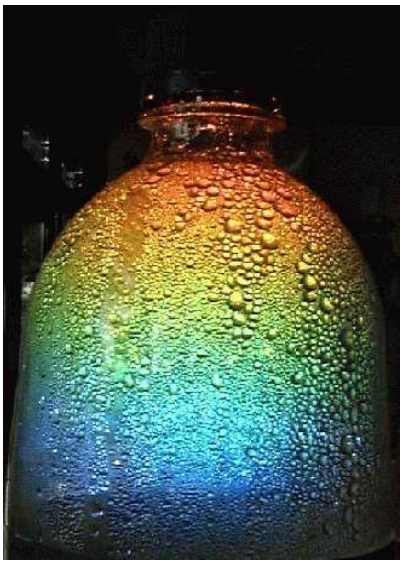
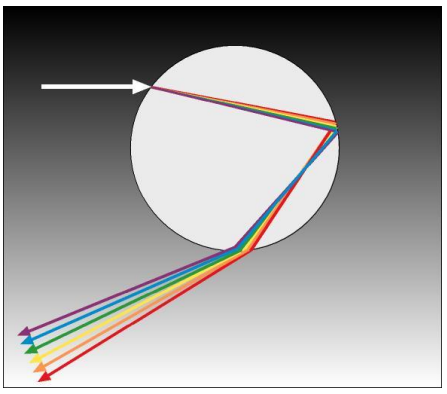
Landeshauptstadt Hannover

Hannover

Schulbiologiezentrum



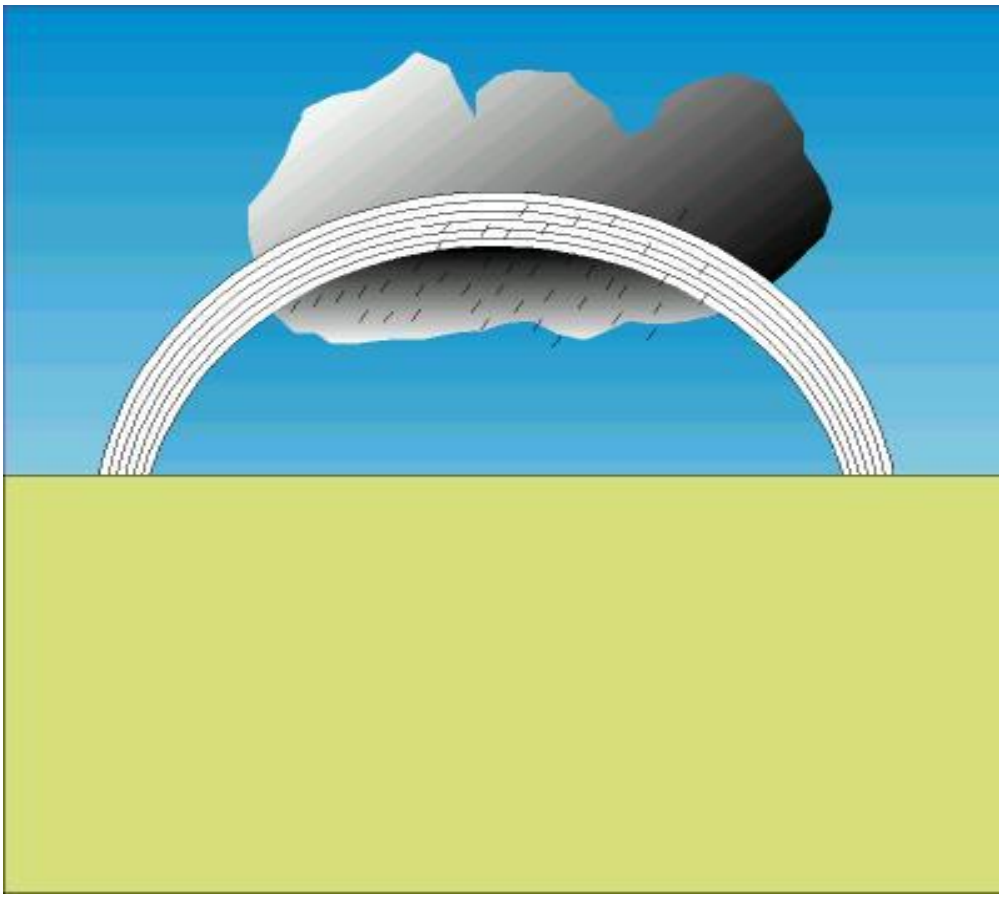


19.36

Regenbogen-Werkstatt

Experimente mit "farbigen" Wassertropfen

September 2016



Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Schulbiologiezentrum Hannover/Energie-LAB

Titel: Regenbogen-Werkstatt
Experimente mit "farbigen" Wassertropfen

Titelbild: Ingo Mennerich

Arbeitshilfe 19.36 (Neuauflage 2016)

Verfasser: Ingo Mennerich

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Fachbereich Bibliothek und Schule
Schulbiologiezentrum
Vinnhorster Weg 2
30419 Hannover
Tel: 0511/168-47665
Fax: 0511/168-47352
E-Mail: schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de
Internet: www.schulbiologiezentrum.info

Inhalt

Sonne, Regen und doch kein Regenbogen? 1
Vorwort 2
Es gibt keine dummen Fragen! 3
"Dem Regenbogen auf der Spur" 4
Regenbogen-Quiz 5
Lösungen 10
Regenbogen für Eilige… 15
Regenbögen um uns herum 16
Regenbögen im Großen Garten (Hannover Herrenhausen) und am Maschsee 16
Regenbogenähnliche Effekte 22
Der Regenbogen im Labor 22
Farben im Suppenteller
Regenbogenfarben aus der Puddingschale oder dem Weinglas 24
Regenbogenfarben mit einem Prisma 25
"Regenbogen" mit einem künstlichen "Wassertropfen" 26
"Regenbogen" mit einem Marmeladenglas 27
Regenbogen unter Rotlicht 28
Regenbogen und Mathematik 29
Messung des Brechungsindex Luft / Wasser in Abhängigkeit vom Einfallswinkel 29
Brechung, Dispersion und Reflektion in der Petrischale 30
Schräger Spiegel in einer mit Wasser gefüllten Schale 33
Waagerechter Spiegel in der Schale 35

Sonne, Regen und doch kein Regenbogen?

In den Tropen nahe am Äquator gibt es nahezu täglich um die Mittagszeit schwere Gewitterschauer bei denen viel Regen vom Himmel fällt. Wenn gleichzeitig die Sonne scheint sollte es schöne Regenbögen geben. Doch weit gefehlt: Mit etwas Glück wird man morgens oder abends einen sehen, mittags aber nie! Wie ist das eigentlich bei uns?

Vorwort

Diese Unterrichtshilfe entstand 1998 in unserer Reihe "Natur & Technik" wurde aber nur wie damals üblichen in schwarz-weiß gedruckt und erschien nie im Internet. In der ersten Fassung versprachen wir, in einer späteren zweiten Auflage in der Schule mögliche Experimente hinzuzufügen. Das wollen wir nun mit fast 20 Jahren Verspätung tun wobei wir uns bewusst sind, dass das der Themenbereich "Optik" weitgehend aus den Curricula herausgefallen ist.

Optische Phänomene und Gesetze bestimmen viele Dinge in unserem Alltag. Ob wir mit dem Smartphone ein Selfie machen, vor dem Spiegel stehen, ein Youtube-Video sehen, beim Autofahren (weil zu schnell) geblitzt werden oder die Lesebrille aufsetzen. Immer sind optische Medien im Spiel die mit Licht etwas machen was uns nützt. Ohne Brechung und damit ohne Linsen wüssten wir heute nichts von Bakterien, ohne Reflektion und Lichtleiter gäbe es kein Internet. Die Dispersion, d.h. die Auffächerung des weißen Sonnen- und Sternenlichts durch Prismen hat uns "Erdlingen" viele Geheimnisse des Weltalls verraten.

Ein Regenbogen ist etwas Schönes. Die Flut schöner Regenbögen im Internet ist ein Beweis dafür, dass kaum jemand wegsieht, wenn er am Himmel erscheint.

In vielen Kulturen gilt der Regenbogen als ein Zeichen des Friedens und allein die ihn umgebende Mythologie gäbe viel Gesprächsstoff ab.

Wir wollen den Regenbogen zum Forschungsgegenstand machen. Küsse unter´m Regenbogen sollen Glück bringen, stimmt das? Und geht das auch ohne Küssen? Wer mag kann auch allein versuchen unter ihm zu stehen oder hindurchzugehen. Vielleicht erreicht man auch eines seiner beiden Enden wo ein Schatz vergraben sein soll. GPS und Handykameras würden die Geolokalisation solcher vielversprechenden Orte sicher erleichtern…

Wer dem Regenbogen auf die Spur kommen will wird eine Menge interessante Erfahrungen machen. Er hat etwas Unfassbares und zunächst Unbegreifliches: Er scheint vor uns zu fliehen, er wird nicht größer wenn wir uns nähern und angefasst hat ihn auch noch keiner.

Ein Regenbogen ist ein recht komplexes optisches System bestehend aus einer riesen Anzahl kleiner, optisch dichter Kugeln, nämlich Wassertropfen. Durch die Geometrie des runden Tropfens wird das Sonnenlicht unter bestimmten Winkeln gebrochen, farbig aufgefächert (dispergiert), reflektiert und erneut gebrochen. Die Wissenschaftsgeschichte des Regenbogens ist lang und ist mit Namen wie Abu Sad al-Ala ibn Sahl (984), Dietrich von Freiberg (1300), Willebrord Snell (1621), Réné Descartes (1637), Edmond Halley (1700) Isaac Newton (1704), Thomas Young (1801) und George Biddell Airy (1849) vernüpft um nur die Wichtigsten zu nennen. Sie führt von der Entdeckung der Brechung über die Dispersion zur Wellen-/Teilchen Betrachtung und Quantentheorie des Lichts.

Einige der mit dem Regenbogen in Zusammenhang stehenden Phänomene und Gesetzmäßigkeiten können wir mit einfachen Methoden "nachentdecken". Die einfachste Methode ist das Beobachten:

Leider ist der Forschungsgegenstand nur unter bestimmten Bedingungen verfügbar. Aber diese Bedingungen sind bereits Teil der forschenden Aktivität. Schauen wir nach draußen und erkennen wir, dass des "den" Regenbogen gar nicht gibt. Es gibt hohe, flache, leuchtende und schwache, vielfarbige und nur rote. Manchmal gibt es trotz Regen und Sonne überhaupt keinen Regenbogen. Aber stets ist der farbige Ring gleich breit und groß.

Häufige Beobachtungen führen möglicherweise dazu, dass wir Regenbögen auch unter "Laborbedingungen", also zum Beispiel im Freien mit dem Gartenschlauch selbst herstellen können.

Und mit Wasser, Spiegeln, wassergefüllten Marmeladengläsern, Plastikkugeln und Petrischalen können wir "nacherforschen" was mit dem Licht in einem Tropfen passiert. Sonnenlicht, eine LED-Taschenlampe und ein Laserpointer helfen uns dabei.

Wir hoffen, dass diese Zusammenstellung "unserer" Experimente für sie hilfreich ist und Sie zu weiteren, vielleicht noch viel spannenderen Versuchen anregt. Viel Spaß dabei!

Diese Unterrichtshilfe ist in fünf Abschnitte geteilt:

- "Dem Regenbogen auf der Spur" umfasst in erster Linie die bei "echten" Regenbögen auftretenden, durch Beobachtung feststell- und erforschbarer Phänomene. Das "Regenbogen-Quiz" soll dazu anregen, bei nächster Gelegenheit genau hinzuschauen und aus den Beobachtungen weiterführende Schlüsse zu ziehen. Vergleichen Sie Ihre Überlegungen mit den "Lösungen".

- In "Regenbögen für Eilige" haben wir einige Grafiken aus unserer Unterrichtshilfe "Licht & Farbe" die das Wichtigste zum Thema zusammenfassen.

- "Regenbögen um uns herum" zeigt regenbogenartige Erscheinungen in unserer Umwelt die auf andere Weise entstehen: Durch Brechung an Eiskristallen oder Überlagerungen verschiedener Wellenlängen (Interferenz)

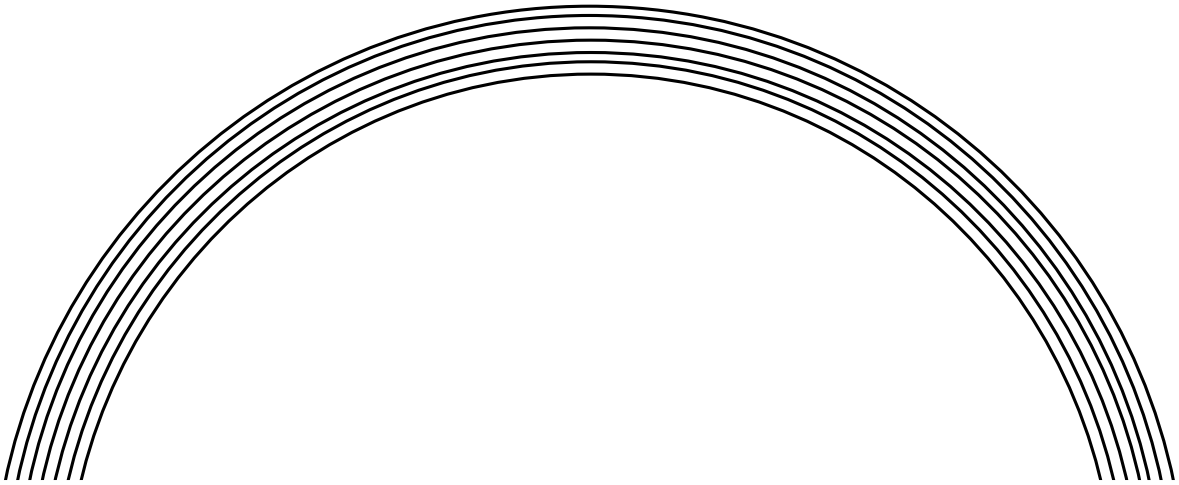
- In "Der Regenbogen im Labor" haben wir die Versuche zusammengetragen, die wir Rahmen von "Licht & Farbe" im Schulbiologiezentrum Hannover und im Energie-LAB der IGS Mühlenberg mit Schülern durchgeführt haben.

