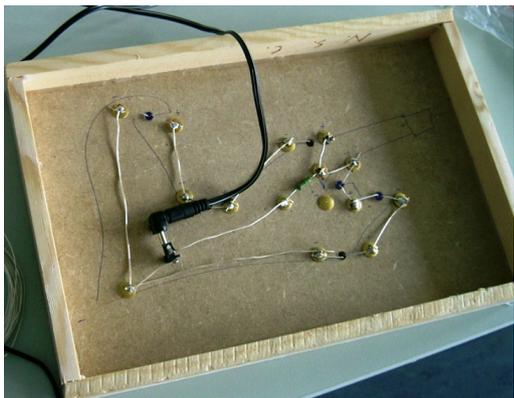


Dunkelwolkenmodell



Mit dem sogenannten Dunkelwolkenmodell kann demonstriert werden, wie Astronomen in oder hinter kosmischen Staubwolken Sterne auffinden können. Als Sterne fungieren NIR-Sendediode, die in eine Werkplatte hinter einem visuellen Bild einer Dunkelwolke montiert werden. Die für das Auge unsichtbaren Quellen lassen sich mit einer Digitalkamera nachweisen.

Da der Versuch besonders eingängig und einfach nachzubauen ist, eignet er sich besonders für Schüler, um einen Einstieg in die IR-Astronomie zu finden. Der Bau erfordert die Anwendung von Kenntnissen zu Stromkreisen. Die praktische Arbeit ist für die Schüler eine wichtige und erfreuliche Erfahrung.

Das Modell ermöglicht aber auch die Nachstellung astronomischer Arbeit: Auf einem Foto mit den sichtbar gewordenen Modell-Sternen sind deren Koordinaten zu ermitteln.



Information – Astronomie

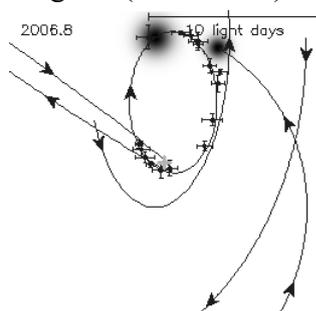
Der Blick ins galaktische Zentrum wird durch Staubwolken in der Milchstraßenebene (sogenannte Dunkelwolken) stark behindert (Bild links). Im Infraroten ist die Staubextinktion deutlich geringer und Einblicke werden möglich (Bild rechts).



Visuell: viel Staub



Infrarot: mehr Durchblick



Mit Hilfe von IR-Beobachtungen konnten Sterne beobachtet werden, die sich nahe dem Zentrum des Milchstraßensystems befinden. Die über Jahre hinweg beobachtete Bewegung dieser Sterne (die Bahnen von 5 zentrumsnahen Sternen sind im Bild links sichtbar) machte es möglich darauf zu schließen, dass sie ein supermassives Schwarzes Loch (Kreuz am unteren Rand der kleinsten Bahnellipse) umlaufen.

