Smartphone-Spektrometer

Unsichtbare Licht-Farben sichtbar machen[1]

Bei dem Wort „Licht“ denken wir an *Helligkeit* und an *Farbe*. Diese beiden Eigenschaften des Lichts sind es, die unsere Augen wahrnehmen können. Licht verbreitet sich in Wellen durch den Raum. Je nachdem, wie hoch diese Wellen sind, desto heller empfinden wir das Licht. Und die Wellenlänge oder *Frequenz* (wie viele Wellen passieren einen Punkt pro Sekunde) ist entscheidend darüber, welche Farbe wir wahrnehmen.

Lichtbrechung im Prisma
Zátonyi Sándor, CC-BY-SA 3.0

Meistens ist Licht einfach nur weiß. Weißes Licht ist aber eigentlich eine Mischung von vielen verschiedenen Farben, deren unterschiedlich lange Wellen sich überlagern. Es gibt einen Trick, die Lichtfarben unterschiedlicher Wellenlängen in weißem Licht sichtbar zu machen: Lässt du weißes Licht auf ein Prisma strahlen, so werden die Lichtstrahlen *gebrochen*: ihre Ausbreitungsrichtung ändert sich. Da Licht unterschiedlicher Frequenz in unterschiedlichen Winkeln gebrochen wird, kannst du nun die Farben sehen.

In diesem Projekt baust du mit Hilfe deines Smartphones ein *Spektrometer*, also ein Messgerät, das Licht in seine Farbanteile (*Spektralfarben*) zerlegen kann.

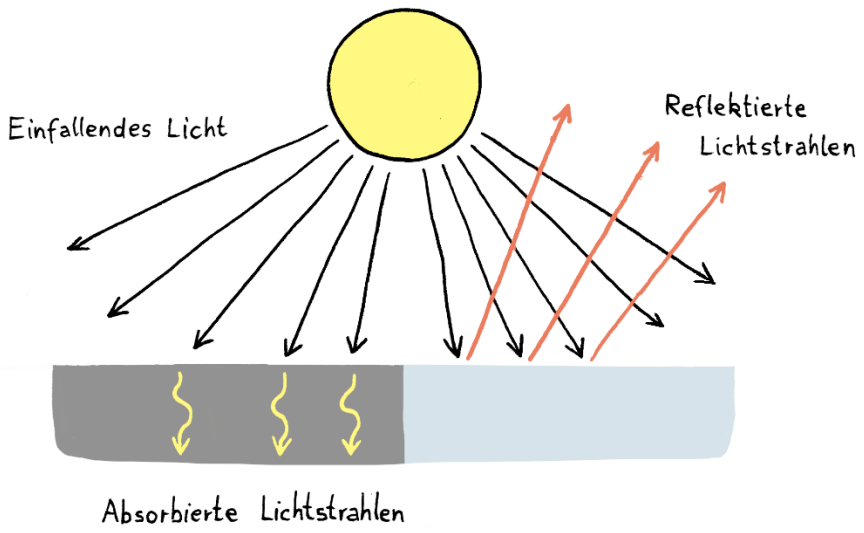
Was sehen wir?

Das für uns sichtbare Licht hat eine bestimmte **Wellenlänge** (zwischen 380 und 780 nm). Es gibt aber auch Strahlen, die wir nicht sehen können. Diese haben dann entweder eine viel kleinere Wellenlänge als sichtbares Licht oder eine größere. Zu den Strahlungsarten mit kleinerer Wellenlänge gehören beispielsweise *Gammastrahlen* (können das Erbgut schädigen), *Röntgenstrahlen* (diese werden von Knochen absorbiert, was man auf Röntgenbildern in weißer Farbe sehen kann) und *ultraviolette Strahlung* (hautschädigend). Zu den Strahlungsarten mit größerer Wellenlänge gehören *Infrarotstrahlung* (Wärme), *Mikrowellen* (regen Molekülbewegungen an) oder *Radiowellen* (Übertragung von Daten, Tönen, Bildern).

