mit Präkonzepten im Unterricht. Im dritten Kapitel wird die Entstehung eines Regenbogens sowie einige besondere Phänomene im Zusammenhang mit dem Regenbogen beschrieben. Das vierte Kapitel beinhaltet die Vorüberlegungen zur Untersuchung der Schülervorstellungen. Hierbei wird auf die zwei Testmethoden, sowie deren Gütekriterien eingegangen. Der Leitfaden für das Interview sowie der Fragebogen werden hier beschrieben. Kapitel fünf dient zur Auswertung der Ergebnisse des Fragebogens. In Kapitel sechs werden aus den Ergebnissen Hypothesen gebildet und diese vorgestellt.

2. Schülervorstellungen

Das Thema Schülervorstellungen beschäftigt die Didaktiker verschiedenster Unterrichtsfächer schon seit den 1970er Jahren. So haben sich im Laufe der Zeit auch eine Menge unterschiedlichster Namen für dieses Phänomen gefunden. So unter anderem Schülervorstellung, Alltagsvorstellung, Fehlvorstellung, alternative frameworks (DRIVER), Sichtweisen (MARTON, 1981), intuitive science (PREECE, 1984), Schülervorverständnis (SCHECKER, 1985), children's science (GLIBER, WATTS UND OSBORNE, 1985), Präkonzept (NACHTIGALL, 1986) und facets of knowledge (MINSTRELL, 1992).¹ Allein schon diese Vielfalt an Namen zeigt, wie viele Didaktiker sich mit diesem Thema beschäftigt haben und dass es einen hohen Stellenwert innerhalb der Didaktik inne hat. Dabei sind die einzelnen Beschreibungen durchaus nicht wertneutral. Negativ belegt ist sicherlich der Begriff der Fehlvorstellung, positiv der des Schülervorverständnisses und als neutral ist der Begriff des Präkonzepts oder der der Schülervorstellung anzusehen. Dabei setzten sich alle Begriffe mit den vorunterrichtlichen Vorstellungen zu physikalischen Begriffen, Modellen und Zusammenhängen auseinander. Leider stimmen diese Präkonzepte oft nicht mit den physikalischen Modellen überein oder sind schlichtweg mit Fehlern durchsetzt und irreführend für die Schüler. Diese Alltagsvorstellungen bergen daher eine gewisse Brisanz für den Unterricht in der Schule und sollten aufgrund dieser Tatsache von den Lehrern bei der Planung und auch der Durchführung eines für die Schüler förderlichen und interessanten Physikunterrichts berücksichtigt werden.

2.1. Entstehung von Schülervorstellungen

Schülervorstellungen können auf ganz unterschiedliche Weise entstehen. Als wesentliche Ursache für Schülervorstellungen können die Alltagserfahrungen im Umgang mit Phänomenen, die Umgangssprache und der vorangegangene Unterricht angenommen werden.²³ Im Laufe der Geschichte haben sich bestimmte Vorstellungen als sehr nützlich erwiesen und auch bewährt. Sie dienen zu Orientierung und Behauptung in unserer Umwelt. Diese Vorstellungen sind einfache Konstrukte: Vorstellung von Dinglichkeit, Vorstellung von Geben und Nehmen, Wachsen und Verfall oder von Gewinn und Verlust.⁴ Diese einfa-

¹vgl. WODZINKSI, RITA (1996): *Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten*. In HOPF, MARTIN (Hrsg.): *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis Verlag S. 23.

²vgl. JUNG, WALTER (1986): *Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie*. In HOPF, MARTIN (Hrsg.): *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis Verlag S.18.

³vgl. DUIT, REINDERS (1993b): *Schülervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen*. In HOPF, MARTIN (Hrsg.): *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis Verlag S.8.

⁴vgl. JUNG: *Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie*, S.17.

chen Vorstellungen haben bis heute nicht an Bedeutung für die Kinder verloren, da durch diese Konstrukte die ersten Erfahrungen im Beobachten und Erklären von physikalischen Phänomenen entscheidend mitgeprägt werden. Durch diese Vorstellungen sind viele der Präkonzepte in der Schule mitbestimmt. So sprechen viele Schüler selbstverständlich davon, dass der Körper eine Kraft besitzt und nicht richtigerweise davon, dass dem Körper eine Kraft zugeordnet wird.⁵

Auch die alltägliche Sprache beeinflusst die Vorstellungen, die Schüler mit in den Unterricht bringen. So spricht PFUNDT von einer sprachlichen Ordnung, die von demjenigen, der in eine Sprachgemeinschaft hineinwächst, übernommen wird.⁶ Diese Ordnung gibt den Schülern einen Rahmen vor, in dem sich ihre Vorstellungen und Erklärungen entwickeln. Diesen Rahmen zu verlassen und eine neue physikalische Formulierung zu akzeptieren und zu verwenden stellt für viele eine große Schwierigkeit dar. So beinhaltet die Alltagssprache noch immer eine Vielzahl alter Redewendungen, die auch heute noch in Gebrauch sind. JUNG liefert dazu ein passendes Beispiel. Er spricht von dem Satz: „Die Sonne geht auf.“ Dieser hat seinen Ursprung im alten und überholten geozentrischen Weltbild.⁷

DUIT führt schließlich noch den vorangegangenen Unterricht als Quelle für Präkonzepte auf. Schüler nutzen ihr in der Schule erworbenes Wissen, um alte Vorstellungen untereinander neu zu verknüpfen oder leicht angepasst neu zu interpretieren.⁸

2.2. Schülervorstellungen als Ursache für Lern- und Verständnisschwierigkeiten

Da die Alltagsvorstellung oft „schief“ zu dem liegt, was die Schüler lernen sollen sind Schülervorstellungen ein nie enden wollender Quell von Lern- und Verständnisschwierigkeiten.⁹ So hat *„der Lehrer große Anstrengungen unternommen, ihnen [den Schülern] die Sachverhalte genau erklärt, er hat sorgfältig Experimente vorbereitet und durchgeführt, vielleicht auch noch Schülerexperimente durchführen lassen – und dann stellt er doch enttäuscht fest, daß Grundlegendes mißverstanden wurde, nichts ankam und daß die Schüler Wichtiges rasch wieder vergessen hatten. In Problemfällen argumentieren sie sogar, als hätte der Unterricht nie stattgefunden.“*¹⁰ An diesem Beispiel wird deutlich, dass die Präkonzepte außerordentlich stabil und dauerhaft sind. Die Stabilität der Präkonzepte ist vor allem dadurch zu begründen, dass diese zum prozeduralen Wissen gehören.¹¹ Damit sind

⁵vgl. JUNG: *Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie*, S.18.

⁶vgl. PFUNDT, HELGA (1981): *Die Diskrepanz zwischen muttersprachlichem und wissenschaftlichem Weltbild: ein Problem der Naturwissenschaftsdidaktik*. In DUIT, REINDERS (Hrsg.): *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Köln: Aulis Verlag S.115.

⁷vgl. JUNG: *Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie*, S.18.

⁸vgl. DUIT, REINDERS (1993a): *Alltagsvorstellungen berücksichtigen*. In HOPF, MARTIN (Hrsg.): *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis Verlag S.3.

⁹vgl. JUNG: *Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie*, S.15.

¹⁰vgl. JUNG: *Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie*, S.15.

¹¹vgl. WODZINKSI: *Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten*, S.26.

sie durch die oft wiederholte Anwendung zur Erklärung von Phänomenen im Alltag zu Automatismen geworden. Nach WODZINSKI gilt als weiterer Grund für diese Stabilität auch das selektive Wahrnehmen bei der Beobachtung von Experimenten.¹² DUIT nennt hier als Beispiel die Beobachtungen beim Versuch einen Draht durch elektrischen Strom zum Glühen zu bringen.¹³ Dabei gibt es drei Gruppen von Schülern. Die erste Gruppe glaubt, dass der Draht von links nach rechts oder umgekehrt je nach Stromrichtung zu glühen beginnt. Die zweite Gruppe nimmt an, der Draht beginnt in der Mitte zu glühen. Die dritte Gruppe geht davon aus, dass der Draht gleichmäßig zu glühen beginnt. Nach der Durchführung haben sich die Gruppengrößen nicht signifikant verändert. GAUD führte eine ähnliche Untersuchung durch. Dabei ging es um die Vorhersage von Stromstärken in einem einfachen Stromkreis vor und hinter einem Lämpchen. Drei Monate nach der Untersuchung hatten alle Schüler das Experiment als Bestätigung für ihre Vorstellung in Erinnerung und nutzten diese wieder.¹⁴

Auch das unterschiedliche Vorwissen von Schülern und Lehrer soll in diesem Zusammenhang nicht unerwähnt bleiben. Aufgrund dieses Unterschiedes beobachtet ein Schüler oftmals wieder nur das, das in seiner Vorstellung auch erlaubt ist, und macht nicht die Beobachtung, die der Lehrer erwartet.¹⁵

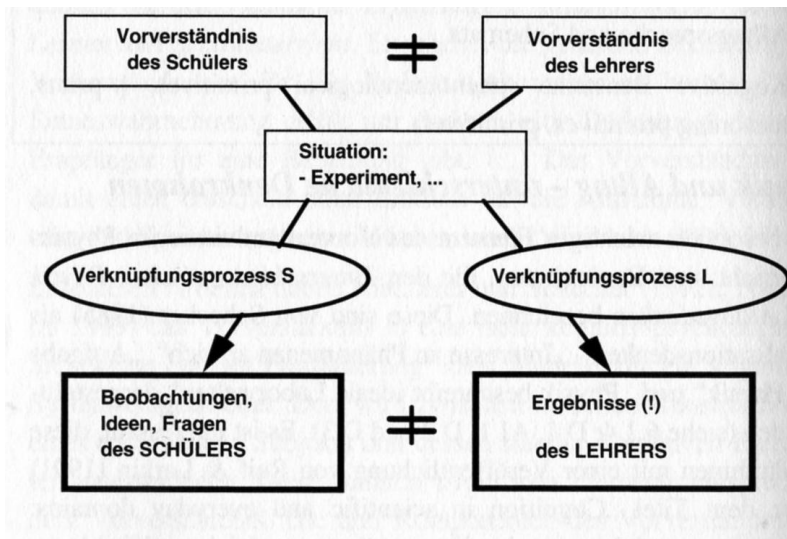


Abbildung 2.1.: Zusammenhang zwischen Schüler- und Lehrervorstellung ¹⁶

¹²vgl. WODZINSKI: *Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten*, S.27.

¹³vgl. DUIT: *Schülervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen*, S.9.

¹⁴vgl. WODZINSKI: *Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten*, S.27.

¹⁵vgl. NIEDERER, HANS und SCHECKER, HORST (2004): *Naturwissenschaften lernen - Weltbilder ändern*. In KIRCHER, ERNST (Hrsg.): *Lehren und lernen über die Natur der Naturwissenschaften*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren S.254.

¹⁶vgl. NIEDERER und SCHECKER: *Naturwissenschaften lernen - Weltbilder ändern*, S.250.

2.3. Der Umgang mit Präkonzepten

Nach JUNG gibt es drei Möglichkeiten mit Präkonzepten von Schülern im Unterricht umzugehen: Anknüpfen, Konfrontation und Umdeuten.¹⁷ Dabei soll es nicht das Ziel sein Schülervorstellungen komplett zu entfernen, sondern die Schüler dazu zu bewegen das physikalische Modell zu akzeptieren und einzusetzen. Des Weiteren muss sich auch der Lehrer von seiner Fehlvorstellung verabschieden: Ist ein physikalisches Phänomen einmal erklärt, ist es von seinen Schülern für immer verstanden.¹⁸

2.3.1. An vorhandene Schülervorstellungen anknüpfen

Wird an vorhandene Schülervorstellungen angeknüpft, versucht die Lehrkraft einen kontinuierlichen Übergang von vorhandenen Vorstellungen zu physikalisch richtigen Modellen zu schaffen. JUNG schreibt hierzu „*die Beziehung zwischen der alten und neuen [Vorstellung] muß thematisiert werden.*“¹⁹ Den Schülern soll bei dieser Vorgehensweise durchaus der Unterschied zwischen ihrer Vorstellung und dem physikalischen Modell bewusst sein. Die Alltagsvorstellung der Schüler darf bei diesem Ansatz allerdings keine zu signifikanten Unterschiede zu der Modellvorstellung der Physik haben. JUNG nennt hier als Beispiel die Schülervorstellung in der Batterie sei Strom gespeichert, der, wird die Batterie angeschlossen, dann verbraucht wird.²⁰ Um an dieses Konzept anzuknüpfen schlägt er vor mit einer unerschöpflichen Spannungsquelle, wie etwa Solarzellen, zu arbeiten und erst später auf Batterien zurückzugreifen. Dadurch soll den Schülern gezeigt werden, dass in der Batterie kein Strom sondern Energie gespeichert ist.

2.3.2. Schülervorstellungen in Konfrontation mit dem physikalischen Modell

Bei der Methode der Konfrontation bringt der Lehrer durch Gegenüberstellung des physikalischen Modells und der Vorstellung des Schülers, den Schüler in einen kognitiven Konflikt. Er soll erkennen, dass zwischen seiner Vorstellung und dem physikalisch korrekten Modell eine Diskrepanz besteht. Dies kann nach DUIT auf zwei unterschiedliche Arten geschehen.²¹ Durch direktes Gegenüberstellen werden die beiden Vorstellungen in einen Konflikt zueinander gebracht. Die andere Möglichkeit besteht darin, die Schülervorstellung festzuhalten und anhand eines geeigneten Experiments zu überprüfen. Hierbei wird die Beobachtung genutzt, um den Konflikt zwischen der Schülervorstellung und der Physik zu verdeutlichen. Bei diesem Übergang handelt es sich nicht um einen kontinuierlichen Übergang wie beim Anknüpfen, sondern um einen diskontinuierlichen Lernweg, der als

¹⁷ vgl. JUNG: *Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie*, S.19.

¹⁸ vgl. JUNG: *Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie*, S.19.

¹⁹ vgl. JUNG, WALTER (1981): *Lebensweltliche und wissenschaftliche Vorstellungen*. In DUIT, REINDERS (Hrsg.): *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Köln: Aulis Verlag S.19.

²⁰ vgl. JUNG: *Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie*, S.19.

²¹ vgl. DUIT: *Schülervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen*, S.12.

Konzeptwechsel bezeichnet wird. Auch besteht nach DUIT die Gefahr, dass viele Schüler *„nicht in der Lage sind den Konflikt zu sehen. Anders ausgedrückt: häufig ergibt sich dieser Konflikt lediglich aus der Sicht des Lehrers nicht aber aus der Sicht des Schülers.“*²² Hierbei kommt es also für viele Schüler überhaupt nicht zu einer kognitiven Konfliktsituation zwischen dem physikalischen Modell und ihrer Vorstellung des Geschehens. Auch hierbei lässt sich wieder auf das die Batterie zurückgreifen. Die typischen Präkonzepte des gespeicherten Stroms und auch der Verbrauch von Energie, kann mit dem physikalischen Modell in einen Konflikt gebracht werden.

2.3.3. Schülervorstellungen umdeuten

Als dritte Möglichkeit zum Umgang mit Präkonzepten nennt JUNG die Umdeutung. Diese Umdeutung von Schülervorstellungen ist wieder eine Methode, die einen kontinuierlichen Übergang von Schülervorstellung zu einer physikalisch korrekten Vorstellung schafft, ähnlich wie die Methode des Anknüpfens. Hierbei wird versucht ein Präkonzept durch gezielte Modifikation umzuarbeiten. Hier kann als Beispiel ein sich bewegender Körper genannt werden; für viele Schüler hat ein sich bewegender Körper eine „Kraft“. Diese Vorstellung kann daraufhin durch den Lehrer mit dem Begriff des Impulses eines sich bewegendes Körpers umgedeutet werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass in der Regel nicht nur einzelne Begriffe, sondern meistens ganze Begriffsgebilde der Schüler umstrukturiert werden müssen.²³

²²vgl. DUIT: *Schülervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen*, S.12.

²³vgl. JUNG: *Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie*, S.19.

3. Fachliches über den Regenbogen

3.1. Voraussetzungen für die Entstehung eines Regenbogens

Warum lässt sich ein Regenbogen eigentlich nicht bei jedem Regenschauer mit Sonnenschein beobachten? Um einen Regenbogen zu sehen, muss die Sonne auf eine Regenwand scheinen. Dem Betrachter eines Regenbogens steht die Sonne dabei immer im Rücken (vgl. Abbildung 3.1). Der Regenbogen ist dabei stets auf konzentrischen Kreisen um den sogenannten Sonnengegenpunkt herum zu sehen. Dieser Sonnengegenpunkt liegt auf der direkten Verbindungslinie von Beobachter und Sonne, daher existiert für jeden ein anderer Sonnengegenpunkt und folglich auch für jeden Beobachter ein eigener Regenbogen. Der Hauptregenbogen entsteht unter einem Winkel von 42° , in Bezug auf die Gerade Sonne und Sonnengegenpunkt, der seltener zu beobachtende Nebenregenbogen unter einem Winkel von 51° .

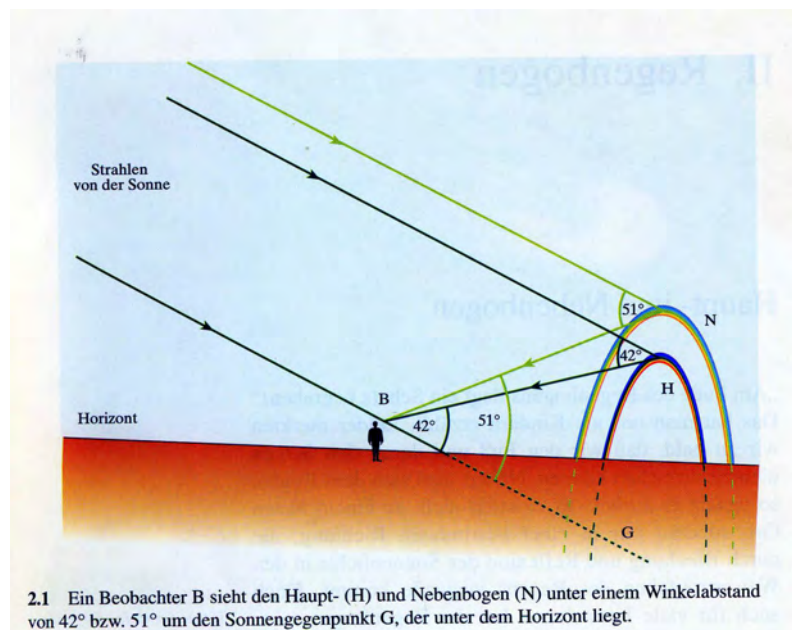


Abbildung 3.1.: Entstehung eines Regenbogens, Hauptregenbogen hat falsche Farbreihenfolge ¹

¹vgl. SCHLEGEL, KRISTIAN (2001): *Vom Regenbogen zum Polarlicht. Leuchterscheinungen in der Atmosphäre*. Heidelberg, Berlin: Spektrum Verlag S.29.

3.2. Relevante Aspekte aus der geometrischen Optik

3.2.1. Brechung

Wenn ein Lichtstrahl aus einem Medium I um α_1 gegen das Einfallslot geneigt auf eine plane Oberfläche eines Mediums trifft, wird ein gewisser Anteil des Lichts reflektiert, der Rest tritt in das Medium II ein. Bei diesem Eintritt in das zweite Medium ändert der Lichtstrahl seine Richtung. Er verläuft dann in Medium II unter dem Winkel α_2 gegen das Lot weiter.

Um das Brechungsgesetz zu formulieren, ist es wichtig zuerst die unterschiedliche Gruppengeschwindigkeit von Licht in unterschiedlichen Medien zu beachten. So lässt sich mit Hilfe dieser unterschiedlichen Gruppengeschwindigkeit ein Brechungsindex definieren.

$$n = \frac{c_0}{c_m}$$

Hierbei ist c_0 die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum und c_m die Lichtgeschwindigkeit in einem Medium. Mit dem Brechungsgesetz von Snellius

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \text{const.}$$

beziehungsweise mit der heute gebräuchlichen Form

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

ergibt sich für den Übergang von Luft (Brechungsindex $n_L = 1$) zu Wasser (Brechungsindex n)

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = n$$

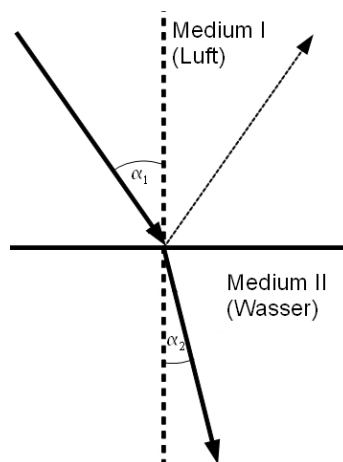


Abbildung 3.2.: Brechung

Der Brechungsindex n von Wasser ist ca. $1,33^2$. Deshalb gilt für den Übergang von Luft zu Wasser, welcher beim Regenbogen von großer Bedeutung ist, stets $\alpha_1 > \alpha_2$.

3.2.2. Reflexion

Wie schon bei der Brechung erwähnt, wird nur ein gewisser Teil des Lichts bei der Brechung in das zweite Medium weitergeleitet, der Restanteil wird an der Oberfläche reflektiert. Hierbei gilt, dass der Winkel gegen das Lot α_1 , unter dem das Licht auf die Oberfläche trifft, genauso groß ist, wie der Winkel gegen das Lot α_2 unter dem das Licht reflektiert wird. Es gilt also $\alpha_1 = \alpha_2$.

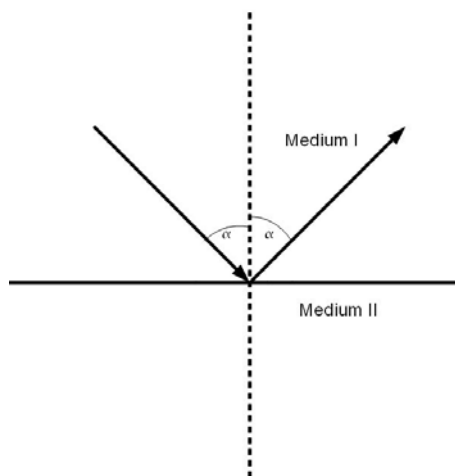


Abbildung 3.3.: Reflexion

Zu unterscheiden ist zwischen der Totalreflektion und der partiellen Reflexion. Bei der Totalreflektion wird das gesamte Licht reflektiert. Dies geschieht nur, wenn das Licht unter einem bestimmten Winkel auf die Grenzfläche zwischen zwei Medien trifft. Hierbei ist wichtig, dass der Lichtstrahl von einem optisch dichteren Medium (höhere Brechzahl) in ein optisch dünneres Medium (geringere Brechzahl) übergeht. Der Winkel, ab dem Totalreflektion auftritt, lässt sich aus $\frac{\sin \alpha_1}{\sin 90^\circ} = \frac{n_1}{n_2}$ berechnen durch $\alpha = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$. Dabei ist n_1 die Brechzahl des optisch dichteren Mediums, n_2 die Brechzahl des optisch dünneren Mediums. Für Luft ($n_1 = 1,0$) und Wasser ($n_2 \approx 1,34$) ergibt sich als Grenzwinkel $\alpha \approx 48^\circ$. Bei der Reflexion wird nur ein Teil des Lichtstrahls reflektiert, der andere Anteil wird gemäß dem Snellius'schen Brechungsgesetz gebrochen oder absorbiert. Bei einem Regenbogen ist nur die normale Reflexion von Bedeutung. Totalreflektion tritt nicht auf.