- In " Regenbogen und Mathematik" haben geht es um die Ermittlung von Brechungswinkeln und die Berechnung eines optimalen "Zimmer-Regenbogens".

Es gibt keine dummen Fragen!

- Wo genau ist das Ende eines Regenbogens?
- Hinterlässt ein Regenbogen Spuren auf der Erde?
- Kann man unter einem Regenbogen hindurchgehen, so wie unter einer Brücke?
- Wie sieht ein Regenbogen von der anderen Seite aus?
- Gibt es auch ganze, und nicht nur halbe Regenbögen?
- Wird ein Regenbogen breiter wenn man sich ihm nähert?
- Gibt es Regenbögen wenn die Sonne untergegangen ist aber die Wolken noch beleuchtet werden?
- Kann man einen Regenbogen anfassen?
- Warum ist ein Regenbogen eigentlich rund?

"Dem Regenbogen auf der Spur"



Haben Sie ein paar Buntstifte zur Hand und haben Sie etwas Zeit? Wir können unser Arbeitsmaterial aus Kostengründen nicht immer farbig ausdrucken, aber vielleicht lässt sich aus diesem Mangel etwas pädagogisch Sinnvolles machen: Malen Sie die Vorlage farbig aus. Am besten machen Sie Kopien und versuchen es mit Freunden, Kollegen und/oder Ihren Schülern, ohne dass Sie sich untereinander über die Farben und die Farbabfolge absprechen.

Wir alle haben Regenbögen gesehen, fotografiert und vielleicht auch gemalt und dennoch, können Sie auf Anhieb sagen, ob der äußere Ring rot, violett oder vielleicht grün ist? Wie folgen die Farben aufeinander? Gibt es da überhaupt "das" Farbspektrum, oder ist jeder Regenbogen verschieden? Wie groß und breit ist ein Regenbogen, und: Ist das immer so?

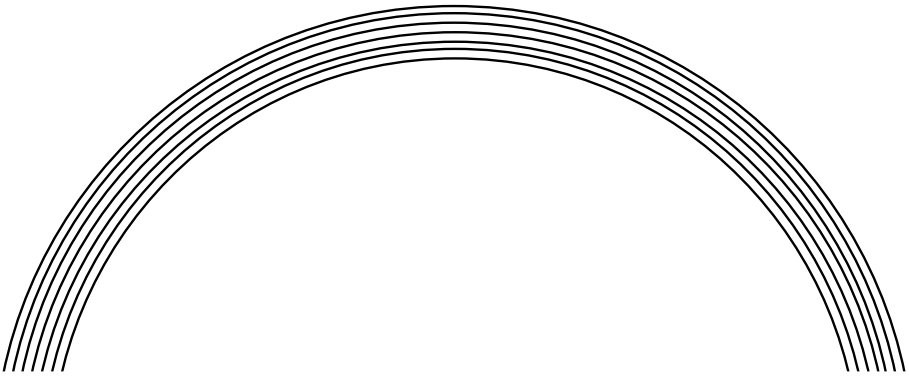
Natürliche Regenbögen entziehen sich (leider?) jeder unterrichtlichen Planung und sind wohl deshalb (leider) kein Schulthema. Dabei stellen sie dem neugierigen Beobachter so viele Fragen.

Nehmen Sie einen Gartenschlauch und lassen es regnen. Finden Sie den Regenbogen? Kommen Sie ihm ruhig näher und gehen ihm auf den Grund. Manches werden Sie ihm im "Wagenschein´sten" Sinne durch Beobachtung, logisches Denken und klug ausgeführte Experimente entlocken können. Vieles gibt für Jahre zu denken...

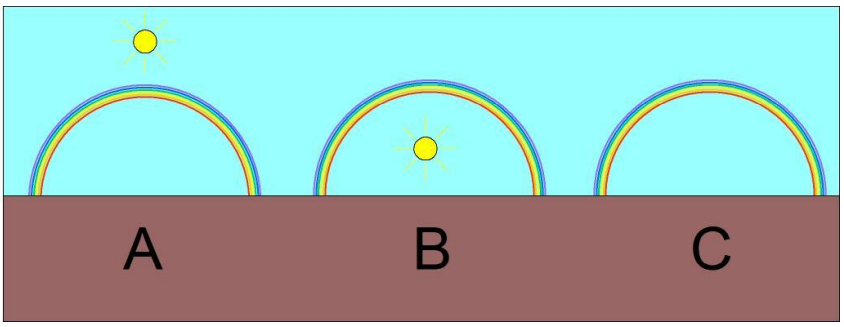
* **Phänomen**: Von lat. "phaenomenon"(Lufterscheinung), griech. "phainómenon" (das Erscheinende, Einleuchtende, die Himmelserscheinung) aus indogerman. Wurzel "bhã, bhõ..." (glänzen, leuchten, scheinen).

Regenbogen-Quiz

1 Male den Regenbogen mit Buntstiften an!



2 Welche Abbildung ist richtig?

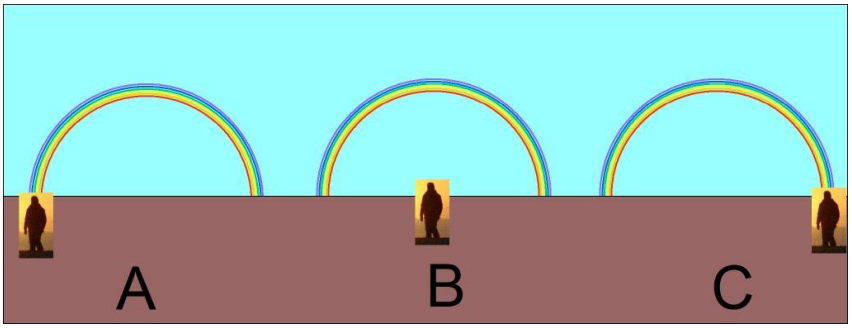


☐ A

☐ B

☐ C

3 Wohin zeigt dein Schatten?

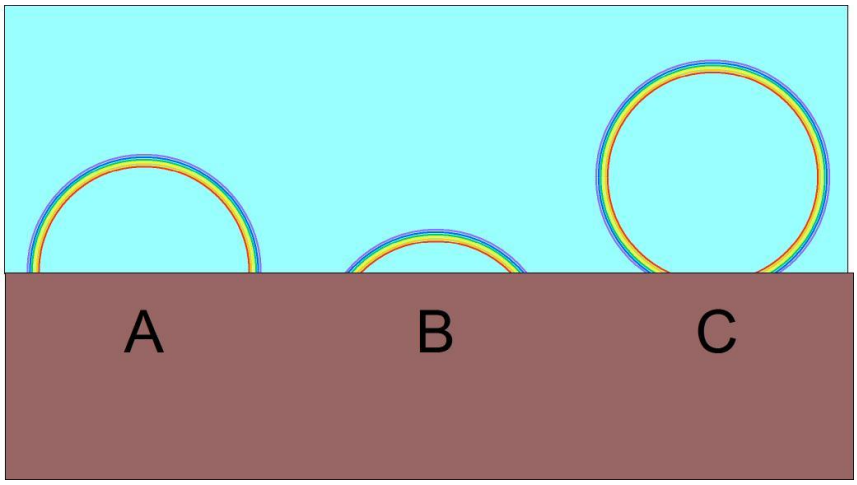


☐ A

☐ B

☐ C

4 Wie sieht der Regenbogen bei Sonnenuntergang (oder -aufgang) aus?

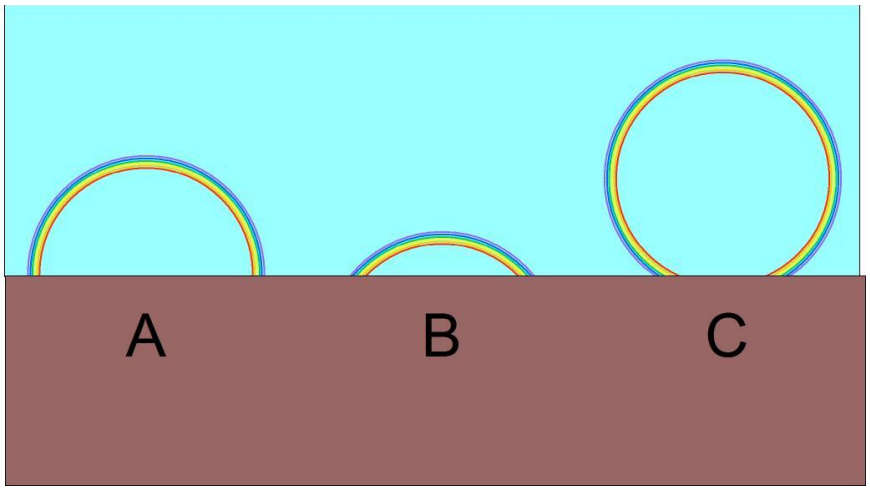


☐ A

☐ B

☐ C

5 Wie sieht der Regenbogen zur Mittagszeit aus?



☐ A

☐ B

☐ C

6 Ein kleines Stückchen Regenbogen steht über dem Horizont.

Ordne die Bilder verschiedenen Tageszeiten zu

A

B

C

☐ morgens früh ☐ vormittags ☐ mittags

☐ nachmittags ☐ kurz vor Sonnenuntergang

7 Wo kann man den Regenbogen als ganzen Kreis sehen?

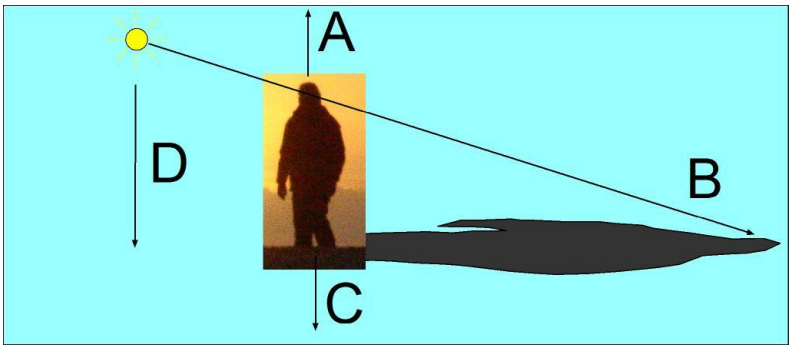
A - Am Äquator

B - Im Flugzeug

C - An den Polen

D - Unter einer Gewitterwolke

8 Wo ist das Zentrum des (Regenbogen-)Kreises?



A - Über Ihnen

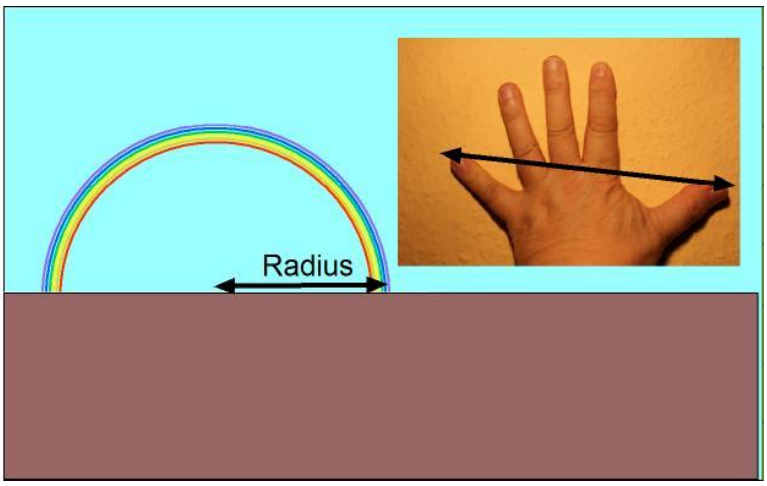
B - Am Ende Ihres Schattens

C - Unter Ihnen

D - Unter der Sonne

9 Welchen Radius hat der (Regenbogen-)Kreis etwa, gemessen mit dem ausgestreckten Arm?*

* gehalten 70 cm Entfernung, überstreicht eine Handspanne (20 cm breit) ca 15°



A - Eine Handspanne

B - Fünf Handspannen

C - Drei Handspannen

D - Acht Handspannen

10 Ich gehe auf den Regenbogen zu. Was passiert?

A - Der Regenbogen wird größer

B - Der Regenbogen bleibt gleich groß, verändert aber seine Form

C - Irgendwann bin ich unter dem Regenbogen angekommen und er steht über mir

D - Der Regenbogen bleibt gleich groß, er behält seine Form

E - Ich kann die Farben deutlicher auseinanderhalten

11 Wie breit ist das farbige Band des Regenbogens?

A - So breit wie die Sonne?

B - Zweimal so breit wie die Sonne?

C - Dreimal so breit wie die Sonne?

D - Viermal so breit wie die Sonne?

