

Ein Teelicht im Wasserglas?! – Lichtquellen, Farbe und Ausbreitung des Lichts

Kurt Salewski, Burbach



Abb. 1: Sonnenstrahlen mit schwarzen Messpunkten

I/E

© iStock / Thinkstock

Eine Einführung in die Optik mit hoher Schüleraktivität!

Der Beitrag im Überblick

Klasse: 7–9

Dauer: 6–8 Stunden

Ihr Plus:

- ✓ Alle Arbeitsblätter digital und in Farbe auf **CD-ROM 49**
- ✓ **Programm „Farben.exe“**
- ✓ Die Schüler arbeiten mit Laptop / PC.
- ✓ **Kürzung** auf maximal 4 Einzelstunden möglich (siehe Minimalplan)
- ✓ Fachübergreifendes Unterrichten (Mathematik) möglich

Inhalt:

- Farbadaddition (**M 1**)
- Farbsubtraktion (**M 2**)
- Ausbreitung des Lichts (**M 3**), insbesondere die geradlinige Ausbreitung
- Lichtgeschwindigkeit (**M 3**)
- Lochkamera und Finsternisse (**M 4**)
- Reflexionsgesetz (**M 5**)

Fachliche und didaktisch-methodische Hinweise

Lehrplanbezug

Die **Optik** ist in den Richtlinien der Sekundarstufe 1 bei allen Bundesländern ein fester Bestandteil. Oft bildet sie auch den Einstieg in die Schulphysik. Ein daraus erwachsender prägender Einfluss auf die Einstellung der Schüler zu diesem interessanten Themenbereich und für die gesamte Schulphysik ist daher nicht von der Hand zu weisen. Für NRW steht in den Lehrplänen für die Inhalte dieses Beitrags die Stufenzuordnung 7/9.

Auf **CD-ROM 49** finden Sie **Hinweise auf Vorgaben**, die für alle Bundesländer verbindlich sind [1, 2, 3, 4] und die in diesem Beitrag auch konsequent umgesetzt sind.

Das **Schülerexperiment** verfügt über eine herausragende Bedeutung für den Lernprozess, vor allem wenn die Schüler auch aktiv an der Planung des Experiments teilhaben. In den Kompetenzkriterien wird dies besonders hervorgehoben. Eine hohe Wertschätzung hierfür ist auch in den Pikobriefen [5] zu finden, wogegen das übliche „kochbuchartige“ Schülerexperiment dort negativ bewertet wird, da diese Form des Experimentierens nachweislich nicht den erhofften positiven Effekt auf die Interessenentwicklung und den Wissenszuwachs der Schüler hat.

Der **„Praktikumsversuch“** ist das in diesem Beitrag vorherrschende Unterrichtskonzept, welches die genannten Argumente berücksichtigt und ausführlich beschrieben wird. Nach einem **Vortrag** zum Thema **„Motivation und Interesse am Physikunterricht“** [6] lässt sich der Themenbereich zur Optik in zwei **Schwerpunktbereiche** aufgliedern. Das Thema dieses Beitrags entspricht gerade dem ersten Schwerpunktbereich. Es kann für den eigenen Unterricht natürlich auch lediglich eine Auswahl aus den angegebenen Materialien genutzt werden. Der zweite Schwerpunkt „Brechung, Linsen, Linsenformel, Schlierenoptik“ ist Inhalt eines Folgebeitrags.

J. Leisen betont, *„Schüleraktivität stellt sich als der große Motivator heraus“* [6], allerdings stellt er auch klar, dass eine *„unterrichtsmethodische Monokultur“* demotivierend wirken kann. Aus diesem Grund finden Sie in diesem Beitrag unterschiedliche Methoden mit hoher Schüleraktivität. Durch die Kombination mit der Nutzung **moderner Medien**, der **Ergebnispräsentation** durch **Kurzreferate** mittels **PowerPoint**, der **Internetrecherche**, der Nutzung von **Quasiexperimenten** und dem **Bezug zu Alltagserfahrungen** in den Auswertungsvorlagen wird eine Methodenvielfalt realisiert. Damit wird auch den KMK-Beschlüssen [4] **„Bildung in der digitalen Welt von 2016“** entsprochen. Die Definition der genannten Begriffe befindet sich ebenfalls bei den genannten Hinweisen. Diese sind für diesen Beitrag wichtig und sind unter **„Bezug zu den Bildungsstandards“** auf **CD-ROM 49** bzw. unter den folgenden Hinweisen vorhanden.

