

Zentrum für schulpraktische Lehrerbildung Leverkusen
Seminar für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen
Brückenstr. 10-12 — 51379 Leverkusen

Unterrichtsentwurf für den 4. Unterrichtsbesuch im Fach Physik

Studienreferendar: Dr. Daniel J. Wieczorek
Ausbildungsschule: Freiherr-vom-Stein-Gymnasium Leverkusen
Datum: Montag, 19.09.2016
Zeit: 1. Stunde (8:10 - 8:55 Uhr)
Lerngruppe: 7x (y Schülerinnen, z Schüler)
Unterricht seit: 29.08.2016
Raum:
Fachseminarleiter:
Kernseminarleiterin:
Ausbildungsbeauftragter:
Schulleiter:

Thema der Unterrichtsreihe: Reflexion, Brechung und Totalreflexion
Thema der heutigen Stunde: Warum trifft der Speer nicht? – Qualitative Untersuchung der Lichtbrechung am Übergang Wasser-Luft im Schülerversuch, angeregt durch das Phänomen der optischen Hebung.
Hausaufgabe zur heutigen Stunde: keine
eingeführtes Physikbuch: Fokus Physik 7-9

Inhaltsverzeichnis

1	Aufbau des Unterrichtsvorhabens	3
2	Lernziele und Kompetenzen	4
3	Didaktisch-methodische Überlegungen	4
3.1	Sachanalyse	4
3.2	Lernvoraussetzungen	5
3.3	Didaktische Überlegungen	5
3.4	Begründung der wesentlichen methodischen Entscheidungen	8
4	Verlaufsplan	9
5	Literatur	10
6	Erklärung	10

1 Aufbau des Unterrichtsvorhabens

Datum	Thema	Lernziel
29.08.2016	Informationen zur Leistungsmessung, Sicherheitsbelehrung Welche Eigenschaften haben Spiegelbilder? Erarbeitung in qualitativen Schülerversuchen Warum sieht es so aus, als würde der Spiegel links und rechts vertauschen?	Die Eigenschaften eines Spiegelbilds (Vertauschung vorne/hinten, Abstand von der Spiegelebene, Virtualität) nennen und illustrierende Versuche beschreiben können. Erklären können, warum ein Spiegel <i>anscheinend</i> links und rechts vertauscht.
05.09.2016	Wie reflektiert ein Spiegel das Licht? Das Reflexionsgesetz im quantitativen Schülerversuch	Das Reflexionsgesetz nennen und zum Skizzieren von Strahlengängen anwenden können. Ein quantitatives Experiment zum Reflexionsgesetz beschreiben, durchführen und auswerten können. Die Umkehrbarkeit des Lichtweges nennen können.
12.09.2016	Wie groß muss ein Spiegel sein, damit man sich selbst vollständig darin sehen kann? Problemorientierte Einführung in die Konstruktion des Spiegelbilds inkl. Erklärung des visuell wahrgenommenen Bildorts.	Spiegelbilder konstruieren können, die wahrgenommene Position des Spiegelbilds anhand einer Skizze erläutern können.
19.09.2016	Warum trifft der Speer nicht? – Qualitative Untersuchung der Lichtbrechung am Übergang Wasser-Luft im Schülerversuch, angeregt durch das Phänomen der optischen Hebung.	Das Brechungsgesetz für den Übergang Wasser-Luft qualitativ nennen, typische Strahlengänge skizzieren und damit das Phänomen der optischen Hebung erklären können.
26.09.2016	Welcher quantitative Zusammenhang besteht bei der Lichtbrechung an der Grenzfläche zwischen Luft und Glas? Warum sehen Teile eines Stifts versetzt aus, wenn man sie hinter eine Glasplatte hält?	Aus experimentellen Daten ein Diagramm zum Zusammenhang zwischen Einfallswinkel und Brechungswinkel erstellen können, das Brechungsgesetz nennen können, das Diagramm zur Konstruktion von Strahlengängen verwenden können.
24.10.2016	Wie kommt Licht um eine Kurve? Lichtleiter und Totalreflexion	Ein Experiment zur Totalreflexion beschreiben und skizzieren können, die Funktionsweise eines Lichtleiters erklären können.

