

# Kontextorientierte Schülerexperimente aus dem Bereich der Optik „Der Opernbesuch“

Roswitha Ebner \*  
Lehrstuhl für Didaktik der Physik  
Universität München

27. Januar 2005

## 1 Allgemeine Informationen

Im Rahmen des Themenblocks „Abbildungen durch Sammellinsen; optische Instrumente“ haben die Schüler den Umgang mit Linsen und deren Eigenschaften gelernt. Sie können nun Sammellinsen von Zerstreuungslinsen unterscheiden und den Verlauf von parallelen, achsennahen Lichtstrahlen nach dem Austreten aus einer dünnen Sammellinse und einer Zerstreuungslinse konstruieren. Reelle und virtuelle Bilder wurden anhand von Experimenten mit Linsen hergeleitet. Um die Linsengleichung aufzustellen, mussten die Schüler auf ihre Kenntnisse aus der Mathematik (Geometrie) zurückgreifen. Bei der anschließenden Behandlung des Auges wurde speziell auf die Bildentstehung im Auge eingegangen.

Versuche zu den Eigenschaften von Sammellinsen gehören zum Standardversuchsprogramm der Optik. Bei vielen Schülern entwickelt sich während der Pubertät eine – vorerst unbemerkte – Fehlsichtigkeit. Es bietet sich deshalb an, diese Thematik aufzugreifen: Der vorliegende Versuch baut allgemein auf das Thema der Fehlsichtigkeiten auf. Die Schüler sollen nach Abschluss des Versuchs wissen, warum man Kurzsichtigkeit mit einer Zerstreuungslinse korrigiert, im Gegensatz zur Korrektur mittels einer Sammellinse bei einem weitsichtigen Auge. Zusätzlich müssen sie die Brennweiten von Linsen experimentell bestimmen. Als Kontext für das Experiment wird ein Opernbesuch gewählt, da man in der Oper sowohl in die Nähe gut sehen muss, um das Programmheft lesen zu können, als auch in die Ferne, um dem Geschehen auf der Bühne folgen zu können.

Bei dem Versuch „Der Opernbesuch“ (vgl. Aufgabenstellung zum „Opernbesuch“, Abbildung 1) bekommen je zwei Schüler ein Augenmodell. Dieses weist bei jeder Kleingruppe

---

\*e-mail: Roswitha.Ebner@web.de

### Der Opernbesuch

Zum Geburtstag bekommst du von zwei Freunden einen Besuch in die Oper geschenkt. Als ihr dort seid, darfst du dich in deren Mitte setzen. Vor dem Beginn wollt ihr euch über die Personenbesetzung im Programmheft informieren.

Dein rechter Nachbar hat Probleme mit dem Lesen; bei ihm klingen alle Namen so komisch. Du korrigierst ihn. Nach dem Beginn der Oper beobachtet ihr das Geschehen auf der Bühne mit deinem neuen Opernglas. Du reichst es auch deiner Freundin, die links von dir sitzt. Trotz des Glases kann sie nicht erkennen, welcher Sänger gerade singt. Du siehst noch einmal durch das Glas, hast den Sänger klar vor dir und sagst es dann deiner Freundin.



Aufgrund der ganzen Vorkommnisse beschließt du am nächsten Tag, Nachforschungen über das Sehverhalten deiner Freunde anzustellen. Stelle dazu ein gesundes Auge als Modell dar.

#### Aufgabe

Du hast in einem Vorversuch bereits ein Augenmodell deines Freundes/deiner Freundin gemacht, da du mit diesem Modell besser arbeiten kannst. Jetzt möchtest du deinem Freund/deiner Freundin genau sagen, welche Art von Fehlsichtigkeit er/sie hat. Da es erfahrungsgemäß mindestens eine Woche dauert, bis man eine passende Brille hat, möchtest du ihn/sie gleich daran gewöhnen, dass er/sie Korrekturlinsen braucht. Du weißt auch schon, welche Brennweite diese haben müssen.

