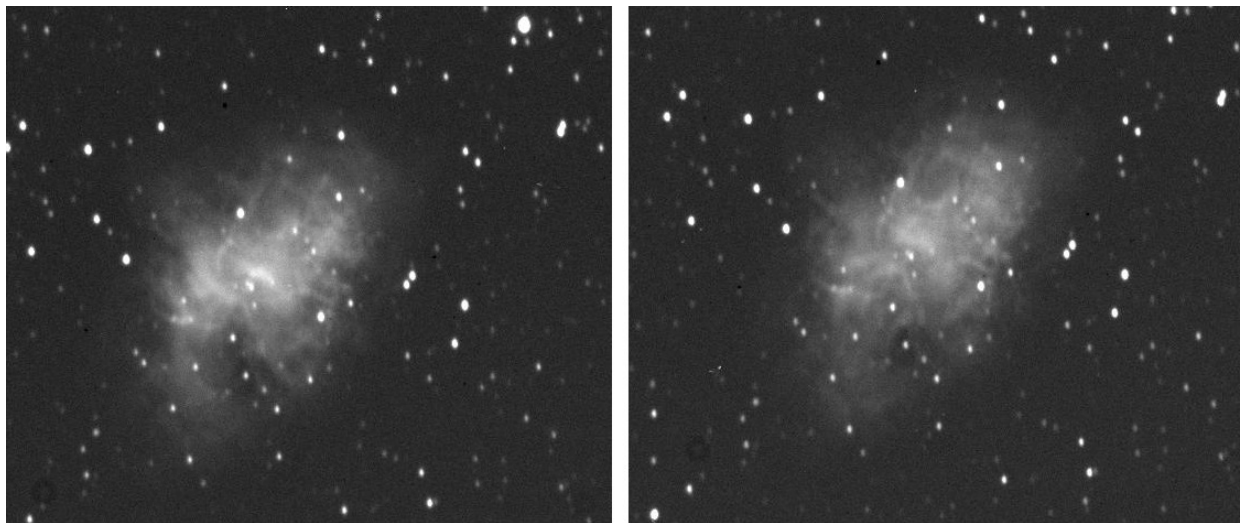


Dying Stars



***Polarimetrie planetarischer und
protoplanetarischer Nebel***

VON ZORA SCHMIDT

KURZFASSUNG	3
1. PROJEKTHINTERGRÜNDE	4
1.1 Vom der Gaswolke zum Stern	4
1.2 Vom Stern zum Planetarischen Nebel	5
2. ÜBER DAS LICHT UND DESSEN WELLENBEWEGUNG	5
3. ANNAHME	6
4. AUSRÜSTUNG	7
5. DURCHFÜHRUNG DER BEOBACHTUNG	8
6. DATENREDUKTION UND AUSWERTUNG	8
7. ERGEBNISSE	9
8. FEHLERBETRACHTUNG	11
9. AUSBLICK	11
10. QUELLEN	11

Kurzfassung

Sterne unter 2,5 Sonnenmassen erzeugen am Ende ihres Lebens, die mitunter faszinierendsten Objekte am Nachthimmel. Die sogenannten Planetarischen Nebel bestehen aus den abgestoßenen Gashüllen dieser Sterne, welche wiederum durch ihren „Wirtstern“, der zu einem weißen Zwerg schrumpft, zum Leuchten angeregt werden. Bisher ist noch immer ungeklärt, wieso jeder Planetarische Nebel eine ganz eigene Morphologie aufweist. Neueste wissenschaftliche Erkenntnisse weisen darauf hin, dass die Gase der Nebel nicht nur ionisiert, sondern auch durch die elektromagnetische Strahlung der Wirtsterne polarisiert wird. Die Magnetfelder wurden von einem Team von Astronomen der Universitäten Heidelberg, Tübingen und Erlangen-Nürnberg 2005 an 4 Objekten gemessen.

Der Magnetismus, der diese Polarisation erzeugt, kann somit maßgeblich an der Formgebung der Nebel beteiligt sein.

