

# Inhalt

Einführung .....	2
Die Klassenkasse ohne Schlüssel .....	3

VORSCHAU

## Hinweis:

Bei allen Experimenten sind selbstverständlich die allgemeinen Richtlinien zur Sicherheit im naturwissenschaftlichen Unterricht zu beachten!



**netzwerk  
lernen**

Kriminell gut experimentieren

**zur Vollversion**



# Die Klassenkasse ohne Schlüssel

## Didaktische Hinweise

### Lehrplanbezug

- Geradlinige Ausbreitung von Lichtstrahlen  
Umkehrbarkeit des Lichtwegs
- Lichtbrechung
- Reflexion, Totalreflexion
- Sehvorgang/ Beteiligung des Gehirns bei der Interpretation optischer Reize

### Vorwissen

Um den dargestellten Fall zu lösen und die Versuche notfalls mithilfe der Tipps durchzuführen, benötigen die Schüler kein Vorwissen.

Will man nicht nur auf der phänomenologischen Ebene bleiben, erleichtern Grundkenntnisse in Optik das Verständnis. Die Schüler sollten eine Modellvorstellung von Licht als „Lichtstrahl“, der sich geradlinig ausbreitet, besitzen. Die Lösung der Aufgaben ist einfacher für die Schüler, wenn ihnen das Phänomen der Brechung an optisch verschieden dichten Stoffen schon bekannt ist.

Alle Versuche sind problemlos zu Hause durchführbar.

### Bildungsstandards

Bezug zu den Aufgaben und Anforderungen beim Fall „Die Klassenkasse ohne Schlüssel“	Standards für die Kompetenzbereiche der Fächer Physik und Biologie
Die Schülerinnen und Schüler ...	
<p>... fördern ihre Lesekompetenz, indem sie die zielführenden Informationen zur Lösung des dargestellten Problems herausfinden,</p> <p>... führen einen einfachen Versuch durch, um ihre Vermutung zur Lösung des Problems zu bestätigen,</p>	<p><b>Phy E 2:</b> ... wählen Daten und Informationen aus verschiedenen Quellen zur Bearbeitung von Aufgaben und Problemen aus, prüfen sie auf Relevanz und ordnen sie,</p> <p><b>Phy E 1:</b> ... beschreiben Phänomene und führen sie auf bekannte physikalische Zusammenhänge zurück,</p> <p><b>Phy E 7:</b> ... führen einfache Experimente nach Anleitung durch und werten sie aus,</p>
<p>... erklären das beobachtete Phänomen des „Verschwindens“ mit ihren Kenntnissen zur Lichtbrechung und -reflexion,</p>	<p><b>Phy E 5:</b> ... nehmen einfache Idealisierungen vor,</p> <p><b>Phy F 3:</b> ... nutzen diese Kenntnisse [über physikalische Grundprinzipien ... sowie einfache physikalische Gesetze] zur Lösung von Aufgaben und Problemen,</p>
<p>... erklären das im Experiment festgestellte scheinbare Wiederauftauchen einer Münze in einer Schale durch das Phänomen der Lichtbrechung beim Übergang Wasser/Luft,</p> <p>... weisen durch einen einfachen Versuch („Fischestechen“) nach, dass man Objekte unter Wasser an einem anderen als ihren tatsächlichen Ort sieht, und erklären dies damit, dass das menschliche Gehirn die an der Grenzfläche Wasser/Luft gebrochenen Lichtstrahlen nicht korrekt interpretiert, sondern davon ausgeht, dass sich Licht immer geradlinig ausbreitet.</p>	<p><b>Phy E 8:</b> ... planen einfache Experimente, führen sie durch und dokumentieren die Ergebnisse,</p> <p><b>Bio K 8:</b> ... erklären biologische Phänomene und setzen Alltagsvorstellungen dazu in Beziehung.</p>



## Fachinformation

### Lichtbrechung und Reflexion

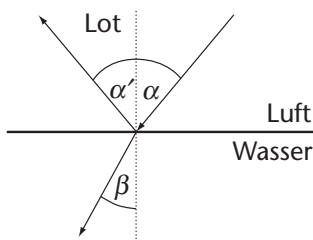
Luft, Wasser, Glas oder Diamant sind Beispiele für lichtdurchlässige Medien. In einem (homogenen, d. h. gleichmäßig zusammengesetzten) lichtdurchlässigen Medium verlaufen Lichtstrahlen geradlinig.