Bei der Auswahl an Linsen, die dir zur Verfügung stehen, sind leider die Aufkleber mit der Brennweitenbezeichnung abgegangen. Obwohl du das Augenmodell deines Freundes/deiner Freundin vergessen hast und er/sie auch nicht dabei ist, suchst du ihm/ihr jetzt die richtige Korrekturlinse heraus.

Abbildung 1: Experimentieranleitung für den Versuch „Der Opernbesuch“

eine andere Ausprägung der Weit- oder Kurzsichtigkeit auf. An diesem Modells werden die einzelnen Versuchsschritte durchgeführt.

Damit es sich allen Schülern etwas leichter fällt, um zum Ergebnis zu kommen, sollen sie zu Beginn als Vorversuch den schematischen Aufbau eines gesunden Auges nachbauen. Als Materialien stehen ihnen dazu ein Schirm, eine Sammellinse, eine Blende, eine Lampe, sowie eine optische Bank zur Verfügung. Dabei ist es besonders wichtig, auf die Länge des Augapfels einzugehen, da diese beim weitsichtigen Auge kürzer und beim kurzsichtigen Auge länger als bei einem gesunden Auge ist.

Als Nächstes sollen die Schüler feststellen, ob das Augenmodell, das sie für die Durchführung des Hauptversuchs erhalten haben, ein weit- oder ein kurzsichtiges Auge darstellt. Dazu ist es ratsam, zu überlegen, wo der Schärfebereich der jeweiligen Fehlsichtigkeit liegt. Für die experimentelle Überprüfung haben die Schüler die Möglichkeit, ein Teelicht, das auf dem Arbeitsplatz der Schüler liegt, und eine Glühlampe, deren Glühwendel besonders gut zu sehen ist und die auf dem Pult steht, zu verwenden.

Um die genaue Brennweite einer nötigen Korrekturlinse zu bestimmen, müssen die Schüler herausfinden, in welchem Abstand vor dem Augenmodell der jeweilige Nahpunkt (beim weitsichtigen Modell) oder Fernpunkt (beim kurzsichtigen Modell) liegt. Ist der jeweilige Punkt bekannt, können ihn die Schüler in die Formel zur Bestimmung von Korrekturlinsen einsetzen (Bestimmung der Korrekturlinsen (Brennweite  $f$ ):

Kurzsichtigkeit:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} - \frac{1}{D_f}$ , Weitsichtigkeit:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{0,25m} - \frac{1}{D_n}$  mit  $D_f$  Fernpunkt einer kurzsichtigen Person und  $D_n$  Nahpunkt einer weitsichtigen Person [1]).

Die „jungen Optiker“ haben jetzt noch die Aufgabe, aus einer Auswahl von drei Linsen, diejenige herauszusuchen, die für das jeweilige Modell passt. Beim weitsichtigen Modell haben sie die Auswahl aus zwei Sammellinsen und einer Zerstreuungslinse, beim kurzsichtigen Modell aus einer Sammellinse und zwei Zerstreuungslinsen. Damit diese Aufgabe nicht durch einfaches Ausprobieren und Beobachten, ob auf der Netzhaut des Modells ein scharfes Bild entsteht, gelöst wird, müssen die Schüler ihr Augenmodell vorübergehend abgeben und die Brennweiten der vorhandenen Linsen bestimmen. Mit diesem Wissen sollen sie die richtige Linse für ihr Modell herausfinden. Zur endgültigen Kontrolle dürfen die Schüler die ausgewählte Korrekturlinse vor ihr Augenmodell halten und müssen so ihr Ergebnis beurteilen.

Für die Durchführung dieses Versuchs sind folgende Materialien nötig:

Optische Schiene, Lampe mit Kondensor, Blenden, Sammellinse mit großer Brennweite (als Augenlinse), Schirm, Augenmodelle (vgl. Anhang 2), Metermaß, Sammellinsen und Zerstreuungslinsen mit unterschiedlichen Brennweiten, Teelichter (als nahe Gegenstände), Glühbirne mit gut sichtbarer Glühwendel (als fernen Gegenstand).



## 2 Hinweise zum Bau der Materialien

Um den Versuch „Der Opernbesuch“ durchführen zu können, braucht man für jede Kleingruppe ein Augenmodell. Dieses wird aus einer Plastikkugel hergestellt, wobei im Inneren eine mit Wasser gefüllte Linse ist, die ihre Krümmung ändern kann (vgl. auch [3]).

