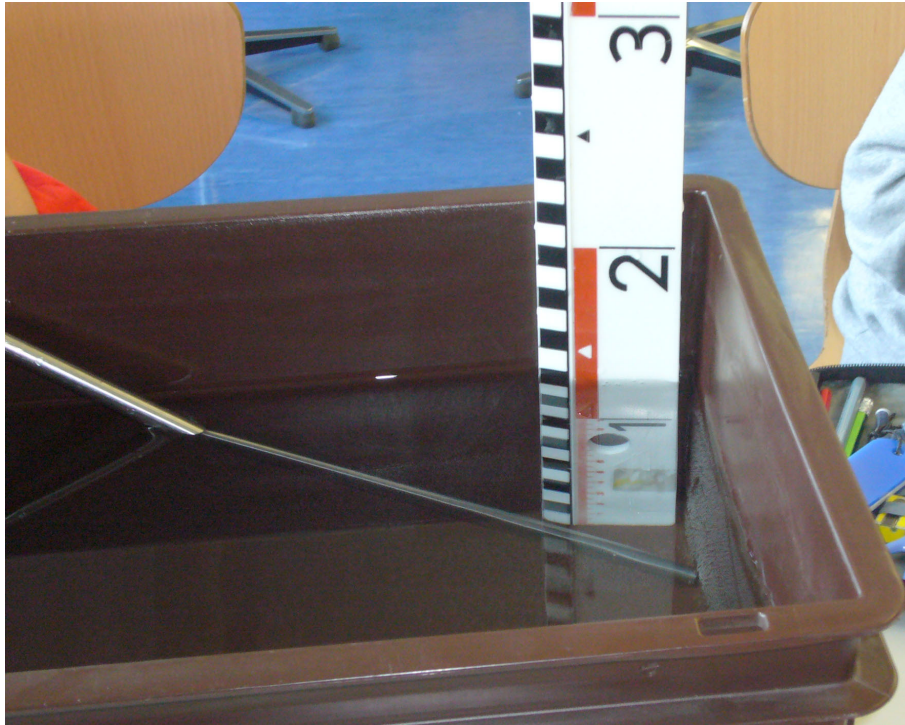


# Lichtstrahlen beobachten und darstellen



## Kompetenzen aus LP 21:

### Auswahl aus NMG.4.3 (1./2. Zyklus): Optische Phänomene, Auge:

- ... können optische Phänomene untersuchen und beschreiben (z.B. Spiegelbilder, Lichtbrechung: Übergang Wasser-Luft, ...)
- ... können optische Phänomene mithilfe des Modells des Lichtstrahls bzw. Lichtbündels darstellen.

### Auswahl aus NT.6.3 (3. Zyklus): ...können optische Phänomene untersuchen:

- ... können das Phänomen der optischen Hebung mit Hilfe des Strahlengangmodells erklären.

### Auswahl aus überfachlichen Kompetenzen:

- ... können unterschiedliche Sachverhalte sprachlich ausdrücken und sich dabei anderen verständlich machen.
- ... können auf Lernwege zurückschauen, diese beschreiben und beurteilen.

## Möglicher Ablauf der Unterrichtseinheit:

### L1&2: **Lichtbrechung** (Phänomen erfahren)

- V1 in PA: *Boden in Blechdose* (→ Hebung durch Lichtstrahlen)
- V2 in PA: *Münze in Becher* (→ Hebung durch Lichtstrahlen)
- V3 in GA: *Stäbe im Wasser* (Stab und WT-Massstab in quaderförmiger Wanne) (→ Widerspruch: Sehen – Fühlen) Diesen Versuch haben wir an der PH Zürich bei Hanspeter Seipp kennen gelernt.
- V4 in GA: *Speerfischen* (Wanne, Schraubenmutter, Zielrohr in Stativ, Schweissdraht)

#### Methodischer Hinweis:

Bei den beschriebenen Versuchen 1, 2, 3 + 5 wird vorausgesetzt, dass man von oben durch die Wasseroberfläche ins Gefäss schaut. Verwendet man durchsichtige Glasgefässe, so sieht man auch von der Seite durch die Gefässwand ins Gefäss hinein und dabei treten zusätzliche Spiegelungen und Brechungserscheinungen auf, die verwirrend sein können. Deshalb ist es empfehlenswert, diese Versuche mit undurchsichtigen Gefässen auszuführen (undurchsichtige Becher, Tassen, Waschbecken, Lavabo usw.).

Bei Versuch 4 sollte ein durchsichtiges Gefäss (Aquarium) verwendet werden. Der Strahlengang des Lichts kann im Dunkeln mit Hilfe eines am Rohr befestigten Lasers kontrolliert werden. Hierzu das Wasser evtl. mit etwas Milch oder Fluorescein einfärben und eine weisse Platte als Hintergrund verwenden.

### L3: **Lichtbrechung und Totalreflexion**

Besprechung der Versuche in Gruppen aus Lektion 1, Erkenntnissicherung

Lehrerversuch: Brechung bei versch. Einfallswinkeln, Totalreflexion, Einachsenmodell und Modell „Rettung am Sandstrand“

#### Evtl. weiterführende Themen:

- Totalreflexion bei Fata Morgana
- Totalreflexion in Lichtwellenleitern (Glasfaserkabel): Daten werden mit Hilfe von Lichtsignalen codiert und durch Lichtleiter geschickt. Die Glasfaserkabel bestehen aus einem Kern und einem Mantel aus Glas. Es handelt sich um unterschiedliche Glasarten, die jeweils unterschiedliche Brechungsindizes haben. Das Licht läuft durch das Kabel und wird dabei viele Male total reflektiert, bevor es beim Empfänger ankommt und wieder in elektrische Signale umgewandelt wird.
- Totalreflexion von Diamanten: Diamant hat mit 2,4 von allen Stoffen den höchsten Brechungsindex. Das bedeutet, dass das Licht dort nur noch etwa ein Drittel so schnell ist wie im Vakuum – also statt 300'000 Kilometer pro Sekunde nur noch 125'000 Kilometer pro Sekunde. Der Winkel der Totalreflexion beim Übergang von Diamant zu Luft beträgt nur 24 Grad. Ist ein Diamant gut geschliffen, so wird ein Grossteil der einfallenden Lichtstrahlen total reflektiert, so dass dadurch das Funkeln und Glitzern entsteht, für das der Diamant so berühmt ist.