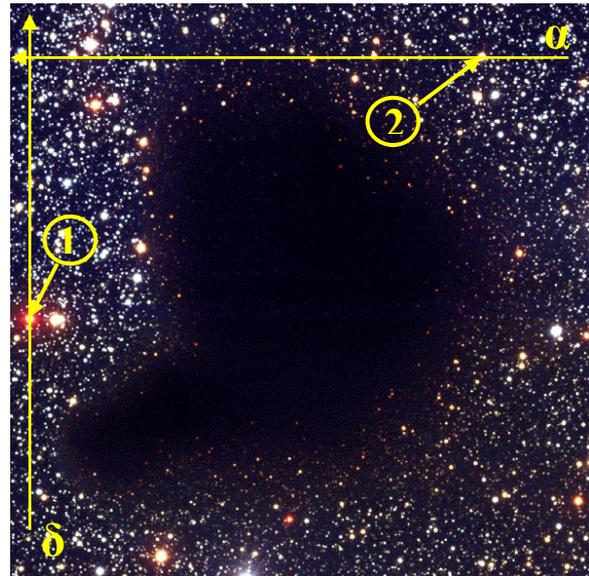
Aufgabe: Koordinatenbestimmung

Fotografiere B68 am Dunkelwolkenmodell mit einem Digitalfotoapparat bei eingeschalteten NIR-Leuchtdioden. Auf dem Bild wirst du im Bereich der Dunkelwolke einige Sterne sehen, die mit bloßem Auge nicht sichtbar sind. Drucke das Bild aus bzw. stelle es auf dem Bildschirm dar. Bestimme mit Hilfe der in der rechten Abbildung für die Referenzsterne 1 und 2 gegebenen Himmelskoordinaten (Rektaszension α , Deklination δ) die Koordinaten der neu „entdeckten“ Sterne.

Stern 1: $\alpha = 17^{\text{h}} 23^{\text{min}} 23^{\text{s}}$, $\delta = -23^{\circ} 50' 43''$

Stern 2: $\alpha = 17^{\text{h}} 23^{\text{min}} 6^{\text{s}}$, $\delta = -23^{\circ} 48' 31''$

Es wird angenommen, dass die Koordinaten in diesem Himmelsgebiet durch ein kartesisches Koordinatensystem beschrieben werden können, dessen Achsen (α -Achse und δ -Achse) wie in der Abbildung gezeigt verlaufen.



Vorgehensweise

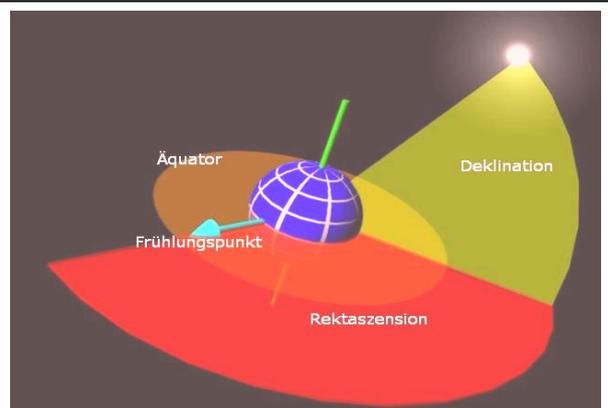
Miss die Abstände in α - und δ -Richtung mit einem Lineal auf dem Ausdruck oder mit der Maus auf dem Bildschirm (Pixeldifferenz). Rechne dann diese in Millimetern oder Pixeln angegebenen Abstände in das Zeitmaß (für α) oder das Gradmaß (für δ) um, wobei die Referenzsterne den Maßstab liefern. Die fertigen Koordinaten erhältst du dann einfach durch Hinzufügen oder Abziehen der Ergebnisse von den Koordinaten der Referenzsterne.

Stern Nr.*	Abstand zum Referenzstern 1 in α -Richtung (mm oder Pixel)	Abstand zum Referenzstern 2 in δ -Richtung (mm oder Pixel)	α (h min s)	δ ($^{\circ}$ ' ")
1	0		$17^{\text{h}} 23^{\text{min}} 23^{\text{s}}$	$-23^{\circ} 50' 43''$
2		0	$17^{\text{h}} 23^{\text{min}} 6^{\text{s}}$	$-23^{\circ} 48' 31''$
3				
4				
5				
6				
7				

(*1 und 2 sind die Referenzsterne)

Information – Mathematik

In der Astronomie finden verschiedene sphärische Koordinatensysteme Anwendung. Im fest mit der scheinbaren Himmelskugel verbundenen Äquatorsystem werden die Deklination δ (entspricht dem Breitengrad auf der Erde) und die Rektaszension α (entspricht dem Längengrad auf der Erde) gemessen. Während δ in Grad, Bogenminuten und Bogensekunden ($^{\circ}$,',") angegeben wird, verwendet man für α die Zeiteinheiten Stunden, Minuten und Sekunden (h, min, s). Die rotierende Erde bedeutet: $360^{\circ} \rightarrow 24 \text{ h}$.



