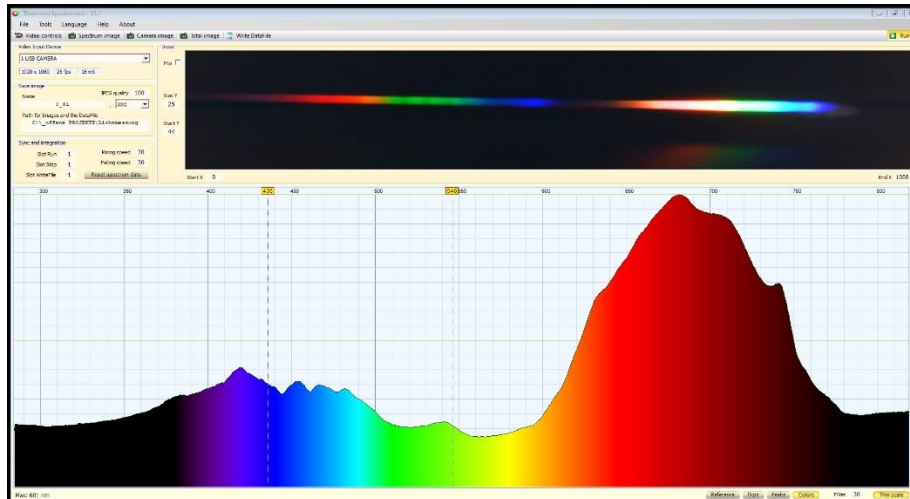


Bericht über Aufbau eines Spektrometers für sichtbares Licht

Wilhelm, DL6DCA, 01.05.2023



Zur Einsparung von elektrischer Energie habe ich vor einigen Wochen alle Leuchtmittel auf LED umgestellt. Bei der Beschaffung der neuen Leuchtmittel bin ich auf einige technischen Angaben gestoßen, die bei den bisherigen Leuchtmitteln auf der Basis von Glühlampen faktisch keine Rolle bei der Wahl waren. Da war nur die Frage der Wattzahl und welcher Sockel. Vielleicht noch ob klare oder matte Ausführung. War das nicht schön einfach?

Bei der Montage begann ich zu sinnieren, wie sehr doch das elektrische Licht mein Leben begleitet hat. In den Jahren meiner Kindheit gab es im normalen Haushalt nur die klassische Deckenlampe in der Mitte des Zimmers. Der zierende Lampenschirm nahm oft eine Menge des Lichts weg. Extrem war es bei meinen Großeltern, bei denen einfach eine Glühbirne mit einfacher Fassung über dem Allzweckstisch in der Wohnküche hing und gefühlt mit 25 Watt der Beleuchtung diene. Die wurde natürlich erst eingeschaltet, wenn es wirklich richtig dunkel war. Im Laufe der Jahre kamen dann, auch bei meinen Eltern, ergänzende Beleuchtungskörper in Form von Wandlampen und dezenter Schrankbeleuchtung hinzu. Im Vergleich zu heute doch alles recht bescheiden.

Wen es interessiert, der findet eine interessante Abhandlung über die Entwicklung der Glühfadenlampe bei Wikipedia [1]. Interessant ist auch zu erfahren, dass in der Großstadt Berlin 1920 noch unter 20% der bürgerlichen Wohnungen mit Strom und damit elektrischem Licht versorgt waren. Das berühmte Cafe Bauer erstrahlte allerdings schon 1884 im vollen Glanze der elektrischen Beleuchtung. Die Stadt Köln schaffte erst nach über 20 Jahren Diskussion die öffentliche Beleuchtung von Straßen und Plätzen an, jedoch noch in Form von Gaslaternen. Ein Grund dieser doch recht späten Entscheidung lag in der Auffassung der Christlichen Kirchen, dass Gott bei der Schaffung der Erde es scheinbar nicht gewollt habe, dass auch die Nacht erhellt wird; ansonsten hätte er es ja direkt so geregelt und für Licht wie in den Tagesstunden gesorgt Es gäbe noch viel zu erzählen, aber wenden wir uns den technischen Dingen zu.

Was mich nun interessierte, ist die spektrale Analyse des Lichtes. Bei der Suche im Internet bin ich dabei auf einen einfachen Messaufbau mit Auswerteprogramm von Theremino gestoßen [2]+[3].