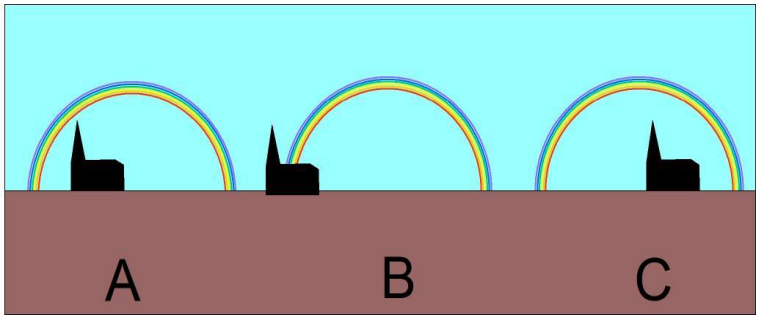
12 Was ist zu beobachten, wenn ich mit einem Gartenschlauch einen Regenbogen ganz in meiner Nähe erzeuge?

A - Das farbige Band ist viel breiter als das am Himmel

B - Das farbige Band ist schmaler als das am Himmel

C - Das farbige Band ist genauso breit wie das am Himmel

13 Ein Regenbogen steht über einem Kirchturm (A)



Ein paar Minuten später steht er

A - immer noch dort

B - rechts davon

C - links davon

14 Manchmal taucht am Himmel ein zweiter Regenbogen auf.

A - Er steht über dem Hauptregenbogen der Sonne gegenüber

B - Er steht neben dem Hauptregenbogen

C - Er steht unter dem Hauptregenbogen der Sonne gegenüber

D - Beide Bögen "berühren" sich am Horizont

E - Beide Bögen "berühren" sich am höchsten Punkt

15 Am Horizont taucht ein zweiter Regenbogen auf. Male die Zeichnung mit den richtigen Farben aus!

Lösungen

1

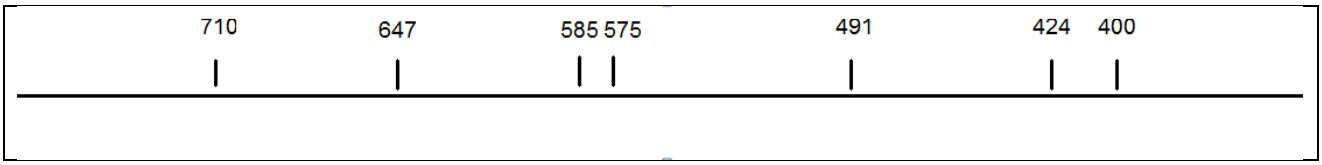
Die Farbabfolge des Hauptregenbogens (von außen) ist: Rot, orange, gelb, grün, blau, violett

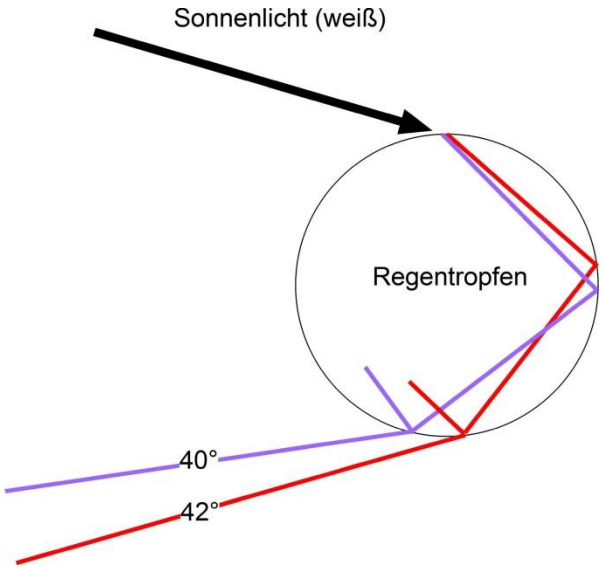
Licht ist der sichtbare Teil des elektromagnetischen Spektrums

rot	647 - 710 nm	grün	491 - 575 nm
orange	585 - 647 nm	blau	424 - 491 nm
gelb	575 - 585 nm	violett	400 - 424 nm

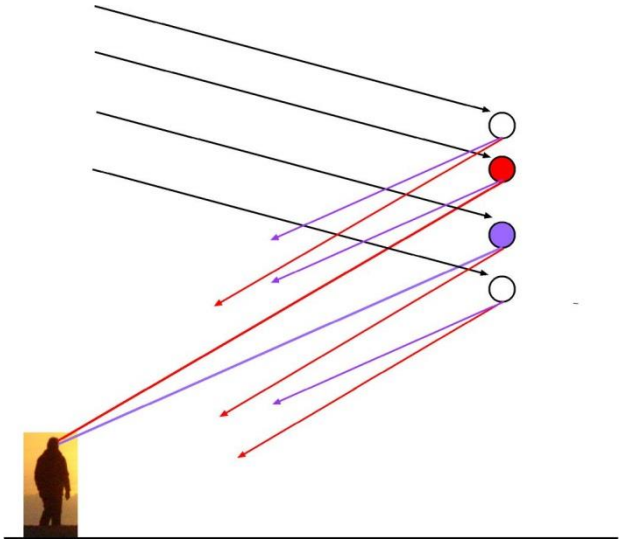
Wellenlänge in nm (=Nanometer, 10^{-9} m, ein Milliardstel Meter oder ein millionstel Millimeter)

Zum Ausmalen!





Der im Idealfall sphärische (kugelförmige) Regentropfen bricht das weiße Sonnenlicht an der Übergangsfläche zwischen Luft und Wasser wie ein Prisma in seine Farbbestandteile. Der kurzwelligere violette Anteil wird stärker gebrochen als der langwelligere rote. Das so entstandene Farbspektrum wird an der Rückseite des Tropfens reflektiert und beim Verlassen des Tropfens erneut gebrochen. Der mittlere Austrittswinkel des sichtbaren Lichts zur Einfallsrichtung des Sonnenlichts beträgt 41° 20´, für den violetten Anteil sind es 40°, für den roten 42°. Daher erscheinen aus der Beobachterperspektive am Boden die höheren Tropfen rot, die tieferen violett.



Aus der Perspektive des fallenden Tropfens könnte man sagen, er schickt dem Beobachter (und nur ihm!) zunächst rotes, dann oranges, gelbes, grünes, blaues und schließlich violettes Licht.

Der aufmerksame Vergleich vieler Regenbögen offenbart allerdings, dass das Farbenspiel individuell recht unterschiedlich ausfallen kann. Ein wesentlicher Grund liegt in den Beugungsmustern, die beim Übergang vom einen zum anderen Medium auftreten und die dazu führen, dass sich jede Farbe in die kurzwelligeren Farbanteile hinein auffächert und sich mit ihnen mischt.

Dies geschieht nicht gleichförmig, sondern mit in der Folge abnehmenden Intensitätsmaxima und -minima, wie beim Durchtritt von Licht durch einen schmalen Spalt. Hier kommt es zur Addition und Subtraktion von Farbanteilen. Das Farbmuster des Regenbogens ist weiterhin abhängig von der Tropfengröße. Große Tropfen führen zu schmalen, farbintensiven Bögen, kleine Tropfen zu verwaschenen Farben und zu hellen, fast weißen Sekundärbögen, die unmittelbar an den violetten Bogen anschließen und ihn breiter erscheinen lassen. Die winzigen Tröpfchen einer von der Sonne beleuchteten Nebelwand erzeugen u.U. den weißen Nebelbogen.

2

C ist richtig!

Der Regenbogen steht der Sonne genau gegenüber (aber nur dann, wenn dort Regen fällt).

3

B ist richtig!

Der eigene Schatten zeigt stets in die Richtung der höchsten Stelle des Regenbogens. Dies ist die der Sonne entgegengesetzte Richtung.

4

A ist richtig!

Bei Sonnenaufgang bzw. -untergang erreicht der Regenbogen die größte Höhe über dem Horizont. Jetzt ist die gesamte obere Hälfte zu sehen (aber auch nicht mehr wie in C)

5

B ist richtig!

Mit steigender Höhe der Sonne sinkt das Zentrum des Regenbogens unter den Horizont. Vom Regenbogen sind nur noch die obersten Bereiche sichtbar.

6

Die richtige Lösung ist B-A-C-A-B!

Frühmorgens und spätabends taucht der Regenbogen bei tiefstehender Sonne steiler unter den Horizont als um die Mittagszeit.

7

B ist richtig!

Nur über den (Regen)Wolken befinde ich mich zwischen der Sonne und dem Regenschauer. Jetzt ist der Bogen u.U. ganz zu sehen.

8

B ist richtig!

Die Sonne, ich selbst (genauer: Meine Augen) und der Schatten meines Kopfes (Augenhöhe) bilden eine Linie, die genau auf das Zentrum des Regenbogens zeigt. Bei auf- oder untergehender Sonne reicht mein Schatten in der Ebene bis zum Horizont. Dort ist dann auch das Zentrum des Bogens, dessen gesamte obere Hälfte sich über den Horizont spannt. Mit steigender Sonnenhöhe wird mein Schatten kürzer, die gedachte Linie zeigt auf einen Punkt unter dem Horizont. Dorthin sinkt auch das Zentrum des Regenbogens. Vom Regenbogen selbst sind nur noch die obersten Abschnitte zu sehen.

9

C ist richtig!

Der Radius des Regenbogens beträgt 40 - 42° (s.o.), drei Handspannen mit dem ausgestreckten Arm sind etwa 45°

10

D ist richtig!

Der Regenbogen verändert sich weder in seiner Größe, noch in seiner Form oder im Kontrast seiner Farben (es sei denn, es regnet mehr oder weniger!). Er ist eine "virtuelle" Erscheinung, ich kann ihn nicht anfassen und auch nicht unter ihm durchgehen. Gehe ich auf ihn zu, "wandert" er vor mir her.

11

D ist richtig!

Der scheinbare Winkel zwischen dem roten und dem violetten Band beträgt ca. 2°. Das ist das Vierfache des scheinbaren Sonnendurchmessers (0,5°).

12

C ist richtig!

Der Winkel, unter dem uns das farbige Band erscheint, bleibt der gleiche, unabhängig davon, ob der Regenbogen am Himmel steht oder in unmittelbarer Nähe. Wenn ich auf den Regenbogen zugehe, wird das Band auch nicht breiter.

13

B ist richtig!

Die Sonne wandert auf der Nordhalbkugel von Osten über Süden nach Westen, also nach rechts. Der Regenbogen wandert wie mein Schatten von Westen über Norden nach Osten und damit auch nach rechts. Wie ist es in Australien?

14

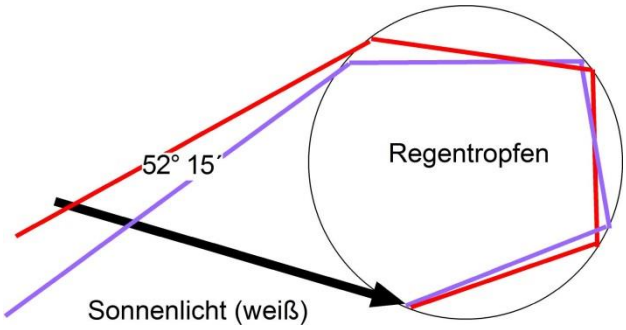
A ist richtig!

Der Nebenregenbogen erscheint in einem Winkel von 52° zum gemeinsamen Zentrum beider Bögen, er ist also größer und steht über dem Hauptregenbogen

15

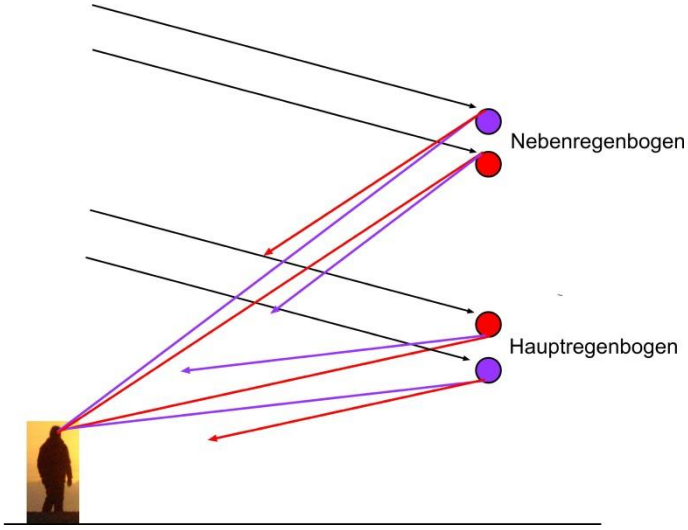
Die Abfolge der Farben ist genau umgekehrt wie beim Hauptregenbogen:

Das rote Band ist innen, das violette außen.



Der Nebenregenbogen ist das Ergebnis einer zweifachen Reflexion des Sonnenlichts an der Rückseite des Tropfens. Der Eintritt des Sonnenlichts erfolgt von der Unterseite des Tropfens her. Beim Übergang von der Luft ins Wasser wird das weiße Sonnenlicht in seine Farbbestandteile zerlegt. Wie beim Hauptregenbogen wird der kurzwellige violette Anteil stärker gebrochen als der rote.