### L4: **Aufrechte und auf dem Kopf stehende Schrift:**

- V5 in PA: *Wassergefülltes Reagenzglas*  
*Situation modellieren mit runder Plexiglasscheibe (= RG) und optischer Lampe mit Schlitzblende* (Arbeitsblatt „Warum das wassergefüllte Reagenzglas...“)

#### **Weiterführung:**

Übliche Versuche mit Sammel- und Streulinsen

## Versuch 1: Boden in Blechdose

---

### Arbeitsmaterialien

- zwei Blechbüchsen
- Becher mit Wasser

### Arbeitsauftrag

1. Stelle zwei leere Blechbüchsen nebeneinander auf den Tisch.
2. Fülle eine Büchse langsam mit Wasser. Schaue dabei von oben in die Büchse und beobachte dabei deren Bodenrand gut. Was bemerkst du?
3. Vergleiche nun die beiden Büchsen und deren Bodenränder. Was stellst du fest? Hast du hierfür eine mögliche Erklärung?

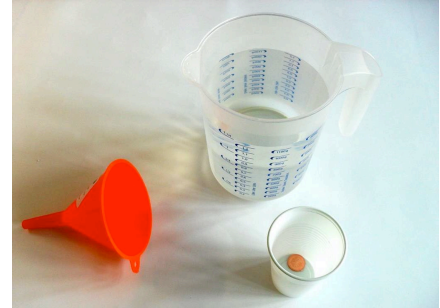


## Versuch 2: Münze in Becher

---

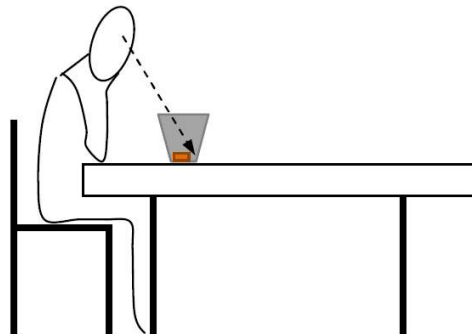
### Arbeitsmaterialien

- undurchsichtiger Becher mit Münze/Unterlagscheibe
- Becher mit Wasser
- evtl. Trichter zum Einfüllen von Wasser



### Arbeitsauftrag

1. Ein Beobachter der Forschergruppe setzt sich an den Tisch, stützt seinen Kopf ab und bewegt sich während des laufenden Versuches nicht mehr. Die anderen Teammitglieder stellen den Becher auf den Tisch und richten ihn so aus, dass der Beobachter die **Münze/Unterlagscheibe** gerade **nicht mehr sieht**.



2. Der Becher darf nun auch nicht mehr bewegt werden. Die Teammitglieder giessen (evtl. mit Hilfe des Trichters) vorsichtig Wasser in den Becher.
3. Was kann der Beobachter sehen, bis der Becher voll ist? NICHT BEWEGEN!
4. Wiederholt diesen Versuch mit einem anderen Teammitglied als Beobachter.

### Versuch 3: Stäbe im Wasser

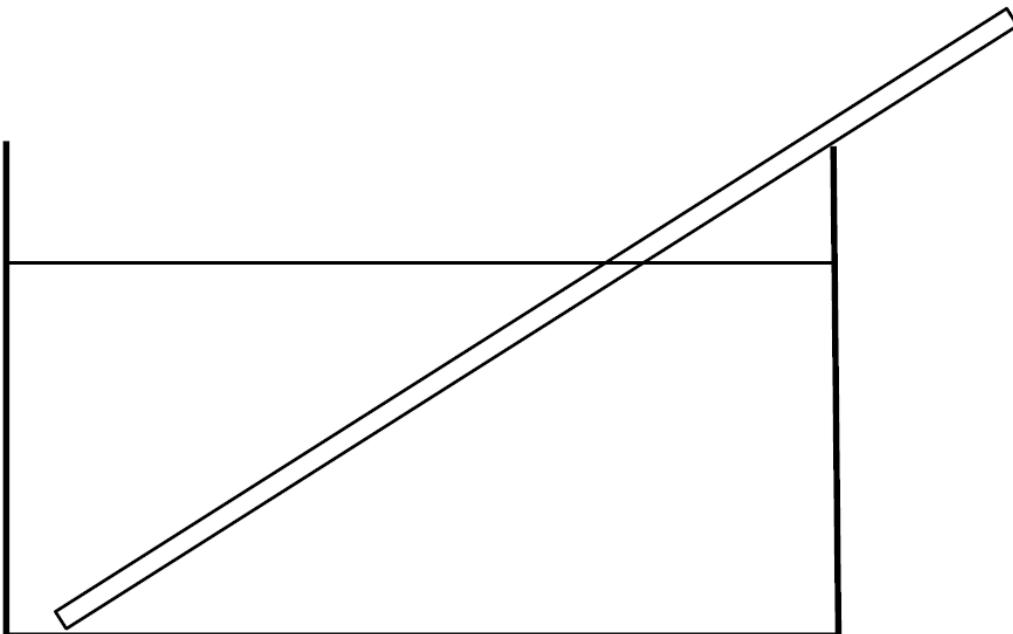
---

#### Arbeitsmaterialien

- grosse undurchsichtige Rakobox (ca. 40 x 60 x 40 cm)
- Wandtafelmassstab
- Metallstab ca. 50 cm (z.B. Stativstange oder Aluminiumrohr)
- Lappen

