Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Der Regenbogen

Abbildung 1 Regenbogen und Windenergieanlage in der Landschaft

1 Einleitung

Der Regenbogen ist ein Naturphänomen, das die Menschen schon immer fasziniert hat. Man verbindet positive Emotionen und Freude mit ihm. Seine elegante Form und seine schönen Farben bringen jeden Menschen zum Staunen. Aber wer achtet schon darauf, zu welcher Zeit und wo genau man am Himmel einen Regenbogen gesehen hat? Existiert er wirklich? Oder ist er bloss eine optische Täuschung?

Über solche Fragen werden Sie im Laufe dieser Unterrichtseinheit nachdenken. Das Ziel besteht nicht darin, ein perfektes physikalisches oder mathematisches Modell des Regenbogens zu finden – dazu ist die zur Verfügung stehende Zeit zu knapp. Das bereitgestellte Material dient als Informationsquelle, um neue Aspekte des Regenbogens *selbst zu entdecken*. Was zählt sind eigene Ideen, Gedanken und Fragen.

Sie sind also in den folgenden Lektionen gewissermassen ein Forscher, eine Forscherin.

Versuchen Sie, möglichst viele Verknüpfungen mit dem Stoff herzustellen, den Sie bereits im Unterricht behandelt haben, um damit eigene physikalischen Theorien zu entwickeln. Wichtig ist: Physikalische Überlegungen stehen zwar im Vordergrund, aber auch Erkenntnisse anderer Art sind gefragt.

Die Menschheit musste lange suchen, bis sie eine fundierte wissenschaftliche Erklärung für den Regenbogen gefunden hatte. Auf der Suche danach sind viele Mythen, Erklärungsversuche und Irrwege entstanden, die sehr interessant sind. Sie haben die Forschung in kleinen Schritten vorangebracht.

Fazit: In den folgenden Unterrichtsstunden geht es um das Gesamtphänomen des Regenbogens mit all seinen physikalischen, historischen und emotionalen Aspekten.

2 Ablauf

a) Doppellektion

Nach dem Lesen dieses Textes (ca. 10 min) arbeiten Sie dreimal 25 Minuten; machen Sie nach dem zweiten Block eine Pause.

Es gibt drei verschiedene Arbeitsstationen, an denen in kleinen Gruppen (2-3 Personen) gearbeitet wird:

- Station I) Dokumente, die hier im Physikzimmer zur Verfügung stehen.
- Station II) Experimente, die einen künstlichen Regenbogen erzeugen.
  Im Raum...oder im Freien (nur bei schönem Wetter).
- Station III) Experimente zum Strahlengang: Im Raum …

Interessant sind möglichst viele und originelle Entdeckungen. Daher dürfen sich die Gruppen untereinander in dieser Doppellektion nicht austauschen oder zusammenarbeiten.

Für einen reibungslosen Ablauf soll der folgende Zeitplan sorgen:

Gruppe	**Schüler**	**10:35 – 11:00**	**11:00 – 11:25**	**11:35 – 12:00**
1	Marco, Roman	I	Platz III.1	Platz II.1
2	Philip, Anna	Platz II.1	I	Platz III.1
3	Carmen, Romy	Platz III.1	Platz II.1	I
…	…	…	…	…

Zu den angegebenen Zeiten wechseln Sie Ihren Arbeitsplatz gemäss Plan. Wenn Sie mit dem Experimentieren an den Stationen II und III vorzeitig fertig sind, können Sie an Station I noch ungelesene Texte studieren. Da das Informationsangebot recht umfangreich ist, wird die Lesezeit nicht für sämtliches Material reichen.

b) Einzellektion

Hier erhalten Sie die Gelegenheit, Ihre Erkenntnisse mit anderen auszutauschen. Setzen Sie sich spontan zu zweit zusammen und präsentieren Sie Ihre Entdeckungen zum Phänomen „Regenbogen“. Nach zehn Minuten gebe ich ein Zeichen und Sie wechseln die Partner. Achten Sie in beiden Runden darauf, dass Sie nicht mit Kollegen/Kolleginnen aus der eigenen Gruppe zusammenkommen.

Als Abschluss der Unterrichtseinheit erstellt jeder für sich eine kleine Skizze oder Zusammenfassung mit jenen Punkten, die ihm zum Thema Regenbogen am wichtigsten erscheinen. Ich gebe dazu noch einige Tipps [Anleitung Mind-Map, falls noch nicht bekannt].

3 Wichtige Hinweise

Arbeitsplatz I

Jeder hat sicher schon einmal einen Regenbogen in der Natur gesehen, doch an die Details kann man sich normalerweise nicht mehr genau erinnern. Und einen wirklich schönen, grossen Regenbogen oder sogar einen Zweiten gleichzeitig sieht man nur sehr selten. Notieren Sie alles, was Ihnen auf den Fotos auffällt, auch wenn Sie noch keine Erklärung dafür haben. Gleiches gilt für die historischen Texte. Selbst wenn diese keinen wissenschaftlichen Ursprung haben, sind sie doch ein Versuch, etwas Gültiges über die Wirklichkeit auszusagen.

Arbeitsplatz II und III

Hier ist verschiedenes Experimentiermaterial bereitgestellt, mit dem Sie den genauen Weg des Lichts von der Sonne über die Wolken zu Ihrem Auge studieren können. Versuchen Sie herauszufinden, wo und weshalb ein Lichtstrahl reflektiert oder gebrochen wird.

Erstellen Sie eine Skizze zu allen Experimenten, die Sie durchführen. Merken Sie sich die Beobachtungen und versuchen Sie, die Phänomene zu erklären. Halten Sie die Erkenntnisse schriftlich fest. Notieren Sie auch interessante Fragestellungen und Gedankengänge, aus denen Sie etwas gelernt haben.

Die Sonnenstrahlen, die unsere Erde erreichen, sind fast parallel. Wäre diese Voraussetzung nicht erfüllt, würde man keinen Regenbogen sehen. Dasselbe gilt auch, wenn Sie einen künstlichen Regenbogen im Labor erzeugen wollen. Würde man für die Experimente einfach eine Tischlampe verwenden, hätte man keinen Erfolg.

Mit der Sprühflasche kann man einen künstlichen Regenbogen erzeugen. Wenn Sie das Experiment anstelle von Sonnenlicht mit einem Projektor durchführen, ist das nicht einfach. Geben Sie nicht gleich auf, falls beim ersten Versuch kein Regenbogen sichtbar ist. Vermutlich muss Ihr Partner/ Ihre Partnerin reichlich Wasser versprühen, bis ein kleines Bogenstück erkennbar ist.

WICHTIG: Wenn der Boden durch das Versprühen von Wasser nass wird, putzen Sie die Lache mit einem Lumpen auf! Dann kann niemand darauf ausrutschen.

