



Die Messier-Objekte

Projektarbeit im Projektkurs Astronomie
Carl-Fuhlrott-Gymnasium, Jahrgang 11 / Q1

Verfasser: Arne Fischer
Projektleiter: Bernd Koch

Foto: Arne Fischer

Einleitung

Der Weltraum... unendliche Weiten...

Seit tausenden von Jahren fasziniert der Weltraum die Menschheit. Berühmte Wissenschaftler aus vergangenen Jahrhunderten machten ereignisreiche Entdeckungen am Sternenhimmel, die dazu führten, das Hier und Jetzt besser zu verstehen – und dies teilweise unter bedrohlichen Umständen, denn gerade die Wissenschaft der Astronomie und neue damit verbundene Erkenntnisse waren von der Kirche und den Gläubigen mehr als nur gefürchtet, stellten sie doch durchaus religiöse Grundgedanken wie „Die Erde ist das Zentrum des Universums“ vollständig in Frage.

Dennoch konnten selbst solche Umstände die Neugier der Wissenschaftler nicht eindämmen. Warum wohl? Es ist nicht nur die Frage des Seins, die die Menschen umtreibt, sondern es geht eine ganz eigene Faszination von den Objekten am Sternenhimmel aus.

Mich erfasste diese Begeisterung schon sehr früh. Meine Eltern besuchten gemeinsam mit mir Sternwarten und Planetarien, als ich noch in der Grundschule war. Dann hatte ich das Glück, Schüler des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums zu werden und als Klassenlehrer Herrn Michael Winkhaus zu bekommen, der mit großer Beharrlichkeit eine Schüler-Sternwarte auf dem Schuldach errichtete. Als Mitglied der Astronomie-AG erhielt ich dann Einblicke in dieses faszinierende Thema.

So erinnere ich mich noch gut an einen Themenabend über die Himmelsscheibe von Nebra, auf der angeblich die Plejaden dargestellt sein sollen. Diese Materie beeindruckte mich: Was wussten die Menschen in der Bronzezeit über unseren Himmel? Und woher hatten sie diese Kenntnisse?

Es ist ganz einfach so: Wer einmal von der Faszination der Sterne gepackt wurde, den lässt sie vermutlich nie wieder los...

Begründung des Themas

In der Jahrgangsstufe 11 (Q1) habe ich als ergänzendes Projektfach „Astronomie“ gewählt, das in diesem Jahr von dem Astrofotografen Herrn Bernd Koch geleitet wird.

Bereits zu Beginn waren Messier und seine Objekte Thema im Projekt. Hinzu kam, dass unser Projektleiter uns in einer der ersten Stunden auf der Schülersternwarte zu Aufnahmen des Objektes M57 - dem Ringnebel im Südteil des Sternbildes Leier - anregte. Bereits diese ersten Aufnahmen haben mich aufgrund ihrer Farbvielfalt und Genauigkeit derart begeistert, dass für mich klar war, darüber wollte ich in meiner Projektarbeit schreiben.

Schnell wurde deutlich, dass ich über Astrofotografie mehr lernen wollte. Denn hier reicht es nicht, einen Schnappschuss zu machen. Man muss wirklich die Technik beherrschen. Dazu gehören nicht nur Detailkenntnisse über die Geräte, sondern auch die konsequente Einhaltung von Schritten der weiteren Bearbeitung der Bilder und natürlich in diesem Zusammenhang auch Kenntnisse über die physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Die Projektarbeit beinhaltet daher auch die Dokumentation der vielen einzelnen Arbeitsschritte bis zum endgültigen Bild.

Darüber hinaus fiel mir auf, dass die Aufnahmen teilweise Störfaktoren aufwiesen. Auch diesen will ich in meiner Arbeit auf den Grund gehen.

Für mich stellen die Messier-Objekte nicht nur wegen der technischen Umsetzung eine ziemliche Herausforderung dar. Ich finde es faszinierend, dass die Objekte meiner Aufnahmen in so unvorstellbar großer Entfernung liegen und dass sie teilweise – obwohl für uns noch sichtbar - vielleicht schon nicht mehr existieren ...oder gerade neu entstehen. Darüber hinaus begeistert mich die Vielfältigkeit der Farben und Formen, die so unterschiedlich sind wie die Lebewesen dieser Welt...

Inhaltsangabe

1. Was man über Messier und seine Objekte wissen muss

1.1. Was sind Messier-Objekte?	6
1.2. Charles Messier	8
1.3. Der Messier-Katalog und seine Bedeutung	10
1.4. Fehler und Grenzen des Messier-Katalogs	14

2. Meine Messier-Objekte

2.1. Die Auswahl der Objekte	16
2.2. Planung der Aufnahmen	17

3. Die Aufnahmetechnik

3.1. Grundlagen zur Astrofotografie	18
3.2. Die Digitalkamera Canon EOS 450D	18
3.2.1. Die Funktionsweise der Kamera	19
3.2.2. Die Aufnahmesoftware (EOS Utility)	22
3.3. Filter und Teleskop	24
3.3.1. Filter	24
3.3.2. Teleskop	25
3.4. Montierung der Astro Physics GTO 900	28
3.5. Aufbau des Pentax 75-Refraktors mit Canon EOS 450D	31

4. Die Aufnahmen

4.1. Aufnahmebedingungen in den Beobachtungsnächten	32
4.2. Aufbau der Station	33

5. Die Weiterbearbeitung der Aufnahmen

5.1. Aussortieren von unscharfen und verwackelten Bildern	37
5.2. Identifizierung bekannter und unbekannter Objekte	37
5.3. Stacking der Aufnahmen mit DeepSkyStacker	42
5.3.1. Allgemeines zum Stacking mit DeepSkyStacker	42

5.3.2. Stacking mit DeepSkyStacker am Beispiel von M45 - Plejaden	43
5.4. Nachbearbeitung der gestackten Bilder mit PhotoShop	49
5.4.1. Allgemeines zur Bildbearbeitung mit PhotoShop	49
5.4.2. Bildbearbeitung mit PhotoShop am Beispiel von M45 - Plejaden	50
5.5. Die Ergebnisbilder – Steckbrief und Auswertungen	55
5.5.1. M34	55
5.5.2. M35	57
5.5.3. M36	58
5.5.4. M37	60
5.5.5. M42 und M43	61
5.5.6. M45	63
5.5.7. M57	65
6. Abschließende Überlegungen	67
7. Schlussbemerkung	68
Anlage: Quellenverzeichnis	69

1. Was man über Messier und seine Objekte wissen muss

1.1. Was sind Messier-Objekte?

Bei Messier-Objekten handelt es sich um Himmelsobjekte wie **Sternhaufen**, **Nebel** und **Galaxien**, die von dem französischen Astronomen Charles Messier katalogisiert worden sind. Sie zählen zu den sogenannten Deep-Sky-Objekten. Das sind Himmelsobjekte, die sich außerhalb unseres Sonnensystems befinden und die sehr gut bei dunklem Himmel zu sehen sind.

Hierzu einige Begriffs-Erläuterungen:

Sterne

Ein **Stern** (lateinisch stella und astrum, althochdeutsch sterno) ist in der Astronomie eine massereiche, selbstleuchtende Gaskugel. Die Strahlungsenergie beziehen die Sterne aus Kernfusionsprozessen in ihrem Inneren, die bei Temperaturen von mehreren Millionen Grad ablaufen. Die für uns Menschen erkennbare Farbe wird bestimmt durch die Oberflächentemperatur des Sterns.

Sternhaufen

Unter **Sternhaufen** versteht man eine Ansammlung von Sternen im Vergleich zu anderen Bereichen der Galaxie. Die Sterne sind durch die gegenseitige Anziehungskraft aneinander gebunden. Die Ansammlung der Sterne kategorisiert man in Offene Sternhaufen (jüngere Ansammlungen von Sternen in den Spiralarmen) und Kugelsternhaufen (ältere im galaktischen Halo).

Offene Sternhaufen

Sterne entstehen selten alleine. Wenn eine Supernova (schnelles Aufleuchten eines sterbenden Sternes durch eine Explosion) stattfindet, wird eine Druckwelle ausgelöst. In der Nähe einer überwiegend neutralen Gas- oder Staubwolke können je nach Masse der Gas oder/und Staubwolke mehrere Tausend Sterne gebildet werden. Nach einigen hundert Millionen Jahren sollen sich laut eines Schemas von Robert Julius Trümpler¹ Sternhaufen mit einer ausreichend großen Masse durch interne und externe Prozesse

¹ http://www.astroalarm.de/galaxis_oh.htm

allmählich auflösen. Das geschieht, wenn sich im Inneren Sterne zu nah kommen. Dies führt dazu, dass die Geschwindigkeit des einen Sterns stark erhöht wird, die Fluchtgeschwindigkeit des Sternhaufens überschreitet und er ihm dadurch entkommen kann. So kommt es zur langsamen Auflösung des Sternhaufens. Die Zeitspanne bis zum Verlust der Hälfte der Sterne reicht von 150 bis 800 Millionen Jahre, je nach Anfangsdichte.

Die Offenen Sternhaufen, die Messier entdeckte bzw. katalogisierte, sind zwischen 400 und 7.000 Lichtjahre entfernt. Sie haben einen Durchmesser von einigen hundert Lichtjahren.

Kugelsternhaufen

Kugelsternhaufen sind die ältesten Sternansammlungen in unserer Galaxis - der Milchstraße. Sie sind meist schon 12,7 Milliarden Jahre alt und liegen im Halo der Milchstraße. Sie werden auch in 12 Klassen unterteilt, von „kompakt“ bis „locker“. Die meisten Sterne in den Sternhaufen sind als Rote Riesen bereits in der Endzeit ihres Lebens und daher auch rötlich gefärbt.

Mittlerweile gibt es schon mehr als 150 entdeckte Kugelsternhaufen, von denen Messier 29 katalogisierte. Sie liegen zwischen 7.000 und 87.000 Lichtjahren entfernt und haben einen Durchmesser von 35 Lichtjahren bis 300 Lichtjahren.

Galaxie

Unter **Galaxie** versteht man eine Ansammlung von Sternen, Planetensystem, Nebeln und Staubwolken, die durch die Gravitation zusammen gehalten werden. Der Begriff „Galaxis“ stammt aus dem altgriechischen und bedeutet „Milchstraße“. Damit ist unsere eigene Galaxie gemeint.

Halo

Der Begriff **Halo** (griechisch: Lichthof) bezeichnet einen etwa kugelförmigen Bereich, der eine Galaxie umgibt.

Nebel

Der Begriff **Nebel** stammt aus dem althochdeutschen nebul bzw. aus dem lateinischen nebula und bedeutet Wolke. Nebel wurden in der Astronomie bereits frühzeitig erkannt und bezeichneten alle leuchtenden diffusen Objekte an der Himmelskugel.

Galaktische Nebel

Galaktische Nebel entstehen durch intensive ionisierende UV-Strahlung eingebetteter Sterne. Die UV-Strahlung regt dabei den Gasnebel zum Eigenleuchten an. Zu den Galaktischen Nebeln in unserer Milchstraße zählen auch die Reflektionsnebel. Wie der Name schon sagt, reflektieren hier Staubwolken das Licht von Sternen.

Planetarische Nebel

Wenn ein Stern das Ende seines „Lebens“ erreicht, verbrennt dieser nur noch in einer Schale den Wasserstoff. Zur gleichen Zeit beginnt er zu pulsieren, er reagiert sehr empfindlich auf Temperaturschwankungen. Es kommt mehrfach zu Ablösungen von Teilen der Sternatmosphäre mit einer Geschwindigkeit von etwa 40 km/s. Temperaturen von bis zu 25.000 Grad regen diese abgelösten Teile zum Leuchten an. Im Zentrum dieser **Planetarischen Nebel** bleibt ein Weißer Zwergstern zurück.

1.2. Charles Messier

Die Messier-Objekte sind nach Charles Messier benannt worden – dem Mann, der sie katalogisiert hat.

²Charles Messier, geb. 26.06.1730 in Badonviller/Lothringen, gest. 12.04.1817 in Paris, war ein französischer Astronom. Er arbeitete unter anderem als Astronom für die französische Marine, später für das Bureau des Longitudes (ein französisches astronomisches Institut)



Abbildung 1: Charles Messier

² Abbildung 1 : http://astronomy.meta.org/monatlich/0911_monatsthema_k.jpg, 01.05.2011

und verbrachte einen Großteil seines Lebens mit der Suche nach Kometen.

Dabei stieß er immer wieder auf diffuse Objekte. Als Charles Messier die für ihn unbekannten, merkwürdigen Objekte am Himmel betrachtete, wusste er nur, dass es sich hierbei nicht um Kometen handelte. Sie wiesen nämlich keine Eigenbewegung auf.

Daher kam er zu dem Schluss, dass sich die Objekte außerhalb unseres Sonnensystems befinden mussten. Um seine Kometensuche zu vereinfachen und Verwechslungen vorzubeugen, listete Charles Messier diese Objekte auf. Er fand immer mehr dieser Objekte und notierte sich die Himmelskoordinaten der gefundenen Objekte, um Verwechslungen mit Kometen auszuschließen. Das Objekt, das Messier am 28. August 1758 als erstes in seinem Katalog aufführte, war der Krebsnebel, der mit der Bezeichnung „M1“ katalogisiert wurde. Der Nebel befindet sich im Sternbild Stier. Messier entdeckte ihn beim Betrachten des Kometen „de la Nux“. Er beschrieb dies wie folgt (übersetzt):

³„Nebel über dem südlichen Horn des Stiers, enthält keine Sterne. Es ist ein weißliches Licht, lang gestreckt in Form einer Kerzenflamme, entdeckt bei der Beobachtung des Kometen von 1758.“

Aus der Auflistung entwickelte Messier einen Katalog, der nach ihm benannt wurde – den Messier-Katalog. Der Messier-Katalog beschreibt heute faktisch die 110 zumeist hellsten astronomischen Objekte am Nordsternhimmel außerhalb unseres Sonnensystems. Von den 110 Objekten sind 40 Galaxien, 29 Kugelsternhaufen und 26 offene Sternhaufen, sieben galaktische Nebel, vier planetarische Nebel, ein Supernova-Rest und drei sonstige Objekte.

Der Katalog ist natürlich keine vollständige Auflistung sämtlicher Nebel, Sternhaufen und Galaxien, da Messier damals noch nicht die nötigen Mittel für die Entdeckung mancher Objekte hatte. Darüber hinaus ist noch festzuhalten, dass Messier nicht als Entdecker aller Objekte, sondern nur eines Teils davon benannt werden kann. Viele Objekte sind bereits zuvor von anderen Wissenschaftlern beobachtet worden. Teilweise

³ http://www.astrofoto.de/messier/highlite/charles_messier.htm

wurden ihm Informationen über Objekte zugetragen, die er dann noch einmal am Himmel überprüfte. Sein Verdienst ist die systematische Katalogisierung.

Die erste Katalogisierung von Messier umfasste zunächst 45 Objekte und wurde 1771 veröffentlicht. Im Jahr 1774 machte Jérôme Lalande, der damals führende Astronom Frankreichs, Charles Messier mit Pierre Méchain bekannt. Dies führte zu einer guten und intensiven Zusammenarbeit. Bereits 1780 war der Katalog auf 68 Einträge angewachsen. Im September 1782 entdeckte Méchain das 107. Messier-Objekt. Von da an stellte Messier seine Suche nach weiteren Nebeln ein und konzentrierte sich wieder auf Kometen – wohl deshalb, weil Wilhelm Herschel mit seinen eigens entwickelten Teleskopen, die denen Messiers überlegen waren, seine Beobachtungen begonnen hatte. Die letzte Fassung des Messier-Katalogs wurde 1781 in *Connaissance des temps* für das Jahr 1784 veröffentlicht.

Messier benutzte eine Reihe sehr unterschiedlicher Teleskope, darunter Fernrohre mit Brennweiten von bis zu sieben Metern und Refraktoren mit Spiegeldurchmessern von bis zu 200 mm Öffnung. Dass wir heutzutage dank moderner Technik, größerer Teleskope und Fernrohre mit größeren Brennweiten wesentlich mehr Erkenntnisse haben als Messier und Co zur damaligen Zeit, versteht sich von selbst.

1.3. Der Messier-Katalog und seine Bedeutung

Der Messier-Katalog war nicht der erste Katalog dieser Art - aber er war der erste derartige Katalog, der hinreichend vollständig und fehlerfrei war, um für praktische Beobachtungen einsetzbar zu sein.

Der Messier-Katalog ist daher heute noch von großer praktischer Bedeutung. Er war und ist einer der Ausgangspunkte für die systematische Erforschung von Galaxien, Nebeln und Sternhaufen und die von ihm vergebenen Nummern sind nach wie vor die übliche Bezeichnung vieler wichtiger Himmelsobjekte.

Die Objekte tragen alle nach ihrem Entdecker Messier die Bezeichnung M – so z.B. lautet die Bezeichnung für den Krabbennebel M1. Viele M-Objekte tragen darüber hinaus

aber auch noch die Buchstabenfolge NGC. Sie steht für New General Catalogue, ein Katalog, der 1888 veröffentlicht wurde und Nebel, Sternhaufen und Galaxien auflistet.

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Messier-Kataloges war die Natur der dort verzeichneten Objekte noch unklar. Die Forschungen, die aufklärten, was es mit Galaxien, Nebeln und Sternhaufen auf sich hatte, nahmen vom Messier-Katalog, vom New General Catalogue und vom Index-Katalog ihren Ausgang.

Unter Amateurastronomen und in Volkssternwarten ist der Messier-Katalog sehr beliebt. Die darin aufgeführten Objekte können bereits mit relativ kleinen Teleskopen oder starken Ferngläsern beobachtet werden.

Eine besondere Beobachtungsaufgabe stellen dabei sogenannte Messier-Marathons dar, in deren Rahmen jeder Teilnehmer im Laufe einer einzigen Nacht versucht, möglichst viele Messier-Objekte zu beobachten.