Selbstbau des Dunkelwolkenmodells

Materialliste

- ein leerer Joghurtbecher mit
 - 5 NIR-Lumineszenzdioden (5 mm) vom Typ: TSAL 6100 (940 nm), TSHF 5410 (890 nm), LI521 (870 nm), ...
 - 2 Einbaubuchsen für Bananenstecker (4 mm, 10 A), 2 Bananenstecker
Alternative: 1 Lüsterklemme samt kleiner 10 mm Holzschraube
 - evt. 1 Druckschalter
 - 10 Heftzwecken (Stahl vermessingt)
 - 20 cm Draht
 - Widerstand nach Bedarf (je nach Ausgangsspannung des Steckernetzteils)
- Stecker-Netzteil z. B) 9 V DC, 250 mA (Stromquelle aus Ph-Sammlung möglich)
- MDF-Platte (18 cm x 18 cm x 1 cm)
- Holzleiste (80 cm x 4 cm x 0,5 cm)
- 10 Nägel (Länge etwa 2 cm)
- Klebstoff für Holz
- 2 Farbausdrucke eines quadratischen Feldes identischer Lage und Größe von Aufnahmen der Dunkelwolke Barnard 68 (B 68) oder des Konus-Nebels (oder ...) im NIR und im Visuellen, Größe 18 cm x 18 cm
- Dicke Folie als Schutzabdeckung des Farbausdruckes

Werkzeugliste

- Bohrmaschine, Holzbohrer (5, 6, 8, 10, 12 mm)
- Kleiner Schlosserhammer
- Seitenschneider, Abisolierzange
- Laubsäge, Sandpapier
- Schere, Messer, Cutter-Messer
- Lötset (LötKolben, Ablage, Lötzinn, evt. Flussmittel)
- Schraubendreher für Lüsterklemme
- Evt. Kreuzschlitz-Schraubendreher für kleine Holzschraube (ca. 10 mm lang)
- Universalmessgerät, 2 Verbindungsleiter, 2 Krokodilklemmen
- Lineal, Dreieck, Bleistift, Radiergummi



Festlegung der Positionen der LEDs.



Eindrücken der Heftzwecken.



Auflöten der LEDs.

