

Astronomische Instrumentations- beispiele am Optischen Tisch

**Spektroskopie von
Lichtquellen und Filtern
V.: (0.0.9)**

E. Schubert, Gruppe 2
(M.Jandl, K. Salzmann, E.Schubert)

Druck: 28. Februar 2024

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	5
Formelzeichen	6
1 Geräte	1-1
1.1 Anmerkung zum Spektrometer	1-1
2 Theorie	2-1
3 Lichtquellen	3-1
3.1 Laserpointer grün	3-1
3.1.1 Auswertung	3-2
3.2 Lichtbogen	3-2
3.2.1 Lichtbogen, Auswertung	3-3
3.3 Glimmlampe	3-4
3.4 Handy-LED	3-5
4 Filter	4-1
4.1 U38 UV-rot	4-1
4.2 Interferenzfilter	4-2
4.3 Interferenzfilter, Verkippung	4-3
4.4 Filtrradfilter	4-3
4.5 weitere Filter	4-4
Literaturverzeichnis	4-4
Stichwortverzeichnis	4-11

Abbildungsverzeichnis

2.1	Beispiel Absorptionsspektrum	2-1
2.2	Grundprinzip eines Prismenspektrometers	2-1
3.1	Spektrum des Laserpointers	3-1
3.2	herausgezoomtes Spektrum des Laserpointers mit FWHM	3-2
3.3	Spektrum des Feuerzeuglichtbogens	3-3
3.4	Detailspektrum des Feuerzeuglichtbogens	3-3
3.5	Detailspektrum des Feuerzeuglichtbogens mit eingeblendeten Spektrallinien der Luftmoleküle	3-4
3.6	Spektrum einer Glimmlampe	3-4
3.7	Spektrum einer Handy-LED	3-5
3.8	Spektrum einer Handy-LED, AUsschnittvergrößerung	3-5
4.1	Sperrfilter U38-UV-rot für sichtbares Licht	4-1
4.2	Interferenzfilter BP547 mit Anstrahlwinkel von 0 Grad	4-2
4.3	Interferenzfilter BP547 mit Anstrahlwinkel von 6 Grad	4-2
4.4	Interferenzfilter BP547 mit Anstrahlwinkel von 18 Grad	4-3
4.5	Interferenzfilter BP547 mit Anstrahlwinkel von 0..24 Grad	4-5
4.6	Änderung des Transmissionsmaximums in Abhängigkeit vom Kippwinkel	4-6
4.7	Filter U38-rot	4-6
4.8	Filter G38-grün	4-7
4.9	Filter B38-blau	4-7
4.10	Filter x38 gegenübergestellt	4-8
4.11	Zweipolfilter - Durchlass	4-8
4.12	Zweipolfilter - Auslösch	4-9
4.13	optische Brille phototrop bei Zimmersituation	4-9
4.14	Sonnenbrille	4-10
4.15	Stadtlichtfilter für Astrobeobachtungen	4-10

Tabellenverzeichnis

3.1 typische Halbleiteremissionsbereiche [nm] 3-6

Zusammenfassung

Mit Hilfe von Spektrallinien kann man, u.a., die chemischen Bestandteile einer Lichtquelle bestimmen. Es soll die chemische Gas-Zusammensetzung von Lichtquellen bestimmt werden, bzw. soll bei Filtern das Durchlassverhalten von Lichtwellenlängen bestimmt werden. Zur Aufnahme der Spektren wird ein Silver-Nova Spektrometer verwendet.

1 Geräte

Für die Aufnahme der Emissions- und Absorptionsspektren wurden folgende Geräte verwendet:

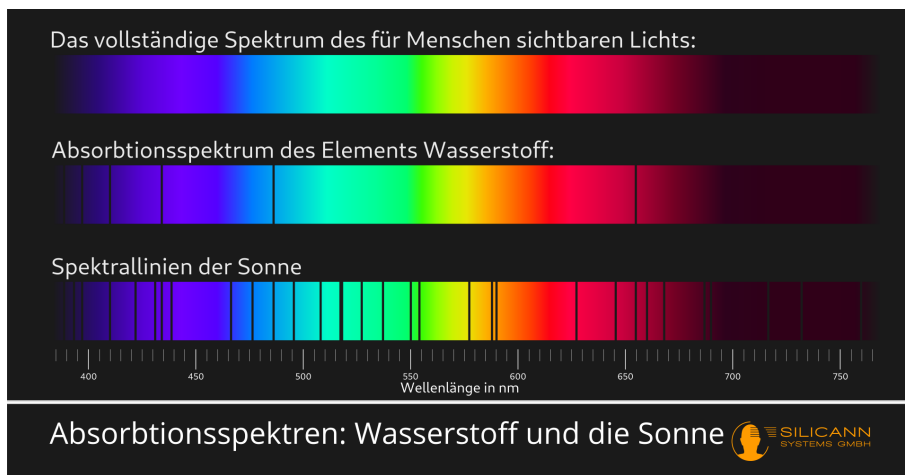
- Spektrometer SILVER-Nova 14 TEC BW 16
- Software: SpectraWiz
- Weißlichtquelle
- grüner Laser 532nm mit Spannungsteller
- optischer Tisch mit Zubehör

1.1 Anmerkung zum Spektrometer

Auffällig bei den Messergebnissen ist, dass (insbesondere zu Referenzwellenlängen) immer eine kleine praktisch konstante Abweichung zu finden ist. Es wird daher angenommen, dass das Spektrometer schlecht kalibriert, und/oder davongedriftet ist.