Im Rahmen dieses Projektes sollen mittels eines Surveys verschiedene Planetarische und Protoplanetarische Nebel mit Polarisationsmessungen am Teleskop weiter untersucht werden. Anschließend werden diese Aufnahmen mit photometrischen Methoden in Astronomie Softwares analysiert.

1. Projekthintergründe

Eine überaus Interessante jedoch nicht ausreichend geklärte Frage der Astronomie ist, wie die Natur die unterschiedlichen Morphologien der Planetarischen Nebel hervorbringt. Tatsache dabei ist, dass die Nebel hauptsächlich aus Helium und Wasserstoff bestehen. Theoretisch müssten die planetarischen Nebel in ihrem Aussehen eine starke Ähnlichkeit untereinander aufweisen. Da dies nicht der Fall ist, lohnt es sich herauszufinden, ob die Polarisation bei planetarischen Nebeln generell vorhanden bzw. ähnlich ausgeprägt ist.

Theorien zur Entstehung gibt es zu genüge, wie die schnelle Rotation ihrer Wirtssterne, welche die Expansion der Nebel nach ihrer Umwandlung in einen planetarischen Nebel beeinflussen soll. Ebenso können die Schnellen- und Langsamen Winden des Zentralsterns (Schnelle Winde erreichen eine dabei eine Geschwindigkeit von ca. 2000 km/s-1) Auswirkungen auf die Formgebung haben.

Eine weitere, häufig angenommene Möglichkeit besteht darin, dass diese durchaus spektakulären Nebelformen durch das Magnetfeld des weißen Zwerges beeinflusst werden könnten. Dies soll nun, bis zur Präsentation mithilfe der Polarisationsmesstechnik ermittelt werden.

1.1 Von der Gaswolke zum Stern

Als riesige (dh. mehrere Lichtjahre große) interstellare Staub- oder Nebelwolke beginnt das “Leben“ jedes Sternes.

Sie entstehen aus gigantischen Interstellaren Gas- oder Nebelwolken in denen sich die einzelnen Moleküle aneinander anlagern und zu stetig massereicheren Objekten heranwachsen. Aus diesen werden sich nach ca. 10 bis 15 Million Jahren letztendlich Sterne bilden.

Diese massereiche Gaswolke kontrahiert immer weiter dank der Anziehungskraft der zunehmenden Masse des Kerns. Dadurch beginnt der Nebel zu rotieren (durch die Übertragung des Drehimpulses, dieser wirkt ungefähr so wie ein Eiskunstläufer der beim Pirouetten drehen die Arme anzieht).

Aus dem Interstellaren Nebel wird nun ein Protostern, der sich kugelförmig weiterhin zusammen zieht, anfangs noch mit einem Gasring versehen ist, der nach und nach (wir reden hier von tausenden von Jahren) ebenfalls eingesogen wird.

1.2 Vom Stern zum Planetarischen Nebel

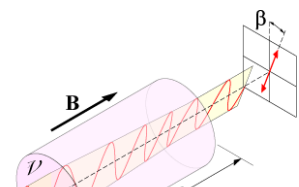
Betrachtet werden an dieser Stelle nur Sterne zwischen 1 und 8 Sonnenmassen, da nur diese für die Entstehung Planetarischer Nebel relevant sind. In den nächsten 8 Millionen Jahren wird langsam durch die hohen Drücke und extremen Temperaturen von mehreren zehntausend Kelvin im inneren die Kernfusion angeregt und die im inneren vorhandenen Wasserstoffkerne werden weiter zu Helium fusioniert, wodurch sich der Kern des Sternes verdichtet. Dieser Vorgang hält an, bis der Kern fast vollständig aus Eisen besteht (bei weniger massereichen Sternen wie z.B. Unserer Sonne wird dieser Prozess nur bis Kohlenstoff anhalten, da seine Masse nicht ausreicht um genügend Druck für weitere Kernfusionen hervorzubringen) und nur noch ein Wasserstoffsaum um den Kern existiert. Durch den nun noch massereicheren Kern findet eine Kontraktion statt. Dadurch reicht der äußere Druck nicht mehr aus um das Innere ausreichend Anzuheizen. Der Stern, der aus massereichen ionisierten Gasen besteht, expandiert. Dadurch wird allerdings die äußerste Schicht abgekühlt, was zur Folge hat das der Stern erneut in sich zusammen fällt, wodurch erneut genug Druck und Energie entstanden ist um die Kernfusion im inneren weiter anzuregen und natürlich auch genug Energie um eine stärkere Leuchtkraft herbeizuführen. Dieser Prozess hat die Dauer von mehreren tausend Jahren und erzeugt bei uns auf der Erde den Effekt der aufblinkenden Sterne.