An der Grenze zwischen zwei verschiedenen lichtdurchlässigen Medien jedoch gibt es für den Weg des Lichtes zwei Möglichkeiten: Ein Teil des Lichtes wird gespiegelt oder **reflektiert**. Der **Eintrittswinkel**  $\alpha$  des auf die Grenzfläche treffenden Lichtes ist identisch mit dem **Reflexionswinkel**  $\alpha'$ .

Ein anderer Teil tritt durch die Grenzfläche hindurch. Allerdings ändert das durch die Grenzfläche tretende Licht seine Richtung. Dies bezeichnet man als **Brechung** des Lichtes.

Der **Brechungswinkel**  $\beta$  ist abhängig von der Art des lichtdurchlässigen Mediums, in das das Licht eintritt. Außerdem ist er abhängig vom Winkel, in dem das Licht auf die Grenzfläche auftrifft.

Für Berechnungen verwendet man ausschließlich Winkel zwischen den Lichtstrahlen und dem Lot auf die Grenzfläche.



$\alpha$  Eintrittswinkel  
 $\alpha'$  Brechungswinkel  
 $\beta$  Reflexionswinkel

Ein Lichtstrahl, der in einem Eintrittswinkel von  $40^\circ$  aus der Luft auf eine Wasseroberfläche trifft und in das Wasser eintritt, wird gebrochen. Der Winkel zwischen dem Lot und dem gebrochenen Lichtstrahl ist der Brechungswinkel, er beträgt  $29^\circ$ .

Zwischen dem Eintritts- und dem Brechungswinkel besteht kein einfacher mathematischer Zusammenhang, wie die Werte folgender Tabelle zeigen.

Übergang Luft – Wasser	
Eintrittswinkel	Brechungswinkel
$0^\circ$	$0^\circ$
$5^\circ$	$4^\circ$
$10^\circ$	$7^\circ$
$15^\circ$	$11^\circ$
$20^\circ$	$15^\circ$
$30^\circ$	$22^\circ$
$40^\circ$	$29^\circ$
$50^\circ$	$35^\circ$
$60^\circ$	$41^\circ$
$70^\circ$	$45^\circ$
$75^\circ$	$46^\circ$
$85^\circ$	$48^\circ$
$90^\circ$	$49^\circ$

Beim Übergang von Wasser zu Luft tauschen die beiden Winkel nur ihre Rollen, die Werte bleiben gleich: Tritt ein Lichtstrahl in einem Eintrittswinkel von  $29^\circ$  an die Wasseroberfläche heran, wird er an der Grenze gebrochen und verläuft in einem Brechungswinkel von  $40^\circ$  in der Luft.

Luft ist optisch weniger dicht als Wasser. Beim Übergang von einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Medium (z. B. beim Übergang von Luft zu Wasser) ist der Eintrittswinkel  $\alpha$  immer größer als der Brechungswinkel  $\beta$ . Beim Übergang von einem optisch dichteren zu einem optisch dünneren Medium ist dies umgekehrt.

Beim Übergang von einem optisch dichteren Medium (z. B. Glas, Wasser) in ein optisch dünneres Medium (z. B. Luft) gibt es ab einem bestimmten Winkel, dem Grenzwinkel, keine Brechung mehr, sondern nur noch Reflexion. Tritt ein Lichtstrahl mit einem Eintrittswinkel von mehr als  $49^\circ$  aus dem Wasser an die Wasseroberfläche heran, wird er nicht mehr gebrochen, sondern reflektiert. Man bezeichnet dies als **Totalreflexion**. Dies ist der Grund für das „Verschwinden“ des Schlüssels in der Geschichte: Stellt man eine Wasserflasche auf einen kleinen Gegenstand, kann man diesen nicht mehr sehen, obwohl das Glas und das Wasser lichtdurchlässig sind. Beim Übergang zwischen Glas und Luft liegt der Grenzwinkel für Totalreflexion bei ca.  $40^\circ$ . Lichtstrahlen, die einen größeren Einfallswinkel haben, werden vollkommen reflektiert. Der „Grenzstrahl“, der

