

CMOS-CHIP IMX571 MIT 16 BIT

Neue Möglichkeiten bei der Astrofotografie

von DR. KAI-OLIVER DETKEN, *Grasberg*

Der chinesische Hersteller ZWOptical brachte im Jahr 2016/2017 mit der ASI071MC die erste CMOS-Astrofarbkamera im APS-C-Format auf den Markt. Aufgrund der Möglichkeit einer geregelten Kühlung und keinerlei Verstärkergeräuschen verbreitete sich die Kamera in der Astroszene relativ schnell. Im Jahr 2020 kam dann vom gleichen Hersteller die Astrofarbkamera ASI2600MC heraus, die das gleiche Format anbietet, aber kleinere Pixel sowie einen Dynamikumfang von 16 Bit. Damit schließt sie zu den CCD-Kameras auf, die bisher ihren Vorteil noch im Dynamikumfang ausspielen konnten. Zusätzlich interessant ist die Möglichkeit diese Kamera, auf Basis des IMX571-Chips von Sony, auch als Monochrom-Variante zu bekommen. Dieser Artikel soll allerdings die Farbkameras beider Typen miteinander vergleichen, da sie auch unterschiedliche Techniken beim Auslesen der Photonen besitzen, sowie eine weitere Kamera mit IMX571-Chip vorstellen: die Lacerta DSP2600c.

Zum Start in die Astrofotografie wird in den meisten Fällen eine DSLR-Kamera verwendet. Waren vor zehn Jahren hierbei noch die Canon-Kameras führend, kann der Amateurastronom heute aus verschiedenen Marken (Nikon, Sony etc.) auswählen. Unterschieden wird dabei vornehmlich zwischen APS-C- und Vollformatsensoren. Letztere sind aufgrund ihrer größeren Pixel und weil sie vornehmlich für den professionellen Einsatz

gefertigt wurden, oftmals rauschärmer, wie auch die Tabelle 1 anhand der möglichen Low-Light ISO-Werte zeigt. Die APS-C-Sensoren sind hier rötlich gekennzeichnet, während die Vollformatsensoren Orange und Gelb dargestellt werden. Richtig gute Rauschwerte liefern hier erst die Vollformatkameras ab der Nikon D850. Herausragend wird die Canon EOS Ra bewertet, die als Systemkamera (DSLM) und reine Astrokamera

von Canon hergestellt wurde. Inzwischen ist sie allerdings ausverkauft. Warum die Canon EOS R allerdings etwas andere Werte besitzt erschließt sich mir nicht ganz, da beide Kameras bis auf den eingebauten IR-Sperrfilter und der verbesserten Zoom-Möglichkeit des Live-View-Bildes bei der Ra-Variante baugleich sind. Grundsätzlich muss man diese Werte aber auch relativieren, da man bei Canon in der Vergangenheit die APS-

Kamera-Modell	Maximum PDR ¹	Low Light ISO	Low Light EV ²
Canon EOS 1000D	8,14	977	8,29
Canon EOS 450D	8,13	1067	8,42
Canon EOS 7D	8,73	1170	8,55
Canon EOS 700D	8,47	1241	8,63
Canon EOS 1100D	8,53	1357	8,76
Nikon D5100	10,20	1435	8,84
Nikon D7000	10,24	1462	8,87
Canon EOS 7D Mark II	9,06	1901	9,25
Canon EOS 80D	10,06	1834	9,20
Canon EOS 90D	10,06	2085	9,38
Nikon D500	10,66	2557	9,68
Nikon D850	11,63	4115	10,36
Canon EOS 5DS R	9,80	4145	10,37
Canon EOS 6D	9,52	4070	10,35
Canon EOS 6D Mark II	9,26	4178	10,38
Canon EOS R	10,63	4675	10,55
Canon EOS 5D Mark IV	10,83	5011	10,65
Canon EOS 5DS	9,76	5043	10,66
Canon EOS Ra	11,08	6423	11,01

Tab. 1: Low-Light ISO-Werte verschiedener DSLR/DSLM-Kameras [1].

¹ Photographic Dynamic Range (PDR)

² Exposure Value (EV)



Abb. 1: Größenvergleich zweier APS-C-Format-Kameras – ASI071MCpro versus ASI2600MCpro.

C-Format-Serie Canon 20Da und 60Da für Astrofotografen herausgebracht hatte. Und beide Kameras hatten damals ebenfalls ein gutes Rauschverhalten bzw. sich in der Praxis bewährt. Ich selber besitze inzwischen die Canon 90Da, die gegenüber der Canon 700Da und der Canon 1000Da ein wesentlich besseres Rauschverhalten anbietet, als die Tabelle 1 vermuten lässt.

Trotzdem bleibt bei DSLR/DSLM-Kameras grundsätzlich der Nachteil bestehen, dass sie nicht gekühlt werden können, um das Rauschen zu vermindern. Das ist gerade in lauen Sommernächten ein Problem, wenn man zwar gerne den Sternenhimmel beobachtet, aber die Kameras bei 15-20 Grad Celsius in einem nicht optimalen Temperaturbereich arbeiten. Hier hilft es nur ausrei-

chend Dark-Frames (Dunkelbilder) anzufertigen, um das Rauschen bei der späteren Bildverarbeitung wieder in den Griff zu bekommen. Dies geht aber wiederum auf die Belichtungszeit, da Dark-Frames unter den gleichen Temperaturbedingungen entstehen müssen.

Es kommt daher bei vielen Astrofotografen irgendwann der Wunsch auf eine gekühlte Astrokamera zu erwerben, um bei optimalen Rauschwerten, unabhängig von der Umgebungstemperatur, Aufnahmen anfertigen zu können. Und es liegt dabei auf der Hand, dass erst einmal eine CMOS-Farbkamera gewählt wird, weil man dies so bei der Bildverarbeitung bisher so gewohnt war. Daher erfreuen sich gekühlte Astrofarbkameras in der Astrozene großer Beliebtheit. Es liegt aber wahrscheinlich auch daran, dass der Ab-

stand zu einer Monochromkamera kleiner geworden ist und unser deutscher Himmel nicht häufig Langzeitaufnahmen für die getrennte R/G/B-Bildakquise zulässt.

ASI071MC versus ASI2600MC Die meisten CMOS-Chips kommen vom Hersteller Sony. Das ist auch bei den CCD-Kameras nicht anders gewesen, wobei Sony seit 2015 nicht mehr in neue CCD-Chips investiert, weshalb dieser Kameratyp langsam aussterben wird. Der Sony-Chip IMX071, der in der ASI071MC verbaut wurde, hatte eine Bittiefe von 14 Bit und kam mit einer Pixelgröße von $4,78 \mu\text{m}$ daher. Man setzte daher auf einen älteren aber bewährten Sensor, der bereits seit dem Jahr 2010 in den Nikon-Kameras D7000/D5100 zum Einsatz kam (siehe auch Tabelle 1). Er war bereits sehr rauscharm, besaß eine Anti-Tau-Heizung gegen Vereisung und eine justierbare Anschlussplatte gegen Verkippung. Während die erste Version noch Probleme mit Sensorbeschlag und Vereisung besaß, hatte ZWOptical der zweiten Version mit Erfolg ein besseres Gehäuse spendiert, so dass diese Probleme nicht mehr auftraten. Zwischen 2018 und 2021 konnte ich ebenfalls keinerlei Ausfälle bei dieser Kamera in der zweiten Bauvariante feststellen.

