

Ferne Welteninseln

Über die wunderbare Welt der Galaxien am Südsternhimmel

In den letzten Jahren habe ich mich ausführlich mit HII-Regionen beschäftigt und wie man das meist leuchtende Rot dieser Nebel mit Hilfe lichtstarker Optiken und dem Einsatz von Schmalbandfiltern gut darstellen kann. Doch als Mitte 2017 feststand, dass ich im September 2018 wieder einmal für zwei Wochen auf Kiripotib in Namibia sein würde, hatte ich den Wunsch etwas anders zu machen. Ich war, ehrlich gesagt, etwas „H α -müde“ geworden. Und so entwarf ich für mich das „Projekt Galaxienzeit“: 14 Nächte ferne Welteninseln fotografieren! Fotomodelle sollten einige recht selten besuchte Galaxien des Südsternhimmels, aber auch ein paar alte Bekannte sein ...

Es war für mich „evolutionär“ folgerichtig (die Aufnahmetechnik betreffend), Galaxien als nächste Zielobjekte anzuvisieren. Bis auf wenige Ausnahmen (Magellansche Wolken, M 31 im Sternbild Andromeda und vielleicht noch M 33 im Sternbild Dreieck) sind Galaxien recht kleine Objekte und erfordern eine höhere Brennweite als manch ausgedehnte Nebelgebiete der Milchstraße. Die für Galaxien erforderliche höhere Brennweite stellt aber auch höhere Ansprüche an die Nachführgenauigkeit der verwendeten Montierung. Die Optik wird in der Regel eine geringere Lichtstärke aufweisen und in der Folge steigt die Belichtungszeit der Einzelaufnahmen. Unter diesem Aspekt ist Galaxienfotografie technisch aufwändiger und schwerer zu beherrschen als die Fotografie von ausgedehnter HII-Regionen.

Passend zu meiner Projektplanung ist im September in Namibia Galaxienzeit, insbesondere in der zweiten Nachthälfte. Zahlreiche der auf Kiripotib am Septemberhimmel erreichbaren Galaxien haben scheinbare Durchmesser von 10 - 20 Bogenminuten und können daher mit einem für den Hobbyastronom erschwinglichen Aufnahmeequipment noch hinreichend gut aufgelöst werden.

Die Suche nach einer für diese Aufgabe geeigneten, transportablen Optik führte mich zu dem eher weniger verbreiteten Reflektor Vixen VC200L mit 1800 mm Brennweite und dem Öffnungsverhältnis von 1:9. Die Optik ist vergleichsweise preiswert und leicht, dabei robust, gut verarbeitet (guter Fokussierer!) und hat ein sehr gut korrigiertes Gesichtsfeld von 42 mm Durchmesser. Eingewickelt in eine Isomatte und mit viel Schaumgummi an den Enden überstand die Optik die Flüge nach und von Namibia in einer normalen Reisetasche als aufgegebenes Gepäck (Air Namibia hatte zwei Gepäckstücke inklusive) ohne Beschädigung, ja sogar ohne Kollimationsverlust!



Bild rechts: Das verwendete Equipment auf der Beobachtungsplattform auf Kiripotib

Als Kamera kam eine gekühlte CMOS-Kamera vom Typ ASI071MC Pro mit Bayer-Matrix zum Einsatz. Sie zeichnet sich durch ein geringes Ausleserauschen, relativ große Pixel und einen großen Dynamikumfang aus. Vorteil gegenüber einer DSLR sind die geregelte Kühlung und „echte“ RAW-Bilder, Vorteil gegenüber einer CCD-Astrokamera mit RGB-Filtern die deutliche Verkürzung der Belichtungszeiten. Nachteil dieser Kamera mit Bayer-Matrix ist ihre geringere Empfindlichkeit im roten Spektralbereich. HII-Regionen – insbesondere die schwachen – kommen nicht so gut zur Geltung. Aber diesen Nachteil habe ich für dieses Projekt bewusst zu Gunsten der geringeren Belichtungszeit in Kauf genommen. Die Datenreduktion der Rohbilder wurde mit Hilfe der Software Theli [1, 2] durchgeführt. Alle Bilder wurden, ebenfalls in Theli, astrometrisch und fotometrisch (mit Hilfe des Katalogs UCAC4 [3]) kalibriert.