Die Ausbreitung des Lichtes und die Physik der Optik sind ein recht komplexes Thema. Wer da tiefer einsteigen möchte, findet dazu im Internet recht viele Beiträge. Ich will mich hier auf das Wesentliche beschränken und meinen Messaufbau entsprechend der Beschreibung von Theremino [2] kurz darstellen:

Im Wesentlichen besteht der Aufbau aus einer 30 cm langen Holzkiste mit 7 x 7 cm Innenmaß. Die Innenflächen sind mit einer matten schwarzen Farbe besprüht um Reflektionen zu vermeiden. In der einen Kopfseite befindet sich ein ca. 35 mm großes Loch. Hier ist mittels Kunststoffplatte eine Schlitzblende eingebaut. Dazu habe ich zwei Rasierklingen genommen, die mittels kleiner Schrauben so befestigt sind, dass man sie zur Spaltbreitenjustierung noch etwas verschieben kann. Bei mir hat der Schlitz eine Breite von 0,22 mm. Näheres zu Schlitzblenden kann bei [4] nachgesehen werden.



Innenansicht Gesamtgehäuse



Frontansicht Schlitzblende



Schlitzblende Innenseite

Auf der anderen Seite befindet sich eine USB Web-Cam mit 1920 x 1080 Pixel, die ich für 9,99 € bei der Handelskette Action erworben habe. Aus der Optik muss das Infrarot Filter entfernt werden, was mir leider nicht ohne Zerstörung der gesamten Optik gelungen ist. In meinem Fundus fand ich aber noch eine andere Optik, wo sich das Filter sehr leicht entfernen ließ und die auch hinsichtlich der Verschraubung über den Bildsensor passte. Die Kameraplatine mit Optik ist ohne das Kameragehäuse mittels Heißkleber auf einen kleinen Holzwinkel befestigt. Direkt vor der Linse ist ein Beugungsgitter mit 1000 Linien je mm befestigt. Die Kamera steht in einem Winkel von ca. 30 ° zur eigentlichen Lichtachse der Schlitzblende. Das Objektiv ist so eingestellt, dass die Schlitzblende scharf zu erkennen ist. Mit dem Winkel zur Lichtachse sollte man ein wenig experimentieren, bis dass ein optimales Bild in der Auswertesoftware zu sehen ist.



