

Spektroskopie mit einem Selbstbau-Spektrometer

Antonia, Cathrin, Charlotte, Emelie, Hannah, Idun, Laura, Lina, Lisa, und Nina
Schülerinnen im Home-Office

Anja Dempewolf^{a)} und Martin Feneberg^{b)}

Institut für Physik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg, Germany

Von Schülerinnen wurden mit einem Bastelsatz aus Papier Spektrometer für den Betrieb zusammen mit einer Smartphone-Kamera gebastelt. Mit Hilfe dieser Spektrometer wurden verschiedene Lichtquellen analysiert und ihre Spektren miteinander verglichen. Dazu werden hier Ergebnisse verschiedener Spektrometer und Smartphones zusammen ausgewertet. Die Unterschiede zwischen dem Spektrum einer weißen Leuchtdiode, einer Energiesparlampe, einer Schwarzlicht- sowie einer Rotlichtlampe und dem Licht eines Weckers sind eindeutig bereits mit dem Eigenbauspektrometer zu erkennen. Grundlegende Prinzipien verschiedener Lichtquellen lassen sich folglich bereits mit dem sehr einfachen Eigenbauspektrometer, das aus Papier selbst gefaltet wird und einer Smartphone-Kamera ermitteln.

Veröffentlicht am 05. September 2022

Insekten orientieren sich in der Nacht am Mondlicht. Sind künstlichen Lichtquellen heller als der Mond, werden die Insekten davon angezogen. Dabei kommt es vor, dass sie ständig eine Lampe anfliegen und nach einiger Zeit vor Erschöpfung sterben oder mit größerer Wahrscheinlichkeit gefressen werden [1]. Künstliche Beleuchtung trägt somit zum zunehmenden Insektensterben bei. In verschiedenen Studien gibt es Hinweise darauf, dass die spektrale Zusammensetzung des Lichts die Anlockwirkung beeinflusst [2]. Um insektenfreundliche Lichtquellen für die Außenbeleuchtung auszuwählen, ist es notwendig die Farbzusammensetzung des jeweiligen Lichts zu kennen [3]. Die Farbzusammensetzung lässt sich mit Spektrometern experimentell ermitteln. Hier wollen wir uns auf eine spezielle Bauform konzentrieren, nämlich Gitterspektrometer. Dabei tritt Licht durch einen schmalen Spalt in das Spektrometer ein und wird durch ein dispersives Element in seine einzelnen Farbanteile aufgespalten. Als dispersives Element kommt in unserem Selbstbau-Gitterspektrometer ein Durchlichtgitter zum Einsatz.

Im Rahmen des Girls'Days am 28.04.2022 wurden

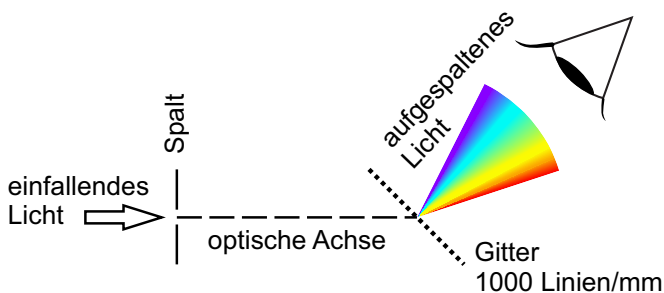


FIG. 1. Schematische Skizze des Aufbaus eines Gitterspektrometers wie es hier im Experiment benutzt wurde.



FIG. 2. Fotografien eines fertig zusammengebauten Selbstbau-Spektrometers mit justiertem Smartphone von zwei Seiten. Auf dem Smartphone-Bildschirm ist das Spektrum einer Leuchtstoffröhre zu erkennen. Der Spalt befindet sich links hinten am Spektrometer und ist auf diesen Fotos nicht zu sehen.

Smartphone-Spektrometer aus Papier angefertigt. Als dispersives Element diente eine Durchlicht-Gitterfolie mit 1000 Linien pro Millimeter der Firma AstroMedia [4]. Mit Hilfe dieses Spektrometers und der Kamera eines Smartphones wurden Spektren verschiedener Lichtquellen aufgenommen. In Fig. 1 ist der prinzipielle Aufbau dargestellt. Fig. 2 zeigt zwei Fotos des fertig gebastelten Smartphone-Spektrometers mit einem passend zur Kamera justierten Smartphone.

