

Abbildungen mit Fresnel - Linsen im Physikunterricht einer achten Klasse

Hans – Otto Carmesin

Hohenwedeler Weg 136, 21682 Stade
Gymnasium Athenaeum, Harsefelder Straße 136, 21680 Stade
Fachbereich Physik, Universität Bremen, 28334 Bremen

Kurzfassung

Für die Unterrichtseinheit optische Instrumente und Auge erhielt jede Schülerin und jeder Schüler eine Fresnel - Linse, siehe Abbildung 1, für 80 Cent. Mit dieser entdeckte jede und jeder die Abbildung durch die Linse und die zugehörige Konstruktion. Jede und jeder baute ein Modellauge ohne und mit Sehfehlern, entdeckte die passenden Sehhilfen, baute eine funktionsfähige Linsenkamera, machte damit Fotos und entwickelte diese im Fotolabor. Ferner baute jede und jeder damit ein Teleskop und ein Mikroskop. Diese Unterrichtseinheit motivierte die Schülerinnen und Schüler besonders. Denn sie lernten Dinge, die sie in den meisten Unterrichtseinheiten nicht lernen. Auch das Ergebnis der Klassenarbeit war weit überdurchschnittlich.

1. Einleitung

Im Physikunterricht lernen die Schülerinnen und Schüler meist physikalische Gesetze kennen. Das ist auch richtig und wichtig. Aber die Schülerinnen und Schüler erzielen dadurch oftmals nur geringe selbstständige Handlungsfähigkeit:

- Sie haben die nötigen Experimentiergeräte nur in der Schule.
- Sie erlernen nicht genügend Fertigkeiten um Geräte selbst zu bauen.

Es gibt einige Themen, bei denen Schülerinnen und Schüler selbst Geräte bauen können. Solche Themen sollte man nutzen, damit die Schülerinnen und Schüler an diesen Beispielen den Übergang vom physikalischen Gesetz zum handelsüblichen Gerät einmal exemplarisch kennen lernen. Davon können sie auch bei den Themen profitieren, bei denen ein Selbstbau kaum praktikabel ist.

Die Unterrichtseinheit optische Instrumente und Auge ist besonders dazu geeignet die Schülerinnen und Schüler selbst Geräte bauen zu lassen. Ich berichte über eine Unterrichtseinheit, die ich in einer achten Klasse des Gymnasiums durchgeführt habe.

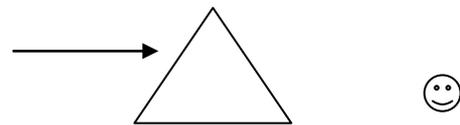
Foto Fresnel-Linse

Abbildung 1: Fresnel - Linse: Abmessungen: 25 mm mal 74 mm. Da wir keinen anderen günstigen Lieferanten hatten, besorgten wir uns Visitenkarten mit Fresnel - Linse zu 80 Cent das Stück und schnitten mit einer Schere den Text ab.

2. Ausgangspunkt und Sensibilisierung für den bau optischer Instrumente

Die Schülerinnen und Schüler kannten bereits die Brechung von Licht. Um sie für die Nutzung der Brechung zum Umlenken von Lichtstrahlen zu sensibilisieren erhielten sie in der ersten Stunde auf einem ersten Arbeitsblatt folgende Aufgaben:

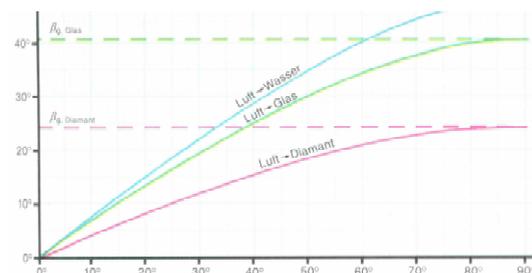
1. Ein Lichtstrahl fällt auf ein Glasprisma. Trifft der gebrochene Strahl das Köpfchen?



2. Zeichne einen Spiegel, durch den der Strahl den Baum trifft!



3. Zeichne ein Glasprisma, durch das der gebrochene Strahl das Köpfchen trifft!



Die Schülerinnen und Schüler lösten die Aufgaben 1 und 2 ohne Schwierigkeiten. Manche benötigten bei der dritten Aufgabe kleine gestufte Lernhilfen. Alle konnten anschließend das gezielte Umlenken von Lichtstrahlen durch Brechung erläutern.