Arbeitsanleitung

- 1.) Der Ausdruck des im Visuellen aufgenommenen Bildes von B68 ist auszuschneiden (18 cm x 18 cm).
- 2.) Die Positionen der Modellsterne (5) im Gebiet der Dunkelwolke sind auf der MDF-Platte zu markieren. (Dazu kann man die Positionen der auf der NIR-Aufnahme von B68 erscheinenden Sterne in der Wolke nutzen.)
- 3.) Nun werden die 5 Löcher für die LEDs gebohrt (5 mm-Bohrer) und rückseitig mit dem 6 mm-Bohrer etwa 4 mm tief erweitert.
- 4.) Jetzt sollte man sich Gedanken machen, wie man die 5 LEDs zusammenschaltet, so dass der entsprechende Strom in Durchlassrichtung fließt, aber nicht überschritten wird (!). Reicht die Spannung des Steckernetzteils aus, so könnte man z. B. alle 5 Dioden in Reihe schalten und die exakte Anpassung durch einen Vorwiderstand erreichen. Dafür sollte man zuvor die Spannung des Steckernetzteils genauer bestimmen (messen), weil dabei großen Abweichungen zum angegebenen Wert auftreten können. Eine Kombination aus Reihen- und Parallelschaltung bietet ein Spektrum an Möglichkeiten. Der Leitungsverlauf sollte mit Bleistift aufgezeichnet werden, wobei die Polung deutlich markiert werden sollte.
- 5.) Nun können die 5 LEDs rückseitig eingesteckt (Polung beachten: abgeflachte Seite der Diode zeigt die Katode, d. h. den negativen Pol) werden.
- 6.) Zur Verbindung der Dioden reichen oft schon ihre Kontaktdrähte aus, die entsprechend des Schaltungsverlaufes umgebogen werden sollten. Jeweils 2 benachbarte Kontaktdrähte enden auf dem Kopf einer zuvor passend eingedrückten Heftzwecke, wo sie angelötet werden. (Die Zwecken halten zugleich die Schaltung an der Platte.)
- 7.) Der Schaltkreis wird nun vervollständigt durch einen Vorwiderstand zur Strombegrenzung (optional) und Anschlussdrähte, die zu Einbaubuchsen für Bananenstecker oder einfach zu einer Lüsterklemme führen. (Dort wird letztlich das Netzteil angeschlossen: Polung deutlich vermerken) Ein Druckschalter könnte auch noch eingebaut werden.
- 8.) Die Stromzuführung des Steckernetzteils ist mit Bananensteckern zu versehen.
- 9.) Im Folgenden werden von der 5 mm dicken und 4 cm breiten Holzleiste zwei 18 cm und zwei 19 cm lange Stücke abgesägt. Die Leistenstücke werden als Umrahmung der Platte angebracht (Klebstoff und Nägel). Die Umrahmung sollte etwa 5 mm über die Bildebene ragen. Rückseitig schützt sie mit 25 mm Überstand die Schaltung und ermöglicht, das Modell vertikal aufzustellen. In die Leiste können zudem die Einbaubuchsen für die Stromzuführung vom Netzgerät und evt. der Schalter eingebaut werden.

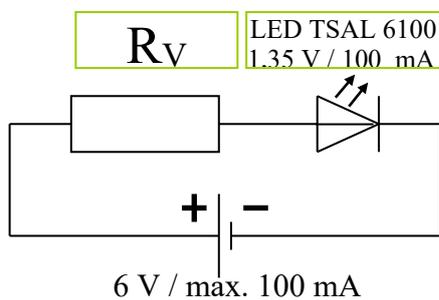
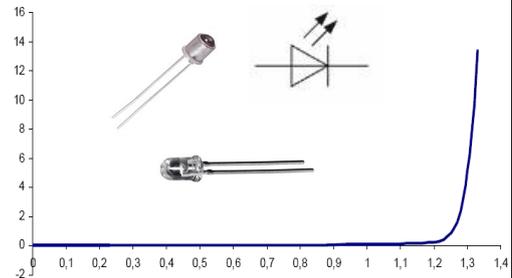


- 10.) Abschließend wird das anfangs ausgeschnittene Bild in den Rahmen gesetzt, evt. durch eine stabile Klarsichtfolie abgedeckt und unauffällig befestigt.
- 11.) Ein Funktionstest mit einer Digitalkamera zeigt, ob alle Verbindungen leitend sind. Sollten die LEDs nicht funktionieren, so kann die Schaltung mit Hilfe eines einfachen Universalmessgeräts schrittweise auf Stromfluss getestet werden.

Vorwiderstand und Verlustleistung

Berechnung der Vorwiderstände

Laut U-I-Kennlinie (im Diagramm ist I in mA über U in V aufgetragen) können kleine Spannungsdifferenzen bei Dioden zu großen Stromschwankungen führen. Daher ist der zum Betrieb von Dioden erforderliche Betriebsstrom die maßgebliche Größe zur Berechnung von Vorwiderständen R_V .



Beispiel

Eine Leuchtdiode für NIR-Licht bei 940 nm (siehe Bild links) besitzt die typischen Betriebswerte von $I=100\text{mA}$ (Durchflussstrom) und $U_{LED}=1,35\text{V}$ (Durchflussspannung). Die Diode soll durch eine Stromquelle mit der Gleichspannung $U_G=6\text{V}$ versorgt werden.

