

Polarisationskamera

Erik Wischnewski

Zur Theorie der Polarisation und deren Messung sei auf einschlägige Literatur verwiesen, zum Beispiel „Astronomie in Theorie und Praxis“.

Messmethode der Polarisation

Es gibt prinzipiell drei Methoden, die Polarisation zu messen:

1. Polarisationsfilter
2. Strahlteiler (Wollaston-Prisma)
3. Polarisationskamera

Polarisationsfilter

Mit rund 100,- Euro ist man mit einem Polarisationsfilter günstig dabei, muss aber die vier Winkelpositionen nacheinander aufnehmen. Während dieser Zeit ändern leider sich die atmosphärischen Verhältnisse, was bei dunkleren Objekten sehr schädlich ist. Zudem ist der Arbeitsprozess während der Aufnahmen und die Kalibrierung des Polarisationswinkels sehr umständlich. Der Polarisationsgrad kann auf 1–3 % genau bestimmt werden.

Strahlteiler

Mit einem Strahlteiler erhält man die genauesten Ergebnisse, wie von Nicolaus Steenzen im Rundbrief 4/2018 dargestellt (0.1–0.3 %). Inklusive Kamera muss hierfür 5400,- Euro investiert werden (ohne 16-Bit-Kamera 3300,- Euro). Ein solches Polarimeter muss im Eigenbau hergestellt werden und erfordert handwerkliches Geschick.

Polarisationskamera

Wer den Eigenbau scheut und wem die Filtermethode zu aufwendig oder zu wetterabhängig erscheint, ist nun mit einem neuen Sony-Chip gut bedient. Dieser nimmt alle vier Winkelpositionen gleichzeitig auf und ist dadurch nicht auf eine stabile Wetterlage angewiesen. Darüber hinaus ist der Arbeitsprozess sehr einfach: Die Kamera wird fertig gekauft, direkt in den Fokus des Fernrohres montiert und braucht nur noch an ein Notebook angeschlossen werden.

Alkeria Celera One CO5MP

Sony hat den speziellen 12-Bit-Sensor IMX 264 MZR für industrielle Anwendungen entwickelt, der sich bedingt auch für die Astronomie eignet. Es gibt einige Hersteller wie Alkeria, Baumer, Lucid und andere, die den Chip verbaut haben. Die Modelle unterscheiden sich vor allem in der Art der Stromversorgung, der maximalen Belichtungszeit, dem Preis und dem Service. So entschied sich der Verfasser für das Modell Celera One CO5S-MP der italienischen Firma Alkeria. Kaufentscheidend waren die USB-Stromversorgung für eine „bezahlbare“ Kamera und der sehr gute Service.

Die Firma liegt übrigens nur einen ausgedehnten Spaziergang von der Gravitationswellenanlage VIRGO entfernt.

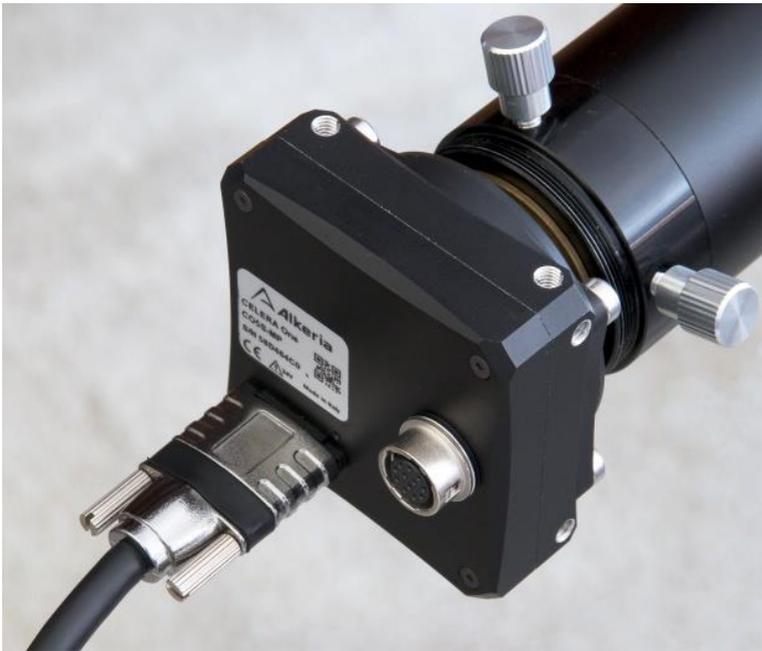


Bild 1: Polarisationskamera Alkeria Celera One CO5S-MP mit USB3-Anschluss, über den auch die Stromversorgung läuft.