Vorbemerkungen zum Ablauf

Während die Bearbeitung der Materialien **M 1** und **M 2** ohne zusätzliche Hinweise auskommt, ist dies bei den Materialien **M 3** und **M 4** nicht der Fall:

M 3: Die Darstellung der Lichtstrahlen in den Abb. 8 und 9 kann im Grunde schon als hinreichender Nachweis für die geradlinige Ausbreitung des Lichts gelten. Es wird an diesem Beispiel zu einem physikalisch einfachen Zusammenhang aber zusätzlich ein **fachübergreifender Aspekt zur Mathematik** angesprochen. Aus den Messwerten und der Auswertung mithilfe der **Tabellenkalkulation** lassen sich ohne aufwendige Rechnungen die Beziehungen des **Strahlensatzes** gewinnen, die Sie später z. B. für die Herleitung der **Linsenformel** nutzen können. Vermeiden Sie zu frühzeitige und überflüssige Berechnungen so weit wie möglich, denn nach [5] gilt: *„Wo gerechnet werden muss, schwindet das Interesse.“*¹ Stellen Sie stattdessen die optischen Phänomene in den Fokus der Unterrichtseinheit.

¹ Anmerkung der Redaktion: Man muss dieses Zitat eigentlich sehr differenziert / kritisch betrachten! Reißt man es aus dem Zusammenhang, könnte der Eindruck entstehen ein ganz aufs Phänomen ausgelegter Unterricht wäre der Königsweg. Aber Physik und Mathematisierung sind nicht zu trennen und auch in der Schule wichtig!

Auf **CD-ROM 49** finden Sie vollständig ausgefüllte **Excel-Tabellen**, sodass ihre Schüler nicht über Vorkenntnisse zur Tabellenkalkulation verfügen müssen. Die Versuchsparameter sind dort aber anders als bei dem geplanten Experiment gewählt. Mit dem Austausch der Werte durch **eigene experimentelle Daten** erfolgt unmittelbar die Neuberechnung. Machen Sie zur Verdeutlichung der Nutzung der Tabellenkalkulation ihren Schülern die Tabellen auszugsweise schon im Vorfeld zugänglich. Um die alternativ vorgesehene Bearbeitung auf einem Arbeitsblatt [**Auswertungsvorlage.jpg**, **Auswertungsvorlage.doc**] in Papierform möglichst einfach zu halten, ist dieses mit dem passenden Maßstab ebenfalls auf **CD-ROM 49** vorhanden. Sind Ihre Schüler im Umgang mit der Tabellenkalkulation bereits erfahren, können die angesprochenen Hilfen natürlich auch entfallen.

Lichtgeschwindigkeit

Dass in dieser Jahrgangsstufe die Messung der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts nicht möglich ist, rechtfertigt die vorgeschlagene **Interview-Beobachtung**, zumal diese mit geringem Aufwand immerhin die **Größenordnung** der Lichtgeschwindigkeit wiedergibt. Es bietet sich darüber hinaus die Möglichkeit, sinnvoll mit Ihren Schülern über Messfehler nachzudenken. Nach einer ähnlichen Methode konnte zur Zeit der analogen Übertragung der Fernsehsignale der Wert der Lichtgeschwindigkeit mit größerer Genauigkeit ermittelt werden (vgl. [19]).

M 4: Aus der gesicherten Erkenntnis der geradlinigen Ausbreitung des Lichts eröffnen sich Erklärungsmöglichkeiten z. B. für die **Lochkamera** oder zu **astronomischen Beobachtungen**.

Ihre Schüler arbeiten die Inhalte, welche sich der Behandlung durch Schülerexperimente weitgehend entziehen, in Kurzreferaten auf und stärken dabei die gewünschte Kompetenz *Recherche* ([4] Punkt 1) .