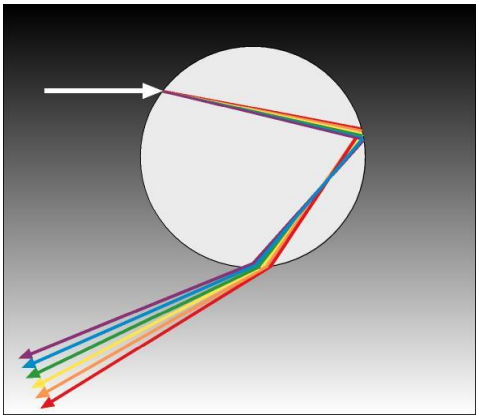
Der Austritt des erneut gebrochenen Spektrums erfolgt unter einem mittleren Winkel von 52°15´, er ist im roten Bereich etwas größer, im violetten etwas kleiner. Daher erscheinen aus der Beobachterperspektive am Boden die höheren Tropfen violett, die tieferen rot.



Die den Beobachter erreichenden Strahlen sind hier etwas hervorgehoben. Sie sind natürlich nicht stärker als die anderen. Die Zeichnung verdeutlicht noch etwas: Gesetzt den Fall, die Tropfen würden schweben, bräuchten Sie nur auf einen Stuhl zu steigen, und ein "roter" Tropfen des Hauptregenbogens würde violett. Der "violette" Tropfen des Nebenregenbogens würde dann rot.

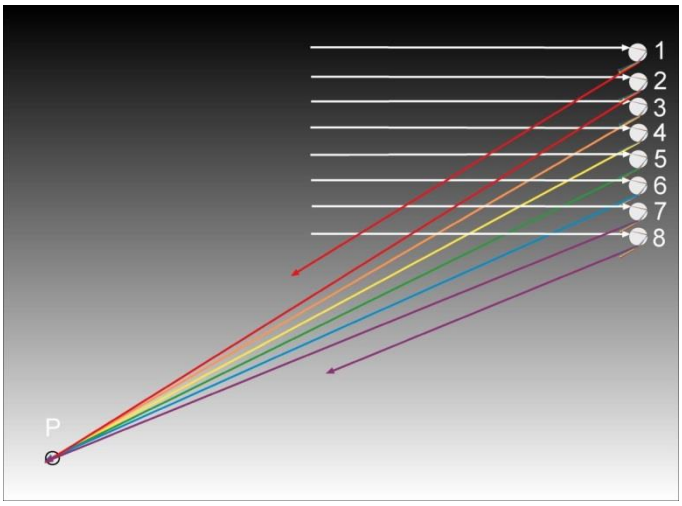
Es gibt eine ganze Reihe einfacher Versuche, mit denen Sie und Ihre Schüler den Regenbogen zu experimentellen Zwecken in die Schule bringen können. Einige davon werden wir in einer späteren Arbeitshilfe zusammenstellen. Vielleicht hat Sie dieses Heft dazu angeregt, den Regenbogen etwas genauer anzusehen. Die intensive Beschäftigung mit dem Thema hat mir gezeigt: Auch wenn wir das Phänomen Regenbogen naturwissenschaftlich "auseinanderpflücken", entzaubern tun wir ihn damit nicht, denn hinter jeder aufgestoßenen Tür tun sich neue Türen auf.

Regenbogen für Eilige…



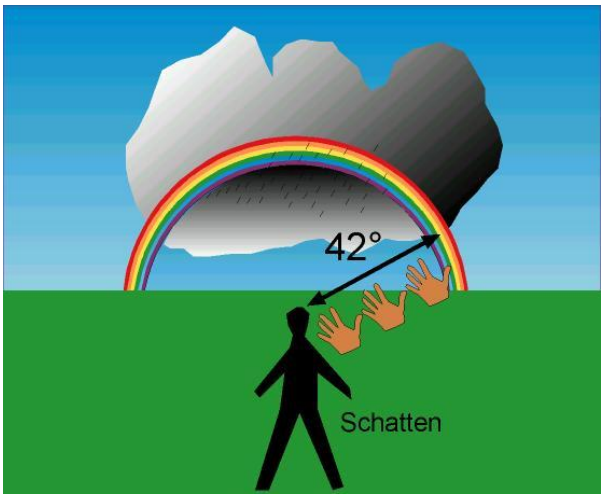
In einem bestimmten Winkel auf den Tropfen treffendes weißes Licht wird

- gebrochen
- In seine Farbanteile aufgefächert
- diese werden auf der Tropfenrückseite reflektiert
- und beim Austritt erneut gebrochen



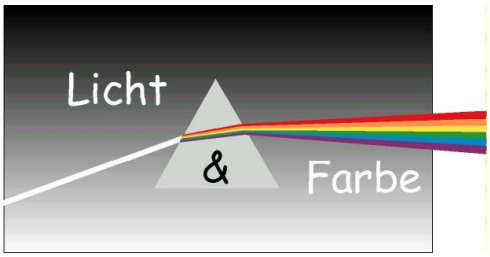
Fallende Tropfen reflektieren nacheinander das ganze sichtbare Sonnenspektrum,

von Rot bis Violett



Das ganze "Konzert" der fallenden, Farben reflektierenden Tropfen erscheint uns als Regenbogen.

Jeder Beobachter sieht seinen eigenen Regenbogen



Die Grafiken haben wir unserer Unterrichtshilfe "Licht & Farbe" entnommen. Dort finden Sie noch viel mehr zu diesen Themen.

www.schulbiologiezentrum.info
(Arbeitshilfen)

Regenbögen um uns herum

Regenbögen im Großen Garten (Hannover Herrenhausen) und am Maschsee

Fotos: Ingo Mennerich

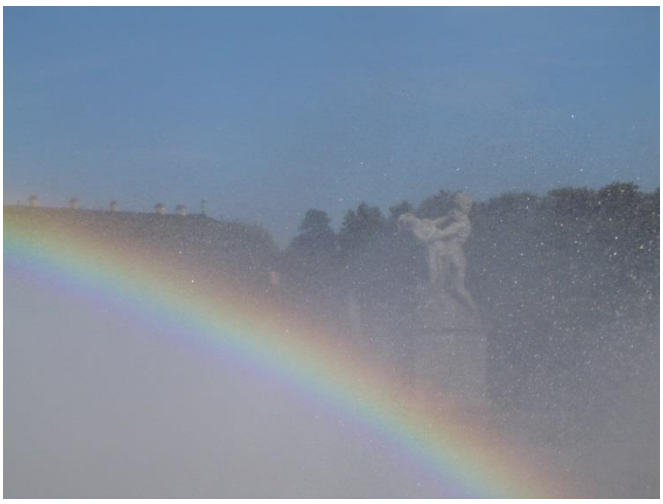
Die große Fontäne ist ein idealer Ort um herauszufinden, unter welchen Umständen und an welchen Orten ein Regenbogen zu sehen ist:

- Immer steht er der Sonne gegenüber.
- Je feiner die Tropfen, desto "schärfer" erscheint er
- Der Schatten des Beobachters zeigt auf den Mittelpunkt des unvollständigen Bogens.
- Der Regenbogen wandert mit dem Beobachter mit.
- Je höher die Sonne, desto flacher ist der Regenbogen.
- Der Regenbogen wandert im Laufe der Zeit nach rechts mit der Sonne mit.

Die vielen kleinen, auf ein gemeinsames Zentrum gerichteten Fontänen erzeugen besonders feinen Tropfennebel.

Dadurch entstehen besonders "scharfe" Regenbögen und oft auch zwei zugleich!

Fotos: Ingo Mennerich



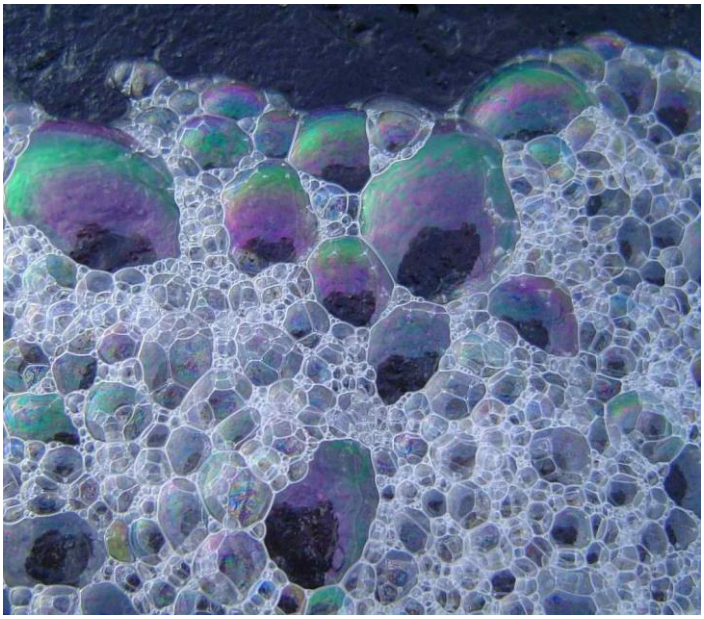
Regenbogen am Maschsee-Nordufer

Bild: Uni Hannover (https://www.itp.uni-hannover.de)

Haupt- und Nebenregenbogen über Hannover

Man beachte dass der Außenkreis des Hauptregenbogens rot ist, beim Nebenregenbogen ist er violett.

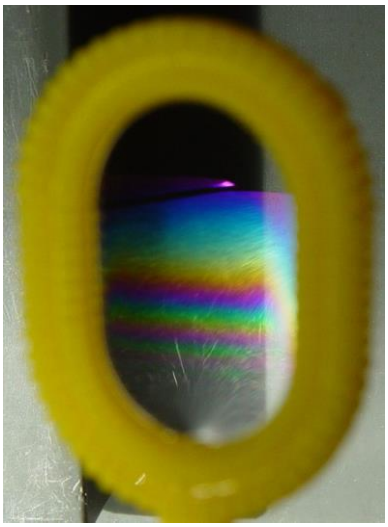
Regenbogenähnliche Effekte



Seifenschaum lässt weißes Sonnenlicht in allen Regenbogenfarben leuchten.

Wer mag, kann den Schaum auch mal mit farbigem Licht (rot, grün oder blau) beleuchten.

Die Entstehungsweise der Regenbogenfarben auf Seifenschaum ist eine völlig andere als beim Regenbogen. Hier geht es um Interferenz, das heißt die wechselseitige Auslöschung und Verstärkung bestimmter Wellenlängen.



Beim Pusten von Seifenblasen erscheinen auf dem dünnen Flüssigkeitsfilm im Ring gleich mehrere "Regenbögen".
Auch hier ist Interferenz im Spiel.

Aus einer CD und einem Schuhkarton kann man ein Spektroskop bauen:

Mehr dazu in unserer Unterrichtshilfe "CD-Spektroskop"

www.schulbiologiezentrum.info (Arbeitshilfen)

Fotos: Ingo Mennerich

Foto: Ingo Mennerich

Kann das sein: Ein Regenbogen neben der Sonne?

Dies ist keine Fotomontage und es ist auch kein Regenbogen! Regenbögen stehen der Sonne *immer* gegenüber. Wer genau hinsieht wird sehen dass der farbige Streifen neben der Sonne innen rot und außen violett ist. Beim Regenbogen ist es genau umgekehrt. Die Farbabfolge entspricht zwar dem Nebenregenbogen, dieser tritt aber nur zusammen mit dem (Haupt)Regenbogen und immer der Sonne gegenüberliegend auf.

Das Bild zeigt eine farbige "Nebensonne" die unter besonders günstigen Umständen in einen "Halo", einen farbigen Ring um die Sonne übergehen kann. Nebensonne und Halo entstehen durch Eiskristalle die wie Prismen wirken. Solche Erscheinungen sind in der Regel Anzeichen für eine in der Höhe aufziehende Vorderseite eines Tiefdruckgebietes und damit ein Schlechtwetteranzeiger.

Foto: Foto: Ingo Mennerich

Kann man durch einen Regenbogen surfen? Den richtigen, hier die Gischt nach hinten kämmenden Wind und die Sonne im Rücken vorausgesetzt kann der Betrachter am Ufer sehen, was der Surfer nicht gemerkt haben wird…

Regenbögen unter Wasser?

Flaches und leicht bewegtes Wasser im Wattenmeer. Die Wasserwellen werden farbig auf dem Meeresbogen abgebildet.

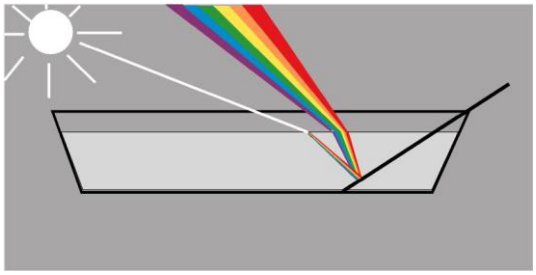
Regenbogen auf dem Wasser

Eine dünne Bakterienschicht auf einem Teich im Schulbiologiezentrum führte zu diesem "Heiligenschein"

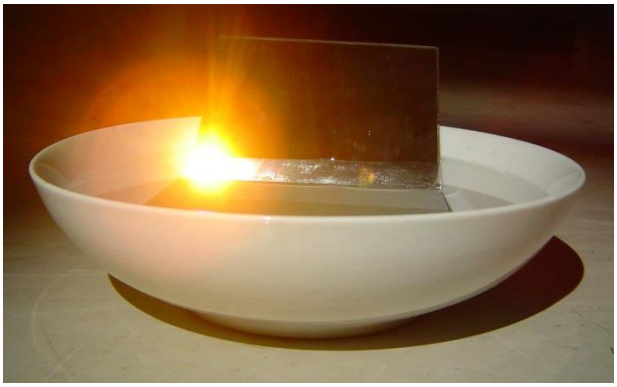
Fotos: Ingo Mennerich

Der Regenbogen im Labor

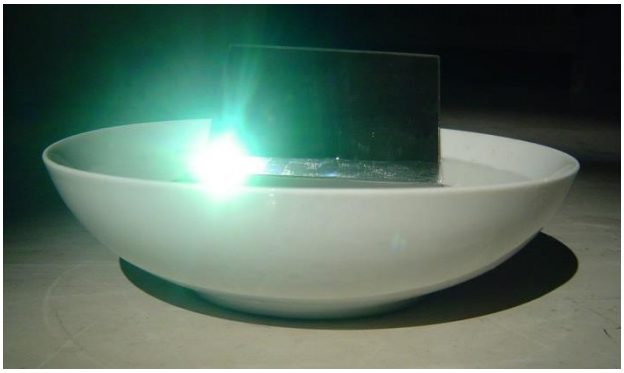
Farben im Suppenteller



Wir brauchen nicht mehr als eine mit Wasser gefüllte Schale und einen schräg ins Wasser tauchenden Spiegel.
Die richtige Lage des Spiegels zur Sonne vorausgesetzt kann man damit ein schönes Farbspiel an die Wand zaubern.