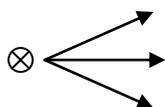
3. Steigerung der Bildhelligkeit

Die Schülerinnen und Schüler kannten bereits die Lochkamera und wussten, dass einigermaßen scharfe Bilder dabei sehr lichtschwach waren. Dieses Problem sollten sie in der zweiten Stunde auf einem zweiten Arbeitsblatt für das Bild einer Lampe lösen:

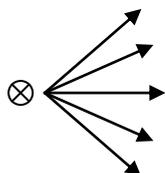
1. Anna will den dargestellten Lichtstrahl der Lampe zu einem Bild der Lampe auf der Mattscheibe führen. Ergänze dazu eine passende Lochkamera!



2. Malte ist das Bild der Lampe bei der Lochkamera zu dunkel. Er will drei Lichtstrahlen zu einem Bild der Lampe auf der Mattscheibe führen. Skizziere eine Möglichkeit!



3. Elsa ist das Bild immer noch zu lichtschwach. Sie will fünf Lichtstrahlen der Lampe zu einem Bild der Lampe auf der Mattscheibe nutzen.



Die meisten Schülerinnen und Schüler wollten zunächst die Lichtstrahlen durch Spiegel auf die Mattscheibe lenken. Nach Aufforderung gelang ihnen diese gezielte Umlenkung aber auch mit Linsen, siehe Abbildung 2. Damit hatten sie den Querschnitt der Fresnel – Linse entdeckt. Ich erläuterte, dass man auch noch die waagrecht abweichenden Lichtstrahlen und alle übrigen nutzen und daher zur üblichen Form der Fresnel – Linse käme. Als Anschauungsbeispiel erhielt jede Schülerin und jeder Schüler eine Fresnel – Linse, siehe Abbildung 1. Das Prinzip

der Fresnel – Linse und dieser Verallgemeinerung konnten die Schülerinnen und Schüler in der Folgezeit auch erklären.

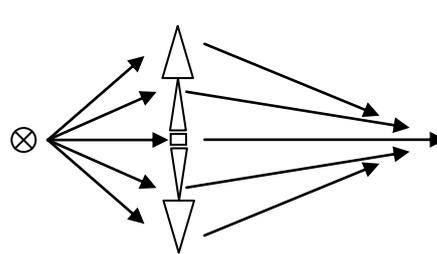


Abbildung 2: Entdeckung der Fresnel - Linse: Die Schülerinnen und Schüler entwarfen eine Reihe von Prismen zur Umlenkung des Lichts von einer Lampe auf einen Bildpunkt.

4. Experimentieren mit der Fresnel - Linse

Nachdem die Schülerinnen und Schüler die Fresnel – Linse, das sogenannte Prismenkärtchen, durch Steigerung der Bildhelligkeit entdeckt hatten, durften sie in der dritten Stunde mit diesen experimentieren um das Abbildungsgesetz zu finden. Sie erhielten zu ihrem Prismenkärtchen eine brennende Kerze und folgenden Arbeitsauftrag:

In einem Stadion soll eine Kerzenflamme möglichst groß mit einem Kärtchen auf eine Projektionswand abgebildet werden!

- a. Mache ein Modellexperiment!
- b. Miss Bildgröße B, Gegenstandsgröße G, Bildweite b sowie Gegenstandsweite g!
- c. Zeichne mit einem geeigneten Maßstab!
- d. Erörtere mögliche Schwierigkeiten!

Die Schülerinnen und Schüler führten gerne die Versuche durch und freuten sich über die schönen großen Bilder der Kerzenflammen. Durch Vergleich der Ergebnisse an der Tafel entdeckten sie das Abbildungsgesetz:

$$B/G = b/g$$

Wir führten den Abbildungsmaßstab $A = B/G$ ein. Die Schülerinnen und Schüler freuten sich sehr, wenn ihre Ergebnisse dem entdeckten Gesetz besonders genau entsprachen. Auch bemerkten sie als Schwierigkeit, dass man b und g durch Ausprobieren geeignet wählen muss, damit das Bild scharf ist.