Ergänzende Hinweise zur Lochkamera sind in der Auswertungsvorlage vorhanden. Ermutern Sie Ihre Schüler zum Bau einer Lochkamera. Geben Sie die Experimentvorlagen zu den Materialien **M 3** und **M 4** gleichzeitig aus, da ein aus der Recherche entwickeltes Kurzreferat mehr Zeit benötigt und andererseits auf der Vorlage zu **M 3** bereits auf die Art der Ausbreitung hingewiesen wird.

Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

Die Planung und Durchführung der Experimente ist auf eine größere Schülerautonomie ausgelegt. Arbeitsblätter und Auswertungshilfen liegen für jeden Themenbereich **M 1** bis **M 4** gesondert auf **CD-ROM 49** und können papierlos aufgetragen werden – je nach Ausstattung natürlich auch **online**. Die Abbildungen finden Sie ebenfalls auf **CD-ROM 49**. Dies ist beim Thema „Farben“ in der Optik unabdingbar. Hinweise zur Vorbereitung auf das folgende Experiment sind in Einzelfällen in den Auswertungshilfen enthalten. Es werden Experimentiermittel bevorzugt, die Ihren Schülern aus der Alltagsumgebung vertraut sind. Der apparative Aufwand ist möglichst gering gehalten.

Die Unterrichtsorganisation in diesem Beitrag zur Einführung in die Optik in der Klassenstufe 7/8 wird mit dem Sprachkonstrukt „**Praktikumsversuch**“ gekennzeichnet. Man findet bereits zum Thema physikalisches Praktikum Beiträge für die Schule [10]. Neben den durch die Kompetenzkriterien positiv herausgehobenen Bewertungen der Schülerexperimente gibt es weitere Empfehlungen:

Ermöglichen Sie eine „*unterrichtsmethodische Vielfalt mit Schülerexperimenten im Dialog*“ [6] und vermeiden Sie „*arbeits- und unterrichtsmethodische Monokultur*“ [6]. In der Darstellung einer Publikation des Landesinstituts für Lehrerbildung Hamburg [12] werden sechs Arbeitsformen genannt, die im Vordergrund stehen sollten. Neben der Teilnahme an naturwissenschaftlichen Wettbewerben und projektorientierten Arbeitsformen sind dies:

Bezug zu den Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz

Allg. physikalische Kompetenz	Inhaltsbezogene Kompetenzen Die Schüler ...	Anforderungsbereich
E 1, E 6–E 8, K 5, K 6	... entwickeln einfache Versuchsanordnungen und führen Experimente durch (M 1), ... stellen Hypothesen zur Entstehung von weißem Licht auf (M 1), (vgl. Biologie: Auflösungsvermögen des Auges)	II, III
E 1, E 6, E 7, K 5, K 6	... arbeiten mit einem experimentellen Medium, dem Quasiexperiment, mit dem sie nicht vertraut sind, ... stellen Hypothesen zur Farbaddition auf und erkennen das begrenzte Auflösungsvermögen des Auges für Farben (M 2). (vgl. Biologie: Photosynthese, Technik: solar)	I, II
E 1, E 4, E 5, E 9	... fertigen nach einer Prinzip-Skizze einen Versuchsaufbau an und ergänzen diesen durch eine selbst gefertigte Blende, ... passen die Vorgaben der Tabellenkalkulation an die Aufbauparameter an und werten ihre gewonnenen Daten aus, ... leiten aus den experimentellen Daten die gesuchte Formel her (M 3). (vgl. Mathematik: Strahlensatz, Informatik)	I–II
E 2, K 3, K 6	... recherchieren im Internet. ... können unterschiedliche Phänomene mit der geradlinigen Lichtausbreitung erklären (M 4). (vgl. Technik: Webcam)	I, II
E 7, E 9, F 3, K 5, K 6	... können aus einfachen Messergebnissen das Reflexionsgesetz ableiten, ... lernen unterschiedliche Arten von Bildern kennen (M 5). (vgl. Technik: Satellitenschüssel)	I, II

Für welche Kompetenzen und Anforderungsbereiche die Abkürzungen stehen, finden Sie auf der beiliegenden **CD-ROM 49**.

