

## Schülerlabor zu Anwendungen der Totalreflexion

Michael Wenzel, Thomas Wilhelm

Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Physik, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt am Main  
wenzel@physik.uni-frankfurt.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

### Kurzfassung

Das Phänomen der Totalreflexion wird in der Technik in verschiedenen Kontexten angewendet. Dennoch fristet es im Optikunterricht eher ein Nischendasein und wird neben der Brechung wenig behandelt. Im Goethe-Schülerlabor Physik wird deswegen ein Experimentiertag zum Thema Totalreflexion angeboten, der technische Anwendungen betrachtet. Neben Experimenten wird auch der Simulationsbaukasten Algodo von den Schülern genutzt, der dabei mehr Variationsmöglichkeiten der Simulationsparameter zulässt als vorgefertigte Applets und reale Versuche. Im folgenden Artikel werden verschiedene Anwendungsbeispiele mit verwendeten Experimenten und Simulationen vorgestellt. Dazu gehören Daten- und Bildübertragung mittels Glasfaser, der Regensensor und der Brillant.

### Abstract

The phenomenon of total reflection is applied in different technical contexts. Nevertheless it only plays a marginal role in today's science lessons on optics as it gets neglected in favour of refraction. Therefore the "Goethe-Schülerlabor Physik", an extracurricular school lab, offers a guided, half-a-day programme on the topic of total reflection and its technical applications in order to give students the opportunity to conduct a range of practical work.

In addition to hands-on experiments, students also use the simulation software Algodo, which gives them more freedom to vary parameters than precast applets and real experiments.

The article describes various experiments and simulations on the topic of total reflection, e.g. on transmission of data and pictures via fibre optics, rain sensors and brilliants.

### 1. Einleitung

Wenn Licht von einem Medium in ein anderes übertritt, wird es gebrochen. Es tritt unter einem anderen Winkel aus, als es auf die Grenzschicht gefallen ist. Gleichzeitig wird auch ein Teil des Lichtes an der Grenzfläche reflektiert. Bei „Totalreflexion“ handelt es sich um ein Phänomen, das beim Übergang von Licht von einem optisch dichteren zu einem optisch dünneren Medium auftritt. Ab einem gewissen Grenzwinkel tritt das Licht nicht mehr aus dem optisch dichteren Medium aus, sondern wird an der Grenzfläche vollständig zurückreflektiert. Dieses Verhalten wird auch in vielen technischen Geräten angewandt.

Im Rahmen des Themas „Brechung“ wird die Totalreflexion auch im Physikunterricht behandelt. In der Regel wird dieses Thema in der siebten oder achten Jahrgangsstufe durchgenommen. Ausnahmen bilden dabei nur Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen (jeweils Klasse 5-6), Brandenburg (Klasse 9-10), sowie Sachsen und Sachsen-Anhalt (jeweils Klasse 10) [1]. Die Brechung selbst wird als Erklärung etwa für die Funktionsweisen von optischen Instrumenten wie Linsen intensiv behandelt. Die Totalreflexion

tritt in diesem Zusammenhang eher als Randerscheinung auf und wird dementsprechend schnell abgehandelt.

Verschiedene technische Anwendungen bieten sich hier jedoch als Vertiefung im Kontext „Physik und Technik“ an. Bereits in den 1990er Jahren forderte Muckenfuß, dass der Physikunterricht ein „Lernen im sinnstiftenden Kontext“ bieten solle [2]. Auch in der DPG-Studie „Physik in der Schule“ konstatieren die Verfasser: „[Kontexte] bieten einerseits Motivation für das Fach, andererseits auch Anwendungsfelder für im Unterricht erworbene Kompetenzen“ [1]. Damit greifen sie die Forderung aus den 1990er Jahren wieder auf und beschreiben die Wichtigkeit, zu vermittelnde Kompetenzen und Inhalte mit relevanten und aktuellen Sachumgebungen zu verknüpfen statt sie isoliert voneinander zu betrachten. Ein themenübergreifender Kontext wie „Physik und Technik“ bietet die Möglichkeit, immer wieder und an verschiedenen Stellen im Physikunterricht die Verknüpfung herzustellen. Mit den in Abschnitt 3 präsentierten Experimenten soll aufgezeigt werden, welche Verbindungen das Thema „Totalreflexion“ in diesem Zusammenhang bietet. Schließlich werden Technologien wie Glasfasern im Alltag häufig er-

wähnt und haben damit eine gewisse Relevanz für die Schüler, die in diesem Kontext ebenfalls eine höhere Motivation, sich mit dem Thema „Totalreflexion“ auseinanderzusetzen, erwarten lässt.

## 2. Goethe-Schülerlabor Physik

Die im folgenden Abschnitt vorgestellten Experimentierstationen werden so im Goethe-Schülerlabor Physik an der Universität in Frankfurt am Main umgesetzt. Daher soll dieser außerschulische Lernort an dieser Stelle kurz beleuchtet werden.