Hier die vollständige Auflistung der Messier-Objekte von M1 bis M110⁴:

M	Name	Objekttyp	Sternbild
1	Krebsnebel	Supernovarest	Stier
2		Kugelsternhaufen	Wassermann
3		Kugelsternhaufen	Jagdhunde
4		Kugelsternhaufen	Skorpion
5		Kugelsternhaufen	Schlange
6	Schmetterlingshaufen	Offener Sternhaufen	Skorpion
7		Offener Sternhaufen	Skorpion
8	Lagunennebel	Emissionsnebel und Offener Sternhaufen	Schütze
9		Kugelsternhaufen	Schlangenträger
10		Kugelsternhaufen	Schlangenträger
11	Wildentenhaufen	Offener Sternhaufen	Schild
12		Kugelsternhaufen	Schlangenträger
13	Herkuleshaufen	Kugelsternhaufen	Herkules
14		Kugelsternhaufen	Schlangenträger
15		Kugelsternhaufen	Pegasus
16	Adlernebel	Offener Sternhaufen und Emissionsnebel	Schlange
17	Omeganebel, Schwanennebel	Emissionsnebel und Offener Sternhaufen	Schütze
18		Offener Sternhaufen	Schütze
19		Offener Sternhaufen	Schlangenträger

⁴ Bernd Koch, Stefan Korth, Die Messier-Objekte. Kosmos-Verlag, Stuttgart (2010)

20	Trifidnebel	Emissionsnebel und Offener Sternhaufen	Schütze
21		Offener Sternhaufen	Schütze
22		Kugelsternhaufen	Schütze
23		Offener Sternhaufen	Schütze
24	Kleine Sagittarius-Wolke	Milchstraßenwolke	Schütze
25		Offener Sternhaufen	Schütze
26		Offener Sternhaufen	Schild
27	Hantelnebel	Planetarischer Nebel	Füchschchen
28		Kugelsternhaufen	Schütze
29		Offener Sternhaufen	Schwan
30		Kugelsternhaufen	Steinbock
31	Andromeda-Nebel	Galaxie	Andromeda
32		Galaxie	Andromeda
33	Dreiecks-Nebel	Galaxie	Dreieck
34		Offener Sternhaufen	Perseus
35		Offener Sternhaufen	Zwillinge
36		Offener Sternhaufen	Fuhrmann
37		Offener Sternhaufen	Fuhrmann
38		Offener Sternhaufen	Fuhrmann
39		Offener Sternhaufen	Schwan
40	Winnecke 4	zwei Sterne	Großer Bär
41		Offener Sternhaufen	Großer Hund
42	Orion-Nebel	Emissionsnebel	Orion
43		Emissionsnebel	Orion
44	Praesepe	Offener Sternhaufen	Krebs
45	Plejaden	Offener Sternhaufen	Stier
46		Offener Sternhaufen	Achterdeck
47		Offener Sternhaufen	Achterdeck
48		Offener Sternhaufen	Wasserschlange
49		Galaxie	Jungfrau
50		Offener Sternhaufen	Einhorn
51	Whirlpool-Galaxie	Galaxie	Jagdhunde
52		Offener Sternhaufen	Kassiopeia
53		Kugelsternhaufen	Haar der Berenike
54		Kugelsternhaufen	Schütze
55		Kugelsternhaufen	Schütze
56		Kugelsternhaufen	Leier
57	Ringnebel	Planetarischer Nebel	Leier
58		Galaxie	Jungfrau
59		Galaxie	Jungfrau
60		Galaxie	Jungfrau
61		Galaxie	Jungfrau
62		Kugelsternhaufen	Schlangenträger
63	Sonnenblumengalaxie	Galaxie	Jagdhunde
64	Das Schwarze Auge	Galaxie	Haar der Berenike
65		Galaxie	Löwe
66		Galaxie	Löwe
67		Offener Sternhaufen	Krebs
68		Kugelsternhaufen	Wasserschlange
69		Kugelsternhaufen	Schütze

70		Kugelsternhaufen	Schütze
71		Kugelsternhaufen	Pfeil
72		Kugelsternhaufen	Wassermann
73		vier Sterne	Wassermann
74		Galaxie	Fische
75		Kugelsternhaufen	Schütze
76	Kleiner Hantelnebel	Planetarischer Nebel	Perseus
77		Galaxie	Walfisch
78		Reflexionsnebel	Orion
79		Kugelsternhaufen	Hase
80		Kugelsternhaufen	Skorpion
81		Galaxie	Großer Bär
82	Zigarrengalaxie	Galaxie	Großer Bär
83	Südliche Feuerradgalaxie	Galaxie	Wasserschlange
84		Galaxie	Jungfrau
85		Galaxie	Haar der Berenike
86		Galaxie	Jungfrau
87		Galaxie	Jungfrau
88		Galaxie	Haar der Berenike
89		Galaxie	Jungfrau
90		Galaxie	Jungfrau
91		Galaxie	Haar der Berenike
92		Kugelsternhaufen	Herkules
93		Offener Sternhaufen	Achterdeck
94		Galaxie	Jagdhunde
95		Galaxie	Löwe
96		Galaxie	Löwe
97	Eulennebel	Planetarischer Nebel	Großer Bär
98		Galaxie	Haar der Berenike
99		Galaxie	Haar der Berenike
100		Galaxie	Haar der Berenike
101	Feuerradgalaxie	Galaxie	Großer Bär
102	Spindelgalaxie	Galaxie	Drache
103		Offener Sternhaufen	Kassiopeia
104	Sombrero-Nebel	Galaxie	Jungfrau
105		Galaxie	Löwe
106		Galaxie	Jagdhunde
107		Kugelsternhaufen	Schlangenträger
108		Galaxie	Großer Bär
109		Galaxie	Großer Bär
110		Galaxie	Andromeda

„Dieses Messierposter zeigt in seiner Gesamtheit alle Messierobjekte, die mit modernen Digitalkameras (modifizierte Canon DSLR / astronomische CCD) zwischen ca. 2007 und 2009 von Bernd Koch in seiner Sternwarte in Sörth / Westerwald und mit einem angemietetem Teleskop auf Farm Tivoli / Namibia (siehe Poster unten rechts) aufgenommen wurden. Da alle Bilder aus "einer Hand" fotografiert und bearbeitet wurden, ist dies

eine vollständige, mit moderner Kamera- und Bearbeitungstechnik erstellte homogene Übersicht über alle 110 Messier-Objekte.“⁵

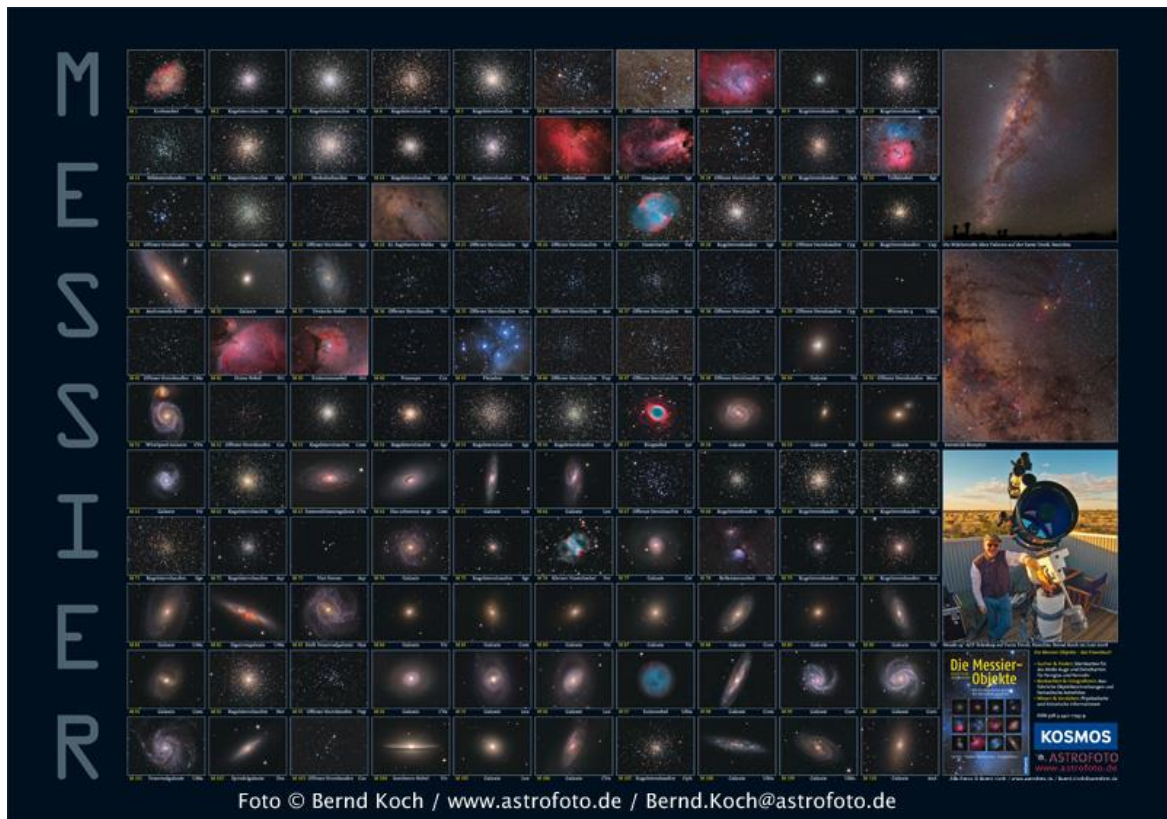


Abbildung 2: Poster der Messier-Objekte⁶

1.4. Fehler und Grenzen des Messier-Katalogs

Es ist bekannt, dass der Katalog höchstens einen Fehleintrag hat – und zwar bei Messier 102.

Allerdings herrscht unter Wissenschaftshistorikern keine Einigkeit, ob es sich bei Messier 102 um eine fehlerhafte zweite Aufführung des Objekts Messier 101 handelt, oder um eine Beobachtung der „Spindelgalaxie“ NGC 5866, die in modernen Versionen des Kataloges als M102 zu finden ist.

⁵ Text von: <http://www.astrofoto.de/messier/messier.htm>

⁶ Abbildung 2: <http://www.astrofoto.de/>

Außerdem hat der Messier-Katalog zwei Einträge, die keine flächenhaften Objekte bezeichnen, nämlich Messier 40 und Messier 73. Bei Messier 40 handelt es sich eigentlich um den Doppelstern Winnecke 4. Messier 73 ist eine Gruppe von Sternen, bei der nicht gesichert ist, ob sie als offener Sternhaufen wirklich zusammen gehören.

Darüber hinaus finden sich eine Reihe heute bekannter Nebel nicht im Messier-Katalog. Sie waren für die Teleskope der damaligen Zeit einfach zu lichtschwach.

Hierzu gehören unter anderem der Pferdekopfnebel und einige hellere Galaxien, die später im New General Catalogue (1888) und im Index-Katalog (erste Version 1895, zweite Version 1908) aufgeführt wurden. Auch einige hellere Objekte wie der Doppelsternhaufen η + χ im Perseus und die Hyaden haben keinen Katalogeintrag.

Es ist wichtig zu wissen, dass im Messier-Katalog allgemein nur die von der Nordhalbkugel aus sichtbaren Objekte berücksichtigt wurden. Der Katalog enthält keine Objekte südlich der Deklination -35 Grad. Wie hätte man diese von Frankreich aus auch sehen können?

2. Meine Messier-Objekte

2.1. Die Auswahl der Objekte

Die Auswahl der zu betrachtenden und schließlich die Entscheidung für bestimmte Messier-Objekte sind mir durchaus schwer gefallen. Jedes Objekt hat seine Besonderheit und seinen besonderen Reiz. Eine große Anzahl Objekte entfiel allerdings schon aus dem Grund, weil man sie am Winterhimmel nicht beobachten kann. Entweder liegen sie im Winter zu tief oder sie sind überhaupt nicht sichtbar.

Daher habe ich mir zunächst im Programm Stellarium⁷ einen ersten Überblick verschafft. Danach hatte ich eine Auswahl von 21 Objekten. Ich hatte auf jeden Fall die Absicht, mindestens jeweils einen Sternhaufen, eine Galaxie und einen Planetarischen Nebel zu fotografieren, konnte mich aber immer noch nicht so recht entscheiden. Eine große Hilfe war das Buch „Die Messier-Objekte“ von Bernd Koch und Stefan Korth. In diesem Buch ist jedes Objekt fotografiert und detailliert beschrieben. Auf Anraten meines Lehrers, Herrn Koch, habe ich bei der Auswahl den Schwerpunkt auf die Helligkeit der Objekte gelegt. So kam ich schnell zu dem Ergebnis, dass vielleicht einige der Objekte nicht so gut für die Aufnahmegерäte einer Schülersternwarte geeignet sein könnten. Abgesehen davon hatten wir ziemliches Pech mit dem Wetter. Es gab in unserer Projektzeit eigentlich nur zwei Abende, an denen das Wetter so gut war, dass der Nachthimmel für unsere Beobachtungen und Aufnahmen klar genug war.

Letztendlich fiel meine Entscheidung zugunsten folgender Messier-Objekte aus:

- M34 – offener Sternhaufen im Sternbild Perseus
- M35 – offener Sternhaufen im Sternbild Zwillinge
- M36 und M38 – zwei offene Sternhaufen im Sternbild Fuhrmann
- M37 – offener Sternhaufen im Sternbild Fuhrmann
- M42 und M43 – Orion-Nebel im Sternbild Orion
- M45 – Plejaden, Siebengestirn, offener Sternhaufen im Sternbild Stier

Zusätzlich mit aufgenommen wurde:

- M57 – Ringnebel in der Leier

(Anmerkung zu M57: Die Aufnahmen habe ich bereits im Astrofotokurs im Oktober 2012 gemacht.)

⁷ <http://www.stellarium.org/de/>

2.2. Planung der Aufnahmen

Nach der Entscheidung für die vorgenannten Messier-Objekte war als nächstes die Planung der Aufnahmen von wesentlicher Bedeutung. Für gute astronomische Fotografien ist eine systematische und eingehende Planung wichtig, bei der insbesondere die Aufnahmebedingungen berücksichtigt werden müssen.

Eine Checkliste für die kurzfristig anberaumten Beobachtungsabende sollte dabei helfen, nichts Wesentliches zu vergessen. Als die Termine bekannt gegeben wurden, sind die geplanten Objekte noch einmal hinterfragt worden – insbesondere vor der Frage, wie hoch die Objekte zu diesem Zeitpunkt am Himmel standen. Je höher ein Objekt am Himmel steht, umso weniger werden Aufnahmen durch die Atmosphäre und die Lichter der Umgebung beeinflusst.

Die Aufnahmen erfolgten alle von der Schülersternwarte des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums, Jung-Stilling-Weg 45, Wuppertal-Hahnerberg. Auf dem Dach der Schule ist die Sternwarte mit insgesamt 7 Beobachtungsstationen (davon sechs Inseln) eingerichtet. Meine Fotos entstanden ausnahmslos an Station 5 (Abb. 3).



8

Abbildung 3: Station 5 der Schülersternwarte am CFG

Sämtliche Aufnahmen (ausgenommen die Aufnahme von M57) erfolgten aufgrund des vorwiegend bedeckten Himmels in diesem Winter am 11. und 12. Januar 2013.

⁸ Foto: Arne Fischer

3. Die Aufnahmetechnik

3.1. Grundlagen zur Astrofotografie

Messier-Objekte gehören wie bereits erwähnt zu den Deep-Sky-Objekten, also zu Objekten außerhalb unseres Sonnensystems. Astrofotografie in diesem Deep-Sky-Bereich stellt damit besondere Anforderungen an die Fotografie. Die Objekte sind relativ lichtschwach und müssen daher langzeitbelichtet werden.

Für gute Fotos benötigt man nicht nur sehr gute Aufnahmegерäte mit manuell einstellbaren empfindlichen Kameras, sondern in erster Linie sehr lichtstarke, standfest montierte Teleskope, die optisch perfekt abbilden. Um abschließend wirklich gute Resultate zu erzielen, ist dies aber nicht ausreichend. Die Fotos müssen anschließend gestackt und nachbearbeitet werden.

3.2. Die Digitalkamera Canon EOS 450D

Ich habe für meine Aufnahmen der Messier-Objekte eine digitale Spiegelreflex-Kamera verwendet, konkret eine modifizierte Canon EOS 450D. Da normale Kameras für die Astronomie ungeeignet sind, wurde die Canon EOS 450D für diese Zwecke umgebaut. Normale Kameras nehmen durch einen speziellen Filter nur das für das menschliche Auge sichtbare Licht auf. Der im Austausch eingebaute ACF-Filter lässt einen größeren Wellenlängenbereich durch und hat insbesondere bei der wichtigen H-alpha-Wellenlänge 656,28nm fast 100% Transmission. Der Bildsensor erhält nun mehr Licht, die Lichtempfindlichkeit steigt.

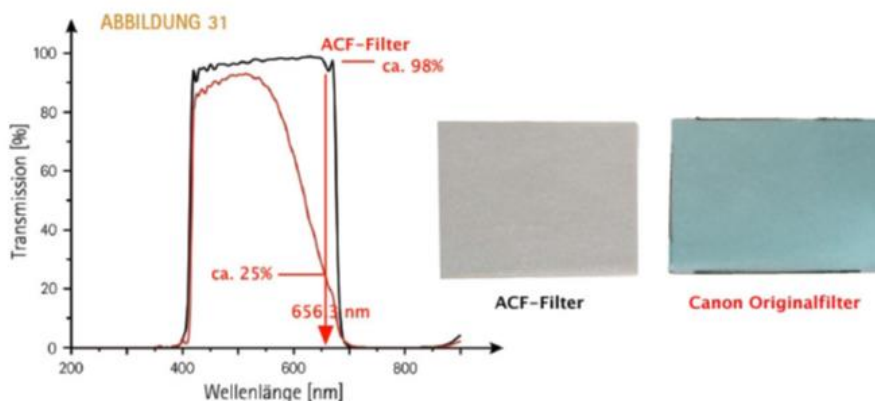


Abbildung 4⁹: Vergleich der Transmission des Canon-Original-Filters (roter Graph) und des für die Astrofotografie eingesetzten ACF-Filters (schwarzer Graph)

⁹ Abbildung 4: Bernd Koch – Skript „Astrofotografie mit der Canon EOS 450D

Technische Daten: ¹⁰

Typ	CMOS-Sensor (22,2 x 14,8 mm)
Pixel effektiv	12,2
Pixelgröße	5,2 µm
Auflösung	4.272 x 2.848 Pixel



Abbildung 5:
Foto der Canon EOS 450D ¹¹

3.2.1 Die Funktionsweise der Kamera

Wesentlicher Bestandteil der Canon EOS 450D ist ihr CMOS-Bildsensor. CMOS bedeutet: Complementary Metal Oxide Semiconductor und beschreibt das Herstellungsverfahren des Chips. Hierbei werden die Transistoren paarweise komplementär zueinander angeordnet. ¹²

Der CMOS-Sensor ist dem CCD-Sensor sehr ähnlich. Beide bestehen aus einer Vielzahl von Fotodioden, die die Lichtenergie der Photonen in elektrische Ladung umwandeln. Nach der Quantentheorie von Albert Einstein entstehen dabei Elektronen, die das Trägermaterial der Chips – Silizium – aber nicht verlassen und sich sammeln, bis die Aufnahme beendet wird und die so angesammelten Elektronen als ermittelter Helligkeitswert ausgelesen werden.