Bezugsquelle

LED-Farbstrahler (rot, grün, blau) im 3er-Satz erhalten Sie kostengünstig (14,99 € am 07.09.2017) bei der Arnulf Betzold GmbH, Ferdinand-Porsche-Str. 6, 73479 Ellwangen, Telefon: +49 (0) 7961 9000-0, E-Mail: service@betzold.de, unter

<https://www.betzold.de/search/?q=Farbstrahler>

Materialübersicht

M 1	Ab	Experimente zur Farbmischung
	⌚ V: 5 min	<input type="checkbox"/> Computer mit dem Programm „Farben“ (CD-ROM 49)
	⌚ D: 45 min	<input type="checkbox"/> LED-Farbstrahler
		<input type="checkbox"/> CD-Scheibe
M 2		Farbentstehung aus weißem Licht
	⌚ V: 5 min	<input type="checkbox"/> 1 CD-ROM
	⌚ D: 45 min	<input type="checkbox"/> 1 LED-Lichtquelle für weißes Licht, z. B. Taschenlampe mit einer lichtstarken LED
		<input type="checkbox"/> zahlreiche durchsichtige farbige Gegenstände, die als Farbfilter wirken sollen
		<input type="checkbox"/> zahlreiche großflächige Gegenstände zur Reflexion des Lichts
		<input type="checkbox"/> Glühlampe mit regelbarer Spannung
M 3		Die Ausbreitung des Lichts
	⌚ V: 5 min	<input type="checkbox"/> 1 lichtstarke LED-Quelle (Taschenlampe)
	⌚ D: 2 h	<input type="checkbox"/> Messlatte
		<input type="checkbox"/> Schirm
		<input type="checkbox"/> Arbeitsblatt der Tabellenkalkulation
		<input type="checkbox"/> Material zur Anfertigung einer Blende (festes Papier)
		<input type="checkbox"/> Blendenhalterung
M 4		Die Lochkamera und Finsternisse
M 5		Das Reflexionsgesetz
	⌚ v: 5 min	<input type="checkbox"/> 1–2 Teelichter mit je einer Markierungsnadel
	⌚ D: 45 min	<input type="checkbox"/> Glasscheibe mit Halterung
		<input type="checkbox"/> Messlatte
		<input type="checkbox"/> Blatt Papier zur zeichnerischen Lösung
		<input type="checkbox"/> Geodreieck
		<input type="checkbox"/> Stecknadeln
		<input type="checkbox"/> Korkplatte oder eine ähnliche Unterlage, in die die Nadeln eingestochen werden können
		<input type="checkbox"/> Blatt Papier mit eingezeichneten Linien
		<input type="checkbox"/> Geodreieck

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 21.

Minimalplan

1. Parallele Bearbeitung von **M 1** und **M 2** durch unterschiedliche Schülergruppen.
2. Verzicht auf die experimentell basierte Herleitung des **Strahlensatzes**. Bei der später erscheinenden Fortsetzung „**Brechung, Linsen, Linsenformel, Schlierenoptik**“ wird zur Herleitung der **Linsenformeln** allerdings auf diese Herleitung Bezug genommen.
3. Herleitung der geradlinigen Ausbreitung allein mit der grafischen Auswertung am Bild mit Bezeichnung „**Ausbreitung_minimal**“ (Sonnenstrahlen im Nebel).
4. Verzicht auf Material **M 5** bei der geradlinigen Ausbreitung.

Zusatz zu M 1: Additive Farbmischung – Auswertungsvorlage

Zum Farbeindruck tragen sowohl die **Linien des Quadrats** wie auch **des Rechtecks** bei. Hier liegt also die **additive Farbmischung** vor. Bei der geringsten Linienbreite (Abb. 2) sind wegen des begrenzten Auflösungsvermögens des Auges die einzelnen Farben nicht mehr zu trennen und es entsteht ein einheitlicher Farbeindruck. Die Strichdicke im oberen Bereich kann verstellt werden. Auch die Veränderung des Abstands zum Bild verändert den Farbeindruck. Das Auflösungsvermögen des Auges reicht bei großem Abstand dann ebenfalls nicht mehr aus, die Linien zu trennen.

