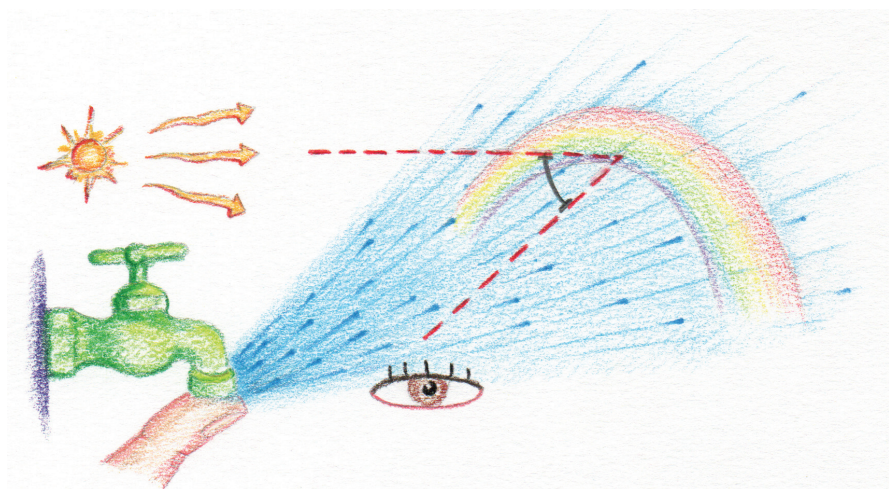


# EINFACHE EXPERIMENTE UM EINE KOMPLIZIERTE ERDE ZU VERSTEHEN



## 2 Das Licht und die Farben

Text: Bernardino Barrientos García  
Illustrationen: Luis Adán Martínez Jiménez  
Übersetzt von: Veronika A. Dülmer  
und Verónica Peña C.

# Universidad Nacional Autónoma de México

**Enrique Luis Graue Wiechers**

Rektor

**Leonardo Lomelí Vanegas**

Generalsekretär



**William Henry Lee Alardín**

Koordinator für Wissenschaftlichen Forschung

**Socorro Venegas Pérez**

Generaldirektorin für Veröffentlichungen und Verlagsförderung

**Lucía Capra Pedol**

Direktorin des Geowissenschaftlichen Zentrums

**Susana A. Alaniz Álvarez**

**Ángel F. Nieto Samaniego**

**Yadira A. Hernández Pérez**

Koordinatoren der Reihe

**Elisa López**

Design

**Janet Sánchez Sánchez**

Gestaltung

Erste Auflage, August 2019

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D.F.

Centro de Geociencias  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Boulevard Juriquilla núm. 3001, Juriquilla, Querétaro  
C.P. 76230, México

ISBN (Gesamtwerk) 978-607-02-9619-2  
ISBN 978-607-30-1843-2

Gedruckt und hergestellt in Mexiko

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Weder das Gesamtwerk noch seine Teile dürfen ohne schriftliche Einwilligung der Herausgeber durch elektronische oder andere Mittel reproduziert werden.

# Inhaltsverzeichnis

Einführung	3
Newtons Experimente	4
Die Lichtbrechung	6
Der Regenbogen	8
Einen Regenbogen selber machen	9
Wie misst man die Größe eines Regenbogens?	10
Die Newtonsche Farbscheibe	10
Die Polarisierung des Lichts	11
Erzeuge dein eigenes Farbspektrum	11
Der sekundäre Regenbogen	12
Erstaunliche Details über den Regenbogen	12
Die Welt der Farben	14
Zusammenfassung	18
Danksagung	19
Über Isaak Newton	20
Über den Autor	21
Über den Übersetzer	21

Und wie wäre die Welt ohne Farben?  
Woraus ist der Regenbogen gemacht?  
Warum ist er bunt?  
Warum ist er gebogen?

Erlaub  
Freun  
und s  
sich g  
unterh

# Einführung

Das Licht ist eines der wichtigsten Mittel, durch das wir mit der uns umgebenden Welt interagieren. Wir tun dies mit unseren Augen. So, mit Hilfe unseres Sehsinns, können wir unsere Lebensmittel erkennen, uns mit anderen in Verbindung setzen, uns von einem Ort zum anderen bewegen oder einfach die Natur betrachten. In diesem Zusammenhang: Wer hat nicht schon einmal das Blau des Himmels, die verschiedenen Farben des Regenbogens oder die rötlichen Töne der Abenddämmerung bewundert? Im Laufe der Geschichte haben diese spektakulären Naturereignisse die Menschen der verschiedenen Kulturen immer wieder überrascht. Besonders der Regenbogen beeindruckt durch seine Bogenform und durch den Umstand, dass er zwischen der Erde und dem Himmel zu schweben scheint und auch durch seine Farben. Und was wäre die Welt ohne Farben? In diesem Heft werden wir sowohl die notwendigen Einzelheiten für die Entstehung eines Regenbogens erforschen als auch die Art und Weise, wie wir die Objekte mit ihren Farben wahrnehmen.



ot mir euch zunächst unsere beiden  
de vorzustellen: Den Hamster Isaac  
einen Freund, den Kater Carmelo, die  
gerade über sehr interessante Dinge  
halten, die mit dem Licht zu tun haben.

# Newtons Experimente

**Kater Carmelo:** Weißt du was, Issac? Gestern konnte ich einen herrlichen Regenbogen beobachten und mir sind einige Fragen gekommen, die ich nicht beantworten konnte.

**Hamster Isaac:** Was für Fragen waren das? Vielleicht kann ich dir bei den Antworten helfen.

**Kater Carmelo:** Woraus ist der Regenbogen gemacht? Warum ist er ein Bogen? Und warum ist er bunt?

**Hamster Isaac:** Was für interessante Fragen! Weißt du, Carmelo, eine der ersten Personen, die richtige Antworten auf diese Fragen gegeben hat, war mein Namensvetter Isaac Newton, einer der großartigsten Wissenschaftler aller Zeiten.

**Kater Carmelo:** Oh! Und wie hat er das gemacht?

**Hamster Isaac:** 1666 hat Isaac Newton das folgende Experiment durchgeführt. In seinem abgedunkelten Zimmer ließ er das weiße Licht eines Sonnenstrahls zunächst durch ein kleines Fensterladenloch fallen, um es dann durch ein Glasstück in Form eines Prismas zu schicken.

Newton beobachtete, dass sich am Ausgang des Prismas eine breiterer Lichtstrahl bildete, der alle Farben enthielt, und zwar mit einer ähnlichen Verteilung, wie sie in einem Regenbogen zu beobachten ist. Heutzutage wird dieses vielfarbige Band als Farbspektrum bezeichnet. Unsere Augen können ohne große Anstrengung sieben verschiedene Farben unterscheiden. Newton bemerkte auch, dass die

Aus Veranschaulichungsgründen  
wird das weiße Licht gelb  
dargestellt.

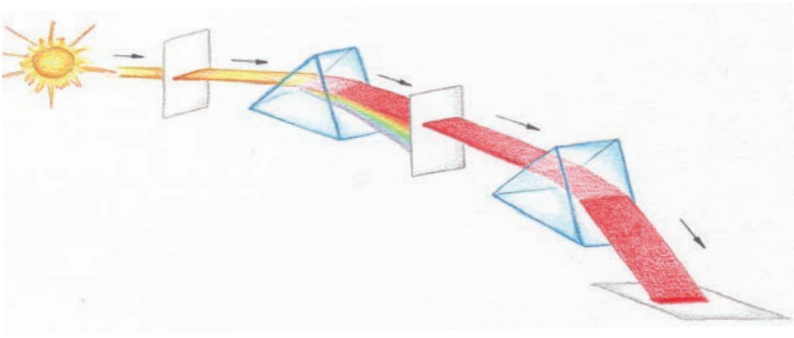


Wenn ein weißer Lichtstrahl  
(oder Sonnenstrahl) durch ein  
Glasprisma fällt, zerfällt der  
Strahl in mehrere Farben.

Wie interessant!