Unter diesem Winkel trifft der rote Spektralanteil die Kamera



Unter diesem Winkel trifft der blaue Spektralanteil die Kamera

(Foto: Ingo Mennerich)

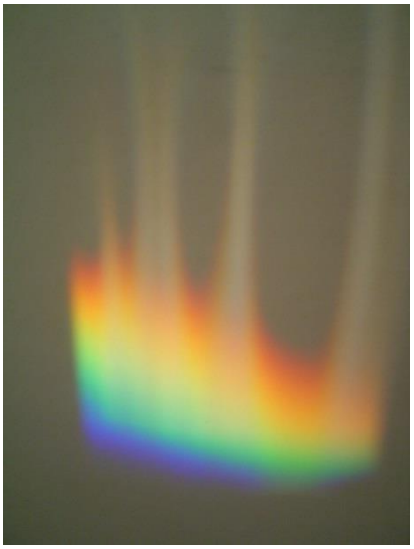
Hier wurde eine mit Wassertropfen benetzte Flasche in das auf der Wasseroberfläche gebrochene und vom Spiegel reflektierte Licht gestellt.

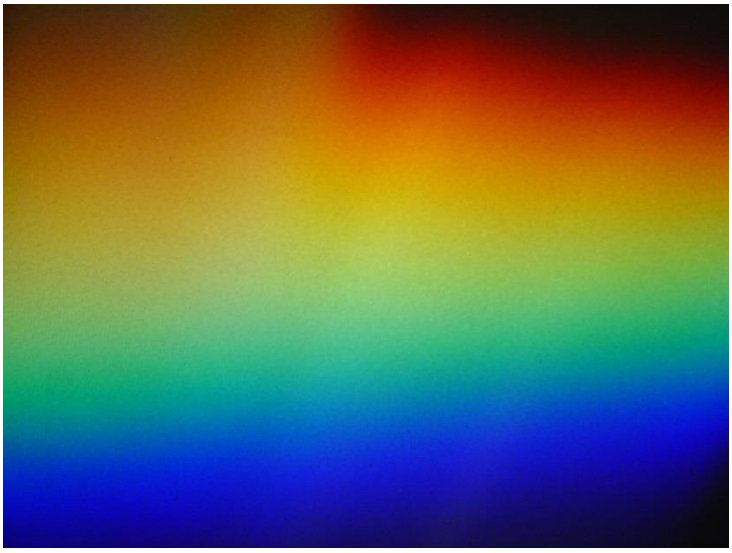
Den optimalen Einfallswinkel des Lichts und die "richtige" Lage des Spiegels vorausgesetzt kann das Spektrum mehrere Grad breit werden.

Die besten Winkel kann man durch Versuch und Irrtum finden und vielleicht "Je…., desto"-Beziehungen formulieren.

Man kann natürlich auch die Mathematik zu Hilfe nehmen. Wir haben ein kleines EXCEL-Programm dazu geschrieben mit dem man mit verschiedenen Einfallswinkeln und Spiegelneigungen "spielen" kann. Dabei wird man feststellen, dass der Spiegel immer schräg liegen muss, es aber auch "unerlaubte" Winkel gibt bei denen kein Spektrum entsteht. Ein waagerecht liegender Spiegel erzeugt nur weißes Licht.

Und dann geht es wieder in die Praxis: Stimmt die mathematische Voraussage mit unseren Versuchsergebnissen überein? Entstehen so breite und farbige Bänder wie erwartet?



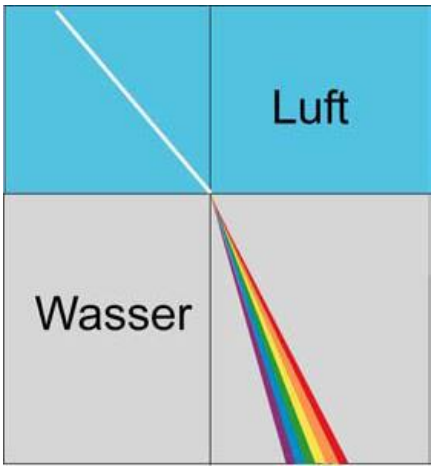


Mit einem Diaprojektor als Lichtquelle an die Wand projiziertes erzeugtes Spektrum
(Fotos: Ingo Mennerich, Energie-LAB)

Weiter unten finden Sie ein Berechnungsbeispiel für einen Eintrittswinkel von 45° und einer Spiegelneigung von 20°.

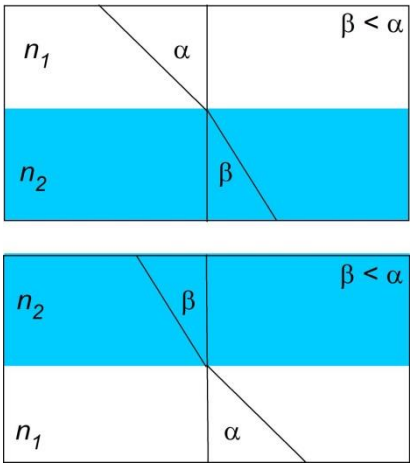
Nach diesem Muster können Sie berechnen, wie weit Sie den Spiegel neigen müssen (bzw. können) um ein möglichst weit auseinandergefächertes Spektrum zu erhalten.

Bei 45° Eintrittswinkel beträgt die maximale Neigung des Spiegels 39,8°. Das Spektrum hat dann eine Weite von fast 7° was 14 Vollmonddurchmessern entspricht!



Brechung und Dispersion beim Übergang von Luft und Wasser.

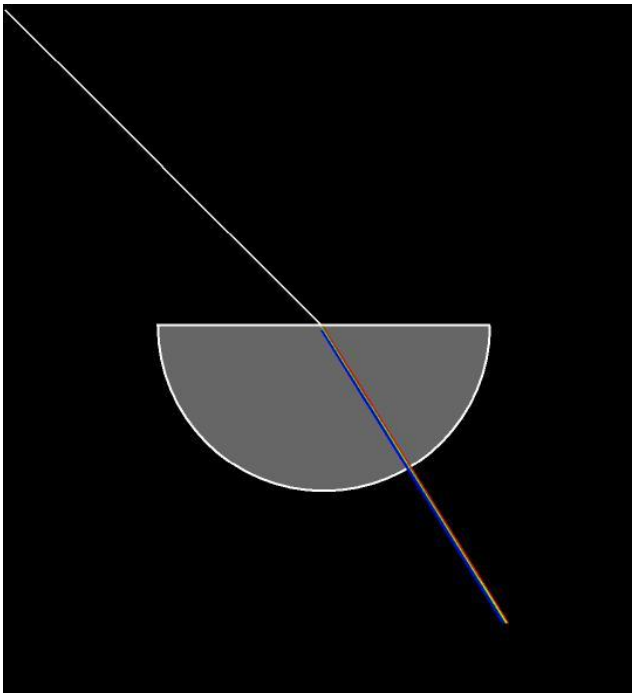
Die Winkel sind übertrieben dargestellt!



Oben:
Brechung beim Übergang von Luft zu Wasser.
(zum Lot hin)

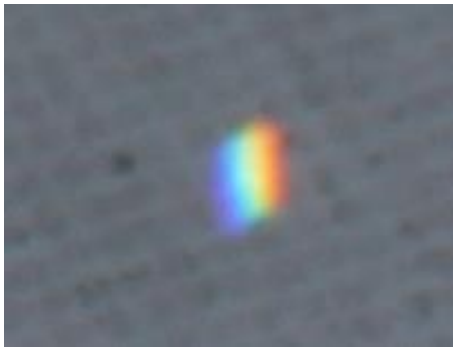
Unten:
Brechung beim Übergang von Wasser zu Luft.
(Vom Lot weg)

Regenbogenfarben aus der Puddingschale oder dem Weinglas

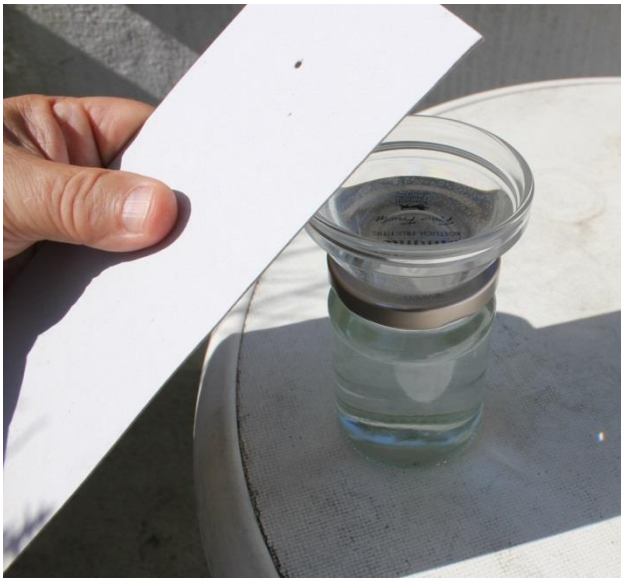


Eine gläserne runde Puddingschale oder ein Weinglas wird mit Wasser gefüllt in die Sonne gestellt.

Halten Sie eine mit einem kleinen Loch versehene Pappe davor so dass die Wasseroberfläche nur von einem dünnen "Sonnenstrahl" getroffen wird.



Nicht in gerader Linie, sondern zur Senkrechten hin "gebrochen" erscheint dann ein winziger "Regenbogen" auf der Unterlage.

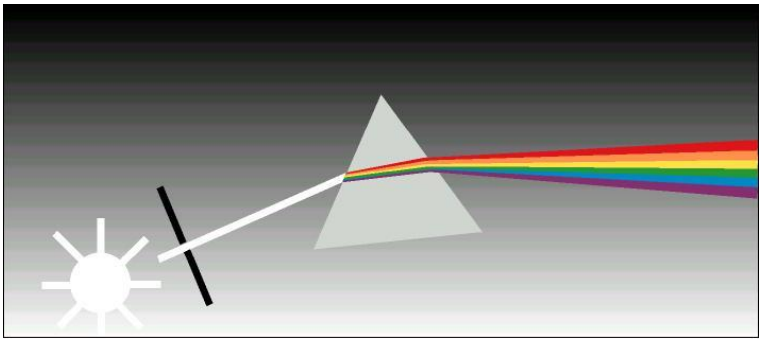


Der runde Behälter gewährleistet dass der gebrochene Strahl senkrecht durch das Glas tritt. Damit findet keine zweite Brechung statt.

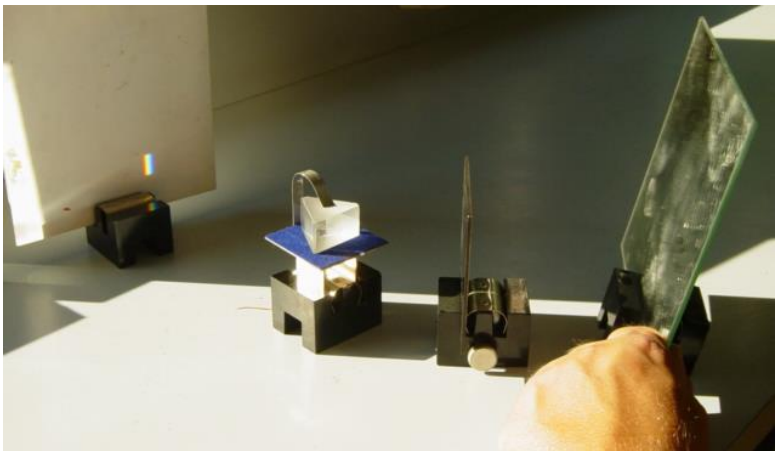
Nimmt man stattdesssen eine Petrischale wird der Strahl beim Übergang von Luft ins Wasser zum Lot gebrochen, beim erneuten Übergang vom Wasser zur Luft vom Lot weg.

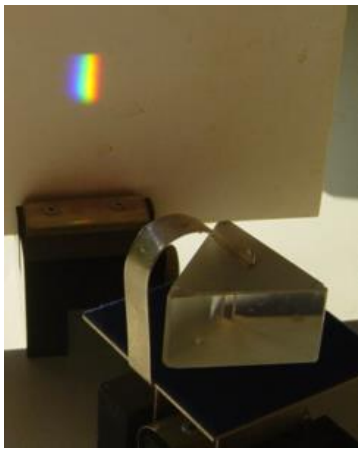
Weiter unten finden Sie einen Vorschlag, wie man diese einfache Versuchsanordnung nutzen kann um den Brechungsindex von Wasser zu ermitteln.