Der Goethe-Schülerlabor Physik ist aktuell durch die Adolf Messer Stiftung finanziert und bietet zu unterschiedlichen Themen Experimentierformate für ganze Klassen der Primar- und Sekundarstufe an. Die vorbereiteten Themen sollen, beispielsweise das Schülerlabor zu *Anwendungen der Totalreflexion*, an das Schulwissen anknüpfen, um dieses zu vertiefen bzw. zu erweitern. Ein Ausflug ins Schülerlabor bietet der Lehrkraft also die Möglichkeit, Akzente zu einzelnen Themen zu setzen und interessante Versuche und Phänomene kennenzulernen, für die im Unterricht nicht die Zeit, die Ausstattung oder die Betreuungsmöglichkeiten vorhanden sind. Die Betreuung im Schülerlabor wird durch Lehramtsstudierende übernommen, während die Physiklehrkraft die Rolle eines begleitenden Beobachters einnimmt. Ein Schwerpunkt der Arbeit im Schülerlabor liegt auf dem Einsatz des Computers, der vielfältige Möglichkeiten bietet (vgl. [3]). Im Schülerlabor werden mithilfe des Computers beispielsweise Messungen an Realexperimenten durchgeführt oder Simulationen erstellt und daran gearbeitet.

Wie für Schülerlabore üblich sollen die Schülerinnen und Schüler möglichst umfangreiche Möglichkeiten haben, praktisch mit und an Experimenten zu arbeiten. In der Regel arbeiten die Schüler in Kleingruppen, um besser auf die Lernbedürfnisse der und des Einzelnen eingehen zu können.

## 3. Experimentierstationen

Im Schülerlabor werden die Anwendungen der Totalreflexion in fünf Stationen durchlaufen. Die Experimente, die die Schülerinnen und Schüler in dem Rahmen durchführen, sind jedoch auch in großen Teilen in den Physikunterricht der Schule übertragbar. Sie sind konzipiert für eine Klasse der Jahrgangsstufe 7 und verlangen daher außer dem Lichtstrahlenmodell und dem Phänomen der Brechung keine weiteren Vorkenntnisse. Die Schulklasse wird in vier etwa gleichgroße Gruppen geteilt, die dann möglichst eigenständig an den Stationen arbeiten.

Nach einer Einführungsstation, die parallel von den vier Gruppen in ca. 30 Minuten bearbeitet wird und in der die Bedingungen für Totalreflexion deutlich gemacht werden, arbeitet je eine Gruppe an den vier Stationen „Brillant“, „Einzelner Lichtleiter“, „Regensensor“ und „Bildübertragung“. In diesen Stationen werden jeweils unterschiedliche Aspekte der

Totalreflexion betrachtet und in ca. 45 Minuten bearbeitet.

Im Rahmen all dieser Stationen wird mit dem Simulationsbaukasten „Algodo“ gearbeitet [4, 5]. Simulationen bieten eine vereinfachte Darstellung der Wirklichkeit, die im Sinne einer didaktischen Reduktion das Wesentliche an einem Experiment klarer erkennen lassen, während für die entsprechende Situation unwichtige Aspekte ausgeblendet werden (können) [6]. Die Software Algodo, mit der die Schülerinnen und Schüler an den Stationen unter anderem arbeiten, ist frei erhältlich und ermöglicht die Erstellung und Manipulation von virtuellen Experimenten mit wenigen Klicks. In den Programmcode sind grundlegende Funktionen wie Gravitation, Stoßverhalten, Luftwiderstand oder (in diesem Fall relevant) Brechungsverhalten von Licht beim Übergang zwischen Medien verankert. Damit ergibt sich die Möglichkeit zur Ergänzung der Schülerexperimente diese nach dem realen Vorbild virtuell am Rechner zu erstellen und anschließend Parameter, wie die Brechzahl eines Mediums, die in der Realität nicht ohne Weiteres veränderbar sind, beliebig zu variieren.

### 3.1. Einstieg

Zu Beginn wird den Schülerinnen und Schülern das Phänomen der Totalreflexion auf zwei unterschiedliche Weisen präsentiert: Zunächst, indem sie eine Hand oder eine Stange in ein Aquarium stecken und die Grenzfläche zwischen Wasser und Luft in einem Spiegel, der schräg auf dem Beckenboden liegt, betrachten [7].



**Abb. 1:** Totalreflexion an der Wasseroberfläche von unten im Spiegel gesehen

Dabei ist zu beobachten, dass unter bestimmten Betrachtungswinkeln die Finger bzw. die Stange nur innerhalb des Wassers zu sehen ist und das Licht an der Grenzfläche reflektiert wird. In Abbildung 1 kann man erkennen, dass bei diesem Versuch im Spiegel auf der linken Seite nur der Teil des Stabes zu sehen ist, der sich unter Wasser befindet, sowie sein Spiegelbild, das an der Wasseroberfläche totalreflektiert wird. Der Teil des Stabes über Wasser ist nicht zu sehen. Die Wasseroberfläche wird auf diese Weise von unten zu einem Spiegel.