²vgl. HAMMER, ANTON und HAMMER, HILDEGARD und HAMMER, KARL (2002): *Physikalische Formeln und Tabellen*. München: J. Lindauer Verlag S.88.

3.2.3. Dispersion

Dispersion bezeichnet die Abhängigkeit der Phasengeschwindigkeit und damit des Brechungsindex von der Wellenlänge. Daraus folgt auch die unterschiedliche Brechung von Licht unterschiedlicher Wellenlänge. Durch diesen Effekt wird das „weiße“ Licht beim Auftreffen auf eine Wasserfläche in seine Spektralfarben zerlegt. Der Brechungsindex von Wasser für Licht liegt für blaues Licht bei 1,331, für rotes Licht hingegen bei 1,343. Das bedeutet, dass Licht mit einer kurzen Wellenlänge (blaues Licht) einen kleineren Brechungswinkel als Licht mit einer langen Wellenlänge (rotes Licht) hat.

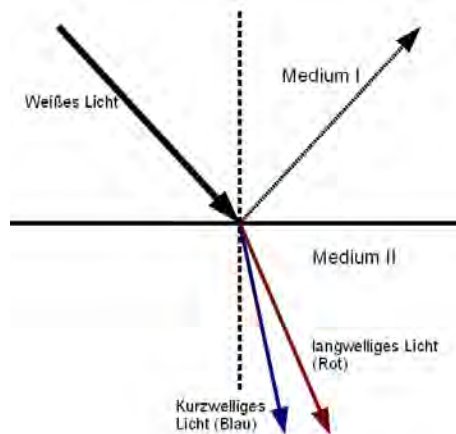


Abbildung 3.4.: Dispersion (die Winkel sind nicht korrekt eingezeichnet, sondern die Dispersion wurde aus didaktischen Gründen übertrieben)

3.3. Relevante Aspekte aus der Wellenoptik

3.3.1. Licht als Welle

Bei Wellen handelt es sich um eine Funktion die sowohl zeitlich als auch räumlich periodisch ist. Wellen lassen sich mathematisch als Funktion zweier Variablen darstellen, $y=f(x,t)$. Es gibt zwei Arten von Wellen, die es zu unterscheiden gilt. Zu einem die Longitudinal- und zum anderen die Transversalwellen. Beim Schall handelt es sich um eine longitudinale Welle, das heißt die Welle schwingt in Ausbreitungsrichtung. Bei der transversalen Welle hingegen schwingt die Welle orthogonal zur Ausbreitungsrichtung, als Beispiel hierfür lässt sich Licht nennen. Bei elektromagnetischen Wellen stehen die elektrischen und magnetischen Felder senkrecht zueinander und zusätzlich auch senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle, es handelt sich hierbei also um Transversalwellen. Da es sich bei Licht um eine elektromagnetische Welle handelt, wird im weiteren Verlauf auch lediglich auf die Eigenschaften und Besonderheiten von Transversalwellen eingegangen.

3.3.2. Polarisation

Bei Transversalwellen schwingt das E-Feld senkrecht zur Ausbreitungsrichtung in beliebiger Richtung. Unpolarisiertes Licht ist eine Überlagerung vieler Wellenzüge von denen jeder eine feste E-Feld Richtung, allerdings eine unterschiedliche, hat. Durch die Polarisation schwingt das elektrische Feld nur entlang einer bestimmten Ausrichtung, man spricht dann von linear polarisiertem Licht. Neben linear polarisiertem Licht unterscheidet man auch elliptisch und zirkular polarisiertes Licht. Die grafische Darstellung von unpolarisiertem Licht ist in der Abbildung 3.5 und von linear polarisiertem Licht in Abbildung 3.6 zu sehen. Für den Regenbogen ist nur die lineare Polarisation von Bedeutung. Linear polarisiertes Licht lässt sich in einer Zeichenebene relativ einfach darstellen. Breitet sich das Licht entlang der z-Achse aus, bildet die x-y-Ebene die Zeichenebene. In der Zeichenebene wird linear polarisiertes Licht durch einen einfachen Pfeil entlang der x-Achse oder entlang der y-Achse dargestellt. Die Länge des Pfeils gibt dabei auch die Amplitude des E-Feldes an. Unpolarisiertes Licht wird durch zwei gleichlange Pfeile entlang der x- und y-Achse dargestellt. Tritt nur teilweise lineare Polarisation auf wird der entsprechende Pfeil entlang einer der Achsen kürzer.

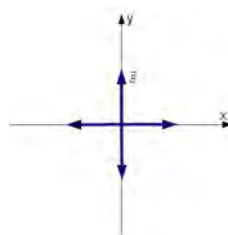


Abbildung 3.5.: Darstellung unpolarisiertes Licht in der x-y-Ebene

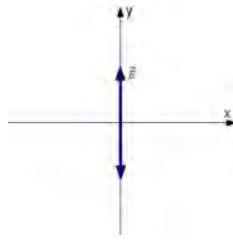


Abbildung 3.6.: Darstellung linearer Polarisation in der x-y-Ebene

Wird unpolarisiertes Licht, zum Beispiel Sonnenlicht, reflektiert, ist es im Normalfall teilweise linear polarisiert. Bei der Reflexion unter einem bestimmten Winkel, dem Brewsterwinkel α_b , wird das unpolarisierte Licht vollständig linear polarisiert (vgl. Abbildung 3.7). Der Brewsterwinkel beträgt beim Übergang von Luft zu Wasser circa 53° und beim Übergang von Wasser zu Luft ungefähr bei 37° . Die Polarisation von reflektiertem Licht ist also immer gegeben, je näher allerdings der Reflektionswinkel am Brewsterwinkel ist, desto stärker ist die lineare Polarisation des Lichts.

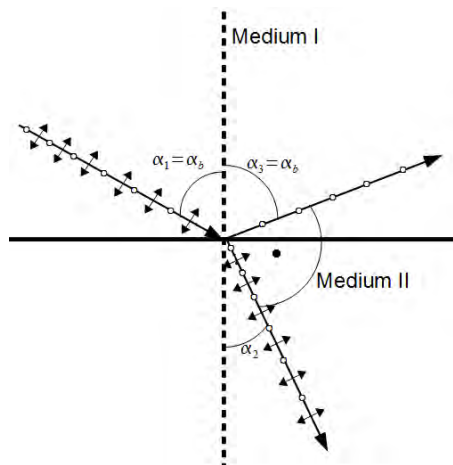


Abbildung 3.7.: Brewsterwinkel

3.3.3. Interferenz

Das Phänomen der Interferenz beschreibt die Überlagerung von zwei oder mehr Wellen in einem Medium. Für die Überlagerung von Wellen gilt das Superpositionsprinzip, das bedeutet, dass sich die Amplituden der Wellen ungestört überlagern. Die daraus resultierende Welle entspricht der algebraischen Summe der einzelnen Wellen. Das Ergebnis der Überlagerung hängt von der relativen Phasenverschiebung zwischen den Wellen ab. Sind beide Wellen exakt in Phase, interferieren sie konstruktiv, das heißt es trifft ein Wellenberg auf einen Wellenberg und ein Wellental auf ein Wellental, dadurch addieren sich die Amplituden der beiden Wellen auf. Sind beide Wellen exakt aus der Phase, es trifft also

ein Wellenberg auf ein Wellental, löschen sich die Wellen gegenseitig aus. Dabei gilt es zwischen der ungestörten Überlagerung von Schwingungen (vgl. Abbildung 3.8) und der Überlagerung von Wellen (vgl. Abbildung 3.9) zu unterscheiden. Interferenz von Wellen ist ein räumliches Phänomen. Daher lässt sich im Gegensatz zur Überlagerung von Schwingungen bei der Interferenz nicht nur beobachten, was an einem Ort zu einer bestimmten Zeit passiert, sondern auch was an verschiedenen Orten zur selben Zeit geschieht. Aus dieser Beobachtung zu einer bestimmten Zeit ergeben sich häufig die typischen Interferenzmuster

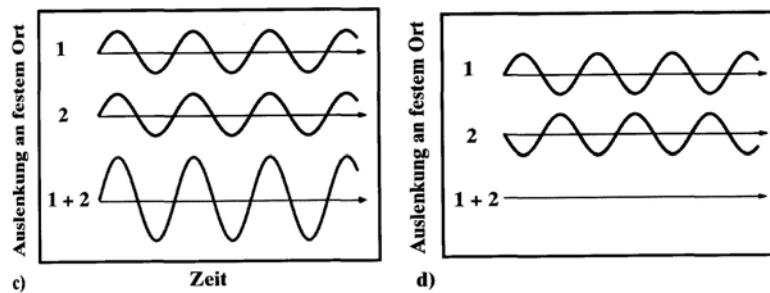


Abbildung 3.8.: Verstärkung und Auslöschung von überlagernden Schwingungen³

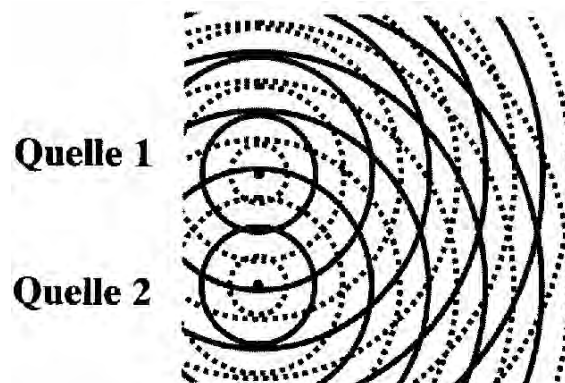


Abbildung 3.9.: Verstärkung und Auslöschung von interferierenden Wellen⁴

Bleibt die Phasenverschiebung konstant, spricht man von Kohärenz. Bei einer Veränderung der Phasenverschiebung sind die beiden Wellen inkohärent zueinander. Sonnenlicht ist teilweise kohärent, das heißt es ist nur für nahe aneinanderliegende Punkte kohärent.

³vgl. VOLLMER: *Lichtspiele in der Atmosphäre*, S.31.

⁴vgl. VOLLMER: *Lichtspiele in der Atmosphäre*, S.31.

3.4. Phänomene des Regenbogens

3.4.1. Der Regenbogenwinkel

Der Regenbogen entsteht durch auf eine Regenwand einfallendes, paralleles Sonnenlicht. Ein beliebiger, in den Regentropfen einfallender Lichtstrahl durchläuft den Regentropfen hierbei wie in Abbildung 3.10. Der für die Entstehung des Regenbogens verantwortliche Teil ist nur der, der nach nach Brechung, Reflexion und nochmaliger Brechung übrigbleibt. Dies ist nur ein sehr kleiner Teil der ursprünglichen Intensität. Dabei wird der Regentropfen aber nicht nur von einem einzelnen Sonnenstrahl getroffen sondern, immer von einem ganzen Bündel Sonnenstrahlen. Dabei nimmt jeder Lichtstrahl innerhalb des Regentropfens einen anderen Verlauf.

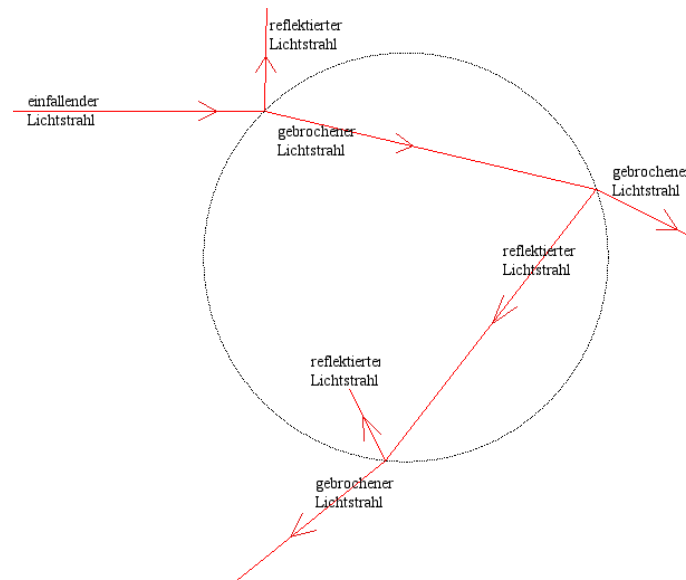


Abbildung 3.10.: Strahlenverlauf eines einzelnen speziellen Lichtstrahls als Beispiel⁵

Im folgenden werden nur die oberhalb des Regentropfenmittelpunktes einfallende Lichtstrahlen betrachtet. In der Tabelle 3.1 wurde zur Berechnung des Ablenkwinkels α_H des Hauptregenbogens die Formel

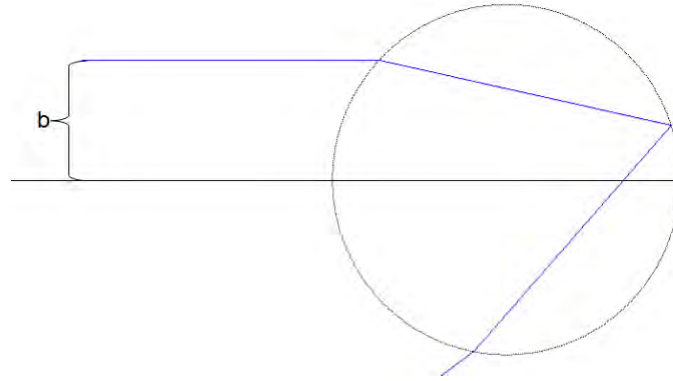
$$\alpha_H = 4 \cdot \arcsin \frac{b}{R} - 2 \cdot \arcsin \frac{b}{R}$$

verwendet. Für den Ablenkwinkel des α_N des Nebenregenbogens wurde die Formel

$$\alpha_N = 180^\circ - \left(6 \cdot \arcsin \frac{b}{R} - 2 \cdot \arcsin \frac{b}{R} \right)$$

⁵vgl. DITTMANN, H. und SCHNEIDER, W.B.: *Zur Deutung der inneren Regenbögen*. (URL: <http://www.solstice.de/physikprogramme/simulationsprogramm-zum-regenbogen/>) Programm Regenbogen.

benutzt. Für den Brechungsindex n wurde dabei auf den durchschnittlichen Brechungsindex von Wasser $n = 1,33$ zurückgegriffen. Der normierte Stoßparameter $\frac{b}{R}$ ist der Quotient aus dem Abstand des Lichtstrahls zum Mittelpunkt des Regentropfens b (vgl. 3.11) und dem Radius R des Regentropfens.

Abbildung 3.11.: Stoßparameter b

Normierter Stoßparameter	Ablenkwinkel α_H des Hauptregenbogen in Grad	Ablenkwinkel α_N des Nebenregenbogen in Grad
0,00	0	180
0,05	2,89	172,81
0,10	5,77	165,61
0,15	8,86	158,40
0,20	11,52	151,18
0,25	14,38	143,95
0,30	17,23	136,70
0,35	20,06	129,43
0,40	22,85	122,14
0,45	25,62	114,83
0,50	28,33	107,51
0,55	30,97	100,17
0,60	33,52	92,84
0,65	35,94	85,54
0,70	38,17	78,31
0,75	40,13	71,22
0,80	41,65	64,39
0,85	42,47	58,08
0,90	42,03	52,80
0,95	38,73	50,10
1,00	15,01	67,48

Aus der Tabelle 3.1 ergibt sich für den Primäregenbogen, damit folgender Graphen.

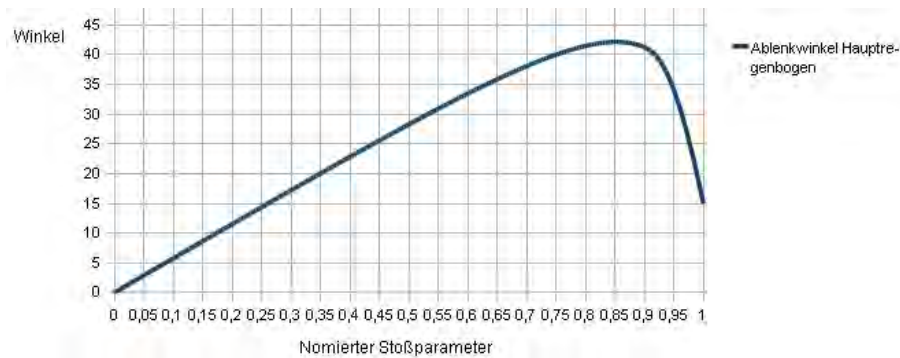


Abbildung 3.12.: Ablenkwinkel als Funktion des normierten Stoßparameters

Wie in der Abbildung 3.12 zu erkennen ist befindet sich der maximale Ablenkwinkel bei ungefähr 42° . Der Winkelbereich $[40^\circ 42^\circ]$ um den Maximalwinkel α_{max} ist außerdem der Winkelbereich, der die größte Lichtintensität aufweist, da in diesen die meisten Lichtstrahlen gelangen. Dieser Winkel ist daher im Allgemeinen auch als der Regenbogenwinkel bekannt, da unter diesem Winkel aufgrund des dort vorliegenden Maximums der Regenbogen zu sehen ist.

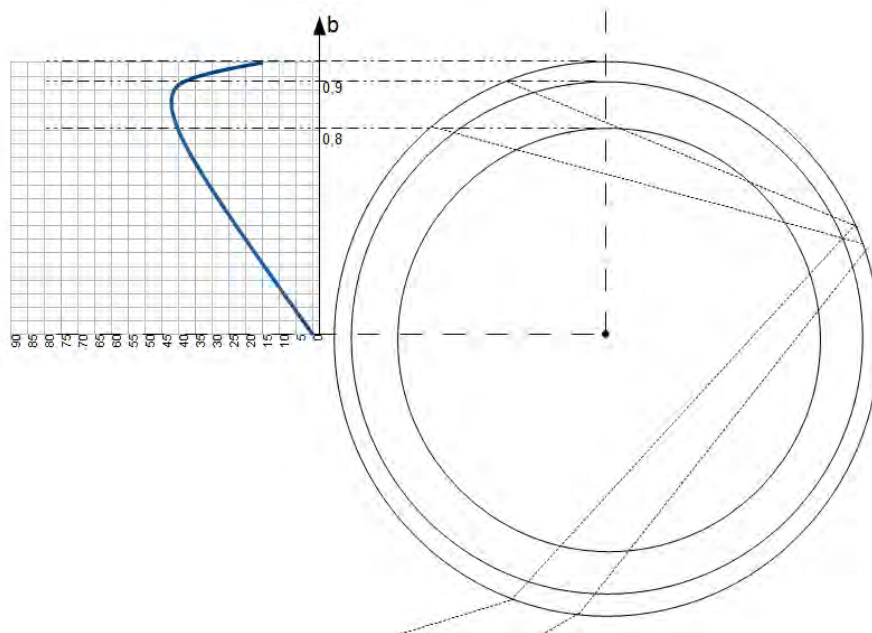


Abbildung 3.13.: Wichtiger Bereich des Regentropfens⁶

Vergleicht man die Kurve des Ablenkwinkels 3.12 mit einem Regentropfen, wie in Abbildung 3.13, wird deutlich welcher Bereich des Lichteinfalls in den Regentropfen für den

⁶vgl. VOLLMER: *Lichtspiele in der Atmosphäre*, S.114.

Regenbogen von Bedeutung ist, nämlich die Lichtstrahlen, die weiter außen in den Regentropfen fallen ($b = 0,8$ bis $b = 0,9$). Im Folgenden wird hauptsächlich nur noch auf diesen Bereich des Lichteinfalls in den Regentropfen eingegangen.

3.4.2. Farbverlauf des Regenbogens

In einem Regentropfen spaltet sich das Sonnenlicht aufgrund der Dispersion auf. Bei einer Reflektion innerhalb des Tropfens (Hauptregenbogen) liegt das Intensitätsmaximum für blaues Licht bei einem kleineren Ablenkungswinkel α als das Intensitätsmaximum für rotes Licht (vgl. Tabelle 3.2, Abbildung 3.15 und Abbildung 3.14).

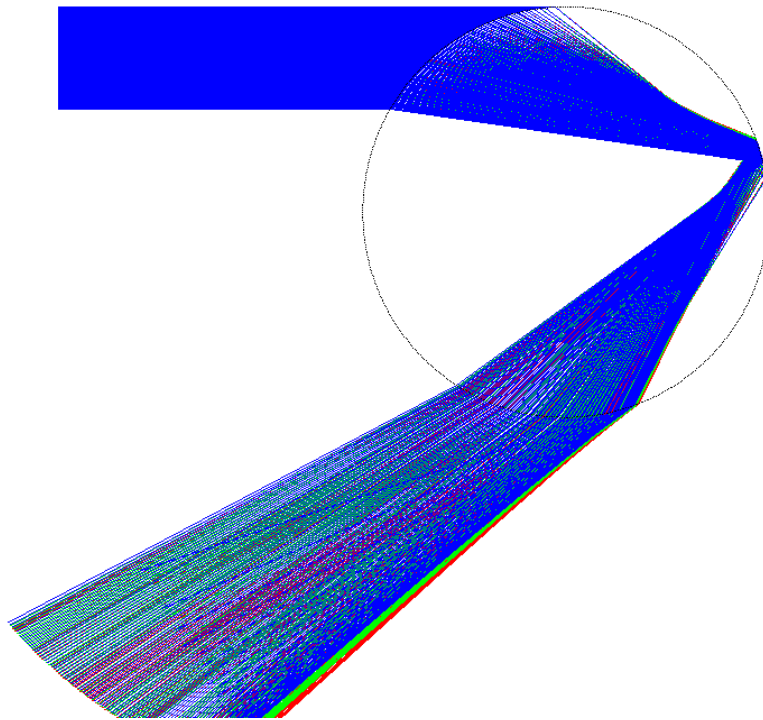
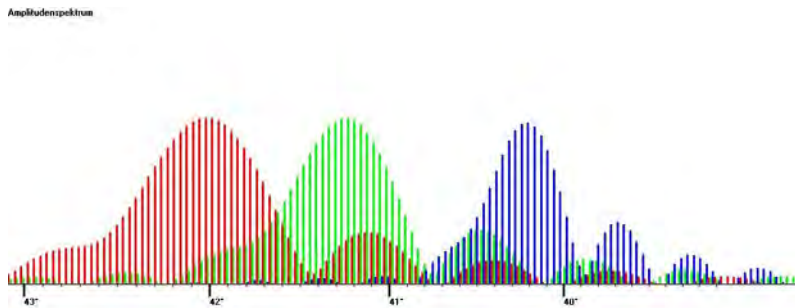


Abbildung 3.14.: Dispersion von Sonnenlicht in einem Regentropfen ⁷

⁷vgl. DITTMANN und SCHNEIDER: *Zur Deutung der inneren Regenbögen*, Programm Regenbogen.