Leistungsmerkmale	ASI071MCpro	ASI2600MCpro
Sensor	IMX071	IMX571
Pixelgröße	$4,78 \mu\text{m}$	$3,76 \mu\text{m}$
Bittiefe	14 Bit ADC	16 Bit ADC
Auflösung	4.944 x 3.283 Pixel	6.248 x 4.176 Pixel
Sensortyp	Front-Side-Illuminated	Back-Side-Illuminated
Schutzglasstyp	Klarglas	IR-Sperrfilter
Ausleserauschen	2,3 e-	1,0 e- bis 3,3 e- je nach Gain
Bilder pro Sekunde	10 fps bei voller Auflösung	3,51 fps bei voller Auflösung
Full-Well Capacity (FWC)	46.000e	50.000e
Glasheizung	Anti-Tau-Heizung	Anti-Tau-Heizung
Kühlsystem	2-Stufen-Kühlungssystem	2-Stufen-Kühlungssystem
Pufferspeicher	256 MByte	256 MByte
Besonderheit	Justierbare Anschlussplatte	Justierbare Anschlussplatte

Tab. 2: Leistungsmerkmale der ASI071MC- und ASI2600MC-Kameras im Vergleich.

Die Kamera ASI2600MC sollte nun die technischen Rahmendaten der ASI071MC nochmals übertreffen. Sie enthält den neuen Sony-Chip IMX571, der kleinere Pixel und zum ersten Mal bei CMOS eine Bittiefe von 16 Bit verspricht. Die Auflösung wurde erhöht und die neuere Back-Side-Illuminated-Technik kommt zum Einsatz, die in der Vergangenheit allerdings immer noch ein Verstärkerglänzen als Nachteil auswies. Ein Unterschied besteht auch in der Verwendung eines IR-Sperrfilters im Schutzglas, so dass nun kein gesonderter IR-Filter zum Einsatz kommen muss, um das Einfallen von Infrarotlicht zu unterbinden. Das Aufblähen von Sternen wird dadurch beispielsweise vermieden. Alle Leistungsmerkmale im Vergleich beider Kameras zeigt die Tabelle 2 noch einmal im Überblick.

Die Pixelgröße des Fotochips wurde demnach weiter verkleinert und die Auflösung dadurch erhöht. Das Ausleserauschen macht ebenfalls im direkten Vergleich einen noch besseren Eindruck, was auch noch in der Praxis untersucht wurde. Beim Kühlungssystem und dem Pufferspeicher gibt es hingegen keine Unterschiede und auch die justierbare Anschlussplatte gegen Verkippungen wurde beibehalten. Allerdings hat sich die Gehäusegröße deutlich verändert, wie die Abbildung 1 zeigt, obwohl der APS-C-Chip nicht mehr Platz einnimmt. Auf den ersten Blick kann die ASI071MC mehr Bilder pro Sekunde erstellen. Diese Werte sind allerdings auf die volle Auflö-

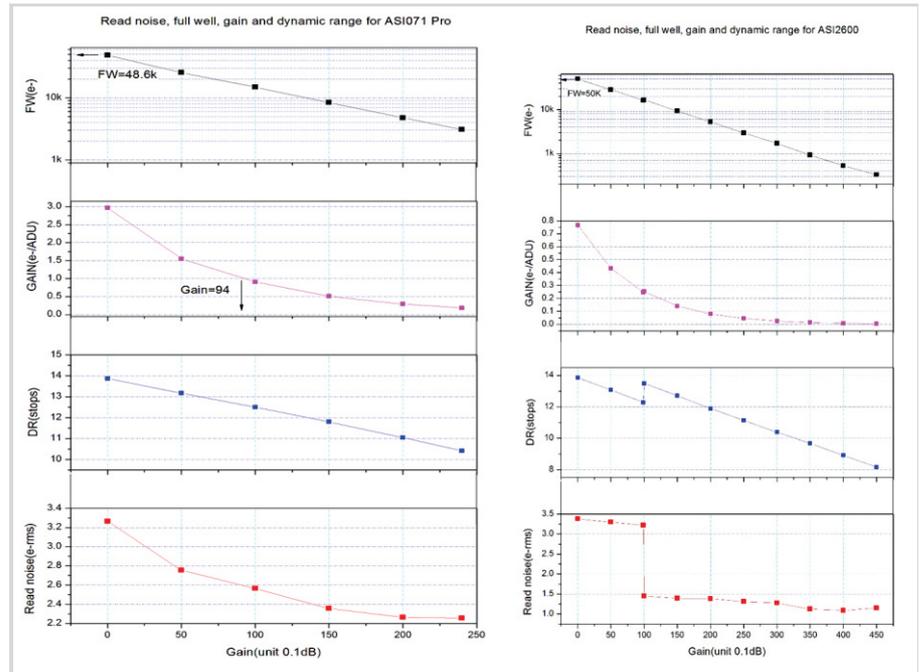


Abb. 2: Rauschverhalten und Quantisierungseffizienz bei ASI071MC und ASI2600MC [2].

sung bezogen. Da die ASI2600MC eine höhere Auflösung besitzt, kommt sie bei einer ähnlichen Auflösung der ASI071MC auf 6,71 fps. Damit liegt sie zwar immer noch unterhalb der angegebenen 10 fps, ist aber in der Praxis bei Mond- und Sonnenaufnahmen deutlich schneller, als die ASI071MC, wie ich feststellen konnte.