Man bestimme den Vorwiderstand R_V , der garantiert, dass die Diode mit einer Stromstärke von 100mA durchflossen wird. Man achte auch darauf, dass der Widerstand durch die in ihm erzeugte Ohmsche Wärme nicht zerstört wird (Verlustleistung).

$$R_V = \frac{U_V}{I_V} = \frac{U_G - U_{LED}}{I_V} = \frac{6\text{V} - 1,35\text{V}}{0,1\text{A}} = 46,5\ \Omega.$$

Im vorliegenden Modell wurden 5 LEDs in Reihe geschaltet. Es steht eine Spannung von 9 V zur Verfügung. Entsprechend ist zu rechnen:

$$R_V = \frac{U_V}{I_V} = \frac{U_G - U_{LED}}{I_V} = \frac{9\text{V} - 5 \cdot 1,35\text{V}}{0,1\text{A}} = 22,5\ \Omega.$$

Der in der Widerstandsreihe E12 angebotene Widerstand mit $22\ \Omega$ sollte genügen.

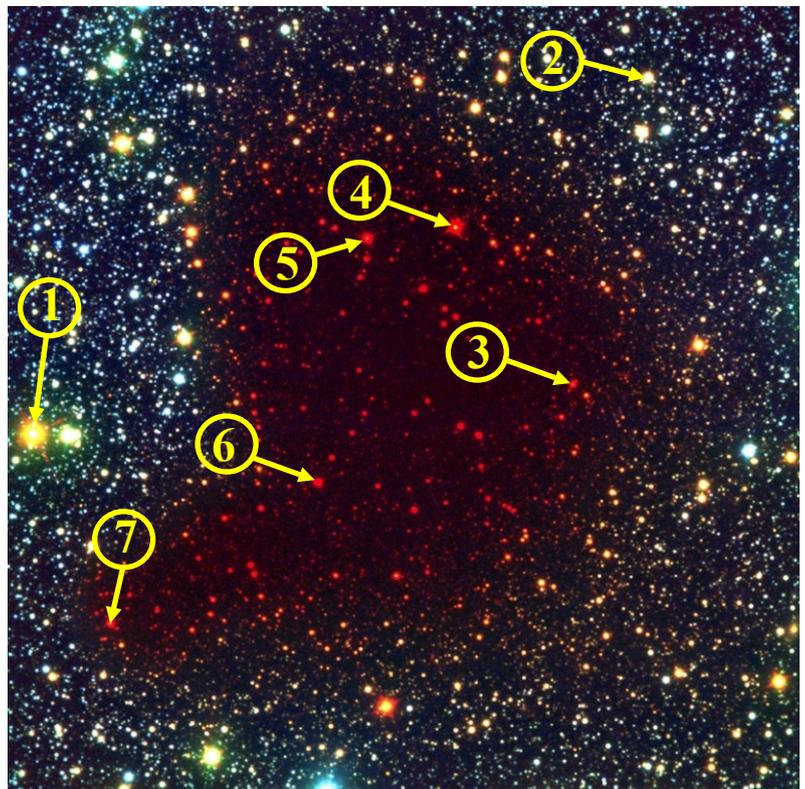
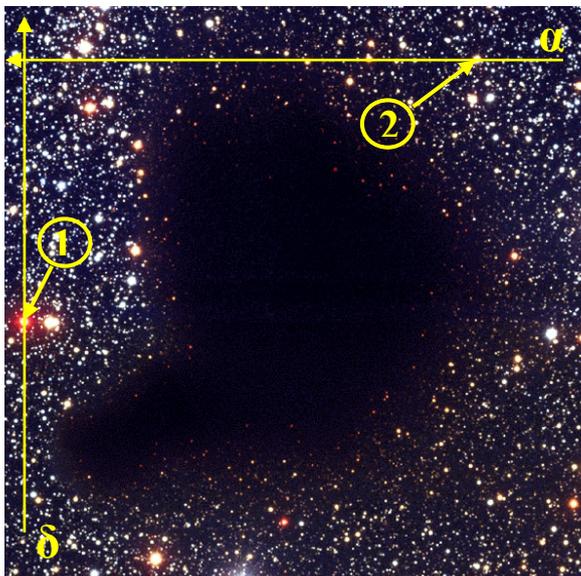
Trotzdem ist zu bedenken, dass die geringfügige Abweichung von $0,5\ \Omega$ (zu wenig) zwar eine leicht erhöhte Spannung an den LEDs ($67,5/(22+67,5) \cdot 9\text{V} \approx 1,357\text{V}$), aber damit eine schon stärker erhöhte Stromstärke (nach Kennlinie) zu Folge hat.

