

Farbentstehung - Optik

Patrick Körber, SS 11

Gliederung

1	Newton'scher Versuch: Dispersion von Licht	1
2	Lichtbrechung im Regentropfen: Entstehung eines Regenbogens.....	2
3	Emission von Photonen: Entstehung verschiedener Flammen-Färbungen	2
3.1	Experiment: Flammen-Färbung von Lithium und Natrium	2
3.2	Auswertung und abschließende Berechnung	3

Einstieg: Warum ist es nicht möglich den „Anfang“ eines Regenbogens zu finden? Es gibt den Mythos, dass am Anfang eines Regenbogens ein Goldschatz zu finden ist. Doch wenn man sich erst einmal auf die Suche nach diesem Goldschatz begibt, wird man ziemlich schnell feststellen, dass man nur verlieren kann. Es ist einfach nicht möglich, den „Anfang“ des Regenbogens und damit den Goldschatz zu finden. Doch warum ist das so? Um diese Frage beantworten zu können, muss man sich mit der Entstehung eines Regenbogens und dessen Farben auseinandersetzen.

1 Newton'scher Versuch: Dispersion von Licht

Im Jahre 1671 untersuchte Isaac Newton die Farb-Zerlegung des weißen Lichts. In seinem Grund-Versuch zerlegte er das Sonnenlicht an einem Glas-Prisma in seine Spektral-Farben und konnte so nachweisen, dass Licht eine Zusammensetzung aus einer Anzahl elektromagnetischer Schwingungen verschiedener Wellenlängen sein muss.

Das gesamte Spektrum elektromagnetischer Strahlung erstreckt sich von den kurzwelligen, energiereichen γ -Strahlen bis zu den langwelligen Radiowellen. Allerdings ist nur ein geringer Bruchteil elektromagnetischer Strahlung an der Zusammensetzung des Lichts beteiligt. Der Teil des elektromagnetischen Spektrums, der über das menschliche Auge wahrgenommen werden kann, wird als Licht-Spektrum bezeichnet und reicht von ungefähr 380 bis 780 nm. Angrenzend an das für den Menschen sichtbare Licht-Spektrum befindet sich im elektromagnetischen Spektrum der UV-Bereich bei kürzeren und der IR-Bereich bei längeren Wellenlängen.

Der Newtonsche Versuch konnte also zeigen, dass Tageslicht ein Gemisch aus allen Wellenlängen-Bereichen (Frequenzen) des sichtbaren Spektrums ist. Beim Übergang von weißem Licht in ein optisch dichteres Medium, wie dem Glas-Prisma, kommt es zu einem Geschwindigkeitsverlust. Durch die wellenlängenabhängige Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht (Dispersion) werden die verschieden farbigen Licht-Strahlen unterschiedlich stark gebrochen, wodurch man ein kontinuierliches Farb-Spektrum, ein sogenanntes Spektralband, erhält.

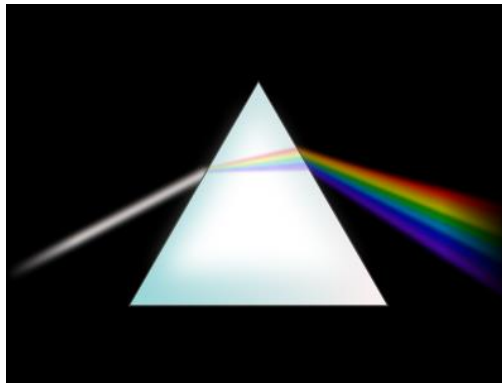


Abb. 1: Lichtbrechung im Prisma [7]

2 Lichtbrechung im Regentropfen: Entstehung eines Regenbogens

Wenn Sonnenlicht in einen Regentropfen tritt, kommt es zu einem Geschwindigkeitsverlust. Bei Eintritt in und Austritt aus dem Tropfen wird ein Teil des Strahls abgelenkt und an der rückwärtigen inneren Oberfläche teilweise reflektiert. Der andere Teil des Strahls wird direkt an der Ein- und Austrittsfläche reflektiert. Gleichzeitig kommt es durch die wellenlängenabhängige Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts (Dispersion) zur wellenlängenabhängigen Brechung des Lichts in die verschiedenen Spektralfarben, wodurch ein Regenbogen entsteht.

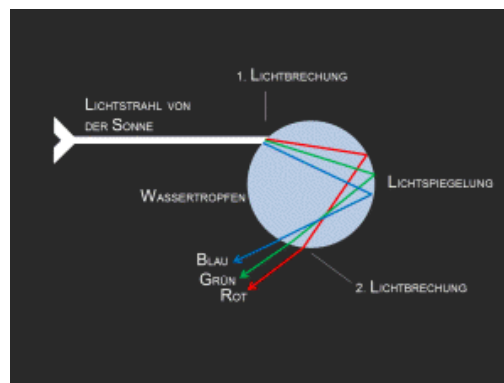


Abb. 2: Lichtbrechung im Regentropfen [5]

Als Beobachter muss man stets die Regenfront vor und die Sonne hinter sich haben und immer im richtigen Winkel zu Sonne und Regen stehen, damit das Sonnenlicht von den Tropfen gebrochen wird. Da sich dieser Winkel aber je nach Standort des Beobachters ändert, wird man vergebens nach dem Goldschatz am „Anfang“ des Regenbogens suchen.