Dort, wohin alle drei Farbstrahler gemeinsam treffen, addieren sich die Farben zu **weißem Licht**. In Abb. 3 wird dies am Beispiel des **Lichts dreier monochromatischer LED-Strahler** gezeigt. Weitere Beispiele werden sich bei künftigen Versuchen noch ergeben.

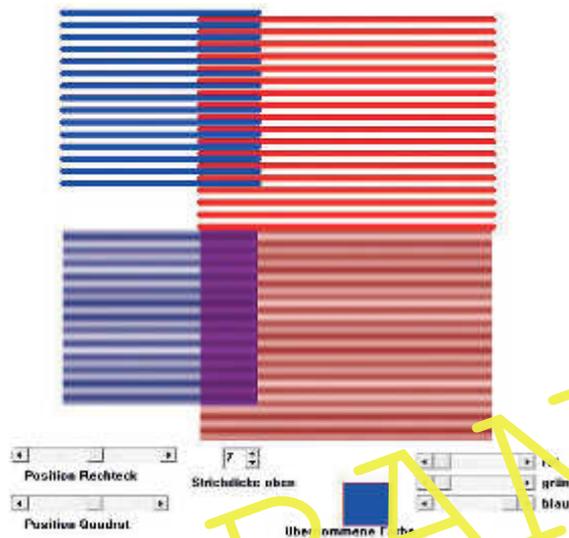


Abb. 2: Bildschirmfoto des Programms „Farben“

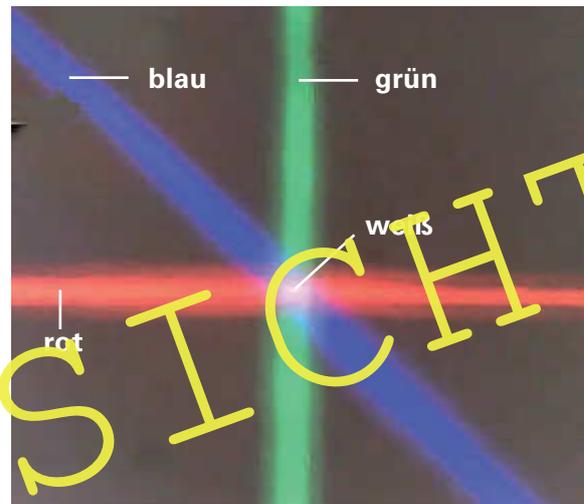


Abb. 3: Licht der unterschiedlichen Farbstrahler addiert sich im Kreuzungspunkt zu weißem Licht.

Die Farbentstehung bei einem Farbdruk einer Zeitschrift verdeutlichen die Abbildungen 4 und 5. Mit einem preiswerten USB-Mikroskop (60-fache Vergrößerung) erkennt man, wie aus unterschiedlichen Farbflecken der Farbeindruck entsteht.

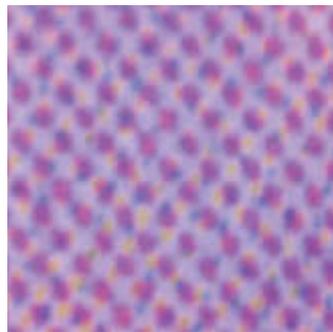


Abb. 4:

- USB -Mikroskop mit dem beobachteten Gegenstand
- Vergrößerter Bildausschnitt mit Farbpunkten, die als Summe die Farbe an dieser Stelle bilden



Abb. 5: Das auf der weißen Fläche aufgesetzte Mikroskop (links) bringt das rechts zu sehende Bild der vergrößerten Linien in den drei Grundfarben.

Fotos: Kurt Salewski

Tipp Untersuche mit dem USB-Mikroskop auch dein Smartphone-Display. Wie entstehen dort z. B. die Farben Gelb oder Weiß?

Zusatz zu M 2:

Farbmischung durch Subtraktion – Auswertungsvorlage

1. Als Beispiele für die Einordnungen von Lichtquellen können folgende Möglichkeiten genannt werden:
 - selbstleuchtend \leftrightarrow nicht selbstleuchtend
 - monochromatisch \leftrightarrow polychromatisch
 - natürliche Lichtquellen \leftrightarrow künstliche Lichtquellen
 - Quellen mit paralleler Strahlung \leftrightarrow mit auseinanderlaufenden Strahlen
2. Eine Untersuchung unterschiedlicher Lichtquellen mithilfe von CD-Datenträgern offenbart unterschiedliche Eigenschaften. Das gilt z. B. für Sonnenlicht, weiße wie auch farbige LED-Strahler, Laserpointer, Glühlampen und Kerzenlicht usw.
3. Die Wirkung von Farbfiltern wird ebenfalls durch Beobachtung mit CD-Scheiben deutlich.