2 Lernziele und Kompetenzen

Durch das gewählte Lernarrangement soll als Stundenziel erreicht werden, dass die Schülerinnen und Schüler¹ das Brechungsgesetz für den Übergang Wasser-Luft qualitativ nennen, typische Strahlengänge skizzieren und damit das Phänomen der optischen Hebung erklären können.

3 Didaktisch-methodische Überlegungen

3.1 Sachanalyse

Die geometrische Optik befasst sich mit der Ausbreitung von Lichtbündeln, deren Durchmesser deutlich größer als die Wellenlänge ist; Beugung und Interferenz werden in guter Näherung vernachlässigt. Zur Vereinfachung von Konstruktionen wird jedoch meist die mathematische Idealisierung eines Lichtstrahls herangezogen.

Nach dem Fermat'schen Prinzip verbindet ein Lichtstrahl zwei gegebene Punkte so, dass die Laufzeit des Lichts lokal extremal² wird. In homogenen Medien ergibt sich somit die geradlinige Ausbreitung, weil die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten in einem euklidischen Raum eine Strecke ist, bei der Reflexion am Spiegel ist die durch das Reflexionsgesetz gegebene Laufzeit ein lokales Minimum. An der Grenzfläche zwischen zwei homogenen und isotropen Medien mit unterschiedlichen Lichtgeschwindigkeiten c_1, c_2 ändert ein Lichtstrahl daher seine Ausbreitungsrichtung: er wird gebrochen. Der einfallende Strahl, der ausfallende Strahl und das Lot auf die Grenzfläche liegen in einer Ebene. Zwischen dem Einfallswinkel α_1 und dem Brechungswinkel α_2 besteht dabei die Beziehung

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 .$$

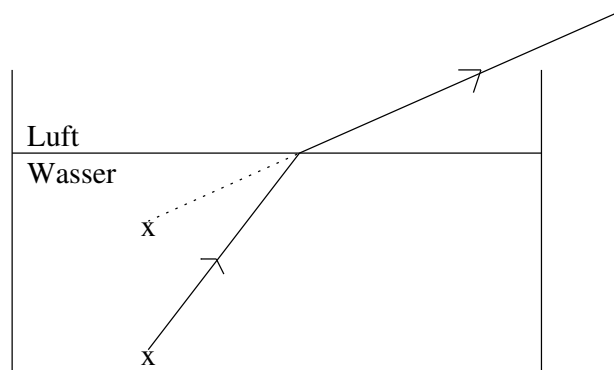
Dies ist das sog. Brechungsgesetz von Snellius. Das Verhältnis von Lichtgeschwindigkeit im Vakuum c und Lichtgeschwindigkeit im Medium heißt Brechungsindex, $n_i = \frac{c}{c_i}$. Ein Medium heißt dabei optisch dichter als ein anderes, wenn es einen höheren Brechungsindex hat. Dementsprechend wird ein Lichtstrahl beim Übergang in ein optisch dichteres Medium zum Lot hin gebrochen. Für den umgekehrten Übergang kann $\left| \frac{n_i}{n_j} \sin \alpha_i \right| > 1$ gelten, sodass kein Brechungswinkel α_j existiert; in diesem Fall wird der einfallende Strahl totalreflektiert.

Brechung und Totalreflexion bilden die Basis der Erklärung vieler alltäglicher

¹Im folgenden Text wird zur besseren Lesbarkeit nur die Formulierung "Schüler" verwendet; es sind jedoch stets sämtliche Geschlechter gemeint.

²Diese Bedingung wird häufig falsch als minimale Laufzeit benannt; bei der Reflexion am elliptischen Spiegel können auch maximale Laufzeiten realisiert werden. Aus Sicht der Wellenoptik ist es sinnvoller, vom Prinzip der stationären Phase zu sprechen.

