

Spektralanalyse mit Tracker

Überarbeitete und ergänzte ‚Kursarbeit‘ von Michael Czuray und Tobias Kuehner

Schritt-für Schritt Schüleranleitung:

Aufbau:

Benötigt werden:

- ⤴ Verschiedene LED-Lichter und Glühlampen
- ⤴ Blende mit 2 reflektierenden Punkten
- ⤴ Beugungsgitter
- ⤴ 2 verschiedene Laserpointer
- ⤴ Kamera oder Smartphone
- ⤴ gegebenenfalls Wände um gegen Störlichter abzuschirmen

Gute und preiswerte Durchlicht-Beugungsgitter kann man z.B. bei Astro-Media bestellen (500 oder 1000 Linien/mm) oder auch aus Filterfolien selber basteln (lassen).

[Durchlichtbeugungsgitter](#)

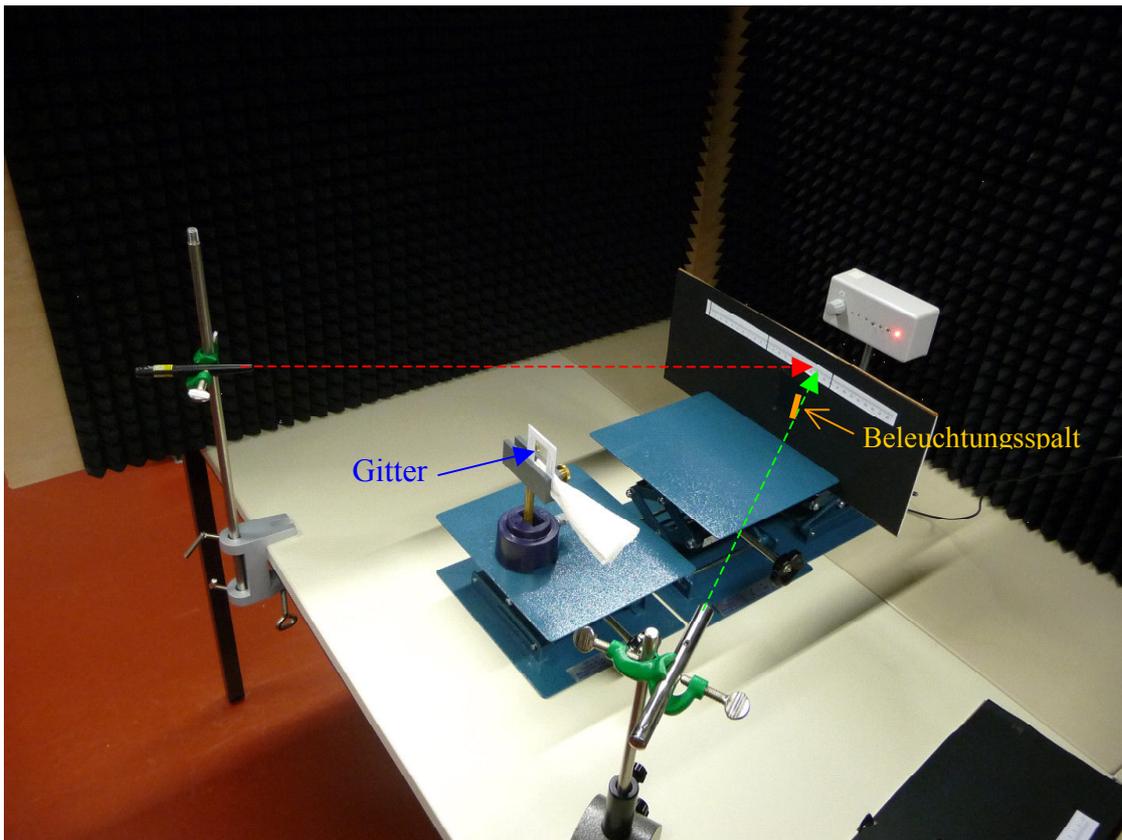


Abb.1: Aufbau

Der Aufbau erfolgt nach dem obigen Bild (Abb.1), wobei die Laserpointer auf den weissen Fleck über dem Spalt zeigen sollen. Die Strahlen der Leuchtpunkte (Kalibrierungspunkte) fallen dann zusammen mit dem Licht der Lampe durch das Beugungsgitter. Der Beugungsspalt hat ca. 1 mm Breite und 2 cm Höhe. Der Abstand des Gitters sollte dann ca. 1.3 m betragen. Platziert das Gitter so, dass ihr das Spektrum 1.Ordnung und die beiden Punkte beobachten könnt.

