



Aus der Reihe

Astronomie

Astronomical Bulletin Wischnewski

No. 27: Polarisation von M 29 und NGC 2261

Polarisation von M 29 und NGC 2261

Messungen mit der Polarisationskamera Celera One CO5S-MP

Abstract

The polarization measurements of the open cluster Messier 29 and Hubble's Variable Nebula (NGC 2261) carried out by E. Wischnewski on the usability of the 12-bit polarization camera Alkeria Celera One CO5S-MP in astronomy were presented in detail in ›Astronomie in Theorie und Praxis‹. In this work, a comparison is made with the work of W. A. Hiltner, which is considered a reference. Both series of measurements produce similar results and correlate with each other. From this it can be deduced that the camera examined is useful for astronomical purposes and delivers reliable results within its error limits. The average photometry error is 12 mmag, the average polarization error is 1.3 %. This makes the camera suitable for all objects with more than 5 % polarization. These are primarily comets, whose polarization changes significantly during their visibility.

Eine ausführliche Behandlung des Themas Polarisation finden Sie im dreibändigen Werk ›Astronomie in Theorie und Praxis‹, 11. Auflage (ISBN 978-3-948774-20-2).

Dr. Erik Wischnewski

Heinrich-Heine-Weg 13 • D-24568 Kaltenkirchen
proab@t-online.de • <http://www.astronomie-buch.de>

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Alle Rechte vorbehalten.

© Dr. Erik Wischnewski, Kaltenkirchen 2024

Version: 18.08.2024, 12:42:17

Introduction

In [1] wurde zum ersten Mal die Verwendung der Polarisationskamera Alkeria Celera One CO5S-MP für astronomische Zwecke beschrieben. Anhand des offenen Sternhaufens Messier 29 wurden Genauigkeitsbetrachtungen durchgeführt und Einsatzmöglichkeiten diskutiert. Ein weiteres Beispiel war Hubbles Variabler Nebel NGC 2261.



Abbildung 1 Polarisationskamera Alkeria Celera One CO5S-MP.

90°	45°	90°	45°
135°	0°	135°	0°
90°	45°	Sony IMX 264 MZR 2464 × 2056 Pixel 3.45 µm	
135°	0°		

Abbildung 2 Die Kamera besitzt einen Sony-Chip IMX 264 MZR als Sensor.

Durch die zusammenfassende Publikation im BAV-Rundbrief [2] fragte N. Steenken [3] nach einem Vergleich meiner Ergebnisse mit denen von W. A. Hiltner [5]. Dies war Anlass für die hier vorgelegte Überarbeitung der in [1] präsentierten Messungen.

Observations

Das Mess- und Auswerteverfahren wird in [1] beschrieben. Dort wurden zehn Sterne von Messier 29 vermessen, die nahezu dieselbe Entfernung und einen ähnlichen Farbindex B–V besitzen. Hiltner untersuchte neun Sterne, von denen fünf mit meiner Auswahl identisch sind. Die anderen vier Sterne habe ich nun meinem Messprogramm hinzugefügt und alle Sterne gegenüber [1] neu geordnet und nummeriert.

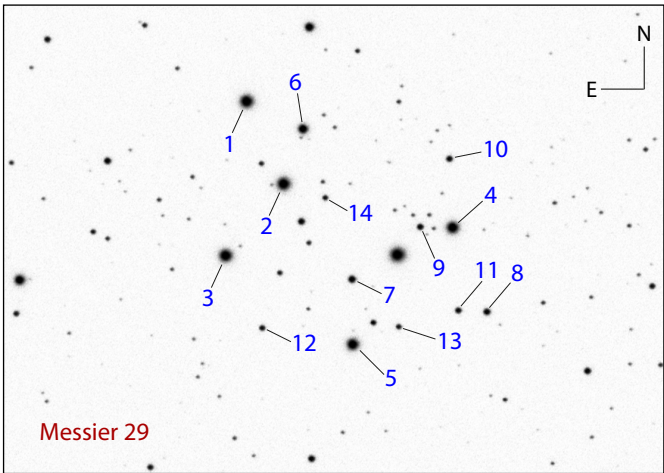


Abbildung 3 Offener Sternhaufen Messier 29 mit nummerierten Mitgliedern, sortiert nach Helligkeit G_{BP} .