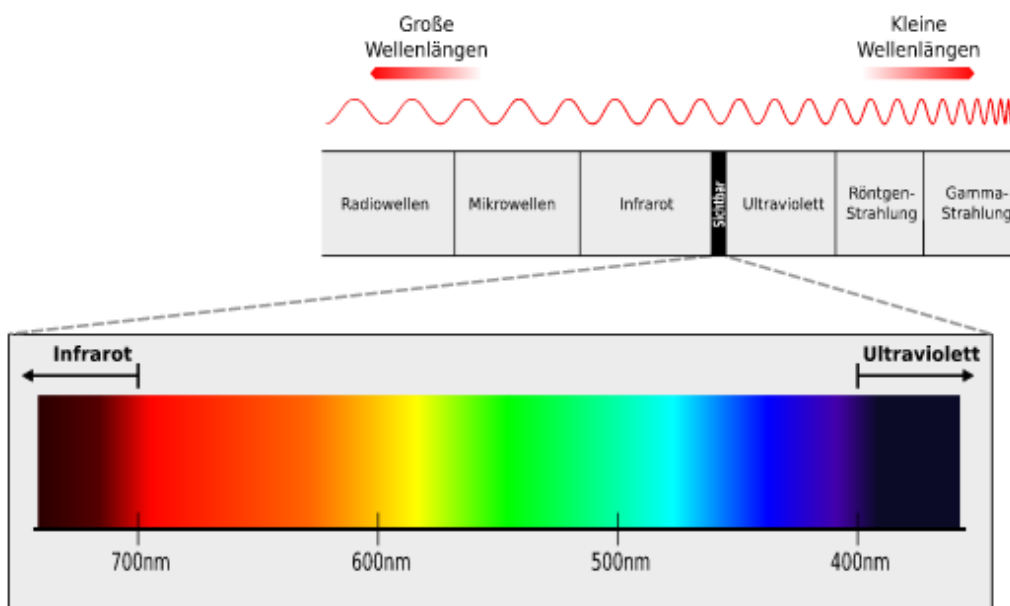
Kamera mit Beugungsgitter

Das zu untersuchende Licht wird durch die Schlitzblende geleitet. Hinter dem Schlitz, der mit 0,22 mm deutlich größer ist als die Wellenlänge des zu betrachtenden Lichtes mit 400 nm bis 800 nm, bildet sich eine gerade Wellenfront aus, die dann auf das Beugungsgitter trifft. Die dort auftreffenden Lichtstrahlen werden in Abhängigkeit ihrer Wellenlänge unterschiedlich stark gebeugt und von der Linse der Webcam quasi als in der Frequenz aufgelöster Streifen erkannt. Die RGB Sensoren der Kamera werten entsprechend die Intensität / Helligkeit Pixel für Pixel aus und bringen sie zur Darstellung auf den Bildschirm. Je hochauflösender die Kamera, also Anzahl der Bildpunkte, umso besser ist auch die Auflösung hinsichtlich der Wellenlänge des Lichts. Gleiches gilt für die Anzahl der Linien im Beugungsgitter. Die Auflösung dürfte bei meinem Messaufbau so um die 2 nm im sichtbaren Lichtbereich liegen.

Der Mensch sieht im Durchschnitt Lichtstrahlung im Bereich von ca. 400 nm bis 800 nm. Es ist wie bei der Akustik, wo ja auch das Hörvermögen der Einzelperson Alters- und Anlagenbedingt vom Durchschnitt abweichen kann. Der für den Menschen sichtbare Teil des Lichtes lässt sich hinsichtlich der Farbe wie folgt darstellen:

Farbe	Wellenlänge (nm)
Violett	≈ 380 - 420
Blau	≈ 420 - 490
Grün	≈ 490 - 575
Gelb	≈ 575 - 585
Orange	≈ 585 - 650
Rot	≈ 650 - 780

Farb Wellenlängen, entnommen [5]



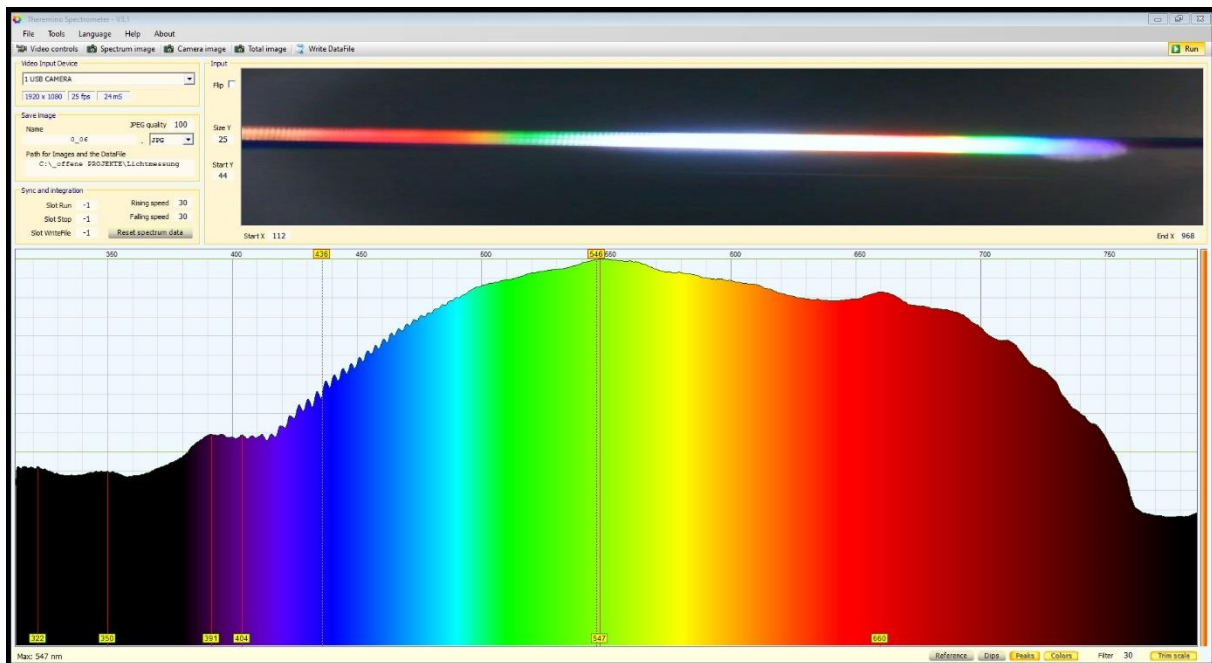
Farb Wellenlängen des sichtbaren Licht, entnommen [6]