Fotografiert dies dann mit dem Smartphone oder der Kamera – Zoom benutzen um das Spektrum 1. Ordnung möglichst groß aufs Bild zu bekommen. Die besten Ergebnisse werden erzielt, wenn Gitter und Kamera so gedreht werden, dass sie senkrecht zur Mitte des Beugungsspektrums stehen. Dieses Verfahren folgt der Anleitung von Douglas Brown

http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/AAPT_spectroscopy_poster.pdf

Worauf ist zu achten?

- ⤴ Abgedunkelter Raum und ein abgeschirmter Versuchsaufbau
- ⤴ richtige Höhe von Gitter, Blende und Lampe
- ⤴ Gemäßigte Intensität der Lampe (→ Überbelichtung)

Zur Messung des Sonnenspektrums kann man ein kleines Loch in dem Rollladen nutzen hinter das man das Gitter hält und dann fotografiert.

Auswertung:

Die Auswertung erfolgt mit Tracker anhand dieser Schritte:

1. Importieren des Bildes

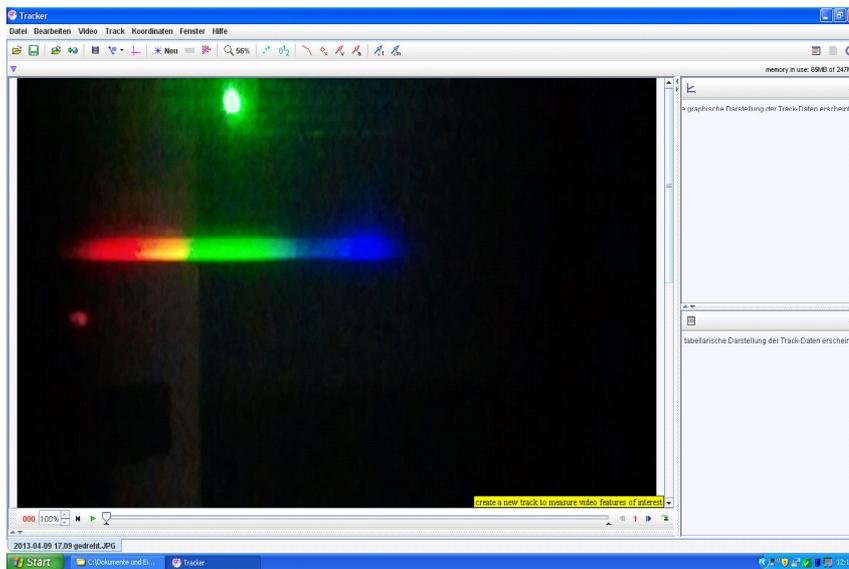


Abb.2: Spektrumsanalyse

2. Zur Eichung der Skala wählt man [Track] → [Neu] → [Measuring Tools] → [Punktepaar zur Kalibrierung], wählt die Einstellung „X-Achse ausschließlich“ und markiert bei geeignetem Zoom und gehaltener Shift-Taste die beiden Punkte des Laserpointers

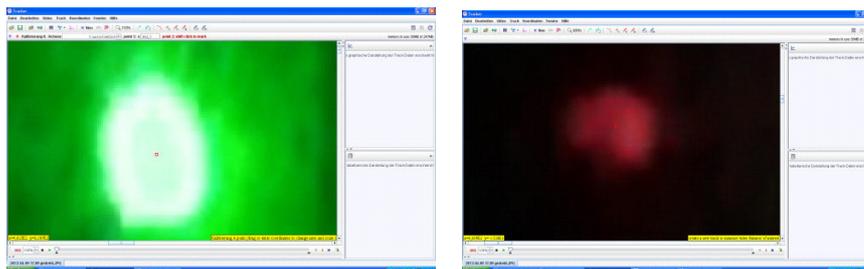


Abb.3: Kalibrationspunkte

3. Danach ordnet man diesen beiden Punkten im Eingabefeld die entsprechende Wellenlänge zu (Angabe auf dem Laserpointer, grün ca.532 nm, rot ca. 630 nm)
4. Zum Auswählen des Messbereichs drückt man nun [Track] -> [Neu] -> [Lineares Profil] und fährt bei gehaltener Shift-Taste das Spektrum ab. Der Messbalken sollte dann über das Feld "Ausweiten" verbreitert werden.