Es bleibt vorwiegend der Farbanteil mit der Farbe des Filters übrig. Andere Farbanteile werden unterdrückt oder fehlen ganz. Man bezeichnet diese Art der Farbentstehung als **Farbsubtraktion**.

4. Farbmischungen mit dem **Farbkasten** führen durch Reflexion zum beobachteten Farbeindruck. Eine Farbe erscheint gelb, wenn sie die Anteile Magenta und Cyan vom weißen Licht subtrahiert. Grün ergibt sich, wenn Rot und Blau subtrahiert werden.
5. Die bei der Subtraktion verbleibenden Farben ergeben durch Farbaddition den beobachteten Farbeindruck [21].

In Abb. 6 ist neben dem Farbspektrum der Lichtquelle selbst auch das durch ein grünes Plexiglas gefilterte Spektrum zu erkennen. Abb. 7 zeigt das entsprechende Spektrum, das durch Reflexion an einem blauen Gegenstand erzeugt wurde.

Reflektoren ergeben Licht, das häufig mehr als nur einen Farbanteil enthält, obgleich der direkte Farbeindruck nur eine Farbe vermuten lässt. Bleibt nur eine Farbe übrig, nennt man das Licht **monochromatisch**. Bei den Abbildungen gelangte zusätzlich Licht der Raumbelichtung auf die CD. Damit wird die Auswirkung des Farbfilters deutlicher, da das Spektrum der verwendeten Lichtquellen ohne die Filter so wie das Raumlicht aussahen. Ein zusätzliches Ergebnis:

Alle sichtbaren Gegenstände sind Lichtquellen oder reflektieren auftreffendes Licht.



Abb. 6: Durch ein Farbfilter veränderter Farbeindruck

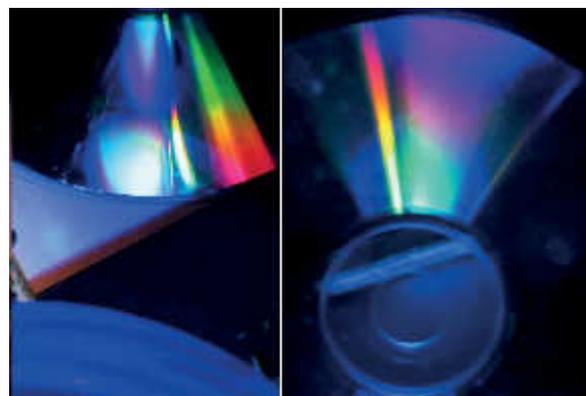


Abb. 7: Reflexion von weißem Licht an einer blauen Fläche

Fotos: Kurt Salewski

M 3 Die Ausbreitung des Lichts

Aufgabe

Untersuche, ob ein Lichtstrahl eine gerade Linie bildet.

Für zu Hause: Schätze in einem „Experiment“ die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts ab.

Vorbemerkung

Abb. 8 zeigt Sonnenstrahlen im nebligen Wald. Die Messpunkte an einem Strahl in dieser Abbildung sind aus den Pixelwerten des Grafikprogramms entnommen und deuten auf eine geradlinige Ausbreitung hin, da sie gut auf der mathematisch bestimmten Geraden in Abb. 9 liegen.