Wesentlicher Unterschied zwischen dem CCD-Sensor und dem CMOS-Sensor ist, dass bei dem CMOS-Sensor einzelne Pixel separat verdrahtet werden. Dadurch ist es nicht nur möglich, Photonen zu „sammeln“, sondern weitere Verarbeitungs- und Kontrollschritte für jedes Pixel parallel auszuführen und jedes einzelne Pixel direkt anzusteuern.

¹⁰ http://www.canon.de/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/EOS_450D/

¹¹ Abbildung 5: http://www.canon.de/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/EOS_450D/

¹² http://www.canon.de/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/EOS_450D/index.aspx?specs=1

Bis zu diesem Zeitpunkt sind nur Helligkeitswerte erfasst worden. Nun muss dieses Graustufenbild in ein Farbbild umgewandelt werden. Hierzu werden Mikrofarbfilter – grüne, rote und blaue – benötigt, die vor jedem einzelnen Pixel angebracht sind.

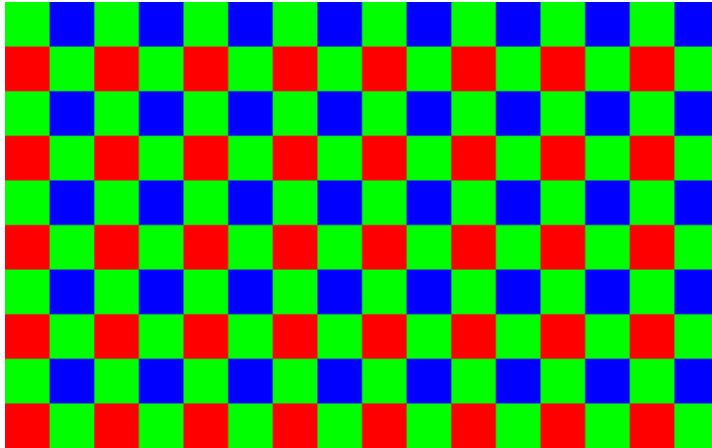


Abbildung 6: Bayer-Matrix – benannt nach ihrem Erfinder Bryce E. Bayer, von Kodak am 5. März 1975 als Patent angemeldet¹³

Dieses Raster wird auch „Bayer-Matrix“ genannt. Es gibt zwei unterschiedliche Reihen, die eine besteht aus abwechselnden grünen und blauen Mikrofarbfiltern, die darauf folgende wiederum aus abwechselnden grünen und roten Mikrofarbfiltern. Die blauen und roten Mikrofarbfilter berühren sich nur über Eck. Bei der Bayer-Matrix sind also je 25% blaue und rote und 50% grüne Pixel.

Da das Rohbild bisher nur aus Graustufen besteht, müssen nun aus den Farbfiltern die Farbinformationen bearbeitet werden. Dies geschieht bei einer Farbinterpolation, auch „Debayering“ genannt. Hierbei werden die fehlenden zwei Farben durch die Helligkeitswerte der umliegenden Pixel mit einem mathematischen Vorgang berechnet.

Um einen grünen Pixel zu errechnen, werden die Rot- und Blauwerte der umliegenden Pixel ermittelt. Es wird also davon ausgegangen, dass zwischen diesen Pixeln kein großer Farbunterschied auftritt. Dies ist natürlich nicht das Beste für einige Motive.

¹³ Abbildung 6: http://referate.mezdata.de/sj2009/dslr_sinan-saglam/res-wiki/bayer_matrix.png

G _{0,0}	R _{1,0}	G _{2,0}	R _{3,0}	...
B _{0,1}	G _{1,1}	B _{2,1}	G _{3,1}	...
G _{0,2}	R _{1,2}	G _{2,2}	R _{3,2}	...
B _{0,3}	G _{1,3}	B _{2,3}	G _{3,3}	...
...

Abbildung 7: Beispiel eines Bildsensors mit der Bayer-Matrix¹⁴

Bei der Berechnung werden die Helligkeitswerte der benachbarten gleichfarbigen Pixel addiert und durch die Anzahl dividiert. So erhält man einen Durchschnittswert der umliegenden Pixel:

Berechnung für grünen Pixel G1.1:

$$B = \frac{B_{0,1} + B_{2,1}}{2}$$

$$R = \frac{R_{1,0} + R_{1,2}}{2}$$

$$G = G_{1,1}$$

Aus der eigentlich geringen Auflösung kann so durch Hochrechnen eine volle Auflösung erreicht werden. Da allerdings nach Wahrscheinlichkeiten vorgegangen wird, die sich an sanften Farbverläufen orientieren, kann es bei abrupten Farbwechseln zu Farbverfälschungen oder einem sog. Moiré-Muster kommen. Daher benutzt man noch einen „Antialiasing-Filter“. Dieser ist vor dem Bildsensor angebracht und verwischt scharfe Kanten – die Farben werden leicht miteinander vermischt und harte Übergänge werden vermieden. Die dabei entstandene leichte Unschärfe wird bei der kamerainternen Bildbearbeitung durch Nachschärfung abgemildert.

Da der standardmäßig eingebaute Filter von Canon die Transmission bei H α auf 25% reduziert, wurde der Standardfilter mit dem ACF-Filter der Firma Baader Planetarium ausgetauscht. Dieser hat eine Transmission von gerade einmal 98% bei der H α -Linie bei 656,3nm. Gerade bei dem Orionnebel (M42) wäre eine Abschwächung der H α -Linie sehr ärgerlich gewesen, da dieser genau bei dieser Wellenlänge rötlich leuchtet.

¹⁴ Abbildung 7: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1076567010620058>

3.2.2 Die Aufnahmesoftware (EOS Utility)

Die Aufnahmen mit der Kamera Canon EOS 450D erfolgen mit der Hersteller-Software „EOS Utility“. Dazu schließt man die Kamera mit dem USB-Kabel am Notebook an und schaltet die Kamera ein. Es erscheint folgendes Startmenü (Abb. 8):



Abbildung 8: Startmenü von EOS Utility

Anschließend führt man die Software über die Option „Kamera-Einstellungen/Fernaufnahmen“ (Abb. 8) aus. So gelangt man in das Aufnahme-Menü (Abb. 9):



Abbildung 9:
Aufnahmemenü

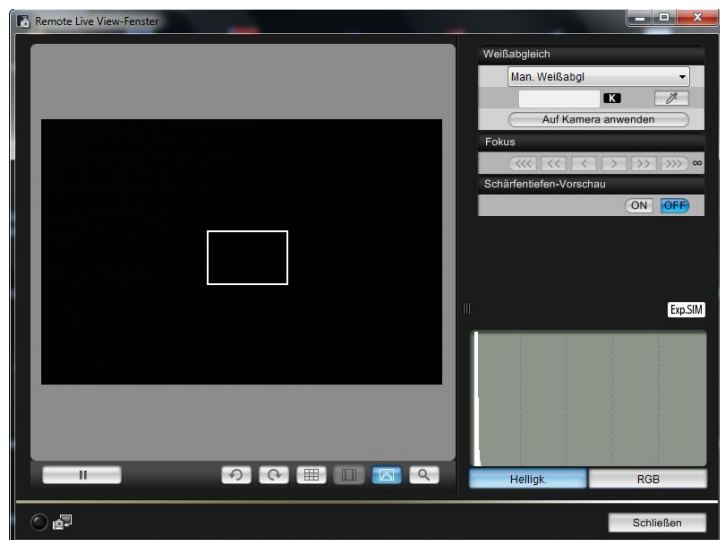


Abbildung 10:
Remote Live View-Menü

Im Aufnahmemenü können die Belichtungszeit, der ISO-Wert, die Blende und viele andere Voreinstellungen eingerichtet werden. Zuvor muss man jedoch fokussieren. Dazu öffnet man die „Remote Live View-Aufnahme“ (Abb. 10). Ein neues Fenster öffnet sich. Nun muss man mit dem Teleskop einen helleren Stern anfahren, so dass dieser in dem kleinen weißen Viereck erscheint. Dann vergrößert man das Bild über die Lupenform. Durch Drehen am Schärferegler vom Teleskop versucht man nun den Stern als Punkt darzustellen.

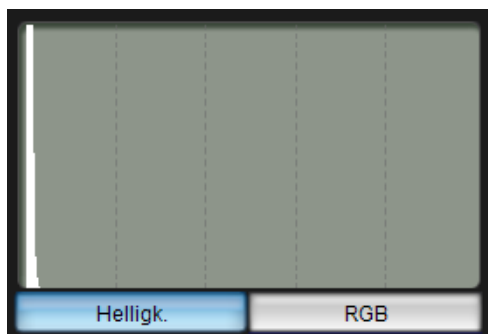


Abbildung 11: Histogramm im Remote Live View-Menü

Jetzt kann man sich noch ein Histogramm anzeigen lassen (Abb. 11). Man kann aussuchen zwischen Helligkeits- und RGB-Histogramm. Die Orientierung am Helligkeits-Histogramm hat sich bei meiner Arbeit bewährt. Auf der X-Achse ist von links (dunkel) bis rechts (hell) die Helligkeit aufgetragen. Die Y-Achse zeigt die Anzahl der Pixel, die die Helligkeit aufweist.

Im Aufnahmemenü (Abb. 9) steht die Funktion „M“ steht für manuell, „30``“ für die Belichtungszeit 30 Sekunden, F5.0 ist die Blende 5, ISO 800 ist ein ISO-Wert von 800 (manchmal hatte ich ihn auch auf 1.600). „RAW+L“ bedeutet, dass die Bilder sowohl im CR2- als auch im JPG-Dateiformat gespeichert werden. Das Symbol von Notebook und Kamera zeigt an, dass die Bilder auf Kamera und Notebook gespeichert werden. Den Speicherordner der Bilder und den Namen der Bilder kann man über die Einstellungen festlegen, welche über den Einstellungsbutton aufgerufen werden können.

Zuletzt müssen die Notebookzeit und die Kamerazeit synchronisiert werden. Die Notebookzeit synchronisiert man am besten mit Hilfe einer Funkuhr, da die Zeit exakt sein muss. Nach Anschluss der Kamera an das Notebook übernimmt diese die bereits im

Notebook vorgegebene Zeit. Das Synchronisieren ist unerlässlich, weil der Zeitpunkt der Aufnahmen genau sein muss, wenn man beispielsweise ein fremdartiges Objekt wie einen Satelliten auf einer Aufnahme entdeckt und diesen konkret bestimmen will.

Nach diesen Grundeinstellungen macht man erst einmal eine Probeaufnahme. Dies funktioniert über den runden Button oben rechts im Aufnahmemenü (Abb. 9).

3.3. Filter und Teleskop

3.3.1. Filter



Abbildung 12: Baader Fringe Killer Filter¹⁵

Für meine Aufnahmen habe ich den Baader Fringe Killer mit IR-Cut benutzt. Der Fringe Killer bricht die Lichtintensität im blauen Spektralbereich bis zu 420 nm. Gerade bei Aufnahmen mit nicht farbreinen Refraktoren wie dem Pentax 75 ist dieser Filter sinnvoll. Auch muss mit diesem Filter – wie es bei vielen anderen Filtern der Fall ist – die Belichtungsdauer nicht erhöht werden. Zudem werden noch störende Lichter im Wellenlängenbereich ab 700 nm abgeblockt.

¹⁵ Abbildung12: <http://www.baader-planetarium.de/sektion/s41/s41.htm>

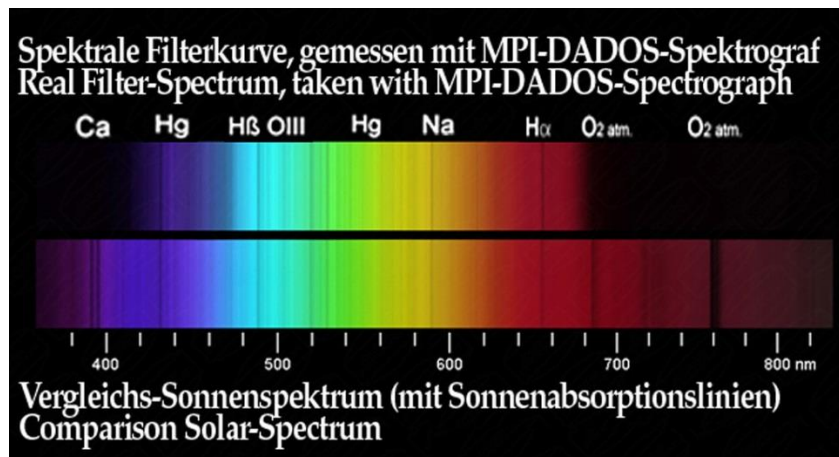


Abbildung 13: Beispiel anhand eines Sonnenspektrums (oben mit Fringe Killer Filter, unten ohne Filter)¹⁶

3.3.2. Teleskop

Meine Aufnahmen habe ich mit dem apochromatischen Refraktor Pentax 75 SDHF gemacht. Hier zunächst einige Informationen zum Pentax 75¹⁷:

Typbezeichnung	Pentax 75 SDHF
Optischer Aufbau	3 Linsen / 3 Gruppen
Freie Öffnung	75 mm
Brennweite	500 mm
Öffnungsverhältnis	1:6,7
Grenzgröße visuell	11,5 m
Auflösungsvermögen	1,55 "
Lichtsammelvermögen	115 x
Tubusdurchmesser	75 mm
Länge über alles	530 (480) mm
Gewicht	2.2 kg



Abbildung 14: Der apochromatische Refraktor Pentax 75 SDHF¹⁸

Der Refraktor Pentax 75 wird als Allroundmodell benutzt. Er unterstützt ziemlich viele Anwendungsbereiche: Von Mondbeobachtung über Nebel, Planeten und Sternenhaufen

¹⁶ Abbildung13: http://www.baader-planetarium.de/sektion/s41/bilder/fkiller_sonnenspektrum_gross.jpg

¹⁷ Tabelle: <http://www.baader-planetarium.de/pentax/pentax.htm#75>

¹⁸ Abbildung 14: Foto Arne Fischer

gibt der Pentax 75 detailreiche Aufnahmen wieder. Zur Ermittlung der Frage, ob ein Himmelsfeld mit dem Pentax 75-Refraktor und der Canon EOS 450D aufgenommen werden kann, sollten vorab folgende Berechnungen angestellt werden:

Bildfeld¹⁹:

Wenn man die Bild-Höhe ausrechnen will, so ist folgende Formel anwendbar:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{a}{2 * f}$$

Höhe des Bildfeldes in Grad:	α
Höhe des Chips der Canon EOS 450D:	$a=14,8\text{mm}$
Brennweite des Pentax 75:	$f=500\text{mm}$

Somit gilt:

$$\alpha = 1,6955^\circ \text{ oder umgerechnet } 1^\circ 41' 44''$$

Für die Berechnung der Bild-Breite ist die gleiche Formel anzuwenden:

Breite des Bildfeldes in Grad:	β
Breite des Chips der Canon EOS 450D:	$b=22,2\text{mm}$

$$\beta = 2^\circ 33'$$

Abbildungsmaß²⁰:

Den Abbildungsmaßstab kann man durch folgende Formel ermitteln:

$$\alpha['] = 206 * \frac{a * [\mu m]}{f * [\mu m]}$$

Anschließend setzt man noch die Daten ein:

Abbildungsmaßstab in Bogensekunden/Pixel: α

Pixelgröße des Canon EOS 450D: $a = 5,2\mu m$

Brennweite des Pentax: $f = 500\text{mm}$

$$\alpha = 2,14 ["/Pixel]$$

¹⁹ Bernd Koch Handout: Astrofotografie mit der Canon EOS 450D, S. 3

²⁰ Bernd Koch: Handout Astrofotografie mit der Canon EOS 450D, S. 3

Anmerkung zu diesen Berechnungsergebnissen:

Die Werte für die Höhe des Bildfeldes führen an dieser Stelle zu dem logischen Schluss, dass die geplante gemeinsame Aufnahme der beiden Messier-Objekte M36 und M38 mit der Pentax 75 und der Canon EOS 450D nicht durchführbar ist, auch wenn es auf den ersten Blick so aussieht, als lägen die beiden Objekte nah genug beieinander. Wie die folgende Abbildung und die Deklinationswerte des Sternkartenprogramms „Stellarium“ (Abb. 15) zeigen, wäre eine Aufnahme von der Breite her zwar machbar, nicht aber von der Höhe. Die beiden Objekte haben folgende Deklinationen:

M36 $34^{\circ}08'$

M38 $35^{\circ}50'$

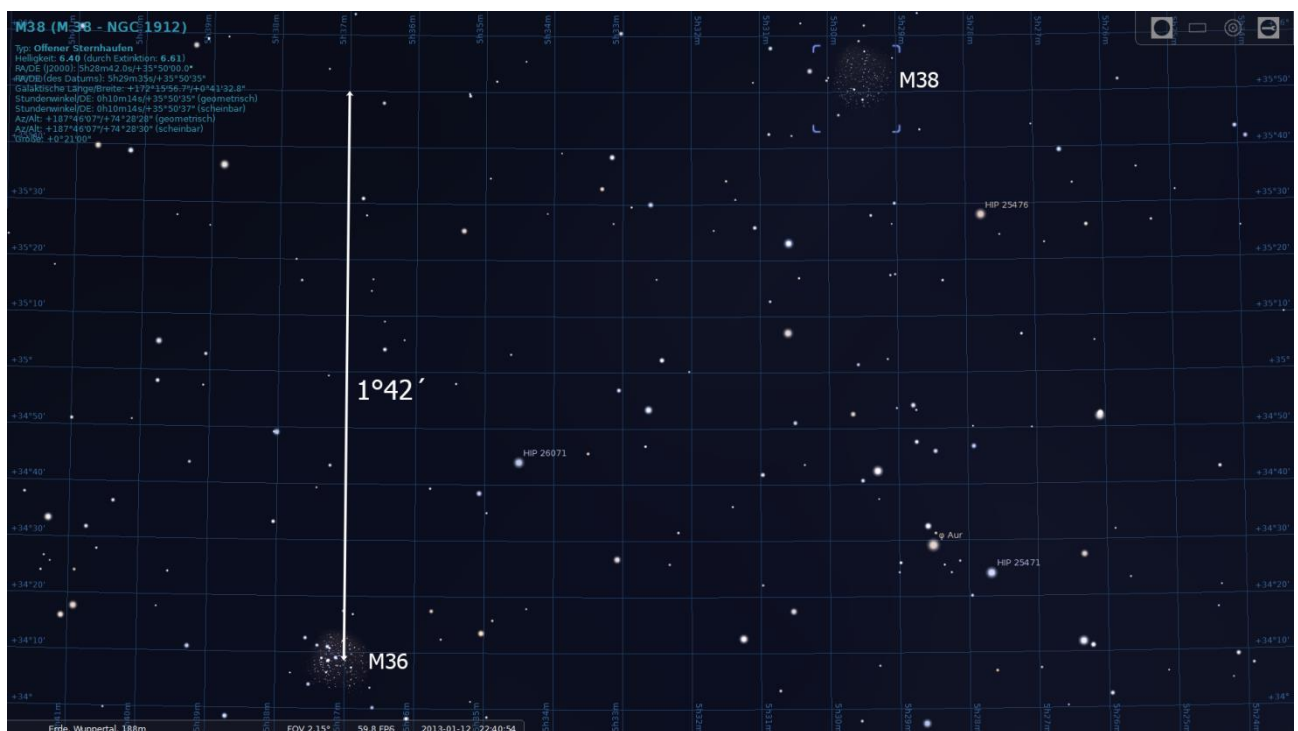


Abbildung 15: Abstand der Objekte M36 und M38

Die Differenz der beiden Deklinationswerte beträgt $1^{\circ}42'$. Die zuvor berechnete Höhe des Bildfeldes des Pentax 75 mit der Canon EOS 450D von $1^{\circ}41'44''$ macht deutlich, dass das Vorhaben einer gemeinsamen Aufnahme dieser beiden Objekte nicht machbar ist. Da die Deklination das Zentrum eines jeden Messier-Objektes angibt, könnten lediglich Teile der beiden Objekte auf einem Foto abgebildet werden. Das macht aber keinen Sinn.