Ist der gesamte Kern soweit fusioniert dass keine weitere Fusionierung stattfinden kann, findet eine Entartung der Materie statt. Dieser Vorgang hat eine Dauer von knapp einer Sekunde und kommt dann schlagartig zum Stillstand. Die Entartung des Kernes zeigt keinerlei Veränderung gegenüber seiner Hülle, die nun plötzlich im freien Fall auf den kollabierten Kern hinab fällt, da kein innerer Strahlungsdruck der Gravitationskraft mehr entgegenwirkt. Die bisherige Hülle des Sterns wird an dem festen Kern reflektiert und in den Weltraum hinaus geschleudert. Diese Gasmassen bilden nun den sich ausbreitenden Planetarischen Nebel.

Dabei hat der Stern einen großen Teil seiner ursprünglichen Masse in Form von Wasserstoff, Helium, Stickstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff und anderen Elementen an den interstellaren Raum zurückgegeben. Der nun freigelegte Kern ist soweit verdichtet, dass ein Kubikzentimeter seiner Materie eine Tonne wiegt.

Die sich ausbreitenden Gase werden durch die enorme Strahlung des Weißen Zwergs zum Leuchten angeregt.

2. Über das Licht und dessen Wellenbewegung



Zur Vorbetrachtung der in diesem Projekt durchgeführten Messungen, werden an dieser Stelle die Eigenschaften des Lichts näher erläutert. Licht ist generell polarisierbar und verhält sich also wie eine Transversalwelle.

Licht kann als elektromagnetische Welle beschrieben werden

Der erste Beweis wurde von Michael Faraday 1846 erbracht, *Abbildung 1: Polarisation Licht*
der linear polarisiertes Licht durch eine magnetisch ausschaltbare Spule schickte und beobachtete, dass die Polarisationsrichtung umgedreht war als bei dem Versuch mit einem ausgeschalteten Magneten) damit gelten für Licht die gleichen Eigenschaften und Beziehungen, die ebenfalls für elektromagnetische Wellen gegeben sind.

Dieser Vorgang kann sich beispielsweise in der Fotografie zunutze machen (Entspiegeln von Reflektierung)

Wird bei Transversalwellen in unterschiedlicher Schwingungsrichtung, eine bestimmte Schwingungsrichtung herausgefiltert, spricht man von Polarisationsfilterung (in etwa wie ein „Lichtsieb“) Sendet man Licht durch spezielle Kunststofffolien (sogenannte Polarisationsfolien), dann zeigt sich:

Sind die Polarisationsrichtungen der Folien senkrecht zu einander angeordnet, so kommt kein Licht hindurch. Das in der Regel unterschiedlich schwingende Licht durch eine Polarisationsfolie linear polarisiert d.h. es schwingt nur noch in einer Ebene dies hat den Effekt, das nur ein Teil der Lichtwellen das Objekt bzw. das Auge erreicht (oben und unten bzw links und rechts). Das Objekt erscheint dunkler.