[1] Dieses TU-it-yourself-Projekt basiert auf der Arbeit *Handyspektrometer für den Unterrichtseinsatz* (Marina Müller, Zulassungsarbeit an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Augsburg, 2015. https://www.ipp.mpg.de/handyspektrometer)

Wir sehen Licht und Farben aus zwei Gründen:

1. Licht kommt direkt aus einer Lichtquelle (Beispiele sind unsere Sonne, Feuer, Blitze, aber auch technische Leuchtmittel wie Glühlampen, LEDs, Energiesparlampen, Halogenlampen, …).
2. Licht wird von der Oberfläche eines beleuchteten Körpers reflektiert (zurückstrahlen). Wenn wir beleuchtete Objekte farbig sehen, dann nur, weil ihre Oberfläche nur Licht einer ganz bestimmten Wellenlänge reflektiert. Tomaten beispielsweise reflektieren rotes Licht, während sie grünes und blaues Licht absorbieren (aufnehmen). Dunkle Oberflächen absorbieren mehr Lichtfarben als helle.



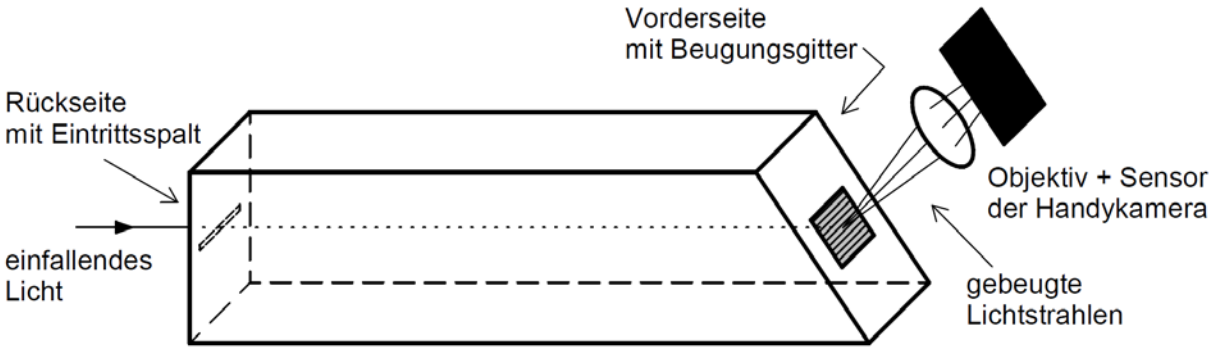
Lichtbrechung

Von uns als weiß wahrgenommenes Licht ist eigentlich Licht, was durch **Mischung aller Farben** des Spektrums entsteht. Wird weißes Licht durch ein Prisma gelenkt, treffen die Lichtstrahlen in einem bestimmten Winkel auf die Oberfläche eines anderen Mediums (Glas, Wasser) auf, und weil kürzere Wellenlängen stärker **gebrochen** werden als längere, kann das Prisma das Licht in ein Farbband aus „Regenbogen"-Farben (Spektralfarben Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett) zerlegen.

Wir können also mit einer geeigneten Oberfläche das eintreffende Licht in seine unterschiedlichen Wellenlängen aufspalten. Mit der Smartphonekamera lässt sich das Ergebnis betrachten, eine bunte Farbpalette mit den Farbanteilen des eintreffenden Lichts.
Für Forscher ist es interessant zu wissen, wieviel von jeder Wellenlänge in Licht aus unterschiedlichen Quellen enthalten ist. Zum Beispiel ist es bei *Lampen in Gewächshäusern* wichtig, dass diese viel rotes und blaues Licht erzeugen, damit die Pflanzen gut wachsen können und wir eine reiche Ernte bekommen. Eine weitere wichtige Forschungsfrage ist der gezielte Einsatz von passenden Lampen zu unterschiedlichen Zwecken, so dass diese möglichst wenig Strom verbrauchen. Oder die Frage, wie sich nach dem Vorbild der Sonne durch Kernfusion Energie erzeugen lässt…