3.4. Montierung der Astro Physics GTO 900

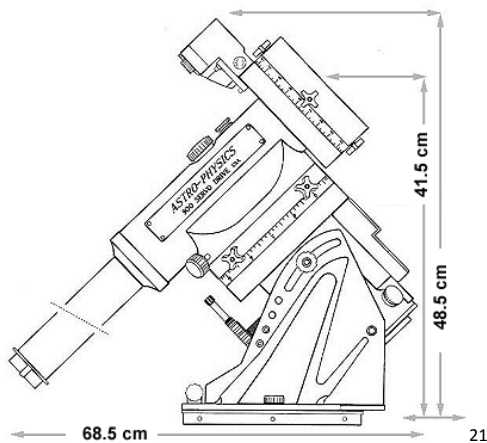


Abbildung 16: Maßskizze der Montierung AstroPhysics GTO 900



Abbildung 17: Astro Physics GTO 900 mit Steuerung

Technische Daten ²³:

RA Schneckenrad	D = 183mm / 225 Zähne
RA Achse	D = 56mm
DE Schneckenrad	D = 152mm / 225 Zähne
DE Achse	D = 44mm
Polhöhe Verstellbereich	20° bis 68° bei montiertem Polsucher
Azimuth Justierberiech	+/- 7,°
Traglast	Instrumente bis 32kg
Gewicht des Polblocks	11,4kg
Gewicht des Deklinationsblocks	6,6kg
Gesamtgewicht mit Gegengewichtsstange	22,2kg ohne Gegengewichte
Grundgeschwindigkeiten	Stern / Sonne / Mond
Versorgung	12V

²¹ Abbildung 16: http://www.baader-planetarium.de/astro_physics/montierungen.htm#900

²² Abbildung 17: Foto Arne Fischer, Vincent Blümer, Jan-Martin Müller

²³ http://www.baader-planetarium.de/astro_physics/montierungen.htm#900

Der Pentax 75 SDHF wird auf eine GTO 900 der Firma Astro Physics montiert. Diese basiert auf einem parallaktischen Prinzip, was bedeutet, dass die Stundenachse exakt parallel zur Erdachse ausgerichtet wird. Bei einer Montage am Nordpol wäre das somit senkrecht zur Erdoberfläche. Die Drehachsen stehen senkrecht zueinander. Dadurch erlaubt diese Art der Montierung nachzuführen, ohne dass sich das Bild dabei im Bildfeld dreht.

Bedient wird die GTO 900 durch die mitgelieferte Steuerung (Abb. 16) ohne zusätzlichen Computer. Mit dem Menü der Steuerung gibt es verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl des ausgewählten Objektes. So greift es auf verschiedene Kataloge zu – wie z.B. auf den „Messier-Katalog“ oder den „New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars“ (NGC). Darüber hinaus findet man noch eine Auswahl über die Planeten unseres Sonnensystems.

Weil die Montierung nur der Programmierung folgt und eben nicht durch einen „Auto-Guider“ gesteuert wird, entsteht nach einer gewissen Zeit eine Ungenauigkeit. Diese Ungenauigkeit kann in der Nachführung zu strichförmigen Bildern führen (zwei solcher Bilder hatte ich).

Wenn man also Langzeitbelichtungen durchführen möchte, muss man eine sogenannte „Guiding-Kamera“ anschließen. Nach den Beschreibungen des Baader-Planetariums beträgt die Ungenauigkeit bei der GTO 900 höchstens 0,0039'' pro Sekunde. Das liegt daran, dass eine Umdrehung des Schneckenrades mit 225 Zähnen 7 Minuten dauert (beschrieben in Siegfried Bergenthals Artikel in „Sterne und Weltraum“ vom März 2001).

Damit ist bei einer Beobachtung von γ CMi über eine Länge von 21 Minuten (entsprechend drei Umdrehungen des Rades) eine Abweichung von maximal 5'' zu messen. Man kann dies allerdings nicht nur auf den periodischen Fehler der Schnecke zurückführen, sondern auch auf den Teilungsfehler des Schneckenrades sowie den Fehler des Untersetzungsgetriebes, das am Motor angeflanscht ist.²⁴

²⁴ vgl. Siegfried Bergenthal /Abschnitt Nachführngenauigkeit, http://baader-planetarium.de/suw_artikel/htm/ap_900/ap900-start.htm, 01.05.2011

Konkret bedeutet das:

Gemessener Fehler $\leq 5'' \text{ pro } 21 \text{ Minuten}$

Nachführgenauigkeit $= 5'' / (21 * 60s) = 0,0039''/s$

Mit dem Pentax 75 und der Canon EOS 450D: 1 Pixel = 2,14'' (Bogensekunden)²⁵

Bei dieser Abweichung von 2,14'' bedeutet das, dass der Lichtpunkt eines Sterns um einen Pixel verzerrt wird. Man kann davon ausgehen, dass man eine solche Verzerrung von einem Pixel mit großer Wahrscheinlichkeit auf dem Foto sehen würde. Das bedeutet, dass die Abweichung deutlich unter dem Wert von 2,14'' liegen sollte. Also ist zu berechnen, welcher Belichtungszeit diese vorgenannten Werte entsprechen:

$$2,14 = t * 0,0039$$

$$t = \frac{2,14}{0,0039}$$

$$t = 548.7s$$

Somit würde sich dieser Fehler erst bei einer sehr langen Belichtungszeit bemerkbar machen. Da meine Aufnahmen alle 30 Sekunden belichtet wurden, müssen meine beiden Bilder mit strichförmigen Sternen andere Ursachen haben. Ich gehe davon aus, dass entweder die recht starken Windböen Grund dafür waren oder dass die am ersten Tag herumrennenden Kinder Bodenvibrationen ausgelöst haben.

Eine andere Fehlermöglichkeit besteht im sogenannten „Spiel“ im Antrieb der gesamten Steuereinheit, die aus Motor, Motorgetriebe, Schnecke und Schneckenrad besteht. Erfahrene Astrofotografen bescheinigen aber gerade der Astro Physics GTO 900 eine solide mechanische Verarbeitung, so dass Fehlermöglichkeiten durch „Spiel“ im Antrieb so gut wie ausgeschlossen sind.²⁶

Darüber hinaus entstehen ebenfalls Fehler, wenn die Stundenachse nicht genügend genau zur Erdachse parallel ausgerichtet ist. Die Ausrichtung der Station wird unter 4.2 „Aufbau der Station“ konkreter beschrieben.

²⁵ Vgl. Bernd Koch, Handout: Astrofotografie mit der Canon EOS 459D, S. 3

²⁶ http://www.baader-planetarium.de/suw_artikel/download/ap900.pdf

3.5. Aufbau des Pentax 75-Refraktors mit Canon EOS 450D



Abbildung 18: Pentax 75 mit Canon EOS 450D²⁷

An den Pentax 75 wird an das untere Ende der Filter gesetzt. Dann folgt ein Zwischenring oder Verlängerungsring, an den wiederum die Kamera montiert wird.

²⁷ Abbildung 18: Foto Arne Fischer

4. Die Aufnahmen

4.1. Aufnahmebedingungen in den Beobachtungsnächten

Die Qualität der Aufnahmen wird in der Astrofotografie – neben der Frage des eigenen Könnens - durch verschiedene Faktoren beeinflusst:

- Wetter
- Astronomische Bedingungen
- Umgebung / Standort

Das Wetter hat auf jeden Fall einen sehr großen Einfluss auf die Ergebnisse einer Beobachtungsnacht. Daher können die Termine auch immer nur sehr kurzfristig bekannt gegeben werden. Bei Regen, Schnee oder Eis machen Aufnahmen einfach keinen Sinn und könnten sogar die Teleskope beschädigen.

Aber auch dünne Wolkenschleier wirken sich negativ auf die Aufnahmen aus, da die Wassertropfen das Licht reflektieren und streuen. Dies kann dazu führen, dass die Aufnahmen unscharf werden und auch die Farbintensität kann darunter leiden. Außerdem wirkt der Hintergrund durch die Streuung des Lichts heller und verringert so die Abgrenzung von schwach leuchtenden Nebeln zu deren Hintergrund.

Zusätzlich spielt das sogenannte „Seeing“ eine bedeutende Rolle. Hierunter versteht man das Flimmern der Sterne. Die Erdatmosphäre besteht bekanntlich aus vielen Schichten, die in Temperatur, Dicht, Luftfeuchtigkeit und Zusammensetzung unterschiedlich sind. Diese Schichten können zu Lichtbrechungen führen. Bewegen sich die Schichten stark, kommt es zu ständig ändernden Lichtbrechungen, was zu einem Flimmern der Sterne in der Atmosphäre führt. Dies ist im Sommer bei starker Hitze im Alltag durchaus häufig zu beobachten (Flimmern von Straßenasphalt). Bei den Beobachtungen durch ein Teleskop ist dieses Flimmern noch viel deutlicher zu erkennen – die Sterne „wabern“ regelrecht.

Außerdem kann der Mond für die Beobachtungen eine große Rolle spielen, da dieser durch seine Helligkeit (durch das Widerspiegeln des Sonnenlichts) die Aufnahmen beeinträchtigen kann. Gerade bei Belichtungszeiten bis zu 30 Sekunden kann das störende Einfluss auf die Aufnahmen haben. An unseren Beobachtungstagen herrschte

jedoch Neumond, so dass wir uns mit diesem Problem nicht auseinandersetzen mussten.

Zusätzlich sollten Standort und damit die Helligkeit der Umgebung beachtet werden. Die Schülersternwarte befindet sich auf dem Schuldach des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums auf dem Hahnerberg und damit oberhalb von Elberfeld. Durch den erhöhten Standort gibt es vergleichsweise wenig störende Lichtquellen in der Umgebung – abgesehen von der beleuchteten Müllverbrennungsanlage, die zudem noch Dunst- und Nebelwolken produziert. Dennoch ist es empfehlenswert, keine Objekte auszuwählen, die sich zu tief am Horizont befinden (s. Punkt 2.2 – Planung der Aufnahmen), da die Lichter der Stadt den Horizont doch erhellen.

Auch Satelliten und Flugobjekte können sich auf den Aufnahmen wiederfinden. Dies ist nicht auszuschließen und wird zu einem späteren Zeitpunkt näher behandelt.

Dies waren die grundlegenden Wetterdaten für die beiden Aufnahmetage:

Datum	Sonnen- untergang	Himmel	Temperatur	Windstärke	Mondphase
11.1.2013	16:47 Uhr	anfangs klar, gegen 24 Uhr leichte Bewölkung	-4 ° C	4-5	Neumond
12.1.2013	16:48 Uhr	klarerer Himmel, erneut leichte Bewölkung gegen 23 Uhr	-6 ° C	3-4	Neumond

4.2. Aufbau der Station

Der Aufbau der Station ist recht aufwändig. Wichtig ist, dass alle Aufbauschritte in der richtigen Reihenfolge erfolgen und dass alle Einstellungen und Messungen gründlich vorgenommen werden.

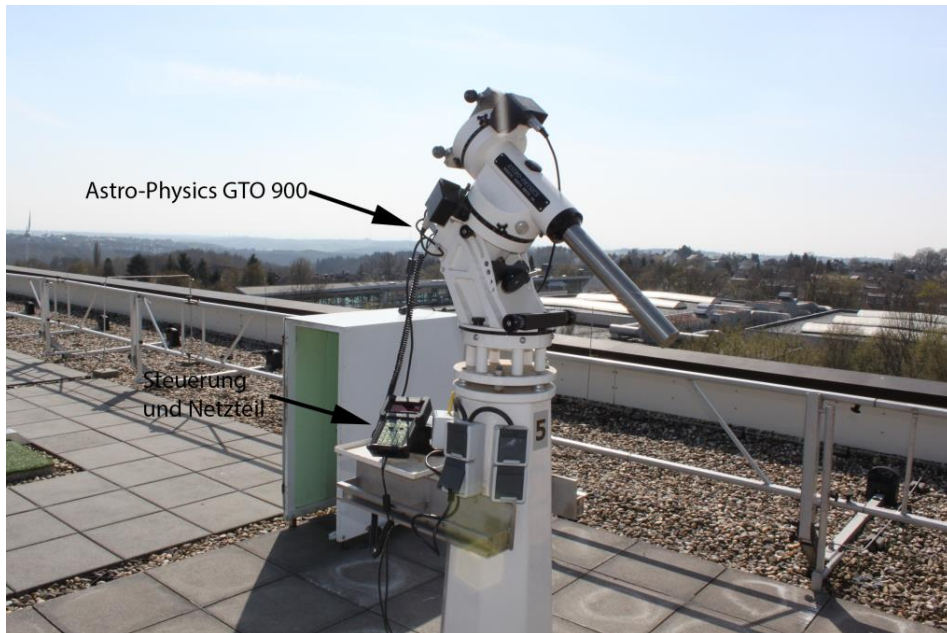
Als erstes muss die Wetterschutzhaube von der Astro-Physics GTO 900 entfernt werden.



28

Abbildung 19: Station mit Wetterschutzhaube

Die Wetterschutzhaube (Abb. 19) hat eine integrierte Heizung, um für die darunter befindliche Astro-Physics GTO 900 eine konstante Temperatur zu gewährleisten. Zum Abheben der Haube benötigt man grundsätzlich zwei Personen, die sich links und rechts von der Haube postieren und sie an den seitlich montierten Griffen abziehen. Auf dem folgenden Bild sieht man die von der Wetterschutzhaube befreite Astro-Physics GTO 900:



29

Abbildung 20: Station 5, Astro-Physics GTO 900 mit Steuerung und Netzteil

²⁸ Abbildung 19: Foto Arne Fischer

²⁹ Abbildung 20: Foto Arne Fischer, Vincent Blümer, Jan-Martin Müller

Auf die Astro-Physics GTO 900-Station montiert man ein Gegengewicht für den Pentax 75. Dieses Gegengewicht wird benötigt, um das Gewicht des Pentax 75 auszugleichen.

Nun wird der Pentax 75 an der Montageschiene der Astro-Physics GTO 900 aufgesetzt und mit Arretierungsstiften fest montiert. Jetzt wird der Stromanschluss für die Station hergestellt und die Steuerung angeschlossen.

Mit Hilfe der Steuerung fährt man nun den Astro-Physics GTO 900 in Parkposition 1. Damit steht der Pentax annähernd waagrecht und kann nun mit Hilfe einer Wasserwaage genau ausgerichtet werden (Abb. 21). Das ist sehr wichtig, damit es beim Anpeilen der Objekte keine Abweichungen gibt, die man hinterher mit größerem Aufwand korrigieren muss.



Abbildung 21: Ausrichtung der Astro-Physics GTO 900 mit Wasserwaage

Mit Hilfe einer Funkuhr muss nun die Zeit noch einmal überprüft werden. Auch das dient dem korrekten Ansteuern der Objekte.

Nun werden die Kamera Canon EOS 450D mit Baader Fringe Killer Filter und zwei Zwischenringen am Refraktor Pentax 75 befestigt und die Stromverbindung für die Kamera hergestellt. Das Notebook wird an die Kamera angeschlossen, um die gefertigten Bilder direkt auf dem Notebook sehen und dort abspeichern zu können.

³⁰ Abbildung 21: Foto Arne Fischer, Vincent Blümer, Jan-Martin Müller

Dann sucht man sich einen hellen Stern, eine Art Fixpunkt zur Bestätigung der korrekten Ausrichtung. Hierzu war von unserem Standort aus Anfang Januar die Vega gut geeignet. Andere helle Sterne sind natürlich auch möglich.

Wenn das Teleskop peilgenau auf den Stern ausgerichtet ist, muss der Sucher ebenfalls auf den Stern eingestellt werden. Ob das Teleskop gut ausgerichtet ist, kann man im Programm EOS Utility unter der Funktion „Life View“ auf dem Notebook erkennen (s. Kap. 3.2.2 – Die Aufnahmesoftware).

Nun kann man das ausgewählte Objekt ansteuern.