3 Emission von Photonen: Entstehung verschiedener Flammen-Färbungen

Da sich die Suche nach dem Goldschatz mithilfe eines Regenbogens nun als sehr unproduktiv erwies, sollte man sich eine andere Strategie einfallen lassen, wenn man doch noch das große Gold finden möchte.

3.1 Experiment: Flammen-Färbung von Lithium und Natrium

In der physikalischen Chemie gibt es die Möglichkeit einem Stoff Wärmeenergie zuzuführen und dann durch die Energie, die der Stoff daraufhin wieder abgibt, auf den Stoff zu schließen. Also könnte man so lange den verschiedensten Stoffen Wärmeenergie zuführen, bis man einen Stoff als Gold identifiziert hat. Zuvor muss man sich allerdings mit den theoretischen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten auseinandersetzen, um bei

der abschließenden Berechnung alles richtig zu machen. Dies soll anhand eines Experiments verdeutlicht werden:

Material

- 2 Uhrgläser, d= 80 mm
- 2 Magnesia-Stäbchen
- Spatel, b= 4 mm
- Glasstab
- Brenner, Feuerzeug

Chemikalien

- **Lithiumchlorid**
CAS-Nr.: 7447-41-8
 Achtung
H302, H315, H319
P302+P352, P305+P351+P338
- **Natriumchlorid**
Kochsalz
CAS-Nr.: 7647-14-5
- **VE-Wasser**

Durchführung: Auf ein Uhrglas gibt man eine Spatelspitze Lithiumchlorid und auf ein zweites Uhrglas eine Spatelspitze Natriumchlorid. Anschließend wird jeweils etwas VE-Wasser zugegeben. Dann werden die beiden Gemische nacheinander mit jeweils einem ausgeglühten Magnesiastäbchen in die nicht leuchtende Flamme eines Gas-Brenners gebracht.

Beobachtung: Lithiumchlorid färbt die Flamme karminrot, Natriumchlorid intensiv gelb.

Interpretation: Durch die zugeführte Wärme-Energie überführt ein auftreffendes Lichtquant ein Elektron von einem bestimmten Energie-Zustand in einen höher gelegenen Energie-Zustand (Abb. 3). Eine Absorption ist dann möglich, wenn die Energie des Lichtquants der Energie-Differenz zweier möglicher Energie-Zustände des Elektrons entspricht. Bei Zurückfallen des Elektrons in den Grund-Zustand wird die zuvor absorbierte Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung wieder abgegeben (Abb. 4). Je höher die Energie des Elektronen-Sprungs ist, desto kurzwelliger ist die abgegebene Strahlung. Liegt diese im Bereich des sichtbaren Lichts, sieht man den Körper leuchten.

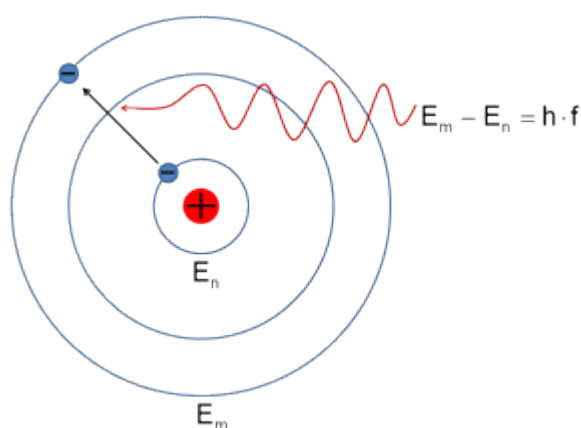


Abb. 3: Absorption eines Photons [9]

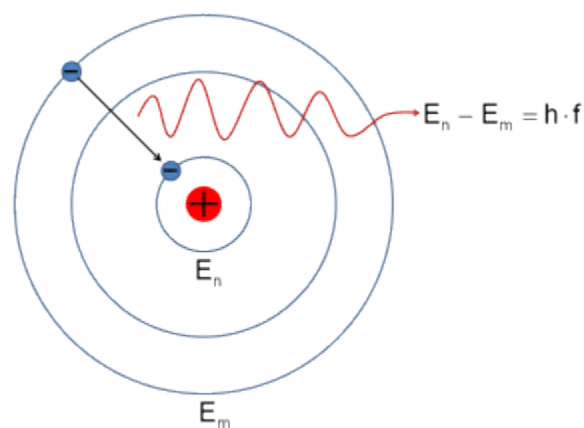


Abb. 4: Emission eines Photons [8]