Messier 29				
Nr.	Name	G_{BP}	Distanz	A_V
1	TYC 3152-1325-1	9.076	1402 pc	3.60 mag
2	HD 229234	9.107	1736 pc	3.30 mag
3	HD 229239	9.177	2259 pc	3.54 mag
4	TYC 3152-1451-1	9.391	1822 pc	3.78 mag
5	HD 229227	9.537	1852 pc	3.27 mag
6	TYC 3152-1309-1	10.383	1818 pc	3.15 mag
7	TYC 3152-522-1	11.599	1822 pc	3.33 mag
8	TIC 14207008	11.946	1847 pc	3.06 mag
9	TIC 14207176	12.312	1890 pc	
10	TYC 3152-1367-1	12.346	2024 pc	
11	TIC 14207009	12.370	1673 pc	2.91 mag
12	TIC 14206979	12.738	1810 pc	
13	TIC 14206981	13.045	1789 pc	
14	TIC 14207237	13.081	1815 pc	

Tabelle 1 Liste der untersuchten Sterne. Die Helligkeiten G_{BP} und die Distanzen stammen aus Gaia DR3, die visuelle Absorption A_V von D. L. Harris, in [5] zitiert.

Tabelle 1 enthält die Sterne in Messier 29, die von mir beobachtet wurden. Die Sterne 1 bis 8 und 11 wurden auch von Hiltner gemessen und nachfolgenden mit meinen Ergebnissen verglichen. Nach [5] soll der Sternhaufen eine Größe von 5 pc besitzen, was bedeuten würde, dass die Sterne 1, 2, 3, 10 und 11 nicht zum Haufen gehören.

Results

Messier 29

Helligkeitsprüfung | Zu Beginn einer jeden Photometrie, wozu auch die Polarimetrie gehört, prüfe ich, ob die gemessenen Instrumentenhelligkeiten linear zu den Kataloghelligkeiten verlaufen. Hierfür stehen seit Kurzem die sehr genauen Gaia-Helligkeiten zur Verfügung, wobei G_{BP} vom spektralen Verlauf her der betrachteten Kamera am besten entspricht.

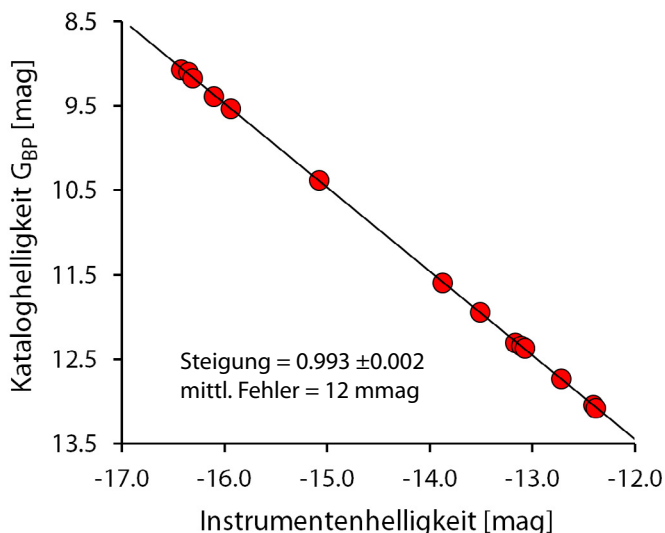


Abbildung 4 Vergleich meiner Instrumentenhelligkeit mit der Gaia-Helligkeit G_{BP} , die vom spektralen Verlauf nahe der spektralen Empfindlichkeit der Polarisationskamera ist.

Im Idealfall sollte die Steigung genau eins betragen und der mittlere Fehler möglichst klein sein. Mit einer Steigung von 0.993 ± 0.002 zeigt die Kamera eine sehr gute Korrelation zu den Gaia-Daten, ebenso ist der Fehler von 0.012 mag für eine 12-Bit-Kamera hervorragend.