Die Laserpointer erzeugen einen sehr gut gebündelten und intensiven Lichtstrahl. Auch wenn ihre Strahlungsleistung gering und für die Augen normalerweise ungefährlich ist, sind sie kein Spielzeug und dürfen nicht missbräuchlich verwendet werden. Richten Sie Laserpointer deshalb nie auf die Augen Ihrer Schulkameraden!

4 Benotung

[HINWEIS FÜR DIE LEHRPERSON: Das Kapitel 4 muss gelöscht werden, wenn keine Benotung geplant ist.]

Beurteilung der Doppellektion

Am Ende der Doppellektion geben Sie Ihre Notizen mit Namen versehen und sortiert ab. Ich kommentiere und bewerte Ihre Leistung gemäss den separat ausgeteilten Kriterien. Obwohl in kleinen Gruppen gearbeitet wird, macht jeder seine eigenen Aufzeichnungen, die Sie am Anfang der nächsten Stunde kommentiert und benotet zurück erhalten.

Beurteilungskriterien

Für die angefertigten Skizzen, notierten Erkenntnisse, Ideen und Fragen zu den Experimenten gibt es Punkte nach folgendem Schema. Es ist in zwölf Themengebiete eingeteilt:

Arbeitsstation I *(12 Punkte)*

- 1.a Entstehung (Voraussetzungen zur Beobachtung eines Regenbogens)
- 1.b Form (Generelle Feststellungen zur Form des Regenbogens)
- 1.c Geometrie (Geometrische Begründungen über die Form des Regenbogens, siehe Aristoteles)
- 1.d Kulturelles (Zusammenhänge zwischen dem Regenbogen und kulturellen Themen, wie z. B. Legenden, Bauernregeln, Malerei)
- 1.e Persönliches und Spezielles (Persönliche Erfahrungen, weitere Erkenntnisse, aussergewöhnliche Ideen)

Arbeitsstation II und III *(je 6 Punkte, beide zusammen 12 Punkte)*

- 2.a + 3.a Durchführung der Experimente (Dokumentation der Experimente durch Skizzen oder Beschreibungen)
- 2.b + 3.b Verständnis des Strahlengangs (Skizzenbeschriftung, Erklärung des Zusammenhangs mit dem Unterrichtsstoff, Erläuterungen zum Verlauf des Experiments)
- 2.c + 3.c Zusammenhang mit dem Regenbogen (Begründung, wie das Experiment zum Wissen über den Regenbogen beiträgt; Schildern der Erkenntnisse und deren Konsequenzen)

Benutzen Sie für jede Arbeitsstation ein neues Blatt. Ordnen Sie bereits beim Aufschreiben der Notizen die Gedanken gemäss dem oben angegebenen Schema. Für jedes Thema erhalten Sie 0, 1 oder 2 Punkte. Am Schluss werden alle Punkte zusammengezählt und in eine Note umgerechnet. Maximal können also 24 Punkte erreicht werden.

- 0 Punkte) **Ungenügende Leistung:** Sie haben keine persönliche Leistung erbracht oder sollten den Unterrichtsstoff nochmals repetieren.
- 1 Punkt) **Gute Leistung:** Sie haben Ihre eigenen Gedanken und Erkenntnisse notiert und scheinen die Grundprinzipien verstanden zu haben.
- 2 Punkte) **Sehr gute Leistung:** Sie haben die Sache intensiv studiert, eine herausragende Idee gehabt oder eine überraschende Entdeckung gemacht.

5 Informationsangebot

5.1 Übersicht

Arbeitsstation I: Dokumente rund um den Regenbogen

Die Abbildungen folgen auf den nächsten Seiten.

Arbeitsstation II: Experiment zum künstlichen Regenbogen

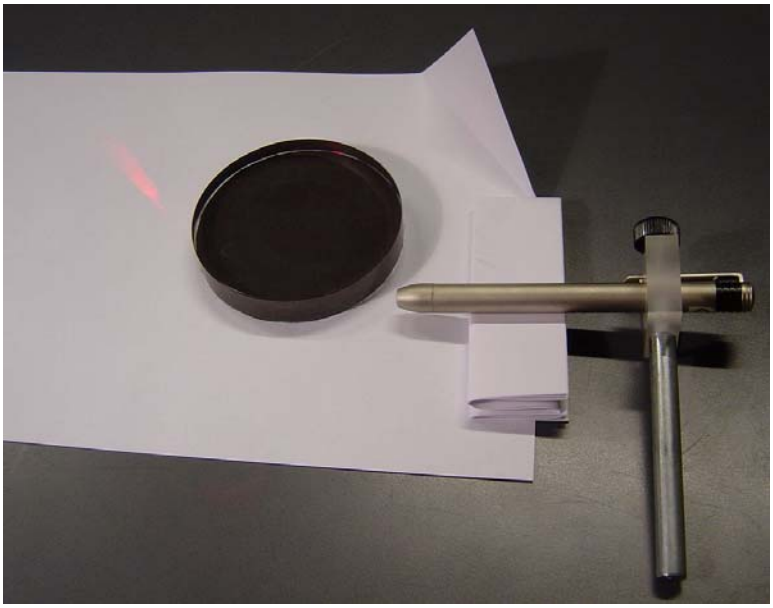
Bei schönem Wetter wird dieses Experiment am besten auf dem Pausenplatz durchgeführt. Die Sonne ist eine viel bessere Lichtquelle als ein Projektor, sowohl was die Intensität als auch die Parallelität des Lichts betrifft. Alle unten aufgezählten Hilfsmittel sollten an einem Arbeitsplatz vorhanden sein. In den nummerierten Unterlisten sind jeweils Alternativen genannt, die abhängig von der vorhandenen Ausstattung verwendet werden können.