Lichtstrahl, der gerade noch gebrochen wird, verlässt das mit Wasser gefüllte Glas steil nach oben. Blickt man als Beobachter seitlich auf das Glas, gelangt kein vom Schlüssel stammender Lichtstrahl in das Auge, der Schlüssel ist unsichtbar. Würde man von oben auf das Glas bzw. die Flasche blicken, wäre der Schlüssel sichtbar.<sup>1</sup>

### Literaturhinweise

- H. Hilscher (Hrsg.): Physikalische Freihandexperimente. Band 2. Aulis Verlag Deubner, 2004, S. 766–767, S. 810–812
- F. Aulas, J.-P. Dupré, A.-M. Gibert, P. Leban, J. Lebeaume: Erstaunliche Experimente. Spielerisch Wissen entdecken. Bassermann, 2003, S. 76–77
- W. Rentzsch: Experimente mit Spaß. Band 5. Optik. Aulis Verlag Deubner, 1998, S. 55
- C. Gerthsen, H. O. Kneser: Physik. Springer, 1971, S. 108–110
- H. Deger, C. Gleixner, R. Pippig, R. Worg: Galileo 9. Oldenbourg 2000, S. 154–166

<sup>1</sup> Vernachlässigt wurden hier (und in der Zeichnung in der Lösungskarte) die Brechungsvorgänge zwischen Glas und Wasser bzw. zwischen Wasser und Glas. Dies ist zulässig, weil sich die Brechungsindizes von Glas (ca. 1,4) und Wasser (ca. 1,3) nicht sehr stark unterscheiden.



## Die Klassenkasse ohne Schlüssel

In 20 Minuten sollte die Veranstaltung „Sophie-Scholl-Schule gegen AIDS“ beginnen. Die Schüler hatten das ganze Schuljahr lang verschiedene Aktionen durchgeführt und Geld gesammelt. Der Schulchor hatte ein Adventssingen veranstaltet, die 9a hatte den halben Jahreserlös ihres Schülercafés gespendet, die 6b hatte mit ihren „AIDS-Teddys“ inklusive roter Schleife einen echten Verkaufshit gelandet, die Schüler der 10d hatten auf dem Schulfest T-Shirts und künstlerisch gestaltete Cola-Dosen verkauft, um nur einige Projekte zu nennen. Der Erlös sollte einem SOS-Kinderdorf in Südafrika zugute kommen, das AIDS-Waisen unterstützt.

Viele Eltern und Lehrer waren gekommen. Außerdem hatten sich der Zweite Bürgermeister der Stadt und die Lokalzeitung angesagt. Natürlich war die Leiterin der AIDS-Hilfe auch da. Nach einer kurzen Begrüßung durch Herrn Schmidtke, den Schulleiter, sollte sich jedes Projekt kurz vorstellen und den jeweiligen Erlös in einen gläsernen Sammeltopf geben. Die Veranstaltung wurde umrahmt von musikalischen Einlagen, unter anderem einem neu komponierten „AIDS-Rap“ von Tom und Lucas aus der 9b.

„Backstage“ herrschte große Aufregung unter den Schülern, die ihr Projekt stellvertretend für ihre Klasse vorstellen sollten. In 10 Minuten sollte es losgehen. Herr Pfeiffer, der an der Schule Chemie unterrichtete und Vertrauenslehrer war, trug die Verantwortung für die richtige Reihenfolge. Alle hatten ihre Bilder oder Filmclips, die sie für ihre Präsentationen verwenden wollten, bereits gestern bei Herrn Pfeiffer abgegeben. So mussten sie eigentlich „nur“ noch an ihre kleine Rede denken und das Geld übergeben.

Herr Pfeiffer hakte seine Liste ab. Alle waren bereit, bis auf ...  
 „Wo stecken eigentlich Julia und Martin aus der 10d?“ Keine Antwort. „Paula, weißt du, was mit den beiden los ist?“ Paula aus der 6b war Julias Schwester und gerade sehr nervös. „Keine Ahnung, vor 10 Minuten hab ich sie noch gesehen. Sie wollten die Klassenkasse mit dem Geld holen.“ „Würdest du bitte mal nachsehen, wo die beiden bleiben?“ „Oh nein! Wir sind doch gleich als Zweite dran, Herr Pfeiffer. Mir ist eh schon ganz schlecht!“

Inzwischen war die Aula vollständig besetzt, einige Schüler schleppten noch Stühle für die Eltern herein, die keinen Platz mehr bekommen hatten. Die Schulband legte mit ihrem Eröffnungstück los. Nachdem die letzten Töne von „We Are The Champions“ verklungen waren, begrüßte Herr Schmidtke alle Anwesenden. Die erste Gruppe begann mit ihrer Präsentation.