In der vierten Stunde erhielten sie neben dem gleichen Versuchsmaterial folgenden Arbeitsauftrag:

Eine explosive Kerzenflamme soll bei einer möglichst großen Gegenstandsweite mit einem Kärtchen auf eine Projektionswand abgebildet werden!

- a. Mache ein Modellexperiment!
- b. Miss B, G, b sowie g!
- c. Zeichne mit einem geeigneten Maßstab!
- d. Erörtere mögliche Schwierigkeiten!

Die Schülerinnen und Schüler führten wieder gerne die Versuche durch. Sie merkten, dass das Bild der

Kerze nun ganz klein war. Wir stellten fest, dass praktisch alle Lichtstrahlen durch einen Punkt liefen und dass dieser Punkt dadurch auch leicht heiß werden könnte. Entsprechend nannten wir diesen Punkt, falls er auf der Symmetrieachse des Prismenkärtchens liegt, **Brennpunkt**. Wir stellten fest und vereinbarten: *Treffen Lichtstrahlen senkrecht auf ein Prismenkärtchen, so werden sie in einem Punkt auf der Symmetrieachse des Prismenkärtchens gebündelt. Das ist der Brennpunkt.* Den Abstand des Brennpunkts von dem Prismenkärtchen nannten wir **Brennweite f** . In der fünften Stunde führten wir mit Hilfe der bei den obigen Aufgabenteilen c angefertigten Zeichnungen die Bildkonstruktion ein: Für einen Gegenstandspunkt P konstruierten wir den Bildpunkt P'. Dazu zeichneten wir den Strahl durch P und den Mittelpunkt des Prismenkärtchens ungebrochen. Dann zeichneten wir den Strahl durch P, der senkrecht auf das Prismenkärtchen trifft hinter dem Kärtchen durch den Brennpunkt laufend weiter. Der Schnittpunkt ist P'. Die Schülerinnen und Schüler konnten diese Konstruktion mit gestuften Lernhilfen aus der obigen Regel für den Brennpunkt entwickeln. In der sechsten Stunde übten wir die Bildkonstruktion an Beispielen und überprüften die Ergebnisse im Versuch. In der siebten Stunde machten wir entsprechende Übungen und stellten fest, dass b und g immer größer als f sind.

5. Brennweiten

In der achten Stunde legten die Schülerinnen und Schüler verschiedene Anzahlen n von Prismenkärtchen hintereinander und bestimmten die resultierenden Brennweiten f im Versuch, siehe Tabelle.

Anzahl n	f in mm	$n \cdot f$ in mm
1	17	17
2	9	18
3	6	18
4	4	16
8	2,5	20

Sie stellten fest, dass die Brennweite um so kleiner wird, je mehr Prismenkärtchen zusammengefasst werden und dass das Produkt aus Anzahl n und Brennweite f in etwa konstant ist. Diese Untersuchung zeigte den Schülern, dass sie leicht unterschiedliche Brennweiten erzeugen können und sensibilisierte sie für die Einführung weiterer Gegenstände mit Brennweite in der Folgestunde.

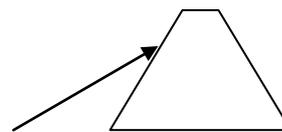
6. Linsen

In der neunten Stunde wurde der Übergang vom Prismenkärtchen zur Linse durch ein Arbeitsblatt mit folgenden Aufgaben vorbereitet:

- Um wie viel Grad wird der Strahl durch das Prisma umgelenkt?



- Um wie viel Grad wird der Strahl durch den Glaskörper umgelenkt?



- Vergleiche die Ergebnisse von Aufgabe 1 und 2 miteinander!

Die Schülerinnen und Schüler bemerkten sofort, dass das Einschleiben eines Zwischenstücks keinen Einfluss auf das Umlenken des Lichtstrahls hat, solange die Neigungen der Außenflächen gleich bleiben. Nun sollten die Schülerinnen und Schüler durch Einsetzen von Zwischenstücken ein Prismenkärtchen so abwandeln, dass an der Oberfläche keine spitzen Kanten mehr vorkommen. Mit gestuften Lernhilfen entdeckten sie so die Sammellinse, siehe Abbildung 3.