3. Annahme

In diesem Projekt wird davon ausgegangen, dass die in Planetarischen Nebeln vorhandenen Wirtssterne, durch die von Ihnen ausgehende Strahlung die Gasmassen des Planetarischen Nebels ionisieren. Dabei kann, sofern zu beobachten, die Polarisation als Indikator für die Ausbreitungsrichtung der Gasteilchen des Nebels betrachtet werden. Bisher wurde nach meiner Recherche nur von Dr. Stefan Jordan et. al. von der Universität Heidelberg bzw. der ESO Untersuchungen über Polarisation in Planetarischen Nebeln durchgeführt. (siehe. Discovery of magnetic fields in central stars of planetary nebulae, 2005)

Grundvoraussetzung für dieses Verhalten ist das Vorhandensein eines starken Magnetfeldes des Wirtssterns, das mit den ionisierten Gasen des Nebels interagiert.

Keine Polarisation:

Würde bedeuten, dass keine Interaktion zwischen Wirtsstern und Nebel stattfindet

der Nebel hätte somit mit hoher Wahrscheinlichkeit seine Form ausschließlich durch die Sonnenwinde und dessen Strahlung angenommen.

Polarisation ist messbar:

Bedeutet, dass die ionisierten Gase sich besonders entlang des magnetischen Feldes befinden und nach ihm ausgerichtet sind, somit lässt sich nicht nur eine Polarisation bestimmen sondern auch die Ausbreitungsrichtung des Nebels und der Magnetfeldeinfluss des Wirtsterns.

4. Ausrüstung

Die mir zur Verfügung gestellten Utensilien stellen sich aus einem 3teiligen Teleskop, dessen genauen Aufbau ich im Laufe des Textes ausführlicher beschreiben werde, einer Kamera mit integrierten CCD-Sensor (charge-coupled device) und einem in der Astronomie häufig angewendetes Programm

zur Photometrischen Auswertung, zusammen.

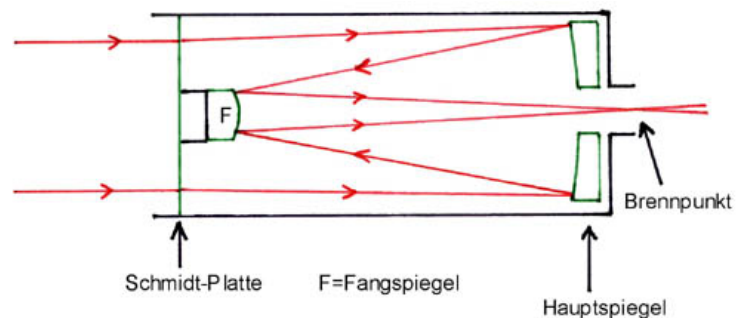


Abbildung 2: Strahlengang Schmidt-Cassegrain Teleskop

Das Teleskop setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen:

Die Aufnahmen wurden durch ein Teleskop nach der Bauart von Schmidt-Cassegrain, des Typs ARC der Firma Meade getätigt. Das Teleskop verfügt über einen Spiegeldurchmesser von 250mm, sowie eine Brennweite von 2500mm.

Dieses Teleskop zeichnet sich durch seine kompakte Bauform und relativ hohe Brennweite aus. Schwachpunkte in der Optik sind jedoch das geschlossene System durch eine Schmidtplatte an der Frontöffnung, was zu einer sehr langsamen Auskühlung des Teleskops führt. Das einfallende Licht wird an der Schmidtplatte gebrochen, am Hauptspiegel gebündelt und reflektiert, ebenso wie am Sekundärspiegel.

Dem Sucher (Suchfernrohr), einem etwas kleineren Teleskop welches ein größeres Gesichtsfeld hat und somit zum suchen des Objektes genutzt wird. Der

Sucher besitzt eine Öffnung von 50mm und eine feste achtzigfache Vergrößerung.



