

# CMOS-Farbkameras mit Duofiltern: neue Möglichkeiten bis hin zur Hubble-Palette



*Referent: Prof. Dr. Kai-Oliver Detken, AVL*



Astronomische Vereinigung Lillienthal e.V.  
[www.avl-lillienthal.de](http://www.avl-lillienthal.de)

# Übersicht

- Entwicklung der Kameratechnik
- Monochrom- versus Farb-Kameras
- Front-Side versus Back-Side Illumination
- Duoband-Bandfilter mit OSC-Kameras
- Erste Aufnahmen mit L-eNChance-Filter
- Vergleich zweier Duofilter
- Auf dem Weg zur Hubble-Palette
- Fazit



Start in 2009 mit der Canon 1000Da  
(ab 2015: Canon 700Da, ab 2021: Canon 90Da)



Ab 2018 Wechsel auf ASI071MCpro  
und ASI 183MCpro



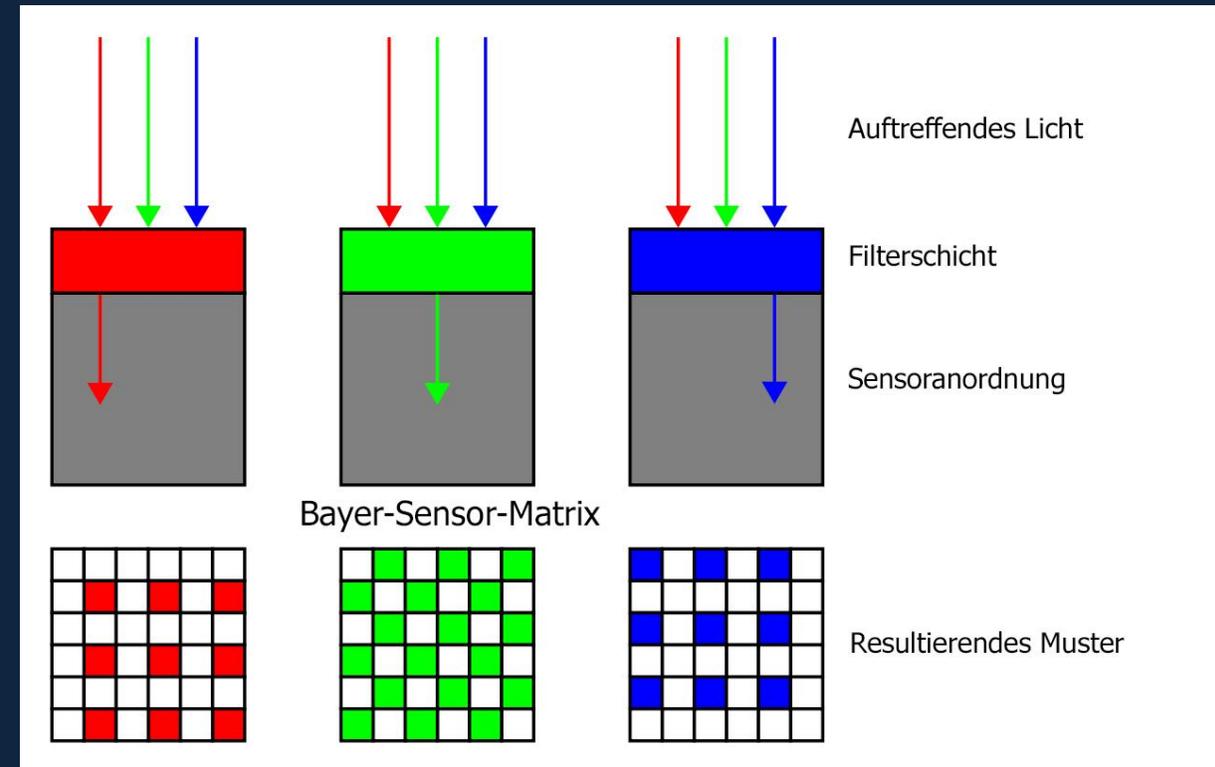
In 2021 Testen der 16-Bit-CMOS-Kameras  
ASI 2600MCpro und Lacerta DSP2600c

# Entwicklung derameratechnik

- In den letzten Jahren haben sich die CMOS-Chips immer weiter entwickelt
- Jede DSLR-Kamera hat einen solchen Chip integriert, der auch durch Ausbau des IR-Sperrfilters für die Astrofotografie verwendet werden kann
- Immer rauschärmere CMOS-Chips lassen auch längere Belichtungen zu
- Durch gekühlte Astrokameras auf CMOS-Chips-Basis nahm das Rauschen noch einmal signifikant ab
- Zudem werden CCD-Chips von Sony seit 2015 nicht mehr gebaut – die Technik läuft aus
- Bisher verursachte ein sog. Verstärkerglühen noch bei verschiedenen CMOS-Modellen noch einen Qualitätsnachteil
- Die neue CMOS-Generation besitzt aber diesen Nachteil nicht mehr!

# Monochrom versus Farbe (1)

- Mit einer Monochrom-Kamera wird mit der größtmöglichen Empfindlichkeit ein Bild aufgenommen
- Filter lassen sich nach Bedarf vor den Chip setzen
- Bei Farbkameras sitzt eine Bayer-Matrix vor dem Chip (25% Rot, 50% Grün, 25% Blau)
- Daher verringert sich die Quanteneffizienz gegenüber Monochrom-Kameras durch die eingebaute Bayer-Matrix
- Hinzu kommt, dass fehlenden Farben des Filtermusters RGGB durch Interpolation rekonstruiert werden (je nach Hersteller unterschiedlich)



Quelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bayer\\_pattern\\_on\\_sensor\\_profile.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bayer_pattern_on_sensor_profile.svg)

## Monochrom versus Farbe (2)

- Daher besitzt in der Astrofotografie die Monochrom-Technik folgende Vorteile:
  - Flexiblerer Einsatz von Filtertechnik (z.B. Schmalband-, UV-, IR-Filter)
  - Höhere Auflösung durch fehlende Bayer-Matrix
- Heutige Farbkameras besitzen aber ebenfalls ihre Vorteile:
  - Es muss kein aufwendiges (L)-R/G/B-Verfahren durchgeführt werden
  - Die Bildverarbeitung ist mit einer DSLR-Kamera vergleichbar
  - Ein Filterwechsel ist möglich, aber nicht notwendig
  - Schmalbandaufnahmen lassen sich ebenfalls durchführen (allerdings mit einer geringeren Auflösung)
  - Es entstehen weniger Rohdaten (1/4 der Aufnahmen)
- Hinzu kommt: durch den Einsatz am HyperStar eines C11-Teleskops ist ein Filterwechsel umständlich während einer Nacht und nicht automatisiert durchführbar!