Farbe	Ungefähre Wellenlänge in nm	Ablenkwinkel in Grad
Tiefrot	706	42.409
Rot	660	42.305
Gelb	589	42.019
Grün	540	41.733
Blau	450	41.024
Dunkelblau	404	40.574

Tabelle 3.2.: Ablenkwinkel in Abhängigkeit der Wellenlänge für den Hauptregenbogen

Abbildung 3.15.: Verteilung der Maxima für eine Tröpfchengröße von 900 Mikrometer⁸

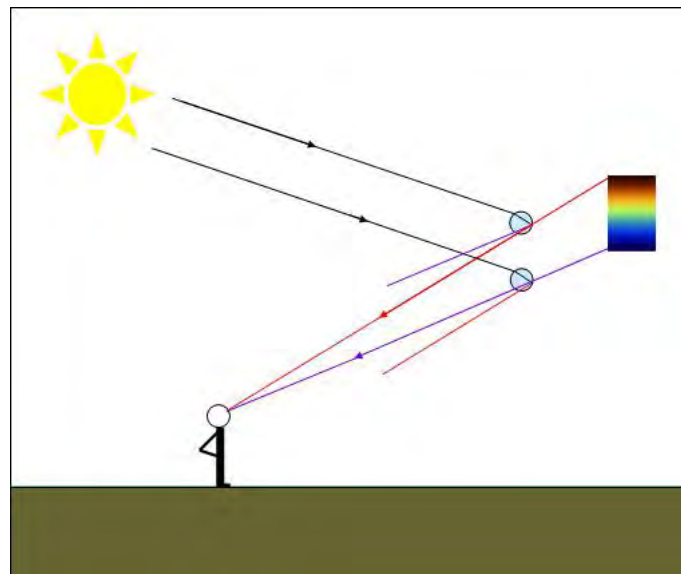
Betrachtet man die Abbildung 3.14 so darf man nicht davon ausgehen, dass der Betrachter eines Regenbogens die Farben in der Reihenfolge Blau, Grün, Gelb, Rot sieht. Da der betrachtete Regenbogen nicht von einem einzelnen Regenbogen erzeugt wird, sondern durch die gesamte Regenwand, sieht man das rote Licht von Regentropfen, die sich in der Regenwand weiter oben befinden, während das blaue Licht von Regentropfen stammt die bereits ein Stück weiter Richtung Erde gefallen sind.

Wie in der Abbildung 3.16 zu erkennen ist, fällt das Sonnenlicht parallel auf die Regenwand. Durch die unterschiedlichen Ablenkwinkel für unterschiedliche Wellenlängen wird der Regenbogen im Punkt der Beobachtung, dem Auge des Betrachters, von verschiedenen Regentropfen erzeugt.

⁸vgl. DITTMANN und SCHNEIDER: *Zur Deutung der inneren Regenbögen*, Programm Regenbogen.

⁹vgl. GOURDEAU, JUSTINE: *Wolken und Partikel, Basis, Regenbogen*. (URL: http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3_Sonne_und_Wolken/_Regenbogen_3aq.html).

¹⁰vgl. ROLPH, ERIC: *Double-alaskan-rainbow*. (URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Double-alaskan-rainbow.jpg>).

Abbildung 3.16.: Ursache der Farbreihenfolge des Hauptregenbogens⁹

3.4.3. Sekundäre und höhere Regenbögen

Bei günstigen Bedingungen, wie zum Beispiel ausreichend starker Beleuchtung, kann in der Natur nicht nur ein Regenbogen beobachtet werden, sondern auch oberhalb des ersten Regenbogens ein sogenannter sekundärer Regenbogen (vgl. Abbildung 3.17). Dieser zweite Regenbogen besitzt eine geringere Intensität als der Hauptregenbogen, außerdem ist die Farbreihenfolge bei diesem sekundären Regenbogen umgekehrt im Vergleich zum primären Regenbogen. Regenbögen höherer Ordnung entstehen, indem der Lichtstrahl in einem Regentropfen nicht nur einmal reflektiert wird, sondern entsprechend oft der Ordnung des Regenbogens (vgl. Abbildung 3.18). So wird für einen Regenbogen zweiter Ordnung der Lichtstrahl zweimal im Regentropfen reflektiert, für einen Regenbogen dritter Ordnung dreimal, und so weiter.



Abbildung 3.17.: Regenbogen in der Natur ¹⁰

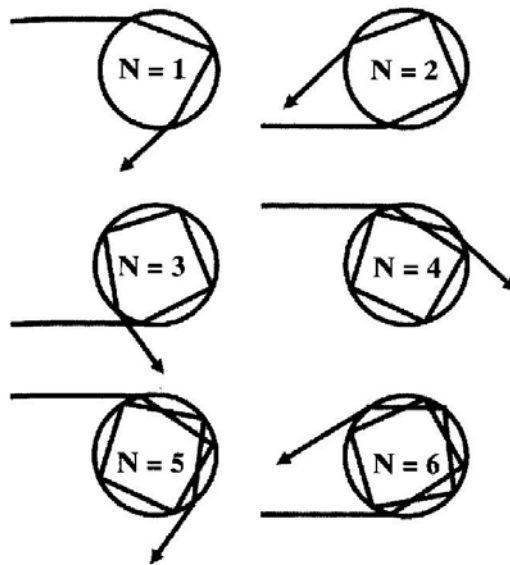
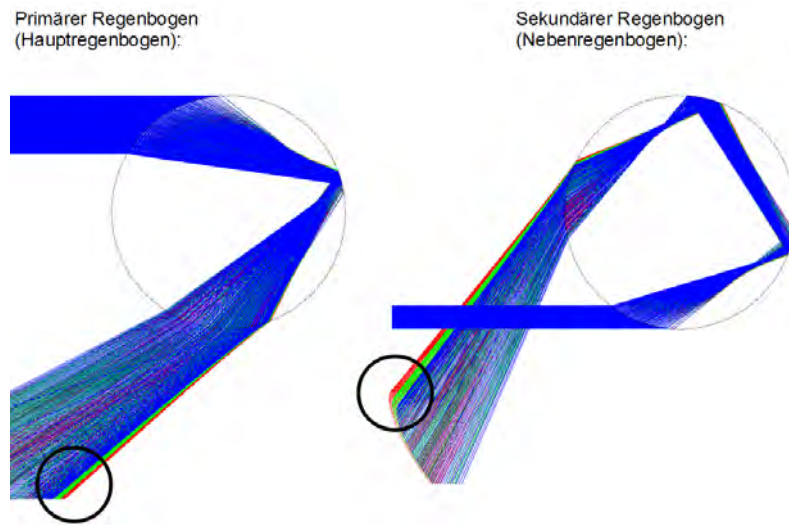


Abbildung 3.18.: höhere Regenbögen¹¹

¹¹vgl. VOLLMER: *Lichtspiele in der Atmosphäre*, S.119.

¹²vgl. DITTMANN und SCHNEIDER: *Zur Deutung der inneren Regenbögen*, Programm Regenbogen.

Abbildung 3.19.: Teilweise Reflektion und Farbumkehrung¹²

Beim zweiten Regenbogen ist zu beobachten, dass die Farbreihenfolge genau umgekehrt zu der des Hauptregenbogens ist (vgl. 3.19). Dies hängt mit der Anzahl der teilweisen Reflexionen innerhalb des Regentropfens zusammen, da bei jeder Reflexion im Inneren eines Regentropfens die Farbreihenfolge umgekehrt wird. Die Intensität des Sekundärregenbogens beträgt noch 43% des Primärregenbogens. Er erscheint allerdings noch etwas heller, da der zweite Regenbogen etwas breiter als der Primärregenbogen ist.¹³

Farbe	Ungefähre Wellenlänge in nm	Ablenkwinkel in Grad
Dunkelblau	404	53.608
Blau	450	52.794
Grün	540	51.513
Gelb	589	50.998
Rot	660	50.481
Tiefrot	706	50.294

Tabelle 3.3.: Ablenkwinkel in Abhängigkeit der Wellenlänge für den Nebenregenbogen

Die Nebenregenbögen der Ordnung drei und vier liegen nicht, wie der Haupt- und der Nebenregenbogen um den Sonnengegenpunkt. Diese beiden Bögen befinden sich auch konzentrischen Kreisen um die Sonne herum. Der tertiäre Regenbogen hat dabei lediglich nur noch ein Intensität von 24% des Primärregenbogens, aber einen ungefähr gleichgroßen Öffnungswinkel von circa 42.5° .¹⁴

Zusätzlich zur Farbumkehr bei jeder Reflexion im Inneren des Regentropfens tritt Licht

¹³vgl. COWLEY, LES: *3rd & 4th Order Rainbows*. (URL: <http://www.atoptics.co.uk/rainbows/ord34.htm>).

¹⁴vgl. COWLEY: *3rd & 4th Order Rainbows*,

aus dem Regentropfen (vgl. Abbildung 3.19). Durch diesen Verlust wird die Intensität des Regenbogens mit jeder Reflektion geringer. Regenbögen, die eine höhere Ordnung als der sekundäre Regenbogen besitzen, können unter natürlichen Umständen nicht beobachtet werden. Dies gelingt nur unter künstlichen Bedingungen, wie zum Beispiel in Versuchen.

3.4.4. Alexanders dunkles Band

Der Bereich zwischen dem Primär- und dem Sekundärregenbogen erscheint beim Betrachten dunkler als die Umgebung. Dieses Phänomen bezeichnet man als Alexanders dunkles Band zu Ehren von ALEXANDER VON APHRODISIAS, der als einer der ersten diese Beobachtung beschrieb. Die geringere Lichtintensität zwischen dem ersten und dem zweiten Regenbogen kommt durch unterschiedlichen Verlauf der Lichtstrahlen für den Primär- und den Sekundärregenbogen zustande. Beim Primärregenbogen wird der Lichtstrahl nur einmal im Regentropfen teilweise reflektiert, daraus ergibt sich bei ca. 42° ein Maxima, das heißt in diesem Bereich werden besonders viele Lichtstrahlen gestreut. Beim Sekundärregenbogen wird der Lichtstrahl zweimal reflektiert, daraus ergibt sich bei ca. 51° ein Minimum, das heißt auch in diesem Bereich tragen besonders viele Lichtstrahlen zur Entstehung des Regenbogens bei. Kleinere Winkel sind bei zweimaliger Reflektion nicht möglich. Bei einmaliger Reflektion sind allerdings auch keine größeren Winkel möglich. Daraus ergibt sich zwischen beiden Regenbögen ein verbotener Winkelbereich in den nur geringe Mengen an Licht, zum Beispiel aus Reflektionen am Regentropfenäußeren oder höheren Bögen, eingestreut werden.¹⁵

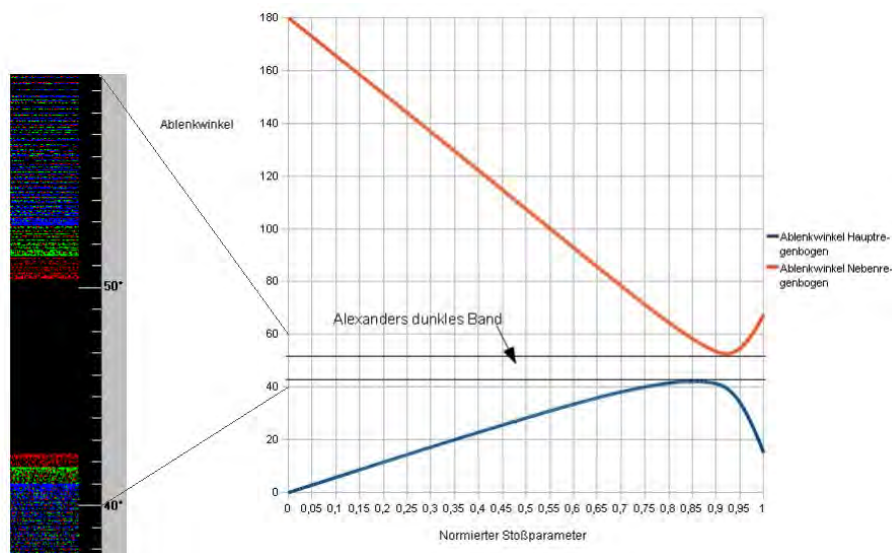


Abbildung 3.20.: Ablenkungswinkel

¹⁵vgl. VOLLMER: *Lichtspiele in der Atmosphäre*, S.118.

In der Abbildung 3.20 wurde der Ablenkwinkel des Lichtstrahls und der normierte Stoßparameter gegeneinander aufgetragen, wodurch der verbotene Winkelbereich deutlich wird.

3.4.5. Polarisation des Regenbogens

Tritt das Sonnenlicht in den Regentropfen ein, wird ein Teil des Lichtstrahls reflektiert, dieser besteht aus ca. 10 Prozent des senkrecht polarisierten einfallenden Lichts.¹⁶ Parallel zur Einfallsebene polarisiertes Licht wird so gut wie gar nicht reflektiert. Beim anschließenden Auftreffen auf die Grenzfläche zwischen Wasser und Luft ist der Lichtstrahl daher schon leicht parallel polarisiert. Der Reflektionswinkel liegt in der Nähe des Brewsterwinkels für diese Grenzschicht, daher wird hier der hauptsächlich senkrecht polarisierte Anteil reflektiert. Dadurch ist der Lichtstrahl im inneren des Regentropfens zu einem Großteil senkrecht zur Einfallsebene polarisiert. Beim Austritt aus dem Regentropfen wird noch einmal ein Teil des senkrecht polarisierten Lichts, etwa 10 Prozent reflektiert, die parallele Komponente wird nahezu ungehindert durchgelassen.¹⁷ Durch diesen Prozess innerhalb eines Tropfens, bei dem die Reflektion an der Grenzschicht von Wasser zu Luft den Großteil der Polarisation übernimmt, ist der für den Regenbogen verantwortliche Lichtstrahl fast gänzlich senkrecht zur Einfallsebene polarisiert. Dieses Phänomen lässt sich betrachten, wenn man den Regenbogen durch eine Polarisationsfolie betrachtet. Dabei lässt sich erkennen, dass einzelne Bereiche des Regenbogens deutlich sichtbarer sind als andere.¹⁸

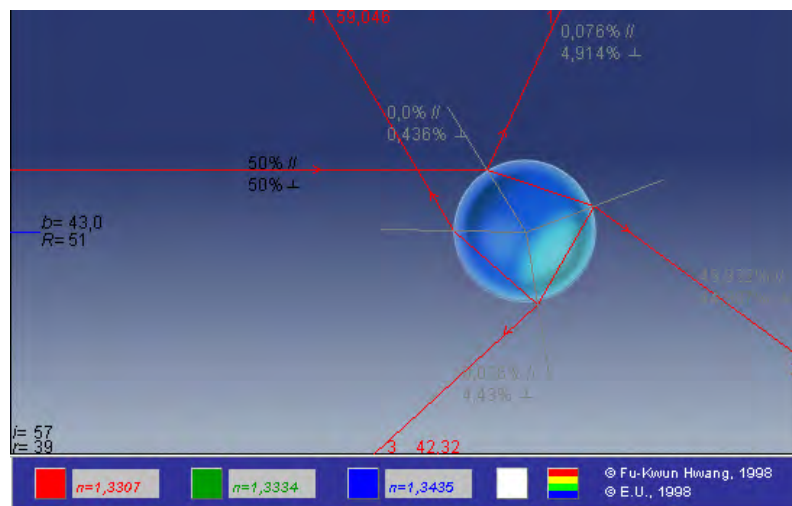


Abbildung 3.21.: Polarisation des Lichts im Regentropfen¹⁹

¹⁶ vgl. VOLLMER: *Lichtspiele in der Atmosphäre*, S.123.

¹⁷ vgl. VOLLMER: *Lichtspiele in der Atmosphäre*, S.123.

¹⁸ vgl. WITTMANN, JOSEF (1998): *Physik in Wald und Flur*. Köln: Aulis Verlag S.132.

¹⁹ vgl. HWANG, FU-KWUN: *Polarisation im Regentropfen*. [URL: http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/cd-labo/rainbow/a_exper.htm](http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/cd-labo/rainbow/a_exper.htm) .

3.4.6. Interferenzbögen und überzählige Farben im Regenbogen

Manchmal lässt sich in der Natur ein besonderes Phänomen bei Regenbögen beobachten, dann befinden sich innerhalb des Hauptregenbogens überzählige Farben im Regenbogen. Diese lassen sich nicht alleine mit der geometrischen Optik erklären. Betrachtet man im Modell des Regentropfens die einfallenden Lichtstrahlen, dann kann man zwei parallel einfallende Strahlen finden, die auch beim Austritt aus dem Regenbogen wieder parallel verlaufen.²⁰ Betrachtet man die beiden parallel einfallenden Strahlen als Wellen mit einer festen Phasenbeziehung zueinander, dann kann mithilfe der optischen Lichtwege die Phasendifferenz nach dem Austritt aus Regentropfen berechnet werden.

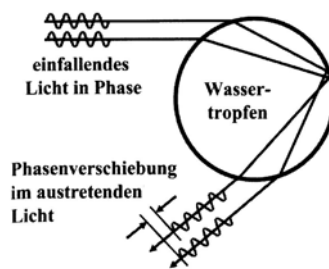


Abbildung 3.22.: Schematische Darstellung der Entstehung von Interferenzen²¹

Da in den Regentropfen aber nicht nur zwei Lichtwellen fallen, sondern eine kontinuierliche Verteilung des Lichts, können mehr als nur diese beiden Wellen interferieren. Hierbei spricht man dann von Beugung und nicht mehr von Interferenz. Betrachtet man nun die Abbildung 3.15 liegen neben den Hauptmaxima noch kleinere Nebenmaxima. Diese Nebenmaxima führen zu den überzähligen Farben im Regenbogen, nach den Gesetzen der additiven Farbmischung können hierbei auch für den Regenbogen ungewöhnliche Farben wie Pink entstehen.

Für die überzähligen Bögen im Regenbogen müssen allerdings besondere Voraussetzungen für die Entstehung vorhanden sein. So sollte eine sehr homogene Regentropfengrößenverteilung vorhanden sein.²² Aus diesem Aspekt lässt sich schließen, dass die Lage der überzähligen Bögen auch von der Größe der Regentropfen abhängt.²³ Da die Regentropfengröße aber von verschiedensten meteorologischen Bedingung abhängt, ist jeder Regenbogen für sich ein Unikat. Auch die Anzahl der überzähligen Farben im Regenbogen ist begrenzt. Aufgrund der endlichen Kohärenzlänge des auf der Ende eintreffenden Sonnenlichts, sind nur zwei oder drei überzählige Bögen zu sehen.²⁴

²⁰vgl. VOLLMER: *Lichtspiele in der Atmosphäre*, S.124.

²¹vgl. VOLLMER: *Lichtspiele in der Atmosphäre*, S.125.

²²vgl. VOLLMER: *Lichtspiele in der Atmosphäre*, S.127.

²³vgl. DITTMANN und SCHNEIDER: *Zur Deutung der inneren Regenbögen*, Programm Regenbogen.

²⁴vgl. VOLLMER: *Lichtspiele in der Atmosphäre*, S.127.

3.4.7. Weiße Nebelbögen

Bei einer Tropfengröße, die größer als $100\ \mu\text{m}$ ist, sind die Maxima der einzelnen Wellenlänge gut von einander getrennt (vgl. Abbildung 3.15). Wird der Radius der einzelnen Regentropfen aber kleiner als die $100\ \mu\text{m}$, werden die Maxima der einzelnen Wellenlängen breiter. Für die kleinere Tröpfchengröße von $50\ \mu\text{m}$ liegen die Maxima der Farben übereinander (vgl. Abbildung 3.23). Dies führt zur additiven Farbmischung und damit wieder zu weißem Licht. Dieses Phänomen lässt sich bei Verteilung von sehr feinen Tröpfchen beobachten, wie sie zum Beispiel in der Gischt von Wasserfällen oder in Nebelfeldern vorkommt (vgl. 3.24). Daher hat dieses Phänomen auch seinen Namen.



Abbildung 3.23.: Lage der Maxima bei einem Nebelbogen ²⁵



Abbildung 3.24.: Nebelbogen ²⁶

²⁵vgl. DITTMANN und SCHNEIDER: *Zur Deutung der inneren Regenbögen*, Programm Regenbogen.

²⁶vgl. BAUMANN, CAROLIN: *Nebelbogen mit mehreren Interferenzbögen*. (URL: http://www.meteoros.de/bildarchiv/image.php?gallery_id=155&image_id=302) .

3.4.8. Zusammenfassung

Tritt der Lichtstrahl in den Regentropfen, wird ein Teil des Lichtes an der Oberfläche des Regentropfens reflektiert. Der Teil des Lichtes, der in den Regentropfen eindringt, wird gebrochen und aufgrund der Dispersion in die Spektralfarben zerlegt. Bei der Reflektion des Lichtes im Regentropfen tritt ein großer Teil des Lichtes aus dem Regentropfen aus, dieser Anteil ist für den Regenbogen nicht mehr von Nutzen. Bei Austritt aus dem Regentropfen tritt noch einmal Dispersion auf, welche die Dispersion des Eintrittes noch einmal verstärkt.

Das Licht, das zwischen den normierten Stoßparametern 0,8 und 0,9 in den Regentropfen eindringt, hat nach dem Austritt aus dem Regentropfen einen Ablenkwinkel der abhängig von der jeweiligen Wellenlänge eine Auslenkung zwischen 40.574° für blaues Licht und $42^\circ.409$ für rotes Licht.²⁷ Mit diesen beiden Werten ergibt sich auch die ungefähre Breite des primären Regenbogens mit circa 2° .²⁸ Für den sekundären Regenbogen ergibt sich aufgrund der zweimaligen Reflektion im inneren des Regentropfens eine Ablenkung zwischen $50^\circ.294$ für rotes Licht und 53.608° für blaues Licht.²⁹ Hieraus ergibt sich für den sekundären Regenbogen Öffnungswinkel von etwa 4° .³⁰

Betrachtet man die Abbildung 3.12 liegt bei ca. 42° ein Maximum. Dies bedeutet in diesem Winkelbereich werden die meisten Lichtstrahlen abgelenkt. Bedenkt man jetzt, dass der Regentropfen im Allgemeinen die Form einer Kugel hat, müssen die bisherigen zweidimensionalen Überlegungen auf eine Kugel übertragen werden. Somit werden die Überlegungen rotationssymmetrisch auf eine Kugel übertragen, woraus sich für den Ablenkwinkel in dreidimensionaler Darstellung ein Kreisbogen ergibt.³¹

Da sich der Sonnegegenpunkt auf der geradlinigen Verlängerung der Strecke zwischen Sonne und Beobachter des Regenbogens befindet (vgl. Abbildung 3.1), liegt der Sonnegegenpunkt meistens unterhalb des Horizonts. Dies führt dazu, dass der Regenbogen vom Boden aus nur als Kreisbogen zu sehen ist. Je tiefer die Sonne steht, desto mehr nähert sich der Regenbogen einem Halbkreis an. In der Natur kann lediglich von hohen Bergen oder Gebäuden und Flugzeugen aus ein komplett runder Regenbogen beobachtet werden.

Betrachtet man die Abbildung 3.15, wird deutlich, dass es sich bei den Farben eines Regenbogens nicht um die reinen Spektralfarben handelt. Da sich die Nebenmaxima und die Hauptmaxima der einzelnen Farben teilweise überlagern, kommt es hier zur additiven Farbmischung, dies führt dann zu einem Verwischen der Spektralfarben.

²⁷ vgl. WILLERDING: *Zur Theorie von Regenbögen, Glorien und Halos*, S.8.