2 Theorie

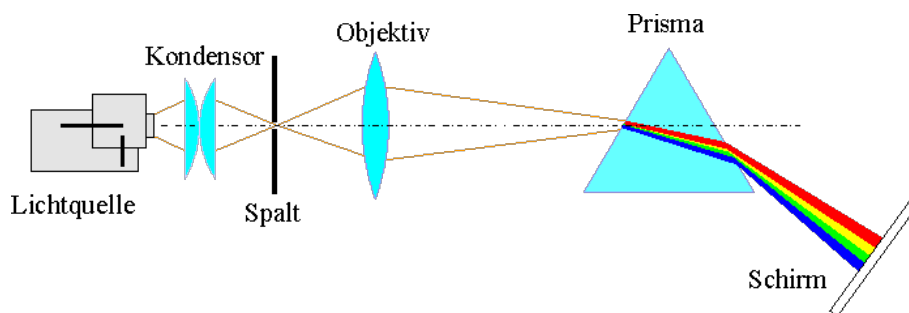
Ein Spektroskop zerlegt Strahlung und macht sie als Spektrum sichtbar. Das typische Ergebnis ist ein Absorptionsspektrum.



ID: ./images/spektrallinien-sonne-wasserstoff.png

Abbildung 2.1: Beispiel Absorptionsspektrum
(Quelle:[3])

Spektrometer geben für ihren Messbereich an, wie groß die Strahlungsintensität bei der jeweils beobachteten Wellenlänge ist.



ID: ./images/prismenspektrometer.png

Abbildung 2.2: Grundprinzip eines Prismenspektrometers
(Quelle:[2])

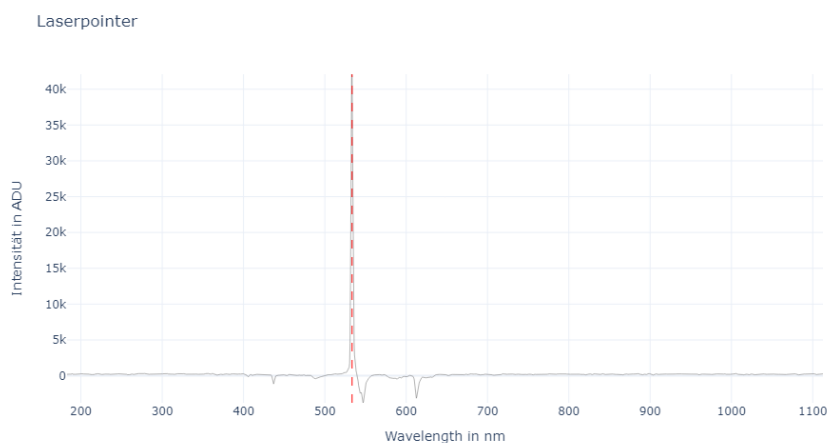
Anstelle des Prismas wird meist ein optisches Gitter zur Strahlaufteilung verwendet.

3 Lichtquellen

Folgend wird das Spektrum einiger Lichtquellen vermessen und dargestellt.

Über die "Qualität" der Spektrometerkalibrierung ist nichts bekannt. Da die Labormessung mit der grünen Laserpointer lediglich eine Abweichung von 0,28% ergab (Kap. 3.1) wird in weiterer Folge die Skalierung als „korrekt“ angenommen.

3.1 Laserpointer grün



ID: ./images/laserpointer.png

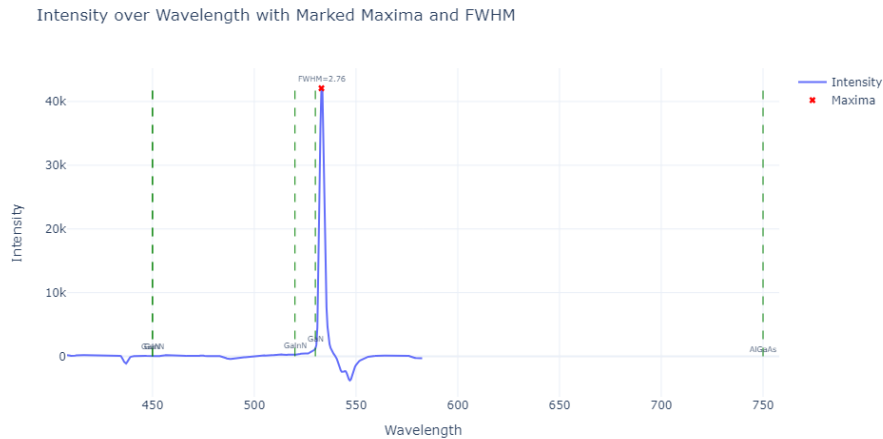
Abbildung 3.1: Spektrum des Laserpointers
(Quelle:[4])

Lt. Angabe am Laserpointer sollte er eine Nennwellenlänge von 532nm haben, tatsächlich tritt der Peak bei 533.5nm auf. Wir gehen davon aus, dass das Spektrometer exakt kalibriert ist, und somit beträgt der Laserfehler

$$\Delta\nu = 532 - 533.5 = 1.5\text{ nm} \quad \text{oder} \quad \frac{1.5}{532} * 100 = 0.28\%$$

was deutlich innerhalb der angegebenen Abweichung von 10% liegt. und vermutlich auch innerhalb der Kalibrierungsunsicherheit .

Das Spektrum zeigt einen für Laserlicht typischen Verlauf (sehr schmalbandiges monochromatisches Licht) (Bild 3.1 und 3.2). Die Halbwertsbreite (FWHM) beträgt 2,75 nm



ID: ./images/laserpointer2.png

Abbildung 3.2: herausgezoomtes Spektrum des Laserpointers mit FWHM (Quelle:[4])

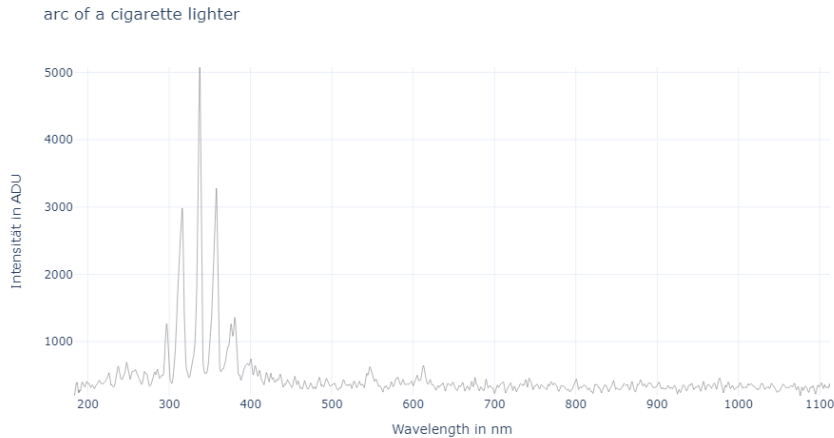
3.1.1 Auswertung

Wenn die Laborspektrallinien (Bild 3.2) (hier nur aus Datenblättern extrahiert) gegenübergestellt werden, erkennt man, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit GaN als Halbleiterbasismaterial zum Einsatz kommt. Die (geringe) Abweichung zur Laborlinie kann auf Konstruktionsdetails (Resonator) und Dotierungen des Halbleiters zurückgeführt werden.

