

Aufbauanleitung und Ergänzungen zum Beitrag „Spektrometer für den Lichtwellenbereich“ in FA 11/10, S. 1168

■ Aufbau

Beim Hantieren mit dem Zeilensensor IC2 ist darauf zu achten, dass seine Oberfläche frei von Kratzern bleibt. Das Potenziometer RP1 und die Kontroll-LED sind nach dem Bestücken und Reinigen der Platine nachträglich auf die Leiterseite aufzulöten. Zwei M3-Schrauben, durch die 3-mm-Bohrungen gesteckt und mit Muttern arretiert, dienen später zur Montage der Elektronik an der Gehäuseseitenwand. Dabei soll das Zentrum des Zeilensensors 20 mm über der Gehäusebodeninnenseite zu liegen kommen, um sich in gleicher Höhe wie die optische Achse der Linsen zu befinden.

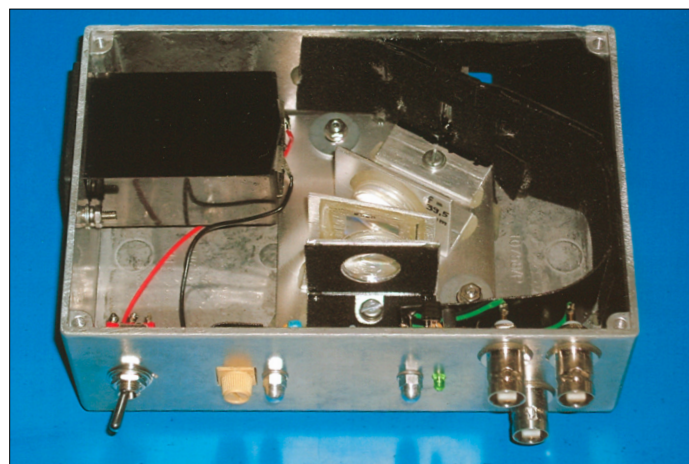


Bild 1: Ansicht des geöffneten Spektrometers; die Platine ist an der hinteren Seitenwand befestigt.

■ Funktionstest

Platine an 9 V anschließen – die grüne LED leuchtet auf. Analogausgang mit Oszilloskop beobachten (Messbereich 1V/Div), dabei die Startimpulse zur Triggerung nutzen. Bei Dunkelheit sollte jetzt ein leicht verrauschtes und stufig aussehendes Gleichspannungssignal von etwa 100 mV messbar sein. Geringe Beleuchtung lässt die ausgelesenen Pixel-Amplituden ungefähr gleichhoch ansteigen. Das partielle Abschatten des Lichts mit einer quer über die Zeile gelegten Nadel muss sich als Einbruch im Bild auf dem Oszilloskop bemerkbar machen. Durch Betätigen von RP1 ist die Bildwiederholfrequenz etwa im Bereich von 10 Durchläufen/s (10 Hz) bis 133 Durchläufen/s (133 Hz) variierbar, wobei höhere Bildraten mit proportional geringerer Lichtempfindlichkeit einhergehen und umgekehrt.

Die Komponenten *Sp*, *K*, *G* und *A* sind im Muster auf kleinen Blechwinkeln mon-

tiert. Es fanden 35 mm breite Stücke eines Aluminiumwinkelprofils mit 27,5 mm und 15 mm Schenkellänge aus dem Baumarkt Verwendung. Das für die Gitterfolie vorgesehene Stück muss aus Platzgründen auf der kurzen Schenkelseite schräg abgesägt werden, siehe Bild 4. Alle vier Winkel erhalten dort etwa mittig jeweils eine Montagebohrung von 4 mm. Auf den 27,5 mm langen Seiten der Bleche ist die optische Achse in 15 mm Höhe zu markieren. Zusammen mit der 5 mm dicken Grundplatte ergeben sich 20 mm Gesamthöhe über Gehäuseboden, passend zum Zeilensensor. Um die Achsenmarkierungen herum sind

Bild 2: Ansicht des geöffneten Spektrometers; die Platine ist an der hinteren Seitenwand befestigt.