Funktionsprinzip des Smartphone-Spektrometers

In unserem Smartphone-Spektrometer soll das Licht durch ein so genanntes *Beugungsgitter* gebrochen werden. Ein Beugungsgitter ist, wie der Name schon sagt, eine Art Gitterfolie mit sehr eng beieinander liegenden Schlitzen, die Licht hindurchlassen. Fällt weißes Licht auf die Schlitze, so werden seine Farbanteile (Lichtstrahlen unterschiedlicher Wellenlängen) *gebeugt*: Sie strahlen dann beim Austritt aus dem Gitter in leicht verschiedene Richtungen ab. Diese Beugung reicht, dass wir mit der Handykamera die unterschiedlichen Farbanteile als nebeneinander liegende bunte Striche aufnehmen können.
Jetzt müssen wir nur noch dafür sorgen, dass nicht zu viel Licht auf das Beugungsgitter strahlt. Das erreichen wir durch den Bau eines geschlossenen Pappkartons, der auf einer Seite nur durch einen Spalt (*Eintrittsspalt*) Licht einfallen lässt. So trifft auf der anderen Seite des Kartons nur wenig Licht auf das Beugungsgitter, welches dann gebeugt wird und von der Handykamera aufgenommen werden kann.



Bauanleitung

Du brauchst folgende Materialien und Werkzeuge:

Materialien

- Original-Ausschneidebogen
- DIN A4-Bogen aus dunklem Karton (nicht schwarz, 140 - 160 g/m2) zum Aufkopieren
- Beugungsgitterfolie mit 1000 Linien/mm (im Online-Versandhandel erhältlich), zuschneiden auf ca. 20 mm x 25 mm

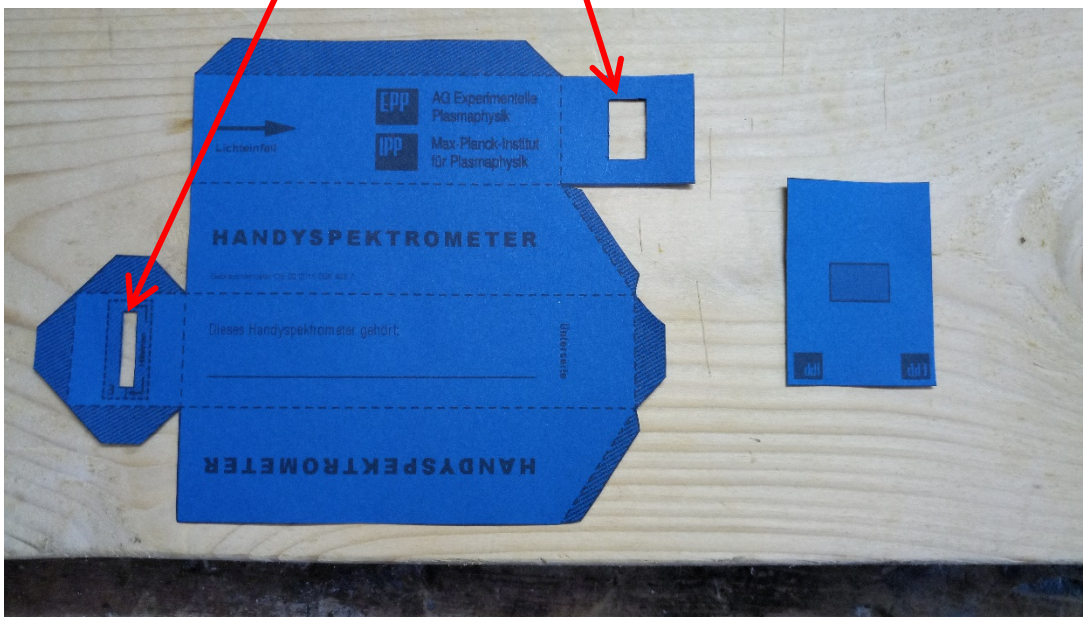
Werkzeuge

- Schere, Cutter-Messer, Stahllineal oder Papierschneidemaschine
- stumpfes Messer oder Falzbein zum Rillen
- Holzbrett als Unterlage
- Alleskleber sowie leicht ablösbares schwarzes Isolierband