#### Arbeitsauftrag

1. Stelle den Wandtafelmassstab senkrecht ins Wasser, dabei soll die Skala gegen dich gerichtet sein. Sieh dir den Massstab genau an. Versuche in dein Protokoll zu zeichnen, was du siehst. Nimm den Massstab heraus und trockne ihn.
2. Lege den Metallstab ins Wasser und betrachte ihn von allen Seiten. Fahre anschliessend mit deinem Finger dem Stab entlang, bis du auf dem Boden des Gefässes ankommst. Nimm den Stab heraus und trockne ihn.  
Feststellungen?



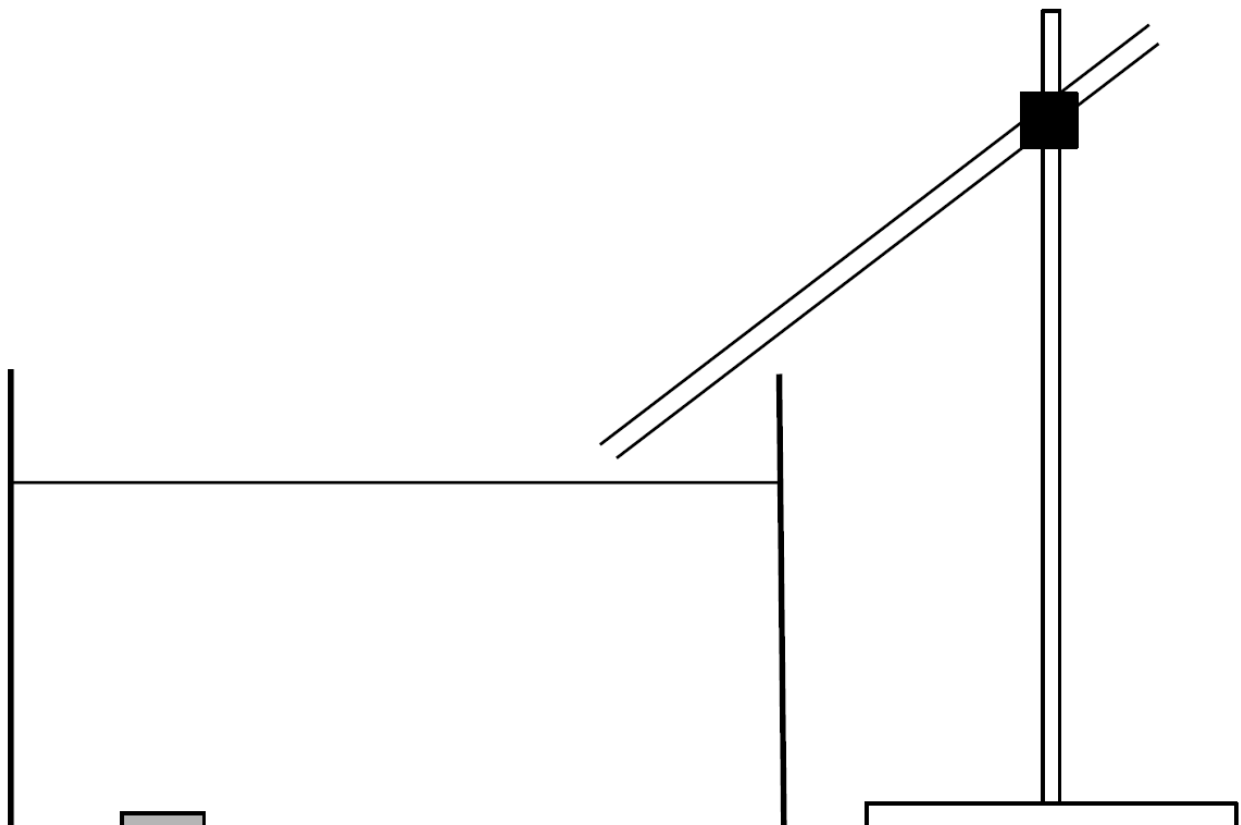
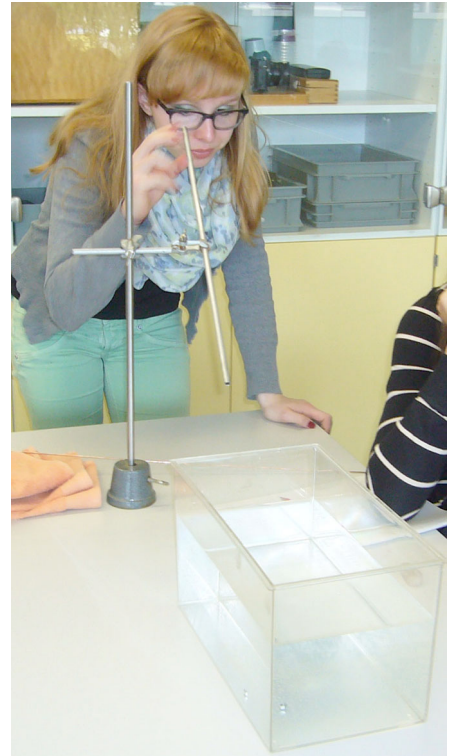
## Versuch 4: Speerfischen

### Arbeitsmaterialien

- durchsichtige Wanne
- leeres Becherglas
- auf Stativ montiertes Alurohr
- Unterlagscheibe im Wasser
- langer, gerader Schweissdraht

### Arbeitsauftrag

1. Blicke durchs Rohr und schiebe das Stativ so herum, bis du durchs Rohr exakt auf die Unterlagscheibe am Wannengrund zielst.
2. Betrachte nun das Ganze von der Seite (s. Abbildung) und schiebe den Schweissdraht durchs Rohr. Notiere und skizziere deine Beobachtungen. Vielleicht könntest du sogar Winkel messen. Was passiert, wenn du ohne Veränderung der Stativposition oder der Unterlagscheibe Wasser aus der Wanne ausschöpfst?





