

**Konzipierung und Evaluation  
eines Schüler-Experimentierlabors  
zum Thema Optik  
(Schwerpunkt Evaluation)**

Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung  
für das Lehramt an Realschulen

Eingereicht von Max Kilian  
im März 2009  
am Lehrstuhl für Physikdidaktik

Betreut von  
Prof. Dr. Thomas Trefzger  
und  
AR Matthias Völker

„Eine Investition in Wissen bringt immer noch die besten Zinsen.“

(Benjamin Franklin (1706-90), amerikanischer Politiker, Schriftsteller und  
Naturwissenschaftler)

# **Inhaltsverzeichnis**

1. Vorwort .....	5
2. Einleitung .....	6
3. Schülerlabor .....	6
4. Grundlagen .....	7
4.1 Fachliche Grundlagen.....	7
4.2. Statistische Grundlagen.....	8
4.3. Grundlagen der Interessenforschung.....	8
5. Lehrpläne.....	9
5.1. Lehrplan Physik 7 / Wahlpflichtgruppe I Realschule.....	9
5.2. Lehrplan Physik 8 / Wahlpflichtgruppe II / III Realschule .....	11
5.3. Lehrplan Natur und Technik 7 (Physik) / Gymnasium .....	12
6. Das Schülerlabor „Es werde Licht“ .....	13
6.1. Persönliche Erfahrungen .....	13
6.2. Ergebnisse des Schülerlabors „Auf den Spuren des Lichts“ .....	13
6.3. Konzipierung des Schülerlabors „Es werde Licht“ .....	18
6.3.1. Der einführende Vortrag.....	18
6.3.2.Die Stationen .....	18
6.3.2.1. Das Auge .....	19
6.3.2.2. Sonne, Mond und Spiegelung.....	20
6.3.2.3. Die bunte Welt der Farben .....	22
6.3.3 Ergänzungen zum Schülerlabor.....	23
6.4. Erläuterungen zum Konzept des Schülerlabors.....	24
7. Datenerhebung .....	25
7.1. Der Vortest .....	25
7.1.1. Allgemeines:.....	25
7.1.2. Experimente im Unterricht:.....	25
7.1.3. Experimentelle Erfahrung: .....	26
7.1.4. Aussagen: .....	26
7.1.5. Physikalische Vorkenntnisse.....	27
7.2. Der Beobachtungsbogen.....	28
7.3. Der Nachttest .....	29
7.3.1. Allgemeines:.....	29
7.3.2. Aussagen .....	29
7.3.3. Interessanteste Station .....	31
7.3.4. Lehrreichste Station.....	31

7.3.5. Beurteilung des Schülerlabors.....	31
7.3.6. Physiktest.....	32
7.4. Korrektur der Tests.....	35
8. Evaluation.....	36
8.1. Auswertung auf Klassenbasis.....	36
8.1.1. Klasse A .....	36
8.1.2. Klasse B.....	38
8.1.3. Klasse C.....	40
8.1.4. Klasse D .....	43
8.1.5. Klasse E.....	45
8.1.6. Klasse F.....	48
8.1.7. Vergleich der Klassen .....	50
8.2. Gesamtauswertung .....	57
8.2.1. Auswertung des Fachtests .....	57
8.2.2. Auswertung des Fragbogens.....	65
9. Abschließende Bemerkung .....	78
10. Anhang .....	79
10.1 Vortest .....	80
10.2 Dokumentationsbogen.....	87
10.3 Nachtest.....	88
10.4. Bewertung der Fragebögen .....	97
10.5. Korrektur des Vortests.....	98
10.6. Korrektur des Nachtests .....	100
10.7. Präsentation zum einführenden Vortrag.....	102
10.8. Schülerhandouts .....	110
10.9. Ergänzungsheft zum Schülerlabor.....	137
10.10. Ausdrucke für die Stationen .....	147
10.11. Laserwarnschild.....	170
10.12 Fotos einiger Versuchsaufbauten .....	171
10.13. Eindrücke aus der Arbeit während des Schülerlabors.....	175
10.14. Fotos des einführenden Vortrags mit Quellenangaben.....	177
10.15. Quellenverzeichnis .....	183
11. Danksagung.....	187
12. Erklärung.....	188

# **1. Vorwort**

Diese Arbeit wurde als Teil einer praktischen Aufgabenstellung angefertigt. Im Rahmen dieser Aufgabenstellung wurde ein Schülerlabor zum Thema Optik von zwei Studenten erstellt. Das konzipierte Schülerlabor wurde insgesamt sechsmal durchgeführt, wobei die Schüler vor und nach dem Laborbesuch befragt wurden. Die so erhaltenen Daten wurden anschließend ausgewertet.

Die Konzeption und Ausarbeitung des Schülerlabors sind Teil der schriftlichen Hausarbeit von Verena Roth und werden dort im Detail beschrieben.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Evaluation des konzipierten Schülerlabors, wobei jedoch ebenfalls kurz auf das Schülerlabor eingegangen wird.

## **2. Einleitung**

Die Worte „Eine Investition in Wissen bringt immer noch die besten Zinsen“<sup>1</sup> wurden, in Anlehnung an die aktuelle Finanzkrise, aus mehreren Gründen als Leitzitat für diese Arbeit gewählt. Erstens weisen sie auf Wissen als höchstes Gut hin, was den Stellenwert der Ausbildung verdeutlicht. Menschen die in ihr eigenes Wissen investieren, zum Beispiel durch hohes schulisches Engagement, werden später von diesem Wissen profitieren. Darüber hinaus können diese Worte allerdings auch so verstanden werden, dass Investitionen ins Schulwesen, welches die Basis des Wissenserwerbs darstellt, sich deutlich bezahlt machen. Man sollte also auch in Bildungseinrichtungen investieren, um später von den „Zinsen zu profitieren“ Dabei können Anstrengungen zur Verbesserung des Schulunterrichts, wie beispielsweise die Erarbeitung alternativer Unterrichtsformen, durchaus als Investitionen angesehen werden. So betrachtet sind Schüler-Experimentierlabore, und ähnliche didaktische Maßnahmen zur Verbesserung des Lernerfolgs bei Schülern, ebenfalls als Investitionen in Wissen zu betrachten, welche sich für Schüler bezahlt machen könnten. Da nicht jede dieser Neuerungen den gewünschten Erfolg erzielt, muss wiederum Arbeit in die Evaluation investiert werden. Nur so kann beurteilt werden, ob die Veränderungen wirkliche Verbesserungen darstellen. Ziel dieser Arbeit ist es festzustellen, ob das erstellte Schülerlabor „Es werde Licht“ die „erhofften Renditen erzielt oder als eine Fehlinvestition zu beurteilen ist.“

## **3. Schülerlabor**

Schülerlabor bezeichnet einen außerschulischen Lernort, der den Schüler anhand ausgesuchter Experimente ermöglicht, „selbständig Erfahrungen zu sammeln und sich mit wissenschaftlichen Problemstellungen auseinander zu setzen.“<sup>2</sup> Hierbei sollen die Schüler Experimente zu einem bestimmten Themengebiet eigenständig durchführen, denn: „Das beste Training liegt immer noch im selbständigen Machen (Cyril Northcote Parkinson).“<sup>3</sup> Den Schülern soll durch ein Schülerlabor jedoch nicht nur Fachwissen zu bestimmten Themen vermittelt werden, sondern auch das Interesse der Schüler soll gefördert beziehungsweise geweckt werden. Näheres zu Schülerlaboren kann der Zulassungsarbeit von Fr. Roth entnommen werden, weshalb sie an dieser Stelle nicht weiter thematisiert werden.

---

<sup>1</sup> Quelle: <http://www.zitate.de/ergebnisse.php?kategorie=&stichwort=&autor=Franklin%2C%3F%2FBenjamin&x=14&y=3> (17.3.09)

<sup>2</sup> Quelle: Engeln: Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen, S.13

<sup>3</sup> Quelle: <http://www.zitate.de/ergebnisse.php?sz=2&stichwort=&kategorie=&autor=Parkinson,?/Cyril?/Northcote&linka=kategorie> (17.3.09)

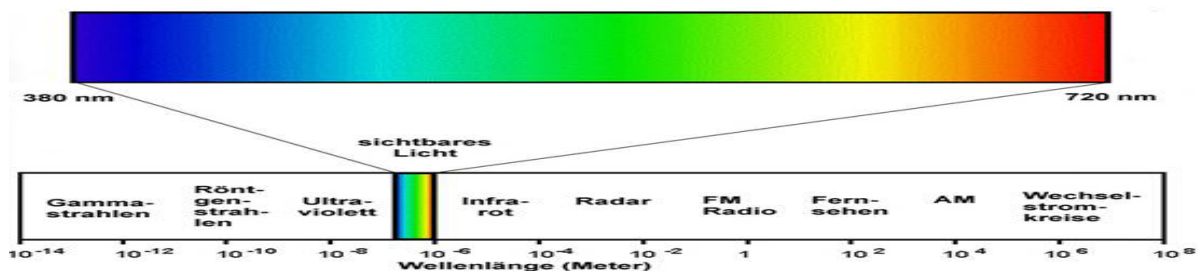
## 4. Grundlagen

Das nachfolgende Kapitel befasst sich mit dem für das Verständnis der weiteren Kapitel benötigtem Vorwissen. Es wird dabei knapp auf Inhalte aus den Bereichen der Naturwissenschaften, Statistik und Interessenforschung eingegangen.

### 4.1 Fachliche Grundlagen

Da sich das Schülerlabor „Es werde Licht“ mit der geometrischen Optik beschäftigt ist es sinnvoll sich mit den fachlichen Grundlagen dieses Themas zu beschäftigen. Da auf diese Inhalte jedoch schon ausführlich in der Arbeit von Fr. Roth eingegangen wird, soll diese Arbeit nur ein kurzer Überblick geben. Bei Bedarf können diese Inhalte entweder bei Fr. Roth oder in einem anderen physikalischen Lehr- bzw. Sachbuch, welches sich mit Optik beschäftigt (z.B.: Tipler/Mosca: Physik) im Detail nachgelesen werden.

Licht bezeichnet im Allgemeinen den sichtbaren Bereich elektromagnetischer Strahlung. Das menschliche Auge kann ungefähr Wellenlängen zwischen 400nm und 700nm<sup>4</sup> als Licht wahrnehmen. Zur Veranschaulichung dieses Spektrums dient die folgende Abbildung<sup>5</sup>:



Da sich das Schülerlabor mit geometrischer Optik befasst, werden die Welleneigenschaften des Lichts vernachlässigt, und die Modellvorstellung des Lichtstrahls als Vereinfachung gewählt. Diese Lichtstrahlen, welche von einer Lichtquelle kugelförmig in alle Richtungen ausgestrahlt werden, breiten sich geradlinig aus. Weitere physikalische Grundlagen des Lichts sind die Reflexion an Oberflächen und die Brechung beim Übergang in ein anderes Medium. Viele der weiteren Themen, wie Totalreflexion, kontinuierliche Brechung, Streuung und Dispersion, sowie optische Geräte wie der Spiegel oder Linsen, können durch konsequente Anwendung dieser beiden Prinzipien erklärt werden. Kenntnisse zur Farbmischung gehören ebenfalls zu den physikalischen Grundlagen. Zusätzlich wird noch ausgewähltes Wissen aus anderen Fachgebieten benötigt. Diese sind Wahrnehmungspsychologie (Optische Täuschungen), Biologie (Aufbau des Auges) und Astronomie (Mondphasen und Finsternisse).

<sup>4</sup> Vgl.: Tipler/Mosca: Physik S.991

<sup>5</sup>Quelle: <http://tubus.biz/images/image001.jpg> (17.3.2009)

## 4.2. Statistische Grundlagen<sup>6</sup>

Um einen Fragebogen auszuwerten, benötigt man statistische Grundlagen. Die Verteilung jeder Variablen soll durch charakteristische Kennzahlen beschrieben werden. Diese Kennzahlen sind der Mittelwert und die Varianz. Dabei bezeichnet der Mittelwert  $\mu$  den durchschnittlichen Wert der Variablen. Als Lageparameter kennzeichnet er die „Lage“ der Werte auf dem Zahlenstrahl. Für eine Grundgesamtheit von  $N$  Elementen (den Fragebögen), wobei jedem dieser Elemente ein bestimmter Wert  $x_i$  ( $i= 1, \dots, N$ ) zugeordnet wird (der Zahlenwert zu der entspr. Antwort), entspricht der Mittelwert dem arithmetischen Mittel. Es gilt also:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Darüber hinaus wird den Variablen noch eine Zahl zugeordnet, die ein Maß dafür darstellt, wie stark eine Variable um ihren Mittelwert  $\mu$  streut. Die durchschnittliche quadratische Abweichung vom Mittelwert bezeichnet man als Varianz  $\sigma^2$ . Die nicht-negative Wurzel  $\sigma$  aus der Varianz heißt Standardabweichung oder Streuung. Die Varianz einer Grundgesamtheit von  $N$  Elementen, mit den zugehörigen Werten  $x_i$  ( $i= 1, \dots, N$ ), und dem Mittelwert  $\mu$  wird nach folgender Formel berechnet:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2$$

## 4.3. Grundlagen der Interessenforschung<sup>7</sup>

Da die Frage, ob das Labor Interesse an Physik fördert, eine zentrale Rolle in dieser Arbeit spielt, soll zunächst kurz auf theoretische Hintergründe des Interesses eingegangen werden. Interesse bezeichnet „die besondere Beziehung einer Person zu einem Gegenstand und ist somit stets gegenstandsspezifisch. Die Person assoziiert die Gegenstände des Interesses mit positiven Gefühlen und ordnet ihnen eine herausgehobene persönliche Bedeutung zu.“<sup>8</sup> Da Interesse, als intrinsische Motivation, positiven Einfluss auf die „Lernsteuerung, ... die Erlebnisqualität während des Lernens ... und den kurz- und langfristigen Output des Lernens hat“<sup>9</sup>, ist es sinnvoll das individuelle Interesse der Schüler an Physik zu steigern. Individuelles Interesse ist jedoch stark personenabhängig und entwickelt sich nur langsam. Um individuelles Interesse an Physik zu fördern, muss bei konkreter Beschäftigung mit physikalischen Inhalten aktuelles Interesse entstehen. Dieses ist zwar weniger fest in der Persönlichkeit verankert, hat jedoch ebenfalls positiven Einfluss auf das Lernen. Es wird in eine emotionale, eine wertbezogene und eine epistemische Komponente aufgegliedert.

<sup>6</sup> Vgl.: Basler: Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistischen Methodenlehre, S.92ff und 103ff

<sup>7</sup> Vgl.: Engeln: Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen, S.49 ff

<sup>8</sup> Quelle: Engeln: Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen, S.49f

<sup>9</sup> Quelle: Engeln: Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen, S.54 (zitiert nach A. Krapp)



## **5. Lehrpläne**

Die Inhalte des Schülerlabors sollen sich auf der einen Seite möglichst gut in den Schulunterricht eingliedern, damit die Schüler ihr erworbenes bzw. vertieftes Wissen im Schulalltag nutzen können. Andererseits gehen Teile des Schülerlabors auch über den Lehrplan hinaus und behandeln weitere Themen, denn die Versuche sollen auch das Interesse der Schüler an physikalischen Phänomenen außerhalb des Schulstoffs wecken. Es ist also sinnvoll den Lehrplan der jeweiligen Klassen zu berücksichtigen, wenn man eine Arbeit über ein Schülerlabor verfasst.

Das Themengebiet Optik wird in verschiedenen Jahrgangsstufen durchgenommen:

In der Wahlpflichtfachgruppe I an Realschulen wird Optik als Teil des Physikunterrichts in der 7. Jahrgangsstufe behandelt.

In den Wahlpflichtfachgruppen II bzw. III an Realschulen wird Optik als Teil des Physikunterrichts in der 8. Jahrgangsstufe behandelt.

Im Gymnasium wird Optik, auf dem im Schülerlabor benötigtem Niveau, als Teil des Unterrichts in Natur und Technik (Schwerpunkt Physik) in der 7. Jahrgangsstufe behandelt.

### **5.1. Lehrplan Physik 7 / Wahlpflichtgruppe I Realschule<sup>10</sup>**

#### **Allgemeines**

Die Schüler sollen behutsam an die Sicht- und Arbeitsweisen der Physik herangeführt werden, wobei auf eine Mathematisierung der Physik weitgehend verzichtet wird und entsprechende Inhalte eher unter phänomenologischem Aspekt erarbeitet werden.

Die aktive Beteiligung der Schüler an Planung, Durchführung und Auswertung der Experimente ist ebenso wichtig, wie ausreichende Übungs- und Anwendungsphasen.

#### **Optik (insgesamt ca. 27 Unterrichtsstunden)**

Ausbreitung des Lichts (ca. 4 Std.):

- Lichtquellen und Lichtempfänger; optische Wahrnehmung; Hinweis auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts im Vakuum und anderen optischen Medien
- Lichtbündel: Lichtstrahl als Modell
- Schatten: Kern-, Halbschatten: partielle und totale Mond und Sonnenfinsternis

---

<sup>10</sup> Vgl.: <http://www.isb.bayern.de/isb/download.aspx?DownloadFileID=dde231ee9f7f79494fb4cb62368bc7ce> (25.2.09)

### Reflexion des Lichts ( ca. 3 Std):

- gerichtete und diffuse Reflexion
- Reflexionsgesetz: Einfallender und reflektierter Lichtstrahl liegen mit dem Einfallslot in einer Ebene; Einfallswinkel- und Reflexionswinkel sind gleich groß; Umkehrbarkeit des Lichtweges
- Reflexion an ebenen Spiegeln; Spiegelbild; Anwendungen

### Brechung, Totalreflexion und Dispersion (ca.9 Std):

- Verhalten des Lichts beim Übergang von einem optischen Medium in ein zweites; Umkehrbarkeit des Lichtweges (optisches Medium: ein optisches Medium M1 wird als optisch dichter als ein Medium bezeichnet, wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts in M1 geringer als in M2 ist)
- Zusammenhang zwischen Einfall- und Brechungswinkel für verschiedene Medienpaare: graphische Auswertung ( $\beta$ - $\epsilon$ -Diagramm)
- Totalreflexion: Bedingungen für das Eintreten von Totalreflexion)
- Brechung an planparalleler Platte und am Prisma
- Naturerscheinungen und Anwendungen für Brechung und Totalreflexion
- Dispersion: Brechung des weißen Lichts beim Durchgang durch ein Prisma: kontinuierliches Spektrum, monochromatisches Licht, an den sichtbaren Bereich des Spektrums angrenzende Spektralbereiche; Entstehung des Regenbogens  
(aus der Geschichte : I. Newton, J. W. v. Goethe)

### Optische Linsen und optische Instrumente (ca.11 Std)

- Brechung des Lichts durch dünne sphärische Linsen; Arten von Linsen und ihre Wirkung auf divergente, parallele und konvergente Lichtbündel
- Begriff der optischen Abbildung; Gegenstandspunkt Bildpunkt; Abbildung durch dünne Sammellinsen: Zusammenhang zwischen Gegenstands- und Bildweite, Art der Bilder; graphische Auswertung (b-g-Diagramm); qualitative Formulierung der Ergebnisse
- Abbildung durch das Auge; Arten der Fehlsichtigkeit sowie Maßnahmen zu deren Behebung
- Sehinkel; Netzhautbild; Lupe als optisches Gerät zur Vergrößerung des Sehinkels
- Bau und Funktionsweise von optischen Instrumenten: Fernrohr und Fotoapparat

## **5.2. Lehrplan Physik 8 / Wahlpflichtgruppe II / III Realschule<sup>11</sup>**

### **Allgemeines**

Die Schüler sollen mit der physikalischen Arbeitsweise und Fachsprache vertraut gemacht werden. Dabei sollen sie, basierend auf ihren Beobachtungen, selbständig Probleme beschreiben und Lösungen suchen. Dadurch lernen sie geeignete Versuche zu planen, durchzuführen, auszuwerten und zu deuten. Darüber hinaus sollen sie Gesetzmäßigkeiten formulieren und deren Grenzen feststellen, wobei der Bezug zu Natur, Technik und Umwelt einen hohen Stellenwert einnehmen soll.

Neben Demonstrationsversuchen werden Experimente auch bei Schülerübungen, in Lernzirkeln oder als Hausaufgabe durchgeführt. Durch diese Eigentätigkeit wird nicht nur das Fachinteresse gesteigert, sondern auch Selbständigkeit und Teamfähigkeit gefördert.

### **Optik (insgesamt ca. 11 Unterrichtsstunden)**

Ausbreitung des Lichts (ca. 3 Std.):

- Lichtquellen und Lichtempfänger; optische Wahrnehmung
- Lichtbündel: Lichtstrahl als Modell
- Schatten: Kern-, Halbschatten: partielle und totale Mond und Sonnenfinsternis

Optische Linsen und optische Instrumente (ca. 8 Std.)

- Brechung des Lichts durch dünne sphärische Linsen; Arten von Linsen und ihre Wirkung auf divergente, parallele und konvergente Lichtbündel
- Begriff der optischen Abbildung; Gegenstandspunkt Bildpunkt
- Abbildung durch dünne Sammellinsen: Zusammenhang zwischen Gegenstands- und Bildweite, Art der Bilder
- Abbildung durch das Auge; Arten der Fehlsichtigkeit sowie Maßnahmen zu deren Behebung
- Bau und Funktionsweise von optischen Instrumenten: Fernrohr und Fotoapparat

---

<sup>11</sup> Vgl.: <http://www.isb.bayern.de/isb/download.aspx?DownloadFileID=cb001a9eb3247f1af15075b4d4b0d585> (25.2.09)

## **5.3. Lehrplan Natur und Technik 7 (Physik) / Gymnasium<sup>12</sup>**

### **Allgemeines**

Bereits bekannte Arbeitsmethoden wie die Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten werden weiter vertieft und physikalisch Grundbegriffe und Denkweisen genauer kennengelernt. Die Beschreibung physikalischer Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten erfolgt unter Verwendung der Fachbegriffe überwiegend verbal.

Durch einen hohen Alltagsbezug wird das Interesse der Schüler gefördert, wodurch der Mut steigt sich auch mit komplexeren naturwissenschaftlichen Zusammenhängen zu beschäftigen. Wegen der Vernetzung der Physik mit Fragestellungen aus Biologie, Chemie und Geographie erkennen die Schüler die hohe Bedeutung der Physik innerhalb der Naturwissenschaften.

Darüber hinaus wird den Schülern, durch den behutsamen Gebrauch mathematischer Methoden, der Nutzen der Mathematik für die Physik deutlich und sie üben den rechnerischen Umgang mit physikalischen Größen und Einheiten. Das Beachten sinnvoller Genauigkeitsangaben soll den Schülern, durch die Verwendung des Taschenrechners, ebenfalls vermittelt werden.

Regelmäßige Schülerexperimente und experimentelle Hausaufgaben sollen die Schüler zum eigenverantwortlichen und kreativem Arbeiten anregen und so die Freude an der Physik und am Forschen wecken.

### **Optik (insgesamt ca. 16 Unterrichtsstunden)**

Geradlinige Ausbreitung des Lichts

- Lichtquellen, Lichtstrahl als Modellvorstellung, Lichtausbreitung und „Sehen“
- Schattenbildung, Mondphasen, Sonnen- und Mondfinsternis

Bilder bei Spiegeln und Linsen

- Reflexion und Spiegelbild
- Brechung, Abbildung durch Linsen, Konstruktion von reellen und virtuellen Bildern
- Auge und Fehlsichtigkeit, Bildentstehung bei einem optischen Instrument

Farben

- Spektrale Zerlegung von weißem Licht, Regenbogen
- Farbigkeit als Stoffeigenschaft, Farbwahrnehmung

---

<sup>12</sup> Vgl.: <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/content/serv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26436> (25.2.09)

## 6. Das Schülerlabor „Es werde Licht“

### 6.1. Persönliche Erfahrungen

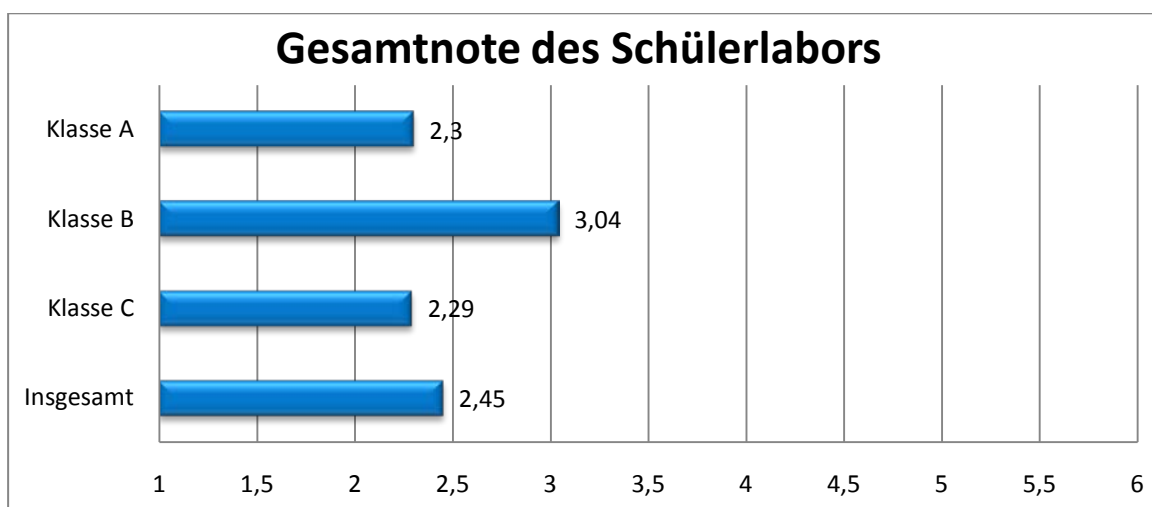
Als Basis für das Schülerlabor „Es werde Licht“ konnten die Erfahrungen aus dem Seminar „Außerschulische Lernorte“ und das in diesem Seminar erarbeitete Schülerlabor „Auf den Spuren des Lichts“ verwendet werden. Da auf die beiden Veranstaltungen bereits in der Arbeit von Fr. Roth näher eingegangen wird, soll an dieser Stelle darauf verzichtet werden. Die Auswertung des Labors „Auf den Spuren des Lichts“ liefert weitere Ergebnisse, auf die man bei der Entwicklung eines eigenen Schülerlabors zurückgreifen kann.

### 6.2. Ergebnisse des Schülerlabors „Auf den Spuren des Lichts“

Das Schülerlabor „Auf den Spuren des Lichts“ wurde von drei siebten Klassen des Siebold-Gymnasiums Würzburg besucht. Insgesamt wurde das Labor von 75 Schülern (48 Mädchen; 24 Jungs; 3 ohne Angabe) mit einem Durchschnittsalter von 13,0 Jahren besucht.

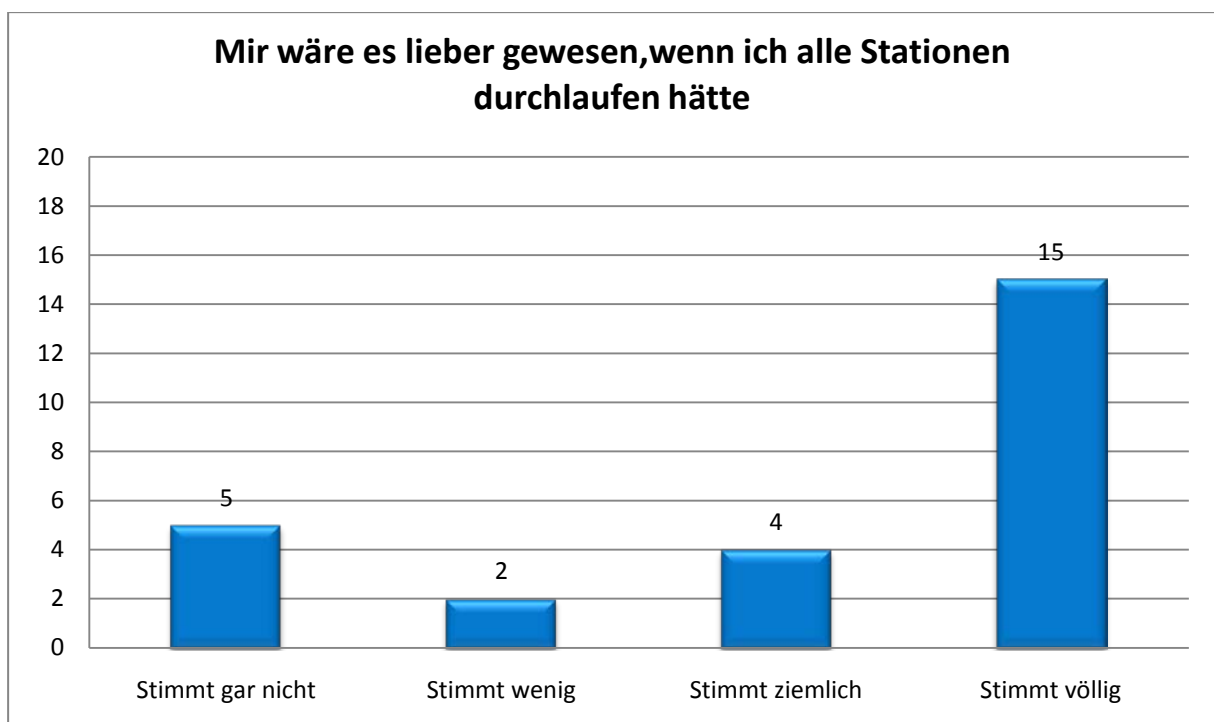
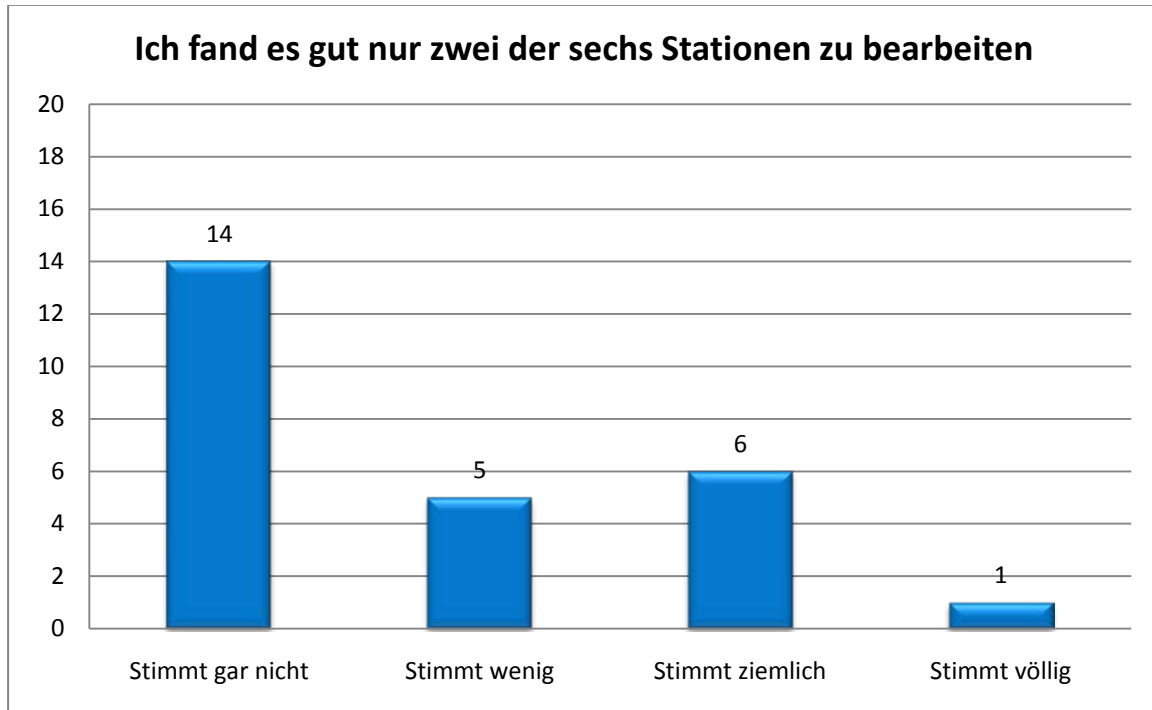
Bei zwei der Klassen (A und B) wurde die „Alle-machen-alles-Methode“, bei der jeder Schüler jede Station durchläuft, angewandt, während bei der dritten Klasse (C) die Präsentationsmethode des Schülerlabors verwendet wurde. Dabei bearbeiten die Schüler nur zwei der insgesamt sechs Stationen, und tragen den Inhalt dieser Stationen anschließend der restlichen Klasse in einer Schülerpräsentation vor.

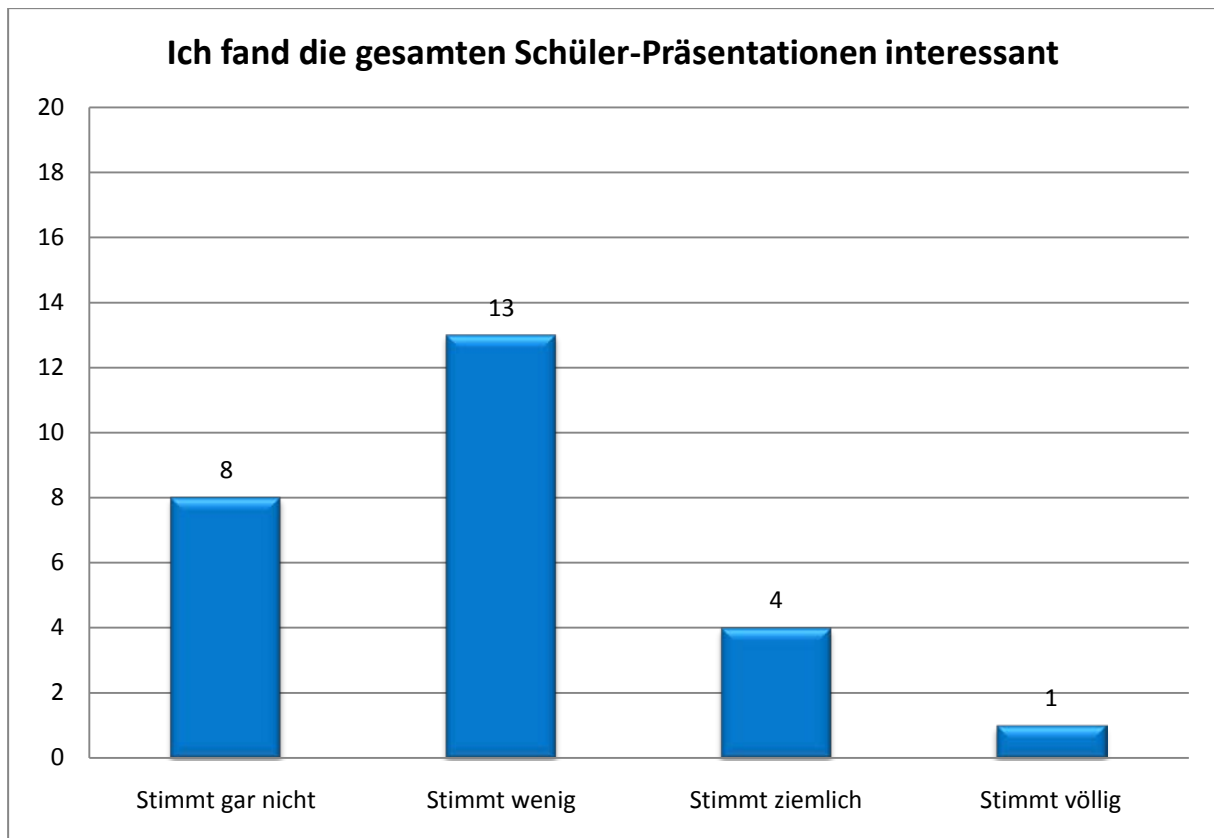
Wie man bei dem folgenden Diagramm unschwer erkennen kann, haben die Schüler die „Alle-machen-alles-Methode“ insgesamt deutlich besser angenommen.



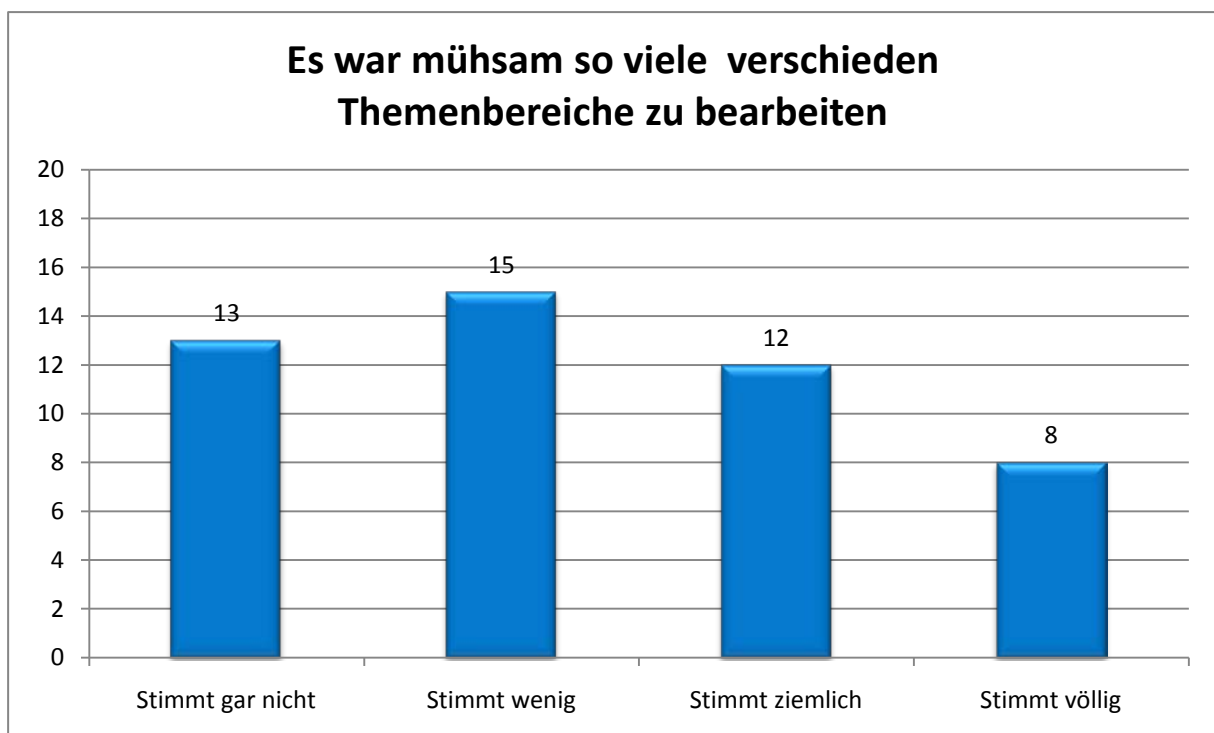
Eine Auszählung der gegebenen Antworten, auf Fragen zu den verschiedenen Methoden, bestätigt dieses Ergebnis.

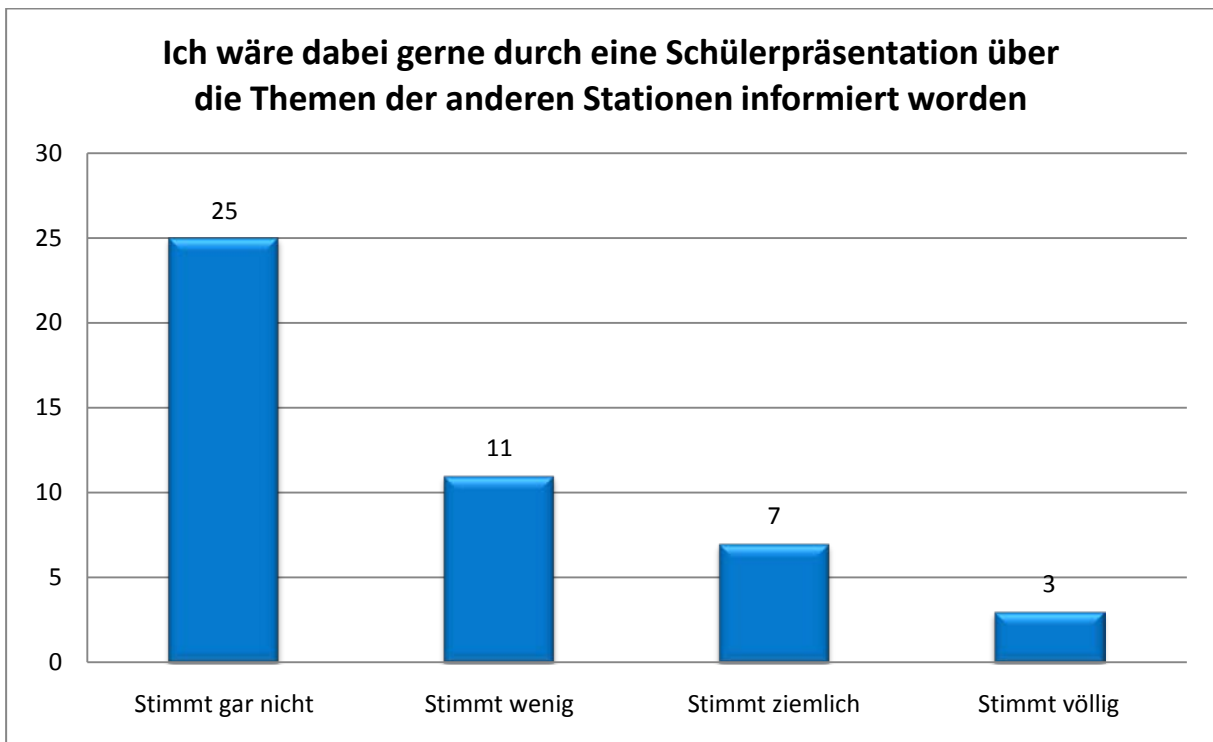
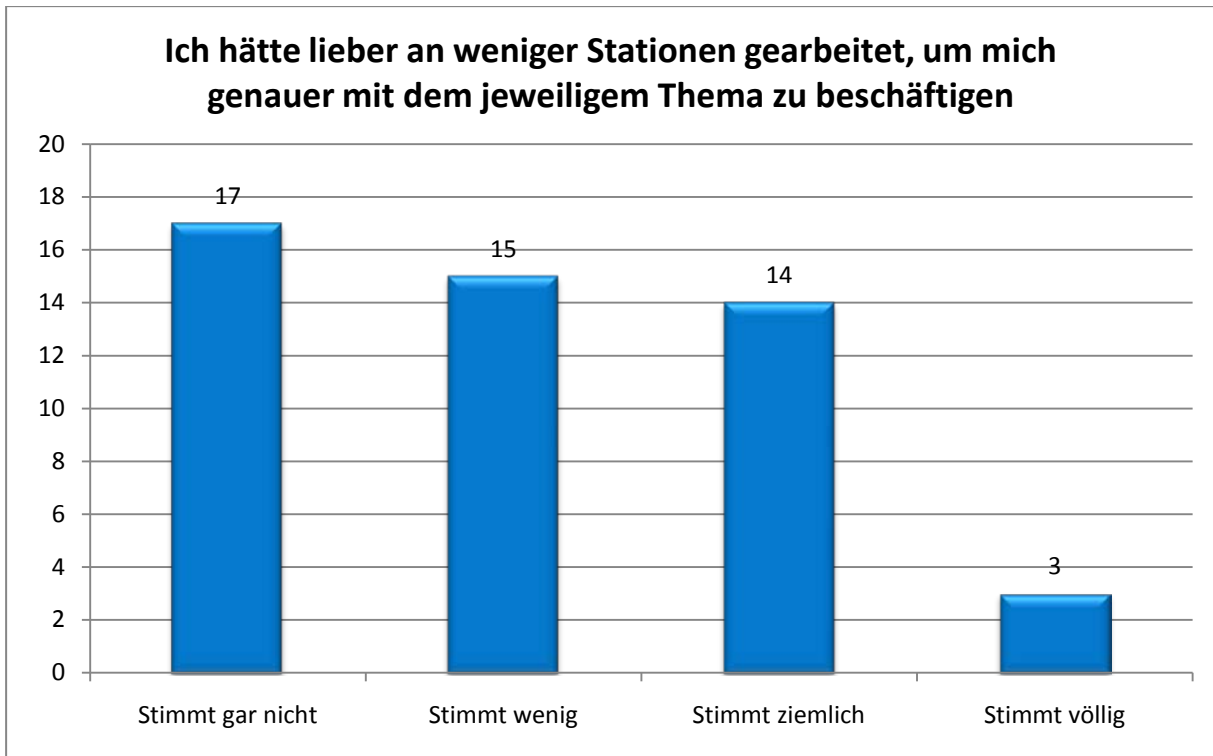
Die Schüler der Präsentationsmethoden-Klasse hätten offensichtlich lieber alle Versuche persönlich durchgeführt und dafür auf die Schülervorträge verzichtet, wie die folgenden drei Graphiken zeigen.