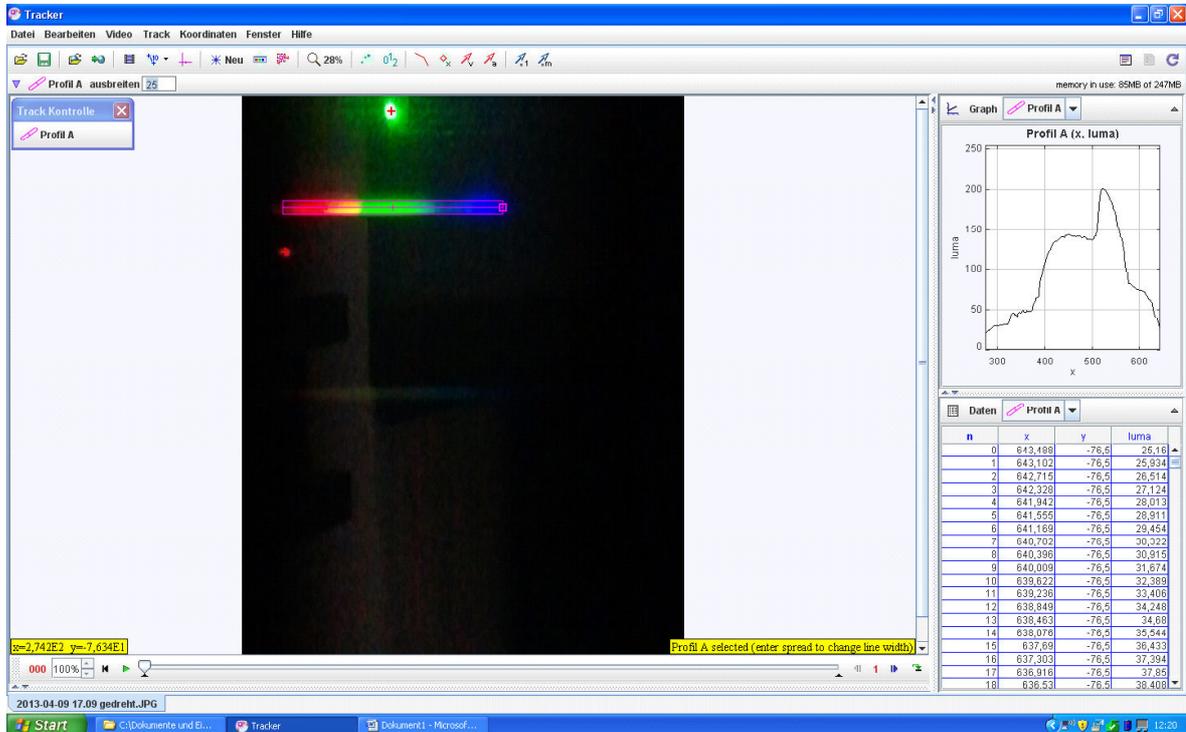
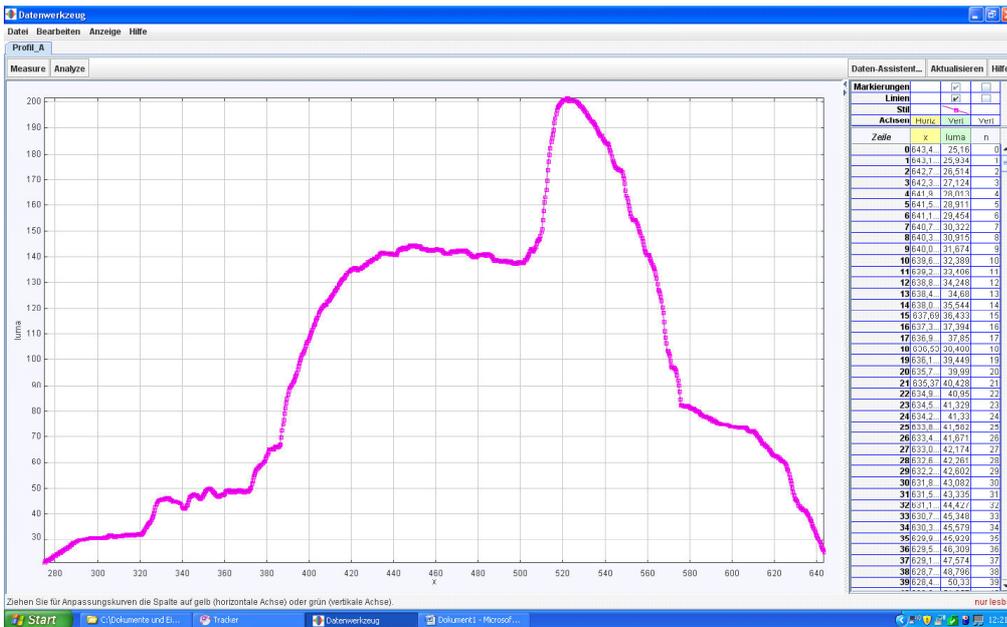


