

Ein mobiles Spektrometer

PETER und PATRICK BASTGEN

Die vorgestellte Apparatur ermöglicht es, Beugungsexperimente am Gitter im Bereich der Wellenoptik qualitativ und quantitativ leicht »vor Ort« durchzuführen. Der besonders einfache Aufbau in Verbindung mit modernster Technik und zeitgemäßen Medien erlaubt es, besonders interessante Spektren zu analysieren. Die ästhetisch schönen Bilder, die beim Experimentieren unmittelbar auf dem Display sichtbar werden, haben eine große Aussagekraft und fordern kreatives Experimentieren heraus. Der hervorstechendste Vorzug der Apparatur ist darin zu sehen, dass sie mit heutigen Mitteln schnell und kostengünstig selbst hergestellt werden kann. Teile der Physiksammlung und ein paar Kleinteile aus Versteigerungen oder dem »eigenen Museum« sowie eine mittlerweile häufig anzutreffende digitale Spiegelreflexkamera stellen die Basis für den Einstieg in die faszinierende Welt der optischen Spektroskopie dar.

1 Idee und Bau

Ausgehend von einem Modell mit einer webcam¹ werden die vielfältigen Möglichkeiten einer digitalen Spiegelreflexkamera genutzt, um mobil Spektren aufzunehmen und anschließend auch quantitativ auszuwerten. Der Aufbau der Apparatur ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

Die entscheidende Idee ist, das Gitter in den Zwischenringen (Abb. 2) zu befestigen. Dadurch erhält die Apparatur

die notwendige Stabilität. Hierfür eignet sich besonders das 50 mm x 20 mm große Strichgitter der Firma Leybold Didactic, das man gut in die Zwischenringe einpassen kann.

Der letzte Zwischenring vor dem Objektiv wird mit einer Flex an beiden Seiten so angeschnitten, dass das Strichgitter gerade eingeführt werden kann (Abb. 3). Eine 125 mm-Trennscheibe hat gerade die notwendige Dicke für das Gitter. Die Kanten werden entgratet und das Gitter wird mittels Klebeband temporär befestigt.

¹ <http://www.jufo.stmg.de/2001/Spektroskopie/Spektroskopie.php>

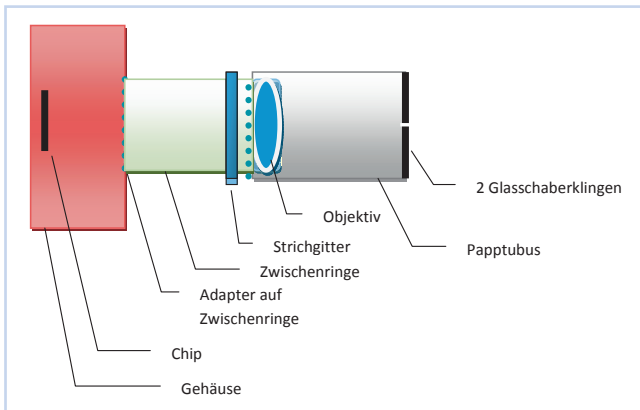


Abb. 1. Schematischer Aufbau der Apparatur

M42 Zwischenringe sind preisgünstig zu erhalten und haben für das verwendete Gitter die richtige Dimension. Bis auf den letzten Zwischenring mit Gitter können die restlichen auch durch einen Balgen ersetzt werden, der mit seiner variablen Länge eine gute Fokussiermöglichkeit gestattet. Das preisgünstige und qualitativ hochwertige Vergrößerungsobjektiv ist leicht, von den Abmessungen her klein und hat eine ausreichende Lichtstärke. Über dieses wird ein passender

Papptubus gesteckt, dessen Länge mittels Linsengleichung auf die Linse und die Zwischenringlänge abgestimmt ist, so dass der mittels zweier Klängen gebildete feine Spalt (Abb. 4) etwa 1:1 scharf auf dem Chip abgebildet wird. Abbildung 5 zeigt die Gesamtapparatur. Die technischen Daten sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

2 Theorie

Die Gittergleichung liefert den Zusammenhang zwischen Gitterkonstanten, Wellenlänge und makroskopischen Größen (Abb. 6):

$$k \cdot \lambda = g \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{y}{x}\right)\right)$$

