Juwelen am Nachthimmel

–

Die offenen Sternhaufen der Galaxis

Aileen Lehnert
Adresse: Sudbergerstr.70
42349 Wuppertal
Deutschland
Email: al_11@gmx.de

Carl-Fuhlrott Gymnasium, Wuppertal
Jahrgangsstufe Q1

Projektarbeit im Projektkurs Astronomie 2017/2018
Kursleiter: Bernd Koch
Abgabedatum 30.05.2018

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 4
2. Orientierung am Himmel 4
   2.1. Himmelskugel 4
   2.2. Das rotierende äquatoriale Koordinatensystem 5
   2.3. Rektaszension und Deklination 6
3. Offene Sternhaufen 8
4. Klassifikation offener Sternhaufen 9
5. Diagramme 10
   5.1. Das Farben-Helligkeits-Diagramm FHD 10
   5.2. Das Hertzsprung-Russell-Diagramm HRD 10
6. Sternentstehung 12
   6.1. Von der Materiewolke zum Protostern 12
   6.2. Das Deuterium-Brennen 13
   6.3. Das Vor-Hauptreihenstadium im HRD 14
7. Das Hauptreihenstadium 14
   7.1. Lebensdauer auf der Hauptreihe 14
   7.2. Nullalter-Hauptreihe 15
   7.3. Fusionsprozesse 15
   7.4. Altersbestimmung in Sternhaufen 16
8. Endstadien der Sternentwicklung 16
   8.1. Massereiche Sterne, ca. 2,3 bis 8 Sonnenmassen 16
9. Offene Sternhaufen nach Messier 17
   9.1. Charles Messier und der Messier-Katalog 17
   9.2. Der offene Sternhaufen M35 18
   9.3. Der offene Sternhaufen M37 20
   9.4. Übersetzung aus dem originalen Messier-Katalog 21
      9.4.1.1. Übersetzung zu M35 22
      9.4.1.2. Übersetzung zu M37 23
10. Technisches Equipment 24
   10.1. Das Celestron 11 EdgeHD 24
   10.2. Canon EOS 450 D 25
   10.3. Der experimentelle Aufbau 26
11. Durchführung 28
12. Auswertung der Aufnahmen 29
   12.1. Stacking 29
   12.2. Bearbeitung mit Photoshop 31
   12.3. Vergleich mit anderen Datenbanken 37
13. Problemdiskussion 39
   13.1. Atmosphärische Dispersion 39
   13.2. Wetterbedingungen 40

14. Fazit der Arbeit 40
15. Danksagung 41
16. Abschlusserklärung 41

1. Einleitung

Die Aufgabe dieser Projektarbeit ist es, Bilder von offenen Sternhaufen aufzunehmen. Dazu werden die offenen Sternhaufen mit einer Farbkamera aufgenommen und im Anschluss gestackt, also übereinandergelegt und zu einem Bild umgewandelt. Ebenso werden diese Bilder dann noch mit Photoshop bearbeitet um sie zu verbessern. Die einzelnen Bearbeitungsschritte werden durch Screenshots dokumentiert.
Ich habe diesen Projektkurs gewählt, da mich Astronomie schon immer interessiert. Den Himmel beobachte ich gerne und habe mich bereits mit einigen Himmelsobjekten befasst, weshalb ich nun diesen Projektkurs gewählt habe um mich genauer mit den Geschehnissen am Himmel auseinander setzen zu können.
Ich habe mich für die Fotografie von offenen Sternhaufen entschieden, weil ich mich sehr für die Fotografie des Himmels interessiere und ich es faszinierend finde, wie deutlich man von der Erde aus so weit entfernte Objekte fotografieren kann. Offene Sternhaufen haben mich interessiert, weil ich mich mit den Besonderheiten von ihnen auseinandersetzen wollte und sie als Objektgruppen an sich sehr schön finde.

2. Orientierung am Himmel

Zur Orientierung am Himmel nutzt man andere Systeme als auf der Erde, genauso wie man Entfernungen und Positionen von Himmelsobjekten in anderer Weise angibt. Zum Verständnis der Angaben braucht man dementsprechend eine andere Orientierung für den Himmel.

2.1. Die Himmelskugel

Als Himmelskugel bezeichnet man eine gedachte Kugel, die die Erde allseitig umgibt. Diese Kugel kann einen beliebig großen Radius haben. Auf sie werden die Gestirne von uns projiziert. Auf ihr sind die Himmelspole und der Himmelsäquator definiert.[1]
Der Himmelsnordpol und der Himmelssüdpol werden als die Verlängerung der Erdachse zum Erdnordpol und Erdsüdpol verstanden. Sie stellen die Fixpunkte der Himmelskugel dar. Da sich die Erde um ihre eigene Achse dreht erscheint es uns so, als ob sich der Himmel in entgegengesetzter Richtung um die Pole dreht. So scheinen sich die Sterne über der Nordhalbkugel entgegen und die Sterne über der Südhalbkugel im Uhrzeigersinn zu bewegen, obwohl sie gleichbleibend von unserer Sicht aus von Osten nach Westen wandern. Der Himmelsnordpol ist gut sichtbar durch den Polarstern im Kleinen Bären gekennzeichnet, welcher fast genau an diesem Punkt steht.[2]

---

[1] https://www.leifiphysik.de/astronomie/sternbeobachtung
Zugriff:19.04.2018

[2] http://www.br-online.de/wissen-bildung/spacenight/sterngucker/erde/deklination.html
Zugriff:19.04.2018

Der Himmelsäquator stellt die Projektion unseres Erdäquators auf die Himmelskugel dar. In ihr ist er die gedachte Nulllinie oder auch der Grundkreis. Er teilt die Himmelskugel wie sein Erdäquivalent in eine nördliche und eine südliche Halbkugel. Von dem Äquator aus lässt sich die Position jedes Objektes beschreiben. Das System der Erde als Ausgangspunkt und des Himmelsäquators als dessen Bezugspunkt nennt man das geozentrisch-äquatoriale System.[3]

2.2. Das rotierende äquatoriale Koordinatensystem

Das rotierende äquatoriale Koordinatensystem ist ein geozentrisches Koordinatensystem auf der Himmelskugel. In diesem Koordinatensystem geht man von dem Himmelsäquator als die Bezugsebene aus, wobei der Frühlingspunkt als Bezugspunkt verwendet wird. Durch Rektaszension und Deklination kann man auf der gedachten Himmelskugel die Position von Objekten angeben.
Der Frühlingspunkt ist der Bezugspunkt, da sich der Himmel mit dem Frühlingspunkt scheinbar einmal täglich um die Erde dreht, woher der Name des rotierenden Systems stammt.[4]
Die Polarkoordinaten sind die Deklination, also der Winkelabstand von der Äquatorebene und die Rektaszension, also der Winkelabstand vom Frühlingspunkt. Der Frühlingspunkt befindet sich am Himmel westlich vom Widder im Sternbild der Fische. Er ist einer von zwei Punkten, an dem die Sonne den Himmelsäquator schneidet. Dies passiert während der Tagundnachtgleiche, dem Tag an dem die Sonne um 6 Uhr aufgeht und um 18 Uhr untergeht, also Tag und Nacht genau 12 Stunden dauern. Den Frühlingspunkt durchläuft die Sonne jährlich am 21. März, weshalb dieser Tag den astronomischen Frühlingsbeginn markiert. Die Sonne geht genau im Osten auf, steht mittags senkrecht über dem Äquator und geht auch genau im Westen unter, kurzum: sie verläuft genau auf der Himmelsäquatorlinie. Die Sonne steht von diesem Tag an immer ein Stück nördlicher des Äquators, sie steigt also am Himmel. Dadurch entsteht auf der nördlichen Halbkugel der Erde ein stetiger Temperaturanstieg.[5] Diesen Punkt nennt man auch Widderpunkt oder Frühlingsäquinoktium, wobei Äquinoktium ein anderer Begriff für Tagundnachtgleiche ist. Der zweite der Schnittpunkte mit dem Himmelsäquator ist der Herbstpunkt, auch genannt Herbstäquinoktium oder Waagepunkt.[6]

---

[3] http://www.br-online.de/wissen-bildung/spacenight/sterngucker/erde/rektaszension.html Zugriff: 19.04.2018

[4] https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%84quatoriales_Koordinatensystem Zugriff:19.04.2018

[5] http://www.br-online.de/wissen-bildung/spacenight/sterngucker/erde/rektaszension.html Zugriff:19.04.2018

[6] https://de.wikipedia.org/wiki/Äquinoktium Zugriff: 19.04.2018

2.3. **Rektaszension und Deklination**

Die Rektaszension und die Deklination sind zwei Winkel im äquatorialen Koordinatensystem.
Der Begriff der Rektaszension kommt von dem lateinischen Begriff ascensio recta, was übersetzt gerader Aufstieg bedeutet. Ein häufig verwendetes Kürzel ist RA. Die Rektaszension beschreibt, wie weit östlich oder westlich sich ein Gestirn vom Frühlingspunkt entfernt befindet. Die Beschreibung ist analog zu den irdischen Meridianen. Der Nullmeridian des Himmels ist also der Frühlingspunkt. Genauer gesagt bezeichnet die Rektaszension also den Winkel α zwischen dem Nullmeridian und dem Meridian des Objektes. Angegeben wird dieser in Stunden, Minuten und Sekunden in östlicher Richtung, also entspricht ein voller Kreis mit 360 Grad 24 Stunden. Sterne mit gleicher Rektaszension liegen auf demselben Meridian, für den Betrachter befinden sie sich in derselben Himmelsrichtung, wobei sie sich durch die Erdbewegung für den Betrachter immer weiter nach Westen bewegen.[7]

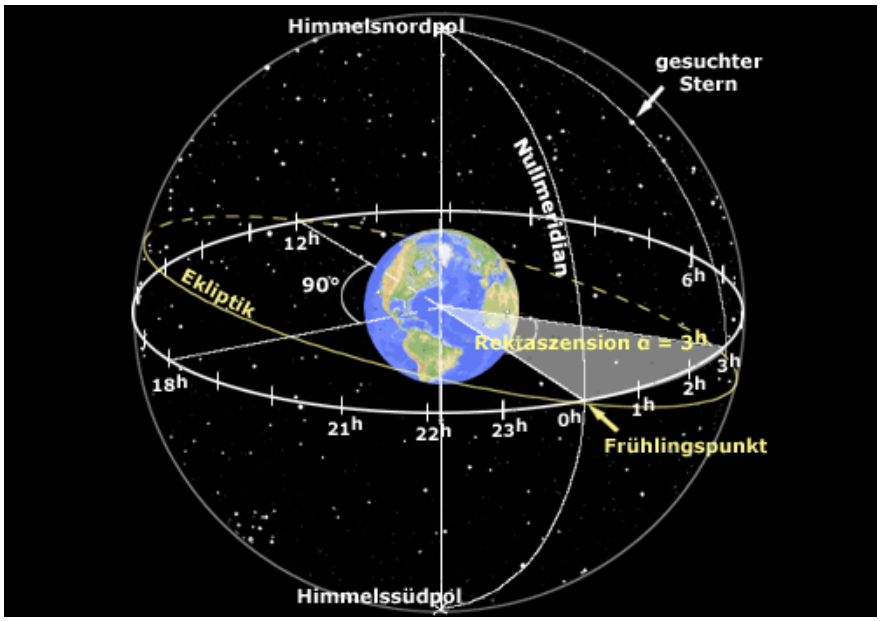


Abbildung 1 Rektaszension[8]

[7] https://de.wikipedia.org/wiki/Rektaszension
Zugriff:19.04.2018

[8] http://www.br-online.de/wissen-bildung/spacenight/sterngucker/erde/rektaszension-gr.html
Zugriff:18.05.2018

Der Begriff der Deklination ist lateinisch für Abweichung oder Beugung. Die Position des Gestirns wird mit der Winkelangabe Himmelsäquator-Erdmittelpunkt-Stern beschrieben. Die himmlischen Grade entsprechen den irdischen Breitengraden. Die Nulllinie, also die die Linie mit 0 Grad ist der Himmelsäquator, der Himmelsnordpol liegt bei +90 Grad und der Himmelssüdpol dementsprechend bei -90 Grad. Analog zur Erde misst man in Parallelkreisen, doch statt Breitengraden nennt man sie die Deklination δ. Eine gleiche Deklination bedeutet also, dass es der gleiche Parallelkreis und auch die gleiche Entfernung zum Himmelsäquator ist.[9]

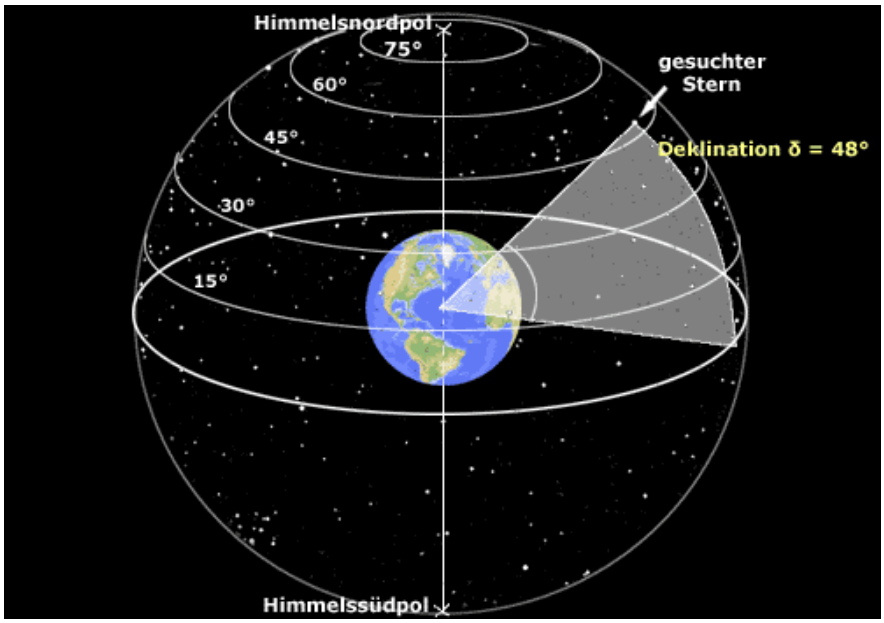


Abbildung 2 Deklination[10]

Bogenminuten sind eine Maßeinheit und sind auch unter dem Begriff Winkelminuten bekannt. Diese Einheit gibt die Größe von Winkeln im Gradmaß an. Ein Grad oder auch Winkelgrad entspricht 60 Bogenminuten was 3600 Bogensekunden entspricht. Eine Bogenminute entspricht also dementsprechend 60 Bogensekunden. Folgend noch die Symbole, mit denen man die entsprechende Größe angibt:

Grad: ° ; Bogenminute: ‘ ; Bogensekunde: ‘‘ .[11] [12]

[9] https://de.wikipedia.org/wiki/Deklination_(Astronomie)
Zugriff:19.04.2018

[10] http://www.br-online.de/wissen-bildung/spacenight/sterngucker/erde/deklination.html
Zugriff:19.04.2018

[11] https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/bogenminute/49
Zugriff:19.04.2018

[12] http://www.chemie.de/lexikon/Bogenminute.html
Zugriff:19.04.2018

Die Kulmination beschreibt den Tag oder den Zeitpunkt, zudem ein Gestirn seinen Höchststand oder seinen tiefsten Stand erreicht. Man unterscheidet zwischen der oberen Kulmination, also der größten Höhe eines Gestirns über dem Horizont und der unteren Kulmination, der geringsten Höhe des Gestirns über dem Horizont, wobei mit dem Begriff der Kulmination meistens die obere Kulmination gemeint ist.[13]

3. Offene Sternhaufen

Ein offener Sternhaufen ist eine Ansammlung relativ junger und ungefähr gleichzeitig entstandener Sterne, welcher als ein Gebiet mit deutlich erhöhter Sterndichte sichtbar wird. Ein Sternhaufen bevölkert eine begrenzte Region, welche jedoch bedeutend kleiner als ihr Abstand zur Erde ist. Somit kann man sagen, dass alle Sterne eines Haufens ungefähr dieselbe Entfernung haben. Sternhaufen sind keine zufälligen Häufungen entlang einer Blickrichtung, sondern eine nahe zusammenstehende Anordnung von Sternen die physikalisch miteinander wechselwirken. Zusammengehalten werden sie durch ihre gegenseitige Anziehungskraft. Offene Sternhaufen entstehen aus großen kosmischen Wolken aus Gas und Staub. In vielen dieser Wolken ist noch immer die Sternentstehung aktiv, was als heller, diffuser Nebel sichtbar wird. Die Entstehung eines Haufens braucht eine viel kürzere Zeitspanne im Vergleich zu der gesamten Lebenszeit eines Haufens, sodass man bei allen zugehörigen Sternen von dem etwa selben Alter ausgehen kann. Da alle dieser Sterne aus demselben Nebel entstanden sind, haben alle eine ähnliche chemische Zusammensetzung. Die Massen der Sterne in einem Sternhaufen können stark variieren, die massivsten Sterne in jungen Haufen haben eine Masse von 80-100 Sonnenmassen, während die am wenigsten massiven weniger als 0,08 Sonnenmassen haben können. In unserer Milchstraße sind über 1100 offene Sternhaufen bekannt, doch die eigentliche Anzahl wird auf bis zu 100000 geschätzt. Die meisten Haufen leben nur kurzweilig als Sternenschwärme, wenn sie durch ihren Orbit treiben entkommen manche Sterne aufgrund von Geschwindigkeitsänderungen in gegenseitigen näheren Begegnungen, Gezeitenkräften im galaktischen Gravitationsfeld oder durch Begegnungen mit Feldsternen und interstellaren Wolken die den Weg des Haufens kreuzen. Als Gezeitenkräfte bezeichnet man die Kräfte, die auf Objekte im Gravitationsfeld einer Galaxie wirken. Sie haben dieselbe Ursache wie auf der Erde, doch sind durch größere Abstände und Zeiten beeinflusst. Durch die Gezeitenkräfte können Galaxien abgeflacht, gedehnt, auseinandergerissen oder in ihrem Orbit gestört werden. Eine schnelle Rotation der Galaxien führt zu einer stärkeren Verformung.[14]

---

[13] https://www.leifiphysik.de/astronomie/sternbeobachtung
Zugriff:19.04.2018

[14] https://de.wikipedia.org/wiki/Galaktische_Gezeiten
Zugriff:03.05.2018

Ein durchschnittlicher Sternhaufen hat die meisten seiner Sterne nach einigen 100 Millionen Jahren über seinen Weg verteilt, nur wenige Sternhaufen erreichen ein Alter von Milliarden von Jahren. Einzelne entkommene Sterne umkreisen die Galaxie selbstständig als Feldsterne. Der Begriff der Feldsterne bezeichnet alle Sterne, welche keinem Sternhaufen zugehörig sind.[15]
Es wird vermutet, dass alle Feldsterne in einer Galaxie ihren Ursprung in einem Sternhaufen haben. Einige offene Sternhaufen sind bereits seit prähistorischer Zeit bekannt, da sie recht hell und selbst mit den frühesten Teleskopen einfach zu beobachten sind, wie beispielsweise die Plejaden oder die Hyaden. Offene Sternhaufen kennzeichnet eine unregelmäßige Sternverteilung im Gegensatz zu der zweiten Sternhaufenart, den Kugelsternhaufen. Kugelsternhaufen haben eine regelmäßigere Form und eine zunehmende Sterndichte zum Zentrum des Haufens hin. Sie sind die größere und ältere Form von Sternhaufen, sind mit dem Auge aber nicht als solche zu erkennen. Offene Sternhaufen beinhalten Wolken an Gas und Staub, welche bei Kugelsternhaufen fehlen. Allein diese sichtbaren Unterschiede weisen auf unterschiedliche physikalische Eigenschaften der beiden Haufenarten hin. Für eine genauere Untersuchung benötigt man ein HRD. Wenn man die Hauptreihe von Sternhaufen an die Sterne der Sonnenumgebung anpasst hat man eine gute Methode zur Entfernungsbestimmung. Diese Methode ist auf beide Sternhaufenarten und sogar Galaxien anwendbar.[16] [17]

4. Klassifikation offener Sternhaufen

Das häufigste verwendete Schema zur Klassifikation von Sternhaufen ist das Trumpler-Schema. Es wurde von Robert Julius Trumpler eingeführt und besteht aus drei Teilen. Diese Teile charakterisieren den Konzentrationsgrad, die Helligkeitsreichweite und den Sternreichtum des offenen Sternhaufens. Im Folgenden beschreibe ich das Schema, indem ich für jeden Teil die verschiedenen Kürzel angebe und die Bedeutung eben dieser im Anschluss an das Kürzel aufführe:

[15] https://www.spektrum.de/lexikon/physik/feldsterne/4862
Zugriff:03.05.2018

[16] http://www.messier.seds.org/open.html
Zugriff:22.03.2018

[17] Metzler Physik 12 Astrophysik Seite 10
Zugriff:22.03.2018

Teil 1: Konzentrationsgrad

I : allein oder frei stehender Haufen mit einer starken Konzentration in Richtung Zentrum

II : freistehender Haufen mit einer schwachen Konzentration in Richtung Zentrum

III : freistehender Haufen ohne Konzentration in Richtung Zentrum

IV : schlecht und kaum vom umliegenden Sternfeld abgelöster Haufen

Teil 2: Helligkeitsreichweite

1 : kurze Helligkeitsreichweite

2 : mäßige Helligkeitsreichweite

3 : große Helligkeitsreichweite

Teil 3: Reichtum an Sternen

p : arm, weniger als 50 Sterne

m : mäßig, 50 bis 100 Sterne

r : reich, mehr als 100 Sterne

Besonderheit:
Wenn ein „n“ der Klassifikation folgt, dann steht dieser Sternhaufen in Verbindung mit einem Nebel.[18]

5. Diagramme

5.1. Das Farben-Helligkeitsdiagramm FHD

Das FHD ist ein zweidimensionales Diagramm, in welchem man die absolute Helligkeit von Sternen gegen einen Farbindex aufträgt. Legt man ein Standard-HRD zugrunde, bei welchem der Spektraltyp durch den Farbindex ersetzt wurde, dann ist die Hauptreihe des FHD vertikal verschoben. Aus der Größe dieser Verschiebung kann man mittels einer Formel die Entfernung der Sternengruppe ermitteln. Außerdem kann man aus dem Abzweigepunkt von der Hauptreihe das Alter des Sternhaufens in Jahren abschätzen.[19]

5.2. Das Hertzsprung-Russell-Diagramm

Das HRD zeigt die grobe Entwicklungsverteilung der Sterne. Es wird der Spektraltyp gegen die absolute Helligkeit aufgetragen, woraus sich charakteristische Linienartige Häufungen ergeben. Es wurde 1913 von Henry Norris Russell entwickelt, baut dabei

[18] http://www.messier.seds.org/open.html
Zugriff:04.04.2018

[19] https://de.wikipedia.org/wiki/Farben-Helligkeits-Diagramm
Zugriff:17.05.2018

aber auf Arbeiten von Ejnar Hertzsprung auf. Die Hauptreihe enthält die meisten Sterne und oberhalb der Hauptreihe befinden sich abzweigende Äste. Ganz oben findet sich der Riesenast, darunter die selteneren Unterriesen. Links oberhalb der Hauptreihe findet sich die Hertzsprung-Lücke, ein Bereich mit auffallend wenigen Sternen. Neben der Hauptreihe und den Riesenästen gibt es noch den Bereich der hellen Riesen, sowie der der Überriesen. Unterhalb der Hauptgruppe befinden sich die Unterzwerge, ebenso wie die weißen Zwerge. Die Entwicklungszustände sind somit klar voneinander abgegrenzt.
Jenseits der Temperaturen von 3000-5000 Kelvin finden sich keine Sterne mehr im HRD, da dort der Bereich der Protosterne liegt. Diese haben eine sehr hohe Entwicklungsgeschwindigkeit. Diese annähernd senkrecht verlaufende Linie nennt man die Hayashi-Linie. Das HRD kann auch als Temperatur-Leuchtkraft-Diagramm angesehen werden. [20]

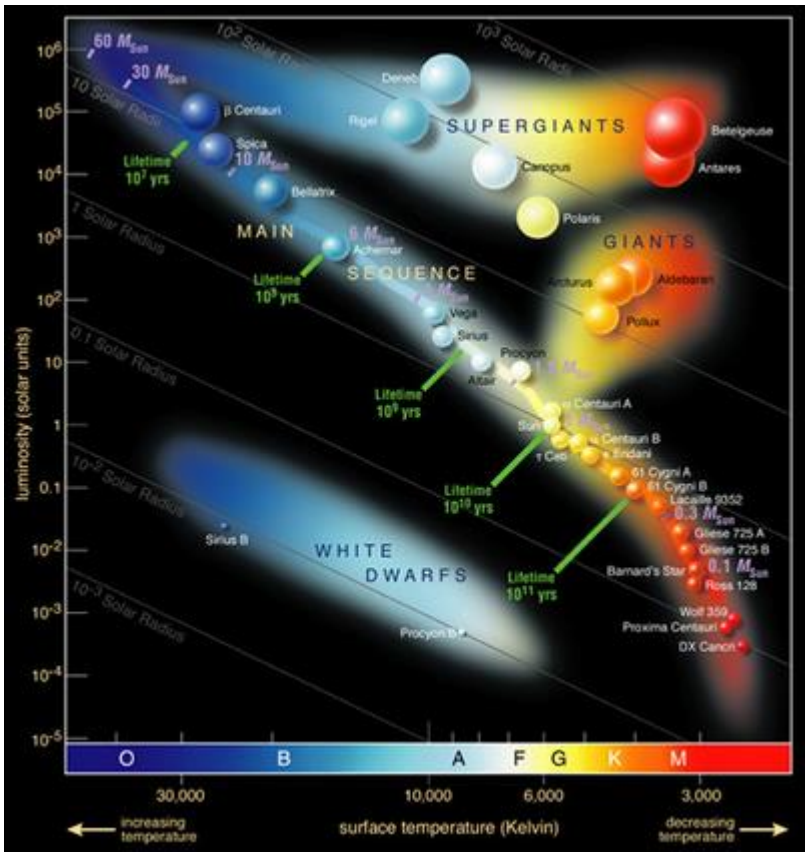


Abbildung 3 Hertzsprung-Russell-Diagramm[21]

[20] https://de.wikipedia.org/wiki/Hertzsprung-Russell-Diagramm
Zugriff:17.05.2018

[21] https://www.eso.org/public/germany/images/eso0728c/
Zugriff:18.05.2018

6. Sternentstehung

6.1. Von der Materiewolke zum Protostern

Sterne entstehen aus Staub- und Gaswolken. Sie vergehen erst nach Millionen, wenn nicht sogar Milliarden von Jahren, wobei sie dann Staub und Gas abgeben. Aus diesem Material können wiederum weitere Sternengenerationen entstehen. In den dichten, relativ kalten Wolken interstellarer Materie ist es kalt genug, dass zum Beispiel Wasserstoff in molekularer Form vorliegt. Als interstellare Masse bezeichnet man die Materie, die sich zwischen den Sternen einer Galaxie befindet, also im sternfreien Gebiet.[22] Durchschnittliche Wolken haben Massen bis zu 1 Millionen Sonnenmassen und eine dementsprechende Ausdehnung bis zu 40 pc [Parsec]. Ein Parsec entspricht etwa 3,26 Lichtjahren.[23] Außerdem haben sie typischerweise eine Teilchendichte von etwa 100 Teilchen je Kubikzentimeter. Auf der Erde ist das ein winziger Wert, aber bei interstellaren Verhältnissen ist das eine recht hohe Teilchendichte. Die dichtesten und kältesten dieser Wolken sind die idealen Sternentstehungsgebiete. Sobald der Gasdruck zum Aufrechterhalten der Wolke zu gering wird, wird sie instabil und fällt aufgrund ihrer eigenen Schwerkraft in sich zusammen. Dieser Wolkenkollaps kann allerdings auch durch die Druckwelle einer Sternexplosion, einer sogenannten Supernova verursacht werden. Dichtere Wolkenstellen haben eine größere Masse und somit eine höhere Anziehungskraft auf das umgebende Gas. Das Gas strömt zu der dichteren Stelle, wodurch dort eine Massenzunahme stattfindet, diese Stelle durch eine noch höhere Masse also noch effizienter weitere Materie anziehen kann. In Wolken gibt es häufig mehrere Stellen mit einer höheren Dichte. Das führt dazu, dass eine Sternentstehungsregion mit vielen gleichzeitig neu entstehenden Sternen gebildet wird. Dieser ganze Prozess ist nicht direkt sichtbar, da er im inneren der Wolke stattfindet. Junge Sterne können allerdings in der Wolke sichtbar werden, wenn sie aufgrund ihrer eigenen Energiequelle zu leuchten beginnen und dann die sie umgebenden Gasreste mit der Strahlung von sich weg beschleunigen können. Die einzige Energiequelle der jüngsten Sterne ist die Gravitation. Als erstes fällt Materie im freien Fall auf die Stelle mit der erhöhten Massenkonzentration. An dieser Stelle findet dann eine Massenerhöhung statt und die potentielle Energie der einfallenden Masse wird in die kinetische Energie der fallenden Teilchen umgewandelt. Schließlich wird sie noch beim Auftreffen und Abbremsen an der Oberfläche der entstehenden Gaskugel in innere Energie umgewandelt. Innere Energie gibt die Größe der in einem Körper