Öffnungen wie folgt anzubringen:

- für den Spalt *Sp* ein Langloch von 4 mm Breite und 12 mm Höhe,
- für die Linsen *K* und *A* kreisrunde Öffnungen mit 15 mm Durchmesser,
- für Gitter *G* ein Rechteck mit 12 mm Höhe und 15 mm bis 18 mm Breite

In Bild 4 sind die in die Winkelbleche mit Zweikomponentenkleber (5-min-Epoxydharz) geklebten optischen Bauteile zu sehen. Beim Spalt sollte erst ein Rasierklingsstück genau senkrecht mit Kleber arretiert werden. Nach dessen Erhärten folgt die Platzierung der anderen Spalthälfte, am besten bei waagerechter Lagerung und von unten durchscheinendem diffusen Licht. Mit einer starken Lupe, besser noch mit

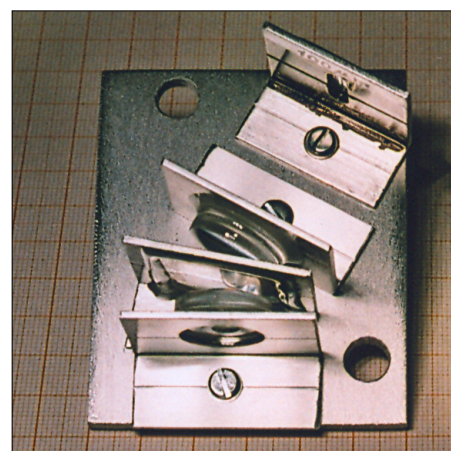
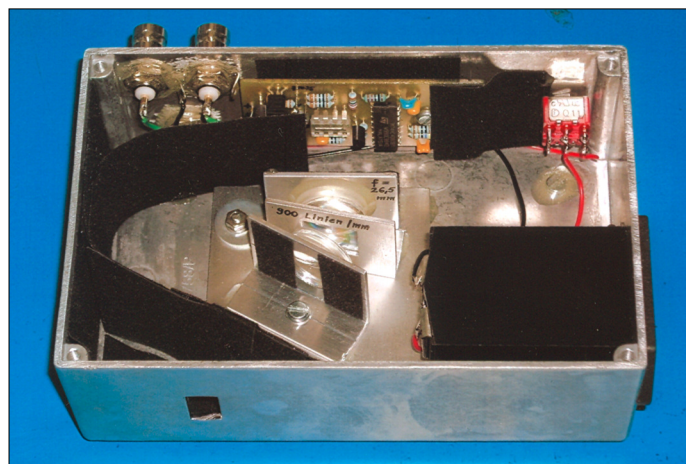


Bild 3: Ansicht der auf die Grundplatte montierten Optikleile

einem Taschenmikroskop mit Mikrometerskala, wird während des Erhärtens einiger zur Arretierung aufgetragener Klebertropfen das zweite Rasierklingsstück in 0,1 mm Abstand justiert. Sobald auch diese provisorische Heftung fest ist, erfolgt das endgültige Verkleben mit einer umlaufenden Naht. Die beiden Linsen sind mittig über das Loch im Winkelblech zu setzen (Planseite zeigt zum Blech) und anzukleben.

Für das Gitter ist von der Folie aus dem Sortiment von [3] ein Stück genau parallel zur Folienkante auszuschneiden, das et-



was größer als die rechteckige Öffnung im Trägerblech ist, und ebenso aufzukleben. Achtung: Das Gitter darf nicht um die optische Achse verdreht eingebaut werden, schon gar nicht um 90°. In letzterem Falle erfolgt die Lichtbeugung nicht zur Seite, sondern nach oben und unten.

Wenn die vier Optikkomponenten fertig sind, stellt man sie zunächst auf der Grundplatte auf, angeordnet wie in Bild 3. *K*, *G* und *A* müssen dicht benachbart stehen und die konvexen Seiten der Linsen dabei zum Gitter zeigend. Die Nennbrennweite 39,5 mm von *K* bezieht sich auf einen Punkt im Linseninneren. Der Abstand zwischen der flachen Seite von *K* und dem Spalt sollte also 37 mm betragen.

Wird nun einige Zentimeter vor Sp eine kleine Glühlampe oder weiß leuchtende LED platziert, so ist auf einem Stück Papier 25 mm hinter Linse A bereits ein farbiges Spektrum sichtbar. Durch leichtes Hin- und Herschieben von G und A parallel zur Winkelblechkante ist ein möglichst mittlerer Strahldurchtritt durch G und A einzustellen. Es sollte eine Anordnung wie in Bild 3 dabei herauskommen. Ist das erledigt, können die Positionen der vier Montage-löcher auf der Grundplatte markiert und dort M3-Gewindebohrungen angebracht werden. Nach Befestigen der vier Optikteile mit Zylinderschrauben M3x6 nebst Unterlegscheiben ist die optische Einheit komplett.