Eine für das Gelingen des Projektes wichtige Komponente war die „Adaptive Optik“ SVX-AOL von Starlight Xpress, die ich auch schon zu Hause seit Jahren erfolgreich einsetze. Diese korrigiert durch das (von einem Leitstern gesteuerte) Verkippen einer 13 mm dicken Glasplatte im Strahlengang Störungen in der Nachführung der Montierung, die zum Beispiel durch Windstöße, aber auch durch Mängel in der Mechanik entstehen können. Je nach Helligkeit des Leitsterns ist eine Korrektur der

Nachführung mit Frequenzen von 5 Hz durchaus möglich. Der Begriff „Adaptive Optik“ ist allerdings etwas irreführend. Im Vergleich zu den Vorrichtungen bei Großteleskopen, die der Reduzierung atmosphärischer Störungen dienen, wird hier das Seeing nicht oder nur unwesentlich verbessert. Aber die Nachführgenauigkeit kann zuverlässig auf unter 0,5 Pixel (RMS) gehalten werden. Meiner Erfahrung nach verringert sich durch den Einsatz dieser Adaptiven Optik bei einem Bildmaßstab von deutlich unter 1 Bogensekunde/Pixel, besonders bei Optiken über 1500 mm Brennweite, dramatisch der Ausschuss an nicht sauber nachgeführten (und dadurch unbrauchbaren) Aufnahmen.

Getragen und den Sternen nachgeführt wurden Optik und Kamera von einer iOptron iEQ45, die sich jetzt als Betreuermontierung auf Kiripotib befindet. Einmal einjustiert ist diese recht solide Montierung leicht zu bedienen und trägt fotografisch Fernrohre und Zubehör bis zu einem Gewicht von 10 kg.

Ein wichtiges Detail galt es schon vor der Reise nach Namibia festzulegen: Die Belichtungszeit der Einzelaufnahmen. Die Belichtungszeit sollte so gewählt werden, dass einerseits das Ausleserauschen deutlich geringer ist als das Himmelsrauschen, andererseits helle Sterne im Gesichtsfeld nicht unnötig überbelichtet werden. Es zeigte sich, dass 10 Minuten Belichtungszeit pro Einzelaufnahme auch unter dem dunklen Himmel in Namibia ausreichend sind, damit das Himmelsrauschen mindestens zweimal größer ist als das Ausleserauschen.

Die mit dem oben beschriebenen Equipment gewonnenen Aufnahmen sind in einem weitestgehend standardisierten Verfahren kalibriert und bearbeitet worden. Das Bildfeld beträgt jeweils 36,7 x 27,5 Bogenminuten zum Quadrat, Norden ist stets oben. Die Aufnahmen wurden bei -15°C oder -20°C Chiptemperatur gewonnen, lediglich NGC 6822 bei -10°C. Dieser Bericht gibt einen Überblick über die Bildergebnisse dieses Projektes - die Aufnahmen in höherer Auflösung sind auf [4] sowie Details zur Verwendung des Equipments und zur Bildbearbeitung im Anhang ab Seite 10 zu finden.

Insgesamt bin ich mit dem Ergebnis meines Projektes „Galaxienzeit“ sehr zufrieden. Einzig das Seeing war in der Zeit auf Kiripotib fast durchgängig mäßig bis schlecht. Ursache dafür war der andauernde, ausgeprägte Jetstream in der oberen Atmosphäre. In der Folge sind einige Aufnahmen leider auffällig unscharf ausgefallen.

Tab. 1: Daten zu den fotografierten Galaxien (sortiert nach NGC-Nummern)

Spalten 1 und 2: NGC- und Messier-Nr., Spalte 4: Distanz der Galaxien D in Millionen Lichtjahren, Spalte 5: größte Winkelausdehnung a der Galaxien in Bogenminuten (ermittelt aus den eigenen Aufnahmen), Spalte 6: Galaxiendurchmesser d in Lichtjahren (errechnet aus den Werten in Spalte 4 und 5), Spalte 7: scheinbare visuelle Helligkeit V in mag, Spalte 8: Flächenhelligkeit in mag pro Quadratbogensekunde, Spalte 9: FWHM (full width at half maximum) in Bogensekunden (FWHM-Werte ermittelt mit der Software CCD-Inspector), Spalte 10: Belichtungszeit der einzelnen Aufnahmen in Minuten. Die Daten für die Entfernung D wurden [5] entnommen, die Daten für die Helligkeit V und die Flächenhelligkeit S der Galaxien wurden [6] entnommen. Die größte Winkelausdehnung von NGC 598 (M33) konnte wegen der Größe der Galaxie nur näherungsweise bestimmt werden.