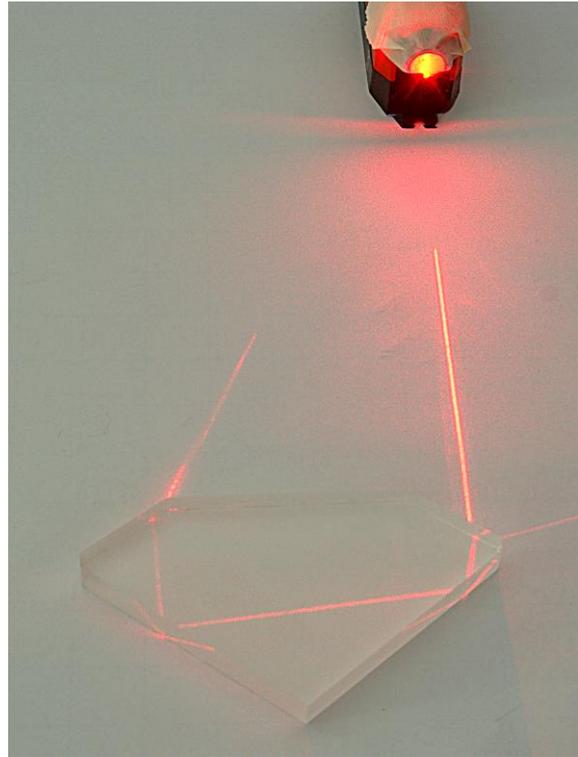
Als nächstes sollen die Schülerinnen und Schüler die Bedingungen, unter denen Totalreflexion auftritt noch einmal genauer untersuchen. Dazu leuchten sie mit einer Laserwasserwaage [8] nacheinander seitlich so in einen Plexiglasquader, dass der Lichtstrahl aus verschiedenen Richtungen ein- und entsprechend wieder ausfällt. Dabei soll ihnen auffallen, dass es Transmissions- und Reflexionserscheinungen gibt und dass unter bestimmten Umständen Totalreflexion auftritt. Diese speziellen Winkel gilt es anschließend an Plexiglashalbscheiben herauszufinden. Um die Abhängigkeit des Grenzwinkels von der optischen Brechzahl des Mediums deutlich zu machen, stellen die Schülerinnen und Schüler im nächsten Schritt mit Algodoo das Experiment mit dem Quader nach. In dieser selbst erstellten Simulation ändern sie den Brechungsindex des Quaders und sind aufgefordert, für vier verschiedene Brechungsindizes den Grenzwinkel der Totalreflexion zu finden.

In der Einstiegs-Station liegt der Schwerpunkt auf der Verknüpfung des folgenden Schülerlabortages mit dem Phänomen der Brechung, die bereits im Unterricht behandelt worden sein sollte. Es wird aufgegriffen, welche Bedingungen für die Totalreflexion erfüllt sein müssen, damit die im Weiteren vorgestellten Anwendungen von den Schülern verstanden und mit dem bestehenden Wissen vernetzt werden können.

### 3.2. Der Brillant

An vielen Schmuckstücken finden sich glitzernde Steine. Die wertvollsten unter ihnen sind Diamanten. Der Wert eines Diamanten wird durch die sogenannte 4C-Regel bestimmt. Die vier Cs stehen für Colour (Farbe), Cut (Schliff), Clarity (Reinheit) und Carat (Gewicht). Auf die optischen Eigenschaften haben aber nur die ersten drei Kriterien einen Einfluss, wobei die Farbe hier eine untergeordnete Rolle spielen soll. Eine beliebte Art, den Diamanten zu schleifen, ist die Brillantform, die im Rahmen dieser Station genauer betrachtet werden soll.

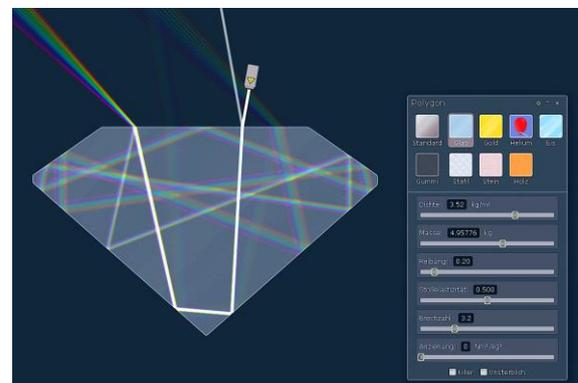
Zunächst betrachten die Schülerinnen und Schüler Bilder von echten Brillanten sowie Modelle aus Glas bzw. Plexiglas in unterschiedlicher Größe. Sie stellen fest, dass Brillanten auf besondere Weise funkeln. Sie erhalten die Information, dass die untere Spitze des Diamanten für gewöhnlich in der Fassung des Schmuckstücks steckt und sollen anschließend mithilfe eines Laserpointers bzw. einer Laserwasserwaage die Modelle untersuchen [9]. Insbesondere steht den Schülerinnen und Schülern auch ein flaches, „zweidimensionales“ Modell eines Brillanten zur Verfügung, das in Abbildung 2 zu sehen ist. Dabei lässt sich die Eigenschaft des Brillanten finden, dass gerade oder schräg von oben einfallendes Licht an der Unterseite des Brillanten totalreflektiert wird und auch wieder aus der Oberseite des Brillanten ausfällt. Diese Eigenschaft macht den Schliff besonders beliebt, weil durch Schliff und Reinheit die Lichtausbeute und damit das „Feuer“ des Brill-



**Abb. 2:** Mit einer Laserwasserwaage wird von oben in ein flaches Brillantenmodell aus Plexiglas gestrahlt.

lanten besonders intensiv ist. Da das Modell, mit dem die Schülerinnen und Schüler arbeiten, aus Plexiglas einen Brechungsindex von  $n_{plexi} = 1,49$  hat und Diamant einen Brechungsindex von  $n_{diamant} = 2,42$  [10] besitzt, kommt es beim Modell auch dazu, dass Licht, das mit einer Laserwasserwaage von oben in das flache Modell eingestrahlt wird, auch auf dessen Unterseite austreten kann.