Polarisationsprüfung | Eine zweite Prüfung betrifft auch die Helligkeiten, aber nach Aufteilung der Bilder in die vier Winkel des Sensors. Dabei entspricht die Summe zweier orthogonaler Strahlungsströme S der Helligkeit des Sterns. Da zwei solcher Orthogonalpaare zur Verfügung stehen, sollten diese gleich groß sein ($I = J$). Dies gilt genau genommen nur für den Fall, dass die zirkulare Polarisation verschwindet oder vernachlässigbar klein ist (vernachlässigbar gegenüber dem Messfehler).

$$I = S_{0^\circ} + S_{90^\circ} \quad (1)$$

$$J = S_{45^\circ} + S_{135^\circ} \quad (2)$$

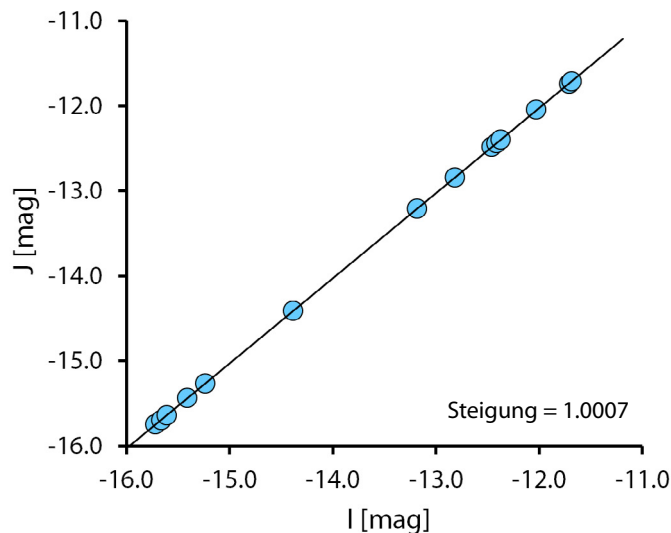


Abbildung 5 Vergleich der beiden orthogonalen Strahlungsstromsummen I und J .

Im Idealfall sollten beide Helligkeiten identisch sein, das heißt, die Steigung sollte genau eins betragen und die Gerade durch den Ursprung verlaufen. Die gemessene Steigung von 1.0007 ist recht gut, aber die Abweichung um 0.0007 symbolisiert auch den Messfehler bzw. die Genauigkeit der Kamera. Der Nulldurchgang (Ursprung) wird um genau den Wert verpasst, der dem mittleren Fehler von 0.012 mag entspricht.

Polarisationsdiagramm | In **Abbildung 6** sind die Strahlungsstromdifferenzen U und Q gegeneinander aufgetragen.

$$U = S_{0^\circ} - S_{90^\circ} \quad (3)$$

$$Q = S_{45^\circ} - S_{135^\circ} \quad (4)$$

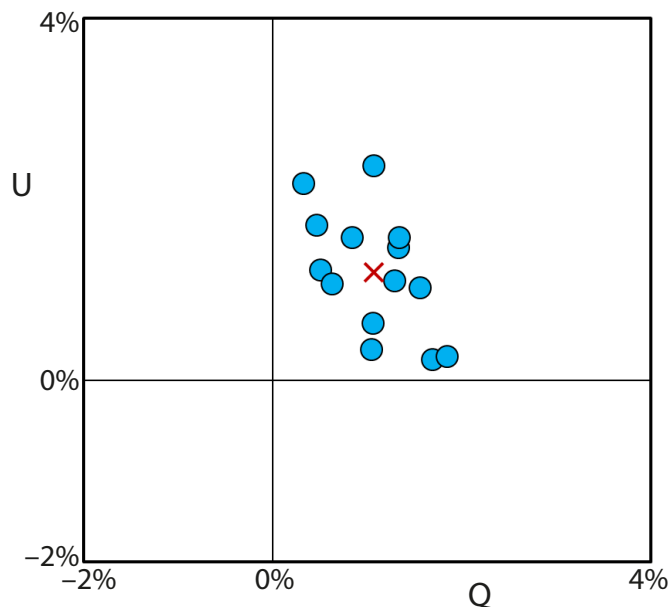


Abbildung 6 Polarisationsdiagramm von Messier 29, bei dem U gegen Q aufgetragen wird.

