

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
2 Das Schülerlabor	5
2.1 Schülerlabore als außerschulische Lernorte	5
2.2 Light and Schools	7
3 Physikalische Grundlagen	9
3.1 Reflexion und Brechung von Licht	9
3.2 Funktionsweise eines Regensensors	12
4 Physikunterricht in der Mittelstufe	15
4.1 Optik in den Hamburger Rahmenplänen	15
4.2 Experimentieren im Physikunterricht	17
4.3 Das Thema Optik in Schulbüchern der Mittelstufe	19
5 Experimente zum Regensensor	22
5.1 Lasersicherheit	22
5.2 Die Totalreflexion	23
5.2.1 Apparative Grundlagen	23
5.2.2 Didaktische Überlegungen	24
5.3 Der Regensensor	26
5.3.1 Apparative Grundlagen	26
5.3.2 Didaktische Überlegungen	29
6 Fazit	31
Literaturverzeichnis	32
Anhang	33
A1 Arbeitsblätter	34
A2 Messreihe zur Anzahl der Reflexionen	38
A3 Der Schmitt-Trigger.....	41
A4 Kopie der elektronischen Quellen	42

1 Einleitung

Bereits der frühe Physikunterricht in der Mittelstufe kann sich stark auf die weitere Interessenentwicklung der Schüler auswirken. Viele Schüler erleben den Physikunterricht als kompliziert und das darin erworbene Wissen als unnötig, wodurch das Unterrichtsfach weithin als unbeliebt gilt. Aus diesem Grund sind Erfolgserlebnisse und die Arbeit mit für den Alltag relevanten Phänomenen und Experimenten besonders wichtig. In der vorliegenden Arbeit wurde ein Schülerversuch für die Mittelstufe entwickelt. Dies fand im Rahmen des Schülerlabors Light and Schools statt. Der Versuch hat demnach, wie schon das Schülerlabor selbst, das Ziel, den Schülern die Relevanz der Physik für den gesellschaftlichen und technischen Fortschritt nahezubringen.

Der Schülerversuch ist dem Bereich Optik zuzuordnen und befasst sich im Speziellen mit der Brechung und Totalreflexion von Licht. Dies ist in Hamburg Thema des Physikunterrichts der 7./8. Klasse. In dem Versuch wenden die Schüler ihr in der Schule erlangtes Wissen über die Themen Brechung und Totalreflexion von Licht auf den eigenständigen Bau eines Regensors an. Der Regensor, wie er in Pkw Verwendung findet, ist als Schülerversuch aus verschiedenen Gründen gut geeignet. Zum Einen gehört ein Regensor heute bei vielen Pkw zur Ausstattung und ist somit ein alltägliches und bei vielen bekanntes technisches Gerät. Durch den Bezug zu den in der Mittelstufe gelehrt Themen können die Schüler die Physik als relevant für den heutigen Stand der Technik erleben. Dies trägt dazu bei, dass das negative Bild, welches viele Schüler von der Physik entwickeln, bereits in der Mittelstufe verändert werden kann. Des Weiteren ist das physikalische Prinzip, auf dem die Funktionsweise des Regensors beruht, so grundlegend, dass es von den Schülern der Mittelstufe anhand ihres Schulwissens verstanden werden kann. Einzig die für den Betrieb des Scheibenwischers nötige Elektronik übersteigt das Wissen der Schüler bei weitem. Doch da diese für den Versuch nur nebensächlich ist, ist ein genaues Verständnis der Schaltung hier nicht vonnöten. Aufgrund der relativ einfachen Physik und des dennoch komplex wirkenden technischen Charakters eines Regensors bietet der Bau eines solchen den Schülern ein Erfolgserlebnis und stellt eine Erfahrung dar, an die sich die Schüler erinnern werden.

Da der Versuch im Rahmen des Schülerlabors Light and Schools entwickelt wird, werden in dieser Arbeit zunächst Informationen zu Schülerlaboren in Deutschland und zu dem Projekt Light and Schools speziell vorgestellt. Daraufhin folgt eine Darstellung der physikalischen Grundlagen, die der Reflexion und Brechung von Licht und der Funktionsweise eines Regensors zugrunde liegen. Im Folgenden werden die Besonderheiten des

Physikunterrichts der Mittelstufe erarbeitet. Dabei findet das Thema Optik in den Hamburger Rahmenplänen, das Experimentieren mit Schülern und die Aufbereitung des Themas in den Schulbüchern der Mittelstufe Beachtung. Den fünften Teil dieser Arbeit bildet die Darstellung des Schülerversuchs zum Regensensor. Dieser Schülerversuch ist in die beiden Teile Totalreflexion und Regensensor gegliedert. Da die Schüler in beiden Versuchsteilen mit einem Laser arbeiten, wird in diesem Abschnitt zunächst das Thema Lasersicherheit bearbeitet. Daraufhin folgen zu beiden Versuchsteilen jeweils eine Beschreibung der apparativen Grundlagen und eine Darstellung der didaktischen Überlegungen zu diesen Versuchen. Den Abschluss bildet das Fazit. Im Anhang dieser Arbeit findet sich ein für den Schülerversuch ausgearbeitetes Arbeitsblatt.

Aus Gründen der Lesbarkeit wird in dieser Arbeit auf die Nennung der weiblichen Form verzichtet. Diese ist stets gleichermaßen gemeint.

2 Das Schülerlabor

Das im Rahmen dieser Arbeit beschriebene Experiment wurde im Rahmen des Schülerlabors Light and Schools entwickelt. In diesem Abschnitt werden zunächst allgemeine Informationen zu den Schülerlaboren in Deutschland dargestellt. Daraufhin wird das Schülerlabor Light and Schools des Hamburger Instituts für Laser-Physik vorgestellt.

2.1 Schülerlabore als außerschulische Lernorte

Schülerlabore sind außerschulische Lernorte, in denen Schulklassen die Möglichkeit haben naturwissenschaftliche Experimente in authentischer Umgebung durchzuführen. Dabei buchen Schulen Unterrichtseinheiten oder Projektstage in den Schülerlaboren. Neben der aktiven Arbeit an Experimenten können Schüler hier auch die Naturwissenschaften als moderne Wissenschaftsfelder wahrnehmen (Kircher 2009, S. 799 f.). In Deutschland gibt es derzeit etwa 300 Schülerlabore zu den Fächern Physik, Biologie und Chemie, die zum größten Teil von Universitäten und Forschungseinrichtungen betrieben werden (Wein 2011).

In der Schule gelten die Naturwissenschaften häufig als unbeliebte Fächer, da sie als realitätsfern und abstrakt wahrgenommen werden. An dieser Stelle setzen die Schülerlabore als Verbindung zwischen Schule und Wissenschaft an. Anstatt lediglich in der Schule den scheinbar abgeschlossenen Charakter der Naturwissenschaften wahrzunehmen, haben die Schüler in diesen Laboren die Möglichkeit Wissenschaft experimentell zu erleben. Weiterhin erhalten sie Einblicke in die Arbeitsweisen der Forschung und nehmen somit auch den forschenden Charakter von Naturwissenschaften wahr (Kircher 2009, S. 800).

Durch ihren Aufbau verfolgen Schülerlabore das Ziel, das Interesse der Schüler an Naturwissenschaften im Ganzen und den bearbeiteten Themen im Einzelnen zu steigern. Weiterhin soll erreicht werden, dass Schüler eine gesteigerte Wahrnehmung der Bedeutung von Naturwissenschaften für die aktive Forschung entwickeln. Naturwissenschaften sollen nicht nur als Unterrichtsfächer, sondern auch als moderne Forschungsfelder verstanden werden. Weiterhin streben die Schülerlabore an, dass die Schüler einen Einblick in den Beruf des Wissenschaftlers erhalten und dadurch eventuell das Interesse an einer solchen beruflichen Laufbahn geweckt wird. Dieser Aspekt spielt besonders in physikalischen Schülerlaboren eine große Rolle. Physik gilt als eines der unbeliebtesten Unterrichtsfächer,

wodurch sich nur ein geringer Anteil der Schüler für ein Studium in diesem Bereich entscheidet. Die physikalischen Schülerlabore haben demnach auch das Ziel, den Schülern das Berufsfeld eines Physikers nahezubringen (Kircher 2009, S. 801 f.).

Durch die anspruchsvollen Aufgaben und Projekte, an denen die Schüler in den Laboren teilhaben, erfahren sie eine Herausforderung. Diese steigert wiederum die Motivation, sich mit Problemen und Fragestellungen auseinanderzusetzen. Neben dieser positiven Beeinflussung der Motivation können der hohe Anspruch und die wissenschaftliche Umgebung jedoch auch zu einer Überforderung führen. Daher ist eine geeignete Anleitung wichtig, damit die Schüler erfolgreich experimentieren und eine Abwechslung vom Schulalltag erfahren können. Das Merkmal von Schülerlaboren ist der forschende Charakter, doch wird zu viel Freiheit geboten, so können die Schüler unter Umständen durch Überforderung keinen Erfolg erleben. Schülerlabore, die zu stark geführte Experimente anbieten, verlieren den Forschungscharakter der Wissenschaft. Demnach müssen die Betreiber von Schülerlaboren einen Kompromiss zwischen freiem Arbeiten und Anleitung finden. Dieser fällt in den einzelnen Schülerlaboren sehr verschieden aus. Insgesamt kann festgestellt werden, dass physikalische Labore eher ein eigenständiges Arbeiten unterstützen, wohingegen biologische Labore eher einen angeleiteten Weg wählen (Kircher 2009, S. 802 ff.).