Für die verwendeten Bauelemente erhält man

$$x \approx 100 \text{ mm} \text{ und } 2y < 26 \text{ mm.}$$

Damit gilt für die Abschätzung des Winkels:

$$\alpha < \arctan(0,13) = 7,4^\circ.$$



Abb. 2. Kamera mit Zwischenringen und Objektiv



Abb. 3. Schlitz im Zwischenring zur Gitteraufnahme

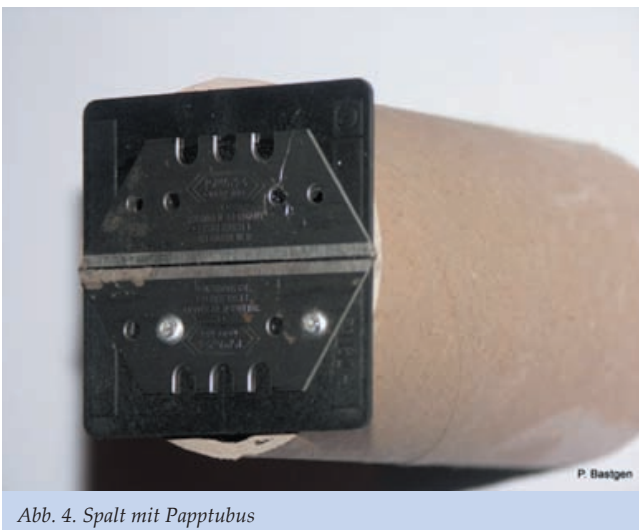


Abb. 4. Spalt mit Papptubus



Abb. 5. Gesamtapparatur mit lichtdichtem Klebeband

| | |
|---|--|
| CMOS-Sensor ² | |
| Größe | 26,6 x 15,8 mm |
| Maximale Auflösung | 4.288 x 2.848 Pixel |
| Auflösung (Linien nach ISO 12233) bei ISO 400 | 2.397 x 2.317 |
| Zwischenringe | |
| Format: | M 42 |
| Länge: | 70 mm |
| Objektiv | |
| Rodenstock Ysaron | 1:3,5 f = 50 mm Vergrößerungsobjektiv |
| Papptubus | |
| Länge: | 100 mm |
| Durchmesser Innen: | 49 mm |
| Spalt | |
| 2 Glasschaberklingen | Lutz-Industria |
| Spaltbreite: | ca. 0,1 mm |
| Strichgitter | |
| Leibold Didactic | Nr. 471 51; 100 Striche/mm; 50 mm x 20 mm |

Tab. 1. Technische Daten

Mit $\sin(7,4^\circ) = 0,1288$ und $\tan(7,4^\circ) = 0,1299$ ergibt sich ein maximaler Fehler von 0,8 %, wenn man die Näherung $\sin(x) \approx \tan(x)$ verwendet.

Demzufolge gilt in guter Näherung:

$$k \cdot \lambda = g \cdot \frac{y}{x} = \frac{g}{x} \cdot y = const \cdot y.$$

Die Apparaturkonstante hängt von der verwendeten Geometrie (Abstand Gitter – CMOS) und dem verwendeten Gitter ab und kann mittels einer Kalibrierungsmessung bestimmt werden. Ansonsten ist die Wellenlänge im Spektrum proportional zu y .

3 Kalibrierung und erste Messungen

Mit der Na-Linie (Abb. 7), die überall mittels Salz und einer Flamme verfügbar ist, oder mit einer Na-Lampe wird eine erste Messung gemacht, mit der die Apparatur kalibriert wird.

Kameraeinstellungen:

- Belichtungsautomatik: Zeitautomatik,
- Empfindlichkeit: ISO 400,
- Bildqualität: JPEG – fine .

Eine Balmerlampe wird fotografiert (Abb. 8).

Am Bildschirm kann die Entfernung der beiden Na-Linien³ z. B. mit einfachen Bildbearbeitungsprogrammen wie irfanview⁴ oder der Bildschirmlupe »screen caliper«⁵ in Pixeln bestimmt werden.

Hier in Word liest man mittels der Autoformfunktion 6,93 cm ab. Dieses Verfahren halbiert den relativen Messfehler.