Zum Bauen der Augen benötigt man als Hauptbestandteil Plastikkugeln (10 - 12 cm Ø), die in Bastelläden erhältlich sind. Auf jede der beiden Halbkugeln wird innen und außen

## Der Opernbesuch

### Hilfskarte 1

Mit welchen Geräten kann man die Funktionsweise des menschlichen Auges vergleichen?

### Hilfskarte 2

Die Hornhaut, das Kammerwasser und der Linsenkörper wirken zusammen wie eine Sammellinse, die helle Gegenstände reell, verkleinert und umgekehrt auf der Netzhaut, dem Schirm, abbildet. Eine Blende setzt man als Pupillenöffnung ein.

Bei vielen Menschen ist das Auge nicht ganz korrekt gebaut oder es hat sich im Laufe der Zeit verändert. Was kann eine Ursache sein? Welche Fehlsichtigkeiten gibt es? Wie kann man sie feststellen?

### Hilfskarte 3

Die häufigsten Fehlsichtigkeiten sind die Kurz- und die Weitsichtigkeit, bei denen der Augapfel entweder zu lang oder zu kurz ist. Bei der Kurzsichtigkeit kann man nur in der Nähe, der „Kürze“ korrekt sehen, bei der Weitsichtigkeit nur in die Ferne, die „Weite“.

Beide werden mit speziellen Linsen korrigiert. Welche Linse hilft welchem Sehfehler und warum?

### Hilfskarte 4

Bei der Kurzsichtigkeit entsteht ein scharfes Bild „vor der Netzhaut“, da der Augapfel zu lang ist. Die nötige Korrekturlinse ist daher eine Zerstreuungslinse. Ein weitsichtiges Auge korrigiert man mit einer Sammellinse, weil der Augapfel zu kurz ist und somit das scharfe Bild erst „hinter der Netzhaut“ entsteht.

Wie bestimmt man die Brennweite einer passenden Korrekturlinse?

### Hilfskarte 5

Die Brennweite einer passenden Korrekturlinse kann man mit Hilfe des Nah- bzw. Fernpunkts des fehlsichtigen Auges berechnen. Zusätzlich braucht man allerdings noch den Nah- bzw. Fernpunkt eines gesunden Auges.

Wie kann man experimentell die Brennweite einer Sammellinse und einer Zerstreuungslinse bestimmen?

### Hilfskarte 6a

Die Brennweite einer Sammellinse kann mit Hilfe von parallelen Lichtstrahlen bestimmt werden. Die entsprechende Linse muss mit diesen bestrahlt werden. Diese Parallelstrahlen werden sich nach der Linse im Brennpunkt vereinigen, so dass nur noch der Abstand von der Hauptebene der Linse bis zu diesem Punkt abgemessen werden muss.

### Hilfskarte 6b

Um die Brennweite einer Zerstreuungslinse zu bestimmen, muss man sowohl die Brennweite einer Sammellinse  $f_s$  als auch die eines Linsensystems, das aus dieser Sammellinse und der Zerstreuungslinse besteht, bestimmen. Man beobachtet den Verlauf des Lichts hinter dem Linsenpaar und bestimmt seine Gesamtbrennweite  $f_g$ . Mit Hilfe der gemessenen Größen  $f_s$  und  $f_g$ , sowie der Formel  $\frac{1}{f_g} = \frac{1}{f_s} + \frac{1}{f_z}$  kann man die Brennweite einer Zerstreuungslinse berechnen.

Abbildung 2: Hilfskarten für den Versuch „Der Opernbesuch“

ein runder Aufkleber geklebt (auf eine Halbkugel je 3 cm Ø, auf die andere je 7,2 cm Ø). Anschließend werden die Halbkugeln mit sehr feinem Sandpapier abgerieben, um einen besseren Halt für die schwarze bzw. weiße Lackfarbe zu geben (vgl. Abbildung 3). Die Innenseiten werden schwarz bemalt oder besprüht, damit kein Licht einfallen kann. Wenn die Innenseiten der Halbkugeln getrocknet sind, können die Außenseiten mit weißem Lack bemalt oder besprüht werden. Sobald alles trocken ist, kann man die Aufkleber entfernen.