Forschungen zur Relevanz von physikalischen Schülerlaboren haben gezeigt, dass die Effekte eines Besuchs in einem Labor wider Erwarten nicht nur von kurzfristiger Natur sind. Vielmehr wurde deutlich, dass der einmalige Besuch einer Schulklasse die Motivation und das Verständnis von dem Fach Physik zum Teil über mehrere Monate hinweg positiv beeinflusst hat. Dabei beschränkt sich diese Auswirkung nicht nur auf von vornherein motivierte Schüler, sondern auch Schüler, die weniger Interesse an Physik und dem Experimentieren gezeigt haben, wurden durch das Schülerlabor positiv beeinflusst. Ein weiteres unerwartetes Ergebnis der Forschung ist die Wirkung von Schülerlaboren auf Jungen und Mädchen. Trotz der starken gender-spezifischen Unterschiede bezüglich des Interesses und des Selbstverständnisses in dem Fach Physik profitieren Jungen und Mädchen nahezu gleich stark von einem Besuch in einem physikalischen Labor. Dabei ändert sich vor Allem der Blick der Mädchen auf das Unterrichtsfach Physik, so dass die Differenz zwischen Jungen und Mädchen auch langfristig verringert wird. Hinzu kommt, dass die Selbstständigkeit, mit der die Schüler an den Experimenten arbeiten, und die wahrgenommene Relevanz der eigenen Handlungen besonders den leistungsschwächeren Schülern zugutekommen. Die durch Forschungen erkannten langfristigen Wirkungen von Schülerlaboren auf Schüler sind bei sehr schulnah ausgerichteten Laboren wesentlich geringer als bei solchen, die viel Wert auf Eigenständigkeit legen. Dies scheint daran zu

liegen, dass die Abweichung vom Schulalltag als motivierend empfunden wird (Kircher 2009, S. 805 ff.).

2.2 Light and Schools

Das Schülerlabor Light and Schools wird vom Institut für Laserphysik (ILP) in Hamburg betrieben. Entstanden ist es in einer Kooperation der Sophie-Barat-Schule und des ILP. Schulklassen wird hier die Möglichkeit gegeben eigenständig an Versuchen in den Bereichen Licht, Laser und Optik zu arbeiten.

Das Ziel des Schülerlabors ist zum Einen das gesellschaftliche Ansehen der Physik zu verbessern. Im Zusammenhang mit Physik werden häufig Kommentare laut wie „Physik konnte ich auch nie“ oder „Physik braucht man nicht“. Diesem Bild soll in dem Schülerlabor entgegengewirkt werden, indem die Schüler die gesellschaftliche Relevanz der Physik wahrnehmen und erkennen, dass die Physik durch die Forschung auch weiterhin eine große Rolle in der Entwicklung der Gesellschaft haben wird. Zum Anderen sollen die Schüler durch das eigenständige Experimentieren und die wissenschaftliche Umgebung die Möglichkeit haben, einen anderen Blick auf die Physik als Unterrichtsfach zu erlangen. Die Erfolgserlebnisse beim Aufbauen und Durchführen von Versuchen und die wahrgenommene Relevanz der Physik als Teil der modernen Naturwissenschaften sollen dem weithin negativen Bild des Physikunterrichts entgegen wirken. Um dies zu erreichen, erhalten die Schüler durch das Arbeiten in Laboren einen Eindruck von der Physik als Wissenschaft und können das Experimentieren als wissenschaftliche Arbeitsweise wahrnehmen. Des Weiteren wird auch das Ziel verfolgt bei einigen interessierten Schülern das Interesse an einem Physikstudium zu wecken und somit den Nachwuchs zu fördern. Die Schülergruppen, die Light and Schools besuchen, werden durch Mitarbeiter des ILP betreut. Durch diesen Kontakt zu den Wissenschaftlern sammeln die Schüler gleichzeitig Eindrücke von diesem Beruf.

Das Angebot des Schülerlabors enthält auch vorbereitende Vorlesungen im Unterricht und Führungen durch die Labore des Instituts. Durch eine genaue Absprache mit den Schulen über den Ablauf des Aufenthalts, kann das Schülerlabor optimal in den Unterricht integriert werden, wodurch es effektiv zum Lernerfolg der Schüler beiträgt.

Bislang sind in dem Schülerlabor Light and Schools die Experimente Interferometrie, Festkörperlaser, Akusto-optischer Effekt und das Doppelspalt-Experiment für die Oberstufe vorhanden. Ein Angebot für die Mittelstufe ist derzeit in Planung. Die Durchführung der Experimente erfolgt in Gruppen von maximal drei Schülern und nimmt etwa drei Stunden in Anspruch. Da die Experimente zum Teil tatsächlich forschungsrelevante Aspekte haben, wird hier ein deutlicher Bezug zu der aktuellen Forschung hergestellt.

3 Physikalische Grundlagen

Es gibt verschiedene Bauweisen für Regensensoren, die in Pkw zum Einsatz kommen. Der für das hier entwickelte Experiment genutzte Typ beruht auf dem Prinzip der Totalreflexion von Licht an der Grenzfläche zwischen Glas und Luft. In diesem Abschnitt werden zunächst die physikalischen Grundlagen der Reflexion und Brechung von Licht erläutert. Die Schüler in der Mittelstufe sind lediglich mit der Strahlenoptik vertraut, da die Beschreibung der Phänomene, an denen in diesen Jahrgangsstufen gearbeitet wird, mit dieser vereinfachten Darstellung möglich ist. Die hier folgenden Erklärungen greifen dennoch auf den Wellencharakter des Lichts zurück, da ohne diesen die Erklärung für das Auftreten von Brechung nicht möglich ist. Die physikalischen Grundlagen von der Reflexion und Brechung von Licht, wie sie in dem folgenden Kapitel dargestellt sind, finden sich in vielen Lehrbüchern, wie zum Beispiel in Giancoli (2006). Auf die physikalischen Ausführungen folgt eine Darstellung des Aufbaus und der Funktionsweise eines Regensensors.

3.1 Reflexion und Brechung von Licht

Bei einem Blick in den Spiegel scheint es einem, als schaue das eigene Spiegelbild von der anderen Seite heraus. Trifft Licht auf eine Armbanduhr, so kann häufig ein reflektierter Lichtstrahl an der Wand entdeckt werden. Der Blick von einem Sprungturm im Schwimmbad erweckt den Eindruck, als wäre das Becken nur wenige Zentimeter tief. Dies sind alltägliche Erfahrungen, mit denen wahrscheinlich jeder konfrontiert wird. Phänomene wie die Reflexion von Licht und optische Täuschungen, die auf der Lichtbrechung beruhen, lassen sich mit den Konzepten der Strahlenoptik beschreiben. Dadurch sind diese Themen Teil des Physikunterrichts der Mittelstufe.

Die Strahlenoptik, häufig auch geometrische Optik genannt, beruht auf dem Konzept, dass Licht sich auf geradlinigen Bahnen bewegt. Dabei werden Lichtbündel idealisiert in Form von sehr schmalen Strahlen dargestellt. Alltägliche Beobachtungen bestätigen, dass sich Licht in homogenen Medien geradlinig ausbreitet. Dies unterstützt die Darstellungsweise der Strahlenoptik. Ein Lichtstrahl, der in der Strahlenoptik zeichnerisch leicht darstellbar ist, zeigt die Ausbreitungsrichtung des Lichts an. Der Wellencharakter des Lichts wird vernachlässigt. Als Folge davon verliert diese vereinfachte Darstellung bei Phänomenen an sehr kleinen

Objekten, also bei Auftreten von Interferenz und Beugung, ihre Gültigkeit. Für die in der Mittelstufe gelehrt Themen wie Reflexion, Brechung und den Umgang mit Linsen bietet die Strahlenoptik jedoch ein zuverlässiges Konzept, welches durch einfache geometrische Darstellungen einen anschaulichen Zugang zum Thema Optik ermöglicht.

Licht breitet sich mit einer konstanten Geschwindigkeit aus. Im Vakuum beträgt die

Lichtgeschwindigkeit:
$$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

Die Geschwindigkeit des Lichts hängt von dem Medium ab, in dem sich das Licht ausbreitet. Dabei ist die Lichtgeschwindigkeit in jedem Medium geringer als im Vakuum.

Trifft Licht auf ein anderes Medium, so wird ein Teil des auftreffenden Lichts reflektiert und der andere Teil tritt in das neue Medium ein. Zunächst sei hier nur der reflektierte Teil des Lichts betrachtet.

Bei einer Reflexion liegen der einfallende und der reflektierte Strahl in einer Ebene mit dem Lot auf die reflektierende Ebene. Dabei wird der Einfallswinkel α und der Reflexionswinkel β jeweils zum Lot gemessen. Bei jeder Reflexion ist der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel, d.h.

$$\alpha = \beta .$$

Dieser Zusammenhang wird Reflexionsgesetz genannt.

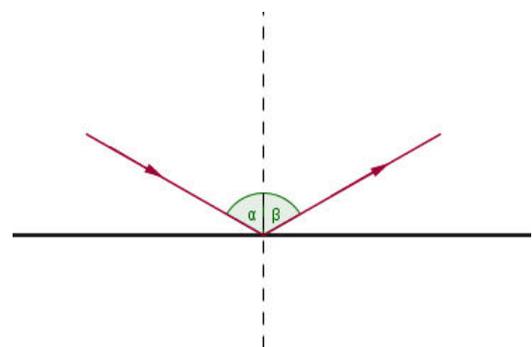


Abb. 1: Reflexion an einer Ebene

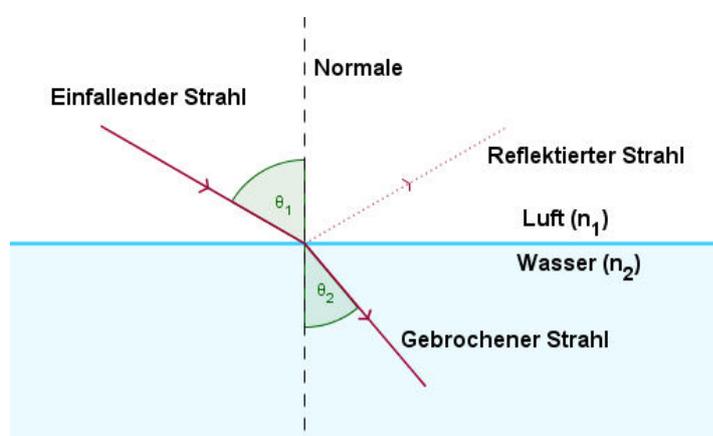


Abb. 2: Brechung am Übergang Luft-Wasser und Wasser-Luft

Wird nun der Teil des Lichts betrachtet, der in das neue Medium eintritt, so kann beobachtet werden, dass der Lichtstrahl bei dem Übergang die Richtung ändert. Dieser Vorgang wird Brechung des Lichts genannt.