Von den Schülern der 10d immer noch keine Spur. Herr Pfeiffer wurde langsam unruhig. Julia und Martin wollten zusammen ihr Projekt vorstellen. Martin sollte ein T-Shirt und die fünf verschiedenen Designs der Cola-Dosen auf der Bühne zeigen, Julia wollte ein paar Worte sagen und dann das Geld in den Sammeltopf geben. Die beiden hatten jedoch ein kleines Problem. Sie fanden den Schlüssel für ihre Klassenkasse nicht!

Julia war sich sicher, dass sie den Schlüssel vorne auf dem Lehrerpult gesehen hatte. Außer ihnen war nur noch Sven hier gewesen, um seine Cola-Kunstwerke abzuliefern. Zusammen mit Steffen und Jörn hatte er noch einige Exemplare nachgemacht, weil inzwischen alle



40 Dosen weg waren. Inzwischen waren die drei unten und verhökerten ihre neue „limited edition“ an die versammelte Elternschaft. Das einzige noch nicht verkaufte T-Shirt hatte Dominik vorbeigebracht.

Julia ging es auf die Nerven, dass Dominik seit einiger Zeit ständig ihre Nähe suchte. Sie wollte absolut nichts von ihm, aber irgendwie tat er ihr auch leid. Er hatte keine Freunde, zumindest nicht in der Klasse. Dass er der beste Schüler der 10d war, machte ihn auch nicht beliebter. Er war schüchtern, linkisch und sein Hobby war es, an naturwissenschaftlichen Wettbewerben für Schüler teilzunehmen. Bei „Jugend forscht“ hatte er letztes Jahr sogar einen Preis bekommen. Bei Klassenpartys stand er immer in einer Ecke. Er rauchte nicht und weigerte sich, Alkohol zu trinken. Er mochte nicht mal Cola, auch jetzt war er wieder mit einer Mineralwasserflasche unterwegs. Dem in der Klasse teilweise heftigen Gruppendruck bei Partys widerstand er mühelos, die dummen Sprüche, die Steffen und Sven für cool hielten, perlten scheinbar ohne Spuren zu hinterlassen an ihm ab. Dies immerhin beeindruckte Julia schon irgendwie.

„Dominik, hilf mir bitte mal“, bat sie ihn schließlich. „Sven hat doch eben noch den Schlüssel in der Hand gehabt. Ich erinnere mich deutlich, dass er den Schlüssel neben die Kasse auf das Lehrerpult gelegt hat. Martin und ich haben schon überall gesucht!“

„Irgendwo muss er ja sein“, sagte Dominik glücklich. Er saß die ganze Zeit schon am Pult und schaute Julia an. Er schob Julia einen Zettel zu. Julia wirkte zusehends gestresster. Sie sah auf ihre Uhr. „Mist, die Veranstaltung läuft schon! Wir sind in drei Minuten dran, Martin! Was machen wir denn jetzt?“ „Wir können nicht weiter suchen. Wir nehmen einfach die ganze Kasse mit!“ „Ja, toll. Wie stehen wir denn dann da? Die Loser von der 10d, die es nicht mal schaffen, ihre Kasse aufzusperren! Da können wir ja gleich die Cola-Dosen in den Sammeltopf werfen.“

Die beiden schnappten sich die Kasse vom – bis auf Dominiks Wasserflasche – nach wie vor leeren Pult und rasten los zur Aula. „Mann, Dominik war ja wieder eine echte Hilfe!“, keuchte Martin. „Ob er die ganze Veranstaltung lang im Klassenzimmer bleibt? Komischer Typ.“

Etwas aufgelöst kamen sie gerade noch rechtzeitig an. Herr Pfeiffer fackelte nicht lange und schob sie sofort auf die Bühne. Martin, völlig ungerührt, pries sein T-Shirt und seine Cola-Dosen, als wären sie die Erfindung des Jahrhunderts. Julia, weit weniger souverän, stotterte ein bisschen und errötete, als sie die feuerrote Klassenkasse neben den Sammeltopf stellte. Sie bekamen Applaus und verließen die Bühne. Tom und Lucas begannen mit ihrem Rap.