Die eigentliche Auswertung erfolgt nun mit dem Programm Theremino. Mit der Installation hatte ich auf meinem Windows 11 Rechner keine Probleme. Zu beachten ist, dass die Amplitude nicht linear ist. Das kommt daher, dass in der Kamera die Einzelsignale der RGB-Sensoren entsprechend der Helligkeit kontinuierlich nachgesteuert werden. Das lässt sich leider nicht softwaremäßig verändern, da diese Regelung in der Fozelle hardwaremäßig verbaut ist. Trotzdem lässt sich die Intensität der einzelnen Spektralanteile gegeneinander sehr gut abschätzen.

Nachdem der Aufbau nun abgeschlossen und verschiedene Leuchtmittel probeweise vor die Schlitzblende gehalten wurden, kam die Frage auf, wie man die Darstellung des Spektrums

kalibrieren kann. Der erste Gedanke war natürlich entsprechende farbliche LEDs einzusetzen. Das Problem ist aber, dass die Wellenlänge je nach Hersteller und Charge deutlich variieren kann und es somit keinen Sinn macht. In einer der zahlreichen Ausarbeitungen von Theremino habe ich dann einen Hinweis gefunden, dass bei Energiesparlampen durch den Einsatz von Quecksilber dessen Spektrallinien bei 436 nm und 546 nm sichtbar sind. Leider hatte ich vor einigen Wochen alle älteren Leuchtmittel entsorgt. Dank Josef, DL4DG, und Jürgen, DG7DAM, habe ich aber noch eine normale Glühlampe und eine Energiesparlampe von ihnen entgegennehmen können; den beiden herzlichen Dank für die Unterstützung.

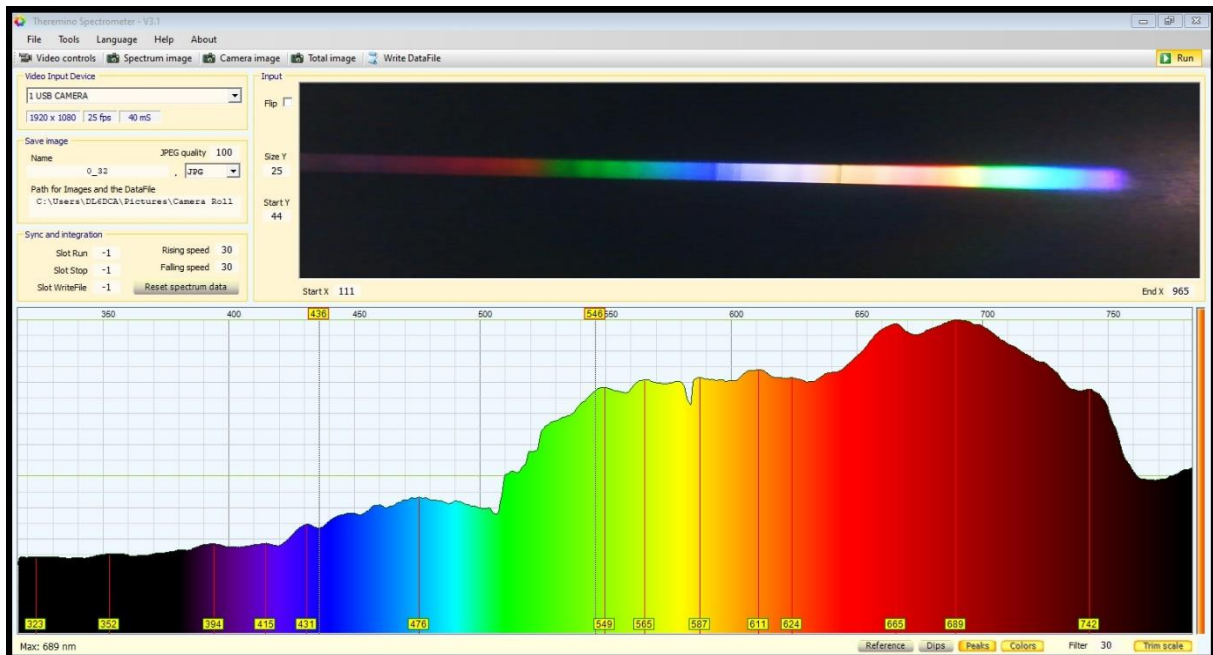
Als erstes einmal eine Messung einer ganz normalen 40 Watt Glühlampe mit E 27 Sockel, also dem weit verbreitetem Standard-Leuchtmittel:



Spektrum 40 W Glühlampe

Man sieht sehr gut den harmonischen Übergang der verschiedenen Spektralanteile von Blau nach Rot. Das Licht kommt dem natürlichen Sonnenlicht recht nahe.