Abbildung 3: Teleskop während der Messung

Des Weiteren wird für die Beobachtung ein **Refraktor** sogenanntes **Leitrohr** verwendet, ein klassisches Linsenfernrohr welches auch Galileo für seine Beobachtung der Jupitermonde nutzte. Bei diesem handelt es sich um ein Gerät der Firma Celestron, dessen Öffnung 80mm, und die Brennweite 900mm beträgt. Es besteht aus einem achromatischen Objektiv und einem Okular auf der Augenseite. An das Hauptrohr wird die CCD-Kamera befestigt und wird parallel zum Hauptrohr ausgerichtet.

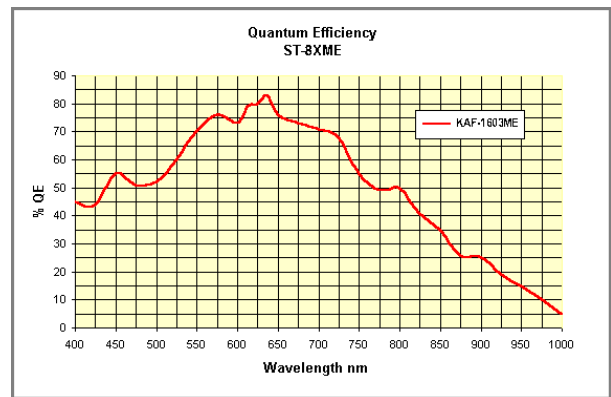


Abbildung 4 und 5: SBIG ST8-XME und deren Quanteneffizienz

Bei der Montierung, auf welcher die Teleskope befestigt werden handelt es sich um eine äquatoriale parallaktische Montierung des Typs EQ-6 von der Firma Skywatcher. Zu

weiteren Teilen des Teleskopes zählen 4 Gewichte zu je 5kg, welche die 3 Teleskope und Kamera auf dem Stativ ausbalancieren. Insgesamt hat das Teleskop, was im übrigen noch zu den transportierbaren Teleskopen zählt, ein Gewicht von knapp 80kg.

Die genutzte **Kamera** ist vom Typ ST-8XME der Firma SBIG. Dabei handelt es sich um eine bis -20° unter Umgebungstemperatur kühlbare CCD Kamera, die explizit für die Astrofotografie entwickelt wurde. Die Kühlung sorgt für ein vermindertes Bildrauschen, was ein weiterer Grund für die Nutzung dieser Kamera ist, abgesehen davon dass diese die Kamera ist die mir zur Verfügung gestellt wurde, dass diese eine sehr gute Auflösung in Kombination mit dem Teleskop $1,18'' \times 1,18''$ besitzt. Außerdem besitzt die Kamera eine sehr hohe Quanteneffizienz, welches über das gesamte Spektrum verteilt ist.

5. Durchführung der Beobachtung

Im ersten Schritt wird das Stativ absolut gerade aufgestellt, worauf anschließend die Montierung befestigt und auf den Polarstern im 52° ausgerichtet wird. Um nun einen Ausgleich zu den schweren Teleskopen zu haben und um diese in jeder Position ausbalancieren zu können, werden die Gewichte an der unteren Seite der Montierung ausgleichend befestigt, anschließend die Teleskope selbst. Die Montierung muss nun kalibriert werden in dem sie drei Referenzsterne anfährt und über diese jede Position am Himmel errechnen kann. Ebenso müssen alle Teleskope parallel zueinander ausgerichtet

werden. Während der Beobachtung wird mit der Handsteuerbox das gewünschte Objekt durchgehend in der Mitte des Kreuzes gehalten. Würde dies nicht passieren würden die Objekte alle nur als Strichspuren dargestellt werden.

Um den Aufbau zu vollenden schließt man den Tubus an die Montierung an und an denselben, die Kamera. Um ein gutes Bild in der Astronomie zu erhalten, lohnt es sich eine lange Belichtungszeit zu nutzen, umso mehr Licht aufgenommen wird, desto definierter und damit exakter zeichnen sich die Objekte ab.