Rauschverhalten und Bittiefe Der Dynamikumfang hat sich durch die 16-Bit-Technik auf jeden Fall stark verbessert. Während man mit 14 Bit der ASI071MC bereits 16.384 Zustände darstellen kann, sind es bei 16 Bit der ASI2600MC immerhin 65.536 Varianten. Das bedeutet, dass die Bildschärfe und der Kontrast sich ebenfalls verbessert ha-

ben. Es können zudem weichere und natürlichere Farbübergänge geschaffen werden und die Sterne sollten weniger schnell ausbrennen. Da normale DSLR-Kameras ebenfalls nur 14 Bit besitzen und sich dabei auch nie jemand über eine zu geringe Dynamik beschwert hat, muss man dieses Leistungsmerkmal evtl. nicht so stark gewichten. Aber bei langen Einzelbelichtungszeiten das Ausbrennen von Sternen zu verhindern, kann auf jeden Fall ein großer Vorteil sein, was sich in der Praxis noch bewähren musste. Um es vorwegzunehmen, die 16 Bit machen sich hier in der Tat positiv bemerkbar. Das Rauschverhalten beider Kameras ist ebenfalls laut Datenblatt unterschiedlich, wie Abbildung 2 zeigt. Das Ausleserauschen liegt bei beiden Kameras auf einem niedrigen Niveau. Wenn man allerdings die ASI2600MC bei Gain = 0 betreibt, sinkt das Ausleserauschen deutlich nach unten und bleibt bei 1,5e-, unabhängig von höheren Gain-Einstellungen. Gleichzeitig hat man bei diesem Wert noch eine relativ hohe Full Well Capacity (FWC), sammelt also noch viele Photonen ein. Bei der ASI071MC hat man ein höheres Ausleserauschen bei Gain = 100, aber immer noch einen ähn-

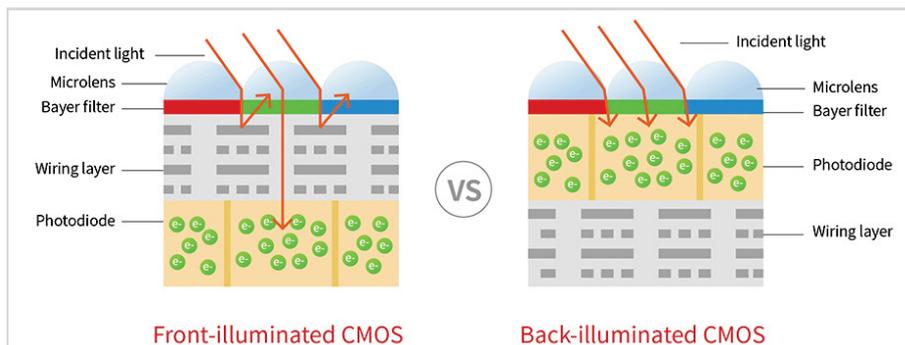


Abb. 3: Vergleich der Back-/Front-Side-Illuminated-Technik [3].

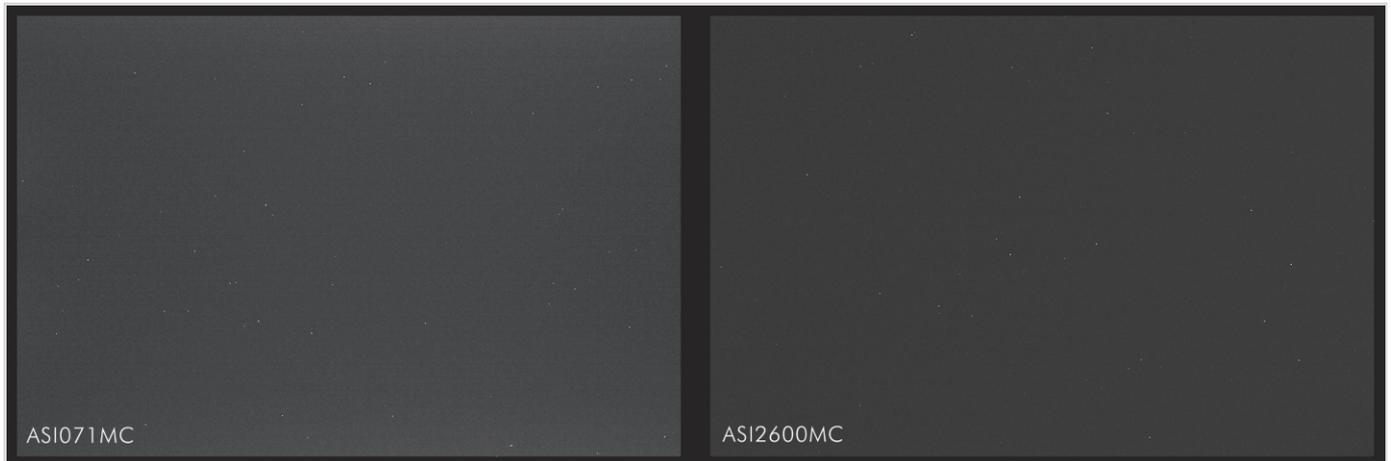


Abb. 4: Vergleich von zwei Dark-Frames bei Gain 90 bzw. 100 und 5 min Einzelbelichtung.

lich guten FWC-Wert. Besser ist es aber die Kamera bei Gain = 0 zu betreiben, um den besten FCW-Wert erreichen zu können. In der Praxis habe ich mich meistens zwischen 0 (Highest Dynamic Range) und 90 (Unity Gain) entschieden. Die ASI2600MC fährt am besten mit Gain = 100, der bei ZWOptical als High Gain Mode (HGM) beschrieben wird. Möchte man den besten FWC-Wert nutzen, kommt man allerdings auch hier nicht an Gain = 0 vorbei, was zu einem größeren Rauschanteil führt.

Aber auch die Technik zur Aufnahme der Photonen ist bei diesen beiden Kameras unterschiedlich. Die ASI071MC nutzt noch die Front-Side-Illuminated-Technik zum Sammeln der Photonen. Hier befindet sich die Fotodiode, die das Licht in elektrischen Strom umwandelt, am unteren Ende des Sensors (siehe Abbildung 3). Dadurch muss das Licht durch mehrere Oberflächen hindurch, wodurch ein Teil der Photonen verloren geht. Die neuere Back-Side-Illuminated-Technik ist hingegen so umgestaltet worden, dass die Fotodiode nach vorne gebracht wurde (siehe ebenfalls Abbildung 3). Dadurch werden quasi alle eingefangenen Photonen ausgewertet. Die Lichtempfindlichkeit und damit die Quanteneffizienz werden größer. Dies kann man bei Live-Bildern in der Kamera-Ansteuerungssoftware (z.B. APT) dadurch erkennen, dass die Objekte besser erkannt werden

können. Vorher ließen sich nur Sterne auf der Vorschau einer 2-Sekunden-Einzelbelichtung gut erkennen. Nun ist es die Galaxie oder das Nebelobjekt selbst, das bereits sichtbar wird.

Bisher litt allerdings die Back-Side-Illuminated-Technik unter einem signifikanten Verstärkergeräuschen, das sich auch durch die Bildverarbeitung nicht immer komplett entfernen ließ. Gut vergleichen lassen sich daher die beiden Dark-Frames, die mit der gleichen Belichtungszeit und ungefähr gleichen Gain-Werten aufgenommen wurden (siehe Abbildung 4). Während die ASI071MC immer schon ohne Verstärkergeräuschen auskam, ist dieses Problem bei der ASI2600MC ebenfalls in den Griff bekommen worden. Hinzu

kommt, dass das Einzelbild der ASI2600MC etwas weniger rauscht und weniger Hot-Pixel aufweist. Das gesamte Dark-Frame wirkt gleichmäßiger, was der späteren Bildverarbeitung zugutekommt. Allerdings kommt hier auch die Frage auf, ob bei dem geringen Rauschen des neuen IMX571-Chips Dark-Frames überhaupt noch zum Einsatz kommen müssen. Diese Frage wird später noch beantwortet.