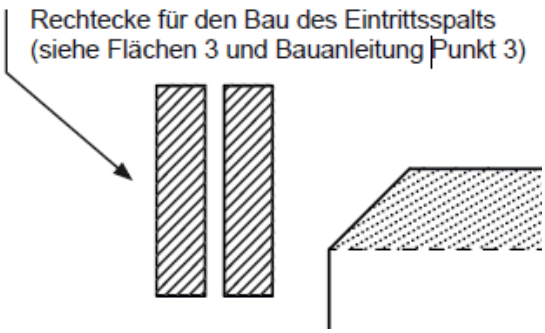
Bauanleitung für das Gehäuse:

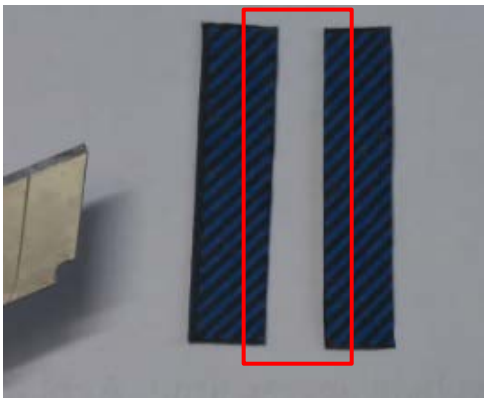
1. **Kopiere den Ausschneidebogen ohne Größenanpassung** auf den A4-Bogen aus Karton.

2. **Schneide das Gehäuse mit der Schere aus.**
Die Aussparungen (für *Eintrittsspalt* und *Beugungsgitter*) können gut mit einem Cutter-Messer und Stahllineal ausgeschnitten werden.
Tipp: Benutze ein Holzbrett oder ähnliches als Unterlage.

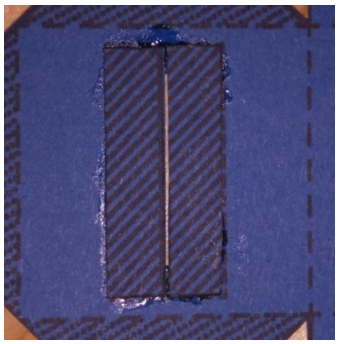


3. **Schneide für den Eintrittsspalt zwei Rechtecke aus** (oben links auf dem Ausschneidebogen).
Die *Längsseiten* (im roten Kasten zu sehen) sollen eine möglichst gerade und saubere Schnittkante besitzen.
Tipp: Cutter-Messer und Stahllineal oder Papierschneidemaschine verwenden).





4. **Klebe die Rechtecke auf die schraffierte Fläche 3 des Gehäuses.**
   Das erste Rechteck muss dabei längsseits an den Hilfslinien anliegen. Das zweite Rechteck wird so auf die andere Seite des schraffierten Bereichs geklebt, dass zwischen beiden ein schmaler **paralleler** Spalt entsteht. Bitte testen, ob ein Stück Papier gerade noch dazwischen passt (0,1 bis 0,3 mm).



5. **Ziehe die gestrichelten Linien auf dem Kartonpapier mit einem stumpfen Messer oder Falzbein nach.**
   Damit erzeugst du eine Knickkante zum Falzen und sorgst dafür, dass sich das Papier an den Kanten, leichter falten lässt.