Die Schüler der Alle-machen-alles-Methode-Klassen kommen zwar bei der Frage, ob die Zahl der Themen (d.h.: der Stationen) zu groß war, zu keiner eindeutigen Antwort, die beiden nachfolgenden Graphiken zeigen jedoch, dass auch hier die Alle-machen-alles-Methode gegenüber der Präsentationsmethode bevorzugt wird.

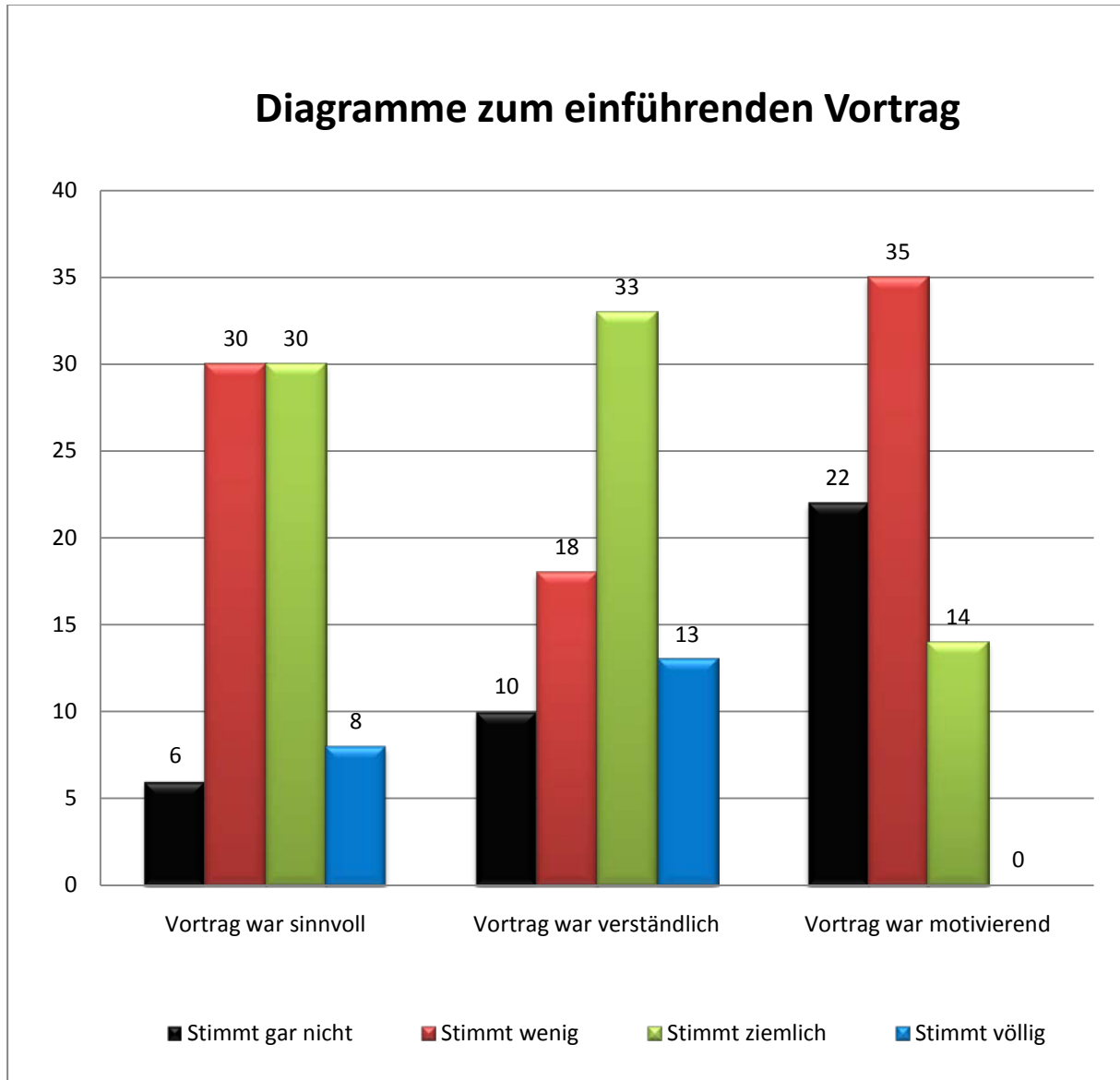




In Anbetracht dieser Ergebnisse und den Beobachtungen aus der Durchführung des Labors wurde für das Schülerlabor „Es werde Licht“ festgelegt, dass jeder Schüler alle Stationen durchlaufen soll und auf abschließende Schülervorträge verzichtet wird.



Zusätzlich zu diesen Fragen zur grundlegenden Methode des Schülerlabors wurden auch Fragen zum einführenden Vortrag ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Auswertung zeigen, dass die Schüler die Präsentation zu Beginn des Schülerlabors „Auf den Spuren des Lichts“ zwar verständlich aber nicht sehr motivierend fanden. Bei der Frage ob der Vortrag sinnvoll war, kommt man zu keinem bestimmten Ergebnis, wie die nachfolgende Graphik zeigt.



Auf Grund dieser Daten wurde entschieden einen Vortrag zu Beginn des Labors „Es werde Licht“ zu halten, da dies aus organisatorischer Sicht notwendig ist um den Schülern Informationen zum Ablauf des Labors und zur Sicherheit bei den Versuchen zu geben. Darüber hinaus soll dieser Vortrag eher der Motivation der Schüler als der Vermittlung von Fachwissen dienen.

### **6.3. Konzipierung des Schülerlabors „Es werde Licht“**

Da der Aufbau des Schülerlabors, ebenso wie die Durchführung, ausführlich in der Arbeit von Fr. Roth beschrieben wird, ist dieses Kapitel nur als kurze und vereinfachte Zusammenfassung gedacht, um einen Überblick zu verschaffen.

Das Schülerlabor „Es werde Licht“ ist so angelegt, dass eine Schulklasse für einen Vormittag die physikalische Fakultät der Universität Würzburg besucht um dort das Labor durchzuführen. Die Schüler werden auf ihre Plätze gebracht und von den Betreuern begrüßt. Nach dem einführenden Vortrag wird die Klasse in sechs Gruppen gegliedert und auf die Stationen verteilt. Dort führen die Gruppen die Versuche wie im Hand-Out angegeben durch, wobei sie sich bei Fragen an einen Betreuer wenden können. Nach einer vorgegebenen Zeit werden die Stationen gewechselt und es wird eine kurze Pause eingelegt. Nachdem die Schüler auf diese Weise alle Stationen bearbeitet haben, wird die Klasse von den Betreuern verabschiedet. Dabei bekommen die Schüler noch die „Ergänzungen zum Schülerlabor“ und, als kleinen Bonus, eine Farbrille ausgehändigt.

#### **6.3.1. Der einführende Vortrag**

Der Vortrag am Anfang des Labors soll den Schülern einen kurzen Einblick in den Ablauf des restlichen Tages liefern. Zu Beginn des Vortrags wird auf die geradlinige Ausbreitung des Lichts eingegangen, da diese an allen Stationen als Grundlage benötigt wird. Anschließend wird den Schülern eine kleine Auswahl an Bildern zu den Themen der jeweiligen Stationen gezeigt. Abschließend werden noch einige Hinweise zum Ablauf des Schülerlabors und zu Sicherheitsbestimmungen im Umgang mit den Geräten gegeben.

Der Vortrag ist bewusst kurz gewählt, damit die Schüler ihn nicht als zu anstrengend und somit demotivierend empfinden.

#### **6.3.2. Die Stationen**

Das Schülerlabor besteht aus den drei Stationen „Das Auge“, „Sonne, Mond und Spiegelung“ und „Die bunte Welt der Farben“. Jede dieser Stationen ist in sich geschlossen und kann unabhängig von den anderen Stationen bearbeitet werden. Sie alle gliedern sich in eine Motivationsphase, eine Erarbeitungsphase und eine Vertiefungsphase.

Die Stationen sind jeweils zweimal aufgebaut, damit man die Klasse in sechs Arbeitsgruppen angemessener Größe aufteilen kann.

### 6.3.2.1. Das Auge

Diese Station beschäftigt sich mit dem menschlichen Auge und dem Sehen. Dabei wird den Schülern physikalisches Wissen zum Thema Linsen und Abbildungen vermittelt. Die Station ist wie folgt aufgebaut:

- Das menschliche Auge  
Anhand einer Skizze sollen die Schüler Bestandteile eines Augenmodells richtig benennen und in einen Lückentext zur Funktionsweise des Auges einfügen.
- Versuch 1: Strahlengang von verschiedenen Linsen  
Der Strahlengang bei verschiedenen Linsen wird mittels einer Leuchtbox und flachen Linsenkörpern sichtbar gemacht. Die Schüler sollen sich den jeweiligen Strahlengang abzeichnen. Anschließend sollen sie überlegen, welche Linse eine scharfe Abbildung liefern kann.
- Versuch 2: Abbildungen  
Die Schüler sollen eine Reuterlampe mit Dia, eine Lochblende, eine von mehreren Linsen und eine Mattscheibe so auf einer optischen Bank anordnen, dass eine scharfe Abbildung des Dias auf der Mattscheibe zu erkennen ist. Anschließend sollen sie den Aufbau abzeichnen und die Analogie zwischen dem Versuchsaufbau und dem Aufbau des Auges erkennen. Abschließend sollen sie die Frage beantworten, ob Gegenstandsweite oder Bildweite beim Auge festgelegt ist.
- Versuch 3: Abbildungen bei gleicher Bildweite  
Beim Versuchsaufbau von Versuch 2 wird nun die Gegenstandsweite verändert und die Bildweite beibehalten. Durch Veränderung des restlichen Versuchsaufbaus sollen die Schüler wieder eine scharfe Abbildung des Dias erhalten. Am Ende des Versuchs wird gefragt wie man diese Veränderung analog auf das Auge übertragen kann.
- Versuch 4: Fehlsichtigkeit  
Anhand von fehlsichtigen Augenmodellen aus Styropor, sollen die Schüler erkennen, welche Fehlsichtigkeit sich mit welcher Linsenart korrigieren lässt. Darüber hinaus wird gefragt, welche Linsenart man bei Altersweitsichtigkeit verwenden müsste.
- Versuch 5: Welche Brille  
Es soll bestimmt werden, um welche Linsenart es sich bei den ausliegenden Brillengläsern handelt und welche Art von Fehlsichtigkeit sie korrigieren können.
- Zusatzmaterial: Lass dich nicht täuschen  
Blätter mit optischen Täuschungen werden von den Betreuern ausgegeben.

### 6.3.2.2. Sonne, Mond und Spiegelung

Die Themen dieser Station sind Reflexion und ihre Anwendungen. Ein besonderes Augenmerk wird hierbei auf den Spiegel gerichtet. Die einzelnen Versuche sind:

- Versuch 1: Doppelte Finger  
Die Reflexion einer eingetauchten Hand ist an der von unten betrachteten Wasseroberfläche zu beobachten.
- Versuch 2: Totalreflexion  
Ein Laserstrahl wird in Gelatine an der Grenzfläche zu Luft totalreflektiert. Diese Beobachtung wird von den Schülern in einer Zeichnung festgehalten.
- Versuch 3: Licht geht um die Kurve  
Die Schüler stellen fest, dass ein Glasfaserkabel das Licht unabhängig von Form und Lage des Kabels leitet.
- Versuch 4. Glasfasermodell  
Die Vorgänge in einem Glasfaserkabel werden anhand eines mit Gelatine gefülltem Reagenzglas und eines Laserpointers nachgestellt und in eine Skizze übertragen.
- Versuch 5: Bildübertragung mit Lichtleitern  
Den Schülern wird mittels eines geordneten Glasfaserkabelbündels die Bildübertragung in Glasfasern als Anwendungsmöglichkeit der Reflexion nähergebracht.
- Versuch 6: Das Reflexionsgesetz  
Auf ein vorgefertigtes Blatt werden einfallende und reflektierte Lichtstrahlen eingezeichnet, welche die Schüler unter Verwendung einer Lampe, eines Kamms und eines Spiegels erzeugen. Einfallswinkel und Reflexionswinkel werden gemessen und in eine Tabelle eingetragen. Aus den so gewonnenen Daten wird das Reflexionsgesetz hergeleitet.
- Versuch 7. Reflexion an verschiedenen Oberflächen  
Durch die Reflexion verschiedener angeleuchteter Gegenstände wird den Schülern gerichtete und diffuse Reflexion verdeutlicht. Um diese Erkenntnisse zu sichern, füllen die Schüler einen zugehörigen Lückentext aus.
- Versuch 8: Mondphasen  
Die verschiedenen Mondphasen werden unter Zuhilfenahme einer Styroporkugel (entspricht dem Mond), welche kreisförmig um die Schülergruppe (entsprechen der Erde) bewegt wird, und eines Tageslichtprojektors (entspricht der Sonne) dargestellt. Dabei werden die einzelnen Mondphasen von den Schülern in ein Schaubild eingetragen.

- Versuch 9: Was vertauscht der Spiegel?

Durch Betrachtung eines Gegenstandes und seines Spiegelbilds erkennen die Schüler, dass ein Spiegel nicht links und rechts sondern die ihm zugewandte und abgewandte Seite vertauscht. Dies wird auch in einen Lückentext eingetragen.

- Versuch 10: Spiegelkleben

Indem die Schüler Stifte so hinter und vor einem Spiegel legen, das Spiegelbild des vorderen Stiftes und hinterer Stift verschmelzen, können sie, durch Messen der Abstände, erkennen, dass die Entfernung zwischen Spiegel und Spiegelbild immer so groß erscheint, wie die Distanz des Gegenstands zum Spiegel.

- Versuch 11: Spiegelgröße

Dieser Versuch behandelt die Frage, wie groß ein Spiegel mindestens sein muss damit sich ein Mensch komplett darin sehen kann. Dazu wird der von einer Versuchsperson, die sich komplett im Spiegel betrachtet, benötigte Bildausschnitt durch einen Betreuer oder Mitschüler mit Kreppbandstreifen oben und unten abgeklebt. Das Messen des Abstandes zwischen diesen beiden Markierungen ergibt, im Rahmen der Genauigkeit der Messung, die halbe Körpergröße der Versuchsperson, was auch in einen Lückentext eingetragen wird. Der Abstand des Probanden zum Spiegel hat dabei keinen Einfluss auf die Größe des Bildausschnitts.

- Zusatzmaterial 1: Kopftauschfenster

Die Schüler können selbständig mit dem aufgebauten Kopftauschfenster experimentieren. Dabei handelt es sich um eine Glasscheibe in einem Holzgerüst. An den oberen Ecken sind auf beiden Seiten der Scheibe Strahler angebracht, welche man mit einem Dimmer stufenlos regeln kann. In einem verdunkelten Raum werden die Strahler so ausgerichtet, dass sie das Gesicht der jeweiligen Person, die auf ihrer Seite vor dem Fenster sitzt, anleuchten.

- Zusatzmaterial 2: Sonnen- und Mondfinsternis

Ein ausliegendes Daumenkino zeigt den Ablauf einer totalen Sonnenfinsternis. Zusätzlich liegen noch Informationsblätter zu Sonnen- und Mondfinsternis am Arbeitsplatz aus.

- Zusatzmaterial 3: Schwebende Leuchtpunkte

Der Sachverhalt der Totalreflexion wird durch die Funktionsweise einer Glasfaserdekorslampe wiederholt. Das ungeordnete Glasfaserbündel wird im Inneren der Lampe von mehrfarbigen LEDs angeleuchtet, woraufhin die Enden die Glasfaserkabel in verschiedenen Farben leuchten.

### 6.3.2.3. Die bunte Welt der Farben

An dieser Station behandeln die Schüler, wie der Name schon sagt, Farben. Dazu gehören Brechung, Dispersion sowie additive und subtraktive Farbmischung. Die Station besteht aus folgenden Versuchen:

- Geschicklichkeitstest  
Eine Münze in einem mit Wasser gefülltem Aquarium soll durch ein Aluminiumrohr anvisiert werden. Danach wird die eigene Zielgenauigkeit mit einem dünnen Spieß, der durch das Aluminiumrohr geschoben wird, überprüft.
- Versuch 1: Laserstrahl im Aquarium  
Mit einem Laserpointer, einem Tafellappen und einem Aquarium, dessen Wasser mit einigen Tropfen Milch getrübt wurde, wird die Brechung von Licht anschaulich gemacht. Dazu sollen die Schüler eine Zeichnung vervollständigen und einen Lückentext ausfüllen.
- Versuch 2: Der krumme Lichtstrahl  
Der Vorgang der kontinuierlichen Brechung wird den Schüler anhand einer Grenzschicht von Wasser und einer, mit Eosin eingefärbter, Zuckerlösung verdeutlicht. Der gekrümmte Lichtstrahl wird in eine vorgefertigte Skizze eingezeichnet.
- Versuch 3. Brechung von weißem Licht  
Weißes Licht wird durch die Brechung an einem Prisma in sein Spektrum zerlegt. Die Schüler sollen sich die bei der Dispersion auftretende Farbreihenfolge in eine Skizze eintragen.
- Versuch 4: Kann man Farben addieren?  
Die Schüler addieren die Farben Rot, Grün und Blau mittels einer Lichtorgel. Dabei werden die Ergebnisse der jeweiligen Kombination, ebenso wie der Begriff der additiven Farbmischung, notiert.
- Versuch 5: Kann man Farben auch subtrahieren?  
Der Begriff der subtraktiven Farbmischung wird eingeführt, indem die Schüler verschiedenfarbige Geschenkbänder durch mehrere Farbfilter betrachten.
- Versuch 6: Der Farbkreisel  
Der mehrfarbige Farbkreisel erscheint bei schneller Umdrehung fast weiß. Die Schüler sollen diese Beobachtung anhand des bisher erworbenen Wissens erklären.

- Versuch 7: Physik im Schuhkarton

Mittels einer Glaskugel, die eine Reuterlampe, durch ein Loch in einem Schuhkarton, anstrahlt, wird ein kreisförmiger Regenbogen an die Innenseite des Schuhkartons geworfen. Das Ergebnis des Versuchs wird durch einen kurzen Satz und eine Skizze gesichert, bevor die Schüler versuchen zu beantworten, warum man den Regenbogen auf der Erde nie als ganzen Kreis sieht.

- Versuch 8: Strahlengang im Regentropfen

In diesem Versuch erarbeiten die Schüler unter Verwendung einer Leuchtbox und einer runden Plexiglasscheibe den Strahlengang von Licht in einem Regentropfen. Nach einer kleinen Skizze, die von den Schülern zu vervollständigen ist, wird die Entstehung des Regenbogens noch durch Text und Schaubilder erklärt.

- Zusatzmaterial 1: Handspektroskop

Ausliegende Handspektroskope ermöglichen den Schülern verschiedene Lichtquellen nach der Zusammensetzung des ausgestrahlten Lichts zu untersuchen.

- Zusatzmaterial 2: Farbige Schatten

Die Schatten, welche die Lichtorgel in einem erhellten Raum erzeugt, zeigen die Komplementärfarben des verwendeten Lichtes, obwohl sie eigentlich weiß sein müssten.

- Zusatzmaterial 3: Farbbrille

Farbrillen, wie sie später an die Schüler ausgeteilt werden, zerlegen das Licht aller sichtbaren Lichtquellen in mehrere Spektren, was zu faszinierenden Bildern führt.

### **6.3.3 Ergänzungen zum Schülerlabor**

Um den Schülern die Möglichkeit zu geben sich auch nach dem Schülerlaborbesuch noch mit den Inhalten zu beschäftigen, bekommen sie am Schluss noch die „Ergänzungen zum Schülerlabor“ ausgeteilt. Diese können sie direkt in ihr Hand-Out einheften. Die Ergänzungen enthalten neben Quellen und zusätzlichen Erklärungen auch Materialien für Heimversuche. Zum Thema Auge beinhalten die Ergänzungen einen Großteil der, als Zusatzmaterial ausgegebenen, optische Täuschungen. Bei der Station „Sonne, Mond und Spiegelung“ werden neben den Blättern zu Sonnen- und Mondfinsternis auch Erklärungen zu den Versuchen „Spiegelgröße“, „Kopftauschfenster“, „Schwebende Leuchtpunkte“ und Anwendungsbeispiele zur Lichtleitung in Glasfaserkabeln gegeben. Als Ergänzung zum Thema Farben bekommen die Schüler Erklärungen zu „Handspektroskop“ und „Farbige Schatten“ sowie eine Bastelvorlage mit Anleitung für einen eigenen Farbkreis.

## **6.4. Erläuterungen zum Konzept des Schülerlabors**

Das Schülerlabor wurde aus mehreren Gründen wie oben beschrieben konzipiert.

Der einführende Vortrag dient dabei als Einstieg in den Laborbesuch. Er soll den Schülern kurz das Thema näher bringen und den organisatorischen Ablauf des Labors klären. Dabei ist wichtig, dass die Schüler den Vortrag nicht als langweilig oder trocken empfinden, damit sie das Schülerlabor nicht mit einem negativen emotionalen Erlebnis beginnen. Dies würde sich nachteilig auf das aktuelle Interesse der Schüler auswirken.

Die Anzahl der Themengebiete auf drei zu reduzieren, im Vergleich zu den sieben Stationen des Labors „Auf den Spuren des Lichts“, hat mehrere Gründe. Zum einen ermöglicht es der größere stoffliche Umfang der Stationen thematische Verknüpfungen innerhalb einer Station und die Bearbeitung von Alltagsbeispielen und Anwendungen, deren fachliche Grundlagen sonst auf mehrere Stationen verteilt wären. Andererseits erlauben die längeren Zeitfenster an jeder Station es den Schülern zeitlich flexibler zu arbeiten als dies bei weniger Versuchen in einer kürzeren Zeitspanne möglich gewesen wäre. Darüber hinaus geht weniger Zeit durch Stationswechsel verloren und die Schüler haben, wie in der Schule, zwei größere Pausen.

Die Einteilung der einzelnen Stationen in Motivations-, Erarbeitungs- und Vertiefungsphase entspricht einem für Unterricht gängigem Schema. Durch einen motivierenden Einstieg und interessante Zusatzaufgaben soll die Motivation und das aktuelle Interesse gesteigert werden, da der erste und der letzte Eindruck besonders stark im Gedächtnis behalten werden. Die einzelnen Versuche werden wenn möglich über Zwischenfragen miteinander verknüpft, damit die Schüler einen roten Faden innerhalb der Stationen erkennen und somit nahe am Thema bleiben. Dabei dient das Hand-Out zum einen als Versuchsanleitung und zum anderen als Heft, in dem die Schüler die Erkenntnisse der einzelnen Versuche sichern. Die fachlichen Inhalte der Stationen sind so gewählt, dass sowohl Gebiete aus den jeweiligen Lehrplänen, als auch darüber hinausgehende Themen behandelt werden. Ein besonderes Augenmerk wird hierbei auf einen möglichst hohen Alltagsbezug gelegt, um den Schülern die Bedeutung der Physik in ihrer Umwelt zu vermitteln. Besonders die Station „Das Auge“ verknüpft Themen der Physik darüber hinaus noch mit anderen Fächern (in diesem Fall Biologie), was ebenfalls ein Ziel des Lehrplans ist. Weitere allgemeine Lehrplanziele dieser Jahrgangsstufen wie die Fähigkeit zu Gruppenarbeit und selbständigem Experimentieren werden durch den Besuch von Schülerlaboren ebenfalls gefördert.

Die Ergänzungen und Farbrillen sollen motivieren, sich auch über den Besuch des Labors hinaus mit Themen der Optik zu beschäftigen, um so das Interesse an Physik zu fördern.



## **7. Datenerhebung**

Insgesamt wurden zum Schülerlabor dreimal Daten gesichert. Die Schüler füllten sowohl vor als auch nach dem Besuch einen entsprechenden Fragebogen anonym aus. Darüber hinaus wurde bei der Durchführung des Schülerlabors noch ein Beobachtungsbogen durch die Betreuer ausgefüllt. Als Vorlage für die zwei Tests wurden die entsprechenden Tests des Schülerlabors „Dem Licht auf der Spur“ verwendet. Einige Teile dieser Fragebögen, wie der Erkennungscode oder einzelne Fragen, wurden entweder komplett oder in überarbeiteter Version übernommen.

### **7.1. Der Vortest**

Der Vortest wurde entweder in einer vorhergehenden Schulstunde oder direkt vor dem Schülerlabor in der Universität durch die Klasse in ca. 25 Minuten bearbeitet. Er gliedert sich insgesamt in fünf Teile.

#### **7.1.1. Allgemeines:**

Zu Beginn des Fragebogens sollen die Schüler allgemeine Fragen und Fragen zu ihrer Person beantworten. Im Detail werden hierbei Datum, Schule, Klasse, Zweig sowie Alter und Geschlecht der jeweiligen Schüler erfragt. Danach wird den Schülern kurz der Sinn dieses Fragebogens erklärt und die Notwendigkeit eines Erkennungscode erläutert. Anschließend sollen sie diesen Erkennungscode ausfüllen, welcher sich aus den ersten zwei Buchstaben des Vornamens ihrer Mutter gefolgt von den ersten zwei Buchstaben des Vornamens ihres Vaters und schließlich dem zweiten Buchstaben ihres Vornamens zusammensetzt. Abschließend wird noch eine kurze Anleitung zum ausfüllen des Fragebogens gegeben.

#### **7.1.2. Experimente im Unterricht:**

Dieser Teil des Fragebogens soll darüber Aufschluss geben wie häufig Lehrer- bzw. Schülerexperimente im Physikunterricht der jeweiligen Klasse durchgeführt werden. Dazu werden den Schülern zwei Fragen gestellt, wobei den Schüler die Antwortmöglichkeiten „sehr selten“, „selten“, „oft“ und „sehr oft“ vorgegeben werden. Die zwei Fragen lauten im Einzelnen:

- Wie häufig wurden in deinem Physikunterricht Experimente von der Lehrkraft vorgeführt?
- Wie häufig wurden in deinem Physikunterricht Experimente von dir gemeinsam mit Mitschüler(inne)n in kleineren Gruppen durchgeführt (bspw. in einer Schülerübung oder im Rahmen eines Projekts)?

### **7.1.3. Experimentelle Erfahrung:**

Anhand einer einfachen „Ja-oder-Nein-Aussage“ soll festgestellt werden, ob der Schüler bereits Experimente zum Thema Optik durchgeführt hat. Der exakte Wortlaut der Aussage ist: Du hast schon selbst Experimente zum Thema Optik durchgeführt.

### **7.1.4. Aussagen:**

Die Schüler sollen hier angeben in wie weit die hier gemachten Aussagen zutreffen. Als Antwortmöglichkeiten stehen dabei „stimmt gar nicht“, „stimmt wenig“, „stimmt ziemlich“ und „stimmt völlig“ zur Verfügung. Jede einzelne dieser sechs Aussagen kann sowohl für sich selbst, als auch im Rahmen einer folgenden übergeordneten Variablen betrachtet werden.

#### Fachinteresse:

Fachinteresse bezeichnet das Interesse welches die Schüler dem Schulfach Physik und seinen fachlichen Inhalten gegenüber zeigen. Hierzu sollen die zwei folgenden Aussagen eingestuft werden:

- Der Physikunterricht gefällt dir.
- Die Themen, die im Physikunterricht behandelt werden, interessieren dich.

#### Sachinteresse:

Das Interesse der Schüler an den Tätigkeiten in einem Schülerlabor, unabhängig vom thematischen Bereich des Labors, wird in dieser Arbeit als Sachinteresse bezeichnet. Die zwei zugehörigen Aussagen sind:

- Du experimentierst gerne.
- Du arbeitest gerne mit anderen zusammen.

### Selbstkonzept:

Mit Selbstkonzept wird in dieser Arbeit die Einschätzung der persönlichen Leistungsfähigkeit der Schüler im Fach Physik bezeichnet. Die Variable Selbstkonzept setzt sich aus den folgenden zwei Aussagen zusammen, wobei die Antworten zur negativ formulierten Aussage für die Auswertung invertiert werden müssen:

- Du bist gut in Physik.
- Du denkst dir in Physik häufig: „Das verstehe ich nicht!“ (Negativ formuliert).

### **7.1.5. Physikalische Vorkenntnisse**

Der letzte Teil des Vortests beschäftigt sich mit dem Vorwissen der Klasse zum Thema Optik. Dazu werden den Schülern insgesamt neun Aufgaben gestellt:

#### 1.Aufgabe:

Die Schüler sollen stichpunktartig angeben welche Themengebiete der Optik sie bereits kennen. Diese Antworten werden bei der Auswertung genutzt, um festzustellen ob die Schüler bereits Kenntnisse zu den einzelnen Stationen des Schülerlabors besitzen.

#### 2.Aufgabe:

Anhand der bei der ersten Aufgabe gegebenen Stichpunkte werden die Schüler nach dem für sie interessantesten dieser Themen gefragt. Ist also bereits Vorwissen zu den einzelnen Stationen vorhanden, erhält man so eine Gewichtung der einzelnen Themen.

#### 3.Aufgabe:

Zwei Skizzen zeigen jeweils die Sonne, die Erde und die Mondumlaufbahn. Die Schüler sollen den jeweiligen Standort des Mondes bei Sonnen- oder Mondfinsternis auf der Umlaufbahn einzeichnen.

#### 4.Aufgabe:

Insgesamt vier Skizzen zeigen jeweils Lichtquelle, Objekt und Auge. Bei jeder Skizze sind zwei Pfeile eingezeichnet:

- Darstellung 1: Von Auge zu Lichtquelle und von Auge zu Objekt.
- Darstellung 2: Von Lichtquelle zu Auge und von Auge zu Objekt.
- Darstellung 3: Von Lichtquelle zu Objekt und von Auge zu Objekt.
- Darstellung 4: Von Lichtquelle zu Objekt und von Objekt zu Auge.

Die korrekte Darstellung des Sehvorgangs (Darstellung 4) ist von den Schülern zu markieren.

### 5.Aufgabe:

Bei dieser Multiple-Choice-Aufgabe wird gefragt was der Spiegel vertauscht. Als mögliche Antworten werden „Oben und unten“, „Links und rechts“, „Vorne und hinten“ und „Nichts“ vorgegeben. Die richtige Antwort („Vorne und hinten“) ist anzukreuzen.

### 6.Aufgabe:

Es werden die Umrisse von Sammell- und Zerstreuungslinse, mitsamt den zugehörigen optischen Achsen, durch Zeichnungen angegeben. In diese Skizzen sollen die jeweiligen Strahlengänge für von links parallel einfallendes Licht eingezeichnet werden. Zusätzlich sind die jeweiligen Linsenarten noch zu benennen.

### 7.Aufgabe:

Eine Zeichnung zeigt zwei Lichtquellen, ein von ihnen angestrahltes Objekt und eine Wand. Die Schatten, welche von dem Objekt an die Wand geworfen werden, sind durch die Schüler zu konstruieren und als Kern- und Halbschatten zu beschriften.

### 8.Aufgabe:

Der reflektierte Lichtstrahl ist gemäß des Reflexionsgesetzes korrekt einzuzeichnen. Dabei werden einfallender Lichtstrahl, Einfallslot (ohne Benennung) und die Spiegeloberfläche durch eine Zeichnung festgelegt.

### 9.Aufgabe:

Die letzte Aufgabe beschäftigt sich mit dem Thema der Brechung. Ähnlich wie bei Frage 8 zeigt eine Skizze den einfallenden Lichtstrahl und das Einfallslot (ohne Benennung). Statt eines Spiegels ist jedoch eine Grenzfläche von Luft zu Glas eingezeichnet.

## **7.2. Der Beobachtungsbogen**

Der Beobachtungsbogen dient dazu, die Rahmenbedingungen der einzelnen Labordurchführungen zu sichern. Neben Informationen wie Schule, Klasse und die Anzahl der teilnehmenden Schüler, aufgegliedert in Jungs und Mädchen, werden auch die Namen des begleitenden Lehrers und der Betreuer eingetragen. Die Termine des Vortests, des Laborbesuchs und des Nachtests sowie die für das Labor zur Verfügung gestellten Räume werden ebenfalls vermerkt. Darüber hinaus werden die Gesamtdauer, die Dauer des Vortrags, der Beginn und das Ende der Schülerversuche und die Zeiten der zwei Stationswechsel dokumentiert.

Des Weiteren werden die Gruppengrößen und die Reihenfolge der Stationen für jede Gruppe notiert. Zusätzlich erfolgt noch je eine Einschätzung der Klassenleistung durch die Begleitperson und die Betreuer. Abschließend bietet der Dokumentationsbogen noch Platz um eventuelle Besonderheiten festzuhalten.

### **7.3. Der Nachtest**

Die Klasse bearbeitet den Nachtest in einer der auf das Schülerlabor folgenden Schulstunden, wobei die Zeitspanne zwischen Schülerlabor und Nachtest für die einzelnen Klassen stark variiert. Zur Bearbeitung des Tests werden den Schülern pauschal ca. 45 Minuten zur Verfügung gestellt. Er ist insgesamt in sechs Teilbereiche aufgliedert.

#### **7.3.1. Allgemeines:**

Der Anfang des Fragebogens ist aufgebaut wie der entsprechende Teil des Vortests. Neben Datum, Schule, Zweig, Klasse, Alter, Geschlecht und den Erkennungscode werden allerdings auch das beliebteste Schulfach, das unbeliebteste Schulfach, die Arbeitsgruppe und die aktuelle Physiknote der Schüler erfragt.

#### **7.3.2. Aussagen**

Wie im Vortest sollen die Schüler hier die Richtigkeit angegebener Aussagen einstufen. Als Antwortmöglichkeiten werden erneut „stimmt gar nicht“, „stimmt wenig“, „stimmt ziemlich“ und „stimmt völlig“ vorgegeben. Alle 25 Aussagen können wieder einzeln oder im Sinne der nachfolgenden, übergeordneten Gesichtspunkte betrachtet werden. Einige der Aussagen sind im Bezug auf diese Variable negativ formuliert, weshalb sie in der Auswertung invertiert werden müssen.

#### **Emotionale Komponente des aktuellen Interesses**

Die emotionale Komponente gibt Auskunft darüber, ob die Schüler den Besuch des Schülerlabors als positives Erlebnis wahrgenommen haben. Sie setzt sich aus diesen drei Aussagen zusammen:

- Das Schülerlabor hat mir gefallen.
- Die Arbeit in Gruppen hat mir im Schülerlabor gut gefallen.
- Der Ausflug zur Universität hat mir gefallen.

### Wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses

Ob die Schüler dem Schülerlabors einen hohen persönlichen Stellenwert beigemessen haben, kann aufgrund der wertbezogenen Komponente beurteilt werden. Hierzu werden die folgenden drei Aussagen betrachtet:

- Ich finde es wichtig Experimente selbst durchführen zu dürfen.
- Ich finde es wichtig Alltagsdinge (z.B.: Regenbogen oder Spiegel) zu verstehen.
- Ich finde es wichtig außerschulische Lernorte (Museen, Schülerlabore, etc.) mit der Schule zu besuchen.

### Epistemische Komponente des aktuellen Interesses

Anhand der epistemischen Komponente nachgeprüft werden, ob, und in wie weit, sich die Schüler nach dem Besuch noch mit den Themen des Schülerlabors beschäftigen. Dieser Gesichtspunkt umfasst die folgenden drei Aussagen:

- Ich habe in der Zwischenzeit über Dinge aus dem Schülerlabor nachgedacht.
- Ich habe mich in der Zwischenzeit mit Eltern, Geschwistern oder Freunden über die Versuche des Schülerlabors unterhalten.
- Ich habe mir in der Zwischenzeit weitere Informationen zum Thema Optik beschafft.

### Schülerlabore als Ausflugsziele

Dieser Gesichtspunkt soll zeigen, ob, und unter welchen Voraussetzungen, es sinnvoll ist Schülerlabore als Ausflugsziele anzubieten. Die Schüler sollen dafür diese drei Aussagen einstufen:

- Ich würde gerne häufiger ein Schülerlabor besuchen.
- Ich würde auch in meiner Freizeit ein Schülerlabor besuchen.
- Das einzig Gute an dem Schülerlabor war, das dafür der normale Unterricht ausgefallen ist. (Negativ formuliert)

### Selbsteinschätzung der Wirksamkeit des Schülerlabors

Die Schüler können durch die Bewertung der folgenden zwei Aussagen angeben, inwieweit das Schülerlabor ihrer Meinung nach erfolgreich war:

- Ich habe durch die Bearbeitung der einzelnen Versuche viel zum Thema Optik gelernt.
- Ich finde Physik seit dem Besuch des Schülerlabors interessanter.

### Offenheit des Schülerlabors

Um die Wirksamkeit eines Schülerlabors zu gewährleisten, werden den Schülern Vorgaben zur Bearbeitung der einzelnen Versuche gemacht. Ob diese Beschränkungen des freien Experimentierens als negativ empfunden wurden, wird durch diese zwei Aussagen ermittelt:

- Ich hätte lieber ohne Versuchsanleitungen experimentiert. (Negativ formuliert)
- Ich hätte gerne ohne Betreuung an den Stationen gearbeitet. (Negativ formuliert)

### Gestaltung des Vortrags

Zur Beurteilung der Qualität des Vortrags werden den Schülern drei Aussagen vorgelegt:

- Der Vortrag zu Beginn war sinnvoll.
- Der Vortrag zu Beginn war motivierend.
- Der Vortrag zu Beginn war zu lang. (Negativ formuliert)

### Gestaltung des Schülerlabors

Inwiefern die Konzipierung des Schülerlabors gelungen ist, und wo die Schüler Verbesserungsmöglichkeiten sehen, kann anhand der sechs nachfolgenden Aussagen geprüft werden:

- Ich fand die Versuche des Schülerlabors interessant.
- Die Themen der Stationen waren alltagsbezogen.
- Die Zeit war für die Anzahl der Versuche ausreichend.
- Die Versuchsanleitungen waren gut verständlich und ausführlich.
- Ich habe die fachlichen Inhalte des Schülerlabors verstanden.
- Das fachliche Niveau des Schülerlabors war zu hoch. (Negativ formuliert)

### 7.3.3. Interessanteste Station

Die Schüler sollen ankreuzen, welche der Stationen sie am interessantesten fanden.

### 7.3.4. Lehrreichste Station

Die Schüler sollen ankreuzen, bei welcher Station sie am meisten gelernt haben.

### 7.3.5. Beurteilung des Schülerlabors

Die Schüler sollen das Schülerlabor insgesamt mit einer Schulnote (von 1 bis 6) bewerten.

### 7.3.6. Physiktest

Durch die Bearbeitung eines abschließenden Physiktests wird ermittelt, in wie weit es beim Besuch des Schülerlabors gelungen ist fachliche Inhalte zu vermitteln. Der Test besteht aus insgesamt dreizehn Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeit. Vier dieser Aufgaben beziehen sich auf im Vortest gestellte Aufgaben, und ermöglichen so einen direkten Vergleich.

#### 1.Aufgabe

Diese Aufgabe ist fast identisch zur 4.Aufgabe des Vortests und dient als Vergleichsaufgabe. Aus den vier vorgegebenen Skizzen ist diejenige auszuwählen welche den Sehvorgang korrekt beschreibt. Durch Vertauschung der Skizzen ist im Nachtest Darstellung 3 korrekt

#### 2.Aufgabe

Die Schüler sollen ankreuzen unter welchen Bedingungen eine Mondfinsternis beobachten kann (Antwort 2). Dabei werden diese vier Antwortmöglichkeiten gegeben:

- Die Sonne steht zwischen Erde und Mond
- Die Erde steht zwischen Mond und Sonne
- Der Mond steht zwischen Sonne und Erde
- Sonne, Erde und Mond stehen im rechten Winkel zueinander

Anschließend sollen die Schüler ihre Entscheidung noch anhand eines Satzes (z.B.: Der Mond liegt dann im Schatten der Erde.) oder durch eine entsprechende Skizze (Vortest: 3.Aufgabe) begründen. Da diese Aufgabe bereits in Form einer Zeichnung im Vortest (3.Aufgabe) gestellt wurde, dient sie als Vergleichsaufgabe.

#### 3.Aufgabe

Wie bei der 6.Aufgabe im Vortest, welche als Vergleichsaufgabe fungiert, sind die Umriss von Sammel- und Zerstreuungslinse, mit den jeweiligen optischen Achsen, vorgegeben. Zusätzlich zu dem Arbeitsauftrag aus dem Vortest (Vervollständigen der Skizzen und benennen der Linsenart) wird gefragt, mit welcher Linsenart sich welche Fehlsichtigkeit korrigieren lässt.

#### 4.Aufgabe

Die Frage „Was vertauscht ein Spiegel?“ ist identisch zur 5.Aufgabe des Vortests, und wird als Vergleichsaufgabe verwendet. Aus den Antwortmöglichkeiten „Oben und unten“, „Links und rechts“, „Vorne und hinten“ und „Nichts“ ist die richtige („Vorne und hinten“) anzukreuzen.



### 5.Aufgabe

Bei dieser Multiple-Choice-Aufgabe wird gefragt, wie groß der Abstand zwischen einem Schüler, der gerade von vorne in einen Spiegel schaut, und seinem Spiegelbild zu sein scheint. Den Schülern werden vier Antwortmöglichkeiten vorgeschlagen:

- Die Entfernung zwischen dir und dem Spiegel
- Die doppelte Entfernung zwischen dir und dem Spiegel
- Die halbe Entfernung zwischen dir und dem Spiegel
- Die anderthalbfache Entfernung zwischen dir und dem Spiegel

Die richtige Antwort, nämlich die doppelte Entfernung, ist durch die Schüler anzukreuzen.

### 6.Aufgabe

Diese Aufgabe handelt von der Frage, wie groß ein Spiegel mindestens sein muss, damit sie sich vollständig darin sehen können. Die Schüler können aus sechs Antworten wählen:

- Deine Größe
- Dreiviertel deiner Größe
- Die Hälfte deiner Größe
- Ein Viertel deiner Größe
- Die Spiegelgröße ist vom Abstand zum Spiegel abhängig
- Eine Größe von einem halben Meter ist immer ausreichend

Die richtige Antwort, dass eine Spiegelgröße von halber Körpergröße immer ausreichend ist, soll anschließend noch durch das Vervollständigen einer Skizze begründet werden.

### 7.Aufgabe

Es werden sechs Regenbogenfarben vorgegeben. Diese Farben sind in der Reihenfolge rot, orange, gelb, grün, blau und violett, wie beim Regenbogen, anzuordnen. Darüber hinaus sollen die Schüler angeben, welche dieser Farben am stärksten gebrochen wird.

### 8.Aufgabe

Die Frage ob es sichtbares schwarzes Licht gibt, ist von den Schülern zu beantworten und diese Antwort zu begründen. Möglich Antworten wären: „Nein, denn der Eindruck von Schwärze entsteht durch die Abwesenheit von Licht“ oder „Nein, weil schwarzes Licht nicht durch die Kombination der Spektralfarben erzeugt werden kann“.

### 9.Aufgabe

Der Fachbegriff für die Zerlegung von weißem Licht in seine Spektralfarben ist Inhalt dieser Aufgabe. Dazu werden den Schülern sechs Antwortmöglichkeiten angeboten:

- Diffusion
- Fusion
- Habilitation
- Aberration
- Dispersion
- Dissertation

Dispersion soll von den Schülern als richtige Antwort angekreuzt werden.