Grundsätzlich lässt sich aber schon mal resümieren, dass die Dark-Frames beider Kameras eine ähnlich hohe Qualität liefern, mit leichten Vorteilen für die ASI2600MC. Weitere Pluspunkte der neuen Kamera sind die höhere Bildauflösung durch die kleineren Pixel, die 16-

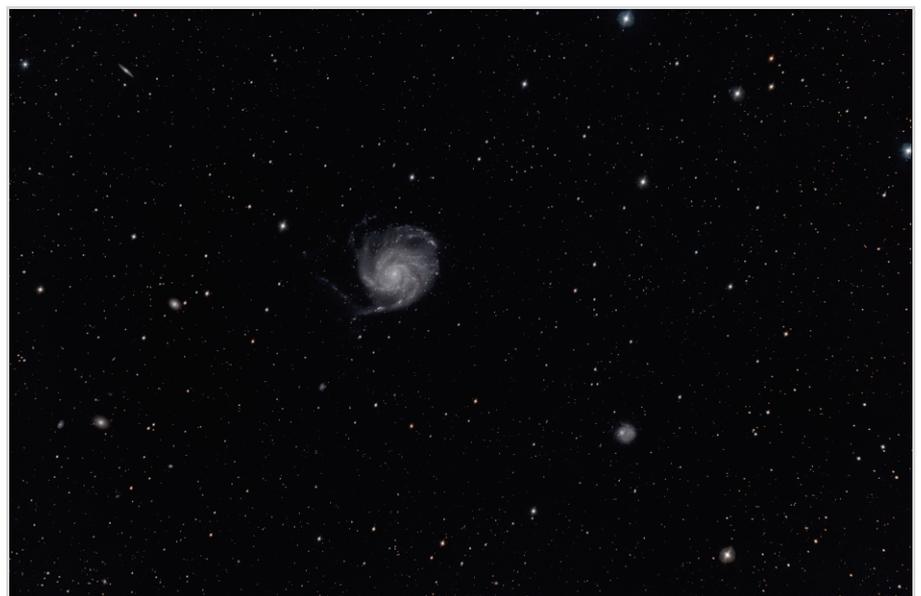


Abb. 5: Aufnahme von M101 mit der ASI071MC bei einer Gesamtbelichtung von 4 Stunden.

Bit-Dynamik, der fest eingebaut IR-Cut-Filter und ein geringeres Rauschverhalten. Allerdings ist die neue Kamera auch größer und schwerer geworden und es werden nun 50 Mbyte statt 32 Mbyte pro Aufnahme erzeugt!

Erste Bildergebnisse Im Praxistest mussten beide Kameras nun zeigen, ob die theoretischen Leistungswerte sich auch bei der Bildqualität niederschlagen. Als direkter Vergleich ist hier einmal das Objekt Messier 101 genommen worden, welches im Jahr 2018 von mir mit der ASI071MC-Kamera aufgenommen wurde und drei Jahre später mit der ASI2600MC. Es wurde jeweils das gleiche Equipment, ein C11-HyperStar mit 560 mm Brennweite und einem Öffnungsverhältnis von 1/2 genutzt. Bei der ersten Aufnahme mit der ASI071MC war ich damals bereits begeistert, zeigte die Aufnahme doch einige Einzelheiten mehr, als mit meiner damaligen DSLR-Kamera möglich gewesen war. Abbildung 5 zeigt Messier 101 und auch die Nachbargalaxie NGC 5474. Sternfarben lassen sich allerdings kaum ausmachen. Noch angetaner war ich daher von der Aufnahme, die drei Jahre später mit der ASI2600MC entstanden ist (siehe Abbildung 6). In beiden Fällen wurde ein IDAS-Nebelfilter verwendet, um das Hauptobjekt stärker von dem Himmels-hintergrund abzuheben. Aber die zweite Aufnahme enthält nun auf einmal Sternfarben sowie insgesamt deutlich mehr



Abb. 6: Aufnahme von M101 mit der ASI2600MC bei einer Gesamtblichtung von 5 Stunden.

Sterne. Auch die $H\alpha$ -Anteile in der Galaxie kommen zum Vorschein. Die höhere Empfindlichkeit und die 16-Bit-Dynamik scheinen sich hier positiv bemerkbar zu machen. Auch 10-min-Einzelbelichtungen, die bei einer anderen Aufnahme getestet wurden, lassen die Sterne nicht ausbrennen. Durch die höhere Auflösung kommen die Objekte zudem detaillierter rüber. Das Rauschen ist zusätzlich so gering, dass kein Unterschied zwischen den Bildergebnissen mit und ohne Dark-Frames erkennbar waren. Durch die Nutzung von Dithering (das zufällige leichte Versetzen jeder Aufnahme) sind Dead-Pixel ebenfalls kein Problem mehr, so dass in der Nachfolgezeit keine Dark-Frame-Bibliothek mehr aufgenommen wurde. Seit inzwischen einem Jahr werden die Bilder von mir ohne Dark-Frames bearbeitet – ich vermisse sie schlichtweg nicht mehr. Bei einer DSLR-

Kamera ist das allerdings nach wie vor ein absolutes Muss! Durch die höhere Auslesegeschwindigkeit der ASI2600MC bei kleineren Auflösungen kann man diese Kamera nun auch für Mond- und Sonnenaufnahmen verwenden. Dafür war die ASI071MC vorher nicht so gut geeignet, weshalb ich dafür lieber Planeten-Kameras genutzt habe. Bei Planetenaufnahmen stört allerdings der IR-Cut-Filter, weshalb dort nach wie vor andere Alternativen verwendet werden.

Auftauchende Probleme Damit stand also fest, dass die ASI2600MC der ASI071MC überlegen ist, weshalb diese zukünftig zum Einsatz kommen sollte. Kaum fiel diese Entscheidung und die ASI071MC war verkauft, gingen allerdings die Probleme los. So fiel nach vier Wochen Nutzung die Kühlung der Kamera aus. Die Ansteuerungsprogramme APT und FireCapture konnten keine Temperatur der Kamera mehr ermitteln. Dieses Problem war leider bekannt, weshalb die Kamera sofort ausgetauscht wurde. Hinzu kam, dass die Kühlung auch relativ schwerfällig die anvisierten -10 Grad Celsius erreichte und erheblich lauter war, als bei meiner ASI071MC-Kamera. Zusätzlich war die Kamera im Vergleich zu meiner alten ASI071MC sehr günstig. Das ist bei einer RGB-Matrix nicht ungewöhnlich und



Abb. 7: Ölaustritt im Bereich der Sensorkammer [4].



Abb. 8: Gestreckte Aufnahme mit der Austauschkamera von Messier 13 mit diversen Bildfehlern.

konnte durch die Bildbearbeitung behoben werden.