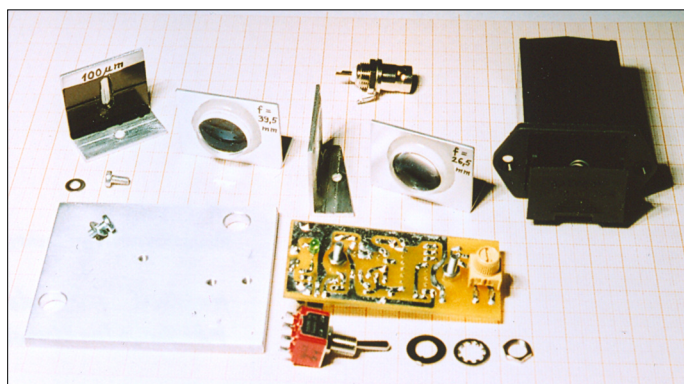


Bild 4:
Ansicht der für den
Einbau ins Gehäuse
vorbereiteten
optischen und
elektrischen
Baugruppen
Fotos: Franke

Nun sind am Aluminiumgehäuse alle Bohrungen und Durchbrüche herzustellen, um die Platine, den Schalter, die drei BNC-Buchsen und das Batteriefach montieren zu können. Die Lichteintrittsöffnung (12 mm hoch, gleiche Höhe 20 mm über Gehäusebodeninnenseite) sollte zum Ausgleich von Toleranzen lieber breiter als nötig ausgeschnitten werden – sie lässt sich später durch partielles Überkleben nach Bedarf seitlich verschieben.

Danach sind die elektrischen Komponenten einzubauen und zu verdrahten, wobei noch einmal ein Funktionstest erfolgen sollte, wie weiter oben beschrieben.

Von der optischen Endjustage hängt die Präzision des Spektrometers entscheidend ab. Zunächst setzt man die Optikeinheit in das Aluminiumgehäuse. Das Licht einer Energiesparlampe ist anhand der bekannten Wellenlängen der Quecksilber-Emissionslinien (hier: 404,6 nm, 435,8 nm, 546 nm und 611,4 nm) gut zur Kalibrierung geeignet. Durch leichte Verschiebung der Optikeinheit parallel zur Sensorzeile ist

die Lage der spektralen Peaks in eine Position gemäß der Bilder 9 oder 10 im Beitrag zu bringen. Dass übrigens gerade der visuelle Bereich von 400 nm bis 700 nm auf die Länge der Sensorzeile passt, liegt an der Brennweite der Linse A. Eine kürzere Brennweite als 26,5 mm ergäbe eine kleinere Abbildung des Spektrums und somit einen größeren von der Zeile erfassbaren Wellenlängenbereich, freilich verbunden mit verringerter Auflösung.

Jetzt muss noch die Justage in Strahlrichtung erfolgen. Wie aus Bild 2 des Beitrags hervorgeht, treffen sich die Brennpunkte der farbigen Bündel genau auf dem Schirm/Sensor. Dann ist die Abbildung maximal scharf, d.h., eine Linienquelle wie ein Laser

wird möglichst schmalbandig dargestellt, vgl. Bild 6 des Beitrags. Ein seitliches Wandern des einfallenden Strahls (X, Y, Z in Bild 2 des Beitrags) führt dann auch nicht zu einem Wandern der Laserlinie im angezeigten Spektrum. Beides lässt sich mit einem roten Laserpointer prüfen. Das Eintrittsloch am Aluminiumgehäuse wird hierzu mit einem weißen und gut durchscheinenden Papierstückchen abgedeckt und der darauf treffende Laserpunkt waagrecht hin- und herbewegt. Bei richtiger Einstellung des Abstandes zwischen Linse A und Sensorzeile ist die Spektrallinie im Oszilloskopbild maximal scharf und gleichzeitig möglichst ortsunveränderlich beim Bewegen des roten Lichtpunkts auf dem Papier. Diese Optimierung ist iterativ mit der dazu senkrecht ausgeführten und zuvor erläuterten Wellenlängenjustage auszuführen. Ist der beste Ort der Optikeinheit im Gehäuse gefunden, werden die zwei Befestigungslöcher am Gehäuseboden markiert, zwei M3-Bohrungen angebracht und die Einheit endgültig festgeschraubt.