### 10.Aufgabe

Die Schüler sollen angeben unter welchen Voraussetzungen Totalreflexion auftreten kann. Dabei stehen den Schülern die folgenden vier Voraussetzungskombinationen zur Auswahl:

- Beim Übergang von einem optisch dichteren Medium in ein optisch dünneres Medium, wobei Einfallswinkel  $>$  Grenzwinkel gilt.
- Beim Übergang von einem optisch dichteren Medium in ein optisch dünneres Medium, wobei Brechungswinkel  $>$  Grenzwinkel gilt
- Beim Übergang von einem optisch dünneren Medium in ein optisch dichteres Medium, wobei Einfallswinkel  $>$  Grenzwinkel gilt.
- Beim Übergang von einem optisch dünneren Medium in ein optisch dichteres Medium, wobei Brechungswinkel  $>$  Grenzwinkel gilt.

Die erste Kombination ist als richtige Antwort ankreuzen.

### 11.Aufgabe

Eine Zeichnung zeigt einen Spiegel, einen Würfel und dessen Spiegelbild. Zwei beim Würfel markierte Kanten sind korrekt beim Spiegelbild einzuzeichnen.

### 12.Aufgabe

Bei dieser Aufgabe sollen die Schüler eine Erklärung dafür geben, warum bei einem Daumenkino der Eindruck von Bewegung entsteht, obwohl nur unbewegte Bilder betrachtet werden. Diese Erklärung soll entweder auf die begrenzte Wahrnehmungsfähigkeit des Auges (oder des Gehirns) eingehen oder eine Analogie zwischen dem Daumenkinos und einem Film aufstellen.

### 13. Aufgabe

Diese Aufgabe verknüpft die 8. Aufgabe und die 9. Aufgabe des Vortests. Eine Skizze zeigt einen einfallenden Lichtstrahl, der aus Wasser kommend, auf eine Grenzfläche zu Luft trifft. Die Schüler sollen die Zeichnung vervollständigen, wobei sie berücksichtigen müssen, dass das Licht teilweise reflektiert und teilweise gebrochen wird. Darüber hinaus sollen die Schüler das Einfallslot und physikalisch wichtigen Winkel einzeichnen und benennen. Abschließend sind noch die Winkelbeziehungen „Einfallswinkel = Ausfallwinkel“ und „Einfallswinkel > Brechungswinkel“ anzugeben. Da diese Aufgabe so viele Sachverhalte verknüpft und darüber hinaus nicht explizit im Schülerlabor behandelt wird, soll darauf verzichtet werden sie mit den entsprechenden Fragen aus dem Vortest zu vergleichen.

## **7.4. Korrektur der Tests**

In diesem Kapitel soll kurz auf den Ablauf der Datenverarbeitung eingegangen werden. Die einzelnen Abschnitte der Tests werden auf unterschiedliche Art und Weise korrigiert:

- Die unter den Abschnitten „Allgemeines“, „Experimentelle Erfahrung“, „Interessanteste Station“, „Lehrreichste Station“ und „Beurteilung des Schülerlabors“ gemachten Angaben werden für die Auswertung direkt übernommen, ebenso wie der Dokumentationsbogen.
- Den Einschätzungen der Schüler bei den Teilbereichen „Aussagen“ und „Experimente im Unterricht“ werden ganze Zahlen von 1 bis 4 zugeordnet. Dabei entspricht die 1 der Antwortmöglichkeit „stimmt gar nicht“ bzw. „sehr selten“ und die 4 entspricht „stimmt völlig“ bzw. „sehr oft“.
- Beim „Physiktest“ und dem Test zu den „Physikalischen Grundlagen (3.-9. Aufgabe)“ wird jeder Aufgabe eine bestimmte Punktzahl zugeordnet. Diese Punktzahl ist abhängig von den Kriterien, welche die Schüler für eine vollständige Bearbeitung der Aufgabe erfüllen müssen. Jeder dieser Punkte wird außerdem einer der folgenden Kategorie zugeteilt.
  - Grundlagenwissen
  - Spiegel
  - Auge
  - Farben
  - Genaues Arbeiten

Durch diese Einteilung können die einzelnen Stationen bei der Auswertung miteinander verglichen werden. Dies ermöglicht Aussagen über die einzelnen Arbeitsgruppen innerhalb einer Klasse.

Genauer zur Korrektur (Punktzahl und Kriterien der Aufgaben; Korrekturrichtlinien; Physikalische Grundlagen 1. und 2. Aufgabe, usw.) kann im Anhang nachgeschlagen werden.

## **8. Evaluation**

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Auswertung des Schülerlabors dargelegt. Dabei soll die einzelnen Durchführungen zuerst kurz in Abhängigkeit der jeweiligen Klassen ausgewertet werden, ehe man das Schülerlabor für Gesamtheit der Schüler betrachtet. Der Einfachheit halber werden die einzelnen Aussagen, wenn sie unter einem übergeordneten Gesichtspunkt betrachtet werden, als gleichbedeutend gewertet, obwohl sie für die Beurteilung dieser Gesichtspunkte durchaus verschiedenen Stellenwert haben. Die Daten der Auswertung können detailliert den Excel-Dateien auf der beigelegten CD entnommen werden.

### **8.1. Auswertung auf Klassenbasis**

#### **8.1.1. Klasse A**

Diese 7. Klasse des Siebold-Gymnasiums Würzburg besuchte die Universität am 18.12.2008. Die insgesamt 22 Schüler (10 männlich und 12 weiblich; Durchschnittsalter: 12,3) wurden von Frau Rubel begleitet. Das Schülerlabor, welches im Seminarraum 6 (mit dem dazugehörigem Vorbereitungsraum, der in der weiteren Arbeit als Teil des Seminarraums angesehen wird) und Raum C069a stattfand, wurde an diesem Tag von den Studenten Christoph Giegerich, Philipp Henninger, Max Kilian, Verena Roth, Christian Weiß und Franziska Weise betreut. Nach dem einführendem Vortrag, welcher 10 min in Anspruch nahm, wurden die Schüler willkürlich durch die Betreuer in Gruppen eingeteilt. Die Schüler hatten insgesamt vier Stunden zur Bearbeitung der Versuche (von 9.00 Uhr bis 13.00 Uhr), wobei die Stationen um 10.15 Uhr und 11.30 Uhr mit jeweils ca. 10 min Pause gewechselt wurden. Die Leistung der Klasse, welche über keine optischen Vorkenntnisse verfügte, wurde sowohl von der Begleitperson als auch von den Betreuern als durchschnittlich eingestuft. Die Auswertungen von Vor- und Nachtest lieferten im Klassenschnitt folgende Ergebnisse:

#### **Vortest ( 26 Schüler / 15.12.2008 ):**

Die Auswertung der einzelnen Aussagen lieferte für die erfragten Variablen folgende Werte:

Bereits Experimente zur Optik durchgeführt:	ja: <b>4</b>	nein: <b>22</b>
Häufigkeit von Experimenten im Physikunterricht:	<b>2,56</b>	(Skala 1 bis 4)
Interesse am Fach Physik:	<b>2,67</b>	(Skala 1 bis 4)
Sachinteresse am Schülerlabor.	<b>3,52</b>	(Skala 1 bis 4)
Selbstkonzept im Fach Physik:	<b>2,40</b>	(Skala 1 bis 4)

Die Korrektur der fachlichen Fragen ergab, dass die Klasse im Durchschnitt 2,96 Punkte von möglichen 22 Punkten ( $\approx 13\%$ ) erzielte. Diese Punkte kamen größtenteils durch das richtige Einzeichnen des Mondes bei Sonnen- und Mondfinsternis (3.Aufgabe), die intuitiv richtige Anwendung des Reflexionsgesetzes (8.Aufgabe) und dem Ankreuzen der Richtigen Antwortmöglichkeit bei einer Multiple-Choice-Aufgabe (4.Aufgabe) zustande, wobei ein deutlicher Unterschied zwischen Jungen und Mädchen zu erkennen ist:

<u>Kriterium</u>	<u>Jungen</u>	<u>Mädchen</u>
<b>Fachinteresse:</b>	<b>72%</b>	<b>46%</b>
<b>Sachinteresse:</b>	<b>78%</b>	<b>88%</b>
<b>Selbstkonzept:</b>	<b>58%</b>	<b>40%</b>
<b>Gesamtpunktzahl:</b>	<b>20%</b>	<b>9%</b>

Wie man an dieser Tabelle sehen kann, zeigen die Jungen dieser Klasse deutlich mehr Interesse am Fach Physik, als die Mädchen. Auch sind sie selbstsicherer im Umgang mit Physik als die Mädchen, wodurch sie bei einem unbekanntem Thema bessere Leistungen erzielen können. Lediglich das Sachinteresse an Schülerlaboren schätzen beide Geschlechter positiv ein, wobei die Mädchen hier sogar mehr Interesse zeigen.

### Nachtest ( 19 Schüler / 7.1.2009 ):

Die Auswertung der Aussagen lieferte für die übergeordneten Variablen folgende Werte:

Emotionale Komponente des aktuellen Interesses:	<b>3,23</b>	(Skala 1 bis 4)
Wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses:	<b>3,12</b>	(Skala 1 bis 4)
Epistemische Komponente des aktuellen Interesses:	<b>1,98</b>	(Skala 1 bis 4)
Wirksamkeit des Schülerlabors:	<b>2,58</b>	(Skala 1 bis 4)
Schülerlabor als Ausflugsziel:	<b>2,42</b>	(Skala 1 bis 4)
Offenheit des Schülerlabors:	<b>3,16</b>	(Skala 1 bis 4)
Konzipierung des Vortrags:	<b>2,91</b>	(Skala 1 bis 4)
Konzipierung des Labors:	<b>2,93</b>	(Skala 1 bis 4)

Bei der Frage nach der interessantesten Station kamen die Schüler zu folgenden Ergebnissen:

Das Auge:	<b>2</b>	Sonne, Mond und Spiegelung:	<b>4</b>
Die bunte Welt der Farben:	<b>12</b>	Keine Bestimmte:	<b>1</b>

Die Frage nach der lehrreichsten Station wurde folgendermaßen beantwortet:

Das Auge:	<b>5</b>	Sonne, Mond und Spiegelung:	<b>3</b>
Die bunte Welt der Farben	<b>9</b>	Keine Bestimmte:	<b>2</b>

Bei der Korrektur des Physikttests erzielte die Klasse im Mittel 11,58 von 34 Punkten, was ungefähr 34% entspricht. Auf eine genauere Aufschlüsselung der Ergebnisse des Nachtest auf Klassenbasis wird verzichtet.

Da ein Großteil der Schüler (ca.1/3) keine Angaben zu ihren Arbeitsgruppen gemacht haben, ist eine Auswertung nach einzelnen Gruppen nicht sinnvoll.

Insgesamt bewerte die Klasse das Schülerlabor mit der Schulnote: **2,31**

### 8.1.2. Klasse B

Insgesamt 28 Schüler (6 männlich und 22 weiblich; Durchschnittsalter: 12,4) der 7.Jahrgangsstufe des Siebold-Gymnasiums Würzburg, besuchten, begleitet von Herrn Mantel, am 17.12.2008 das Schülerlabor. Betreut wurde das Schülerlabor, welches wieder im Seminar-raum 6 und Raum C069a stattfand, an diesem Tag von Philipp Henninger, Max Kilian, Sebastian Krone, Verena Roth, Christian Weiß und Franziska Weise. Nach dem von 8.43 Uhr bis 8.51 Uhr gehaltenen Vortrag wurden die Schüler auf die Stationen eingeteilt, an denen sie von 9.00Uhr bis 12.45 Uhr experimentierten. Die Stationswechsel, welche man jeweils mit einer 10 min Pause verknüpfte, wurden ungefähr um 10.15 Uhr und 11.30 Uhr durchgeführt. Herr Mantel schätzt seine die Klasse als durchschnittlich ein, während die Betreuer die Klasse sogar als überdurchschnittlich einstufte. Die Auswertungen der Tests dieser Klasse, die über so gut wie keine Vorkenntnisse zum Thema Optik verfügte, liefern die folgenden Ergebnisse:

#### **Vortest ( 30Schüler / 15.12.2008 ):**

Die Durchschnittswerte der einzelnen Variablen sind:

Bereits Experimente zur Optik durchgeführt:	ja: <b>0</b>	nein: <b>30</b>
Häufigkeit von Experimenten im Physikunterricht:	<b>3,13</b>	(Skala 1 bis 4)
Interesse am Fach Physik:	<b>2,68</b>	(Skala 1 bis 4)
Sachinteresse am Schülerlabor.	<b>3,55</b>	(Skala 1 bis 4)
Selbstkonzept im Fach Physik:	<b>2,72</b>	(Skala 1 bis 4)

Im fachlichen Teil des Vortests erreichte die Klasse durchschnittlich 5,13 der 22 Punkte, was ungefähr 23% entspricht. Ebenso wie bereits bei der Klasse A wurden diese Punkte hauptsächlich bei der 3.Aufgabe, der 4.Aufgabe und der 8.Aufgabe erzielt. Die höhere Gesamtpunktzahl kommt einerseits durch eine bessere Bearbeitung dieser Aufgaben und andererseits aufgrund durchgehend höherer Punktzahlen bei den übrigen Aufgaben. Die geschlechtlichen Unterschiede sind, wie die nachfolgende Tabelle zeigt, jedoch geringer als bei Klasse A:

<u>Kriterium</u>	<u>Jungen</u>	<u>Mädchen</u>
<b>Fachinteresse:</b>	<b>64%</b>	<b>54%</b>
<b>Sachinteresse:</b>	<b>78%</b>	<b>87%</b>
<b>Selbstkonzept:</b>	<b>56%</b>	<b>58%</b>
<b>Gesamtpunktzahl:</b>	<b>28%</b>	<b>22%</b>

Das relativ hohe Selbstkonzept beider Geschlechter könnte auch eine Erklärung für die relativ ausgeglichenen Gesamtpunktzahlen beim Vortest sein. Dieses Selbstkonzept kann wiederum auf Grund des verhältnismäßig gleichen Fachinteresses entstanden sein. Beide Geschlechter zeigen wiederum ein hohes Interesse an den Tätigkeiten in einem Schülerlabor, wobei die Mädchen wieder höhere Werte angeben.

### Nachtest ( 25 Schüler / 18.12.2008 )

Wertet man die Aussagen nach dem ihnen übergeordneten Gesichtspunkt aus, erhält man die folgenden Werte:

Emotionale Komponente des aktuellen Interesses:	<b>3,19</b>	(Skala 1 bis 4)
Wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses:	<b>3,08</b>	(Skala 1 bis 4)
Epistemische Komponente des aktuellen Interesses:	<b>1,92</b>	(Skala 1 bis 4)
Wirksamkeit des Schülerlabors:	<b>2,67</b>	(Skala 1 bis 4)
Schülerlabor als Ausflugsziel:	<b>2,43</b>	(Skala 1 bis 4)
Offenheit des Schülerlabors:	<b>3,06</b>	(Skala 1 bis 4)
Konzipierung des Vortrags:	<b>2,79</b>	(Skala 1 bis 4)
Konzipierung des Labors:	<b>2,95</b>	(Skala 1 bis 4)

Welche der Stationen am interessantesten war, beurteilten die Schüler wie folgt:

Das Auge:	<b>4</b>	Sonne, Mond und Spiegelung:	<b>7</b>
Die bunte Welt der Farben:	<b>11</b>	Keine Bestimmte:	<b>3</b>

Die Schüler beantworteten die Frage nach der lehrreichsten Station wie folgt:

Das Auge:	<b>6</b>	Sonne, Mond und Spiegelung:	<b>7</b>
Die bunte Welt der Farben:	<b>7</b>	Keine Bestimmte:	<b>5</b>

Der Durchschnitt im abschließenden Physiktest liegt bei 15,96 Punkten, womit die Klasse ca.47% der möglichen 34 Punkte erreichte.

Eine Auswertung der einzelnen Gruppen zeigt, dass die Gesamtpunktzahlen von fünf Gruppen zwischen 44% und 49% schwanken und eine Gruppe mit 59% herausragte. Ein Schüler, der keine Gruppenangabe machte, erzielte jedoch nur 29% und könnte den Schnitt dieser überragenden Gruppe deutlich drücken. Die unterschiedlichen Arbeitshaltungen der einzelnen Gruppen könnte also durchaus Einfluss auf die Leistung beim Nachtest haben. Eine Tendenz zu schwächeren Leistungen aufgrund nachlassender Konzentration bei Stationen, welche die Gruppen gegen Ende des Labors bearbeitet haben, zeichnet sich jedoch nicht ab.

Insgesamt bewerte die Klasse das Schülerlabor mit der Schulnote: **2,28**

### 8.1.3. Klasse C

Die von Herrn Schäfer begleitete Klasse 7.Klasse des Siebold-Gymnasiums Würzburg besuchte das Schülerlabor am 16.12.2008. Das Labor wurde in dem Seminarraum 6 und Raum C069a von 31 Schülern (9 männlich und 22 weiblich; Durchschnittsalter: 12,6) durchgeführt. Die Betreuer an diesem Tag waren Alexander Dörr, Philipp Henninger, Max Kilian, Verena Roth, Christian Weiß und Franziska Weise. Nachdem von 8.45 Uhr bis 8.53 der einführende Vortrag gehalten wurde, starteten die Schüler um 9.00 Uhr mit den Experimenten. Die Stationen wurden um 10.15 Uhr und 11.25 Uhr gewechselt, ehe die Experimentierphase um 12.45 endete. Die Leistung wurde als durchschnittlich (Lehrer) bzw. überdurchschnittlich (Betreuer) eingeschätzt. Die Tests liefern folgende Ergebnisse:

#### Vortest (29 Schüler/11.12.2008):

Die Auswertung nach den einzelnen Variablen ergibt diese Werte:

Bereits Experimente zur Optik durchgeführt:	ja: <b>6</b>	nein: <b>22</b>	keine A.: <b>1</b>
Häufigkeit von Experimenten im Physikunterricht:	<b>2,45</b>	(Skala 1 bis 4)	
Interesse am Fach Physik:	<b>2,76</b>	(Skala 1 bis 4)	
Sachinteresse am Schülerlabor.	<b>3,57</b>	(Skala 1 bis 4)	
Selbstkonzept im Fach Physik:	<b>2,64</b>	(Skala 1 bis 4)	



Die durchschnittliche Leistung im fachlichen Vortest beträgt 5,69 Punkte, was ungefähr 26% der Gesamtpunktzahl von 22 Punkten entspricht. Wie die bei den zuvor ausgewerteten Klassen, wurde dieser Prozentsatz hauptsächlich wegen der 3.Aufgabe, der 4.Aufgabe und der 8.Aufgabe erzielt. Im Vergleich zu Klasse B schneidet Klasse C bei diesen Fragen zwar schlechter ab, erzielt aber aufgrund der besseren Bearbeitung der 6.Aufgabe (Linsen) und der 7.Aufgabe (Schatten von zwei Lichtquellen), die höhere Gesamtpunktzahl. Diese zwei Aufgaben, welche insgesamt die Hälfte der möglichen Punktzahl ausmachen, zeigen, dass sich einige Schüler schon mit Linsen beschäftigt haben und in der Lage sind den Schatten einer Lichtquelle zu konstruieren. Da allerdings nur wenige Schüler (6 bei der 6.Aufgabe und 9 bei der 7.Aufgabe) Punkte bei diesen Aufgaben erzielten, kann man davon ausgehen, dass dies nicht im Unterricht besprochen wurde. Die Aufgliederung nach Geschlechtern zeigt, wie bereits bei Klasse A erhebliche Unterschiede:

<u>Kriterium</u>	<u>Jungen</u>	<u>Mädchen</u>
<b>Fachinteresse:</b>	<b>75%</b>	<b>52%</b>
<b>Sachinteresse:</b>	<b>85%</b>	<b>86%</b>
<b>Selbstkonzept:</b>	<b>71%</b>	<b>48%</b>
<b>Gesamtpunktzahl:</b>	<b>30%</b>	<b>24%</b>

Es zeigt sich, dass die männlichen Schüler dieser Klasse über ein extrem hohes Selbstbewusstsein im Fach Physik verfügen. Die weiblichen Schüler liegen bei Werten zu Fachinteresse und Selbstkonzept deutlich unter den Werten der Jungs, erzielten aber eine ähnliche Gesamtpunktzahl. Das Sachinteresse hingegen ist wiederum ausgeglichen.

#### **Nachtest ( 29 Schüler/ 17.12.2008 ):**

Fasst man die Aussagen wie gehabt zusammen, ergeben sich die folgenden Werte:

Emotionale Komponente des aktuellen Interesses:	<b>2,99</b>	(Skala 1 bis 4)
Wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses:	<b>3,20</b>	(Skala 1 bis 4)
Epistemische Komponente des aktuellen Interesses:	<b>1,93</b>	(Skala 1 bis 4)
Wirksamkeit des Schülerlabors:	<b>2,56</b>	(Skala 1 bis 4)
Schülerlabor als Ausflugsziel:	<b>2,28</b>	(Skala 1 bis 4)
Offenheit des Schülerlabors:	<b>2,71</b>	(Skala 1 bis 4)
Konzipierung des Vortrags:	<b>2,62</b>	(Skala 1 bis 4)
Konzipierung des Labors:	<b>2,62</b>	(Skala 1 bis 4)

Eine Auszählung der Antworten auf die Frage nach der interessantesten Station aus ergibt:

Das Auge:	<b>5</b>	Sonne, Mond und Spiegelung:	<b>10</b>
Die bunte Welt der Farben:	<b>12</b>	Keine Bestimmte:	<b>2</b>

An welcher Station sie am meisten gelernt haben, schätzen die Schüler wie folgt ein:

Das Auge:	<b>13</b>	Sonne, Mond und Spiegelung:	<b>10</b>
Die bunte Welt der Farben:	<b>3</b>	Keine Bestimmte:	<b>3</b>

Die Durchschnittspunktzahl im Physiktest beträgt 15,45 Punkte. Dies entspricht rund 45% der insgesamt erreichbaren 34 Punkte.

Vergleicht man die Ergebnisse der einzelnen Gruppen miteinander, so schwanken die Leistungen zwischen 36% und 54%. Abgesehen von der großen Differenz ist noch bemerkenswert, dass die Arbeitsgruppe, welche von den Betreuern als schlechteste eingestuft wurde (Arbeitsgruppe 5) insgesamt das beste Ergebnis erreichte, während die Mitarbeit der schlechtesten Gruppe (Arbeitsgruppe 1) von den Betreuern als gut eingestuft wurde. Dafür gibt es zwei mögliche Begründungen. Einerseits kann die schlechte Mitarbeit durch eine Unterforderung der physikalisch stärksten Gruppe entstanden sein, während fachliche schlechtere Schüler durch die Herausforderungen und Erkenntnisse des Schülerlabors zu einer positiven Arbeitshaltung wurden. Andererseits könnte eine Gruppe, welche den Betreuern negativ auffällt auch intensiver und strenger betreut worden sein. Im Vergleich zu Gruppen, die selbständiger arbeiteten und deren Ergebnisse seltener überprüft wurden, könnte diese gründlichere Betreuung zu einem erhöhten Lernerfolg geführt haben. Ein Nachlassen der Leistungen bei Themengebieten, welche zuletzt bearbeitet wurden, ist insgesamt nicht zu erkennen. Auffällig ist jedoch, dass Arbeitsgruppen 1 (36%), Arbeitsgruppe 2 (49%) und Arbeitsgruppe 3 (41%) zusammen in einem Raum untergebracht waren, während sich Arbeitsgruppe 4 (44%), Arbeitsgruppe 5 (54%) und Arbeitsgruppe 6 (51%) den anderen Raum teilten. Die insgesamt drei Schüler, die keine Angaben zu ihrer Arbeitsgruppe machten, erzielten im Schnitt 51%, waren aber wahrscheinlich ebenfalls in des zweiten Raumes. Dieser Unterschied könnte ein Indiz für die Abhängigkeit von Betreuung und Umgebung des Schülerlabors sein. In einem der Räume scheint an diesem Tag effektiver gearbeitet worden sein als in dem anderen. Möglicherweise waren die Gruppen allerdings einfach so auf die Räume aufgeteilt, dass die stärkeren Schüler in einem anderen Raum experimentiert haben als die schwächeren Schüler, und es deshalb zu diesem Unterschied kam.

Insgesamt bewerte die Klasse das Schülerlabor mit der Schulnote: **2,93**

### 8.1.4. Klasse D

Diese 7.Klasse des naturwissenschaftlich-technischen Zweigs der Jakob-Stoll-Realschule Würzburg besuchte das Labor am 15.12.2008. Die 32 Schüler (31 männlich und 1 weiblich, Durchschnittsalter: 12,8) wurden von ihrem Lehrer Herr Schädel begleitet. Im Lauf des Schülerlabors kamen mit C. Berthold, J. Fließer und L. Klaus noch weitere Begleitpersonen dazu, um das Schülerlabor zu besichtigen. Da die Klasse den Vortest noch nicht bearbeitet hatte, wurde dieser vor Beginn des Schülerlabors durchgeführt. Nach dem einführenden Vortrag (9.05 Uhr bis 9.14Uhr) wurden die Schüler in Gruppen auf die verschiedenen Stationen in den Seminarraum 6 und den Raum C069a aufgeteilt. Die Betreuer während der Labordurchführung waren Philipp Henninger, Max Kilian, Verena Roth, Christian Weiß und Franziska Weise. Die Schüler experimentierten insgesamt von 9.25 Uhr bis 12.35 Uhr, wobei die Stationen um 10.35 Uhr und 12.35 Uhr gewechselt wurden. Die Leistung dieser Klasse, welche bereits erhebliche Vorkenntnisse zu allen Themenbereichen hatte (Herr Schädel: ca.20 Schulstunden), wurde von den Betreuern als überdurchschnittlich eingeschätzt, welche das hohe Fachwissen der Klasse lobten. Herr Schädel schätzte seine Klasse als durchschnittlich ein. Die Auswertung des Vor- und des Nachtest liefert die folgenden Ergebnisse:

#### Vortest ( 32Schüler / 15.12.2008 ):

Die Auswertung der einzelnen Aussagen lieferte für die erfragten Variablen folgende Werte:

Bereits Experimente zur Optik durchgeführt:	ja: <b>26</b>	nein: <b>6</b>
Häufigkeit von Experimenten im Physikunterricht:	<b>2,55</b>	(Skala 1 bis 4)
Interesse am Fach Physik:	<b>3,23</b>	(Skala 1 bis 4)
Sachinteresse am Schülerlabor.	<b>3,48</b>	(Skala 1 bis 4)
Selbstkonzept im Fach Physik:	<b>2,84</b>	(Skala 1 bis 4)

Bei dem Fragebogen zum physikalischen Vorwissen erreichte die Klasse einen Mittelwert von 17,25 Punkten, was 78% entspricht. Die Klasse zeigte, dass sie den fachlichen Hintergrund zu den gestellten Fragen beherrschte. Die einzige Frage, bei der ein fachlich schlechtes Ergebnis erzielt wurde, war die Frage was der Spiegel vertauscht. Die richtige Antwort „Vorne und hinten“ wurde nur von 9% der Schüler gegeben. Dabei muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass die falsche Antwort „Links und rechts“ (eine übliche Schülervorstellung) nur von 63% der Schüler angekreuzt wurde. Die Verbreitung dieser Fehlvorstellung erreichte in anderen Klassen zwischen 83% und 100%.

Abgesehen von dieser einen Frage wurden die Punkte allerdings mehr durch Ungenauigkeiten als durch fehlendes Fachwissen eingebüßt. Zum einen wurden die zu vervollständigenden Zeichnungen, wie auch bei anderen Klassen in Vor- und Nachtest, zur Reflexion und Brechung nicht beschriftet (nur 6%). Darüber hinaus wurden zwar die Strahlengänge von Konvexlinse und Konkavlinse von 97% der Schüler richtig eingezeichnet (von 88% sogar vollständig korrekt und sauber gezeichnet), aber nur 59% haben die Linsen auch wie gefordert bezeichnet. Dieser Teil der Aufgabe wurde von einem Großteil der Schüler vermutlich einfach überlesen. Die Schatten (7.Aufgabe) und der reflektierte Lichtstrahl (8.Aufgabe) wurden ebenfalls von 88% der Schüler korrekt eingezeichnet, was die Vermutung nahelegt, dass die übrigen 12% kein Geodreieck oder Lineal zur Verfügung hatten. Insgesamt wäre der Vortest bei genauerem Lesen und genügend Materialien der Schüler noch besser ausgefallen. Da sich die Klasse aus 31 Jungs und nur einem Mädchen zusammensetzt, wird auf den Vergleich der Geschlechter bei dieser Klasse verzichtet.

### **Nachtest ( 31 Schüler / 16.12.2008 )**

Die Auswertung der Aussagen lieferte für die zugeordneten Variablen folgende Werte:

Emotionale Komponente des aktuellen Interesses:	<b>3,24</b>	(Skala 1 bis 4)
Wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses:	<b>3,43</b>	(Skala 1 bis 4)
Epistemische Komponente des aktuellen Interesses:	<b>1,91</b>	(Skala 1 bis 4)
Wirksamkeit des Schülerlabors:	<b>2,57</b>	(Skala 1 bis 4)
Schülerlabor als Ausflugsziel:	<b>2,74</b>	(Skala 1 bis 4)
Offenheit des Schülerlabors:	<b>2,63</b>	(Skala 1 bis 4)
Konzipierung des Vortrags:	<b>2,94</b>	(Skala 1 bis 4)
Konzipierung des Labors:	<b>3,07</b>	(Skala 1 bis 4)

Eine Auszählung der Antworten auf die Frage nach der interessantesten Station aus ergibt:

Das Auge:	<b>4</b>	Sonne, Mond und Spiegelung:	<b>11</b>
Die bunte Welt der Farben:	<b>15</b>	Keine Bestimmte:	<b>1</b>

An welcher Station sie am meisten gelernt haben, schätzen die Schüler wie folgt ein:

Das Auge:	<b>4</b>	Sonne, Mond und Spiegelung:	<b>7</b>
Die bunte Welt der Farben:	<b>12</b>	Keine Bestimmte:	<b>8</b>

Mit durchschnittlich 21,03 Punkten beim Physiktest, was 62% der theoretisch erreichbaren 34 Punkte entspricht, erreicht diese Klasse, wie schon beim Vortest, das beste Ergebnis.

Da sieben der 31 Schüler keine Angaben zu ihren Arbeitsgruppen gemacht haben, ist eine Auswertung nach den einzelnen Gruppen nicht sehr aussagekräftig, dennoch soll kurz auf die Ergebnisse eingegangen werden. Bemerkenswert ist dabei die Leistungsdichte der einzelnen Gruppen. Die beste Gruppe mit 66% (Arbeitsgruppe 2) unterscheidet sich von der im Schnitt schwächsten Gruppe (Arbeitsgruppe 1 mit 57%) im Durchschnitt nur um 3 Punkte oder 9%. Weitere Auffälligkeiten sind die 100% welche Arbeitsgruppe 3 beim Thema Auge erzielte, sowie die Tatsache, dass die schlechteste themenbezogen Leistung (Arbeitsgruppe 6) beim Thema Farben mit 45% noch 9% über dem Gesamtschnitt von allen Klassen bei diesem Themengebiet (36%) liegt. Unterschiede der Gruppenleistung, welche sich auf die Reihenfolge der bearbeitenden Stationen zurückzuführen lassen, sind nicht zu erkennen.

Insgesamt bewerte die Klasse das Schülerlabor mit der Schulnote: **2,32**

### 8.1.5. Klasse E

Begleitet von Frau Bauer besuchte diese 8.Klasse des betriebswirtschaftlichen Zweigs der Jakob-Stoll-Realschule am 7.1.2009 das Schülerlabor. Vor Beginn des eigentlichen Labors mussten die 30 Schüler (17 männlich und 13 weiblich; Durchschnittsalter: 14) noch den Vortest ausfüllen. Danach wurde das Schülerlabor, das an diesem Tag von Viktor Eske, Philipp Henninger, Max Kilian, Christian Weiß und Franziska Weise betreut wurde, mit dem einführenden Vortrag (Dauer: 9.08 Uhr bis 9.14 Uhr) eröffnet. Nachdem die Schüler eingeteilt und die Versuche im Seminarraum 6 aufgebaut wurden, experimentierten die Schüler von 9.30 Uhr bis 12.30 Uhr. Dabei wurden die Stationen mit einer langen Pause von 10.25 Uhr bis 10.40 Uhr und einer kurzen Pause um 11.40 gewechselt. Lehrerin und Betreuer schätzten die Leistung der Klasse als unterdurchschnittlich ein. Die jeweiligen Tests dieser Klasse, welche Vorkenntnisse zum Thema „Das Auge“ hatte, ergeben folgende Werte:

#### Vortest ( 30 Schüler / 7.1.2009 ):

Die einzelnen Variablen ergeben sich zu folgenden Werten:

Bereits Experimente zur Optik durchgeführt:	ja: <b>16</b>	nein: <b>14</b>
Häufigkeit von Experimenten im Physikunterricht:	<b>2,50</b>	(Skala 1 bis 4)
Interesse am Fach Physik:	<b>2,25</b>	(Skala 1 bis 4)
Sachinteresse am Schülerlabor.	<b>3,15</b>	(Skala 1 bis 4)
Selbstkonzept im Fach Physik:	<b>2,72</b>	(Skala 1 bis 4)

Die Auswertung des Tests zum physikalischen Vorwissen liefert einen Durchschnittswert von 10,17 Punkten, was 46% der erreichbaren Punkte entspricht. Diese Punktzahl wurden in der Mehrheit durch das bearbeiten der 3.Aufgabe (Sonnen- und Mondfinsternis), der 4.Aufgabe (Strahlengang beim Sehens), der 6. Aufgabe (Sammel und Zerstreuungslinse) und der 7.Aufgabe (Einzeichnen des Schattens zweier Lichtquellen und Benennung der Schattenarten) erzielt. Dabei muss man allerdings feststellen, dass die durchschnittlichen Punktzahlen für bereits behandelten Stoff eher gering ausfallen, so wurden bei der 4.Aufgabe nur 67%, bei der 6.Aufgabe nur 56% und bei der 7.Aufgabe nur 59% der mögliche Punkte erzielt. Darüber hinaus wurden allerdings 20% der möglichen Punkte bei der 8.Aufgabe (Anwendung des Reflexionsgesetzes) erreicht, obwohl dieses Thema nicht behandelt wurde. Betrachtet man die Punktverteilung bei den einzelnen Aufgaben zeigt sich, dass keiner der Schüler eine Zeichnung beschriftet, wenn es nicht ausdrücklich verlangt wird. Selbst bei der 6.Aufgabe werden deutlich mehr Punkte durch das Einzeichnen der Strahlengänge als durch die Benennung der Linsen erlangt. Eine Erklärung hierfür kann natürlich wieder sein, dass der Vortest in der Universität durchgeführt wurde. Abgesehen von fehlenden Hilfsmitteln wie Linealen und Geodreieck könnte sich das direkt bevorstehende Labor auch negativ auf die Motivation zur Bearbeitung des Tests ausgewirkt habe. Ein Vergleich der Geschlechter zeigt deutliche Unterschiede:

<b><u>Kriterium</u></b>	<b><u>Jungen</u></b>	<b><u>Mädchen</u></b>	<b><u>Keine Angabe</u></b>
<b>Fachinteresse:</b>	<b>40%</b>	<b>49%</b>	<b>25%</b>
<b>Sachinteresse:</b>	<b>69%</b>	<b>68%</b>	<b>92%</b>
<b>Selbstkonzept:</b>	<b>59%</b>	<b>59%</b>	<b>46%</b>
<b>Gesamtpunktzahl:</b>	<b>57%</b>	<b>37%</b>	<b>40%</b>

Das Fachinteresse ist sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen eher gering, wobei die Mädchen noch mehr Interesse zeigen. Eine der möglichen Gründe ist, dass physikalisch interessierte Schüler nicht den betriebswirtschaftlichen sondern den naturwissenschaftlichen Zweig der Realschule wählen. Ein anderer Grund könnte die beginnende Pubertät sein, welche zu einem allgemeinen Desinteresse an schulischen Inhalten führt. Dies kann auch ein Grund für das geringe Sachinteresse beider Geschlechter sein. Außerdem ist bemerkenswert, dass die Jungen, bei gleicher Selbsteinschätzung ihrer Fähigkeiten im Fach Physik eine deutlich größere Gesamtpunktzahl erreichten. Insgesamt vier Schüler machten keine brauchbare Angabe zu ihrem Geschlecht und werden hier separat betrachtet. Auf sie soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.

## Nachtest ( 30 Schüler / 9.1.2009 )

Die Aussagen des Nachtests lassen sich zu folgenden Ergebnissen zusammenfassen:

Emotionale Komponente des aktuellen Interesses:	<b>3,37</b>	(Skala 1 bis 4)
Wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses:	<b>3,44</b>	(Skala 1 bis 4)
Epistemische Komponente des aktuellen Interesses:	<b>1,97</b>	(Skala 1 bis 4)
Wirksamkeit des Schülerlabors:	<b>2,72</b>	(Skala 1 bis 4)
Schülerlabor als Ausflugsziel:	<b>2,51</b>	(Skala 1 bis 4)
Offenheit des Schülerlabors:	<b>3,27</b>	(Skala 1 bis 4)
Konzipierung des Vortrags:	<b>2,66</b>	(Skala 1 bis 4)
Konzipierung des Labors:	<b>2,70</b>	(Skala 1 bis 4)

Welche Station am interessantesten wahr, beurteilten die Schüler folgendermaßen:

Das Auge:	<b>2</b>	Sonne, Mond und Spiegelung:	<b>9</b>
Die bunte Welt der Farben:	<b>15</b>	Keine Bestimmte:	<b>4</b>

Die Antworten auf die Frage nach der lehrreichsten Station, waren wie folgt verteilt:

Das Auge:	<b>7</b>	Sonne, Mond und Spiegelung:	<b>7</b>
Die bunte Welt der Farben:	<b>10</b>	Keine Bestimmte:	<b>6</b>

Im Physiktest erreichte die Klasse im Mittel 14,73 Punkte, was ungefähr 43% der maximal erreichbaren 34 Punkte entspricht.

Die Auswertung nach den einzelnen Gruppen weist eine Besonderheit auf. Eine Gruppe aus 4 Schülern (Arbeitsgruppe 4), deren Verhalten und Demotivation den Betreuern bereits bei der Durchführung des Labors extrem negativ aufgefallen ist, wird im Nachtest von keinem Schüler angegeben. Stattdessen wurden 3 Tests ohne Angabe abgegeben und die Gruppe 3 hat 7 statt der tatsächlichen 6 Gruppenmitglieder. Bezeichnenderweise erzielen die Schüler ohne Gruppenangabe mit 36% die geringste Punktzahl, gefolgt von Gruppe 3 mit 40%. Die übrigen Gruppen erreichen Werte zwischen 49% und 42%, sind insgesamt, wenn man von der Arbeitsgruppe 4 absieht, also ausgeglichen. Darüber hinaus zeigen sich insgesamt schwächere Leistungen bei Themen die am Ende des Schülerlabors behandelt wurde. Nachdem andere Klassen diese Tendenz jedoch so nicht zeigten, wird davon ausgegangen, dass sich die Dauer des Schülerlabors nicht negativ auf die Leistungsfähigkeit der Schüler auswirkt.

Insgesamt bewerte die Klasse das Schülerlabor mit der Schulnote: **2,62**

(Hierbei verteilten die Schüler ohne Gruppenangaben eine 2, eine 4 und eine 6)

### 8.1.6. Klasse F

Das Schülerlabor wurde am 9.1.2009 von dieser 7.Klasse des Würzburger Wirsberg-Gymnasiums besucht. Die 27 Schüler (15 Jungs und 12 Mädchen; Durchschnittsalter: 12,4) wurden von Herrn Geitner an die Universität begleitet. Das Schülerlabor fand im Seminar-raum 6 und im Raum A021 der physikalischen Fakultät statt und wurde von Viktor Eske, Philipp Henninger, Max Kilian, Christian Weiß und Franziska Weise betreut. Nachdem die Schüler den Vorest geschrieben hatten wurde das Schülerlabor durch den einführenden Vortrag eröffnet (Keine Zeiten bekannt). Ab 9.30 Uhr haben die Schüler experimentiert, bis von 10.40 Uhr bis 10.50 Uhr die Stationen erstmals gewechselt wurden. Nachdem der zweite Stationswechsel in der Zeit von 11.45 Uhr bis 12.00 Uhr stattfand, experimentierten die Schüler bis ungefähr 13.00 Uhr (Keine Zeit bekannt). Die Klasse, die bereits Kenntnisse zum Themengebiet „Das Auge“, wurde von ihrem Lehrer als durchschnittliche bis überdurchschnittlich und von den Betreuern als überdurchschnittlich eingestuft. Die Tests der Schüler, die auch diszipliniert arbeiteten als ihr Lehrer das Schülerlabor für längere Zeit verlassen musste, lieferten die nachfolgenden Ergebnisse:

#### Vortest ( 27Schüler / 9.1.2009 ):

Für die zu untersuchenden Variablen ergeben sich folgende Werte:

Bereits Experimente zur Optik durchgeführt:	ja: <b>24</b>	nein: <b>2</b>
Häufigkeit von Experimenten im Physikunterricht:	<b>3,17</b>	(Skala 1 bis 4)
Interesse am Fach Physik:	<b>3,07</b>	(Skala 1 bis 4)
Sachinteresse am Schülerlabor.	<b>3,48</b>	(Skala 1 bis 4)
Selbstkonzept im Fach Physik:	<b>2,96</b>	(Skala 1 bis 4)

Die Schüler erreichten im fachlichen Test durchschnittlich 10,07 Punkte, was 46% der maximal möglichen 22 Punkte entspricht. Dabei wurde die 3.Aufgabe (Sonnen- und Mondfinsternis) von jedem Schüler komplett richtig beantwortet, was bereits 3 Punkte pro Schüler bedeutet. Auch bei der 4.Aufgabe (Strahlengang beim Sehen) kreuzten 89% der Schüler die korrekte Antwortmöglichkeit an. Bei der Aufgabe zu den Linsen (6.Aufgabe) wurden 64% der möglichen Punkte erzielt. Neben diesen Aufgaben, deren Inhalte offensichtlich mehr oder weniger bekannt waren, wurden noch 41% der Punkte bei der 8.Aufgabe (Reflexionsgesetz) erreicht. Wie der Großteil der anderen Klassen, sind auch die Schüler der Klasse F der Überzeugung, dass ein Spiegel links und rechts vertauscht.

Der Vergleich von Jungen und Mädchen ergibt die folgenden Werte:



<u>Kriterium</u>	<u>Jungen</u>	<u>Mädchen</u>
<b>Fachinteresse:</b>	<b>70%</b>	<b>68%</b>
<b>Sachinteresse:</b>	<b>84%</b>	<b>81%</b>
<b>Selbstkonzept:</b>	<b>68%</b>	<b>63%</b>
<b>Gesamtpunktzahl:</b>	<b>47%</b>	<b>44%</b>

Die Gegenüberstellung dieser Daten zeigt, dass es bei dieser Klasse keinen nennenswerten Unterschied bei den einzelnen Variablen. Neben dieser gleichmäßigen Verteilung, bei der die Jungen immer nur knapp höhere Werte als die Mädchen aufweisen, stechen die hohen Werte bei Fachinteresse und Selbstkonzept hervor.