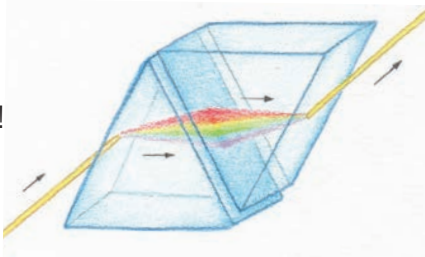
besagten Farben immer in der selben Reihenfolge erschienen; z.B. von oben nach unten: zuerst Rot, dann Orange, Gelb, Grün, Blau, Dunkelblau (Indigo) und zuletzt Violett. Um sicher zu sein, dass das weiße Licht alle diese Farben enthielt und dass ihre Erzeugung nicht eine Eigenheit des Prismas war, wählte Newton in einem weiteren Schritt nur eine Farbkomponente des Lichtstrahls aus, indem er einen Karton mit einem kleinen Loch als Filter benutzte. Nachdem er diesen Lichtbestandteil durch ein zweites Prisma passieren lies, beobachtete er, dass dieser nicht in weitere Farben getrennt wurde. Aus diesem einfachen Versuch folgerte Newton, dass das weiße Licht alle Farben enthielt und dass seine Trennung (als chromatische Dispersion bezeichnet) darauf zurückzuführen war, dass jede Farbe beim Durchtritt des Strahls durch das Prisma unterschiedlich stark abgelenkt oder gebrochen wurde.



**Kater Carmelo:** Chromatische Dispersion? Was für ein merkwürdiger Begriff!

**Hamster Isaac:** Außerdem dachte Newton, wenn alle am Ausgang des Prismas erzeugten Farben im weißen Lichtstrahl enthalten sind, müssten sie, wenn sie wieder kombiniert würden, weißes Licht erzeugen. Um dies zu überprüfen, platzierte Newton ein Glasprisma in den Weg des mehrfarbigen Strahls, diesmal jedoch umgekehrt. Und er hatte recht: Das Farbspektrum erzeugte, wenn es wieder zusammengeführt wurde, weißes Licht.

Es ist leicht zu  
nachzumachen!



Wenn ihr interessiert seid, diese Experimente selber durchzuführen, besorgt euch zwei Glasprismen, die ihr im Forschungszentrum für Optik besorgen könnt ([www.cio.mx](http://www.cio.mx)) und ordnet sie, wie hier gezeigt, mit ungefähr 2 bis 3 Millimetern Abstand an.

# Die Lichtbrechung

**Hamster Isaac:** Carmelo, weißt du, was mit einem Lichtstrahl geschieht, wenn er von einem durchsichtigen Medium, wie z.B. Luft, ein anderes z.B. Glas eintritt?

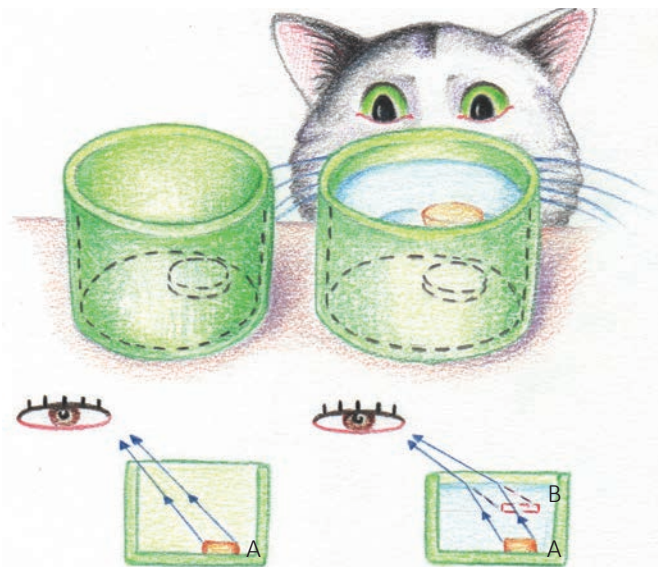
**Kater Carmelo:** Nein, was passiert?

**Hamster Isaac:** Also, er wird von seiner Bahn abgelenkt. Dieses Phänomen wird Lichtbrechung genannt. Mit Hilfe eines Prismas kannst du sehen, dass sowohl der eintretende wie auch der austretende Strahl seine Ausbreitungsrichtung verändert. Beim Eingang trifft das Licht von Luft auf Glas und wird infolgedessen gebrochen; dasselbe geschieht beim Ausgang, weil das Licht jetzt von Glas auf Luft trifft.

**Kater Carmelo:** Das verstehe ich nicht genau. Kannst du es mir nochmal erklären?

**Hamster Isaac:** Um die Lichtbrechung besser zu verstehen, laden wir euch ein, dass folgende Experiment durchzuführen. Legt eine Münze auf den Boden einer Tasse, so dass ihr sie von einer gewissen Position aus sehen könnt. Dann geht Schritt für Schritt ein bisschen weiter weg bis ihr nur noch den Rand der Münze sehen könnt. Das Licht, das vom Rand der Münze ausgeht, fällt direkt in eure Augen. Ohne euch von der Stelle zu bewegen, bittet einen Freund, die Tasse langsam mit Wasser zu füllen. Was geschieht? Ja, so ist es. Ihr seht die Münze nach und nach wieder vollständig! Aber warum Carmelo?

**Kater Carmelo:** Ja. . . ähm, also. . . hmm.



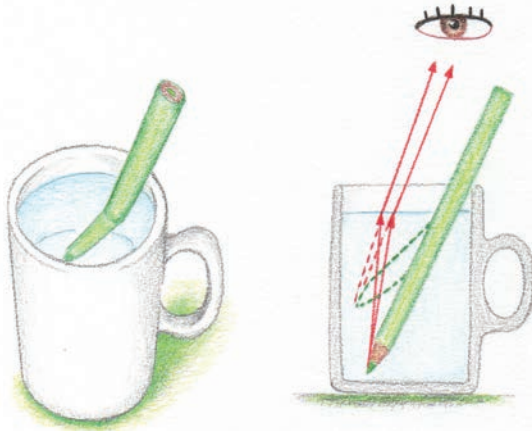
Experiment der  
erscheinenden  
Münze:

Ohne Wasser  
fällt das Licht  
von Punkt A  
gradlinig ins  
Auge von Isaac.  
Mit Wasser fällt  
das Licht von  
jedem Punkt der  
Münze aus auf  
zwei Bahnen bis  
ins Auge von  
Isaac.



**Hamster Isaac:** Mit Wasser passiert der Strahl, der vom Rand der Münze bis in dein Auge fällt, vom Wasser in die Luft und wird deshalb er gebrochen. Diese Brechung erzeugt die Illusion, dass das Licht von dem Punkt stammt, an dem wir sie sehen, in Wirklichkeit ist er aber höher als die Position der Münze. Weil mit allen Punkten der Oberfläche der Münze dasselbe geschieht, wirst du den Eindruck haben, dass die Münze höher liegt als es tatsächlich der Fall ist. Das erklärt auch, warum Objekte in einem Schwimmbecken näher erscheinen als sie sind. Weißt du was? In der Antike warfen einige Ureinwohner ihre Harpunen zum Fischen so, dass sie den Effekt der Lichtbrechung intuitiv kompensierten, das heißt, anstatt die Harpune dorthin zu werfen, wo der Fisch wahrgenommen wurde, warfen sie ihn mit einem solchen Winkel, dass sie den Punkt trafen, wo sich der Fisch tatsächlich befand. Das Bild, das wir in einem Glas mit Wasser sehen, wird als virtuelles Bild bezeichnet, da es nicht an der Stelle existiert, an der es beobachtet wird.

**Kater Carmelo:** Miau! Beeindruckend!



Verzerrung eines Objekts aufgrund des Brechungsphänomens: Auf der rechten Seite erscheint die Spitze des Bleistifts etwas höher, als wenn kein Wasser in der Tasse wäre.

**Hamster Isaac:** Die Lichtbrechung erklärt auch, warum sich die Form der Objekte verändert, wenn man sie ins Wasser legt.