Regenbogenfarben mit einem Prisma



Schickt man weißes Licht durch einen Spalt auf ein Prisma wird der Lichtstrahl in seine Farbanteile aufgefächert. Wundern Sie sich nicht, wenn das Spektrum einer Glühlampe nur wenig Blau und kein Violett enthält. Dann ist sie zu schwach und ihr Licht nicht weiß sondern gelb.





Um alle Regenbogenfarben zu erzeugen sollten Sie Sonnenlicht benutzen das hier mit einem Handspiegel aufgefangen und durch einen Spalt auf das Prisma gerichtet wird. Dann liefert der Versuch auch bei Tageslicht gute Ergebnisse!

Ausleihbare Versuchsanordnung zur Absorption von Chlorophyll*:
(Kurs "Photosynthese" im Schulbiologiezentrum)

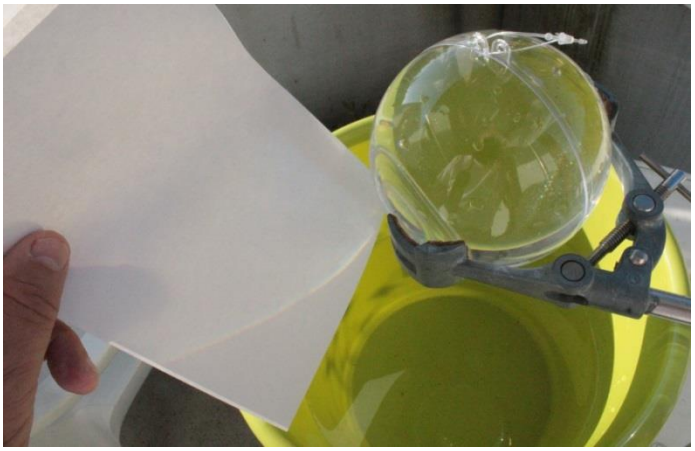
- LED-Leuchte
- Spalt
- Bikonvexe Linse (Lupe)
- Prisma
- Küvette
- Leinwand

Durch das helle, weiße (!) LED-Licht und die Linse ist das Spektrum auch im Hellen gut zu sehen.

*) Die Küvette wird später mit Chlorophylllösung gefüllt die alle Spektralfarben bis auf Grün absorbiert.

Fotos: Ingo Mennerich

"Regenbogen" mit einem künstlichen "Wassertropfen"

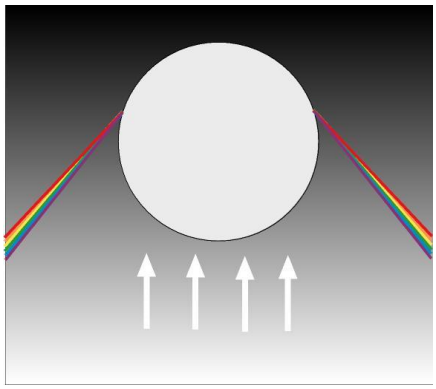


Für Bastel- und Dekorations-zwecke gibt es Acryl-Halbschalen die sich zu einer Kugel zusammenfügen lassen.
Die Kugel wird, am besten unter-getaucht und "blasenfrei" mit Wasser gefüllt und an einer Öse aufgehängt oder durch ein Stativ gehalten als ein großer "Wassertropfen" zum Experimentieren benutzt.

Auf weißem, schräg davor gehaltenen Papier erscheint ein schmaler, scharf abgezeichneter alle Regenbogenfarben umfassender Streifen.

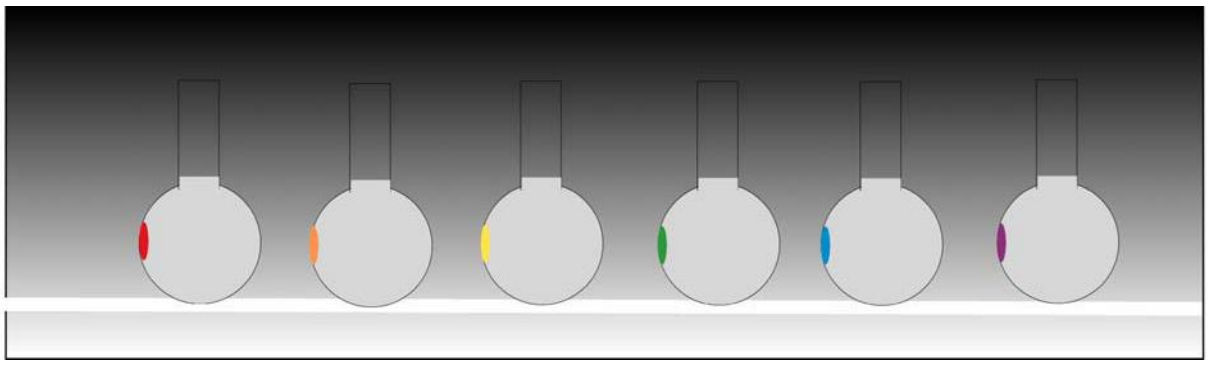
Fotos: Ingo Mennerich

Schaut man von der Seite auf die von der Sonne beleuchtete Kugel leuchtet sie am Rande farbig auf, je nach Winkel in rot, orange, gelb, grün, blau oder violett. Die beiden Aufnahmen wurden nachbearbeitet um das Prinzip deutlicher hervortreten zu lassen.

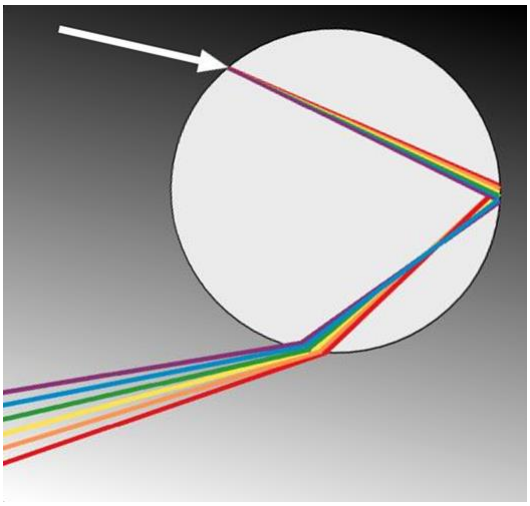


Ein- und austretendes Licht in einem kugelförmigen Wassertropfen.

Im Energie-LAB stellen wir einer Station "Licht & Farbe" sieben Rundkolben nebeneinander auf und bestrahlen sie mit dem Licht eines Diaprojektors. Steht man im richtigen Winkel schräg hinter der Lichtquelle kann man die sieben "Regentropfen" in verschiedenen Spektralfarben aufleuchten sehen.
Bereits eine ganz leichte Kopfbewegung nach links oder rechts verändert die Farben.



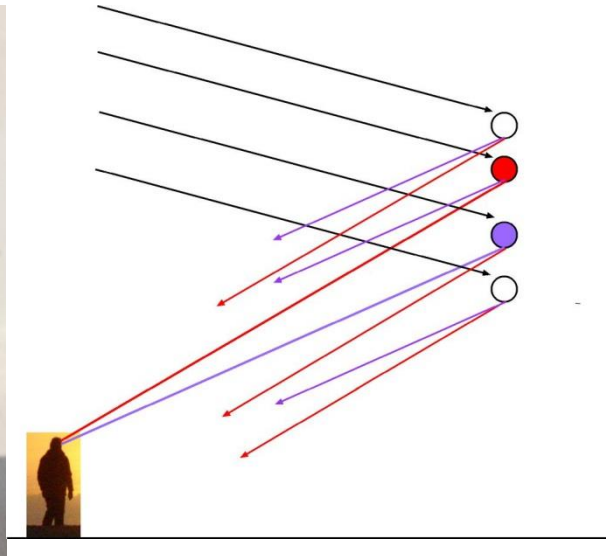
"Regenbogen" mit einem Marmeladenglas



Fülle ein Marmeladenglas vollständig mit Wasser und schraube es gut zu.
Halte es mit der Längsachse quer zur Sonne. Schräg unter dem Glas entsteht ein farbiger Streifen.
Die Oberseite ist violett-blau, die Unterseite rot.

Beim Regenbogen ist das doch umgekehrt oder?

Was zunächst verwirrt erklärt beim näheren Durchdenken des Phänomens die Farbabfolge beim Regenbogen besonders deutlich!



Regenbogen unter Rotlicht

Nach der Devise, es kann nur das herauskommen, was hineingesteckt wird ist der Regenbogen im Licht der rot untergehenden auch nur rot und der tiefstehenden Sonne entsprechend sehr steil und hoch aufragend.

Alle mit weißem Licht durchgeführten Experimente lassen sich natürlich auch mit rotem, gelbem, grünem oder blauem Licht wiederholen.
Dann entsteht natürlich kein vollständiges Spektrum sondern nur ein Ausschnitt.

Benutzt man einen Laserpointer kann man den Strahlengang besonders gut nachvollziehen und die Winkelbeziehungen bestimmen.

Regenbogen und Mathematik

Messung des Brechungsindex Luft / Wasser in Abhängigkeit vom Einfallswinkel

Eine gläserne runde Puddingschale wird auf eine umgedrehte Kaffeetasse gestellt, mit Wasser gefüllt und auf einen hellen Boden gestellt.

Wenn die Sonne scheint wird man zwei Dinge sehen:

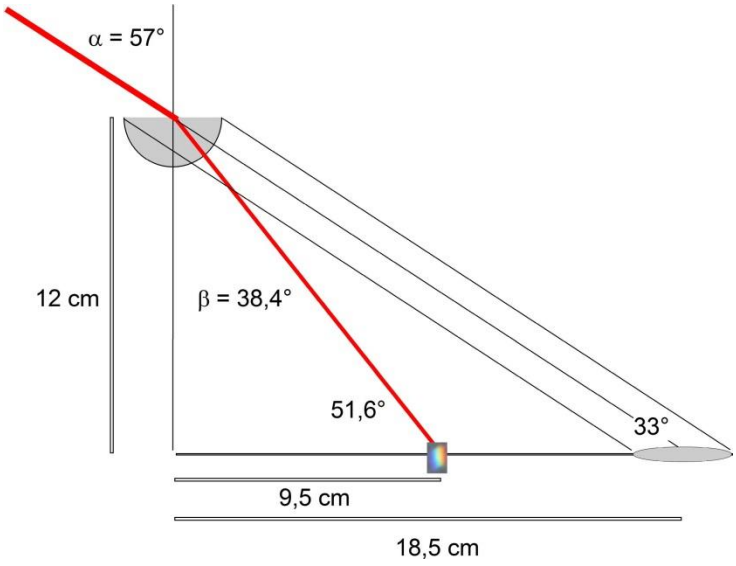
- Einen zu den Seiten hin ausgezogenen farbigen "Brennpunkt"
- Den ellipsenförmigen Schatten der Schale

Wenn die Versuchsanordnung auf kariertem Papier steht kann markiert werden wo der "Regenbogen" und der Mittelpunkt des Schattens liegen.

Zusätzlich muss die Höhe des Wasserspiegels über dem Boden gemessen werden.

Die rechtwinkligen Dreiecke und ihre Komplementärwinkel lassen sich leicht mit Hilfe des Verhältnisses Gegenkathete/Ankathete (Tangens) bzw. die Winkelsumme eines Dreiecks (180°) berechnen:

$$\frac{12cm}{18{,}5cm} = 0.649 \qquad \arctan 0.649 = 33°$$



Im konkreten Fall wurden aus den gemessenen Längen folgende Winkel ermittelt:

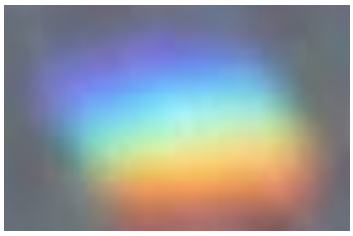
α = 57°

β = 38,4°

$$\frac{sin\alpha 57}{sin38{,}4} = \frac{n_{Wasser}}{n_{Luft}} = 1{,}35$$

Wenn man die Messung mehrere Male bei unterschiedlicher Sonnenhöhe wiederholt wird man feststellen:

- Der Brechwinkel β steigt mit wachsendem Winkel α, also mit sinkender Sonnenhöhe.
- Der ermittelte Brechungsindex für Wasser wird um den Literaturwert von 1,33 streuen.