Phänomene, darunter etwa die ovale Form der Abendsonne, der Fata morgana, des Regenbogens oder der optischen Hebung. Letzere bezeichnet den Eindruck, dass Menschen Gegenstände, die sich unter Wasser befinden, visuell an einer erhöhten Position (im Vergleich zum taktil erfahrbaren, tatsächlichen Ort) wahrnehmen. Betrachtet man den Gegenstand entweder monokular oder aber mit einem Augenpaar parallel zur Wasseroberfläche, so handelt es sich um eine sagittale Hebung, d.h. das Bild wird lotrecht und gestaucht oberhalb des tatsächlichen Orts gesehen³. Die Abbildung zeigt qualitativ den Lichtweg. Der wahrgenommene Bildort kommt zustande, weil das menschliche Gehirn Lichtstrahlen geradlinig zurückverfolgt.



3.2 Lernvoraussetzungen

Zum Erreichen des Lernziels müssen die Schüler

- wissen, dass sich Licht in Luft geradlinig ausbreitet,
- wissen, dass Licht von einem Objekt ins Auge fallen muss, damit man das Objekt sehen kann,
- wissen, dass das Gehirn davon ausgeht, dass Licht sich stets geradlinig ausbreitet und daher der visuell wahrnehmbare vom taktil wahrnehmbaren Ort abweichen kann.

3.3 Didaktische Überlegungen

Die Behandlung des Stundenthemas ist unmittelbar durch die konzeptbezogene Kompetenzerwartung “Absorption und Brechung des Lichts beschreiben” des Kernlehrplans legitimiert [2]. Optische Hebungen sind den Schülern im Alltag bei Schwimmbadbesuchen, an Seen oder beim Trinken mit Strohhalmen bereits häufig begegnet, wengleich es ggf. nicht allen bewusst ist. Die Gesamtheit dieser Phänomene kann

³Die Klärung dieses Sachverhalts wurde erst kürzlich von Quick et al. herbeigeführt [1]. In Schulbüchern finden sich sagittale und meridionale Bildpositionen.

durch das Brechungsgesetz erklärt werden, sodass ein unmittelbarer Alltags- und Gegenwartsbezug gegeben ist. In Zukunft werden die Schüler durch die Kenntnis des Brechungsgesetzes in die Lage versetzt, vielfältige Erscheinungen in Natur und Technik – man denke etwa an die herausragende Bedeutung optischer Linsen – selbstständig auf der Grundlage eines einzigen Prinzips erklären zu können. Auf diese Weise wird ein Beitrag dazu geleistet, die der Physik immanente, spezifische Art der Weltbegegnung und ihre Tragweite kennenzulernen, sodass dem Thema eine bedeutsame Rolle bei der Vermittlung naturwissenschaftlicher Grundbildung zukommt.

Die Stunde führt kontext- und problemorientiert in die Thematik ein: Beim Speerfischen, wie es etwa die australischen Ureinwohner praktizieren, muss nicht auf die scheinbare Position des Fisches gezielt werden, sondern auf einen Punkt, der näher am Betrachter liegt. Der zugehörige Versuch wurde bereits im mittlerweile klassischen Optikkurs von Wiesner als Einstieg in das Thema vorgeschlagen [3].

Zunächst soll ein Schüler ein Fischmodell, das sich in einem unbefüllten Aquarium befindet, über ein Rohr anvisieren und anschließend einen Draht durch das Rohr führen. Erwartungsgemäß wird der Fisch getroffen. Die Situation ändert sich durch das Einfüllen von Wasser grundlegend, denn die Blickrichtung muss nun variiert werden und der Draht verfehlt sein Ziel. Die Schüler dürften aufgrund dieser Demonstration eine geeignete Problemfrage wie “Warum trifft der Speer den Fisch unter Wasser nicht?” oder “Warum muss man die Blickrichtung ändern, wenn man Wasser einfüllt?” entwickeln. Der Draht fungiert als gegenständliches Modell eines Lichtstrahls, um andernfalls zu erwartende Schwierigkeiten in der Phase der Hypothesenbildung abzufedern, zumal keine tragfähigen Präkonzepte zur optischen Hebung zu erwarten sind [4]. Die Schüler wissen aus dem Vorunterricht bereits, dass Licht sich in Luft geradlinig ausbreitet, sodass der Teil des Drahts, der sich innerhalb des Rohrs befindet, mit dem tatsächlichen Strahlenverlauf übereinstimmt. Da das Drahtstück innerhalb des Wassers den Fisch nicht trifft, muss das Licht auf einem anderen Weg an die Grenzfläche gelangen. Zwei Arten qualitativer Schülerhypothesen sind denkbar: unter der Annahme der geradlinigen Ausbreitung im Wasser erhält man den qualitativ korrekten Strahlengang. Anderenfalls könnte eine stückweise lineare Ausbreitung, z.B. vertikal vom Fisch zum Draht, oder eine beliebig gekrümmte angenommen werden. Durch die Kontrastierung der sprichwörtlichen “Trockenübung” und der realistischerischen Situation soll für möglichst viele Schüler die Besonderheit des Versuchs herausgestellt und ein kognitiver Konflikt erzeugt werden.