Abb.4: Messergebnisse in Tracker

Rechts oben erscheint nun das Wellenlängenspektrum der Lampe. Durch Doppelklick lässt es sich in einem separaten Fenster öffnen.

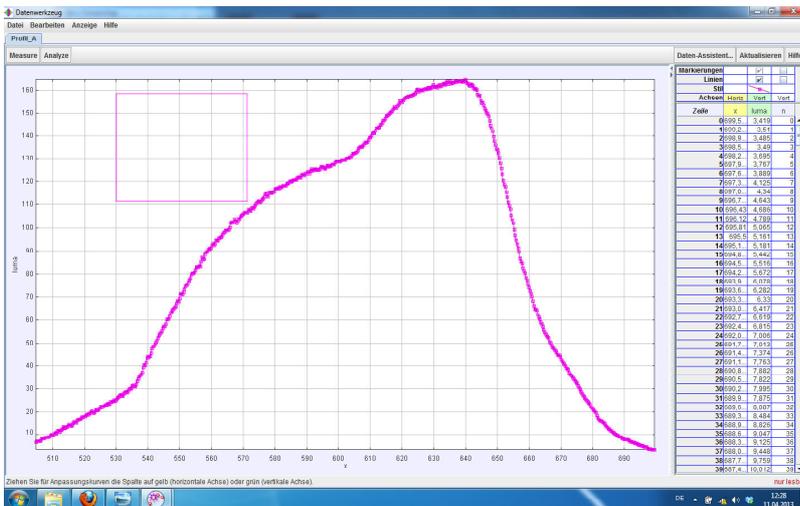
Verschiedene Spektren:

Abb.5: Meßspektrum für Weißes LED-Licht:



Die Farbtemperatur liegt hier bei ca 8300 K, $\lambda_m = 490 \text{ nm}$

Abb. 6: Messspektrum für Rotes LED-Licht:



Hier liegt die Farbtemperatur bei ca. 1100 K ; $\lambda_m = 610 \text{ nm}$

Man erkennt hier ganz deutlich, dass die Spektren nicht dem klassischen eher glatten Verlauf entspricht, wie wir es von der Strahlung des schwarzen Körpers kennen, sondern aus mehreren Anteilen zusammengesetzt sind.

Die Unterschiede zwischen weißem und rotem LED-Licht im Spektrum sind nicht sehr groß und dennoch ist der Farbeindruck und insbesondere die Farbtemperatur eine ganz andere.