Tritt Licht von einem Medium in ein anderes ein, so ist der Einfallswinkel θ_1 ungleich dem Brechungswinkel θ_2 . Dabei ist die Stärke der Brechung von den so genannten

Brechungsindizes der Medien abhängig. Jedem Medium ist ein Brechungsindex n zugeordnet. Dieser beschreibt das Verhältnis von der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum zu der in dem Medium.

$$n = \frac{c}{v}$$

Für die Erklärung dieses Phänomens muss der Wellencharakter des Lichts Berücksichtigung finden. Der Lichtstrahl, wie er in der Strahlenoptik dargestellt wird, beschreibt die Ausbreitungsrichtung einer ebenen Welle. Nach dem Prinzip von Huygens kann jeder Punkt einer Wellenfront als Ausgangspunkt einer neuen kugel- beziehungsweise kreisförmigen Welle mit gleicher Frequenz wie die ursprüngliche Welle betrachtet werden.

Der Zusammenhang zwischen der Wellenlänge λ , der Ausbreitungsgeschwindigkeit v und der Frequenz f einer Welle kann mit folgender Formel beschrieben werden: $\lambda = v \cdot f$

Trifft eine Wellenfront von einem Medium schräg auf ein zweites Medium mit $n_1 < n_2$, so ist

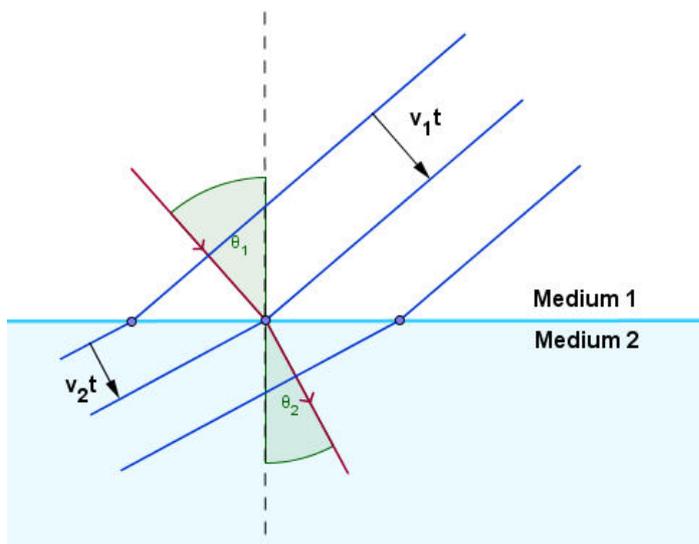


Abb. 3: Brechung eines Lichtstrahls

jeder Punkt, an dem die Wellenfront das neue Medium trifft, Ausgangspunkt einer Welle mit gleicher Frequenz und neuer Ausbreitungsgeschwindigkeit v_2 . Die ganze Wellenfront tritt erst mit der Zeit in das neue Medium ein. In der Zeit $t = \frac{1}{f}$ legt die neue Wellenfront

im Medium 2 eine kürzere Strecke zurück als der Teil der Wellenfront im Medium 1. Dadurch ändert sich die Ausbreitungsrichtung des Lichts zum

Lot hin. Gilt für den Übergang zwischen den Medien $n_1 > n_2$, so bewegt sich der Teil der Welle, der sich im Medium 2 befindet, schneller als der Teil im Medium 1. Die Ausbreitungsrichtung wird hier somit vom Lot weg geändert.

Für den Übergang von Medium 1 zu Medium 2 lässt sich demnach Folgendes sagen: Gilt $n_1 < n_2$, so wird der Lichtstrahl zum Lot hin gebrochen. Gilt $n_1 > n_2$, so wird der Lichtstrahl vom Lot weg gebrochen. Der Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel θ_1 und dem

Brechungswinkel θ_2 wird durch das Snellius'sche Gesetz beschrieben. Demnach gilt folgende Formel:

$$n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2)$$

Wird der Einfallswinkel θ_1 bei einem Übergang mit $n_1 > n_2$ so groß gewählt, dass für den Brechungswinkel $\theta_2 = 90^\circ$ gilt, so verläuft der gebrochene Strahl auf der Grenzfläche der Medien. Ist der Einfallswinkel größer, so tritt nur Reflexion auf. Dieser Fall wird Totalreflexion genannt. Der

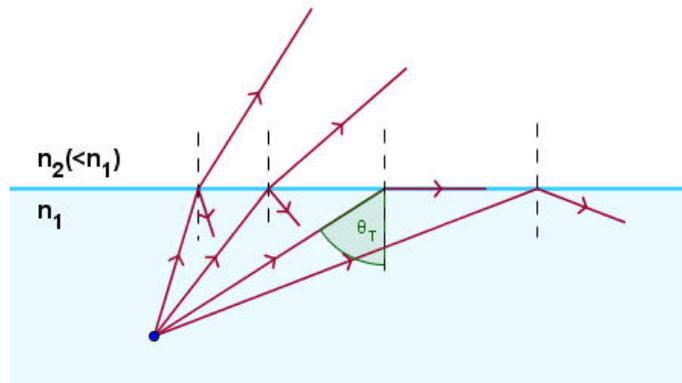


Abb. 4: Totalreflexion

Einfallswinkel $\theta_1 = \theta_T$, für den $\theta_2 = 90^\circ$ gilt, heißt Grenzwinkel der Totalreflexion. Für diesen Winkel gilt folgende Formel:

$$\sin(\theta_T) = \frac{n_2}{n_1 \cdot \sin(90^\circ)} = \frac{n_2}{n_1}$$

Totalreflexion kann nur auftreten, wenn $n_1 > n_2$ gilt.

3.2 Funktionsweise eines Regensors

Regensensoren haben in Kraftfahrzeugen die Funktion, Regentropfen auf der Scheibe zu erkennen und abhängig von der Stärke des Regens automatisch den Scheibenwischer anzusteuern. Dies erleichtert das Fahren bei plötzlich auftretendem Regen und auf der Autobahn, da der Fahrer nicht gezwungen ist, den Scheibenwischer zu betätigen. Tritt Regen auf, so werden die Scheibenwischer automatisch in der geeigneten Geschwindigkeit betätigt. Wird ein Tunnel durchfahren, werden die Scheibenwischer ausgeschaltet. Wird der Fahrer auf der Autobahn überholt, registriert der Sensor das aufgewirbelte Wasser und betätigt den Scheibenwischer. Der Regensensor ermöglicht es dem Fahrer demnach, sich

auf den Verkehr zu konzentrieren anstatt darauf, den Scheibenwischer angemessen einzustellen. Die Empfindlichkeit des Sensors ist an den Bedienhebeln am Lenkrad einstellbar und eine manuelle Betätigung des Scheibenwischers ist jederzeit möglich (Reif 2010, S. 158).

In Kraftfahrzeugen sind unterschiedliche Bauarten von Regensensoren zu finden. In dieser Arbeit ist jedoch nur der Regensensor von Bedeutung, der auf dem Prinzip der Totalreflexion von Licht beruht.

Der Regensensor befindet sich im Innenraum des Fahrzeugs an der Windschutzscheibe in unmittelbarer Nähe des Rückspiegels. Die Position des Sensors ist so gewählt, dass er in Reichweite des Scheibenwischers liegt, damit eine Änderung der Wetterverhältnisse sofort registriert wird. Das Sensorgehäuse hat etwa die Größe einer Streichholzschachtel (Wiesinger 2010).

In dem Gehäuse des Sensors sendet eine Leuchtdiode infrarotes Licht aus. Dieses wird über ein Prisma so in die Windschutzscheibe eingekoppelt, dass es die äußere Fläche der Scheibe in einem Winkel

trifft, der nur wenig größer ist als der Grenzwinkel der Totalreflexion für den Übergang Glas-Luft (Wiesinger 2010). Das Licht wird in der Windschutzscheibe

mehrfach total reflektiert, woraufhin es durch ein weiteres Prisma

ausgekoppelt wird und auf eine Fotodiode trifft. Befindet sich Regen auf der Windschutzscheibe, so ist in dem Bereich, in dem die Totalreflexionen stattfinden, der Übergang Glas-Luft teilweise durch den Übergang Glas-Wasser abgelöst. Da Wasser optisch dichter ist als Luft, also einen größeren Brechungsindex hat, ist der Winkel, der für eine Totalreflexion benötigt wird, größer. Ein Teil des Lichts wird demnach nicht mehr total reflektiert, sondern tritt unter Brechung aus der Windschutzscheibe aus. Die Fotodiode empfängt also weniger Licht, wodurch das von ihr gesendete Signal schwächer wird. Je mehr Regen auf der Scheibe ist, desto weniger Licht wird total reflektiert. Das daraus entstehende Signal der Fotodiode steuert die Geschwindigkeit des Scheibenwischers. Eine Heizung in dem Bauteil verhindert das Beschlagen der Scheibe im Inneren des

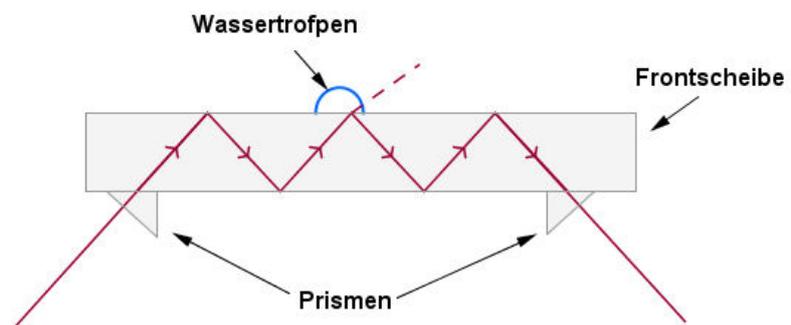


Abb. 5: Funktionsprinzip eines Regensensors

Sensorgehäuses. Dies würde andernfalls dazu führen, dass die Feuchtigkeit die Totalreflexion beeinflusst und den Scheibenwischer auslöst (Wiesinger 2010).

In älteren Versionen des Regensensors wurde mit sichtbarem Licht gearbeitet, wohingegen die neueren Modelle infrarotes Licht nutzen. Dies hat den Vorteil, dass der Sensor unauffälliger ist, da er auch in dem getönten Teil der Scheibe einsetzbar ist (Reif 2010, S. 159).