# Front-Side versus Back-Side Illumination

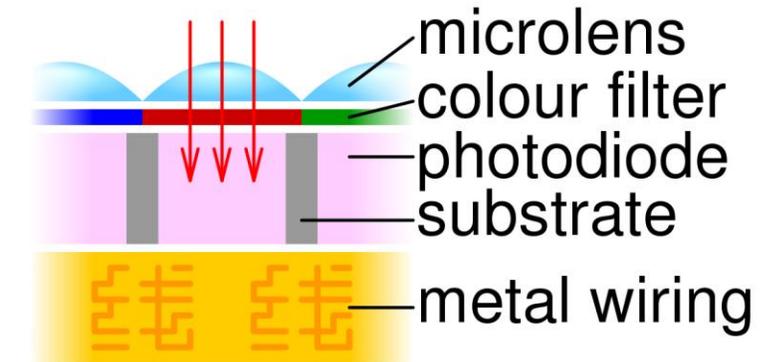
- Front-Side Illumination

- Die Fotodiode, ein Gerät, das Licht in elektrischen Strom umwandelt, befindet sich am unteren Ende des Sensors
- Dadurch muss das Licht durch mehrere Oberflächen hindurchgehen und ein Teil der Photonen geht verloren

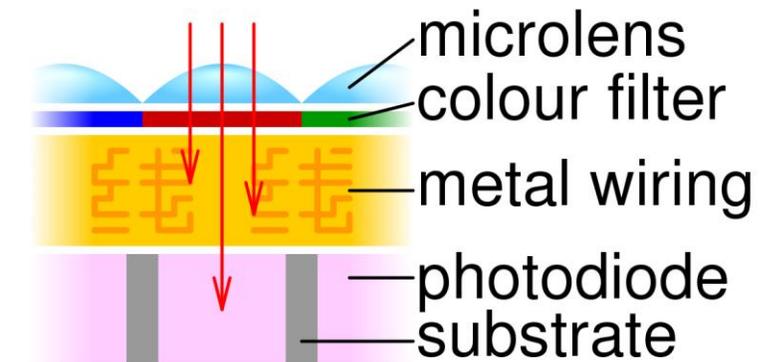
- Back-Side Illumination

- Das gesamte System wurde umgestaltet und die Fotodiode nach vorne gebracht
- Dadurch werden quasi alle eingefangenen Photonen ausgewertet
- Die Lichtempfindlichkeit bzw. Quanteneffizienz wird größer
- Bisher litt allerdings diese Technik unter einem signifikanten Verstärkerglöhnen

## 1. Back-side illumination



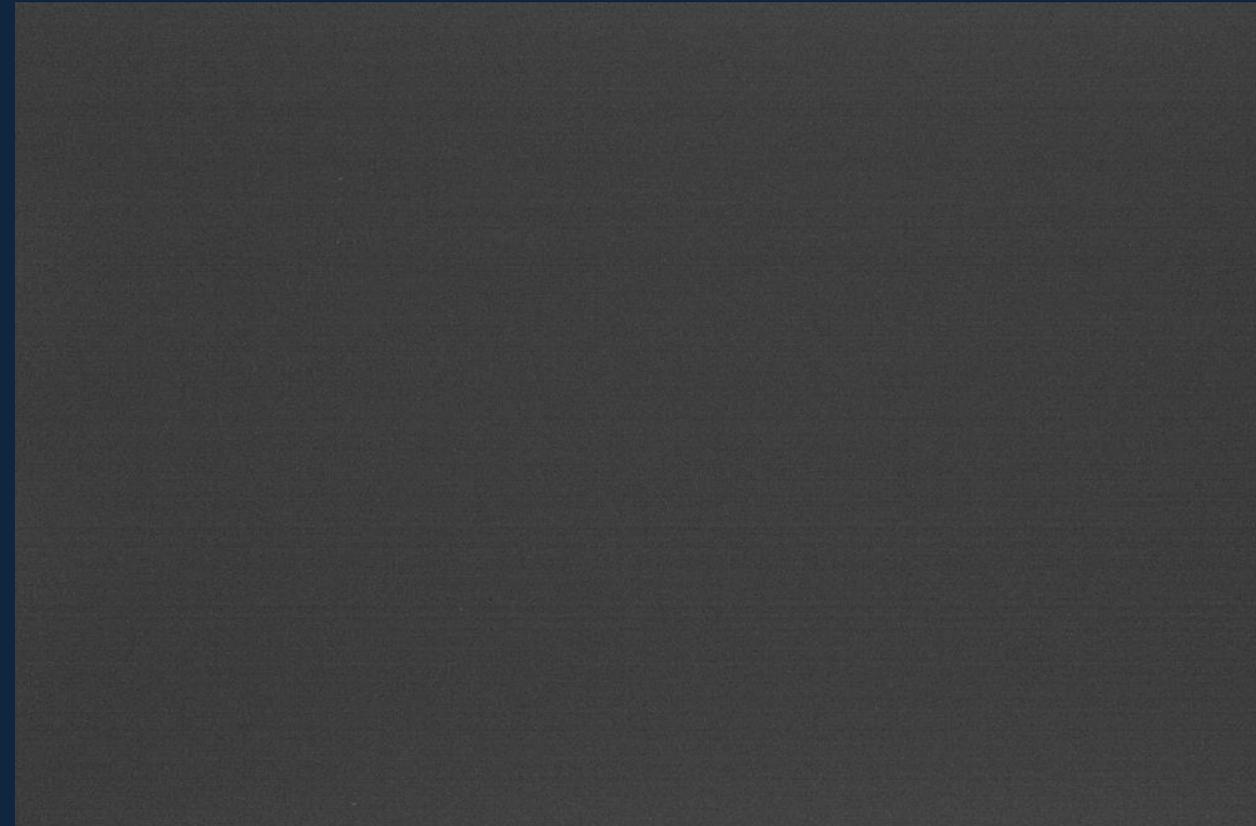
## 2. Front-side illumination



Vergleich der Back-/Front-Illuminated-Technik  
(Quelle: <https://astronomy-imaging-camera.com>)