Zunächst betrachten wir das Spektrum einer weißen LED [5,6,7], aufgenommen mit der soeben beschriebenen Versuchsanordnung (Fig. 3). Es sind mehrere farbige Bereiche erkennbar, die deutlich voneinander getrennt sind. Im oberen Teil ist die erste Beugungsordnung [8]

^{a)} Electronic mail: anja.dempewolf@ovgu.de

^{b)} Electronic mail: martin.feneberg@ovgu.de

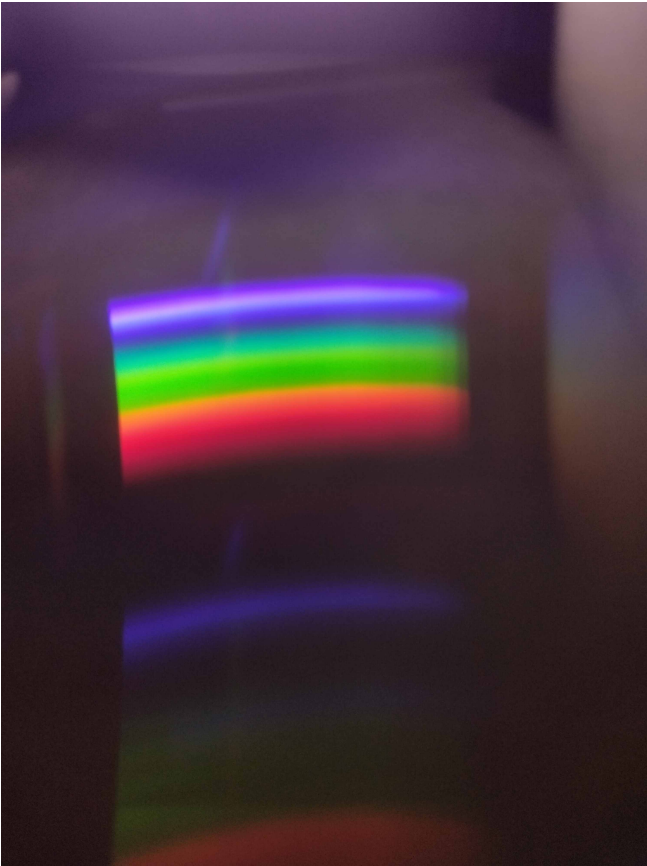


FIG. 3. Aufnahme des Spektrums einer weißen LED, aufgenommen während des Girls'Day mit Hilfe eines selbst gebauten Smartphone-Spektrometers.

in den Farben lila bis rot zu erkennen. Im unteren Bereich wiederholt sich diese Farbfolge mit geringerer Intensität und etwas weiter auseinandergezogen. Hierbei handelt es sich um die zweite Beugungsordnung, die nicht vollständig in den Bildausschnitt passt. Betrachtet man die erste Ordnung genauer, erkennt man einen deutlichen lilafarbenen Anteil, der merklich von einem kontinuierlichen Anteil von grün bis rot abgegrenzt ist. Dieses Spektrum ist typisch für das Licht einer weißen LED für die Raumbelichtung, die meist als Lumineszenz-Konversions-LED ausgeführt ist [9]. Der schmalere Anteil im lilafarbenen Bereich kleinerer Wellenlängen, stellt Emission der UV- bis blauen LED dar. Der restliche spektrale Anteil entsteht durch die Umwandlung eines Teils des kurzwelligeren Lichts durch Fluoreszenz in der Konverterschicht, die in diesem Fall nun Licht im grünen bis roten Wellenlängenbereich abgibt. Zusammen erzeugen diese beiden Anteile einen weißen Farbeindruck [10, 11, 12].

Deutlich unterschiedlich dazu stellt sich das Spektrum einer Energiesparlampe [13] dar. Fig. 4 zeigt ein solches Spektrum um 90° gedreht im Vergleich zu Fig. 3. Zusätzlich ist als weiße Linie der Intensitätsverlauf entlang des mittleren Bereichs des Fotos abgetragen. Es