### Nachtest ( 25 Schüler / 26.1.2009 ):

Wertet man die Aussagen des Nachtests aus, erhält man die folgenden Werte:

Emotionale Komponente des aktuellen Interesses:	<b>3,49</b>	(Skala 1 bis 4)
Wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses:	<b>3,38</b>	(Skala 1 bis 4)
Epistemische Komponente des aktuellen Interesses:	<b>1,92</b>	(Skala 1 bis 4)
Wirksamkeit des Schülerlabors:	<b>2,81</b>	(Skala 1 bis 4)
Schülerlabor als Ausflugsziel:	<b>2,85</b>	(Skala 1 bis 4)
Offenheit des Schülerlabors:	<b>3,08</b>	(Skala 1 bis 4)
Konzipierung des Vortrags:	<b>2,92</b>	(Skala 1 bis 4)
Konzipierung des Labors:	<b>3,27</b>	(Skala 1 bis 4)

Die Frage nach der interessantesten Station wurde wie folgt beantwortet:

Das Auge:	<b>4</b>	Sonne, Mond und Spiegelung:	<b>11</b>
Die bunte Welt der Farben:	<b>4</b>	Keine Bestimmte:	<b>4</b>

Auf die Frage nach der lehrreichsten Station, gaben die Schüler folgende Antworten:

Das Auge:	<b>6</b>	Sonne, Mond und Spiegelung:	<b>8</b>
Die bunte Welt der Farben:	<b>8</b>	Keine Bestimmte:	<b>3</b>

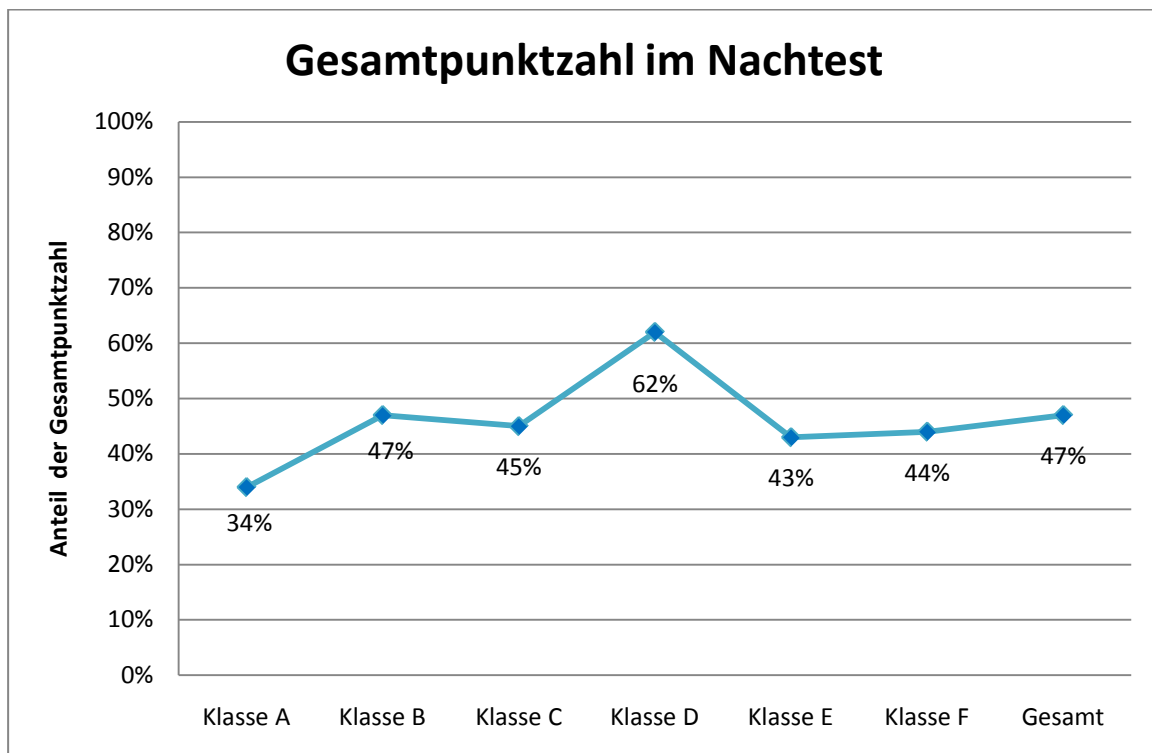
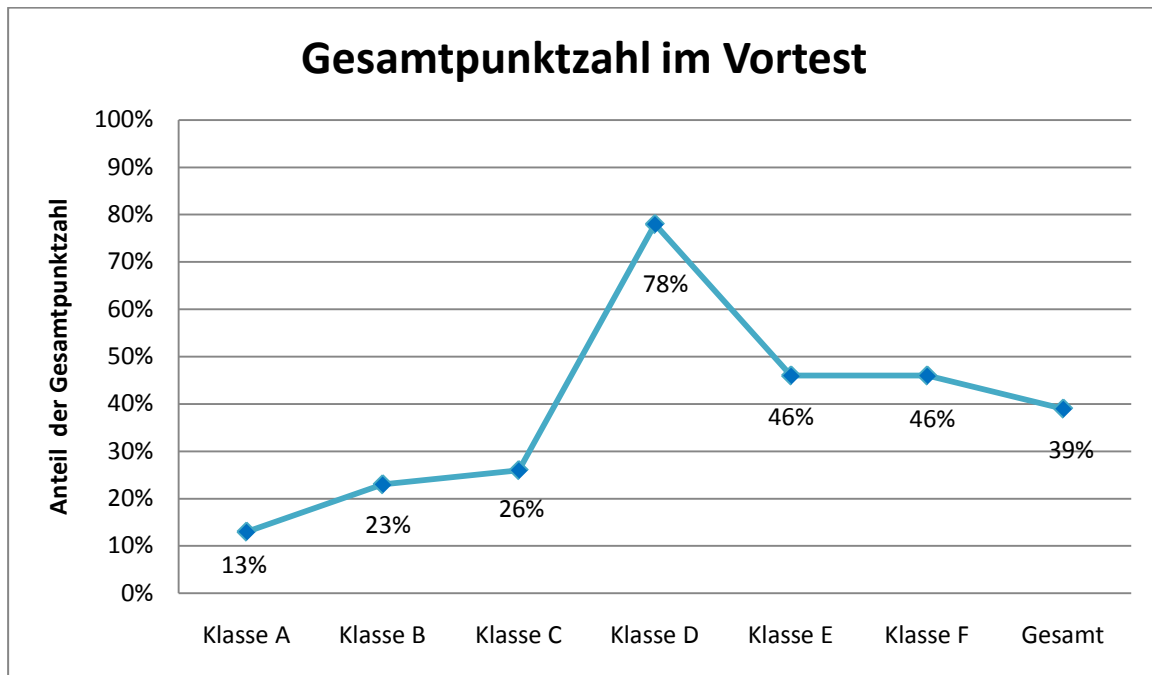
Im Physiktest erzielte die Klasse im Schnitt 15,00 Punkte, bzw. 44% der Gesamtpunktzahl. Auf eine Auswertung wird verzichtet, da annähernd die Hälfte der Klasse ihre Arbeitsgruppe nicht angegeben hat. Eine solche Auswertung wäre also weder sinnvoll noch aussagekräftig.

Insgesamt bewerte die Klasse das Schülerlabor mit der Schulnote: **1,96**

### 8.1.7. Vergleich der Klassen

In diesem Kapitel werden die jeweiligen Daten der einzelnen Klassen noch einmal direkt miteinander verglichen.

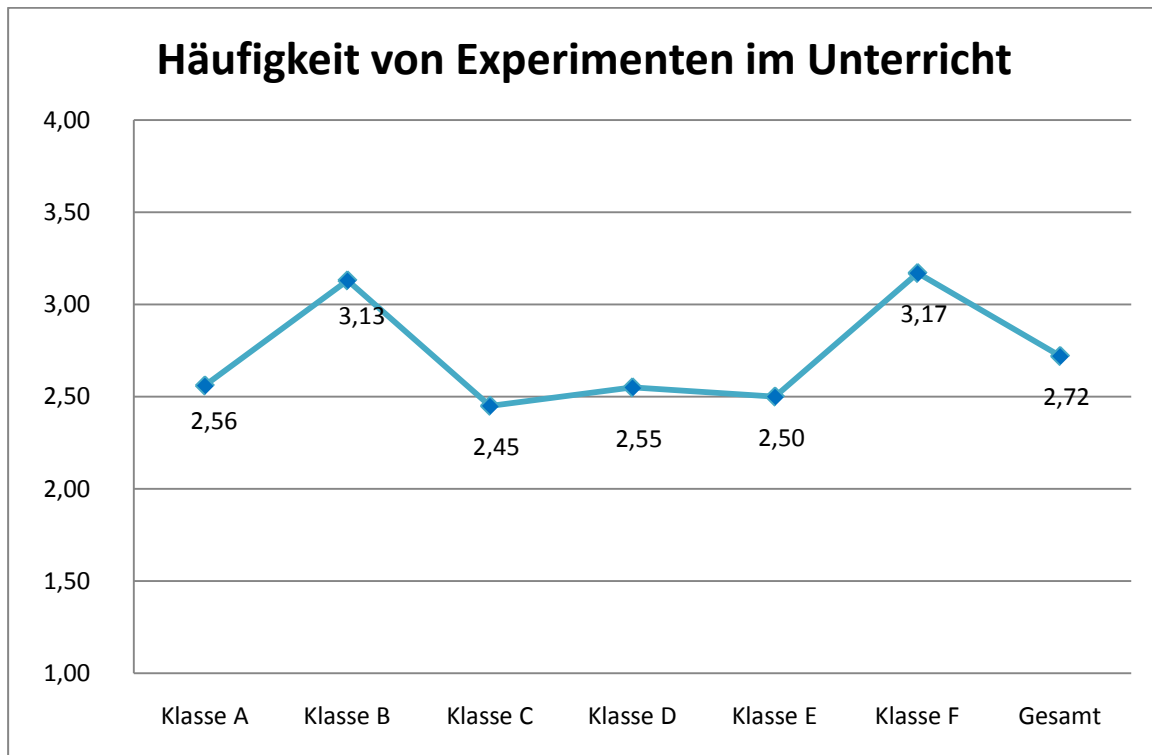
Zuerst sollen hierbei die durchschnittlichen prozentualen Anteil der Gesamtpunktzahlen von Vor- und Nachtest verglichen werden.



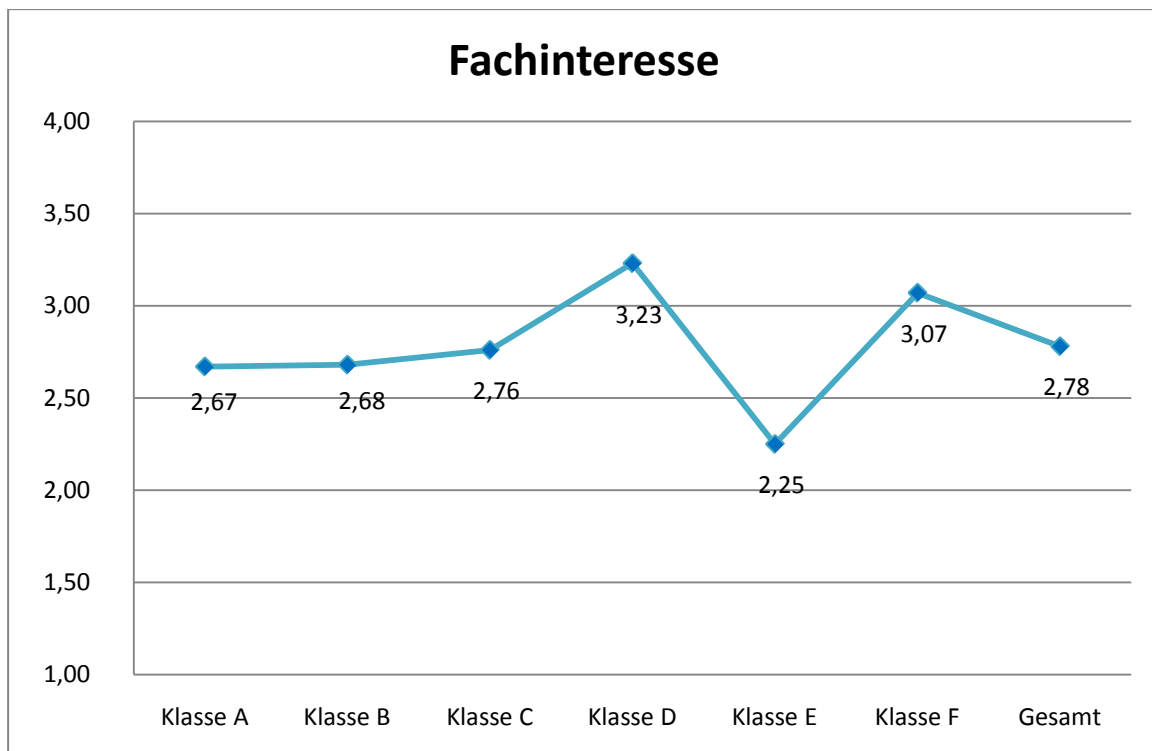
Wie man an den Diagrammen erkennen kann, zeigen sich beim Vortest deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Klassen. Die Klasse D, die Optik bereits zu Großteil behandelt hatte, erreichte die deutlich höchste Punktzahl, gefolgt von Klasse E und Klasse F, welche zumindest Teile des Themas schon im Unterricht besprochen haben. Bei den Klassen ohne nennenswerten Optikunterricht fällt auf, dass die Klasse A weniger Punkte erzielte, als die anderen beiden. Da diese Unterschiede nicht auf den Unterricht zurückzuführen sind, haben die Schüler der Klassen B und C ihre Kenntnisse entweder im Alltag erworben oder einige der Aufgaben konnten aufgrund logischer Überlegungen gelöst werden. Für Klasse A würde dies bedeuten, dass sie entweder weniger Erkenntnisse aus ihrer Umwelt gewinnen, oder, wie die häufig gegebene Antwort „Haben wir nicht besprochen“ vermuten lässt, einfach nicht bereit waren über unbekannte Themengebiete nachzudenken.

Bei der Auswertung des Nachtest hingegen zeigen sich deutlich geringere Unterschiede. Zwar liegt die Klasse D noch über dem Rest und die Klasse A darunter, doch die übrigen Klassen liegen alle zwischen 43% und 47%. Den Klassen wurde also in etwa gleichviel Wissen vermittelt. Die insgesamt eher geringen Punktzahlen lassen sich dadurch erklären, dass das Niveau des Nachtest deutlich über dem Niveau des Vortests und teilweise auch über dem Niveau des Schülerlabors liegt. Aus diesem Grund erzielte Klasse D vermutlich auch höhere Punktzahlen, da sie Fragen richtig beantworteten, deren Inhalte sie mehr aus dem Unterricht als aus dem Schülerlabor kannten. Eine weitere mögliche Erklärung für die hohe Punktzahl könnte auch sein, dass die Klasse die Grundlage zum Schülerlabor bereits beherrschte und somit mehr Zeit für weiterführende Fragen und Aufgaben hatte. Sie hatten also die Chance ihre Aufmerksamkeit während des Schülerlabors mehr auf die entsprechenden Themen zu fokussieren, als Klassen, denen die Grundlagen weniger vertraut waren. Das unterdurchschnittliche Abschneiden der Klasse A ist auch dadurch zu Erklären, dass zwischen der Labordurchführung und dem Nachtest die Weihnachtsferien waren. Zwischen dem Labor und der Datenerhebung lag also ein Zeitraum von zwei Wochen, in denen die Schüler sich nicht mit Physik beschäftigten. Die Schüler hätten ohne diese Unterbrechung vermutlich bessere Ergebnisse erzielt. Während die Klassen B, C, D, und E nur maximal zwei Tage nach dem Besuch des Labors des Tests schrieben, wurden bei der Klasse F ebenfalls 17 Tage gewartet bevor der Nachtest bearbeitet wurde. Da die Schüler in dieser Zeit jedoch Physikunterricht hatten, in dem möglicherweise sogar auf einige Inhalte des Schülerlabors eingegangen wurde, ist keine derart deutliche Senkung des Leistungsniveaus zu erkennen. Berücksichtigt man diese Umstände, die jeweiligen Schularten bzw. Schulzweige und das Niveau des Nachtests, so sind die erzielten Ergebnisse der einzelnen Klassen insgesamt positiv zu bewerten.

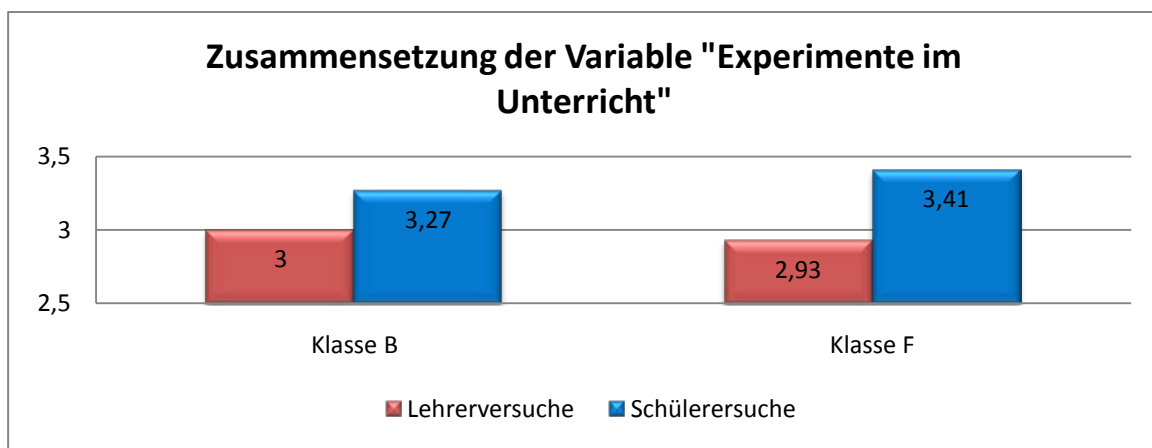
Die nächsten Graphiken zeigen einen Vergleich der Einschätzung der Häufigkeit von Experimenten im Physikunterricht, des Fachinteresses, des Sachinteresses und des Selbstkonzepts der Schüler im Fach Physik:



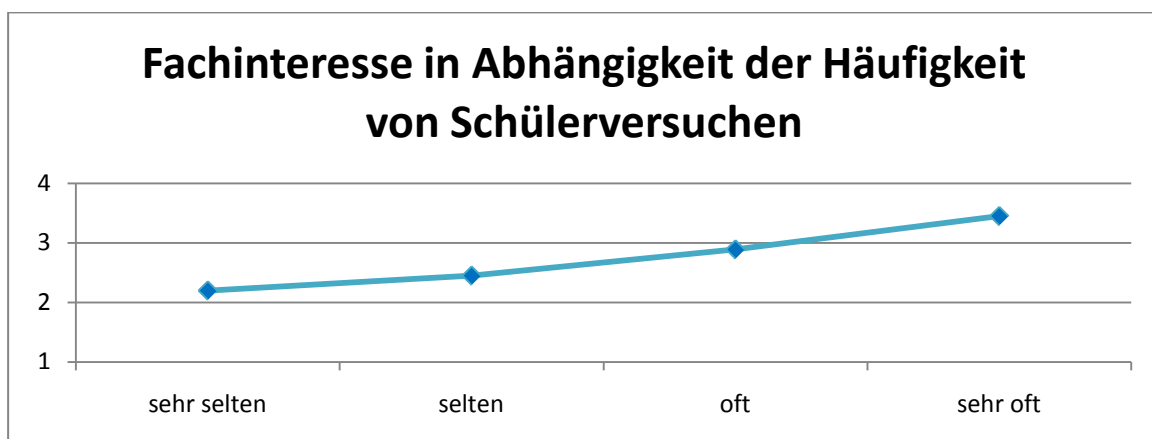
Wie man leicht erkennen kann, liegen die Klassen A, C, D und E alle relativ Nahe um den Mittelwert von 2,5. Lediglich die Schüler der Klasse B und der Klasse F geben an, dass in ihren Physikstunden häufig Experimente durchgeführt werden.



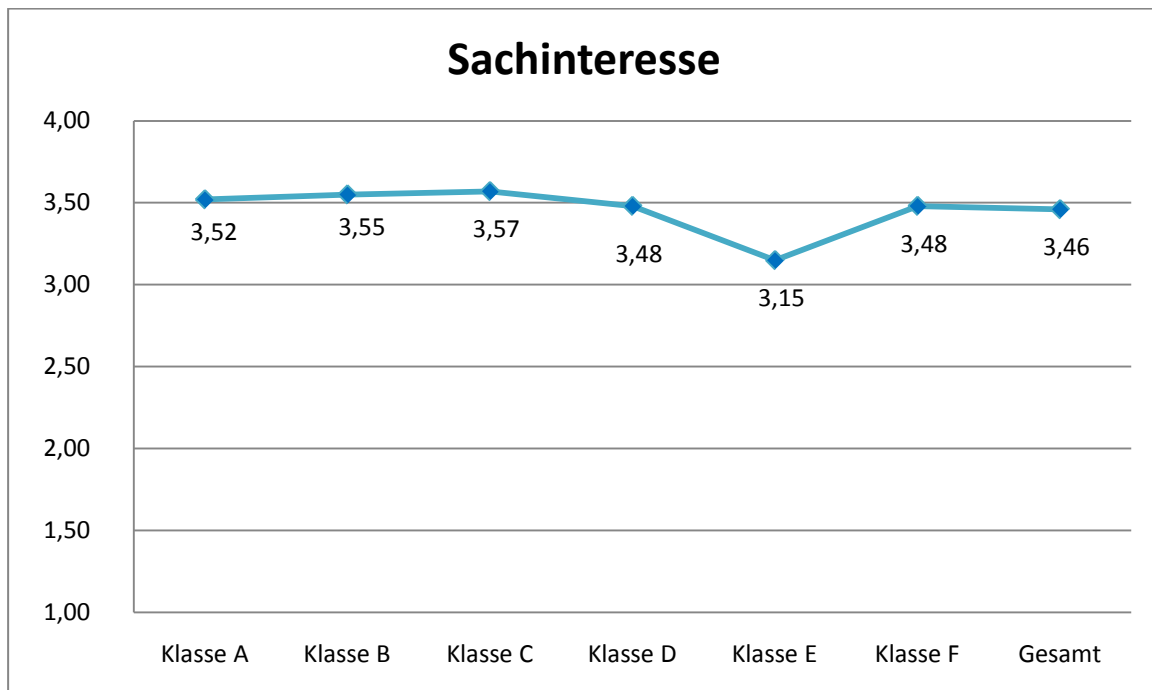
Diese Graphik zeigt, dass alle Klassen des Siebold-Gymnasiums (A, B und C) über ein ähnliches Fachinteresse verfügen. Das Fachinteresse der entsprechenden Klasse des Wirsberg-Gymnasiums (F) liegt jedoch deutlich höher. Die Ergebnisse der Realschulklassen waren, wenn auch nicht in dieser Deutlichkeit, zu erwarten. Die naturwissenschaftlich interessierten Schüler sammeln sich im 1. Zweig (D), weshalb hier ein hohes Fachinteresse vorhanden ist. Indem die interessierteren Schüler in zu eigenen Klassen gruppiert werden, sind in den übrigen Klassen weniger Schüler mit einem hohen Fachinteresse, was den Klassendurchschnitt senkt. Darüber hinaus zeigte die 8.Klasse (E) allgemein weniger Interesse und Motivation als die Schüler der siebten Jahrgangsstufe. Lediglich das hohe Fachinteresse der Klasse F ist überraschend. Ein möglicher Grund könnte der ebenfalls hohe Wert bei der Unterrichtseinschätzung sein, allerdings müsste Klasse B dann ebenfalls ein deutlich höheres Fachinteresse aufweisen. Eine genauere Betrachtung, wie die Variable Unterricht sich bei diesen Klassen zusammensetzt bietet eine mögliche Antwort:



Klasse F zeigt in Vergleich zu Klasse B einen höheren Anteil bei Schülerversuchen und weniger Vorführungsversuche durch den Lehrer. Bei Schüler, die häufig selbst Versuche durchführen, entwickelt sich also möglicherweise ein höheres Fachinteresse. Diese Annahme wird durch die folgende Graphik ebenfalls unterstützt.

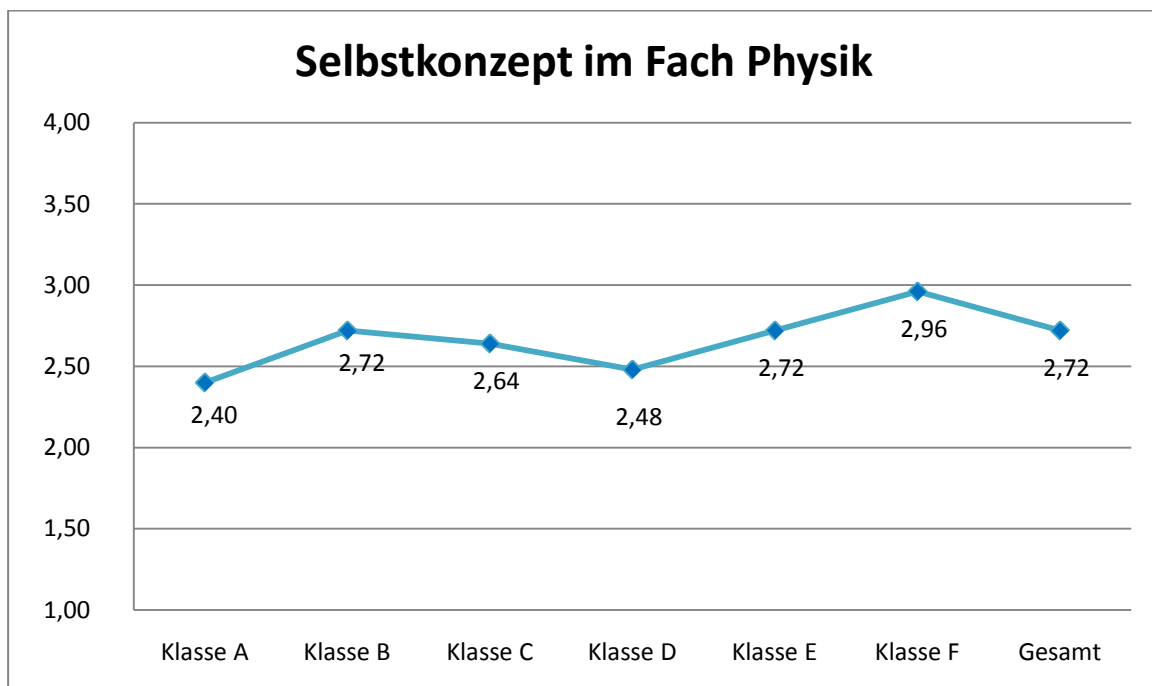


Als nächstes soll das Sachinteresse an den Tätigkeiten in einem Schülerlabor der einzelnen Klassen verglichen werden. Hierzu dient folgende Graphik:



Wie man sieht zeigen alle Klassen ein stark ausgeprägtes Sachinteresse. Lediglich der Wert der Klasse E liegt zwar unterhalb der übrigen Klassen, mit 3,15 jedoch immer noch deutlich über der Mitte der Skala. Dieses geringere Sachinteresse könnte zum einen mit dem niedrigeren Fachinteresse als auch mit der negativeren Grundeinstellung einiger einzelner Schüler zu jeglicher Art von schulischer Aktivität zusammenhängen.

Des Weiteren wird das Selbstkonzept auf Klassenbasis verglichen:

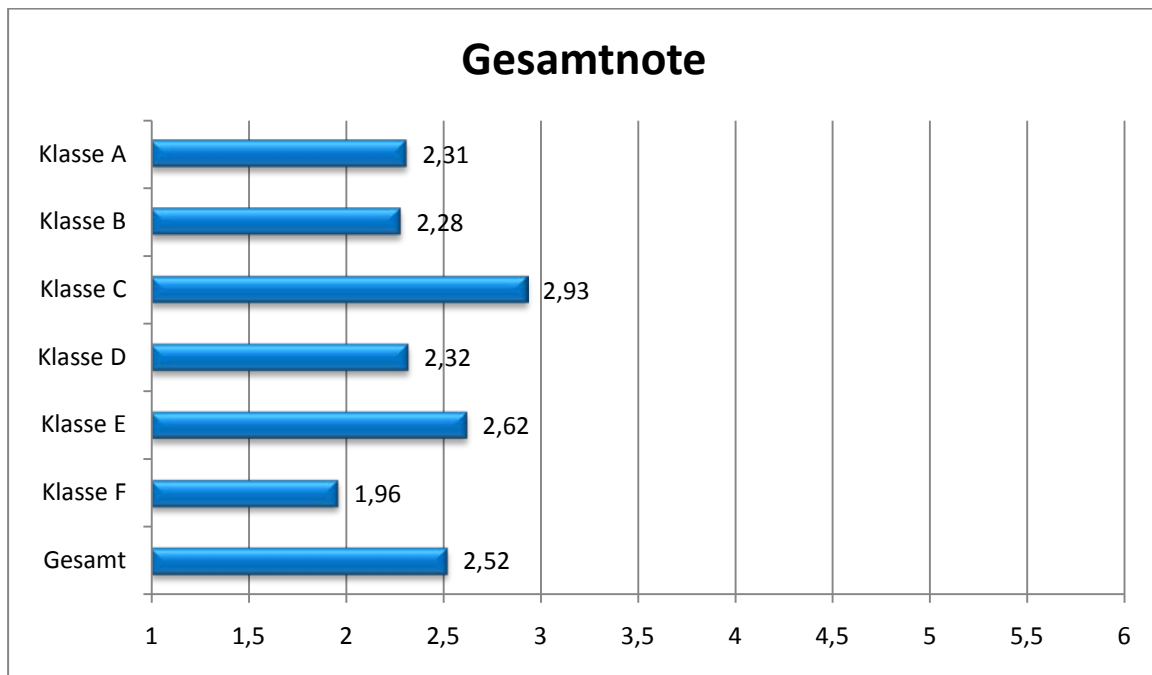


Hierbei zeigt sich, dass das Selbstkonzept der einzelnen Klassen deutlich weniger variiert als das Fachinteresse und auch nur teilweise den erzielten Leistungen entspricht. So erreicht die Klasse D, welche die besten Leistungen erzielte, nur einen Durchschnittswert von 2,48, während Klasse E, mit einem Wert von 2,72, einen relativ hohen Wert erreichte, obwohl sie deutlich das geringste Fachinteresse zeigte. Diese Abweichungen können jedoch durch die unterschiedlichen Ansprüche im Fach Physik erklärt werden. Betrachtet man nur die vier Gymnasialklassen (A, B, C und F) so deckt sich das Selbstkonzept mit den gezeigten Leistungen und dem Fachinteresse. Klasse F, welche die deutlich besten Leistungen der Gymnasialklassen erzielte und das höchste Fachinteresse aufwies, legte auch das größte Selbstvertrauen an den Tag. Die Klassen B und C unterscheiden sich, wie auch bei den Graphen zuvor nur geringfügig, während die Klasse A, welche bei ähnlichem Fachinteresse eine geringere Leistung erzielte, ihre Fähigkeiten im Fach Physik ebenfalls geringer einschätzt. Der physikalische Anspruch ist, wie man den Lehrplänen der einzelnen Klasse entnehmen kann, in einer 7. Jahrgangsstufe des Zweigs der Realschule um einiges höher als im Fach Natur und Technik in den entsprechenden Gymnasialklassen. Lehrer und Schüler haben also einen höheren Leistungsanspruch, weshalb die Schüler ihr fachliches Können in einem anderen Rahmen abschätzen als Gymnasialschüler. Durch das höhere Niveau ist es schwieriger gute Leistungen zu erzielen, wodurch die Schüler über weniger Selbstvertrauen verfügen. Dies kann erklären, warum Klasse D, mit einem hohen fachlichen Interesse, die gute Leistungen im Test erzielte, nur einen Wert von 2,48 beim Selbstkonzept erreichte.

Der fachliche Anspruch in der 8. Klasse des betriebswirtschaftlichen Zweigs an Realschulen ist wiederum ähnlich dem Anspruch an Gymnasien. Die Schüler müssen also für die gleichen Noten eine geringere Leistung erbringen und schätzen sich deshalb stärker ein als die Schüler des ersten Zweigs. Dies erklärt, dass die Klasse E trotz wenig Fachinteresse und einer durchschnittlichen Leistung verhältnismäßig viel Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten an den Tag legte. Insgesamt jedoch liegen die Werte der meisten Klassen in der Umgebung um 2,5. Dies resultiert daraus, dass die einzelnen Schüler sich auch an ihren Klassenkameraden orientieren, um sich eine Meinung zu der eigenen Leistungsfähigkeit zu bilden.

Die bisherige Auswertung zeigt also, dass Schülerversuche zu einem höheren Interesse am Fach Physik führen können. Klassen mit einem hohen Fachinteresse erzielten durchschnittlich bessere Ergebnisse in den Tests, wohingegen das Selbstkonzept der Schüler, welches ebenfalls Einfluss auf die gezeigten Leistungen hat, stark von der eigenen Klasse und dem Niveau des Unterrichts abhängt. Außerdem verdeutlicht die Befragung zum Sachinteresse das alle Klassen viel Interesse an dem Besuch eines Schülerlabors zeigen.

Um abzuschätzen wie sehr der Besuch des Schülerlabors den einzelnen Klassen gefallen hat, sollen abschließend die von den Schülern vergebenen Noten verglichen werden:



Die Klassen A, B und C bewerteten den Laborbesuch alle relativ ausgeglichen mit einem Wert von rund 2,3. Dieser Durchschnittswert, der einem „gut“ entspricht, kann insgesamt als Erfolg angesehen werden, da eine noch bessere Bewertung des Schülerlabors durch eine Schulklasse nicht zu erwarten war. Die Werte 2,93 (Klasse C) und 2,62 (Klasse D) stechen zwar deutlich negativ hervor, sind insgesamt gesehen aber noch akzeptabel. Die schlechtere Benotung dieser Klassen kann mehrere Gründe haben. Die Klasse E zeigte das geringste Fach- und Sachinteresse aller Klasse. Abgesehen davon könnten auch organisatorische Faktoren eine Rolle spielen. Möglicherweise war der Termin am 7.1.2009 (erster Schultag nach Ferien) ungünstig gewählt, oder die Tatsache, dass das komplette Schülerlabor in einem Raum durchgeführt wurde, und die damit verbundenen Unruhe, könnte sich negativ auf die Bewertung ausgewirkt haben. Die negative Bewertung durch die Klasse C kann nicht anhand von der zuvor ausgewerteten Variablen begründet werden, Ein möglicher Grund könnte jedoch sein, dass die Betreuer zuvor nur eine Klasse (D), die über deutlich mehr Fachwissen verfügte, betreut haben, und somit den Stil ihrer Betreuung erst ändern mussten. Eine Betrachtung der exakten Notenverteilungen bietet für beide Klassen eine weitere Erklärung. Von insgesamt fünf Schülern, die eine 5 oder 6 vergaben, sind vier in den entsprechenden Klassen zu finden. Die Durchschnittsnote werden also von einigen wenigen Schülern deutlich gesenkt. Die 1,96 der Klasse F kann auf das sehr hohe Fachinteresse, die gute Einstellung der Klasse und die zunehmende Erfahrung der Betreuer zurückgeführt werden.



## 8.2. Gesamtauswertung

Nachdem im vorigen Kapitel einige Ergebnisse der einzelnen Klassen ausgewertet und miteinander verglichen wurden, sollen in diesem Kapitel die Ergebnisse auf Basis der gesamten Fragebögen dargelegt werden. Dabei wurde der Vortest von insgesamt 174 und der Nachtest von 159 Schülern bearbeitet. 150 Schüler füllten sowohl Vortest als auch Nachtest aus. Die Aussagen übergeordneter Gesichtspunkte werden zur Vereinfachung dabei wieder als gleichwertig angesehen. Die vollständigen Daten der Auswertung befinden sich als Anlage auf der beigefügten CD und können dort im Detail eingesehen werden.

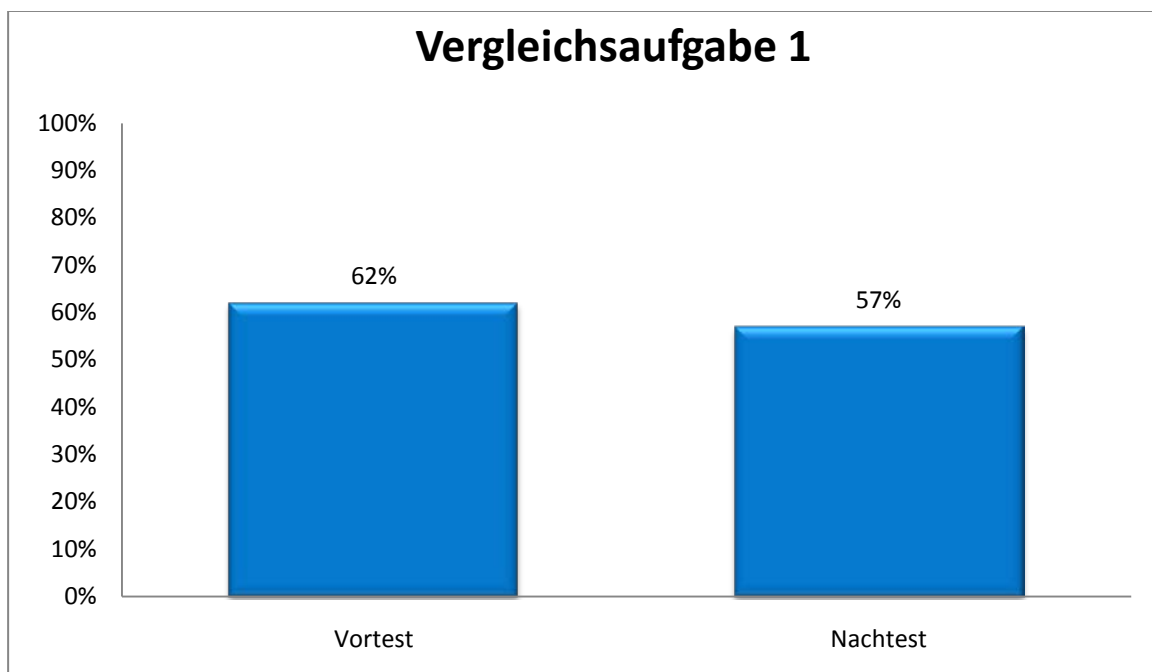
### 8.2.1. Auswertung des Fachtests

Dieses Kapitel gibt Auskunft über die Bearbeitung des Physiktests (aus dem Nachtest). Hierzu wird jede einzelne Aufgabe kurz besprochen, ehe man den Test als ganzes betrachtet und die Ergebnisse zusammenfasst.

#### 1.Aufgabe

Bei dieser Aufgabe sollten die Schüler aus vier Darstellungen diejenige auswählen, welche den Sehvorgang korrekt beschreibt. Insgesamt 58% der Schüler die den Nachtest ausfüllten konnten die Frage richtig beantworten. Trotz der Tatsache, dass die Frage im Schülerlabor nicht direkt thematisiert wurde, so hätten insgesamt doch mehr Schüler in der Lage sein müssen die Frage aufgrund der durchgeführten Versuche zu Auge und Reflexion richtig zu beantworten.

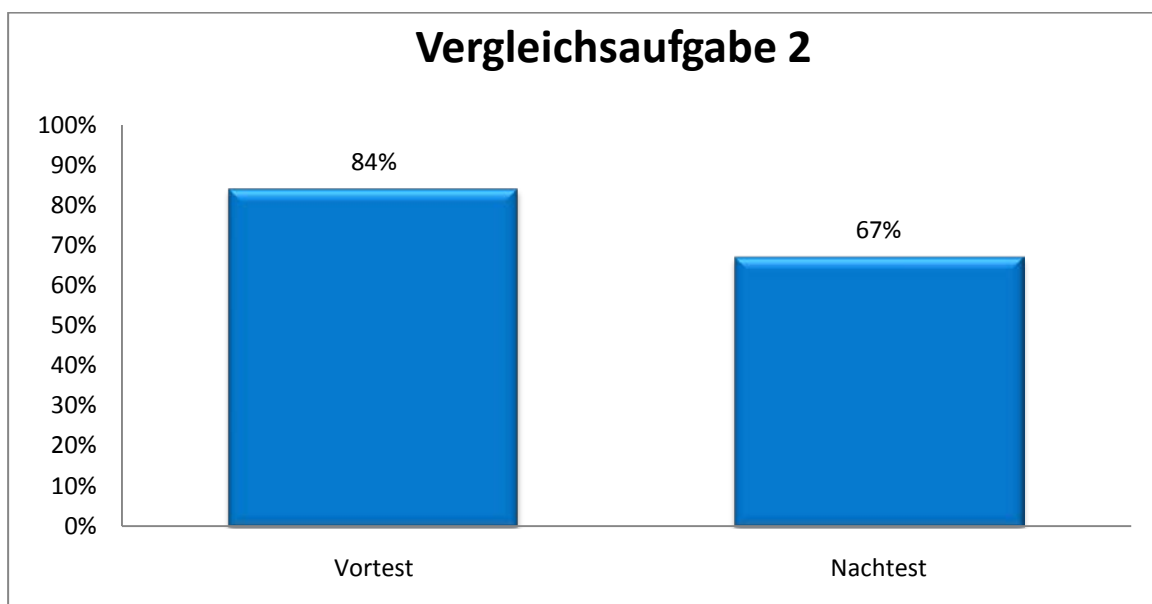
Vergleicht man Schüler die beide Test bearbeiteten, erhält man sogar eine leicht negative Tendenz, wie die folgende Graphik zeigt:



Für diese leichte Verschlechterung (5%) gibt es drei mögliche Erklärungen. Erstens könnte der Teil der Schüler, der die Antwort nicht beantworten kann, beim Vortest zufällig mehr deutlich mehr Punkte erreicht haben, was jedoch sehr unwahrscheinlich ist. Zweitens wurde diese Frage nicht explizit behandelt, und die Schüler waren nicht in der Lage die Antwort aus den gewonnenen Kenntnissen herzuleiten. Es wäre zu dieser Frage also keinerlei Lernerfolg erzielt worden. Eine letzte Möglichkeit stellt die unkonzentrierte Bearbeitung der Schüler dar. Die richtige Antwort stand in Vor- und Nachtest an unterschiedlicher Reihenfolge, und auffällig viele Schüler kreuzten im Nachtest Antwortmöglichkeit 4 an, was im Vortest die richtige Antwortmöglichkeit war.

## **2.Aufgabe:**

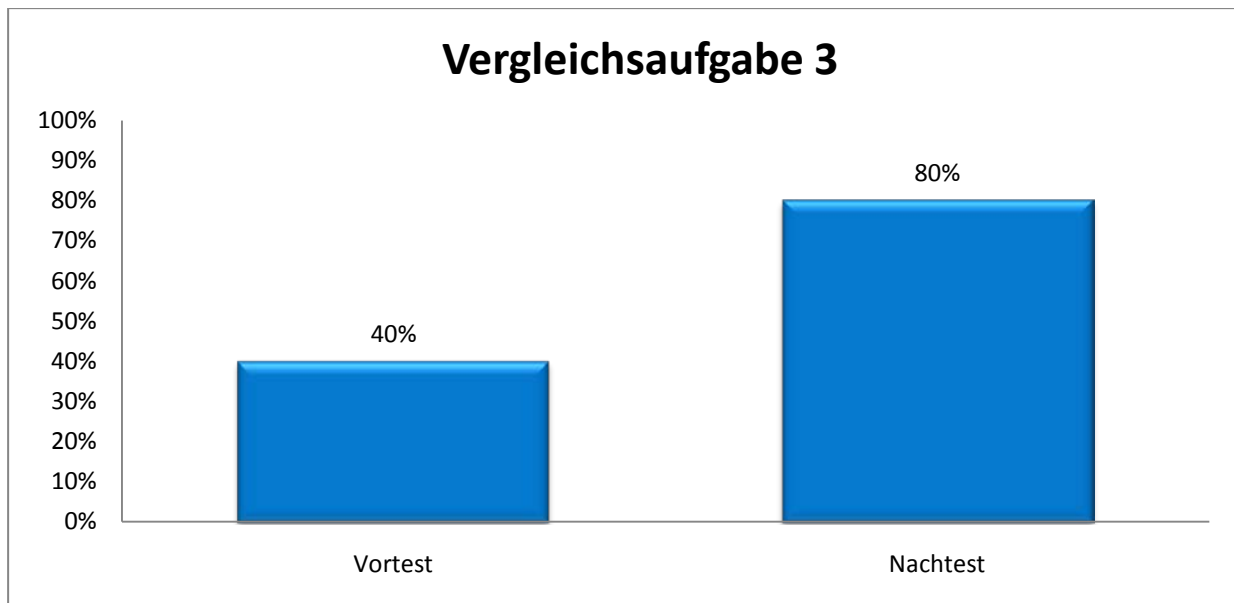
Entsprechend der 3.Aufgabe aus dem Vortest, sollten die Schüler angeben, wie Sonne, Mond und Erde zueinander stehen müssen, damit eine Mondfinsternis auftreten kann. Diesmal musste die richtige Antwortmöglichkeit jedoch nicht in eine Zeichnung eingetragen werden, sondern die Schüler mussten aus vier ausformulierten Antwortmöglichkeiten auswählen. Anschließend sollte die gegebene Antwort noch durch einen Satz oder eine Skizze begründet werden. Insgesamt erzielten die Schüler hier nur 58% der erreichbaren Punkte, wobei 67% der Schüler die richtige Antwort wählten aber nur 50% der Schüler eine sinnvolle Begründung lieferten. Sätze wie „Weil es so ist“ oder „Wenn es nicht so ist, kann es keine Sonnenfinsternis geben“ wurden dabei ebenso als Begründung angegeben, wie Skizzen der gegebenen Antwortmöglichkeit (ohne Schatten). Vergleicht man Anzahl richtig angekreuzter Antworten mit der Anzahl richtig eingezeichneter Monde im Vortest (bei Schülern die beide Tests abgegeben haben) so ergibt sich folgendes Bild:



Die deutlich schlechteren Ergebnisse beim Nachtest weisen darauf hin, dass die Schüler deutliche Probleme auf Grund der veränderten Fragestellung hatten. Ein solcher Unterschied kann nicht durch statistische Abweichungen erklärt werden. Eine mögliche Erklärung liegt in der Aufgabenstellung. Im Vortest wurde angegeben, dass der Mond auf einer Umlaufbahn um die Erde eingezeichnet werden soll. Allein durch Beachtung dieser Angabe schied die im Nachtest gegebene Antwortmöglichkeit „Die Sonne steht zwischen Erde und Mond“, welche viele Schüler angekreuzt haben, bereits aus. Die Antwortmöglichkeit „Der Mond steht zwischen Sonne und Erde“ beschreibt, falls Sonne, Mond und Erde nicht in einer Ebene liegen, auch die Mondphase Neumond. Da die Mondphasen im Labor experimentell nachgestellt wurden, könnte ein Teil der Schüler Mondfinsternis auch mit Neumond verwechseln. Fehlendes räumliches Vorstellungsvermögen und unkonzentriertes Lesen sind ebenfalls mögliche Fehlerquellen.