Die folgende Aufnahme stellt das Sonnenlicht an einem nicht ganz klaren Tag da. Da ich keinen Standort habe, wo nur der Himmel zu sehen ist, können kleinere Abweichungen durch Reflexion der Hauswand und Asteile von Bäumen im ausgewerteten Bild nicht ausgeschlossen werden.



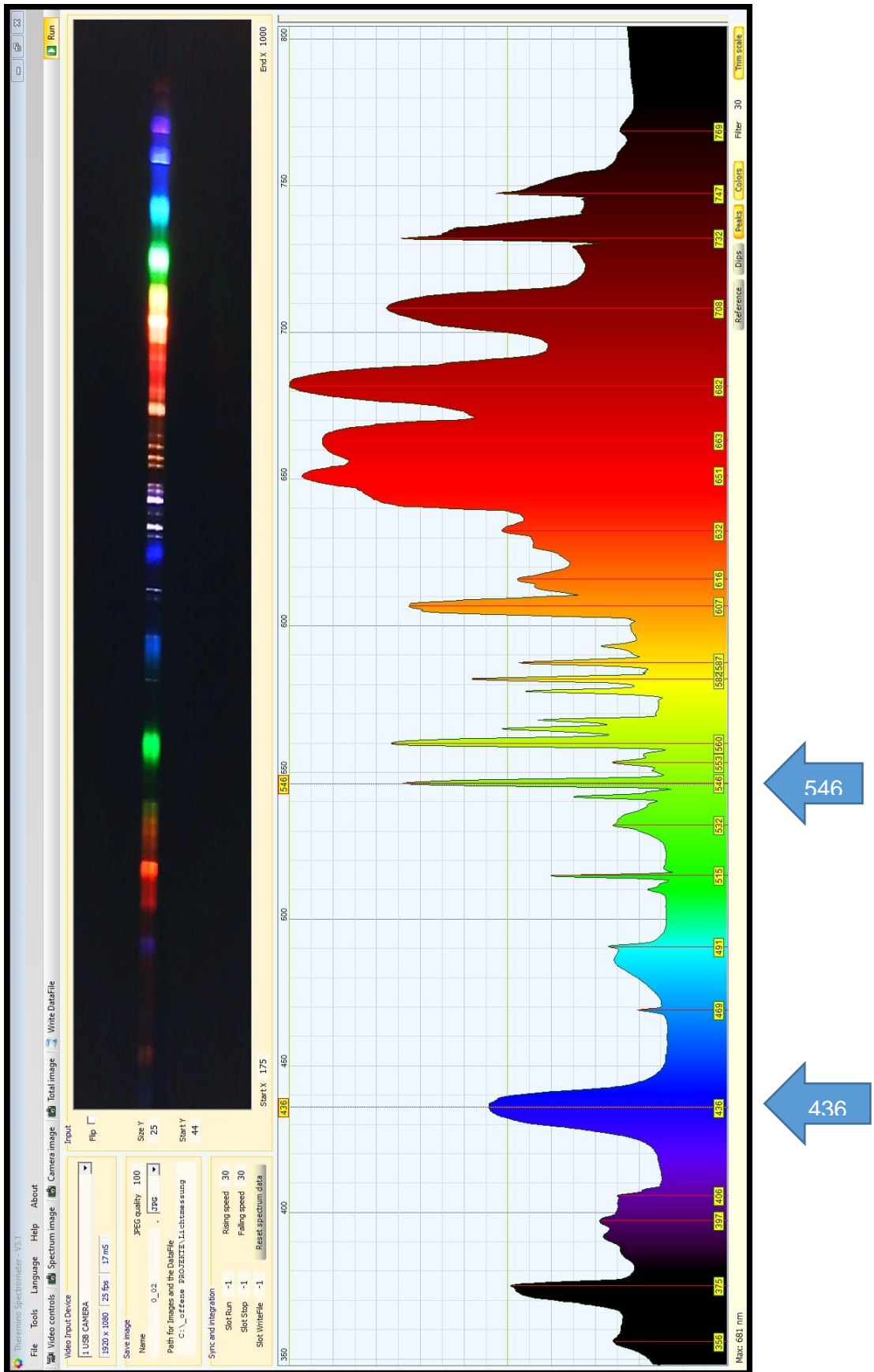
Sonnenlicht, leichte Himmelsbedeckung

Wie man dem folgenden Screenshot entnehmen kann, strahlt die Energiesparlampe kein kontinuierlich übergehendes Spektrum ab. Das rührt daher, dass innerhalb der Röhre ein UV-Licht erzeugt wird, was dann die helle Innenauskleidung der Röhre zum Leuchten bringt. Hat aber den Vorteil, dass man die Spektrallinien des Quecksilbers deutlich erkennen kann und somit die Darstellung des Spektrums auf dem PC damit kalibriert werden kann. Letzteres habe ich auch getan und mit meiner Temperatur Messpistole anschließend kontrolliert. In der Messpistole ist zum Anvisieren eine rote Laser-LED eingebaut, die laut Gehäuseaufdruck bei 630 – 670 nm arbeiten soll. Bei mir werden 632 nm angezeigt und somit kann ich unterstellen, dass die Kalibrierung über das Quecksilber Spektrum erfolgreich war.



Temperatur Mess Pistole





Spektrum einer Energiesparlampe, zur Kalibrierung genommen

Mit diesem Bericht wollte ich lediglich den Aufbau meines Spektrometers darstellen. Es soll und kann nicht mit den kommerziellen Messgeräten mithalten, deren Erwerb bei einem 5 stelligen Eurobetrag liegt.

Wer das Spektrum hinsichtlich der Intensität richtig auswerten möchte, dem sei die Homepage von Stoppi empfohlen [7]. Dort findet man auch noch zahlreiche weitere Hinweise.