Die erste gelungene Beobachtung wurde in der Kettinger Straße durchgeführt, dies führte allerdings zu Problemen mit sich, die durch Laternen, vorbeifahrende Autos und andere Lichtquellen oder Raumeinschränkungen der urbanen Gegend, verursacht wurden. Wie bei meinem ersten Beobachtungsversuch in Ragow machten mir nicht nur der zunehmende Mond oder der Nebel zu schaffen, sondern die Schneekristalle die sich bei -10° entlang der Linse bildeten, waren das Hauptproblem, zeitweise konnten die Kristalle/tröpfchen mit einem Föhn verdampft werden, jedoch war dies kaum eine langfristige Lösung.

Nach dem Aufbau und einstellen des Teleskops konnten die Aufnahmen der einzelnen Objekte getätigt werden. Jedes Objekt wurde dazu mit 300s langen Aufnahmen in der jeder Filterstellung fotografiert. Abschließend wurden noch Dunkelstrombilder mit der Kamera erzeugt, bei gleicher Belichtungszeit erzeugt.

6. Datenreduktion und Auswertung

Die gesammelten Aufnahmen mussten vor der endgültigen Auswertung noch vorprozessiert werden. Zunächst gehört dazu der Abzug der Dunkelstrombilder um das elektronischen Restrauschen der Kamera, dass trotz Kühlung noch vorhanden ist abzuziehen. Dies erfolgte mittels der Software CCDops.

Anschließend wurden die Aufnahmen im FIT Format mit der Software IRIS ausgewertet. Dazu wurde die Funktion „Aperture Photometry“ verwendet um die relative Helligkeit des Nebels als Flächenobjekt bestimmen zu können. Dazu wird eine Isophote um das Nebelobjekt gelegt und misst die Helligkeit der beinhaltenden Pixel. Hierbei muss angemerkt werden, dass es sich bei den gemessenen Helligkeitswerten um keine vergleichbaren Magnitudenwerte, wie sie in der Literatur zu finden sind handelt. Grund dafür, sind die Vordergrundsterne, die ebenfalls in den Aufnahmen enthalten sind. Es wird in dieser Arbeit daher von der Annahme ausgegangen, dass die Vordergrundsterne kein polarisiertes Licht aussenden und somit die Messung bis auf eine gesteigerte Gesamthelligkeit nicht verändern.

7. Ergebnisse

Leider konnten aufgrund der schlechten Witterung der letzten Wochen, sowie bisher nur zwei Objekte verwertbar ausgenommen werden. Dabei handelt es sich um die Planetarischen

Nebel M1 (Krebsnebel) und M97 (Eulennebel). M1 wurde explizit als Objekt ausgewählt, da es sich hier um einen bekannten polarisierten Planetarischen Nebel handelt. Gleichzeitig stellt M1 einen Spezialfall dar, da für dessen Polarisation kein Weißer Zwerg, sondern ein Pulsar verantwortlich ist. Die von ihm ausgehende Strahlung sorgt sowohl für die Ionisation, als auch Polarisation des Gasnebels.

Schon die erste Betrachtung des Bilder von M1 wiesen auf eine deutliche Polarisation des Nebels hin. Eindeutig leuchten in beiden Bildern verschiedene Teile des Nebels. Umso erstaunlicher war, dass die gemessenen relativen photometrischen Helligkeiten beider Bilder erst unterschiede an der vierten Stelle aufwiesen. Mit einem Blick in die Literatur ist jedoch zu erfahren, dass in den 1970er Jahren mittels Spektroskopischer Messungen von P.G. Martin et al. herausgefunden wurde, dass das von M1 ausgesendete Licht Zirkular polarisiert ist (siehe: Discovery of interstellar circular polarization in the direction of the Crab nebula, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 1972). Hierbei handelt es sich also um den Spezialfall, dass das Licht in zwei Ebenen gleichzeitig schwingt. Für die hier getätigte Beobachtung von M1 lässt sich daher Schlussfolgern, dass durch jede Polfilteraufnahme nur jeweils eine Teilwelle der Zirkular polarisierten Lichtwelle durchgedrungen ist. Im Vergleich zur Referenzaufnahme, hat jede der Polfilteraufnahmen annähernd die Hälfte deren Helligkeit.