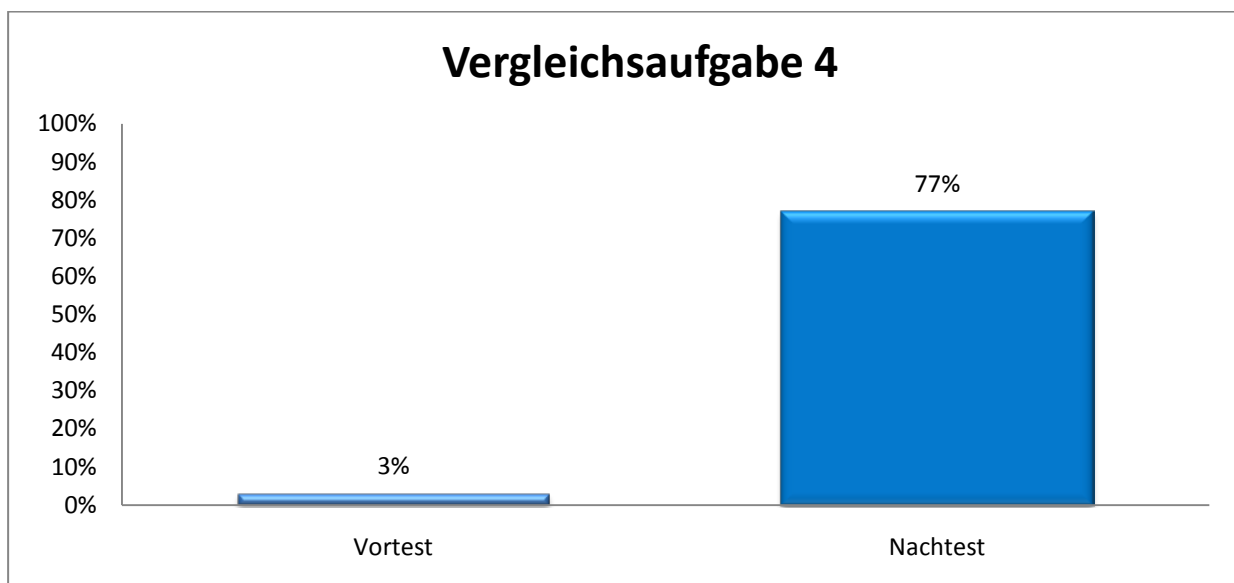
### **3.Aufgabe**

Die 3.Aufgabe entspricht vom Aufbau der 6.Aufgabe des Vortests. Neben den dort geforderten Linsenbezeichnungen und Strahlengängen wird allerdings noch nach der durch die jeweilige Linse korrigierbaren Fehlsichtigkeit gefragt. Die Schüler erzielten im Durchschnitt 74% der möglichen Punkte. Die Punkte auf die Linsennamen, wobei Rechtschreibfehler ignoriert wurden, die ungefähren Strahlengänge der Linsen und die Zuordnung der Antworten zum jeweiligen Linsenumriss wurden dabei sehr gut bearbeitet (zwischen 96% und 79%), während bei der Zuordnung der korrigierbaren Fehlsichtigkeit und die Exaktheit der Strahlengänge jeweils nur 47% erreicht wurden. Da sich bereits bei der Durchführung des Schülerlabors zeigte, dass die Schüler teilweise stark vereinfacht Strahlengänge in ihr Hand-Out einzeichneten und die Fehlsichtigkeit trotz Bearbeitung des Versuches falsch notierten, würde man durch eine abschließende Nachbesprechung des Labors hier möglicherweise auch höhere Punktzahlen erzielen. Vergleicht man die Bearbeitung dieser Aufgabe, ohne die Zusatzfrage nach der Fehlsichtigkeit, mit den Ergebnissen der entsprechenden Schüler im Vortest, zeigt sich eine deutliche Leistungssteigerung. Wie die auf der nächsten Seite folgende Graphik zeigt, erzielen die Schüler nach dem Laborbesuch im Schnitt doppelt so viele Punkte wie vor dem Laborbesuch. Bei dieser Aufgabe zeigt sich also ein deutlicher Lernerfolg. Dieser liegt möglicherweise darin begründet, dass der Inhalt in exakt dieser Form behandelt wurde und die Schüler die Ergebnisse selbständig in ihr Hand-Out übertragen mussten.



#### 4.Aufgabe

Bei der Frage, was durch einen Spiegel vertauscht wird, kreuzten insgesamt 77% der Schüler die korrekte Antwort „Vorne und Hinten“ an. Wie die nachfolgende Graphik zeigt, ist dies im Vergleich zum Vortest eine deutliche Steigerung:



Diese Verbesserung lässt sich ebenso begründen, wie die Verbesserung bei der Vergleichsfrage 3. Die Schüler mussten die Lösung dieser Frage ebenfalls direkt experimentell herleiten und die gemachten Ergebnisse anhand eines Lückentextes selbständig ins Hand-Out übertragen. Bemerkenswert ist außerdem, dass die weit verbreitete Schülervorstellung,<sup>13</sup> „Der Spiegel vertauscht links und rechts“ von 85% auf 17% gesenkt werden konnte.

<sup>13</sup> Müller/Wodzinski/Hopf: Schülervorstellungen in der Physik S.162

### **5.Aufgabe:**

Insgesamt 51% der Schüler beantworteten die Frage nach dem Abstand zu ihrem Spiegelbild richtig. In Anbetracht der Tatsache, dass die Schüler die Abstände von Gegenstand und Bild zum Spiegel im Versuch gemessen haben, erscheint dieser Wert gering. Eine Erklärung für diese geringe Punktzahl ist die Tatsache, dass einige Gruppen nicht bis zu dem Versuch gelangten. Da außerdem sehr viele Schüler ankreuzten, ihr Spiegelbild sei halb soweit von ihnen entfernt wie der Spiegel, was keinerlei Sinn ergibt, kann man davon ausgehen, dass manche Schüler die Aufgabenstellung ungenau gelesen haben, oder nicht in der Lage waren sich die Antwortmöglichkeiten bildlich vorzustellen.

### **6.Aufgabe:**

Die 6.Aufgabe wurde zu 35% richtig bearbeitet. Diese Punktzahl täuscht jedoch, da 61% der Schüler die Frage richtig beantworteten, aber nur 8% ihre Antwort anhand der Skizze richtig begründeten. Die Punktzahl zur Bearbeitung wäre voraussichtlich höher ausgefallen, wenn das Thema nicht am Ende der Station Spiegel besprochen worden wäre. Dadurch erreichten manche Arbeitsgruppen den Versuch zur Spiegelgröße aus Zeitgründen nicht mehr, und einzelne Schüler der übrigen Gruppen waren möglicherweise gegen Ende der Station nicht mehr so aufmerksam. Die zusätzlich verlangte Begründungsskizze wurde während des Schülerlabors nicht angegeben, sondern konnte nur den Ergänzungen zu Schülerlabor entnommen werden.

### **7.Aufgabe:**

Bei der Aufgabe zur Farbreihenfolge erzielte die Schüler durchschnittlich 46%. Dieser Prozentsatz ist darauf zurückzuführen, dass die Schüler die Farbreihenfolge beim Regenbogen mit der Farbreihenfolge bei der Dispersion gleichsetzen mussten. Diese Farbreihenfolge wurde im Schülerlabor zwar experimentell erarbeitet, jedoch nur anhand einer Skizze in das Hand-Out übernommen, welche die Schüler zu Teil einfarbig anfertigten. In die Farben von außen nach innen anzugeben hätten die Schüler außerdem noch die Erklärung zur Entstehung des Regenbogens selbständig nachlesen müssen. Die Frage welche Farbe am stärksten gebrochen wird, wurde nicht direkt besprochen, so dass die Schüler diese Antwort aus den zuvor gewonnenen Kenntnissen hätten herleiten müssen. Dass nur 14% der Schüler diese Zusatzaufgabe beantworten konnten, was den Gesamtschnitt der Aufgabe drückte, ist also nicht weiter verwunderlich. Erstaunlich ist jedoch, dass mehrere Schüler die Frage mit „Weiß“ beantworteten, obwohl eine der vorgegebenen 6 Farben gewählt werden sollte. Ein weiterer Beleg für ungenaues Lesen der Aufgabenstellung.

### **8.Aufgabe.**

Die 8.Aufgabe, bei der die Schüler die Frage beantworten sollten ob es sichtbares schwarzes Licht gibt, und eine Begründung dafür abgeben sollte, wurde mit durchschnittlich 35% der möglichen Punkte bewertet. Da es sich um eine Transferaufgabe handelte, bei der die Schüler, entweder aufgrund des Farbspektrums oder wegen Dunkelheit als Abwesenheit von Licht, die Antwort selbst erarbeiten mussten, ist dieser Prozentsatz nicht überraschend. Dabei beantworteten 54% der Schüler die Aufgabe richtig, und 16% lieferten eine angemessene Begründung. Betrachtet man die Antworten genauer, wird jedoch mehreres deutlich. So wurden mehrmals Antworten gegeben, in denen weder „Ja“ noch „Nein“ gewählt wurden. Andere Schüler begründeten völlig richtig, dass man die Farbe schwarz erhält, wenn man mittels subtraktiver Farbmischung alle Farben des Spektrums ausfiltert, beantworteten die Frage jedoch mit Ja. Darüber hinaus gingen die Erklärungen vieler Schüler in die richtige Richtung, waren jedoch nicht ausreichend genau formuliert. Andere Schüler versuchten keine Antwort auf die Frage zu geben, sondern schrieben: „Das haben wir nicht gemacht.“ Wieder andere Schüler gaben Antworten die an der Fragestellung vorbeigingen wie: „Ja, wenn man rot, grün und blau mischt gibt es weiß.“ Insgesamt betrachtet hatten die Schüler Probleme darin eine Begründung zu formulieren oder den Sachverhalt richtig zu deuten. Einige wenige Schüler waren jedoch nicht bereit sich über Unbekanntes nachzudenken während andere die Fragestellung vermutlich falsch gelesen hatten.

### **9.Aufgabe:**

Die richtige Antwort auf die 9.Aufgabe konnte nur von Schülern gegeben werden, die sich den im Hand-Out angegebenen Fachbegriff Dispersion gemerkt hatten. Insgesamt 24% der Schüler beantworteten die Frage korrekt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass viele Schüler das Hand-Out nur als Versuchsanleitung und Arbeitsblatt zum ausfüllen betrachten, und sich die gegebene Erklärungen und Informationen nicht genau durchlesen. Auffällig war außerdem dass die Mehrheit der Schüler, aus unbekanntem Gründen, die Antwortmöglichkeit Diffusion wählten.

### **10.Aufgabe:**

Ähnlich wie bei der vorigen Aufgabe, wurde bei der 10.Aufgabe ein Inhalt aus dem Hand-Out abgefragt. Dabei erzielten die Schüler ebenfalls 24% der möglichen Punkte. Da bei dieser Aufgabe nur 4 Antwortmöglichkeiten vorgeschlagen wurden, entspricht das einem Wert, der durchaus mit Raten hätte erzielt werden können. Wie bereits bei der 9.Aufgabe zeigt sich, dass die Schüler das Hand-Out nicht, wie erhofft, als Lernhilfe nutzen.

### **11.Aufgabe:**

Bei der 11.Aufgabe sollten die Schüler das im Schülerlabor erworbene Wissen zum Thema Spiegel anwenden. Dazu wurde ihnen eine Skizze eines Würfels und seines Spiegelbildes vorgegeben. Die Schüler sollten zwei markierte Kanten des Würfels in Spiegelbild eintragen, was ihnen zu 80% und 83% gelungen ist. Insgesamt wurden 81% der möglichen Punkte erzielt. Die Schüler waren also in der Lage erworbenes Wissen auf das konkrete Problem anzuwenden.

### **12.Aufgabe:**

Eine als richtig bewertete Begründung, warum bei einem Daumenkino der Eindruck von bewegten Bildern entsteht, wurde von 43% der Schüler gegeben. Dabei wurde wieder deutlich, dass ein Großteil der Schüler Probleme mit der Formulierung einer Begründung hat. Teilweise waren die gegebenen Antworten auch schwer zu entziffern oder zu verstehen. Als Beispiel soll die Antwort „Weil die Bilder sich so schnell bewegt, unser verarbeitet sie heut als Video“ dienen, welche vermutlich die richtige Grundidee hat, aber genau wie die Antwort „Wegen der Schnelligkeit“ mit 0 Punkten bewertet wurde. Insgesamt hätten die Schüler durch genauere Formulierungen ihrer Begründungen, oder bei milderer Korrektur, eine deutlich höhere Durchschnittspunktzahl erreichen können.

### **13.Aufgabe:**

Die 13. Aufgabe, die Brechung und Spiegelung miteinander verknüpft, wurde insgesamt am schlechtesten bearbeitet. Nur 19% der möglichen Punkte wurden erreicht, was jedoch in Anbetracht der Schwierigkeit nicht überrascht. Die Formulierung der Aufgabenstellung gibt keinen Hinweis auf die Inhalte von Brechung oder Reflexion, und der Großteil der Schüler ordneten der Aufgabe nur eines der Themen zu. Dadurch erreichten sie folglich keine Punkte im anderen Themengebiet. Dies kann allerdings dadurch erklärt werden, dass Spiegelung und Brechung im Schülerlabor getrennt behandelt wurden. Ein Lichtstrahl, der an einer Grenzfläche gebrochen und reflektiert wird, wurde im Schülerlabor nicht direkt thematisiert. Zusätzlich wurden Lichtstrahlen im Schülerlabor immer zum Lot gebrochen. Der Übergang vom optisch dichteren zum optisch dünneren Medium wird nur mittels eines Lückentexts berücksichtigt. Darüber hinaus sollten die Schüler noch das Lot und die entscheidenden Winkel einzeichnen, was wenige Schüler berücksichtigten. Entweder wurde das Wort Hilfslinie, mit der das Lot in dem Arbeitsauftrag bezeichnet wurde, von den Schülern nicht als Lot verstanden oder einfach überlesen. Ohne Lot war es den Schülern auch nicht möglich die geforderten Winkel einzuzeichnen.

Darüber hinaus wurde die Zeichnung kaum von Schülern beschriftet, was sich bereits bei entsprechenden Aufgaben des Vortests andeutete, wodurch weitere mögliche Punkte verloren gingen. Die Zusatzfragen nach den Winkelbeziehungen bereiteten den Schülern ebenfalls Probleme. Scheinbar war die Formulierung der Aufgabenstellung schwer zu verstehen und umzusetzen. Einige Schüler gaben nur ein Ungleichheitszeichen an, ohne entsprechende Winkel dazu anzugeben, oder hatten die Winkel zuvor nicht in der Zeichnung eingezeichnet. Insgesamt machten nur 6% der Schüler richtige Winkelangaben bei der Reflexion, von 21% die den reflektierten Lichtstrahl korrekt einzeichneten. Das Winkelverhältnis bei der Brechung, welches von 28% richtig eingezeichnet wurde, wurde sogar nur von 3% der Schüler korrekt angegeben. Insgesamt hatte diese Aufgabe also ein sehr hohes Anforderungsprofil, so dass eine geringe Punktzahl der Schüler zu erwarten war.

### **Zusammenfassung:**

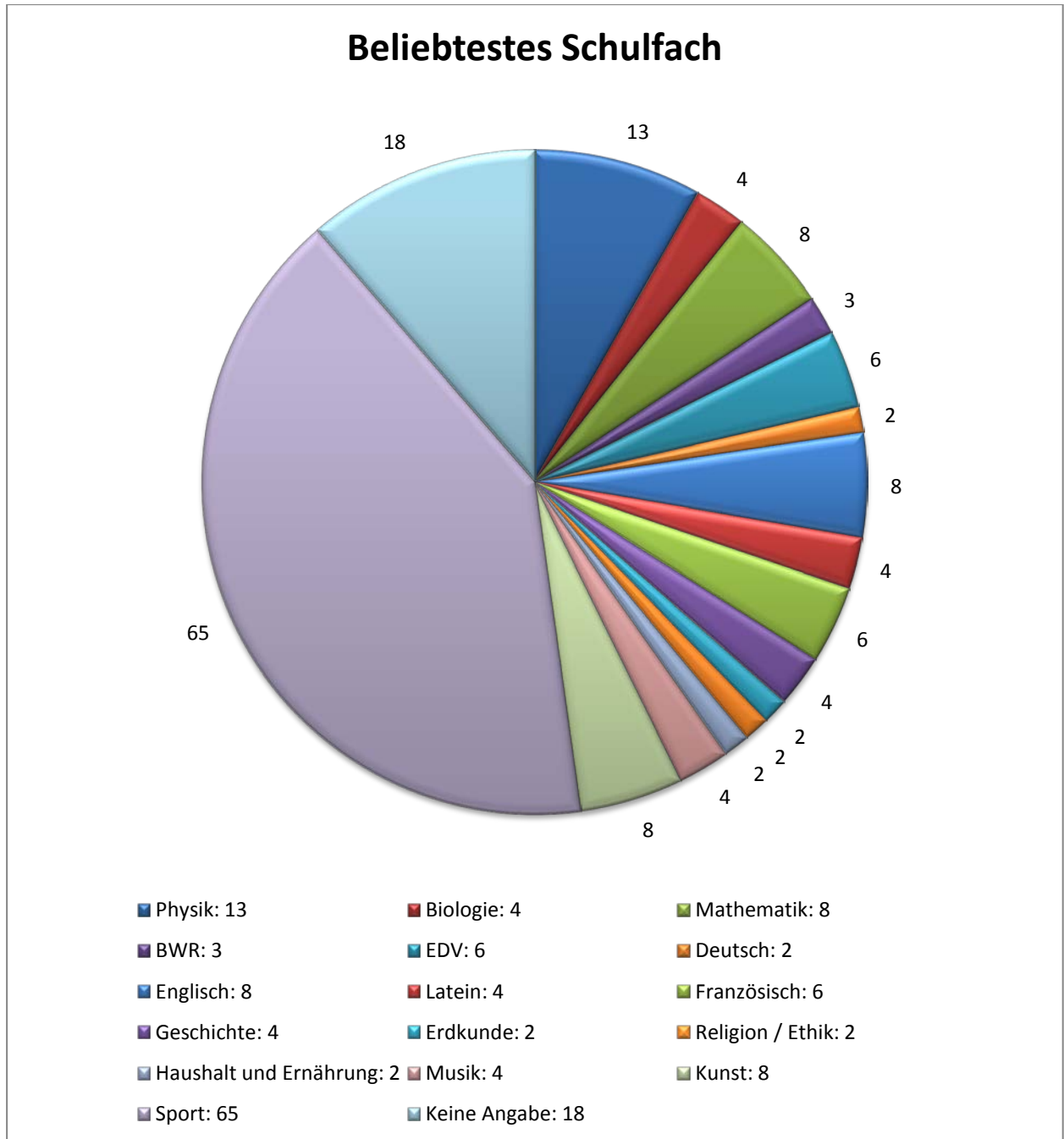
Die Ergebnisse des Nachttests, in dem die Schüler durchschnittlich 47% der möglichen Punkte erreichten, lassen mehrere Schlüsse zu. Einerseits zeigt sich, dass bei den im Schülerlabor behandelten Fragestellungen ein deutlicher Lernerfolg zu erkennen ist. Das Verständnis der Schüler ist aber insgesamt nicht tiefgehend genug um, auf Basis der vermittelten Inhalte, weiterführende Fragen zu beantworten. Wissen der Schüler endet also häufig mit dem Stoff des Schülerlabors und geht selten darüber hinaus. Eine weitere Erkenntnis der Korrektur ist, dass die Schüler Sachverhalte, welche sie selbst notiert haben deutlich besser wiedergeben als Informationen, die dem Hand-Out und den Ergänzungen entnommen werden können. Auch die Art der Fragestellung hat großen Einfluss auf die Qualität der Antworten, wie man an der Vergleichsaufgabe 2 erkennen kann. Die Schüler haben größere Schwierigkeiten, wenn die Aussagen als Sätze formuliert sind, im Vergleich zu graphischen Aufgabenstellungen. Dies kann einerseits durch ungenaues Lesen als auch durch mangelndes Räumliches Vorstellungsvermögen erklärt werden. Einige Fertigkeiten, wie beispielsweise das selbständige Anfertigen aussagekräftiger Skizzen oder physikalisch sinnvolles Argumentieren, bei denen die Schüler schwächen zeigten, wurden im bisherigen Physikunterricht nur teilweise vermittelt, weshalb die Schüler dort verständlicherweise Defizite aufwiesen. Weitere Schwachstellen offenbarten sich in der Formulierung sinnvoller Sätze und der Rechtschreibung (z.B.: Mikruskok statt Mikroskop), welche jedoch nur zum Teil dem Fach Physik zuzuordnen sind.

Um Fehler zu vermeiden, sollten die Schüler intensiv betreut und die Hand-Outs kontrolliert werden. Außerdem sollte das Schülerlabor im Unterricht ausführlich nachbesprochen werden, um den Lernerfolg der Schüler zu maximieren.



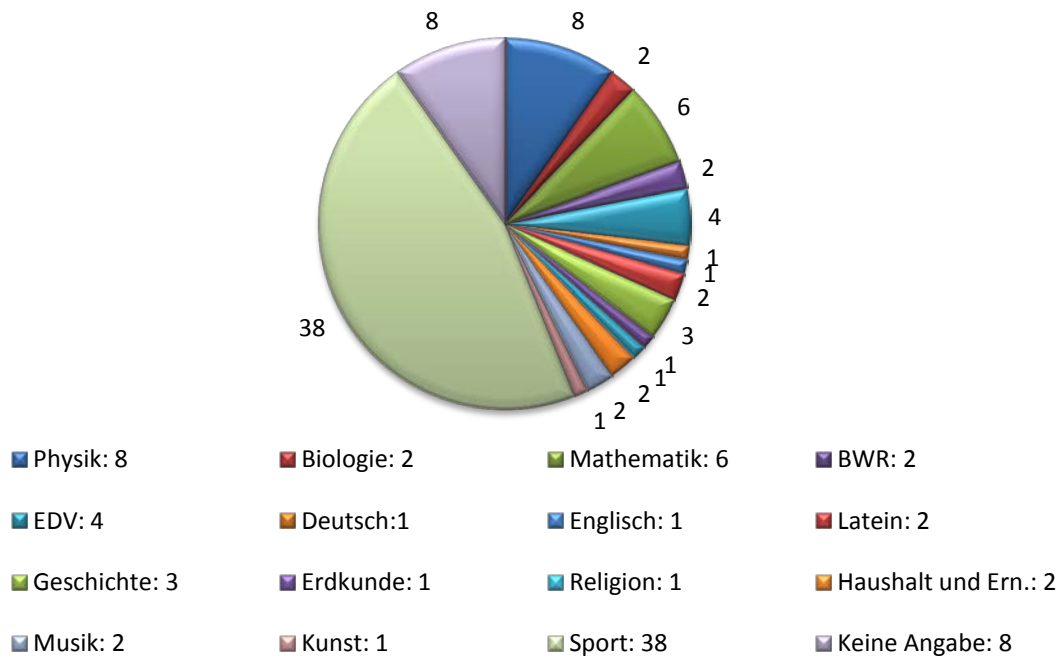
## 8.2.2. Auswertung des Fragebogens

Zu Beginn dieses Kapitels werden die Antworten der Schüler betreffs des beliebtesten und des unbeliebtesten Schulfachs betrachtet.

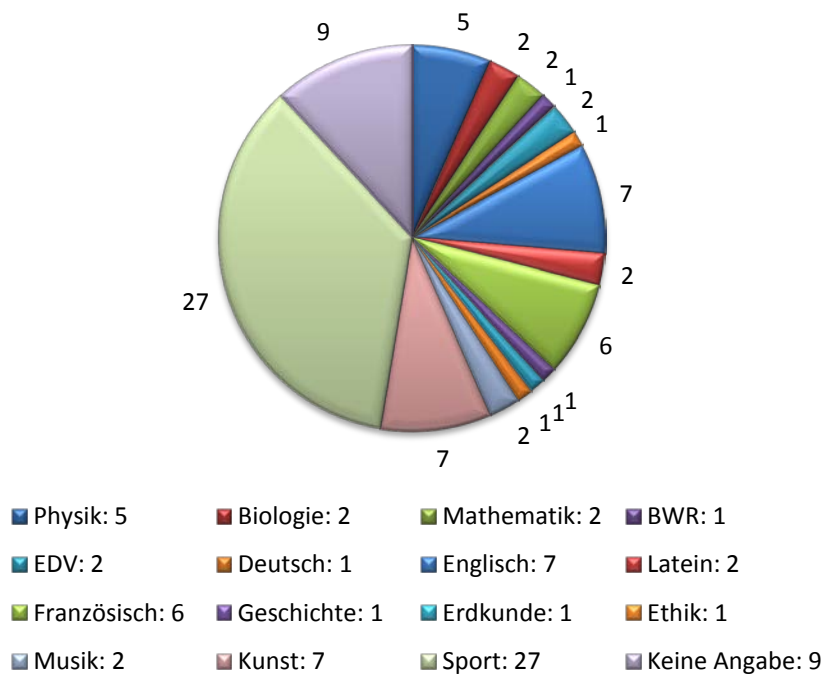


Wie man deutlich erkennen kann, ist Sport das beliebteste Schulfach. Physik liegt mit 13 Nennungen insgesamt an 2.Stelle, wobei man beachten muss, dass mehr Schüler keine Angaben. Berücksichtigt man die Vorgehensweise bei mehreren Angaben (siehe Bewertung der Fragebögen) und das die Klassen zum Teil unterschiedliche Fächer haben, so liegt Physik gemeinsam mit den Fremdsprachen Mathematik und Kunst im oberen Mittelfeld. Dabei sind die Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen eher gering, wie die folgenden Graphiken zeigen.

## Beliebtestes Schulfach (Jungs)

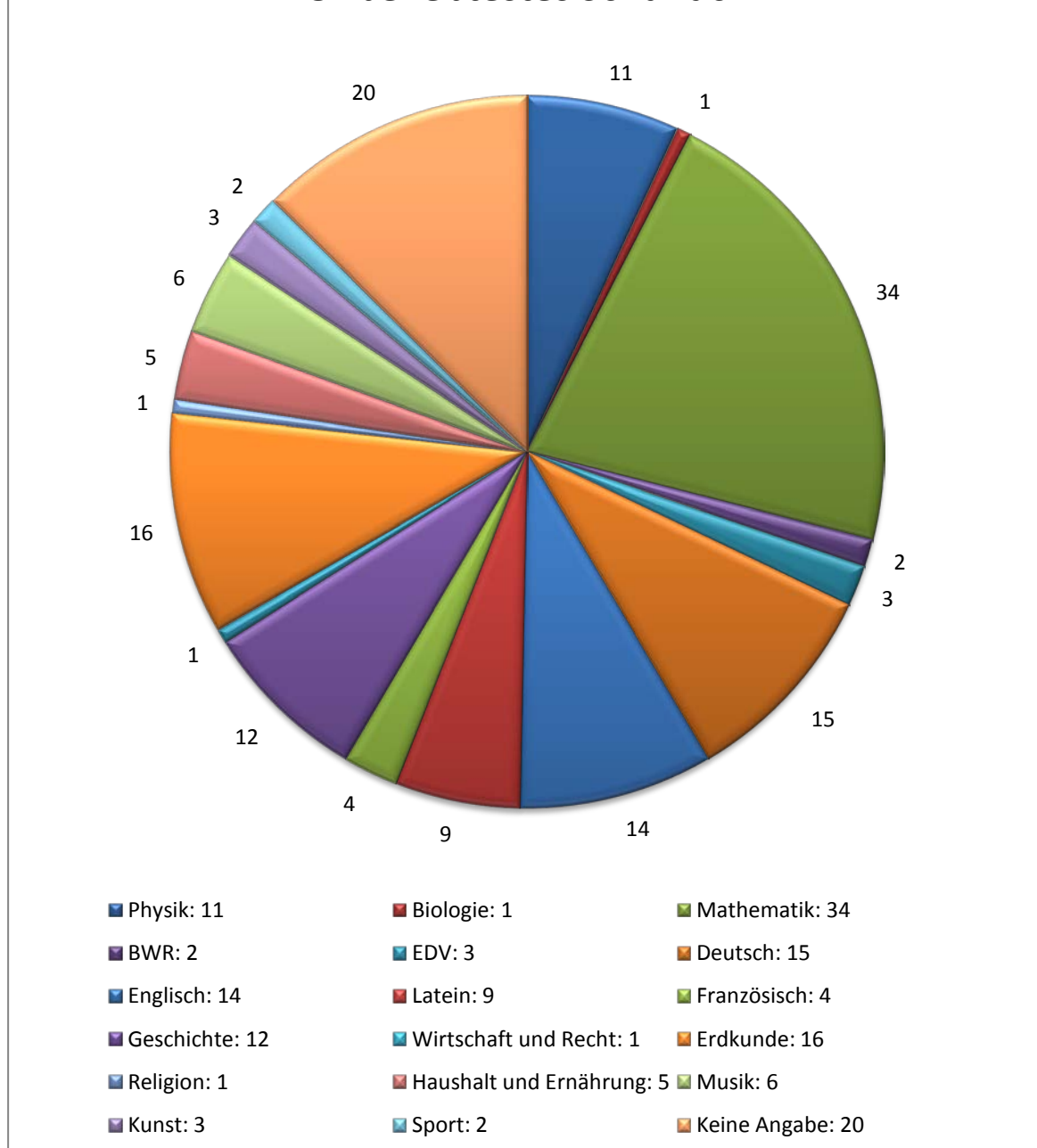


## Beliebtestes Schulfach (Mädchen)



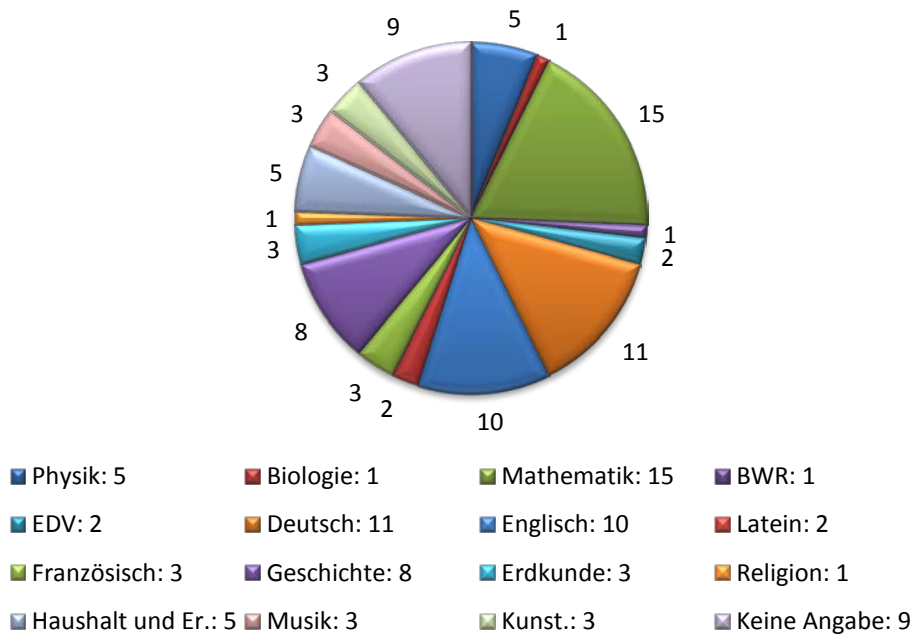
Insgesamt ist Physik bei den befragten Schülern nach Sport eines der beliebtesten Fächer. Geschlechtsspezifische Unterschiede sind, wenn auch vorhanden, dabei nicht so stark ausgeprägt wie beispielsweise in den Fächern Mathematik, Englisch oder Französisch (oder Sport).

## Unbeliebtestes Schulfach

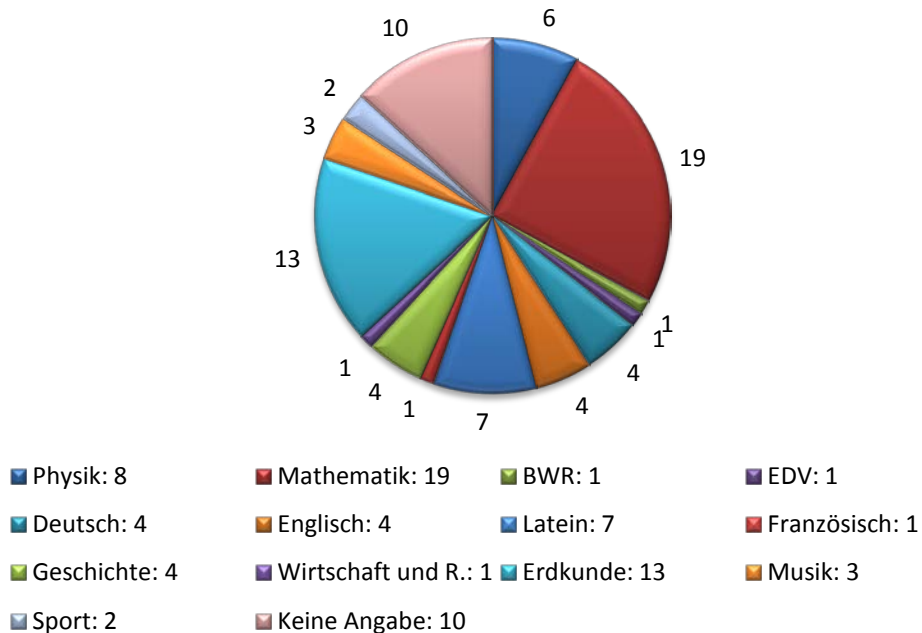


Wie diese Graphik zeigt, rangiert Physik auch bei der Befragung zu unbeliebtesten Schulfach im eher in der Mitte, wenn man die Art der Datenerfassung und die verschiedenen Fächer wieder berücksichtigt. Erstaunlich ist dabei, dass Fächer die weich gelten, wie Erdkunde oder Geschichte, von mehr Schülern angegeben wurden als sogenannte harte Fächer, wie den beispielsweise den Fremdsprachen. Die Unbeliebtheit eines Schulfaches hängt also nicht zwangsweise mit der „Schwierigkeit“ des Faches zusammen. Insgesamt ist mit Mathematik allerdings doch eines dieser harten Fächer insgesamt das unbeliebteste Fach. Die starke Mathematisierung der Physik in höheren Jahrgangsstufen, könnte bei den Schülern also zu einer Verminderung des Fachinteresses führen, da Mathematik als negativ angesehen wird. Abschließend werden in Hinsicht auf die Unbeliebtheit einzelner Fächer noch die Antworten der Geschlechter miteinander verglichen.

## Unbeliebtestes Schulfach (Jungs)

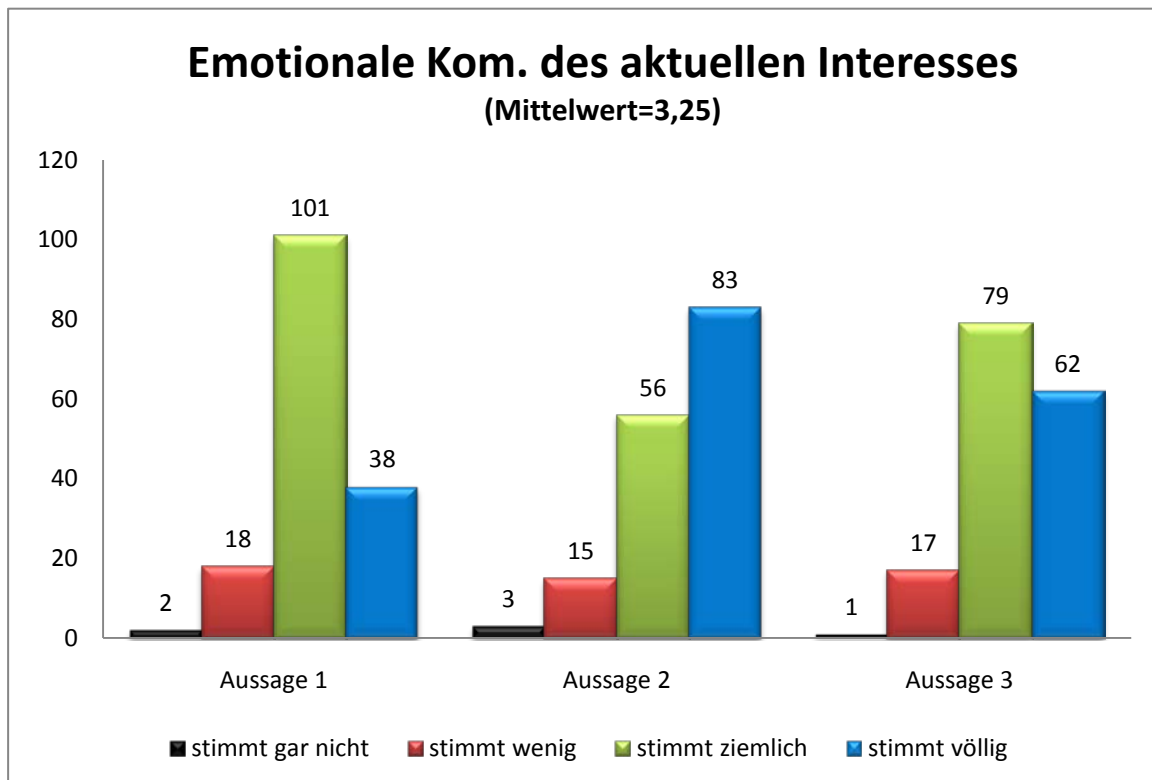


## Unbeliebtestes Schulfach (Mädchen)



Ein Vergleich zeigt, dass Mathematik bei Jungen und Mädchen das unbeliebteste Schulfach ist. Der deutlichste Unterschied wurde in Erdkunde erzielt. Physik ist wie schon beim beliebtesten Schulfach nicht gleichmäßig verteilt, dennoch sind die Unterschiede geringer als erwartet. Abschließend lässt sich also sagen, dass Physik im Vergleich der einzelnen Fächer insgesamt keine Sonderstellung einnimmt. Unterschiede der Beliebtheit bei Jungen und Mädchen sind zwar vorhanden, fallen jedoch geringer aus als häufig vermutet.

Im Anschluss sollen die Antworten der einzelnen Aussagen, im Zusammenhang mit der ihnen übergeordneten Variablen, dargelegt werden. Dazu werden die Aussagen unter den einzelnen Gesichtspunkten zusammengefasst und im Rahmen der Variable miteinander verglichen. Zu Beginn eines Gesichtspunkts zeigt ein Diagramm die Anzahl der Antworten auf die jeweiligen Aussagen. Zu jeder Aussage und jedem Gesichtspunkt wird außerdem der Durchschnittswert angegeben, wobei die einzelnen Aussagen als gleichwertig angesehen werden. Anschließend wird die jeweilige Graphik noch untersucht.

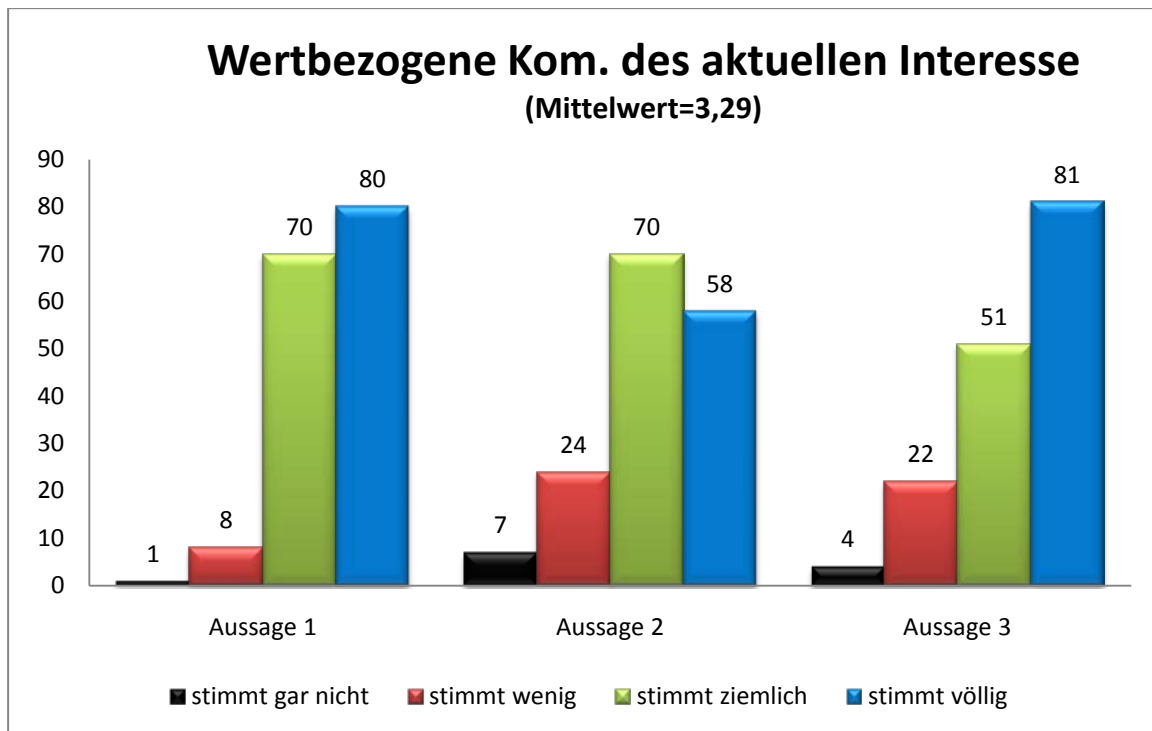


Aussage 1: Das Schülerlabor hat mir gefallen. (Mittelwert: 3,10)

Aussage 2: Die Arbeit in Gruppen hat mir im Schülerlabor gut gefallen. (Mittelwert: 3,38)

Aussage 3: Der Ausflug zur Universität hat mir gefallen. (Mittelwert: 3,27)

Wie die Graphik zeigt, wurde der Besuch des Schülerlabors sehr positiv erlebt. Alle drei Aussagen zeigen Werte von über 3 und nur wenige Schüler gaben wählten negative Aussagen. Wenn man die einzelnen Aussagen miteinander vergleicht wurden Gruppenarbeit und der Besuch eines außerschulischen Lernorts noch positiver bewertet als das eigentliche Schülerlabor. Exkursionen und Gruppenarbeiten können also aktuelles Interesse in einem Schulfach bewirken und somit Fachinteresse langfristig steigern. Das Schülerlabor selbst wurde ebenfalls sehr positiv bewertet. Fasst man diese Ergebnisse zusammen, so war der Laborbesuch, aus emotionaler Sicht, ein großer Erfolg.