NGC	Messier	Sternbild	D (Mio. Lj)	a (')	D (Lj)	V (mag)	S (mag/ arcsec ²)	FWHM (")	T (min)
NGC 55	-	Sculptor	6,2	33,0	59.000	7,8	13,3	1,9	150
NGC 205	M 110	Andromeda	2,7	19,3	15.000	7,9	13,8	3,9	100
NGC 221	M 32	Andromeda	2,5	8,3	6.000	8,1	12,5	4,2	70
NGC 247	-	Cetus	10,7	21,1	65.000	8,9	13,8	2,5	150
NGC 300	-	Sculptor	6,3	22,0	40.000	8,1	13,9	2,4	180
NGC 598	M 33	Triangulum	2,8	64,3	53.000	5,5	14,0	2,5	130
NGC 1097	-	Fornax	56,0	10,1	164.000	9,5	13,8	4,1	120
NGC 1316	-	Fornax	66,2	12,8	247.000	8,4	13,0	2,1	220
NGC 1365	-	Fornax	54,0	11,0	173.000	9,5	13,9	4,1	210
NGC 5128	-	Centaurus	12,1	23,8	84.000	6,6	13,3	4,0	120
NGC 5236	M 83	Hydra	20,9	11,9	73.000	7,5	12,8	2,9	160
NGC 6744	-	Pavo	23,7	18,3	126.000	8,3	14,2	3,5	130
NGC 6822	-	Sagittarius	1,7	14,7	7.000	8,7	14,4	2,5	150
NGC 7582	-	Grus	69,2	5,5	111.000	10,5	13,0	3,3	100



Oben: NGC 55 – neben NGC 253 die zweite „große“ Galaxie im Sternbild Sculptor

Unten: M 110 (NGC 205) – Begleitgalaxie der Andromedagalaxie M 31 – Ausläufer davon unten links





Oben: M 32 (NGC 221) links im Bild vor der Spirale von M 31 – rechts unten die Sternwolke NGC 206

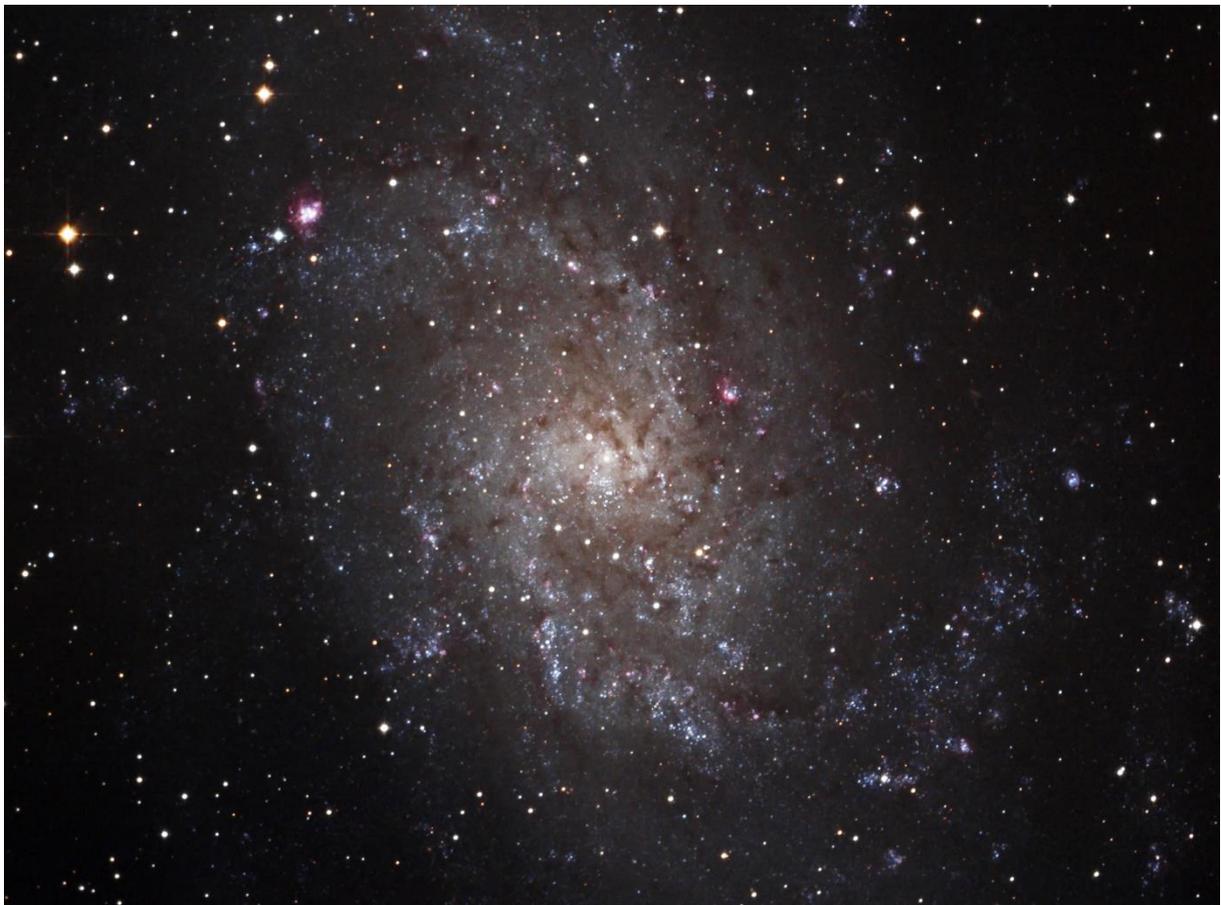
Unten: NGC 247 im Sternbild Walfisch – rechts oben die Galaxie PGC 2683