3.2 Lichtbogen

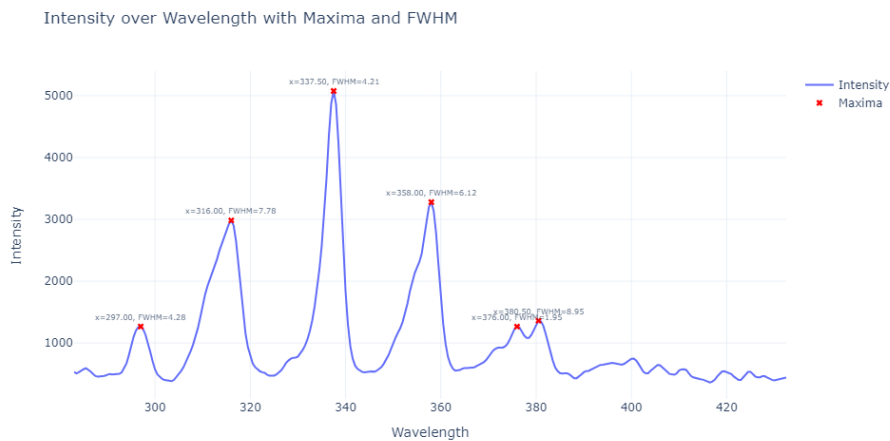
Das Plasma eines Feuerzeug-Lichtbogens soll analysiert werden.

Wie aus Bild 3.3 erkennbar, emittiert der Feuerzeuglichtbogen kein kontinuierliches Spektrum sondern Photonen definierter Energie, welche durch die Anregung der Luftmoleküle erklärbar ist.



ID: ./images/lichtbogen.png

Abbildung 3.3: Spektrum des Feuerzeuglichtbogens
(Quelle:[4])



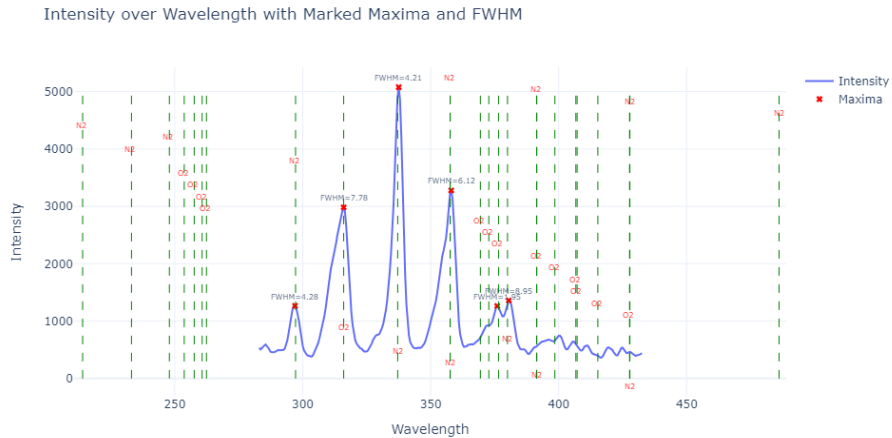
ID: ./images/lichtbogen1.png

Abbildung 3.4: Detailspektrum des Feuerzeuglichtbogens
(Quelle:[4])

3.2.1 Lichtbogen, Auswertung

Aus dem dargestellten Spektrum mit eingeblendeten „Laborlinien“ ist erkennbar, dass der überwiegende Anteil des Lichtbogenleuchtens durch die Anregung von Stickstoff verursacht wird. Lediglich ein geringer Anteil ist auf O_2 zurückzuführen. O_2 sendet Labordaten vorwiegend im hochfrequenten UV-Bereich, welcher hier offenbar nicht mehr richtig registriert wird.

Die Wellenlängen der Laborspektren sind allgemeinen Suchanfragen aus dem Internet entnommen. Es ist keine definierte Labortabelle zugrundeliegt. Somit ist die

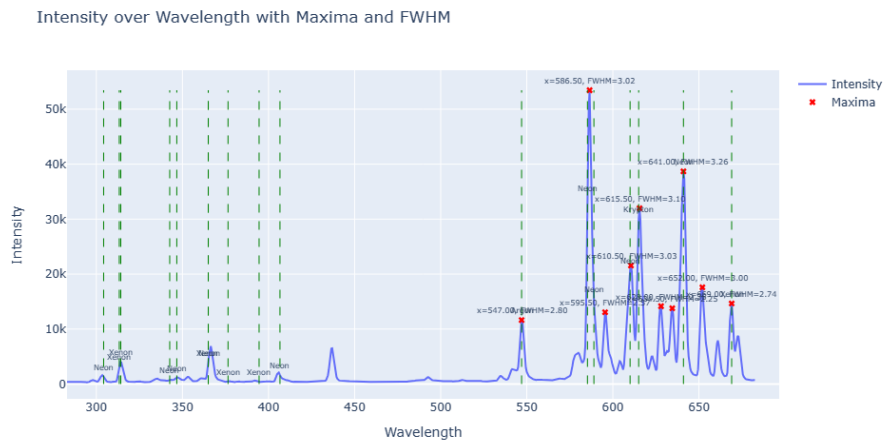


ID: ./images/lichtbogen2.png

Abbildung 3.5: Detailspektrum des Feuerzeuglichtbogens mit eingeblendeten Spektrallinien der Luftmoleküle (Quelle:[4])

Elementzuordnung hier nur beispielhaft zu sehen, die resultierende Aussage sollte jedoch stimmen.