Der Preis der Kamera inkl. einem speziellen USB3-Kabel, Versandkosten und 22 % ital. Umsatzsteuer betrug 1630,- Euro (18.10.2023).

Die maximale Belichtungszeit von fünf Sekunden wirkt zwar auf den ersten Blick wie ein großer Nachteil, doch wird dieser durch die Möglichkeit, Serienaufnahmen zu machen, wieder ausgeglichen. Die zugehörige Software lässt kaum Wünsche übrig.

Die Kamera verstärkt das analoge Signal des Sensors bis zu 24 dB entsprechend 16-facher Verstärkung (vergleichbar mit ISO 100 bis ISO 1600).

Um die in der Astronomie üblichen Bildserien stapeln zu können, müssen alle Bilder erst einmal in ihre vier enthaltenen Polwinkelbilder separiert werden. Ein eigenes Softwareprogramm pickt sich alle Dateien eines angegebenen Dateiordners heraus, trennt die Bilder und schreibt die Ergebnisdateien in vier Unterverzeichnisse. Damit wird aus einer Datei der Größe 2464×2056 Pixel vier halb so große Dateien mit 1232×1028 Pixel. Diese werden jeweils mit Fitswork unter Verwendung eines doppelt so großen Swarp-Bildes gestapelt, welches später auch photometriert wird.

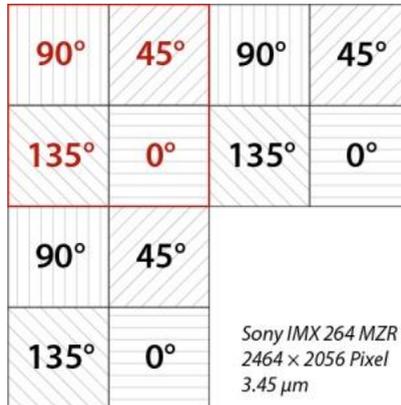


Bild 2: Der Sony-Sensor IMX 264 MZR mit vorgesetzten Polarisationsfiltern in den vier Durchlassrichtungen.

Ähnlich wie bei einem Farbsensor mit Bayer-Matrix, wo jeweils ein Superpixel aus vier Pixeln mit vorgesetzten Farbfiltern (z.B. RGGB) steht, besteht beim Sony IMX 264 MZR ein Superpixel aus den vier Pixeln mit vorgesetzten Polarisationsfiltern in den Ausrichtungen 90°, 45°, 135° und 0°.

Genauigkeit

Für die Untersuchung der Genauigkeit wurde der offene Sternhaufen Messier 29 gewählt. Die Aufnahmen erfolgten mit einem ED-Apochromat 127/950 mm und einem UV/IR-Sperrfilter. Insgesamt wurde 46 min bei Gain 88 belichtet (550 Bilder je 5 Sek.). Die in Kaltenkirchen erreichte Grenzgröße liegt bei $G_{BP} = 20.0$ mag.



Bild 3: Offener Sternhaufen Messier 29

Bei einem Sternhaufen haben die Sterne mit hinreichender Genauigkeit jeweils die gleiche Entfernung und unterliegen somit der gleichen interstellaren Polarisation. Davon ausgehend, dass die Sterne der beiden Haufen keine intrinsische Polarisation besitzen und somit nur unpolarisiertes Licht aussenden, würde der gemessene Mittelwert eines Sternhaufens auch der interstellaren Polarisation zwischen ihm und uns entsprechen. Die ebenfalls enthaltene instrumentelle Polarisation dürfte in den meisten Fällen untergeordnet sein.

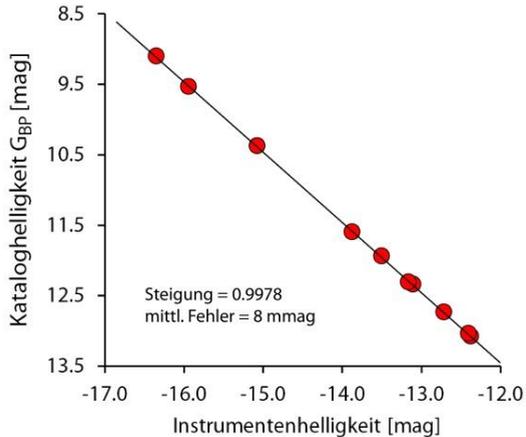


Bild 4: Helligkeitsdiagramm des offenen Sternhaufens Messier 29. Für die Messung wurden 550 Aufnahmen mit der Polarisationskamera zu je 5.0 s Belichtungszeit bei Gain 88 addiert. Zur Kalibrierung wurde lediglich ein Dunkelbild aus 20 Aufnahmen verwendet, die wegen der Temperaturabhängigkeit unmittelbar im Anschluss aufgenommen wurden.