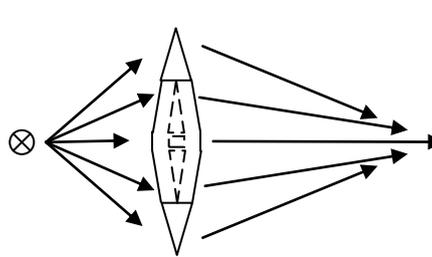


Abbildung 3: Entdeckung der Sammellinse: Die Schülerinnen und Schüler entwarfen ausgehend von einem Prismenkärtchen, gestrichelt, eine Linse, durchgezogen.

In der zehnten Stunde führten wir durch Umdrehen der Prismen die Konkavlinse ein, siehe Abbildung 4.

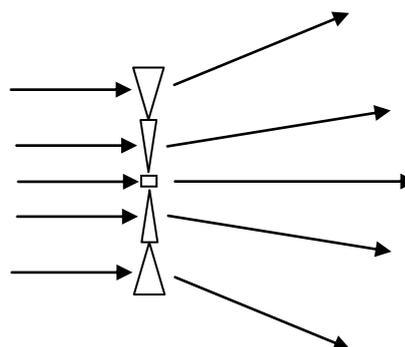
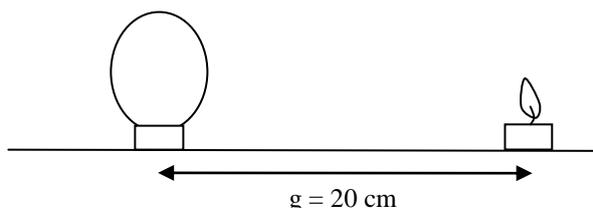


Abbildung 4: Entdeckung der Konkavlinse: Die Schülerinnen und Schüler entwarfen Prismenkärtchen zur Zerstreung von Licht. Der Übergang zur Konkavlinse erfolgte wie der zur Sammellinse.

7. Auge

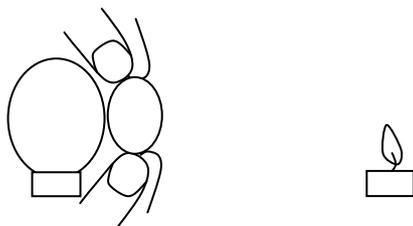
In der elften Stunde sollten die Schülerinnen und Schüler einen Modellversuch zum Auge durchführen. Als Material hatten sie das Prismenkärtchen, einen mit Wasser gefüllten kleinen Luftballon und eine brennende Kerze. Sie erhielten auf einem Arbeitsblatt zunächst folgenden Auftrag:

1. Wirkung des Augapfels: Skizziere das Bild der Flamme auf der Ballonrückwand! Vorsicht: Betrachte nicht die Kerze durch den Ballon!



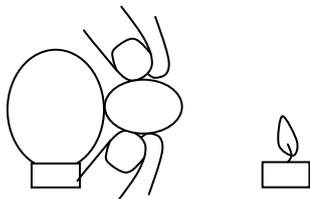
Hier mussten die Schülerinnen und Schüler zunächst erkennen, dass die Betrachtung der Kerze durch den Ballon einen sehr hellen Eindruck ergibt, während das Bild der Kerze auf der Ballonrückwand lichtschwächer erscheint. Nachdem sie diese beiden Erscheinungen sicher auseinanderhalten konnten, bereitete es ihnen keine Schwierigkeiten das Bild zu skizzieren, siehe Abbildung 5. Die Schülerinnen und Schüler erkannten, dass der Ballon das Licht etwas fokussiert, aber nicht genügend. Also wollten sie die Linse zu Hilfe nehmen. Dazu gab es einen kleineren Ballon und einen Arbeitsauftrag:

2. Wirkung der Linse: Erzeuge mit der Linse ein scharfes Bild auf der Rückwand des großen Ballons! Bestimme g !



Die Schülerinnen und Schüler erhielten etwa bei $g = 20$ cm ein scharfes Bild. Nun sollten sie einen Versuch zur Akkomodation durchführen:

3. Akkomodation: Erzeuge für sehr kleine Gegenstandsweite $g \approx 12$ cm mit der Linse ein scharfes Bild auf der Rückwand des großen Ballons!