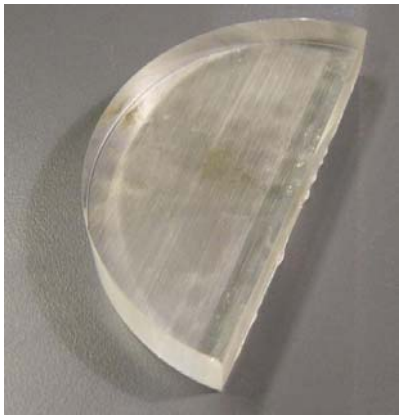
- Abdunkelbarer Raum
- Lichtquelle, die möglichst paralleles Licht erzeugt
  1. Experimentierlampe mit Kondensor: Diese Lampen haben bereits eine Optik eingebaut, die einen sehr stark gebündelten und intensiven Lichtstrahl erzeugt. Da sie weder aufgebaut noch justiert werden müssen, sind sie für die Schülerexperimente am besten geeignet. Der getestete 50W-Projektor hatte einen Öffnungswinkel von 2° bis 3°. Mit ihm lassen sich noch drei Regenbogenfarben unterscheiden.
  2. Diaprojektor mit Blende: Ein Diaprojektor ohne Blende erzeugt normalerweise einen Lichtkegel von 20°. Das Experiment mit der Glaskugel lässt sich damit problemlos durchführen. Um einen Regenbogen beobachten zu können, ist der Lichtstrahl aber viel zu gross. Beim Verfasser dieses Dokumentes reichte das Abblenden auf 6° durch eine vor den Diaprojektor montierte Röhre aus, um einen Regenbogen sehen zu können. Allerdings fehlten dann sämtliche Farben und der Regenbogen erschien nur noch als weisser Nebelbogen. Als Blende eignet sich auch ein schwarzes Dia mit einem Loch in der Mitte. Weniger geeignet ist das blosse Aufstellen einer Blende vor dem Diaprojektor. Dabei entsteht Streulicht, das den Raum erhellt und das Auffinden des Regenbogens erschwert. Als Lehrperson empfiehlt es sich, das Experiment vorher selbst auszuprobieren, um einen guten Kompromiss zwischen Abblendung und Lichtstärke zu finden. Beispielsweise gehen beim Abblenden von 20° auf 6° bereits 90 % der Lichtmenge verloren; das heisst von den üblichen 250W Leistung verbleiben noch 25W.
- Grosse Glaskugel, die einen Regentropfen simuliert
  1. Glaskugel (z. B. Vase, Christbaum- oder Lampenkugel)
  2. Stehkolben (aus dem Chemielabor)

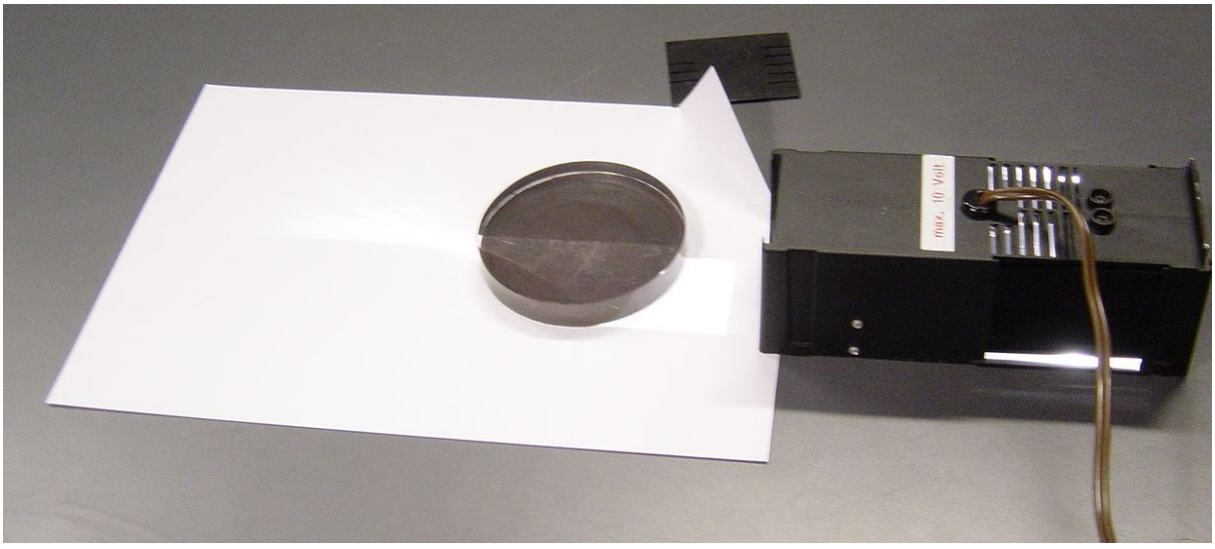
- Weisse Mattscheibe oder ein Stück weisser Karton
- Aluminiumfolie, um den Reflexionskoeffizienten an der Glasrückseite zu erhöhen
- Sprühflasche (Blumenspritze, leere Putzmittelflasche)
- Wasser
- Putzlappen zum Aufwischen des versprühten Wassers
- Winkelmesser (grosses Geodreieck)
- Für fortgeschrittene Schüler eventuell Polarisationsfilter oder Polaroid-Brillen

Arbeitsstation III: Experiment zum Strahlengang

- Abdunkelbarer Raum
- Lichtbox mit verschiedenen Schlitzblenden
- Laserpointer (falls vorhanden mit Haltevorrichtung)
- Flache Petrischalen in verschiedenen Grössen, die man mit Wasser füllen kann
- Flache (Plexi-) Glaszylinder (oder zwei mit Wasser „zusammengeklebte“ Halbmonde)
- Winkelmesser (Geodreieck)
- Papier und Bleistift