Oben: NGC 300 – eine fantastische Galaxie, findet aber wenig Beachtung bei Hobbyastronomen

Unten: M 33 (NGC 598) – die Triangulumgalaxie – viel zu groß für die hier gewählten Feldgröße





Oben: Die Seyfertgalaxie NGC 1097 könnte mehr Brennweite und besseres Seeing vertragen

Unten: NGC 1316 – auch Fornax A – zusammen mit NGC 1317 (oben) und NGC 1310 (rechts)





Oben: Die wunderschöne Balkenspirale NGC 1365 – mit NGC 247 und NGC 300 mein Lieblingsobjekt

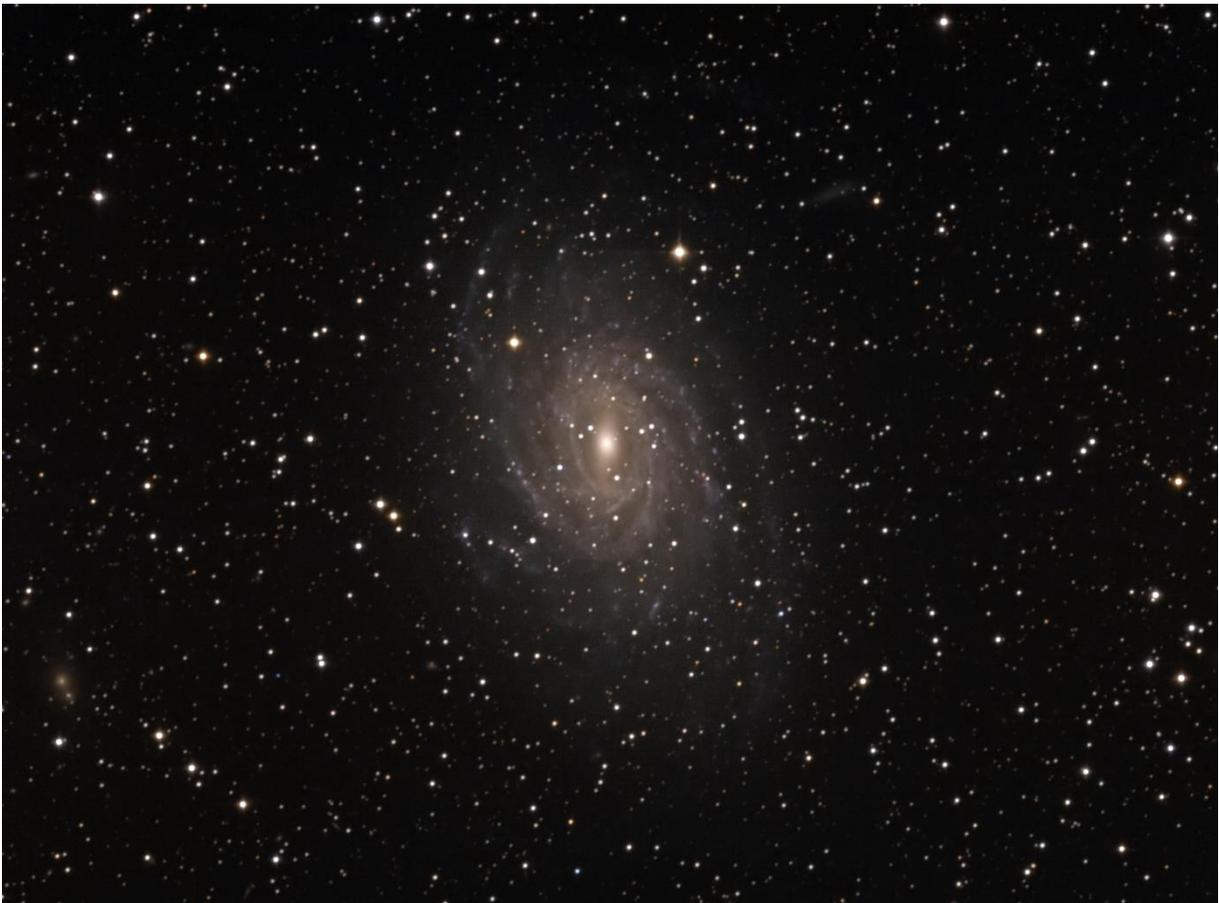
Unten: NGC 5128 – die allseits bekannte Radiogalaxie Centaurus A