²⁸ vgl. VOLLMER: *Lichtspiele in der Atmosphäre*, S.109.

²⁹ vgl. WILLERDING: *Zur Theorie von Regenbögen, Glorien und Halos*, S.8.

³⁰ vgl. VOLLMER: *Lichtspiele in der Atmosphäre*, S.110.

³¹ vgl. VOLLMER: *Lichtspiele in der Atmosphäre*, S.114.

4. Empirische Untersuchung

4.1. Vorüberlegung

4.1.1. Allgemeine Aspekte

Da es zu Schülervorstellungen zum Regenbogen bisher kaum Untersuchungen in der Sekundarstufe I gibt, existieren hierzu auch keine ausgearbeiteten Fragebögen oder andere Möglichkeiten zur empirischen Untersuchung der Präkonzepte. Die Optik und damit auch der Regenbogen wird von den Schülern je nach Profil in der siebten oder der achten Klasse der Realschule im Unterricht durchgenommen¹, im Gymnasium wird der Regenbogen ebenfalls schon in der siebten Klasse unterrichtet, hier allerdings im Fach Naturphänomene². Da dies in ihrem jeweils ersten Jahr ist, in dem die Schüler Physikunterricht haben, ist es von besonderer Bedeutung auf die Schüler einzugehen und ihr Interesse für das Fach Physik zu wecken. Dabei sollte besonders auf ihr alltägliches Leben Bezug genommen werden, um zu vermeiden, dass die Schüler die Physik als ein langweiliges Fach wahrnehmen, in dem ausschließlich gerechnet wird.

4.1.2. Untersuchungsabsichten

Als Ausgangspunkt für die Untersuchung der Schülervorstellungen lagen bestimmte Absichten zugrunde.

Durch den Fragebogen sollen gezielt die Präkonzepte zur Entstehung eines Regenbogens ermittelt werden. Des Weiteren sollen bestimmte physikalische Phänomene, wie zum Beispiel die Reihenfolge der Farben, sekundäre Regenbögen, die Intensität eines Regenbogens, aber auch die Form eines Regenbogens, von den Schülern erklärt und begründet werden.

Aus diesen Ergebnissen werden dann Hypothesen entwickelt, die als Grundlage für weitere Untersuchung und Unterrichtskonzepte dienen können.³

¹vgl. SCHULQUALITÄT & BILDUNGSFORSCHUNG, STAATSNSTITUT FÜR: *ISB gesamt: Lehrpläne / Standards Realschule R6*. (URL: <http://www.isb.bayern.de/isb/index.asp?MNav=0&QNav=4&TNav=0&INav=0&LpSta=6&STyp=5>) .

²vgl. SCHULQUALITÄT & BILDUNGSFORSCHUNG, STAATSNSTITUT FÜR: *ISB gesamt: Lehrpläne / Standards Gymnasium G8*. (URL: <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/content/serv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26436>) .

³vgl. RÖHRER, HEIKE (1992): *Empirische Untersuchung über Schülervorstellungen zum Magnetismus in der Primarstufe*. unveröffentlichte Schriftliche Hausarbeit an der Julius-Maximilians-Universität, Würzburg, Deutschland, S.33.

4.1.3. Untersuchungsmethoden

Im Folgenden werden zwei Untersuchungsmethoden zur Ermittlung von Präkonzepten vorgestellt, die in dieser Arbeit genutzt werden. Daher sollten sie vorher einer genaueren Betrachtung unterzogen werden.

4.1.4. Interview

Bei einem Interview können drei grundlegende Arten unterschieden werden. Zum einen das freie Interview, das Leitfadeninterview und ein Interview, welches sich streng an einen Fragenkatalog hält. Bei einem freien Interview wird vom Untersucher keinerlei Rahmen für seine Interviews genutzt. Das heißt es gibt keinen Fragenkatalog, an den sich der Untersucher hält. Hierbei besteht die Gefahr, dass bestimmte Aspekte einer Untersuchung schlichtweg vergessen werden, auf der anderen Seite kann das Interview so mögliche Aspekte zum Vorschein bringen, an die der Untersucher zu Beginn nicht gedacht hat. Das andere Extrem ist das Interview, welches sich streng an einen vorgegebenen Interviewrahmen hält. Hierbei besteht nicht die Gefahr, dass wichtige Aspekte der Befragung vergessen werden, allerdings kann dadurch auch nicht auf mögliche neue Ideen, die erst durch das Interview entstehen, eingegangen werden. Als goldener Mittelweg bietet sich hier das sogenannte Leitfadeninterview an. In diesem Fall des Interviews nutzt der Interviewer einen Leitfaden, auf dem alle für das Interview relevanten Fragen aufgeführt sind. Bei dieser Form des Interviews besteht nicht die Gefahr, dass wichtige Frage vergessen werden. Es besteht allerdings auch die Möglichkeit gezielt auf den Befragten einzugehen und eventuelle neue Ansätze zu vertiefen und zu konkretisieren. Das Leitfadeninterview geht zurück auf PIAGET.⁴

Für das Leitfadeninterview gelten, wie für jedes andere diagnostische Verfahren auch, drei Hauptgütekriterien, die Validität, die Objektivität und die Reliabilität.⁵ Mit diesen Gütekriterien wird die Qualität einer Messung bestimmt. Je höher die einzelnen Kriterien sind, desto besser ist die Güte des Verfahrens.

Validität

Die Validität gibt an, mit welchem Grad an Genauigkeit der Test das zu testende Merkmal tatsächlich misst.⁶ Die Validität ist inhaltliches Kriterium. Die Validität ist für ein Interview hoch, da der Fragensteller aufgrund seiner Gegenwart gezielt auf den Befragten eingehen kann. So können Missverständnisse und Unklarheiten, die durch die Fragen entstehen, besprochen und geklärt werden. So können die Fragen dem Niveau des Befragten

⁴vgl. RÖHRER: *Empirische Untersuchung über Schülervorstellungen zum Magnetismus in der Primarstufe*, S. 35.

⁵vgl. LUKESCH, HELMUT (1998): *Einführung in die pädagogisch-psychologische Diagnostik*. Regensburg: Roderer S.38.

⁶vgl. LUKESCH: *Einführung in die pädagogisch-psychologische Diagnostik*, S.55.

angepasst werden und dementsprechend umformuliert werden, um die Frage richtig zu verstehen und entsprechend antworten zu können.

Objektivität

Unter der Objektivität eines Tests versteht man den Grad, in dem ein Ergebnis unabhängig vom Untersucher ist.⁷ Eine Messung gilt dann als besonders Objektiv, wenn intersubjektive Einflüsse des Untersuchers möglichst ausgeschlossen sind. Bei der Objektivität kann in drei Phasen eines Tests unterschieden werden. Die erste Phase ist die Durchführung der Untersuchung, die Zweite die Auswertung der Daten und die dritte Phase ist die Interpretation der Ergebnisse.

Bei der Durchführungsobjektivität soll gesichert werden, dass alle Probanden unter den gleichen Voraussetzungen den Test durchführen können. Dazu wird versucht situative Faktoren bei allen Befragten gleich zu gestalten.⁸ Das heißt alle Probanden sollten zur gleichen Tageszeit und unter gleichen äußeren Umständen befragt werden. Dabei sollte unter anderem auf eine einheitliche Bearbeitungszeit und gleiche Fragestellungen geachtet werden. Hier stellen sich für das Interview einige Probleme dar. Durch die soziale Interaktion zwischen Probanden und Interviewleiter kann bei einem Interview nicht gewährleistet werden, dass alle Befragten die gleiche Fragestellung bekommen. So kann der Interviewer durch seine Frage schon Antworten implizieren oder durch Mimik und Gesten beim Befragten angefangene Überlegungen unterbrechen oder bestätigen. Auch die Bearbeitungszeit ist nicht immer einheitlich, da aufgrund von möglichen neuen Erkenntnissen eine zeitliche Ausdehnung des Interviews fast unvermeidlich ist.

Die Auswertungsobjektivität gibt an, wie unabhängig die Ergebnisse vom Untersucher sind.⁹ Bei einem Interview ist die Auswertungsobjektivität als relativ gering einzuschätzen, da die Antworten des Befragten immer erst von dem Interviewleiter interpretiert werden müssen, um zu einem korrekten Ergebnis formuliert zu werden. Je besser sich der Auswertende also in die Rolle des Befragten hinein versetzen kann, desto besser wird auch die Objektivität der Auswertung.

⁷vgl. LUKESCH: *Einführung in die pädagogisch-psychologische Diagnostik*, S.39.

⁸vgl. LUKESCH: *Einführung in die pädagogisch-psychologische Diagnostik*, S.40.

⁹vgl. LUKESCH: *Einführung in die pädagogisch-psychologische Diagnostik*, S.41.

Interpretationsobjektivität ist gegeben, wenn mehrere Beurteiler das gleiche Auswertungsergebnis gleich interpretieren.¹⁰ Aufgrund der freien Formulierung der Antworten kann der Auswertende gleiche oder ähnliche Antworten unterschiedlich interpretieren, je nachdem was er in den Antworten der Schüler aufgrund seiner Vorüberlegung erkennen kann oder will.

Zusammenfassend ist die Objektivität des Interviews doch sehr eingeschränkt. Auch aufgrund der sehr geringen Anzahl an Befragten und aufgrund des hohen Zeitbedarfs ist es nicht möglich eine repräsentative Untersuchung durchzuführen.¹¹

Reliabilität

Die Reliabilität eines Test bezeichnet die (formale) Messgenauigkeit eines Tests, mit der ein Persönlichkeits- oder Verhaltensmerkmal gemessen wird, unabhängig davon um welches Merkmal (Inhalt) es sich handelt. Die Reliabilität ist also, wie auch die Objektivität, ein formales Kriterium und sagt somit nichts über den Inhalt aus.¹² Bei einem Interview ist die Reliabilität im Vergleich zu anderen Testverfahren gut. Hierbei kann der Befragte bei seiner Antwort genau beobachtet werden. Als Einschränkung ist lediglich die Voreingenommenheit des Interviewleiters zu beachten.

Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein Interview zur ersten Bestimmung von Präkonzepten gut geeignet ist. Aufgrund der hohen Validität können mithilfe des Interviews erste Erkenntnisse über die Schülervorstellungen gewonnen werden. Allerdings lassen sich aufgrund des hohen Zeitaufwandes keine repräsentativen Ergebnisse einer größeren Gruppe bestimmen. Deswegen wird im nachfolgenden Teil auf die Ermittlung von Schülervorstellungen durch einen Fragebogen eingegangen.

4.1.5. Fragebogen

Fragebögen können unterschiedlicher Gestalt sein. Zum einem ein Fragebogen, der mit Multiple-Choice Fragen bestimmte Theorien prüft, und zum anderen durch Fragestellungen, die durch einen Satz zu beantworten sind. Der Multiple-Choice Test hat ein geschlossenes Antwortformat, der Test, mit der Beantwortung durch ganze Sätze, ein offenes Antwortformat. Bei einem Multiple-Choice Test kann man zwei grundsätzliche Fragetypen unterscheiden. Zum einem die Vervollständigung eines unvollständigen Satzteils, wobei für dessen Vollendung mehrere Möglichkeiten gegeben sind, zum anderen die Beantwortung einer Frage mit mehreren Antwortmöglichkeiten, hierbei muss die jeweils richtige

¹⁰ vgl. LUKESCH: *Einführung in die pädagogisch-psychologische Diagnostik*, S.43.

¹¹ vgl. RÖHRER: *Empirische Untersuchung über Schülervorstellungen zum Magnetismus in der Primarstufe*, S.39.

¹² vgl. LUKESCH: *Einführung in die pädagogisch-psychologische Diagnostik*, S.44.

Antwortmöglichkeit angekreuzt werden. Hierbei sind die Befragten frei von Beeinflussung durch einen Interviewleiter. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass „den Schülern soviel Zeit zur Verfügung steht, wie sie zur Lösung des Problems in Anspruch nehmen wollen.“¹³

Validität

Bei einem Fragebogen besteht die Gefahr, dass die Fragen für den Interviewten eventuell nicht verständlich formuliert sind und deswegen die Antworten auf die Fragen nicht der eigentlichen Intention des Fragestellers entsprechen. Daher müssen die Fragen vorher an das Niveau und an die Ausdrucksweise des Befragten angepasst werden. So sollte bei jüngeren Probanden darauf geachtet werden, dass die Fragen und die Antworten ihrem jeweiligen sprachlichen Niveau angepasst sind. Hierfür bietet sich besonders ein Multiple-Choice Test an, da hier keine Probleme bei der Formulierung der Antwort entstehen können. Allerdings besteht die Gefahr eventuelle andere Lösungsvorschläge der Befragten auszuschließen, so dass sie keinen Eingang in die spätere Auswertung finden.

Objektivität

Auch hier kann bei der Objektivität wieder zwischen den drei Arten unterschieden werden. Bei der Durchführungsobjektivität ist darauf zu achten, dass die schriftlichen Anweisungen möglichst präzise und verständlich formuliert sind. Die Gefahr das Ergebniss durch Interaktion mit dem Befragten zu beeinflussen besteht hier im Gegensatz zum Interview nicht.

Die Auswertungsobjektivität ist bei Multiple-Choice Test maximal. Dies können mithilfe einer Schablone ausgewertet werden, was sie frei von jeglicher Interpretation durch den Auswertenden macht. Bei Fragebögen, die hingegen auf Antwortsätzen basieren, müssen die Antworten der Schüler erst wieder durch den Auswertenden interpretiert werden. Hierdurch erreicht die Art von Fragebögen in etwa wieder die Auswertungsobjektivität eines Interviews.

Für die Interpretationsobjektivität gilt, dass sie bei Multiple-Choice Aufgaben wieder sehr hoch ist. Da der Auswertende hierbei keinerlei eigenen Interpretationsrahmen hat und kein eigenes Verständnis mitbringen muss. Bei einem Fragebogen, der durch Sätze zu beantworten ist, sinkt die Interpretationsobjektivität wieder auf das Niveau eines Interviews, da der Auswertende hier wieder seine Erfahrung anwenden und die Antworten eventuell interpretieren muss.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Objektivität eines Fragebogens stark von seiner Konstruktion abhängig ist. Eine Multiple-Choice Test ist auf jeden Fall objektiver als Fragebogen mit Antwortsätzen.

¹³vgl. DUIT, REINDERS (1981): *Übersicht über einige Probleme der Erfassung von Vorstellungen*. In DUIT, REINDERS (Hrsg.): *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Köln: Aulis Verlag S.193.

Reliabilität

Die Reliabilität eines Fragebogens ist geringer als die Reliabilität eines Interviews, da hier im Gegensatz zu einem Interview, der Befragte nicht direkt beobachtet werden kann. Um die Reliabilität eines Fragebogens zu erhöhen, behilft man sich hier, indem ein bestimmtes Merkmal durch mehrere Fragen abgetestet wird. Dabei ist zu beachten, dass die Fragen hierfür immer anders formuliert sind. Bei der Auswertung der Fragebögen wird dann beachtet wie stark diese Fragen miteinander korrelieren.

4.2. Interviewleitfaden

4.2.1. Erstellen eines Interviewleitfadens

Für die Voruntersuchung der Schülervorstellungen zum Regenbogen wurde ein Interviewleitfaden entwickelt. Die Grundlage für die Fragen bildete dabei die im Kapitel zuvor vorgestellten Phänomene. Die Fragen sind qualitativer Art, da die Optik und vor allem die mathematischen Grundlagen in der sechsten und siebten Klassenstufe noch nicht im Unterricht behandelt wurden. Die Fragen sollen hauptsächlich die bekannten und offensichtlichen Phänomene, die Entstehung und die Voraussetzungen des Regenbogens abfragen. Spezielle Erscheinungen, wie zum Beispiel der Nebelbogen wurden bewusst weggelassen. Zu den abgefragten Merkmalen gehören, wie oben bereits schon erwähnt, die Voraussetzungen, die zur Entstehung eines Regenbogens herrschen müssen. Auch die Konstellation von Regen, Beobachter, Sonne und Regenbogen sollen die Schüler darstellen, da sie dies aus der alltäglich Beobachtung kennen sollten. Als nächstes soll von ihnen noch erklärt werden, warum sie den Regenbogen in der Anordnung an die Stelle gesetzt haben. Aber auch einfache Beobachtungen wie die Farben und deren Anordnung und Reihenfolge, aber auch nicht so bekanntes, wie zum Beispiel die Farben entstehen oder warum der Regenbogen rund ist, sollten die Befragten erklären. Als letztes wurde gefragt, ob es möglich ist den Regenbogen zu erreichen und unter diesem durchzufahren.

4.2.2. Der Interviewleitfaden

A) Einführende Worte

- Der Regenbogen war bisher kein Thema in der Schule, daher ist es nicht schlimm, wenn du etwas nicht weißt. Wenn du zu einer Frage keine Idee hast, ist es auch in Ordnung.
- Vorstellung
- Dank für die Bereitschaft
- Ziel: Verbesserung des zukünftigen Unterrichts, in dem man mehr über die Vorstellungen der Schüler weiß.
- Zusicherung der Anonymität
- Bitte um Erlaubnis für Aufzeichnung auf Band
- Gliederung des Ablaufs

B) Fragen zum Regenbogen

1. Du hast doch sicher schon einen Regenbogen in der Natur gesehen. Kannst du mir beschreiben, was dafür von Bedeutung ist?
2. Wie ist das gerade von dir genannte angeordnet? Stelle dies mit diesen Gegenstand bitte da.
3. Warum siehst du den Regenbogen genau an dieser Stelle?
4. Weißt du, welche Farben im Regenbogen vorkommen? Zähle auf!
5. In welcher Reihenfolge kommen die Farben im Regenbogen vor? Mal mir hierzu bitte ein Bild eines Regenbogens. Hier kannst du dir die passenden Buntstifte dafür aussuchen.
6. Kannst du mir erklären, wie die Farben des Regenbogens entstehen?
7. Ist dir unter- oder auch oberhalb des Regenbogens etwas besonderes aufgefallen?
Falls ja: Was? Beschreibe!
Falls der Sekundärregenbogen erwähnt wird:
Ist dir zwischen dem ersten Regenbogen und dem zweiten Regenbogen etwas besonderes aufgefallen?
8. Warum ist der Regenbogen überhaupt rund?
9. Kannst du unter einem Regenbogen durchfahren? Bitte begründe deine Aussage. Eventuell genauer nachfragen; Kann man den Regenbogen zu Fuß erreichen? Wo ist der Fuß des Regenbogens?

C) Danke für das Interview.

4.2.3. Für das Interview befragte Schüler

Da der Regenbogen in der Unterstufe im Unterricht behandelt wird, war die Zielgruppe des Interviews die Klassenstufen sechs und sieben. Es wurden daher fünf Schüler einer siebten Klasse und ein Schüler der sechsten Klasse des Matthias-Grünewald-Gymnasium in Tauberbischofsheim, sowie vier Schüler einer sechsten Klasse des Riemenschneider Gymnasium in Würzburg befragt. Es wurden bei der Befragung darauf geachtet, dass der Anteil von Schülern gleich bleibt, es wurden daher fünf Mädchen und fünf Jungen befragt. Wichtig für die Befragung war, dass alle befragten Schüler den Themenbereich Optik noch nicht im Unterricht behandelt hatten.

4.2.4. Durchführung des Interviews

Für das Interview wurden die Schüler einzeln in einem Raum befragt. Das Interview wurde nach Rücksprache mit den Schülern anonym auf einem Diktiergerät aufgezeichnet, somit konnten die einzelnen Antworten der Schüler dokumentiert werden. Dies ermöglichte es die Schülerantworten später für den Fragebogen zu nutzen, damit die Antworten des Fragebogens ähnlichen denen von Schülern sind. Um den Schülern die Erklärungen der Position von Regen, Sonne, Beobachter und Regenbogen zu erleichtern wurde hierfür ein einfaches Modell mit den Kindern aufgebaut. Dieses Modell bestand aus einer Sonne, einem weißen Regenbogen, einem Beobachter und einem räumlichen Regenbgebiet. Die Dauer eines Interviews betrug im Schnitt zehn Minuten. Damit sollte zum einem Gewährleistet werden, die Schüler nicht zu lange vom eigentlichen Unterricht fernzuhalten, zum anderen sollten sie nicht das Interesse durch ein längeres Interview verlieren. Die Gegenstände für die Frage nach der Anordnung von Sonne, Regen, Regenbogen und Beobachter wurden den Schülern erst bei der Fragestellung ausgehändigt. Der Regenbogen wurde dabei bewusst aus einem weißen Stück Pappe gefertigt, um den Schülern bei der Frage nach den Farben und der Anordnung dieser nicht eine Hilfestellung, beziehungsweise eine Antwort zu geben. Die Aufbauten der Schüler zu den Konstellationen wurden anschließend mit einer Digitalkamera festgehalten. Für die Anordnung der Farben durften die Schüler den Regenbogen auf ein Blatt Papier zeichnen. Die befragten Schüler zeigten nahezu alle ein großes Interesse für das Interview. Die Jugendlichen überwandten im Interview sehr schnell ihre Scheu falsche Antworten zu geben. Dadurch gaben die Befragten auf die Fragen sehr detaillierte und ihren Vorstellungen entsprechende Antworten.

4.2.5. Auswertung der Interviews

Da aus den Interviews der Fragebogen erstellt wurde, erfolgte eine reine qualitative Auswertung der Interviewprotokolle. Auf die erste Frage nach den Voraussetzungen für die Entstehung eines Regenbogens, kamen von den Schülern die Antwort, dass es regnen muss, aber gleichzeitig auch die Sonne scheinen, Zitat einer der Befragten Schüler „... mmmhh die Sonne muss scheinen und Regen muss fallen“. Die Voraussetzungen für die Entstehung eines Regenbogens wurde hier von allen Schüler gleich benannt. Im späteren Verlauf des Interviews, vor allem bei den Antworten auf Frage drei stellte sich dann allerdings heraus, dass einige Schüler der Ansicht waren, dass es zuerst regnen und anschließend die Sonne scheinen müsse, „...und das des halt nach dem Regnen so ist.“, damit man einen Regenbogen sehen kann. Oder sie waren der Ansicht, dass der Regenbogen im verdunstendem Wasser eines Regenschauers entsteht, „weil da die Sonnenstrahlen und der Regen aufeinandertreffen. Und es da aufsteigt, der ähh die verdunsteten Regentropfen.“

Für die Anordnung von Sonne, Regen, Regenbogen und Beobachter gaben die Schüler unterschiedlichsten Möglichkeiten zu Auswahl. Die Schüler ordneten den Regenbogen oftmals vor oder hinter das Regengebiet (vgl. Abbildung 4.1) und nicht in das Regengebiet. Auch wurde die Sonne des öfteren nicht in einer Geraden mit dem Regenbogen gebracht, sondern seitlich versetzt (vgl. Abbildung 4.2). Auch die Figur des Beobachters wurde immer in unterschiedliche Positionen gestellt, entweder direkt vor das Regengebiet oder auch seitlich neben das Regengebiet (vgl. Abbildung 4.3). In das Regengebiet wurde der Beobachter hingegen nie gestellt.