So sieht die fertig aufgebaute Station 5 aus:

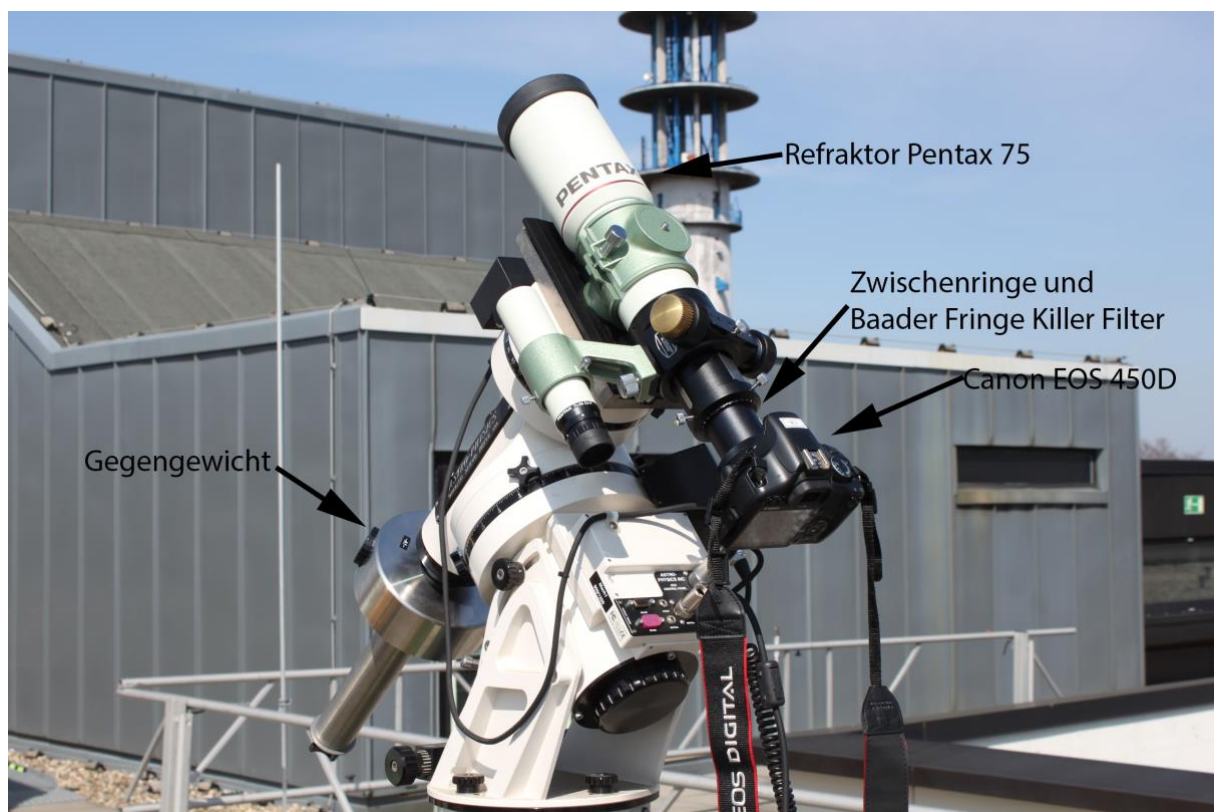


Abbildung 22: Station 5 mit montiertem Refraktor Pentax 75, Baader Fringe Killer Filter, Canon EOS 450D und Gegengewicht

³¹ Abbildung 22: Foto Arne Fischer

5. Die Weiterbearbeitung der Aufnahmen

5.1. Aussortieren von unscharfen und verwackelten Bildern

Unscharfe und verwackelte Bilder sollten umgehend aussortiert werden. Diese erkennt man leicht, weil die Sterne auf den Aufnahmen eher strichförmig aussehen. Verursacht werden kann dies z.B. durch Windstöße und Bodenerschütterungen. Am ersten Aufnahmetag war eine Gruppe jüngerer Kinder anwesend, die herumrannten und so leichte Bodenerschütterungen verursachten. Zwei meiner Bilder musste ich daraufhin aussortieren.

5.2. Identifizierung bekannter und unbekannter Objekte

Beim Auswerten meiner Aufnahmen vor dem Stacking entdeckte ich auf einigen Fotos Strichspuren. Sie bewegten sich von rechts nach links über die Aufnahmen. Am besten zu erkennen ist die Strichspur in den Bildern 1326 bis 1329 sowie in Bild 1345.

Hier ist die Aufnahme 1345 mit der entsprechenden Strichspur zu sehen



Abbildung 23: M42 auf Bild 1345 mit Strichspur

Fraglich ist, worum es sich bei diesen Strichspuren handelt. Für Flugzeuge ist die Strichspur viel zu fein und auch zu farblos. Das Objekt muss sich sehr viel weiter von der Erde entfernt befinden.

Gleichzeitig fällt auf, dass sich die Objekte auf allen Fotos scheinbar in die gleiche Richtung bewegen, weil sie sich auf aufeinanderfolgenden Bildern mit kleinen Sprüngen immer ein bisschen versetzt wiederfinden.

Ich habe daher versucht, die scheinbare Geschwindigkeit der Objekte herauszufinden. Dazu benutzte ich das Linealwerkzeug in Photoshop CS6. Damit habe ich zunächst die Spurlänge in Pixeln bestimmt. Damit ergaben sich in Zusammenhang mit der Belichtungszeit konstante Längen. Da ich immer die gleiche Belichtungszeit von 30 Sekunden für meine Aufnahmen verwendet habe, bedeutet das, dass es sich hierbei um ähnliche Objekttypen handeln muss.

Aus der Belichtungszeit in Kombination mit der Länge der Spur habe ich dann errechnet, mit welcher Winkelgeschwindigkeit sich das Objekt bewegte.

Länge der Strichspur bei 32s Belichtungszeit: ca. 220 Pixel

$$\frac{220 \text{ Pixel}}{32s} \approx 6,9 \frac{\text{Pixel}}{\text{Sekunde}}$$

Der Abbildungsmaßstab eines Pixels bei 500mm Brennweite mit der Canon EOS 450D beträgt: $2,14''/\text{Pixel}$ ³²

Damit beträgt die Winkelgeschwindigkeit eines Objektes in Bogensekunden pro Zeitsekunden:

$$6,9 \text{ Pixel/s} * 2,14''/\text{Pixel} \approx 14,7''/\text{s}$$

Eine Erdumdrehung beträgt: 360° in 24h

Somit beträgt die Erdumdrehung in Bogensekunden pro Zeitsekunde: 15''/s

Wenn man bei meiner Festlegung der Spurlänge in Pixeln eine gewisse Ungenauigkeit berücksichtigt, so folgt aus dieser Berechnung, dass sich das Objekt mit einer Geschwindigkeit bewegt, die identisch ist mit der Geschwindigkeit der Erddrehung. Daraus folgt, dass es sich bei den aufgenommenen Objekten um geostationäre Satelliten handeln muss.

Meistens handelt es sich bei geostationären Satelliten um Kommunikationssatelliten. Diese befinden sich in einem bestimmten Erdorbit in einer Höhe von rund 36.000 km³³.

³² Bernd Koch, Handout: Astrofotografie mit der Canon EOS 450D, S. 3

³³ <http://www.astronews.com/frag/antworten/3/frage3272.html>

Ein Satellit kreist somit in dieser Höhe immer im gleichen Abstand um die Erde, dies in der Geschwindigkeit der Erddrehung und steht daher für jeden Punkt auf der Erde immer an der gleichen Position „still“.

Wieso konnte er sich damit als Strich – optisch für mich somit als bewegtes Objekt – auf den Aufnahmen darstellen? Das liegt an der Montierung auf der Astro-Physics 900GTO und deren GOTO-Steuerung. Wie zuvor in dem entsprechenden Abschnitt beschrieben, „fixiert“ die Steuerung das angewählte Objekt und führt über das Schneckenrad nach. Nur so ist man als Fotograf in der Lage, 20 oder mehr Fotos von dem gleichen Objekt anzufertigen. Durch das Nachführen wird der Satellit auf dem Bild quasi erst sichtbar.

Fraglich ist, welche geostationäre Satelliten durch meine drei Aufnahmen „gerauscht“ sind. Hilfe hierzu bieten die Seiten <http://www.calsky.com/>³⁴ und das Sternkartenprogramm „Stellarium“.

Auf der Seite <http://www.calsky.com/> muss man die Daten des Beobachtungsortes eingeben, in meinem Falle waren es diese:

51° 13' 50,10" Nord

07° 08' 29,02" Ost

Höhe über NN: 350m

Anschließend gibt man Datum und die möglichst genaue Zeit der Aufnahmen mit Sekundenangabe an. Ich musste schnell feststellen, dass eine Abweichung von einer knappen Minute bei der Suche nach den Satelliten erhebliche Unterschiede bei den Satellitenstandorten ausmachen konnten. Wenn ein Bild, wie bei mir, 32 Sekunden Belichtungszeit hatte und die Kamera anschließend noch 32 Sekunden Weißabgleich bis zum Speichern benötigt, gibt es bei den Speicherdaten Abweichungen von einigen Sekunden. Zum Glück wird bei den Aufnahmen immer der Zeitpunkt des Aufnahmestarts gespeichert, so dass ich konkrete Angaben hatte und gut suchen konnte. Hat man alle Angaben gemacht und durch den Befehl „GO“ bestätigt, zeigt die Webseite dann alle in Frage kommenden Satelliten in einer recht umfangreichen Liste an.

Um nun den Satelliten ermitteln zu können, benötigt man konkrete Angaben über Flughöhe und Standort des Objektes auf dem Foto. Hierzu kann das Sternkartenprogramm „Stellarium“ genutzt werden. Ich habe hierzu das äquatoriale Koordinaten-

³⁴ Internetseite: www.calsky.com

netz (azimutales Koordinatennetz ist aber auch möglich) in der Software Stellarium eingeblendet und versucht, das Bild des Stellariums mit meiner Aufnahme abzugleichen.

Hier sieht man den Vergleich mit meinem Bild 1345 des Objektes M42 (Abb. 24) im Vergleich zur Darstellung im Stellarium (Abb. 25). Der Abgleich ist nicht einfach, schon allein weil der Nebel im Sternkartenprogramm viel ausgeprägter zu sehen ist:



Abbildung 24: Bild von M42

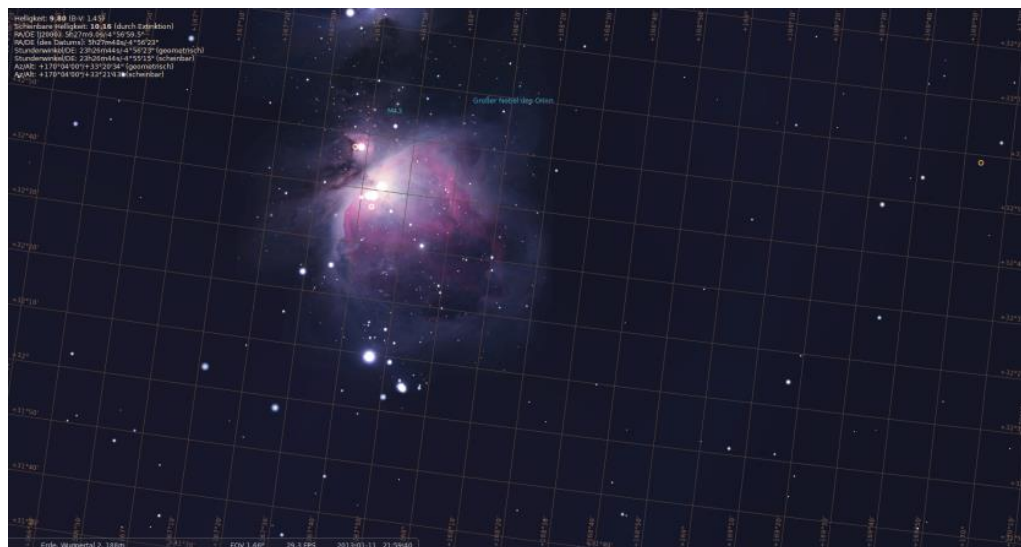


Abbildung 25: Aufnahme aus Stellarium

Eine Orientierung war an diesen auffällig formierten Sternen (Abb. 26) möglich:



Abbildung 26: Bildausschnitt Foto M42

Diese Sterne waren in dem Sternkartenprogramm bereits Bestandteil des Nebels (Abb. 27):



Abbildung 27: Aufnahme aus Stellarium³⁵

Wenn man die genauen Positionen Rektaszension (RA) und Deklination (DE) im äquatorialen Koordinatensystem gefunden hat, kann man auf <http://www.calsky.com/> den gesuchten Satelliten blitzschnell finden.

Die von mir gemessenen Koordinaten lauten:

Bild 1326: ra: 5h35m bis 5h37m
bis 1329 de: -5h25m

Bild 1345: ra: 5h33m bis 5h35m
de: -5h50m

³⁵ Abbildung 26: Sternkarte „Stellarium“: <http://www.stellarium.org/de/>

Bei meinen Satelliten handelte es sich somit um:³⁶

Bild 1326-1329:



	12007B (38088 2012-007-B)	Mag= 8.3m Orionis az: 156.4° SSE h: 30.8° dist: 6984.4km ra: 5:36.8 de: -5:19
-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------

Bild 1345:

	SICRAL 1 (26694 2001-005-A)	Mag=10.3m Orionis az: 168.3° SSE h: 32.2° dist: 38421.7km ra: 5:34.4 de: -5:51
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------

5.3. Stacking der Aufnahmen mit DeepSkyStacker

5.3.1. Allgemeines zum Stacking mit DeepSkyStacker

Nach Aufnahme der Messier-Objekte müssen die Fotos nachbearbeitet werden. Ein fertiges Astrobild besteht üblicherweise nicht nur aus einem einzigen Bild. Es werden immer mehrere Aufnahmen gemacht und diese dann „gestackt“. Unter „Stacking“ versteht man das Stapeln – also das Übereinanderlegen von Aufnahmen. Dies geschieht pixelgenau. Daher sollten auch keine verwackelten, verrauschten Bilder oder Bilder mit Satelliten benutzt werden. Diese wurden daher zuvor wie unter 5.1 beschrieben aussortiert.

Von jedem Objekt wurden insgesamt 20-30 Aufnahmen gemacht. Das Stacking erfolgt mit dem Programm „Deep-Sky-Stacker“. Durch das Verfahren des Stacking wird das Signal Rausch Verhältnis (SNR = Signal No Noise Ratio) erhöht. Je mehr Bilder man zum Stacking verwendet, desto rauschärmer wird das endgültige Bild, das sogenannte „Summenbild“.

Der SNR-Wert vergrößert sich mit der Quadratwurzel der Anzahl der Aufnahmen. Stackt man also 20 Aufnahmen, erhält man gegenüber der Einzelaufnahme einen SNR-Wert, der um den Faktor $\sqrt{20} = 4,5$ geringer ist.

³⁶ <http://www.calsky.com/cs.cgi/Satellites/7?>

Die Benutzeroberfläche des DeepSkyStackers ist ganz einfach aufgebaut. Auf der linken Seite befindet sich eine Reihe von Registern, Funktionen und Befehlen und auf der rechten Seite - abhängig von den verschiedenen Registern - Ansichten und auch Konfigurierungen.

Man kann nach dem Stacking auch mit einem Histogramm einige Details und Farben aus den jeweiligen Bildern verbessern, aber dies ist nur eine geringfügige Nachbearbeitung, die nicht die eigentliche Nachbearbeitung mit einem Bildbearbeitungsprogrammen wie „PhotoShop“ oder „Gimp“ ersetzen kann.

5.3.2. Stacking mit DeepSkyStacker am Beispiel des Objektes M 45 – Plejaden

Für die Fotos des Objektes M45 wird mit dem DeepSkyStacker aus mehreren Bildern ein Summenbild erstellt. Wie zuvor bereits beschrieben, werden dazu die gelungenen Objektbilder von M45 pixelgenau übereinander gelegt und vom DeepSkyStacker gemittelt. So wird aus mehreren Bildern ein sogenanntes „Summenbild“ erstellt.

Nach dem Starten des Programms DeepSkyStacker müssen als Erstes die zu stackenden Einzelbilder geöffnet werden. Dies geschieht über „Lightframes öffnen“ und durch Anklicken der einzelnen Bilder oder indem man alle Bilder zusammen im Datei-Ordner markiert und in das Programm hineinzieht. Anschließend sind die Bilder im unteren Bildschirm in Tabellenform zu sehen (Abb.28).

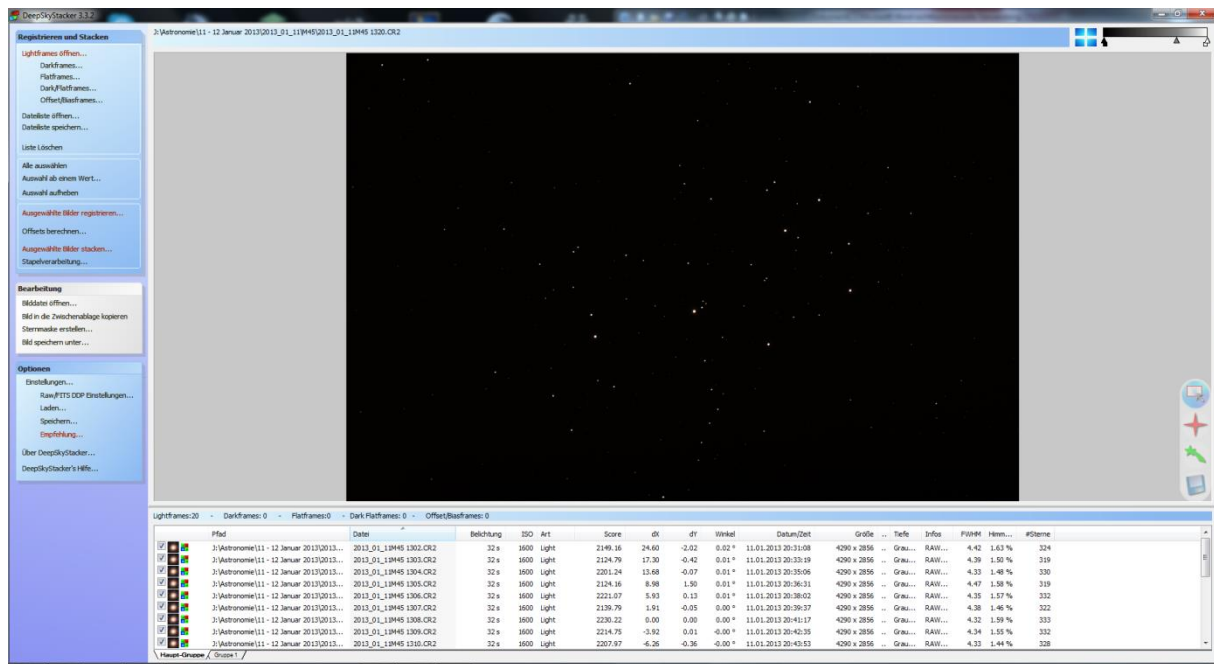


Abbildung 28: Übersicht „DeepSkyStacker“

Am sinnvollsten ist es, RAW-Bilder beim Stacking zu benutzen. Sie sind viel detaillierter. Dies sieht man schon an dem Speicherplatzverbrauch zwischen RAW- und JPEG-Formaten. Man kann sich hier auch noch einmal vergewissern, dass keine Bilder verwackelt sind. Fährt man mit der Maus über das Bild, erscheint auf dem Bildschirm eine Lupe, mit deren Hilfe man sich die Sterne und deren Form noch einmal genau betrachten kann. Falls z.B. strichförmige Sterne dabei sind, kann in der Liste links der Haken entfernt werden und das entsprechende Bild ist nicht mehr Bestandteil des Stacking-Prozesses.

Anschließend wird der Befehl „Ausgewählte Bilder stacken...“ angeklickt (Abb. 29). Nun öffnet sich ein neues Fenster. Hier können die Einstellungen für das Stacking vorgenommen werden (Abb. 30).