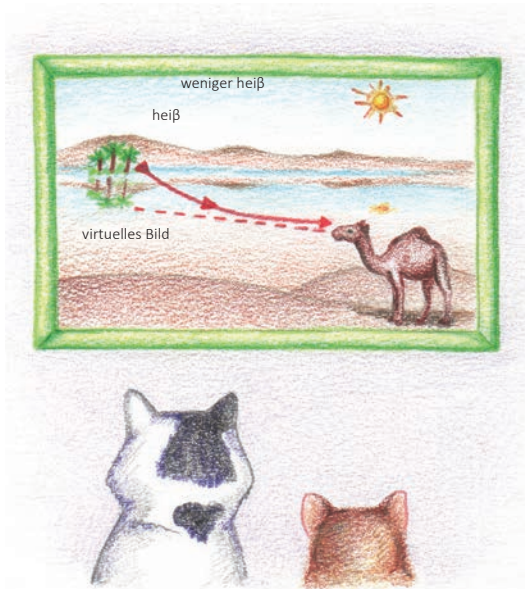
Die Luftspiegelungen, die in der Wüste vorkommen oder wenn man über eine Landstraße fährt, sind ebenfalls auf Lichtbrechungen zurückzuführen. In diesen Fällen wird beobachtet, dass sich in der Ferne etwas (normalerweise Wasser) auf dem Boden befindet, aber wenn wir an diesen Ort gelangen, gibt es dort nichts. Dies ist ein weiteres Beispiel für die virtuelle Bilderzeugung.

**Kater Carmelo:** Aha! Aber wie geschieht das?

**Hamster Isaac:** Ich gebe dir ein Beispiel. Siehst du das Bild da an der Wand?. Das Kamel dort sieht in der Ferne eine Palme, die offenbar in einem See steht. Sehen wir mal, was da passiert.

Am helllichten Tag ist die Luft in Bodennähe viel wärmer als die in den weiter entfernten Luftschichten. Dieser Temperaturunterschied bewirkt, dass das Licht in jeder Höhe unterschiedlich gebrochen wird, d.h. die Lichtbrechkraft der Luft hängt von ihrer Temperatur ab. Da die Luft in unterschiedlichen Höhen unterschiedliche Temperaturen hat, wird das Licht, das von einem entfernten Objekt (wie der Palme) ausgeht, in mehrere Bahnen zerlegt, bevor es das Auge des Betrachters erreicht. Was scheinbar ein See ist, ist der Himmel, dessen virtuelles Bild auf dem Boden zu sehen ist.

**Kater Carmelo:** Ah, so wie in Filmen!



Die Luft nahe einer heißen Oberfläche führt zu virtuellen Bildern von Objekten, die relativ weit von Betrachter entfernt sind. Dieses Phänomen wird Fata Morgana, Trugbild oder auch Luftspiegelung genannt.

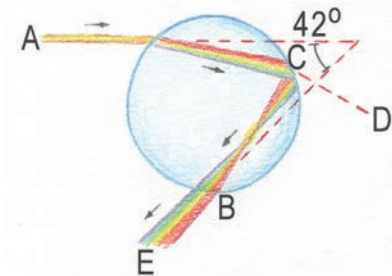
**Hamster Isaac:** Du weißt jetzt schon, warum das Licht reflektiert oder gebrochen wird. Aber du weißt noch nicht, warum jede Farbe einen unterschiedlichen Brechungswinkel hat, wie im Beispiel der Brechung der Farben im Prisma gesehen. Die Erklärung dafür ist, dass ein transparentes Material aufgrund seiner atomaren Struktur auf jede Farbe unterschiedlich reagiert.

**Kater Carmelo:** Hmm!

## Der Regenbogen

**Hamster Isaac:** Die chromatische Dispersion ist also die Zerlegung von weißem Licht in all seine Farben, da jede Farbe unterschiedlich gebrochen wird, wenn sie von einem Medium auf ein anderes trifft.

Ein spektakuläres Beispiel dafür ist die Bildung eines Regenbogens, der entsteht, weil das weiße Licht der Sonne chromatisch gestreut und in den Regentropfen reflektiert wird. Ich zeige es dir mit Hilfe einer Abbildung.

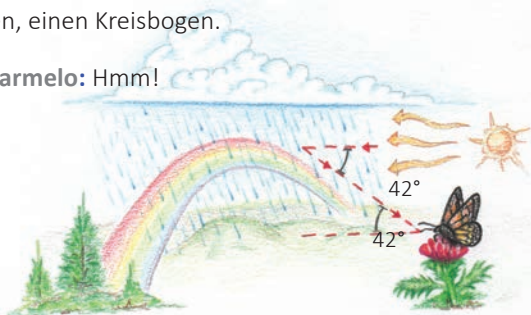


Zuerst wird das Licht gestreut, wenn es durch einen Tropfen geht (Punkt A) und wenn es wieder an die Oberfläche gelangt (Punkt C), wird es reflektiert; ähnlich wie bei einem Spiegel. Auf diese Weise wird ein Teil des von A kommenden Lichts in Richtung B reflektiert und ein anderer Teil wird zurück nach D übertragen, der die Augen des Betrachters (E) aber nicht erreicht. Nach dieser Reflexion trennen sich die Strahlen weiter bis sie den Tropfen verlassen (Punkt B). Daher verursacht jeder Tropfen eine kleine

Streuung des Sonnenlichts und alle Tropfen, die sich in einer geeigneten Position zwischen dem Betrachter und der Sonne befinden, tragen dazu bei, dass wir das virtuelle Bild eines mehrfarbigen Bogens sehen, der als Regenbogen bezeichnet wird.

Bei einem Winkel von  $42^\circ$  zwischen Beobachtungsrichtung und Lichteinfallsrichtung ist das Phänomen deutlicher sichtbar. Außerdem, wenn man die kugelförmige Symmetrie der Tropfen berücksichtigt, d.h., dass sie aus jeder Richtung gleich wahrgenommen werden, dann bilden alle Tropfen, die sich in diesem Winkel befinden, einen Kreisbogen.

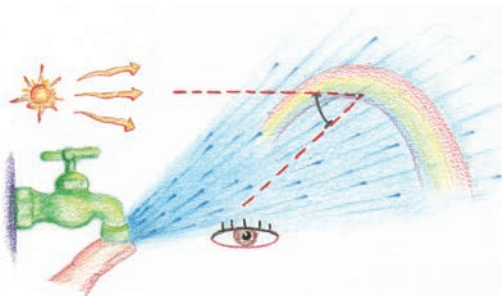
**Kater Carmelo:** Hmm!



## Einen Regenbogen selber machen

Ein Regenbogen entsteht aufgrund der chromatischen Dispersion und Reflexion des von der Sonne kommenden Lichts in den Regentropfen.

**Hamster Isaac:** An einem sonnigen Tag können wir einen kleinen Regenschauer erzeugen, in dem wir Wasser aus einen Wasserhahn oder aus einen Schlauch spritzen. Um einen Regenbogen beobachten zu können, müssen wir nur darauf achten, dass der Winkel zwischen der Einfallsrichtung des Lichts und der Beobachtungsrichtung des Betrachters  $42^\circ$  beträgt.



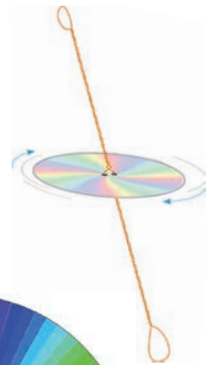
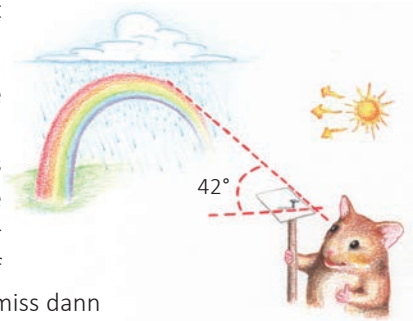
# Wie misst man die Größe eines Regenbogens?

**Hamster Isaac:** Sag mal Carmelo, weißt du wie man die Winkelgröße des Regenbogens messen kann?

**Kater Carmelo:** Mit einem Lineal, nicht wahr?

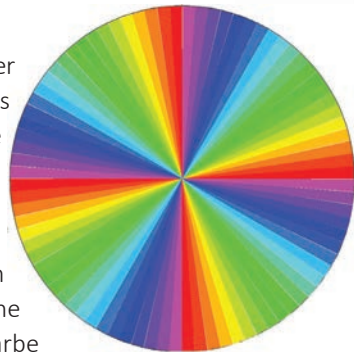
**Hamster Isaac:** Nicht ganz, aber ich schlage dir vor, dieses Experiment zu machen. Schneide ein etwa 10 x 20 cm großes Rechteck aus Pappe aus und befestige es mit einem Nagel senkrecht auf einer Unterlage. Richte ein Ende der Pappe auf den höchsten Punkt des Regenbogen und miss dann den Winkel zwischen dem Schatten des Nagels, der die Richtung des Sonnenlichts angibt und dem Rand des Papiers. Dieser Winkel misst die halbe Größe des Regenbogenwinkels, etwa  $42^\circ$ . Das ist die Größe des Regenbogens.