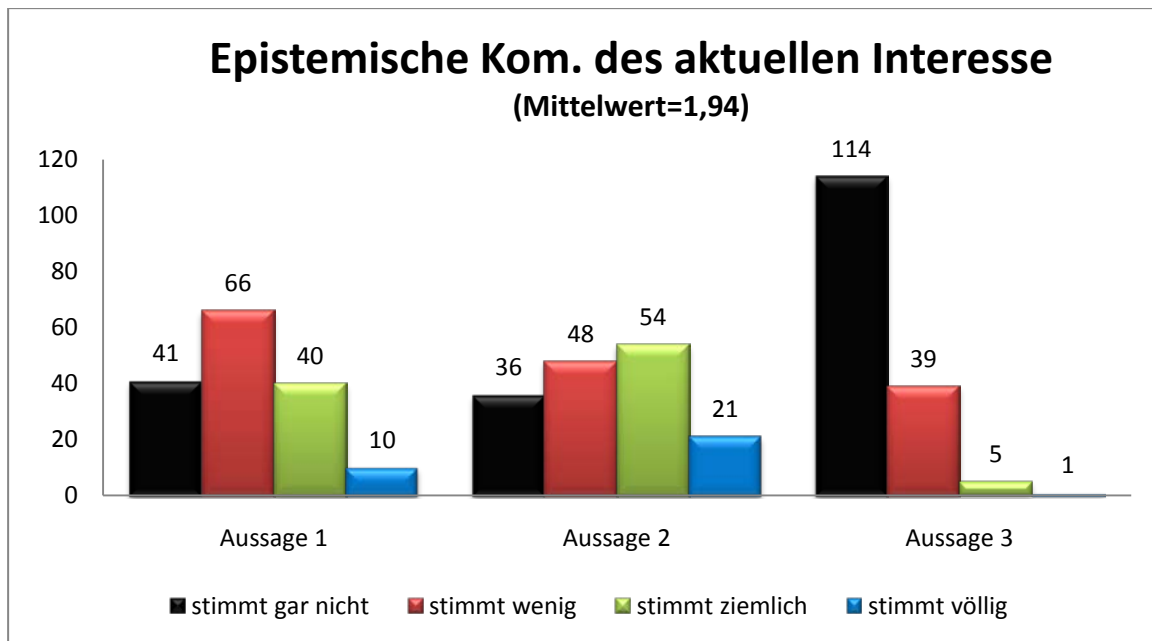


Aussage 1: Ich finde es wichtig Experimente selbst durchführen zu dürfen. (Mittelwert: 3,44)

Aussage 2: Ich finde es wichtig Alltagsdinge (z.B.: Regenbogen oder Spiegel) zu verstehen.  
(Mittelwert: 3,13)

Aussage 3: Ich finde es wichtig außerschulische Lernorte (Museen, Schülerlabore, etc.) mit der Schule zu besuchen. (Mittelwert: 3,31)

Der Besuch des Schülerlabors hat für die Schüler insgesamt einen hohen persönlichen Stellenwert. Am wichtigsten ist den Schülern dabei die Möglichkeit eigenständig zu Experimentieren. Wegen dem zuvor gezeigten Zusammenhang zwischen Fachinteresse und der Anzahl der durchgeführten Schülerversuche, und dem hohen Stellenwert des selbständigen Experimentierens, ist es wichtig, den Schülern im Unterricht die Gelegenheit zu geben, selbst Versuche durchzuführen. Der Besuch außerschulischer Lernorte ist für die meisten Schüler ebenfalls von großer Bedeutung, weshalb gelegentliche Exkursionen auch Teil des Physikunterrichts sein sollten. Aussage 2 erreichte einen Mittelwert von 3,13, obwohl das Sachinteresse der Schüler durchschnittlich bei nur 2,78 lag. Den Schülern ist es also durchaus wichtig physikalische Sachverhalte in ihrer Umwelt zu verstehen, auch wenn sie dem Fach Physik weniger Interesse entgegenbringen. Eine Orientierung zu alltagsbezogenen Inhalten könnte also ebenfalls das Interesse an Physik steigern. Auf Grund der Tatsache, dass diese drei Kriterien - die durch das Labor erfüllt werden - den Schülern persönlich wichtig sind, wird der Besuch des Schülerlabors in dieser Hinsicht als Erfolg angesehen.



Aussage 1: Ich habe in der Zwischenzeit über Dinge aus dem Schülerlabor nachgedacht.

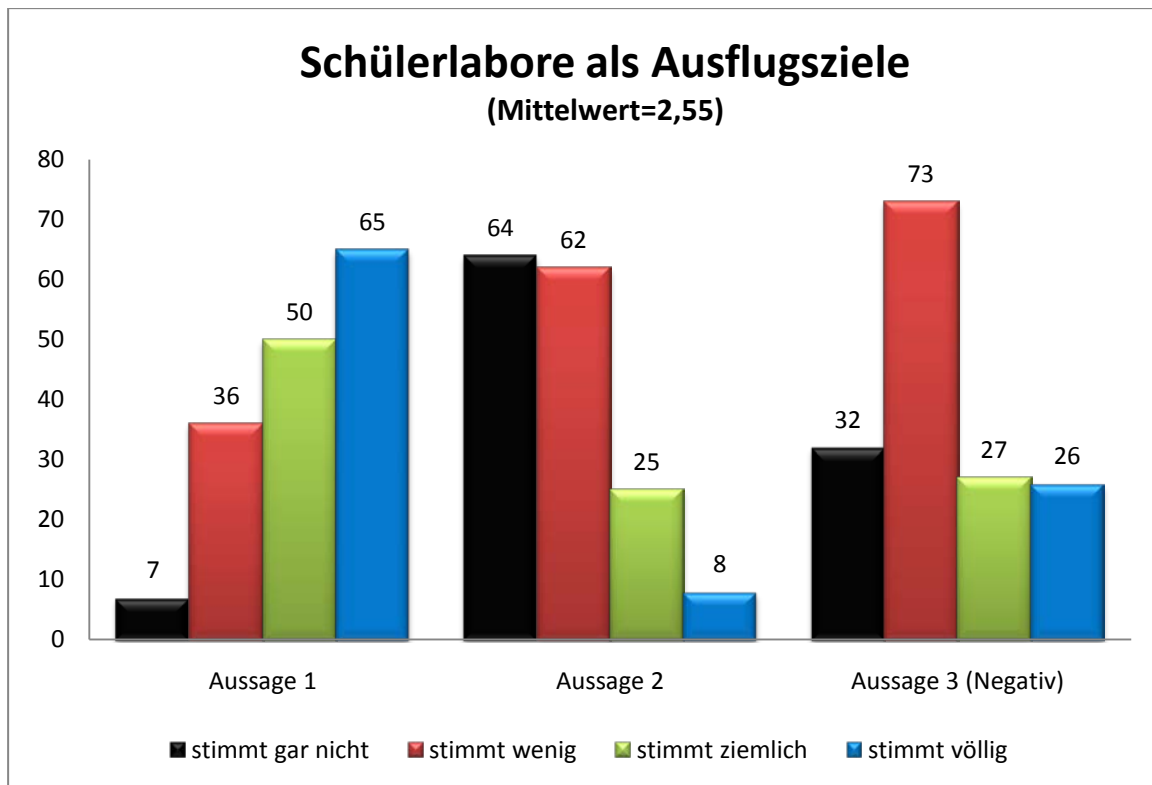
(Mittelwert: 2,13)

Aussage 2: Ich habe mich in der Zwischenzeit mit Eltern, Geschwistern oder Freunden über die Versuche des Schülerlabors unterhalten. (Mittelwert: 2,38)

Aussage 3: Ich habe mir in der Zwischenzeit weitere Informationen zum Thema Optik beschafft.

(Mittelwert: 1,33)

Die epistemische Komponente des aktuellen Interesses zeigt die deutlich niedrigsten Werte. Während die Werte von Aussage 1 und Aussage 2 noch über zwei liegen, erreicht Aussage 3 nur einen Mittelwert von 1,33. Die Schüler wurden durch das Schülerlabor folglich nicht dazu angeregt sich weitere Informationen zu beschaffen. Bedenkt man wie wenige Schüler sich in ihrer Freizeit weiterbilden, war ein niedriger Wert zu erwarten, wobei 1,33 sehr niedrig ist. Immerhin 1/3 der Schüler hat angegeben sich noch weiter gedanklich mit dem Thema Optik beschäftigt zu haben, was man als Teilerfolg werten kann. Insgesamt 75 Schüler haben bejahende Einschätzungen bei Aussage 2 angekreuzt, sich also mit anderen über das Labor ausgetauscht, und der Mittelwert bei dieser Aussage liegt nur 0,12 von der Skalenmitte 2,5 entfernt. Positiv bleibt noch zu erwähnen, das bei Aussage 1 und Aussage 2 „stimmt gar nicht“ nur von ca. 1/4 der Schüler angekreuzt wurde. Ein Großteil der Schüler hat sich daher wenigstens zum Teil mit dem Labor beschäftigt. Wäre mehr Zeit zwischen den Tests verstrichen, hätte man vielleicht höher Werte erzielt. Insgesamt entwickelten die Schüler also Interesse (Mittelwert: 2,83), befassten sich im Anschluss jedoch wenig mit den Inhalten. Allerdings ist jeder Schüler, der sich weiterhin mit dem Thema beschäftigt, ein kleiner Erfolg.



Aussage 1: Ich würde gerne häufiger ein Schülerlabor besuchen. (Mittelwert: 3,09)

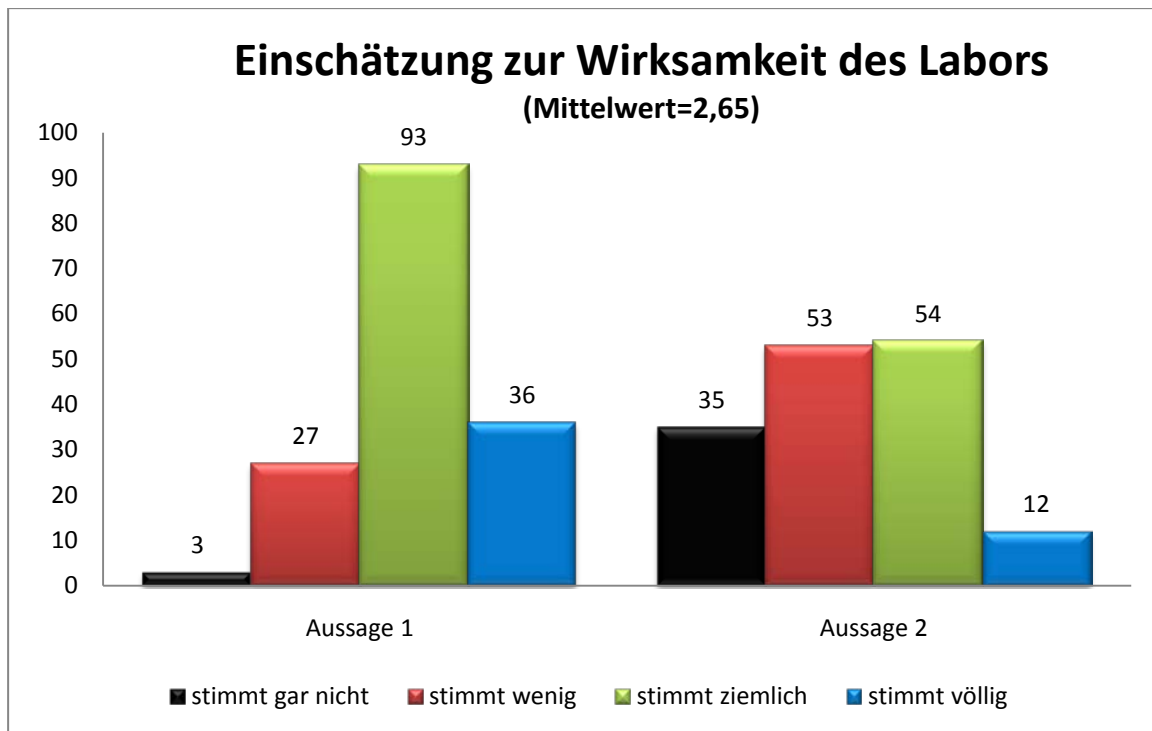
Aussage 2: Ich würde auch in meiner Freizeit ein Schülerlabor besuchen. (Mittelwert: 1,86)

Aussage 3 (Negativ): Das einzig Gute an dem Schülerlabor war, das dafür der normale Unterricht ausgefallen ist. (Mittelwert: 2,30)

Diese Frage soll Aufschluss über Schülerlabore als Ausflugsziel geben. Wie man Aussage 1 erkennen kann würden viele Schüler gern weitere Schülerlabore besuchen. Nur sieben der befragten Schüler kreuzten die negativste Antwortmöglichkeit an. Der insgesamt nur durchschnittliche Mittelwert von 2,55 liegt daran, dass nur ca. 1/5 der befragten Schüler ein Schülerlabor ihre Freizeit investieren würden, um ein Schülerlabor zu besuchen. Diese zwei Werte machen deutlich, dass Schülerlabore sich in erster Linie als Ausflugsziele für Schulklassen anbieten. Schülerlabore werden aber von den meisten Schülern nicht nur als Tage angesehen, an denen kein normaler Unterricht stattfindet, wie man an Aussage 3 erkennen kann. Zwar betrachteten einige Schüler den ausfallenden Unterricht als einzig positiven Aspekt des Schülerlabors, der Großteil der Befragten war jedoch anderer Meinung.

Die hohe Bereitschaft, ein weiteres Schülerlabor zu besuchen, ist außerdem ein weiteres Indiz dafür, dass die Schüler das Schülerlabor gut angenommen haben. In Anbetracht der bislang ausgewerteten Variablen und des erzielten Lernerfolgs der Schüler, ist es sinnvoll weitere Schülerlabore als Exkursionsziele für Schulklassen anzubieten.

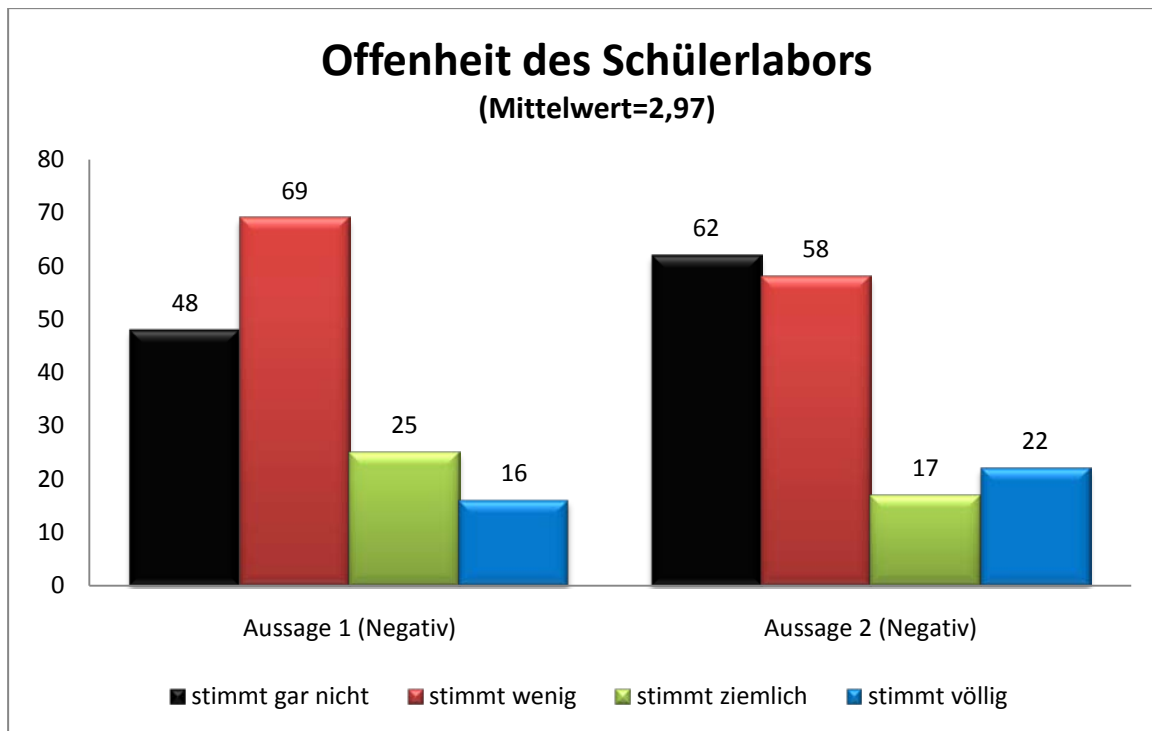




Aussage 1: Ich habe durch die Bearbeitung der einzelnen Versuche viel zum Thema Optik gelernt. (Mittelwert: 3,02)

Aussage 2: Ich finde Physik seit dem Besuch des Schülerlabors interessanter. (Mittelwert: 2,29)

Mittels dieser Aussagen sollten die Schüler selbst abschätzen inwiefern das Schülerlabor die gewünschten Wirkungen erzielte. Dabei konnten sie zwischen dem Erfolg in fachlicher Hinsicht und bei der Interessenförderung unterscheiden. Ihren Lernerfolg stuften die Schüler mit einem Mittelwert von durchschnittlich 3,02 hoch ein. Nur dreißig Schüler gaben an nichts, oder nur wenig, beim Schülerlabor gelernt zu haben. Dabei ist zu beachten, dass einige Klassen bereits Themen des Schülerlabors im Unterricht besprochen hatten. Aus fachlicher Sicht war das Schülerlabor also sehr erfolgreich. Der Mittelwert bei der Interessenförderung liegt mit 2,29 zwar unter der Mitte der Skala, ist aber dennoch als Erfolg zu bewerten. Nur 35 Schüler gaben an, dass ihr Interesse an Physik nicht gestiegen ist. Selbst die 53 Schüler, die „stimmt wenig“ angekreuzt haben, hätten laut Fragestellung ein höheres Fachinteresse entwickelt, auch wenn der Zuwachs nur sehr gering ausfällt. Insgesamt hätte das Schülerlabor bei 119 Schülern zu einer Interessensteigerung geführt, was, auch wenn der Effekt bei einem Teil der Schüler nur gering ist, ein sehr positives Ergebnis wäre. Allein die zwölf Schüler, welche „stimmt völlig“ auswählten, sind bereits als Erfolg des Schülerlabors zu betrachten. Würde man nur diese Schüler berücksichtigen, so hätte das Labor trotzdem bei 7,5% der Laborbesucher eine eindeutige Steigerung des Fachinteresses bewirkt.



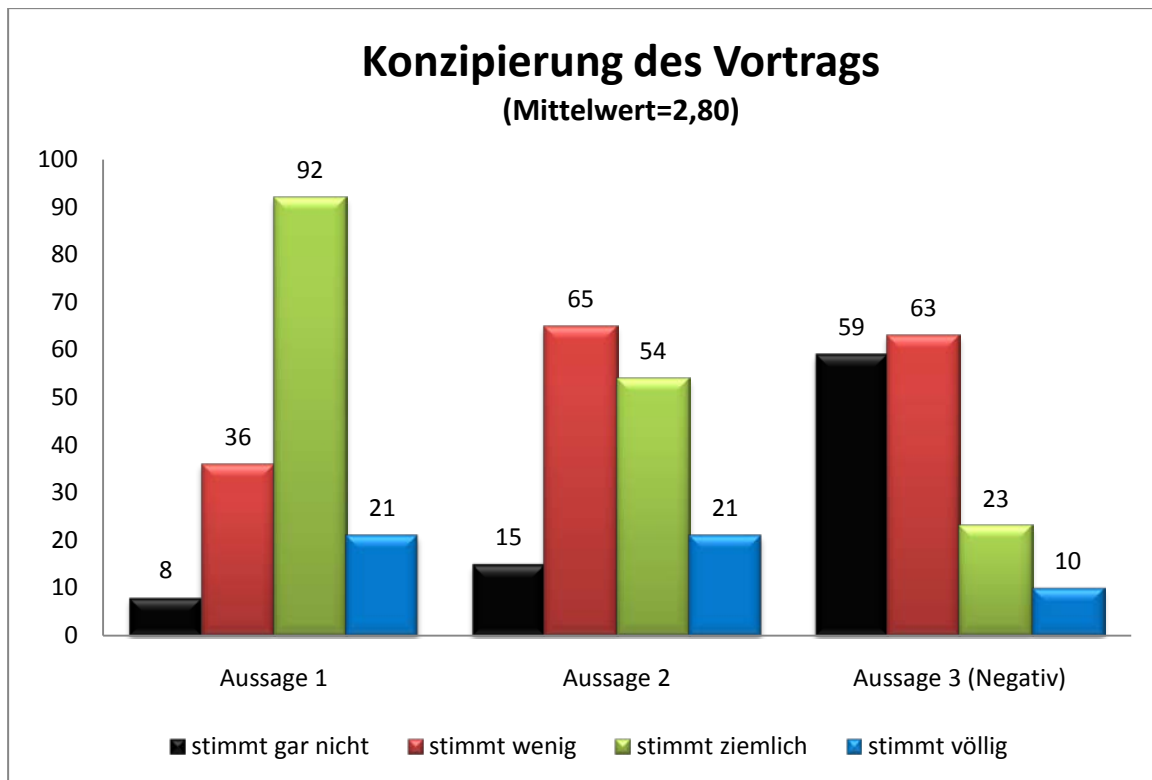
Aussage 1 (Negativ): Ich hätte lieber ohne Versuchsanleitungen experimentiert.

(Mittelwert: 2,06)

Aussage 2 (Negativ): Ich hätte gerne ohne Betreuung an den Stationen gearbeitet.

(Mittelwert: 1,99)

Um den Lernerfolg und den geordneten Ablauf des Schülerlabors zu gewährleisten, wurde der Ablauf der einzelnen Versuche durch das Hand-Out festgelegt. Außerdem waren bei den Labordurchführungen immer Studenten anwesend, welche die Schüler an den einzelnen Stationen betreuten. Durch beides wurde die Offenheit des Schülerlabors, bei dem Schüler möglichst frei und selbständig arbeiten sollen, beschränkt. Anhand dieser zwei Aussagen soll festgestellt werden, ob die Schüler diese Einschränkungen negativ bewerteten. Wie die jeweiligen Ergebnisse zeigen, fielen diese Begrenzungen kaum nachteilig ins Gewicht. Der Großteil der Schüler bewertet diese Eingrenzungen und Vorgaben sogar positiv. Anhand der Versuchsanleitung hatten die Schüler feste Vorgaben, an denen sie sich orientieren konnten. Dies kommt den meisten Schülern, welche es in diesem Alter nicht gewohnt sind völlig frei zu arbeiten, eher entgegen als störend zu wirken. Auch die Betreuung bewerteten die meisten Schüler eher positiv als störend. Abgesehen von den Hilfestellungen, welche die Betreuer bei Problemen geben konnten, liegt der Hauptgrund dafür wahrscheinlich in der Art der Betreuung. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Beschränkungen der Offenheit von den Schülern mehr als Hilfestellung und nicht als Belastung gesehen wurden.



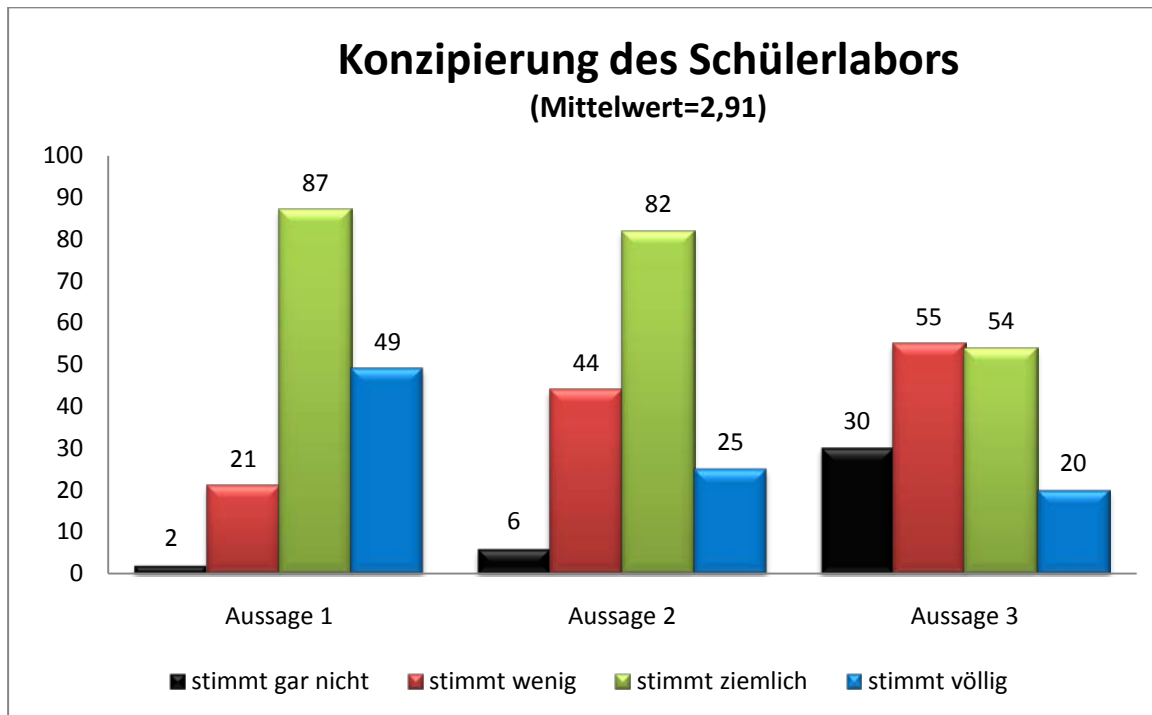
Aussage 1: Der Vortrag zu Beginn war sinnvoll. (Mittelwert: 2,80)

Aussage 2: Der Vortrag zu Beginn war motivierend. (Mittelwert: 2,52)

Aussage 3 (Negativ): Der Vortrag zu Beginn war zu lang. (Mittelwert: 1,91)

Um die Qualität des einführenden Vortrags abzuschätzen, sollten die Schüler die folgenden drei Aussagen beurteilen. Dabei zeigt sich, dass die Schüler den Vortrag überwiegend als sinnvoll einstufen. Nach Ansicht der Schüler ist dieser Vortrag, der die Funktion hat die Schüler auf das Schülerlabor einzustimmen und Einzelheiten zum Ablauf und zu den Sicherheitsbestimmungen zu geben, also gerechtfertigt. Darüber hinaus sollte der Vortrag als Motivation für die späteren Versuche dienen. Mit einem Mittelwert von 2,52, was ziemlich genau in der Mitte der Skala liegt, wurde hier für einen Vortrag ebenfalls ein sehr gutes Ergebnis erzielt. Vergleicht man diese Antworten beispielsweise mit dem einführenden Vortrag des Schülerlabors „Es werde Licht“ (siehe Kapitel: Ergebnisse des Schülerlabors „Auf den Spuren des Lichts“), so ist eine deutliche Verbesserung bei diesem Kriterium zu erkennen. Diese liegt darin begründet, dass viele Fotos verwendet wurden und man auf fachliche Inhalte weitestgehend verzichtet hat. Darüber hinaus wurde der Vortrag zeitlich sehr knapp gehalten um die Schüler nicht zu demotivieren. Wie die Antworten auf Aussage 3 zeigen, ist die Dauer des Vortrags gut gewählt. Nur wenige Schüler waren der Ansicht, dass der Vortrag zu lang war. In Anbetracht dieser Ergebnisse wird die Zusammenstellung des Vortrags als gelungen betrachtet.

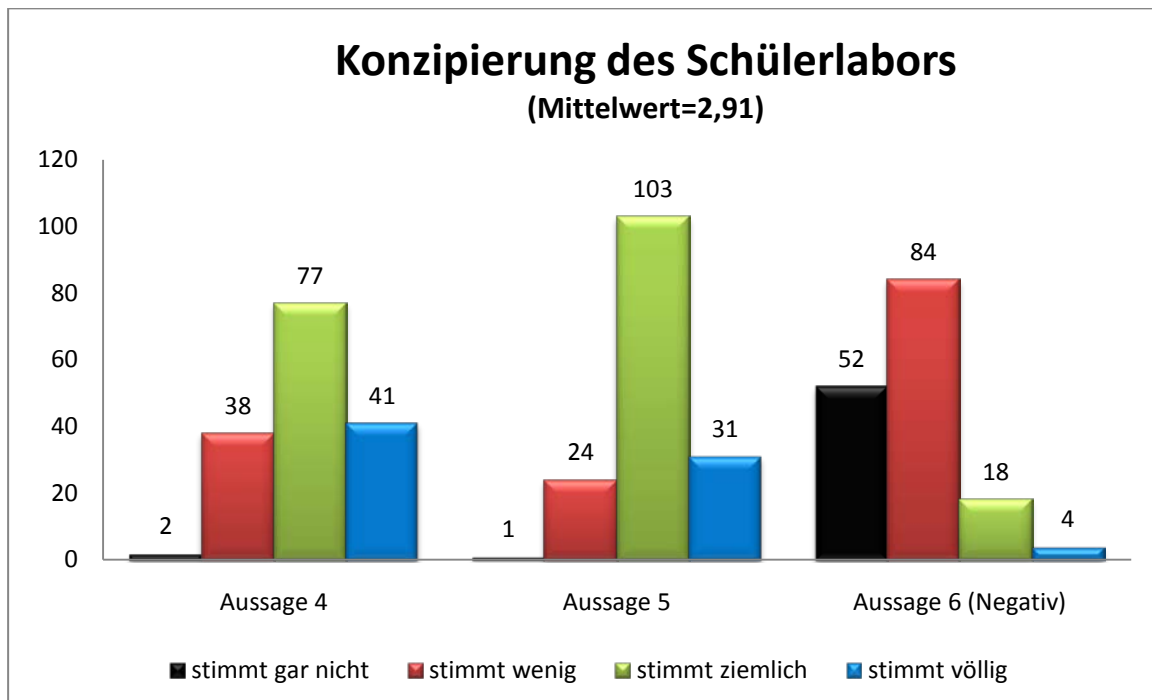
Zwecks Übersichtlichkeit werden die Aussagen zum Labor auf zwei Diagramme aufgeteilt:



Aussage 1: Ich fand die Versuche des Schülerlabors interessant. (Mittelwert: 3,15)

Aussage 2: Die Themen der Stationen waren alltagsbezogen. (Mittelwert: 2,80)

Aussage 3: Die Zeit war für die Anzahl der Versuche ausreichend. (Mittelwert: 2,40)



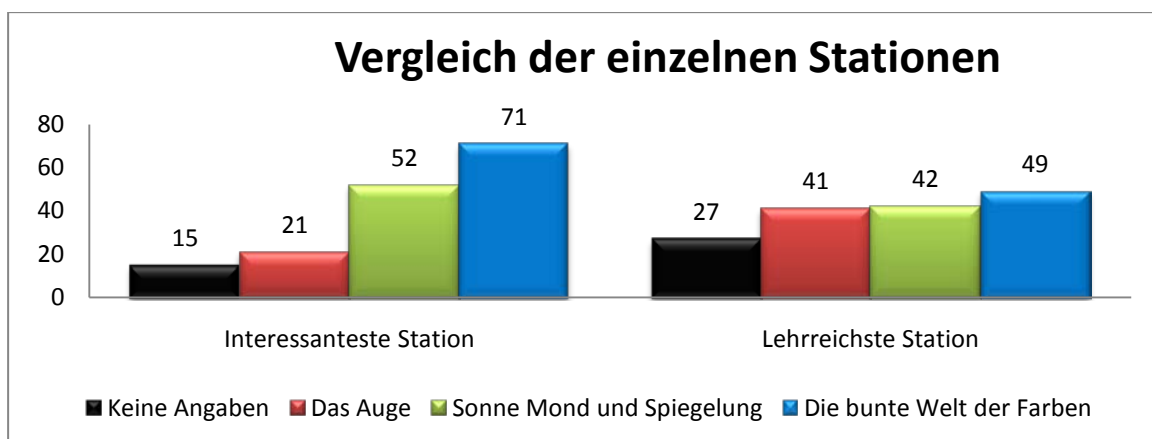
Aussage 4: Die Versuchsanleitungen waren gut verständlich und ausführlich. (Mittelw.: 2,99)

Aussage 5: Ich habe die fachlichen Inhalte des Schülerlabors verstanden. (Mittelwert: 3,03)

Aussage 6 (Negativ): Das fachliche Niveau des Schülerlabors war zu hoch. (Mittelwert: 1,89)

Wie man anhand der zwei Diagramme erkennen kann, erfüllt das Schülerlabor alle gewünschten Kriterien. Die einzelnen Experimente des Schülerlabors sind, wie man anhand der Graphik zu Aussage 1 deutlich erkennen kann, gut gewählt. Die klare Mehrheit der Schüler beurteilten die Versuche als interessant. Der Mittelwert bei Aussage 2 liegt mit 2,8 ebenfalls klar über der Mitte der Skala. Es ist bei der Konzipierung des Schülerlabors also gelungen, die fachlichen Inhalte des Schülerlabors mit alltagsbezogenen Beispielen und Anwendungen zu Verknüpfen. Als mögliche Schwäche des Schülerlabors sehen die Schüler lediglich den zeitlichen Rahmen. Wie Aussage 3 zeigt vertreten über die Hälfte der Schüler die Meinung, dass die gegebene Zeit für die Anzahl der Versuche nicht ausreichend war. Bei einer weiteren Labordurchführung sollte man den Schülern deshalb etwas mehr Zeit zur Verfügung stellen. Diese Zeit könnte man gewinnen, indem man den Vortest bereits vor dem Laborbesuch durchführen lässt oder den Beginn des Schülerlabors vorverlegt. Die Versuchsanleitungen wurden vom Großteil der Schüler als ausführlich und gut verständlich eingestuft, wie die Graphik zu Aussage 4 belegt. Da diejenigen Schüler, die Probleme mit den Versuchsanleitungen hatten, sich gegebenenfalls an die Betreuer wenden können, besteht im Falle von weiteren Labordurchführungen kein Bedarf zu Änderungen des Skripts. Wie aus den Einschätzungen der Aussagen 5 und der Aussage 6 hervorgeht, wurde der fachliche Anspruch des Schülerlabors so gewählt, dass die Schüler nicht überfordert wurden. Betrachtet man die Gesamtheit dieser Daten, so zeigt das Konzept keine bedeutenden Schwachstellen.

Im letzten Abschnitt dieses Kapitels werden die einzelnen Stationen miteinander verglichen.



Die Unterschiede bei der interessantesten Station lassen sich dadurch erklären, dass einige Klassen die anderer Themen zum Teil schon im Unterricht behandelt hatten. Darüber hinaus waren die Versuche zu dieser Station eventuell optisch eindrucksvoller.

Die Graphik zur lehrreichsten Station hingegen ist ausgeglichen. Es ist bei der Zusammenstellung des Schülerlabors folglich gelungen, drei gleichwertige Stationen zu entwickeln.

## **9. Abschließende Bemerkung**

Das letzte Kapitel dieser Arbeit soll als eine kurze Zusammenfassung der gewonnen Erkenntnisse dienen. Das konzipierte Schülerlabor wurde von insgesamt sechs Klassen besucht. Diese Klassen entschieden sich neben Schulart, Zweig und Jahrgangsstufe auch in ihrem fachlichen Interesse. Dabei zeigte sich, dass diejenigen Schüler die angaben häufig Schülerexperimente im Unterricht durchzuführen durchschnittlich ein höheres Fachinteresse zeigten. Jede der Klassen zeigte hohes Interesse an der Vorgehensweise eines Schülerlabors. Betrachtet man die Auswertung des Nachtests wurde das Schülerlabor sehr positiv empfunden. Auch das wertbezogene Interesse der Schüler war durchschnittlich sehr hoch. Einzig die epistemische Komponente des aktuellen Interesses lag unterhalb des erhofften Werts. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Schüler zum Teil nur wenig Zeit hatten um sich mit dem Schülerlabor zu beschäftigen und der Mittelwert durch die Frage ob die Schüler sich weitere Informationen zum Thema Optik beschafft haben, gesenkt wurde. Die Selbsteinschätzung zur Wirksamkeit des Labors zeigt, dass der überwiegende Teil das Schülerlabor als lehrreich betrachtete und einige Schüler Physik seitdem interessanter finden. In Anbetracht dieser Ergebnisse kann das Schülerlabor als Erfolg bewertet werden. Um diese Beurteilung zu untermauern sollen einige Sätze aus der Persönlichen Einschätzung von Herrn Leitner (einer der begleitenden Lehrer) zitiert werden: „Ich denke, den Kinder hat das Praktikum Spaß gemacht und auch etwas gebracht. Nicht zuletzt war es für sie eine willkommene Abwechslung vom Schulalltag. Die Versuche sind sinnvoll ausgewählt und geeignet, selbständig entdecken zu können. ... Grundsätzlich finde ich aber die Einrichtung von Schülerlabors, von denen wie ich gelesen habe es ja inzwischen mehrere gibt, eine prima Sache und ich bin dankbar dafür, dass wir hier in Würzburg die Möglichkeit haben daran teilzunehmen.“ (Zitat: Herr Geitner). Die Auswertung des Fachtests zeigt, dass Lernerfolg bei den Schülern erzielt wurde auch wenn das Niveau einiger Fragen vielleicht zu hoch für Schüler dieser Jahrgangstufen war. Schade ist hierbei jedoch, dass einzelne Schüler die Tests nicht ernsthaft bearbeiteten und so die Ergebnisse verfälschten. Ein Schüler des Geschlechts „Zwidder“, der den „Sexualkundezeitung“ der „bitch-school beach“ besucht soll hier als Negativbeispiel dienen. Wie die Werte zu Offenheit, Vortrag und Konzipierung des Schülerlabors belegen erfüllt das Schülerlabor alle bei der Zusammenstellung angestrebten Kriterien. Lediglich Zeit ist für die Inhalte des Labors womöglich zu knapp bemessen. Wie die Benotung durch die einzelnen Klassen zeigt, wurde das Schülerlabor unabhängig von Schulart und Grad der Vorkenntnisse positiv bewertet. In Bezug auf Leitzitat dieser Arbeit ist das Schülerlabor also als gelungene Investition in das Wissen zu betrachten.

## **10. Anhang**

Der Anhang enthält alle bei der Durchführung des Schülerlabors verwendeten Materialien mit Quellenangaben. Da das Ausarbeiten dieser Materialien Teil der Zulassungsarbeit von Fr. Roth war, sind die ungekennzeichneten Skizzen von ihr persönlich angefertigt worden.

Darüber hinaus sind die jeweiligen Tests mit jeweiliger Korrekturvorschrift im Anhang enthalten. Zusätzlich wurden noch einige Fotos zu den Versuchsaufbauten und Labordurchführungen beigelegt. Das Ende des Anhangs bildet das Literaturverzeichnis, indem alle verwendeten Quellen aufgeführt sind

Die zugehörige CD enthält die Excel-Dateien zur Auswertung der einzelnen Klassen und der Gesamtheit, sowie eine Auswertungsvorlage für weitere Labordurchführungen. Darüber hinaus werden die Originalfassungen der beiden Tests beigelegt, da die Formatierung im Anhang nicht optimal ist. Außerdem enthält die CD natürlich die digitale Fassung dieser Arbeit.

## 10.1 Vortest

Datum: \_\_\_\_\_

Alter: \_\_\_\_\_ Jahre

Schule: \_\_\_\_\_

Klasse: \_\_\_\_\_

Zweig (falls vorhanden): \_\_\_\_\_

Geschlecht: \_\_\_\_\_

### Befragung zum Optik-Schülerlabor

(Dauer ca. 25 Minuten)

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

anhand dieses Fragebogens möchten wir *deine* Einstellung zum Physikunterricht und dein physikalisches Vorwissen zum Thema Optik einschätzen.

Wir werden dich in einiger Zeit noch einmal befragen. Damit Fragebögen zu unterschiedlichen Zeitpunkten einander zugeordnet werden können, man aber nicht weiß, wer genau den Fragebogen ausgefüllt hat, wird jeder befragten Person ein Erkennungscode zugeordnet.

Fülle diesen bitte zunächst aus:

**Erkennungs-  
code**

Die ersten beiden Buchstaben des Vornamens deiner Mutter	Die ersten beiden Buchstaben des Vornamens deines Vaters	Der zweite Buchstabe deines Vornamens
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Anleitung zum Ausfüllen des Fragebogens:

- Lies bitte jede Frage sorgfältig durch und beantworte sie so genau wie möglich.
- Kreuze *pro Frage* bitte als Antwort deutlich *nur ein Kästchen* an.
- Beantworte bitte alle Fragen.



I. Wie häufig wurden in deinem Physikunterricht ...

- |   | <i>Sehr<br/>selten</i>   | <i>selten</i>            | <i>oft</i>               | <i>sehr<br/>oft</i>      |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| a. Experimente von der Lehrkraft vorgeführt?  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. Experimente von dir gemeinsam mit Mitschüler(inne)n in kleineren Gruppen durchgeführt (bspw. in einer Schülerübung oder im Rahmen eines Projekts)? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

II. Du hast schon selbst Experimente zum

Thema Optik durchgeführt.

Ja

Nein

III. Im Folgenden ist eine Reihe von Aussagen aufgeführt. Gib bitte an, wie sehr sie deiner Meinung nach stimmen.

- |  | <i>stimmt<br/>gar<br/>nicht</i> | <i>stimmt<br/>wenig</i>  | <i>stimmt<br/>ziemlich</i> | <i>stimmt<br/>völlig</i> |
|--|---------------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1. Der Physikunterricht gefällt dir.   | <input type="checkbox"/>        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>   | <input type="checkbox"/> |
| 2. Die Themen, die im Physikunterricht behandelt werden, interessieren dich. | <input type="checkbox"/>        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>   | <input type="checkbox"/> |
| 3. Du bist gut in Physik.  | <input type="checkbox"/>        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>   | <input type="checkbox"/> |
| 4. Du denkst dir in Physik häufig: „Das verstehe ich nicht!“                 | <input type="checkbox"/>        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>   | <input type="checkbox"/> |
| 5. Du experimentierst gerne.   | <input type="checkbox"/>        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>   | <input type="checkbox"/> |
| 6. Du arbeitest gerne mit anderen zusammen.                                  | <input type="checkbox"/>        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>   | <input type="checkbox"/> |

IV. Auf den folgenden Seiten sind einige fachliche Fragen zur Optik aufgeführt. Bitte versuche diese so vollständig wie möglich zu beantworten.