Oben: M 83 (NGC 5236), recht klein, aber sehr viele Details

Unten: Die „Pavo-Galaxie“ NGC 6744 – mit dem lichtschwachen Begleiter NGC 6744A (rechts oberhalb)





Oben: Barnards Galaxie NGC 6822, ein sehr schwieriges Objekt auf Grund geringer Flächenhelligkeit

Unten: NGC 7582 (rechts) mit NGC 7590 (oben) und NGC 7599 (links)



Literatur und Internetquellen (Stand: April 2019)

- [1] Schirmer, M. (2013): „THELI: Convenient Reduction of Optical, Near-infrared, and Mid-infrared Imaging Data“; *Astrophys. Journal Suppl.* 209, article id. 21, 16 pp.
- [2] Erben, T. et al. (2013): „The Garching-Bonn Deep Survey. IV. Methods for the image reduction of multi-chip cameras demonstrated on data from the ESO Wide-Field Imager“; *Astronomische Nachrichten* 326, 432-464
- [3] Zacharias N. et al. (2013): „The fourth U.S. Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4)“; *Astron. J.* 145, 44
- [4] Homepage des Autors: www.astrodeepsky.de/reiseberichte
- [5] NASA/IPAC Extragalactic Database: <http://ned.ipac.caltech.edu/>
- [6] Revised New General Catalogue and Index Catalogue (Version: 10. March 2019): <http://www.klima-luft.de/steinicke/>

Osnabrück, im Mai 2019
Gerd Althoff

Anhang mit technischen Daten

Neben all den Galaxien hat mich natürlich auch interessiert, ob das hier verwendete Equipment für die Fotografie von Emissionsnebeln und anderen Objekten mit größeren, farbintensiven Anteilen geeignet ist. Als Beispiel dienen hier M 20 (Trifidnebel, links) und NGC 7293 (Helixnebel, rechts).

Es wurde die gleiche Aufnahmetechnik und Bildbearbeitung wie bei den oben gezeigten Fotos der Galaxien angewandt. Ich bin sehr zufrieden über die – auch ohne Schmalbandfiltern und entsprechend lange Belichtungszeiten - sehr guten Ergebnisse!



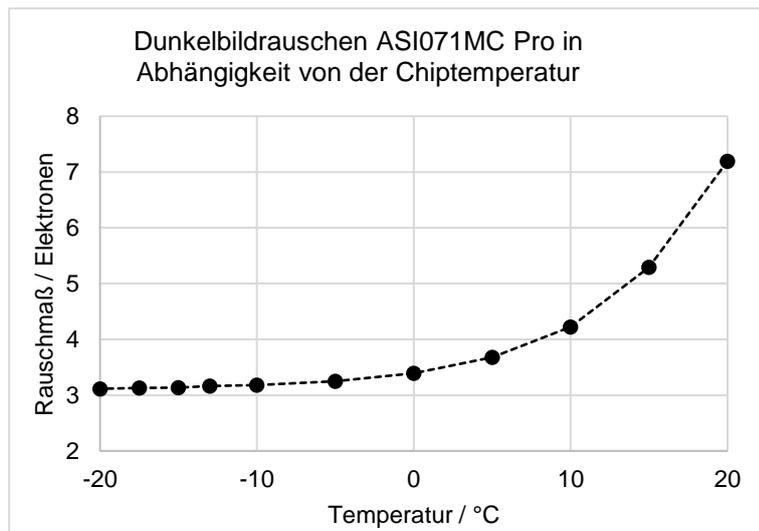
*Links: M 20 (NGC 6514 - Trifidnebel) – Belichtungszeit 120 Minuten, Seeing 2,8“
Rechts: NGC 7293 – Helixnebel – Belichtungszeit 160 Minuten, Seeing 2,9“*

Im Folgenden nun die Beschreibung der verwendeten Technik und der Aufnahmeparameter. Es werden die Themen Kamerarauschen, minimale Belichtungszeit, Dynamikumfang der Kamera, Auflösung des optischen Systems, atmosphärisches Seeing und Bildbearbeitung behandelt.

Das Kamerarauschen in Abhängigkeit von der Chiptemperatur

Die nachstehende Grafik zeigt das Rauschen von Dunkelbildern meiner ASI071MC Pro in Abhängigkeit von der Chiptemperatur.