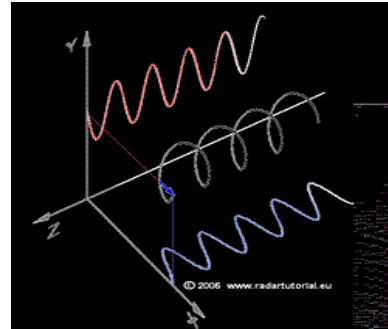


Abbildung 6: Polarisationsformen

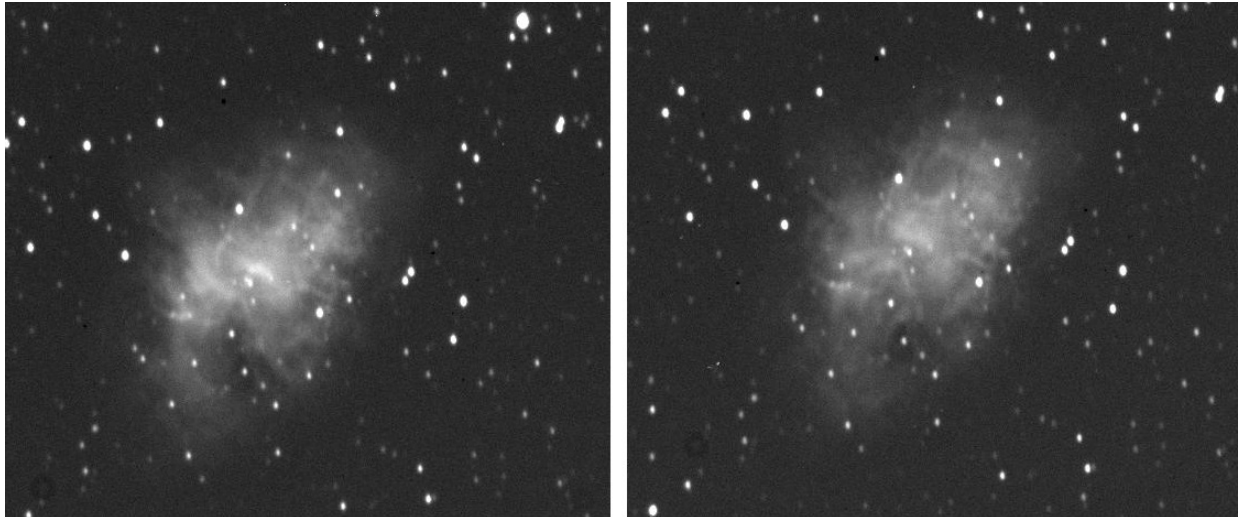


Abbildung 7: Beispielaufnahme M1 mit links 0° und rechts 90°

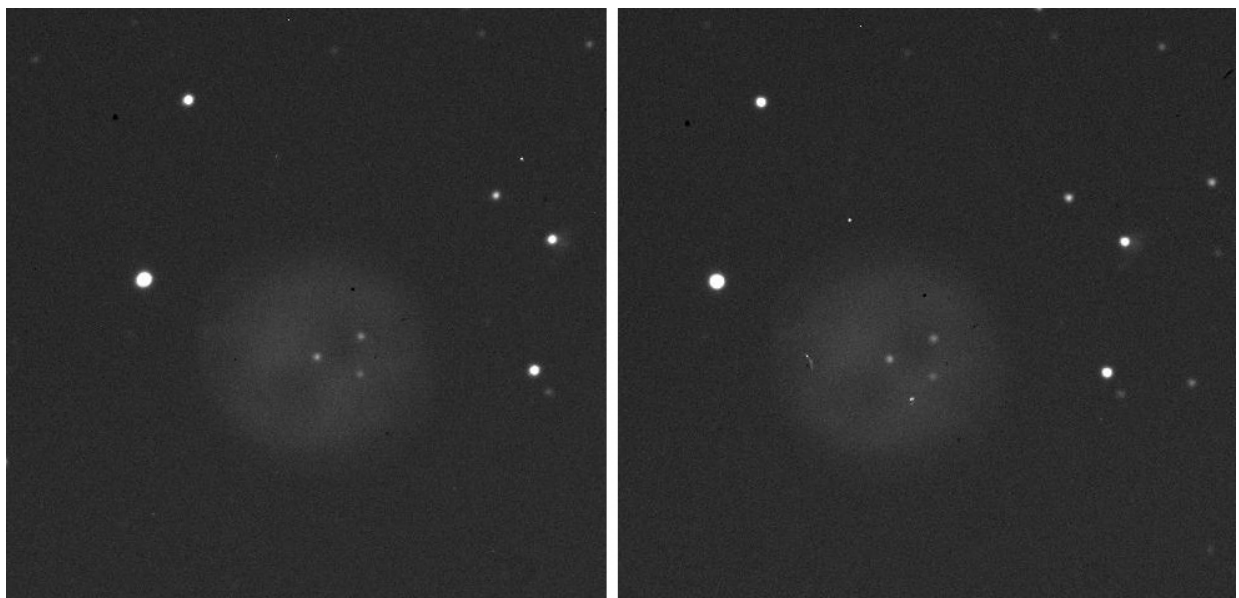


Abbildung 8: Beispielaufnahme M97 mit links 0° und rechts 90°

Im Fall von M97 waren die Aufnahmen sehr verrauscht, was die Analyse der Bilder sehr erschwerte. Gleichwohl gibt es geringe sichtbare Anzeichen für eine Polarisation, wenn man die beiden Aufnahmen visuell vergleicht. Interessanterweise zeigen die Messungen bereits an der zweiten Stelle Unterschiede auf, was jedoch auf das Rauschen zurückgeführt werden kann.

Objekt	Intensität Pol 0°	Intensität Pol 90°	Intensität UV-IR
M1	262947848	262440882	414622069
M97	62071902	67879904	94965008

8. Fehlerbetrachtung

Da ich lediglich zwei Polarisationsfilter zur Verfügung hatte, kann der Spezialfall nicht ausgeschlossen werden, dass es sich bei einer der polarisierten Lichtwellen um eine linear polarisierte Welle handelt. Dies sollte umgangen werden können unter Zuhilfenahme zwei weiterer Filter die in 45° und 135° einzusetzen wären. Denn solche linear polarisierte Wellen können Filter in der Position nicht passieren, da diese senkrecht zu ihnen stehen.