Sofern kein Stern instrinsische Polarisation besitzt, alle gleich weit entfernt sind und auch keine differentielle (zirkumstellare) Polarisation innerhalb des Sternhaufens vorliegt, sollten alle Messpunkte exakt aufeinander liegen. Die hier sichtbare Streuung bedeutet entweder, dass eine der eben genannten Voraussetzung nicht hinreichend gegeben ist, oder sie ist als Messfehler zu interpretieren.

Polarisationsgrad | Der Vergleich meiner Polarisationsmessungen mit denen von Hiltner ist in **Abbildung 7** dargestellt.

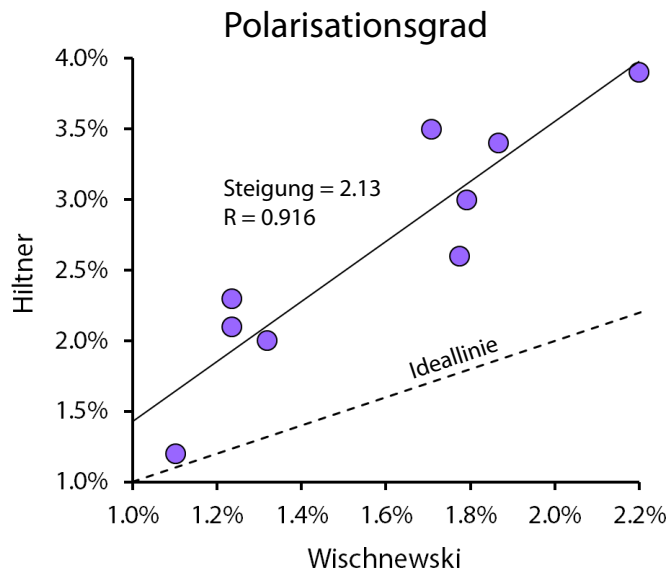


Abbildung 7 Vergleich der von mir gemessenen Polarisationsgrade mit denen von Hiltner [5].

Idealerweise sollten die Werte alle auf der gestrichelten Geraden liegen, die durch den Koordinatenursprung führt und eine Steigung von exakt eins besitzt. Für alle Sterne gilt, dass Hiltner eine etwa doppelt so große Polarisation gemessen hat als ich (Steigung = 2.13). Der Korrelationskoeffizient ist mit $R = 0.916$ allerdings noch recht gut. Der Grund für diese Abweichung ist unbekannt.

Polarisationswinkel | Der Vergleich der Polarisationswinkel ist in **Abbildung 8** dargestellt.

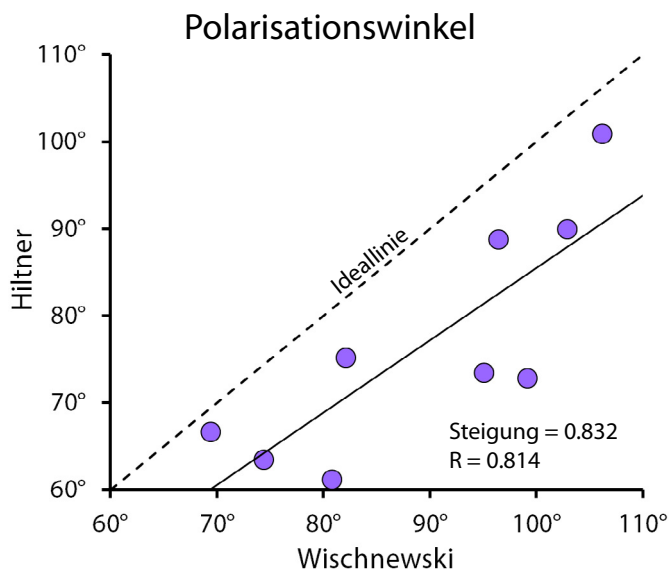


Abbildung 8 Vergleich der von mir gemessenen Polarisationswinkel mit denen von Hiltner [5].

Idealerweise sollten die Werte auch hier alle auf der gestrichelten Geraden liegen, die durch den Koordinatenursprung führt und eine Steigung von eins besitzt. Für alle Sterne gilt, dass Hiltner etwas kleinere Winkel gemessen hat als ich (Steigung = 0.832). Der Korrelationskoeffizient ist mit $R = 0.814$ auch hier recht gut.