3.3 Glimmlampe



ID: ./images/glimmlampe2.png

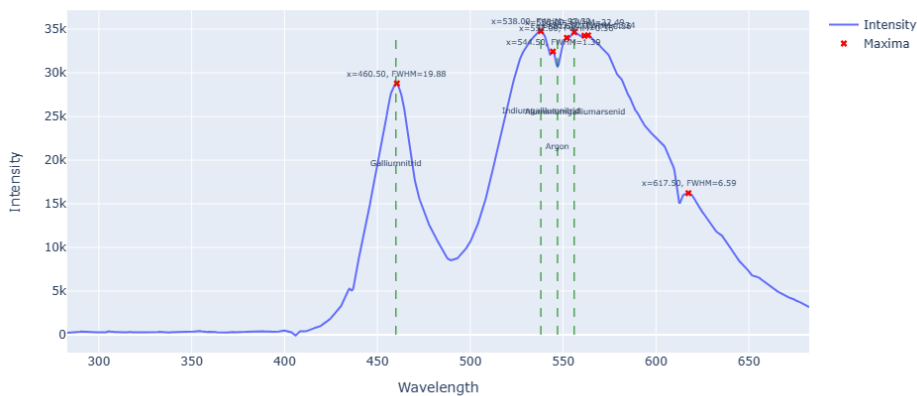
Abbildung 3.6: Spektrum einer Glimmlampe (Quelle:[4])

Das Spektrum lässt erkennen, dass die Glimmlampe mit einem Neon/Xenon-Gemisch gefüllt ist. Das passt auch mit der orangenen Farbe (Neon) und den Spektrallini-

en bei kurzen Wellenlängen (Xenon) gut zusammen. Anzumerken ist, dass Neon hauptsächlich Spektrallinien im sichtbaren Bereich, die im Allgemeinen im Bereich von 585 nm (orangefarben) bis 650 nm (rot) liegen, hat. Dies passt auch mit den ausgeprägten Neon-Spektrallinien ab 550nm zusammen. Auch eine ausgeprägte Argon-Linie bei 547nm ist zu finden.

3.4 Handy-LED

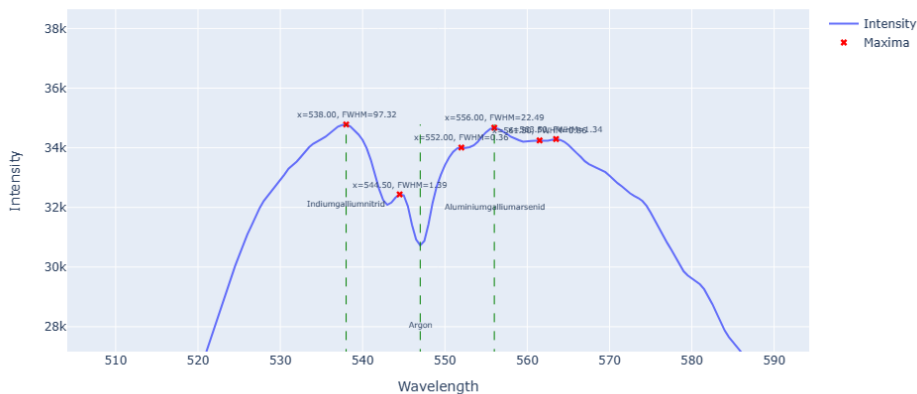
Intensity over Wavelength with Maxima and FWHM



ID: ./images/handyled1.png

Abbildung 3.7: Spektrum einer Handy-LED (Quelle:[4])

Intensity over Wavelength with Maxima and FWHM



ID: ./images/handyled2.png

Abbildung 3.8: Spektrum einer Handy-LED, AUsschnittvergrößerung (Quelle:[4])

Halbleiter-LEDs emittieren Licht, basierend auf der Bandlücke des verwendeten Halbleitermaterials, und das Emissionsspektrum ist kontinuierlich. Durch Verwendung verschiedener Materialien mit unterschiedlichen Emissionsbereichen erhält man durch Mischung Weißlicht.

Eine Möglichkeit, die verschiedenen Materialien anzugeben, wäre, die häufigsten Materialien zu nennen, die für LEDs verwendet werden, und ihre typischen Emissionsbereiche aufzuführen. Hier ist eine beispielhafte Tabelle:

Wellenlänge [nm]	Material
400-480	Galliumnitrid (GaN)
480-540	Indiumgalliumnitrid (InGaN)
540-640	Aluminiumgalliumarsenid (AlGaAs)

Tabelle 3.1: typische Halbleiteremissionsbereiche [nm]

Zur Kennzeichnung wurden zugeordnete Spektrallinien (senkrechte grün-strichlierte Linien) bei den aufgetretenen Maxima gesetzt (Bilder [3.7, 3.8]).

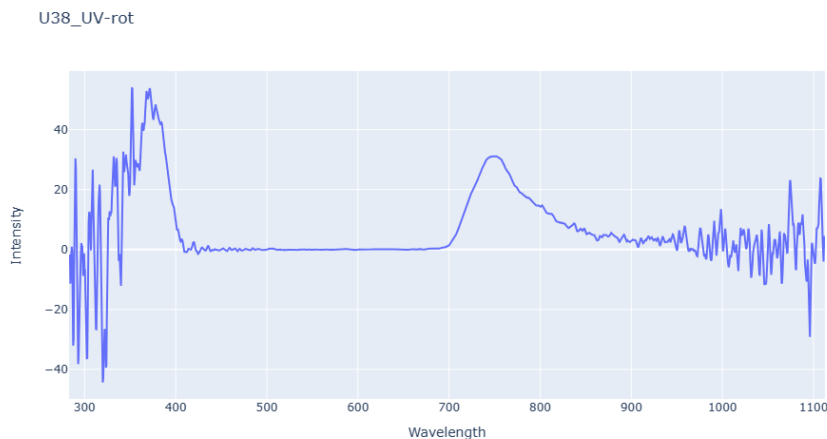
Bemerkenswert ist, dass die Emissionsüberlappung von Indiumgalliumnitrid und Aluminiumgalliumarsenid durch das Schutzgas Argon getrennt ist. Damit kann vermutlich über die Argon-Absorptionslinie eine Farb-Feinabstimmung getroffen werden.