Für die blaue Linie liefert Autoform 5,69 cm. Demzufolge ergibt sich

$$const = \frac{\lambda}{y} = \frac{589,3 \text{ nm}}{6,93 \text{ cm}} = 85,04 \frac{\text{nm}}{\text{cm}}.$$

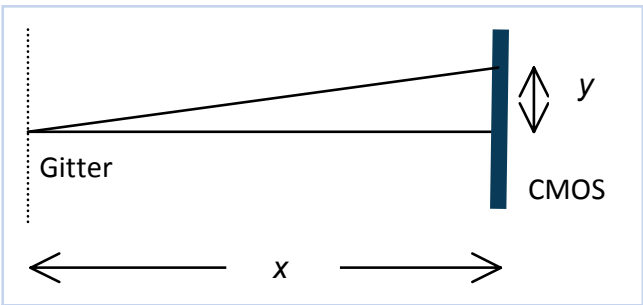


Abb. 6. Skizze zur Messfehlerabschätzung

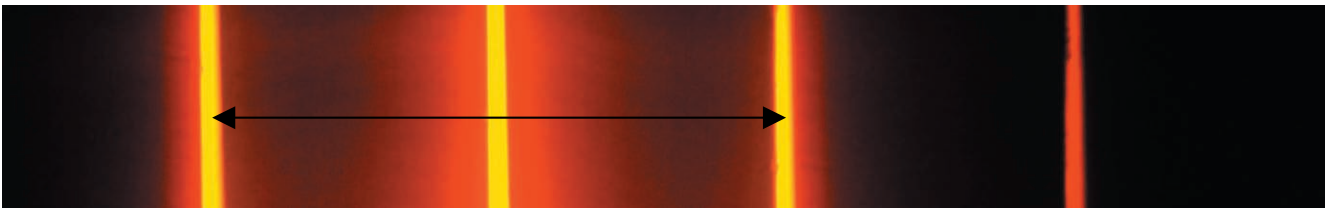


Abb. 7. Kalibrierspektrum mit Na-Licht

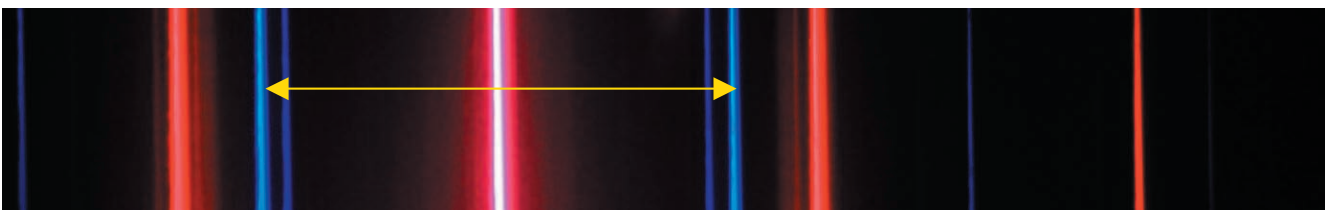


Abb. 8. Balmerspektrum

² http://www.chip.de/artikel/Nikon-D300-Digital-SLR-Test_30102659.html
³ <http://de.wikipedia.org/wiki/Natrium-D-Linie>: 589,0 nm und 589,6 nm
⁴ <http://www.irfanview.de/>
⁵ <http://www.iconico.com/caliper>

Die Wellenlänge der blauen Linie erhält man zu

$$\lambda = 85,04 \frac{\text{nm}}{\text{cm}} \cdot 5,69 \text{ cm} = 484 \text{ nm.}$$

Obige Fehlerabschätzung liefert als Ergebnis dieser Messung

$$\lambda = (484 \pm 3) \text{ nm.}$$

Der Literaturwert beträgt 486 nm. (GREHN & KRAUSE, 1998)

4 Ausblicke und Materialien

Diese relativ einfache Konstruktion gestattet eine schnelle qualitative sowie eine präzise quantitative Messung von Spektren im sichtbaren Bereich.

Möglicher Einsatz dieser Apparatur:

- Spektroskopie von Gasentladungslampen
- Gaschromatographie
- Untersuchung von LED
- Untersuchung der Emission von Signalleuchten im Straßenverkehr

- Untersuchung der Transmission von Brillengläsern
- Untersuchung von Energiesparlampen hinsichtlich der Banden

Die Untersuchung von Energiesparlampen zeigt, dass diese einen charakteristischen »Fingerabdruck« hinsichtlich der Spektralverteilung besitzen. Die Firma Voltimum GmbH⁶ liefert nach Registration umfangreiches Material. In Abbildung 9 wird das Spektrum einer Energiesparlampe mit den Literaturwerten verglichen.

Die für grundlegende Überlegungen im Bereich der Atom- und Quantenphysik notwendigen spektroskopischen Messungen können schnell, einfach und ausreichend präzise durchgeführt werden (Abb. 10).

Literatur

GREHN, J. & KRAUSE, J. (Hg.) (1998). *Metzler Physik*. Hannover: Schroedel.

<http://www.bastgen.de/schule/physik/12/Material/SpektroskopieMitDerDigitalkamera.htm> (2010).