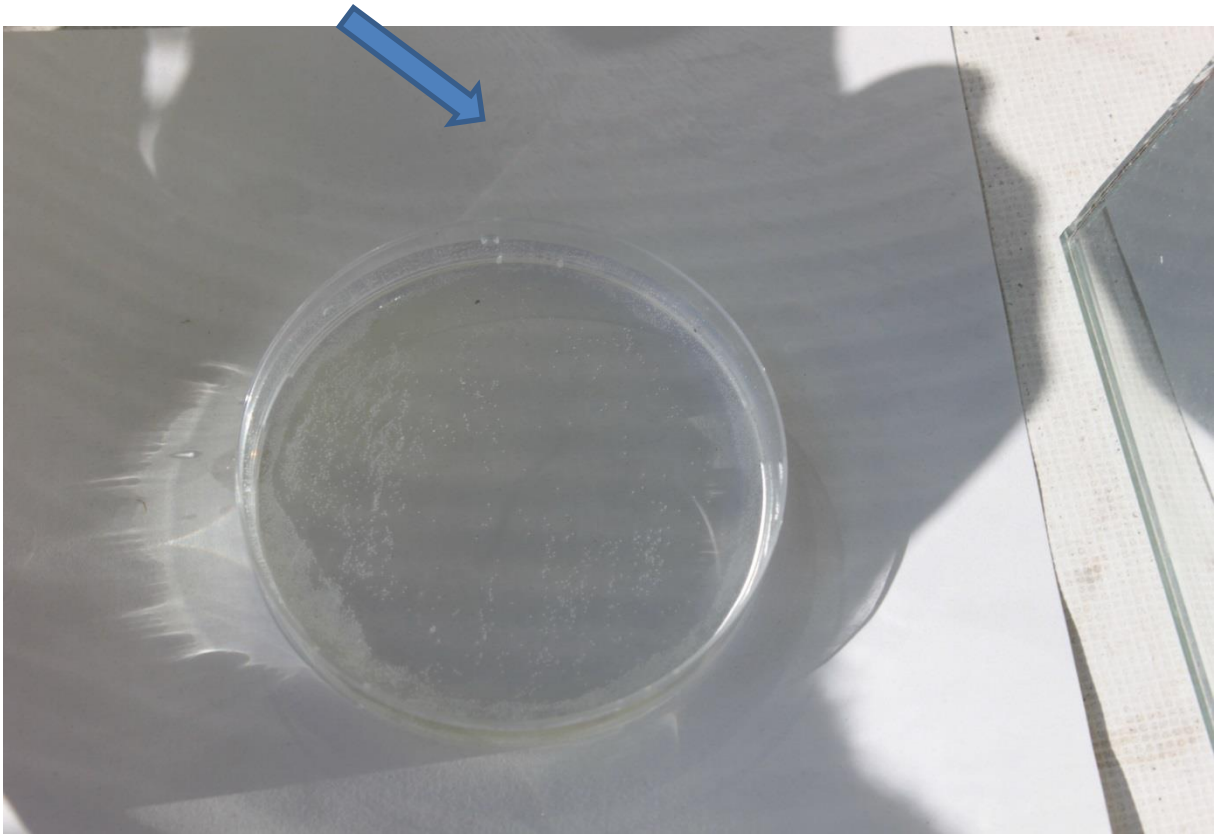
Das blaue Ende des sichtbaren Spektrums wird stärker gebrochen als das rote.
Je flacher der Einstrahlwinkel (z.B. bei tiefstehender Sonne), desto breiter wird das Spektrum aufgefächert.

Brechung, Dispersion und Reflektion in der Petrischale

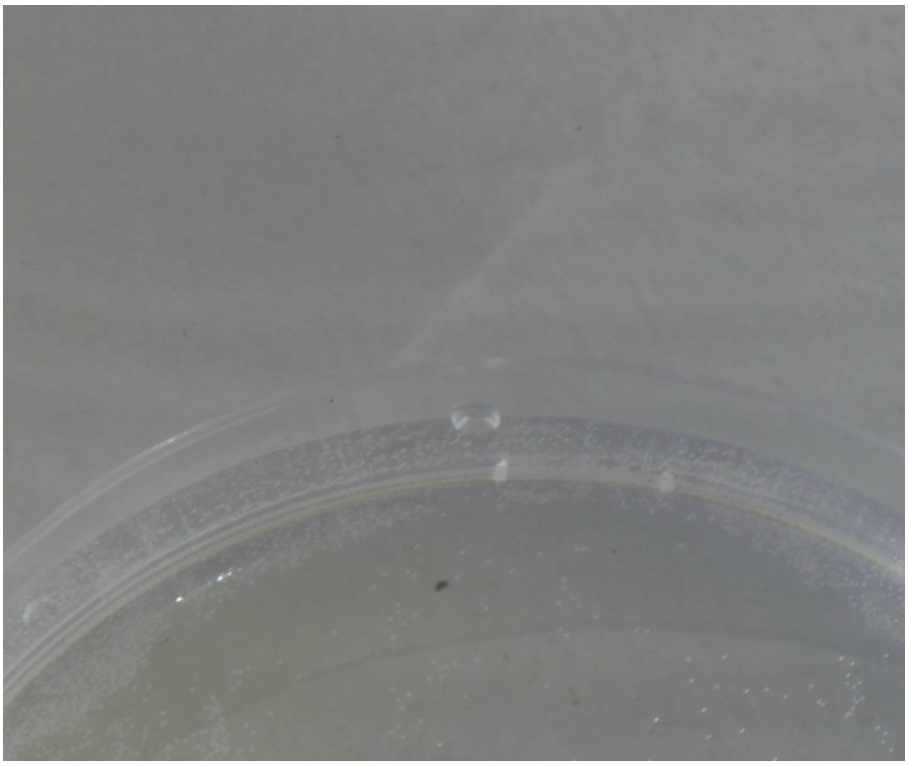
Eine mit Wasser gefüllte Petrischale lässt sich als "Modelltropfen" nutzen. Mit ihm kann untersuchen, wie weißes Licht am Tropfenrand gebrochen, farbig aufgefächert, an der Tropfenrückseite reflektiert und beim Austritt erneut gebrochen und noch weiter dispergiert wird.

Mit etwas Geschick gelingt das mit ganz einfachen Mitteln:

Mit Hilfe eines Spiegels wird Sonnenlicht waagerecht auf den Rand der Petrischale gelenkt. Gleichzeitig werden die Petrischale und ihre Umgebung durch eine vor die Sonne gehaltene Pappe oder die eigene Hand abgedunkelt.

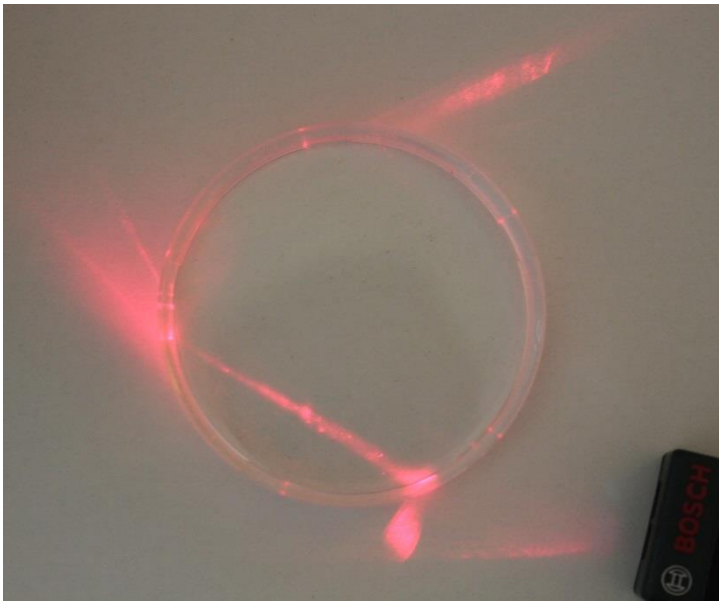


Das im Bild von rechts eingespiegelte Sonnenlicht aufgefächert und tritt rechts oben aus dem "Tropfen" aus. Gut erkennbar ist, dass das violette Ende des Spektrums stärker gebrochen wird als das rote.

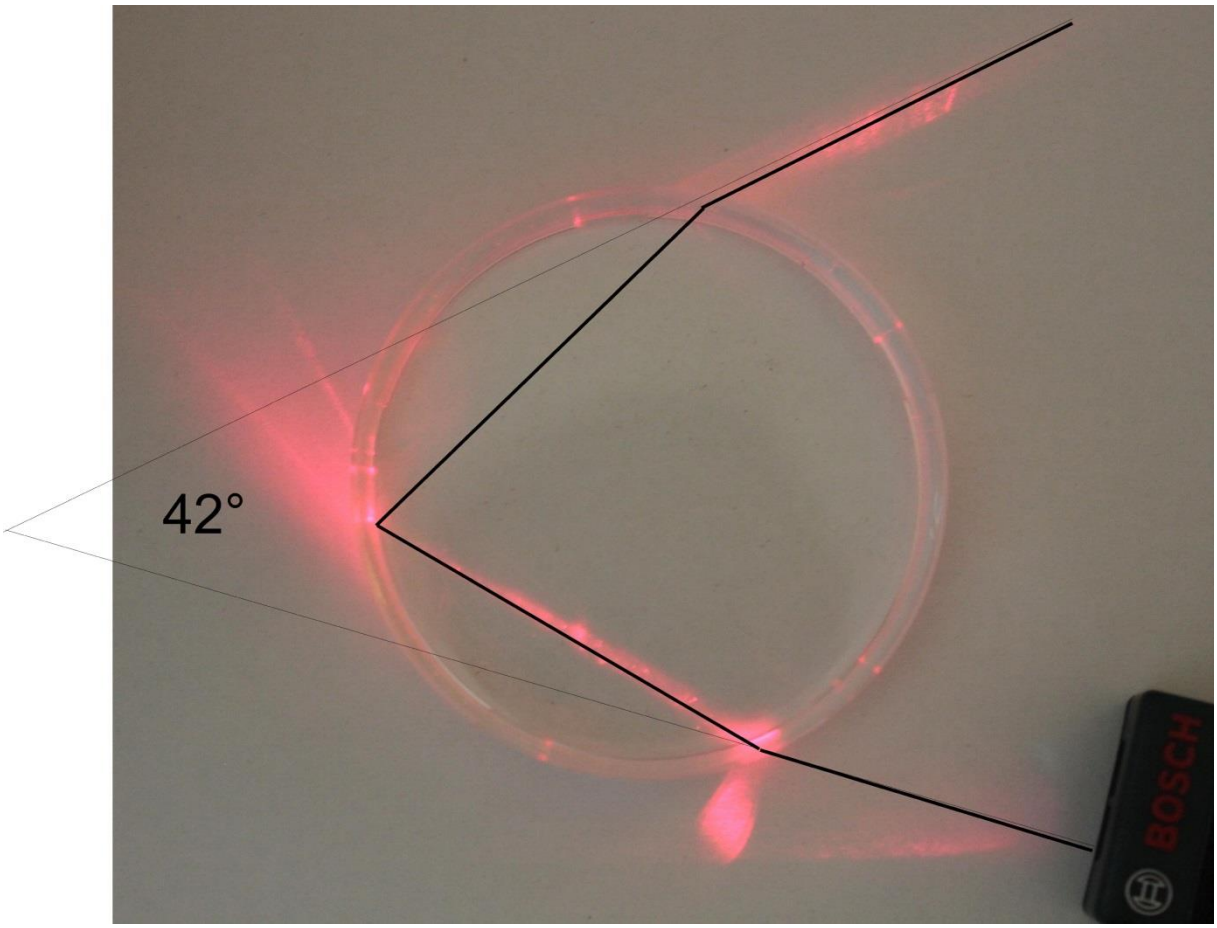


Austretender "Regenbogen".

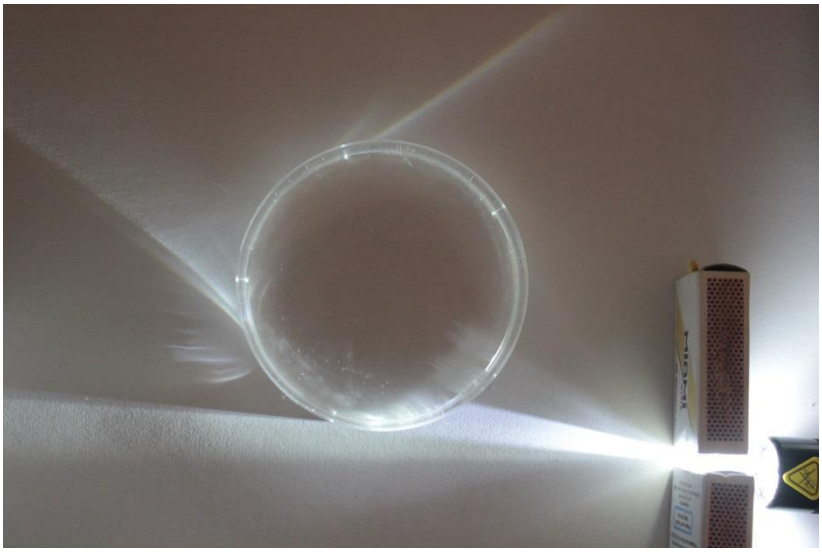
In dunkler Umgebung wird der Strahlengang natürlich noch deutlicher.