Abb. 8: Sonnenstrahlung mit Messpunkten (schwarze Kreuze)

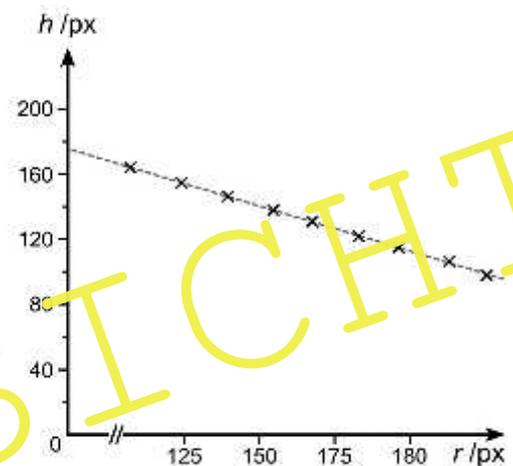


Abb. 9: Auswertung der Messungen aus Abb. 8

Da sich das Licht offenbar geradlinig ausbreitet, sollten die folgenden Messungen mithilfe des **Strahlensatzes** der Mathematik überprüft werden können. Wenn die experimentellen Daten zu diesem Satz passen, ist damit auch (im Rahmen der Messgenauigkeit) die geradlinige Ausbreitung bestätigt.

Schülerversuch/Lehrerversuch

🕒 Vorbereitung: 5 min

🕒 Durchführung: 2 h

Materialien (für jede Schülergruppe)

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> 1 lichtstarke LED-Quelle (Taschenlampe) | <input type="checkbox"/> Arbeitsblatt der Tabellenkalkulation |
| <input type="checkbox"/> Messlatte | <input type="checkbox"/> Material zur Anfertigung einer Blende (festes Papier) |
| <input type="checkbox"/> Schirm | <input type="checkbox"/> Blendenhalterung |

Versuchsdurchführung

Stelle eine Blende aus einem festen Papierblatt mit zwei Löchern und mit einem Lochabstand von 2 cm her. Beleuchte die Blende mit einer Lichtquelle. Dadurch werden zwei Lichtflecke auf dem Schirm sichtbar. Die folgenden vier Größen hängen voneinander ab:

L = der Abstand zum Schirm,

a = der Abstand der Blende von der Lichtquelle,

d = der Lochabstand auf der Blende und

B = der Abstand der Lichtflecke (der auch Bildgröße genannt wird).

M 5 Das Reflexionsgesetz

Aufgabe

Ermittle, nach welchem Gesetz die Lichtstrahlen am Spiegel (bzw. am spiegelnden Glas) reflektiert werden.

Schülerversuch 1 ⌚ Vorbereitung: 5 min Durchführung: 45 min

Vorbemerkung

Mit der Reflexion an der Glasscheibe gelingt der verblüffende Eindruck eines unter Wasser brennenden Teelichts. Bestimme zunächst durch eine Messreihe, wo das im Wasser stehende Teelicht tatsächlich sein muss.

Bei der Beobachtung durch die Scheibe ist bekannt, woher der jeweils wahrgenommene Lichtstrahl tatsächlich kommt und woher er zu kommen scheint. Die zugehörigen Geraden kannst du einzeichnen und die Winkel gegenüber dem Lot ausmessen.

Materialien (für jede Schülergruppe)

- 1–2 Teelichter mit je einer Markierungsnadel
- Glasscheibe mit Halterung
- Messlatte
- Blatt Papier zur zeichnerischen Lösung
- Geodreieck



Abb. 20: Ein Teelicht brennt unter Wasser! Wie kann das sein?

Foto: S. Janker

I/E

Schülerversuch 2 ⌚ Vorbereitung: 5 min Durchführung: 45 min

Vorbemerkung

Beim ebenen Spiegel scheint man hinter diesen blicken zu können. Bei manchen Tieren kann man deshalb beobachten, dass sie dort auch suchen. Es ist aber bekannt, wohin der Strahl tatsächlich verläuft. Diese Stellen lassen sich finden und durch die Nadel fixieren. Durch ein entsprechend vorbereitetes Arbeitsblatt reicht eine Nadel.

Materialien (für jede Schülergruppe)

- Stecknadeln
- Korkplatte oder eine ähnliche Unterlage, in die die Nadeln eingestochen werden können
- Blatt Papier mit eingezeichneten Linien
- Geodreieck

Versuchsdurchführung

Trage auf dem Arbeitsblatt Geraden ein, die zu den Strahlen gehören, die zum Spiegel (bzw. zur Glasscheibe) verlaufen. Zeichne die zu dem jeweils reflektierten Strahl gehörige Gerade mit einer anderen Farbe ein. Du kannst dann die zugehörigen Winkel α und β der Geraden zum Lot ausmessen.