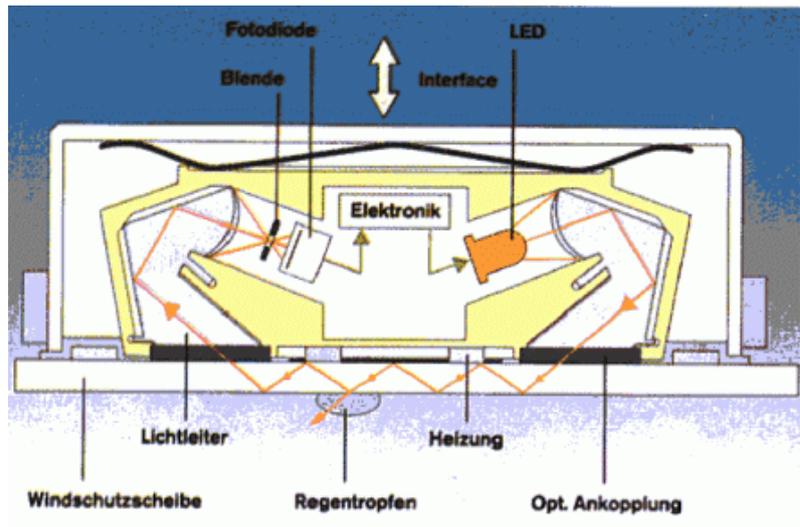


Abb. 6: Schematische Darstellung eines Regensensors

Quelle: <http://www.kfztech.de/kfztechnik/sicherheit/regensensor.htm>

4 Physikunterricht in der Mittelstufe

In dieser Arbeit wird ein Schülerversuch für die Mittelstufe entwickelt. Bei der Ausarbeitung eines Experiments für Schüler ist es von großer Bedeutung, sich des Wissensstandes der Schüler bewusst zu sein. Daher werden in diesem Abschnitt Bezüge zum fachlichen Wissen der Schüler und den Arbeitsweisen in der Schule hergestellt. Zunächst wird dargestellt, wie die Bearbeitung des Themengebiets der Optik in den Hamburger Bildungsplänen vorgesehen ist. Darauf folgt eine Auseinandersetzung mit den didaktischen Aspekten des Experimentierens. Zuletzt wird beschrieben, wie das Thema Optik in den Schulbüchern der Mittelstufe aufbereitet wird.

4.1 Optik in den Hamburger Rahmenplänen

Die Rahmpläne werden als verbindliche Vorgaben und anregende Ratschläge für Lehrer aller Fächer und Jahrgänge verstanden. Dabei erfolgt eine Gliederung der Rahmenpläne in die einzelnen Unterrichtsfächer. In diesem Abschnitt wird der Rahmenplan Naturwissenschaft/Technik und der Rahmenplan Mathematik betrachtet.

Nachdem die Schüler bis zu der Jahrgangsstufe 6 lediglich über das Fach Naturwissenschaft und Technik Kontakt mit Physik hatten, folgt der erste tatsächliche Physikunterricht in der 7. Klasse. Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist das Wecken und Fördern von Interesse an der Naturwissenschaft und den damit verbundenen Phänomenen. Außerdem wird die Kompetenz angestrebt, das gelernte Wissen in Alltagssituationen anzuwenden (Renz 2004, S. 29). Der Rahmenplan Naturwissenschaft/Technik stellt den Anspruch an den Physikunterricht, dass an die Erfahrungen der Schüler angeknüpft wird. Der Aufbau des Unterrichts soll so gewählt sein, dass die Schüler Bezüge zu ihrem Alltag herstellen können. Des Weiteren sollen an geeigneten Stellen auch aktuelle Themen einbezogen werden. Außerdem sollen die Methoden des Unterrichts so gewählt werden, dass die Schüler zum eigenständigen Lernen angeregt werden. Dies kann zum Beispiel durch Schülerversuche erreicht werden, bei denen den Schülern eine aktive, entdeckende Rolle zukommt (Renz 2004, S. 30 ff.). Zuletzt werden Lehrer dazu angehalten, in ihrem Unterricht auch das Angebot externer Forschungseinrichtungen zu nutzen (Renz 2004, S. 91).

Das Thema Optik ist eines der ersten Themen, mit denen Schüler der 7./8. Klasse konfrontiert werden. Dabei wird das Thema in die beiden Bereiche Phänomene und Messen unterteilt (Renz 2004, S. 95). Insgesamt ist es hier wichtiger, den Schülern einen leichten und vertrauten Zugang zur Physik zu ermöglichen, als eine systematische Theorie aufzubauen. Daher sollte sich der Lehrer bei der Planung des Unterrichts an Fragen der Schüler orientieren, die sie zu alltäglichen oder besonders spektakulären Phänomenen entwickelt haben. Außerdem ist im Unterricht die Darstellung über das Lichtstrahlenmodell zu wählen, wobei viele Sachverhalte zeichnerisch dargestellt oder erarbeitet werden (Renz 2004, S. 95 f.).

Als verbindliche Inhalte in dem Bereich Phänomene wird die Ausbreitung und Reflexion von Licht genannt. Nach dieser Unterrichtseinheit müssen Begriffe wie Einfallslot und –winkel sowie einfallender und reflektierter Strahl bekannt sein. In diesem Bereich der Optik wird vorgeschlagen, dass die Lochkamera als Schülerexperiment Anwendung findet. Außerdem sammeln die Schüler hier auch die ersten Erfahrungen mit Lasern (Renz 2004, S. 96).

In dem Bereich Messen sind als verbindliche Inhalte die Lichtbrechung und die Bildentstehung an optischen Geräten aufgeführt. Dazu müssen Begriffe wie Brechungswinkel, Totalreflexion, Spektrum und Brennweite thematisiert werden. Hier soll gemeinsam mit den Schülern das Brechungsgesetz erarbeitet werden. Der Rahmenplan Physik gibt die Anregung, über optische Täuschungen, wie zum Beispiel einem scheinbar abknickenden Stab im Wasser, den Bezug zu der Natur und der Erfahrungswelt der Schüler herzustellen (Renz 2004, S. 97).

Das Unterrichtsfach Physik weist vor allem mit dem Fach Mathematik thematische Überschneidungen auf. So ist der Kenntnisstand in Mathematik entscheidend für die Tiefe der quantitativen Erarbeitung eines physikalischen Themas. Weiterhin kann anhand der mathematischen Kompetenzen der Schüler entschieden werden, ob ein Thema oder ein Phänomen eher anschaulich oder eher rechnerisch bearbeitet wird. Für die Strahlenoptik ist von Bedeutung, wie weit die Fähigkeiten der Schüler beim Arbeiten mit Winkeln ausgeprägt sind. Der Grund hierfür liegt darin, dass bei der Brechung und Reflexion von Licht die auftretenden Winkel eine große Rolle spielen.

Der Winkelbegriff und das Zeichnen, Schätzen und Messen von Winkeln ist bereits in der 5./6. Klasse Thema des Mathematikunterrichts (Renz 2007, S. 15). Das heißt, dass die Schüler in der 7./8. Klasse bereits dazu in der Lage sind zeichnerisch mit Winkeln zu arbeiten. In der Klasse 7/8 wird der konstruktive Umgang mit Winkeln vertieft (Renz 2007, S. 23). Bis zu diesem Punkt sind Rechnungen mit Winkeln, die über die bloße Addition und Subtraktion hinausgehen, unbekannt. Erst in der Klasse 9/10 werden Rechnungen mit Sinus,

Kosinus und Tangens in Dreiecken und als Funktionen eingeführt (Renz 2007, S. 29). Dies hat für den Physikunterricht und den in dieser Arbeit entwickelten Schülerversuch die Folge, dass Brechungswinkel lediglich experimentell bestimmt werden können, indem sie gemessen oder abgelesen werden. Auch der Grenzwinkel der Totalreflexion kann nur experimentell bestimmt und mit Werten aus der Literatur verglichen werden.

4.2 Experimentieren im Physikunterricht

In der Schule sind viele Arten von Experimenten vorzufinden. So gibt es Schülerversuche, die von den Schülern weitestgehend eigenständig durchgeführt werden. Mit Demonstrationsversuchen führt der Lehrer der Klasse einen Versuch vor. Freihandversuche bedürfen besonders wenig materieller Vorbereitung und sind mit alltäglichen Gegenständen auszuführen. Ein weiteres Beispiel sind dokumentierte Experimente, die zum Beispiel als Video die Durchführung eines gefährlichen oder historischen Experiments zeigen. Da die Schüler in Schülerlaboren selbstständig experimentieren, ist für diese Arbeit der Schülerversuch von besonderer Bedeutung.

Experimente werden als das wichtigste Medium des Physikunterrichts angesehen (Bleichroth 1999, S. 218). Außerdem sind sie kennzeichnend für den naturwissenschaftlichen Unterricht und bergen viel Potenzial für abwechslungsreichen Unterricht. So können Experimente im Unterricht die Verbindung von Theorie und Praxis bilden, wodurch starre Strukturen aufgehoben werden. Weiterhin bieten Experimente einen Einblick in die naturwissenschaftliche Arbeitsweise und fördern Kompetenzen, die für diese Arbeit nötig sind. Die wichtigsten dieser Kompetenzen sind das Planen, Beobachten, Analysieren, Bewerten und Präsentieren (Kircher 2009, S. 245).

In Schülerversuchen kommt den Schülern eine aktive Rolle zu. Der direkte Kontakt zu Phänomenen und physikalischen Gesetzen, den die Schüler dadurch erlangen, fördert das Interesse an den Hintergründen der untersuchten Vorgänge (Bleichroth 1999, S. 223). In vielen Fällen bilden Schülerversuche im Unterricht lediglich die Ausnahme. Die Lehrer scheuen vor dem hohen zeitlichen Aufwand zurück, der mit der Planung von Schülerversuchen verbunden ist. Des Weiteren ist nicht nur eine intensive Vorbereitung mit den Schülern nötig, sondern auch bezüglich der Wahl des Experiments und der Entscheidung über den Grad des selbstständigen Arbeitens bedarf es einiger Planung. Weichen die Lehrer aus diesen Gründen häufig auf andere Unterrichtsmethoden aus, so

haben die Schüler keine Möglichkeit, Kompetenzen in Bereichen wie Beobachten, Planen und Auswerten zu entwickeln. Damit Schüler selbstständig erfolgreich experimentieren können, sind diese Kompetenzen jedoch erforderlich. Das Planen und Durchführen von Experimenten muss gelernt werden. Andernfalls können die Schüler mit Schülerversuchen schnell überfordert sein (Bleichroth 1999, S. 223 f.).