Die Schüler erhalten im Anschluss Gelegenheit, selbstständig Ideen zur experimentellen Untersuchung der Hypothesen zu entwickeln. Möglich erscheinen die Vorschläge, einen Lichtstrahl auf eine Wasseroberfläche treffen zu lassen bzw. eine

geeignete Lichtquelle unter Wasser zu bringen. Die selbstständige Planung des üblichen Schülerversuchs, bei dem ein mit Wasser gefüllter Halbzylinder aus Plexiglas in radialer Richtung angestrahlt wird, stellt für die Schüler eine Überforderung dar, da sie die Kenntnis des Brechungsgesetzes bereits voraussetzt. Der Aufbau wird daher vorgegeben. Entsprechend dem didaktischen Prinzip “vom Einfachen zum Komplexen” werden in dieser Einführungsstunde nur qualitative Aspekte betont, d.h. es genügt, wenn die Schüler einige typische Strahlengänge realisieren und skizzieren. Lernpsychologisch entspricht dies der Erkenntnis, dass die Motivation durch eine sinnvolle Setzung des Anspruchsniveaus wesentlich unterstützt wird [5]. Die Seitenkante der Grundplatte des Wasserbehälters wurde vom Autor geschwärzt, da anderweitig neben dem gebrochenen Strahl ein schwächerer, aber dennoch deutlich sichtbarer transmittierter Strahl sichtbar ist, der die Schüler ggf. irritieren könnte.

In der abschließenden Sicherungsphase kommt auch der eindrucksvolle Apparat zur Brechung und Reflexion von Leybold zum Einsatz. Durch Drehung einer Spiegeleinheit mit lediglich einer Öffnung kann noch einmal für alle gezeigt werden, dass die Differenz zwischen Reflexions- und Einfallswinkel tatsächlich streng monoton mit dem Einfallswinkel wächst.

Auf dem skizzierten Wege ergibt sich als erste Formulierung des Brechungsgesetzes “Licht wird beim Übergang von Wasser zu Luft gebrochen. Der einfallende Strahl, der gebrochene Strahl und das Lot liegen in einer Ebene. Der Lichtstrahl wird vom Lot weggebrochen, und zwar umso stärker, je größer der Einfallswinkel ist.” Der letzte Satz findet sich nicht in Schulbüchern, stellt aber den wesentlichen mathematischen Gehalt des Brechungsgesetzes schülergerecht elementarisiert dar. Die Formulierung “je größer der Einfallswinkel, desto größer der Brechungswinkel” beinhaltet auch den Fall der Winkelgleichheit und wird daher bewusst vermieden. Eine derart geschliffene Formulierung kann von den Schülern jedoch nicht als eigenständige Leistung erwartet werden, da je-desto-Formulierungen erst kürzlich im Mathematikunterricht eingeführt wurden und im Physikunterricht bislang keine Rolle spielten. Dem zweiten Demoversuch kommt daher eine zentrale Bedeutung bei der Sicherung des Verständnisses zu.

Bei der Erklärung des Einstiegsversuchs findet schließlich eine bewusste didaktische Reduktion statt: Der sagittale Bildort wird den Schüler mitgeteilt, um dessen Konstruktion durch zwei Strahlen, die gerade noch den Rand der Pupille treffen, zu umgehen. Der aus Sicht des Autors wesentliche Aspekt der optischen Hebung wird durch die rückwärtige Verfolgung eines einzelnen Lichtstrahls bereits zutreffend erfasst.