[22] https://de.wikipedia.org/wiki/Interstellare_Materie
Zugriff:03.05.2018

[23] https://de.wikipedia.org/wiki/Parsec
Zugriff:03.05.2018

gespeicherten Energie an.[24] Dadurch erreicht die Oberflächentemperatur dieser Kugel etwa 10 000 Kelvin. Der Druck innerhalb der entstehenden Gaskugel wirkt schließlich der Bewegung der einfallenden Materie entgegen, sodass weitere Kontraktion begrenzt wird. Die Zeit seit dem Beginn des Kollaps variiert je nach Temperatur der Wolke. Bei wärmeren Wolken ist der Beginn etwa 100 000 Jahre her, bei kühleren kann er bereits bis zu 1 Millionen Jahren eher begonnen haben. Zum jetzigen Entwicklungszeitpunkt ist ein Protostern entstanden, also ein Stern bei dem die Materie nach innen dichter und nach außen hin dünner ist.[25]

6.2. **Das Deuterium-Brennen**

Der entstandene Protostern zieht weiterhin Materie an, welche sich in einer ihn umgebenden Scheibe sammelt. Er kann also weiterwachsen, das Gleichgewicht aus den anziehenden Gravitationskräften und den ihnen entgegenwirkenden Kräften bleibt dabei zunächst aufgrund des im Gas herrschenden Drucks erhalten. Die Massenzunahme des Sterns führt zu einem Anstieg des Drucks und der Temperatur im Sterninneren. Bei einer Masse von ungefähr 1/10 der Sonnenmasse ist die Temperatur im Zentrum bereits auf etwa 1 Millionen Kelvin angestiegen. Die kinetische Energie der Deuteriumkerne, welche zu etwa 0,02 Promille im Wasserstoffgas enthalten sind lässt die erste Kernfusionsreaktion beginnen, genannt das Deuteriumbrennen. Dies stellt die Energiequelle des Protosterns dar, was jedoch erst ab einer Temperatur von 1 Millionen Kelvin im Sterninneren möglich ist. Die aus der Fusion entstehende thermische Energie bläst den Stern weit über den künftigen Hauptreihenradius hinaus auf. Konvektion transportiert heißes Material von außen ins Innere, sodass ein ständiger Nachschub an Deuterium gewährleistet wird. Bei Konvektion wird durch einen Materiefluss die thermische Energie transportiert.[26] In diesem Stadium lassen sich die Sterne im HRD bei den Riesen einordnen. Sie haben eine größere Leuchtkraft als das 50fache der Sonnenleuchtkraft und Temperaturen von 3 000 – 4 000 Kelvin. Junge Sterne sind häufig von einem dichten Emissionsnebel, also einer Wolke aus interstellarem Gas[27], umgeben. Dementsprechend wird also nicht die komplette Materie der Wolke zu einem Stern. Weiteres Materieeinfallen wird ab diesem Stadium durch Sternenwinde, also nach außen gerichteten Materieströmen beendet. [28]

---

[24] https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/innere-energie Zugriff:03.05.2018

[25] Metzler Physik 12 Astrophysik Seite 98

[26] https://lp.uni-goettingen.de/get/text/7163 Zugriff:03.05.2018

[27] https://de.wikipedia.org/wiki/Emissionsnebel Zugriff:03.05.2018

[28] Metzler Physik 12 Astrophysik Seite 99

6.3. Das Vor-Hauptreihenstadium im HRD

Während der weiteren Kontraktion der Sterne, bei welcher sie ständig ihre ursprüngliche Gravitationsenergie weiter abgeben, reduzieren die Sterne ihre Leuchtkraft bei konstant bleibender Temperatur. Im FHD wird dieser Prozess sichtbar, da die Sterne entlang der Hayashi-Linie beinahe senkrecht nach unten wandern. Rechts von dieser Linie ist die Existenz von stabilen Sternen nicht möglich, aufgrund mangelnder Schwerkraft um sie zusammenzuhalten. Die Temperatur steigt erst, wenn der Energietransport über Konvektion zum Erliegen kommt. Konvektion ist ein Mechanismus, welcher für den Transport von thermischer Energie sorgt.[29] Hierbei wandert der Stern im HRD fast horizontal nach links. Der Stern ist auf der Hauptreihe angekommen, wenn das Wasserstoffbrennen im Inneren zündet. Dies geschieht, sobald die erforderlichen Dichten und Temperaturen infolge der Kontraktion erreicht wurden. Er hat die sogenannte Nullalter-Hauptreihe erreicht. Die Hauptreihe weiter links erreicht ein Stern mit steigender Masse. Bis der Protostern den Weg zur Hauptreihe bewältigt hat dauert es etwa 10 Millionen Jahre, wobei massearme Sterne etwas länger und massereiche Sterne etwas kürzer brauchen. Die ungefähre Obergrenze für die Sternradien liegt bei 300 Sonnenradien. Bei größeren Objekten würde durch die Energieabstrahlung aus der Kontraktion die Materie weggeblasen, bevor diese näher auf den Stern zuströmen könnte. Bisher wurden noch keine Sterne mit größeren Sternradien beobachtet.[30]

7. Das Hauptreihenstadium

Die Materie, aus der ein Stern entsteht enthält etwa 70% Wasserstoff, beinahe 30 % Helium und einen kleinen Rest an allen schwereren Elementen. Ein Stern im Hauptreihenstadium bezieht seine Energie aus der Fusion von Wasserstoff zu Helium im Sterninneren. Die bei der Fusion freiwerdende Energie wird durch den Stern hindurch zur Oberfläche transportiert und von dort aus von dem Stern weg abgestrahlt. Als Strahlungsdruck bezeichnet man den Druck, welcher durch die ständige von innen nach außen gerichtete Strahlung entsteht. Der Strahlungsdruck wirkt der Gravitation entgegen, sodass sich ein Gleichgewicht einstellt. Die Sternstruktur bleibt solange erhalten, wie die Fusion die erforderliche Energiemenge nachliefert.

7.1. Lebensdauer auf der Hauptreihe

Die Art des Fusionsprozesses hat keinen Einfluss auf die Energieausbeute. Zur Abschätzung der Lebensdauer der Sterne genügt die Annahme, dass die

[29] http://www.chemie.de/lexikon/Konvektion.html
Zugriff: 03.05.2018

[30] Metzler Physik 12 Astrophysik Seite 99

Lebensdauer auf der Hauptreihe direkt proportional zur Masse im Kern und indirekt proportional zur Leuchtkraft ist. Somit erhält man eine Masse-Leuchtkraft-Beziehung für Hauptreihensterne. Massereiche Sterne entwickeln sich hierbei bedeutend schneller als massearme Sterne.

7.2. Die Nullalter-Hauptreihe

Im HRD stellt die Hauptreihe einen relativ breiten Streifen dar. Mit dem Beginn des zentralen Wasserstoffbrennens kommt ein Stern am unteren Ende des Hauptreihenstreifens an. Mit der Zeit wandert der Stern ein wenig nach rechts oben von der Nulllinie weg. Darum ist die Hauptreihe der offenen Sternhaufen, also Sternen die ungefähr gleichzeitig entstanden sind auch schmaler als von z.B. Sternen in Sonnenumgebung.

7.3. Fusionsprozesse

Je nach Kerntemperatur überwiegen unterschiedliche Fusionsprozesse. Die Kerntemperatur beträgt bei den masseärmeren Sternen etwa 10 Millionen Kelvin, bei den massereichsten bis zu etwa 35 Millionen Kelvin. Sonnenähnliche Sterne haben üblicherweise die pp-Kette, welche bei massereichen Sternen vom CNO-Zyklus als Hauptenergielieferant abgelöst wird, da bei ihnen eine die Temperatur für diesen Prozess ausreichend ist. Die pp-Kette, oder genauer die Proton-Proton-Kette, ist die Fusion von Protonen. Hierbei werden Elementarteilchen wie Positronen und Elektron-Neutrinos frei, genauso wie schwerer Wasserstoff.[31] Ein Positron ist das Antiteilchen des Elektrons und stimmt in fast allen Eigenschaften mit ihm überein. Es hat jedoch ein positives Vorzeichen, im Gegensatz zum Elektron.[32] Neutrinos haben eine geringe Masse und sind elektrisch neutrale Elementarteilchen.[33] Als schweren Wasserstoff bezeichnet man Deuterium aufgrund seiner Masse. Deuterium ist ein natürliches Isotop des Wasserstoffs.[34] Die Neutrinos sind fast masselos und haben eine geringe Wechselwirkung mit Materie. Dadurch können sie umweglos bis ins beispielsweise Sonneninnere dringen. Die Positronen zerstrahlen sofort bei Kontakt mit Elektronen, da diese ihre Antiteilchen sind. Die pp-Kette führt also im Grunde zu einer Fusion von Wasserstoffkernen zu Heliumkernen.

---

[31] https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/thermonukleare-fusion/488
Zugriff:12.04.2018

[32] https://de.wikipedia.org/wiki/Positron
Zugriff:17.05.2018

[33] https://de.wikipedia.org/wiki/Neutrino#Drei_Generationen_von_Neutrinos_und_Antineutrinos
Zugriff:17.05.2018

[34] https://de.wikipedia.org/wiki/Deuterium
Zugriff:17.05.2018

Am CNO-Zyklus hingegen sind Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff beteiligt, welche jedoch nur als Katalysatoren dienen, also in der Reaktion nicht verbraucht werden. Im Wesentlichen wird jedoch auch hier Helium produziert.[35]

7.4. Altersbestimmung in Sternhaufen

Die Bestimmung des Alters eines Sternhaufens ist durch die masseabhängige Verweildauer eines Sterns auf der Hauptreihe ermöglicht. Durch denselben Entstehungszeitpunkt kann man einem Sternhaufen als Ganzes ein gemeinsames Alter zuordnen. Bei jungen Sternhaufen zeigt das HRD zum Großteil Sterne auf der Hauptreihe und wenige in anderen Bereichen. Im Gegensatz dazu ist die Hauptreihe von alten Sternhaufen am massereichen Ende so gut wie verschwunden, stattdessen enthalten sie viele weiter entwickelte Sterne. Die Theorie der Sternentwicklung liefert Zeiten, um aus der beobachteten Massengrenze der Hauptreihe auf das Alter des Sternhaufens schließen zu können. Diese Theorie basiert auf dem Ansatz, dass Sternhaufen ein festes Alter als Ganzes besitzen. Die Temperatur und damit die Masse der heißesten Sterne auf der Hauptreihe des Sternhaufens erlauben die Bestimmung seines Alters. In jungen offenen Sternhaufen befindet sich noch viel Gas, welches von der Sternentstehung übrig ist und welches noch nicht von Sternwinden davon geblasen wurde, während Kugelsternhaufen hingegen nur aus Sternen zu bestehen scheinen.[36]

8. Endstadien der Sternentwicklung

Sterne auf der Hauptreihe beziehen ihre Energie aus dem zentralen Wasserstoffbrennen und ihr Aufbau beruht auf dem Gleichgewicht aus Schwerkraft und Strahlungsdruck. Wenn jedoch der Brennstoff im Kern zu Ende geht, dann nimmt der Strahlungsdruck in kurzer Zeit um einen großen Wert ab. Daraus resultierend muss der Stern also ein neues Gleichgewicht finden. Es entstehen große Unterschiede in der Leuchtkraft und damit in der Rate der Energieerzeugung in Sternen unterschiedlicher Masse. Somit gibt es auch große Unterschiede in der weiteren Entwicklung.
Da der offene Sternhaufen M37 in den Entwicklungsbereich von Sternen mit 2,3 bis 8 Sonnenmassen fällt, werde ich auf diesen Entwicklungsweg genauer eingehen.[37]

8.1. Massereiche Sterne, ca. 2,3 bis 8 Sonnenmassen

Die Leuchtkraft und der Masseverlust werden größer, je massereicher die Sterne werden. Bis diese Sterne im Bereich der Roten Riesen ankommen haben sie bereits etwa 25%-30% ihrer Masse verloren. Durch die Verhältnisse im Kern zündet ein Wasserstoff-Schalenbrennen und kurz danach folgend setzt auch das Helium-

[35] Metzler Physik 12 Astrophysik Seite 100
[36] Metzler Physik 12 Astrophysik Seite 101
[37] Metzler Physik 12 Astrophysik Seite 102

Kernbrennen ruhig ein. Die Wasserstoff-Schale brennt auch nach erlöschen des Kerns weiter nach außen und innen kommt eine Helium-Schalenquelle hinzu. Es kann sich eventuell ein planetarischer Nebel bilden. Die Weiterentwicklung des Kerns hängt definitiv von dem Massenverlust in dieser Phase ab. Genauso wie bei masseärmeren Sternen bildet such letztlich ein Weißer Zwerg, sofern ein Restkern von weniger als 1,4 Sonnenmassen übrigbleibt. Diese Grenzmasse nennt man Chandrasekhar-Grenzmasse, benannt nach einem indischen Physiker. Sogenannte Zentralsterne von planetarischen Nebeln sind bereits im Nebel sichtbar, jedoch sind sie noch nicht vollständig zu einem Weißen Zwerg geworden. Die kühlsten beobachteten Weißen Zwerge haben Temperaturen von etwa 4 000 Kelvin. Die Abkühlung von Weißen Zwergen dauert allerdings mehrere Milliarden Jahre. Sollte der Masseverlust nicht ausreichend sein um unter die Grenzmasse zu fallen, so zündet im Kern ein Kohlenstoffbrennen, welches allerdings explosiv einsetzt. Das kann bei nur knapp über der Massengrenze liegenden Sternen zu einer vollständigen Zerstörung des Kerns führen.[38]

9. Offene Sternhaufen nach Messier

9.1. Charles Messier und der Messier-Katalog

Charles Messier wurde am 26. Juni 1730 in Badonviller in Lothringen, einer Region Frankreichs geboren. Er war ein französischer Astronom und Kometenjäger und ist heute bekannt für seine Zusammenstellung eines Nebelkatalogs. Messiers Interesse am Himmel und insbesondere Kometen wurde bereits 1744 geweckt, als er den 1743/1744 sichtbaren großen sechs-schwänzigen Kometen C/1743 X1 beobachten konnte. Sein berühmter Nebelkatalog war für ihn selber irrelevant, er erstellte ihn nur um sich während seiner Kometenbeobachtungen die Unterscheidung der Kometen von den Nebeln zu erleichtern.