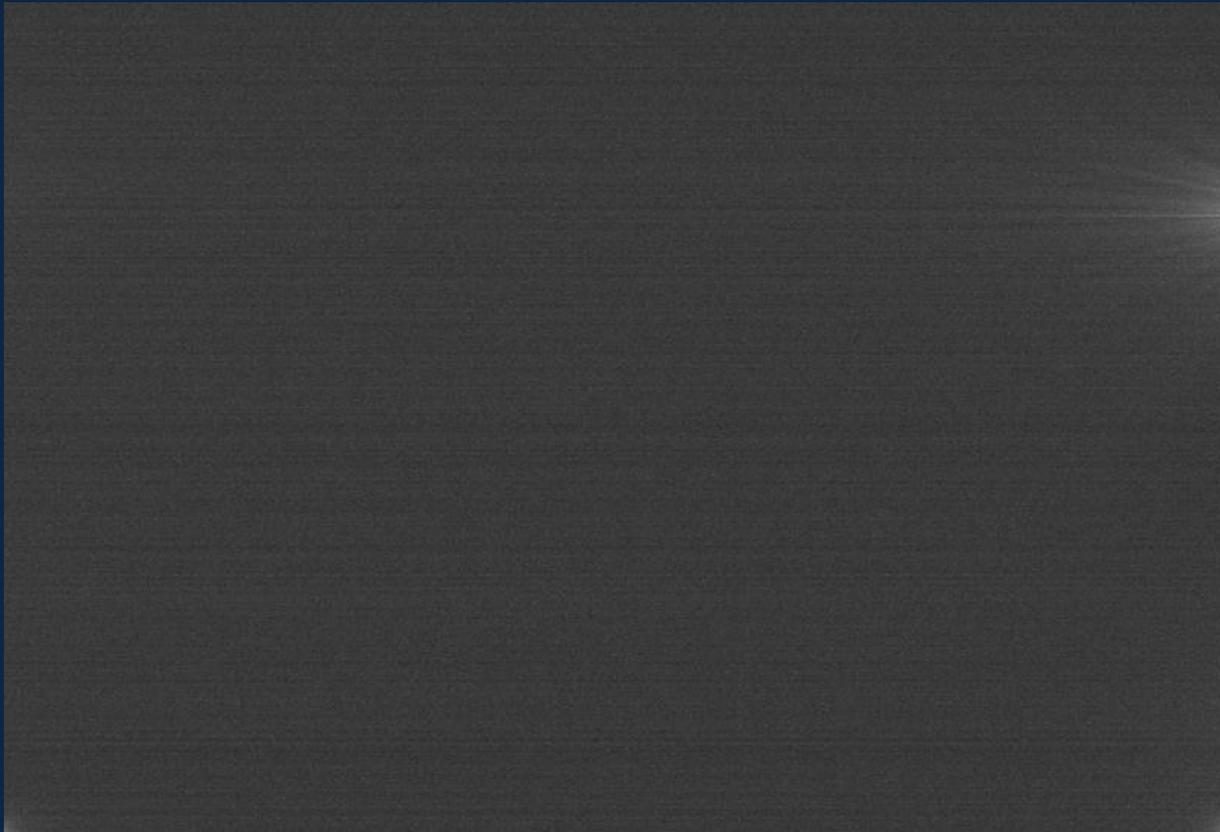
# Front-Side Illumination CMOS-Kameras

- Der ältere IMX071-Chip von Sony mit Front-Side Illumination Technik kennt kein Verstärkerglühen
- Dieser Chip-Typ ist auch in den DSLR-Kameras von Nikon (D7000/D5100) seit 2010 verbaut worden
- Geringerer Dunkelstrom, kein Verstärkerrauschen und geringeres Leserauschen zeichnen ihn ebenfalls aus
- Bei der Full-Well Capacity und der Quanteneffizienz schneidet er allerdings schlechter ab



Dark-Frame ASI 071MCpro bei Gain 240 und 5 min Belichtung, -15 Grad Celsius

# Back-Side Illumination CMOS-Kameras der ersten Generation



Dark-Frame, ASI 294MCpro bei Gain 0 und 5 min Belichtung, -10 Grad Celsius

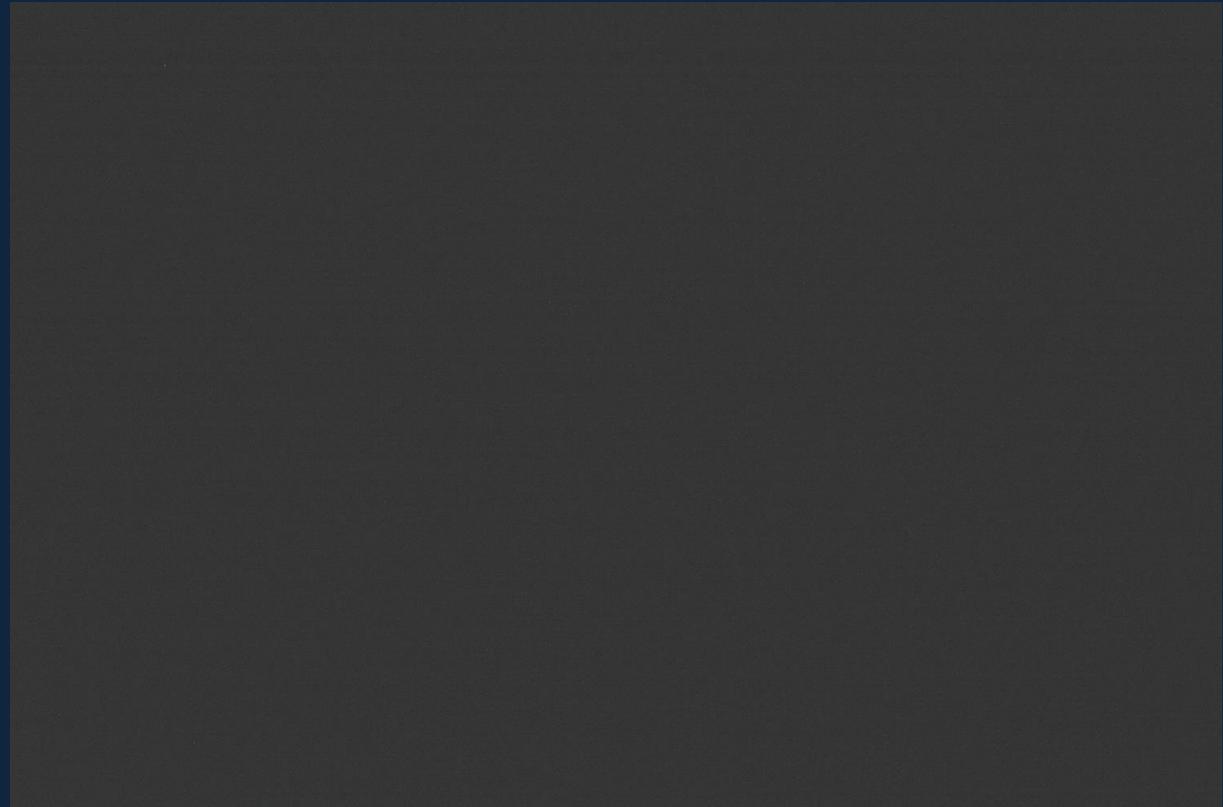


Dark-Frame ASI 183MCpro bei Gain 0 und 5 min Belichtung, -10 Grad Celsius

# Back-Side Illumination CMOS-Kameras der zweiten Generation



Dark-Frame, ASI 2600MCpro bei Gain 100 und 5 min Belichtung, -10 Grad Celsius



Dark-Frame, Lacerta DSP2600c bei Gain 100 und 5 min Belichtung, -10 Grad Celsius

**Beide Dark-Frames weisen jeweils kein Verstärkergrühen auf**

# Steigerung der Bittiefe auf 16 Bit

- Der Dynamikumfang des neuen CMOS-Chips IMX571 von Sony hat sich auf 16 Bit erhöht:
  - Es werden 14 Stopps (Blenden) erreicht
  - 16 Bit ergibt insgesamt 65.536 Zustände!
  - Die Bildschärfe und der Kontrast sollten sich verbessert haben
  - Es werden weichere und natürlichere Farbübergänge geschaffen
  - Die Sterne brennen weniger schnell aus bei langen Belichtungszeiten



Quelle: [www.astronomy-imaging-camera.com](http://www.astronomy-imaging-camera.com)

# Eigene Gründe für OSC-Kamera

- Eine automatisierte Filterschublade am C11-HyperStar ist nicht praktikabel und verursacht zu viel Abschattung
- Bisher gab es keine monochromen CMOS-Kameras im APS-C-Format (hat sich inzwischen geändert)
- Einfacherer Bildbearbeitungsprozess durch die Verarbeitung einer einzelnen Bildserie
- Wetterunbeständigkeit der norddeutschen Region, wodurch auch bei einer kurzen Belichtungsserie wenigstens ein Resultat herauskommt
- Gute Erfahrungen mit astromodifizierten DSLR-Kameras