**Kater Carmelo:** Miau!



## Die Newtonsche Farbscheibe

**Hamster Isaac:** Carmelo, um Licht verschiedener Farben zu rekombinieren und so wieder weißes Licht zu erhalten, ist es möglich, entweder die Anordnung der beiden Prismen oder auch eine Scheibe mit bestimmten Farben zu verwenden. Wenn die Scheibe schnell genug gedreht wird, z.B. durch Befestigung auf einem Ventilator oder einem Windrad, nehmen deine Augen die Scheibe in einer nahezu weißen Farbe wahr.



Die Newtonsche Farbscheibe, benutzt, um weiß aus der Kombination verschiedener Farben zu mischen. Sie kann z.B. mit Hilfe eines Fadens gedreht werden, wie in der Abbildung dargestellt ist.

# Die Polarisierung des Lichts

**Hamster Isaac:** Carmelo, wie du jetzt schon weißt, muss es Regen und Sonnenlicht geben, damit ein Regenbogen entsteht, d.h. der Himmel darf nicht ganz bewölkt sein. Ausserdem muss der Winkel zwischen Lichteinfallsrichtung und Beobachtungsrichtung  $42^\circ$  betragen.

An einem regnerischen Tag mit Sonne suche den Regenbogen am Himmel. Besorge dir eine polarisierte Sonnenbrille und beobachte den Regenbogen. Was passiert? Ein Teil des Bogens verschwindet! Ohne die Brille abzunehmen, drehe deinen Kopf um  $90^\circ$  in beide Richtungen und beobachte die Unterschiede.

Neben der Farbe ist die Polarisation eine weitere wichtige Eigenschaft des Lichts. Polarisierte Brillen, so wie einige Insekten und anders als Menschen, haben die Fähigkeit, diese Polarisation zu erkennen. Polarisierte Gläser sind so konzipiert, dass sie das Licht von bestimmten Polarisationsarten blockieren oder absorbieren. Es ist bekannt, dass das von den Wassertropfen reflektierte Licht je nach Position über dem Regenbogen eine unterschiedliche Polarisation annimmt. Daher wird bei der Beobachtung des Regenbogens mit einer polarisierten Sonnenbrille das von bestimmten Teilen des Bogens kommende Licht vollständig blockiert und das Licht von anderen teilweise auf unsere Augen übertragen.

**Kater Carmelo:** Polarisation! Davon hatte ich auch noch nie gehört!

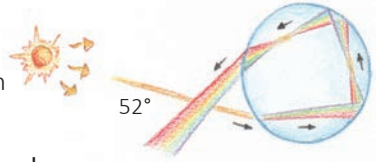
## Erzeuge dein eigenes Farbspektrum

**Hamster Isaac:** Carmelo, hole einen Spiegel und lege ihn in einen Behälter mit Wasser. Verwende ein weißes Blatt, um das vom Spiegel reflektierte Licht in etwa zwei Metern Entfernung zu beobachten. Was du auf dem Blatt beobachten kannst, ist ein schönes Farbspektrum. Wie ist es entstanden? Denk daran, dass von allen Lichtstrahlen, die den Spiegel erreichen, einige ins Wasser fallen, sich im Spiegel reflektieren und gebrochen werden, wenn sie das Wasser verlassen. Diese Strahlen unterliegen demselben Effekt wie die bei der Bildung eines Regenbogens, d.h. sie werden zweimal gebrochen und einmal reflektiert. Beachte, dass es nicht nur sieben Farben gibt, sondern unendlich viele. Schaut man sich z. B. das gebildete Spektrum einmal genauer an, kann man feststellen, dass es dort viele Abstufungen von Rot, Grün u.s.w. gibt.



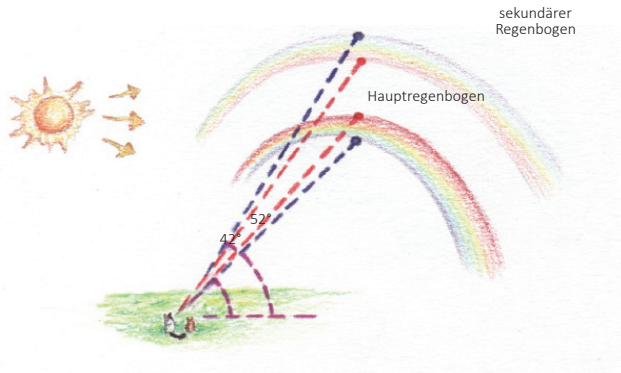
# Der sekundäre Regenbogen

**Hamster Isaac:** Carmelo, wenn du einen Regenbogen sehr genau betrachtest, kannst du vielleicht die Anwesenheit eines zweiten schwächeren Bogens oberhalb des Ersten erkennen. Dieser schwächere Regenbogen wird sekundärer Regenbogen genannt und tritt auf, weil das Licht im Inneren der Tropfen eine zweite Reflexion erfährt. In diesem Fall ist die Reihenfolge der Farben umgekehrt zu der im Hauptregenbogen.



**Kater Carmelo:** Ja, das habe ich schon mal gesehen!

Außer dem Hauptregenbogen bildet sich ein weiterer Regenbogen über diesem. Dieser Bogen wird als sekundärer Regenbogen bezeichnet.



## Erstaunliche Details über den Regenbogen

**Kater Carmelo:** Und kann man durch einen Regenbogen hindurchgehen?

**Hamster Isaac:** Nein, wenn du an einem Ort stehst, siehst du den Regenbogen, der durch alle Wassertropfen erzeugt wird, die sich in einem Winkel von  $42^\circ$  zwischen der Lichteinfallrichtung und der Beobachtungsrichtung befinden. Wenn du dich auf den Regenbogen zubewegst, sind es andere Wassertropfen als die Vorherigen, die dem obigen Winkel entsprechen. Wenn man sich also bewegt, bewegt sich auch der Regenbogen, obwohl es scheint, als ob er am selben Ort bleibt. Natürlich geschieht dies nur solange es Regentropfen gibt, die das Licht zurück in unsere Augen reflektieren können.

**Kater Carmelo:** Ich sehe, dass im Hauptregenbogen Rot über Violett erscheint, aber nachdem, was mit dem Licht in einem einzigen Wassertropfen passiert, sollte es umgekehrt sein.

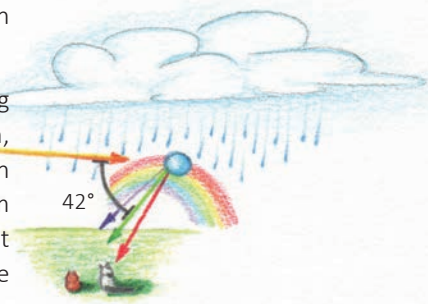
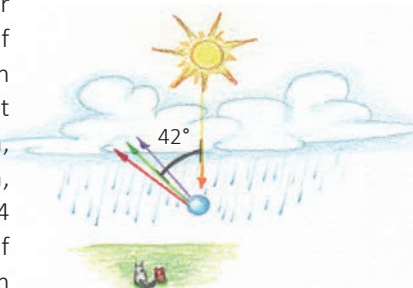




**Hamster Isaac:** Sehr gute Beobachtung. Der Winkel von  $42^\circ$ , in dem sich der Lichtbogen bezüglich der Lichteinfallsrichtung auf die Tropfen befindet, ist eigentlich ein Mittelwehrt. Für die rote Komponente ist der genaue Winkel  $43^\circ$  und für die violette Komponente  $41^\circ$ . Dies führt dazu,

dass die Winkelbreite des Regenbogens  $43^\circ - 41^\circ = 2^\circ$  beträgt. Während die rote Komponente, die von einem bestimmten Tropfen gestreut wird, die Augen eines Betrachters erreicht, schafft die violette Komponente es nicht. Die violette Komponente eines Tropfens jedoch, die sich  $2^\circ$  unter der vorherigen befindet, erreicht sie sehr wohl. Auf diese Weise kommt die Farbe Rot von den Tropfen am äußeren Rand des Regenbogens und Violett von den Tropfen am inneren Rand. Die Tropfen, die zur Entstehung des Regenbogens beitragen, haben ungefähr einen Durchmesser von 0,25 bis 4 mm. Die Form der größeren Tropfen neigt dazu auf ihrem Weg zum Boden abzuflachen. Die Tropfen sind also nicht länglich, wie man denken könnte. Im Gegensatz dazu ist die Form der kleineren Tropfen kugelförmig.