ABB.7 Messung einer Quecksilberdampf Lampe

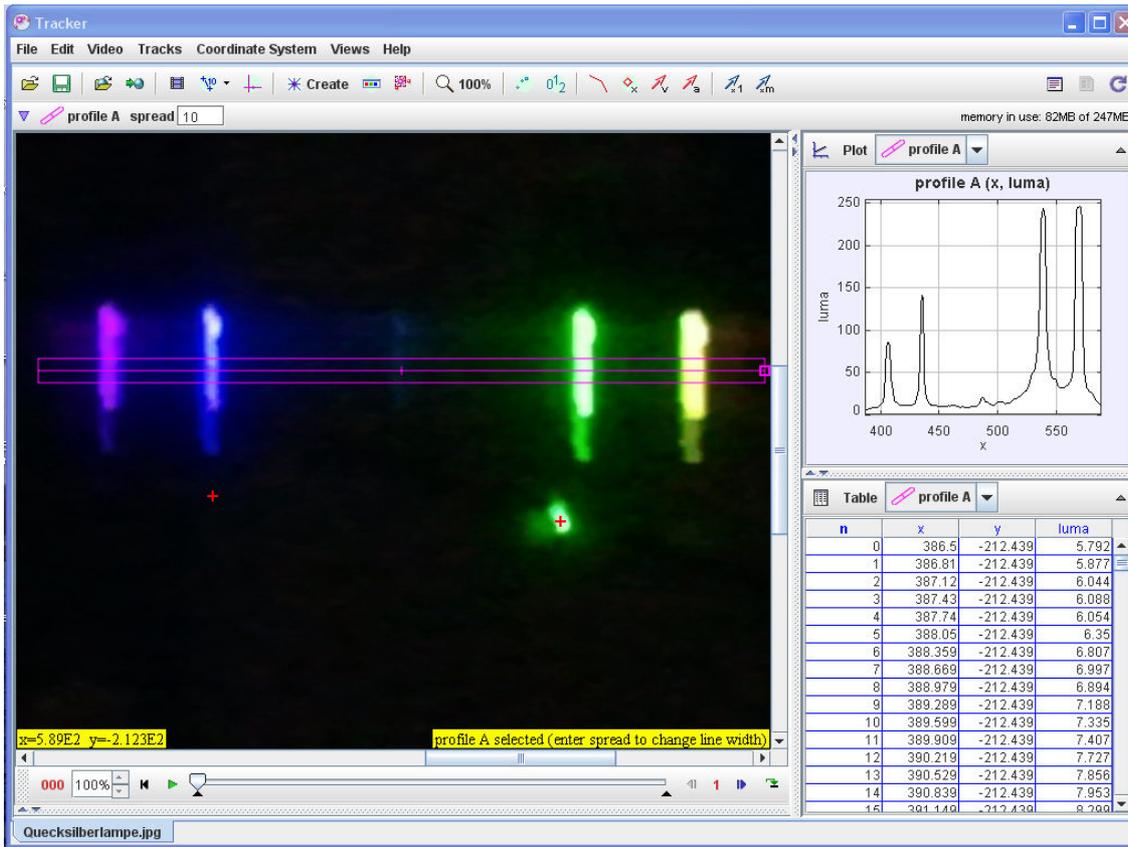
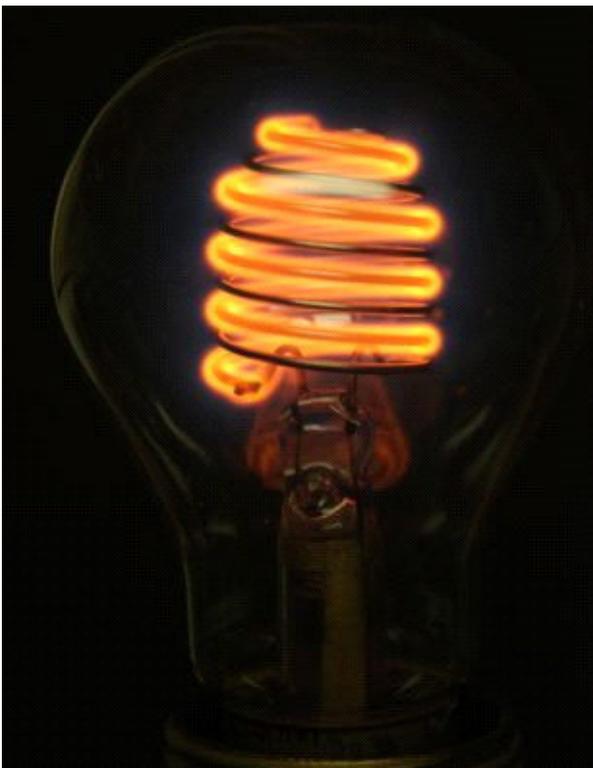
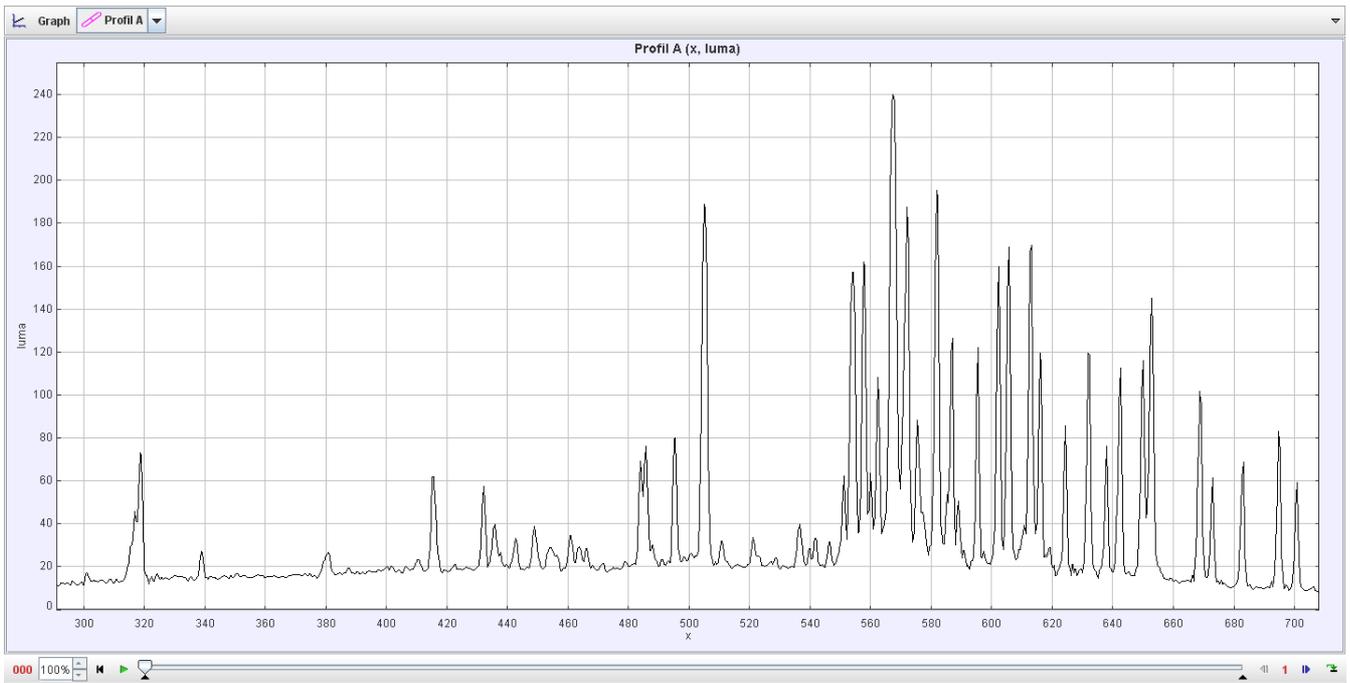