Wer es nachbauen möchte, sollte sich die Beiträge von Theremino genau anschauen. Bei der Wahl der WEB-Cam kommt es darauf an, dass sie eine hohe Auflösung hat und man das UV-Filter problemlos wechseln kann. Ich hatte diesbezüglich mit meiner Wahl kein Glück, kann aber auch keine zuverlässige Empfehlung aussprechen. Vielleicht lohnt es sich im Internet bei anderen Bauvorschlägen einmal nachzusehen, z.B. [7] + [8]. Das Beugungsgitter habe ich, 10 Stück für 4,50€, im Internet gefunden [9].

In einem weiteren Bericht werde ich dann über die Untersuchung von verschiedenen Leuchtmitteln berichten. Dabei geht es dann nicht nur um die Optik, sondern auch die elektrischen Eigenschaften einschließlich EMV Untersuchung.

Über Rückfragen, Anmerkungen, Verbesserungsvorschläge würde ich mich freuen. Kontakt bitte per Mail dl6dca@darcd.de oder Ortsfrequenz 144,575MHz.

73 de Wilhelm DL6DCA

[1] <https://de.wikipedia.org/wiki/GI%C3%BChlampe>

[2] https://www.theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino_Spectrometer_Construction_ENG.pdf

[3] <https://www.theremino.com/de/downloads/automation> , hier nach Theremino-Spektrometer suchen, am Ende findet man den Download

[4] https://de.wikipedia.org/wiki/Optischer_Spalt

[5] <https://www.bfs.de/DE/themen/opt/sichtbares-licht/einfuehrung/einfuehrung.html>

[6] <https://www.leifiphysik.de/optik/elektromagnetisches-spektrum/grundwissen/sichtbares-licht>

[7] <https://stoppi-homemade-physics.de/spektroskopie/>

[8] <https://www.youtube.com/watch?v=frn1SYgQ21I>

[9] https://www.amazon.de/Durchlicht-Beugungsgitter-Diarahmen-Transparente-Folie-Linien/dp/B0074R74D8/ref=pd_lpo_1?pd_rd_w=g0wpD&content-id=amzn1.sym.aeef551b-5204-4383-86f6-9d94e2d6944f&pf_rd_p=aeef551b-5204-4383-86f6-9d94e2d6944f&pf_rd_r=ET4YDGNXC8C3B8PXZ522&pd_rd_wg=mnWvq&pd_rd_r=91a30382-c1a7-4281-9fe7-eb6b3f3e1e71&pd_rd_i=B0074R74D8&psc=1