5.2 Regenbogenfotos

Abbildung 2 Doppelter Regenbogen, fotografiert von Tobias Thomsch

Abbildung 3 Regenbogen über Zürich, fotografiert von Jeremy Anderegg

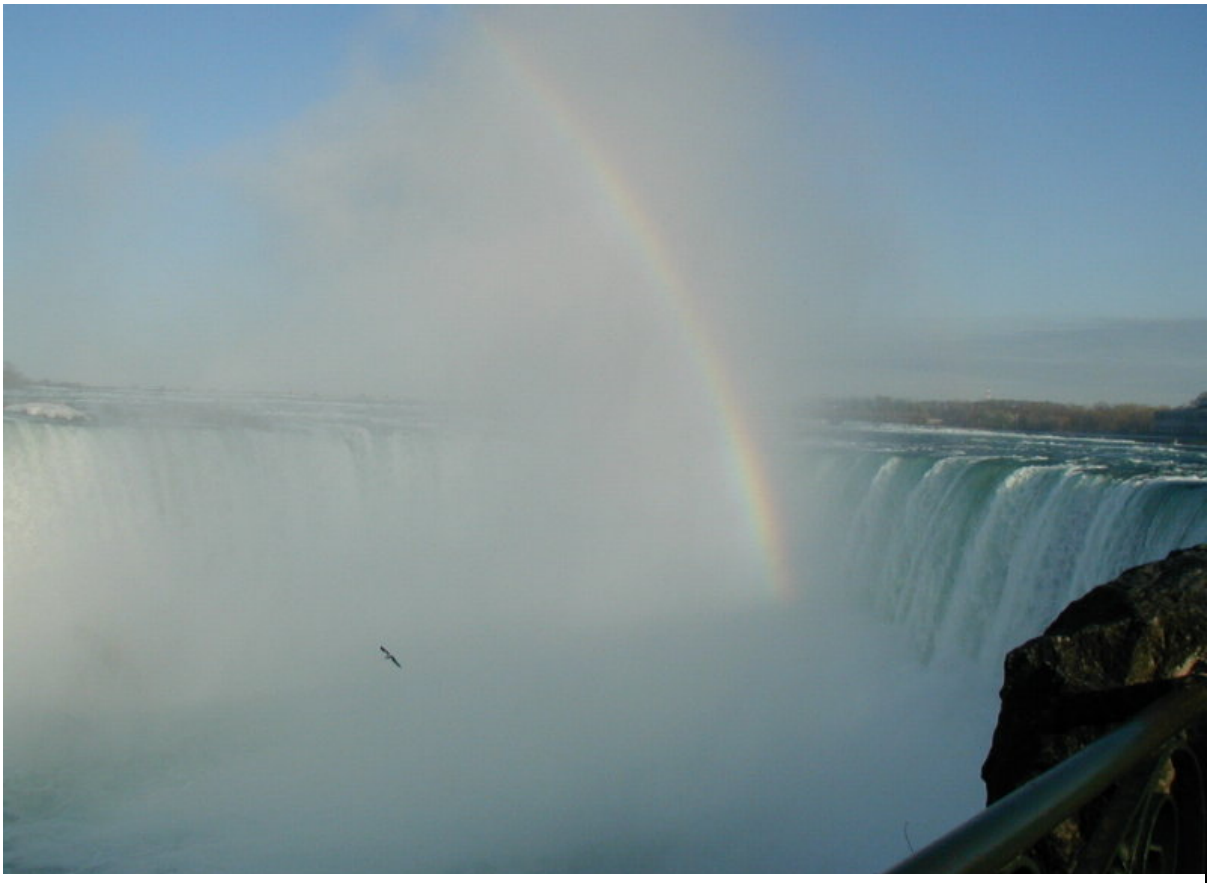


Abbildung 4 Regenbogen bei den Niagarafällen, fotografiert von Lin Wang

Abbildung 5 Regenbogen im Ingurital in Georgien, fotografiert von Markus Stadler

Abbildung 6 Doppelter Regenbogen nahe Stadt Norton in Ohio

Abbildung 7 Regenbogen bei hohem Sonnenstand, fotografiert von Pat Wright

Abbildung 8 Kreisförmiger Regenbogen, fotografiert aus dem Flugzeug von Anderson Jacobson

Abbildung 9 Weisslicher Regenbogen in der Finnmarksvidda, fotografiert von Lutz Mager

Abbildung 10 Mit dem Gartenschlauch erzeugter Regenbogen, fotografiert von Manuel Walser

Abbildung 11 Vergrösserter Ausschnitt aus obigem Regenbogen, fotografiert von Manuel Walser

5.3 Bilder von Regentropfen

Abbildung 12 Regentropfen in einem Spinnennetz

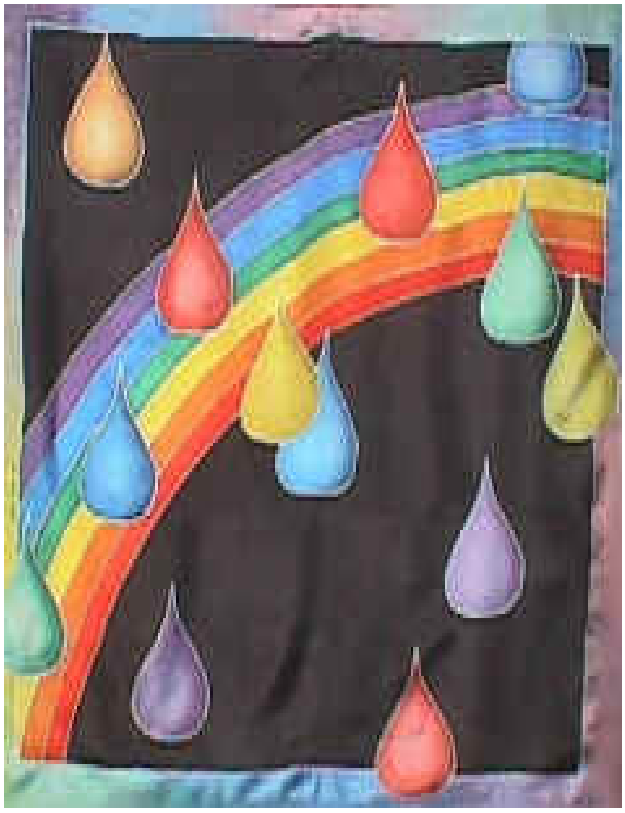


Abbildung 13 Seidentuch mit Regenbogen. Motiv von Ursula Wamister

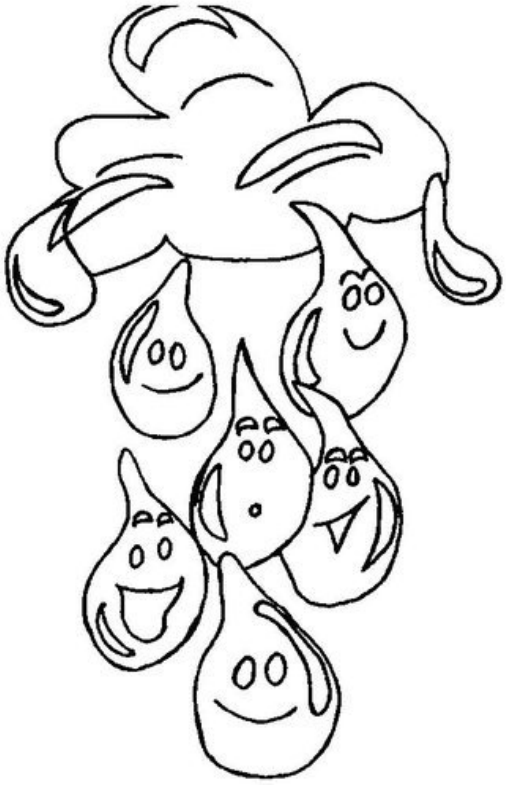


Abbildung 14 Malvorlage für Regentropfen

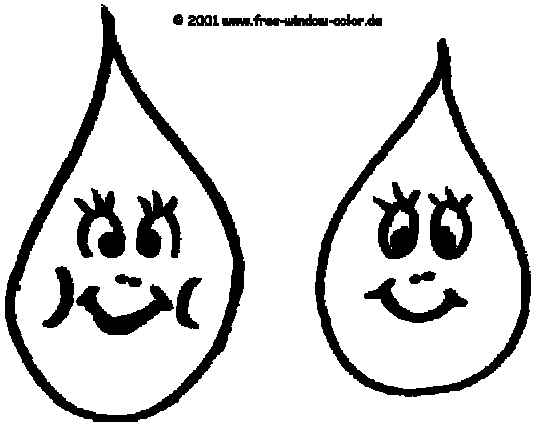


Abbildung 15 Malvorlage für Regentropfen

Abbildung 16 Computerzeichnung eines Regentropfens

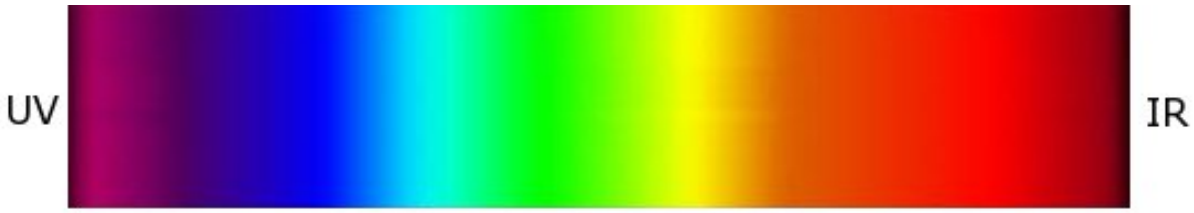
Abbildung 18 Fallender Regentropfen

Abbildung 17 Regentropfen im Windkanal

Abbildung 19 Regentropfen

Künstler und Physiker scheinen eine unterschiedliche Auffassung von der Gestalt eines Regentropfens zu haben.