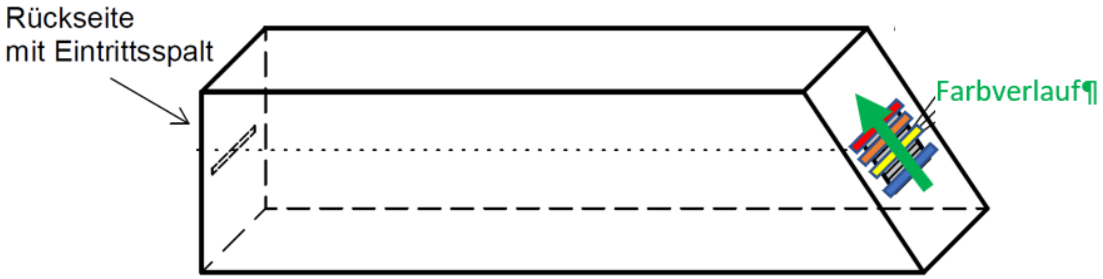
6. **Falte das Gehäuse an der Knickkante.**

7. **Klebe das Gehäuse zusammen**
   Lass dabei die Seite, an der das Gitter angebracht wird, noch offen. Dunkle mit dem Isolierband ab, wenn an Ecken oder Kanten noch Licht eindringt.

8. Klebe das Gitter auf die Innenseite der Aussparung 1.

Vorsicht: Berühre das Gitter nur am Rand und achte darauf, dass der Klebstoff das Gitter nicht verschmiert!

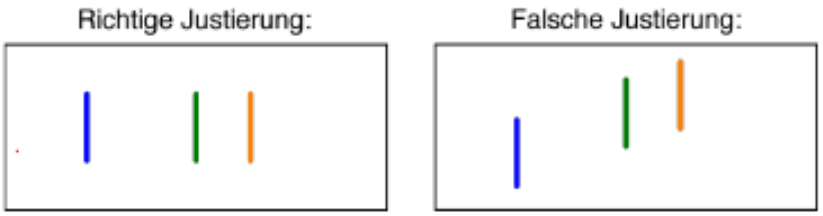
Halte das Gitter gegen das Licht, bis du einen bunten Farbverlauf von blau nach rot darauf siehst. Richte das Gitter nun so aus, dass dieser Farbverlauf des Gitters *senkrecht zum Eintrittsspalt* liegt.



Tipp: Klebe das Gitter erst einmal an einer Ecke fest und prüfe die Ausrichtung.

9. Prüfe dein Spektrometer.

Schließe das Gehäuse, ohne es festzukleben. Setze das Spektrometer an die Augen setzen und richte es auf eine Lichtquelle. Jetzt müsstest du einzelne, verschieden farbige und zueinander parallele Linien sehen, die auf gleicher Höhe liegen. Andernfalls durch Drehen das Gitter nachjustieren.



Wenn du die Spektrallinien auf gleicher Höhe sehen kannst, schließe das Gehäuse und klebe die offene Seite zu.

Bauanleitungen für die Aufsetzeinheit

Die Aufsetzeinheit befestigt das Spektrometer am Smartphone und schirmt Streulicht ab. Es stehen zwei Aufsetzvorrichtungen zur Verfügung, je nachdem, welches Handy du benutzen möchtest. *Achtung*: Schalte dein automatisches Blitzlicht aus!

Aufsetzeinheit 1

Universelle Aufsetzeinheit für Smartphones beliebiger Abmessungen.

1. **Schneide die Aufsetzeinheit 1 und die grau hinterlegte Aussparung aus.**

2. **Klebe die Aufsetzeinheit auf das Handy-spektrometer**.
   Achte darauf, dass das Gitter zu sehen bleibt.

3. **Befestige das Spektrometer am über-stehenden Rand der Aufsetzeinheit.**
   Klebe das Spektrometergehäuse mit einem Stück Isolierband am Smartphone fest. Richte dabei das Gitter so aus, dass es ungefähr mittig und direkt vor der Handykamera liegt und die Spektrallinien parallel zum Bildrand verlaufen.

Aufsetzeinheit 2

Anpassbar für 9 bis 11 mm dicke Smartphones, deren Kameralinse in der oberen Hälfte der Rückseite liegt.

1. **Schneide die Aufsetzeinheit 2 aus**.