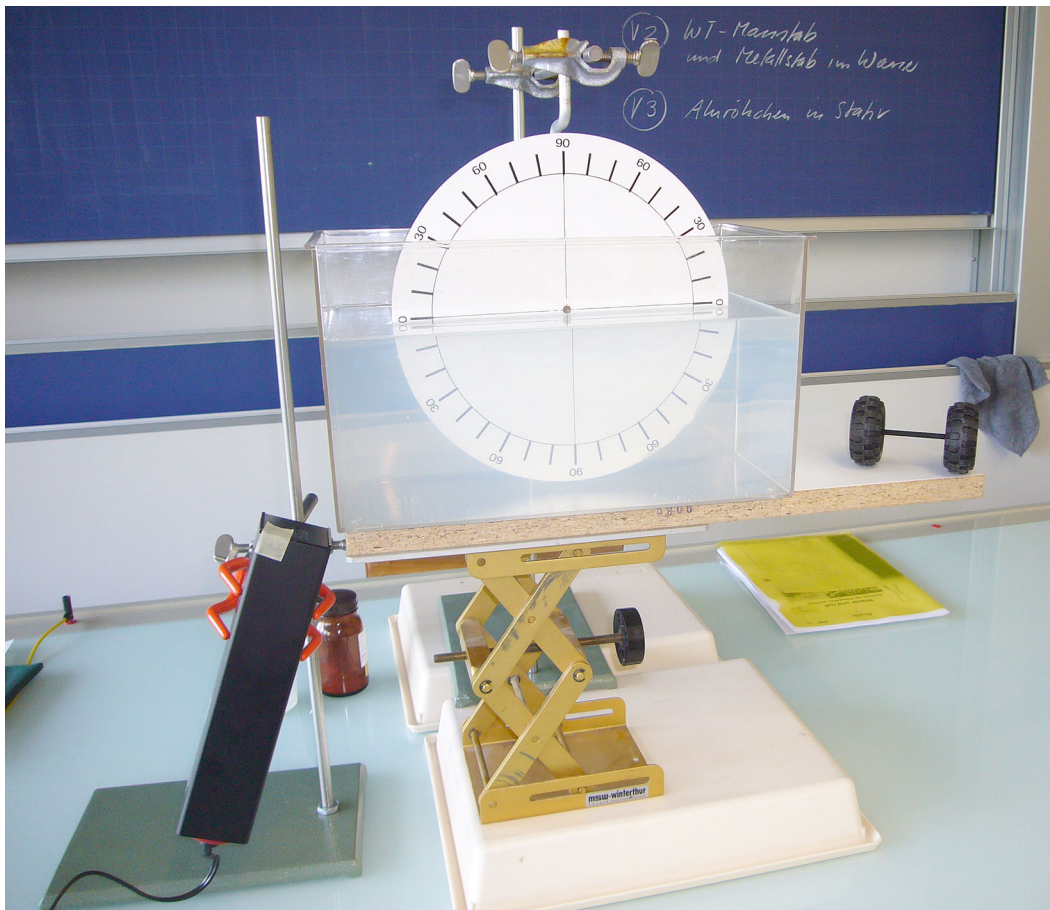
## Lehrerversuch: Totalreflexion

Dieser Versuch eignet sich gut als **Lehrerversuch**.

Hiermit kann veranschaulicht werden, was passiert, wenn das Licht sich durch Medien unterschiedlicher Dichte ausbreitet.

### Arbeitsmaterialien

- Optische Lampe mit Schlitzblende (allenfalls Laserpointer)
- Stromlieferungsgerät mit 12V
- Quaderförmiges Gefäß (Aquarium) gefüllt mit Wasser, mit 1 Spatel Fluorescein gefärbt oder mit wenigen Tropfen Milch/Kaffeeerahm getrübt

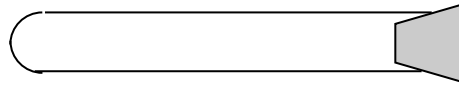


### Durchführung

Raum abdunkeln. Die Lampe wird seitlich aus verschiedenen Richtungen auf das mit Wasser gefüllte Aquarium gerichtet. Dabei werden der Lichtstrahl und seine Richtungsänderung beobachtet. Wann wird der Lichtstrahl total reflektiert?

## Versuch 5: wassergefülltes Reagenzglas

---



### Arbeitsmaterialien

- Stück Zeitungspapier
- Reagenzglas mit Wasser gefüllt
- Stopfen
- kleine Wanne
- optische Lampe mit Schlitzblende
- Stromlieferungsgerät
- Blatt "Warum das wassergefüllte Reagenzglas ..."

### Arbeitsauftrag

1. Fülle das grosse RG mit Wasser (möglichst ohne Luftblasen) und verschliese es gut mit dem Stopfen. Lege die Zeitung in die Wanne und das Reagenzglas darauf.  
Beobachtung(en)?
2. Hebe nun das RG (immer noch in waagrechter Lage) langsam auf.  
Beobachtung(en)?
3. Versuche deine Beobachtungen zu verstehen, indem du mit Hilfe der optischen Lampe und dem Blatt „Warum das wassergefüllte Reagenzglas... „ den Weg der Lichtstrahlen von einem nahe am Reagenzglas liegenden und einem weiter entfernten Buchstaben bis ins Auge verfolgst.