Am 28. August 1758 stieß er bei der Kometenbeobachtung auf ein nebliges Objekt, welches er als Anstoß zu seinem Katalog nahm. So begann er seinen Katalog mit seiner Beobachtung von M1, heute auch bekannt als der Krebsnebel. Seine erste eigene Entdeckung war jedoch erst M3.

Zwischen 1758-1804 beobachtete er 44 Exemplare, wobei er von 1760-1798 14 entdeckte und für 6 weitere als Co-Entdecker gilt.

Seine systematische Suche nach nebligen Objekten begann er im Mai 1764, da man neblige Objekte leicht mit dem nebligen Kopf eines Kometen, dem Koma verwechseln kann. Mit M45 beendete er seinen ersten Katalog, welcher 1771 in den Mémoires der französischen Akademie der Wissenschaften veröffentlicht wurde. Sein erweiterter Katalog mit schließlich 68 Objekten wurde dann 1780 im astronomischen Jahrbuch Connaissance des Temps 1783 publiziert.

[38] Metzler Physik 12 Astrophysik Seite 103 f.

Die Entdeckung von M63 am 14. Juni 1779 von seinem Freund Pierre Méchain, welcher selber auch ein Kometenentdecker war führte zur Katalogisierung weiterer 30 Objekte durch Méchain selbst bis 1781.
Die 3. Fassung des Katalogs bis M103 wurde im Jahr 1781 veröffentlicht. M103 wurde von Méchain entdeckt, Messiers letzte eigene Entdeckung bei diesem Katalog war M93 am 20. März 1781.
Heutzutage kennen wir noch 7 weitere Messier Objekte, diese wurden jedoch erst nachträglich dem Katalog hinzugefügt. M104-M109 sind Entdeckungen von Pierre Méchain, M110 wurde von Charles Messier am 10. August 1773 entdeckt. Als letztes der Messier Objekte wurde M110 schließlich im Jahr 1966 durch Kenneth Glynn Jones dem Katalog hinzugefügt.
Charles Messier selbst starb am 12. April 1817 nur 2 Jahre nach einem Schlaganfall mit 87 Jahren in Paris. Durch seinen Katalog wurde er berühmt und nach seinem Tod wurden später unter weiterem ein Kleinplanet mit der Nummer 7359 und ein Mondkrater im Mare Foecunditatis benannt.[39]

9.2. Der offene Sternhaufen M35

M35 oder auch NGC2168 ist ein offener Sternhaufen im Sternbild Zwillinge. Die Trümpler-Klassifikation dieses Haufens ist III3r, bedeutet, M35 ist ein freistehender Haufen ohne Konzentration in Richtung Zentrum mit großer Helligkeitsreichweite und reich an Sternen. Die Rektaszension beträgt 6 Stunden, 8 Minuten und 9 Sekunden während die Deklination bei +24°20‘ liegt. Die scheinbare Helligkeit beträgt 5,1 mag und er erstreckt sich über eine Ausdehnung von 28 Bogenminuten, einer Entfernung von ungefähr 22 Lichtjahren. Er ist 2705-2710 Lichtjahre von der Erde entfernt und erreicht seine Kulmination am 13. Januar für 10° Ost um ca. 23 Uhr MEZ. Die nächste Kulmination der Messier-Objekte erreicht M41. Die scheinbare Helligkeit eines Objektes gibt an, welche Helligkeit ein Beobachter auf der Erde empfindet. Die scheinbare Helligkeit ist also die Helligkeit eines Sterns ohne die Berücksichtigung der Sternentfernung. Diesen Wert gibt man als Zahlenwert in der Einheit Magnitude, kurz mag oder m an.[40]
Der Entdecker dieses Haufens ist Jean-Philippe Loys de Chéseaux, ein Schweizer Astronom welcher ihn 1745/1746 entdeckte. Der französische Kometenjäger Charles Messier katalogisierte ihn endgültig 1764 als das Objekt Messier 35. Dieser offene Sternhaufen ist etwa 153 Millionen Jahre alt und befindet sich im westlichen Teil des Sternbilds Zwillinge, am Rande der Wintermilchstraße. Er beinhaltet 120 Sterne die heller als 13 mag sind und ungefähr 500 massive Sterne. Massive Sterne leben kürzer als weniger massive, viele von ihnen sterben innerhalb von wenigen 10 Millionen Jahren. Insgesamt enthält er bis zu 2700 Sterne. Dazwischen befinden sich

[39] Koch/Korth: Die Messier Objekte

[40] https://www.leifiphysik.de/astronomie/fixsterne/scheinbare-sternhelligkeit Zugriff:26.04.2018

zwei pulsationsveränderliche Sterne. Der hellste Stern dieses Haufens ist der Doppelstern ADS 4744. Ein pulsationsveränderlicher Stern ist ein Stern, dessen Helligkeit mehr oder weniger regelmäßig schwankt. Die Helligkeitsänderung wird durch ein Ausdehnen oder Schrumpfen der Sternatmosphäre verursacht.[41] Als Doppelstern werden zwei Sterne bezeichnet, die so nahe beieinanderstehen, dass sie von der Erde aus wie ein einziger Stern wirken oder einen nur kaum vorhandenen Winkelabstand aufweisen. Die beiden Sterne sind höchstwahrscheinlich gravitativ gekoppelt, kreisen also um einen gemeinsamen Schwerpunkt.[42]

Besonders auffällig ist ein aus drei Sternen bestehendes, lang gezogenes Dreieck dessen Spitze nach Südosten zeigt. In der Aufnahme befindet es sich im oberen Mittelteil. Insgesamt ist M35 ein eher schwach gebundener Sternhaufen. Die Struktur ist leicht flockig und die hellsten Einzelsterne zeigen eine rötliche Färbung, jedoch besteht der Haufen hauptsächlich aus jungen, heißen blauen Sternen. M35 besitzt einen scheinbaren Begleitsternhaufen, NGC2158. Dieser ist jedoch nicht in der Aufnahme in Abbildung 4 enthalten. Dieser Haufen ist dichter und kompakter und beinhaltet mehr ältere Sterne. In Wirklichkeit liegt jedoch eine Entfernung von 12 000-16 000 Lichtjahren zwischen ihnen. Er steht also weit hinter M35 und erscheint dem Beobachter nur so nah. Früher wurde NGC 2158 als möglicher Kugelsternhaufen kategorisiert, heute ist er wie M35 als ein offener Sternhaufen aufgeführt. [43] [44]

---

[41] https://de.wikipedia.org/wiki/Pulsationsveränderlicher_Stern Zugriff:26.04.2018

[42] https://de.wikipedia.org/wiki/Doppelstern Zugriff:26.04.2018

[43] Koch/Korth: Die Messier Objekte

[44] https://www.eso.org/public/germany/images/b10/ Zugriff:22.03.2018

Abbildung 4 M35; Teleskop: Celestron 11 EdgeHD ; Kamera: Canon EOS 450 D; Belichtungszeit: 30 Sekunden [45]

9.3. **Der offene Sternhaufen M37**

M37 oder auch NGC 2099 ist ein offener Sternhaufen im Sternbild Fuhrmann. Die Trümpler-Klassifikation dieses Sternhaufens ist I1r, bedeutet M37 ist ein freistehender Haufen mit starker Konzentration in Richtung Zentrum mit kurzer Helligkeitsreichweite und einem großen Reichtum an Sternen. Die Rektaszension beträgt 5 Stunden, 52 Minuten und 3 Sekunden und die Deklination liegt bei +32°33‘. Die Helligkeit liegt bei 5,6 mag und er hat eine scheinbare Helligkeit von 6,2 mag. Er hat eine Ausdehnung von 24 Bogenminuten, also ungefähr 32 Lichtjahren. Er ist etwa 4509 Lichtjahre von der Erde entfernt, wobei sich über seine Entfernung viele verschiedene Angaben finden lassen. Seine Entfernung ist also nicht eindeutig, da von 3600 Lichtjahren bis zu 4700 Lichtjahren Entfernung alle Meinungen vertreten sind. Er erreicht seine Kulmination am 9. Januar, wobei das nächste Messier-Objekt das seine Kulmination erreicht M35 ist.
Entdeckt wurde M37 von Giovanni Battista Hodierna , einem italienischen Naturforscher und Priesterastronom 1654. Guillaume Le Gentil, ein französischer Astronom verpasste diesen Sternhaufen bei seiner Wiederentdeckung von M36 und M38 im Jahr 1749. Hodierna war zwar der erste der M37 entdeckte, jedoch waren seine Beobachtungen kaum jemandem bekannt, sodass sie lange unbeachtet blieben. Erst 1984 wurde seine Arbeit wiederentdeckt, wodurch Charles Messier M37 unabhängig von allen im Jahr 1764 fand. Dieser offene Sternhaufen ist ungefähr 347 Millionen Jahre alt und beinhaltet üb er 2 000 Sterne, wobei 150 von ihnen heller als 12,5 mag sind. In ihm lassen sich gut über ein dutzend roter Riesensterne entdecken und mittig befindet sich der markante 9,2 mag helle F8-

[45] Foto: Aileen Lehnert

Stern HD 39183. Überwiegend besteht er aus blauen Sternen, ist jedoch mit einigen roten Sternen durchsetzt. Im Bereich des Haufens befinden sich ebenso etwa 23 veränderliche Sterne, 32 Doppelsterne und 18 weiße Zwerge. Veränderliche Sterne sind Sterne mit Helligkeitsschwankungen, welche im Vergleich zur gesamten Sternentwicklung sehr kurz sind. Die Dauer dieser Schwankungen ist jedoch auf keinen bestimmten Zeitraum festgelegt. Diese Veränderlichkeit unterscheidet man in zwei Arten: Die Erste, bei der sich die Leuchtkraft des Sterns ändert und die Zweite, bei der die Leuchtkraft konstant bleibt und sich nur die von der Erde aus sichtbare Helligkeit verändert. Der Lichtwechsel muss nicht optisch sichtbar sein, sondern kann sich auch im ultravioletten oder infraroten Bereich ereignen.[46]

Der schwächste gelistete Stern in diesem Haufen ist 21 mag hell. M37 steht am Winterhimmel hoch im Sternbild Fuhrmann und ist einer von drei offenen Sternhaufen im südlichen Aurigae, also dem Fuhrmann. Die beiden anderen offenen Sternhaufen dort sind M36 und M38. Insgesamt hat der Sternhaufen eine eher runde Form, nahe des Zentrums ist allerdings eine balkenförmige Sternlücke sichtbar.[47] [48]

Abbildung 5 M37; Teleskop: Celestron 11 EdgeHD ; Kamera: Canon EOS 450 D; Belichtungszeit: 30 Sekunden [49]

[46] https://de.wikipedia.org/wiki/Veränderlicher_Stern
Zugriff:30.04.2018

[47] http://www.messier.seds.org/m/m037.html
Zugriff:22.03.2018

[48] Koch/Korth: Die Messier Objekte

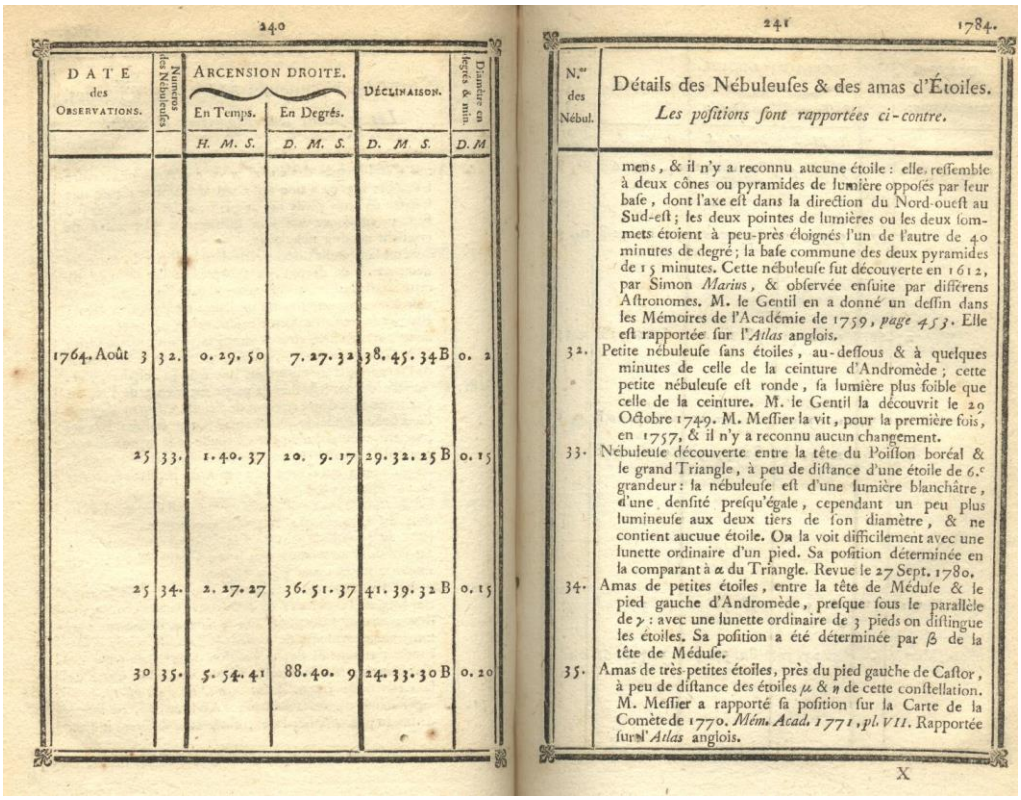
[49] Foto: Aileen Lehnert

9.4. Übersetzung aus dem originalen Messier-Katalog

Charles Messiers 3. Fassung seines Katalogs wurde 1781 in altfranzösisch veröffentlicht. Hieran folgend kommt eine eigene Übersetzung aus seinem altfranzösischen Text.