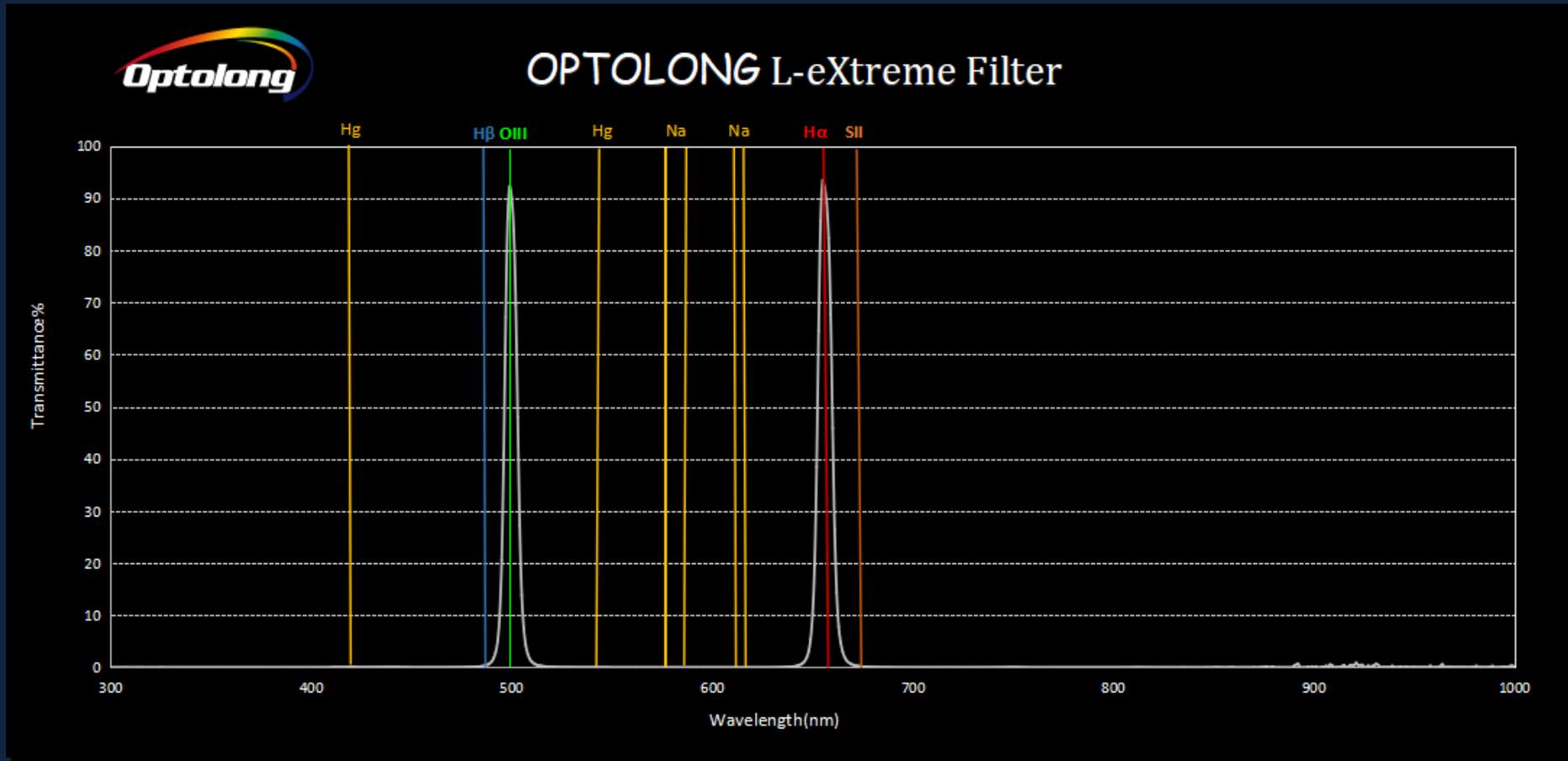


Lacerta DSP2600c und ASI2600MCpro mit IMX571-Chip

# Duoband-Bandfilter mit OSC-Kameras

- Seit ein paar Jahren sind neue Duofilter für Farbkameras auf dem Markt
- Sie versprechen mehr Kontrast und weniger Einfluss der Lichtverschmutzung auf die Aufnahmen
- Bei Optolong kann man sich zwischen zwei Duofiltern entscheiden:
  - L-eNhance Nebelfilter: H $\beta$ , H $\alpha$ , [OIII]
  - L-eXtreme Schmalband-Nebelfilter: H $\alpha$ , [OIII]
- Bei den Filtern handelt es sich um Bandpassfilter, die extra für Farbkameras entwickelt wurden
- Der Filter stellt eine echte Alternative zur Schmalband-Nebelfotografie mit Monochrom-Kameras dar

# Duoband-Bandfilter: Vergleich der Filterkurven



Quelle: <https://www.optolong.com>

# Aufnahme-Equipment (1)

- Teleskope: C11 SC XLT - 280/2800mm  
Refraktor TS PHOTOLINE 130 mm-f/7-  
Triplett-APO
- Reducer: Starizona HyperStar Flat-Field-Adapter  
Starizona 0.63x SCT-CORRECTOR-IV  
TS-Optics Field Flatteners, 2" Corrector
- Kameras: ASI 071MCpro  
ASI 2600MCpro  
Lacerta DeepSkyPro2600c
- Filter: Optolong 2" L-eXtreme Schmalband  
Optolong 2" L-eNhance Schmalband  
Optolong S-II Deep-Sky Filter, 6,5 nm



Gekühlte CMOS-Kamera am C11-HyperStar-Teleskop

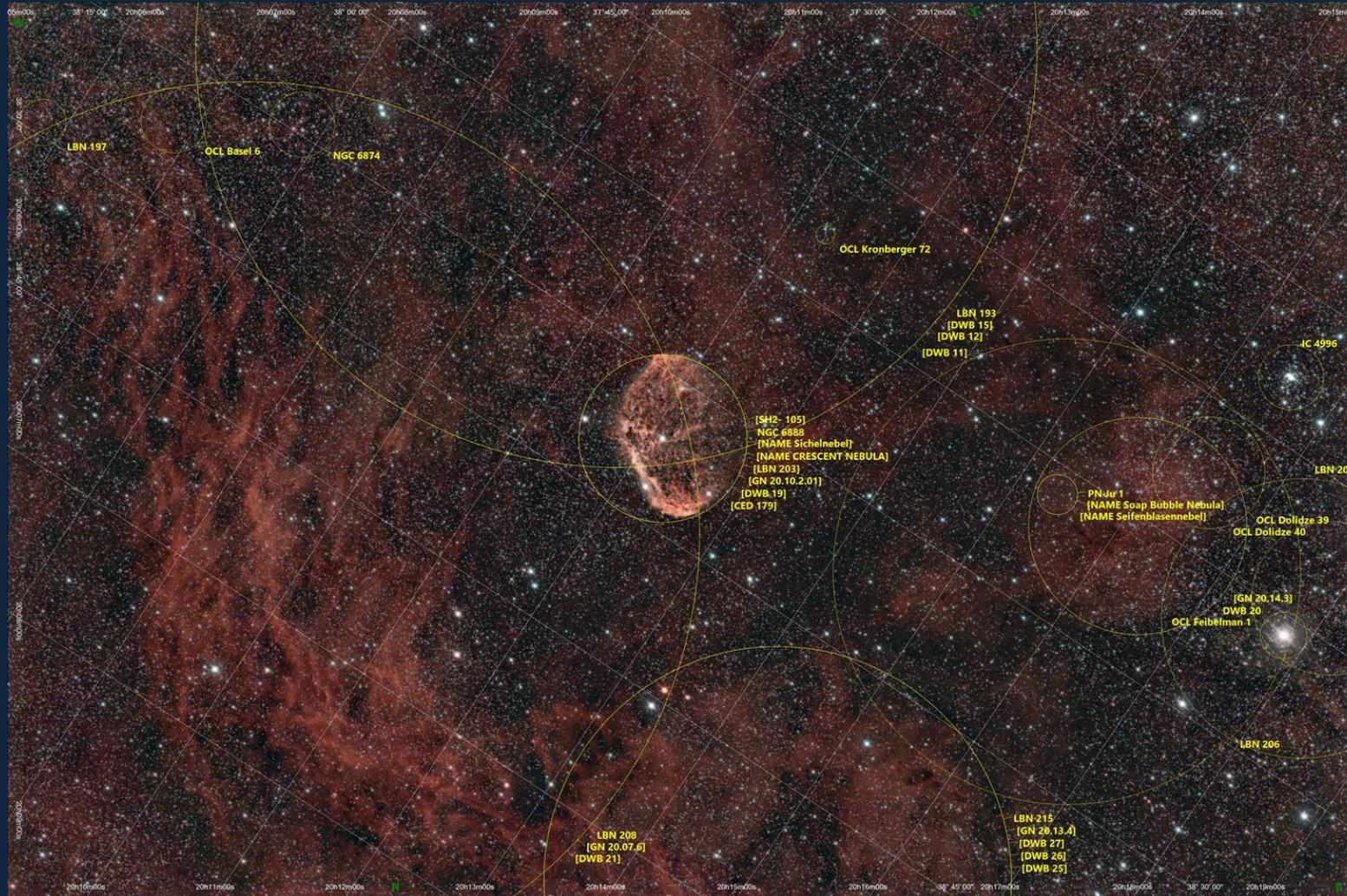
# Aufnahme-Equipment (2)