Absorption | Die von Harris gemessenen und in [5] zitierten visuellen Absorptionswerte A_V können interstellarer und/oder zirkumstellarer (Staub und Gas innerhalb des Sternhaufens) Natur sein. Bei Vorhandensein eines Magnetfeldes sollte die Polarisation umso größer sein, je höher die Absorption ist.

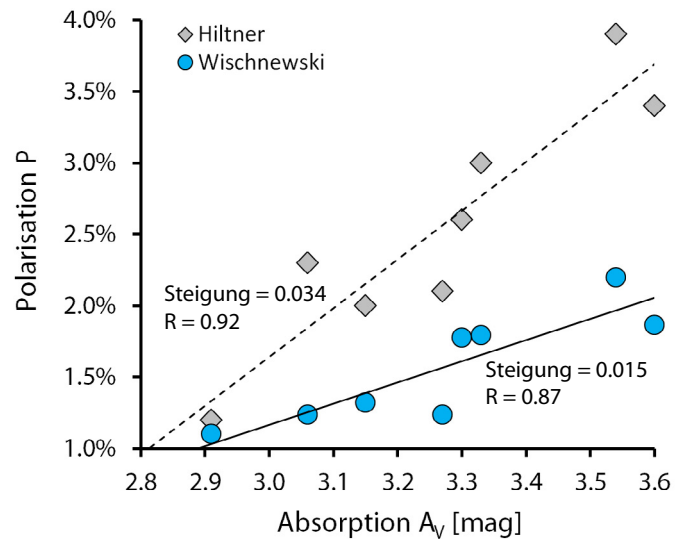


Abbildung 9 Polarisation in Abhängigkeit von der visuellen Absorption für die Messungen von Hiltner und Wischnewski.

In **Abbildung 9** sind die von Hiltner gemessenen Werte in Grau dargestellt. Hiltner gibt eine Steigung $P/A_V = 0.037$ an, während eine ungewichtete, lineare Regression bei mir 0.034 ergibt. Davon ausgehend, dass Hiltner eine gewichtete Regression gerechnet hat, stimmen die Werte überein. Die Korrelation beträgt bei Hiltner $R = 0.92$.

Eine Steigung von 0.037 bedeutet, dass der Polarisationsgrad um 3.7 % pro Größenklasse Absorption ansteigt. Bei mir beträgt der Parameter $P/A_V = 0.015$, was deutlich weniger ist. Das Verhältnis der Steigungen aus **Abbildung 9** beträgt 2.13, was etwa dem Wert der Steigung in **Abbildung 7** entspricht.

NGC 2261

Das auch *Hubble's Variable Nebula* genannte Objekt, das zum Veränderlichen R Mon gehört, emittiert nach Hall [7] stark polarisiertes Licht mit Polarisationsgraden zwischen 11.4 % und 33.6 %.

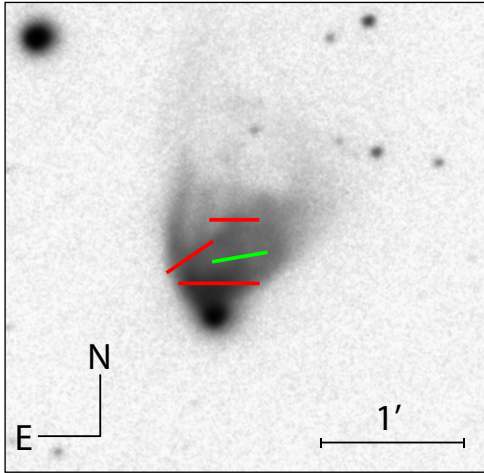


Abbildung 10 Polarisationmessungen im Hubble's Variable Nebula (NGC 2261) von Richard Hall (rot) und mir (grün).

Hall hat die Polarisation an 13 Punkten gemessen, ich nur an einem Punkt, der (leider) zwischen drei Punkten von Hall liegt. Mittelt man die drei Werte von Hall, so erhält man als genäherte Vergleichswerte P_H und PA_H :

$$\begin{array}{ll} P_H = 13.57\% & PA_H = 99.3^\circ \\ P_W = 13.6\% \pm 2.0\% & PA_W = 100^\circ \end{array}$$

Meine Ergebnisse P_W und PA_W liegen erstaunlich nah den Vergleichswerten von Hall.