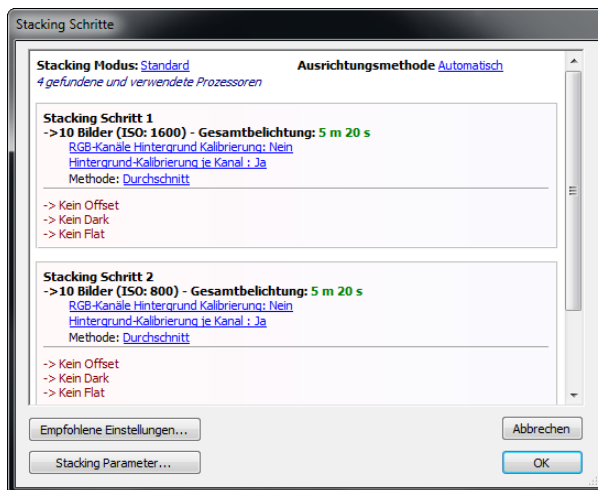


Abbildung 29: „ausgewählte Bilder stacken...“

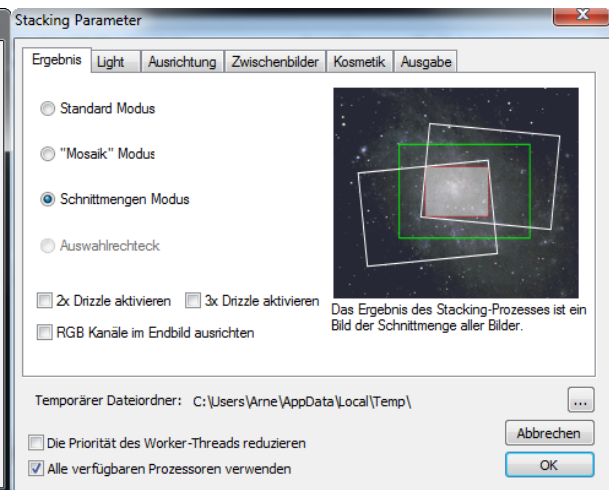


Abbildung 30: „Einstellungen – Ergebnis“

In der Option Ergebnis (Abb. 30) kann man sich aussuchen, wie man das Summenbild schließlich zusammengesetzt haben will. Ich habe mich für den „Schnittmengen-Modus“ entschieden. Die alternativen Optionen „Mosaik-Modus“ und „Standard-Modus“ sind für meine Zwecke nicht geeignet. Beim Mosaik-Modus werden die Bilder nebeneinander gelegt, während im Standard-Modus am äußeren Rand des Ergebnisbildes die Sterne dem Hintergrund angepasst werden und dann nicht mehr sichtbar sind.

Zusätzlich müssen Einstellungen für Hot- und Coldpixel und die Ausgabe des Summenbildes über den Reiter „Kosmetik“ gemacht werden (Abb. 31).

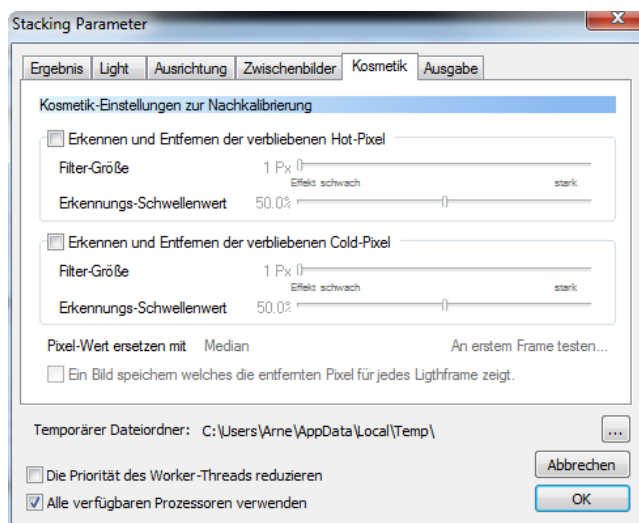


Abbildung 31: „Einstellung Kosmetik“

Hot- und Coldpixel sind ausgebrannte Pixel auf der Kamera, die auf dem Bild als weiße, blaue, rote oder grüne Punkte erscheinen. Wird diese Einstellung aktiviert, könnten aber auch schwache Sterne als Hot- oder Coldpixel erkannt werden und nach der Erstellung des Summenbildes einfach verschwunden sein. Da die Hot- und Coldpixel auch bei der Nachbearbeitung manuell entfernt werden können (was viel genauer ist und über das Programm PhotoShop ganz einfach durchzuführen ist), habe ich diesen Modus ausgeschaltet.

Über die Funktion „Ausgabe“ kann vorgegeben werden, ob das Bild sofort unter einem bestimmten Namen gespeichert wird (Abb. 32):

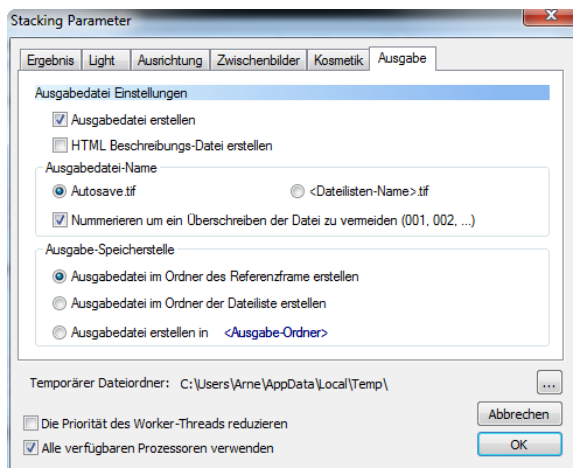


Abbildung 32: „Ausgabe“

Wenn all diese Einstellungen vorgenommen worden sind, kann das Stacking gestartet werden.

Dies ist das Summenbild von M45:

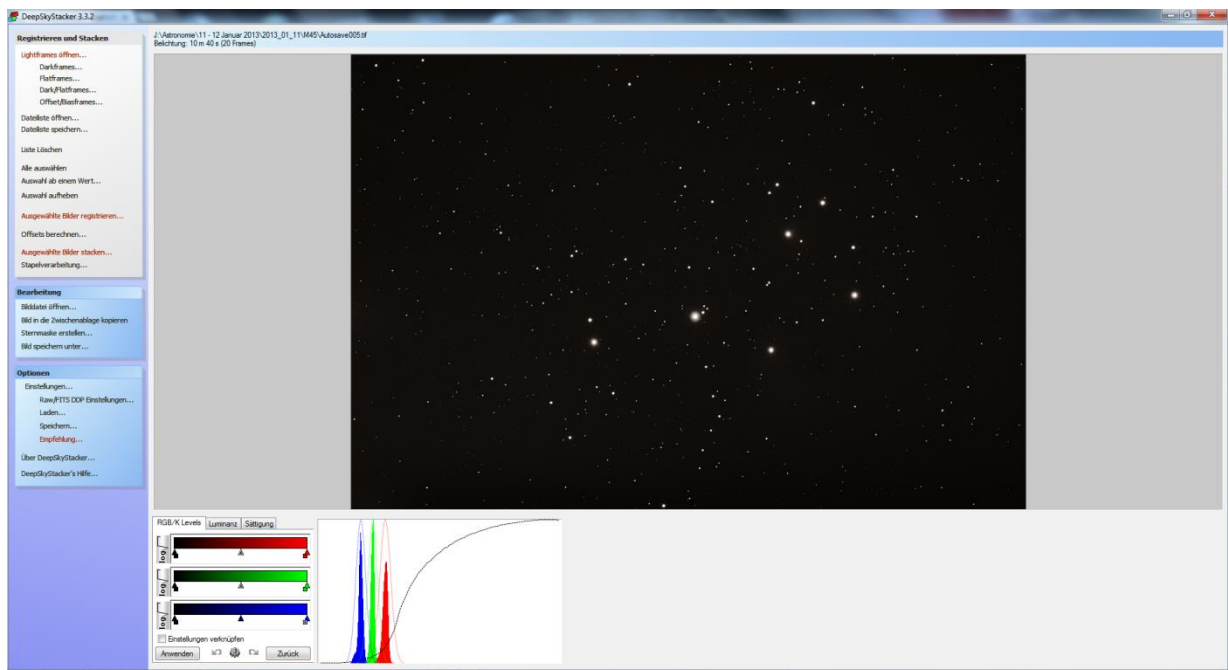


Abbildung 33: Summenbild M45

Der DeepSkyStacker bietet nun die Möglichkeit, dieses Summenbild geringfügig nachzuarbeiten. Zum Nachbearbeiten bietet der DeepSkyStacker ein Histogramm mit drei verschiedenen Einstellungsmodi für RGB/K-Level, Luminanz und Sättigung (Abb. 34-36).

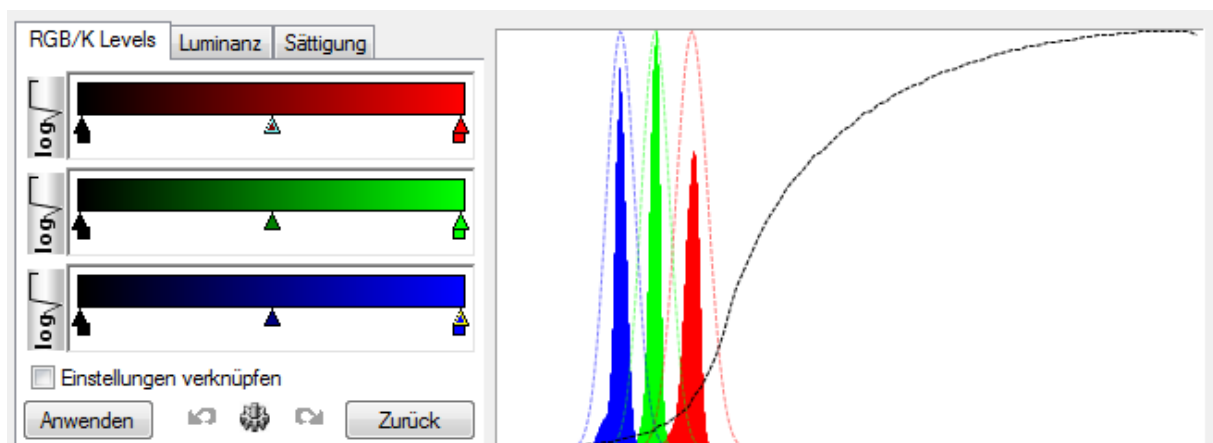


Abbildung 34: „Histogramm mit Einstellung RGB/K-Level“

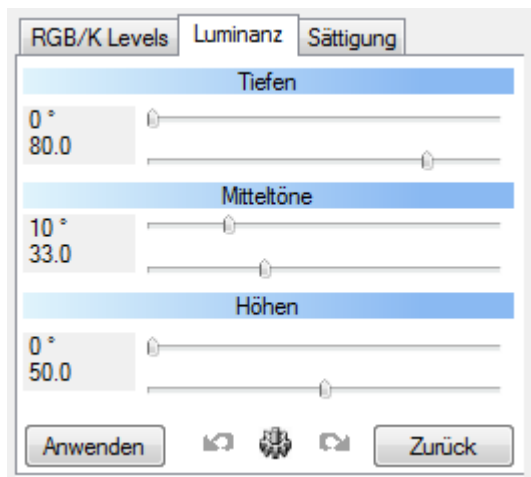


Abbildung 35: „Einstellung Luminanz

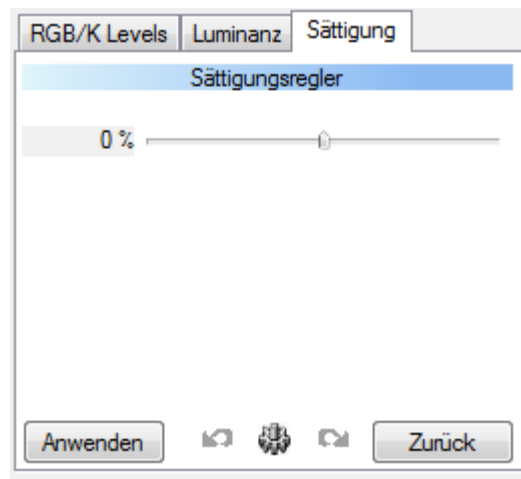


Abbildung 36: Einstellung Sättigung

Dies ist das fertige Summenbild von M45 nach der Endbearbeitung mit dem DeepSkyStacker:



Abbildung 37: Fertiges Summenbild nach Bearbeitung in DeepSkyStacker

5.4. Nachbearbeitung der gestackten Bilder mit PhotoShop

5.4.1. Allgemeines zur Bildbearbeitung mit PhotoShop

Auch wenn das unter 5.3.2. fertige Summenbild nach Bearbeitung mit dem DeepSkyStacker auf den ersten Blick schon recht ansehnlich ist, so stellt ein Astrofotograf an seine Bilder doch weitaus größere Anforderungen. Kleinere Bildfehler, die auf den ersten Blick nicht auffallen, geringfügige Unschärfen, Aufhellungen durch Streulicht oder Fehler in der Optik können mit Hilfe eines Programmes wie PhotoShop wieder korrigiert werden. Selbst Nachführfehler können im Nachhinein fast unsichtbar gemacht werden.

Bildfehler werden mit Hilfe von PhotoShop regelrecht herausgerechnet, ohne dass das Bild in Mitleidenschaft gezogen wird. Hierzu gibt es in PhotoShop die verschiedensten Möglichkeiten wie

- Hotpixel mit Hilfe des Kopierstempels entfernen
- Streulicht (falls vorhanden) mit Hilfe des Tools „GradientXTerminator“ entfernen
- Hintergrund über die Tonwertkorrektur bearbeiten
- Farbbalance ausrichten
- Aufhellen ohne Ausbrennen
- Farbton und Sättigung ausgleichen.

Zu beachten ist dabei, dass ein Bild immer so bearbeitet wird, dass es nicht unnatürlich wirkt und einem selbst wirklich gut gefällt. Es gilt, Feinheiten herauszuarbeiten, ohne zu übertreiben – und genau darin liegt die Kunst.

Wichtig ist, dass man nicht mit dem Original-Foto arbeitet, sondern sich vorab eine Kopie des Fotos macht. Nur so kann man vergleichen und gegebenenfalls noch einmal von vorne beginnen.

5.4.2. Bildbearbeitung mit PhotoShop am Beispiel von M45 – Plejaden

Zuerst wird die Kopie des im DeepSkyStacker aufbereiteten Summenbildes in PhotoShop geöffnet (Abb. 38):

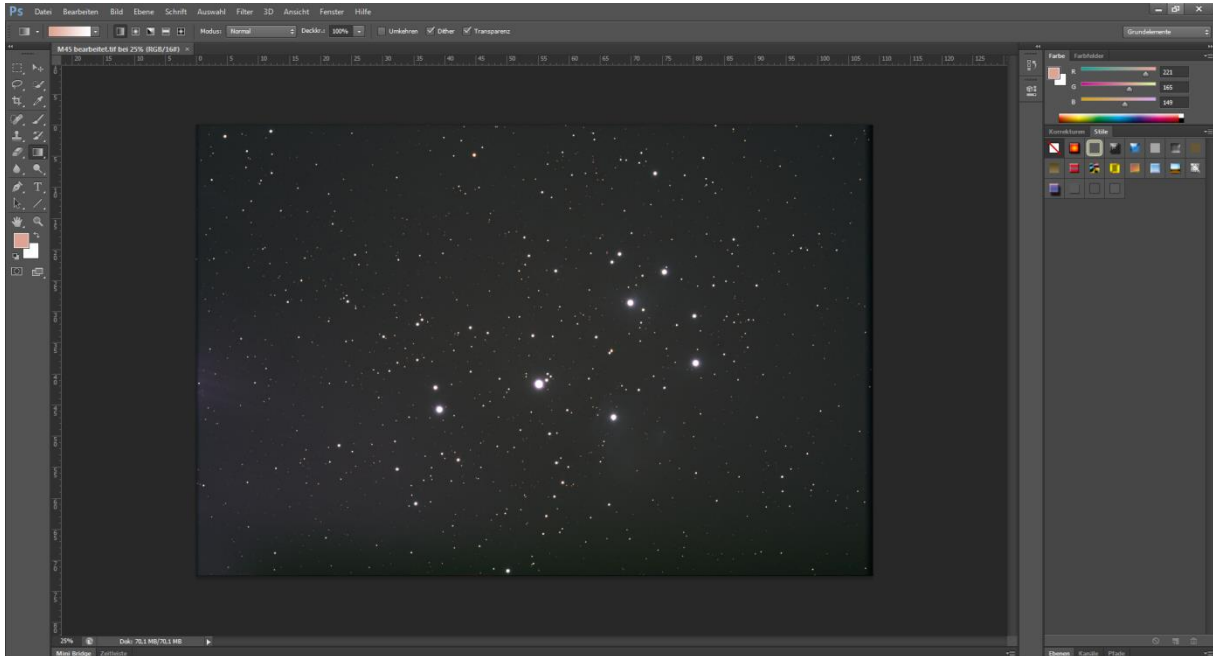


Abbildung 38: PhotoShop mit geöffnetem Summenbild

Da ich am Rand des Fotos bereits bei der Vergrößerung einige Hotpixel entdeckt habe, sollen diese als erstes beseitigt werden.

Dazu wird der Kopierstempel aus dem Werkzeugkasten von PhotoShop aktiviert. Nach Drücken der Taste ALT wird mit dem Kopierstempel eine dunkle Stelle in der Umgebung angeklickt. Anschließend klickt man bei losgelassener ALT-Taste auf das zu entfernende Hotpixel.

Als nächstes muss das Streulicht am linken Rand (Abb. 38) entfernt werden. Dafür benötigt man das Tool GradientXTerminator³⁷. Dies ist ein von Russel Croman³⁷ speziell für die Astronomie entwickeltes Tool, das den Hintergrund ebnet und so Streulichter verschwinden lässt.

³⁷ <http://www.rc-astro.com/resources/GradientXTerminator/>

Bevor man jedoch das Tool anwendet, müssen die Sterne und Nebel markiert werden, damit diese nicht mit dem Streulicht verschwinden. Mit dem Zauberstab-Werkzeug werden einzelne Sterne markiert, mit dem Lasso-Werkzeug ganze Bereiche wie Nebel. So sieht das Bild nach dem Markieren aus (Abb. 39):



Abbildung 39: markierte Sterne und Nebel im Foto von M45

Durch Klicken der rechten Maustaste öffnet sich eine Auswahl von Befehlen. Mit dem Befehl „Auswahl umkehren“ wird es nun möglich, die außerhalb der Markierungen liegenden Bereiche zu bearbeiten.