5.4 Spektrum des sichtbaren Lichtes



Brechungsindex *n*	**blau (434 nm)**	**gelb (589 nm)**	**rot (768 nm)**
Luft	1	1	1
Wasser (H_20)	1.340	1.333	1.329
Quarzglas (SiO_2)	1.467	1.458	1.454
Plexiglas (PMMA)	1.50	1.49	1.48
Quarzkristall (SiO_2)	1.554	1.544	1.539

Tabelle 1 Brechzahlen einiger Stoffe gegen Luft bei 20°C und Normdruck für unterschiedliche Wellenlängen des Lichts

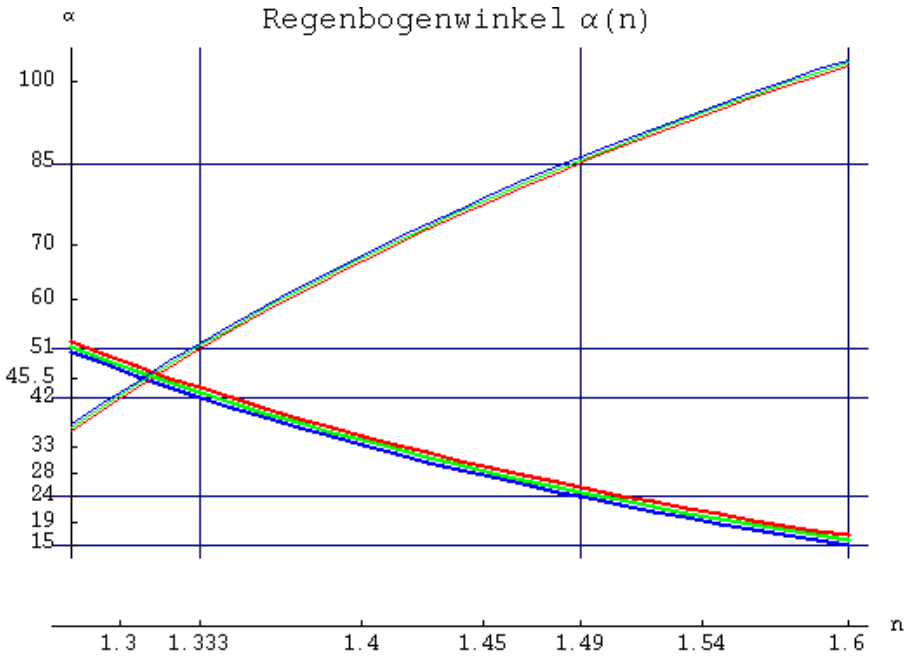


Abbildung 20 Öffnungswinkel α, unter dem man die Farben des Regenbogens sieht. Dargestellt als Funktion des Brechungsindexes *n* der Regentropfen.

5.5 Altes und Neues Testament

„Und Gott sagte zu Noah und seinen Söhnen mit ihm: Siehe, ich richte mit euch einen Bund auf und mit euren Nachkommen und mit allem lebendigen Getier bei euch, an Vögeln, an Vieh und an allen Tieren des Feldes bei euch, von allem, was aus der Arche gegangen ist, was für Tiere es sind auf Erden. Und ich richte meinen Bund so mit euch auf, dass hinfort nicht mehr alles Fleisch verderbt werden soll durch die Wasser der Sintflut und hinfort keine Sintflut mehr kommen soll, die die Erde verderbe."

„Und Gott sprach: Das ist das Zeichen des Bundes, den ich geschlossen habe zwischen mir und euch und allem lebendigen Getier bei euch auf ewig: Meinen Bogen habe ich in die Wolken gesetzt; der soll das Zeichen sein des Bundes zwischen mir und der Erde. Und wenn es kommt, dass ich Wetterwolken über die Erde führe, so soll man meinen Bogen sehen in den Wolken. Alsdann will ich gedenken an meinen Bund zwischen mir und euch und allem lebendigen Getier unter allem Fleisch, dass hinfort keine Sintflut mehr komme, die alles Fleisch verderbe. Darum soll mein Bogen in den Wolken sein, dass ich ihn ansehe und gedenke an den ewigen Bund zwischen Gott und allem lebendigen Getier unter allem Fleisch, das auf Erden ist. Und Gott sagte zu Noah: Das sei das Zeichen des Bundes, den ich aufgerichtet habe zwischen mir und allem Fleisch auf Erden."

Mose, Kapitel 9, Verse 8-17

Abbildung 21 Noah und seine Söhne empfangen Gottes Vereinbarung

Alsbald wurde ich vom Geist ergriffen. Und siehe, ein Thron stand im Himmel, und auf dem Thron sass einer. Und der da sass, war anzusehen wie der Stein Jaspis und Sarder; und ein Regenbogen war um den Thron, anzusehen wie ein Smaragd. Und um den Thron waren vierundzwanzig Throne, und auf den Thronen sassen vierundzwanzig Älteste, mit weissen Kleidern angetan, und hatten auf ihren Häuptern goldene Kronen. Und von dem Thron gingen aus Blitze, Stimmen und Donner; und sieben Fackeln mit Feuer brannten vor dem Thron, das sind die sieben Geister Gottes.

Die Offenbarung des Johannes, 4. Kapitel, Verse 2-5

5.6 Gedichte

Magie der Farben

Gottes Atem hin und wieder,
Himmel oben, Himmel unten,
Licht singt tausendfache Lieder,
Gott wird Welt im farbig Bunten.

Weiss zu Schwarz und Warm zum Kühlen
Fühlt sich immer neu gezogen,
Ewig aus chaotischem Wühlen
Klärt sich neu der Regenbogen.

So durch unsre Seele wandelt
Tausendfalt in Qual und Wonne
Gottes Licht, erschafft und handelt,
Und wir preisen ihn als Sonne.