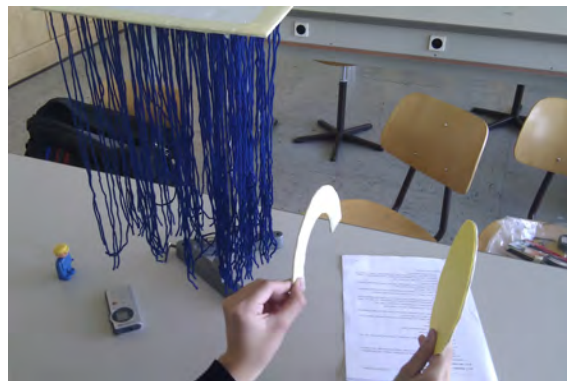


Abbildung 4.1.: Beobachter hinten dem Regengebiet



Abbildung 4.2.: Sonne seitlich versetzt

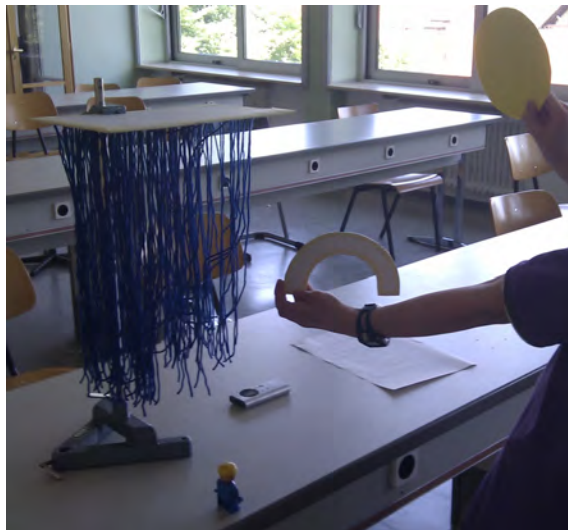


Abbildung 4.3.: Beobachter hinten dem Regengebiet

Warum der Regenbogen an der von den Schülern gezeigten Stelle entsteht, gaben die Schüler einige unterschiedliche Erklärungen, wie zum Beispiel:

„...weil's da jetzt vielleicht nass ist vom Regenbogen ähh vom Ding, ähh vom Regen und weil da halt genau die Sonne drauf scheint, auf den Regen.“

„... die Sonne geht da halt durch den Regen und dann kommt halt hinten dran der Regenbogen.“

Aus diesen Antworten lässt sich schließen, dass den Schülern bewusst ist, dass der Regenbogen aus einem Zusammenspiel von Regen und Sonne beziehungsweise von Regen und Sonnenlicht entsteht. Auf den genaueren Zusammenhang von Brechung und Dispersion, in den Regentropfen, konnten die Schüler nicht eingehen.

Bei den zwei Fragen nach den Farben des Regenbogens, antworteten die befragten Schü-

ler in sich schlüssig. Die Schüler haben also die in den ersten der beiden Fragen aufgezählten Farben, in der zweiten Antwort konsequent genutzt. Die richtige Farbreihenfolge wurde dabei allerdings von keinem der Schüler gezeichnet. Auffallend ebenfalls, dass häufig violett als äußerste Farben des Regenbogens gemalt wurde (vgl. Abbildung 4.4 und Abbildung 4.5), aber auch andere Farben, wie zum Beispiel gelb wurde als äußerste Farbe von den Schüler gewählt (vgl. Abbildung 4.6). Einer der Schüler zeichnete sogar eine komplett andere Anordnung der Farben, als in der Natur zu beobachten ist (vgl. 4.7).



Abbildung 4.4.: Violett als äußerste Farben



Abbildung 4.5.: Violett als äußerste Farben



Abbildung 4.6.: Gelb als äußerste Farben



Abbildung 4.7.: Andere Anordnung der Farben

Die Entstehung der Farben eines Regenbogens wurde unter anderem durch die Spektralfarben des Lichts erklärt, „...ja also im Licht sind ja gewisse Farben enthalten, also so Strahlungen, und ich schätze mal, dass das die Hauptfarben die drinne sind vorkommen. Und dass die im Wasser, das wo runterkommt sichtbar wird.“ Anderer Schüler „...rot ist die dunkelste Farbe, also zumindest die mit der niedrigsten Frequenz die das menschliche Auge sehen kann und mmh danach kommt orange weil sich orange eben dem rot anschließt beim heller werden und danach würde ich sagen gelb weil das wird noch heller und danach kommt blau. Und dazwischen muss grün kommen, weil das die Übergangsfarbe zwischen gelb und blau ist. Und dann violett weil die da immer höher wird, die Frequenz.“ Ein dritter Schüler „...also die Sonne bricht das Licht und dann sind da also da sind dann halt die Farben die im Licht sind.“ Auf die Frage wo im Regentropfen denn das Licht gebrochen wird kam die Antwort „Im Regen.“

Ein der Schüler erwähnte bei dieser Frage den sekundären Regenbogen. „...mmhhh ja es bildet immer noch ein Nebebogen, der ist etwas schwächer“. Allerdings wurde die Ansicht vertreten, dass die Farben die gleich Reihenfolge aufweisen. Auch Alexanders dunkles Band zwischen den beiden Regenbögen wurde nicht erwähnt. Die anderen Schüler konnten hier keine näheren Ausführungen machen und waren sich sicher keine weiteren Beobachtungen außer dem Primärregenbogen gemacht zu haben. Auf Interferenzbögen ist keiner der Schüler eingegangen.

Warum der Regenbogen rund ist, wurde von den Schüler auf unterschiedlichste Weise beantwortet. „... vielleicht wegen der Erdanziehungskraft“, „... weil die Erde rund ist., ein anderer Schüler war der Ansicht, „... weil die Sonnenstrahlen treffen ja auf die Erde und

die wird dann da so zurückgeworfen und deswegen. „weil die Sonne rund ist. Da sind ja dann auch die Strahlen von der Sonne rund angeordnet, und deswegen.“

Ob es ihnen möglich ist unter dem Regenbogen durchzufahren, beziehungsweise ob man den Regenbogen zu Fuß erreichen kann gaben die Schüler unterschiedlichste Antworten, so sagte einer der Schüler „... ich weiß jetzt nicht ob den Regenbogen auch sieht, wenn man ganz nahe drann ist. Oder auch wenn man weiter weg ist. Kann sein, dass des auch irgendwie so ne Erscheinung ist.“, ein anderer sprach in diesem Zusammenhang von „... also eigentlich ist es unmöglich unten drunter durchzulaufen, weil mmh weil wenn man drunter durchläuft ist der schon wieder ein Stückchen weiter vorne.“

4.3. Fragebogen

4.3.1. Erstellen des Fragebogens aus den Interviews

Für alle Aufgaben wurden den Schülern die Möglichkeit eingeräumt auch selber neue Antworten aufzuschreiben. Dies soll ermöglichen auch nicht aufgeführte Antwortmöglichkeiten zuzulassen, um so ein möglichst genaues Bild der Schülervorstellungen zu erhalten. Allerdings besteht hierbei die Möglichkeit, dass durch die bereits vorgegeben Antworten, die Schüler beeinflusst werden und daher eine der vorgefertigten Antworten übernehmen. Ebenfalls hatten sie die Möglichkeit die Fragen nicht zu beantworten so dass, sollten die Schüler keine Vorstellung oder Idee haben wie die Antwort lautet, die Frage auch einfach nicht beantwortet werden musste. Bei allen Aufgaben wurde darauf geachtet, dass die Fragen und Antworten für die Schüler alle verständlich und auch in einer Sprache verfasst waren, die es ihnen nicht ermöglichte auf die richtige Antwort zu schließen. Daher besteht bei einigen Antworten die Möglichkeit, dass der physikalische Hintergrund nicht exakt stimmt, beziehungsweise sehr stark vereinfacht wurde.

Aus der ersten Frage des Interviews wurden die die Aufgabe nach den Voraussetzungen für die Entstehung eines Regenbogens erstellt. Die Antworten, dass die Sonne scheinen muss, es regnen muss sowie, dass es geregnet haben muss, sind dabei aus den Schülerinterviews übernommen, die Antwort, dass ein See vorhanden sein muss, hingegen wurde als weitere Antwortoption hinzugefügt.

Die Aufgaben zwei und drei sowie die Aufgaben acht und neun haben die zweite Frage des Interviews als Grundlage. In den ersten beiden Aufgabenstellungen geht es um die Begebenheiten, die einmal am Standort des Beobachters und das andere mal dort wo der Regenbogen entsteht, herrschen. Die Antwortmöglichkeiten hierfür wurden direkt aus den Schülerinterviews, oder auch aus den Fotos der Modelle, welche die Schüler erstellt hatten entnommen. Die Frage drei, nach der Stelle an der sich der Regenbogen befindet, läßt sich daher auch direkt mit den Fragen acht und neun, welche die Gesamtkonstellation von Regen, Sonne, Beobachter und Regenbogen abfragen, verknüpfen. Auch die Antworten für die Fragen acht und neun wurden wieder aus den Fotos der Modelle der Schüler

übernommen.

Auf der Frage drei des Interviews baut die Aufgabe zehn des Fragebogens auf. Hierbei sollten die Schüler beantworten wie ein Regenbogen entsteht. Da die Schüler hier im Interview sehr allgemeine Antworten in Bezug auf Ortsangaben machten und nicht näher auf die Entstehung eingehen konnten, sind hier die gesamten Antwortmöglichkeiten nicht auf Schülerantworten basierend.

Für die Fragen Nummer vier, fünf und sechs diente die Fragen vier und fünf des Interviewleitfadens als Grundlage. Aufgabe Nummer vier des Fragebogens, die Frage nach der Farbanordnung des Regenbogens, wurde aufgrund der Schülerantwort in Abbildung 4.7 eingearbeitet. Mit der Aufgabe fünf des Fragebogens sollen die einzelnen Farben des Regenbogens aufgezählt werden, eine Reihenfolge ist hier noch nicht einzuhalten. Hierbei kommt es auf die Anzahl der Farben und auf verschiedene Farben, die nicht im Regenbogen vorkommen an. Da die Schüler in den Interviews keine falschen Farben innerhalb des Regenbogens verwendeten, wurde die Antworten hier teilweise aus den Interviews entnommen oder durch Überlegung hinzugefügt. In Aufgabe sechs des Fragebogens wird auf die Reihenfolge der Farben des Regenbogens Wert gelegt. Außerdem lässt sich überprüfen, ob die Schüler die Farben aus Aufgabe fünf übernehmen und konsequent weiter nutzen. Da hier die Anordnung von der in Aufgabe vier gegebenen Antwort anhängt wurden die Schüler darauf hin gewiesen, entweder von links nach rechts oder von oben nach unten zu beginnen.

Aus der Interviewfrage Nummer sechs wurde im Fragebogen die Nummer elf hergeleitet. Hierbei sollen die Schüler erklären wie die Farben des Regenbogens entstehen. Die Antworten zu dieser Frage wurden aus den Antworten der Schüler weiterentwickelt. So wurde die von den Schüler angesprochene Aufteilung des Lichts in Spektralfarben als auch die Spiegelung in den Regentropfen für die Antwortmöglichkeiten genutzt. Bei der Aufteilung des Lichts wurde zwischen der Aufteilung am Übergang von Luft und Wasser und im Wasser, also dem Regentropfen selber, unterschieden.

Die Aufgaben dreizehn bis vierzehn des Fragebogen beziehen sich auf die Frage Nummer sieben des Interviewleitfadens. Durch diese Aufgabe sollen die Phänomene des sekundären Regenbogens sowie die überzähligen Farben im Regenbogen abgefragt werden. Auf diese zwei Phänomene soll aber nicht genauer eingegangen werden, da dies für die Schüler ein zu spezielles Fachwissen voraussetzt, welches diese noch nicht besitzen. Daher erwähnte auch nur einer der Schüler den sekundären Regenbogen, Interferenzbögen wurden von ihnen überhaupt nicht erwähnt. Daher wurden die Antworten für diese Frage zum größten Teil selber erstellt.

Frage acht bildet die Grundlage für die Aufgabe sieben des Fragebogens. Durch diese Frage wird versucht zu ermitteln, wie sich die Schüler erklären warum der Regenbogen seine runde Form hat. Die Antworten eins, da die Erde rund ist, zwei, da die Sonne rund ist, und vier, da die Schwerkraft den Regenbogen nach unten zieht, sind hierbei aus

Schülerinterviews entnommen. Die Antwort Nummer drei, da die Regentropfen rund sind, wurde wieder als optionale Antwortmöglichkeit hinzugefügt.

Auf der letzten Frage des Interviews beruht die Aufgabe zwölf des Fragebogens. Hierbei sollen die Schüler entscheiden, ob es möglich ist das Ende beziehungsweise den Fuß des Regenbogens zu erreichen. Als Antwort stehen ihnen hierfür wieder Antworten aus den Interviews, nämlich die Antwortmöglichkeiten, dass das Ende des Regenbogens nicht erreichbar ist, da er sich mit dem Beobachter bewegt, und, dass das Ende nicht erreichbar ist, da der Regenbogen verschwindet bevor man ihn erreicht, zur Verfügung. Die Antworten drei, dort ist etwas Kostbares zu finden, und vier, existiert nicht, wurden als weitere Auswahlmöglichkeiten für die Schüler hinzugefügt.

4.3.2. Befragte Schüler

Der Fragebogen wurde von insgesamt 254 Schüler ausgefüllt. Davon waren 30 Schüler eines Gymnasiums in Schweinfurt. 85 aus einem Gymnasium in Marktbreit. 38 von einem Gymnasium in Münnerstadt. 72 Schüler waren aus Kitzingen, ebenfalls von einem Gymnasium und 29 Schüler kamen von einer Realschule in Würzburg. Über das genaue Verhältniss von Schüler zu Schülerinnen kann keine Auskunft gegeben werden. Da dies im Fragebogen nicht von der Schüler angegeben werden musste und die Fragebögen anonym ausgefüllt wurden. Alle befragten Schüler hatten in der Schule noch keine Optik behandelt, dies sollte, wie schon bei Interviews, gewährleisten, dass die Schüler die Vorstellungen nicht schon aus der Schule mitbringen, sondern ihre eigenen Präkonzepte angeben. Alle Schüler waren zum Zeitpunkt des Interviews in der sechsten Klassenstufe.

4.3.3. Durchführung der Befragung mithilfe des Fragebogens

Das Ausfüllen des Fragebogens geschah unter Aufsicht der Lehrkräfte. Da das Ausfüllen der Fragebögen gegen Ende des Schuljahres erfolgte, sollte den Schüler genügend Zeit für das Ausfüllen der Fragebogen zur Verfügung gestellt werden. Allerdings bestand auch die Gefahr, durch das bevorstehende Ende des Schuljahres, dass die Schüler den Fragebogen nicht ernst nahmen und irreführende Antworten geben.

5. Ergebnisse der Untersuchung

Wie schon im Kapitel vorher erwähnt wurden insgesamt 254 Schüler befragt. Allerdings wurden 16 von 254, also 6%, der Fragebögen von Schüler nicht richtig ausgefüllt, somit blieben zur Auswertung 238 Fragebögen übrig. Die nicht auszuwertenden Fragebögen schieden aufgrund offensichtlich falscher Antworten aus. So wurden zum Beispiel bei einem Fragebogen alle Antworten angekreuzt, oder unsinnige Erklärungen mit Lebensmitteln gegeben. Die Fragebögen wurden eventuell aufgrund der, ebenfalls schon erwähnten, zeitlichen Nähe zum Schuljahresende nicht mehr von allen Schüler ernst genommen. Diese wurden in der anliegenden Tabelle gekennzeichnet oder in der Tabelle nicht ausgewertet. Von richtigen oder falschen Antworten kann in diesem Zusammenhang nicht gesprochen werden, da viele der Antworten zwar der alltäglichen Erfahrung der Schüler entsprechen, aber nicht die physikalische Sicht der Dinge widerspiegeln. Desweiteren wurden alle Prozentangaben auf ganze Zahlen gerundet, da bereits ein einziger Schüler eine Änderung von mehreren Zehnteln bewirkt. Auch wurden nicht ausgefüllte Fragen gleichgesetzt mit der Antwort: „Weiß ich nicht!“. Diese Antwortmöglichkeit genauso wie die Möglichkeit zur selbstständigen Beantwortung der Fragen durch die Schüler wird im Folgenden nicht mehr extra erwähnt. Die Möglichkeit für Schülerantworten wurde ab und an genutzt. Allerdings waren die Antworten dann sehr unterschiedlich und konnten nicht unter einem Aspekt zusammengefasst werden. Daher wurde auf die Schülerantworten nicht näher eingegangen.

5.1. Auswertung der Fragebögen nach der Häufigkeit der Antworten

5.1.1. Damit du einen Regenbogen sehen kannst, muss

Bei der ersten Frage könnten die Schüler aus folgenden Antwortmöglichkeiten wählen:

1. die Sonne scheinen.
2. es regnen.
3. es geregnet haben.
4. ein See vorhanden sein.

Hierbei war es den Schüler gestattet, die Antwortmöglichkeiten zu kombinieren. Dabei verteilten sich die Antworten der Schüler wie folgendermaßen. Am häufigsten wurde die Kombination von Antwort eins und Antwort zwei gewählt. 155 von 238 Schüler, das

entspricht circa 65%. 75 der 238 Schüler, also in etwa 32% wählten die Kombinationsmöglichkeit aus Antwort eins und drei. Lediglich 2 Schüler wählten aus Antwort nur Nummer zwei oder nur die Kombination aus den Antworten eins, zwei und vier. Eine eigenständige Schülerantwort wurde nur in zwei Fällen gegeben. Einmal, dass zusätzlich zu den Antworten eins und zwei keine Wolken vorhanden sein dürfen. Die andere selbst formulierte Lösung beinhaltete ebenfalls wieder die Antworten eins und zwei, aber als Zusatz, dass etwas vorhanden sein muss in dem sich das Licht brechen kann.

Zur Auswertung der ersten Frage ist noch zu erwähnen, dass einige Schüler die Antworten eins, zwei und drei angekreuzt haben. Dies wurde mit in die Kombination der Antworten eins und zwei einbezogen. Sie wurden zusammengelegt, da davon ausgegangen werden kann, dass die Schüler mit der Antwort, dass es geregnet haben muss, sich auf ihren Standort beziehen. Dies wird aber in Aufgabe zwei abgefragt.

Betrachtet man die Bedingungen, die von den Schüler für den Regenbogen vorausgesetzt werden, wird deutlich, dass fast alle Befragten die Sonne als grundlegende Voraussetzung für den Regenbogen erachten. Große Unterschiede gibt es hingegen wenn es um den Regen geht. So waren zwar ein Großteil der Schüler, nämlich 65% der richtigen Ansicht, dass es genau in diesem Moment regnen muss, aber ein Anteil von 32% glaubte immerhin, dass der Regen schon wieder aufgehört haben muss. Dieser Gedanke ist aus physikalischer Sicht sicherlich nicht richtig, aber aus der Sicht der Jugendlichen macht er sicher Sinn. So kommt es häufig vor, dass der Regenbogen erst gesehen werden kann, wenn das Regengebiet schon über den Beobachter hinweggezogen ist. Dadurch entsteht dann der Eindruck, dass es geregnet haben muss damit ein Regenbogen entstehen kann. Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die vorherrschende Vorstellungen von Schüler hier auch die richtige ist, dass gleichzeitig die Sonne scheinen und es regnen muss. Die zweit häufigste Antwort lässt sich also aus der Alltagswelt der Jugendlichen sehr gut erklären. Die anderen Antworten und Antwortkombinationen sind mit einem sehr geringen Prozentsatz eher selten.

5.1.2. Damit ich einen Regenbogen sehen kann: An der Stelle, an der ich selber stehe

Bei dieser Frage standen den Schülern folgende Antworten zu Auswahl:

1. muss es vorher geregnet haben.
2. muss es in diesem Augenblick stehen.
3. darf es nicht regnen.
4. muss es nass sein.

Bei dieser Frage sollten die Schüler nur eine Antwort ankreuzen. Daraus ergab sich dann folgende Verteilung der Antworten. Die erste Antwort wurde von 74 Schüler angekreuzt,

das entspricht 31% der Schüler. Die zweite Antworten wählten 60 der Schüler, also 25%. Antwort drei kreuzten lediglich drei Schüler an, dies entspricht in etwa 1%. Antwort vier wurde hingegen vierzigmal ausgewählt. Dass es nass sein muss um einen Regenbogen zu sehen denken also etwa 13% der Schüler. Ihrer Vorstellung entsprechend wählten 25% der Schüler Antwort fünf aus, das waren insgesamt 59 Schüler. Nur sieben Schüler gaben eine Alternativantwort zu dieser Frage. Fünf weitere Schüler konnten oder wollten diese Aufgabe nicht beantworten. Werden die Daten in ein Diagramm übertragen, ergibt sich die Abbildung 5.1. Dabei stehen die Zahlen der x-Achse für die Nummern der Antworten, die Zahl null steht, auch im Folgenden immer für die Antwort „Weiß ich nicht!“.

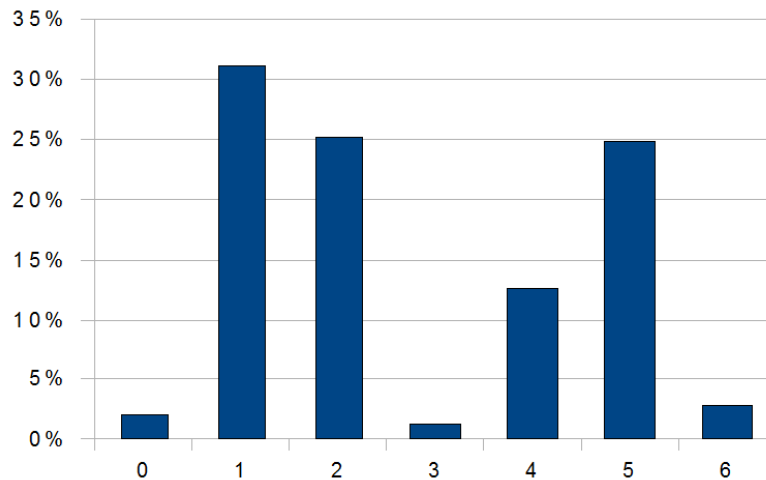


Abbildung 5.1.: Diagramm für die Antworten in Aufgabe 2

Der Hauptaugenmerk der Antworten lag hier auf der ersten Antwort, auch dies lässt sich mit den alltäglichen Beobachtungen der Schüler erklären. Da, wie oben schon erwähnt, das Regengebiet oftmals schon an den Jugendlichen vorbeigezogen ist, ist es für sie nur logisch, dass es geregnet haben muss, um einen Regenbogen zu sehen. Zu dieser Antwort kann aber sicherlich auch die Antwort, dass es nass sein muss gezählt werden. Auch hier kann davon ausgegangen werden, dass der Grund für den nassen Boden, also eventuell der Regen, schon weitergezogen ist.

5.1.3. Damit ich einen Regenbogen sehe: An der Stelle, an der der Regenbogen entsteht

Folgende Möglichkeiten zu antworten hatten die Schüler bei dieser Aufgabe:

1. muss es vorher geregnet haben.
2. muss es in diesem Augenblick regnen.
3. darf es nicht regnen.
4. muss es nass sein.
5. ist es egal, ob es regnet.