Der  $42^\circ$  Winkel zwischen der Lichteinfallsrichtung und der Beobachtungsrichtung beeinflusst auch, zu welcher Tageszeit man einen Regenbogen beobachten kann. Wenn die Sonne ganz hoch am Himmel steht, z.B. zur Mittagszeit, erreicht das Licht des Regenbogens den Beobachter normalerweise nicht. Daher ist es zu dieser Tageszeit sehr selten, vom Boden der Erde aus einen Regenbogen zu sehen. Morgens oder Abends allerdings, wenn die Sonne fast am Horizont steht, kann man einen Regenbogen in seiner ganzen Pracht sehen.



Diese Abbildungen stellen einen Wassertropfen und die chromatische Dispersion dar, die er in einem Lichtstrahl zu verschiedenen Tageszeiten verursacht: zur Mittagszeit (obere Abb.) und zur Zeit des Sonnenunter- oder des Sonnenaufgangs (untere Abb.).

# Die Welt der Farben

**Hamster Isaac:** Carmelo, zum Schluss werde ich dir beschreiben, wie wir die Farben der verschiedenen Objekte, die uns umgeben, wahrnehmen. Die meisten Objekte können wir sehen, weil sie beleuchtet sind. Es gibt aber auch Objekte, die ihr eigenes Licht haben, z.B. die Sonne, eine Lampe oder ein Glühwürmchen.

Man kann sich ein Objekt so vorstellen, als würde es aus vielen Punkten bestehen und jeder Punkt beleuchtet wird. Einen Teil des Lichts nimmt es auf und einen Teil reflektiert es in alle Richtungen. Wenn einige Strahlen dieses gestreuten Lichts die Augen eines Betrachters erreichen, dann kann dieser das Objekt sehen. Wenn das Objekt das Licht ganz absorbiert, dann erreicht es den Betrachter nicht und deswegen wird es als Schwarz wahrgenommen.

Somit ist Schwarz die Abwesenheit von Licht und im eigentlichen Sinne keine Farbe. Auch wenn es irgendwo Licht gibt, aber kein Objekt, das es für unsere Augen reflektiert, sieht alles schwarz aus. Dies erklärt, warum die Farbe des Himmels bei Nacht schwarz ist, mit Ausnahme der Sterne und Planeten.



Die Sterne haben ihr eigenes Licht, weil sie unserer Sonne ähneln, aber die Planeten und der Mond haben kein eigenes Licht, trotzdem leuchten sie. Warum?

**Kater Carmelo:** Weil sie das Sonnenlicht reflektieren!

**Hamster Isaac:** Sehr gut! Außerdem: Wenn Objekte nicht alles Licht absorbieren, dann nehmen wir die Farbe wahr, die sie reflektieren. Im Falle einer roten Münze, wird diese Farbe wahrgenommen, da sie mit Ausnahme des roten Anteils, alles weiße Licht absorbiert. Wenn ein Objekt, das mit weißem Licht beleuchtet wird, als gelb wahrgenommen wird, geschieht dies in ähnlicher Weise, weil es Blau absorbiert, d.h., es reflektiert hauptsächlich Grün und Rot. Wenn also ein gelbes Objekt mit blauem Licht beleuchtet wird, erscheint das Objekt schwarz, weil das Licht, das es erreicht, vollständig absorbiert wird.

Es ist bekannt, dass durch die Kombination von nur drei Farben, den sogenannten Primärfarben, alle anderen Farben gemischt werden können. Ein Satz von Primärfarben ist Rot, Grün und Blau. Wenn wir zum Beispiel gleiche Teile von Rot und Grün kombinieren, erhalten wir Gelb und wenn wir gleiche Teile von Grün und Blau kombinieren, erhalten wir Himmelblau. Die Kombination der drei Grundfarben zu gleichen Teilen ergibt Weiß. Ein weiterer Satz von Primärfarben besteht aus Himmelblau, Magenta und Gelb. Wenn diese Farben zu gleichen Teilen kombiniert werden, erzeugen sie die Farbe Schwarz. In der Malerei ist es üblich, Rot, Blau und Gelb als Grundfarben zu verwenden.

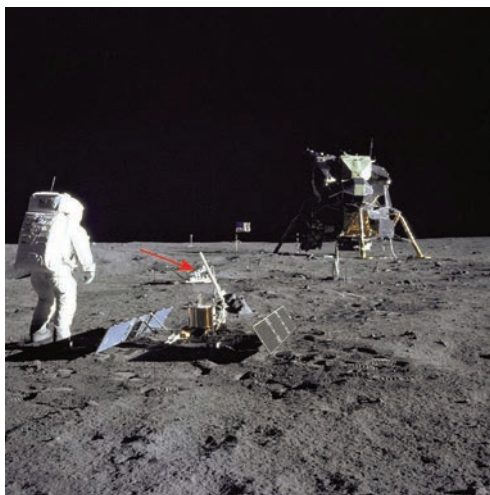


Interessanterweise ist Rot die Farbe, die in den Nationalflaggen am häufigsten verwendet wird. Rot ist eine der Farben, die die meiste Aufmerksamkeit auf sich zieht, da sie normalerweise mit der Farbe von Feuer und Blut in Verbindung gebracht wird.

**Kater Carmelo:** Ist das der Grund, weshalb Rot als Signalfarbe an Ampeln verwendet wird?

**Hamster Isaac:** Genau. Andererseits können andere Farben in der Natur, z.B. das Blau des Himmels oder das Weiß der Wolken, nicht nur mit dem Phänomen der Absorption erklärt werden. Neben Reflexion, Absorption und Brechung gibt es noch ein weiteres Phänomen, die Streuung. Hier kommen Dinge in Betracht, die ihrerseits aus sehr kleinen Teilen bestehen, die das Licht absorbieren und in fast alle Richtungen streuen. Diese kleinen Teile können z. B. die verschiedenen Moleküle sein, aus der die Luft besteht, die Wassertropfen, die die Wolken hervorbringen, Materialkörner, die eine Kreide bilden, Eiskristalle, aus denen der Schnee besteht, die Partikel, aus denen sich die Milch zusammensetzt, usw.

Wenn es nicht die Atmosphäre mit all ihren Teilchen gäbe, wäre der Himmel am helllichten Tage schwarz (außer dem Licht der Sterne und Planeten), denn es gäbe nichts, was das Licht der Sonne in unsere Augen lenken könnte. Dies wurde mit den ersten Aufnahmen vom Mond 1969 bestätigt, wo der Himmel auf dem Mond bei hellem Tageslicht als schwarzer Hintergrund erscheint. Das liegt daran, dass die Atmosphäre des Mondes sehr dünn ist und fast kein lichtstreuendes Material enthält.



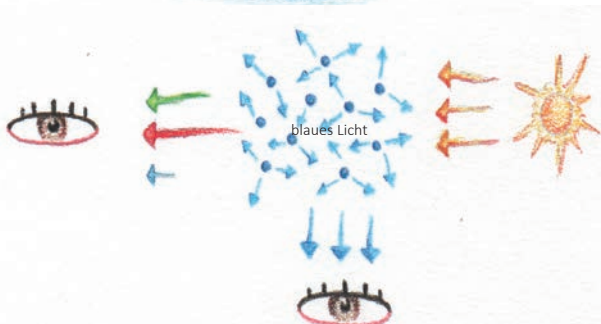
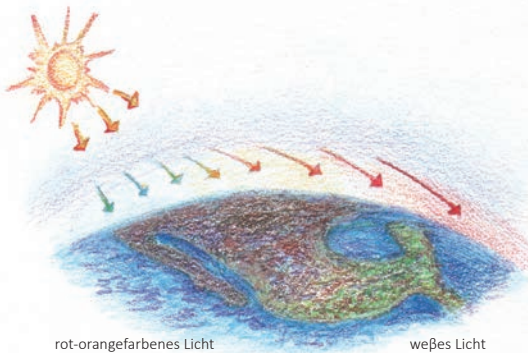
Dieses Foto wurde am 20. Juli 1969 vom ersten Menschen, der den Mond betrat, dem Astronauten Neil A. Armstrong, aufgenommen. Darauf erscheinen im Vordergrund Edwin E. Aldrin und ein seismisches Experimentiermodul, im Hintergrund die Mondlandefähre Eagle (Adler) und in der Mitte, mit einem Pfeil gekennzeichnet, ein retroflektierender Spiegel. Mit letzterem konnte festgestellt werden, dass sich der Mond pro Jahr 3,8 cm von der Erde entfernt. Foto abgedruckt mit freundlicher Genehmigung der NASA, ASI-40-5948, <http://grin.hq.nasa.gov/BROWSE/apollo11.html>.