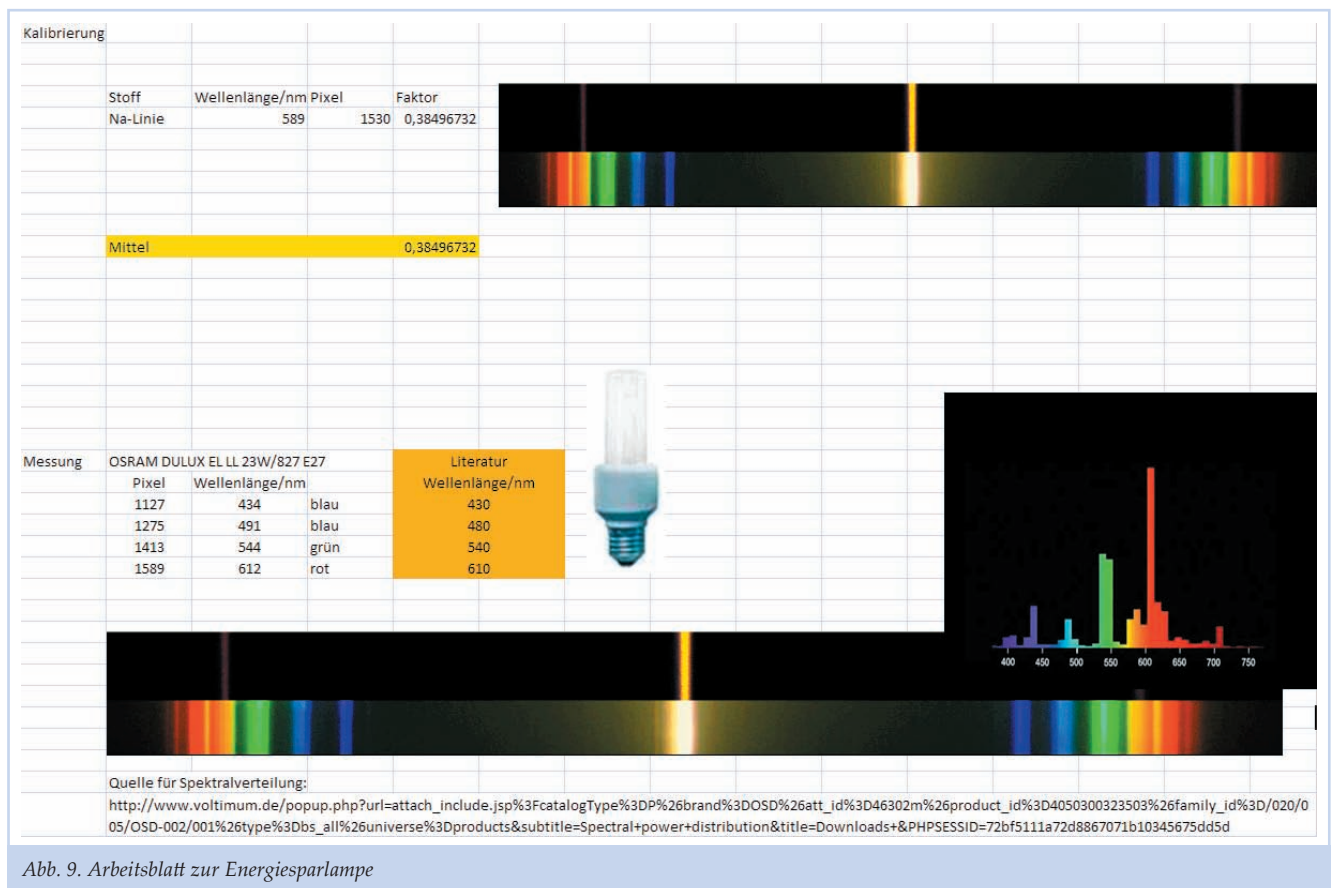


Abb. 9. Arbeitsblatt zur Energiesparlampe

⁶ www.voltimum.de/OSRAM-Produktkatalog.familyPage.OSD.Phtml (liefert nach kostenloser Registrierung die notwendigen Daten)