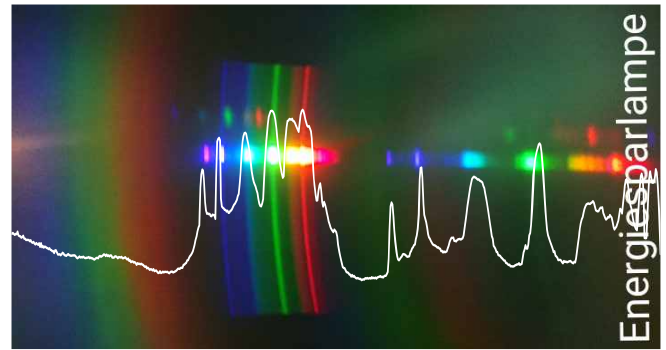


FIG. 4. Aufnahme des Spektrums einer Leuchtstofflampe überlagert mit der Intensität entlang einer Linie des Fotos

sind deutlich voneinander getrennte spektrale Anteile verschiedener Farben erkennbar, die sich in der zweiten Ordnung im rechten Teil des Bildes mit größerem Abstand wiederholen. Es handelt sich um ein diskretes Spektrum. Mit dem Wissen, dass es sich bei einer Energiesparlampe um eine Leuchtstofflampe [14, 15] handelt, die das Licht mit Hilfe von Quecksilber erzeugt und einer genauen Zuordnung der bekannten Quecksilberlinien [16, 17] können unter der Annahme, dass alle Spektren mit demselben Aufbau aufgenommen sind, also die Position des Spektrometers zur Kamera gleichgeblieben ist, anderen Spektren ebenfalls Wellenlängen zugeordnet werden.

Um diese bekannten Linien mit dem Spektrum der Energiesparlampe zu vergleichen, ist das Spektrum einer Quecksilber-Kalibrierlampe, wie sie in der Forschung zum Einsatz kommt, gemeinsam mit der Intensitätsverteilung über den mittleren Bereich des Fotos Fig. 5 in einem Diagramm so aufgetragen, dass die Peaks der entsprechenden Linien übereinander liegen. Das Spektrum der Kalibrierlampe weist ausschließlich sehr schmale Bereiche mit hoher Intensität auf, die zum Teil auch im Spektrum der Energiesparlampe enthalten sind. Die Linien bei 405 nm, 435 nm und 546 nm sind gut in Übereinstimmung zu bringen. Die Linie bei 365 nm liegt bereits im ultravioletten Bereich und wird somit vom Smartphone nicht detektiert. Das Spektrum der Energiesparlampe weist neben den genannten Linien noch weitere auf, die durch eine eventuell andere Gas Mischung erklärbar sind. Der Bereich ab 800 nm ist der zweiten Beugungsordnung des Gitters zuzuordnen. Mit den bekannten Wellenlängen kann man nun die restlichen Wellenlängen berechnen.

Auf diese Weise wurde nun auch mit Spektren weiterer Lichtquellen verfahren. Fig. 6 zeigt die fotografierten Spektren einer Schwarzlichtlampe (a), des Lichts eines Weckers (b) und einer Rotlichtlampe (c). Zusätzlich sind jeweils die Intensitätsverläufe entlang des mittleren Bereichs abgetragen. Für die bessere Vergleichbarkeit sind diese im Diagramm (Fig. 7) in Abhängigkeit von der Wellenlänge abgetragen. Deutlich sind auf den Fotografien verschiedene Farben erkennbar. Im Bild

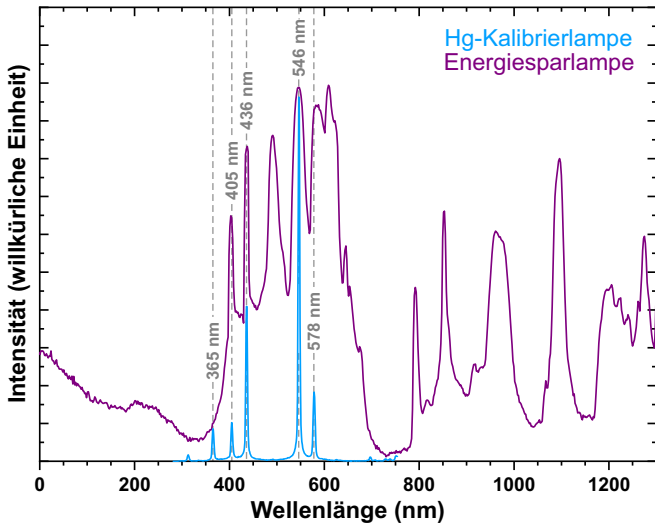


FIG. 5. Spektrum einer Quecksilber-Kalibrierlampe mit dem Spektrum der Energiesparlampe aus Fig. 4