Ein solches Modell aus echtem Diamant herzustellen ist natürlich nicht möglich, weshalb an dieser Stelle wieder auf eine Simulation in Algodoo ausgewichen wird. In der Simulation ist, wie in Abbildung 3 zu sehen, die Form des Brillanten mit den korrekten Winkeln schon vorbereitet [5, 9]. Das zuvor in Realität durchgeführte Experiment wird mit dem Programm nachgestellt und anschließend der Bre-



**Abb. 3:** Zweidimensionale Simulation eines Brillanten mit einfallendem weißen Licht, das vielfach reflektiert wird, in Algodoo

chungsindex des Körpers von dem von Glas auf den von Diamant gestellt. Das Brechungs- und Totalreflexionsverhalten des Brillanten wird für verschiedene Indizes betrachtet und beschrieben. In diesem Zusammenhang kann man in der Simulation auch weißes Licht in den Brillanten einfallen lassen und die Dispersion bei Brechung und Reflexion beobachten (vgl. Abb. 3). In einer weiteren Simulation sollen die Schülerinnen und Schüler den Querschnitt des Brillanten deformieren und die Konsequenzen einer zu breiten oder zu schmalen Form des Brillanten beschreiben, um damit zu verstehen, wieso ausgerechnet diese Form angewendet wird [5, 9].

In dieser Station wird die Brücke vom Konkreten zum Abstrakten geschlagen. Nachdem die Schülerinnen und Schüler mit Bildern von echten Brillanten sowie greifbaren Glasmodellen arbeiten, gehen sie zum flachen Modell und schließlich zur Simulation über. Die zuvor im Einstieg gelegte Grundlage bezüglich der Erscheinungsbedingung von Totalreflexion wird hier im Kontext des Brillanten aufgegriffen und angewandt. Durch die Verformung entstehen andere Auftreffwinkel der Lichtstrahlen im Inneren des Brillanten, die mit dem zuvor ermittelten Grenzwinkel verknüpft werden und so die Erklärung liefern, wieso der Brillant ausgerechnet diese Form hat.

### 3.3. Ein einzelner Lichtleiter

An vielen verschiedenen Stellen werden heute Lichtleiter technisch eingesetzt. Beispielsweise zur Datenübertragung im Internet per Glasfaser oder zur Beleuchtung in Lampen. Dass man Glasfasern nutzen kann, um Licht in bestimmte Bahnen zu lenken, stellen die Schülerinnen und Schüler im ersten Versuch fest. Darin füllen sie ein Becherglas, das in Bodennähe seitlich eine Öffnung hat, die zunächst verschlossen ist, mit Wasser und richten einen Laser so aus, dass er durch das Gefäß von innen genau in die Mitte der Öffnung strahlt (vgl. Abb. 4) [11]. Entfernt man den Korken aus der Öffnung, tritt das Wasser in einer Parabel aus. Der Lichtstrahl folgt der Kurve, die der Wasserstrahl vorgibt, indem er an der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft mehr-

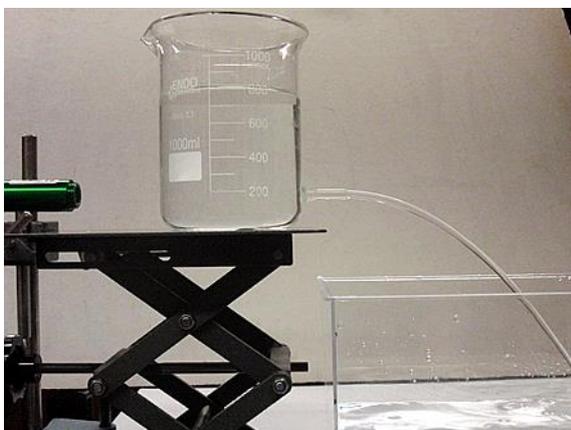


Abb. 4: Versuchsaufbau zum Lichtleiter

fach totalreflektiert wird. Falls der Raum, in dem man experimentiert, zu hell ist, kann man einen Tropfen Milch in das Becherglas geben, um den Strahlengang des Lichts im Wasser sichtbar zu machen. Auf dem Grund des Beckens, in dem man das Wasser wieder auffängt, wandert ein Lichtfleck in der Farbe des Laserlichts langsam mit dem schwächer werdenden Wasserstrahl auf das Becherglas zu.

Um den Lichtweg im Wasserstrahl besser zu illustrieren, füllen die Schülerinnen und Schüler im nächsten Versuch eine transparente Flasche zu etwa einem Drittel mit Wasser, geben einen Tropfen Milch dazu und schütteln die Flasche (vgl. Abb. 5) [12, 13]. Anschließend sollen sie mit einem Laserpointer so durch den Flaschenboden leuchten, dass der Lichtstrahl von unten auf die Wasseroberfläche trifft und an dieser sowie der unteren Grenzfläche mehrfach totalreflektiert wird. Zwischen diesen beiden Versuchen sollen die Ähnlichkeiten aufgezeigt werden.

