

Weißes Licht, zum Beispiel das Licht der Sonne, setzt sich aus mehreren Farben zusammen. Seit es Leuchtstoffröhren und Leuchtdioden (*LED*) gibt, kennen wir auch „kaltweiß“. Wir interessieren uns für die *kaltweiße LED*: Welche Farben sind in ihrem Licht enthalten? Dazu zwei Experimente.

Messung 1

Wir beleuchten einen (optischen) Spalt mit dem Licht unserer Leuchtdiode¹. Eine Linse (Objektiv eines Dia-Projektors) entwirft auf einer Mattscheibe ein Bild dieses Spalts. Unmittelbar hinter der Linse befindet sich ein optisches Gitter. Daher sieht man auf der Mattscheibe neben dem Bild des Spalts auch die Beugungsbilder dieses Spalts. Abbildung 1 zeigt den Versuchsaufbau. Das Gitter hat 100 Striche/cm, der Abstand zweier benachbarter Gitterstriche beträgt also $d = 1/100 \text{ cm} = 0,1 \text{ mm}$. Die Mattscheibe befindet sich $L = 0,60 \text{ m}$ hinter dem Gitter.

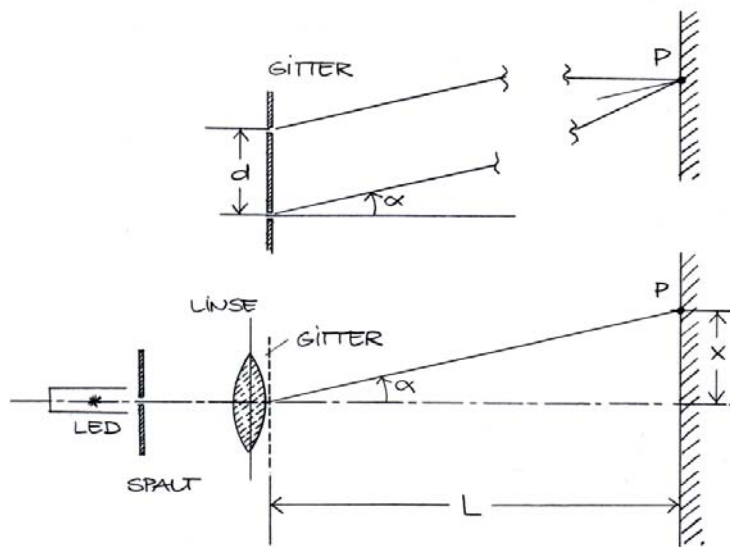


Abb. 1 Versuchsanordnung

Abbildung 2 ist ein (nicht ganz farbgetreues Bild) der Mattscheibe. Eine fotometrische Analyse ergibt, dass die Beugungsbilder des Spalts aus drei mehr oder weniger getrennten „Linien“ bestehen mit den Farben *blau*, *grün* und *rot*. Abbildung 3 zeigt die Intensitätsverteilungen dieser drei Farbanteile,

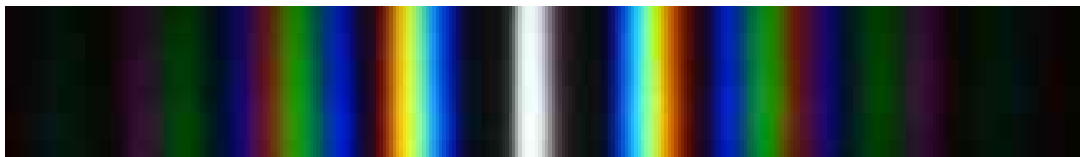


Abb. 2 Beugungsbild auf der Mattscheibe

aufgetragen als Funktion des Abstands x vom Bild nullter Ordnung bzw. von der optischen Achse der Anordnung. In diesem Diagramm sind die drei „Linien“ (*blau*, *grün* und *rot*) bis zur 4. Ordnung sichtbar.

Da im vorliegenden Versuch der Abstand der Mattscheibe vom Gitter groß ist gegenüber dem Abstand der Gitterstriche, beobachtet man das Spektrum in *Fraunhoferscher* Anordnung. In diesem Fall erscheinen die Intensitätsmaxima unter Winkeln α , für die gilt

$$(1) \quad \sin \alpha = n \cdot \frac{\lambda}{d}, \quad n \in N.$$

Dabei ist λ die Wellenlänge des Lichts, d wie schon angegeben der Abstand zweier benachbarter Gitterstriche und n die Ordnung des Spektrums.