der Schwarzlichtlampe ist ein prominenter blauer Anteil sichtbar, bei dem es sich um die eigentliche Emission der Lampe handelt. Ein zweiter etwas lichtschwächerer Beitrag zeigt sich weiter rechts im Bild. Bei diesem handelt es sich um die zweite Beugungsordnung. Dies spiegelt sich auch im Spektrum (Fig. 7) wider. Der breite Bereich bei kleineren Wellenlängen ist nicht als deutlicher Peak mit einem eindeutigen Maximum ausgeprägt. Er setzt sich eher aus mehreren Anteilen zusammen. Dabei ist es möglich, dass die Quelle zu hell für die Kamera war und das Signal übersteuert und somit die Intensität nicht richtig dargestellt wurde. Vorstellbar ist auch, dass das Foto nicht ganz scharf ist, da die Fokussierung bei derart kurzen Abständen zum Teil problematisch für eine Smartphonekamera sein kann. Zusätzlich erkennt man bei 860 nm einen deutlichen Peak. Danach sollte die erste Beugungsordnung ihren Schwerpunkt bei 430 nm haben, was ungefähr dem ersten schmalen Peak der breiten Bande der ersten Ordnung entspricht. Neben dem eigentlichen Signal der Lichtquelle sind deutliche Farbanteile im linken Teil des Bildes erkennbar, die auf störende Reflexe zurückzuführen sind. Diese können vermieden werden, wenn das Spektrometer lichtdicht am Smartphone befestigt wird. Dies wird oft durch die vorgegebene Geometrie oder vorhandene Schutzhüllen erschwert.

Dieser Streulichte effekt tritt ebenfalls beim Wecker und noch deutlicher bei der Rotlichtlampe auf. Das Licht des Weckers zeigt im Foto (Fig. 6b) wie auch im Spektrum (Fig. 7) einen deutlichen Peak im Türkisen bis Grünen, der durch die Kalibrierung zu 540 nm bestimmt werden kann. Auch die Rotlichtlampe zeigt, wie erwartet, einen einzelnen Anteil im roten Spektralbereich, der im kalibrierten Spektrum (Fig. 7) seinen Schwerpunkt bei 665 nm aufweist.

Als Fazit erkennen wir, dass bereits ein sehr ein-

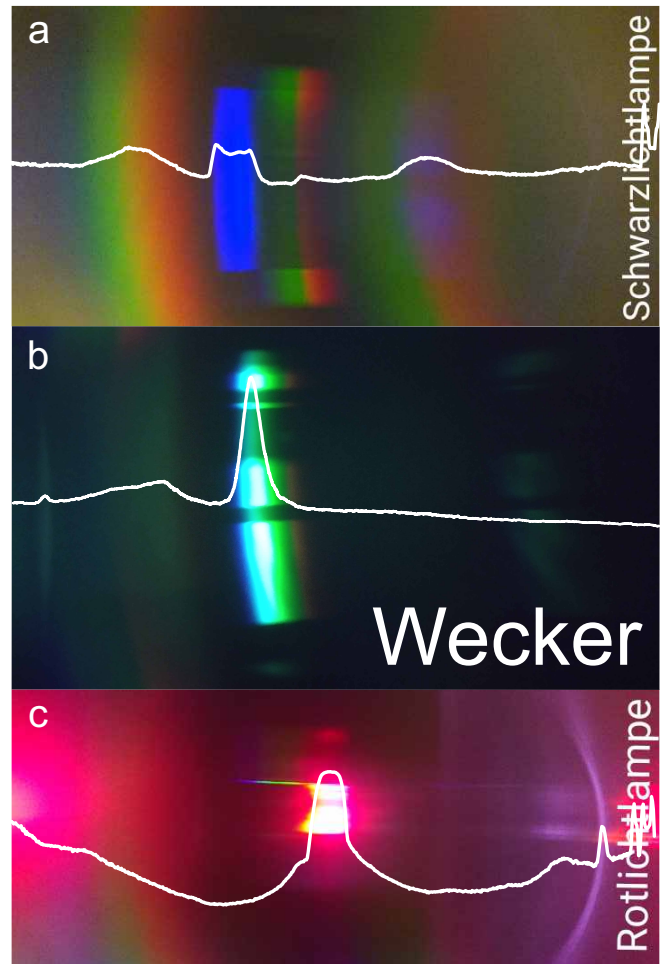


FIG. 6. Mit dem Smartphone aufgenommene Spektren überlagert mit den Darstellungen der Intensitäten über der Wellenlänge.