„Puh. Bin froh, dass es vorbei ist“, seufzte Julia. „Nie wieder verlasse ich mich auf Sven. Wahrscheinlich hat er den Schlüssel immer noch!“ „Dominik war übrigens doch da“, grinste Martin, „der lässt auch keine Gelegenheit aus, dich zu sehen.“

75 Julia entfaltete das kleine Stück Papier, das ihr Dominik zugesteckt hatte und las: „Stille Wasser sind tief, Julia.“ Martin blickte über ihre Schulter. „Stille Wasser? Oh Mist, ich weiß jetzt, wo der Schlüssel ist! Aber an seinen Annäherungsversuchen muss er echt noch arbeiten. Damit landet er noch nicht mal bei Physik-Lehrerinnen!“



## Wo war der Schlüssel?

### Aufgaben für Detektive:

Protokolliere alle Ideen, Experimente und Ergebnisse in deinem Heft!



1. Welche Informationen findest du im Text zum verschwundenen Schlüssel?

**Wenn du Hilfe brauchst, hole dir die Tippkarte 1!  
Vergleiche deine Vermutung mit der Lösungskarte 1!**



2. Wie könnte Dominik den Schlüssel versteckt haben, ohne ihn anzufassen?  
Du brauchst dazu einen kleinen Schlüssel (du kannst auch eine Münze nehmen) und eine mindestens halb gefüllte Wasserflasche.

**Kontrolliere dein Ergebnis mit der Lösungskarte 2!**



3. Nun weißt du, wo der Schlüssel versteckt war.

**Den Ausgang der Geschichte und eine Erklärung für das „Verschwinden“  
des Schlüssels findest du in der Lösungskarte 3!**

### Für die Licht-Knicker unter den Detektiven:



4. Verfolge den Knick des Lichtes (Lichtbrechung) an der Grenzfläche zwischen Luft und Wasser. Du brauchst dazu einen Laserpointer, ein großes, mit Wasser gefülltes durchsichtiges Gefäß und ein bisschen Milch, die du ins Wasser gibst. Die Milch ist nur dazu da, das Wasser etwas zu trüben, damit der Lichtstrahl im Wasser besser sichtbar ist.

Halte den Laserpointer verschieden schräg, sodass die Lichtstrahlen in verschiedenen Winkeln auf die Wasseroberfläche auftreffen. Ist der „Knick“ immer gleich groß?  
Wie müssen die Lichtstrahlen auf die Wasseroberfläche treffen, damit es gar keinen „Knick“ gibt?

**Eine Kontrolle deiner Ergebnisse findest du in Lösung 4!**



5. In der Geschichte wurde ein Schlüssel durch Lichtbrechung unsichtbar. Jetzt machst du einen Gegenstand durch Lichtbrechung wieder sichtbar: Die „Zauber Münze“.  
Du brauchst dazu eine undurchsichtige Schale oder Tasse, eine Münze und Wasser. Lege die Münze auf den Boden der Schale. Beuge dich dann so weit zurück, dass du sie gerade nicht mehr sehen kannst. Behalte deine Position so bei. Dann gießt du (oder ein Partner) vorsichtig Wasser in die Schale. Achtung: Die Münze soll nicht weggespült werden, eventuell kannst du sie mit Kaugummi festkleben!

Die Münze wird wieder sichtbar!

Kannst du deine Beobachtung erklären? Denke an den „Lichtknick“ in Aufgabe 4!

**Eine Erklärung für deine Beobachtung findest du in Lösung 5!**



6. Wenn du Fische unter einer Wasseroberfläche schwimmen siehst und du nicht direkt von oben auf die Fische blickst, sondern eher von der Seite aus, scheinen die Fische weiter oben zu sein, als du denkst. Außerdem befinden sie sich an einer anderen Stelle, als es dein Gehirn dir vortäuscht! Du kannst dies durch einen Versuch ausprobieren!

**Die Anleitung für dieses „Fischestecken“ findest du in Tipp 6!  
Die Erklärung steht in Lösungskarte 6!**