- Autoguiding: Lacerta M-GEN V3
- Dithering: Square Snake mit 10 px
- Fokussierung: Bahtinov-Maske  
Cuzdi-Maske
- Aufnahmeprogramm: Astro Photography Tool (APT),  
Version 3.88
- Bildverarbeitung: DeepSkyStacker 4.2.6, Astro Pixel  
Processor 1.0.82, PixInsight 1.8.8,  
Photoshop CS6



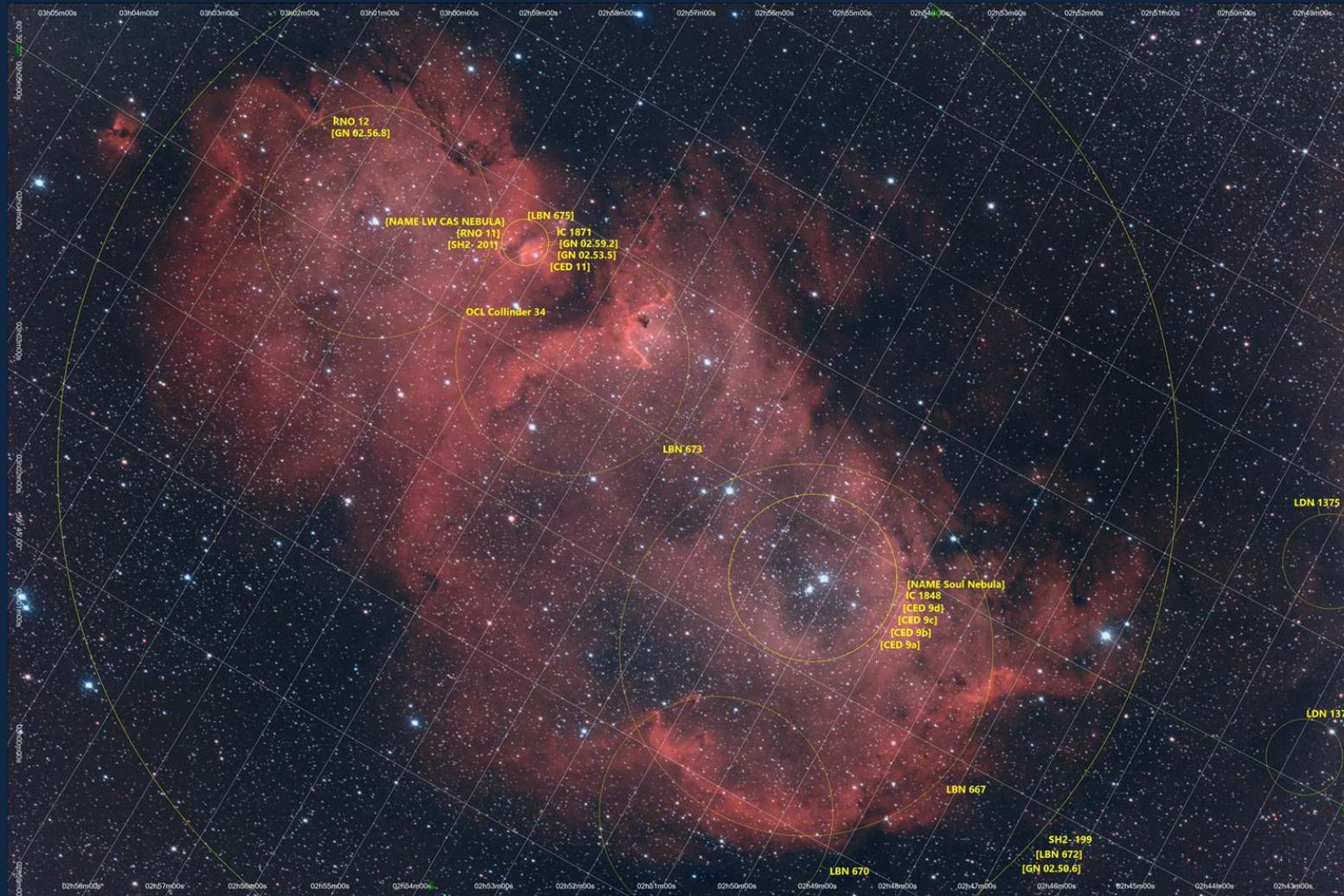
Ansteuerung mit APT über ein Laptop

# Erste Aufnahmen mit L-eNhance-Filter (1)



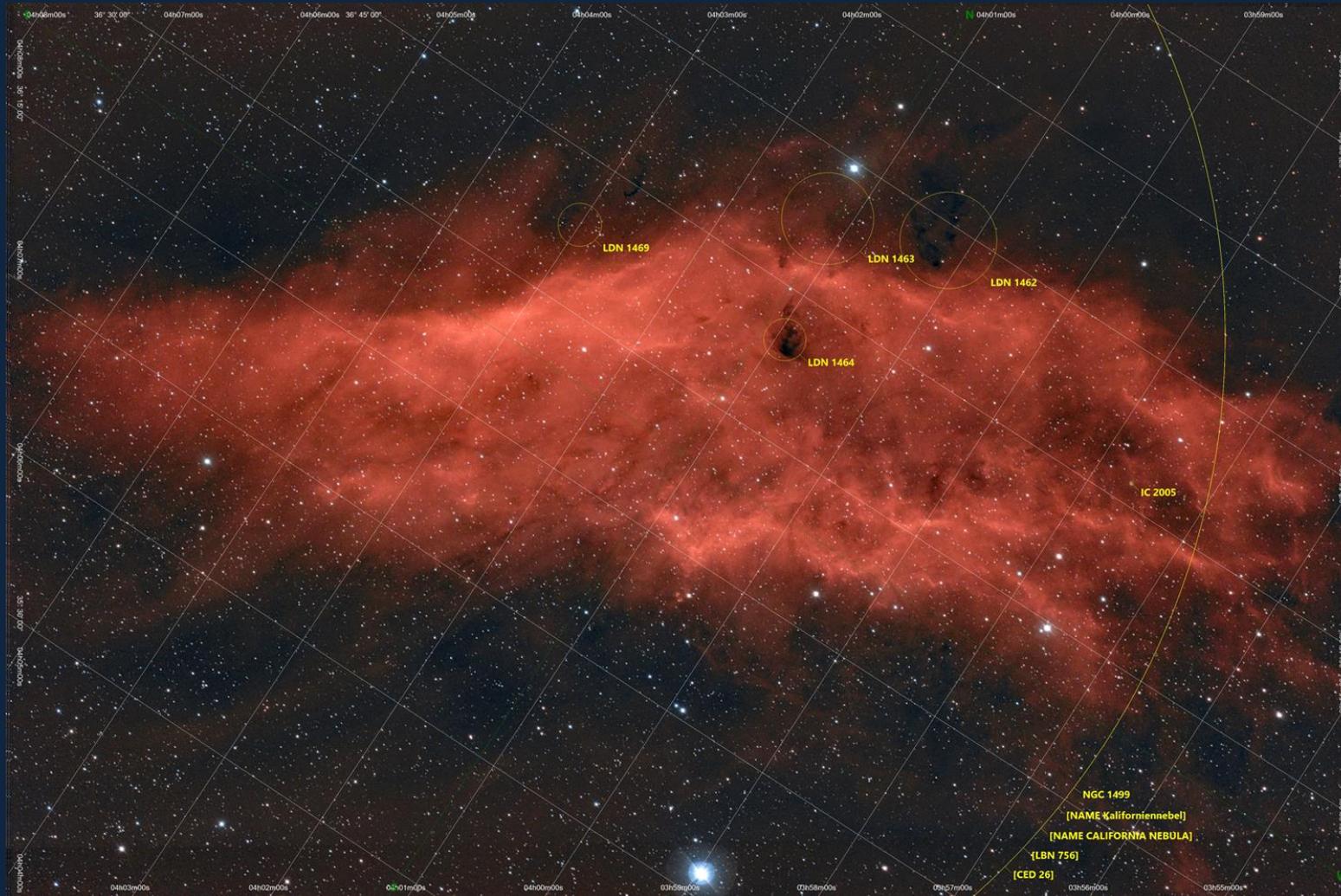
Kamera: ASI 071MC, Gain: 0, Filter:  
Optolong 2" L-eNhance, Teleskop:  
Celestron C11 SC XLT, Reducer/Flattner:  
HyperStar, Öffnungsverhältnis: 1/2,  
Brennweite: 560 mm, Belichtung pro  
Bild: 2 min, Bildanzahl: 47,  
Gesamtbelichtung: 1,5 Stunden,  
Datum: 30. November 2019