1. Welche Themengebiete aus der Optik kennst du? *Gib Stichpunkte an!*

---

---

---

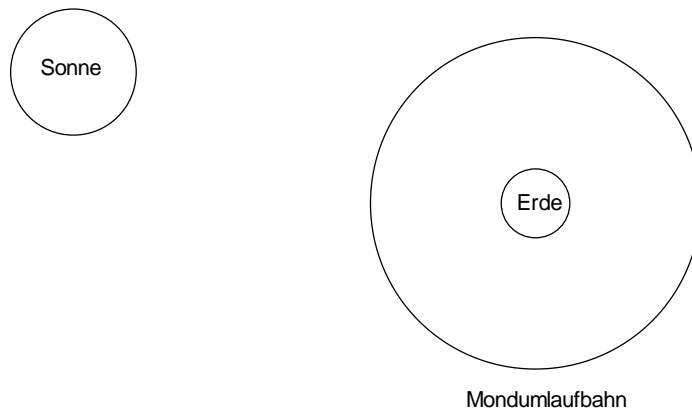
---

2. Welches dieser Themengebiete hat dich am meisten interessiert?

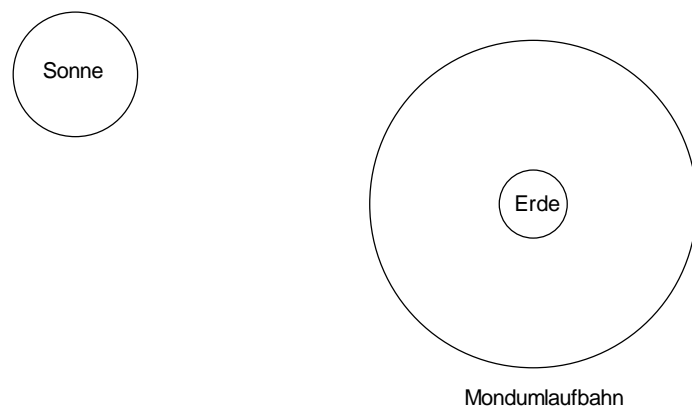
---

3. Wo steht der Mond bei Mond- bzw. Sonnenfinsternis?  
*Zeichne jeweils den Mond auf der vorgegebenen Umlaufbahn ein.*

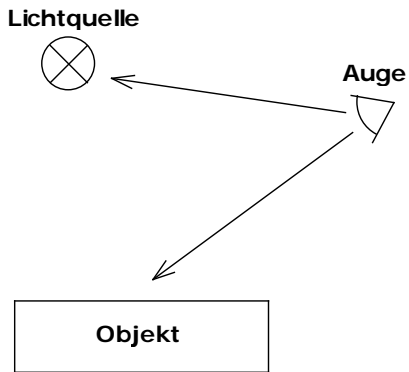
Sonnenfinsternis



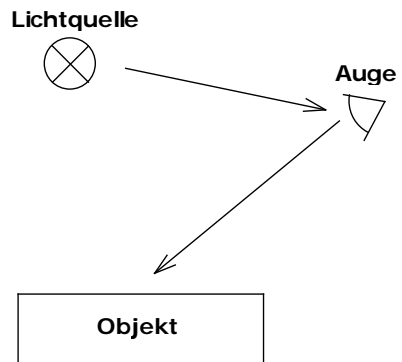
Mondfinsternis



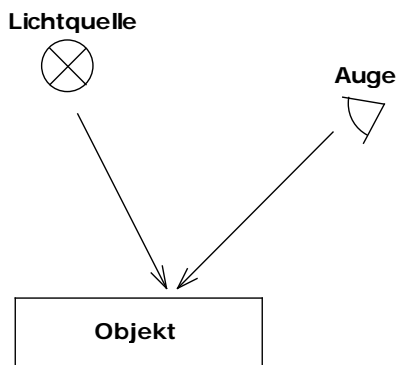
4. Welche der folgenden schematischen Darstellungen beschreibt den Sehvorgang eines Objekts korrekt? *Kreuze an.*



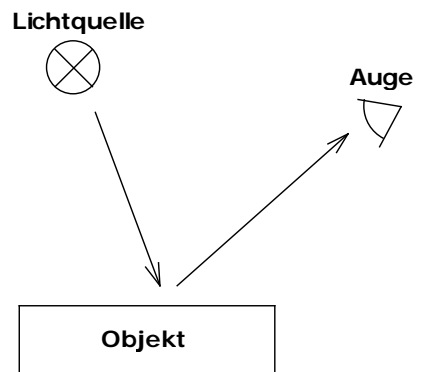
Darstellung 1



Darstellung 2



Darstellung 3

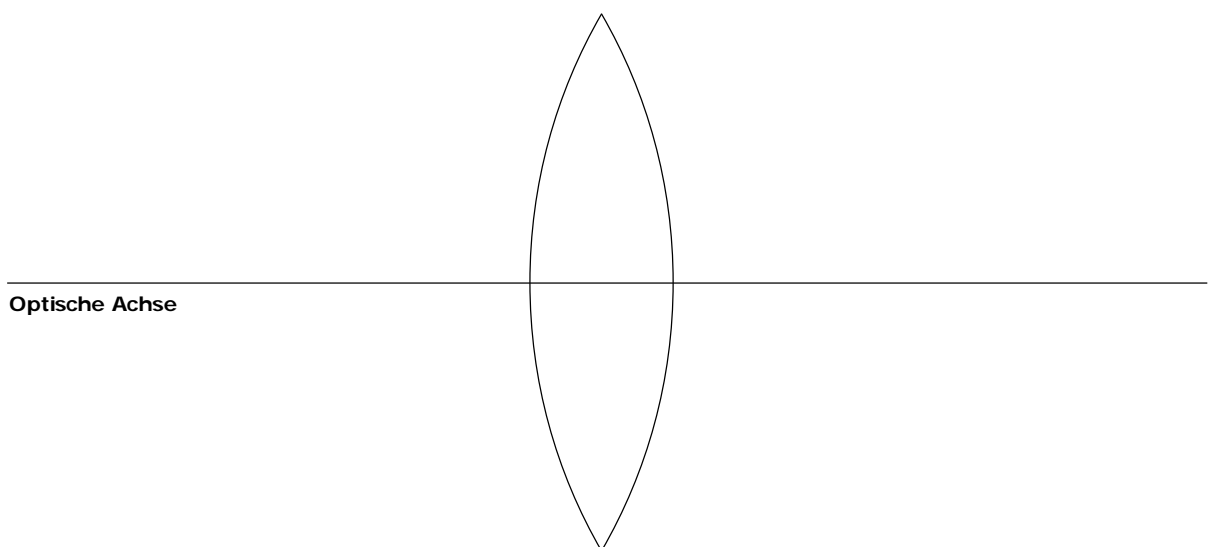
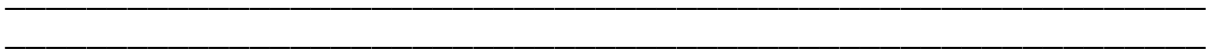
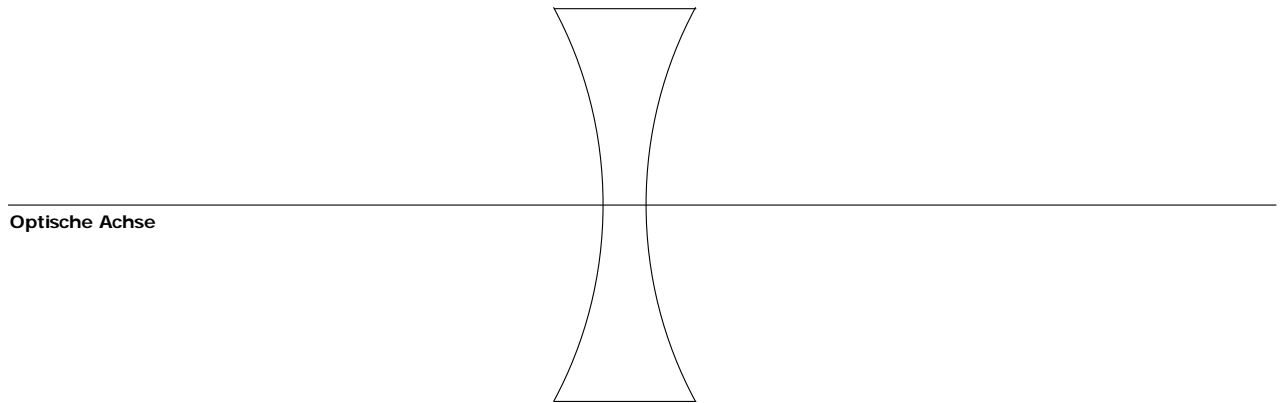


Darstellung 4

5. Was vertauscht ein Spiegel? *Kreuze an.*

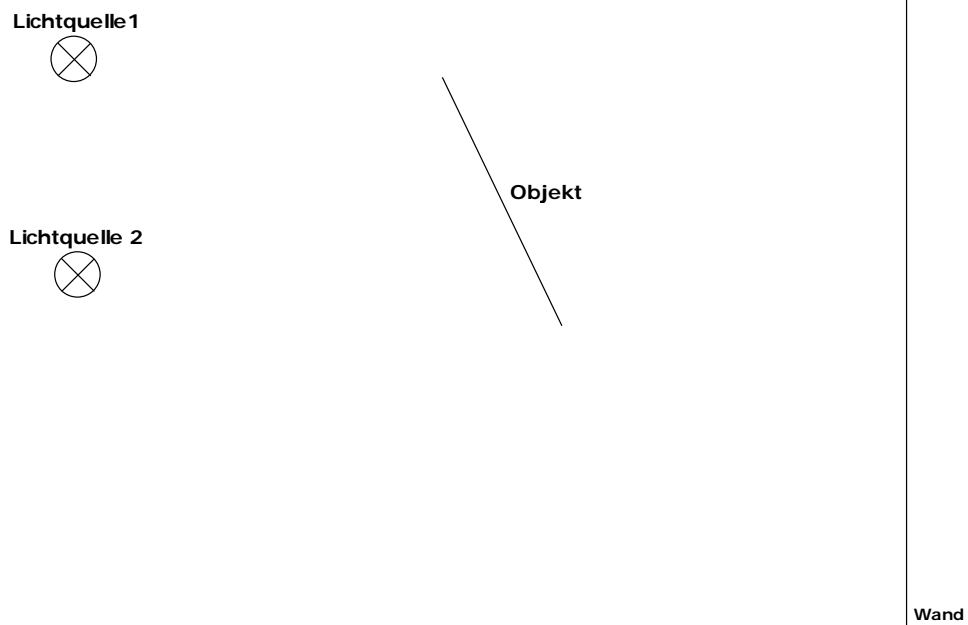
- Oben und unten
- Links und rechts
- Vorne und hinten
- Nichts

6. Zeichne (*mit Bleistift und Geodreieck!*) bei den gegebenen Linsen jeweils den Strahlengang für von links parallel einfallendes Licht ein.  
*Vervollständige die Zeichnung und gib die jeweilige Linsenart an*



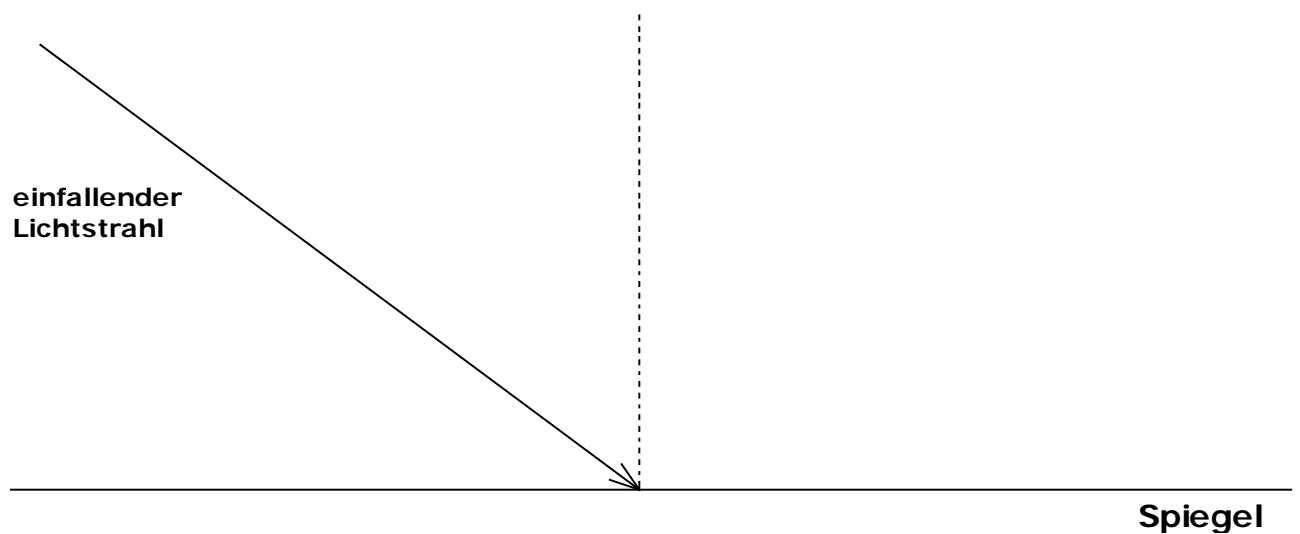
7. Zeichne (mit Bleistift und Geodreieck!) den Schatten des Objekts - welches von den beiden Lichtquellen angestrahlt wird - an der Wand ein, und benenne die Schattenarten.

*Vervollständige die Zeichnung und gib die Schattenarten an.*

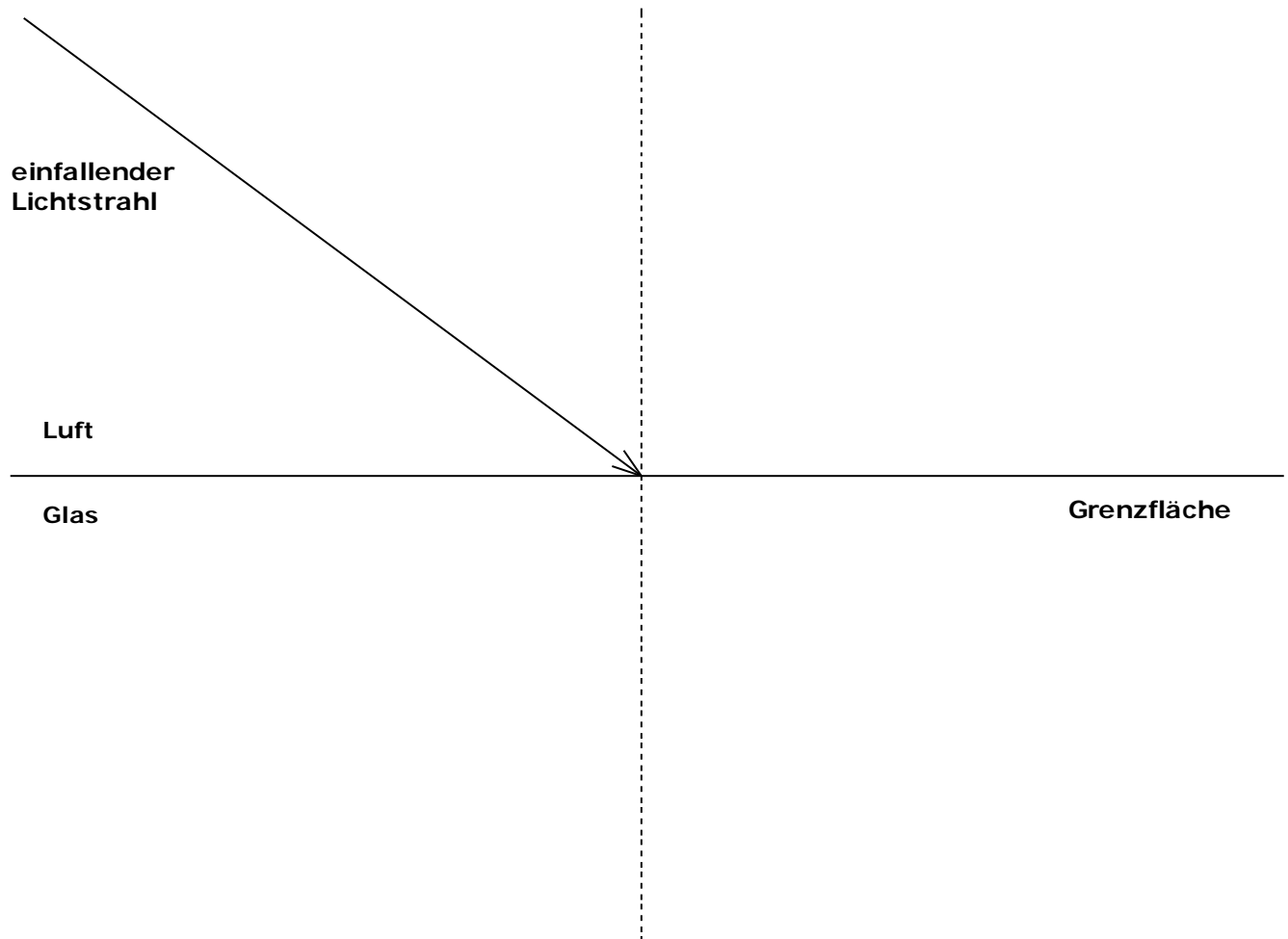


8. Der einfallende Lichtstrahl wird an dem Spiegel reflektiert.

*Vervollständige die Zeichnung (mit Bleistift und Geodreieck!).*



9. Der einfallende Lichtstrahl geht von Luft in Glas über.  
*Vervollständige (mit Bleistift und Geodreieck!) die Zeichnung.*



Danke für Deine Mitarbeit!

## 10.2 Dokumentationsbogen

### Dokumentationsbogen fürs Schülerlabor

Schule: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_

Anzahl der Schüler: \_\_\_\_\_ Männlich: \_\_\_\_\_ Weiblich: \_\_\_\_\_

Lehrer (Begleitpersonen): \_\_\_\_\_

Betreuer: \_\_\_\_\_

Datum Vortest: \_\_\_\_\_ Datum Nachtest: \_\_\_\_\_

Datum des Labors: \_\_\_\_\_ Räume: \_\_\_\_\_

Dauer des Labors (Gesamt): von \_\_\_\_\_ bis \_\_\_\_\_

Dauer des Vortrags: von \_\_\_\_\_ bis \_\_\_\_\_

Arbeitsgruppe	$\Sigma(S)$	1.Station	2.Station	3.Station
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				

Beginn der Versuche: \_\_\_\_\_ Ende der Versuche: \_\_\_\_\_

1.Stationswechsel: \_\_\_\_\_ 2.Stationswechsel: \_\_\_\_\_

Geschätzte Leistung durch die Begleitperson:   $\leq \emptyset$    $= \emptyset$    $\geq \emptyset$

Einschätzung der Leistung durch die Betreuer   $\leq \emptyset$    $= \emptyset$    $\geq \emptyset$

Besonderheiten: \_\_\_\_\_

## 10.3 Nachtest

Datum: \_\_\_\_\_ Alter: \_\_\_\_\_ Jahre  
Schule: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_  
Zweig (falls vorhanden): \_\_\_\_\_ Geschlecht: \_\_\_\_\_  
Beliebtestes Schulfach: \_\_\_\_\_ Arbeitsgruppe: \_\_\_\_\_  
Unbeliebtestes Schulfach: \_\_\_\_\_ Schulnote in Physik: \_\_\_\_

### Befragung zum Optik-Schülerlabor

(Dauer ca. 45 Minuten)

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

mit diesem Fragebogen möchten wir *deine* Meinung zum Schülerlabor erfahren und dein Wissen zum Thema Optik abschätzen.

Damit Fragebögen zu unterschiedlichen Zeitpunkten einander zugeordnet werden können, man aber nicht weiß, wer genau den Fragebogen ausgefüllt hat, wird jeder befragten Person ein Erkennungscode zugeordnet.

Fülle diesen bitte zunächst aus:

Erkennungs- code	Die ersten beiden Buchstaben des Vornamens deiner Mutter	Die ersten beiden Buchstaben des Vornamens deines Vaters	Der zweite Buchstabe deines Vornamens

Anleitung zum Ausfüllen des Fragebogens:

- Lies bitte jede Frage sorgfältig durch und beantworte sie so genau wie möglich.
- Kreuze *pro Frage* bitte als Antwort deutlich *nur ein Kästchen* an.
- Beantworte bitte alle Fragen.



I. Im Folgenden sind einige Aussagen aufgeführt. Gib an, wie sehr sie deiner Meinung nach stimmen. *Kreuze an.*

Nr.	Aussage	Stimmt gar nicht	Stimmt wenig	Stimmt ziemlich	Stimmt völlig
1.	Das Schülerlabor hat mir gefallen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	Ich fand die Versuche des Schülerlabors interessant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	Ich habe die fachlichen Inhalte des Schülerlabors verstanden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	Ich würde gerne häufiger ein Schülerlabor besuchen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	Ich würde auch in meiner Freizeit ein Schülerlabor besuchen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	Der Vortrag zu Beginn war sinnvoll.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	Der Vortrag zu Beginn war motivierend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	Der Vortrag zu Beginn war zu lang.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.	Die Zeit war für die Anzahl der Versuche ausreichend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.	Die Versuchsanleitungen waren gut verständlich und ausführlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.	Ich finde es wichtig Experimente selbst durchführen zu dürfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12.	Ich finde es wichtig Alltagsdinge (z.B.: Regenbogen oder Spiegel) zu verstehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13.	Ich finde es wichtig außerschulische Lernorte (Museen, Schülerlabore, etc.) mit der Schule zu besuchen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14.	Die Themen der Stationen waren alltagsbezogen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15.	Die Arbeit in Gruppen hat mir im Schülerlabor gut gefallen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16.	Das einzig Gute an dem Schülerlabor war, das dafür der normale Unterricht ausgefallen ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17.	Ich hätte lieber ohne Versuchsanleitungen experimentiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18.	Ich hätte gerne ohne Betreuung an den Stationen gearbeitet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nr.	Aussage	Stimmt gar nicht	Stimmt wenig	Stimmt ziemlich	Stimmt völlig
19.	Ich habe durch die Bearbeitung der einzelnen Versuche viel zum Thema Optik gelernt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20.	Der Ausflug zur Universität hat mir gefallen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21.	Ich habe in der Zwischenzeit über Dinge aus dem Schülerlabor nachgedacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22.	Ich habe mich in der Zwischenzeit mit Eltern, Geschwistern oder Freunden über die Versuche des Schülerlabors unterhalten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23.	Ich habe mir in der Zwischenzeit weitere Informationen zum Thema Optik beschafft.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24.	Ich finde Physik seit dem Besuch des Schülerlabors interessanter.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25.	Das fachliche Niveau des Schülerlabors war zu hoch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

II. Welche der Stationen hat dich am meisten interessiert? *Kreuze an.*

- Die bunte Welt der Farben       Sonne, Mond und Spiegelung  
 Das Auge       Keine

III. Bei welcher Station hast du am meisten gelernt? *Kreuze an.*

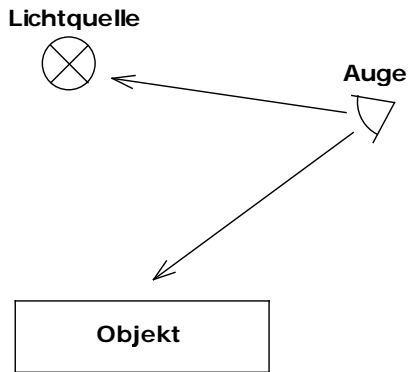
- Die bunte Welt der Farben       Sonne, Mond und Spiegelung  
 Das Auge       Bei keiner

IV. Welche Schulnote würdest du dem Schülerlabor insgesamt geben? *Kreuze an.*

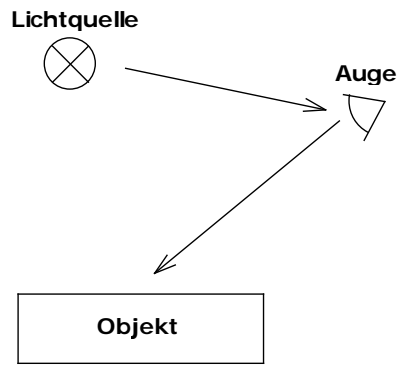
- 1       2       3       4       5       6

V. Auf den folgenden Seiten sind einige fachliche Fragen zur Optik aufgeführt. Bitte versuche diese so vollständig wie möglich zu beantworten.

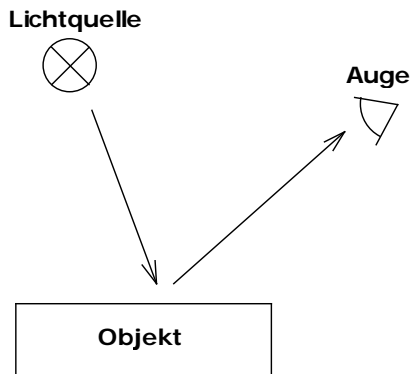
1. Welche der folgenden schematischen Darstellungen beschreibt den Sehvorgang eines Objekts korrekt? *Kreuze an.*



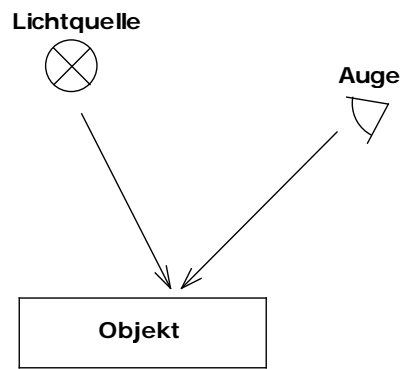
Darstellung 1



Darstellung 2



Darstellung 3



Darstellung 4

2. Unter welchen Voraussetzungen kann man eine Mondfinsternis beobachten? *Kreuze an.*

- Die Sonne steht zwischen Erde und Mond
- Die Erde steht zwischen Mond und Sonne
- Der Mond steht zwischen Sonne und Erde
- Sonne, Erde und Mond stehen im rechten Winkel zueinander

*Begründe kurz deine Antwort (mit Worten oder Anhand einer Skizze):*

---

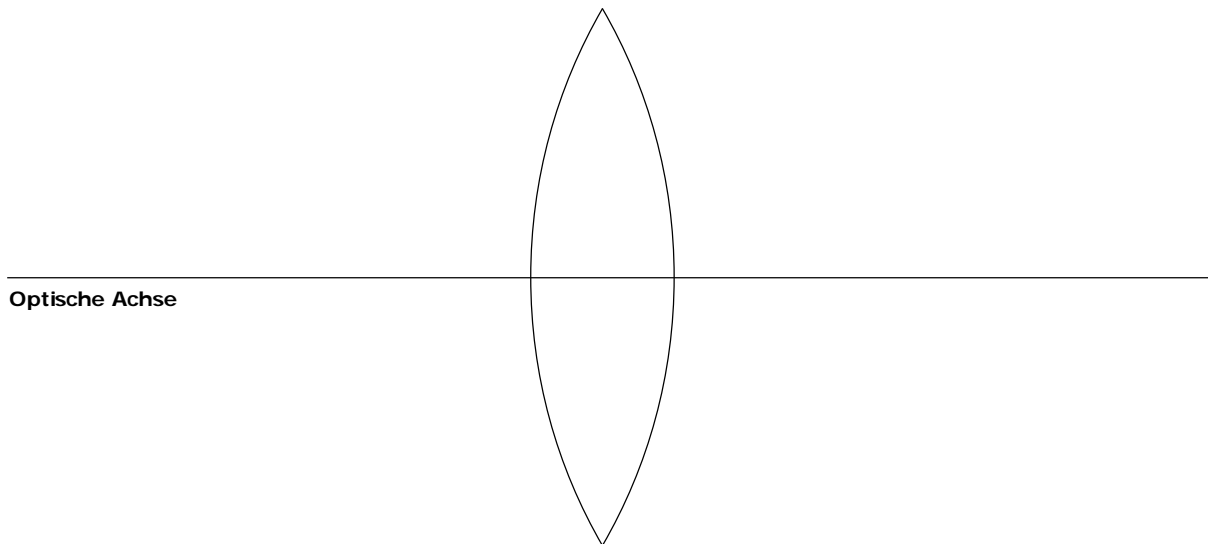


---

*Skizze:*

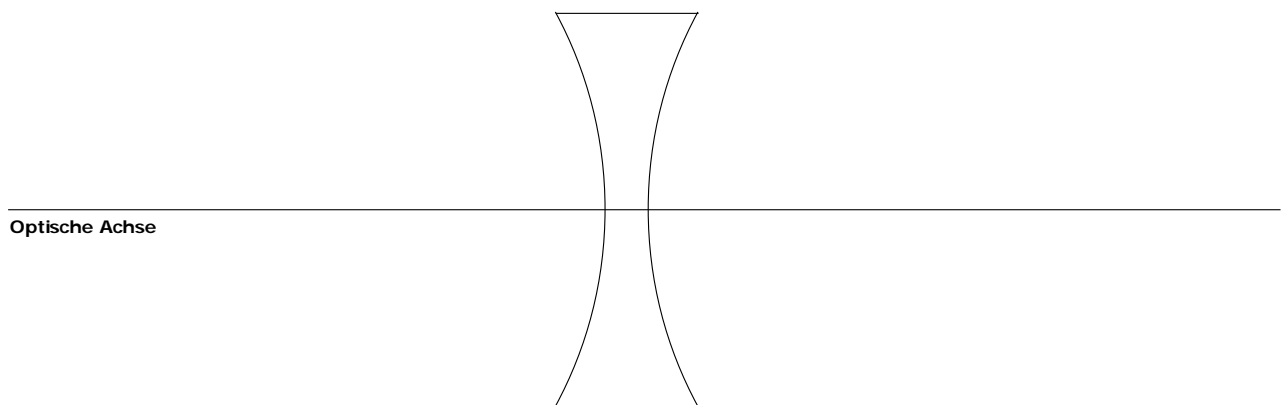
3. Zeichne (*mit Bleistift und Geodreieck!*) bei den gegebenen Linsen jeweils den Strahlengang für von links parallel zur optischen Achse einfallendes Licht ein. Welche Fehlsichtigkeit kann man mit der jeweiligen Linse korrigieren?

*Vervollständige die Zeichnung und gib darunter die jeweilige Linsenart und die durch diese Linsenart korrigierbare Fehlsichtigkeit an.*



Linsenart: \_\_\_\_\_

Korrigierbare Fehlsichtigkeit: \_\_\_\_\_



Linsenart: \_\_\_\_\_

Korrigierbare Fehlsichtigkeit: \_\_\_\_\_

4. Was vertauscht ein Spiegel? *Kreuze an.*

- Oben und unten
- Links und rechts
- Vorne und hinten
- Nichts

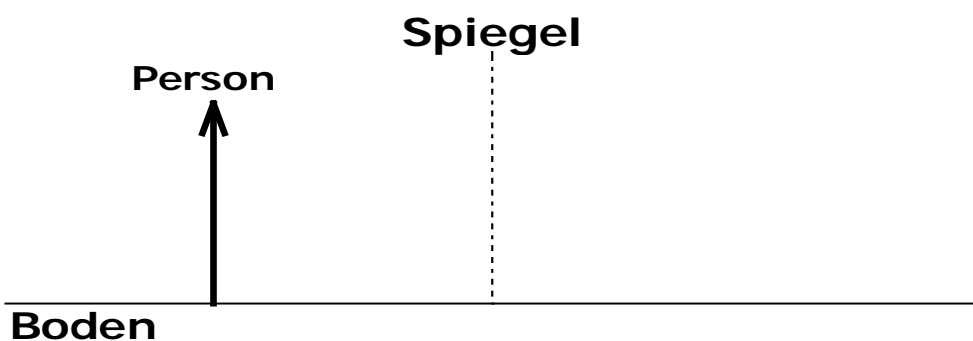
5. Du schaust gerade von vorne in einen Spiegel. Wie weit scheint dein Spiegelbild von dir entfernt zu sein? *Kreuze an.*

- Die Entfernung zwischen dir und dem Spiegel
- Die doppelte Entfernung zwischen dir und dem Spiegel
- Die halbe Entfernung zwischen dir und dem Spiegel
- Die anderthalbfache Entfernung zwischen dir und dem Spiegel

6. Welche Größe muss ein Spiegel mindestens haben, damit du dich komplett darin sehen kannst?

*Kreuze an und vervollständige die Skizze (mit Bleistift und Geodreieck!).*

- Deine Größe
- Dreiviertel deiner Größe
- Die Hälfte deiner Größe
- Ein Viertel deiner Größe
- Die Spiegelgröße ist vom Abstand zum Spiegel abhängig
- Eine Größe von einem halben Meter ist immer ausreichend



7. Ordne die folgenden Farben nach ihrer Reihenfolge im Regenbogen von außen nach innen. Welche dieser Farben wird am stärksten gebrochen? *Ordne gelb, grün, orange, blau, rot und violett.*  
*Gib an welche dieser Farben am stärksten gebrochen wird.*

1.	2.	3.
_____	_____	_____
4.	5.	6.
_____	_____	_____

Am stärksten gebrochen wird: \_\_\_\_\_

8. Gibt es sichtbares schwarzes Licht? *Gib eine Antwort und begründe diese.*

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

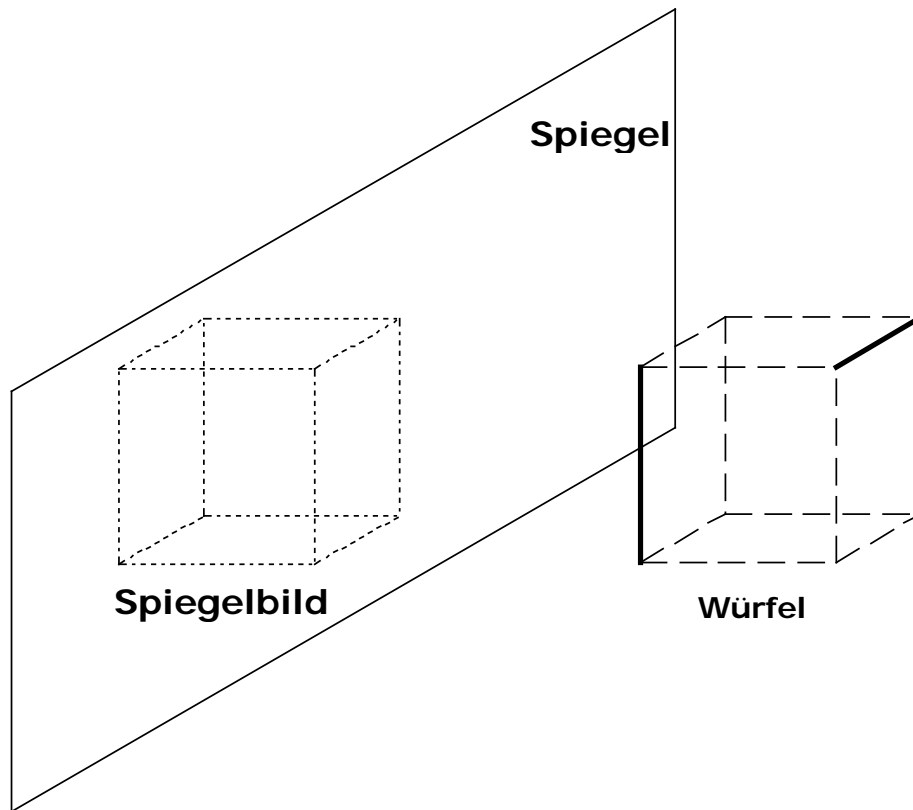
9. Wie heißt der Fachbegriff für die Zerlegung von weißem Licht in seine Spektralfarben? *Kreuze an.*

- |                                    |                                       |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Diffusion | <input type="checkbox"/> Habilitation | <input type="checkbox"/> Dispersion   |
| <input type="checkbox"/> Fusion    | <input type="checkbox"/> Aberration   | <input type="checkbox"/> Dissertation |

10. Unter welchen dieser Voraussetzungen kommt es zu Totalreflexion? *Kreuze an.*

- Beim Übergang von einem optisch dichteren Medium in ein optisch dünneres Medium, wobei Einfallswinkel  $>$  Grenzwinkel gilt.
- Beim Übergang von einem optisch dichteren Medium in ein optisch dünneres Medium, wobei Brechungswinkel  $>$  Grenzwinkel gilt.
- Beim Übergang von einem optisch dünneren Medium in ein optisch dichteres Medium, wobei Einfallswinkel  $>$  Grenzwinkel gilt.
- Beim Übergang von einem optisch dünneren Medium in ein optisch dichteres Medium, wobei Brechungswinkel  $>$  Grenzwinkel gilt.

11. Welche Kanten des Spiegelbilds entsprechen den markierten Kanten des Würfels.  
*Zeichne (mit Bleistift) die richtigen Kanten im Spiegelbild nach.*



12. Warum entsteht bei einem Daumenkino (Paper-Video) der Eindruck von Bewegung (wie bei einem Film), obwohl du nur eine Reihe von unbewegten Einzelbildern betrachtest?  
*Versuche eine Erklärung hierfür zu geben.*

---

---

---

---

---

---

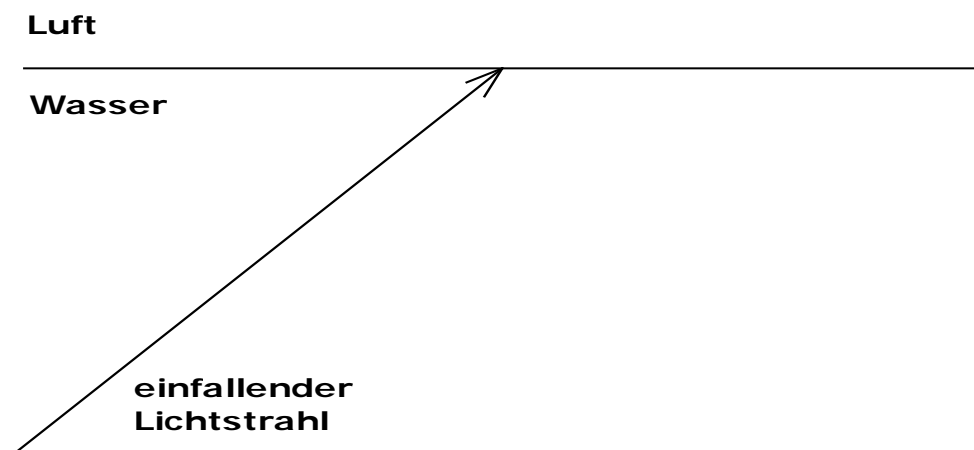
---

---

13: Zeichne (*mit Bleistift und Geodreieck!*) den kompletten Strahlengangeines Lichtstrahls, der –aus Wasser kommend - auf eine glatte Grenzfläche zu Luft trifft. Welche sind die physikalisch wichtigen Winkel und welche Beziehungen ( $<$ ,  $>$  oder  $=$ ) gelten zwischen ihnen?

*Vervollständige die Zeichnung und benenne Lichtstrahlen, Winkel und Hilfslinien.*

*Gib die jeweilige Beziehung der physikalisch wichtigen Winkel zueinander ( $<$ ,  $>$  oder  $=$ ) an.*



Winkelbeziehungen: \_\_\_\_\_

**Danke für deine Mitarbeit**



## 10.4. Bewertung der Fragebögen

### Bewertung der Fragebögen

#### Beginn des Fragebogens

Die Angaben zu Beginn des Fragebogens (Alter, Geschlecht, Schule, Datum, Arbeitsgruppe, Zweig und Schulnote) werden übernommen, wie sie angegeben wurden.

Wurden keine Angaben gemacht, so wird - angegeben.

Bei der Auswertung wird angegeben wie oft keine Angaben gemacht wurden.

Bei den Fragen zum beliebtesten bzw. unbeliebtesten Schulfach wird die Angabe übernommen, wobei man auch bei mehreren Angaben nur eine Antwort übernimmt.

Hierbei gilt folgende Wertung:

- Physik
- weitere Naturwissenschaften
- Mathematik, EDV, BWR
- Sprachen
- Lernfächerächer (Geschichte, Erdkunde, Sozialkunde)
- Kunst, Musik, Sport

Sollte es mehrere Antworten aus derselben Kategorie geben (z.B.: Englisch, Latein, Sport), wird die erstgenannte übernommen (In diesem Beispiel: Englisch, da Sport wegen der Kategorie wegfällt und Englisch vor Latein genannt wurde.).

#### Der Fragebogen (Vortest: I.-III.; Nachtest: I.-IV.)

Gestellte Ja-Nein-Fragen (Vortest: II.) werden übernommen, wobei Ja mit j und Nein mit n eingeht(oder mit -).

Fragen nach den Stationen (Nachtest: II. und III.) werden übernommen, wie sie sind.

Kommt es zu mehreren Antworten oder keinen Angaben wird jeweils die vierte Antwortmöglichkeit („Keine“ bzw. „Bei keiner“) übernommen.

Bei der Vergabe einer Schulnote für das Labor (Nachtest: IV.) wird der Wert übernommen wie er ist. Die Tendenz der Note durch Schüler (z.B.: 1- oder 3+) geht nicht in die Wertung mit ein. Bei mehreren Antworten wird das arithmetische Mittel gebildet und abgerundet.

Bei den wertenden Fragen (Vortest: I. und III.; Nachtest: I.) wird den Antwortmöglichkeiten eine Zahl zugeordnet, wobei eine 1 für die erste Antwortmöglichkeit („sehr selten“ bzw. „stimmt gar nicht“) und eine 4 für die letzte Antwortmöglichkeit („sehr oft“ bzw. „stimmt völlig“) steht. Werden keine Angaben gemacht, so wird 2,5 als Wert eingetragen. Dies wahrt die Neutralität für übergeordnete Variablen. Darüber hinaus werden Kommazahlen in der Einzelauswertung der Fragen nicht erfasst.

Beim Ankreuzen mehrerer Antworten (bzw. nicht erkennbar ist welche Antwort nicht als durchgestrichen gilt) wird der Mittelwert übernommen, und normal gerundet.

## 10.5. Korrektur des Vortests

### Korrektur des Vortests

Allgemeines: Wird bei einer Multiple-Choice-Aufgabe mehr als eine Antwort angekreuzt (bzw. es ist nicht erkennbar welche Lösung gemeint ist) gilt die Frage als falsch beantwortet.

Frage 1: Die hier gemachten Angaben werden in die Kategorien der Stationen eingeteilt und so übernommen. Die Kategorien der Stationen sind „Farben und Brechung“, „Auge und Linsen“, „Spiegel und Reflexion“. Eine weitere Kategorie ist Grundlagenwissen, falls die Kenntnisse so rudimentär sind, dass sie keiner Station zugeordnet werden können. (Bsp.: „Optik beschäftigt sich mit Licht“ oder „Licht breitet sich geradlinig aus“)

Dadurch kann man erkennen ob der Schüler Vorkenntnisse zu den Stationen hat.

Frage 2: Die gegebene Antwort wird, wie bei Frage 1, in die Kategorien der Stationen eingeteilt. Bei mehreren Antworten wird die Station gewählt zu der die meisten Antworten passen. Sollten gleichviele Antworten zu den Stationen passen, wählt man die Station zur erstgenannten Antwort.

Dadurch kann man erkennen welche der Stationen der Schüler favorisiert hätte.

Frage 3: Drei mögliche Punkte:  
- Richtiges Einzeichnen des Mondes bei Sonnenfinsternis.  
- Richtiges Einzeichnen des Mondes bei Mondfinsternis.  
- Einzeichnen des Mondes auf der Mondumlaufbahn (Genaues Arbeiten).

Punkte zur Station „Spiegel“ und für genaues Arbeiten. Vergleichsfrage im Nachtest.

Frage 4: Ein möglicher Punkt:  
- Ankreuzen der richtigen Antwort.

Punkt für Grundlagenwissen. Vergleichsfrage im Nachtest.

Frage 5: Ein möglicher Punkt:  
- Ankreuzen der richtigen Antwort.

Punkt zur Station „Spiegel“. Vergleichsfrage im Nachtest.

Die falsche Antwort „Links und rechts“ wird besonders gekennzeichnet um die Verbreitung dieser Schülervorstellung zu testen.

- Frage 6: 6 mögliche Punkte:
- Richtige Benennung als Konkavlinse (bzw. Zerstreuungslinse).
  - Richtige Benennung als Konvexlinse (bzw. Sammellinse).
  - Richtiger Grundgedanke des Lichtverlaufs bei der Zerstreuungslinse.
  - Richtiger Grundgedanke des Lichtverlaufs bei der Sammellinse.
  - Richtige Zuordnung von Name und Lichtverlauf zur jeweiligen Linsenform.
  - Korrektes Zeichnen der Strahlengänge (z.B.: Licht Bündelt sich in einem Punkt) und genaues Zeichnen.

Punkte zur Station „Auge“ und genaues Arbeiten. Vergleichsfrage im Nachtest.

- Frage 7: 5 mögliche Punkte:
- Richtiges Einzeichnen des Schattens von Lichtquelle 1.
  - Richtiges Einzeichnen des Schattens von Lichtquelle 2.
  - Richtige Bezeichnung als Kernschatten.
  - Richtige Bezeichnung als Halbschatten.
  - Sauberes Zeichnen.

Punkte für Grundlagenwissen (geradlinige Ausbreitung) und genaues Arbeiten.

- Frage 8: 3 mögliche Punkte:
- Ungefähr richtiges Einzeichnen des reflektierten Lichtstrahls ( $\alpha = \alpha' \pm 7^\circ$ ).
  - Quantitativ richtiges Einzeichnen des reflektierten Lichtstrahls ( $\alpha = \alpha' \pm 2^\circ$ ).
  - Genaues Arbeiten (Beschriften der Zeichnung).

Punkte zur Station „Spiegel“ und genaues Arbeiten.

- Frage 9: 3 mögliche Punkte:
- Durchgehender Lichtstrahl ohne Unterbrechung.
  - Qualitativ richtige Brechung an der Oberfläche (Einfallswinkel > Brechungswinkel).
  - Genaues Arbeiten (Beschriften der Zeichnung).

Punkte zu Station „Farben“ und genaues Arbeiten.