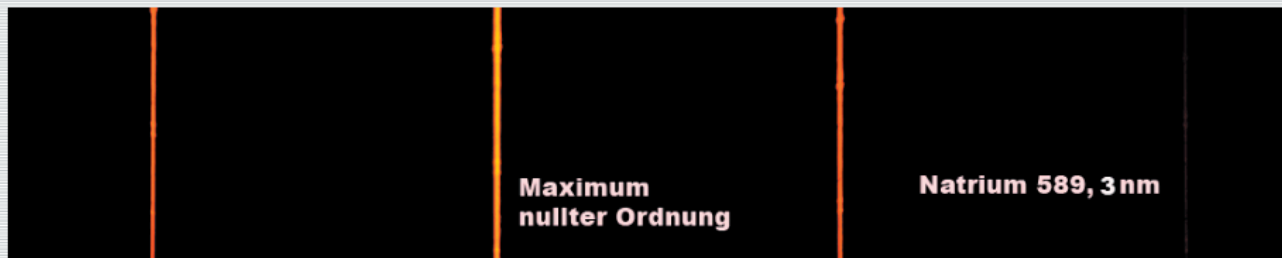
Spektroskopie mit der Digitalkamera

(Linktipp zum Ausmessen der Pixel: <http://www.iconico.com/caliper/>)

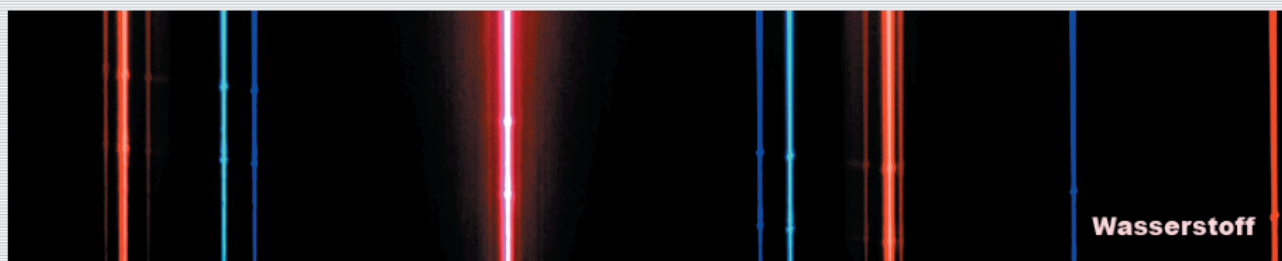
Aufnahmen von Peter und Patrick Bastgen mit einer umgebauten NIKON D300.
Gitter: Strichgitter 1000 Striche/mm

Aufgabe:

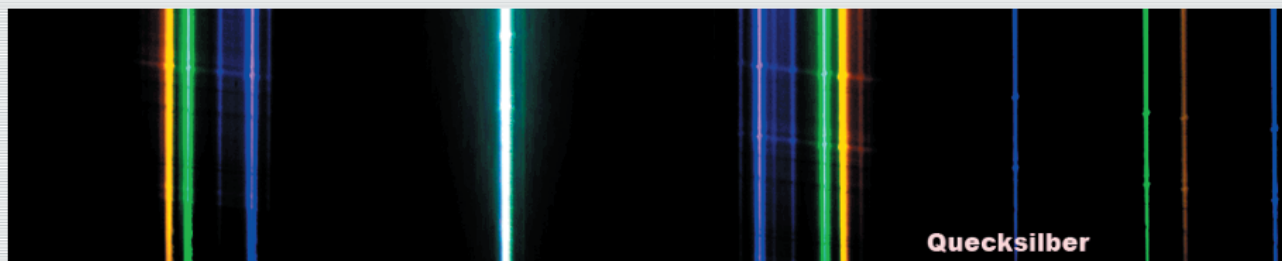
Bestimme die Wellenlängen der Wasserstoff und Quecksilberspektren mittels der Na-Linie und vergleiche sie mit den Literaturwerten



Kalibrierspektrumspektrum



Wasserstoffspektrum



Quecksilberspektrum

Abb. 10. Arbeitsblatt zur Spektralanalyse von Wasserstoff- und Quecksilberspektren

PETER BASTGEN, Physik- und Mathematiklehrer am Gymnasium Erfstadt-Lechenich, engagiert sich im Rahmen seiner Moderatorentätigkeit seit Jahren für einen praxisnahen und kontextorientierten Physikunterricht, in dem der Genderaspekt eine wichtige Rolle spielt. Insbesondere evaluiert er den Einsatz von Robotern als Messwerterfassungssysteme in den Physikunterricht. Die

vorliegende Arbeit entspringt der Idee seines Sohnes PATRICK BASTGEN, die Gebrauchsfähigkeit von Sonnenbrillen im Straßenverkehr im Rahmen einer Facharbeit zu diskutieren.

Anschrift: Karolingerstraße 44, 50374 Erfstadt, peter@bastgen.de