Abbildung 3: Materialien, die zum Bau der Augen erforderlich sind (*links*), mit Sandpapier abgeriebene Halbkugeln (*rechts*)

Während der Trockenzeit der Farbe kann man das Innenleben des Auges vorbereiten: In kleine Plastik- oder Petrischalen (ca. 3,5 cm Ø) wird am Rand ein kleines Loch gebohrt, so dass ein dünner Plastikschauch hindurch passt. Von einem Rohr aus Pappe, die einen ähnlichen Durchmesser hat wie die Schale, werden kleine Stücke abgeschnitten oder abgesägt und mit einem schwarzen Stift bemalt. Dasselbe macht man auch mit einem größeren Papprohr bzw. einer Posterrolle (ca. 7 cm Ø), die außen an die Halbkugel mit der größeren „Freifläche“ mit einem Heißkleber und Klebeband geklebt wird. Diese Hälfte dient als Mattscheibe, wobei eine Seite dieser unbemalten Stelle noch leicht abgeschmirlt werden muss.

In die Halbkugel, auf die die kleineren Aufkleber geklebt wurden, muss ebenfalls ein kleines Loch gebohrt werden, wobei selbiges gilt wie oben. Es empfiehlt sich, für die Bohrungen jeweils eine Standbohrmaschine zu verwenden. Das kleine, dünne Stück Posterrolle wird auf der Innenseite vor das kleine „Guckloch“ geklebt, wobei man entweder einen Heißkleber und/oder Klebeband verwenden kann. Darauf ist die Plastikschauch zu kleben, in deren Loch ein dünner Schlauch ist, der durch das Loch in der Halbkugel geht und auf einer ca. 5 ml fassenden Einwegspritze steckt. Der Schlauch wird mit dem Heißkleber an der Plastikschauch befestigt. Über die offene Seite der Schale wird ein Stück eines Kondoms mit einem Haushaltsgummiring befestigt.

Jetzt kann man die Linse mit Wasser füllen und muss dabei darauf achten, dass sie absolut dicht ist. Erst wenn das gewährleistet ist, kann man mit der genauen Justierung beginnen. Für weitsichtige Augen wird nur so viel Wasser eingefüllt, dass sich die Linse immer leicht nach innen wölbt. Beim kurzsichtigen Auge ist so viel Wasser hineinzuspritzen, dass die Linse trotz Akkomodation immer leicht nach außen gewölbt ist.



Abbildung 4: Blick auf die mit Wasser gefüllte Linse (*links*), fertiges Augenmodell (*rechts*)

Bei der Herstellung der Augen kommen teilweise Probleme auf den Bastler zu: Die Beschaffung der Spritzen ist nicht leicht: In Apotheken werden nur „normale“ Einwegspritzen verkauft, für die man dann noch einen zusätzlichen dünnen Schlauch benötigt. Ich habe mit Spritzen gearbeitet, die Ärzte zur Punktierung von Venen verwenden. An diesen Spritzen ist ein Adapter befestigt, an dessen anderem Ende ein Venenpunktionsbesteck („Butterfly“ mit einem 1,1 mm dünnen Schlauch) befestigt ist. Der „Butterfly“ wurde aus Sicherheitsgründen entfernt. Man bekommt diese Spritzen am besten in Krankenhäusern, wenn sie schon abgelaufen sind und nicht mehr für Patienten verwendet werden dürfen. Auf den Plastikkugeln hat der Sprühlack nicht gut gehalten, so dass alle Modelle mit dem Pinsel bemalt wurden. Als Trockenzeit sollte man jeweils zwei bis drei Tage einplanen. Beim Kauf der Kondome sollte man darauf achten, Farblose ohne Gleitmittel zu nehmen. Es kann passieren, dass die Kondomstücke nach ungefähr einer Woche spröde werden und einreißen. Außerdem tritt immer etwas Wasser aus der selbstgebaute Linse aus, so dass eine Feinjustierung nötig ist, wenn man die Modell über einen Zeitraum von mehreren Wochen verwenden will.