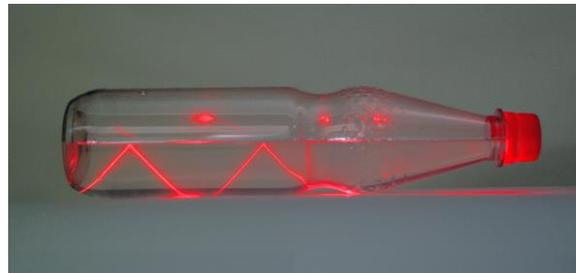
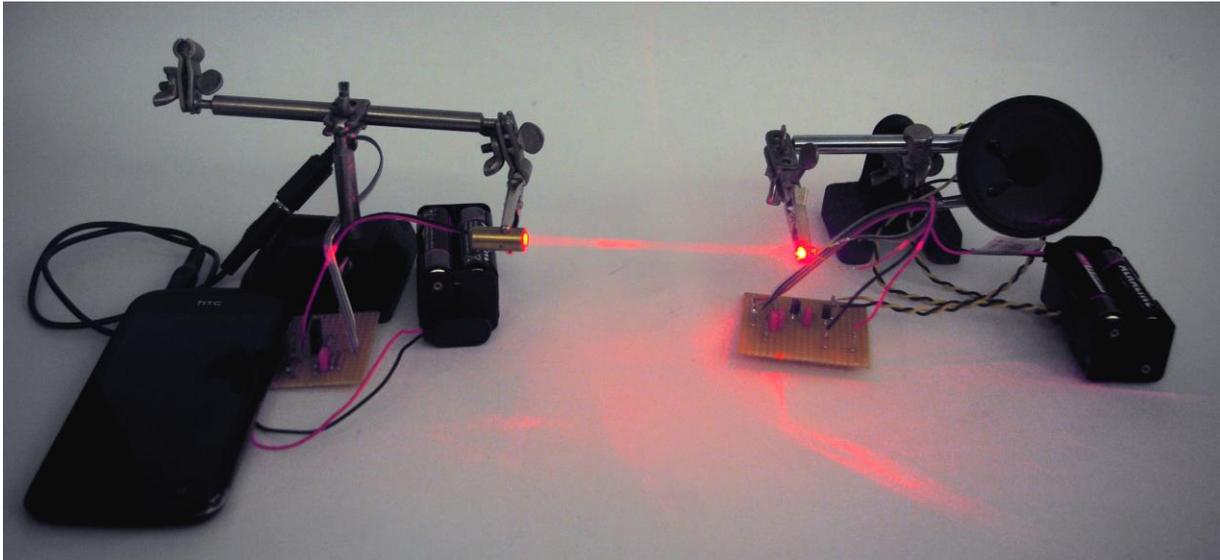


Abb. 5: Ein Laserstrahl wird von unten links in eine Flasche mit Wasser eingekoppelt und in deren Inneren mehrfach totalreflektiert

Der nächste Versuchsteil findet wieder mittels einer Simulation statt. Zwei Laserpointer und eine Sensorbox sind so angeordnet, dass eine Wand zwischen ihnen liegt. Die Schülerinnen und Schüler sollen aus vorgegebenen Teilen, die sie noch verformen können, eine Lichtleitung so bauen, dass die Wand umgangen und der Sensor beleuchtet wird. Auf diese Weise wird das zuvor Gelernte in der Simulation angewandt.

Als letzter Versuch wird noch der Transfer zur Datenübertragung per Lichtleiter geschaffen. Dazu werden der Gruppe ein Sender und ein Empfänger gegeben. Der Sender wandelt ein Audio-Eingangssignal – etwa aus einem mp3-Player oder einem Handy – in ein Lichtsignal um. Dazu wird ein Laserstrahl amplitudenmoduliert [14]. Der Empfänger besteht aus einem Fototransistor und einer Verstärkerschaltung, an die ein Lautsprecher angeschlossen ist. Zunächst werden Sender und Empfänger im Abstand von einigen Zentimetern bis Metern so aufeinander ausgerichtet, dass der Laserstrahl direkt auf den Fototransistor trifft und die Musik per Lautsprecher hörbar wird. Dieser Aufbau ist in Abbildung 6 zu sehen. Hält ein Schüler nun seine Hand zwischen Sender und Empfänger oder läuft durch den Strahlengang, so wird das Signal unterbrochen und die Musik verstummt abrupt. Die Schaltung



**Abb. 6:** Von links nach rechts: Das Audiosignal des Smartphones wird per Laserstrahl auf einen Fototransistor und anschließend an einen Lautsprecher übermittelt. Dabei ist hier der Strahl mittels Nebel sichtbar gemacht.

selbst wird mit den Schülern nicht weiter thematisiert, um sie nicht zu überfordern, da die Elektronik im Unterricht bis dato normalerweise noch nicht behandelt wurde. Nachdem die Schülerinnen und Schüler durch wiederholtes Unterbrechen des Signals sicherstellen konnten, dass die Musik tatsächlich „per Licht“ übertragen wird, können sie am Sender und am Empfänger je ein Ende einer Glasfaser anbringen und feststellen, dass das Licht nun um verschiedene Hindernisse gelenkt werden kann und Sender und Empfänger nicht mehr aufeinander ausgerichtet sein müssen.

Gerade der letzte Teilversuch der Station eignet sich besonders gut, um den Bezug des physikalischen Themas Totalreflexion zum Kontext „Physik und Technik“ herzustellen. Das Stichwort „Glasfasernetz“ wird den Schülern aus dem Alltag und entsprechenden öffentlichen Debatten der letzten Zeit bekannt sein, sodass sie hier ein teilweises Verständnis einer modernen und für sie persönlich auch relevanten Technologie entwickeln können.