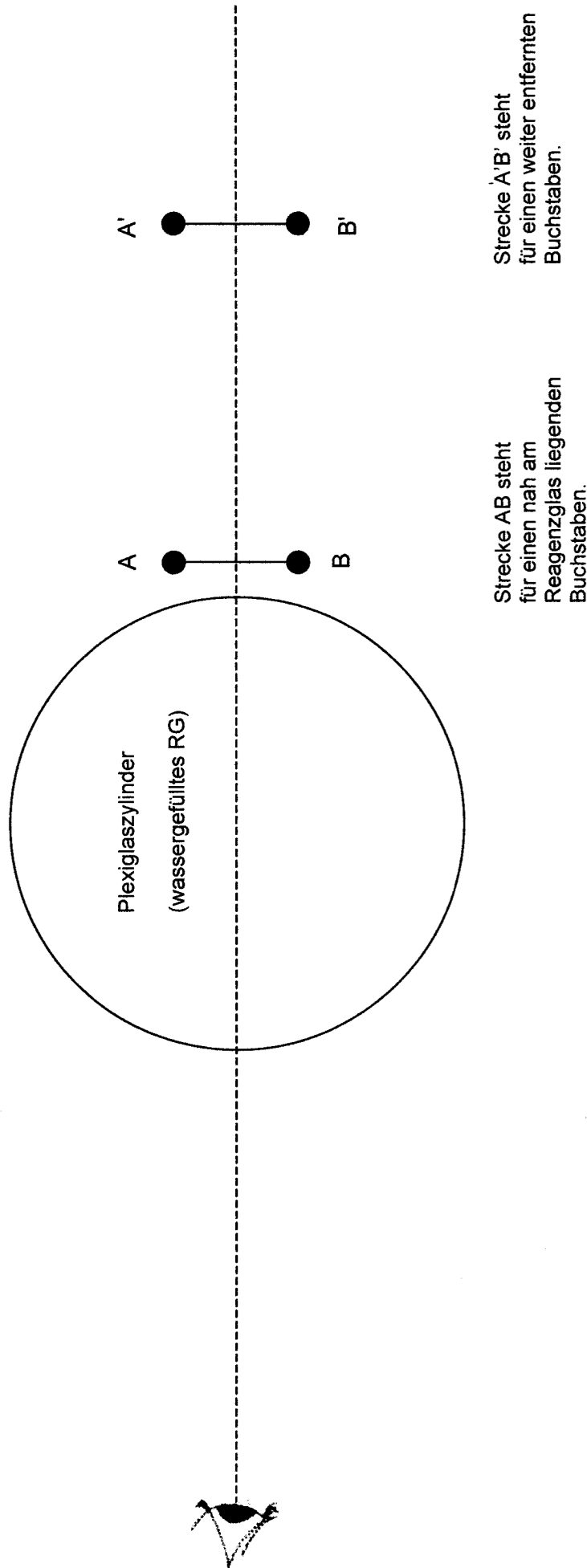


## Warum das wassergefüllte Reagenzglas nahe Schrift vergrößert und entfernte auf den Kopf stellt

Material: Optische Lampe mit einem Schlitz, Stromlieferungsgerät mit 12V, Plexiglaszylinder, Bleistift

Untersucht, wie ein von rechts her kommender Strahl, durch A laufen muss, wenn er ins Auge fallen soll. Zeichnet mit Bleistift auf dieses Blatt von A bis zum Auge.

Wiederholt das Ganze für die Punkte B, A' und B'.



Können Sie nun das Vergrößern und das Auf-dem-Kopf-Stehen der Schrift erklären?

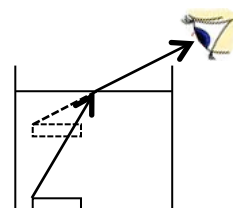
## Hinweise und Lösungen zu den Versuchen

### Zu Versuch 1 (Boden in Blechdose):

Der Boden des mit Wasser gefüllten Bechers scheint umso höher zu liegen, je mehr Wasser eingefüllt wird und je weiter entfernt vom Betrachter er liegt. Der Boden eines länglichen mit Wasser gefüllten Gefässes scheint nach hinten anzusteigen. Das Phänomen wird „Hebung“ genannt.

### Zu Versuch 2 (Münze in Becher):

Beim Einfüllen des Wassers wird plötzlich die Münze sichtbar. Sie scheint nun weiter oben zu sein (gestrichelte Linie).



### Zu Versuch 3 (Stäbe im Wasser):

1. Der Wandtafelmassstab scheint unter Wasser gestaucht zu sein, weil wir die Zentimeterabschnitte durch die Brechung der Lichtstrahlen unter einem kleineren Winkel sehen.
2. Beim Nachfahren des Stabs mit dem Finger meldet der Tastsinn einen geraden Stab, während die Augen einen unter Wasser nach oben geknickten Stab sehen! Das ist verwirrend.

**Was in den Versuchen 1 – 3 zu Verwirrung führt ist die Tatsache, dass wir nicht in der Lage sind, einen Lichtstrahl als geknickt wahrzunehmen. Wir denken ihn uns einfach gerade weiter in die Richtung, aus der er ins Auge tritt und das führt zur optischen Hebung.**

Ein vor unserem Auge schräg ins Wasser laufender Laserstrahl scheint gerade, obschon er an der Wasseroberfläche geknickt wird.