Die Schülerinnen und Schüler konnten durch Verformen des Ballons in etwa ein scharfes Bild erzeugen. Bildeten sie die wesentlichen Grundlagen der Bildentstehung und Akkomodation im Auge nach.

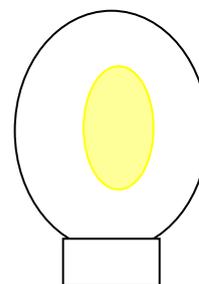
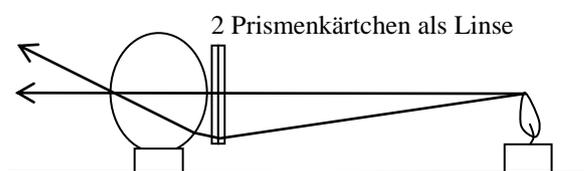


Abbildung 5: Bild der Kerze auf der Ballonrückwand. Das Bild ist unscharf und daher großflächig.

In der zwölften Stunde führten die Schülerinnen und Schüler Modellversuche zu Sehfehlern durch. Dabei ersetzten sie den schwer handhabbaren kleinen Ballon durch Prismenkärtchen. Der Stundenablauf bereitete keine Schwierigkeiten und wird durch das folgende ausgefüllte Arbeitsblatt dargestellt:

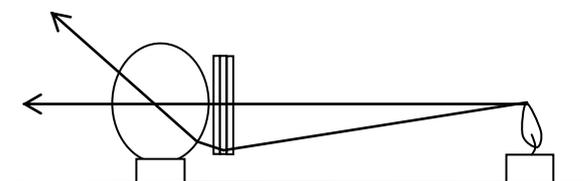
Bilde die Sehfehler im Modellexperiment nach und korrigiere sie mit Hilfe von Linsen! Wähle immer die gleich Gegenstandsweite!

1. Normalsichtig:



Beobachtung: Es entsteht ein scharfes Bild der Flamme. $g=40$ cm

2. Kurzsichtig:



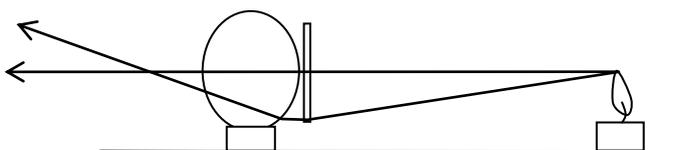
Durchführung: 3 Kärtchen

Beobachtung: unscharfes Bild

Korrektur: Zerstreuungslinse

Beobachtung mit Korrektur: Bild scharf

3. Weitsichtig



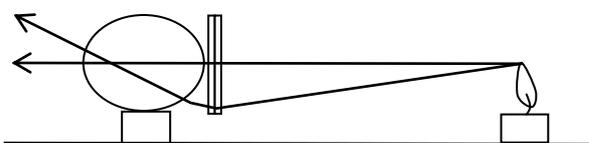
Durchführung: 1 Kärtchen

Beobachtung: unscharfes Bild

Korrektur: Prismenkärtchen

Beobachtung mit Korrektur: Bild scharf

4. Kurzsichtig da Augapfel zu lang



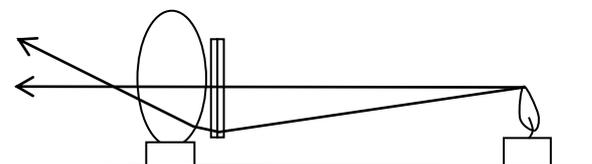
Durchführung: Ballon langgequetscht

Beobachtung: unscharfes Bild

Korrektur: Zerstreuungslinse

Beobachtung mit Korrektur: Bild scharf

5. Weitsichtig da Augapfel zu kurz:



Durchführung: Ballon breitgequetscht

Beobachtung: unscharfes Bild

Korrektur: Prismenkärtchen

Beobachtung mit Korrektur: Bild scharf

8. Lupe

In der dreizehnten Stunde behandelten wir die Lupe als weitere Sehhilfe. Die Schülerinnen und Schüler hatten längst bemerkt, dass das Prismenkärtchen eine Lupe ist. Nun konnten sie erläutern, dass die Lupe vor dem Auge das Licht weiter bricht und man daher näher an das Objekt heran kann. Daher ist es plausibel, dass man das Objekt größer sieht.