Abb.8 Bienenkorblampe und deren Spektrum





Hier ist zu sehen, dass das Spektrum aus sehr vielen einzelnen Peaks besteht

Wie naturgetreu sind die gemessenen Spektren?

Smartphones und Digitalkameras nutzen CCD-Siliziumchips um Bilder zu registrieren. Diese haben eine Ansprechwahrscheinlichkeit $\epsilon(\lambda)$, die von der Wellenlänge abhängt. Will man daher das physikalisch wahre Spektrum der Intensität $I(\lambda)$ gegen die Wellenlänge bestimmen, dann sollte man $\epsilon(\lambda)$ kennen und das gemessene Spektrum darauf korrigieren: $I_{\text{wahr}}(\lambda) = I(\lambda) / \epsilon(\lambda)$. Ein typischer Verlauf der Ansprechwahrscheinlichkeit einer CCD Kamera ist in Abb. 9 gezeigt. Rotes Licht hat eine weit geringere Ansprechwahrscheinlichkeit als grünes und blaues Licht. Für Kameras ist es allerdings wichtiger „naturgetreue Bilder zu machen, d.h. sie sollten eine Ansprechwahrscheinlichkeit haben, die der des menschlichen Auges entspricht. Diese sogenannte Hellempfindlichkeitskurve ist in Abb. 10 gezeigt: Die rote Kurve zeigt sie für das Farbsehen der Zäpfchen in der Netzhaut (Tagessehen) während die blaue Kurve die Augenempfindlichkeit der Stäbchen zeigt, die für das Nachtsehen verantwortlich sind. Ein Vergleich der Ansprechwahrscheinlichkeiten von CCD-Kamera und Auge zeigt, dass die Kamera in etwa eine Ansprechwahrscheinlichkeit wie die Stäbchen haben. Allerdings sieht die Kamera auch infrarotes Licht bis zu Wellenlängen von ca. 1 μm , während das Auges nur bis etwa 700 nm reicht (dunkelrot).