Bezüglich des Aufbaus und der Durchführung von Schülerversuchen muss die Lehrkraft Einiges beachten, damit den Schülern der Umgang mit dem Experiment erleichtert wird. So sollte der Aufbau derart gewählt sein, dass nebensächliche Effekte des Versuchs möglichst ausgeblendet oder wichtige Aspekte in den Vordergrund gerückt werden. Wie stark der Beobachtungsschwerpunkt der Schüler durch den Aufbau gelenkt werden muss, hängt vor Allem von den Erfahrungen ab, welche die Schüler bereits mit dem Experimentieren gesammelt haben. Bei unerfahrenen Schülern kann es vorkommen, dass nur hintergründig wichtige Geräte, wie zum Beispiel die Stromversorgung, den Fokus ablenken. In solchen Fällen kann es sinnvoll sein, diese Geräte abzudecken und zum Beispiel durch bekannte Schaltsymbole zu ersetzen. Auch schematische Darstellungen, die vor Beginn des Experiments mit den Schülern besprochen werden, können helfen den Fokus geeignet zu setzen (Kircher 2009, S. 256). Weiterhin sollten Schüler bei allen Phasen des Experiments, also bei der Auswahl, der Planung und der Durchführung, möglichst intensiv beteiligt sein. Alltagsphänomene, die bei den Schülern bereits im Vorfeld Fragen aufgeworfen haben, können in den Schülern den Wunsch nach einer Erklärung wecken. In einigen Bereichen können solche Wünsche der Schüler gut in den Unterricht einbezogen werden. Dadurch und durch die eigenständige Planung eines Experiments können die Schüler einen individuellen Bezug zu dem Schülerversuch entwickeln und sind an dem Ergebnis persönlich interessiert. Eine solche Problemorientierung steigert die Motivation der Schüler und fördert ihr Interesse an dem Thema. Allerdings ist heute bekannt, dass dies nicht zwingend zu einem besseren fachlichen Lernerfolg führt (Kircher 2009, S. 257 ff.). Die Durchführung von Schülerversuchen erfolgt üblicherweise in Gruppen, wodurch die Kommunikation unter den Schülern gefördert wird. Außerdem haben die Schüler so die Möglichkeit, sich gegenseitig zu unterstützen und das Experiment aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten. Für die Arbeit an einem Schülerversuch sind Gruppen von zwei Schülern am besten geeignet. In diesen Gruppen erfolgt die Arbeitsteilung automatisch und jeder trägt aktiv zur Bearbeitung des Experiments bei. Bei größeren Gruppen ist die Absprache unter den Schülern schwerer und es kommt häufig zu ungleichmäßiger Arbeitsteilung. Dies führt besonders bei Gruppen von mehr als vier Personen zu Problemen (Bleichroth 1999, S. 225).

Trotz des weitgehend eigenständigen Arbeitens der Schüler trägt der Lehrer auch hier eine große Verantwortung. Der Lehrer muss die Fähigkeiten seiner Schüler bereits bei der

Planung des Experiments richtig einschätzen können, das geeignete Maß von Anleitung und freiem Arbeiten finden und an erforderlicher Stelle unterstützende Funktionen übernehmen. Der wichtigste Aspekt für das Gelingen eines Schülerversuchs ist eine gute Anleitung (Bleichroth 1999, S. 226). Die Unterstützung des Lehrers kann in allen Phasen des Experiments benötigt werden. Besonders mit der Planung eines Experiments sind Schüler häufig überfordert. Je nach Größe der Gruppen und Alter der Schüler kann auch die Aufteilung innerhalb der einzelnen Gruppen die Unterstützung des Lehrers fordern (Bleichroth 1999, S. 225). Während der Durchführung des Experiments hängt das Ausmaß der Anleitung durch den Lehrer maßgeblich von dem fachlichen und methodischen Können der Schüler ab. Mögliche Bereiche, in denen Unterstützung gefordert sein könnte, sind hierbei die Strukturierung und der Aufbau des Versuchs, die Bildung von Hypothesen, die mithilfe des Experiments untersucht werden sollen, der Umgang mit technischen Geräten und die Auswertung sowie Interpretation der erlangten Ergebnisse (Kircher 2009, S. 260). Des Weiteren ist zu beachten, dass Schülern die Umsetzung von rein schriftlichen Anleitungen zum Teil sehr schwer fällt, weshalb eine vorhergehende Diskussion des Ablaufes oder eine spontane Unterstützung innerhalb der Gruppen nötig sein kann (Bleichroth 1999, S. 226). Für den Lehrer bedeuten Schülerversuche demnach keinesfalls eine Entlastung durch das eigenständige Arbeiten der Schüler, sondern sie erfordern viel mehr ein hohes Maß an Fingerspitzengefühl, zeitlichem Aufwand und einer gründlichen Planung. Dennoch sollten Schülerversuche Teil jedes Physikunterrichts sein, da sie „dem natürlichen Drang nach Eigentätigkeit“ (Kircher 2009, S. 259) entgegen kommen.

4.3 Das Thema Optik in Schulbüchern der Mittelstufe

Für die Betrachtung der Aufbereitung des Themas Optik in Schulbüchern werden in diesem Abschnitt drei Schulbücher beispielhaft vorgestellt und miteinander verglichen. Die beiden Schulbücher Impulse Physik Mittelstufe (Bredthauer 2002) und Physik N Sekundarstufe 1 (Feuerlein 2002) sind für Hamburger Schulen eingeführt und umfassen jeweils den Unterrichtsstoff der gesamten Mittelstufe. Als drittes Vergleichsobjekt dient das niedersächsische Schulbuch Fokus Physik/Chemie 5/6 (Arnold 2008). Da in Niedersachsen bereits in der 5. Klasse mit Physikunterricht begonnen wird und die Brechung von Licht in den Klassen 5 oder 6 zum Thema gemacht wird, umfasst dieses Schulbuch eben diese Klassen.

Das Thema Optik wird in Schulbüchern der Mittelstufe im Allgemeinen mit Lichtquellen und dem Sehprozess begonnen. Darauf folgen die Entstehung von Schatten und die Reflexion von Licht. Damit verbunden ist die Arbeit mit ebenen und gewölbten Spiegeln. Im Anschluss an das Thema Reflexion wird die Brechung von Licht thematisiert. Dies ist der Bereich, mit dem sich dieser Abschnitt im Folgenden eingehender befasst. Die Brechung des Lichts führt zu der Arbeit mit Linsen und der Spektralzerlegung des Lichts.

Bei dem Vergleich dieser drei Schulbücher fallen bereits auf den ersten Blick Gemeinsamkeiten auf. So sind in den Büchern sehr viele Bilder und Zeichnungen zu finden. Weiterhin nutzen alle drei Schulbücher Bilder von optischen Täuschungen, wie zum Beispiel einen scheinbar abknickenden Stab im Wasser, das Treffen eines Fisches mit einem Speer und die optisch verkürzten Beine einer im Wasser stehenden Person, als Einleitung in das Thema Brechung. Das Thema wird demnach über alltäglich wahrnehmbare Phänomene eingeführt, die bei den Schülern Fragen aufwerfen. Des Weiteren beginnen die Bücher die Erarbeitung des Wissens mit Experimenten. In den Schulbüchern sind leicht durchzuführende Experimente beschrieben, zum Teil in Form von Freihandversuchen, von denen einige auch von den Schülern alleine und zu Hause durchgeführt werden können.

Der grundlegende inhaltliche Aufbau des Themas Brechung und Totalreflexion ist in allen drei Schulbüchern gleich. Zunächst wird Brechung darüber definiert, dass ein Lichtstrahl bei dem Übergang in ein anderes Medium abgelenkt wird. Darauf folgt eine Erklärung, wann Brechung auftritt und wohin der Lichtstrahl gebrochen wird. In diesem Zusammenhang werden die Begriffe optisch dicht und optisch dünn eingeführt. Am Schluss des Abschnittes über Brechung von Licht werden in zwei der drei Bücher die Einfallswinkel- und Brechungswinkel thematisiert und einige Beispiele genannt. Im weiteren Verlauf wird erklärt, was Totalreflexion ist und wann diese auftritt. Daraufhin werden einige Grenzwinkel der Totalreflexion aufgelistet. Diese Auflistung erfolgt in Tabellen- oder Diagrammform. Ist das Grundwissen vollständig erarbeitet, folgen einige Beispiele von alltäglichen Phänomenen, die durch das erarbeitete Wissen erklärbar sind. Die ovale Form der Sonne am Abend und Spiegelungen auf der Straße sind in diesem Zusammenhang in allen drei Büchern Teil des Anwendungsbereichs. In den Büchern Impulse Physik und Physik N wird zusätzlich die Funktionsweise eines Lichtleiters erklärt. Den Abschluss des Kapitels bilden in den drei Büchern gleichermaßen Zusammenfassungen und Aufgaben, die das Gelernte überprüfen.

Trotz dieser Ähnlichkeiten in der Struktur des Themas weisen die Schulbücher auch einige Unterschiede auf. So wird die Frage, warum Brechung auftritt, nur in dem Buch Physik N beantwortet. Die übrigen beiden Schulbücher erklären nur, was Brechung ist. In Physik N wird das Wellenmodell des Lichts angedeutet. Hier wird der Übergang des Lichts von einem Medium in ein anderes mithilfe einer Achse mit einer Rolle an jedem Ende modelliert. Diese

Achse rollt von einem glatten Untergrund schräg auf einen rauen Untergrund und wird dort abgebremst. In diesem Schulbuch wird dadurch auch direkt auf die Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Stoffen eingegangen.

Das Schulbuch Impulse Physik führt eine Brechungszahl n ein. Diese Brechungszahl wird als Eigenschaft eines Stoffpaares definiert und berechnet sich über den Quotienten aus dem Sinus des Einfallswinkels und dem Sinus des Brechungswinkels. Dabei wird der Sinus eines Winkels nicht als solcher verwendet, da dieser erst in der 9./10. Klasse Thema des Mathematikunterrichts ist, sondern es werden Streckenverhältnisse am Einheitskreis genutzt. Diese können von den Schülern gemessen werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Arbeit mit dem Thema Brechung in Schulbüchern sehr große Ähnlichkeiten aufweist. So hat der Vergleich der drei Schulbücher gezeigt, dass die inhaltliche Abfolge die gleiche ist und insgesamt viel Wert auf graphische Darstellungen und Bilder zur Veranschaulichung gelegt wird.