Diese bei jeweils 600 Sekunden Belichtungszeit gewonnenen Werte für das Rauschmaß zeigen, dass bei -10 °C das Ausleserauschen zu 98% zum Gesamtrauschen beiträgt – den Chip tiefer herunter zu kühlen verbessert das Rauschen also nur wenig!



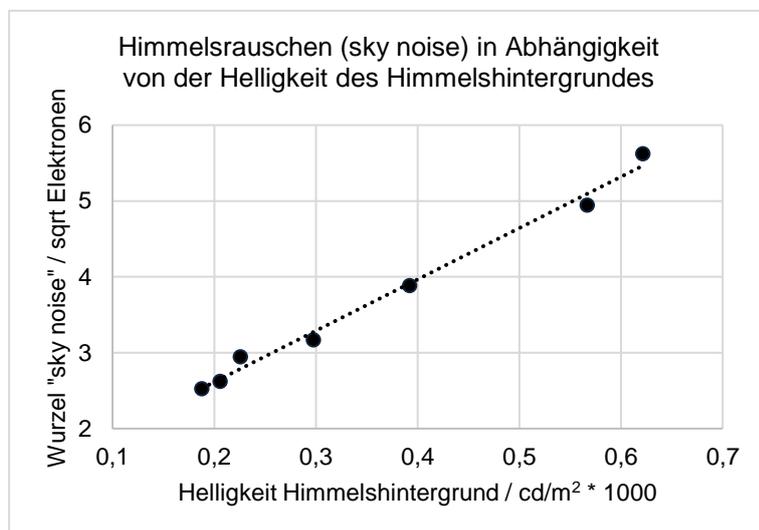
Das Ausleserauschen meiner Kamera beträgt 3,15 Elektronen – das Datenblatt gibt einen Wert von 3,2 Elektronen an – eine sehr gute Übereinstimmung!

Alle Aufnahmen für diesen Bericht wurden daher bei Chiptemperaturen von -10 °C oder darunter erstellt.

Die Ermittlung der minimalen Belichtungszeit

Um bei Astroaufnahmen ein gutes Signal-/Rauschverhältnis zu erzielen, sollte das Photonenrauschen des Himmels (sky noise) stets einen größeren Anteil beitragen als das Auslese- und Dunkelstromrauschen (read noise und dark noise).

Ist das Hintergrundrauschen des Himmels dominant, spricht man von der Aufnahme als „himmelsbegrenzt“ (sky-limited). Damit die anderen Rauschanteile nur noch eine geringe Rolle spielen, sollten sie (in Summe) mindestens um den Faktor 2 (mehr ist besser) geringer sein!



Je heller der Himmelshintergrund nun ist, desto höher ist auch das Himmelsrauschen. Und zwar steigen die Werte aus der Quadratwurzel des Photonenrausches des Himmels linear mit der Helligkeit des Himmelshintergrundes. Dies konnte ich an realen Messwerten von mir nachvollziehen (siehe Grafik links).

Die Werte für die Helligkeit des Himmelshintergrundes habe ich meinem Protokollbuch über die mit dem Sky Quality Meter ermittelten Helligkeitswerte für verschiedene Nächten entnommen (5x Kiripotib, 2x zu Hause), das Himmelsrauschen

aus den zeitgleich erstellten Aufnahmen mit Fitswork und nach Abzug des Ausleserausches ermittelt (wiederum für die für diesen Bericht verwendete Kamera ASI071MC Pro in Kombination mit der Vixen-Optik VC200L (Öffnungsverhältnis 1:9) bei 600 Sekunden Belichtungszeit).

Nun entsprechen 0,0002 cd/m x m einem Wert von 21,8 mag/arcsec x arcsec und damit in etwa dem „dunkelsten in Namibia anzutreffenden Himmel“. Das Himmelsrauschen beträgt laut Grafik unter diesen Bedingungen bei meinem Equipment etwa 2,5 x 2,5 = 6,25 Elektronen und ist damit recht genau um einen Faktor 2 größer als das Ausleserauschen (3,15 Elektronen).

Der dunkelste Himmel in Namibia erforderte nach diesen Überlegungen für mein Equipment also eine minimale Belichtungszeit von 600 s. Dies war dann auch die Standard-Belichtungszeit, die ich für alle Einzelaufnahmen verwendet habe.

Dynamikumfang der ASI071MC Pro und Datenformat

Um die Sammelkapazität der einzelnen Pixel (full well capacity, FWC) der Kamera von 0 bis 46.000 Elektronen in vollem Umfang nutzen zu können, betreibe ich die Kamera stets bei kleinster Verstärkung (Gain = 0).