Die Herstellung der Augen braucht viel Zeit und vor allem auch viel Geduld!

### 3 Lösungen

**Vorüberlegung 1:** Zur (physikalischen) Funktionsweise des menschlichen Auges (vgl. [2, S. 117]):

Hornhaut, Kammerwasser, Linsenkörper haben zusammen ähnliche Eigenschaften wie eine Sammellinse. Die Augenlinse bildet helle Gegenstände reell, verkleinert und umgekehrt auf der Netzhaut ab. Die Pupillenöffnung wirkt wie eine Blende. Die Lichtempfindung ist das Ergebnis eines physiologischen Prozesses und das Akkomudieren



die Anpassung der Linsenkrümmung.

**Vorüberlegung 2:** Ein gesundes Auge kann man daher mit einem Schirm als Netzhaut und einer Sammellinse als Hornhaut, Kammerwasser und Linsenkörper, sowie einer Blende als Pupille darstellen.

**Vorüberlegung 3:** Will man mit dem Auge einen nahen Gegenstand fokussieren, empfiehlt es sich, ein Teelicht oder ein Dia zu verwenden. Das Dia muss dafür von einer Lampe mit Kondensor, vor der eine Blende steht, angestrahlt werden, das Teelicht steht direkt vor den Schülern auf dem Tisch.

Um entfernte Gegenstände scharf anzupeilen, ist es am sinnvollsten in einem etwas abgedunkelten Raum mit dem Augenmodell eine Glühbirne zu fokussieren, die auf dem Pult steht und deren Glühwendel gut zu sehen ist.

**Aufgabe 1:** Es empfiehlt sich als erstes zu überprüfen, ob das Augenmodell ein kurz- oder weitsichtiges Auge darstellt (hier: weitsichtiges Modell). Anschließend wird der Nahpunkt bestimmt, der kleiner als 25 cm ist. Damit kann man jetzt die richtige Korrekturlinse mit Hilfe der Formel aus dem Lexikon berechnen. Beim Heraussuchen der richtigen Linse ist es ratsam, die vorhandenen Linsen nach ihrer physikalischen Grundeigenschaft (Sammel- oder Zerstreuungslinsen) zu sortieren und dann die Brennweiten aller in Frage kommenden Linsen, der Sammellinsen, experimentell zu bestimmen.

**Aufgabe 2:** Es empfiehlt sich als erstes zu überprüfen, ob das Augenmodell ein kurz- oder weitsichtiges Auge darstellt (hier: kurzsichtiges Modell). Anschließend wird der Fernpunkt bestimmt, der kleiner als „unendlich“ ist. Damit kann man jetzt die richtige Korrekturlinse mit Hilfe der Formel aus dem Lexikon berechnen. Beim Heraussuchen der richtigen Linse ist es ratsam, die vorhandenen Linsen nach ihrer physikalischen Grundeigenschaft (Sammel- oder Zerstreuungslinsen) zu sortieren und dann die Brennweiten aller in Frage kommenden Linsen, der Zerstreuungslinsen, experimentell zu bestimmen.

## Literatur

- [1] COLICCHIA, G.; KÜNZL, A.; WIESNER, H.: *Physik und Medizin: Sehen*, Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Ludwig-Maximilians-Universität München 2001
- [2] HAMMER, K.; KNAUTH, H.; KÜHNEL, S.: *Physik 9A*, Oldenbourg Schulbuchverlag München 1993
- [3] WIESNER, H.; ENGELHARDT, P.; HERDT, D.: *Unterricht Physik – Experimente, Medien, Modelle: Band 1–Optik I (Lichtquellen, Reflexion)*, Aulis Verlag Deubner Köln 1993

- [i.1] [http://www.muenchen-tourist.de/deutsch/bildarchiv/  
muenchen-bildarchiv-historisch\\_m.htm](http://www.muenchen-tourist.de/deutsch/bildarchiv/muenchen-bildarchiv-historisch_m.htm) (Stand: 21.02.2003)