4 Filter

Insgesamt dienen Filter dazu, das Licht in bestimmten Situationen zu kontrollieren und anzupassen, um spezifische visuelle Ergebnisse zu erzielen, wie z.B. Störlichtquellen ausblenden, zur Kontrastverstärkung in interessierenden Wellenlängenbereichen usw.

Als Lichtquelle wurde eine Weißlichtquelle mit konstanter Intensität über dem Wellenlängenbereich verwendet.

4.1 U38 UV-rot



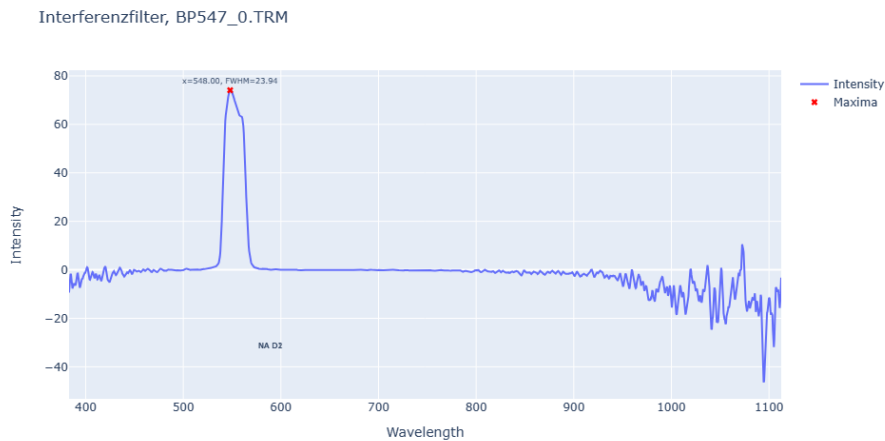
ID: ./images/u38-UV-rot.png

Abbildung 4.1: Sperrfilter U38-UV-rot für sichtbares Licht
(Quelle:[4])

Man erkennt, dass der Bereich des sichtbaren Lichtes vollständig abgeblockt wird. Die „Zacken“ im UV und IR-Bereich kommen durch das Sensorrauschen bei der Kalibrierung und nachfolgender Verstärkung dieses Rauschens zustande.

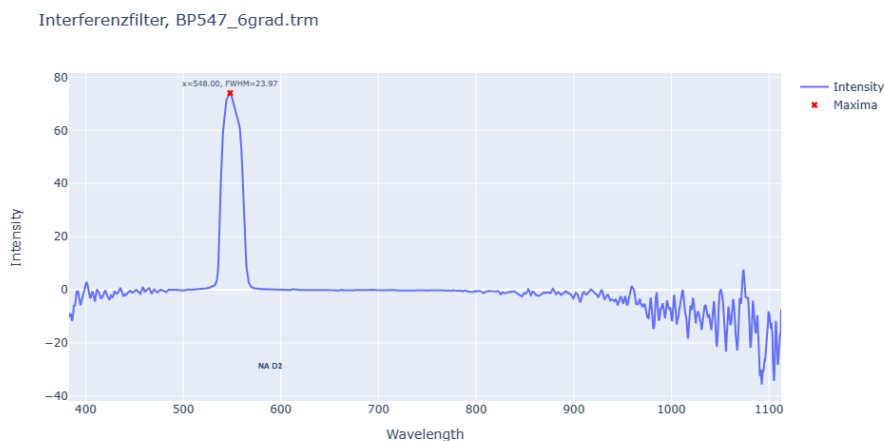
4.2 Interferenzfilter

Interferenzfilter, oder winkelselektive Filter, sind photonische Strukturen, die das Licht je nach Einfallswinkel unterschiedlich reflektieren oder durchlassend. Die Wirkung beruht nicht auf Absorption oder Dispersion, sondern auf der Interferenz des Lichtes. Es besteht i.a. nur aus nicht-absorbierenden, dielektrischen oder aber aus absorbierenden und nicht-absorbierenden dünnen Schichten, deren Dicke in der Größenordnung der Wellenlänge des Lichts liegt. Durch die an den dünnen Schichten entstehenden wellenlängenabhängigen Phasendifferenzen wird das Spektrum je nach Wellenlänge durch Interferenz verstärkt oder abgeschwächt.



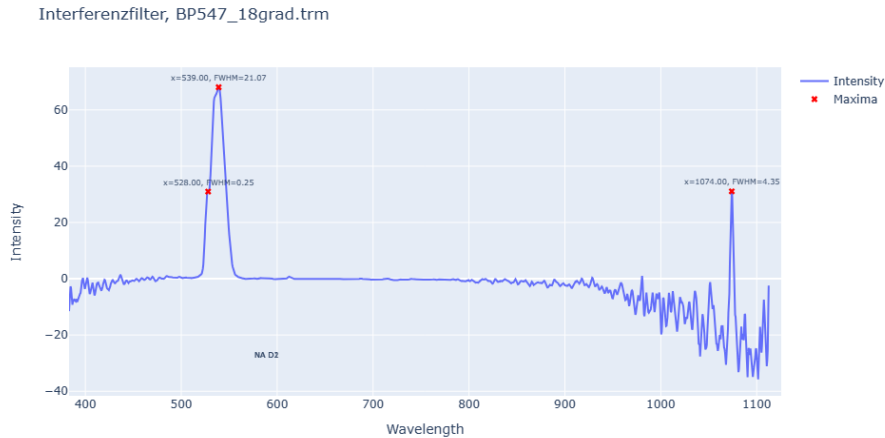
ID: ./images/BP547-0grad.png

Abbildung 4.2: Interferenzfilter BP547 mit Anstrahlwinkel von 0 Grad
(Quelle:[4])



ID: ./images/BP547-6grad.png

Abbildung 4.3: Interferenzfilter BP547 mit Anstrahlwinkel von 6 Grad
(Quelle:[4])



ID: ./images/BP547-18grad.png

Abbildung 4.4: Interferenzfilter BP547 mit Anstrahlwinkel von 18 Grad
(Quelle:[4])

Man erkennt, dass dieses Filter ein sehr schmalbandiges Bandfilter (FWHM ca. 22nm) ist. Weiters ist im Bild 4.4 der Einfluss der 1.Beugungsordnung auf das Spektrum zu erkennen. Außerhalb des Bandpassbereiches wird Spektralanteile vollständig (=0) geblockt!