**Kater Carmelo:** Wie interessant, ein schwarzer Himmel am helllichten Tag!

**Hamster Isaac:** Wenn Partikel kleiner als ein Fünfzigstel der Dicke eines Haars sind, wie z.B. die verschiedenen Moleküle, aus denen die Luft zusammensetzt ist, hängt es von der Farbe mit der sie beleuchtet werden ab, wieviel Licht diese Teilchen streuen. Ein Stickstoffmolekül (von dem die Luft 78% enthält) streut im wesentlichen blaues Licht, während andere Farben in viel geringerem Maße gestreut werden. Das ist einer der Hauptgründe, warum der Himmel in allen Richtungen blau erscheint. Dies erklärt auch das Rot der Sonnenuntergänge, da zu dieser Tageszeit der Blauanteil des Lichts, das in unsere Augen fällt, sehr klein ist.

**Kater Carmelo:** Aber Mittags sieht der Himmel in der Nähe der Sonne nicht rot aus, warum?

**Hamster Isaac:** Das ist eine sehr gute Beobachtung! In diesem Fall ist das Licht nahe der Sonne eher hellgelb. Der wahrgenommene Farbunterschied des Himmels am Mittag und bei Sonnenuntergang hat mit der unterschiedlichen Menge an Blau im Licht zu tun, das den Beobachter erreicht. Wäre die Menge an Blau gleich Null, hätte das Licht einen rötlich-orangen Farbton; hätte es aber eine kleine Menge an Blau kombiniert mit den anderen Farben, wäre das Ergebnis ein gelblicher Farbton. Bei Sonnenuntergang ist die Menge des blauen Lichts, das den Beobachter erreicht, geringer, da das weiße Licht der Sonne zu diesem Zeitpunkt einen weiteren Weg hat und mehr Luft durchqueren muss als zu jeder anderen Tageszeit und die Blaulichtkomponente daher die größte Streuung erleidet und den Beobachter deshalb nicht erreicht.

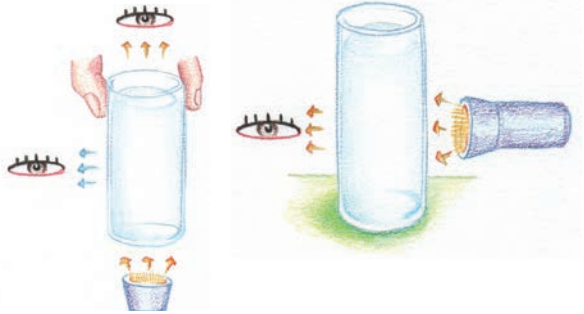


Streuung des weißen Lichts (das gleiche Mengen an Rot, Grün und Blau enthält) durch die verschiedenen Moleküle der Luft (blaue Punkte). Die blauen Pfeile repräsentieren die Ausbreitung von hauptsächlich blauem Licht.

**Kater Carmelo:** Ich komme aus dem Staunen gar nicht mehr heraus!

**Hamster Isaac:** Um dies zu beweisen, laden wir euch ein, das folgende Experiment durchzuführen. Füllt einen durchsichtigen Glasbecher mit Wasser (ca. 350 Milliliter). Dann fügt etwa 20 bis 40 Milchtropfen hinzu (1-2 Milliliter) und rührt die Mischung um. In einem dunkeln Raum bittet einen Freund, das Glas von oben mit einer Taschenlampe zu beleuchten. Wenn ihr das Glas von der Seite beobachtet, könnt ihr sehen, dass das Licht eine blass himmelblaue Farbe hat. Wenn ihr das Glas stattdessen von unten beobachtet, werdet ihr das Licht von der Laterne in einem rötlich-orangen Farbton wahrnehmen. In diesem Experiment haben die Milchpartikel (Protein- und Fett- Moleküle) die gleiche Wirkung auf das weiße Licht der Taschenlampe wie die verschiedenen Moleküle in der Luft auf das weiße Licht der Sonne. Wenn ihr schließlich das Glas von der einen Seite beleuchtet und von der anderen Seite beobachtet: Welche Farbe könnt ihr dann sehen? Also die Antwort ist: Wieder Licht mit einem rötlichem Farbton, aber nicht so rot wie im vorherigen Fall, da das Licht in diesem Fall weniger "Milch in Wasser" durchdringen muss und daher nicht so viel Blau gestreut wird.

Experiment, das die Streuung von weißem Licht aufgrund der Milch-Auflösung im Wasser zeigt. Beobachte, was passiert, wenn du das gestreute Licht mit einer polarisierter Brille aus verschiedenen Richtungen betrachtest. In jeder Stellung drehe die Brille.



**Hamster Isaac:** Wenn nun die Objekte aus kleinen Partikeln bestehen, die etwas größer sind als die oben beschriebenen, dann werden bei der Streuung des Lichts keine Farben mehr bevorzugt und die kleinen Objekte streuen alle Farben gleich stark. Dies hat zur Folge, dass der Betrachter alle Farbkomponenten empfängt und daher das gestreute Licht als weiß wahrnimmt.

Genau das passiert, wenn die Sonne die kleinen Wassertropfen einer Wolke beleuchtet und sie dadurch weiß erscheinen lässt . Aber warum sehen manche Wolken dunkel aus?

**Kater Carmelo:** Sie bekommen nicht soviel Licht.

**Hamster Isaac:** Genau! Manchmal werfen die höheren Teile einer Wolke Schatten auf die unteren Teile und diese erhalten so weniger Licht, das sie reflektieren können. Darüber hinaus, wenn eine Wolke relativ dick ist, dann wird eine Seite schwächer beleuchtet und dies kann auch dazu führen, dass sie dunkler wahrgenommen wird.

**Kater Carmelo:** Ach so!

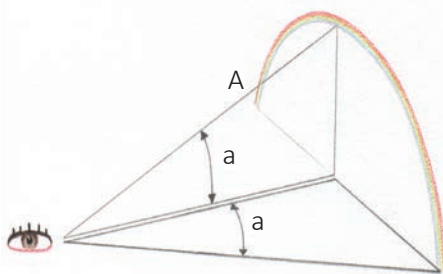
**Hamster Isaac:** Der gleiche Mechanismus, der das Weiß der Wolken verursacht, lässt auch Salz, Schaum, Zucker, Kreide, Schnee usw. weiß erscheinen. Die winzigen Partikel, aus denen sich diese Objekte zusammensetzen, sind jedoch einzeln für das Licht transparent. Das sieht man, wenn man sich ein einzelnes Salzkorn ansieht und dann eine Menge davon. Im ersten Fall wird das Korn als transparent wahrgenommen, aber der Haufen Salz ist weiß. Etwas Ähnliches passiert mit den Seifenblasen: Einzeln sind sie transparent, aber wenn sie sich zu Schaum zusammenfügen, werden als weiß wahrgenommen.