9.4.1.1. Übersetzung zu M35

Datum der Observation: 1764. August 30
Nummer des Nebels: 35.
Rektaszension als Zeit: 5h 54m 41s
Rektaszension in Grad: 88d 40‘ 9‘‘
Deklination: 24d 33‘ 30‘‘
Durchmesser in Grad und Minuten: 0d 20m
Details der Nebel & der Sternhaufen:
Haufen von sehr kleinen Sternen, bei dem linken Fuß von Castor, ein bisschen Distanz zu den Sternen μ & η (mu und eta) dieser Konstellation [Zwillinge]. M. Messier hat seine Position auf der Karte der Kometen von 1770 berichtet. Mem. Acad. 1771 (Mémoires Academie), pl. VII. Berichtet im englischen Atlas.



240

DATE des OBSERVATIONS.	Numeros des Nébuleuses.	ARCENSION DROITE. En Temps.	ARCENSION DROITE. En Degrés.	DÉCLINAISON.	Diamètre en degrés & min.
		H. M. S.	D. M. S.	D. M S.	D. M
1764. Août 3	32.	0. 29. 50	7. 27. 32	38. 45. 34 B	0. 2
25	33.	1. 40. 37	20. 9. 17	29. 32. 25 B	0. 15
25	34.	2. 27. 27	36. 51. 37	41. 39. 32 B	0. 15
30	35.	5. 54. 41	88. 40. 9	24. 33. 30 B	0. 20

241 1784.

N.os des Nébul.	Détails des Nébuleuses & des amas d'Étoiles. *Les positions sont rapportées ci-contre.*
	mens, & il n'y a reconnu aucune étoile : elle ressemble à deux cônes ou pyramides de lumière opposés par leur base, dont l'axe est dans la direction du Nord-ouest au Sud-est ; les deux pointes de lumières ou les deux sommets étoient à peu-près éloignés l'un de l'autre de 40 minutes de degré ; la base commune des deux pyramides de 15 minutes. Cette nébuleuse fut découverte en 1612, par Simon *Marius*, & observée ensuite par différens Astronomes. M. le Gentil en a donné un dessin dans les Mémoires de l'Académie de 1759, *page 453*. Elle est rapportée sur l'*Atlas* anglois.
32.	Petite nébuleuse sans étoiles, au-dessous & à quelques minutes de celle de la ceinture d'Andromède ; cette petite nébuleuse est ronde, sa lumière plus foible que celle de la ceinture. M. le Gentil la découvrit le 29 Octobre 1749. M. Messier la vit, pour la première fois, en 1757, & il n'y a reconnu aucun changement.
33.	Nébuleuse découverte entre la tête du Poisson boréal & le grand Triangle, à peu de distance d'une étoile de 6.e grandeur : la nébuleuse est d'une lumière blanchâtre, d'une densité presqu'égale, cependant un peu plus lumineuse aux deux tiers de son diamètre, & ne contient aucune étoile. On la voit difficilement avec une lunette ordinaire d'un pied. Sa position déterminée en la comparant à α du Triangle. Revue le 27 Sept. 1780.
34.	Amas de petites étoiles, entre la tête de Méduse & le pied gauche d'Andromède, presque sous le parallèle de γ : avec une lunette ordinaire de 3 pieds on distingue les étoiles. Sa position a été déterminée par β de la tête de Méduse.
35.	Amas de très-petites étoiles, près du pied gauche de Castor, à peu de distance des étoiles μ & η de cette constellation. M. Messier a rapporté sa position sur la Carte de la Comète de 1770. *Mém. Acad. 1771, pl. VII.* Rapportée sur l'*Atlas* anglois.

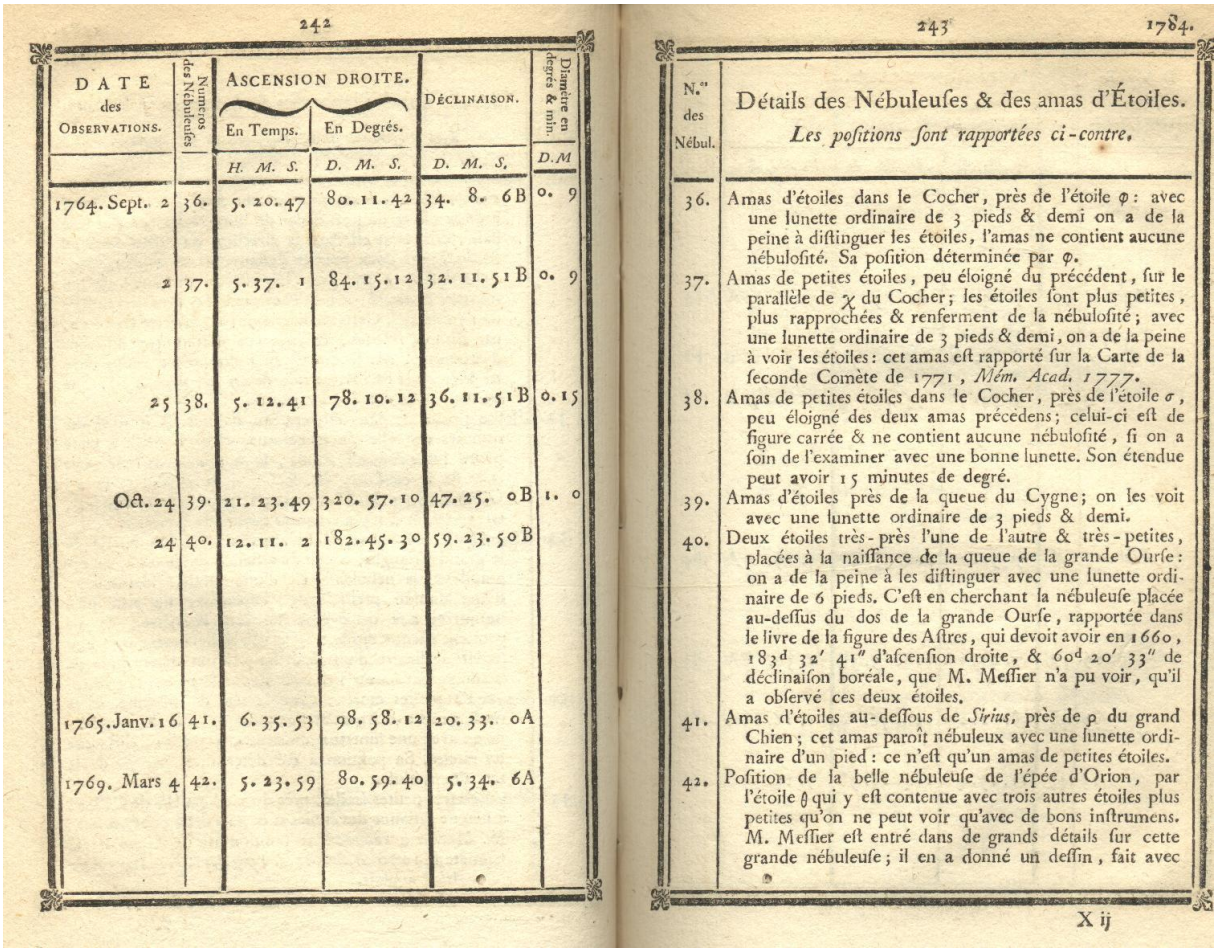
X

Abbildung 6 Original Messier Katalog von 1781, Seite 240-241[50]

[50] http://www.messier.seds.org/xtra/Mcat/mcat1781.html
Zugriff:15.03.2018

9.4.1.2. **Übersetzung zu M37**

Datum der Observation: 1764. September 2
Nummer des Nebels: 37.
Rektaszension als Zeit: 5h 37m 1s
Rektaszension in Grad: 84d 15‘ 12‘‘
Deklination: 32d 11‘ 51‘‘
Durchmesser in Grad und Minuten: 0d. 9m
Details der Nebel & der Sternhaufen:
Haufen von kleinen Sternen, bisschen entfernt von dem vorher gehenden [M36], über der Parallelen von χ (chi) vom Fuhrmann/Auriga; die Sterne sind kleiner, sind näher beieinander und umschließen einen Nebel; mit einem normalen Teleskop/Fernrohr von 3,5 Fuß hat man Mühe die Sterne zu sehen: dieser Haufen ist auf der zweiten Karte der Kometen von 1771 berichtet, Mém. Acad. 1777.



242

DATE des OBSERVATIONS.	Numeros des Nébuleuſes	ASCENSION DROITE. En Temps. H. M. S.	ASCENSION DROITE. En Degrés. D. M. S.	DÉCLINAISON. D. M. S.	Diamètre en degrés & min. D.M
1764. Sept. 2	36.	5. 20. 47	80. 11. 42	34. 8. 6 B	0. 9
2	37.	5. 37. 1	84. 15. 12	32. 11. 51 B	0. 9
25	38.	5. 12. 41	78. 10. 12	36. 11. 51 B	0. 15
Oct. 24	39.	21. 23. 49	320. 57. 10	47. 25. 0 B	1. 0
24	40.	12. 11. 2	182. 45. 30	59. 23. 50 B	
1765. Janv. 16	41.	6. 35. 53	98. 58. 12	20. 33. 0 A	
1769. Mars 4	42.	5. 23. 59	80. 59. 40	5. 34. 6 A	

243 1784.

N.os des Nébul. — Détails des Nébuleuſes & des amas d'Étoiles. *Les poſitions ſont rapportées ci-contre.*

36. Amas d'étoiles dans le Cocher, près de l'étoile φ: avec une lunette ordinaire de 3 pieds & demi on a de la peine à diſtinguer les étoiles, l'amas ne contient aucune nébuloſité. Sa poſition déterminée par φ.

37. Amas de petites étoiles, peu éloigné du précédent, ſur le parallèle de χ du Cocher; les étoiles ſont plus petites, plus rapprochées & renferment de la nébuloſité; avec une lunette ordinaire de 3 pieds & demi, on a de la peine à voir les étoiles: cet amas eſt rapporté ſur la Carte de la ſeconde Comète de 1771, *Mém. Acad. 1777.*

38. Amas de petites étoiles dans le Cocher, près de l'étoile σ, peu éloigné des deux amas précédens; celui-ci eſt de figure carrée & ne contient aucune nébuloſité, ſi on a ſoin de l'examiner avec une bonne lunette. Son étendue peut avoir 15 minutes de degré.

39. Amas d'étoiles près de la queue du Cygne; on les voit avec une lunette ordinaire de 3 pieds & demi.

40. Deux étoiles très-près l'une de l'autre & très-petites, placées à la naiſſance de la queue de la grande Ourſe: on a de la peine à les diſtinguer avec une lunette ordinaire de 6 pieds. C'eſt en cherchant la nébuleuſe placée au-deſſus du dos de la grande Ourſe, rapportée dans le livre de la figure des Aſtres, qui devoit avoir en 1660, 183d 32′ 41″ d'aſcenſion droite, & 60d 20′ 33″ de déclinaiſon boréale, que M. Meſſier n'a pu voir, qu'il a obſervé ces deux étoiles.

41. Amas d'étoiles au-deſſous de *Sirius*, près de ρ du grand Chien; cet amas paroît nébuleux avec une lunette ordinaire d'un pied: ce n'eſt qu'un amas de petites étoiles.

42. Poſition de la belle nébuleuſe de l'épée d'Orion, par l'étoile θ qui y eſt contenue avec trois autres étoiles plus petites qu'on ne peut voir qu'avec de bons inſtrumens. M. Meſſier eſt entré dans de grands détails ſur cette grande nébuleuſe; il en a donné un deſſin, fait avec

X ij

Abbildung 7 Original Messier Katalog von 1781, Seite 242-243[51]

[51] http://www.messier.seds.org/xtra/Mcat/mcat1781.html
Zugriff:15.03.2018

10. Technisches Equipment

10.1. Das Celestron 11 EdgeHD

Das Celestron 11 EdgeHD basiert auf dem Schmidt-Cassegrain-Teleskop. Es ist ein Spiegelteleskop in welchem das einfallende Licht von einem sphärischen Hauptspiegel gebündelt wird. Im Anschluss wird das gebündelte Licht zum Fangspiegel zurückgeworfen, welcher das Licht zu der Mitte des Hauptspiegels reflektiert. An dieser Stelle wird das Licht durch ein Loch zum Okular geführt. Mit dem 0,8x Reducer von TeleVue wurde die Brennweite während der Aufnahme auf 2200mm verkürzt.

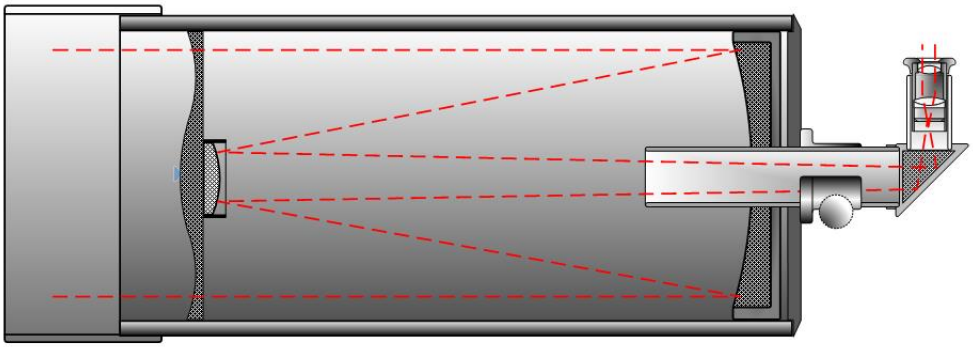


Abbildung 8 Funktionsweise des Schmidt-Cassegrain-Teleskops [52]

Technische Daten	Celestron 11
Brennweite	2800 mm, mit Reducer 2200 mm
Öffnung	280 mm (11 Zoll)
Öffnungsverhältnis	10
Sucher	9x50
Gesamtgewicht	13 kg
Lichtsammelvermögen	1600x
Optisches Design	EdgeHD Optics [53]

[52] https://de.wikipedia.org/wiki/Schmidt-Cassegrain-Teleskop#/media/File:Schmidt-Cassegrain.png Zugriff:17.05.2018

[53] https://www.celestron-deutschland.de/product.php?CatID=289&ProdID=1180 Zugriff:17.05.2018

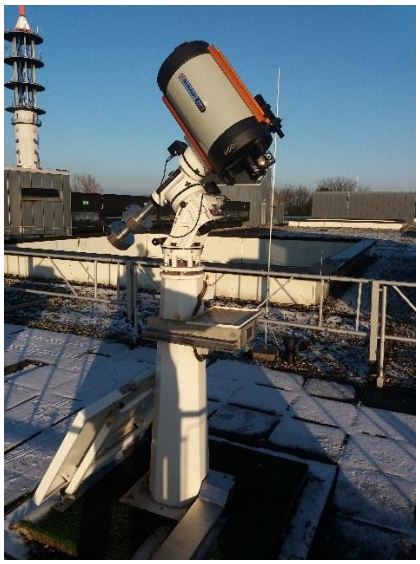


Abbildung 9 Celestron 11 Aufbau auf dem Dach des CFG[54]

10.2. Canon EOS 450 D

Die DSLR-Kamera Canon EOS 450 D wurde ohne das Objektiv zum Fotografieren von M35 und M37 verwendet.