Auch bei dieser Frage sollten sich Schüler zwischen einer der Antworten entscheiden. 80 der Schüler beantworteten diese Frage mit Antwort eins, dies entspricht 34% aller Schüler. 40% der Befragten meinten, dass es in diesem Augenblick an der Stelle, an der der Regenbogen entsteht, regnen muss. Sie wählten daher Antwort zwei. 3% der Schüler waren der Ansicht das es an dieser Stelle nicht regnen darf, sie wählten Antwort drei. 11% wählten als Antwort Nummer vier. Dass es egal ist ob es regnet oder nicht kreuzten 5% der Schüler an. Eine alternative Antwort gaben 3% der Schüler. 4% füllten die Frage nicht aus. Auch hier werden die Daten, zur besseren Veranschaulichung, in ein Diagramm (vgl. Abbildung 5.2) übertragen.

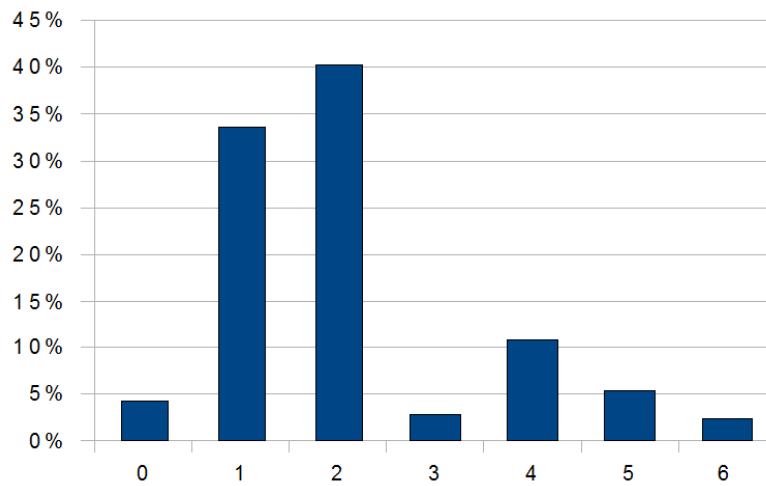
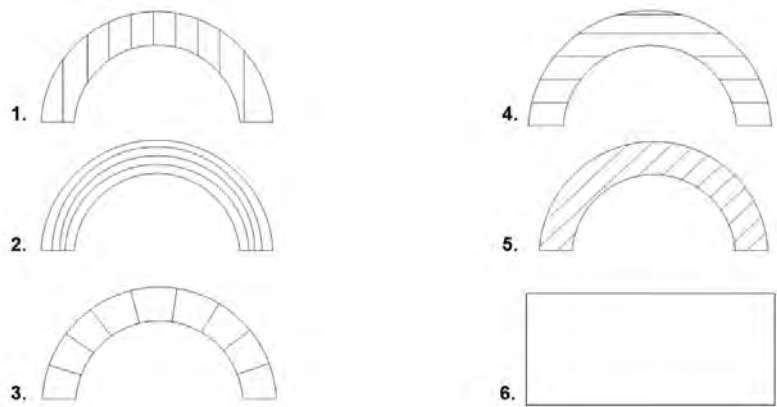


Abbildung 5.2.: Diagramm für die Antworten in Aufgabe 3

Bei dieser Aufgabe wird deutlich, dass viele der Befragten doch ein genaues Bild eines Regenbogens im Kopf haben. Vergleicht man die 3% der Schüler, die sagten, dass es an der Stelle des Regenbogens nicht regnen darf mit den 40% die der Ansicht sind, an der Stelle des Regenbogens muss es regnen, wird ersichtlich, dass sie sich in der Natur schon mit Regenbögen auseinandergesetzt haben oder diesen vielleicht sogar im Garten mithilfe eines Wasserschlauchs selbst erzeugt haben.

5.1.4. Wie sind die Farben des Regenbogens angeordnet?



Wie schon in den beiden vorangegangenen Aufgaben sollten hier zwischen einer der Antworten ausgewählt werden. Die Aufgabe vier wurde sehr einheitlich beantwortet. Lediglich einer der 238 Schüler wählte die Antwort vier, alle anderen Schüler wählten als Antwort Nummer zwei. In den Schülerinterviews kam einmal eine andere Anordnung der Farben als üblich, auch in der Beantwortung der Fragebogen kam nur eine einzige andere Anordnung vor. Daher ist davon auszugehen, dass diese Arten der Farbanordnung eher selten sind.

5.1.5. Welche Farben kommen im Regenbogen vor?

- | | | | |
|------------|-------------|--------------|-------------|
| 1. Blau | 5. Braun | 9. Grün | 13. Gelb |
| 2. Violett | 6. Orange | 10. Schwarz | 14. Gold |
| 3. Rot | 7. Silber | 11. Pink | 15. Weiß |
| 4. Lila | 8. Hellblau | 12. Hellgrün | 16. Flieder |

Bei dieser Aufgabe wurde die Auswertung etwas anders gestaltet als bei den bisherigen Aufgabe. Die Aufgabe wurde dreigeteilt. Als erstes wurde die reine Anzahl der Farben ausgewertet. Im zweiten Teil wurde dann auf die verschiedenen Fehlfarben geachtet. Der dritte wurde schließlich genutzt um die Häufigkeit der einzelnen Farben zu analysieren.

Zur Auswertung der Anzahl der Farben ergab sich folgende Verteilung. Null bis zwei Farben kreuzte keiner der Schüler an. 1% der Schüler kreuzten drei Farben an. 11% vier Farben, 20% fünf Farben, 28% sechs Farben, 18% sieben Farben, 10% acht Farben, 7%

neun Farben, 1% jeweils zehn oder vierzehn Farben. Zwölf oder dreizehn Farben wurden nie angekreuzt. Für elf Farben entschieden sich 2% der Schüler. Lediglich einer der Schüler entschied sich für alle sechzehn Farben.

Der zweite Teil der Auswertung dieser Aufgabe beschäftigte sich mit den angekreuzten Farben, die nicht im Regenbogen vorkommen. Hier standen zur Auswahl: Schwarz, Weiß, Gold, Silber und Braun. Das Ergebnis war hier eindeutig. Nur drei Schüler mischten die Farbe Weiß in den Regenbogen. Auch Gold wurde lediglich von drei Schüler als Farbe des Regenbogens angesehen. Jeweils zwei der Schüler mischten Braun oder die Kombination von Gold, Silber und Braun in den Regenbogen. Und nur einer der Schüler wählte alle der falschen Farben. Insgesamt wählten nur 5% der Schüler eine Farbe die nicht im Regenbogen vorkommt. Die restlichen 95% kreuzten nur Farben an die auch im Regenbogen erscheinen.

Der dritte Teil der Auswertung bezog sich auf die Häufigkeit der einzelnen Farben, also wie oft die Farbe von einem der Schüler angekreuzt wurde.

1. Gelb	96%	5. Orange	75%	9. Hellblau	33%	13. Gold	2%
2. Rot	93%	6. Lila	55%	10. Pink	15%	14. Weiß	1%
3. Blau	87%	7. Violett	53%	11. Flieder	6%	15. Schwarz	1%
4. Grün	79%	8. Hellgrün	35%	12. Braun	4%	16. Silber	1%

5.1.6. Ordne die in Frage fünf angekreuzten Farben in der richtigen Reihenfolge an

Bei dieser Frage sollten die Schüler die in Aufgabe fünf ausgewählten Farben in die richtige Reihenfolge bringen. Hierfür wurde zwischen diversen Einteilungen unterschieden. Zum einen die richtige Farbreihenfolge von Rot über Gelb über Grün zu Blau und Violett. Als weiteres Kriterium wurde die Möglichkeit einer Anordnung gemäß des Farbkreis (vgl. Abbildung 5.3) genutzt. Hierbei wurde noch unterschieden zwischen der Richtung in der die Schüler den Farbkreis durchlaufen sind. Einmal im Uhrzeigersinn und einmal gegen den Uhrzeigersinn. Als letzte Unterscheidungsmöglichkeit wurde eine willkürlich Anordnung der Farben gewählt, hierbei ließ sich kein eindeutiges Muster der Farben mehr feststellen.

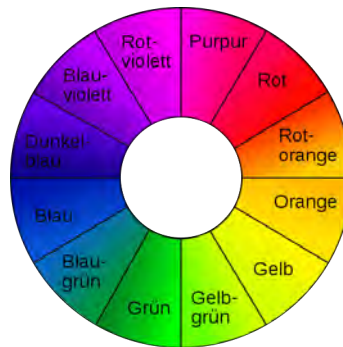


Abbildung 5.3.: Farbkreis zur Auswertung ¹

Die meisten der Schüler konnten die Farben des Regenbogens weder in der richtigen Reihenfolge noch gemäß des Farbkreises anordnen. 54% ordneten die Farben daher willkürlich, ohne erkennbares Muster, an. 26% der Schüler beantworteten diese Frage nicht und nur 8% der Schüler wählten die richtige Farbreihenfolge des Regenbogens. Die Anordnung nach dem Farbkreis waren mit 5% im Uhrzeigersinn und mit 6% gegen den Uhrzeigersinn am seltensten.

¹vgl. AUTOR, UNBEKANNT: *Farbkreis nach Newton*. [URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Farbkreis](http://de.wikipedia.org/wiki/Farbkreis) .

5.1.7. Der Regenbogen ist rund, da

1. die Erde rund ist.
2. die Sonne rund ist.
3. die Regentropfen rund sind.
4. die Schwerkraft den Regenbogen nach unten zieht.

Bei dieser Aufgabe mussten sich die Schüler wieder zwischen einer der Antworten entscheiden. Dabei entfielen auf Antwort eins 23%, auf Antwort zwei 12%, Antwort drei 7%, Antwort vier 22%. Nur 4% der Schüler gaben eine Alternativantwort. Immerhin 32% der Schüler konnten sich nicht erklären warum der Regenbogen rund ist.

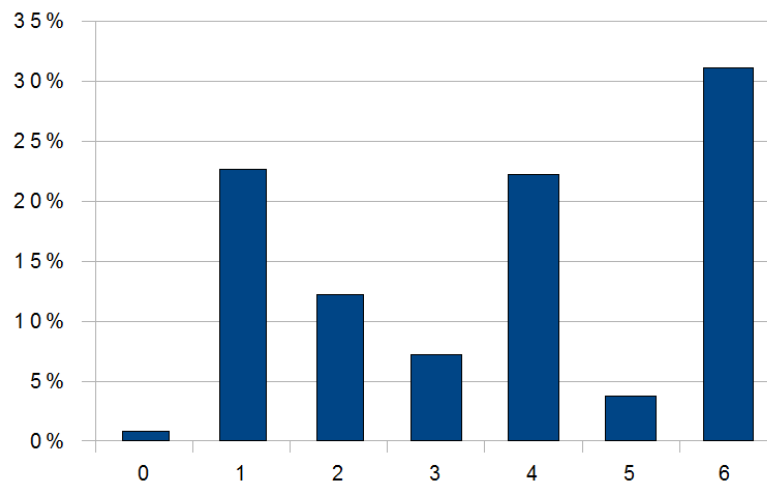
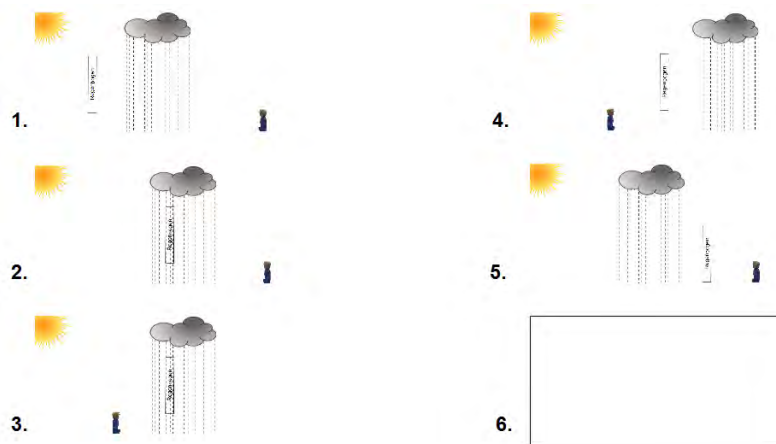


Abbildung 5.4.: Diagramm für die Antworten in Aufgabe 7

5.1.8. Du beobachtest jemanden, der sich einen Regenbogen ansieht. Wie sind Beobachter, Sonne, Regen und Regenbogen angeordnet



Die Schüler sollten sich für diese Aufgabe aus den Antworten eine für sie richtige heraus-suchen, oder eine eigene Antwort geben. Hier war die Verteilung der Antwort relativ gleich. Für Variante eins entschieden sich 18%, Variante zwei wurde von 27% der Schüler gewählt. Die Antwort Nummer drei wurde von 20% der Schüler gewählt. 16% entschieden sich für Antwort vier, 11% für Antwort fünf. 4% der Schüler zeichnete für diese Aufgabe eine eigenen Lösungsvorschlag und 5% kreuzten keine der Lösungsmöglichkeit an. Das Be-antworten dieser Aufgabe wurde den Schüler durch die kleinen und auf den Fragebögen etwas undeutliche Darstellung der Gegenbenheiten erschwert. Daher ist es möglich, dass hier einige Schüler Probleme mit der Beantwortung der Frage hatten und diese daher nicht richtig oder gar nicht ausgefüllt haben.

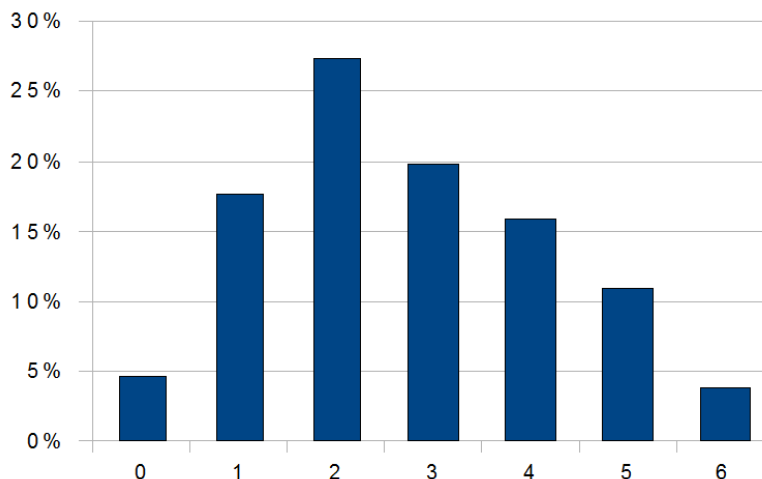
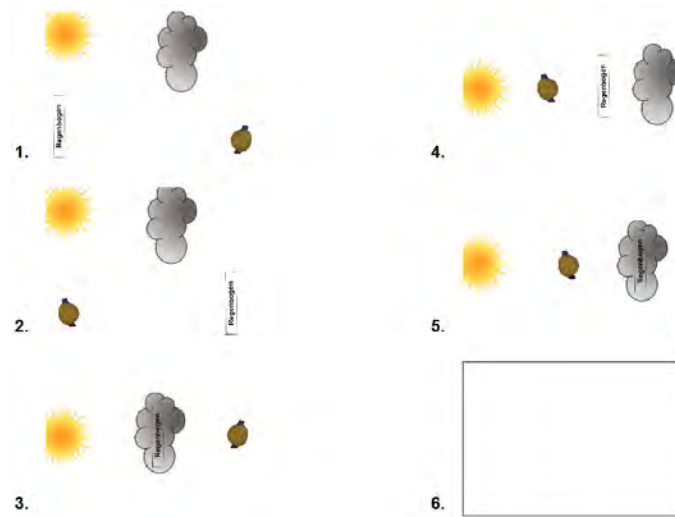


Abbildung 5.5.: Diagramm für die Antworten in Aufgabe 8

5.1.9. Aus der Vogelperspektive sind Beobachter, Sonne, Regen und Regenbogen wie folgt angeordnet



Wie in Nummer acht, sollten die Schüler hier die Antworten nicht kombinieren, sondern eine einzige Antwort geben. In Aufgabe neun sah die Verteilung der Antworten wie folgend aus. Die erste Skizze wurde von 11% der Schüler als richtig erachtet. 10% entschieden sich für die zweite Zeichnung. Der Großteil der Schüler entschied sich für die dritte Möglichkeit, dies waren 26%. 22% wählten als Antwort die Vier und 14% die Fünf als Antwort. 8% zeichneten eine eigene Version der Anordnung aus der Vogelperspektive. 10% der Schüler konnten leider keine Antwort auf die Frage geben. Einer der Befragten kreuzte zwei Lösungen der Aufgabe an, Nummer eins und Nummer drei. Auch bei dieser Aufgabe bestand das Problem mit der Darstellung. Erschwerend kam für die Schüler noch der Perspektivenwechsel hinzu, der ein einfaches Beantworten der Frage nicht begünstigt.

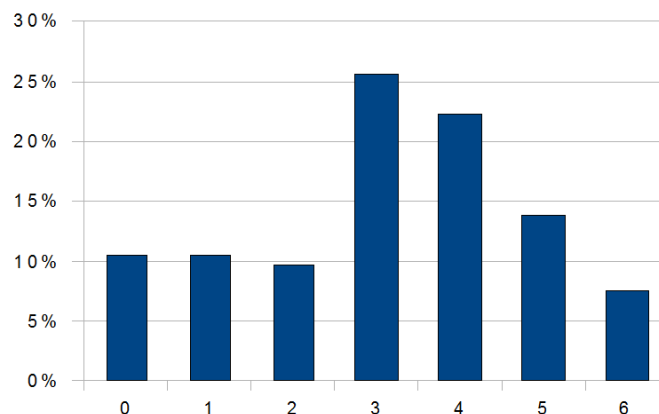


Abbildung 5.6.: Diagramm für die Antworten in Aufgabe 9

5.1.10. Du kannst einen Regenbogen sehen

1. durch die Sonne und das verdunstende Wasser nach einem Regen.
2. da sich die Sonne im Regen spiegelt.
3. da er in den angestrahlten Regentropfen entsteht.
4. da die Sonne ihn in die Wolken malt.

Wie schon in den beiden vorangegangenen Aufgaben sollte hier nur eine Antwort angekreuzt werden. Für 32% der Schüler entsteht der Regenbogen, gemäß Antwort eins, durch die Sonne und das verdunstende Wasser. Immerhin vier Schüler, 3% machten einen See für die Entstehung des Regenbogens verantwortlich. 36% glaubten, dass sich die Sonne im Regenbogen spiegelt, daher kreuzten sie Antwort vier an. Antwort fünf, dass der Regenbogen von der Sonne in die Wolken gemalt wird, wählten 4% als Antwort. Sechs Schüler gaben eine Alternativantwort, dies entspricht 4%. Vier Fragebögen ließen sich nicht auswerten, davon waren zwei nicht ausgefüllt und bei den anderen beiden waren jeweils zwei Antworten angekreuzt. Einmal die Antwortkombination sechs und drei und einmal die Kombination drei und vier.

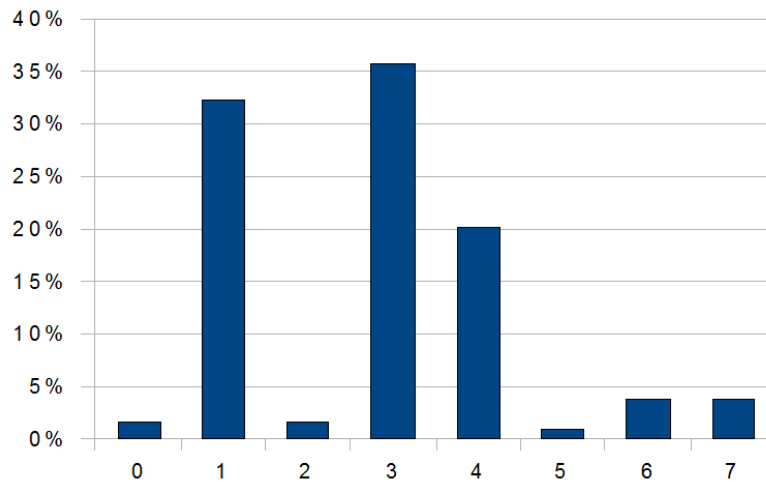


Abbildung 5.7.: Diagramm für die Antworten in Aufgabe 10

5.1.11. Die Farben des Regenbogens entstehen durch

1. die Spiegelung des Sonnenlichts an der Erde.
2. die Aufteilung des Lichts im Wasser.
3. die Aufteilung des Lichts am Übergang von Luft zu Wasser.

Auch hier mussten sich die Schüler wieder zwischen den Antworten entscheiden und nur eine ankreuzen. Daraus ergab sich folgende Verteilung der Antworten. 16% hielten die Farben des Regenbogens für die Spiegelung des Sonnenlichts an der Erde, Antwort eins. Für Antwort zwei, die Aufteilung von Licht im Wasser, hielten mit 44% ein Großteil der Schüler für richtig. 21% entschieden sich für die Aufteilung des Lichts an der Grenzfläche von Licht und Wasser. 15% beantworteten diese Frage nicht, da sie entweder „Ich weiß nicht!“ ankreuzten oder die Frage nicht beantworteten. Auch hier kombinierten wieder zwei Schüler, entgegen der Aufgabenstellung zwei Antworten. Es wurde zum einen die Antworten eins und drei und zum anderen die Antworten eins und vier zusammen angekreuzt.

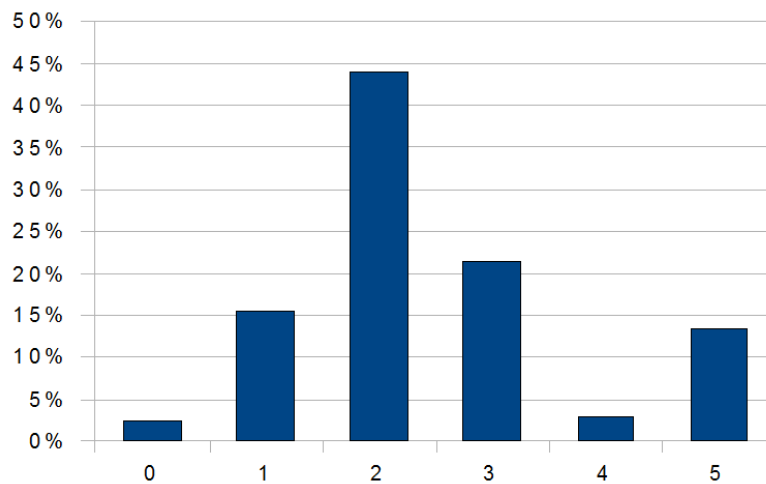


Abbildung 5.8.: Diagramm für die Antworten in Aufgabe 11

5.1.12. Der Fuß des Regenbogens

1. ist nicht erreichbar, da der Regenbogen sich mit dem Beobachter bewegt.
2. ist nicht erreichbar, da der Regenbogen verschwindet, bevor man dort ist.
3. dort ist etwas Kostbares zu finden.
4. existiert nicht.