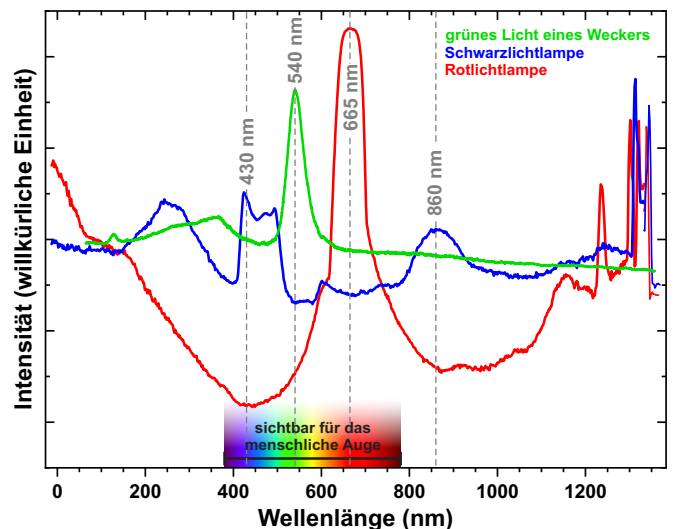


FIG. 7. Spektren verschiedener Lichtquellen.

faches Eigenbau-Spektrometer aus Papier zusammen mit einem Smartphone ausreicht, um sehr genaue Spektren aufzunehmen und damit verschiedene Lichtquellen systematisch zu untersuchen. Dies bietet die Möglichkeit auch insektenfreundliche Lichtquellen mit möglichst geringem Blauanteil zu identifizieren und diese für die Außenbeleuchtung zu verwenden. Wir hoffen, dass es Spaß gemacht hat und die Spektrometer auch weiterhin zum Einsatz kommen werden. Es bietet sich eine systematische Untersuchung der heimatischen Beleuchtung genauso an, wie ein Beitrag bei Jugend Forscht oder auch einfach ein hervorragendes Referat im Physikunterricht.

Vielen Dank allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die beim Girls' Day die Einzelgruppen betreut und die Laborvorstellungen durchgeführt und bei den Experimenten unterstützt haben: Bianca Watzka, Olga August, Patricia Pfeiffer, Maitreyi Sangal, Julie Kernchen, Andreas Knopf, Uwe Schultz, Hannes Schnurre, Elias Baron, Hannes Schürmann, Konstantin Wein.

¹Youtube-Video, Wissen macht Ah!: Warum fliegen Motten immer ins Licht? (roxx0rpodz0r), abgerufen am 05.09.2022.

²Flyer des BUND, Nachtinsekten wirksam helfen - Insektenschonende Beleuchtung (BUND), abgerufen am 05.09.2022.

³Youtube-Video, Spektralfarben (LEIFIphysik), abgerufen am 11.07.2022.

⁴Durchlicht-Beugungsgitter (AstroMedia.de), abgerufen am 27.07.2022.

⁵Youtube-Video, Wie funktioniert eine LED? (brainfaqk) abgerufen am 11.07.2022.

⁶Leuchtdioden (LED) - Einführung (LEIFIphysik), abgerufen am 11.07.2022.

⁷Leuchtdioden (LED) - Fortführung (LEIFIphysik), abgerufen am 11.07.2022.

⁸Youtube-Video, Verhalten von Licht am optischen Gitter (LEIFIphysik), abgerufen am 11.07.2022.

⁹Leuchtdiode - Kombination verschiedenfarbiger LEDs und Leuchtstoffe (Wikipedia), abgerufen am 27.07.2022.

¹⁰Weißer LED (Wikipedia), abgerufen am 27.07.2022.

¹¹Blue LEDs – Filling the world with new light, (www.nobelprize.org), abgerufen am 20.07.2022.

¹²Lichtspiele - Highlights der Physik 2015 (BMBF, DPG), abgerufen am 20.07.2022.

¹³Energiesparlampe (LEIFIphysik), abgerufen am 05.07.2022.

¹⁴Leuchtstofflampe (Wikipedia), abgerufen am 05.07.2022.

¹⁵Funktionsprinzip von Leuchtstofflampen (LEIFIphysik), abgerufen am 05.07.2022.

¹⁶Spektralanalyse mit dem optischen Gitter (physikunterricht-online.de), abgerufen am 27.07.2022.

¹⁷Atomspektrum Quecksilber (<https://www.rhetos.de>), abgerufen am 27.07.2022.