Abbildung 10 Canon EOS 450D[55]

Name	Canon EOS 450 D
Sensor Auflösung	12,2 Megapixel
Max. Bildauflösung (Seitenverhältnis)	4.272 x 2.848 (3:2)
Filtergewinde	58 mm
Auflösung	230.000
Objektiv	EF-S 18-55mm 1:3, 5-5, 6 IS
Gewicht	525g (Gehäuse)[56]

[54] Foto: Aileen Lehnert

[55] https://www.digitalkamera.de/Testbericht/Canon_EOS_450D/4839.aspx Zugriff:17.05.2018

[56] https://www.digitalkamera.de/Testbericht/Canon_EOS_450D/4839.aspx Zugriff:17.05.2018

10.3. Der experimentelle Aufbau

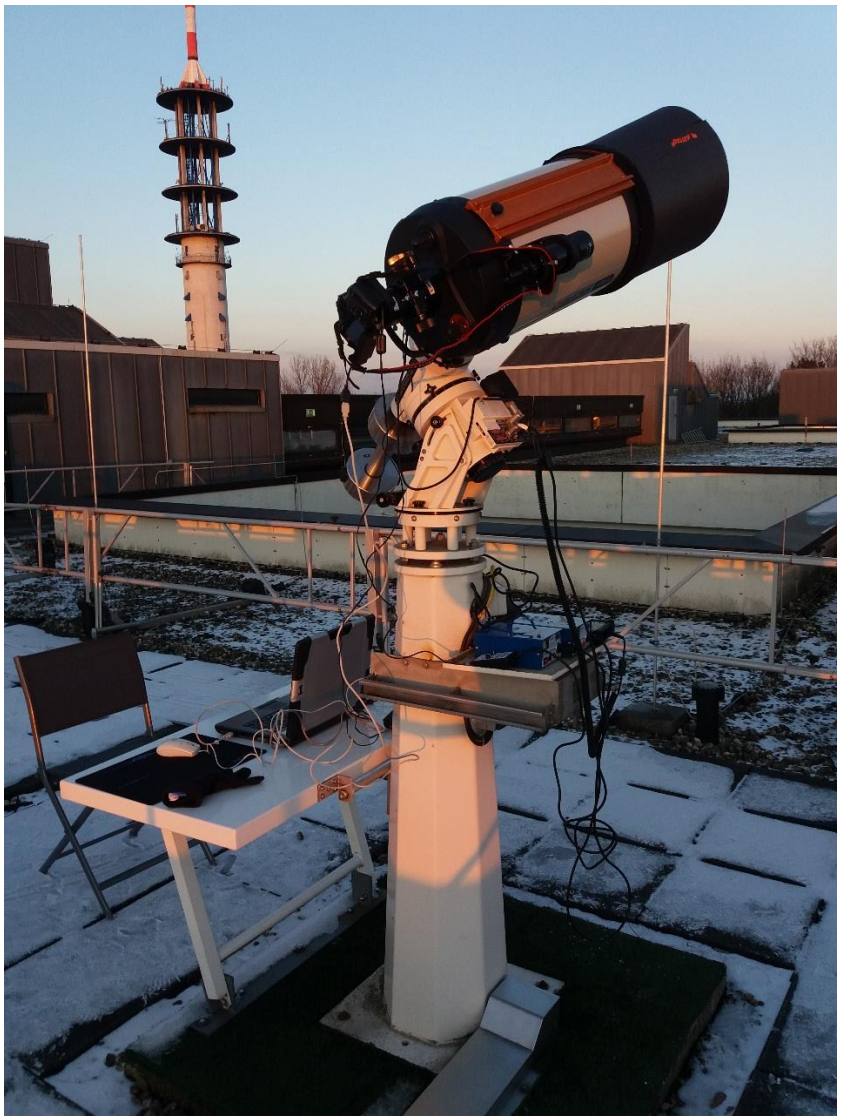


Abbildung 11 Aufbau auf dem Dach des CFG[57]

In Abbildung 11 sieht man den experimentellen Aufbau zur Sternbeobachtung auf dem Dach des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums. Zuerst wird das C11 EdgeHD auf der Montierung befestigt, welche fest auf dem Dach verankert ist. Im Anschluss holt man den sich nicht in der Abbildung befindenden Zubehörwagen an die Station und schließt alle wichtigen Zubehörteile an, wie beispielsweise das Netzteil der Montierung und die Steuereinheit für das C11 Teleskop.

[57] Foto:Aileen Lehnert

Abbildung 12 Canon EOS 450 D am C11 Teleskop[58]

Darauffolgend wird wie in Abbildung 12 zusehen ist die Canon EOS 450 D an das C11 Teleskop angeschlossen. Es wird eine Verbindung zum Laptop hergestellt, auf welchem man dann die benötigten Programme wie EOS Utility öffnet.

[58] Foto: Aileen Lehnert

11. Durchführung

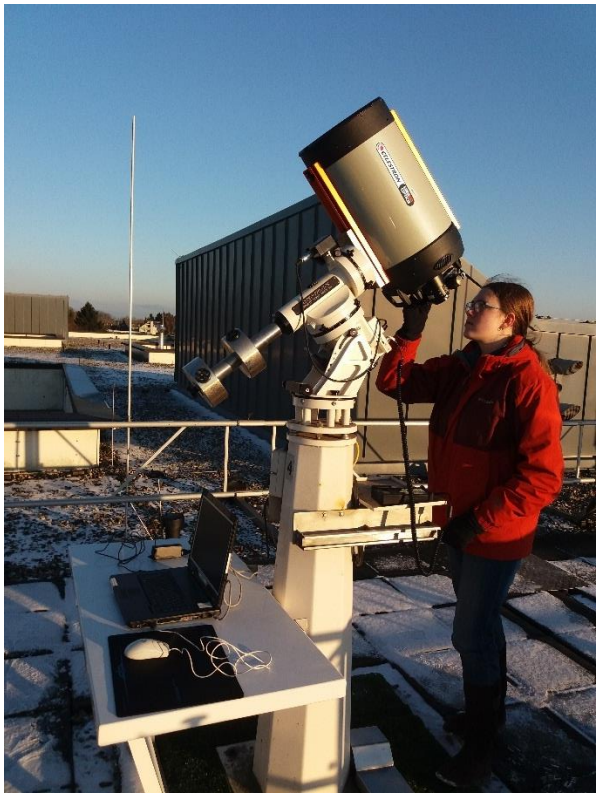


Abbildung 13 Arbeit am Teleskop[59]

Die Aufnahmen von M35 und M37 wurden am Abend des 05. Februar 2018 aufgenommen. Es wurden 48 Aufnahmen von M35 in einem Zeitraum von 18:41 Uhr bis 19:39 aufgenommen. Von M37 wurden 50 Aufnahmen in einem Zeitraum von 19:44 Uhr bis 20:20 aufgenommen.

[59] Foto: Bernd Koch

Abbildung 14 Aufnahme von M37[60]

12. Auswertung der Aufnahmen

12.1. Stacking

Das Stacking erfolgt mit dem Programm DeepSkyStacker. Beim Stacking werden viele Bilder übereinandergelegt und daraus entsteht dann ein Bild. Durch das Stacking hat das entstehende Bild eine bessere Qualität. Vorab sichtet man die Aufnahmen und sortiert fehlerhafte Aufnahmen aus. Fehlerhafte Aufnahmen sind solche, wo zum Beispiel ein Objekt wie ein Flugzeug oder ein Satellit während der Belichtungszeit durchgeflogen ist oder wo durch starken Wind die Sterne zu Strichen verzerrt sind. Nach dieser Sortierung werden die Aufnahmen in den DeepSkyStacker hochgeladen.

[60] Foto: Aileen Lehnert

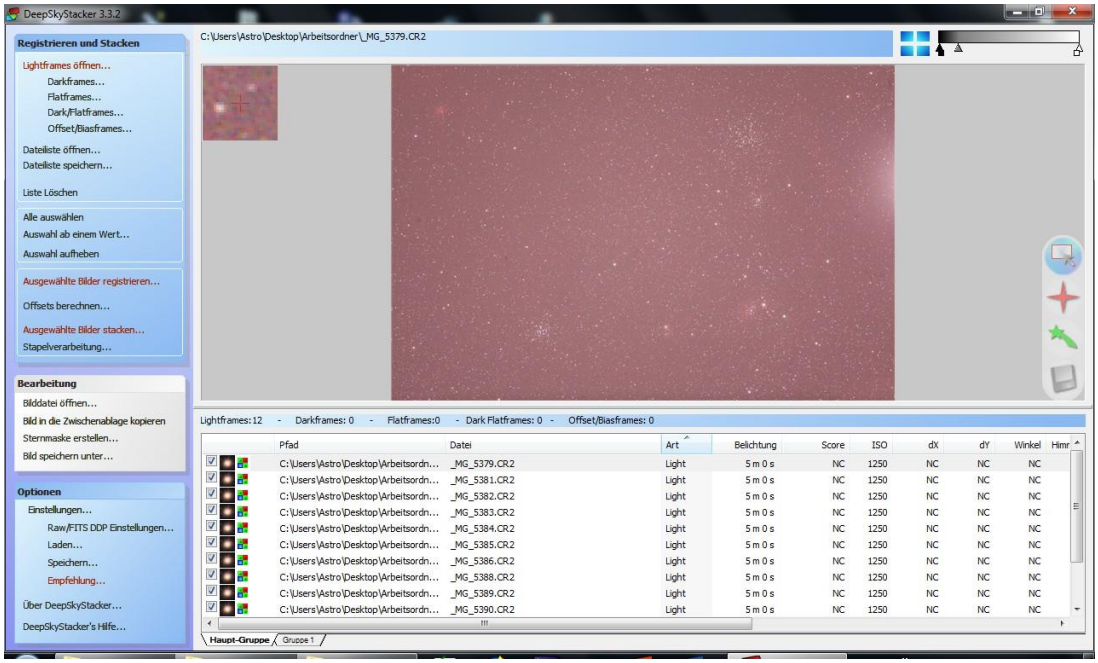


Abbildung 15 Aufnahmen im DeepSkyStacker

Anschließend wählt man alle Bilder aus wie in Abbildung 15 zusehen. Dann öffnet man die Aktion zum Registrieren der Bilder. Vor der Ausführung dieser Aktion gibt es die Möglichkeit die Stacking Einstellungen zu ändern. Während dieser Aktion werden die Bilder registriert und im Anschluss direkt gestackt. Das Registrieren der Bilder bedeutet, dass die Sterne auf den Bildern registriert werden und alle registrierten Sterne dann automatisch direkt übereinandergelegt werden. Das ist notwendig, weil die Teleskopmontierung nicht perfekt über einen langen Zeitraum auf die Sterne nachführen kann. Durch die Registrierung wird die in den Bildern sichtbare Erdbewegung ausgeglichen, indem alle registrierten Sterne genau übereinandergelegt werden. Es wird also verhindert, dass man die Bewegung der Sterne als Spur auf dem Bild sehen kann.

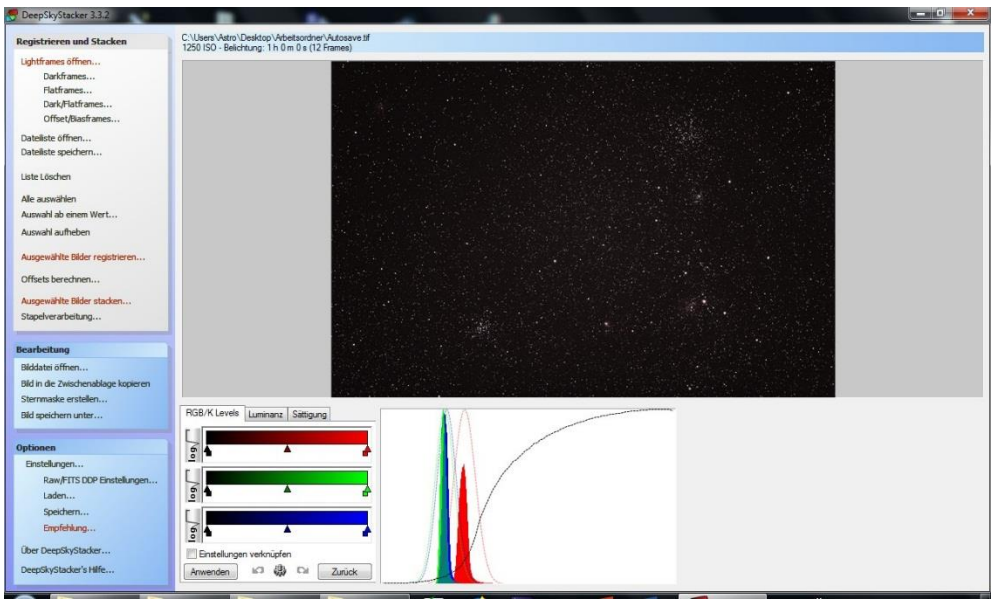


Abbildung 16 Ergebnisbild des Stacking-Vorgangs

12.2. Bearbeitung mit Photoshop

In der Bearbeitung mit Photoshop geht es darum, Fehler, die während der Aufnahme entstanden sind, zu entfernen, wie beispielsweise Staub auf der Kamera beziehungsweise dem Teleskop und weitere optische Fehler.