Für die Entwicklung des Regensors als Schulversuch für die Mittelstufe bedeutet dies, dass die anschauliche Art der Darstellung mithilfe von Zeichnungen und Bildern in dem Arbeitsblatt zu diesem Versuch aufgegriffen werden sollte. Des Weiteren ermöglicht es die Nutzung von Tabellen und Diagrammen zur Auflistung einiger Grenzwinkel der Totalreflexion von Licht in den Schulbüchern, dass die Schüler die Werte, die sie experimentell bestimmt haben, mit Werten aus der Literatur vergleichen können, die in Form von Tabellen und Diagrammen dargeboten werden.

5 Experimente zum Regensensor

Der in dieser Arbeit entwickelte Schülerversuch zum Regensensor besteht aus zwei Experimenten. Das Experiment zur Totalreflexion bildet den ersten Teil und somit den Einstieg. Den zweiten Teil des Versuchs bildet der Bau eines Regensensors. Auf diesem Experiment liegt der Schwerpunkt, da es für die Schüler etwas Neues und Alltagsbezogenes darstellt. In beiden Teilen ist der Umgang mit einem Laser nötig. Daher folgen hier zunächst Informationen zum Thema Lasersicherheit. Daraufhin werden jeweils die apparativen Grundlagen der Versuche und die didaktischen Überlegungen zur Umsetzung mit den Schülern dargestellt.

5.1 Lasersicherheit

Die Arbeit mit Lasern erfordert immer ein besonderes Maß an Vorsicht, da von diesen zum Teil eine große Gefahr für die Augen ausgeht. Speziell bei der Arbeit mit Schülern der Mittelstufe muss dieses Thema verstärkt Beachtung finden, da Schüler in diesem Alter häufig verspielt und unvorsichtig sind. Die Gefahr, die von einem Laser ausgehen kann, wird nicht verstanden und Gegenstände wie Laserpointer werden als Spielzeug angesehen. Aus diesem Grund muss beim Experimentieren mit Schülern viel Wert auf die Aufklärung über mögliche Gefahren und den angemessenen Umgang mit einem Laser gelegt werden.

Wie stark die Gefahr ist, die von einem Laser ausgeht und welche Zeit das Auge die Bestrahlung verträgt, hängt von der Wellenlänge und der Leistung des Lasers ab. Um diese Gefahr einschätzen zu können, werden Laser in verschiedene Klassen eingeteilt. Laser, die der Klasse 1 zugeordnet sind, gelten als ungefährlich. Die Klasse 1M beinhaltet Laser, die ohne Benutzung von optischen Instrumenten ungefährlich sind. Die Klassen 2 und 2M sind nur in einem Wellenlängenbereich von 400-700 nm, also im sichtbaren Bereich des Spektrums, definiert. Hier bezeichnet die Klasse 2 Laser, die unter Berücksichtigung des Lidschlussreflexes, also bei einer maximalen Bestrahlungszeit von 0,25 s, ungefährlich sind. Die Leistungsgrenze beträgt hier 1 mW. Laser, die nur ohne Benutzung von optischen Instrumenten unter Berücksichtigung des Lidschlussreflexes als ungefährlich angesehen werden, sind der Klasse 2M zugeordnet. Die Klasse 3M beinhaltet Laser, die gefährlich für die Augen sind und unter besonderen Bedingungen auch eine Schädigung der Haut

verursachen können. Bei Lasern dieser Klasse mit einer Wellenlänge von mehr als 315 nm liegt die Leistungsobergrenze bei 0,5 W. Als letzte Stufe ist die Klasse 4 zu nennen. Laser dieser Klasse sind gefährlich für die Augen und die Haut. Diese Laser haben bei einer Wellenlänge von mehr als 315 nm eine Leistung von mehr als 0,5 W (Eichler 2006, S. 437).

Der Laser, der in dem hier entwickelten Schülerversuch verwendet wird, hat eine Wellenlänge von 650 nm und eine Leistung von 4 mW. Da ein Laser mit diesen Daten ohne weitere Vorkehrungen für den Gebrauch in einem Schülerversuch für die Mittelstufe ungeeignet ist, wird ein Filter vor dem Laser angebracht. Dieser lässt sich durch die Schüler nicht entfernen und reduziert die Leistung des Lasers auf weniger als 400 μ W. Die zugängliche Laserstrahlung ist somit ungefährlich und für Schüler der Mittelstufe geeignet.

5.2 Die Totalreflexion

Dieser Versuch bildet den ersten Teil des Schülerversuchs zum Regensensor und dient als Grundlage für den zweiten Versuch. Die Schüler frischen experimentell ihr Wissen über die Totalreflexion von Licht auf und sammeln eigene Erfahrungen mit dem Bestimmen der Grenzwinkel der Totalreflexion bei den Übergängen Plexiglas-Luft und Plexiglas-Wasser.

5.2.1 Apparative Grundlagen

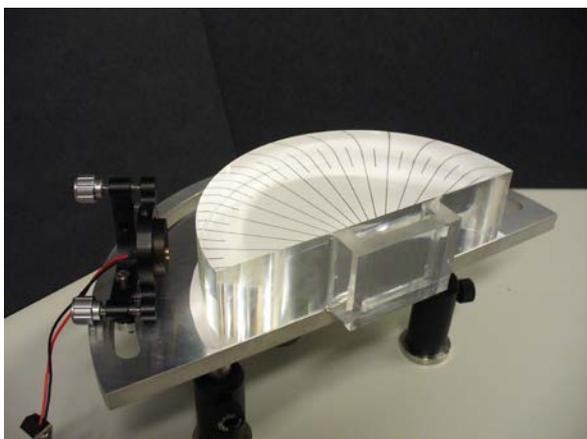


Abb. 7: Aufbau des Versuchs zur Totalreflexion

Der Versuch zur Totalreflexion von Licht besteht aus einer halbrunden Aluminium-Scheibe, in die eine Führschiene für den Laser eingelassen ist. In dieser Schiene lässt sich der Laser in einer Halterung entlang eines Halbkreises stufenlos verstellen. Auf die Aluminium-Scheibe wird ein Halbrunder Plexiglasblock angebracht. Dieser Block enthält ein Becken, das sich mit Wasser

befüllen lässt. Der Aufbau des Experiments ist so gewählt, dass der Laserstrahl von jedem Punkt der Führungsschiene aus senkrecht in den Plexiglasblock eintritt, an der geraden Fläche, die eine Seite des Beckens bildet, reflektiert wird und erneut senkrecht aus dem Plexiglas austritt. Auf diese Weise tritt nur an der ebenen Fläche eine Brechung auf. Zwischen der Aluminium-Scheibe und dem Plexiglasblock wird eine Winkelscheibe angebracht, sodass die Winkel, unter denen der Laserstrahl die ebene Fläche trifft, abgelesen werden können.

5.2.2 Didaktische Überlegungen

Das Experimentieren mit Schülern fordert bereits in der Planung des Versuchs eine Entscheidung darüber, wie hoch die Freiheiten bezüglich des Aufbaus und der Durchführung sein sollen. In diesem ersten Experiment zum Thema Totalreflexion von Licht bilden der Aufbau und die verwendeten Bauteile eine eher strenge Vorgabe bezüglich des Aufbaus und der Durchführung. Dieses Experiment hat nur in geringen Maßen einen forschenden Charakter, sondern stellt ein angeleitetes Experimentieren dar. Dies wurde derart gewählt, da Schüler der 7./8. Klasse in vielen Fällen nur wenig Erfahrung mit dem eigenständigen Experimentieren haben. Auf diese Schüler wirkt zwar der ungewohnte Arbeitsplatz Labor aufregend und in vielen Fällen motivierend, dennoch ist die Gefahr einer Überforderung groß. Ist ein Schüler mit einem Experiment überfordert, so verliert er schnell das Interesse und erlebt die Situation als Misserfolg. Das Experiment zur Totalreflexion bildet in dem gesamten Schülerversuch zum Regensensor einen fachlichen Einstieg in das Thema und einen methodischen Einstieg in das Experimentieren in einer authentischen wissenschaftlichen Umgebung. Dazu kommt, dass dieser Versuch in den Grundstrukturen bereits bekannt sein könnte. In den Schulbüchern Impulse Physik Mittelstufe (Bredthauer 2002, S. 26) und Physik N Sekundarstufe 1 (Feuerlein 2002, S. 21) ist ein ähnliches Experiment bereits vorgestellt. Den durch den Anwendungsbezug motivierenden Teil des gesamten Schülerversuchs bildet der Bau eines Regensensors. Demnach sollte der Schwerpunkt, und damit auch der größere Teil der investierten Zeit, auf diesem zweiten Experiment liegen.

Das Ziel des Experiments zur Totalreflexion von Licht besteht zum Einen darin, dass die Schüler eine methodische Einführung in das eigenständige Experimentieren in einem physikalischen Labor erhalten. Zum Anderen sollen die fachlichen Grundlagen für den Bau eines Regensensors gelegt werden. Somit ist das Ziel, dass die Schüler Erfahrungen mit den

Grenzwinkeln der Totalreflexion von Licht bei den Übergängen Plexiglas-Luft und Plexiglas-Wasser sammeln und erkennen, wie sich diese unterscheiden.

Für den gesamten Schülerversuch zum Regensensor ist die Arbeit mit einem Arbeitsblatt anstelle eines Schülerskripts gewählt. Der Grund dafür ist, dass die physikalischen Hintergründe, welche für die Experimente vonnöten sind, zum größten Teil bereits aus dem Physikunterricht bekannt sind. Daher wird keine ausführliche Darstellung der Thematik benötigt. Einzig die elektrische Schaltung und die Fotodiode, die in dem zweiten Experiment Anwendung finden, sind den Schülern unbekannt. Hier muss jedoch aufgrund des Wissensstandes der Schüler auf eine ausführliche Erklärung verzichtet werden. Eine kurze Darstellung der grundsätzlichen Funktion ist auch in einem Arbeitsblatt möglich.

Die Schüler bauen den Versuch nach einer Anleitung in Form des Arbeitsblattes auf. Im Verlauf dieses Arbeitsblattes werden die Schüler über die von einem Laser ausgehende Gefahr und die im Umgang mit einem Laser wichtigen Vorsichtsmaßnahmen aufgeklärt. Des Weiteren beantworten die Schüler Verständnisfragen zu dem Aufbau und der Thematik. Wichtig ist hierbei auch, dass den Schülern verständlich ist, warum der Plexiglas-Block halbrund ist. Dies ist von Bedeutung, um Aspekte des Experiments zum Regensensor zu verstehen.