(von Hesse 1918)

Der Regenbogen

Regen biegt das Licht am Himmel
Sonne malt in Farbenpracht
Reichtum ist der Mut zu staunen
erfinderisch die Armut lacht

Die Sehnsucht lässt mich wieder spüren
ich lade sie in mein Leben ein
Tanze meinen Träumen jetzt entgegen
will mit ihnen wieder gänzlich sein

Erst einsam, dann beisammen liegend
sind die Wunder gern willkommen
allabendlich den Regenbogen biegend
zärtlich wiegend und vollkommen

(von Nonhoff 2001)

5.7 Bauernregeln

Regenbogen am Morgen
macht dem Schäfer Sorgen;
Regenbogen am Abend
ist dem Schäfer labend.

Regenbogen im Osten bringt Sonne,
Regenbogen im Westen bringt Regen.

Regenbogen am Abend lässt gut Wetter hoffen,
Regenbogen am Morgen, lässt für Regen sorgen.

5.8 Meteorologica von Aristoteles (geschrieben 350 v. Chr.)

Bereits Aristoteles konnte aufgrund geometrischer Überlegungen die Form des Regenbogens erklären. Seine geometrischen Argumente stimmen mit der heutigen Erklärung recht gut überein. Seine physikalische Vorstellung des Wesens von Sonne, Luft, Licht oder Farben und das Verständnis von Reflexion oder Brechung waren aber noch weit entfernt von den heutigen physikalischen Theorien. Er hatte noch nicht die Möglichkeit, die oben genannten optischen Experimente im Labor durchzuführen. Ebenfalls waren ihm die astronomischen Distanzen im Sonnensystem nur sehr ungenau bekannt. Man weiss heute, dass die Sonne etwa 400-mal weiter entfernt ist als der Mond. Er ist immerhin noch 40'000-mal weiter entfernt als die höchsten Wolken in der Atmosphäre. Aristoteles zeichnete in seiner Skizze die Sonne und die Wolken gleich weit vom Auge des Beobachters entfernt.

a) Versuche seine Skizze in diesem Punkt zu verbessern.

Aus Aristoteles Werk „Meteorologica“ sind hauptsächlich die Stellen entfernt worden, die sich mit der geometrischen Form des Regenbogens auseinandersetzen. Andere Textstellen, die sich zum Beispiel mit der Entstehung der Regenbogenfarben befassen, wurden ausgelassen und durch […] ersetzt. Weil die deutsche Übersetzung dem Original folgt, ist der Text wegen des verschachtelten Satzbaus recht schwierig zu lesen.

b) Versuche den groben Inhalt zu verstehen und mache dir dann eigene Gedanken.

Teil I Meteorologie (von Strohm übersetzt 1970, 76-87)

Buch III

Kapitel 2. Wir wollen nun über Halo-Erscheinungen[1] und über den Regenbogen sprechen, über ihre Natur und ihre Ursachen, ferner über Nebensonnen[2] und 'Ruten' ('Stäbe')[3]. Alle diese Naturerscheinungen stammen nämlich von derselben Ursache her.

Zunächst aber müssen die Eigenschaften dieser Phänomene, und was bei jedem einzelnen vorgeht, bestimmt werden. […]

Beim Regenbogen gibt es nie einen vollen Kreis, auch keinen Bogen, der grösser ist als der Halbkreis. Bei Sonnenuntergang und -aufgang ist der Kreis am kleinsten, das Kreissegment am grössten; steht die Sonne höher, so ist der Kreis grösser, das Segment kleiner. Nach der Herbst-Tagundnachtgleiche, wenn die Tage kürzer sind, kann das Phänomen zu beliebiger Stunde des Tages auftreten, im Sommer aber nicht um die Mittagszeit. […]

Dies also lässt sich an den genannten Phänomenen im Einzelnen beobachten. Ihre Ursache aber ist in allen Fällen die gleiche: überall handelt es sich um Strahlenbrechung. Die Unterschiede beruhen auf der besonderen Weise der Brechung, auf der Art der reflektierenden Fläche, und darin, ob die Strahlen zur Sonne oder zu einem anderen hellgleissenden Gegenstand hin gebrochen werden.

Ein Regenbogen wird tagsüber sichtbar: an sein Auftreten bei Nacht, vom Mondlicht her, glaubten die Alten nicht. Dieser ihr Eindruck beruhte auf der Seltenheit des Phänomens, das ihnen deswegen verborgen blieb. Es kommt schon vor, aber nicht häufig. Die Ursache ist, dass in der Dunkelheit die Farben nicht zu sehen sind und ausserdem noch viele Bedingungen

[1] Eine Halo-Erscheinung ist ein ähnliches Phänomen wie der Regenbogen. Sie entsteht jedoch nicht durch Wassertropfen, sondern durch kleine Eiskristalle in der Atmosphäre.

[2] Eine Nebensonne ist eine Halo-Erscheinung um die Sonne herum, bei der das Bogenstück wie eine zweite Sonne am Himmel aussieht.

[3] Unter „Ruten“ und „Stäbe“ versteht Aristoteles vermutlich längliche Nebensonnen, also ebenfalls Halo-Erscheinungen.

des Entstehens zusammentreffen müssen – und zwar sämtliche an einem einzelnen Tag im Monat: ausschliesslich bei Vollmond ist ein Mondregenbogen zu erwarten, und auch dann nur, wenn der Mond auf- oder untergeht. Darum haben wir ihn innerhalb von mehr als fünfzig Jahren nur zweimal erlebt. […]

Kapitel 4. Dass der Regenbogen eine Reflektionserscheinung ist, wurde früher festgestellt; von welcher Art diese ist, wie ihre jeweiligen Besonderheiten zustande kommen und was deren Ursache ist, dies wollen wir nun darlegen. […]

Vor allem aber findet Brechung von Wasser her statt, und Wasser, das eben in Bildung begriffen ist, wirkt in diesem Sinn stärker als Luft; denn jedes Teilchen, die zusammentretend einen Regentropfen ergeben, ist notwendigerweise ein besserer Spiegel als Nebel. Nun lehrt der Augenschein (wie es auch bereits früher dargestellt wurde), dass in solchen Spiegeln sich bloss die Farbe zeigt, die Form jedoch nicht deutlich wird. Unmittelbar vorm Regnen, also, wenn die Luft im Gewölk sich schon zu Tropfen zusammenschliesst, aber noch kein Regen fällt, muss sich, falls gegenüber die Sonne steht oder eine andere Lichtquelle, die die Wolke zum Spiegel werden lässt und eine Brechung (des Sehens) von der Wolke zum hellen Objekt hin bewirkt, ein Bild der Farbe, nicht der Form ergeben. Jedes einzelne der spiegelnden Teilchen ist klein und nicht zu sehen, nur das ganze ausgedehnte Kontinuum, das sie zusammensetzen, ist sichtbar: folglich muss es das ausgedehnte Kontinuum einer Farbe sein, was da erscheint. Denn jedes spiegelnde Teilchen bietet die gleiche Farbe, wie sie das zusammenhängende Ganze hat. Diese Bedingungen sind theoretisch möglich; und so kann, wenn Sonne und Wolke die entsprechende Position einnehmen und wir (als Beobachter) in der Mitte stehen, damit gerechnet werden, dass die Brechung einen (Farb-)Eindruck hervorruft. […]

Kapitel 5. Die Tatsache, dass ein Regenbogen weder einen Vollkreis bilden kann noch ein Segment, das grösser ist als ein Halbkreis, sowie die anderen Eigenheiten des Phänomens lassen sich aus der gezeichneten Figur ersehen.