3.4 Begründung der wesentlichen methodischen Entscheidungen

Die Stunde folgt dem methodischen Prinzip des problemorientierten Unterrichts, dessen lernpsychologische Vorzüge von Bleichroth et al. [6] diskutiert werden.

Der Einstieg erfolgt über ein Schülerdemonstrationsexperiment. Das Phänomen wird auf diese Weise für die gesamte Lerngruppe gut sichtbar und im Vergleich zu einem Schülerversuch auch gelingsicher dargestellt. Der Blick durch das Rohr wird für alle Schüler durch den Einsatz einer Dokumentenkamera ermöglicht. Ohne diese Unterstützung könnte die notwendige Richtungsänderung des Rohrs nach Einfüllen des Wasser angezweifelt werden, ohne dass der Lehrer glaubhaft Abhilfe schaffen könnte.

Die kognitiven Lernziele könnten zwar auch durch den sofortigen Einsatz des Apparats zur Brechung und Reflexion als Demonstrationsversuch erreicht werden, jedoch unterstützt das Schülerexperiment zur Lichtbrechung auch prozessbezogene Kompetenzen (Erkenntnisgewinnung, Kommunikation) und führt verbindlicher zu einer sachbezogenen Schüleraktivität, als dies in einer weiteren Plenumsphase möglich wäre. Da eine selbstständige Planung wie in 3.3 ausgeführt nicht vollständig möglich ist, wird den Schülern lediglich die Möglichkeit gegeben, Vorstellungen zur Grundidee der Experiments zu äußern. Da die Einfallslage des Lichtstrahls den Schülern verbal nicht leicht zu vermitteln ist – das Wort “radial” ist ihnen aus dem Mathematikunterricht noch nicht geläufig – wird der Aufbau zunächst kurz unter der Dokumentenkamera präsentiert. Um die Versuchsergebnisse nicht vorwegzunehmen, wird der gewünschte Verlauf des einfallenden Strahls mit einem Stift demonstriert.

Die Durchführung wird durch ein Arbeitsblatt unterstützt, das neben einer kurzen und übersichtlichen Darstellung der Durchführung auch drei vorbereitete Abbildungen für das Einzeichnen der Strahlengänge enthält, die eine Grenzfläche und das entsprechende Lot zeigen. Auf diese Weise wird auf die in Schülerformulierungen des Reflexions- und Brechungsgesetzes häufig übersehene Tatsache verwiesen, dass einfallender und reflektierter Strahl sowie das Lot in einer Ebene liegen.

Nach der Präsentation und Diskussion der Ergebnisse wird der wesentliche Inhalt des Brechungsgesetzes, nämlich die mit dem Einfallswinkel stärker werdende Lichtbrechung, vom Lehrer noch einmal mit dem Apparat zur Brechung und Reflexion präsentiert und das so gesicherte Ergebnis als Merksatz formuliert. Der Versuch wird dabei über die Dokumentenkamera projiziert, da selbst bei einem Aufbau hinter dem Pult der Effekt von der Randplätzen nur sehr schwer erkennbar ist.