### 3.4. Der Regensensor

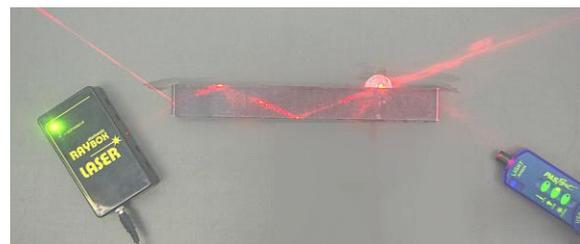
Eine technische Anwendung der Totalreflexion, die heute recht weit verbreitet ist, ist der Regensensor, über den die Wischaktivität des Scheibenwischers von Autos geregelt wird. Um die Verknüpfung der Experimente der Station mit der tatsächlichen Gerätschaft „Regensensor“ zu bilden, sollen sich die Schülerinnen und Schüler zunächst das ausgebaute



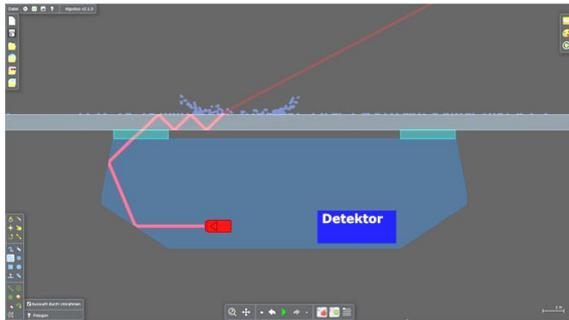
**Abb. 7:** Ausgebauter Regensensor, Foto: Thomas Geßner

Bauteil genauer anschauen (vgl. Abb. 7) [13]. Es bleibt im Verlauf der folgenden Experimente greifbar, damit einzelne Modellelemente immer wieder auf das tatsächliche Bauteil bezogen werden können.

Mithilfe eines rechteckigen Plexiglasstabes, der als Analogon für die Windschutzscheibe des Autos steht, wird ein Modell eines Regensensors aufgebaut [13]. Dabei wird seitlich in den Stab ein Laserstrahl so eingekoppelt, dass er an der Ober- und Unterseite mehrfach totalreflektiert wird und an der Seite des Stabes wieder austritt (vgl. Abb. 8). Der austretende Lichtstrahl wird wiederum mit einem Lichtsensor aufgefangen und die Beleuchtungsstärke gemessen. Die Messwerte werden am Computer dargestellt. Nun wird nach und nach Wasser oder Glycerin, das sich aufgrund seiner wesentlich höheren Viskosität besser eignet, auf die Oberseite des Plexiglasstabes getropft und die Schülerinnen und Schüler sollen erklären, wie man es sich zunutze machen kann, dass bei zunehmender Menge an Tropfen die gemessene Intensität des auf dem Sensor ankommenden Laserlichts weiter abnimmt. Die Schülerinnen und Schüler legen einen kleinen Halbzylinder auf die Oberseite des Stabes und benetzen die Kontaktstelle mit Glycerin, damit kein Luftspalt auftritt. So lässt sich wie in Abbildung 8 beobachten, dass das Licht aus dem Stab austritt und an der abgerundeten Oberfläche des Modelltropfens austritt und so nicht mehr auf den Lichtsensor fallen kann [13].



**Abb. 8:** Modell eines Regensensors, auf dem ein Halbzylinder als „Regentropfen“ liegt.



**Abb. 9:** Simulation zum Regensensor in Algodoo

Damit die Schülerinnen und Schüler sehen können, wie der Infrarotlaser, der bei Autos verbaut ist, in die Scheibe eingekoppelt wird, sollen sie erneut das Regensensorbauteil betrachten und ein Bild, das zeigt, wie der Sensor am Fuß des Rückspiegels an der Windschutzscheibe befestigt ist. Im Gegensatz zum vorher genutzten Modell wird der Laserstrahl nicht seitlich, sondern mithilfe von Silikonkissen in die Scheibe eingekoppelt. Dieser Aufbau wird zu guter Letzt mithilfe einer vorbereiteten Simulation in Algodoo betrachtet (vgl. Abb. 9) [5]. Wenn die Simulation gestartet wird, fallen Regentropfen auf die Scheibe und es lässt sich erkennen, dass der Laserstrahl aus der Scheibe heraus und damit weg vom Detektor gelenkt wird. Die Schülerinnen und Schüler können weitere Regentropfen erstellen und auf die Scheibe fallen lassen, in dem sie ein beliebiges Objekt in der Simulation erstellen und dann mittels der Option „Auswahl verflüssigen“ zu Wasser transformieren.

Das Experimentieren mit dem Regensensor und entsprechenden Modellen ist seit etwa einem Jahrzehnt bekannt [13]. Dennoch stellt diese Anwendung mittlerweile mehr denn je eine zeitgemäße technische Nutzung der Totalreflexion dar. Während zu Beginn des Millenniums der Regensensor in den meisten Modellen noch zur Sonderausstattung von Autos gehörte, ist er mittlerweile in vielen Neufahrzeugen serienmäßig verbaut. Das lässt vermuten, dass mehr Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit haben, einen solchen Regensensor im normalen Betrieb zu sehen und das Gelernte so mit dem Alltag zu verbinden.