Nun kann das GradientXTerminator Tool genutzt werden, um die unerwünschten Streulichter zu entfernen.

Dies ist das Zwischenergebnis nach Anwendung des Tools (Abb. 40):



Abbildung 40: Zwischenergebnis nach Anwendung des GradientXTerminator Tools

Nun werden die Farben der Nebel, die die einzelnen Sterne umgeben, hervorgehoben. Hierzu wird die Aktion „Tonwertkorrektur“ verwendet. Durch die Tastenkombination STRG + L wird die Funktion „Tonwertkorrektur“ geöffnet. (Abb. 41):

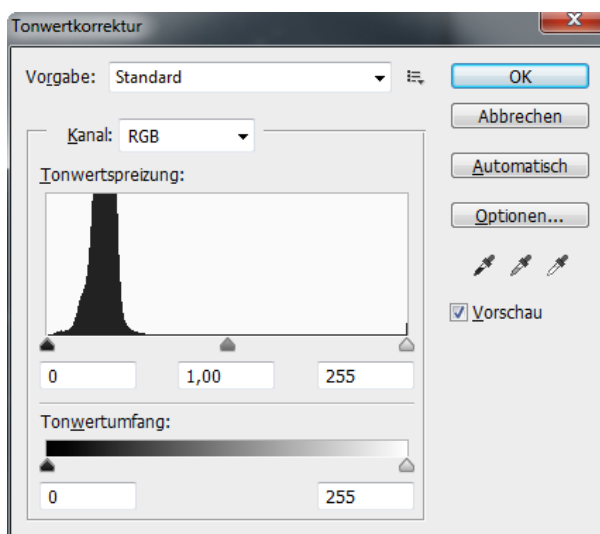


Abbildung 41: Tonwertkorrektur geöffnet

Im Tonwertkorrekturfenster (Abb. 41) finden sich mittig rechts drei Pipetten als Werkzeuge. Jede Pipette hat ihre eigene Funktion. Mit der Linken werden die Schwarzpunkte gesetzt. Auf diese habe ich verzichtet, weil sie den Hintergrund des Bildes unnatürlich dunkel machen würde. Mit der mittleren und der rechten Pipette werden die Mitteltöne und die Weißpunkte gesetzt. Diese Pipetten habe ich beide verwendet. Nach Anklicken der mittleren Pipette klickt man auf den Hintergrund im Bild, nach Auswahl der rechten Pipette wählt man einen weißen Stern an. Hat man diese beiden „Fixpunkte“ markiert, kann man mit der Tonwertkorrektur den RGB-Kanal korrigieren.

Dazu verwendet man die Pfeile unterhalb des Graphen „Tonwertspreizung“ (Abb. 41). Man muss versuchen, den linken Pfeil möglichst nah an die Ausdehnung des Graphen heranzuziehen. Den rechten Pfeil zieht man auch etwas an die Ausdehnung heran. Wichtig ist, dass man den Pfeil nicht in das Schwarze setzt, weil sonst der Hintergrund auf „Null“ gesetzt wird. Dann würde das Bild sehr schwarz werden und manche Sterne wären nicht mehr sichtbar. Die Einstellung der Tonwertspreizung in Abb. 41 ist eigentlich schon sehr gut.

Der letzte Schritt in der Bearbeitung des Bildes ist die Aktion „Aufhellen ohne Ausbrennen“. Auch dies ist eine Bearbeitungsmöglichkeit, die kein Standard der Software PhotoShop ist. Vielmehr handelt es sich hierbei um eine von einem Astronomen für die Astrofotografie entwickelte Summe von Einzelaktionen von PhotoShop, die die Bildbearbeitung erheblich vereinfacht. Die Anwendung ist sehr einfach. Zunächst wird über den Reiter „Aktionen“ die Funktion „Aufhellen ohne Ausbrennen“ aufgerufen (Abb. 42).

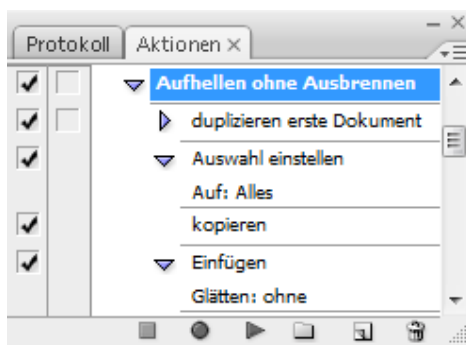


Abbildung 42: Aufhellen ohne Ausbrennen

Im System sind die einzelnen Bearbeitungsschritte hinterlegt. Es sind keine weiteren Bearbeitungen oder Einstellungen erforderlich. Für den Bearbeiter bestehen somit zwar keine Steuerungsmöglichkeiten. Dennoch ist das Ergebnis in der Regel sehr beeindruckend. Im Grunde werden insbesondere Nebel aufgehellt, ohne dass die einzelnen Sterne ausbrennen, also „überhellt“ werden.

Dies ist das Ergebnis meiner Aufnahme von M45:



Abbildung 43: fertiges Bild von M45

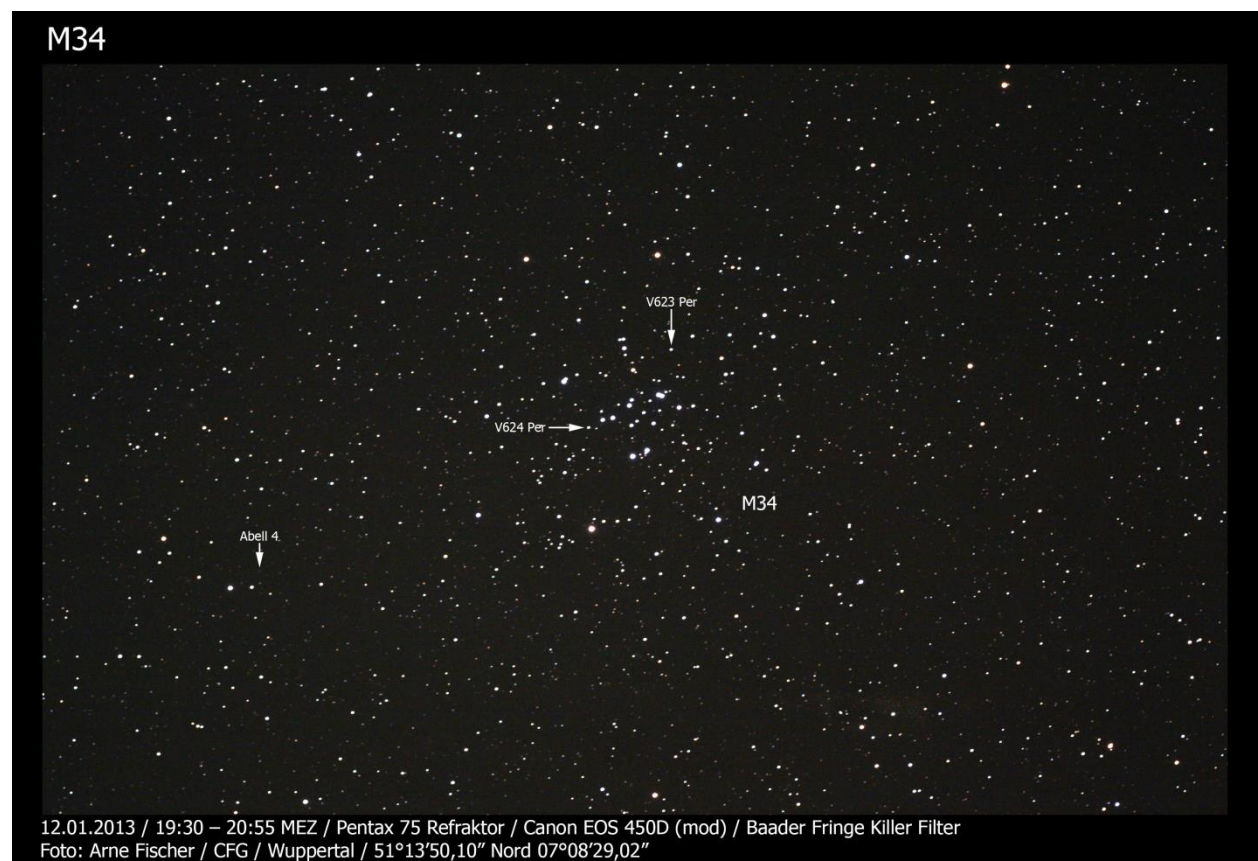
5.5. Die Ergebnisbilder – Steckbriefe und Auswertungen

Zur endgültigen Fertigung der Ergebnisbilder habe ich um alle Bilder einen schwarzen Rahmen gesetzt und die Bilder beschriftet. Dies sind die fertigen Bilder:

5.5.1. M34

Steckbrief

Messier-Nr.	34
NGC-Nummer	1039
Sternbild	Perseus
Objektklasse	Offener Sternhaufen
Rektaszension	02h 42,1m
Deklination	+42°45′
Entfernung	1.630 Lj



M34 wurde bereits um 1654 von Giovanni Battista Hodierna entdeckt und danach am 25.08.1764 noch einmal von Charles Messier. Er beschrieb das Objekt als „Haufen kleiner Sterne, die man mit einem gewöhnlichen Fernrohr von 3 Fuß unterscheiden kann. Der Haufen ist 15´ ausgedehnt.“

Im vorliegenden Ergebnisbild ist der Sternhaufen sehr klar als vergleichsweise kleines und nach oben offenes Grüppchen von Sternen erkennbar. Besonders auffällig sind die vielen Doppelsterne, die immer ähnlich hell sind. Es fällt auf, dass die Helligkeit der Sterne kaum variiert. Insgesamt handelt es sich um 11 Doppelsterne, die in der Simbad-Datenbank (**S**et of **I**dentifications, **M**easurements and **B**ibliography for **A**stronomical **D**ata) gelistet sind und zwei sogenannte Pulsationsveränderliche vom Typ γ Doradus (V623 Per und V624 Per).

Die Pulsationsveränderlichen werden so genannt, weil sie ihre Helligkeit durch Ausdehnen und Schrumpfen der Sternatmosphäre verändern. Diese beiden Sterne heißen V623 Per und V624 Per. Sie sind beide $11^m,5$ hell. Ihre Helligkeitsvariation beträgt lediglich $0^m,03$ ³⁸.

Dies sind die Bezeichnungen und Positionen einiger Doppelsterne³⁹:

HJ 2154 9,49 10,93 10,0 140 1991 Ra: 02 41 11; De: +42 41 A0Vp

HJ 1124 8,00 11,60 16,6 151 1904 Ra: 02 41 36; De: +42 43 B8

STT 44 AB 8,46 8,96 1,3 55 1998 Ra: 02 42 13; De: +42 42 B9Vp

HJ 1123 8,39 8,46 20,1 249 1991 Ra: 02 42 22; De: +42 49 A0

HJ 2155 8,26 10,27 16,8 322 1984 Ra: 02 42 45; De: +42 49 B9III

CAS S 151 BD +60 332 10,59 10,98 7,1 38 2000 Ra: 01 45 59; De: +61 13

CAS S 152 BD +60 333 9,04 11,20 9,4 106 2000 Ra: 01 46 04; De: +61 14

CAS S 153 BD +60 343 9,36 10,38 7,7 69 2000 Ra: 01 46 34; De: +61 16

Außerdem ist links im Bild noch schwach der Planetarische Nebel „Abell 4“ erkennbar.

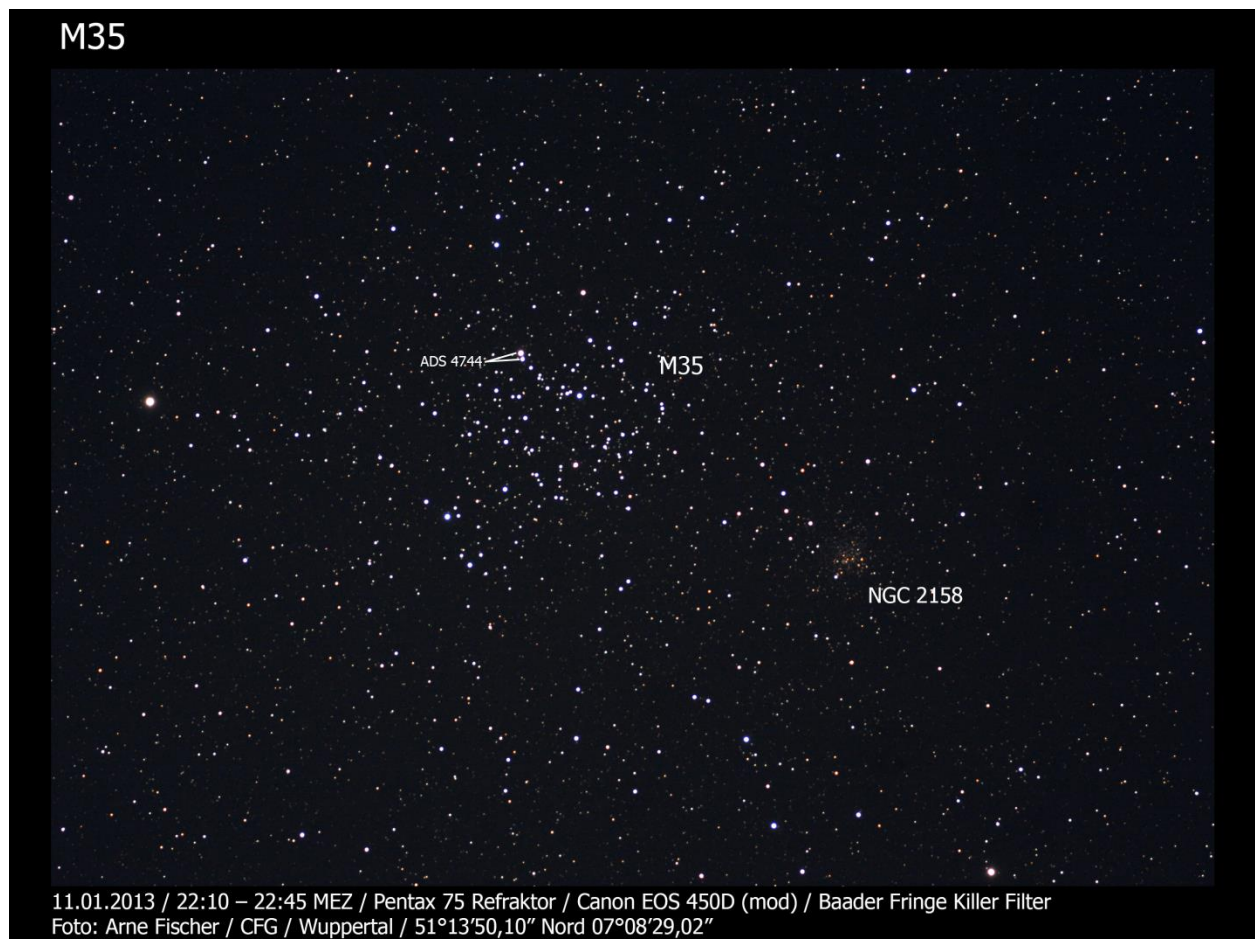
³⁸ Bernd Koch, Stefan Korth, Die Messier Objekte. Kosmos-Verlag, Stuttgart (2010), S. 70

³⁹ http://forum.astronomie.de/phpapps/ubbthreads/ubbthreads.php/topics/267809/Doppelsterne_in_M34

5.5.2. M35

Steckbrief

Messier-Nr.	35
NGC-Nummer	2168
Sternbild	Zwillinge
Objektklasse	Offener Sternhaufen
Rektaszension	06h 08,9m
Deklination	+24°20′
Entfernung	2.710 Lj



Auch dieser Sternhaufen wurde nicht von Charles Messier entdeckt, sondern bereits 1745/1746 von Philippe Loys de Chéseaux. Messier beschrieb ihn als „Haufen mit sehr wenigen schwachen Sternen, 20′ ausgedehnt.“

Tatsächlich sieht man auch im Ergebnisbild einen sehr sternreichen Haufen mit einer nur sehr schwachen Konzentration der Sterne. Die Helligkeit der Sterne ist im Gegensatz zu M34 sehr unterschiedlich. Auffällig sind einige sehr helle Sterne. Der hellste Stern ist der Doppelstern ADS 4744, der ebenfalls in diesem Foto sehr gut sichtbar ist.

Zusätzlich sieht man noch den offenen Sternhaufen NGC 2158 mit vielen schwachen rötlichen und blauen Sternen. Er gilt als einer der ältesten Offenen Sternhaufen und ist mit einer Entfernung von 12.000 bis 16.000 Lichtjahren sehr viel weiter entfernt als M35⁴⁰. In meinem Ergebnisbild bietet NGC 2158 einen interessanten farblichen Kontrast zu M35.

5.5.3. M36

Steckbrief

Messier-Nr.	36
NGC-Nummer	1960
Sternbild	Fuhrmann
Objektklasse	Offener Sternhaufen
Rektaszension	05h 36,1m
Deklination	+34°08′
Entfernung	4.300 Lj

⁴⁰ Vgl.: Die Messier-Objekte, Bernd Koch und Stefan Korth, Kosmos-Verlag



Dieser Sternhaufen wurden bereits von Giovanni Battista Hodierna um 1654 entdeckt und erst 1764 von Charles Messier katalogisiert und beschrieben.

Das Ergebnisbild zeigt M36 unten links als sehr kleinen und ausgedehnten Sternhaufen. Erkennbar sind einige wenige helle Sterne. Diese bilden regelrechte Sternketten. Mit etwas Phantasie soll man in der Form des Sternhaufens einen fliegenden Vogel erkennen können. Grundsätzlich ist das Zentrum des Sternenhaufens recht dicht besetzt mit Einzelsternen. Außerdem existieren drei Doppelsterne.

Oben rechts im Bild ist NGC 1907 erkennbar. Dies ist ein Sternhaufen mit einem Durchmesser von 6', der sich nur etwa 30' südlich von M38 befindet. Letzterer ist ja bedauerlicherweise aufgrund der Bildhöhe des Pentax 75 und der Canon Eos 450D nicht mehr mit auf dem Foto.

5.5.4. M37

Steckbrief

Messier-Nr.	37
NGC-Nummer	2099
Sternbild	Fuhrmann
Objektklasse	Offener Sternhaufen
Rektaszension	05h 52,3m
Deklination	+32°33
Entfernung	4.510 Lj



Auch M37 wurde wie M36 von Giovanni Battista Hodierna um 1654 entdeckt und von Charles Messier 1764 erfasst.

M37 hat insgesamt eine ovale Form, die auch auf meinem Bild gut zu erkennen ist. Auffällig und gut erkennbar im Ergebnisbild sind die mehr als ein Dutzend Roten Riesensterne, die den Sternhaufen besonders interessant machen.