Bei dieser Aufgabe war es den Schülern wieder erlaubt mehrere Antworten auszuwählen. Hieraus resultiert daher auch wieder ein größeres Spektrum an Antworten seitens der Befragten. Zuerst die Antworten die aus lediglich einer angekreuzten Antwort bestanden. 21% entschieden sich dafür, dass der Regenbogen sich mit dem Beobachter bewegt. 8% der Schüler waren der Ansicht, dass der Regenbogen verschwindet bevor er erreicht werden kann. 1% war der Ansicht am Ende des Regenbogens befindet sich etwas kostbares. Und immerhin 29% sind davon überzeugt, dass der Regenbogen kein Ende hat. Nur 2% gaben eine eigene Antwort. Als Antworten wählten 5% eine Verknüpfung der Antworten eins und zwei, 1% kombinierten Nummer eins und drei, ebenso viele wählten die Kombination von vier und fünf oder eins, zwei und drei. Für die Antworten eins und vier entschieden sich 17% der Schüler. Die Antwort zwei und vier kreuzten 6% an. 3% entfielen auf die Kombination eins, zwei und vier oder zwei, vier und fünf. Lediglich einer der Schüler wählte die Kombination von eins, zwei und fünf. 2% beantworteten die Frage nicht. Untersucht man wieviele der Schüler entweder Antwort eins oder zwei in ihre Antwort aufgenommen haben, so sind das 66%.

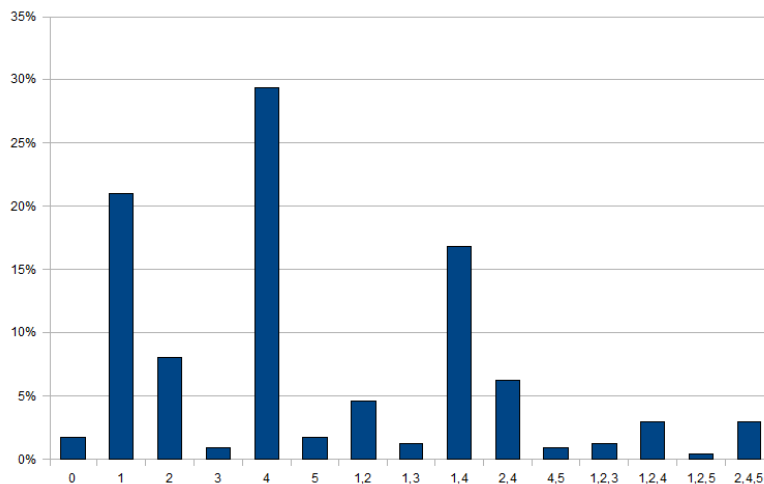


Abbildung 5.9.: Diagramm für die Antworten in Aufgabe 12

5.1.13. Kannst du unterhalb des eigentlichen Regenbogens etwas beobachten?

1. Nichts
2. Manchmal einen weiteren Regenbogen, evtl. nur teilweise.

Für die Frage 13 mussten sich die Schüler wieder zwischen einer der Antworten entscheiden. 47% konnten unterhalb des Regenbogens keine Beobachtung machen, 4% sahen dort einen weiteren Regenbogen oder Teile eines weiteren Regenbogens. Nur 4% der Schüler gaben eine eigene Antwort oder füllten die Frage nicht aus.

5.1.14. Kannst du oberhalb des eigentlichen Regenbogens etwas beobachten?

1. Nichts
2. Manchmal einen weiteren Regenbogen, evtl. nur teilweise.

Wie schon in Frage 13 sollte auch hier wieder nur eine Antwort angekreuzt werden. Daraus ergab sich folgende Verteilung der Antworten. 59% konnten oberhalb des Regenbogens nichts beobachten. Immerhin 29% sahen einen weiteren Regenbogen oder Teile von diesem. 7% gaben eine eigene Antwort und 14 Schüler, 6%, füllten die Frage gar nicht aus.

5.1.15. Falls du bei Frage 13 etwas gesehen hast, ist dir zwischen dem eigentlichen Regenbogen und der Beobachtung darunter etwas aufgefallen?

1. Der Himmel ist heller.
2. Der Himmel ist dunkler.
3. Einzelne Farben

Für die Beantwortung dieser Frage konnten wieder Antworten miteinander kombiniert werden. 22% wählten lediglich Antwort eins aus, dass der Himmel unterhalb des Regenbogens heller ist. Für 10% der Schüler war der Himmel dunkler, 13% sahen unterhalb des Regenbogens einzelne Farben. Lediglich vier der Schüler, 1% gaben eine eigene Antwort, oder einer von ihnen in Kombination mit der ersten Antwort. 15% sahen im dunkleren Himmel unterhalb des Regenbogens einzelne Farben und 3% sahen einzelne Farben im helleren Himmel unterhalb des Regenbogens. 32% der Schüler beantworteten diese Frage nicht, hier sind auch die Schüler dabei die als eigene Antwort „Nichts“ oder ähnliches angaben. Leider gaben 4% der Befragten eine Antwort die nicht zu werten war, sie kombinierten die Antworten „Der Himmel ist heller“, sowie die Antwort „Der Himmel ist dunkler.“

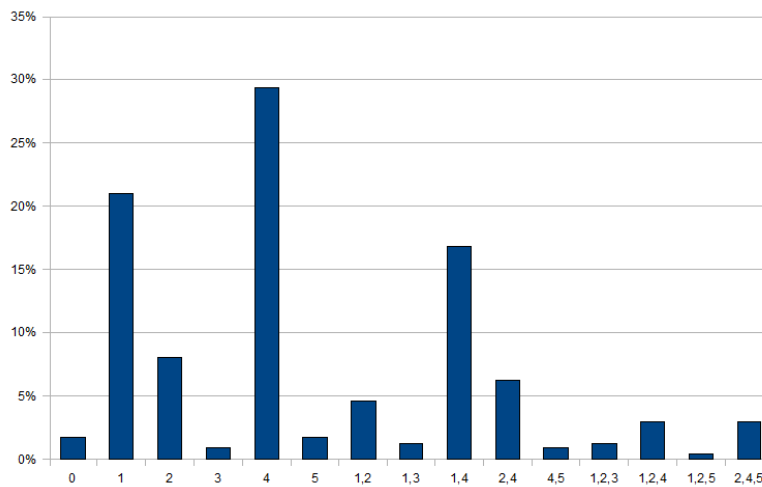


Abbildung 5.10.: Diagramm für die Antworten in Aufgabe 15

5.1.16. Falls du bei Frage 14 etwas gesehen hast, ist dir zwischen der Beobachtung und dem Regenbogen etwas aufgefallen?

1. Der Himmel ist heller.
2. Der Himmel ist dunkler.
3. Einzelne Farben

Auch in der letzten Frage des Interviews konnten die Befragten noch einmal die Antworten miteinander verknüpfen. 16% kreuzten als Antwort an, dass der Himmel oberhalb des Regenbogens heller ist. Dass der Himmel oberhalb des Regenbogens dunkler ist hielten 13% der Schüler für richtig. 8% konnte hier einzelne Farben sehen. Lediglich 1% gab bei dieser Frage eine selbstformulierte Antwort. Die Kombination aus Antwort eins und drei wählten 6%, wohingegen die Verknüpfung der Antworten zwei und drei von nur 3% als richtig angekreuzt wurde. 48% der Schüler beantworteten diese Frage nicht oder schrieben als Alternativantwort „Nichts“ oder ähnliches. Leider gab es auch bei dieser Frage wieder, wie schon bei Frage 15, einige als unsinnig zu betrachtende Kombinationen. So kreuzten insgesamt 3% die Antworten eins und zwei oder auch alle drei Antworten an.

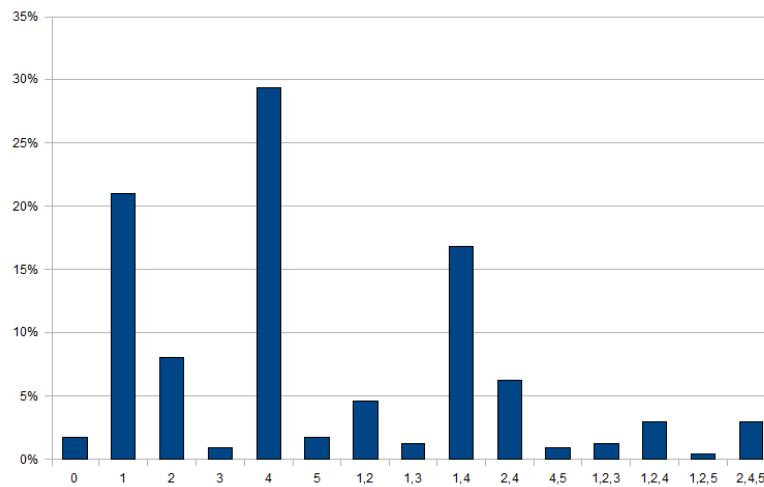


Abbildung 5.11.: Diagramm für die Antworten in Aufgabe 16

5.2. Auswertung der Fragebögen nach konsequenter Beantwortung

Bei der Auswertung der Fragen wurde darauf geachtet, ob die Schüler in der Beantwortung der Fragen konsequent sind. Dabei soll geprüft werden, ob die Befragten, zum Beispiel bei der Frage nach den Begebenheiten am Ort des Regenbogens und bei der Konstellation von Regenbogen, Beobachter, Regen und Sonne, am Ort des Regenbogens die gleichen Bedingungen wählten.

5.2.1. Bedingungen an der Stelle, an der der Regenbogen entsteht

Hierbei wurde untersucht, ob die befragten Schüler konsequent die Bedingungen, die sie in Aufgabe drei für die Entstehung des Regenbogens postuliert haben auch in Aufgabe acht und Aufgabe neun eingehalten haben. Es konnten aber anhand der Skizzen in den Aufgaben Nummer acht und neun nicht alle Merkmale der Nummer drei überprüft werden. So war es nicht möglich zu überprüfen, ob Antwort fünf, dass es egal ist ob es regnet, konsequent durchgehalten wurden.

Von den befragten Schüler antworten auf die Frage, was an der Stelle des Regenbogens passieren muss, damit ein Regenbogen entsteht, 80 Schüler mit der Antwort „... es muss vorher geregnet haben.“. Zur kohärenten Beantwortung müssten hierfür entweder die Antworten zwei oder drei in Frage acht oder Antwort drei oder fünf in Frage neun angekreuzt werden. Dies lässt sich begründen, da der Regen in den Skizzen als bereits gefallener Regen interpretiert werden kann und daher nur die Stelle markieren soll, an der der Regenbogen entsteht. Von diesen 80 antworteten bei den Skizzen zu Frage acht nur 34% konsequent und kreuzten entweder Bild zwei oder Bild drei an. In Frage Nummer neun kreuzten 35% folgerichtig entweder Bild Nummer drei oder Bild Nummer fünf an.

96 Schüler beantworteten die Frage drei mit Antwort Nummer zwei, dass es in diesem Augenblick regnen muss. Um konsequent zu antworten mussten die Schüler hierfür ebenso antworten wie, wenn sie Antwort eins ausgewählt hätten. 53% der Befragten antworteten bei Frage drei und acht konsequent, bei Frage drei und neun waren es nur 46%.

Als letzte der folgerichtigen Kombinationsmöglichkeiten gibt es, dass es an dieser Stelle nicht regnen darf und die die Skizzen eins, vier und fünf in Aufgabe acht, sowie die Skizzen eins, zwei und vier in Aufgabe neun. Die Antwort drei, dass es nicht regnen darf wählten nur sieben Schüler aus. Bei Frage acht antwortete nur ein einziger der Befragten kohärent. Bei Aufgabe neun mit immerhin vier Schüler mehr als die Hälfte richtig.

Von den untersuchten 183 Antworten waren in Bezug auf die Frage 3 und die Frage 8 45% konsequent in ihrer Beantwortung, bei Frage 3 und Frage 9 waren es nur 42%.

Stellt sich nun die Frage, ob die Schüler auch in allen drei Fragen kohärent geantwortet haben. Spaltet man die Fragen wieder nach Antworten auf ergibt sich hierbei folgende Verteilung. Wurde in Frage drei die Antwort, dass es geregnet haben muss, gewählt, hätten in Aufgabe acht die Skizzen Nummer zwei oder Nummer drei und in Frage Nummer neun

die Skizzen Nummer drei oder fünf als Antwort ausgewählt werden müssen. Die machten 20 der 80 befragten Schüler, 25%, dreiviertel der Befragten antwortete aber mindestens in einer der Antworten inkonsequent. Wurde die Antwortmöglichkeit zwei gewählt, dass es in diesem Augenblick regnen muss, dann wären ebenfalls in Aufgabe acht die Antworten zwei oder drei und in Aufgabe neun die Antworten drei oder fünf folgerichtig gewesen. Hier antworteten 39% der 96 Schüler, die in Frage drei Antwort zwei wählten, kohärent. Von den sieben Schüler, die Antwort drei ankreuzten antwortete ein einziger folgerichtig in Frage acht und neun.

Von den insgesamt 183 Schüler, die in Frage drei entweder die Antwort eins, zwei oder drei wählten, antworteten nur 32% in den Aufgaben acht und neun konsequent richtig. Die anderen 68% wichen von ihrem in Aufgabe drei gewählten Konzept ab.

5.2.2. Konstellation von Regen, Sonne, Regenbogen und Beobachter

Werden ausschließlich die Aufgaben acht und neun des Fragebogens betrachtet, können folgende Kombinationen von Antworten in Betracht gezogen werden:



Abbildung 5.12.: Antwort 8.2 und 9.3



Abbildung 5.13.: Antwort 8.4 und 9.4



Abbildung 5.14.: Antwort 8.3 und 9.5

Von den 65 Schülern, welche in Aufgabe 8 Antwort 2 ankreuzten, wählten folgerichtig in Frage neun die Antwort drei nur 37 Schüler. Dies entspricht einer Gesamtprozentzahl von lediglich 16%. Die anderen beiden Kombinationen hatten noch geringere Anteile an der Gruppe der Befragten. So entfielen auf die Kombination 8.4 und 9.4 nur 9% und auf die Kombination 8.3 und 9.5 11% aller Antworten.

5.2.3. Der See als Voraussetzung für die Entstehung eines Regenbogens

Diese Kombination kommt in Aufgabe eins und zehn vor. In Aufgabe eins wird ein See als Voraussetzung für einen Regenbogen als Antwortmöglichkeit gegeben. In Frage zehn, warum man einen Regenbogen sehen kann, gibt es als Antwort, da sich die Sonne in einem See spiegelt. In Frage eins wurde der See als dreimal angekreuzt. Bei Aufgabe zehn hingegen wurde der See nicht einziges mal als Antwortmöglichkeit gewählt.

6. Interpretation der Ergebnisse

Im folgenden sollen aus den Ergebnissen der Untersuchung „Schülvorstellungen zum Regenbogen“ Hypothesen gebildet werden. Aufgrund des aus Interviews ausgearbeiteten Fragebogens und der Anzahl der befragten Schüler können die Hypothesen als endgültige Resultate der Arbeit angesehen werden. Die hohe Validität eines Interviews sowie die hohe Objektivität eines Fragebogens bieten hierfür eine gute Grundlage.

6.1. Der Regenbogen als unerreichbare Erscheinung

Betrachtet man in der Auswertung der Fragebögen die Frage nach dem Fuß des Regenbogens (Abschnitt 5.1.12), existiert dieser für viele der befragten Schüler nicht, rechnet man alle zusammen die in den Antworten dieses angekreuzt haben, sind es 59%. Dass sich der Regenbogen mit dem Beobachter bewegt schlossen insgesamt 66% in ihre Antwort ein. Aus diesen beiden Antworten lässt sich schließen, dass viele Schüler den Regenbogen als etwas betrachten, der sich mit dem Beobachter bewegt und dessen Ende nie erreicht werden kann.

6.2. Wie entsteht ein Regenbogen, die Voraussetzungen

Wirft man hierfür einen genauen Blick auf die Auswertung fällt als erstes auf, dass fast alle Schüler die Sonne und den Regen für den Regenbogen als Grundvoraussetzung ansehen. 99% der Befragten kreuzten an, dass die Sonne scheinen muss. 68% der Schüler kreuzten in einer ihrer Antwortkombination an, dass es in diesem Augenblick auch regnen muss. Daraus lässt sich deutlich ableiten, dass ein Großteil der Befragten davon überzeugt ist, dass ein Regenbogen bei Sonnenschein und gleichzeitigen Regenfall zu beobachten ist. 32% sind hingegen davon überzeugt, dass es schon geregnet haben muss.

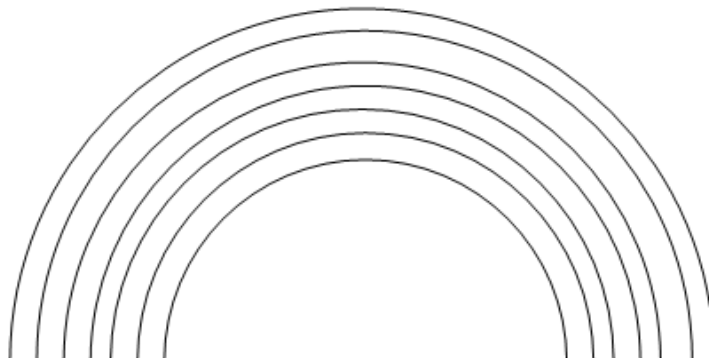
Um allerdings genauere Aussagen in Bezug auf den Ort machen zu können, muss auf die Fragen zwei (vgl. 5.1.2) und drei (vgl. 5.1.3) des Fragebogens eingegangen werden. Dabei wird dann deutlich, dass für viele Schüler, 31%, es vorher bei ihnen geregnet haben muss. Mit jeweils 25% sind die beiden Antworten, dass es in diesem Augenblick regnen muss und dass es egal ist ob es regnet ebenfalls signifikant. Wird jetzt noch Aufgabe drei (vgl. 5.1.3) hinzugenommen, bei der zwei Antworten hervorstechen, dann können die wichtigsten Vorstellungen der Schüler in dieser Untersuchung zur Entstehung eines Regenbogens aufgestellt werden. Als die beiden hervorstechenden Antworten in Aufgabe drei sind zum einen, dass es vorher geregnet haben muss (34%) und dass es in diesem Augenblick regnen muss (40%).

Für die signifikanten Schülervorstellung zu den Voraussetzungen für die Entstehung eines Regenbogens ergibt sich dann folgendes:

- Die Sonne muss scheinen und es muss gleichzeitig regnen.
- An der Stelle, an der ich mich befinden, muss es vorher geregnet haben.
- An der Stelle, an der der Regenbogen entsteht, muss in diesem Augenblick regnen.

6.3. Erscheinungsbild des Regenbogens

Die hierfür maßgebliche Frage fünf zeigt, dass für die meisten Schüler der Regenbogen aus sechs Farben besteht. Die sechs häufigsten Farben in der Aufgabe waren Gelb, Rot, Blau, Grün, Orange, und Lila (vgl. 5.1.5). Nimmt man hier noch die Aufgaben zwei und sechs hinzu ergibt das ein komplettes Erscheinungsbild des Regenbogens. Aufgabe zwei wurde sehr einheitlich, mit Antwort zwei, beantwortet, für Aufgabe sechs ist das Antwortbild nicht so einheitlich. Hier dominierte die zufällige Anordnung von Farben, es ließ sich daher kein eindeutiges Muster erkennen. Der Regenbogen sieht daher für viele Schüler in seinem Gesamterscheinungsbild wie folgend aus:



Die Anordnung der Farben ist dabei nicht eindeutig, es konnten nur die sechs häufigsten Farben ermittelt werden. Diese sechs Farben sind:

1. Gelb mit 96%
2. Rot mit 93%
3. Blau mit 87%
4. Grün mit 79%
5. Orange mit 75%
6. Lila mit 55%

Zur Entstehung der Farben kann eine weitere These aufgestellt werden. Diese bezieht sich ausschließlich auf die Aufgabe Nummer elf (vgl. 5.1.11). 44% der befragten Schüler wählten hier als Antwort, dass die Farben des Lichts durch die Aufteilung des Lichts im Wasser entstehen.

6.4. Warum kann man einen Regenbogen sehen?

Aus Aufgabe Nummer zehn lassen sich Rückschlüsse ziehen, warum nach Ansicht der Schüler, ein Regenbogen sichtbar ist. Die hier am häufigsten genannte Antwort ist, dass sich die Sonne im Regen spiegelt.

6.5. weitere Thesen

Weitere Thesen ließen sich nicht aus dem Fragebogen aufstellen. Einer der Gründe hierfür lag in einer nicht ausreichenden Beantwortung der Aufgabe, so sind zum Beispiel in Aufgabe Nummer sieben 35% der Antworten „Ich weiß nicht!“ oder die Aufgabe wurde nicht ausgefüllt. Dies war bei den Aufgaben 13 und 14 ebenso. Ein weiterer Grund war, dass bei den Fragen acht und neun zur Konstellation von Sonne, Regen, Regenbogen und Beobachter die Antworten inkonsequent waren. So konnte keine signifikante Vorstellung zu diesen Fragen gefunden werden.

6.6. Zusammenfassung

Hier sollen noch einmal alle in diesem Kapitel aufgestellten Thesen zu den Schülervorstellungen des Regenbogens aufgelistet werden.

- Der Regenbogen bewegt sich mit dem Beobachter, dessen Fuß kann daher nie erreicht werden.
- Die Voraussetzungen für einen Regenbogen sind:
 - Die Sonne muss scheinen und es muss gleichzeitig regnen.
 - An der Stelle, an der ich mich befinden, muss es vorher geregnet haben.
 - An der Stelle, an der der Regenbogen entstehe, muss in diesem Augenblick regnen.
- Der Regenbogen besteht aus den sechs Farben Gelb, Rot, Blau, Grün, Orange und Lila. Diese Farben sind jeweils konzentrisch um den Mittelpunkt eines Kreises angeordnet.
- Einen Regenbogen sieht man, da sich die Sonne im Regen spiegelt.

7. Schlusswort

Ein mittlerweile bedeutendes Feld der Physikdidaktik sind die Schülervorstellungen zu den Themenbereichen der Physik. Das reicht vom einfachen Konzept der Mechanik bis hin zum komplexen Gebiet der Nanostrukturtechnik oder Quantenphysik. Die Erforschung dieser Teilgebiete der Physik wird immer weiter vorangetrieben, um so, mit deren Erkenntnissen, einen effektiven, aber vor allem auch für die Schüler einen interessanten Unterricht zu gestalten. Die Themengebiete der Physik sind aber so vielfältig wie unsere Umwelt, daher muss für jeden physikalischen Sachverhalt auch eigens die Präkonzepte von Schülern für diese erforscht werden.

Für den Regenbogen wurde dies in dieser Arbeit getan. Dabei ging es unter anderem um die Voraussetzungen und die Entstehung eines Regenbogens, sowie um dessen Erscheinungsbild. Dabei wurde deutlich, dass die Schüler den Regenbogen in der Natur schon oft beobachten konnten. Sie können diesen auch gut beschreiben, außerdem sind mit den Voraussetzungen zur Entstehung bestens vertraut. Aber mit Erklärungen zu dessen Entstehung, sowie Phänomene wie Alexanders Dunkles Band oder auch überzähligen Farben haben sie Probleme.

Insgesamt gesehen ist der Regenbogen für die Optik in der Schule sicherlich von großem Interesse und Bedeutung vor allem für die Schüler, aber auch in den Lehrplänen ist immer noch für ihn Platz vorhanden,¹² da durch ihn von der Physik ein Bezug zur Alltagswelt der Schüler hergestellt werden kann. Desweiteren eignet sich der Regenbogen nicht nur zu Behandlung in der Sekundarstufe I. Auch in höheren Klassen kann der Regenbogen unter dem Gesichtspunkt der Wellenoptik noch einmal aufgegriffen werden.