4.3 Interferenzfilter, Verkippung

Der Kippwinkel ist die Abweichung zur Normalen auf die Filteroberfläche. Durch Änderung des Einfallswinkels ändert sich die Interferenzwellenlänge und das Transmissionsmaximum verschiebt sich zu kürzeren Wellenlängen (Bild: 4.6) nach dem Zusammenhang

$$\frac{\lambda_{\theta}}{\lambda_{\perp}} = \frac{\sqrt{N^2 - \sin^2 \theta}}{N} \quad (4.1)$$

4.4 Filterradfilter

Folgend sind weitere Filterradfilter-Messergebnisse angegeben. Es gilt analoges zu vorher, jedes Filter lässt nur einen begrenzten Bereich des sichtbaren Lichtes durch.

Dieses R38 Filter (Bild 4.7) lässt nur den Rot-Bereich des sichtbare Lichtes durch.

Dieses Filter G38 (Bild 4.8) lässt nur den Grün-Bereich des sichtbare Lichtes durch.

Dieses Filter B38 (Bild 4.8) lässt nur den Blau-Bereich des sichtbare Lichtes durch.

Und eine direkte Gegenüberstellung (Bild 4.10):

Hier (Bild 4.10) erkennt man unmittelbar, dass die minimale Durchgangsdämpfung der drei Filter unterschiedlich ist. Daher ist für Vergleichsberechnungen eine (Normierungs)korrektur erforderlich!

4.5 weitere Filter

Zweipolfilter:

Bei diesem Filter (Bild 4.11) wird sowohl der sichtbare Bereich durchgelassen, als auch der nahe Infrarotbereich, wobei der sichtbare Bereich wesentlich stärker gedämpft wird (Faktor 2)

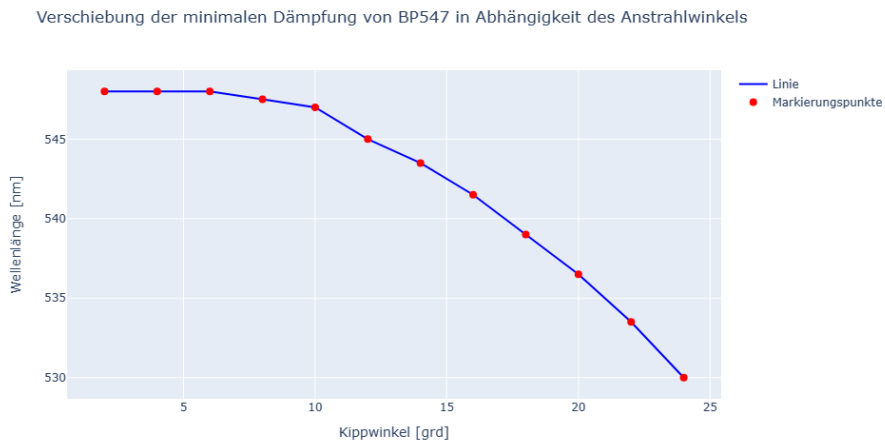
Hier (Bild 4.12) wird nur der Infrarotbereich durchgelassen, wobei die Signalintensität halbiert wird.

Folgend einige **Brillen:**

Die Brillen erfüllen beide die gesetzlichen Randbedingungen betreffend Dämpfung des UV-Anteiles. Die optische, phototrope Brille (Bild 4.13) hat über den gesamten Lichtwellenlängenbereich bereits eine Grunddämpfung von etwa 10%, welche gewünscht ist. Die Dämpfung bei Maximalverfärbung wurde mangels UV-Licht nicht durchgeführt.

Stadtlichtfilter (Astro):

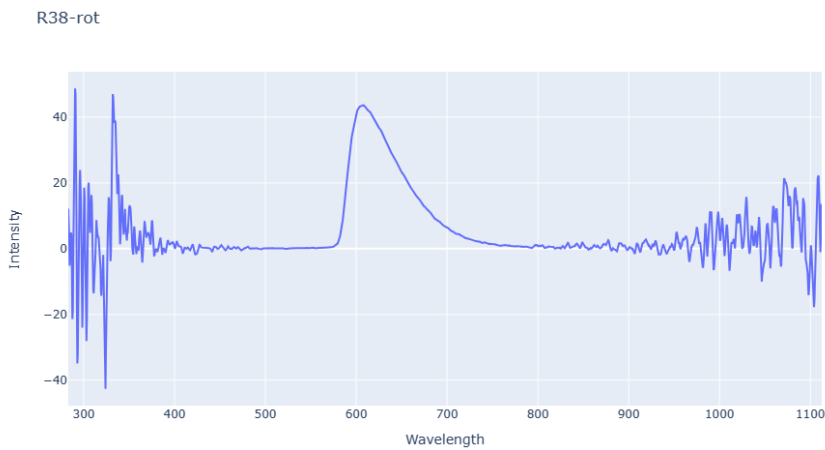
Dieses Filter (Bild 4.15) blockt hauptsächlich die bei Astrobeobachtung störenden Lichtverschmutzungswellenlängen im Stadtbereich (Natriumdampflampen, Leuchtstoffröhren).