Darüber hinaus ist in der Mitte des Sternhaufens sehr gut ein ausnehmend heller Stern - ein F8-Stern - sichtbar. Auffällig ist eine Sternlücke in der Nähe des Zentrums.

Auch dieser Sternhaufen weist eine große Anzahl an Doppelsternen auf. Insgesamt umfasst der Sternhaufen gut 100 Sterne unterschiedlicher Helligkeitsstufen.

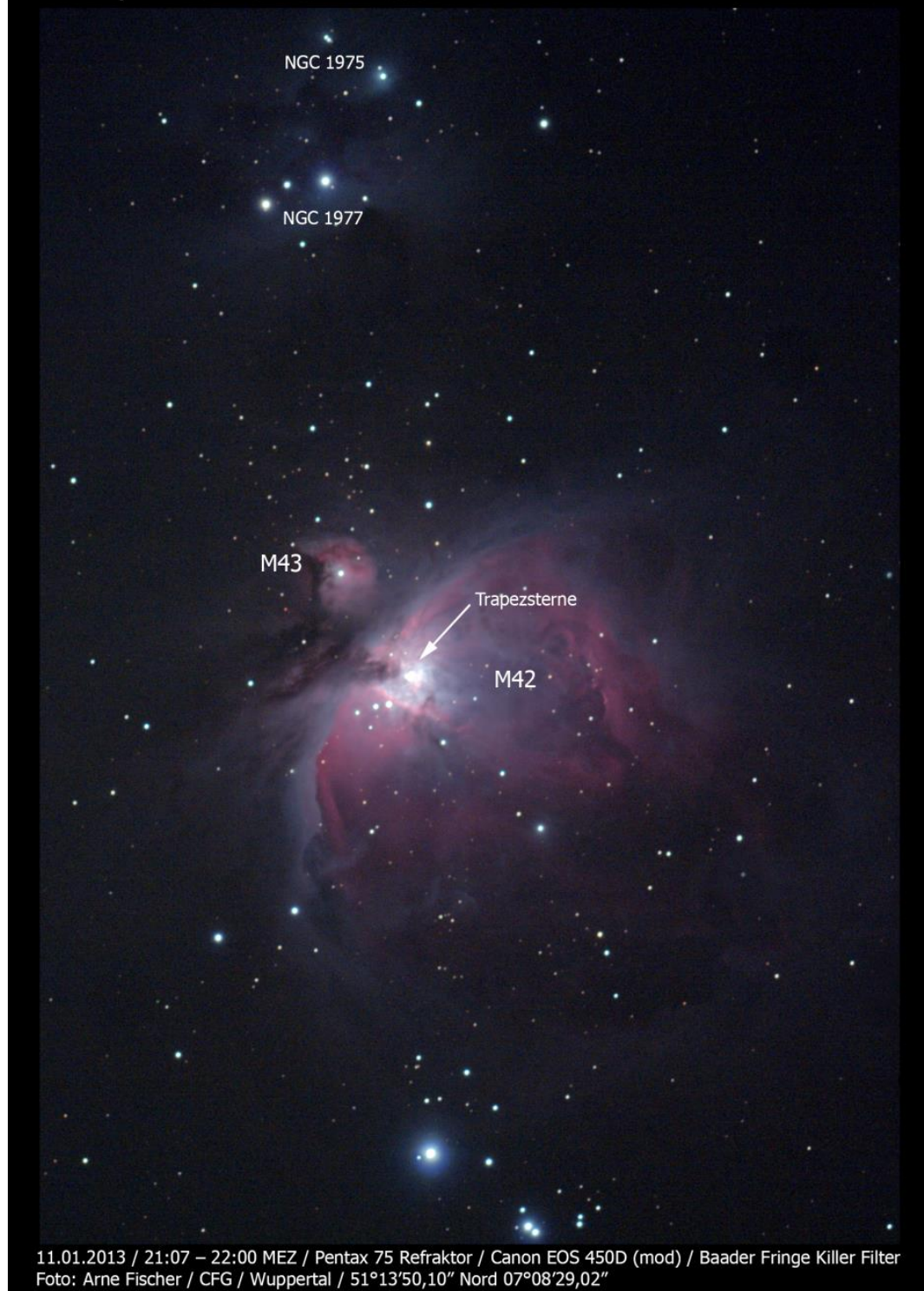
Damit ist M37 im Vergleich zu dem vorab dargestellten M36 ein sehr eindrucksvoller Sternhaufen.

5.5.5. M42 und M43

Steckbrief

Name	Orion-Nebel	
Messier-Nr.	42	43
NGC-Nummer	1976	1982
Sternbild	Orion	Orion
Objektklasse	Emissionsnebel	Emissionsnebel
Rektaszension	05h 35,3m	05h 35,6m
Deklination	-05°23'	-05°16'
Entfernung	1.350 Lj	1.350 Lj

M42 / M43 - Orion-Nebel



Entdecker dieser beiden Objekte war ebenfalls nicht Charles Messier. Vielmehr hat Nicolas-Claude Fabri de Peiresc M42 bereits im Jahr 1610 entdeckt. Auch Galileo Galilei hat im Jahr 1617 bereits Zeichnungen über diese Himmelsregion angefertigt. Die

Entdeckung von M43 wird Jean Jacques d'Ortous de Marian im Jahr 1731 zugeschrieben. Messier hat beide Objekte am 04.03.1769 seinem Katalog hinzugefügt.

Im Ergebnisbild sind M42 und M43 sehr gut erkennbar. Darüber hinaus lassen sich sowohl die vier hellen Sterne in der Zentralregion, die als Trapezsterne bezeichnet werden, als auch Nebelstrukturen erkennen. Auch die schwächeren Nebel NGC 1975 und NGC 1977 und der Offene Sternhaufen NGC 1981 sind erkennbar.

Die vorwiegend rote Farbe des Nebels weist zudem auf die ausgeprägte H α -Linie mit der Wellenlänge 656,28 nm hin. Das zeigt, dass der Nebel zu einem wesentlichen Teil aus ionisiertem Wasserstoff besteht.

5.5.6. M45

Steckbrief

Name	Plejaden, Siebengestirn
Messier-Nr.	45
NGC-Nummer	-
Sternbild	Stier
Objektklasse	Offener Sternhaufen
Rektaszension	03h 47,4m
Deklination	+24°07
Entfernung	425 Lj

M45 - Plejaden



11.01.2013 / 20:30 – 21:05 MEZ / Pentax 75 Refraktor / Canon EOS 450D (mod) / Baader Fringe Killer Filter
Foto: Arne Fischer / CFG / Wuppertal / 51°13'50,10" Nord 07°08'29,02"

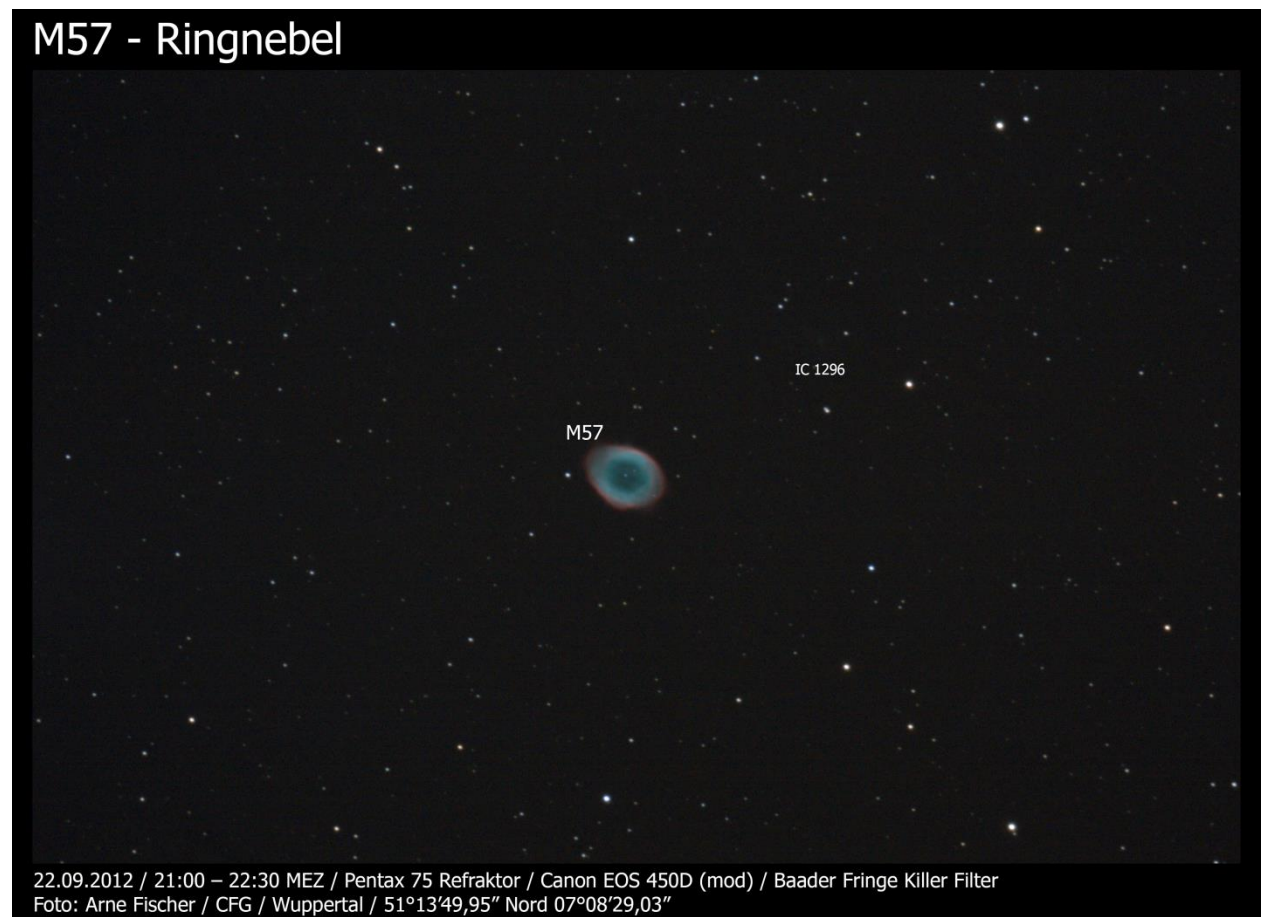
Die Plejaden sind bereits auf der Himmelsscheibe von Nebra zu sehen (so wird zumindest vermutet) und diese stammt aus einer Zeit um 1600 v.Chr.

Messier hat die Plejaden am 04.03.1769 in seinen Katalog aufgenommen. Im Ergebnisbild ist Alcyone als hellster Stern in der Mitte sehr gut erkennbar. Auch die fünf anderen großen Sterne Atlas, Maia, Taygeta, Electra und Merope treten klar hervor. Diese sind nicht nur hell, sondern schimmern nahezu blau und sind von blauen Reflexionsnebeln umgeben, die man gut erkennen kann. Auch die schwächeren Sterne wie Pleione, Celaeno Asterope und sogar 22 Tau weisen einen Reflexionsnebel auf.

5.5.7. M57

Steckbrief

Name	Ringnebel
Messier-Nr.	57
NGC-Nummer	6720
Sternbild	Leier
Objektklasse	Planetarischer Nebel
Rektaszension	18h 53,6m
Deklination	+33°02
Entfernung	2.300 Lj



Der Ringnebel wurde 1779 von Antoine Darquier entdeckt und am 31.01.1779 von Charles Messier mit in den Katalog aufgenommen. Darquier schrieb dazu „Nebelfleck zwischen γ & β der Leier, der sehr glanzlos, aber perfekt begrenzt ist; er ist groß wie Jupiter und gleicht einem erloschenen Planeten...“. Charles Messier vermutete, dass

der Nebelring sich aus sehr kleinen und schwachen Sternen zusammensetzen könnte. Heute geht man davon aus, dass sich im Zentrum des großen, hellen Rings ein heller Weißer Zwerg mit extrem hoher Oberflächentemperatur von 100.000 K befindet und dass die Ringstruktur nur scheinbar besteht. Das intensive UV-Licht des Sterns im Zentrum führt zu einer Art Eigenleuchten durch die unterschiedlichen Nebelbestandteile.

Der Aufbau des Rings ist ziemlich kompliziert und ist im Grunde eine optische Täuschung. „Gegenwärtigen Modellen zu Folge sieht man einen hellen Ring nur deshalb, weil man auf einen zur Sichtlinie geneigten ellipsoiden Körper blickt, der in einer sphärischen Hülle eingebettet ist“⁴¹. Der Nebel im Zentrum leuchtet grünlich. Hier befindet sich doppelt ionisierter Sauerstoff. Der äußere rote Ring besteht vornehmlich aus Wasserstoff, so dass dieses als rotes H α -Leuchten erscheint.

Das Ergebnisbild zeigt jedenfalls sehr schön den klar abgrenzbaren Ringnebel wie von Darquier beschrieben. Der Ring hat nach diesem Bild aber keine gleichförmige Struktur, sondern wirkt teilweise fleckig und ist an den Rändern an manchen Stellen leicht verwischt. Ein zentraler Stern in der Mitte ist leider nur schwach erkennbar, weil er relativ lichtschwach ist.

⁴¹ Die Messier-Objekte, Bernd Koch und Stefan Korth, Kosmos-Verlag, S. 112

6. Abschließende Überlegungen

An den vorliegenden Fotos kann man erkennen, dass man mit dem Refraktor einer Schulsternwarte bereits sehr gute Aufnahmen von Objekten im Deep-Sky-Bereich machen kann.

An den beiden Aufnahmetagen hatten wir aber auch recht gute Wetterbedingungen, klaren Himmel, meistens relative Windstille, gutes Seeing und keine Aufhellung durch den Mond (da Neumond).

Abschließend bleibt festzustellen, dass die weitere Bildbearbeitung der Fotos bei der Astrofotografie eine extrem große Rolle spielt. Und je mehr man mit der Fotosoftware verändert, umso mehr kann ein Foto auch überkorrigiert und damit verdorben werden. Diverse meiner Versuche habe ich während der Bearbeitung abgebrochen, um von vorne zu beginnen. Aber das sind Erfahrungen, die wohl jeder Astrofotograf machen wird – aus Fehlern kann man hier nur lernen.

7. Schlussbemerkung

Die Fotografie von Messier-Objekten ist eine durchaus große Herausforderung. Anfangs bin ich davon ausgegangen, dass ich bestimmt ganz nette Aufnahmen zustande bringen könnte, war aber gedanklich weit entfernt von dem, was nun mit dieser Facharbeit vorliegt. Mir war bewusst, dass man von einem Hubble-Weltraumteleskop tolle Aufnahmen von solchen Deep-Sky-Objekten machen kann, aber dass ich jemals solche Ergebnisse mit den Teleskopen unserer Schülersternwarte erzielen würde – damit habe ich nicht gerechnet. Unter Astrofotografie verstand ich Aufnahmen mit extrem guten Kameras in Kombination mit extrem leistungsstarken Teleskopen oder Refraktoren. Welche Techniken, physikalisches Wissen, technische Kenntnisse und Softwarekenntnisse damit verbunden sind – davon hatte ich keine Vorstellung.

Mein absoluter Dank gilt an dieser Stelle unserem Projektleiter und Lehrer Bernd Koch, der uns nicht nur in die Geheimnisse der Astrofotografie eingewiesen hat, sondern der es auch versteht, zu motivieren. Das Buch „Die Messier-Objekte“ aus dem Kosmos Verlag, das er gemeinsam mit Stefan Korth geschrieben hat, war für meine Arbeit mehr als wertvoll und hat mir über so manche Hürde hinweg geholfen. Es wurde in den vergangenen Monaten zu meiner täglichen Lektüre – und ich muss sagen, ich habe im Laufe meiner Facharbeit einen enormen Respekt vor der Leistung der beiden Autoren bekommen.

Die Verfeinerungsarbeiten mit PhotoShop haben mich ganz besonders fasziniert und brachten wirklich schöne Ergebnisse mit teilweise unglaublicher Brillanz. Zuletzt möchte ich an dieser Stelle Herrn Andreas Berger meinen Dank aussprechen, der mir dabei geholfen hat, die Ergebnisfotos zu analysieren und auszuwerten.

Ganz besonders schön finde ich die Ergebnisse vom Orionnebel und den Plejaden.

Damit bleibt abschließend nur festzustellen, dass ich nach anfänglicher Skepsis zunehmend begeistert bin von den astrofotografischen Möglichkeiten, die man in einer Schülersternwarte hat. Das möchte ich auf jeden Fall ausbauen und weitermachen!

Anlage: Quellenverzeichnis

1. Literatur:

Bernd Koch, Stefan Korth, Die Messier-Objekte. Kosmos-Verlag, Stuttgart (2010)
Bernhard Mackowiak, Bildatlas Astronomie, NGV-Verlag, Köln (2011)

2. Recherche im Internet:

http://www.canon.de/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/EOS_450D/
<http://www.astrofoto.de/>
http://www.astrofoto.de/messier/highlite/charles_messier.htm
http://www.astroalarm.de/galaxis_oh.htm
<http://www.astronews.com/frag/antworten/3/frage3272.html>
<http://www.astropictures.de/hintergrund.htm>
http://astronomy.meta.org/monatlich/0911_monatsthema_k.jpg, 01.05.2011
<http://www.baader-planetarium.de>
http://www.baader-planetarium.de/sektion/s41/bilder/fkiller_sonnenspektrum_gross.jpg
<http://www.baader-planetarium.de/pentax/pentax.htm#75>
http://www.baader-planetarium.de/astro_physics/montierungen.htm#900, 01.05.2011
http://www.baader-planetarium.de/suw_artikel/download/ap900.pdf
http://www.baader-planetarium.de/suw_artikel/htm/ap_900/ap900-start.htm
[Siegfried Bergenthal / Abschnitt Nachführgenauigkeit]
<http://www.calsky.com>
<http://www.calsky.com/cs.cgi/Satellites/7?>
http://www.canon.de/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/EOS_450D/
http://www.canon.de/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/EOS_450D/index.aspx?specs=1
http://forum.astronomie.de/phpapps/ubbthreads/ubbthreads.php/topics/267809/Doppelterne_in_M34
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1076567010620058>
<http://www.stellarium.org/de/>

3. Sonstige Quellen:

Bernd Koch – Skript „Astrofotografie mit der Canon EOS 450D“
Bernd Koch – Skript „Filter in der Astrofotografie“
Bernd Koch – Skript „Kenngrößen eines Fernrohrs“

4. Verwendete Software:

EOS Utility
Stellarium
DeepSkyStacker
PhotoShop (CS3 und CS6)