**Kater Carmelo:** Ja, natürlich! Das hatte ich bisher noch nicht bedacht!

## Zusammenfassung

**Hamster Isaac:** Carmelo, jetzt ist es möglich, deine Anfangsfragen in Bezug auf den Regenbogen zu beantworten: a) Woraus ist er gemacht? b) Warum ist er gebogen? c) Warum ist er bunt? Die Antworten sind wie folgt: a) Aus Licht. b) Erstens: In einem Wassertropfen sind die Phänomene der chromatischen Dispersion und Brechung am deutlichsten zu erkennen, wenn ein sehr genauer Winkel zwischen Licht- und Beobachtungsrichtung vorliegt. Zweitens: Alle Tropfen reflektieren aufgrund ihrer kugelförmigen Geometrie, für die der obige Winkel zutrifft, das Licht auf ähnliche Weise. Drittens: Alle diese Tropfen, die sich in einem konstanten Winkel zum Beobachter befinden, erzeugen einen Kegel dessen Spitze sich in den Augen des Betrachters befindet und die Projektion dieses Kegels auf die Regenwand ist ein Rundbogen. c) Aufgrund der chromatischen Dispersion des Lichts, die von den Wassertropfen bei Regen erzeugt wird.

Die Abbildung zeigt, dass die Projektion eines halben Kegels auf eine Fläche die Grundfläche eines Kegels abbildet, d.h. einen Halbkreis. Ein Kegel ist eine geometrische Figur, die man erhält, wenn man eine gerade Linie mit einem konstanten Winkel  $\alpha$  um eine Rotationsachse (gestrichelte Mittellinie) dreht. Dasselbe geschieht in einem Regenbogen, wo  $\alpha = 42^\circ$  und die Richtung des von der Sonne kommenden Lichts der Rotationsachse entspricht.



In dieser Abbildung wird nur die Hälfte des Kegels dargestellt, da dies normalerweise der Situation entspricht, in der ein Regenbogen gebildet wird, d.h., man sieht keine Tropfen unterhalb der Linie des Horizonts, die zusammen mit der anderen Hälfte des Kegels oder des Halbkreises den Kreis vervollständigen könnten.

Wenn wir jedoch den Regen von einem Flugzeug oder von einem Berg aus beobachten, es ist möglich, dass wir den vollständigen Kreis beobachten können. In der Abbildung kann man sehen, dass die Winkelgröße des Regenbogens  $2\alpha = 84^\circ$  ist, d.h., es ist die Gradzahl zwischen zwei diametral gegenüberliegenden Punkten des Regenbogens, beispielsweise zwischen A und B. In dieser Abbildung wird auch deutlich, dass zwei verschiedene Personen aufgrund ihrer unterschiedlichen Standorte unterschiedlichen Kegel erzeugen und daher leicht unterschiedliche Regenbögen sehen.

**Kater Carmelo:** Aha, jetzt ist mir klar, warum das Wort "arco" (Bogen) im spanischen Wort für Regenbogen "arcoíris" vorkommt, aber warum das Wort "iris"?

**Hamster Isaac:** Das Wort "Iris" stammt von der gleichnamigen griechischen Göttin, die als Personifikation des Regenbogens galt. Deshalb heißt Regenbogen auf Spanisch „arcoíris“. Heutzutage wird das Wort "Iris" mit einigen vielfarbigen Dingen in Verbindung gebracht wie z.B. dem Teil unserer Augen, der Regenbogenhaut heißt.

Liebe Freunde, bevor wir uns verabschieden, laden wir, Carmelo und ich, euch ein, alle hier beschriebenen Experimente selber durchzuführen. erinnert euch an die weisen Worte von Konfuzius: "Sage es mir, und ich werde es vergessen. Zeige es mir, und ich werde es vielleicht behalten. Lass es mich tun, und ich werde es können."



Was für eine interessante Unterhaltung hatten unsere zwei Freunde Isaac und Carmelo heute! Mit ihnen konnten wir viel lernen. Hoffentlich laden sie uns zu ihrer nächsten Unterhaltung wieder ein.

## Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei Ing. Luis Adán Martínez Jiménez für die Bildbearbeitung und bei L. C. Tzaidel Vilches Muños für die stilistische Revision dieses Manuskripts bedanken. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei den folgenden Doktoren: Jorge García Márquez, Efraín Mejía Beltrán, Bernardo Mendoza Santoyo, Susana A. Alaniz Álvarez, Ángel F. Nieto Samaniego und Manuel Lozano, die die fachlichen Aspekte dieses Werks überprüft haben.

# Über Isaac Newton (1643 – 1727)

Newton gilt als der wichtigste Wissenschaftler in der Geschichte des Naturwissenschaften. Er wurde am 4. Januar 1643 in Woolsthorpe, Lincolnshire, England geboren. Während seiner Studienzeit zeichnete er sich als Autodidakt aus. Im Jahr 1665 erwarb er einen Abschluss in Kunst an der Universität of Cambridge. Um diesen Abschluss zu erlangen, musste man damals Kenntnisse in verschiedenen Bereichen wie Geschichte, Latein, Mathematik, Religion usw. nachweisen können. Der Zeitraum zwischen 1664 und 1689 war für Newton die produktivste Periode seiner wissenschaftliche Tätigkeit, da er in mehreren Bereichen der Mathematik und Physik relevante Beiträge verfasste, wie z.B. die Beschreibung der Natur des Lichtes, die Entwicklung der Infinitesimalrechnung, die Verallgemeinerung des Binomialsatzes, die Formulierung der Gesetze der klassischen Mechanik sowie des Kühlggesetzes und des Gesetzes der universellen Schwerkraft. 1685 veröffentlichte er das als wichtigstes wissenschaftliches Werk aller Zeiten geltende Buch „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica“ (Die mathematischen Grundlagen der Naturphilosophie). Dieses Buch, sowie die meisten wissenschaftlichen Bücher des XVII. und XVIII. Jahrhunderts, wurde in Latein verfasst. Heutzutage ist Englisch die am weitesten verbreitete Sprache für die Vermittlung wissenschaftlicher Fortschritte auf der ganzen Welt.

Die Anekdote, dass Newton das Gesetz der Schwerkraft entdeckte, als er einen Apfel vom Baum fallen sah, ist weltbekannt. Anscheinend erkannte er hier, dass der Apfel durch eine unsichtbare Kraft der Erde, die als Schwerkraft bezeichnet wird, auf den Boden fällt. Er vermutete, dass diese Art von Einfluss zwischen jedem anderen Paar von Objekten, z.B. der Erde und dem Mond, bestehen würde. Mit dem Gesetz der Schwerkraft war Newton in der Lage, wichtige physikalische Phänomene wie die Bewegung der Planeten und den Ursprung der Gezeiten zu erklären.

Mit Hilfe seiner Beobachtungen zur chromatischen Dispersion des Lichts erkannte Newton, dass die Teleskope seiner Zeit, mit denen entfernte Objekte (z.B. Planeten) beobachtet werden konnten, für jede Farbe unterschiedliche Bilder erzeugten, was dazu führte, dass die endgültigen Bilder der Objekte verschwommen waren. Er bemerkte, dass dieses Problem auf den Einsatz von Glaslinsen in Teleskopen zurückzuführen war. Newton versuchte dieses Problem mit verschiedenen Glaskombination zu lösen, aber aufgrund der geringen Qualität der Gläser seiner Zeit, erreichte er sein Ziel nicht. Trotzdem löste er dieses Problem durch die Verwendung von Spiegeln. Spiegel erzeugen keine chromatische Dispersion, denn das Licht durchdringt kein Material. Heutzutage sind die meisten leistungsstarken Teleskope in der ganzen Welt mit Hilfe von Spiegeln gebaut. Newton baute sein Spiegelteleskop im Jahr 1670.

# Über den Autor

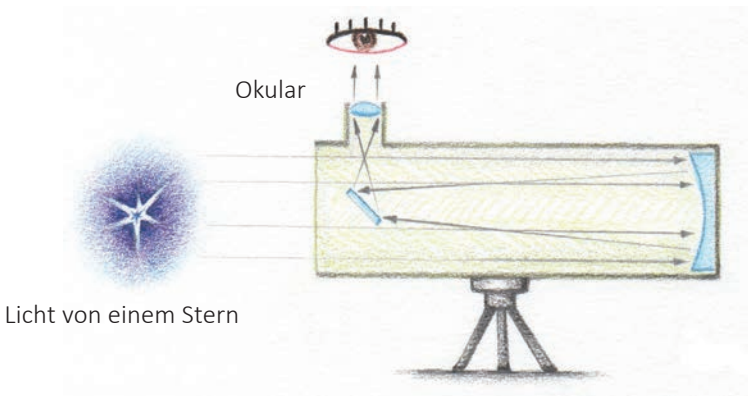
**Bernardino Barrientos García** schloss sein Studium als Elektromechaniker 1993 am Instituto Tecnológico de León ab. Er erwarb seinen Master und seine Promotion in Naturwissenschaften mit Schwerpunkt Optik am Centro de Investigaciones en Óptica A.C. (CIO) in den Jahren 1994 und 1999. Derzeit ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am CIO. Sein Forschungsgebiet ist die Anwendung optischer Techniken in der Mechanik.