# Erste Aufnahmen mit L-eNhance-Filter (2)



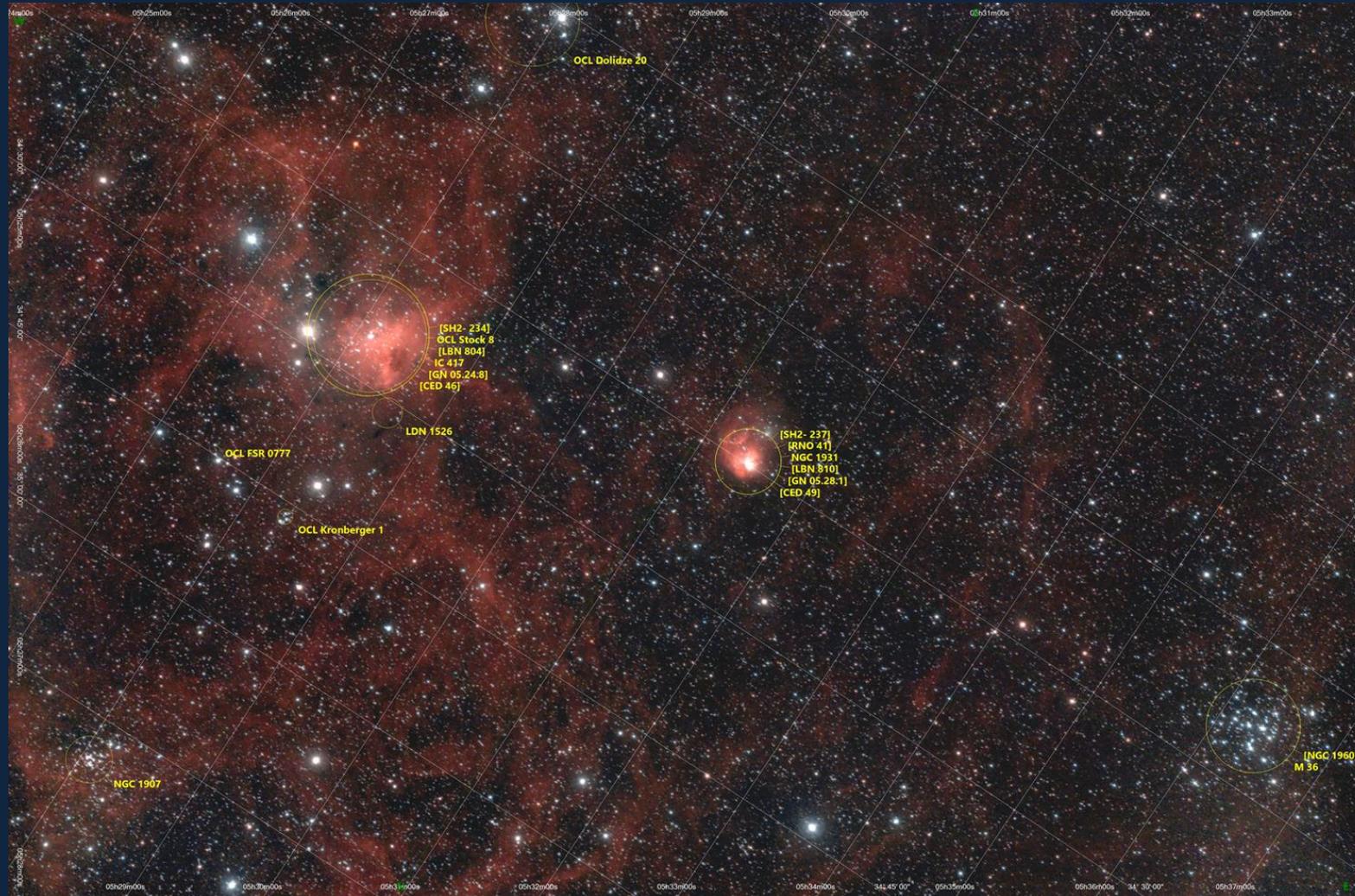
Kamera: ASI 071MC, Gain: 0, Filter:  
Optolong 2" L-eNhance, Teleskop:  
Celestron C11 SC XLT, Reducer/Flattner:  
HyperStar, Öffnungsverhältnis: 1/2,  
Brennweite: 560 mm, Belichtung pro  
Bild: 5 min, Bildanzahl: 40,  
Gesamtbelichtung: 3,5 Stunden,  
Datum: 04. Dezember 2019

# Erste Aufnahmen mit L-eNhance-Filter (3)



Kamera: ASI 071MC, Gain: 0, Filter:  
Optolong 2" L-eNhance, Teleskop:  
Celestron C11 SC XLT, Reducer/Flattner:  
HyperStar, Öffnungsverhältnis: 1/2,  
Brennweite: 560 mm, Belichtung pro  
Bild: 5 min, Bildanzahl: 28,  
Gesamtbelichtung: 2,5 Stunden,  
Datum: 19. Januar 2020

# Erste Aufnahmen mit L-eNhance-Filter (4)



Kamera: ASI 071MC, Gain: 0, Filter:  
Optolong 2" L-eNhance, Teleskop:  
Celestron C11 SC XLT, Reducer/Flattner:  
HyperStar, Öffnungsverhältnis: 1/2,  
Brennweite: 560 mm, Belichtung pro  
Bild: 5 min, Bildanzahl: 37,  
Gesamtbelichtung: 3 Stunden,  
Datum: 16. Januar 2020