Die Schüler erhalten auf dem Arbeitsblatt die Möglichkeit, ihre Beobachtungen festzuhalten und die Grenzwinkel der Totalreflexion von Licht für die Übergänge Plexiglas-Luft, Plexiglas-Wasser und eventuell weiteren transparenten Medien zu notieren. Im Anschluss an die Durchführung des Experiments vergleichen die Schüler die von ihnen ermittelten Werte mit den in der Literatur gängigen Werten. Diese können in Form von Tabellen oder Diagrammen separat von dem Arbeitsblatt zur Verfügung gestellt werden. Hier haben die Schüler die Aufgabe, sich Gedanken über die Gründe für mögliche Abweichungen zwischen ihren Werten und der Literatur zu machen. Auf diese Weise erhalten die Schüler ein Verständnis für die Fehleranalyse, die in der Physik von großer Bedeutung ist.

Die Bestimmung des Grenzwinkels ist in diesem Versuch nur mithilfe der Winkelscheibe und des Auges der Schüler möglich. Diese müssen sehen, wann kein gebrochener Lichtstrahl mehr existiert und diesen Winkel ablesen. Weiterhin ist zu beachten, dass der Rahmenplan Naturwissenschaft/Technik (Renz 2004, S. 95) in den Jahrgängen 7 und 8 einen eher greifbaren Zugang zur Physik einer systematischen Theorie vorzieht. Daher sollte hier auf ausführliche physikalische Messreihen zugunsten einer ausführlichen Beschreibung der Beobachtungen verzichtet werden.

5.3 Der Regensensor

Der Regensensor bildet den zweiten Teil des Schülerversuchs für die Mittelstufe. Hier haben die Schüler die Möglichkeit, die Physik als Teil ihrer Umwelt wahrzunehmen, indem die Funktionsweise eines weithin bekannten und modernen technischen Gerätes untersucht wird. Durch den Bau eines Regensensors durch die Schüler können diese einen besonderen persönlichen Bezug zu dem Thema entwickeln und die in der Schule gelehrt Physik als relevanten Teil der modernen Technik erleben.

5.3.1 Apparative Grundlagen

Für diesen Versuch wird eine Plexiglas-Scheibe senkrecht zu einer Aluminiumplatte befestigt. In der Plexiglas-Scheibe befinden sich Bohrungen für die Befestigung von Prismen aus Plexiglas. Die Plexiglas-Scheibe stellt in diesem Versuch die Windschutzscheibe des Pkw dar und die Prismen, deren Grundfläche ein rechtwinkliges, gleichschenkliges Dreieck

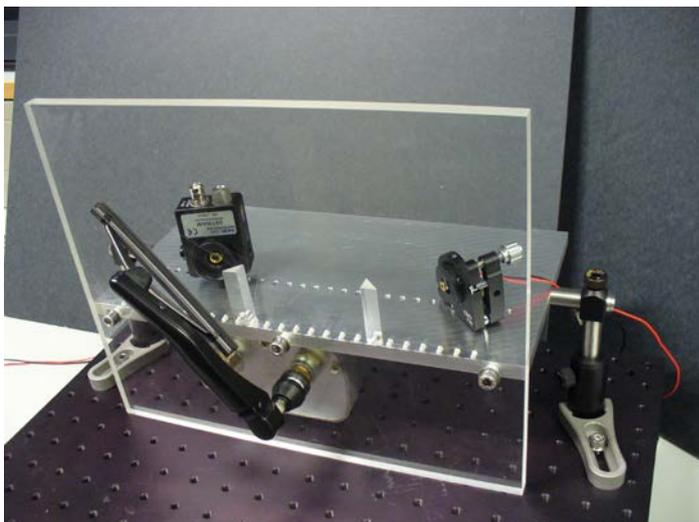


Abb. 8: Aufbau des Versuchs zum Regensensor

bildet, dienen dazu, einen Laserstrahl nahezu ohne Brechung in diese Scheibe einzukoppeln. Für die Befestigung des Lasers sind in die Aluminiumplatte Bohrlöcher eingelassen, sodass dieser in unterschiedlichen Positionen angebracht werden kann. Über ein zweites identisches Prisma kann der Laserstrahl aus der Scheibe ausgekoppelt werden und daraufhin von einer Fotodiode, die auf gleiche Weise wie der Laser befestigt ist,

registriert werden. Über eine Sprühflasche werden Wassertropfen auf die Scheibe gebracht, welche den Regen symbolisieren. Diese unterbrechen teilweise die Totalreflexion und verringern die von der Fotodiode ausgegebene Spannung. Der Motor, der den

Scheibenwischer betätigt, und die für dessen Betrieb nötige Elektronik sind unter der Aluminiumplatte angebracht.

Der Laser und das erste Prisma sind nun so anzubringen, dass der Laserstrahl in etwa senkrecht auf die Fläche des Prismas trifft und somit unter einem Winkel von etwa 45° auf die rückwärtige Wand der Scheibe trifft. Für die Brechungsindizes für Luft und Plexiglas gilt: $n_{\text{Luft}}=1,0003$ und $n_{\text{Plexi}}=1,51$ (Giancoli 2006, S. 1088). Nach dem Snellius'schen Gesetz folgt damit für den Grenzwinkel der Totalreflexion von Licht für den Übergang Plexiglas-Luft:

$$\sin(\theta_T) = \frac{n_{\text{Luft}}}{n_{\text{Plexi}}} = \frac{1,0003}{1,51} \approx 0,6625$$

$$\Rightarrow \theta_T = \arcsin(0,6625) \approx 41,5^\circ$$

Da mit $n_{\text{Wasser}}=1,33$ (Giancoli 2006, S. 1088) für den Grenzwinkel bei dem Übergang Plexiglas-Wasser folgt, dass $\theta_T \approx 61,7^\circ$, ist ein Einfallswinkel von 45° günstig gewählt.

Das zweite Prisma wird nun so angebracht, dass der Laserstrahl nach einigen Reflexionen innerhalb der Scheibe möglichst ohne Brechung aus der Scheibe ausgekoppelt wird. Hier sollten tatsächlich

mehrere Reflexionen stattfinden, da durch die größere Fläche, auf der die Totalreflexion stattfindet, ein konstanteres Ergebnis bei dem Besprühen mit Wasser gegeben ist. Abbildung 9 stellt die Standardabweichung der Spannungsdifferenz zwischen der vor und nach dem Besprühen mit

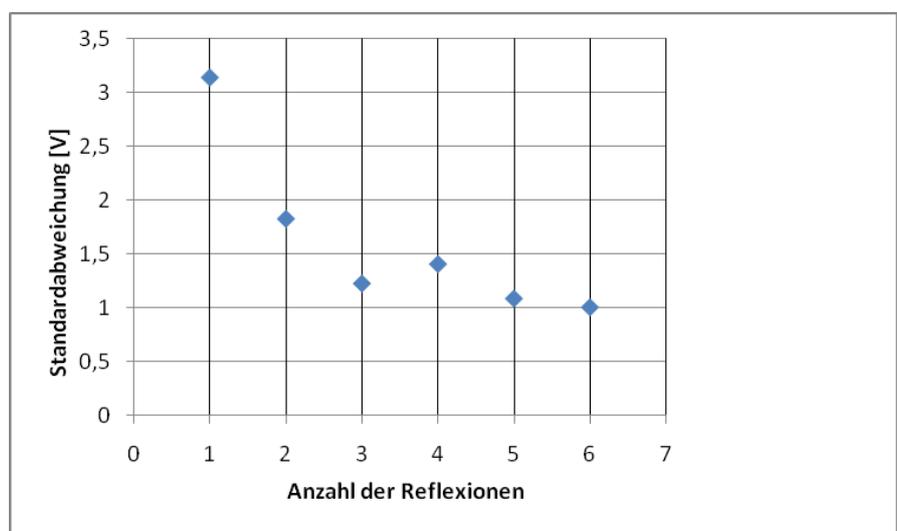


Abb. 9: Standardabweichung der nach Besprühen erreichten Spannungsdifferenz in Abhängigkeit von der Anzahl der Reflexionen

Wasser an der Fotodiode gemessenen Spannungen dar. Hier lässt sich erkennen, dass die Differenz, um welche die Spannung nach dem Besprühen gesunken ist, bei einer geringen Anzahl an Reflexionen eine deutlich größere Standardabweichung hat. Die hier verwendete Messreihe wurde mit einem provisorischen Aufbau des Versuchs durchgeführt. Der Aufbau und die detaillierten Messergebnisse finden sich im Anhang A2. Dieses Ergebnis erscheint plausibel, da die Wahrscheinlichkeit einen Punkt zu treffen, an dem Totalreflexion stattfindet,

bei sechs bestehenden Punkten größer ist als bei zwei bestehenden Punkten. Dennoch muss an dieser Stelle deutlich gemacht werden, dass das Besprühen einer Scheibe mit Wasser ein sehr subjektiver Vorgang ist und es bei einer manuellen Betätigung der Sprühflasche nahezu unmöglich ist, die Sprühvorgänge identisch durchzuführen. Hier liegt demnach großes Fehlerpotenzial.

Bei einer trockenen Scheibe hat die von der Fotodiode erzeugte Spannung ihren maximalen Wert. Abhängig von der Menge an Wasser auf der Scheibe nimmt diese Spannung ab. Durch diese Spannung wird über einen invertierenden Schmitt-Trigger der Motor des Scheibenwischers angesteuert. Das Schaltbild findet sich im Anhang A3. Der invertierende Schmitt-Trigger wandelt ein sinusförmiges Eingangssignal in eine rechteckförmige Ausgangsspannung

um. Diese Ausgangsspannung schaltet den Motor über ein Relais an beziehungsweise aus. Die minimale Ausgangsspannung liegt hier bei etwa 1V und wird bei einer Eingangsspannung von 7V erreicht. Hat die

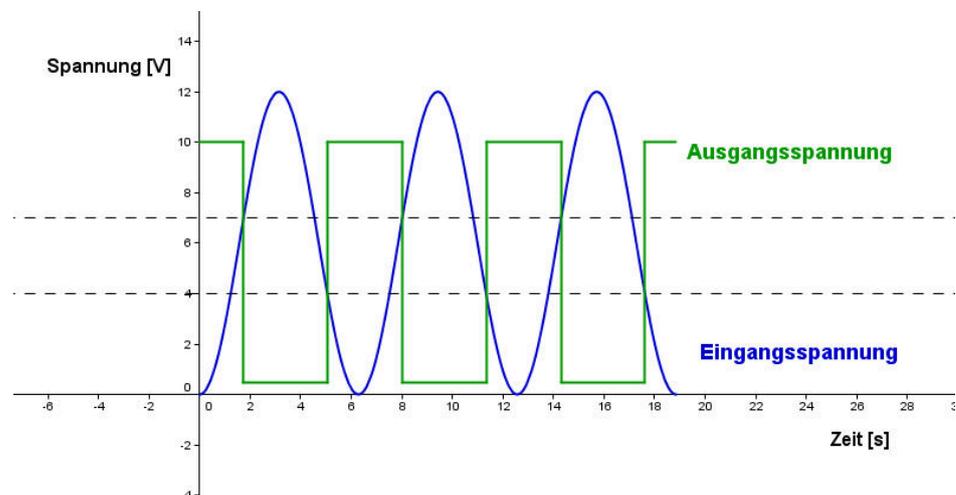


Abb. 10: Funktionsgraphen der Eingangs- und Ausgangsspannung am Schmitt-Trigger

Eingangsspannung einen Wert von 4V, so wird die Ausgangsspannung auf einen Wert von 10V umgeschaltet und betätigt somit über das Schalten des Relais den Motor.