- Es Ergeben sich:
- Grundlagenwissen: 5 Punkte
  - Spiegel: 5 Punkte
  - Auge: 5 Punkte
  - Farben: 2 Punkte
  - Genaues Arbeiten: 5 Punkte
  - 4 Vergleichsfragen

## **10.6. Korrektur des Nachtests**

### **Korrektur des Nachtests**

Allgemeines: Wird bei einer Multiple-Choice-Aufgabe mehr als eine Antwort angekreuzt (bzw. es ist nicht erkennbar welche Lösung gemeint ist) gilt die Frage als falsch beantwortet.

Frage 1: Ein möglicher Punkt:

- Ankreuzen der richtigen Antwort.

Punkt für Grundlagenwissen. Vergleichsfrage im Vortest.

Frage 2: Zwei mögliche Punkte:

- Ankreuzen der richtigen Antwort.
- Geben einer richtigen Begründung.

Punkte zur Station „Spiegel“. Vergleichsfrage im Vortest.

Frage 3: 7 mögliche Punkte:

- Richtige Benennung als Konkavlinse (bzw. Sammellinse).
- Richtige Benennung als Konkavlinse (bzw. Zerstreuungslinse).
- Richtiger Grundgedanke des Lichtverlaufs bei der Sammellinse.
- Richtiger Grundgedanke des Lichtverlaufs bei der Zerstreuungslinse.
- Richtige Zuordnung von Name und Lichtverlauf zur jeweiligen Linsenform.
- Richtige Zuordnung der korrigierbaren Fehlsichtigkeit zu der jeweiligen Linse.
- Korrektes Zeichnen der Strahlengänge (z.B.: Licht Bündelt sich in einem Punkt auf optischer Achse) und genaues Zeichnen.

Punkte zur Station „Auge“ und genaues Arbeiten. Vergleichsfrage im Vortest.

Frage 4: 1 möglicher Punkt:

- Ankreuzen der richtigen Antwort.

Punkt zur Station „Spiegel“. Vergleichsfrage im Vortest.

Die falsche Antwort „Links und rechts“ wird besonders gekennzeichnet um die Korrektur dieser Schülervorstellung durch das Schülerlabor zu testen.

- Frage 5: 1 möglicher Punkt:  
- Ankreuzen der richtigen Antwort.

Punkt zur Station „Spiegel“.

- Frage 6: 2 mögliche Punkte:  
- Ankreuzen der richtigen Antwort.  
- Richtiges Vervollständigen der Begründungsskizze.

Punkte zur Station „Spiegel“.

- Frage 7: 5 mögliche Punkte:  
- 3 Punkte für die richtige Reihenfolge der Farben (jeweils 1 Punkt für zwei richtige Farbzuordnungen).  
- Angeben der Reihenfolge von außen nach innen.  
- Richtige Antwort bei der Zusatzfrage.

Punkte zur Station „Farben“.

- Frage 8: 2 mögliche Punkte:  
- Geben der richtigen Antwort.  
- Geben einer richtigen Begründung.

Punkte zur Station „Farben“.

- Frage 9: 1 möglicher Punkt:  
- Ankreuzen der richtigen Antwort.

Punkte zur Station „Farben“.

- Frage 10: 1 möglicher Punkt:  
- Ankreuzen der richtigen Antwort.

Punkt zur Station „Spiegel“.

- Frage 11: 2 mögliche Punkte:  
- 2 Punkte für richtiges Einzeichnen der zwei markierten Kanten.

Punkte zur Station „Spiegel“.

- Frage 12: 1 möglicher Punkt:  
- Geben einer richtigen Begründung.

Punkt zur Kategorie „Auge“.

Frage 13: 8 mögliche Punkte:

- Qualitativ richtiges Einzeichnen des reflektierten Lichtstrahls ( $\pm 7^\circ$ ).
- Quantitativ richtiges Einzeichnen des reflektierten Lichtstrahls ( $\pm 2^\circ$ ).
- Richtige Winkelbeziehung bei der Reflexion:  
Einfallswinkel = Reflexionswinkel
- Durchgehender Lichtstrahl bei der Brechung.
- Qualitativ richtiges Einzeichnen des gebrochenen Lichtstrahls.
- Richtige Winkelbeziehung bei der Brechung:  
Einfallswinkel < Brechungswinkel
- Einzeichnen des Lots und der Winkel.
- Genaues Arbeiten (Beschriften der Zeichnung).

Punkte zur Station „Spiegel“ (die ersten 3), „Farbe“ (die zweiten 3) und genaues Arbeiten (die letzten 2).

Es ergeben sich: Grundlagenwissen: 1 Punkt      Spiegel: 12 Punkte  
Genaues Arbeiten: 3 Punkte      Auge: 7 Punkte      Farben: 11 Punkte

Darüber hinaus können 4 Fragen direkt mit Antworten zu entsprechenden Fragen aus dem Vortest verglichen werden.

## 10.7. Präsentation zum einführenden Vortrag

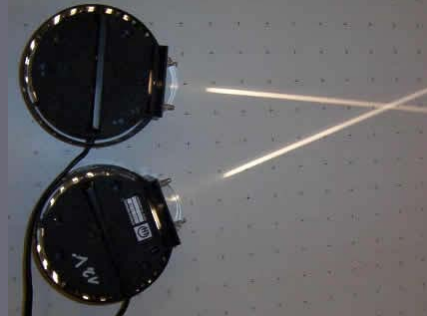
# Es werde Licht

Ein Schüler-Experimentierlabor zum  
Thema Optik

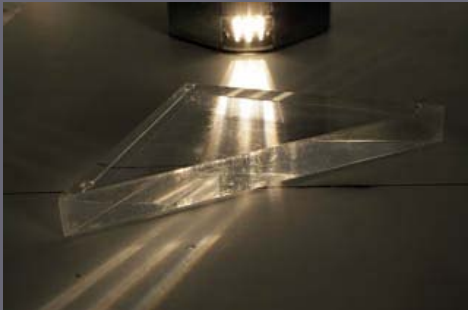
Ausgearbeitet von  
Verena Roth und Max Kilian



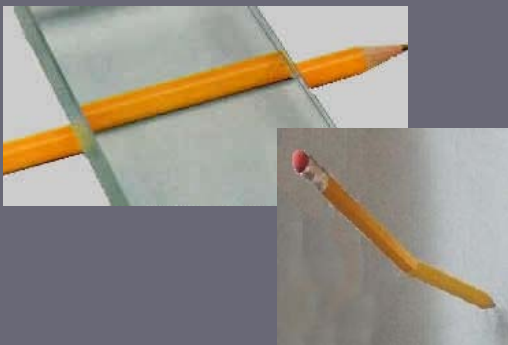
## Ausbreitung des Lichts



Licht breitet sich immer geradlinig aus!



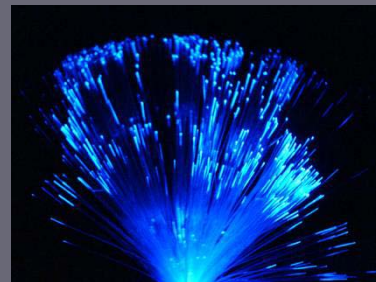
## Der Knick in der Optik



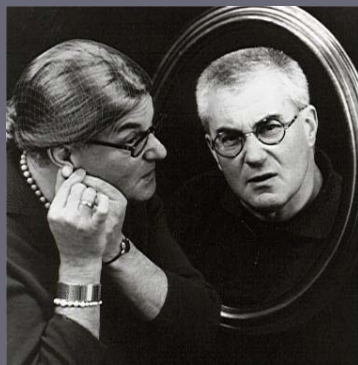
Licht kann  
durchaus  
einen Knick haben!



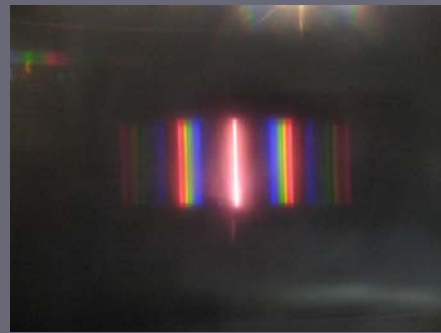
Eingefangenes Licht



Spieglein, Spieglein







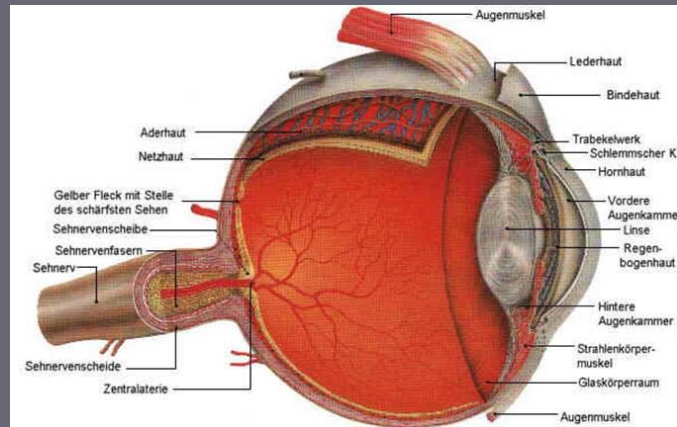
## Schöne bunte Farben



## Sonne und Mond



# Wie sehen wir?



# Warum brauchen manche Menschen eine Brille?



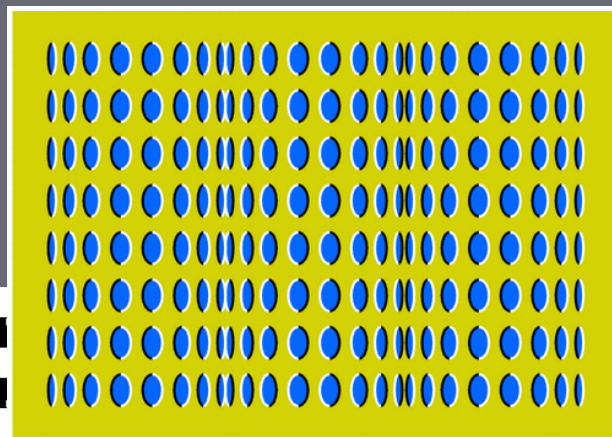
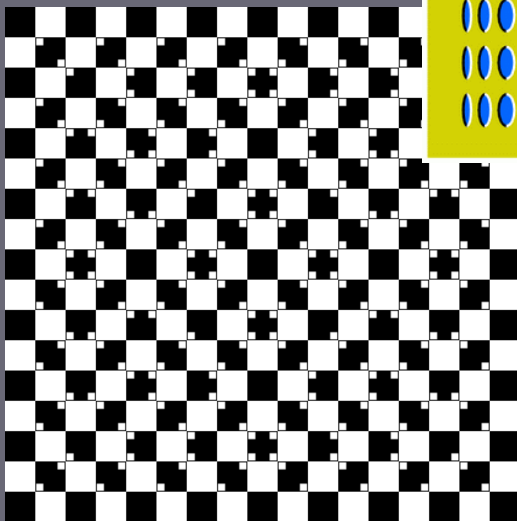
© A.Dreher / PIXELIO



# Fata Morgana - ein Geheimnis?



Lass Dich  
nicht täuschen!



# Ablauf des Experimentierlabors

- An der Station

- Führe die Versuche in der angegebenen Reihenfolge durch
- Lies die Versuchsanleitung genau durch
- Arbeitet als Gruppe selbständig
- Arbeite zügig! Es gibt interessante Zusatzaufgaben als Belohnung!
- Durchlaufe die Stationen in der Reihenfolge, wie sie in Deinem Arbeitsheft sind
- Arbeitsplatz am Ende der Station bitte aufräumen!

# Ablauf des Experimentierlabors

- SICHERHEITSHINWEISE

- **ACHTUNG LASER!** Schauge nie direkt in den Laser! Laserstrahlen können die Netzhaut beschädigen. Richte den Laserstrahl niemals auf Personen!
- Lampen dürfen nur von Betreuern angeschlossen werden!
- Behältnisse mit Wasser dürfen nicht zusammen mit Stromquellen auf einem Tisch stehen!  
**Stromschlaggefahr** bei Verschütten des Wassers!

# Ablauf des Experimentierlabors

- Allgemeines

- Fülle das Deckblatt Deines Arbeitsheft aus
- Bei Fragen stehen die Betreuer gerne zur Verfügung
- Beachte den Vorgegebenen Zeitplan
- Es gibt drei verschiedene Stationen
- Teilt Euch bitte in sechs möglichst gleich große Gruppen auf

**Wir wünschen Dir  
viel Spaß und  
Erfolg beim  
Experimentieren!**

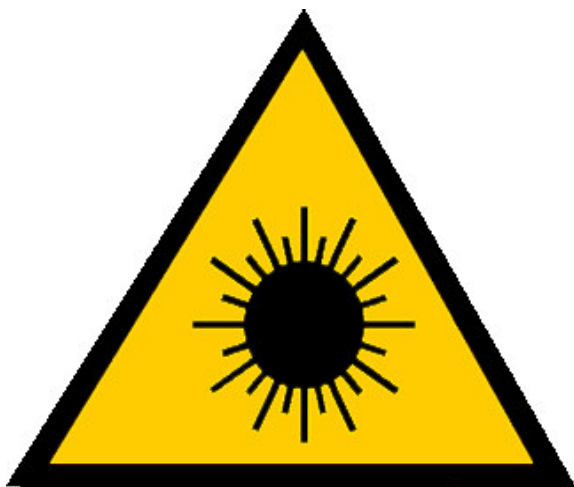
## 10.11. Laserwarnschild

# Beim Arbeiten mit dem Laser musst du einiges beachten!



*Schaue nie direkt in  
den Laserstrahl!*

Laserstrahlen können  
die Netzhaut be-  
schädigen.



Richte den Laser niemals  
auf Personen!

*Laserstrahlung kann zu  
(Netz-)Hautverletzungen  
führen.*

## 10.12 Fotos einiger Versuchsaufbauten

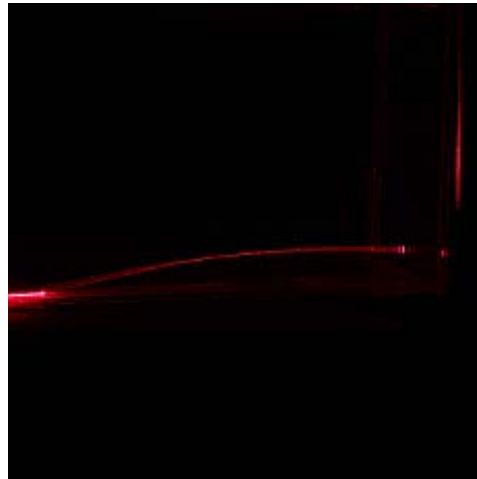
### Station „die Bunte Welt der Farben“

Übersicht über die benötigten Materialien

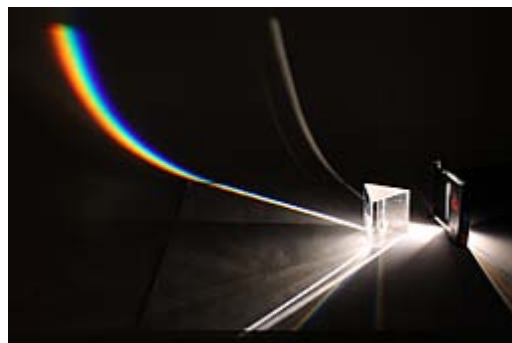


„Geschicklichkeitstest“

Versuch 2: Der Krumme Lichtstrahl



Versuch 3: Brechung von weißem Licht



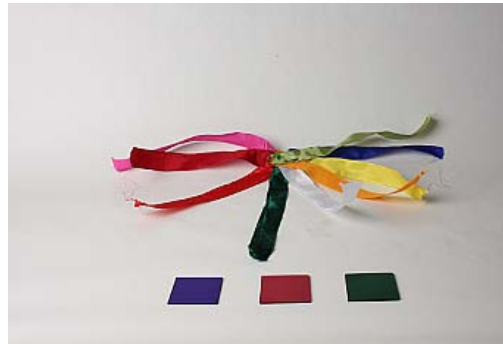
#### Versuch 4: Kann man Farben addieren?

Die verwendete Lichtorgel



#### Versuch 5: Kann man Farben auch subtrahieren?

Geschenkbänder mit Filter



Geschenkbänder durch grünen Filter



Geschenkbänder durch roten Filter



Geschenkbänder durch blauen Filter



Versuch 6: Der Farbkreis

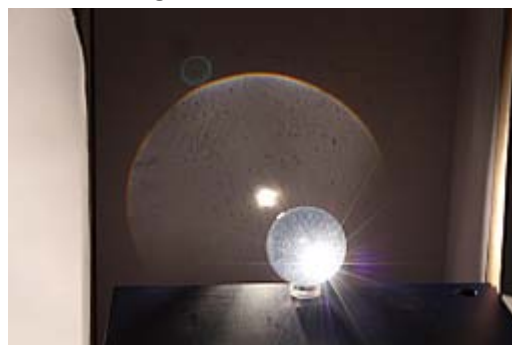


#### Versuch 7: Physik im Schuhkarton

Versuchsaufbau



Beobachtung





## Versuch 8: Der Strahlengang im Regentropfen

### Versuchsaufbau



### Beobachtung



### Zusatzmaterial 3: Farbbrille

### Blick durch die Brille



### Station „das Auge“

### Übersicht über die benötigten Materialien





## 10.14. Fotos des einführenden Vortrags mit Quellenangaben

Die Linkadresse gibt die jeweilige Quelle an, wobei sie zuletzt am 18.12.08 aufgerufen wurden. Wenn nichts vermerkt ist, sind die Fotos von der Autorin selbst gemacht.



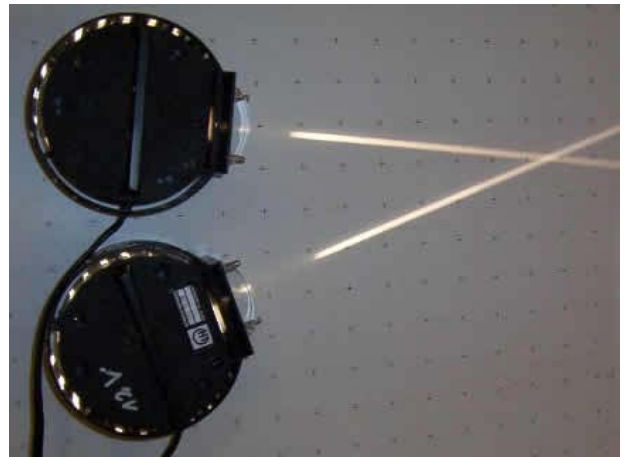
<http://www.arktiscards.de/docbaumann/Grafiken/Galerie/gross/Lichtstrahlen.jpg>



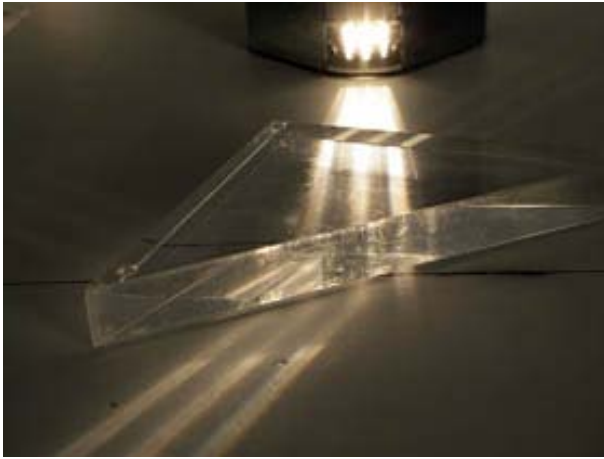
<http://blog.snaefell.de/wp-content/images/videy-lichtstrahl.jpg>



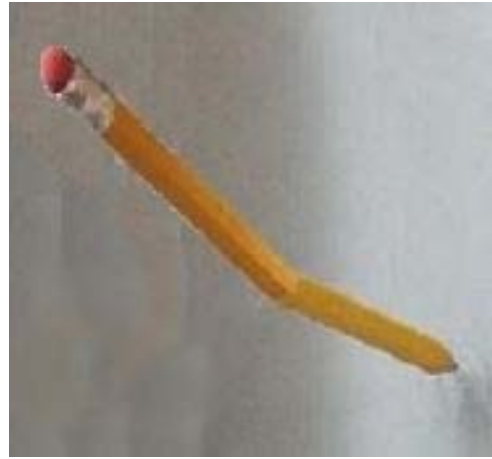
[http://www.korntravel.de/Iran\\_Lichstrahlen\\_Kuppel\\_g.JPG](http://www.korntravel.de/Iran_Lichstrahlen_Kuppel_g.JPG)



[http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph09/versuche/09geradlinig/unabhaengig.jpg](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph09/versuche/09geradlinig/unabhaengig.jpg)



[http://phaenomena.de/Luedenscheid/bilder/optik\\_18\\_320.jpg](http://phaenomena.de/Luedenscheid/bilder/optik_18_320.jpg)



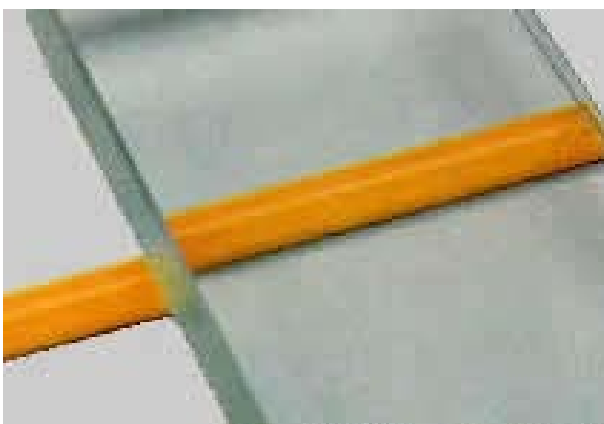
[http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph09/zusatzaufgaben/11brechung/bleistift/bleistift11.jpg](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph09/zusatzaufgaben/11brechung/bleistift/bleistift11.jpg)



<http://www.peters-schnell.de/img/ente2.jpg>



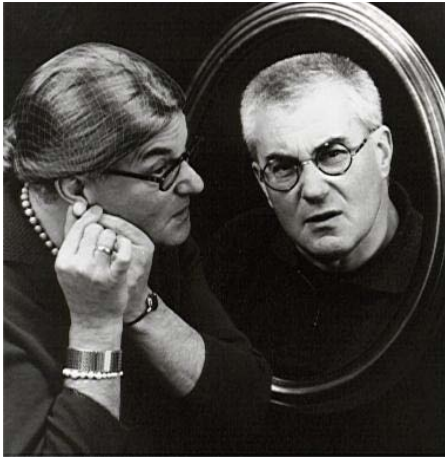
<http://show.zoho.com/public/sathish.g/CE-RDFotos.pps>



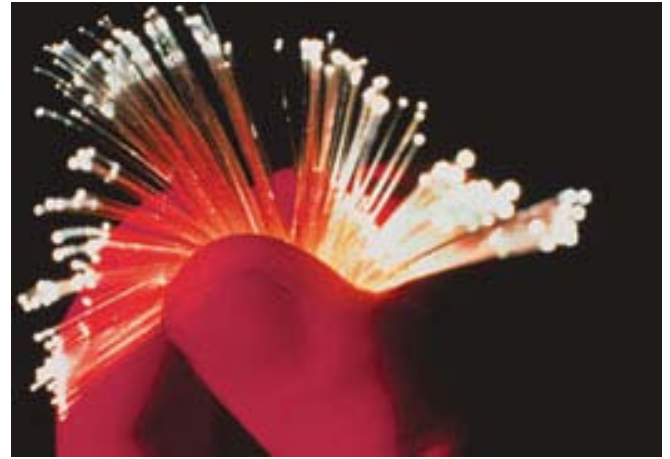
[http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph09/musteraufgaben/11brechung/planparallel2/bleistift1.jpg](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph09/musteraufgaben/11brechung/planparallel2/bleistift1.jpg)



[http://phaenomena.de/Luedenscheid/bilder/optik\\_14\\_320.jpg](http://phaenomena.de/Luedenscheid/bilder/optik_14_320.jpg)



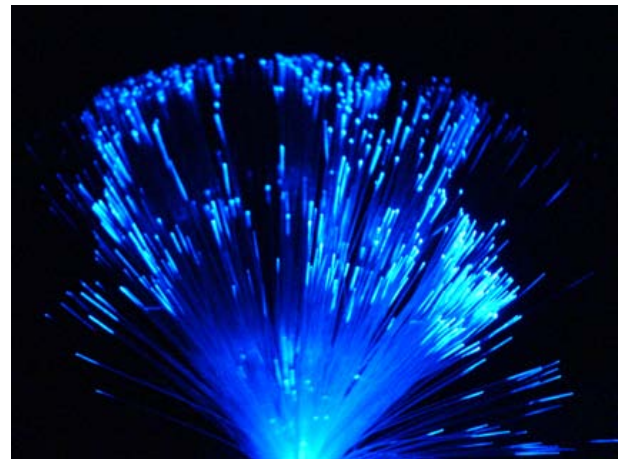
<http://fotoalbum.web.de/gast/butz-jochen/Kabarett/printImage?imageId=41286784&imageType=image>



<http://www.ptb.de/de/aktuelles/archiv/presseinfos/pi2003/pi250203.htm>



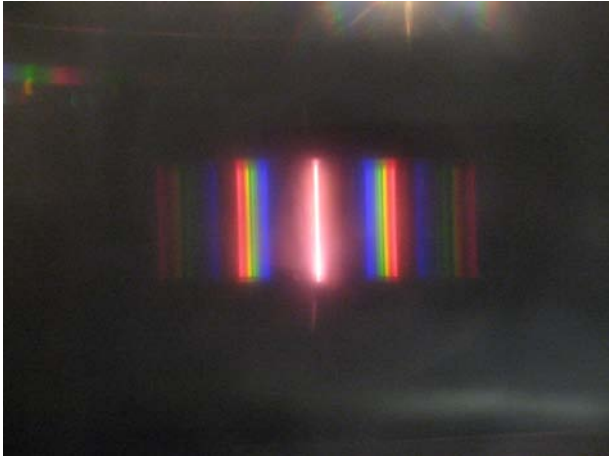
<http://show.zoho.com/public/sathish.g/CE-RDFotos.pps>



<http://www.automate.at/textpattern/index.php?c=beauty-of-data-sleep-movements>



<http://www.die-geobine.de/glossar/gif/regenbogen.jpg>



<http://www.astro.com/im/mtp/image029.jpg>

<http://www.mandragora-hexenschule.de/kram/baumhaus/2007/expl01.jpg>



[http://www.burgdorf.de/wBurgdorf/aContent\\_Burgdorf/bildservice/Fotoreport\\_Wasserspiele/Originalgroesse/Wasserspiele\\_12-g.jpg](http://www.burgdorf.de/wBurgdorf/aContent_Burgdorf/bildservice/Fotoreport_Wasserspiele/Originalgroesse/Wasserspiele_12-g.jpg)

<http://www.stauff.de/matgesch/bilder/rststrhng.jpg>



<http://www.hyaden.de/images/Sonnenfinsternis.jpg>



© A.Dreher / PIXELIO

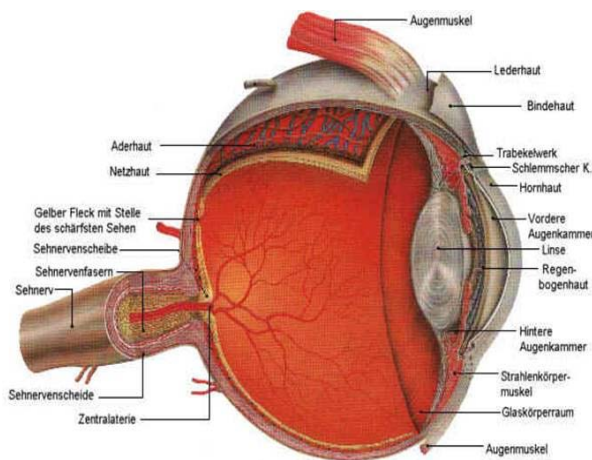
<http://brille-oder-kontaktlinsen.de/dioptin.php>



<http://www.hdr-photos.com/data/media/9/auge.jpg>



[http://www.augenarzt-obermayer.at/img/obermayer\\_kurzichtigkeit.jpg](http://www.augenarzt-obermayer.at/img/obermayer_kurzichtigkeit.jpg)



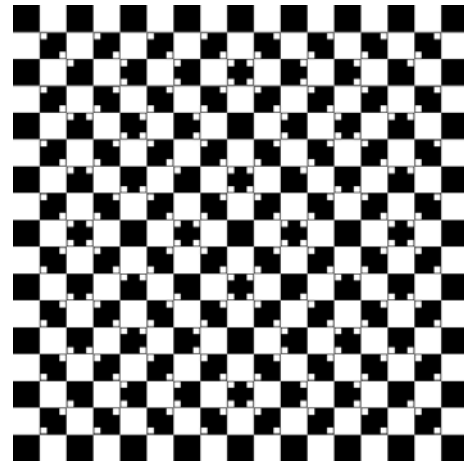
[http://www.blind-isis.at/isis/sensibilisierung/dasauge/auge\\_clip\\_image002.jpg](http://www.blind-isis.at/isis/sensibilisierung/dasauge/auge_clip_image002.jpg)



[http://www.augenarzt-obermayer.at/img/obermayer\\_weitsichtigkeit.jpg](http://www.augenarzt-obermayer.at/img/obermayer_weitsichtigkeit.jpg)



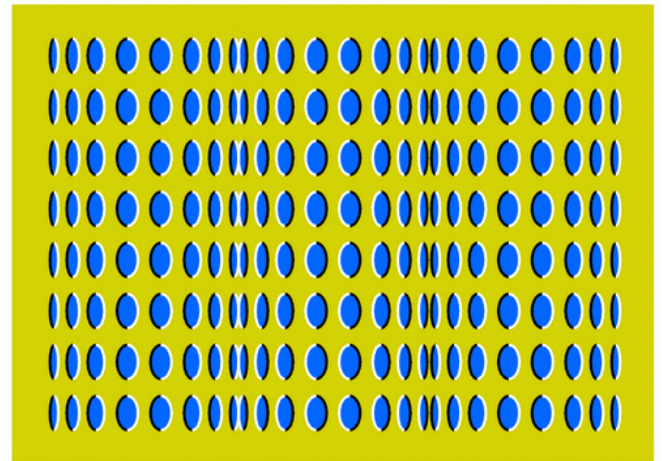
[http://www.augenarzt-obermayer.at/img/obermayer\\_normalsichtigkeit.jpg](http://www.augenarzt-obermayer.at/img/obermayer_normalsichtigkeit.jpg)



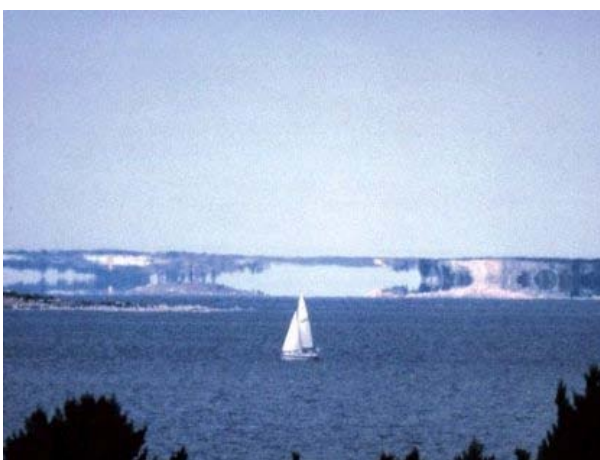
[http://dieprivilegierten.files.wordpress.com/2007/10/600px-raster\\_17\\_17\\_grossrp.jpg](http://dieprivilegierten.files.wordpress.com/2007/10/600px-raster_17_17_grossrp.jpg)



<http://www.gerhard-schild.de/resources/Bild+15+-+Fata+Morgana.JPG>



[http://www.sloganmaker.net/images/rollers\\_2.gif](http://www.sloganmaker.net/images/rollers_2.gif)



[http://www.spektrumdirekt.de/sixcms/media.php/395/fata\\_morgana2.jpg](http://www.spektrumdirekt.de/sixcms/media.php/395/fata_morgana2.jpg)



## **10.15. Quellenverzeichnis**

### **Literatur:**

- Appel, Thomas / Sube, Kerstin / Wolfermann, Gottfried / Zieris, Martin: *Netzwerk Physik 7. Bayern*, 1.Auflage, Braunschweig: Schrödel, 2006
- Basler, Herbert: *Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistischen Methodenlehre*, 11.Auflage, Heidelberg: Physica-Verlag 1994
- Engeln, Katrin: *Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken*, in: Niedderer, Hans / Fischler, Helmut: *Studien zu Physiklernen Band 36*, Berlin: Logos Verlag 2004
- Hopf, Martin (Hrsg.) / Müller, Rainer / Wodzinski, Rita: *Schülervorstellungen in der Physik*, Köln: Aulis Verlag Deubner 2004
- Hilgermann, Anja / Kropatschewa, Nadja / Weise Franziska: *Auf den Spuren des Lichts, Schülerlabor zum Thema Optik*,
- Roth, Verena: *Schüler-Experimentierlabor zum Thema Optik (Schwerpunkt: Erarbeitung)*,
- Theisen, Manuel R.: *Wissenschaftliches Arbeiten*, 9.Auflage, München: Verlag Franz Vahlen GmbH 1998
- Tipler, Paul A. / Mosca, Gene: *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*, 1.Auflage, München: Spektrum Akademischer Verlag 2004

### **Onlinequellen:**

#### **Lehrpläne:**

- ISB, Staatsministerium für Schulqualität und Bildungsforschung, München: *Physik Jahrgangsstufe 7, Fach- /Jahrgangsstufenlehrplan (Ebene 3)*  
<http://www.isb.bayern.de/isb/download.aspx?DownloadFileID=dde231ee9f7f79494fb4cb62368bc7ce> (Aufgerufen am 25.2.2009)
- ISB, Staatsministerium für Schulqualität und Bildungsforschung, München: *Physik Jahrgangsstufe 8, Fach- /Jahrgangsstufenlehrplan (Ebene 3)*  
<http://www.isb.bayern.de/isb/download.aspx?DownloadFileID=cb001a9eb3247f1af15075b4d4b0d585> (Aufgerufen am 25.2.2009)

- ISB, Staatsministerium für Schulqualität und Bildungsforschung, München: Natur und Technik Jahrgangsstufe 7, Fach- /Jahrgangsstufenlehrplan (Ebene 3)  
<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26436> (Aufgerufen am 25.2.09)

#### Zitate:

- [www.Zitate.de](http://www.zitate.de)  
<http://www.zitate.de/ergebnisse.php?kategorie=&stichwort=&autor=Franklin%2C%3F%2FBenjamin&x=14&y=3>
- [www.Zitate.de](http://www.zitate.de)  
<http://www.zitate.de/ergebnisse.php?sz=2&stichwort=&kategorie=&autor=Parkinson,?/Cyril?/Northcote&linka=kategorie>

#### Optische Täuschungen:

- Optische Täuschungen [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph09/umwelt\\_technik/12sehen/blinder.htm](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph09/umwelt_technik/12sehen/blinder.htm) (aufgerufen am 16.02.09)
- [http://www.sloganmaker.net/images/rollers\\_2.gif](http://www.sloganmaker.net/images/rollers_2.gif) (aufgerufen am 18.12.08)
- [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b1/Revolving\\_circles.svg/350px-Revolving\\_circles.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b1/Revolving_circles.svg/350px-Revolving_circles.svg.png) (aufgerufen am 16.02.09)
- [http://board.mykathrein.de/userupload/2\\_flimmern\\_1.gif](http://board.mykathrein.de/userupload/2_flimmern_1.gif) (aufgerufen am 16.02.09)
- <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1e/Gradient-optical-illusion.svg/800px-Gradient-optical-illusion.svg.png> (aufgerufen am 18.02.09)
- [http://www.dalheim-online.net/images/Optisch/ute\\_2.gif](http://www.dalheim-online.net/images/Optisch/ute_2.gif) (aufgerufen am 16.02.09)
- <http://www.taschenspieler.net/assets/images/optische-taeschung.jpg> (aufgerufen am 16.02.09)
- <http://www.patrickwagner.de/Illusion/Bilder/Pfeile3.gif> (aufgerufen am 16.02.09)
- [http://dieprivilegierten.files.wordpress.com/2007/10/600px-raster\\_17\\_17\\_grossrp.jpg](http://dieprivilegierten.files.wordpress.com/2007/10/600px-raster_17_17_grossrp.jpg) (aufgerufen am 18.12.08)
- [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2d/Zollner\\_illusion.svg/200px-Zollner\\_illusion.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2d/Zollner_illusion.svg/200px-Zollner_illusion.svg.png) (aufgerufen am 16.02.09)
- <http://www.patrickwagner.de/Illusion/Bilder/Pfeile3.gif>
- [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/59/Wahrnehmung\\_gesetzt\\_Kontext.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/59/Wahrnehmung_gesetzt_Kontext.jpg) (aufgerufen am 16.02.09)

#### Verwendete Abbildungen:

- <http://www.diekmann.de/auge/sehpro.htm> (aufgerufen am 21.1.09)
- [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph09/heimversuche/13farbkreisel/farbkreisel.htm](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph09/heimversuche/13farbkreisel/farbkreisel.htm) (aufgerufen am 16.02.09)
- [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph09/heimversuche/13farbkreisel/farbkreisel.htm](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph09/heimversuche/13farbkreisel/farbkreisel.htm) (aufgerufen am 16.02.09)
- <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/1/11/Komplement%C3%A4r.png> (aufgerufen am 16.02.09)
- <http://www.khalisi.com/licht/regfig4.gif> (aufgerufen am 21.01.09)
- [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph09/umwelt\\_technik/13regenbogen/regenbogen\\_h.gif](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph09/umwelt_technik/13regenbogen/regenbogen_h.gif) (21.01.09)
- [http://www.meteoros.de/bildarchiv/pics/328\\_1133726401.jpg?1229970496](http://www.meteoros.de/bildarchiv/pics/328_1133726401.jpg?1229970496) (aufgerufen am 21.01.09)
- <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e8/Fatamorganarp.png> (aufgerufen am 21.01.09)
- Sonnenfinsternis <http://www.zum.de/dwu/depot/pop303f.gif> (aufgerufen am 16.02.09)
- Mondfinsternis <http://www.zum.de/dwu/depot/pop302f.gif> (aufgerufen am 16.02.09)
- <http://tubus.biz/images/image001.jpg> (17.3.2009)

#### Im Vortrag verwendete Fotos (alle am 8.12.08 aufgerufen):

- [http://www.spektrumdirekt.de/sixcms/media.php/395/fata\\_morgana2.jpg](http://www.spektrumdirekt.de/sixcms/media.php/395/fata_morgana2.jpg)
- <http://www.gerhard-schild.de/resources/Bild+15+-+Fata+Morgana.JPG>
- [http://www.augenarzt-obermayer.at/img/obermayer\\_normalsichtigkeit.jpg](http://www.augenarzt-obermayer.at/img/obermayer_normalsichtigkeit.jpg)
- [http://www.augenarzt-obermayer.at/img/obermayer\\_weitsichtigkeit.jpg](http://www.augenarzt-obermayer.at/img/obermayer_weitsichtigkeit.jpg)
- [http://www.augenarzt-obermayer.at/img/obermayer\\_kurzsichtigkeit.jpg](http://www.augenarzt-obermayer.at/img/obermayer_kurzsichtigkeit.jpg)
- [http://www.blind-isis.at/isis/sensibilisierung/dasauge/auge\\_clip\\_image002.jpg](http://www.blind-isis.at/isis/sensibilisierung/dasauge/auge_clip_image002.jpg)
- <http://www.hdr-photos.com/data/media/9/auge.jpg>
- <http://brille-oder-kontaktlinsen.de/dioptrin.php>
- <http://www.hyaden.de/images/Sonnenfinsternis.jpg>
- <http://www.stauff.de/matgesch/bilder/rststrhng.jpg>
- [http://www.burgdorf.de/wBurgdorf/aContent\\_Burgdorf/bildservice/Fotoreport\\_Wasserspiele/Originalgroesse/Wasserspiele\\_12-g.jpg](http://www.burgdorf.de/wBurgdorf/aContent_Burgdorf/bildservice/Fotoreport_Wasserspiele/Originalgroesse/Wasserspiele_12-g.jpg)

- <http://www.astro.com/im/mtp/image029.jpg>
- <http://www.mandragora-hexenschule.de/kram/baumhaus/2007/explo1.jpg>
- <http://www.die-geobine.de/glossar/gif/regenbogen.jpg>
- <http://www.automate.at/textpattern/index.php?c=beauty-of-data-sleep-movements>
- <http://show.zoho.com/public/sathish.g/CERDFotos.pps>
- <http://fotoalbum.web.de/gast/butz-jochen/Kabarett/printImage?imageId=41286784&imageType=image>
- <http://www.ptb.de/de/aktuelles/archiv/presseinfos/pi2003/pi250203.htm>
- [http://phaenomena.de/Luedenscheid/bilder/optik\\_14\\_320.jpg](http://phaenomena.de/Luedenscheid/bilder/optik_14_320.jpg)
- [http://phaenomena.de/Luedenscheid/bilder/optik\\_18\\_320.jpg](http://phaenomena.de/Luedenscheid/bilder/optik_18_320.jpg)
- [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph09/musteraufgaben/11brechung/planparallel2/bleistift1.jpg](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph09/musteraufgaben/11brechung/planparallel2/bleistift1.jpg)
- <http://show.zoho.com/public/sathish.g/CERDFotos.pps>
- [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph09/zusatzaufgaben/11brechung/bleistift/bleistift11.jpg](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph09/zusatzaufgaben/11brechung/bleistift/bleistift11.jpg)
- <http://www.peters-schnell.de/img/ente2.jpg>
- [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph09/versuche/09geradlinig/unabhaengig.jpg](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph09/versuche/09geradlinig/unabhaengig.jpg)
- [http://www.korntravel.de/Iran\\_Lichstrahlen\\_Kuppel\\_g.JPG](http://www.korntravel.de/Iran_Lichstrahlen_Kuppel_g.JPG)
- <http://blog.snaefell.de/wp-content/images/viday-lichtstrahl.jpg>
- <http://www.arktiscards.de/docbaumann/Grafiken/Galerie/gross/Lichtstrahlen.jpg>

## **11. Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich all denen danken, deren Hilfe und Unterstützung diese Arbeit erst ermöglichte.

Als erstes möchte ich Herrn Prof. Dr. Thomas Trefzger für das interessante Thema, die Betreuung und Hilfe in organisatorischen Fragen danken.

Ebenfalls großer Dank gebührt Herrn AR Matthias Völker für die Betreuung und Unterstützung bei der Planung und der Durchführung des Schülerlabors. Diese beinhaltete Verbesserungsvorschläge, Hilfestellungen, Literaturempfehlungen und Leihgaben, ebenso wie die Unterstützung bei der Betreuung des Labors und das Fotografieren der Stationen und Labordurchführungen.

Weiterer großer Dank gilt Frau Kathrin Löffler, ohne deren praktische Hilfe und Engagement viele der Versuche nicht möglich gewesen wären.

Auch möchte ich meiner Kommilitonin Verena Roth für die sehr gute Zusammenarbeit über den ganzen Zeitraum der Zulassungsarbeit hinweg danken.

Außerdem möchte ich meinen Kommilitonen Alexander Dörr, Viktor Eske, Christoph Giegerich, Philipp Henninger, Sebastian Krone; Christian Weiß und Franziska Weise danken, da sie Zeit und Mühe in die Betreuung des Schülerlabors investierten, und so zum Gelingen des Schülerlabors beigetragen haben.

Desweiteren möchte ich Herrn AR Dr. Thomas Wilhelm danken, der stets bereit war Fragen zu beantworten.

Dank gebührt natürlich auch den am Schullabor beteiligten Lehrern und Schülern, ohne deren Besuch das Schülerlabor nicht hätte durchgeführt werden können.

Darüber hinaus möchte ich allen danken, die einen Teil zu dieser Arbeit beigetragen haben aber hier nicht explizit erwähnt wurden.

Abschließend danke ich meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglichen.

## **12. Erklärung**

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

Die Zeichnungen und Abbildungen, zu denen keine Quellen angegeben sind, habe ich selbst angefertigt.

Würzburg, den \_\_\_\_\_

Unterschrift: \_\_\_\_\_