3.2 Auswertung und abschließende Berechnung

Mithilfe eines Spektroskops kann die Wellenlänge der Lichtquanten bestimmt werden und daraus die Energiedifferenz „ ΔE “ des Quantensprungs berechnet werden. Dabei gelten folgende Zusammenhänge:

$$\Delta E = h \cdot f \quad \text{mit} \quad f = \frac{c}{\lambda} \quad \text{folgt} \quad \Delta E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

f = Frequenz

λ = Wellenlänge

h = planksches Wirkungsquantum ($h= 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js)

c = Licht-Geschwindigkeit ($c= 2,998 \cdot 10^8$ m/s)

Für Lithium und Natrium ist in der Literatur bekannt:

- $\lambda(\text{Li}) = 670,8 \text{ nm}$
- $\lambda(\text{Na}) = 589,0 \text{ nm}$

Damit ergibt sich jeweils eine Energie-Differenz „ ΔE “ von:

$$\Delta E_{\text{Li}} = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot \frac{2,998 \cdot 10^8 \text{ m}}{670,8 \cdot 10^{-9} \text{ ms}} = 2,961 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,848 \text{ eV}$$

$$\Delta E_{\text{Na}} = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot \frac{2,998 \cdot 10^8 \text{ m}}{589,0 \cdot 10^{-9} \text{ ms}} = 3,373 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,105 \text{ eV}$$

Wie lässt sich daraus der Farb-Unterschied zwischen Lithium und Natrium erklären?

Die freigegebene Licht-Energie hängt von der Differenz der Energie-Niveaus (ΔE) ab. Diese Differenz ist für jedes Element unterschiedlich. Die Energie der Photonen bestimmt deren Wellenlänge und damit die Farbe des Stoffes. Wie sich an dem vorliegenden Beispiel zeigt, unterscheiden sich die Energie-Differenzen „ ΔE “ der Quantensprünge von Lithium und Natrium. Damit ergeben sich auch zwei unterschiedliche Flammen-Färbungen. Was sich anhand der Berechnung auch belegen lässt, ist folgender Zusammenhang: Rotes Licht hat eine längere Wellenlänge als gelbes Licht. Demnach muss rotes Licht energieärmer sein als gelbes Licht. Genau dies konnte bei dem Experiment nachgewiesen werden, da $\Delta E(\text{Li}) < \Delta E(\text{Na})$.

Zusammenfassung: Licht wird beim Übergang in ein optisch dichteres Medium aufgrund der wellenlängenabhängigen Ausbreitungsgeschwindigkeit unterschiedlich stark gebrochen, wodurch man ein kontinuierliches Spektrum erhält. So ist auch das Entstehen eines Regenbogens zu erklären. Flammenfärbungen hingegen kommen dadurch zustande, dass einem Atom Energie zugeführt wird, wodurch die Valenzelektronen in einen Zustand höherer Energie überführt werden. Wenn diese wieder in den Grundzustand zurückfallen, wird die zuvor absorbierte Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung wieder abgegeben.

Abschluss: Da man nun über alle Kenntnisse verfügt, die man benötigt, um das große Gold doch noch zu finden, steht der Suche danach nichts mehr im Wege. Und wenn doch noch Probleme mit der abschließenden Berechnung auftauchen, besteht immer noch die Möglichkeit einen Mathematiker um Hilfe zu bitten.

Quellen:

1. Welsch, N.; Liebmann, C.: Farben, Spektrum, München 2004.
2. Speiser, A. P.: Regenbogen, Licht und Schall, Hirzel, Leipzig 2000.
3. Treitz, N.: Farben, Klett, Stuttgart 1985.
4. Hammer, A.: physikalische Formeln und Tabellen, Lindauer, München 2002.
5. http://www.mitp.de/imperia/md/content/vmi/1605/1605_kap01.pdf; (10.04.13)
(Quelle verschollen, 28.09.2020)
6. verändert nach <http://www.st-walburga.de/pinnwand/regenbogen/wassertropfen-einzel.gif> (10.04.13) (Quelle verschollen, 28.09.2020)
7. Prisma: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prism-rainbow-black.svg?use-lang=de>; Urheber: Prism-rainbow.svg: Suidroot; Lizenz: „Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen [3.0 nicht portiert](#)“, „[2.5 generisch](#)“, „[2.0 generisch](#)“ und „[1.0 generisch](#)“; 28.09.2020
8. verändert nach http://www.maphi.de/physik/grafiken/laser_emission.gif; (10.04.13)
9. verändert nach http://www.maphi.de/physik/grafiken/laser_absorption.gif; (10.04.13)