ID: ./images/verkipfung.png

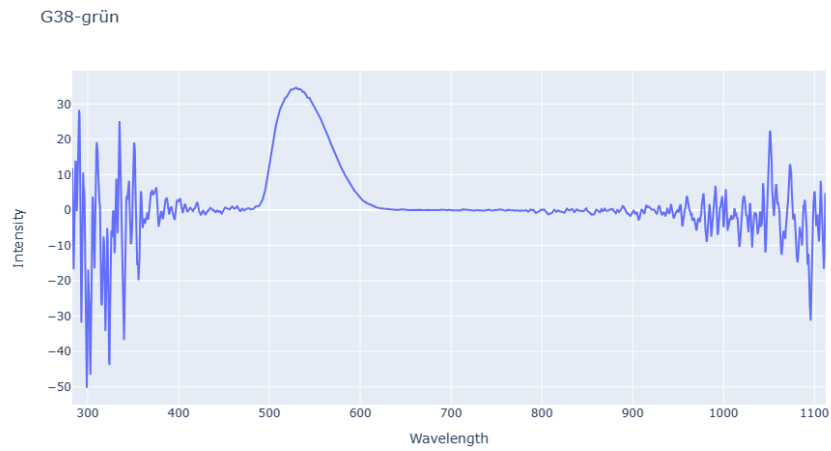
Abbildung 4.6: Änderung des Transmissionsmaximums in Abhängigkeit vom Kippwinkel

(Quelle:[4])



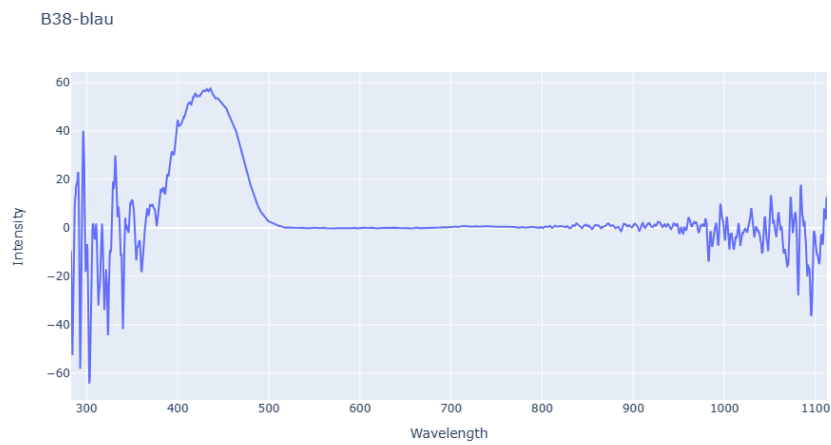
ID: ./images/r38-rot.png

Abbildung 4.7: Filter U38-rot
(Quelle:[4])



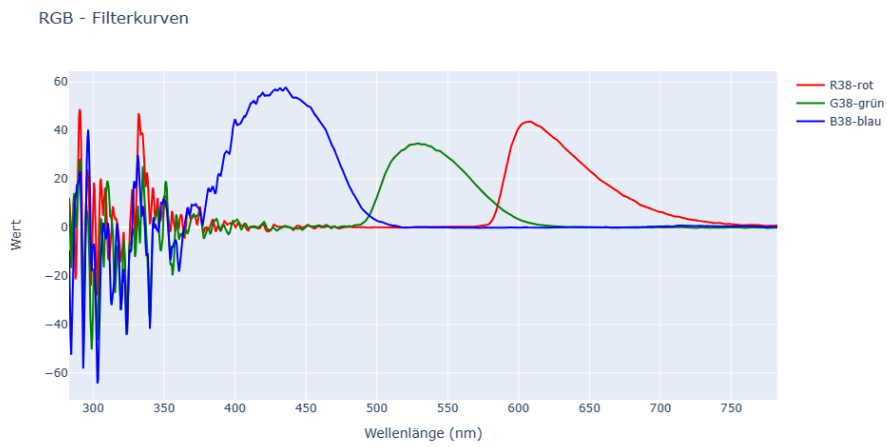
ID: ./images/g38-grün.png

Abbildung 4.8: Filter G38-grün
(Quelle:[4])



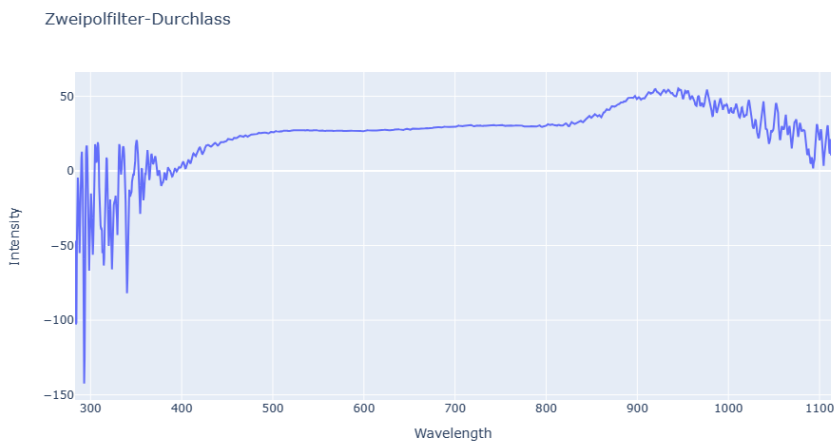
ID: ./images/b38-blau.png

Abbildung 4.9: Filter B38-blau
(Quelle:[4])



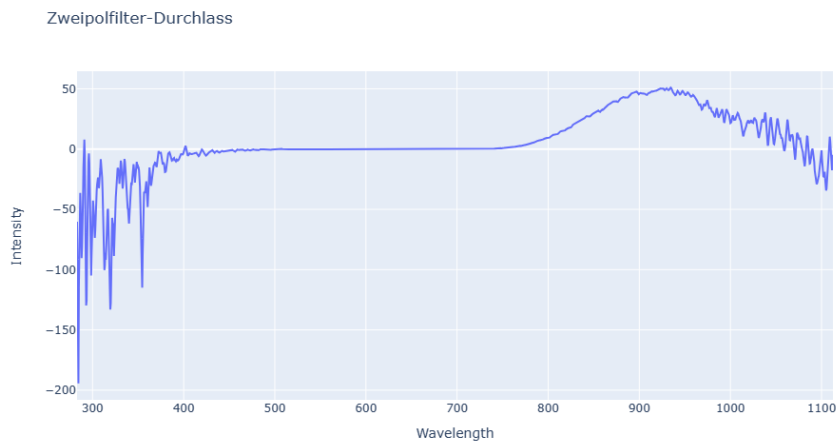
ID: ./images/rgb.png

Abbildung 4.10: Filter x38 gegenübergestellt
(Quelle:[4])