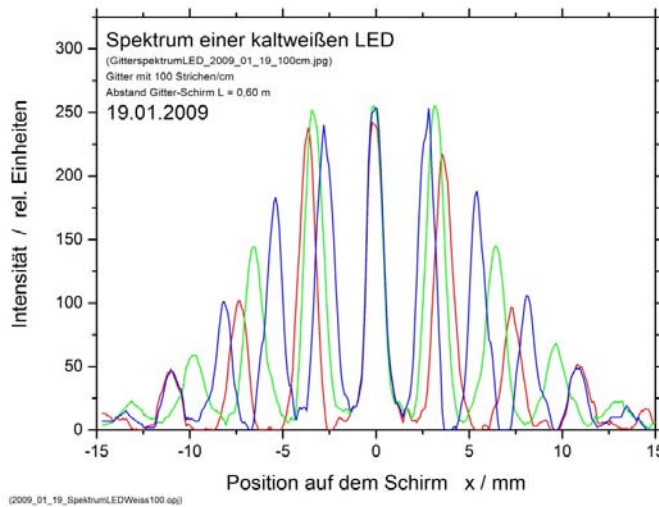


Abbildung 3 Gitterspektrum einer kaltweißen LED, getrennt nach den Farben Rot, Grün und Blau, die im Licht der LED enthalten sind.

Der Winkel α wird in unserem Experiment aus der Position der Linie auf dem Schirm berechnet: Abbildung 1 zeigt, dass der Abstand x einer Linie von der optischen Achse gegeben ist durch

$$(2) \quad \tan \alpha = \frac{x}{L}.$$

Im vorliegenden Experiment kann man voraussetzen, dass die Winkel α klein sind, so dass $\tan \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha$ gilt. Deshalb ist in guter Näherung

$$(3) \quad x = \frac{\lambda L}{d} \cdot n.$$

Dabei ist n wiederum die Ordnung des Spektrums. Mit Hilfe dieser Gleichung bestimmen wir die Wellenlängen unserer drei Linien (blau, grün und rot), indem wir, für jede Linie getrennt, x als

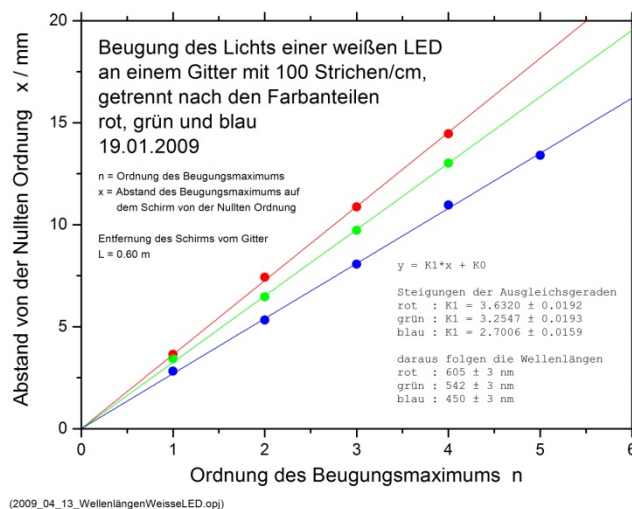


Abbildung 4 Position x der Linien (blau, grün und rot) auf der Mattscheibe in Abhängigkeit von der Ordnung n des Beugungsmaximums. Die Messpunkte liegen auf einer Nullpunktsgerechten, siehe Gl.(3) des Textes

Funktion der Ordnungszahl n auftragen. Abbildung 4 zeigt, dass die Messpunkte x , wie erwartet, auf einer Geraden durch den Nullpunkt liegen. Aus der Steigung $\lambda L/d$ dieser Geraden (und $d = 0,1 \text{ mm}$, $L = 0,60 \text{ m}$) ergibt sich die Wellenlänge. Deren Werte sind in der Tabelle aufgeführt.

Tabelle 1 Wellenlängen der blauen, grünen und roten „Linie“ im Spektrum 1. Ordnung der weißen LED, berechnet aus der Steigung der Graphen in Abb. 4

Linie	Steigung 1/mm	Wellenlänge λ/nm
rot	$3,632 \pm 0,019$	605 ± 15
grün	$3,255 \pm 0,019$	542 ± 14
blau	$2,701 \pm 0,016$	450 ± 12

Zur Fehlerabschätzung ist zu bemerken, dass in den Fehler der Wellenlänge nicht nur die Unsicherheit der Steigung eingeht, die das Anpassungsprogramm liefert (Spalte 2 der Tabelle). Auch die Größen L und d sind mit Unsicherheiten behaftet. Wir schätzen sie zu insgesamt $\pm 2\%$ ab und addieren sie zum Fehler der Steigung hinzu. Der relative Fehler der blauen Linie beispielsweise wird damit zu $0,016/2,701 + 0,02 = 0,026$. Das sind im absoluten Wert $\pm 12 \text{ nm}$.