Bei einem Spannungsabfall am Widerstand von $2,25\text{V}$ ($9\text{V} - 5 \cdot 1,35\text{V}$) und einer Stromstärke von $0,1\text{A}$ kommt es zu einer Verlustleistung (Ohmsche Wärme) von

$$P_V = U \cdot I = 2,25\text{V} \cdot 100\text{mA} = 225\text{mW}.$$

Lösungen zur Koordinatenbestimmung

Da die Modellsterne im Dunkelwolkenmodell nach eigenem Ermessen angeordnet werden können, kann im Folgenden nur eine Musterlösung gezeigt werden, bei der die Modellsterne entsprechend sehr heller Sterne in der Dunkelwolke angeordnet wurden (siehe Bild unten).



Die absoluten Pixelpositionen wurden mit Hilfe des Bildbearbeitungsprogramms „Paint“ ermittelt. Die Werte in Klammern sind absolute Positionen (bezogen auf das Bild), die Werte ohne Klammern beziehen sich auf das eingeführte Koordinatensystem.

Seeing Through the Pre-Collapse Black Cloud B68
(VLT ANTU + FORS 1 - NTT + SOFI)

ESO PR Photo 02b/01 (10 January 2001)

© European Southern Observatory



Stern Nr.*	Abstand zum Referenzstern 1 in α -Richtung (mm oder Pixel)	Abstand zum Referenzstern 2 in δ -Richtung (mm oder Pixel)	α (h min s)	δ (° ' ")
1	0 (23 Pixel)	348 Pixel (420 Pixel)	17 ^h 23 ^{min} 23 ^s	-23° 50' 43"
2	596 Pixel (619 Pixel)	0 (72 Pixel)	17 ^h 23 ^{min} 6 ^s	-23° 48' 31"
3	524 Pixel (547 Pixel)	299 Pixel (371 Pixel)	$\approx -16,9$ s 17 ^h 23 ^{min} 6,1 ^s	$\approx +113''$ -23° 50' 24"
4	409 Pixel (432 Pixel)	145 Pixel (217 Pixel)	$\approx -13,2$ s 17 ^h 23 ^{min} 9,8 ^s	$\approx +55''$ -23° 49' 26"
5	324 Pixel (347 Pixel)	157 Pixel (229 Pixel)	$\approx -10,5$ s 17 ^h 23 ^{min} 12,5 ^s	$\approx +60''$ -23° 49' 31"
6	275 Pixel (298 Pixel)	395 Pixel (467 Pixel)	$\approx -8,9$ s 17 ^h 23 ^{min} 14,1 ^s	$\approx +150''$ -23° 51' 01"
7	74 Pixel (97 Pixel)	532 Pixel (604 Pixel)	$\approx -2,4$ s 17 ^h 23 ^{min} 20,6 ^s	$\approx +202''$ -23° 51' 53"

In α -Richtung entsprechen 596 Pixel einem Unterschied $\Delta\alpha$ von 17 s.
1 Pixel macht entsprechend $17/526=0,032319$ s aus.

In δ -Richtung entsprechen 348 Pixel einem Unterschied $\Delta\delta$ von 132".
1 Pixel macht entsprechend $132/348=0,37931''$ aus.