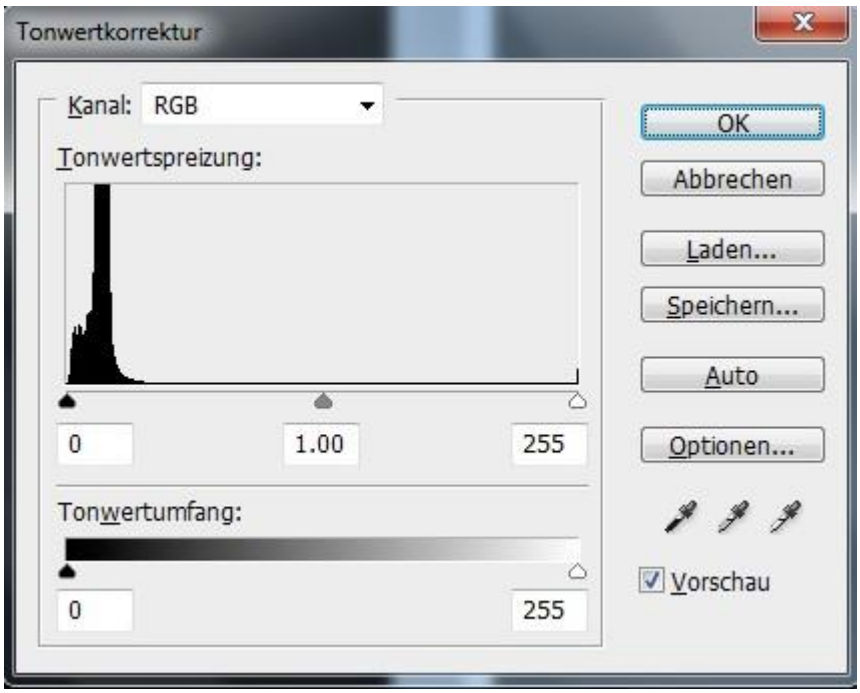


Abbildung 17 Tonwertkorrektur

Nach dem Öffnen von Photoshop und dem Hochladen des gestackten Bildes beginnt die Bearbeitung mit der Tonwertkorrektur. Bei der Tonwertkorrektur wird die Helligkeit des Bildes angepasst, sodass alle Sterne deutlich sichtbar sind. Man muss aber darauf achten, dass der Hintergrund nicht zu dunkel wird, da die Sterne sonst nicht schlechter sichtbar werden.

Als nächster Punkt kommt die Entfernung von Hot Pixeln. Hot Pixel sind fehlerhafte Pixel in der Kamera welche nur einen Farbton anzeigen. Der betreffende Pixel ist also ausschließlich blau, grün oder rot. Sie müssen entfernt werden, da sie nicht mit der eigentlichen Farbe dieses Bildbereichs übereinstimmen.

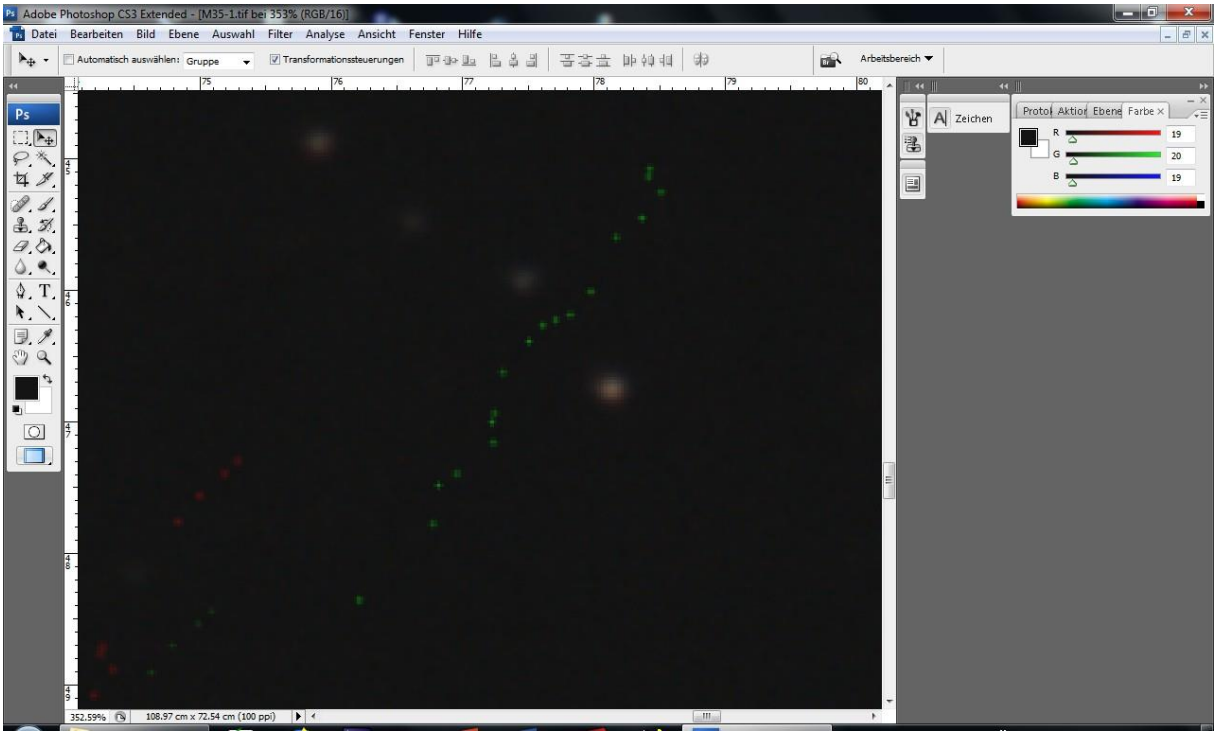


Abbildung 18 Hot Pixel auf dem Bild

Da die Hot Pixel Fehler von der Kamera sind bewegen sie sich nicht während den Aufnahmen mit den Sternen mit. Sie bleiben auf allen Bildern an derselben Stelle. Durch den Stacking-Vorgang wurden alle Sterne übereinandergelegt, die Hot Pixel jedoch sind auf jedem Bild an derselben Stelle geblieben und bilden somit nach dem Stacking eine Linie aus fehlerhaften Pixeln auf dem Bild wie in Abbildung 18 zu sehen ist.

Zur Entfernung dieser Hot Pixel wählt man das Stempelwerkzeug. Das Bild wird auf die Hot Pixel Spur vergrößert. Dort wählt man einen Punkt nahe der Spur aus, welcher den korrekten Farbton des Hintergrunds hat. Dann geht man auf die fehlerhaften Pixel und ersetzt ihre

Farbe durch die Farbe der markierten Stelle.

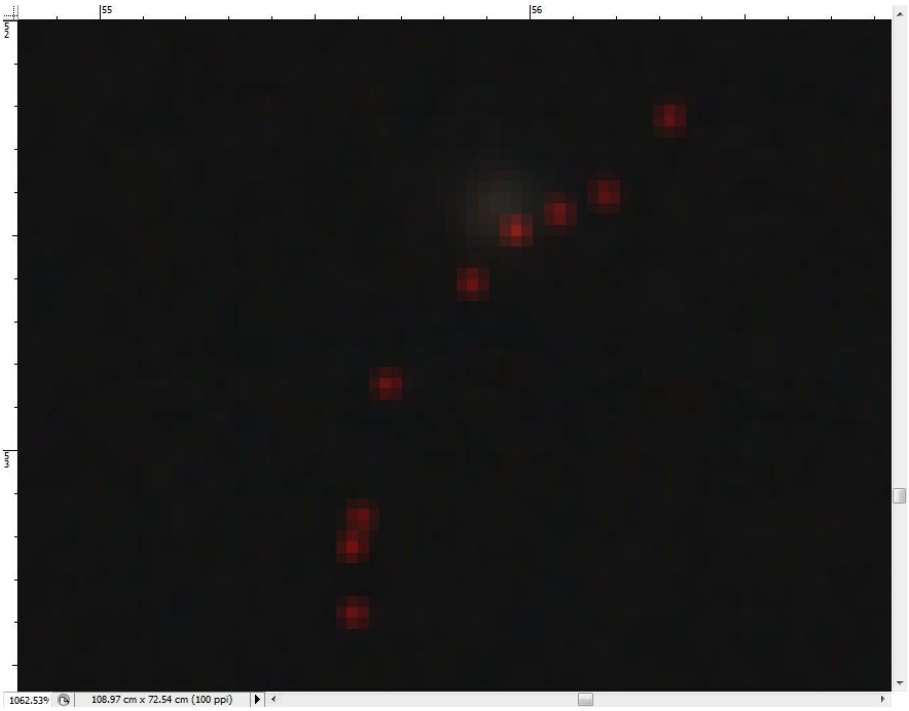


Abbildung 19 Hot Pixel Spur

Auf diese Art und Weise lässt man eine Hot Pixel Spur verschwinden. Diese Methode wendet man für jeden Hot Pixel auf dem gesamten Bild an.

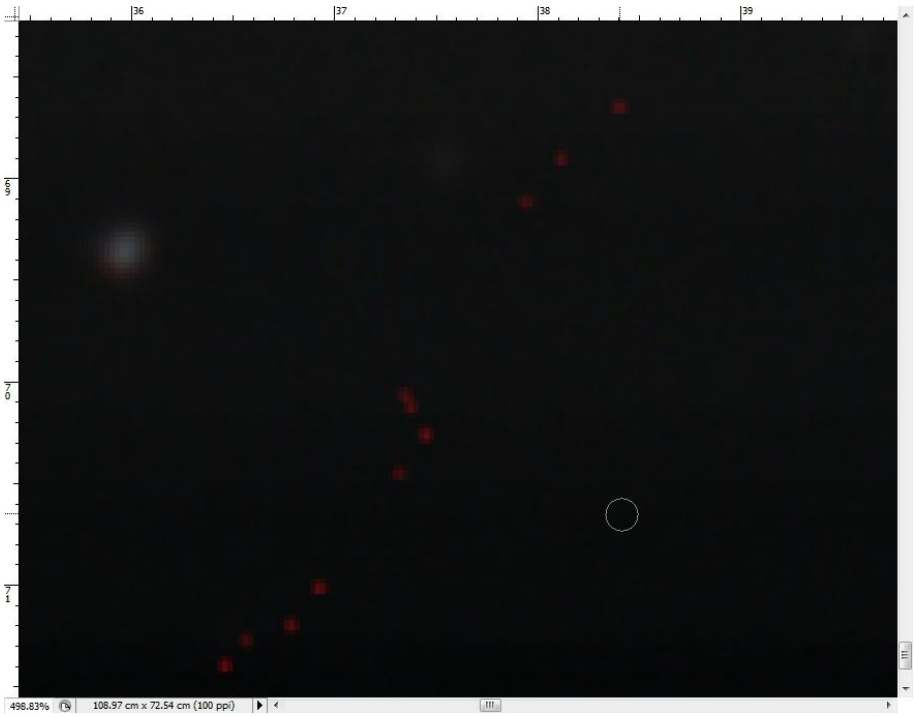


Abbildung 20 Entfernung der Hot Pixel

An den Stellen wo Staub auf der Linse lag ist die Farbe dunkler als in der direkten Umgebung.

Abbildung 21 Abwedeln eines dunklen Flecks

Diese Stellen passt man der Umgebungshelligkeit mithilfe des Abwedel-Werkzeugs an. Die betroffene Stelle wird aufgehellt, sodass sie wie der Rest der Umgebung aussieht. Auf dem gestackten Bild kann man diese Stellen nicht erkennen. Erst während der Tonwertkorrektur werden solche Fehler sichtbar.

Abbildung 22 Auswahl mit dem Zauberstab

Durch die Aktion *Increase Star Color* wird die Farbe der Sterne deutlicher hervorgehoben. Im Anschluss werden die Sterne geschützt, indem man alle Sterne mit dem Werkzeug Zauberstab auswählt und dann die Auswahl umkehrt, sodass alles außer den Sternen ausgewählt ist, wie in Abbildung 22 gezeigt. Der Schutz der Sterne ist für die Aktion GradientXTerminator wichtig, da bei dieser Aktion die Farbe des Himmels und eventuelle farbliche Fehler ausgebessert werden.

Das Problem der atmosphärischen Dispersion wird noch näher in der Problemdiskussion erläutert. Dieses Problem löst man jedoch, indem man die Farbkanäle verschiebt, sodass sie wieder genau übereinander liegen.

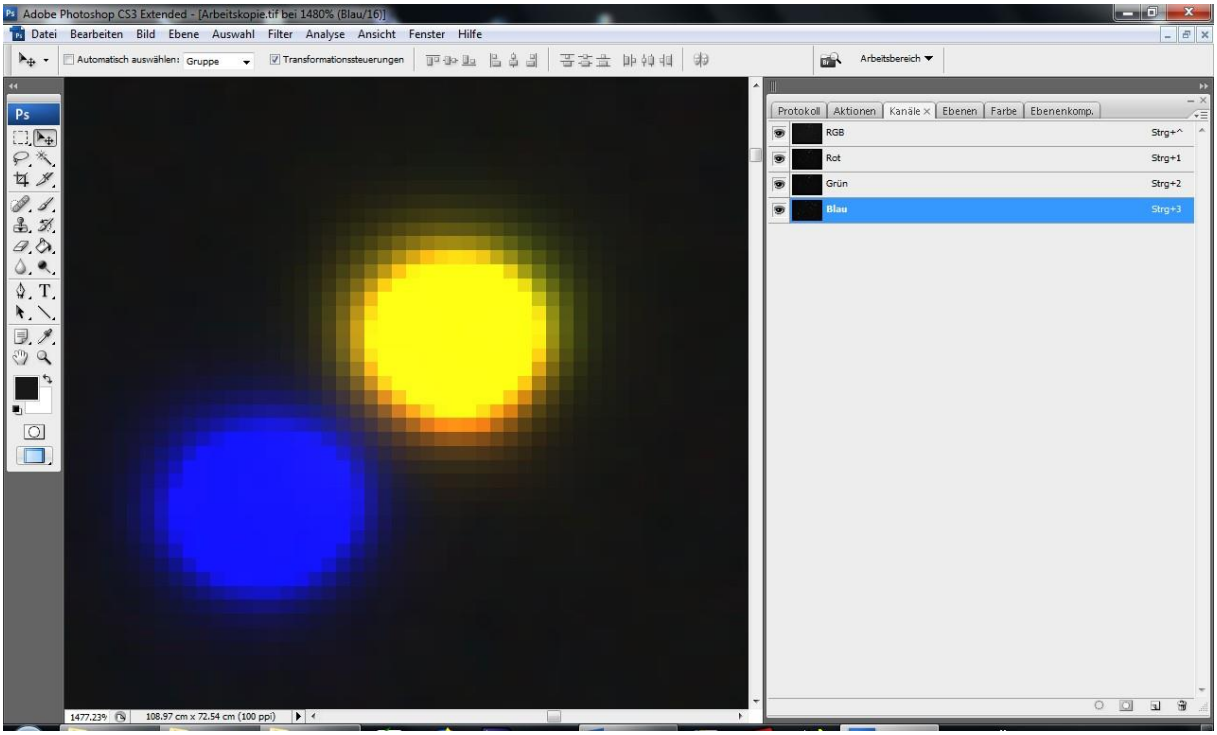


Abbildung 23 Aufteilung des Sterns in seine Farbbestandteile

Weiterhin muss noch das Bild zugeschnitten werden, da der Rand eine starke Farbabschwächung nach außen hin aufweist. Direkt neben dem Punkt wo die Farbabschwächung beginnt wird das Bild abgeschnitten, sodass nur ein möglichst kleiner Teil des Randes abgeschnitten werden muss.