Weiterhin kann als Fehler in der M1 Beispielmessung zutage treten, dass ein UV-IR Sperrfilter als Luminanzreferenzfilter verwendet wurde. Da dieser Filter einen Teil des Lichtspektrums abschneidet, während die Polfilter dies nicht tun, kann es zu der kleinen Differenz kommen, da hier angenommen wird, dass die Pol 0° und Pol 90° Aufnahme jeweils nahezu die Hälfte der zirkular polarisierten Lichtwelle enthalten.

9. Ausblick

Leider ist es mir noch nicht gelungen den von mir angestrebten Survey durchzuführen, was den widrigen Wetterbedingungen geschuldet ist.

In der Zeit bis zum Wettbewerb soll dieser jedoch vervollständigt werden. Ebenso möchte ich versuchen einen Klarglasfilter zu organisieren, ebenso wie weitere Polfilter um meine Annahmen und theoretischen Überlegungen zu den bereits deutlichen Ergebnissen von M1 zu untermauern.

10. Quellen

<http://gymoberwil.educanet2.ch/a.hu/projektarbeit/faraday/faradayeffekt.htm>

<http://archive.sbig.com/sbwhtmls/ST8XME.htm> cam.

<http://www.aanda.org/articles/aa/abs/2005/10/aa1993/aa1993.html>

Klaus G. Strassmeyer Aktive Sterne Laboratorien der stellaren Astrophysik