# Über den Übersetzer

**Veronika A. Dülmer** hat Germanistik und Katholische Theologie an der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster studiert, sowie das Deutschlehrerdiplom des Goethe-Instituts in Mexiko gemacht. Sie unterrichtet schon seit vielen Jahren Deutsch als Fremdsprache an der Geologischen Fakultät der Universidad Autónoma de Nuevo León und macht Übersetzungen hauptsächlich im Bereich der Geowissenschaften.

**Verónica Peña Caamaño** hat Germanistik an der Facultad de Filosofía y Letras (FFyL) studiert im Fachgebiet Didaktik. Seit mehr als 30 Jahren unterrichtet sie Deutsch als Fremdsprache an der Escuela Nacional Preparatoria (ENP). Ihre Studieninteressen umfassen die Autonomie und der Einsatz von IKT beim Lernen, neuerdings auch das MINT-Lernen. Zur Zeit ist sie die Leiterin der Deutschabteilung in der ENP.

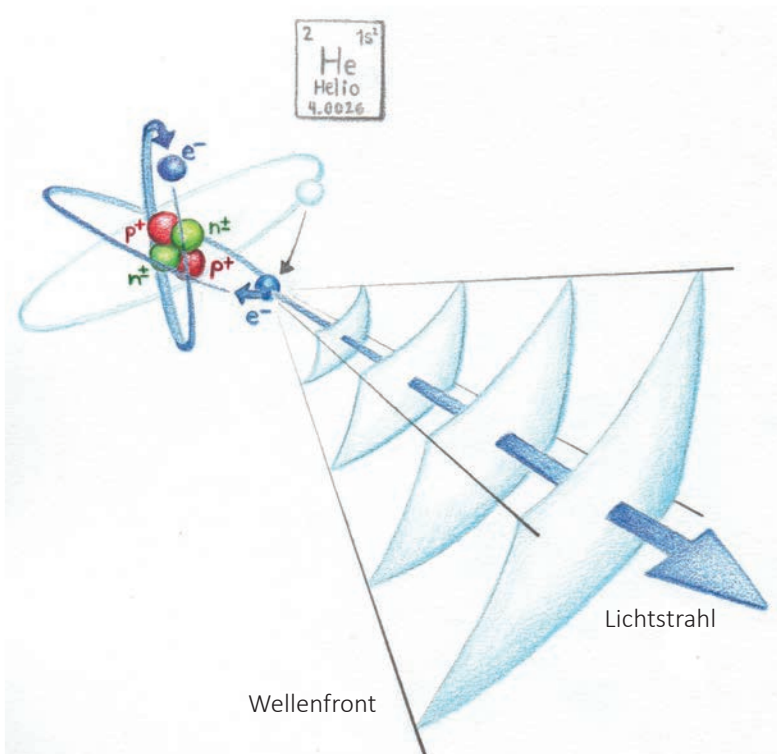


Schematische Darstellung des Lichts, das von einem sehr weit entfernten Objekt ausgeht, beispielsweise von einem Stern. Das Licht fällt auf einen Spiegel auf der Rückseite des Teleskops und wird zu einem kleineren Spiegel reflektiert. Das Licht tritt dann durch eine Reihe von Linsen, die als Okular bezeichnet werden, um schließlich ein Bild des entfernten Objekts im Auge des Betrachters zu erzeugen.

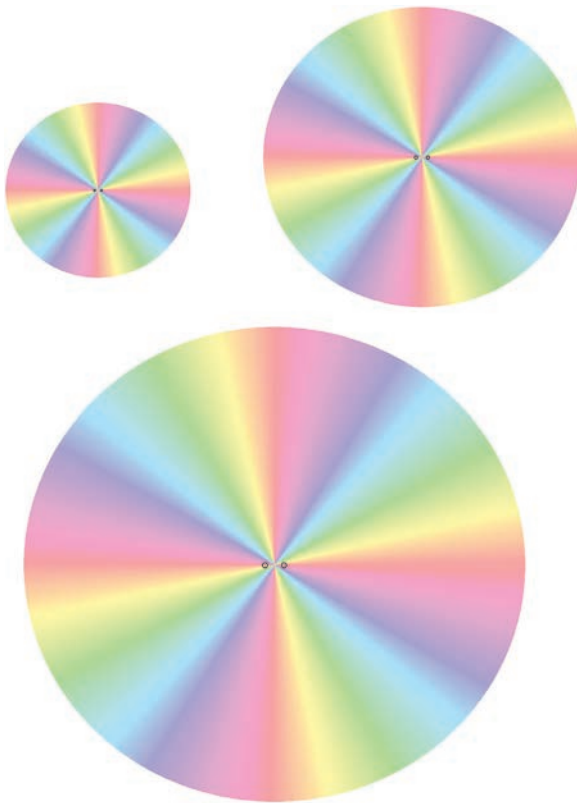
Newton-Teleskop, gebaut im Centro de Investigaciones en Óptica (León, Guanajuato).

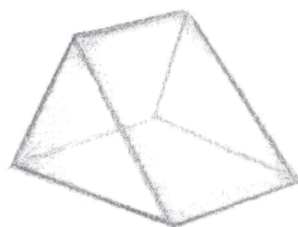


Licht ist eine Art von Energie (Fähigkeit, Veränderung hervorzurufen), die durch Strahlen (Linien) dargestellt werden kann. Lichtstrahlen bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von 300.000 Kilometern pro Sekunde, km/s. (Bei dieser Geschwindigkeit könntet ihr in nur 1 Sekunde 7,5 Runden um die Welt drehen!). Sie verändern ihre Bahn nicht, wenn das Medium, in dem sie sich ausbreiten, unverändert bleibt. Wenn sich jedoch das Medium ändert, wenn beispielsweise ein Strahl von Luft auf Wasser trifft, ändern sich die Ausbreitungsrichtung der Strahlen wie bei den Brechungs- und Reflexionsphänomenen gesehen. Licht kann aber auch als ein Fluss von Energieteilchen, Photonen genannt, beschrieben werden. Überraschenderweise kann Licht auch als Welle dargestellt werden, wobei die Welle nicht nur eine elektrische Komponente, sondern auch eine magnetische hat.



**“Einfache Experimente um eine komplizierte Erde zu verstehen. 2. Das Licht und die Farben”** herausgegeben vom Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Die verwendeten Schriften waren Agency FB und Calibri im Textkörper und Carlisle auf dem Cover. Für die Betreuung der Ausgabe war Janet Sánchez Sánchez zuständig.





Finanzierung des Druckes durch

Coordinación de la Investigación Científica  
de la Universidad Nacional Autónoma de México.

PAPIME PE106919



Sonderausgabe für die Escuela Nacional Preparatoria UNAM

Die Reihe „Einfache Experimente, um eine komplizierte Erde zu verstehen“ basiert auf einer Liste der schönsten physikalischen Experimente aller Zeiten, die von der Zeitschrift „Physics World“ im September 2002 veröffentlicht wurde. Sie wurden wegen ihrer Einfachheit, Eleganz und ihres grossen Einflusses auf das wissenschaftliche Denken ihrer Zeit ausgewählt.

Jedes Heft dieser Reihe widmet sich einem dieser Experimente. Wir möchten erreichen, dass du mit Hilfe dieser Experimente lernst, die Phänomene unseres täglichen Lebens und unseres Planeten besser zu verstehen.

Dieses Heft ist dem Experiment „Die Spektralzerlegung des Lichts“ von Isaac Newton gewidmet.

Bücher dieser Reihe

1. Atmosphärendruck und der Freie Fall der Körper
2. Das Licht und die Farben

Die vollständige Reihe kann auf der folgenden Website heruntergeladen werden:

<http://www.geociencias.unam.mx>

<https://sites.google.com/site/recursos4miradas/8>