Bei der Austauschkamera lief dann zwar die Kühlung und der Grünstich war geringer, aber es fiel bei der ersten Aufnahme ein unruhiger Himmelshintergrund auf. Zudem konnte man ein Wellenmuster bei der Aufnahme erkennen, welches sich durch die Bildverarbeitung auch nicht entfernen ließ (siehe Abbildung 8, stark gestreckt). Die vielen Flecken sind Staubkörner, die auf dem Fensterglas sitzen – ebenfalls ungewöhnlich für eine neue Kamera, aber entfernbare. Hinzu kam, dass die Kühlung nicht so effizient war, wie bei der ersten Kamera (vor dem Ausfall der selbigen), so dass bei +27 Grad Celsius Umgebungstemperatur die eingestellten -10 Grad Celsius nicht mehr erreicht werden konnten. Als dann auch noch bei anderen Astrofotografen Öl aus dem Bereich der Sensorkammer austrat (siehe Abbildung 7), war das Maß meiner Geduld überschritten.

Es kam zwar noch eine weitere Austauschkamera zum Einsatz, die aber leider das gleiche Wellenmuster im Hintergrund zeigte. So fiel das Fazit der Kamera-Tests erst einmal ernüchternd aus: die erste Kamera war zwar relativ grünstichig, besaß dafür aber einen sehr guten Himmelshintergrund, während die

Austauschkameras mit dem Wellenmuster des Hintergrunds schlichtweg nicht zu gebrauchen waren. Die Fertigungsqualität bei ZWOptical in China schien 2021 ein ernsthaftes Problem zu haben und ich damit ebenfalls.

Lacerta DSP2600c versus QHY286c

Da die ASI071MC aber leider verkauft war, musste sich nach anderen Alternativen umgesehen werden. Der IMX571-Chip von Sony wird inzwischen bei diversen Herstellern eingesetzt, da er herausragende Eigenschaften besitzt. So sind auch die Kameramodelle QHY286c, Omegon veTEC571C, Touptec/Lacerta DeepSkyPro2600c und Altair Hypercam26c mit diesem Chip bestückt. Selbst Teleskop-Service hat inzwischen eine gelabelte Touptec-Version davon im Angebot. Da keine weitere Austausch-Kamera von ZWOptical geordert werden sollte, wurde eine Entscheidung zwischen den Herstellern QHY und Lacerta getroffen. Die Eigenschaften beider Kameras fasst die Tabelle 3 übersichtlich zusammen.

Im direkten Vergleich zwischen QHY und Lacerta, die ebenfalls eine gelabelte Touptec-Kamera ist, fallen erst einmal keine großen Unterschiede auf. Interessant ist, dass die Auflösung ein bisschen größer ist, da anscheinend mehr

Pixel vom Chip genutzt werden, als bei Lacerta. Das wirkt sich in der Praxis allerdings nicht wirklich aus. Beim Pufferspeicher ist ebenfalls ein Unterschied auszumachen. Beide Kameras bieten hier mehr an, als die ZWOptical-Variante. QHY kann hier in der Pro-Version sogar nochmals stärker punkten. Allerdings ist auch dieses Leistungsmerkmal bei langbelichteten Deep-Sky-Aufnahmen eher nebensächlich. Es macht sich eher bei Lucky-Imaging und kurzbelichteten Aufnahmen bemerkbar. Unterschiedlich ist noch, dass die QHY-Kamera wie frühere ASI-Kameras Klarglas zum Schutz verwendet und keinen IR-Sperrfilter. Das hat den Vorteil, dass auch Sterne, die im Infrarot leuchten, mit aufgenommen werden können. Für Deep-Sky-Aufnahmen ist dies aber aus meiner Sicht eher kein Vorteil, weil in jedem Fall ein IR-Sperr- oder ein Nebelfilter mit integriertem IR-Sperrfilter zum Einsatz kommen muss. Mit der Lacerta-Kamera kann man daher auch bei perfektem Himmel ohne Zusatzfilter belichten.

Leistungsmerkmale Interessanterweise können beide Kameras ihre Firmware über FPGA-Bausteine aktualisieren, was bereits bei der Lacerta positiv genutzt wurde, um anfangs noch auftretende Bildartefakte in den Griff zu bekommen. Der größte Unterschied ist aber, dass die QHY-Kamera mehr Auslesemodi anbietet und der Arbeitsabstand (Back-Fokus) bzw. der Teleskopanschluss anders ist. Während die QHY-Kamera ein M54-Gewinde anbietet, bleibt die Lacerta bei einem M42-Innengewinde, was sie kompatibel zu den ASI-Kameras hält. QHY geht hier einen anderen Weg und ermöglicht mit diversen mitgelieferten Abstandshülsen den korrekten Arbeitsabstand einzustellen. Zudem ist ein Bildrotator mit dabei, um das fotografierte Objekt vor der Aufnahme korrekt auszurichten. Dies ist in der Tat vorteilhaft, aber der neue Arbeitsabstand hätte

Leistungsmerkmale	Lacerta DSP2600c	QHY268c
Sensor	IMX571	IMX571
Pixelgröße	3,76 μm	3,76 μm
Bittiefe	16 Bit ADC	16 Bit ADC
Auflösung	6.224 x 4.168 Pixel	6.280 x 4.210 Pixel
Sensortyp	Back-Side-Illuminated	Back-Side-Illuminated
Schutzglastype	IR-Sperrfilter	Klarglas
Ausleserauschen	0,7 e- bis 3,5e- je nach Gain	0,7 e- bis 7,0 e- je nach Gain
Dunkelstrom	0,0005 e-	0,0005 e-
Bilder pro Sekunde	6,8 fps bei voller Auflösung	6,8 fps bei voller Auflösung
Glasheizung	Anti-Tau-Heizung	Anti-Tau-Heizung
Kühlsystem	2-Stufen-Kühlungssystem	2-Stufen-Kühlungssystem
Pufferspeicher	512 MByte	1 GByte (Pro-Version: 2 GByte)
Besonderheit	FPGA-Upgrade möglich M54 x 0,75 mm Anschluss 12,5 mm Arbeitsabstand	FPGA-Upgrade möglich M42-Innengewinde 17,5 mm Arbeitsabstand

Tab. 3: Leistungsmerkmale der Kameras von Lacerta und QHY im Vergleich.

zur Folge gehabt, dass ein einfacher Wechsel mit anderen ASI-Kameras ohne Anpassungen der Abstandshülsen nicht möglich gewesen wäre.

Interessanter ist die Nutzung der verschiedenen Auslesemodi der QHY, die sich wie folgt beschreiben lassen:

a. Modus #0: Standard-Auslesemodus – bei Gain-Einstellung zwischen 25-26 sinkt das Ausleserauschen auf 2,5 e-.

b. Modus #1: Hohe Verstärkung – niedrigeres Ausleserauschen bei einer etwas geringeren Full-Well-Kapazität (FWC).

c. Modus #2: Erweiterter Fullwell-Modus – es wird der größte FWC-Wert erreicht, das Ausleserauschen liegt bei 7,0 e-.

d. Modus #3: Multi-Sampling – identisch mit Modus #2, aber geringeres Ausleserauschen zwischen 4,5-5,5 e-.