Das fertig bearbeitete Bild von M35:

Abbildung 24 M35; Belichtungszeit: 30 Sekunden pro Aufnahme

Und das fertig bearbeitete Bild von M37:

Abbildung 25 M37; Belichtungszeit: 30 Sekunden pro Aufnahme

12.3. Vergleich mit anderen Datenbanken

Beim Vergleich des Bildes mit anderen Datenbanken geht es darum, nach möglichen Abweichungen und Besonderheiten in der Aufnahme zu suchen. Eine gute Vergleichsdatenbank ist Aladin. Bei Aladin wird das entsprechende Himmelsobjekt gesucht und kann dann beliebig weit näher ran gezoomt werden.

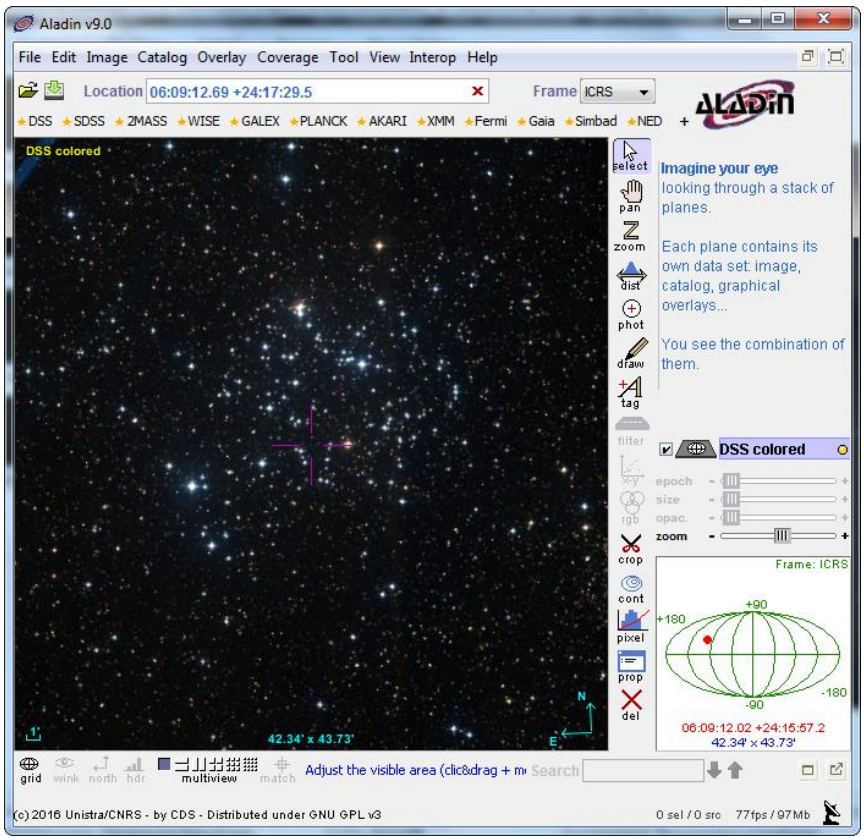


Abbildung 26 M35 bei Aladin

Im direkten Vergleich von M35 bei Aladin und dem von mir aufgenommenen Bild sieht man, dass meine Aufnahme nur einen Teil von M35 abbildet, nämlich einen Großteil der Mitte und den unteren Teil des Sternhaufens. Der obere Teil des Haufens liegt außerhalb meiner Aufnahme.

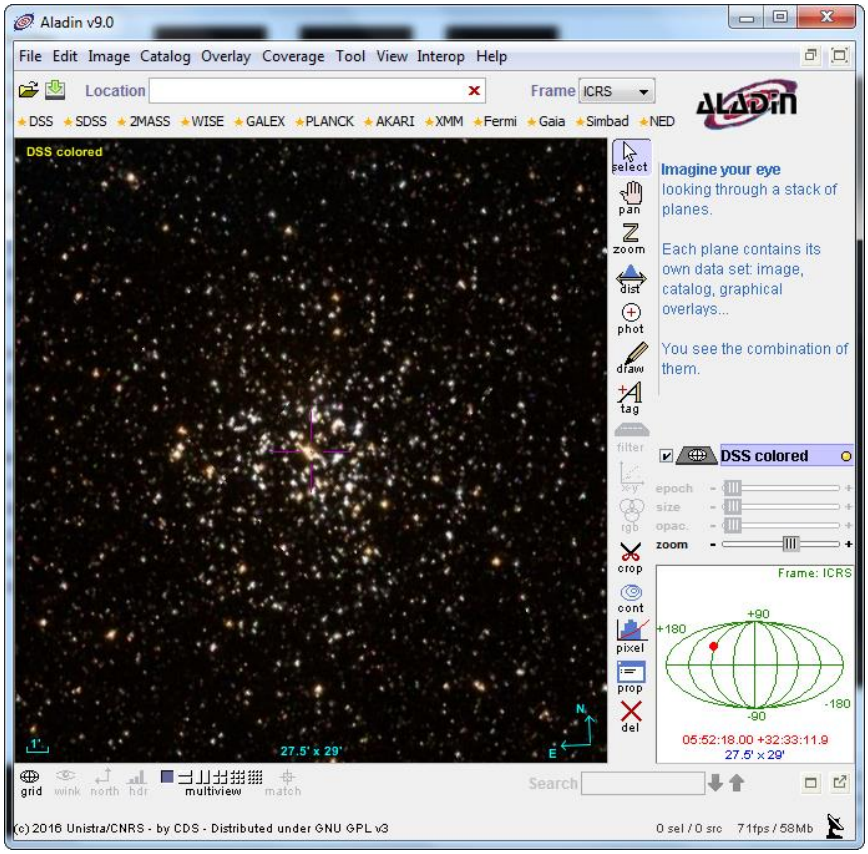


Abbildung 27 M37 bei Aladin

Im Vergleich meiner Aufnahme von M37 zu der bei Aladin sieht man, dass hier beinahe der gesamte Sternhaufen mit abgebildet ist. Einzig ein kleines Stück des unteren Teils des Sternhaufens fehlt. Im Vergleich beider Darstellungen kann man bei beiden gut die Positionierung der charakteristischsten Sterne erkennen.

13. Problemdiskussion

13.1. Atmosphärische Dispersion

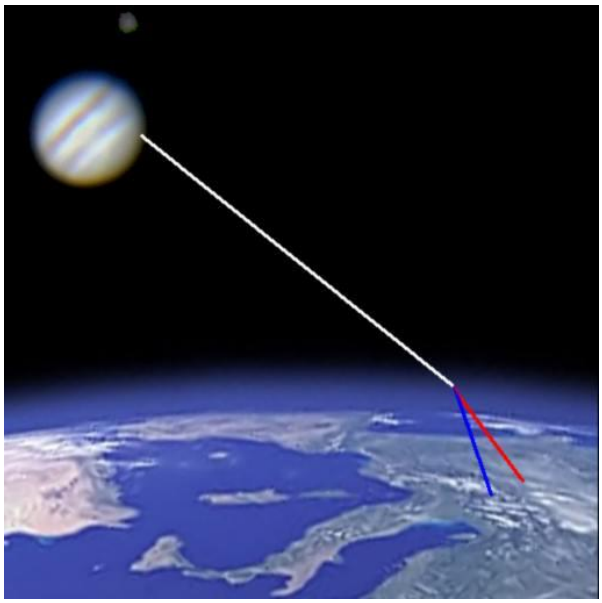


Abbildung 28 Atmosphärische Dispersion[61]

Die atmosphärische Dispersion ist ein atmosphärischer Effekt der Auftritt, wenn das Licht die Erdatmosphäre in einem nicht-senkrechten Winkel passiert. Dadurch wird das Licht in seine spektralen Bestandteile aufgespalten. Als Folge dieses Effekts sieht man auf dem aufgenommenen Bild bei den Sternen blaue Farbränder über und rote Farbränder unterhalb des eigentlichen Sterns. Der grüne spektrale Bestandteil liegt etwa an der eigentlichen Stelle des Sterns, wodurch dieser Bestandteil nicht korrigiert werden muss.[62] Um das Problem dieses Effekts auf dem Bild zu beheben muss man das rote und das blaue Bild mit dem grünen Überlagern. So erhält man das Bild des Sterns ohne Versetzung der spektralen Bestandteile.

[61] http://astrofotografie.hohmann-edv.de/grundlagen/optik.brechung.php Zugriff:22.03.2018

[62] http://astrofotografie.hohmann-edv.de/grundlagen/optik.brechung.php Zugriff:22.03.2018

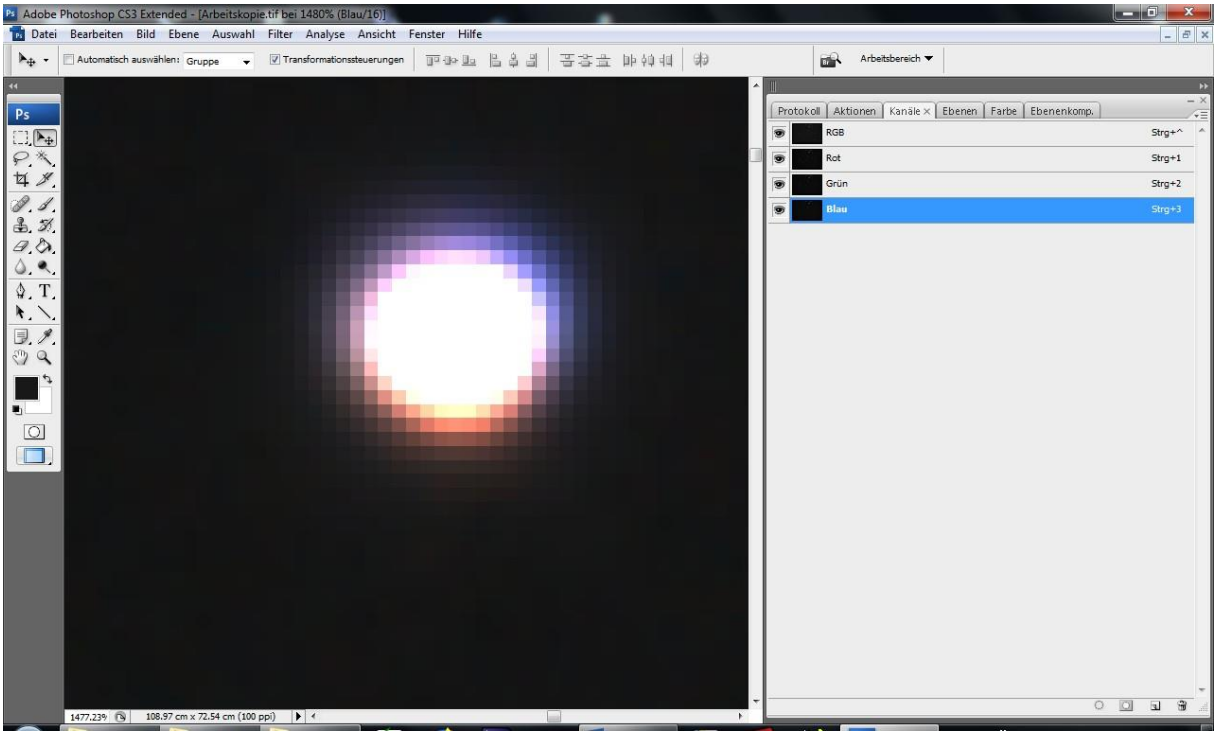


Abbildung 29 Stern mit Effekt der Atmosphärischen Dispersion

13.2. Wetterbedingungen

Die Wetterbedingungen waren während der Zeit für den praktischen Teil recht kompliziert. Der erste Versuch einer Aufnahme von offenen Sternhaufen war ein Fehlschlag. An dem Tag war es sehr kalt und windig. Am Abend am 14. Januar 2018 begann der Versuch der Aufnahme von offenen Sternhaufen mit der STF-8300M Kamera.

Durch den starken Wind wurden beinahe alle Aufnahmen gestört, sodass beinahe alle Sterne nur als Striche sichtbar waren.

Bei dem zweiten Versuch am 05. Februar 2018 war der Wind schwächer und trotz leichter Schneebedeckung des Daches und starker Kälte ist die Aufnahme von M35 und M37 gelungen.

14. Fazit der Arbeit

Insgesamt kann ich sagen, dass mir die Projektarbeit trotz vieler Arbeit sehr viel Freude bereitet hat.

Ich habe den Umgang mit Teleskopen und das Fotografieren von Himmelsobjekten gelernt. Ebenso bin ich mir nach dieser Projektarbeit über viele physikalische Vorgänge im Himmel bewusster geworden und habe auch viele neu dazu gelernt. Außerdem habe ich die Bearbeitung von Bildern und die Besonderheiten dabei kennen gelernt, zusätzlich zu der neuen Erfahrung des eigenständigen Schreibens einer Facharbeit.

Ich bin auch im Nachhinein froh den Projektkurs und besonders dieses Thema gewählt zu haben.

15. Danksagung

Zum Schluss möchte ich noch allen Personen danken, die mich während meiner Projektarbeit unterstützt und motiviert haben. Mein besonderer Dank geht an den Kursleiter Herrn Koch, ohne den dieser Kurs nicht möglich gewesen wäre und der mir viel beigebracht hat. Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Winkhaus, der meinem Kurs bei Fragen jederzeit ausgeholfen hat.
Zusätzlich danke ich der Schule, dem Carl-Fuhlrott-Gymnasium welches die Sternwarte zur Verfügung stellt und diesen Projektkurs erst zur Wahl ermöglicht hat.
Ich danke auch allen Personen, die die Sternwarte unterstützen und die Entwicklung dieser erst möglich gemacht haben.

16. Abschlusserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die, von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Projektarbeit, die im Wortlaut oder dem Inhalt nach aus anderen Werken entnommen wurden, in jedem Fall mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Ich bin damit einverstanden, dass die, von mir verfasste Verschriftlichung der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

X _____

Aileen Lehnert

Aileen Lehnert – Wuppertal, den 18.05.2018