Für den ersten provisorischen Aufbau des Experiments wurden anstelle der beiden Prismen zwei halbe Zylinder aus Plexiglas verwendet. In diesem Aufbau stellte sich jedoch das Problem, dass die Halbzylinder den Laserstrahl aufgrund ihrer Wirkung als Linse auffächerten, sodass nach wenigen Zentimetern kein Strahl mehr erkennbar war. Daher wurden die Halbzylinder durch Prismen aus Plexiglas ersetzt.

5.3.2 Didaktische Überlegungen

Im Gegensatz zu dem ersten Versuchsteil Totalreflexion von Licht ist für die Schüler der Regensensor im Zusammenhang mit der Brechung von Licht im Allgemeinen nicht aus dem Unterricht bekannt. Aus diesem Grund ist im Vorfeld dieses Versuchs ein Input zu der grundsätzlichen Funktionsweise nötig. Dieser kann auf dem Arbeitsblatt als kurzer einführender Text gegeben sein. In diesem Text sollte das von den Schülern bereits durchgeführte Experiment zur Totalreflexion und die dadurch erlangten Ergebnisse aufgegriffen werden. Des Weiteren sollte die in diesem Text verwendete Darstellung eines Regensensors nicht zu stark vereinfacht sein, so dass die Schüler den Übergang von einer technischen Darstellung zu dem Aufbau eines Versuchs erarbeiten müssen.

Nachdem der erste Versuchsteil einen eher angeleiteten Charakter hat, ist für diesen zweiten Teil ein größeres Maß an Freiheit vorgesehen. So gibt es für diesen Versuch keine Bauanleitung, anhand derer die Schüler den Versuch aufbauen, sondern sie planen den Aufbau des Versuchs mithilfe des erklärenden Textes, der technischen Darstellung und der zur Verfügung stehenden Materialien weitestgehend selbst. Daher sollten in einer Materialkiste mehr Bauteile zur Verfügung stehen, als für den Versuch nötig sind. Es könnten zum Beispiel weitere Prismen hinzugefügt werden, die andere Winkel aufweisen. Um bei dieser Vorgehensweise eine Überforderung der Schüler zu vermeiden, sollte eine Hilfe zur Verfügung stehen. Diese Hilfe kann in zwei Varianten angeboten werden, zum Einen in Form einer vereinfachten Darstellung eines Regensensors wie beispielsweise Abb. 5 und zum Anderen in Form einer Anleitung zum Aufbau in Textform. Durch diese Stufung können sich die Schüler zunächst eine Anregung holen, ohne gänzlich auf eine Eigenleistung verzichten zu müssen. Sollten Schülergruppen auch mit dieser ersten Hilfe überfordert sein, können sie den Versuch anhand der Anleitung aufbauen. Die Hilfen sollten für die Schüler an einer bekannten Stelle des Raumes zugänglich sein. Auf diese Weise entscheiden sie eigenständig, wann eine Hilfe nötig ist. Der Aufwand, die Hilfe an den Platz zu holen, und der Ehrgeiz, die Aufgabe eigenständig zu lösen, verhindern, dass die Schüler eine Hilfe in Anspruch nehmen, die sie nicht benötigen. Daher sollte die Hilfe auf keinen Fall mit dem Arbeitsblatt an die Schüler ausgeteilt werden.

Da die Schüler in der Mittelstufe nicht mit der Funktionsweise einer Fotodiode vertraut sind und das nötige Wissen fehlt, um diese zu verstehen, sollte auf dem Arbeitsblatt lediglich erklärt werden, dass eine Fotodiode das auf sie treffende Licht in eine elektrische Spannung umwandelt. Dabei gilt, je mehr Licht auf die Fotodiode trifft, desto größer ist die Spannung. Dazu kommt, dass die in diesem Versuch verwendete Elektronik das Schulwissen der

Schüler weit übersteigt. Daher sollte auch hier nur kurz erklärt werden, dass die Schaltung das Signal der Fotodiode auswertet und bei einem zu geringen Signal den Motor des Scheibenwischers betätigt. In beiden Fällen ist davon abzusehen, eine tiefere Erklärung bieten zu wollen, da sowohl die Fotodiode als auch die Elektronik für den Versuch nur nebensächlich wichtig sind. Der Effekt selbst ist von ihnen unabhängig, so dass die Schüler hier durch eine tiefgehende Erklärung, die ihr Verständnis übersteigt, wahrscheinlich verwirrt und von dem eigentlichen Effekt abgelenkt werden.

6 Fazit

Der Schülerversuch zum Regensensor besteht aus zwei Teilversuchen. Dabei bildet der erste Teilversuch zur Totalreflexion die Grundlage für das erfolgreiche Gelingen des zweiten Versuchs und eine Einleitung in das Experimentieren in einer wissenschaftlichen Umgebung. Der zweite Versuch, also der Bau eines Regensensors, stellt die eigentliche Herausforderung dar und bietet den Bezug zum Alltag, der motivierend auf die Schüler wirkt.

Die Auseinandersetzung mit den Rahmenplänen Naturwissenschaft/Technik und Mathematik hat gezeigt, dass bei der Arbeit mit Schülern der Mittelstufe ein anschaulicher Zugang zur Physik gewählt werden sollte. Außerdem muss aufgrund des Wissensstandes der Schüler im Fach Mathematik bei den Versuchen auf Rechnungen verzichtet werden. Dies wird auch durch den Vergleich von Schulbüchern der Mittelstufe bestätigt. Dort kann keine Berechnung der Brechungswinkel stattfinden, da die mathematischen Voraussetzungen fehlen. Stattdessen werden die Brechungswinkel dort in Form von Tabellen und Diagrammen dargestellt. Bei dem Experimentieren mit Schülern muss immer eine Entscheidung über den Grad der Freiheit des Experiments getroffen werden. Trotz der motivierenden Wirkung von Schülerversuchen können diese im Falle einer Überforderung auch eine Demotivation auslösen. Um dieses Problem der Überforderung zu vermeiden, wird für den eigenständigen Bau eines Regensensors eine gestufte Hilfe angeboten. Diese Hilfe, die an einer anderen Stelle des Raumes für die Schüler zugänglich ist, bietet den Schülern die Möglichkeit, auf ihrem eigenen Niveau zu arbeiten. Der Aufwand, aufzustehen und zu diesem Ort zu gehen, und der Ehrgeiz, die Aufgabe selbstständig zu bewältigen, verhindern, dass die Schüler die Hilfe zu früh nutzen.

Der erste Teilversuch ist den Schülern aus vielen Schulbüchern bekannt. Der Aufbau ist so gewählt, dass keine Vorgänge oder Geräte vorhanden sind, die das Wissen der Schüler übersteigen. Im Gegensatz dazu arbeiten die Schüler bei dem zweiten Teilversuch mit einer Fotodiode und einer elektrischen Schaltung zur Betätigung des Scheibenwischers. Diese beiden Elemente müssen den Schülern vor dem Experimentieren in den Grundzügen erklärt werden.

Im weiteren Verlauf der Ausarbeitung des Angebots für die Mittelstufe im Rahmen des Schülerlabors Light and Schools wird eine Evaluation des in dieser Arbeit entwickelten Versuchs und den dazugehörigen Arbeitsblättern nötig sein. Diese wird zeigen, inwiefern Änderungen an dem bisherigen Konzept vorgenommen werden müssen.

Literaturverzeichnis

Arnold, Karin u.a. (2008): Fokus Physik/Chemie 5/6. Berlin: Cornelsen Verlag.

Bleichroth, Wolfgang u.a. (1999): Fachdidaktik Physik. Köln: Aulis Verlag Deubner.

Bredthauer, Wilhelm u.a. (2002): Impulse Physik. Mittelstufe für Gymnasien. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH.

Eichler, Jürgen; Eichler, Hans Joachim (2006): Laser. Bauformen, Strahlführung, Anwendung (6. Aufl.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Feuerlein, Rainer; Näpfel, Helmut & Schäflein, Horst (2002): Physik N. Sekundarstufe 1 (2. Aufl.). München: Bayrischer Schulbuch Verlag GmbH.

Giancoli, Douglas C. (2006): Physik (3. Aufl.). München: Pearson Studium.

Kircher, Ernst; Girwidz, Raimund & Häußler, Peter (2009): Physikdidaktik. Theorie und Praxis (2. Aufl.). Berlin: Springer-Verlag.

Reif, Konrad (Hrsg.) (2010): Sensoren im Kraftfahrzeug. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag.

Renz, Werner (2004): Rahmenplan Naturwissenschaft/Technik. Bildungsplan achtstufiges Gymnasium Sekundarstufe I. Freie und Hansestadt Hamburg: Behörde für Bildung und Sport.

Renz, Werner (2007): Rahmenplan Mathematik. Bildungsplan achtstufiges Gymnasium Sekundarstufe I (überarbeitete Fassung). Freie und Hansestadt Hamburg: Behörde für Bildung und Sport.

Wein, Dr. Martin (2011): LernortLabor - Bundesverband der Schülerlabore e.V. Abrufbar unter: <http://www.lernort-labor.de/> (15.08.2011).

Wiesinger, Johannes (16.10.2010): Regensensor / Lichtsensor. Abrufbar unter: <http://www.kfztech.de/kfztechnik/sicherheit/regensensor.htm> (13.07.2011).