4 Verlaufsplan

Phase	Lernschritt/Unterrichtsinhalt (Impulse, Schlüsselfragen, geplantes Lehrerverhalten, erwartetes Schülerverhalten)	Lernorganisation (Sozial-/Aktionsformen, Medien)
Vorbereitung	Wahlpole 1+2 kontaktieren (12V), Sonnenschutz herunterlassen!	
Begrüßung	L begrüßt die Klasse und stellt den Besuch vor	
Motivation	L führt mit zwei S das Experiment zum Speerfischen vor, zeigt bei Bedarf den Blick durch das Rohr per Dokumentenkamera (DK)	S-Demoexp.; DK
Problem	S benennen das Problem (z.B. "Warum trifft der Speer nicht?"), L notiert es an der Tafel	SV; Tafel
Lösung	L: "Woran könnte das liegen? Denkt bitte kurz nach und diskutiert mit eurem Partner!" S überlegen und besprechen sich, L notiert Vermutungen und gibt ggf. Hilfestellung (auf den geraden Draht hinweisen) L zeichnet Vermutungen zum Strahlengang ein	Impuls UG; Tafel
Tun und Ausf.	L: "Habt ihr Ideen, wie man den tatsächlichen Strahlengang untersuchen könnte?" S: z.B. Lichtstrahl auf die Wasseroberfläche treffen lassen, Leuchtbox unter Wasser halten L erläutert kurz, dass im Prinzip genau dies getan wird, es dazu aber eines cleveren Aufbaus bedarf L legt den Aufbau unter die DK und deutet mit einem Stift an, wie die Lichtstrahlen auftreffen müssen S holen Experimentiermaterial und Arbeitsblätter, führen den Versuch durch und notieren ihre Ergebnisse Beleuchtung ausschalten! L beobachtet die Ausführung und gibt ggf. Hilfestellung	Impuls UG LV LV; DK S-Exp.; AB
mögliches Stundenende		
Tun und Ausf.	S präsentieren ihre Ergebnisse und vergleichen, L unterstützt sofern notwendig	SV/UG; DK
mögliches Stundenende		
Tun und Ausf.	L demonstriert das zunehmende "Abknicken" des Lichtstrahls dynamisch mit Hilfe des Apparats zur Brechung und Reflexion (Projektion mit DK, sonst schwer sichtbar!) L notiert den Merksatz an die Tafel	LV/Demoexp. LV; Tafel

5 Literatur

- [1] T. Quick, J. Grebe-Ellis & O. Passon: Ein genauer Blick auf die optische Hebung. In: PhyDid A – Physik und Didaktik in Schule und Hochschule 1/14, S.26-44
- [2] Kernlehrplan für die Sekundarstufe II, Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen: Physik
- [3] H. Wiesner: Ein neuer Optikkurs für die Sekundarstufe I, der sich an Lernschwierigkeiten und Schülervorstellungen orientiert. In: Naturwissenschaften im Unterricht, Heft 22 (1994) S.7-15
- [4] H. Wiesner: Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Bereich der Optik. In: Naturwissenschaften im Unterricht, Heft 13 (1986), S.25-29
- [5] B. Wisniewski, *Psychologie für die Lehrerbildung* (UTB, 2016)
- [6] W. Bleichroth et al., *Fachdidaktik Physik* (Aulis, 1999)

6 Erklärung

Ich versichere, dass ich die Schriftliche Arbeit eigenständig verfasst, keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt und die Stellen der Schriftlichen Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen sind, in jedem einzelnen Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe. Das Gleiche gilt auch für beigegebene Zeichnungen, Kartenskizzen und Darstellungen. Anfang und Ende von wörtlichen Textübernahmen habe ich durch An- und Abführungszeichen, sinngemäße Übernahmen durch direkten Verweis auf die Verfasserin oder den Verfasser gekennzeichnet.

Ort, Datum

Unterschrift

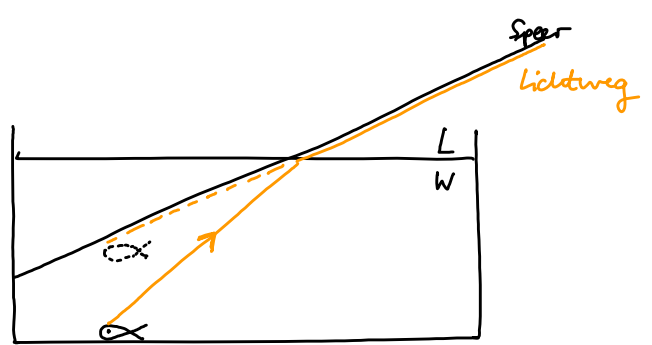
Anhang

- erwartetes Tafelbild
- Arbeitsblätter / -aufträge

Warum trifft der Speer nicht?