A sei eine Halbkugel über dem Horizontkreis, dessen Mittelpunkt sei *K*, *H* ein über dem Horizont aufsteigender Punkt. Wenn nun von *K* Geraden so gezogen werden, dass sie gewissermassen einen Kegelmantel, mit *HK* als Achse, bilden, und wenn dann die Verbindungslinien *KM* dort von der Halbkugel zu *H* abgewinkelt werden (mit *HKM* als stumpfem Winkel), werden die so gezogenen Geraden auf eine Kreisperipherie fallen. Geschieht diese Abwinkelung dann, wenn das Gestirn gerade auf- oder untergeht, dann ist der Teil des Kreises oberhalb der Erde (= des Regenbogens), der vom Horizont abgeschnitten wird, ein Halbkreis. Erhebt sich das Gestirn [*H*] über den Horizont, so wird das Kreissegment immer kleiner, und am kleinsten, wenn das Gestirn seine Mittagshöhe erreicht hat.

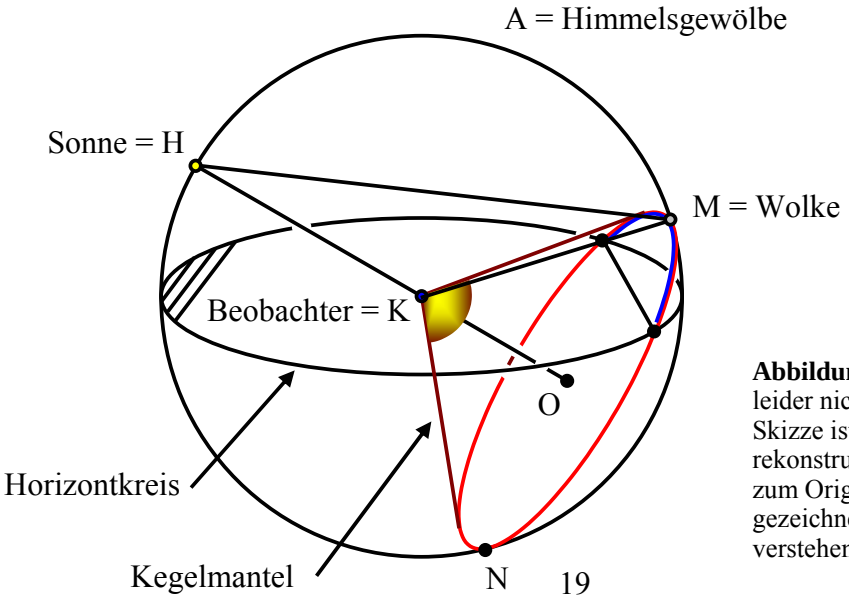


Abbildung 22 Aristoteles' Skizzen sind leider nicht überliefert worden. Diese Skizze ist aus Aristoteles' Text rekonstruiert. Sie ist im Unterschied zum Original dreidimensional gezeichnet, damit der Text leichter zu verstehen ist.

Zunächst sei die Position des Aufgangs, im Punkt *H*, gegeben, und *KM* werden zu *H* abgewinkelt; es sei die Ebene *A* angelegt, so wie sie durch das Dreieck *HKM* bestimmt ist. Ihre Schnittebene mit der Halbkugel wird ein grosser Kreis sein, *A* – dabei kommt es nicht darauf an, welche durch das Dreieck *KMH* angelegte Ebene es ist von den verschiedenen, die durch *HK* gehen. Für alle Geraden nun, die von den Punkten *H* und *K* gezogen werden und die zueinander in einem bestimmten (gegebenen) Verhältnis stehen, gilt, dass sie nur zu einem Punkt des Halbkreises *A* konstruiert werden können. Denn da die Punkte *K* und *H* und die Gerade *HK* gegeben sind, muss auch *MH* gegeben sein, also auch das Verhältnis *MH* zu *MK*. Dann wird *M* auf einer gegebenen Kreisperipherie liegen, die durch *NM* bezeichnet sei. Damit ist der Schnittpunkt der beiden Kreise gegeben. Keine zwei Geraden lassen sich, mit demselben Verhältnis zueinander und in derselben Fläche, zu einem anderen Punkt konstruieren als zu einem, der auf der Peripherie *NM* liegt [Apoloniuskreis].

Lässt man nun den Halbkreis *A* um *HKΠ* als Achse rotieren, dann müssen die von *H*, *K* zu *M* gebrochenen Geraden in sämtlichen Ebenen [, die die rotierende Figur nacheinander einnimmt,] gleiche Positionen haben und [durchweg] den gleichen Winkel bilden; und der Winkel, den *HM* und *MΠ* mit *HΠ* bilden, muss sich immerfort gleich bleiben. So entsteht über *HΠ* und *KΠ* eine Reihe von Dreiecken, die sämtlich den Dreiecken *HMΠ* und *KMΠ* gleich sind. Ihre Höhen müssen auf denselben Punkt der Strecke *HΠ* fallen und gleich sein. Dieser Fusspunkt sei *O*. *O* ist der Mittelpunkt des Kreises, von dem ein Halbkreis [= als Regenbogen] vom Horizont abgeschnitten wird.

Weiter sei *AKΓ* der Horizont, über den sich die Sonne [*H*] erhoben hat; die Achse (der rotierenden Figur) sei jetzt *HΠ*. Dann wiederholen sich alle früheren Beweise, jedoch wird der Pol des Kreises (*Π*) unter dem Horizont *AΓ* liegen, weil *H* sich über ihn erhoben hat. Es liegen dann auf derselben Geraden die Kreismittelpunkte *Π* und *O* sowie der Mittelpunkt (*K*) des Kreises, der jetzt die Höhe des aufgestiegenen Himmelkörpers bestimmen lässt; es ist dies der Kreis (mit dem Durchmesser) *HΠ*. Nachdem aber *KH* sich oberhalb des Durchmessers *AΓ* befindet, muss der Mittelpunkt – nämlich *O* (des Regenbogenkreises) – unterhalb des früheren Horizonts *AΓ* liegen, auf der Strecke *KΠ*. Folglich muss das Kreissegment *ΨY*, oberhalb des Horizonts, kleiner sein als ein Halbkreis; denn das Segment *ΨYZ* war (im vorigen Fall) ein Halbkreis, der aber jetzt (teilweise) vom Horizont *AΓ* abgeschnitten ist. Das andere Segment *Ω* (des Regenbogenkreises) muss dann unsichtbar sein, da die Sonne über dem Horizont steht. Der sichtbare Teil wird mittags am kleinsten sein; denn je höher *H* steht, desto tiefer stehen die Kreismittelpunkte *Π* und *O* (= Regenbogenkreis).