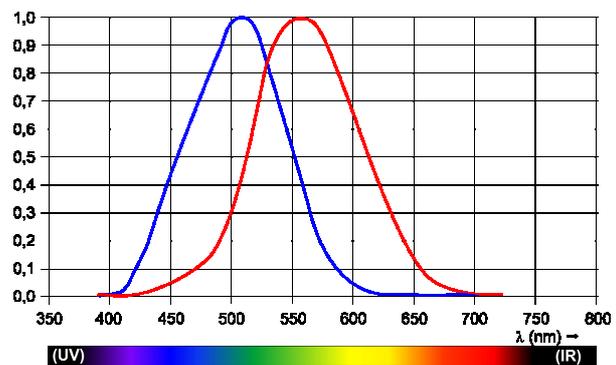
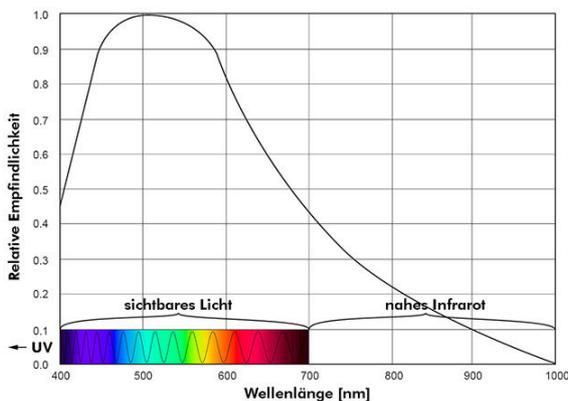


Abb.9: Ansprechwahrscheinlichkeit CCD-Kamera

Abb. 10: Hellempfindlichkeitskurven des Auges
Rot: Tagsehen (farbig), blau: Nachtsehen (grau)

Die CCD Kamera kann genutzt werden, um Wellenlängen z.B. von Infrarotfernbedienungen zu messen oder „Wärmebilder“ im nahen Infrarot aufzunehmen, bei denen die sichtbare Strahlung durch IR-Filter absorbiert wird.

Wellenlänge einer Infrarot-Fernbedienung

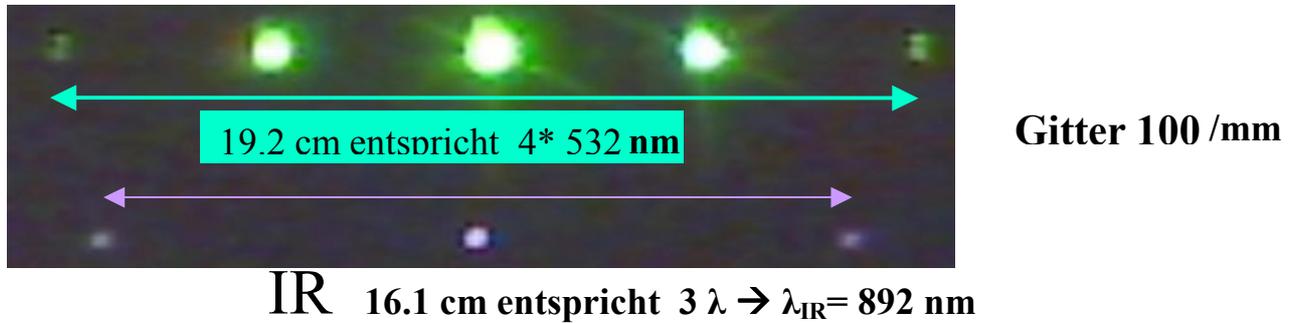


Abb. 11: Bestimmung der Wellenlänge einer IR-Fernbedienung

Mit dem Aufbau in Abb. 1 kann auch sehr einfach die Wellenlänge einer IR-Fernbedienung bestimmt werden. Dazu ist ein Laserpointer bekannter Wellenlänge (z.B. grün 532 nm) und die Fernbedienung notwendig, deren Sender hinter den Beleuchtungsspalt gehalten wird. Da die Strahlungen hier monochromatisch sind, nimmt man am besten die Nullte Ordnung und einige andere symmetrisch dazu auf. Die Abstände der Ordnungen sind umgekehrt proportional zur Wellenlänge. Ein typisches Ergebnis ist in Abb. 11 gezeigt.