Auswertung

Welchen Zusammenhang erkennst du zwischen den beiden Winkeln α und β ?

Weshalb nennt man die hier betrachteten Bilder virtuelle oder auch scheinbare Bilder?

Erläuterungen und Lösungen

M 1 Experimente zur Farbmischung

■ Zum Begriff der „verhüllten“ Farben finden Sie Erläuterungen unter [20].

1. Man stellt zuerst an den drei Intensitätsreglern eine Farbe ein, z. B. den Regler für Rot ganz nach rechts (volle Intensität), und ändert dann die Position des Rechtecks oder des Quadrats. Als Beispiel schiebt man das Rechteck in die Mitte des Bildschirms. Die eingestellte Farbe wird automatisch vom bewegten Objekt (Rechteck) übernommen. Anschließend stellt man eine weitere Farbe ein, z. B. den Regler für Grün auf volle Intensität, und verändert die Position des anderen Objektes (Quadrats). Im Bereich, in dem sich die Striche überlagern, kann bei ausreichendem Abstand zum Bildschirm die Mischfarbe wahrgenommen werden.
2. Die Farbe Gelb entsteht bei Addition von Grün und Rot bei voller Intensität.
3. Sind die Striche zu dick oder der Abstand zum Bildschirm zu gering, kann das Auge die Striche getrennt auflösen und man kann auch beide Farben getrennt voneinander erkennen. Bei geringen Strichdicken oder zu großem Abstand vom Bildschirm verschwindet jedoch die Unterscheidbarkeit der einzelnen Linien und es entsteht ein einheitlicher Farbeindruck, die Mischfarbe der beiden eingestellten Linienfarben. Wenn das Auflösungsvermögen des Auges nicht mehr ausreicht, entsteht der einheitliche Farbeindruck.

Tipp Wenn bei Einstellen der Strichdicke das obere Quadrat/Rechteck verschwindet, müssen Sie die Schieberegler für Rechteck und Quadrat wieder betätigen.

4. Mit den drei Farbstrahlern kann man durch Überlagerung der ausgestrahlten Farben unterschiedliche Mischfarben erzeugen, die den entsprechenden Einstellungen der Intensitätsregler im Computerprogramm entsprechen. Wenn man das Licht aller drei Farbstrahler überlagert, entsteht durch **additive Farbmischung** die Farbe Weiß (vgl. Abb. 3 auf Seite 10):

Mischung von

Rot	+	Grün	=	Gelb		
Rot	+	Blau	=	Magenta (Purpur)		
Grün	+	Blau	=	Cyan (Blaugrün)		
Rot	+	Grün	+	Blau	=	Weiß
Keine Remission					=	Schwarz

Vergleichen Sie auch mit Abb. 24 auf Seite 22.

5. Lichtquelle sind alle Gegenstände, von denen Licht ausgeht.

Beispiele: Sonne (1), Sterne (2), Meteore (Sternschnuppen) (3), Blitz (4), Nordlicht (5), Glut/Lava (6), Feuer/Flammen (7), Glühlampe (8), Leuchtstoffröhre (9), Glimmlampe (10), Leuchtdiode (LEDs) (11), lumineszierendes Material (12), Glühwürmchen (13), Laser-Pointer (14), Natrium-Dampf Lampe (z. B. in Straßenlaternen) (15), Mond (16), Planeten (17)

Erläuterungen zu den einzelnen Lichtquellen finden Sie bei Bedarf unter:

<https://www.leifiphysik.de/optik/lichtausbreitung/ausblick/lichtquellen>

Die Einteilung der Lichtquellen ist nach verschiedenen Gesichtspunkten möglich, u. a.:

- Selbstleuchtende (1 bis 15) und nicht selbstleuchtende Lichtquellen (16, 17)
- Natürliche (1 bis 7, 13, 16, 17) und künstliche Lichtquellen (8 bis 12, 14, 15)
- Thermische (1, 2, 3, 6, 7, 8) und nicht thermische Lichtquellen (4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15)
- Monochromatische (11, 14, 15) oder polychromatische Lichtquellen (1 bis 10, 12, 13, 16, 17)