9. Fotoapparat

In der vierzehnten Stunde planten die Schülerinnen und Schüler den Bau eines Fotoapparates mit Hilfe des Prismenkärtchens und eines Kartons. Jede Schülerin und jeder Schüler baute einen Apparat als Hausaufgabe, siehe Abbildung 6. In der nächsten Stunde wurden im Fotolabor Bilder gemacht und entwickelt, siehe Abbildung 7.

Abbildung 6: Von den Schülerinnen und Schülern selbst gebaute Fotoapparate. Die Geräte beinhalten eine Möglichkeit zur Einstellung der Länge zum Zweck der Fokussierung.

Abbildung 7: Typisches Foto eines Glühfadens einer Lampe, aufgenommen mit einer selbstgebaute Kamera. An die Kamerarückseite wurde Fotopapier angebracht. Die Belichtung erfolgte in einer Dunkelkammer, da die Pappgehäuse nicht besonders gut Licht abschirmen. Anschließend wurde das Fotopapier entwickelt und fixiert. So erstellte sich jeder ein Negativ.

10. Teleskop

In der sechzehnten Stunde bildeten wir mit einem Prismenkärtchen einen Gegenstand auf einen transparenten Schirm ab und beobachteten das Bild mit einem Doppelprismenkärtchen. Die Schülerinnen und Schüler erkannten die Vergrößerung und damit das Teleskop. Sie probierten es selber mit ihren Prismenkärtchen aus und bemerkten, dass man den Schirm weglassen kann.

Die Bogenwasserwaage lässt sich leicht und sehr kostengünstig bauen. Sie ermöglichte hier die Messung einer erlebten Zentripetalbeschleunigung mit einem Messfehler von 2%. Eine ähnliche Messung wäre auf einem schnelleren Karussell, das auf einem typischen Kinderspielplatz zu finden ist, sicher auch möglich.

Die Schüler haben begeistert an der Exkursion, in der auch weitere hier nicht besprochene Messungen und Untersuchungen durchgeführt wurden, teilgenommen und die Auswertungen mit hoher Motivation und Selbstständigkeit durchgeführt. Die Ergebnisse der Mitarbeit waren überdurchschnittlich. Das Klausurergebnis zu dieser Thematik war etwas besser als das zu anderen Themen. Die Parallelen zum menschlichen Gleichgewichtssinn waren durch die Strukturgleichheit für die Schüler offensichtlich. Auch die Unterschiede bei der Bestimmung der Linearbeschleunigung wurden von den Schülern

leicht erkannt und formuliert. Die Analogie zu Sinnesorganen interessierte die Schüler erwartungsgemäß besonders [2].

Die Bogenwasserwaage stellt überhaupt keine „Black Box“ für die Schülerinnen und Schüler dar und ist zudem ein Gegenstand aus der Alltagswelt [3] und daher didaktisch besonders wertvoll [4].

11. Literatur

- [1] R. Schmidt und G. Thews: Physiologie des Menschen. 26. Auflage. Springer, Berlin – Heidelberg – New York 1995.
- [2] H.-O. Carmesin, Einführung des Energiebegriffs mit Hilfe menschlicher Sinnesorgane. In: Tagungs-CD Fachdidaktik Physik, Deutsche Physikalische Gesellschaft, 2001, Deutsche Physikalische Gesellschaft.
- [3] H.-O. Carmesin, Einführung der Wellenlehre mit Hilfe eines Kontrabasses. In: Tagungs-CD Fachdidaktik Physik, Deutsche Physikalische Gesellschaft, 2003, Deutsche Physikalische Gesellschaft. ISBN 3-936427-71-2.
- [4] H. Muckenfuß: Lernen im sinnstiftenden Kontext. Cornelsen, Berlin 1995.

Carmesin, Hans-Otto: Abbildungen mit Fresnel - Linsen im Physikunterricht einer achten Klasse. In: Nordmeier, Volker; Oberländer, Arne (Hrsg.): Tagungs-CD Fachdidaktik Physik, 2004. ISBN 3-86541-066-9