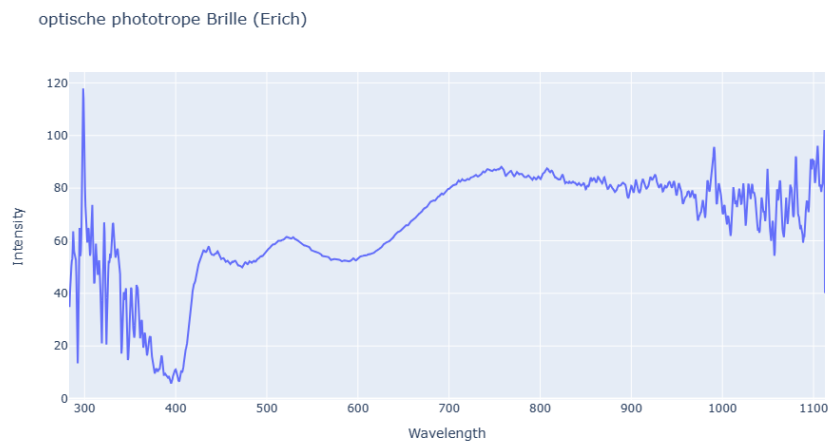
ID: ./images/zweipol1.png

Abbildung 4.11: Zweipolfilter - Durchlass
(Quelle:[4])



ID: ./images/zweipol2.png

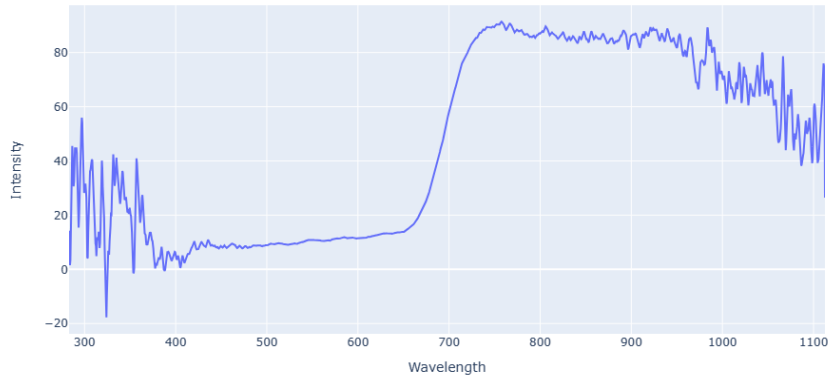
Abbildung 4.12: Zweipolfilter - Auslösch
(Quelle:[4])



ID: ./images/phototrop-erich.png

Abbildung 4.13: optische Brille phototrop bei Zimmersituation
(Quelle:[4])

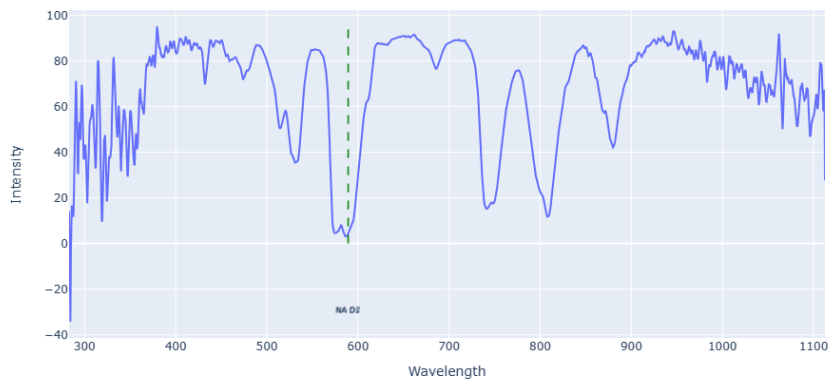
Rayban-Sonnenbrille (Kurt)



ID: ./images/rayban.png

Abbildung 4.14: Sonnenbrille
(Quelle:[4])

Stadtlichtfilter (NA-Doppellinie grün markiert)



ID: ./images/stadtlicht.png

Abbildung 4.15: Stadtlichtfilter für Astrobeobachtungen
(Quelle:[4])

Literaturverzeichnis

- [1] Wikimedia Commons. "*File:Binding energy curve - common isotopes-de.svg* — Wikimedia Commons, the free media repository", year = "2020". [Online; accessed 2-July-2022]. 2020. URL: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Binding_energy_curve_-_common_isotopes-de.svg&oldid=452204637.
- [2] Joachim Herz Stiftung. *Prismenspektrometer*. [Online; accessed 10-Feb-2024]. 2022. URL: <https://www.leifiphysik.de/optik/elektromagnetisches-spektrum/aufgabe/prismenspektrometer>.
- [3] Silicann Systems GmbH. *Absorptionsspektern: Wasserstoff und die Sonne*. [Online; accessed 10-Feb-2024]. 2024. URL: <https://www.silicann.com/blog/beitrag/unterschied-spektroskop-spektrometer-spektralphotometer/>
- [4] M.Jandl, K. Salzmann, E. Schubert. *private Messprotokolle*. [nicht frei verfügbar]. 2023/24.

Stichwortverzeichnis

F

Feuerzeuglichtbogen 3-2

Filterradfilter 4-3

G

Glimmlampe 3-4

H

Halbleiter-LED 3-6

I

Interferenzfilter 4-2

L

Laserpointer 3-1

S

Stadtlichtfilter 4-4

Z

Zweipolfilter 4-4