¹vgl. FÜR SCHULQUALITÄT & BILDUNGSFORSCHUNG: *ISB gesamt: Lehrpläne / Standards Gymnasium G8*,
²vgl. FÜR SCHULQUALITÄT & BILDUNGSFORSCHUNG: *ISB gesamt: Lehrpläne / Standards Realschule R6*,

Literaturverzeichnis

- AUTOR, UNBEKANNT: *Farbkreis nach Newton*. (URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Farbkreis>), online am 17. August 2010 um 15:28.
- BAUMANN, CAROLIN: *Nebelbogen mit mehreren Interferenbögen*. (URL: http://www.meteoros.de/bildarchiv/image.php?gallery_id=155&image_id=302), online am 10. September 2010 um 13.40 Uhr.
- COWLEY, LES: *3rd & 4th Order Rainbows*. (URL: <http://www.atoptics.co.uk/rainbows/ord34.htm>), online am 08. März 2010 um 09.14 Uhr.
- DITTMANN, H. UND SCHNEIDER, W.B.: *Zur Deutung der inneren Regenbögen*. (URL: <http://www.solstice.de/physikprogramme/simulationsprogramm-zum-regenbogen/>), online am 11. November 2009 um 11:43.
- DUIT, REINDERS (1981): *Übersicht über einige Probleme der Erfassung von Vorstellungen*. In DUIT, REINDERS (HRSG.): *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Köln: Aulis Verlag, S. 182–195.
- DUIT, REINDERS (1993a): *Alltagsvorstellungen berücksichtigen*. In HOPF, MARTIN (HRSG.): *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis Verlag, S. 3–7.
- DUIT, REINDERS (1993b): *Schülervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen*. In HOPF, MARTIN (HRSG.): *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis Verlag, S. 8–14.
- FRIEDRICH, CASPAR DAVID: *Landschaft mit Regenbogen*. (URL: <http://www.zeno.org/Kunstwerke/B/Friedrich,+Caspar+David%3A+Landschaft+mit+Regenbogen>), online am 09. März 2010 um 10.41 Uhr.
- GOURDEAU, JUSTINE: *Wolken und Partikel, Basis, Regenbogen*. (URL: http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3__Sonne_und_Wolken/_Regenbogen_3aq.html), online am 16. März 2010 um 21.54 Uhr.
- HAMMER, ANTON UND HAMMER, HILDEGARD UND HAMMER, KARL (2002): *Physikalische Formeln und Tabellen*. München: J. Lindauer Verlag, S. 88.
- HWANG, FU-KWUN: *Polarisation im Regentropfen*. (URL: http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/cd-labo/rainbow/a_exper.htm), online am 10. September 2010 um 13.40 Uhr.
- JUNG, WALTER (1981): *Lebensweltliche und wissenschaftliche Vorstellungen*. In DUIT, REINDERS (HRSG.): *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Köln: Aulis Verlag, S. 64–84.

- JUNG, WALTER (1986): *Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie*. In HOPF, MARTIN (HRSG.): *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis Verlag, S. 15–19.
- LUKESCH, HELMUT (1998): *Einführung in die pädagogisch-psychologische Diagnostik*. Regensburg: Roderer, S. 38–117.
- NIEDERER, HANS UND SCHECKER, HORST (2004): *Naturwissenschaften lernen - Weltbilder ändern*. In KIRCHER, ERNST (HRSG.): *Lehren und lernen über die Natur der Naturwissenschaften*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, S. 247–259.
- PFUNDT, HELGA (1981): *Die Diskrepanz zwischen muttersprachlichem und wissenschaftlichem Weltbild: ein Problem der Naturwissenschaftsdidaktik*. In DUIT, REINDERS (HRSG.): *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Köln: Aulis Verlag, S. 114–131.
- RÖHRER, HEIKE (1992): *Empirische Untersuchung über Schülervorstellungen zum Magnetismus in der Primarstufe*. unveröffentlichte Schriftliche Hausarbeit an der Julius-Maximilians-Universität, Würzburg, Deutschland,, S. 32–94.
- ROLPH, ERIC: *Double-alaskan-rainbow*. [⟨URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Double-alaskan-rainbow.jpg⟩](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Double-alaskan-rainbow.jpg), online am 20. Februar 2010 um 11:28.
- SCHLEGEL, KRISTIAN (2001): *Vom Regenbogen zum Polarlicht. Leuchterscheinungen in der Atmosphäre*. Heidelberg, Berlin: Spektrum Verlag, S. 27–40.
- SCHULQUALITÄT & BILDUNGSFORSCHUNG, STAATSIINSTITUT FÜR: *ISB gesamt: Lehrpläne / Standards Gymnasium G8*. [⟨URL: http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26436⟩](http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26436), online am 08. August 2010 um 15.33 Uhr.
- SCHULQUALITÄT & BILDUNGSFORSCHUNG, STAATSIINSTITUT FÜR: *ISB gesamt: Lehrpläne / Standards Realschule R6*. [⟨URL: http://www.isb.bayern.de/isb/index.asp?MNav=0&QNav=4&TNav=0&INav=0&LpSta=6&STyp=5⟩](http://www.isb.bayern.de/isb/index.asp?MNav=0&QNav=4&TNav=0&INav=0&LpSta=6&STyp=5), online am 08. März 2010 um 09.12 Uhr.
- VOLLMER, MARTIN (2009): *Lichtspiele in der Atmosphäre*. Heidelberg, Berlin: Spektrum Verlag, S. 17–34, S. 101–150.
- WILLERDING, EUGEN (2005): *Zur Theorie von Regenbögen, Glorien und Halos*. Artikel am Argelander Institut für Astronomie, Bonn, Deutschland, [⟨URL: http://www.astro.uni-bonn.de/~willerd/regenbogen.pdf⟩](http://www.astro.uni-bonn.de/~willerd/regenbogen.pdf), online am 13. März 2010 um 10.15 Uhr.
- WITTMANN, JOSEF (1998): *Physik in Wald und Flur*. Köln: Aulis Verlag, S. 129–133.
- WODZINKSI, RITA (1996): *Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten*. In HOPF, MARTIN (HRSG.): *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis Verlag, S. 23–36.

A. Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit in allen Teilen selbständig gefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegeben Hilfsmittel benutzt habe.

Die Zeichnungen, Skizzen, Photos und Abbildungen habe ich, soweit nicht anders angegeben, selbst gefertigt.

Würzburg, den

Unterschrift

Fragebogen zum Regenbogen

Über den Regenbogen hast du bisher noch nichts in der Schule gelernt. Wir wollen wissen, ob und was du dennoch weißt. Wir bitten dich, den Aufgabenbogen gewissenhaft auszufüllen. Dies kann dazu beitragen, zukünftigen Physikunterricht zu verbessern.

Beachte:

- Der Fragebogen ist anonym, es wird niemand erfahren, was du geantwortet hast.
- Der Fragebogen ist keine Klassenarbeit, du wirst also nicht benotet und du kannst keine falschen Antworten geben.
- Du kannst eine vorgegebene Antwort wählen oder eine andere eigene Antwort geben.
- Bitte lese jede Aufgabe sorgfältig durch und beantworte jede Frage!

Die Aufgaben:

1. Damit du einen Regenbogen sehen kannst, muss (Mehrfachantwort möglich):

- die Sonne scheinen
- es regnen
- es geregnet haben
- ein See vorhanden sein.
- _____
- Weiß ich nicht!

2. Damit ich einen Regenbogen sehen kann: An der Stelle, an der ich selber stehe, (eine Antwort)

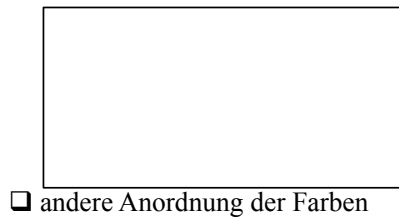
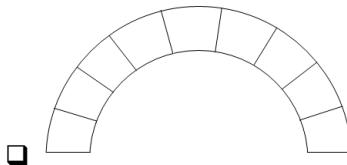
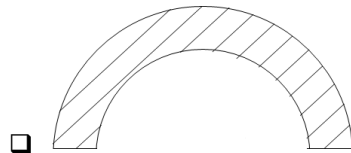
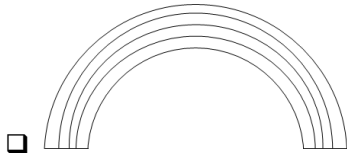
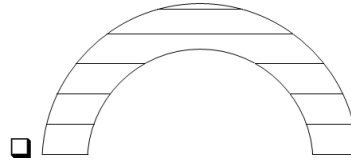
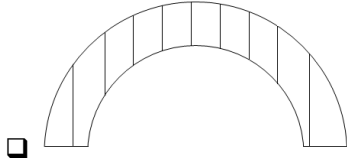
- muss es vorher geregnet haben
- muss es in diesem Augenblick regnen
- darf es nicht regnen
- muss es nass sein
- ist es egal, ob es regnet.
- _____

3. Damit ich einen Regenbogen sehe: An der Stelle, an der der Regenbogen entsteht, (eine Antwort)

- muss es vorher geregnet haben
- muss es in diesem Augenblick regnen
- darf es nicht regnen
- muss es nass sein
- ist es egal, ob es regnet.
- _____

2

4. Wie sind die Farben des Regenbogens angeordnet? (eine Antwort)



5. Welche Farben kommen im Regenbogen vor? (Mehrfachantwort erwünscht)

- | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Blau | <input type="checkbox"/> Braun | <input type="checkbox"/> Grün | <input type="checkbox"/> Gelb |
| <input type="checkbox"/> Violett | <input type="checkbox"/> Orange | <input type="checkbox"/> Schwarz | <input type="checkbox"/> Gold |
| <input type="checkbox"/> Rot | <input type="checkbox"/> Silber | <input type="checkbox"/> Pink | <input type="checkbox"/> Weiß |
| <input type="checkbox"/> Lila | <input type="checkbox"/> Hellblau | <input type="checkbox"/> Hellgrün | <input type="checkbox"/> Flieder |
| <input type="checkbox"/> _____ | | | |


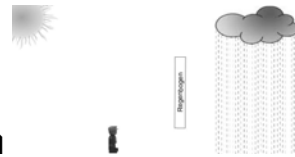

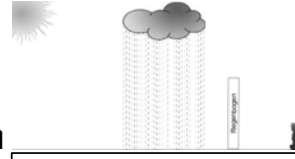
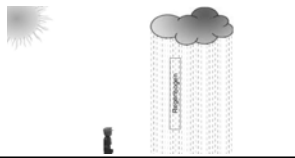
6. Ordne die in Frage 5 angekreuzten Farben in der richtigen Reihenfolge an (beginne entweder von links nach rechts oder von oben nach unten).

7. Der Regenbogen ist rund, da (eine Antwort)

- die Erde rund ist.
- die Sonne rund ist.
- die Regentropfen rund sind.
- die Schwerkraft den Regenbogen nach unten zieht.
- _____
- Weiß ich nicht!


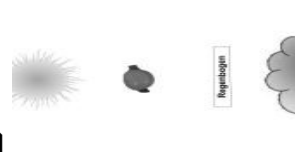



3

8. Du beobachtest jemanden, der sich einen Regenbogen ansieht. Wie sind Beobachter, Sonne, Regen und Regenbogen angeordnet? (eine Antwort)

<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 50px; margin-left: 50px;"></div>

andere Anordnung

9. Aus der Vogelperspektive sind Beobachter, Sonne, Regen und Regenbogen wie folgt angeordnet: (eine Antwort)

<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 50px; margin-left: 50px;"></div>

andere Anordnung

10. Du kannst einen Regenbogen sehen (eine Antwort)

- durch Sonne und das verdunstende Wasser nach einem Regen.
- da sich die Sonne im See spiegelt.
- da sich die Sonne im Regen spiegelt.
- da er in den angestrahlten Regentropfen entsteht.
- da die Sonne ihn in die Wolken malt.
- _____
- Weiß ich nicht!

4

11. Die Farben des Regenbogens entstehen durch (eine Antwort)

- die Spiegelung des Sonnenlichts an der Erde.
 - die Aufteilung des Lichts im Wasser.
 - die Aufteilung des Lichts am Übergang von Luft zu Wasser.
 - _____
 - Weiß ich nicht!
-

12. Der Fuß des Regenbogens (mehrere Antworten möglich):

- ist nicht erreichbar, da der Regenbogen sich mit dem Beobachter bewegt.
 - ist nicht erreichbar, da der Regenbogen verschwindet, bevor man dort ist.
 - dort ist etwas Kostbares zu finden.
 - existiert nicht.
 - _____
-

13. Kannst du unterhalb des eigentlichen Regenbogens etwas beobachten? (eine Antwort)

- Nichts
 - Manchmal einen weiteren Regenbogen, evtl. nur teilweise
 - _____
-

14. Kannst du oberhalb des eigentlichen Regenbogens etwas beobachten? (eine Antwort)

- Nichts
 - Manchmal einen weiteren Regenbogen, evtl. nur teilweise
 - _____
-

15. Falls du bei Frage 13 etwas gesehen hast, ist dir zwischen dem eigentlichen Regenbogen der Beobachtung darunter etwas aufgefallen? (Mehrfachantwort möglich)

- Der Himmel ist heller.
 - Der Himmel ist dunkler.
 - Einzelne Farben
 - _____
-

16. Falls du bei Frage 14 etwas gesehen hast, ist dir zwischen der Beobachtung und dem Regenbogen aufgefallen? (Mehrfachantwort möglich)

- Der Himmel ist heller.
- Der Himmel ist dunkler.
- Einzelne Farben
- _____

Vielen Dank!

Fragebogen zum Regenbogen

Über den Regenbogen hast du bisher noch nichts in der Schule gelernt. Wir wollen wissen, ob und was du dennoch weißt. Wir bitten dich, den Aufgabenbogen gewissenhaft auszufüllen. Dies kann dazu beitragen, zukünftigen Physikunterricht zu verbessern.

Beachte:

- Der Fragebogen ist anonym, es wird niemand erfahren, was du geantwortet hast.
- Der Fragebogen ist keine Klassenarbeit, du wirst also nicht benotet und du kannst keine falschen Antworten geben.
- Du kannst eine vorgegebene Antwort wählen oder eine andere eigene Antwort geben.
- Bitte lese jede Aufgabe sorgfältig durch und beantworte jede Frage!

Die Aufgaben:

1. Damit du einen Regenbogen sehen kannst, muss (Mehrfachantwort möglich):

die Sonne scheinen

es regnen

es geregnet haben

ein See vorhanden sein.

Weiß ich nicht!

2. Damit ich einen Regenbogen sehen kann: An der Stelle, an der ich selber stehe, (eine Antwort)

muss es vorher geregnet haben

muss es in diesem Augenblick regnen

darf es nicht regnen

muss es nass sein

ist es egal, ob es regnet.

3. Damit ich einen Regenbogen sehe: An der Stelle, an der der Regenbogen entsteht, (eine Antwort)

muss es vorher geregnet haben

muss es in diesem Augenblick regnen

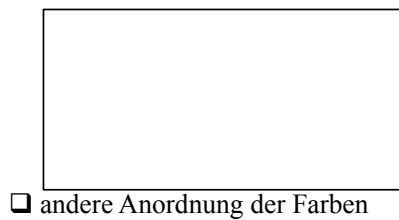
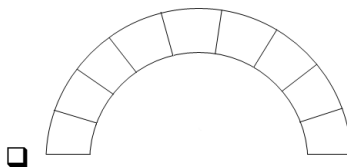
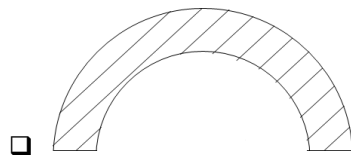
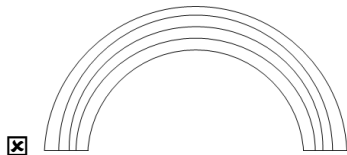
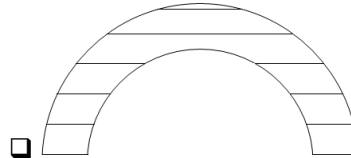
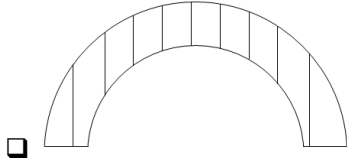
darf es nicht regnen

muss es nass sein

ist es egal, ob es regnet.

2

4. Wie sind die Farben des Regenbogens angeordnet? (eine Antwort)



5. Welche Farben kommen im Regenbogen vor? (Mehrfachantwort erwünscht)

- | | | | |
|---|--|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Blau | <input type="checkbox"/> Braun | <input checked="" type="checkbox"/> Grün | <input checked="" type="checkbox"/> Gelb |
| <input checked="" type="checkbox"/> Violett | <input checked="" type="checkbox"/> Orange | <input type="checkbox"/> Schwarz | <input type="checkbox"/> Gold |
| <input checked="" type="checkbox"/> Rot | <input type="checkbox"/> Silber | <input type="checkbox"/> Pink | <input type="checkbox"/> Weiß |
| <input type="checkbox"/> Lila | <input type="checkbox"/> Hellblau | <input type="checkbox"/> Hellgrün | <input type="checkbox"/> Flieder |
| <input type="checkbox"/> _____ | | | |

6. Ordne die in Frage 5 angekreuzten Farben in der richtigen Reihenfolge an (beginne entweder von links nach rechts oder von oben nach unten).


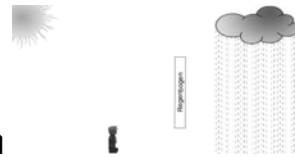

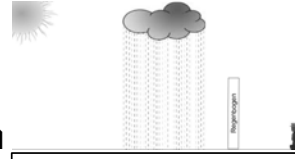
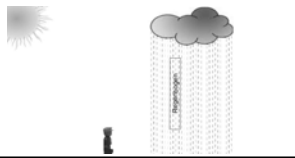
Von oben nach unten: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett

7. Der Regenbogen ist rund, da (eine Antwort)


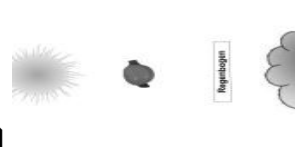



- die Erde rund ist.
- die Sonne rund ist.
- die Regentropfen rund sind.
- die Schwerkraft den Regenbogen nach unten zieht.
- _____
- Weiß ich nicht!

3

8. Du beobachtest jemanden, der sich einen Regenbogen ansieht. Wie sind Beobachter, Sonne, Regen und Regenbogen angeordnet? (eine Antwort)

<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 
<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 
<input checked="" type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 60px; margin: 0 auto;"></div> <p>andere Anordnung</p>

9. Aus der Vogelperspektive sind Beobachter, Sonne, Regen und Regenbogen wie folgt angeordnet: (eine Antwort)

<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 
<input type="checkbox"/> 	<input checked="" type="checkbox"/> 
<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 60px; margin: 0 auto;"></div> <p>andere Anordnung</p>

10. Du kannst einen Regenbogen sehen (eine Antwort)

- durch Sonne und das verdunstende Wasser nach einem Regen.
- da sich die Sonne im See spiegelt.
- da sich die Sonne im Regen spiegelt.
- da er in den angestrahlten Regentropfen entsteht.
- da die Sonne ihn in die Wolken malt.
- _____
- Weiß ich nicht!

4

11. Die Farben des Regenbogens entstehen durch (eine Antwort)

- die Spiegelung des Sonnenlichts an der Erde.
 - die Aufteilung des Lichts im Wasser.
 - die Aufteilung des Lichts am Übergang von Luft zu Wasser.
 - _____
 - Weiß ich nicht!
-

12. Der Fuß des Regenbogens (mehrere Antworten möglich):

- ist nicht erreichbar, da der Regenbogen sich mit dem Beobachter bewegt.
 - ist nicht erreichbar, da der Regenbogen verschwindet, bevor man dort ist.
 - dort ist etwas Kostbares zu finden.
 - existiert nicht.
 - _____
-

13. Kannst du unterhalb des eigentlichen Regenbogens etwas beobachten? (eine Antwort)

- Nichts
 - Manchmal einen weiteren Regenbogen, evtl. nur teilweise
 - _____
-

14. Kannst du oberhalb des eigentlichen Regenbogens etwas beobachten? (eine Antwort)

- Nichts
 - Manchmal einen weiteren Regenbogen, evtl. nur teilweise
 - _____
-

15. Falls du bei Frage 13 etwas gesehen hast, ist dir zwischen dem eigentlichen Regenbogen der Beobachtung darunter etwas aufgefallen? (Mehrfachantwort möglich)

- Der Himmel ist heller.
 - Der Himmel ist dunkler.
 - Einzelne Farben
 - _____
-

16. Falls du bei Frage 14 etwas gesehen hast, ist dir zwischen der Beobachtung und dem Regenbogen aufgefallen? (Mehrfachantwort möglich)

- Der Himmel ist heller.
 - Der Himmel ist dunkler.
 - Einzelne Farben
 - _____
-

Vielen Dank!

Der ausgefüllte Fragebogen soll nur als Beispiel dienen, wie ein solcher Fragebogen ausgefüllt werden kann. Er ist keine Musterlösung, da es auf eine Frage mehr als nur eine vernünftige Antwort geben kann.

Kurze Auswertung

	Nicht ausgefüllt	Antwort 1	Antwort 2	Antwort 3	Antwort 4	Antwort 5	Antwort 6	Antwort 7
Frage 1	0%	99%	68%	32%	1%	1%	0%	
Frage 2	2%	31%	25%	1%	13%	25%	3%	
Frage 3	4%	34%	40%	3%	11%	5%	3%	
Frage 4	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	
Frage 5	Auswertung erfolgt in einer gesonderten Tabelle							
Frage 6	26%	8%	5%	6%	54%			
Frage 7	1%	23%	12%	7%	22%	4%	31%	
Frage 8	5%	18%	27%	20%	16%	11%	4%	
Frage 9	10%	11%	10%	26%	22%	14%	8%	
Frage 10	1%	32%	2%	36%	20%	1%	4%	4%
Frage 11	2%	16%	44%	21%	3%	13%		
Frage 12	2%	48%	26%	3%	59%	5%		
Frage 13	4%	47%	44%	4%				
Frage 14	6%	59%	29%	7%				
Frage 15	32%	41%	17%	34%	2%			
Frage 16	48%	26%	20%	20%	1%			

Kurze Auswertung

Auswertung Frage 5:

Farben:

Blau	Violett	Rot	Lila	Braun	Orange	Silber	Hellblau
87%	53%	93%	55%	4%	75%	1%	33%

Grün	Schwarz	Pink	Hellgrün	Gelb	Gold	Weiß	Flieder
79%	1%	15%	35%	96%	2%	1%	6%

Anzahl der Farben:

0	1	2	3	4	5	6	7
0%	0%	0%	1%	11%	20%	28%	18%

8	9	10	11	12	13	14	15	16
10%	7%	1%	2%	0%	0%	1%	0%	0%

Falsche Farben:

Weiß	1%
Braun	1%
Gold	1%
Gold, Silber, Braun	1%
Schwarz, Weiß, Gold, Silber, Braun	0%
keine falsche Farbe	95%