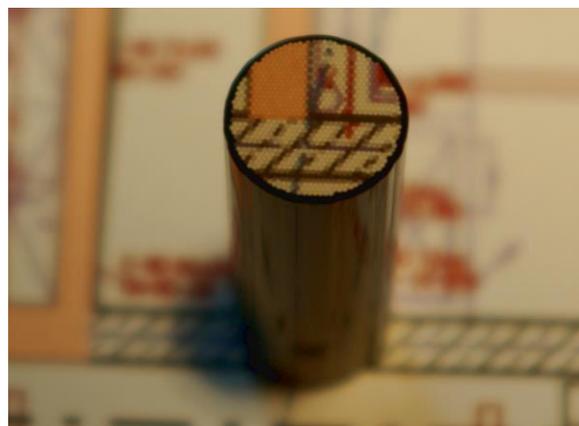
### 3.5. Die Bildübertragung

Um die Faszination für optische Bildübertragung mittels Totalreflexion zu entwickeln, dürfen die Schülerinnen und Schüler zunächst Bildleitstäbe, wie den in Abbildung 10, genauer betrachten. Sie stellen sie dazu mit einem der Enden auf ein Bild oder einen Text und sehen dann am anderen Ende den Bild- bzw. Textausschnitt auf dem Stab. Bei genauerer Betrachtung des Bildleitstabes lässt sich erkennen, dass das Bild bzw. der Text an der Oberseite des Stabes „verpixelt“ bzw. gerastert zu sein scheint [15]. Das lässt sich dadurch erklären, dass der Bildleitstab aus vielen dünnen, nebeneinander liegenden Lichtleitfasern besteht, die jeweils wie ein Pixel eines Bildschirms wirken: Sie übertragen je-

weils nur einen Farbfleck. Das lässt sich so erklären, dass Licht aus der Umgebung von oben in die einzelnen Fasern des Bildleiters eintritt, nach unten wandert und auf das Papier trifft. Von dort wird das Licht gestreut und geht durch die Fasern wieder nach oben. Aus dem Licht, das jeweils am oberen Ende der Lichtleitfasern austritt, setzt sich schließlich ein Bild zusammen. Aus den vielen nebeneinander liegenden Farbflecken setzt sich dann das Bild bzw. die Buchstaben zusammen, die man auf der Oberseite des Stabes erkennen kann. Wenn die Fasern des Stabes aufgeweitet werden, kann das Bild auch vergrößert werden. Aus dieser Beobachtung sollen die Schülerinnen und Schüler auf den Aufbau eines Bildleiters schließen und damit schon auf Vor- und Nachteile aufmerksam gemacht werden. Mittels verschiedener Fragen wird anschließend der genaue Strahlengang betrachtet und die Rolle der Totalreflexion in diesem Zusammenhang thematisiert.

Als klassische Anwendung von Bildleitern wird das Endoskop betrachtet [16]. In diesem, meist in der Medizin verwendeten Gerät arbeitete man früher mit Bildleitern, heutzutage eher mit einer miniaturisierten Kamera. Lichtleiter werden höchstens noch zur Beleuchtung genutzt. Dennoch ist diese technische Umsetzung interessant, da mit flexiblen Bildleiterkabeln gearbeitet wird, bei denen es wichtig ist, dass die einzelnen Fasern an beiden Enden des Leiters in der gleichen Ordnung sind. Um dieses Prinzip, sowie die Tatsache, dass das Licht nicht von einer Faser in die benachbarte treten darf, zu veranschaulichen, arbeiten die Schülerinnen und Schüler wieder mit Algodoo. Im Programm ist ein Modell eines Endoskops nachgebaut, das jedoch Fehler aufweist [5]. In vier Szenarien gilt es den Fehler zu finden, zu beseitigen und zu erklären, was kaputt war und wieso das Endoskop nicht mehr richtig funktioniert hat.

Anschließend soll mit einem echten Endoskop der Inhalt einer geschlossenen Kiste untersucht werden. So wird das zuvor modellhaft Beschriebene in der Praxis angewendet und verdeutlicht, in welchem Kontext die Technik angewandt wird. Schließlich wird heutzutage nicht mehr nur in der Medizin, sondern auch im Handwerk mit Endoskopen gear-



**Abb. 10:** Nahaufnahme eines Bildleitstabes

beitet. Beispielsweise, um in Rohre oder Hohlräume in Wänden zu schauen, die sonst nicht einsehbar wären.

Zum Abschluss der Station arbeiten die Schülerinnen und Schüler mit zwei Steckbrettern [17]. Diese weisen jeweils vier mal vier Löcher auf, die quadratisch angeordnet sind und in denen jeweils eine Lichtleitfaser befestigt werden kann. Wenn im ersten Brett alle Fasern befestigt sind, kann eine Folie darüber gelegt werden, die beispielsweise die untere Hälfte rot einfärbt. Nun müssen die Enden der Fasern im zweiten Brett so gesteckt werden, dass ebenfalls alle Enden in der unteren Hälfte rot leuchten, wenn man Brett 1 mit einer Lampe bescheint. Anschließend kann ein anderes Muster genutzt werden, um die Fasern von Brett 1 zu bedecken (z. B. ein Dreieck). Auf Brett 2 müssen die Enden dann vermutlich wieder umgesteckt werden, um das gleiche Bild zu erhalten. Nach mehreren Durchgängen lässt sich feststellen, dass die Ordnung der Fasern wesentlich ist, um die Funktion des Bildleiters sicher zu stellen.

Auch wenn moderne Endoskope heute nicht mehr mit klassischen Bildleitern arbeiten, ist es für Schüler dennoch interessant zu sehen, dass Bilder auch ohne komplizierte Elektronik übermittelt werden können. In der Regel sind nämlich zur Bildübertragung nur Kameras bekannt. Außerdem lässt sich, mit den dargestellten Versuchen, leicht die Technik und deren Funktionsweise aufzeigen, die hinter dieser Form der Bildübertragung steckt.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Der hier dargestellte Versuchsablauf im Schülerlabor soll den Lehrkräften zeigen, dass der Einsatz des Computers, und auch speziell der von Simulationen und Simulationsbaukästen, keinesfalls auf Kosten des händischen Experiments gehen muss, sondern ganz im Gegenteil sogar Hand in Hand mit diesem gehen kann. Die Ergänzung durch Algodoo bietet verschiedene Möglichkeiten, das Gesehene zu hinterfragen und zu verstehen, die andernfalls schwer fallen würde.