Dagegen bietet die Lacerta-Kamera nur zwei Modi an:

a. Low Conversion Gain (LCG): vergleichbar mit Modus #0 bei QHY.

b. High Conversion Gain (HCG): vergleichbar mit Modus #1 bei QHY.

Die ASI-Kamera bietet hingegen keinerlei Auswahl, sondern setzt alleine auf den HCG-Modus. Auf der einen Seite ist es schön, wenn eine größere Auswahl zur Verfügung steht, auf der anderen Seite

überfordert es manchmal bereits zwischen zwei Möglichkeiten auswählen zu können. Wenn man die Modi der QHY-Kamera betrachtet, kommen auch eigentlich nur Modus #0 und #1 in Frage, da die anderen Modi ein zu hohes Ausleserauschen beinhalten würden. Daher hat sich hieraus kein Vorteil abgeleitet.

Im Größenvergleich (siehe Abbildung 9) fällt zudem auf, dass die ASI2600MC mächtiger wirkte und auch schwerer ist. Die Lacerta DSP2600c kommt schlanker und leichter daher, was sich an einem HyperStar-System auf jeden Fall schon mal positiv bemerkbar macht. Der gleiche Chipabstand von 17,5 mm zum Korrektor mit gleichem Innengewinde sprach ebenfalls für die Lacerta-Kamera. Zudem gibt es einen Preisunterschied

von 500 Euro zu der QHY-Kamera, obwohl sie den gleichen Chip besitzen und demnach auch ähnliche Eigenschaften haben dürften. Der sehr gute Support, den man bei Lacerta gewohnt ist und die Problematik, dass die QHY-Kamera nur von Baader beschafft werden konnte, ließen zusätzlich die Wahl auf die Lacerta-Kamera fallen. Diese wurde daher zum Vergleich mit der vorherigen ASI2600MC herangezogen.

Bildergebnisse mit der Lacerta DSP2600c Zu allererst wurde ein erneuter Dark-Frame-Vergleich durchgeführt. Dieser fiel nochmals besser aus, als der erste Vergleich mit der ASI071MC (siehe Abbildung 10). Fixe Hot-Pixel waren bei der Lacerta-Kamera kaum noch



Abb. 9: Lacerta DSP2600c- und ASI2600MC-Kameras im Größenvergleich.

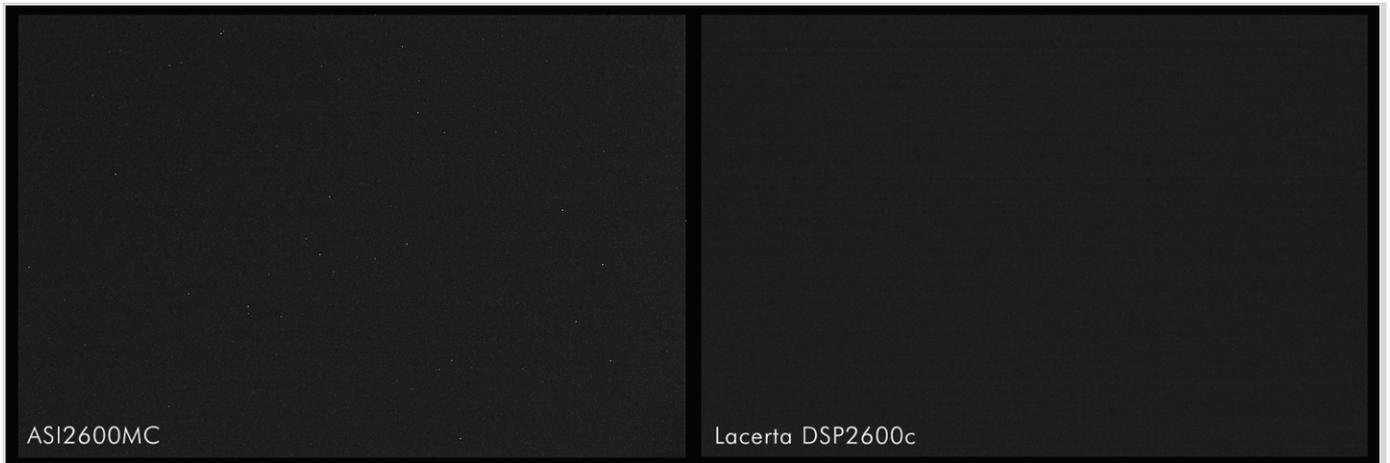


Abb. 10: Vergleich von zwei Dark-Frames bei Gain 100 und 5 min Belichtung, -10 Grad Celsius.

zu sehen, dafür besitzt diese deutlich mehr variable Hot-Pixel. Diese fallen allerdings bei Deep-Sky-Aufnahmen durch das Stacking nicht mehr ins Gewicht. Die Kühlung der Lacerta-Kamera fiel ebenfalls positiv auf, da sie sehr schnell die anvisierten -10 Grad Celsius bei beliebigen Umgebungstemperaturen erreichte. Zudem war sie auch wesentlich leiser, als die ASI-Kamera.

Nachdem der Vergleich der Dark-Frames abgeschlossen war, musste die Kamera am Kugelsternhaufen Messier 13 zeigen was sie konnte (siehe Abbildung 11 und 12). Es war inzwischen der Monat Juli erreicht und die Nächte extrem kurz,

weshalb sich die Aufnahme eines Kugelsternhaufens anbot. Zudem konnte man diese Aufnahme sehr gut mit der bereits durchgeführten Aufnahme der ASI2600MC-Kamera vergleichen. Es wurde bei der Lacerta DSP2600c im Modus Low Conversion Gain (LCG) bei einem Gain von 100 aufgenommen. Die Belichtungszeit betrug bei allen Bildern 5 min. Insgesamt kamen 3,5 Stunden als Gesamtbelichtung zusammen. Bei der ASI2600MC wurde der Gain ebenfalls auf 100 eingestellt, um ein vergleichbares Ergebnis zu bekommen. Es konnte aufgrund des Wetters aber nur 2,5 Stunden belichtet werden, was bei Objekten wie

Kugelsternhaufen aber nicht ins Gewicht fallen sollte. Als Teleskop kam der Refraktor TS PHOTOLINE 130 mm-f/7-Triplett-APO bei 910 mm Brennweite zum Einsatz, der mit dem genutzten TS-Flattner ein Öffnungsverhältnis von 1/7 bietet.