Als Steuer- und Aufnahmesoftware verwende ich standardmäßig MaximDL. Bei der ASI071MC Pro konvertiert das Programm die Rohdaten der Kamera (14 Bit Auflösung) ins FITS-Format mit 16 Bit Auflösung. Die aus den im FITS-Format abgespeicherten Rohbildern ausgelesenen Werte für die einzelnen Pixel (Analog-Digital-Units oder ADU) rechnen sich wie folgt in „Elektronen“ um: Elektronen = ADU * FWC / 16 Bit

Auflösung des Systems Optik/Kamera

Mit einer Pixelgröße von 4,78 Mikrometer im Quadrat ergibt sich für die Auflösung des hier verwendeten Systems Kamera und Optik ein Wert von 0,55 Bogensekunden/Pixel (pixelscale). Dieser Wert passt einigermaßen zum Dawes-Limit des Systems von rund 0,7". Von Vixen wird für das VC200L aber eine Punktgröße (spotsize) der Sternabbildungen von 15 Mikrometer über das gesamte Feld angegeben. Dies entspricht bei der hier gegebenen Pixelgröße und „pixelscale“ einer kleinsten erreichbaren Halbwertsbreite (Full Width at Half Maximum, FWHM) der Sternabbildungen von 1,73". Die Auflösung liegt damit deutlich im Bereich der „Überabtastung“ (oversampling) – ein 2x2-Binning würde keine spürbare Verschlechterung der Sternabbildungen ergeben (habe ich allerdings nicht angewandt).

Atmosphärisches Seeing und der Jetstream

Die in einem Astrofoto sichtbare Unschärfe B von Sternabbildungen (blur) entsteht durch die Überlagerung verschiedener Einflüsse. Die wichtigsten sind hier:

1. Spot-size des verwendeten Teleskops (T)
für dieses Projekt 1,73" – siehe Abschnitt Auflösung System Optik/Kamera
2. Fehler in der Nachführung (N)
mit Hilfe der Adaptiven Optik wurde laut Nachführprotokoll von MaximDL ein Wert von kleiner 0,3" (RMS) eingehalten (<0,5 Pixel bei einer pixelscale von 0,55 arcsec/pixel)

3. Seeing (S)
Das gemittelte und gewichtete Seeing über den Zeitraum der jeweiligen Aufnahme

Abweichungen von der perfekten Fokusslage, zum Beispiel bei einer Fokusdrift, können bekanntlich erhebliche Auswirkungen auf die FWHM haben. Ich habe diesen Einfluss hier aber vernachlässigt, weil ich aus den Aufnahmeserien jeweils den besten Wert für die FWHM genommen habe.

Die Halbwertsbreite B des unscharf „verschmierten“ Sterns errechnet sich nun wie folgt:

$$B = \sqrt{(T \times T) + (N \times N) + (S \times S)}$$

Bei perfektem Seeing (Annahme hier 0") und optimal eingestelltem Fokus hätte ich bei den Aufnahmen in Namibia also mindestens mit folgender „Unschärfe“ (in Bogensekunden) zu rechnen:

$$1,75 = \sqrt{(1,732 + 0,32)}$$

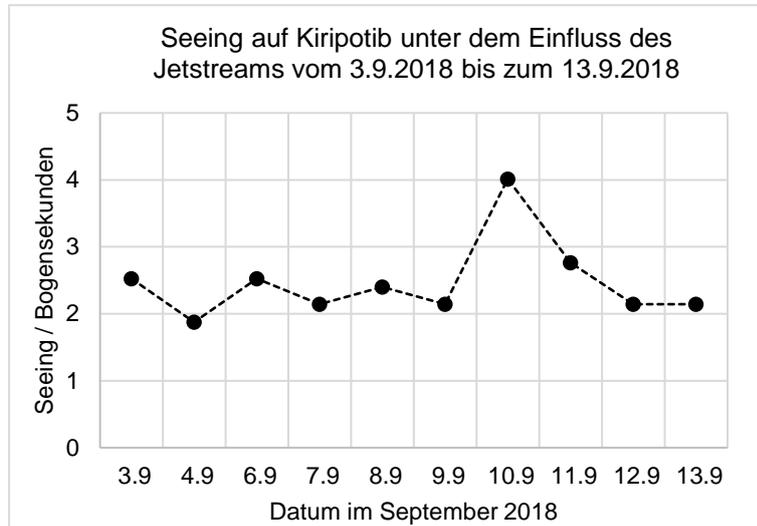
Das Seeing am Beobachtungsort Kiripotib wurde nun anhand der FWHM-Werte der Einzelaufnahmen (CCD-Inspector) und mit den oben genannten Werten für T und N wie folgt berechnet:

$$S = \sqrt{(B \times B) - (T \times T) - (N \times N)}$$

Auf Kiripotib liegen die Werte für das Seeing laut verschiedener Quellen (zum Beispiel Meteoblue, nächste Station ist „Klein Nauas“) oftmals in einem Bereich zwischen 0,5" und 0,8". Dieser fantastische Wert wird bei den Beobachtungen in Deutschland so gut wie nie erreicht. Allerdings wird in die Betrachtung des Seeings in der Regel nicht der Einfluss des sogenannten „Jetstreams“ einbezogen. Als Jetstream bezeichnet man „sich dynamisch verlagernde Starkwindbänder im Bereich der oberen Troposphäre bis zur Stratosphäre“ (Wikipedia). Offensichtlich ist der Jetstream nicht so einfach vorhersehbar und bleibt daher bei den Vorhersagen für das Seeing unberücksichtigt. Nun ist aber

(wiederum laut meteoblue auf der Seite: Speziell – Astronomical seeing) bei großen Geschwindigkeiten des Jetstream (>20 m/s) in der oberen Atmosphäre üblicherweise mit schlechtem Seeing zu rechnen.

Während meines Aufenthalts im September 2019 lagen die Werte für die Geschwindigkeit dieser Luftströmung überwiegend im Bereich zwischen 20 - 40 m/s. Dies führte dazu, dass während der gesamten Zeit die Auflösung der Aufnahmen nicht durch die Auflösung des Teleskops, sondern durch das mäßige bis schlechte Seeing begrenzt wurde.



Die ermittelten Werte für das Seeing der jeweiligen Beobachtungsnächte sind in nebenstehendem Diagramm eingezeichnet. Demnach lag das Seeing auf Kiripotib im betrachteten Zeitraum überwiegend im Bereich zwischen 2,1" und 2,5".

Dieser Wert wiederum gilt auch nur für Aufnahmen in der Nähe des Zenits bis herunter zu etwa 50° über dem Horizont. Näher am Horizont war das Seeing (wie zu erwarten) teilweise noch erheblich schlechter.

Lediglich die Aufnahme von NGC 55 vom 4.9.2018 kommt mit einem

Seeing von 1,9" in die Nähe der erreichbaren Schärfe und Auflösung von 1,75", die Nacht am 11.9.2018 war mit einem Seeing von 4" (auch in der Nähe des Zenits) sehr schlecht.

Bildbearbeitung

Für die Bearbeitung der Bilder in diesem Bericht habe ich einen (überwiegend) standardisierten Ablauf ausgearbeitet. Ziel war es, nicht „das Letzte“ aus jedem Bild herauszuholen, sondern nach der Kalibrierung der Daten in Theli mit einem überschaubaren Zeiteinsatz von rund 15 – 30 Minuten pro Bildbearbeitung einen vergleichbaren Datensatz zu erhalten. Dabei habe ich insbesondere in PixInsight darauf geachtet, bei den einzelnen Arbeitsschritten die Standardeinstellungen des Programms zu verwenden. Hier der mit allen Datensätzen durchlaufene „workflow“, gegliedert in 11 Arbeitsschritte:

Theli: Kalibrierung, Astro- und Photometrie, Ausgabe der Kanäle R, G, B und synthetische Luminanz im TIFF-Format (Schritt 1)

MaximDL: LRGB-Komposition und Ausgabe im FITS-Format (IEEE-float) (Schritt 2)

Fitswork: Umwandlung erneut in TIFF (Schritt 3)

ACDSee: Qualitätskontrolle und Zuschritt auf 3000 x 4000 Pixel (Schritt 4)

Photoshop: Gradationskurve anpassen (ggfs. mit Maskierung) (Schritt 5)

PixInsight: ggfs. Deconvolution, falls Sterne nicht exakt rund, Lightness CIE L*-Maske erstellen, LocalHistogramEqualisation zur Verstärkung der Strukturen in den Galaxien, ggfs. Lightness-Maske invertieren und ACDNR zur Rauschverminderung (Schritt 6)

ACDSee: ggfs. Fehlpixel reparieren, Tonwertkorrektur (Schwarzpunkt setzen), Farbsättigung erhöhen (Schritt 7)

Fitswork: PSF (in der Regel Gauss, 1.5px) generieren und Bild mit der PSF falten zwecks Verbesserung der Sternabbildungen (Convolution) (Schritt 8)

PixInsight: neue Lightness CIE L*-Maske erstellen, ggfs. ATrousWaveletTransform zum Schärfen der Galaxie (Schritt 9)

NeatImage: ggfs. Rauschreduzierung, aber sehr moderat wg. diverser Artefakte (Schritt 10)

ACDSee: abschließendes „Feintuning“ (Schritt 11)