Spinne (Sh2-234) und Fliege (Sh2-237) mit Messier 36

# Zwischenfazit

- Die Bildergebnisse mit einem Duofilter eröffnen für OSC-Kameras neue Möglichkeiten
- Bereits nach relativ geringer Gesamtbelichtungszeit lassen sich gute Ergebnisse erzielen
- Der Embryonebel (Sh2-199) wurde bislang in dieser Intensität noch nicht abgelichtet (weder als reine RGB-Aufnahme, noch mit IDAS-Filter)
- Die Bildverarbeitung hat sich durch den Duofilter-Einsatz nicht verändert
- Das Bild wird als reines RGB-Bild verarbeitet und kann dadurch fast real dargestellt werden
- Durch den etwas breitbandigeren Schmalbandfilter L-eNance lassen sich sogar Sternfarben ansatzweise reproduzieren ( $H\alpha = 10 \text{ nm}$ ,  $[OIII] = 24 \text{ nm}$ )
- Bereits auf den unbearbeiteten Einzelaufnahmen sieht man eine deutliche Qualitätssteigerung
- Lichtverschmutzung kann dadurch ebenfalls effektiv unterdrückt werden

# Vergleich zweier Duofilter (1)



Kamera: ASI 071MC, Gain: 90, Filter:  
Optolong 2" L-eXtreme, Teleskop:  
Celestron C11 SC XLT,  
Reducer/Flattner: HyperStar,  
Öffnungsverhältnis: 1/2, Brennweite:  
560 mm, Belichtung pro Bild: 5 min,  
Bildanzahl: 33, Gesamtbelichtung: 3  
Stunden, Datum: 18. März 2021

Kamera: ASI 071MC, Gain: 90, Filter:  
Optolong 2" L-eNhance, Teleskop:  
Celestron C11 SC XLT,  
Reducer/Flattner: HyperStar,  
Öffnungsverhältnis: 1/2, Brennweite:  
560 mm, Belichtung pro Bild: 5 min,  
Bildanzahl: 53, Gesamtbelichtung: 4,5  
Stunden, Datum: 15.-17. März 2021

# Vergleich zweier Duofilter (2)

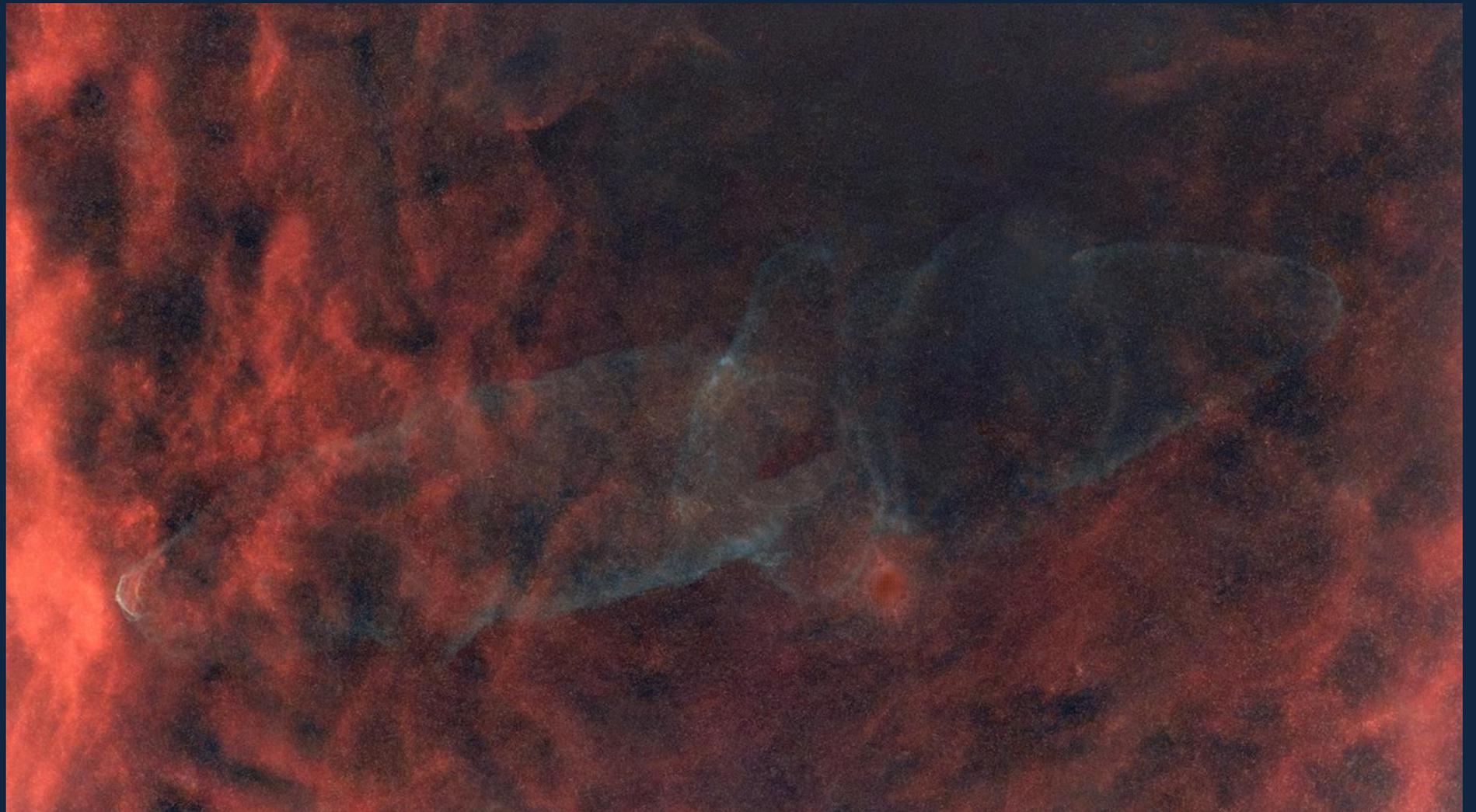


Kamera: ASI 071MC, Gain: 90, Filter:  
Optolong 2" L-eXtreme, Teleskop:  
Celestron C11 SC XLT,  
Reducer/Flattner: HyperStar,  
Öffnungsverhältnis: 1/2,  
Brennweite: 560 mm, Belichtung pro  
Bild: 5 min, Bildanzahl: 26,  
Gesamtbelichtung: 2 Stunden,  
Datum: 02. April 2021

Kamera: ASI 071MC, Gain: 90, Filter:  
Optolong 2" L-eNhance, Teleskop:  
Celestron C11 SC XLT,  
Reducer/Flattner: HyperStar,  
Öffnungsverhältnis: 1/2, Brennweite:  
560 mm, Belichtung pro Bild: 5 min,  
Bildanzahl: 56, Gesamtbelichtung:  
4,5 Stunden, Datum: 19. März 2021

# Vergleich zweier Duofilter (3)

Kamera: Lacerta DeepSkyPro2600c,  
Gain: 100, Filter: Optolong 2" L-  
eXtreme, Teleskop: Celestron C11 SC  
XLT, Reducer/Flattner: HyperStar,  
Öffnungsverhältnis: 1/2, Brennweite:  
560 mm, Belichtung pro Bild: 5 min,  
Bildanzahl: 136, Gesamtbelichtung:  
11,5 Stunden, Datum: 07./08.  
September 2020



Kamera: A.S.I.071MC, Gain: 90, Filter:  
Optolong 2" L-eNhance, Teleskop:  
Celestron C11 SC XLT,  
Reducer/Flattner: HyperStar,  
Öffnungsverhältnis: 1/2, Brennweite:  
560 mm, Belichtung pro Bild: 5 min,  
Bildanzahl: 198, Gesamtbelichtung:  
16,5 Stunden, Datum: 20., 21., 22.  
September 2020