Discussion

Die generelle Photometriegenauigkeit ist mit 0.012 mag für eine 12-Bit-Kamera sehr zufriedenstellend. Auch die Linearität ist bestens gegeben, wie in [Abbildung 4](#) und [Abbildung 5](#) zu sehen ist.

Die Streuung der Messpunkte im Polarisationsdiagramm ([Abbildung 6](#)) repräsentiert entweder die Messgenauigkeit, wovon in [1] noch ausgegangen wird, oder hat physikalische Ursachen wie intrinsische Polarisation der Mitglieder des Haufens, unterschiedliche zirkumstellare Polarisation innerhalb des Haufens oder deutlich verschiedene Entfernungen der Sterne. Im Zuge der hier vorgelegten Arbeit kann dieser Punkt leider nicht geklärt werden.

Ebenso ungeklärt ist das Messergebnis hinsichtlich des Vergleiches mit den Daten von Hiltner, dessen Werte im Mittel 2.13 mal so groß sind wie meine. Als Erfolg darf es aber angesehen werden, dass sowohl beim Polarisationsgrad als auch beim Polarisationswinkel eine gute lineare Korrelation zwischen den Messungen von Hiltner und meinen gegeben ist.

Ebenso zeigen meine Messungen eine lineare Korrelation zur visuellen Absorption von Harris. Im Gegensatz zum Quotienten $P/A_V = 0.037$, den Hiltner ermittelt hat, erhalte ich den Wert $P/A_V = 0.015$. In [8] gibt Schmidt für die galaktische Länge von M 29 ($l = 77^\circ$, $b = 0.6^\circ$) einen galaktischen Mittelwert von $P/A_V \approx 0.023$ an.

Der höhere Wert von Hiltner könnte bedeuten, dass im Sternhaufen noch ein zusätzlicher Anteil Polarisation innerhalb des Sternhaufens entsteht. Hiltner vermutet, dass die Staubbichte im Haufen tausendmal so hoch ist wie im galaktischen Mittel. Er nimmt ferner an, dass die Streuung der Werte in [Abbildung 9](#) mit einer Streuung der Ausrichtung der Magnetfelder innerhalb des Haufens einhergeht. Die Entfernungen gemäß Gaia DR3 lassen den Schluss zu, dass einige Sterne keine Mitglieder des Haufens sind.

Eine hervorragende Übereinstimmung finden wir bei NGC 2261, die keiner weiteren Erörterung bedarf.

Conclusions

Die Ergebnisse der Polarisationmessungen von M 29 und NGC 2261 zeigen, dass die Polarisationskamera Alkeria Celera One CO5S-MP trotz der nur 12-Bit-Signalauflösung und der maximalen Belichtungszeit von fünf Sekunden für astronomische Zwecke geeignet ist. Auch wenn der mittlere Helligkeitsfehler in der Größenordnung von 12 mmag liegt und der typische Polarisationsfehler bei 1.3 % liegt, wie in [1] dargestellt, ist die Kamera für stärker polarisierte Objekte ab $P = 5\%$, wie zum Beispiel Kometen, hervorragend geeignet.

Acknowledgments

This research made use of the SIMBAD database and of the VizieR catalogue access tool, operated at CDS, Strasbourg, France, and of NASA's Astrophysics Data System Bibliographic Services.

The author thanks Marcello Mulè and Francesco di Gioia (both Alkeria Srl) for their support in evaluating the camera data.

The author would like to thank European Space Agency (ESA) und Gaia Data Processing and Analysis Consortium (DPAC).

My thanks also go to Patrick Chevalley, whose program ›Cartes du Ciel‹ made my work easier.

The suggestions from Nicolaus Steenken were also very helpful.