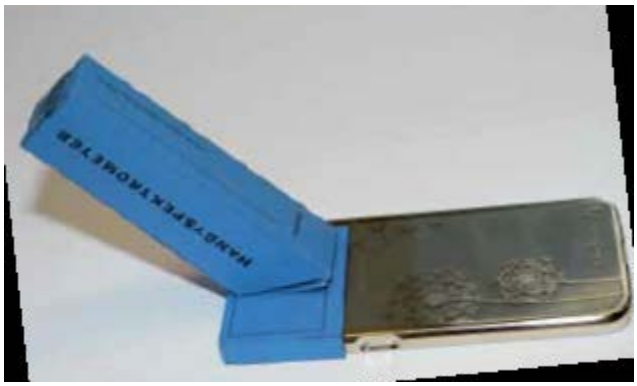
Schneide innerhalb des karierten Bereichs (Justierhilfe) eine Aussparung (mindestens 10 mm x 16 mm) für die Handykamera aus.

2. **Falze und falte die gestrichelten Linien und klebe die Aufsetzeinheit zusammen.**

3. **Befestige das Spektrometer an der Aufsetzeinheit.**

Achte darauf, dass das Gitter frei liegt.

4. **Stecke die Aufsetzeinheit auf das Handy.**
   Achte darauf, dass das Gitter direkt vor der Handykamera liegt.



5. Justiere das Handyspektrometer
Achte darauf, dass die Spektrallinien parallel zum Bildrand verlaufen.

6. Befestige die Aufsetzeinheit zusätzlich mit etwas Isolierband am Smartphone
So vermeidest du Verrutschen und Streulicht-Einfall.

Nun kannst du Lichtspektren von verschiedenen Lichtquellen aufnehmen.

Experiment: Verschiedene Farbspektren aufnehmen

Befestige das Lichtspektrometer mit der passenden Aufsetzeinheit vor der Handykamera, sodass das Gitter vor der Linse sitzt. Richte zum Aufnehmen eines Spektrums den Eintrittsspalt zur Lichtquelle hin aus. Auf dem Display des Handys erscheinen dann verschiedenfarbige parallele Linien, das Beugungsbild des Eintrittsspalts. Dabei entsprechen die verschiedenen Farben den unterschiedlichen spektralen Anteilen bzw. unterschiedlichen Wellenlängen. Je nachdem wie hell die Lichtquelle ist, kannst du den Abstand zwischen dem Spektrometer und der Lichtquelle vergrößern oder verringern, damit das Spektrum nicht über- oder unterbelichtet wird.

Beispiele für aufgenommene Spektren:

Auf dem Bild 1 siehst du Sonnenlicht, welches mit dem Lichtspektrometer eingefangen wurde. Hier kannst du ganz oben auch einen Violett-Anteil erkennen. Das zweite Bild zeigt dagegen weißes LED-Licht, welches von einer LED-Leselampe stammt. Das dritte Bild zeigt das Spektrum einer Glühlampe, was ähnlich zur weißen LED ist.

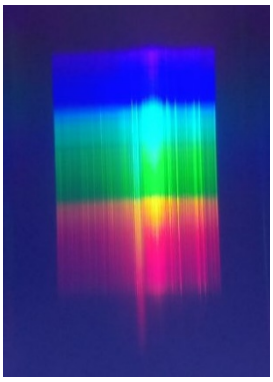


Bild 1: Sonne

Bild 2: weiße LED

Bild 3: Glühlampe

Experimentiere mit verschiedenen Lichtquellen und vergleiche deren Spektralfarben! Kannst du Unterschiede zwischen deinen aufgenommenen Spektren finden?

Quellen

- Marina Müller: *Handyspektrometer für den Unterrichtseinsatz.* Zulassungsarbeit an der Universität Augsburg, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, AG Experimentelle Plasmaphysik, 2015. https://www.ipp.mpg.de/handyspektrometer)

- Reddig-Korn/Weiß: *Die Farben des Lichts oder Das Geheimnis des Regenbogens.* Reihe „Forsche(r) Kids – Durch Experimentieren die Welt verstehen“. In Zusammenarbeit mit Fraunhofer- Gesellschaft *https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/jobs-karriere/forscher-kids/Arbeitsmaterialien-Modul-3-Regenbogen-Licht.pdf*