Bei der Bildverarbeitung fiel sofort auf, dass der unruhige Bildhintergrund nicht mehr vorhanden war. Es wurde ein besserer Schwarzwert erreicht. Die Hot-Pixel spielten wie vorausgesehen keine Rolle bei der Bildentwicklung. Das Rauschen war extrem gering, trotzdem wurden in beiden Fällen noch Dark-Frames verwendet. Abbildung 11 zeigt einen

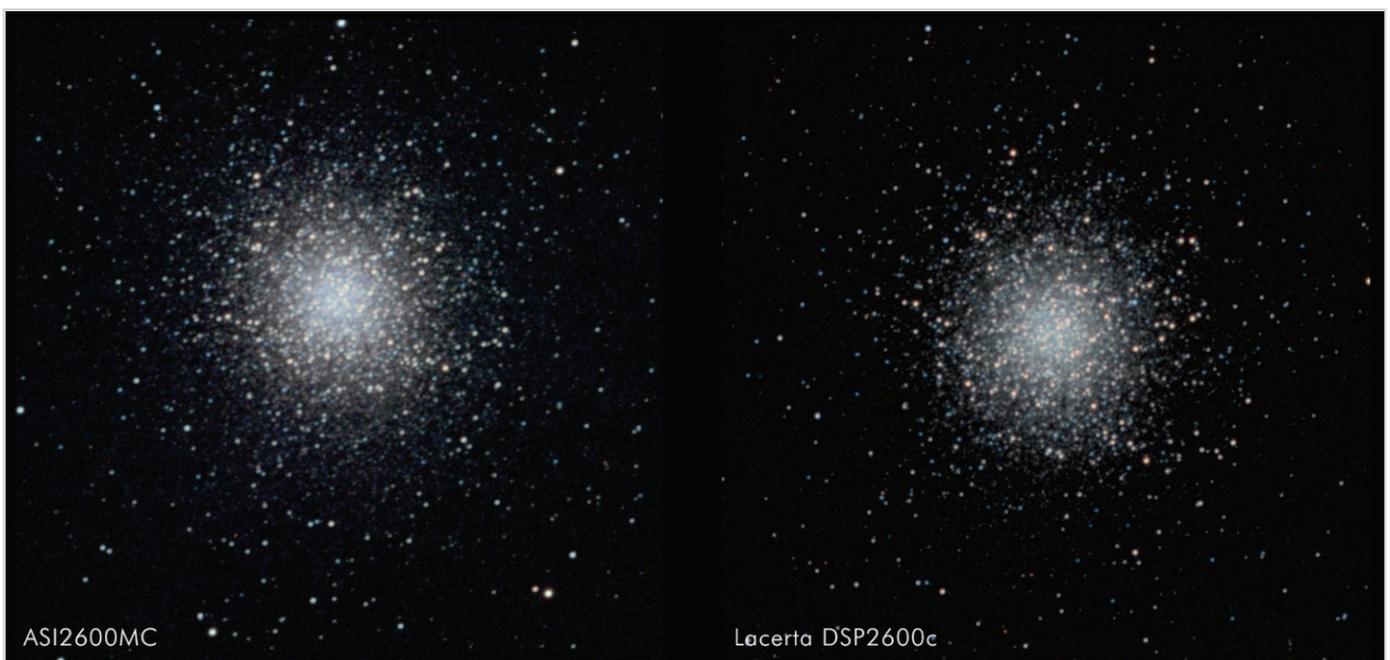


Abb. 11: Vergleich der Bilder der Kameras ASI2600MC und DSP2600c im Detail.

Bildausschnitt der Kugelsternhaufen bei der Kamera im direkten Vergleich. Es fällt bei der Lacerta DSP2600c der dunklere Bildhintergrund auf und die Sternfarben kommen besser heraus. Das Zentrum wirkt zudem nicht so ausgebrannt, wie bei der ASI2600MC, was evtl. an dem verwendeten Aufnahmemodus lag, den die ASI-Kamera nicht anbietet. Das First Light der neuen Kamera ließ daher hoffen, dass die aufgetretenen Probleme hier nicht mehr zutage treten werden.

Abbildung 12 zeigt die Gesamtaufnahme des Kugelsternhaufens M13 noch einmal, welches mit der Lacerta DSP2600c aufgenommen wurde. Damit konnte man rundherum zufrieden sein, obwohl das Bild beschnitten wurde, weil zwei runde Flecken auf dem Bild sich nicht durch Flat-Frames und Bildbearbeitung kompensieren ließen. Dabei handelte es sich aber nur um zwei Staubkörner, die bei nachfolgenden Aufnahmen, nach der Reinigung des Schutzglases, nicht mehr erkennbar waren.

Blieb die Frage, ob der eingebaute Infrarotsperrfilter die Rotempfindlichkeit heruntersetzt. Dies wurde erst einmal vom Anbieter Lacerta durch die aufgenommene Kurve der Abbildung 13 verneint. Hier sieht man das Durchlassfenster der Lacerta DSP2600c, welches bei einer Wellenlänge von 400 nm startet und bei 680-700 nm aufhört. Somit werden die wichtigsten Wellenlängen durchgelassen, die man für die Astrofotografie im Deep-

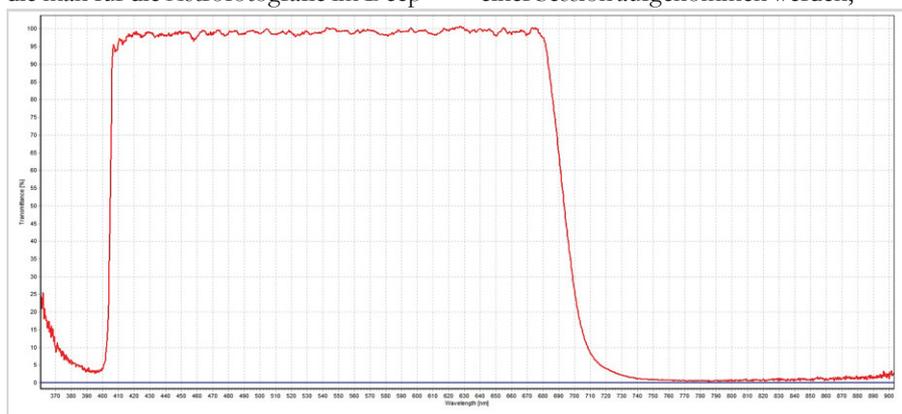


Abb. 13: Transmissionsfenster der Lacerta DSP2600c mit IR-Cut-Filter [5]



Abb. 12: First Light der DSP2600c-Kamera bei Messier 13.

Sky-Umfeld benötigt.

Ob das wirklich so ist, musste die Kamera an zwei Objekten beweisen, die einen großen H α -Anteil besitzen: Crescent-Nebel und Pickering's Triangular Wisp. Auch konnte so das Zusammenspiel der Kamera mit dem neuen Duofilter L-eXtreme von Optolong zum ersten Mal getestet werden. Am 29. Juli 2021 wurde daher, nach einem gemeinsamen Abend mit der AVL-Fotogruppe, der Crescent-Nebel anvisiert. Dieses Mal wurde der High Conversion Gain (HGC) Modus verwendet und Gain auf null gesetzt, um die höchstmögliche Photonenausbeute zu erhalten. So konnten vier Stunden in einer Session aufgenommen werden,

denn länger war diese Nacht nicht.