# Vergleich beider Duofilter

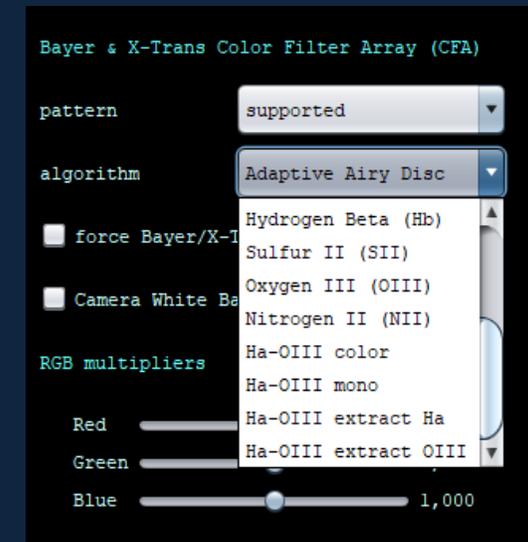
- Optolong L-eNhance Vorteile:
  - Hinterlässt oftmals einen natürlicheren Eindruck
  - Die Sternfarben lassen sich ansatzweise zurückgewinnen
  - Neben H $\alpha$  und [OIII] wird auch noch H $\beta$  aufgenommen
  - Es lassen sich H $\alpha$  und [OIII] voneinander trennen
- Optolong L-eNhance Nachteile:
  - Es bilden sich Höfe um leuchtstarke Sterne
  - Ab 40% Mondphase ist der Filter nicht mehr wirkungsvoll einsetzbar
  - [OIII] wird oftmals durch H $\alpha$  unterdrückt
- Optolong L-eXtreme Vorteile:
  - Sorgt für einen höheren Kontrast
  - Echte Schmalbandaufnahme für H $\alpha$  und [OIII]
  - Mondphasen lassen sich besser ausnutzen (bis nahezu Vollmond)
  - Es lassen sich H $\alpha$  und [OIII] sehr gut voneinander trennen
  - [OIII] kommt stärker zum Ausdruck
- Optolong L-eXtreme Nachteile:
  - Der Kontrast schafft weniger Natürlichkeit
  - Flat-Frames lassen sich schwieriger einbinden
  - Es bilden sich stärkere (Doppel-)Höfe um leuchtstarke Sterne
  - Die Sternfarben lassen sich nicht zurückgewinnen

# Auf dem Weg zur Hubble-Palette (1)

- Bei Aufnahmen von  $H\alpha$  und [OIII] kann noch ein den echten Farben ähnliches Bild erstellt werden, wenn man  $H\alpha$  = Rot und [OIII] = Grün und Blau zuordnet
- Speziell bei dem breitbandigen Schmalbandfilter L-eNhance ist dies mittels normaler RGB-Bildverarbeitung relativ einfach möglich
- Bereits Bicolor-Bilder zeigen Nebelregionen eindrucksvoll. Warum daher überhaupt ein Bild nach Hubble-Palette erstellen?
  - Die Detailfülle nimmt nochmals zu
  - Die  $H\alpha$ - und [SII]-Emissionslinie liegt im roten Farbbereich und ist daher vom menschlichen Auge nicht zu unterscheiden
  - Klareres unterscheiden der Elemente Wasserstoff, Schwefel und Sauerstoff

## Auf dem Weg zur Hubble-Palette (2)

- Wenn Schmalbandaufnahmen mit OSC-Kameras möglich sind, lässt sich auch über die Hubble-Palette nachdenken
- Die Duofilter-Aufnahmen liefern bereits H $\alpha$  und [OIII], daher könnte das Bildergebnis mit einer weiteren [SII]-Aufnahme kombiniert werden
- Dazu muss von der Duofilter-Aufnahme H $\alpha$  und [OIII] voneinander separiert werden können
- Diese Möglichkeiten bieten folgende Programme an:
  - Astro Pixel Processor (APP): <https://www.astropixelprocessor.com>
  - SIRIL: <https://www.siril.org>
- Beide Programme unterstützen explizit die Verwendung von Duofiltern



# Duofilter-Aufnahme mit L-eXtreme-Filter



Kamera: Lacerta DeepSkyPro2600c,  
Gain: 100, Filter: Optolong 2" L-  
eXtreme, Teleskop: Refraktor TS  
PHOTOLINE 130 mm-f/7-Triplett-APO,  
Reducer/Flattner: TS-Optics Field  
Flattener, 2" Corrector,  
Öffnungsverhältnis: 1/7, Brennweite:  
910 mm, Belichtung pro Bild: 5 min,  
Bildanzahl: 50, Gesamtbelichtung: 4  
Stunden, Datum: 29. Juli 2021

# Separierung der Duofilter-Aufnahme von H $\alpha$ und [OIII]



# Weitere Aufnahme mit [SII]-Filter



Kamera: Lacerta DeepSkyPro2600c,  
Gain: 100, Filter: Optolong S-II Deep-  
Sky Filter, 6,5 nm, Teleskop: Refraktor  
TS PHOTOLINE 130 mm-f/7-Triplett-  
APO, Reducer/Flattner: TS-Optics Field  
Flattener, 2" Corrector,  
Öffnungsverhältnis: 1/7, Brennweite:  
910 mm, Belichtung pro Bild: 5 min,  
Bildanzahl: 41, Gesamtbelichtung: 3,5  
Stunden, Datum: 31. August 2021

# Bearbeitung der Hubble-Palette

- Alle Light-/Dark-/Flat-/Bias-Frames werden in das APP-Programm eingelesen
- Als Algorithmus zur Bildverarbeitung wird in zwei Arbeitsschritten eingestellt:
  - Ha-OIII extract Ha
  - Ha-OIII extract OIII
- Anschließend müssen die beiden s/w-Bilder auf das [SII]-Bild ausgerichtet werden
- Dies kann man mittels PixInsight und der Funktion „Dynamic Alignment“ umsetzen
- Anschließend werden die Bilder (z.B. über Fitswork) wie folgt übereinandergelegt:
  - [SII] = Rot (einfach ionisierter Schwefel)
  - H $\alpha$  = Grün (Wasserstoff)
  - [OIII] = Blau (zweifach ionisierter Sauerstoff)

# Ergebnis der neuen Farbzuordnung



# Fazit

- CMOS-Kameras haben sich zu einer ernststen Alternative zu CCD-Kameras entwickelt
- Mit einem Dynamikumfang von 16 Bit und einem sauberen Dark-Frame werden lange Einzelbelichtungen ermöglicht
- Das Rauschen ist inzwischen so gering, dass man bei Einsatz von Dithering keine Dark-Frames mehr benötigt
- Der IMX571-Chip von Sony besitzt diese Fähigkeiten und ist von diversen Herstellern (z.B. Lacerta, ToupTek, ZWOptical, QHY) erhältlich
- Im Zusammenspiel mit einem Duofilter kommt er einer Monochrom-Kamera bei Nebelaufnahmen qualitativ sehr nah
- Damit lassen sich sogar Bilder in der Hubble-Palette aufnehmen
- Schmalband-Fotografie ist daher auch durch OSC-Kameras nun möglich geworden

Vielen Dank für ihre  
Aufmerksamkeit



AVL-Sternwarten vor dem Vereinsheim in Würden (Lilienthal)



Astronomische Vereinigung Lilienthal e.V.  
[www.avl-lilienthal.de](http://www.avl-lilienthal.de)