References

- [1] Wischnewski, Erik: *Astronomie in Theorie und Praxis*. 11. Auflage (2024), ISBN 978-3-948774-20-2, Eigenverlag Kaltenkirchen
- [2] Wischnewski, Erik: *Polarisationskamera*. BAV-Rundbrief **73** (2024), Nr. 2, p. 71–76
- [3] Steenken, Nicolaus: persönlicher Schriftverkehr, 2024
- [4] Neilson, H., N. Steenken, J. Simpson et al.: *A multiyear photopolarimetric study of the semi-regular variable V CVn and identification of analog sources*. *Astronomy & Astrophysics* **677** (2023), A96
- [5] Hiltner, W. A.: *Polarization of the Cluster M29*. *Astrophysical Journal* **120** (1954), p. 367–368
- [6] Zug, R. S.: *An Investigation of Color Excess in Galactic Star Clusters*. *Lick Observatory Bulletin* **16** (1933), Nr. 454, p. 135.
- [7] Hall, Richard C.: *Photoelectric Polarization and Color Measures of Hubble's Variable Nebula, NGC 2261*. *Astrophysical Journal* **139** (1964), p. 759–761
- [8] Schmidt, Theodor: *Zur Analyse des Zusammenhangs zwischen interstellarer Polarisation und interstellarer Verfärbung*. Veröffentlichung der Universitätssternwarte zu Göttingen Nr. 123, *Zeitschrift für Astrophysik* **46** (1958), p. 145–167, Abb. 3

Komponenten der Polarisation

Wie in [1] dargestellt, überlagern sich der (intrinsischen) Polarisation eines Objektes (wozu auch eine eventuell vorhandene zirkumstellare Polarisation zählen möge), drei weitere Komponenten:

- instrumentelle P.
- atmosphärische P.
- interstellare P.

Mit Bestimmung und Subtraktion der instrumentellen P. wird auch die atmosphärische P. miterfasst. Dazu ist es aber erforderlich, dass die instrumentelle P. in jeder Beobachtungsnacht bestimmt wird, was für ein gleichbleibendes Setup in der Regel nicht der Fall ist.

Zur Berücksichtigung der interstellaren P. müssen (unpolarisierte) Sterne aus der räumlichen Umgebung des Objektes vermessen werden. Diese beinhalten neben der interstellaren P. auch die instrumentelle und damit die atmosphärische P.

Idealerweise gibt es einige geeignete Umgebungssterne, die mit dem Objekt gleichzeitig aufgenommen wurden. Das setzt ein hinreichend großes Gewichtsfeld des Setups voraus. Die so gemessene Polarisation beinhaltet alle drei Komponenten, die es zu subtrahieren gilt. Eine separate Bestimmung der instrumentellen P. ist nicht erforderlich.

Messier 29

Die Polarisationswerte des Sternhaufens in dieser Arbeit ergeben einen Mittelwert, der der Summe aus interstellarer, atmosphärischer und instrumenteller P. entspricht. Hinzu kommt bei M 29 allerdings auch noch eine zirkumstellare P., die innerhalb des Sternhaufens entsteht.

Gäbe es innerhalb des Sternhaufens einen Stern mit veränderlicher Polarisation, dessen zeitlicher Verlauf von Interesse wäre, so würde der Mittelwert von M 29 (ohne den Veränderlichen) zur intrinsischen Kalibrierung verwendet werden.

Instrumentelle Polarisation

Die instrumentelle P. ist sehr gering und beträgt meist weniger als 0.1 %. Da das Verfahren mit der Polarisationskamera Alkeria Celera One CO5S-MP nur eine Genauigkeit von typischerweise 1.3 % erlaubt, ist die Bestimmung der instrumentellen P. mit der Kamera nicht möglich. Alle diesbezüglichen Ergebnisse sind Zufallswerte (ugs. »Hausnummern«).

Messung | Ich habe dennoch die unpolarisierten Standardsterne β Cas, β UMa und θ UMa gemessen. Die Belichtungszeit so gewählt, dass die Sterne unterhalb der Sättigungsgrenze blieben, was bei der kurzen Belichtungszeit wegen des Szintillationsrauschens zu starken Schwankungen (bis 0.150 mag) führt. Daher wurden 500 bzw. 1000 Aufnahmen gemacht, was das Rauschen wesentlich reduzierte.