Hanspeter Seipp, PH Zürich, dessen Workshop wir am SWISE-Innovationstag 2014 besucht haben und dem wir viele Anregungen für diese Unterrichtseinheit verdanken, formuliert es sinngemäss so:

„Der ins Wasser getauchte Metallstab ist für den Tastsinn „wirklich“ gerade und für den Sehsinn „scheinbar“ geknickt. Es ist typisch für Phänomene, die mit Lichtbrechung im Zusammenhang stehen, dass die Wahrnehmungen des Sehannes und des Tastsinnes nicht übereinstimmen. (Mit einer Lupe erscheint ein Gegenstand visuell grösser als er zum Anfassen ist.)“

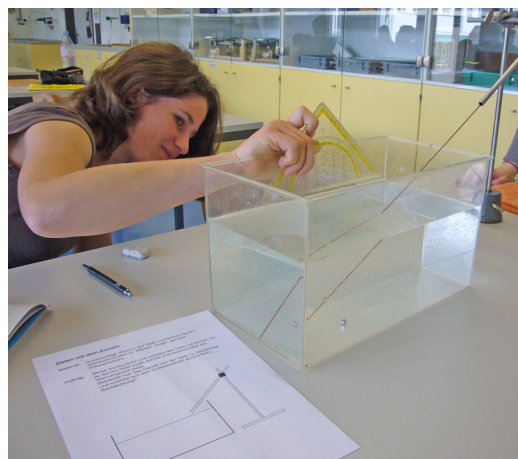
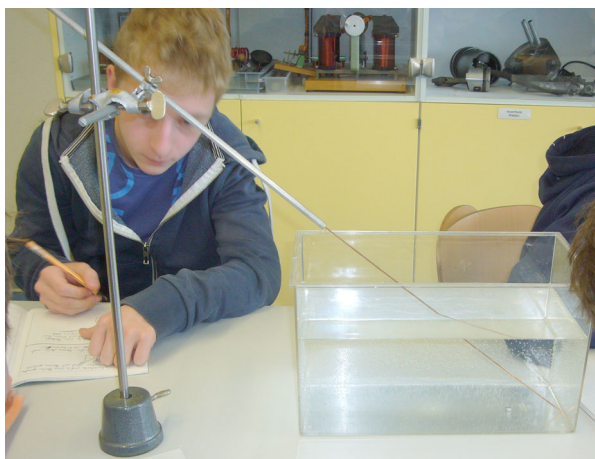
### Zu Versuch 4 (Speerfischen)

Der Schweissdraht trifft hinter der Unterlagscheibe auf den Boden. Das ist ein weiterer Hinweis, dass die Lichtstrahlen, die von der Unterlagscheibe ins Auge gelangen, an der Wasseroberfläche geknickt werden.

Wer also im Fluss mit einem Speer einen Fisch erlegen will, muss vor den Fisch zielen!

Das umgekehrte Problem hat der Schützenfisch, der mit Wasser aus seinem Mund Fliegen über dem Wasser in bis zu 4 Metern Entfernung abschiess. Da sich seine Augen unter der Wasseroberfläche befinden, muss er wegen der Brechung unter die Fliege zielen.

Wird Wasser ausgeschöpft wird, sieht man bei unverändertem Stativ die Unterlagscheibe durch das Rohr nicht mehr oder mindestens nicht mehr ganz. Damit die Unterlagscheibe wieder im Zielrohr sichtbar wird, muss nach unten korrigiert werden.



### Zu Versuch 5 (Wassergefülltes Reagenzglas)

Ist das Reagenzglas nah am Zeitungstext, so vergrößert es.

Ab einer gewissen Distanz steht die Schrift auf dem Kopf und wird kleiner.

Die Abbildung unten zeigt, wie die Schülerinnen und Schüler mit dem Arbeitsblatt, der optischen Lampe mit Schlitzblende und der runden Plexiglasscheibe die Lichtwege selber erkunden können.



Auf der folgenden Seite sind die Strahlengänge dargestellt und sie zeigen:

- Die nähere Strecke AB wird unter einem größeren Winkel gesehen als ohne die runde Glasscheibe. Also wird die Strecke AB durch die Glasscheibe vergrößert.
- Die entferntere Strecke A'B' wird verkehrt gesehen, weil der Lichtstrahl des Punktes A', der links liegt, von rechts her ins Auge gelangt.

Damit die Schülerinnen und Schüler die mit der Optiklampe ermittelten Strahlengänge interpretieren können, müssen sie zwei Dinge vorher begriffen haben:

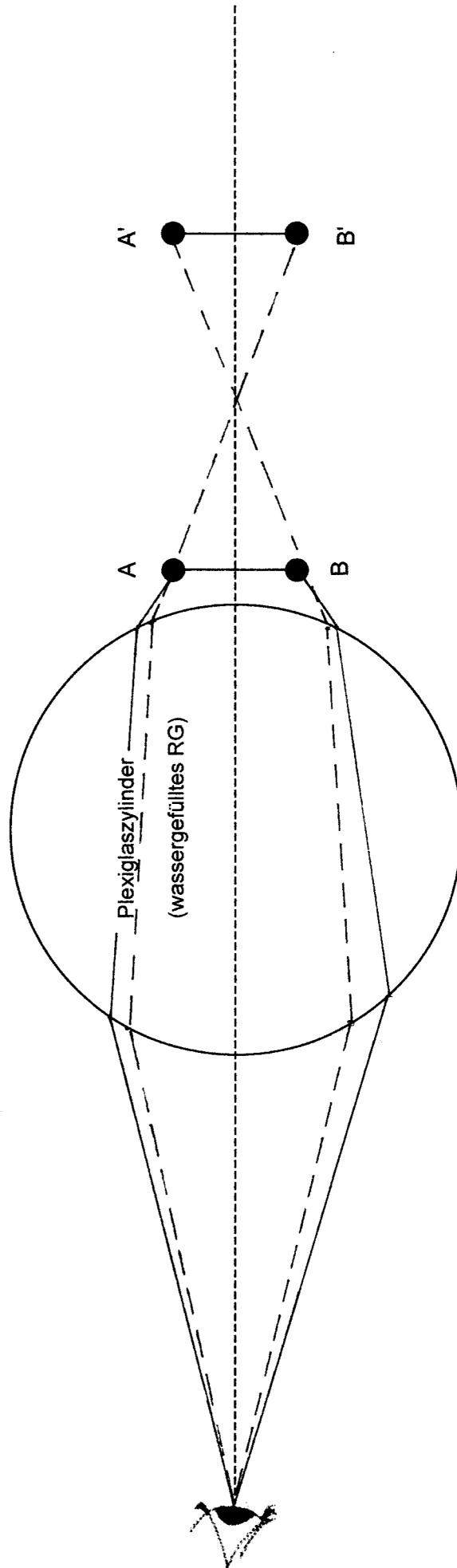
- Einen Gegenstand sehen bedeutet immer, dass von diesem Gegenstand ausgehend Licht in unser Auge gelangt.
- Etwas „größer sehen“ bedeutet, dass das Objekt unter einem größeren Sehwinkel gesehen wird.

## Warum das wassergefüllte Reagenzglas nahe Schrift vergrößert und entfernte auf den Kopf stellt

Material: Optische Lampe mit einem Schlitz, Stromlieferungsgerät mit 12V, Plexiglaszylinder, Bleistift

Untersucht, wie ein von rechts her kommender Strahl, durch A laufen muss, wenn er ins Auge fallen soll. Zeichnet mit Bleistift auf dieses Blatt von A bis zum Auge.

Wiederholt das Ganze für die Punkte B, A' und B'.



Strecke AB steht  
für einen nah am  
Reagenzglas liegenden  
Buchstaben.

Strecke A'B' steht  
für einen weiter entfernten  
Buchstaben.

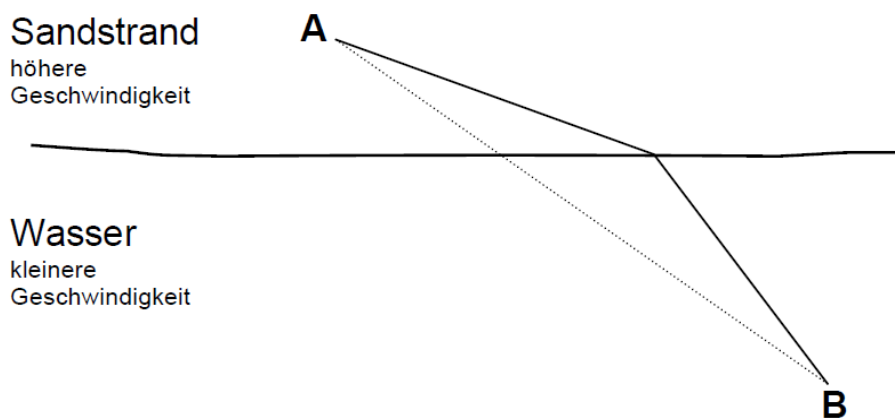
Könnt ihr nun das Vergrößern und das Auf-dem-Kopf-Stehen der Schrift erklären?

## In welche Richtung wird der Lichtstrahl gebrochen?

### Vorstellungshilfe 1: Rettung am Sandstrand (Seipp 2014)

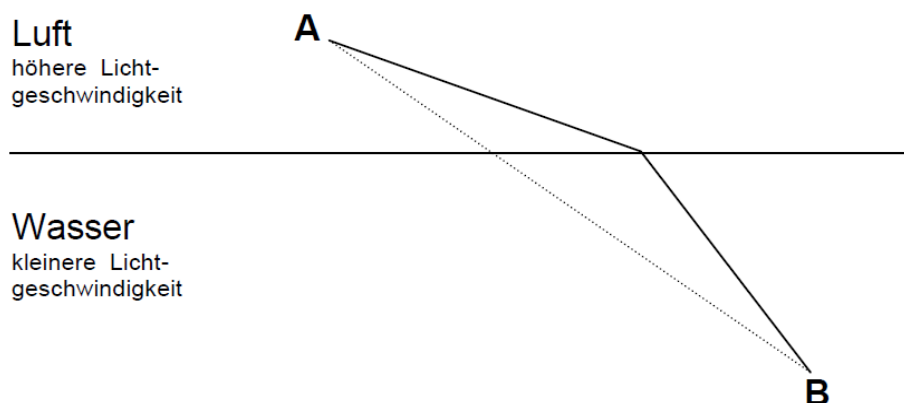
Zur Vorbereitung die folgende Rätselaufgabe:

Im Wasser an der Stelle B ist jemand in Not und am Strand, an der Stelle A befindet sich ein Helfer. Der Helfer muss auf dem *schnellsten* Weg von A nach B gelangen, wobei er auf dem Sand rennen kann und eine grössere Geschwindigkeit hat als im Wasser, wo er schwimmen muss. Wie verläuft der schnellste Weg? Dieses Extremal- oder Optimierungsproblem ist mittels Differentialrechnung zu lösen und das Ergebnis ist folgendes: Der *schnellste* Weg (ausgezogene Linie) ist nicht gleich dem *kürzesten* Weg (gestrichelte Linie). Der schnellste Weg hat einen Knick, wodurch erreicht wird, dass die im Wasser (langsam!) zurückzulegende Strecke kürzer ausfällt als beim geradlinigen Weg.