Messung 2

Für die zweite Messung benutzten wir ein Gitter mit 80 Strichen pro cm ($d = 0,125 \text{ mm}$) und vergrößerten die Entfernung zwischen Gitter und Mattscheibe auf $L = 5,25 \pm 0,02 \text{ m}$. Bis auf diese Änderungen war die Versuchsanordnung dieselbe wie in Messung Nr. 1. Jedoch ist auf der Mattscheibe jetzt nur noch das Spektrum erster Ordnung mit wahrnehmbarer Intensität sichtbar – von der zweiten Ordnung deutet sich allenfalls die blaue Linie an. Wir kleben auf die Rückseite der Mattscheibe, quer zu den Spektrallinien, einen Papierstreifen mit mm-Teilung, um die Abstände x der Linien von der optischen Achse (nullte Ordnung) bequem ablesen zu können. Abbildung 5 zeigt ein Foto der Linien einschließlich des Messstreifens.

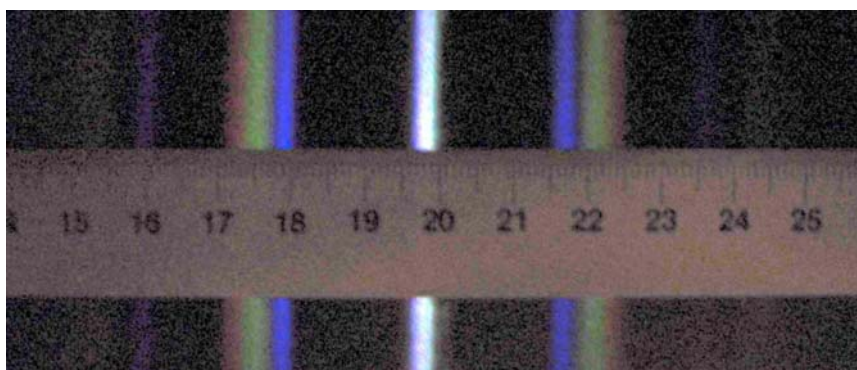


Abbildung 5 Gitterspektrum der kaltweißen LED. Fotografiert bei Dunkelheit, daher ist das Bild körnig. Gitter mit 80 Strichen/cm ($d = 0,125 \text{ mm}$), Entfernung Gitter-Mattscheibe $L = 5,25 \pm 0,02 \text{ m}$.

Die Abstände x der Linien von der optischen Achse, die dem Foto entnommen wurden, zeigt Tabelle 2 (Spalte 2). Sie wurden nach Gleichung (3) in Wellenlängen umgerechnet (mit $d = 0,125 \text{ mm}$ und $L = 5,25 \pm 0,02 \text{ m}$). Die Zahlenwerte (Spalte 3 der Tabelle) stimmen mit der ersten Messung innerhalb der Fehler überein.

Tabelle 2 Wellenlängen der blauen, grünen und roten „Linie“ im Spektrum 1. Ordnung der weißen LED, berechnet nach Gleichung (3) aus dem Abstand x der Linie von der optischen Achse. Ergebnis der Messung Nr. 2

Linie	Abstand von der opt. Achse x/cm	Wellenlänge λ/nm
rot	$2,55 \pm 0,03$	607 ± 10
grün	$2,29 \pm 0,04$	545 ± 12
blau	$1,90 \pm 0,07$	452 ± 10

Aus der Lage der blauen Linie zweiter Ordnung erhält man im Übrigen $\lambda = 458 \pm 18$ nm, eine Bestätigung des Wertes erster Ordnung, der in der Tabelle aufgeführt ist.

Literaturwerte der Wellenlänge konnte ich im Internet nicht finden. Ein Graph auf einer Folie der Fachhochschule Münster (Prof. Jüstel) zeigte das Spektrum einer *LED* mit Intensitätsmaxima bei 627 nm (rot), 533 nm (grün) und 464 nm (blau). Ob es sich um eine kaltweiße Leuchtdiode handelte, war nicht zweifelsfrei festzustellen.

¹ Untersucht wurde die LUMOtech-LED L05034