Im Goethe-Schülerlabor Physik wird begleitend eine Studie zur Einstellung von Lehrkräften zum Computereinsatz im Physikunterricht durchgeführt [3]. Dabei geht es neben der quantitativen Erfassung des Nutzungsverhaltens der Physiklehrkräfte auch um die Frage, ob sie in ihrer Rolle als beobachtende Begleiter im Schülerlabor Ideen und Anregungen für den eigenen Fachunterricht aufnehmen. Dafür ist der hier vorgestellte Labortag besonders interessant, da nach den bisherigen Erkenntnissen zwar Simulationen bzw. Animationen von mehr als der Hälfte aller Physiklehrkräfte mindestens einmal pro Woche eingesetzt werden, aber Simulationsbaukästen, wie Algodoo, in Schülerhand dabei einen sehr geringen Anteil aufweisen [3]. Die Einschätzungen zu Vorteilen und Hindernissen in diesem Zusammenhang werden per Interview aufgenommen und in Hinsicht

auf die Frage, ob der Schülerlaborbesuch für die begleitenden Lehrkräfte als indirekte Fortbildung dienen kann, analysiert.

#### 5. Literaturverzeichnis

- [1] HERTEL, Ingolf ; GROSSMANN, Siegfried: *Physik in der Schule*. 1. Auflage (Studien der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V)
- [2] MUCKENFUß, Heinz: *Lernen im sinnstiftenden Kontext : Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts*. Pädag. Hochsch., Diss.--Weingarten, 1995. 1. Aufl. Berlin : Cornelsen, 1995
- [3] WENZEL, Michael ; WILHELM, Thomas: Erhebung zum Einsatz Neuer Medien bei Physik-Gymnasiallehrern. In: GROETZEBACH, H.; NORDMEIER, V. (Hrsg.): *PhyDid B – Didaktik der Physik : Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik in Wuppertal 2015*, 2015
- [4] ALGORYX: *Algodoo* : Algodoo Simulation, 2008-2013. URL [www.algodoo.com](http://www.algodoo.com) – Überprüfungsdatum 2016-04-20
- [5] WENZEL, Michael ; WILHELM, Thomas: *Simulationen zu Anwendungen der Totalreflexion*. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule* 64 (2015), Nr. 5, S. 34–38
- [6] GIRWIDZ, Raimund: Neue Medien und Multimedia. In: KIRCHER, Ernst; GIRWIDZ, Raimund; HÄUBLER, Peter (Hrsg.): *Physikdidaktik : Theorie und Praxis*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer, 2009 (Springer-Lehrbuch), S. 423–450
- [7] Die doppelten Finger, Bd. 2. In: HILSCHER, Helmut (Hrsg.): *Physikalische Freihandexperimente*. 3. Aufl. Köln : Aulis-Verl. Deubner, 2010, S. 823–830
- [8] WILHELM, Thomas: *Brechung mit der Laserwasserwaage*. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule* 58 (2009), Nr. 1, S. 5–8
- [9] WILHELM, Thomas ; ZANG, Markus: *Das Glitzern der Brillanten*. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule* 60 (2011), Nr. 8, S. 12–17
- [10] KROSS, Jürgen: Optische Abbildung. In: NIEDRIG, Heinz (Hrsg.): *Optik : Wellen- und teilchenoptik*. 10. Aufl. Berlin, New York : Walter De Gruyter, 2004 (Lehrbuch der Experimentalphysik, 3), S. 37–187
- [11] Eine Gießkann mit Pflänzchenbeleuchtung, Bd. 2. In: HILSCHER, Helmut (Hrsg.): *Physikalische Freihandexperimente*. 3. Aufl. Köln : Aulis-Verl. Deubner, 2010, S. 815–820
- [12] KOPPELMANN, Gerd ; REHNERT, H.: *Demonstrationsversuche zur Totalreflexion und zur Lichtleitung in optischen Fasern*. Erweiterte Darstellung eines Experimentalvortra-

- ges, gehalten auf der Tagung des FA-Didaktik der Physik Gießen (März 1986). In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule* 38 (1989), Nr. 2, S. 9–14
- [13] GEBNER, Thomas ; WILHELM, Thomas: *Der Regensensor im Unterricht*. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule* 57 (2008), Nr. 1, S. 24–31
- [14] KUHN, Wilfried (Hrsg.): *Handbuch der experimentellen Physik : Sekundarbereich II : Ausbildung, Unterricht, Fortbildung : Optik*. 2. Aufl. Köln : Aulis-Verl. Deubner, 1993 (Handbuch der experimentellen Physik Sekundarbereich II 4/II)
- [15] KOPPELMANN, Gerd ; REHNERT, H.: *Experimente mit Lichtleitfasern und technische Anwendungen*. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule* 38 (1989), Nr. 2, S. 15–22
- [16] NAUMANN, Helmut ; SCHRÖDER, Gottfried: *Bauelemente der Optik : Taschenbuch d. techn. Optik ; mit 74 Tab. 5.*, überarb. u. erg. Aufl. München : Hanser, 1987
- [17] VOLKMER, Martin: *Herstellung eines faser-optischen Bildleitermodells*. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik 7* (1996), Nr. 35, S. 28–33