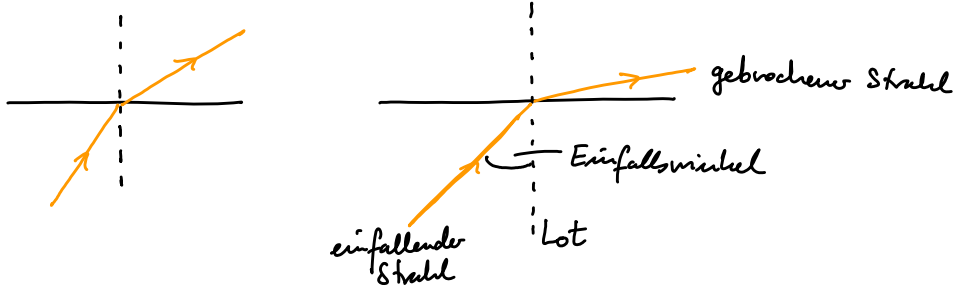
Vermutungen:

- Licht breitet sich nicht immer geradlinig aus
- ...
- ...



Versuch: Wir lassen einen Lichtstrahl von unten auf eine Wasseroberfläche treffen.

Ergebnis:



Licht wird beim Übergang von Wasser zu Luft gebrochen.

Einfallender Strahl, gebrochener Strahl und Lot liegen in einer Ebene.

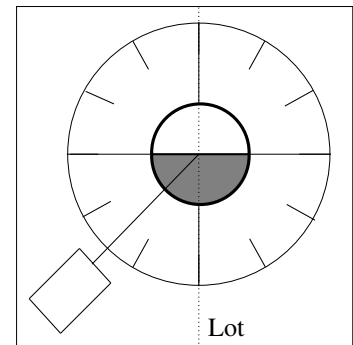
Der einfallende Strahl wird vom Lot weggebogen, und zwar umso stärker, je größer der Einfallswinkel ist.

Wie verhält sich ein Lichtstrahl an der Grenze zwischen Wasser und Luft?

Grundidee: Ein Lichtstrahl trifft von unten auf eine Wasseroberfläche.

Material: Leuchtbox, optische Scheibe, Wasserbehälter aus Plexiglas

Aufbau: Lege den Wasserbehälter wie abgebildet auf die optische Scheibe. Achte auf eine genaue Ausrichtung des Behälters an den Markierungen. Fülle eine Hälfte des Behälters mit Wasser (siehe Skizze).

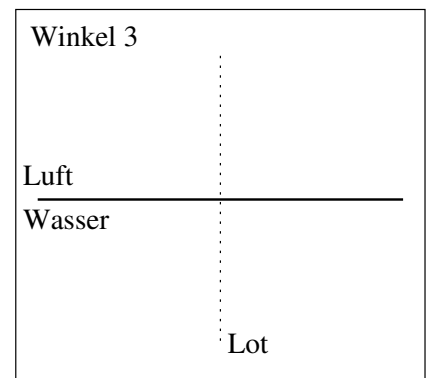
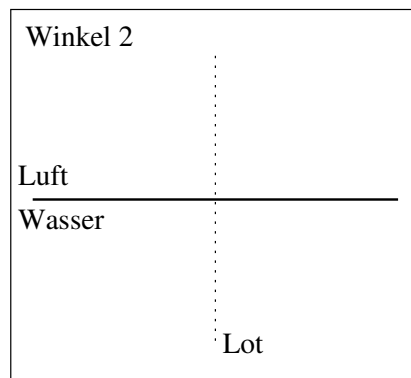
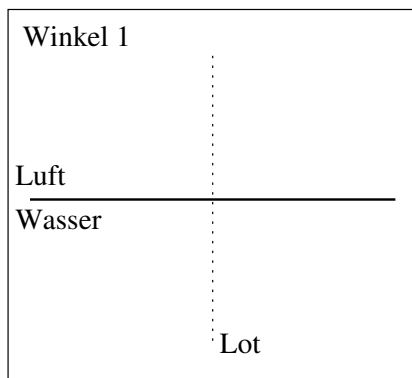


Durchführung: Stelle die Leuchtbox so auf, dass der Lichtstrahl

- entlang der Winkelmarkierungen der Scheibe verläuft **und gleichzeitig**
- auch durch den Mittelpunkt der Scheibe verläuft.

Skizziere den Strahlengang für drei verschiedene Einfallswinkel.

Ergebnis:



Formuliere nun eine möglichst genaue Antwort auf die Frage in der Überschrift.

Tipp: Du kannst dir zum Vergleich auch unsere Formulierung des Reflexionsgesetzes im Heft durchlesen.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....