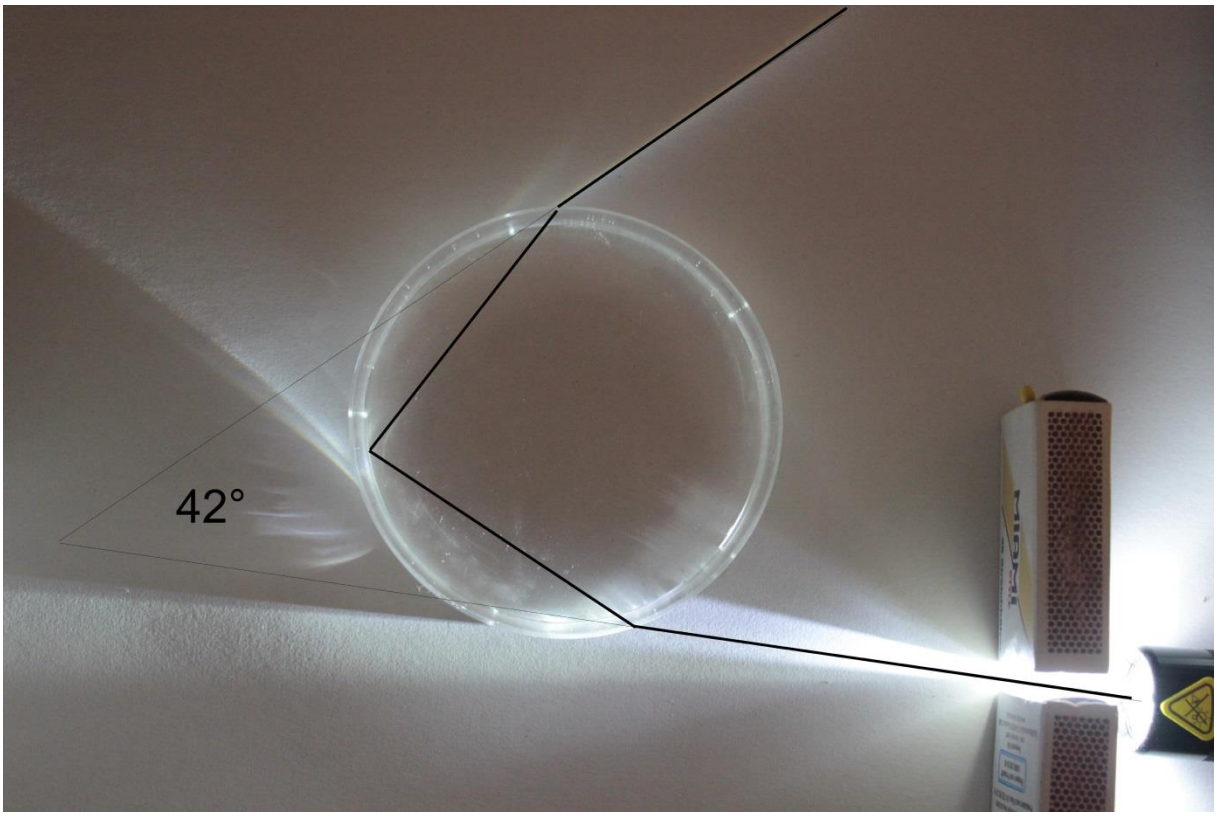
Das gleiche Experiment mit einem Laserpointer der sich besonders gut dazu eignet die Winkel des ein- und austretenden Lichtstrahls zu messen. Das einfarbige (monochromatische) rote Licht erzeugt natürlich kein Spektrum.



Der bereits von Descartes ermittelte Winkel von 42° lässt sich mit diesem einfachen Aufbau recht gut bestätigen. Allerdings treten auch viele zusätzliche Effekte auf: Hier wird nur ein Teil der Strahlung auf der Tropfenrückseite reflektiert was natürlich zu einer Schwächung des austretenden Spektrums. Interessant, dass der Rand der Petrischale bei bestimmten Einstrahlwinkeln einen "Lichtleiter" bildet der das Licht im Kreis herum führt.

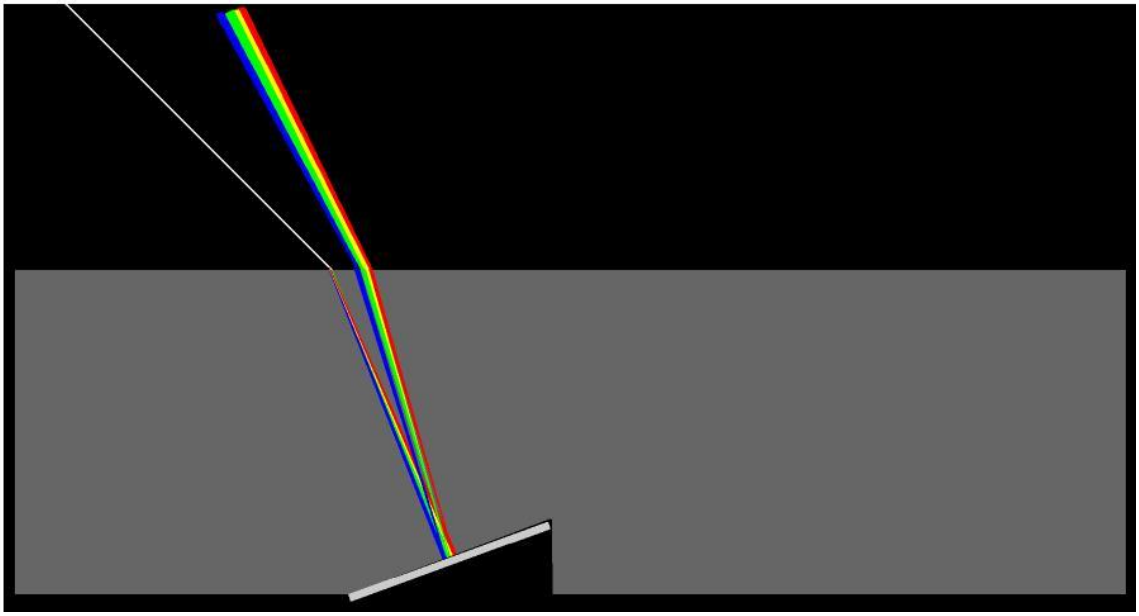


Die Lichtstrahlen einer LED-Taschenlampe werden durch einen Spalt eingeengt (hier zwei Streichholz-schachteln) und auf den "Tropfen" gerichtet. Rechts oben tritt das farbige Spektrum aus wobei auch hier wieder deutlich wird, dass Violett stärker gebrochen wird als Rot.



Schräger Spiegel in einer mit Wasser gefüllten Schale

Der Versuch wurde bereits oben beschrieben. Hier folgt eine Berechnung der Ein- und Austrittswinkel.



Beispiel:

Einfallswinkel (vom Lot): 45°

Brechungswinkel:

Violett $$sin\beta = \frac{1 * sin45}{1{,}345}$$

$$\beta = 31{,}72°$$

Rot $$sin\beta = \frac{1 * sin45}{1{,}332}$$

$$\beta = 32{,}06°$$

Neigung des Spiegels: 20°

Spiegelachse: 70"

Einfalls- und Ausfallswinkel zur Spiegelachse

Violett 31,72° - 20° = 11,72°

Rot 32,06° - 20° = 12,06°

Winkel zum Lot

Violett: 31,71 - 2*11,72 = 8,28°

Rot: 32,06 - 2*12,06 = 7,94°

Austrittswinkel Wasser / Luft

$$sin\alpha = \frac{n_2 * sin\beta}{n_1}$$

Violett:

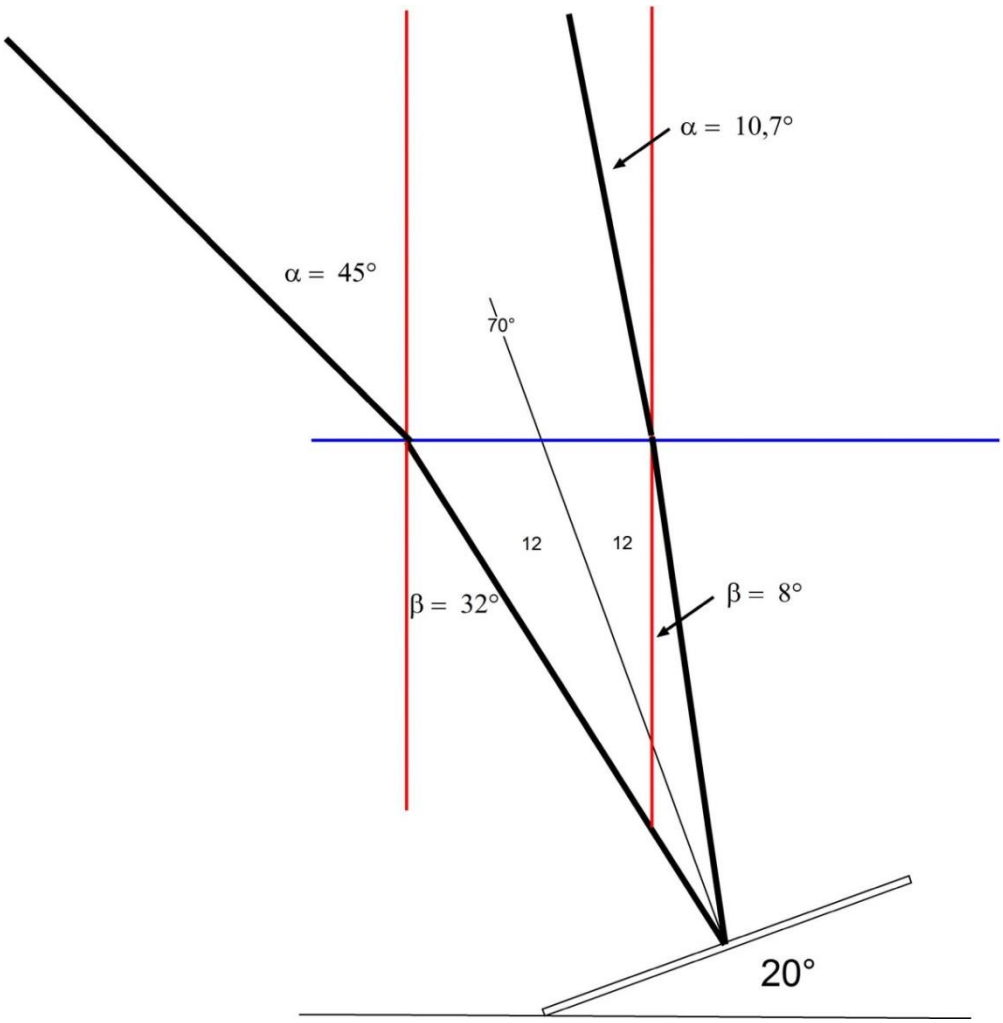
$$sin\alpha = \frac{1{,}333 * sin8{,}28}{1}$$

$$\alpha = 11{,}07°$$

Rot:

$$sin\alpha = \frac{1{,}333 * sin7{,}94}{1}$$

$$\alpha = 10{,}61°$$



Waagerechter Spiegel in der Schale

Liegt der Spiegel waagerecht am Boden der Schale ergeben sich besondere Winkelbeziehungen unter denen kein "Regenbogen" entsteht.

Brechungswinkel:

Violett $$sin\beta = \frac{1 * sin45}{1{,}345}$$

$$\beta = 31{,}72°$$

Rot $$sin\beta = \frac{1 * sin45}{1{,}332}$$

$$\beta = 32{,}06°$$

Reflektion an waagerechtem Spiegel:

Einfallswinkel = Ausfallswinkel

Beim Übergang Wasser/Luft

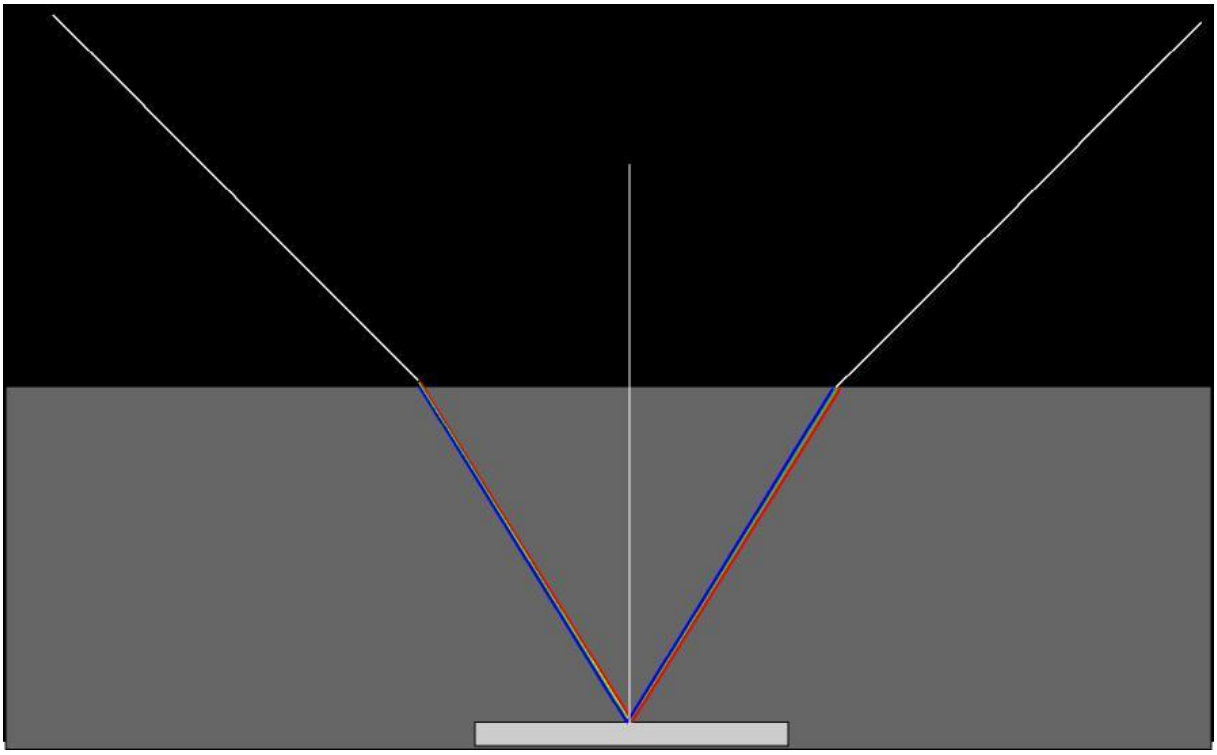
$$sin\alpha = \frac{n_2 * sin\beta}{n_1}$$

Violett

$$sin\alpha = \frac{1{,}345 * sin31{,}72}{1}$$
$$a \approx 45°$$

Rot

$$sin\alpha = \frac{1{,}332 * sin32{,}06}{1}$$
$$\beta =\approx 45°$$



Das austretende Licht ist weiß!