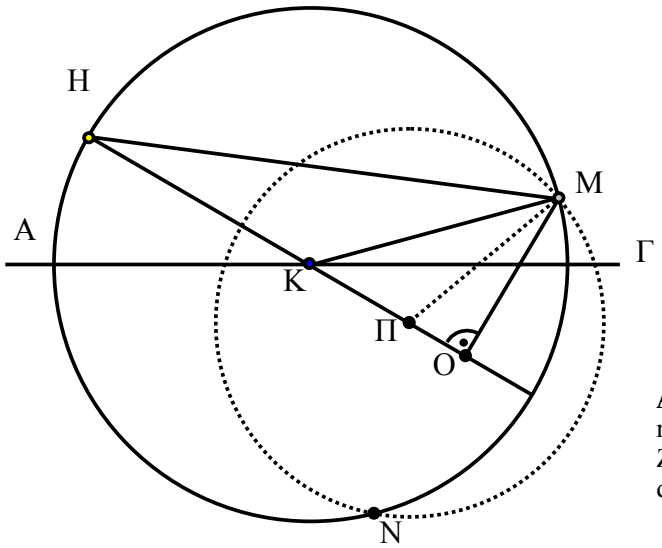


Abbildung 23 Aus obigem Text rekonstruierte, zweidimensionale Zeichnung Aristoteles' zur Erklärung der Form von Regenbögen.

5.9 Legenden

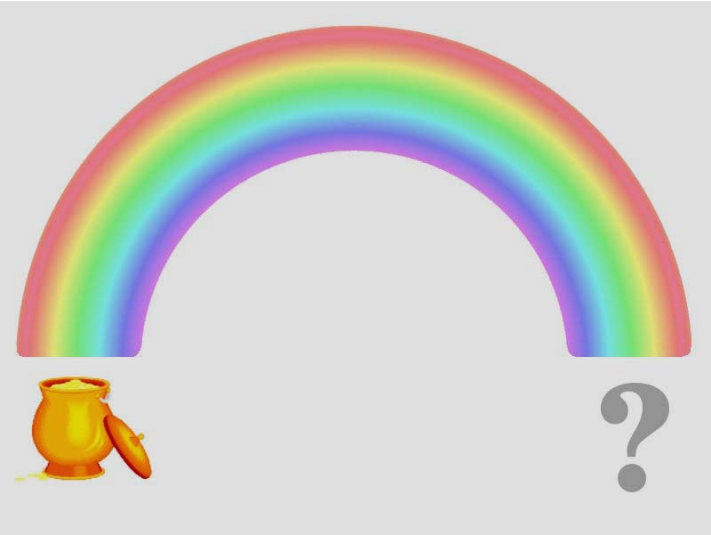
Rund um den Regenbogen werden sehr viele Geschichten erzählt. Eine bekannte Legende ist zum Beispiel:„Wo der Regenbogen drei Tage hintereinander aufliegt, dort ist ein Schatz vergraben.“

In Märchen und Sagen machen sich die Menschen immer wieder auf den Weg zum Ende des Regenbogens in der Hoffnung, dort einen Topf Gold zu finden. In Irland kennt fast jeder die Geschichte, dass am Ende des Regenbogens ein Schatz vergraben sein soll, der von einem Kobold bewacht wird.

Aus den Kobolden entwickelten sich dort die sogenannten Leprechauns. Heutzutage kennt sie jeder in Irland; sie sind so etwas wie die National-Elfen geworden. Leprechauns sind sehr kleine, üblicherweise zwischen einem Daumen und zwei Fuss grosse Erdwesen. Die einzigen typischen Kleidungstücke sind ein breitkrempiger Hut und die Lederschürze eines Schuhmachers, denn ihr ursprünglicher Beruf ist Schuhmacher. Wenn sie nicht gerade arbeiten, rauchen sie oft Pfeife oder betrinken sich mit Bier und Whisky.

Neben der Tätigkeit als Branntweinbrenner, Schmied oder Musiker sind sie vor allem als Bankmanager bekannt geworden[4]. Im Allgemeinen sind sie viele hundert Jahre alt und haben ein sehr gutes Gedächtnis. Deshalb kennen sie noch sämtliche Orte, wo die alten irischen Könige und die Wikinger ihre Schätze versteckt haben. Da Leprechauns ziemlich geizig sind, wollen sie dieses Wissen mit niemandem teilen. Jeder Leprechaun ist somit Bewacher der geheimen, irischen Reichtümer. Um unerwartete Ausgaben bezahlen zu können, bewart ein Leprechaun einen kleinen Teil seines Reichtums als Goldmünzen in einem Topf auf. Dies führte zu der Annahme, dass jeder Leprechaun einen Topf voll Gold besitzt, dessen Versteck er durch das Ende eines Regenbogens markiert.

Wenn es diese verborgen Schätze der Leprechauns wirklich gäbe, würdest du dich dann auf die Suche begeben? – Wo befindet sich den eigentlich genau das Ende eines Regenbogens?



[4] Vergleiche zum Beispiel die Gringotts-Bank der Kobolde in Joanne K. Rowling's Buch „Harry Potter and the Philosopher's Stone“.

6 Nachwort

Diese Unterrichtseinheit war hoffentlich lehrreich und anregend. Vielleicht hat Sie Ihnen als Forscher oder Forscherin auch etwas Spass gemacht und Sie an der einen oder anderen Stelle überrascht.

Wenn Ihr Wissensdurst noch nicht gestillt ist, können Sie in einem Physikbuch der Schulbibliothek oder im Internet unter dem Stichwort „Regenbogen“ noch vieles mehr erfahren.

Der französische Physiker *René Descartes* war 1637 der Erste, der eine korrekte physikalische Erklärung des Regenbogens liefern konnte. In der Folgezeit wurden immer mehr Details, wie zum Beispiel die Sekundär- oder Interferenzregenbögen, erklärt und mathematisch berechnet.

Falls Sie den Regenbogen auch gerne von seiner mathematischen Seite kennenlernen möchten, fragen Sie Ihren Mathematiklehrer, ob er mit Ihnen ein Projekt über den Regenbogen machen möchte. Dazu gibt es eine hervorragende Anleitung von B. D. Wong und H. Henn.