Einsatz dieser Versuche in der Schule

Der Versuch eignet sich sowohl für die Mittel- als auch die Oberstufe.

In der Mittelstufe könnte man in dem Aufbau statt eines Beugungsgitters ein Glasprisma verwenden und damit das Spektrum analysieren. Hier ist es wohl empfehlenswerter den Versuch als Demonstrationsversuch zu verwenden, da die Schüler mit dem Begriff Wellenlänge und Spektrum eher wenig anfangen können. Man kann allerdings mit diesem Versuch den Schülern qualitativ zeigen, welchen Farbe mit welchem Anteil in verschiedenen Lichtquellen enthalten ist.

In der Oberstufe kann man diesen Versuch auch als Schülerpraktikum anlegen, da hier schon das nötige Hintergrundwissen und die Funktionsweise des Beugungsgitters hergeleitet wurde. Die Schüler können damit erkennen, dass es einfach ist mit kostenloser Software und einer Kamera oder einem Smartphone ein Spektrum zu analysieren und damit Interesse wecken.

Auch ist es interessant quantitativ das Spektrum verschiedener Lampen zu untersuchen und zu vergleichen, wie z.B einer Hg-Lampe, das Sonnenlicht, LED's und Energiesparlampen.

Farbtemperatur und Farbwiedergabe

Messungen an verschiedenen Lichtquellen können auch gut genutzt werden um die im Alltag wichtigen Begriffe der Farbtemperatur und der Farbwiedergabe zu diskutieren.

Eine wichtige Kenngröße einer Lichtquelle ist ihre Farbtemperatur. Diese ist z.B. auf Lampenpackungen angegeben. Sie ist folgendermaßen definiert: Zuerst wird die mittlere Wellenlänge des Spektrums definiert. Die Farbtemperatur ist dann die Temperatur des schwarzen Strahlers, dessen Spektrum dieselbe mittlere Wellenlänge aufweist. Zur Bestimmung der Farbtemperatur kann die Normfarbtafel benutzt werden, die in Abb. 12 gezeigt ist. Typische Farbtemperaturen von Lampen zeigt Tabelle 1.

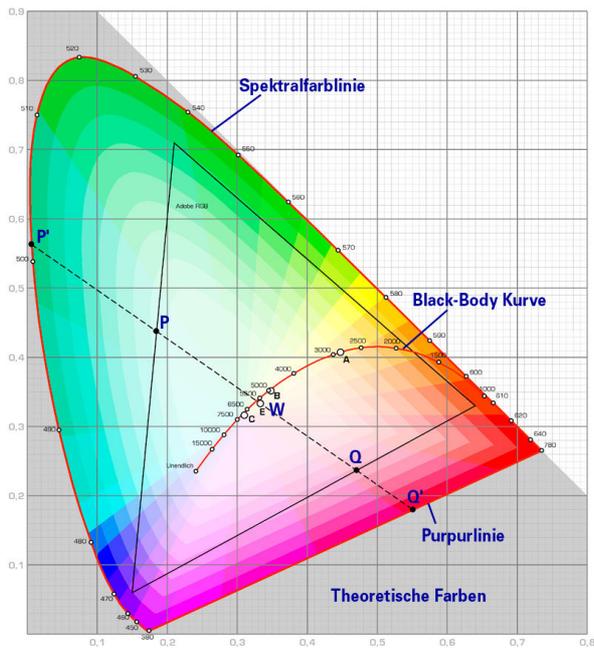


Abb. 12: Normfarbtafel

Wichtig ist es zu zeigen und zu diskutieren, dass die Spektren bei gleicher Farbtemperatur sehr verschieden sein können. Schaut man das Licht von Leuchten derselben Farbtemperatur direkt an, dann haben wir dieselbe Farbpfindung. Allerdings können die Farben von Gegenständen, die mit Lichtquellen derselben Farbtemperatur beleuchtet werden, sehr verschieden aussehen. So können Farben im Extremfall einer Natrium-Dampflampe gar nicht unterschieden werden, z.B. lassen sich farbige Kreiden nicht mehr sortieren. Aber auch LED's und Energiesparlampen liefern kein „natürliches“ Farbbild von Gegenständen, wie sich z.B. mit Hilfe von Farbtafeln zeigen lässt. Dabei heißt „natürlich“ die Farbwiedergabe bei Tageslicht, also im Sonnenspektrum.