Genauso ist es bei einem Lichtstrahl. Im optisch dünneren Medium Luft ist die Lichtgeschwindigkeit höher als im optisch dichteren Medium Wasser.

*Das Licht folgt dem schnellsten Weg.*

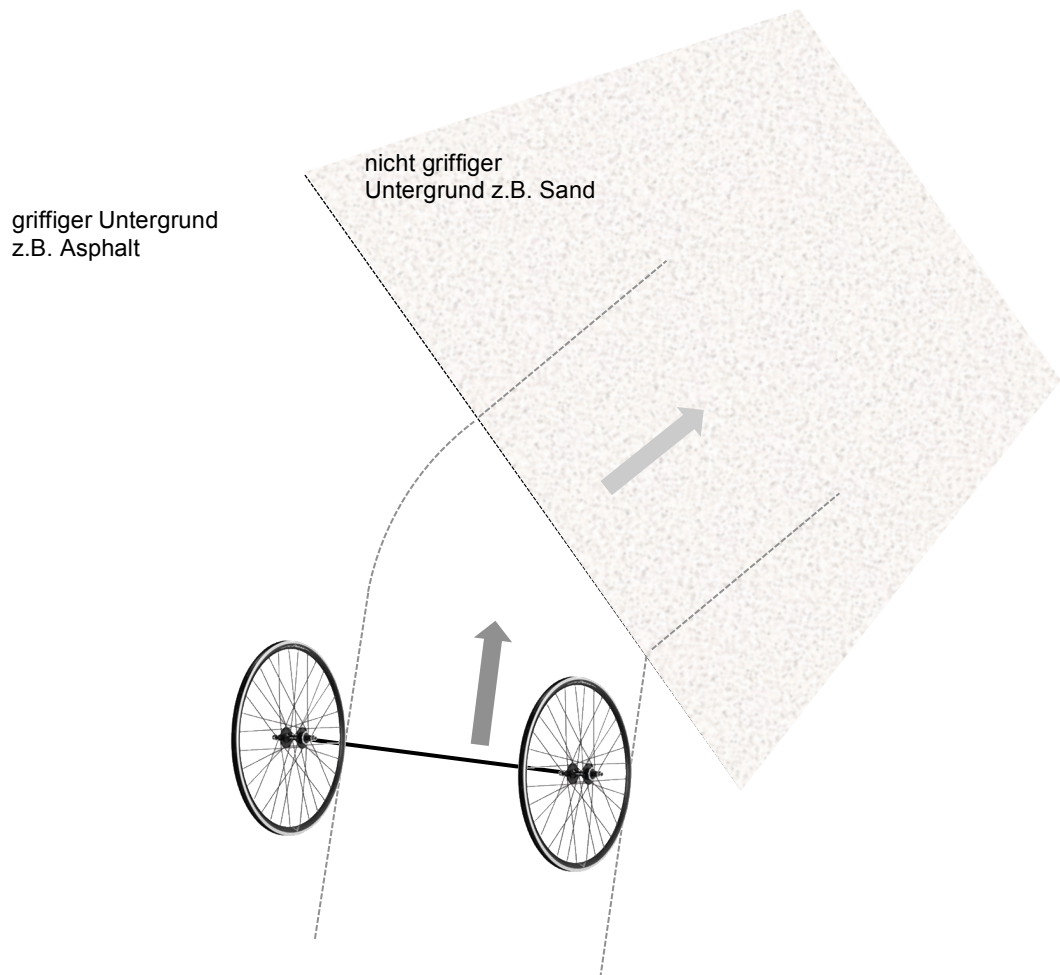


Natürlich kann man immer weiter fragen. Es ist wohl "gefühlsmässig" einleuchtend, dass Licht in der dünneren Luft eine grössere Geschwindigkeit besitzt als im dichteren Wasser, doch dies ist kein physikalisches Argument und man kann sich fragen, *weshalb* es so ist. Schall beispielsweise hat in Wasser eine grössere Geschwindigkeit als in Luft! Durch Einbezug weiterer physikalischer Tatsachen kommt man mit dem Erklären zwar weiter, aber letztlich muss man einsehen, dass es Dinge gibt, die einfach als *Naturtatsachen* hingenommen werden müssen.



## Vorstellungshilfe 2: Das Einachsenmodell

Den Knick des Lichtstrahls kann man den SchülerInnen auch auf einfache Weise mit einem Modell einer Radachse näher führen:



Das rechte Rad kommt eher in den Sand. Es kommt hier weniger gut vorwärts und läuft im Sand eine kurze Zeit fast an derselben Stelle, während das linke Rad auf dem Asphalt immer noch schneller voran kommt und daher einen kleinen Bogen macht, bis beide Räder im Sand angekommen sind. Dies erzeugt eine Änderung der Fahrrihtung. Dieser Knick kann mit der Richtungsänderung im Lichtstrahl verglichen werden:

Im Einachsenmodell entspricht der Asphaltbelag, auf dem die Räder weniger Widerstand erfahren, dem optisch dünneren Medium Luft, in dem die Lichtgeschwindigkeit höher ist als in Wasser. Dem optisch dichteren Medium Wasser entspricht im Einachsenmodell der Sand.

**Quellen:**

*Bäurle, Wolfram; Barthelemy, Marion et.al.2004. Strategie Nr. 1 – Methodenheft für Naturwissenschaften. Stuttgart: Klett Verlag*

*Seipp, Hanspeter. PH Zürich. PDF-Unterlagen zum Workshop „Lichtbrechung – ein sinnlicher Zugang zur Optik“ am SWISE-Innovationstag 2014*