Zuletzt ist noch das in Spektrometern übliche Streulichtproblem zu lösen. Durch die rechteckige Öffnung, aber selbst durch die LED und durch Ritzen eintretendes Licht findet zum Teil über Mehrfachreflexionen einen Weg direkt zur Sensorzeile. Am besten lässt sich das mit dem Laserpointer prüfen, dessen Strahl aus verschiedensten Richtungen auf die Eintrittsöffnung, die LED, den Schalter, die Fuge zwischen Gehäusewanne und Gehäusedeckel sowie die BNC-Buchsen zu richten ist. Sobald im Spektrum ein Signal außerhalb der Laserliniensollposition auftaucht, ist ein Pfad für Fremdlicht gefunden. Durch großzügiges Platzieren selbstklebenden schwarzen Velourspapiers im Gehäuse, wie in den Bildern 1 und 2 zu sehen, lässt sich Streulicht weitgehend unterbinden.

Wenn abschließend noch einmal alles kontrolliert wurde, sind die verstellbaren optischen Teile (Winkelbleche und Grundplatte) mit Klebertropfen zusätzlich zu arretieren. Nun ist das Spektrometer einsatzbereit.

Abschließend noch die Untersuchungen an LEDs, die nicht mehr Eingang in den Beitrag fanden.

■ Messungen

Gerade bei Körperfarben wird der Unterschied zwischen additiver und subtraktiver Farbmischung deutlich: Ein aus Rot und Grün bestehendes Licht, das von einer Farbbildröhre ins Auge gelangt, ruft dort einen sGelb-Reiz hervor. Dasselbe Mischlicht ist aber nicht imstande, gelbe Gegenstände naturgetreu wiederzugeben.

Stark im Vormarsch sind inzwischen LEDs. Ohne die Probleme der Sparlampen, wie dem trägen Anlauf und den Einsatz von Quecksilber, aufzuweisen und mit vergleichbarem bis besserem Wirkungsgrad, scheinen LEDs der Königsweg der Beleuchtungstechnik zu sein. Am Anfang der Entwicklung mischte man lediglich monochromes blaues, grünes und rotes Licht, wie es in Bild 5 beispielhaft zu sehen ist. Dieses Mischlicht-Weiß ist auch nicht besser als jenes der frühen Sparlampen (Bild 9 im Beitrag).

Das Spektrum einer Warmweiß-LED mit niedriger Farbtemperatur, wie in Bild 6, entsteht durch Mischung des Lichts einer Blau-LED mit der breitbandigen Fluoreszenz des aufgetragenen Leuchtstoffes. Derartige Lampen finden mittlerweile zune-

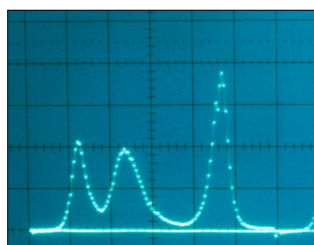


Bild 5:
Spektrum
des mit einer
RGB-LED
erzeugten
Weißlichts

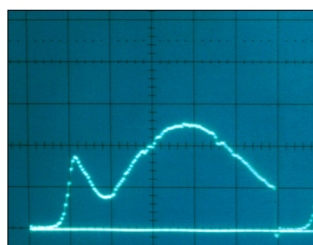


Bild 6:
Spektrum
einer
Warm-
weiß-LED

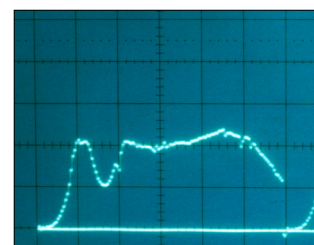


Bild 7:
Spektrum
einer
Eigenbau-
LED-
Leuchte

mend Akzeptanz. Für eine möglichst gute Farbwiedergabe im Heimbereich, besonders aber in Museen und Galerien, ist jedoch nach wie vor ein Licht ähnlich Bild 7 im Beitrag das angestrebte Ideal.

Durch sinnvolle Kombination handelsüblicher weißer und farbiger LEDs lässt sich dem bereits heute nahekommen. Bild 7 zeigt das Spektrum einer Eigenbauleuchte mit hohem Wirkungsgrad, deren Beschreibung einem späteren FA-Beitrag vorbehalten ist. Neben einem kleinen Makel, dem Einbruch im Blaugrün-Bereich, fällt das komplette Fehlen störenden Ultraviolets auf (vgl. Bild 8 im Beitrag), was beim Einsatz der Leuchte in Augennähe (Schreibtischlampe) gesundheitlich durchaus relevant ist.