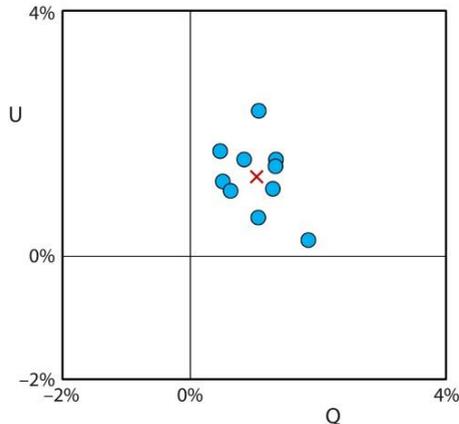


Bild 5: Polarisationsdiagramm von Messier 29. Das Streufeld repräsentiert die Genauigkeit, das rote Kreuz die interstellare Polarisation zwischen M 29 und der Erde einschließlich der (geringen) instrumentellen Polarisation.

Je mehr Aufnahmen addiert werden, umso besser wird das Signal-Rausch-Verhältnis und umso genauer das Ergebnis. Andererseits sind damit lange Belichtungszeiten verbunden. Der mittlere Fehler beträgt bei 550 Bildern 1.2% (bei 100 Bildern 1.3% und bei 20 Bildern 1.5%).

Hubble's Variable Nebula

Der auch als NGC 2261 bekannte Nebel des Veränderlichen R Monocerotis ist sehr staubhaltig und sein Licht erreicht Polarisationsgrade von 12–26 %.

Es wurden 200 Aufnahmen zu je 5.0 s bei Gain 240 am ED-Triplett 127/950 mm gemacht. Stern und Nebel wurden mit verschiedenen Blenden vermessen. Gleichzeitig wurden der Stern und mehrere Umgebungssterne mit dem PSF-Verfahren photometriert. Für den Nebel erhielt ich einen Gesamtpolarisationsgrad von 13.6 ± 2.0 % und einen intrinsischen Polarisationsgrad von 14.2 ± 2.4 %.

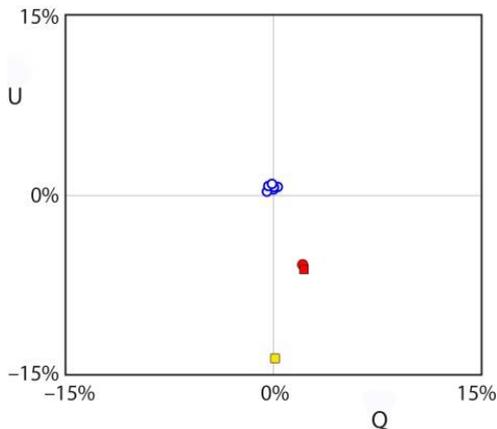


Bild 6: Polarisationsdiagramm von NGC 2261 mit den Einzelmessungen der sechs ausgewählten Umgebungssterne (blau). Der rote Kreis markiert die PSF-Messung, das rote Quadrat die Blendenmessung des Sterns. Das gelbe Quadrat markiert die Blendenmessung des Nebels.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Verwendung der Polarisationskamera *Alkeria Celera One CO5MP* für folgende Objekte möglich und sinnvoll ist:

- Objekte mit mehr als 3 % Polarisation, wenn eine Signifikanz von 98 % gewünscht ist.
- Objekte mit mehr als 2 % Polarisation, wenn eine Signifikanz von 90 % genügt.

Damit dürften vor allem Kometen in Betracht kommen, die Polarisationsgrade bis zu 30 % aufweisen und während ihrer Sichtbarkeit sehr stark schwanken.

Literatur

Steenken, Nicolaus: Polarimetrie an veränderlichen Sternen, BAV-Rundbrief 2018, Heft 4, Seite 143–146

Wischnewski, Erik: Astronomie in Theorie und Praxis, 9. Auflage (2021), Eigenverlag, ISBN 978-3-948774-00-4

Wischnewski, Erik: Astronomie in Theorie und Praxis, 11. Auflage (Digitalausgabe 2024), Eigenverlag, ISBN 978-3-948774-20-2

Autor

Dr. Erik Wischnewski
Heinrich-Heine-Weg 13
24568 Kaltenkirchen
proab@t-online.de