Instrumentelle Polarisation						
Stern	Höhe	Bel.zeit	Szintillation	P	ΔP	PA
<i>je 500 Aufnahmen</i>						
Beta Cas	47°	45 ms	4.3 mmag	1.50%	0.82%	108°
Beta UMa	33°	50 ms	6.7 mmag	1.43%	1.16%	80°
Theta UMa	22°	200 ms	6.6 mmag	1.27%	0.57%	93°
Mittelwert				1.40%	0.85%	94°
<i>je 1000 Aufnahmen</i>						
SAO 33819	61°	800 ms	0.52 mmag	0.94%	1.18%	84°
SAO 33819	70°	800 ms	0.43 mmag	0.69%	1.47%	50°

Tabelle 2 Polarisationsgrad P und Polarisationswinkel PA für β Cas, β UMa, θ UMa und SAO 33819 zur Bestimmung der instrumentellen Polarisation des Setups ED-Triplett 127/950 und Celera CO5S-MP mit UV/IR-Sperrfilter. Das Szintillationsrauschen gilt für die Summenaufnahme aus 500 bzw. 1000 Einzelbildern.

Als Fehlerangabe ΔP wurde wie in [1] beschrieben die Gleichung

$$\Delta P = \frac{|I - J|}{I + J} \quad (5)$$

verwendet.

Interpretation | Die Fehlerwerte ΔP der drei ersten Sterne fallen recht unterschiedlich aus und sind allesamt besser als der mittlere Fehler bei Messier 29, der 1.3 % beträgt. Die Polarisationsgrade P liegen sehr eng beisammen und der Mittelwert beträgt $P = 1.40 \pm 0.07\%$. Diese geringe Streuung der drei Ergebnisse ist zwar einerseits beruhigend, darf aber andererseits nicht als hochgenaue Messung interpretiert werden, da ΔP mit 0.85 % zwölfmal so groß ist.

Der Nachteil heller Sterne ist die kurze Belichtungszeit und damit ein erhebliches Szintillationsrauschen. Selbst bei 500 Aufnahmen verbleiben 4.3–6.7 mmag entsprechend 0.43–0.67 %. Um den rauschbedingten Fehler auf 0.1 % zu senken, hätten in diesem Falle 9000–22000 Aufnahmen erstellt werden müssen, sodass die Gesamtbelichtungszeit bis auf 73 min bei θ UMa angestiegen wäre.

Deshalb wurden in einer zweiten Nacht eintausend Aufnahmen des dunkleren Sterns SAO 33819 in größerer Höhe aufgenommen. Dadurch reduzierte sich das effektive Szintillationsrauschen auf 0.43–0.52 mmag.

Dies hat den Fehlerwert ΔP leider nicht verringert, im Gegenteil. Ein Vergleich des Szintillationsrauschens mit dem Fehlerwert ΔP zeigt, dass zwischen beiden keine Korrelation besteht. Ebenso besteht keinerlei Korrelation zwischen ΔP und der Belichtungszeit.

Dafür findet man eine Korrelation zwischen dem Polarisationsgrad P und der Belichtungszeit. Da der hier gemessene Wert P die instrumentelle Polarisierung ist und somit sehr klein ($< 0.1\%$) sein sollte, kommt mit zunehmender (Gesamt-)Belichtungszeit das Ergebnis der erwarteten »Wahrheit« immer näher. Allerdings ist diese Verbesserung eher logarithmischer Natur und ließe einen Wert um Null erst nach 140 Stunden erwarten.

Entscheidender als diese utopische Zahlenspielerei ist die relative Konstanz des Fehlerwertes ΔP um 1 %, wobei der niedrige Wert bei θ UMa leider nur als (positive) Ausnahme betrachtet werden darf.

Die Polarisationswinkel sollten bei allen Messungen gleich groß sein, da es sich um die instrumentelle Polarisierung handelt, und das instrumentelle Setup in allen Fällen identisch war. Im Rahmen des durch ΔP charakterisierten Messfehlers ist die (relativ geringe) Streuung als Bestätigung zu betrachten.

Wie bereits in [1] dargestellt, ist das Signal/Rausch-Verhältnis bei Messier 29 sehr gut. Das gilt auch für die Messungen zur Bestimmung der instrumentellen Polarisierung. Die Fehlerwerte ΔP um 1 % lassen sich durch ein noch besseres S/N-Verhältnis nicht mehr verringern.

Umfangreiche Versuche, die Genauigkeit durch Defokussierung zu verbessern, schlugen fehl. Sowohl bei M 29 als auch bei SAO 33819 ergaben sich durchweg größere Werte für ΔP genauso wie für alle anderen Fehlerparameter, die von mir berechnet wurden.