Der Crescent-Nebel (NGC 6888) ist ein Emissionsnebel im Sternbild Schwan, der auch als Sichelnebel bezeichnet wird. Er wird von einem sog. Wolf-Rayet-Stern (WR 136) beleuchtet und wurde vermutlich auch ursprünglich von ihm abgestoßen. Das Leuchten des Nebels wird durch zwei unabhängig auftretende Ionisationsvorgänge ausgelöst: die Hauptarbeit leistet der Zentralstern selbst, der durch seine hohen Temperaturen den Nebel besonders stark ionisiert und vor allem den [OIII]-Bereich zum Leuchten bringt. Das Ergebnis zeigt die Abbildung 14, welches mich sofort begeistert hat. Den Crescent-Nebel hatte ich bereits häufiger aufgenommen, aber nie in dieser Qualität. Die H α -Anteile ließen sich sehr gut erkennen, so dass der eingebaute Infrarotfilter keinerlei Einschränkungen erkennen ließ. Zudem war aber auch die [OIII]-Schockfront sehr gut erkennbar, was natürlich auch mit dem Duofilter L-eXtreme zusammenhing. Denn dieser ist in der Lage mit nur einer Aufnahme H α und [OIII] gleichermaßen abzubilden.

Als zweites Objekt kam der Cirrus-Ne-



Abb. 14: Crescent-Nebel (NGC 6888) mit 4 Stunden Gesamtbelichtung und L-eXtreme-Duofilter.

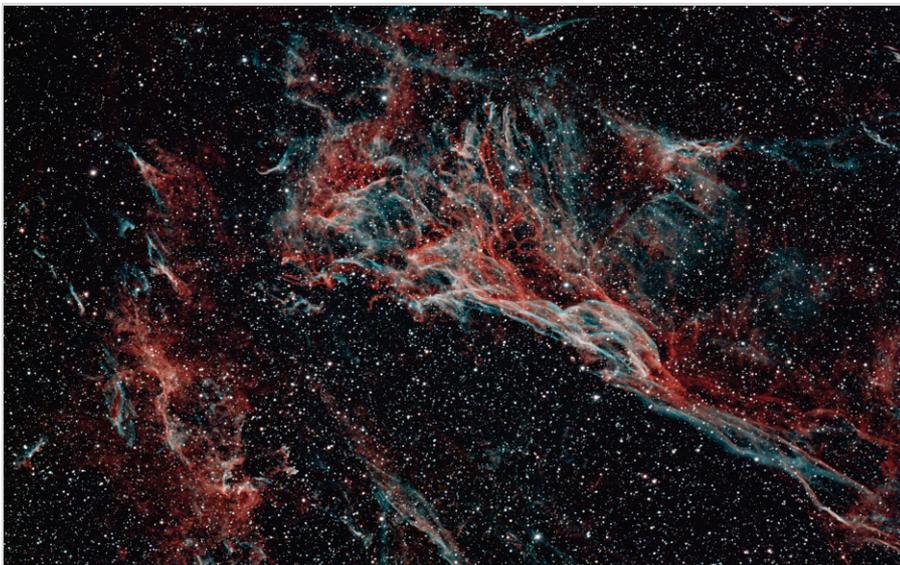


Abb. 15: Pickering's Triangular Wisp mit 6 Stunden Gesamtbelichtung und L-eXtreme-Duofilter.

belkomplex in Frage. Dabei handelt es sich um eine Ansammlung von Emissions- und Reflexionsnebeln aus einem Supernova-Rest von vor ca. 8.000 Jahren. Der Komplex wird auch als Schleiernebel bezeichnet (der sichtbare Teil des Cygnus-Bogens im optischen Spektrum) und befindet sich im Sternbild Schwan. Zum einen bietet der Nebel H α und [OIII] gleichermaßen an und zum anderen sollte eine schwache Region des Nebels aufgenommen werden, die normalerweise in dem gesamten Nebelkomplex etwas unterrepräsentiert wird: Pickering's Triangular Wisp. Das ist der Mittelteil des Nebels, der erst im Jahr 1904 fotografisch mittels

des 24" Teleskops vom Harvard-Observatorium entdeckt werden konnte. Das Ergebnis zeigt die Abbildung 15, welches ebenfalls eindrucksvoll die H α - und [OIII]-Anteil separiert zeigt und diesen schwachen Bereich in einer Deutlichkeit hervorhebt, die vorher mit einer Farbkamera so nur mit größerer Belichtungszeit möglich war. Auch hier ist natürlich das Zusammenspiel mit dem L-eXtreme-Filter her- vorzuheben. Beide

Aufnahmen wurden bereits ohne Dark-Frames gemacht.

Fazit Nachdem drei ASI2600MC-Kameras getestet wurden, die aus unterschiedlichen Gründen keine guten Ergebnisse lieferten, war man endlich mit der Lacerta DSP2600c am Ziel angekommen. Der IMX571-Chip ist daher uneingeschränkt zu empfehlen, den es inzwischen auch in der monochromen Version gibt. Dies könnte auch noch einmal spannend werden, wenn monochrome Luminanz-Aufnahmen mit Farbe kombiniert werden. Allerdings kommt die Farbkamera, aufgrund ihrer Empfindlichkeit und dem sehr geringen Rauschen, im Zusammenspiel mit einem Duofilter der Qualität einer Monochromkamera sehr nah. Man hat zudem die Qual der Wahl, wenn man eine Kamera mit IMX571-Chip auswählen möchte, denn fast jeder Hersteller bietet diesen Chip in Farbe/Monochrom inzwischen an. Dabei gibt es leider unterschiedliche Fertigungsqualitäten, die ZWOptical inzwischen hoffentlich wieder in den Griff bekommen hat, denn es gibt auch sehr viele Besitzer einer ASI2600MC, die diese Probleme nicht hatten bzw. sehr zufrieden mit den Bildergebnissen sind. Unabhängig davon ist die Lacerta DSP2600c-Kamera nun seit fast einem Jahr in Betrieb, hat keinerlei Ausfallerscheinungen gehabt und begeistert noch immer mit ihrer Bildqualität. Der lange und steinige Weg zu einer neuen Kamera hat sich damit dann doch letztendlich gelohnt.

Literaturhinweise

- [1] Webseite Photons to Photos: Photographic Dynamic Range versus ISO settings: <https://www.photonstophotos.net/Charts/PDR.htm>
- [2] Hersteller ZWOptical, siehe die jeweiligen Kameras: <https://astronomy-imaging-camera.com>
- [3] Hersteller ZWOptical: <https://astronomyimagingcamera.com/product/asi2600mm-pro-mono>
- [4] Aufnahme von Oliver Schneider und seiner ASI2600MC, <http://www.balkonsternwarte.de>
- [5] Anbieter der DSP2600c-Kamera: www.lacerta-optics.com