

Aktive galaktische Kerne und ein neues Periodensuchverfahren

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	2
2. Eigene Beobachtungen	
2.1. Beschaffung eigener Aufnahmen.....	2
2.2. Auswertung eigener Daten.....	3
2.3. Ergebnisse.....	5
2.4. Ergebnisdiskussion.....	7
3. Beschaffung fremder Daten.....	9
4. Auswertung der Daten.....	9
5. Bewerten der Kurven	
5.1. Tests	
Test 1. Sinuskurve.....	10
Test 2. Sonnenfleckenzyklen.....	11
5.2. Anwendungen	
Anwendung 1. Sonnenrotation.....	12
Anwendung 1.1. Differentielle Sonnenrotation.....	12
Anwendung 2. Temperatur.....	14
Anwendung 3. Luftdruck.....	14
6. Auswertung der Quasardaten.....	15
7. Ausblick.....	19
 Anhang.....	 20

1. Einleitung

Bei dieser Jugend-Forscht-Arbeit war unser ursprüngliches Ziel, Helligkeitsveränderungen eines aktiven galaktischen Kernes zu beobachten. Noch heute gehören aktive galaktische Kerne zu den am wenigsten erforschten und doch zugleich interessantesten Objekten im Kosmos überhaupt. Sie haben Ausmaße von mehreren Sonnensystemen, besitzen ein kompaktes schwarzes Loch mit einigen Millionen, vielleicht Milliarden Sonnenmassen und sie zeugen, als mit die ersten Objekte im Kosmos überhaupt, von der Entstehung und Entwicklung des Universums.

Doch da das Sternbild Großer Wagen, in dem sich der von uns beobachtete aktive galaktische Kern Markarian 421 befindet, kurz nach Beginn unserer praktischen Arbeit, so dicht an den Horizont gewandert ist, konnten wir keine weiteren Beobachtungen durchführen. Wir überlegten uns schnell zwei Alternativen, die wir sofort umsetzten: Die Beobachtung eines zweiten aktiven galaktischen Kernes in der Leier und die Beschaffung von Daten anderer Astronomen. Dies stellte sich schwieriger heraus als erwartet, doch gelang es uns, an umfangreiche Daten zu kommen, für die wir uns ein neues Auswerteverfahren überlegten, um Perioden in den Helligkeitsveränderungen festzustellen. Dafür haben wir das Auswerteverfahren an bekannten, aber nicht immer gut ausgeprägten periodischen Variationen der Sonnenaktivität getestet. Aufgrund sehr guter Ergebnisse bezüglich nur schwach ausgeprägter Perioden haben wir uns zusätzlich entschlossen die differentielle Sonnenrotation zu untersuchen. Dabei ist es uns gelungen, anhand der Sonnenfleckenhäufigkeiten die differentielle Sonnenrotation nachzuweisen. Außerdem konnten wir aus wenigen Jahren Luftdruckdaten die atmosphärischen Gezeiten mit Hilfe unseres Verfahrens erkennen. Nun konnten wir mit Hilfe unseres Programms zuverlässig Variationen erkennen, die wir dann mit dem Aufbau und der Orientierung des aktiven galaktischen Kernes relativ zur Erde versucht haben in Einklang zu bringen. Dazu haben wir eine erläuternde Visualisierung erstellt.

Aktive galaktische Kerne

Wir erläutern im Folgenden das allgemein anerkannte Modell eines aktiven galaktischen Kernes:

Zu den aktiven galaktischen Kernen zählen unter anderem Seyfert-Galaxien, Quasare und Blazare. Vermutlich aber liegt all diesen Klassifizierungen ein einziges Objekt zugrunde: Das Zentrum einer meist elliptischen Galaxie. Das Herzstück eines aktiven galaktischen Kernes bildet ein supermassives Schwarzes Loch, um das herum sich eine Akkretionsscheibe dreht. Diese Akkretionsscheibe ist der Rest etlicher anderer astronomischer Objekte, die jetzt, zerlegt in Staub- und Gaswolken, nach und nach auf das schwarze Loch zuspирalen. Erreichen sie dieses, werden sie als hochenergetische Strahlung in Form von „Jets“ senkrecht zur Akkretionsscheibe aus dem Schwarzen Loch geschleudert. Um die Akkretionsscheibe herum befindet sich noch ein ringförmiger Staubtorus, der ebenfalls der Rest ehemaliger Objekte aus der Region, in der sich jetzt der aktive galaktische Kern befindet, ist. Die oben genannten Klassifizierungen entstanden dadurch, dass man aktive galaktische Kerne aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet. Schaut man von schräg oben auf die Akkretionsscheibe bezeichnet man das Objekt als eine Seyfert-I-Galaxie. Schaut man direkt auf den Staubtorus spricht man von einer Seyfert-II-Galaxie. Sieht man bei einem aktiven galaktischen Kern direkt in einen der Jets hinein, klassifiziert man das Objekt als Blazar. Die beobachteten Helligkeitsänderungen entstehen dadurch, dass sich unser Blickwinkel auf die Gaswolken um das Schwarze Loch bedingt durch deren Rotation ändert.

2. Eigene Beobachtungen

2.1. Beschaffung eigener Aufnahmen

Hilfsmittel

Unsere Aufnahmen entstanden mit einem nachgeführten 20 cm-Reflektor des Astronomischen Arbeitskreises Kassel an der Sternwarte Kassel Calden und dessen CCD-Kamera Sbig St 7-E. CCD-Kameras sind astronomische Kameras, die, über einen Computer und die entsprechende Software gesteuert (in unserem Fall CCDSOFT Version 5 von SBIGSB), ein schwarz-weiß-Bild eines Himmelsausschnittes liefern. Die Kamera arbeitet mittels eines Chips, der Photonen registriert, und pro 2,3 Photonen einen Count zur Darstellung liefert (persönliche Mitteilung Dr. Jens Bicker, Universitätssternwarte Göttingen). Diese Einheiten, genannt Counts, werden zusammen auf dem Monitor als ein Bild angezeigt.

Durchführung

Zum Beobachten muss man erst einmal das Teleskop auf das gewünschte Objekt richten. Da dieses in unserem Fall jedoch lichtschwach und schwer zu finden ist, nutzt man die Nachführung des Teleskops. Diese arbeitet mit den Himmelskoordinaten Rektaszension und Deklination (Rektaszension und Deklination bilden das äquatoriale Koordinatensystem, das unabhängig ist von der Zeit und dem Beobachtungsort. Die Bezugsfläche ist die Äquatorebene der Himmelsphäre, Bezugspunkt der Frühlingspunkt/Frühlingsäquinoktium. Die Rektaszension wird vom Frühlingsäquinoktium aus in östlicher Richtung gemessen und in Stunden angegeben. Die Deklination wird in positiven

und negativen Gradzahlen angegeben, je nachdem, ob sich ein Körper nördlich oder südlich des Himmelsäquators befindet). Sie muss jedoch vor jedem Benutzen neu geeicht werden. Dazu richtet man das Teleskop auf ein Objekt (zum Beispiel auf einen hellen Stern), von dem die Nachführung die Koordinaten kennt und gibt ein, auf welches Objekt das Teleskop gerichtet ist. Danach kann man die Koordinaten des gewünschten Zielobjektes eingeben und das Teleskop wird auf dieses ausgerichtet. Als nächstes muss man die Kamera an das Teleskop montieren, mit dem Computer verbinden und fokussieren. Dies geschieht mittels der Kamera-Software und dem Fokussierungs-Stellrad des Teleskops. Auf den ersten Aufnahmen erkennt man, ob der Fokus gut oder verbesserungswürdig ist. Ist dies der Fall, muss man solange abwechselnd fokussieren und belichten, bis das Bild eine akzeptable Schärfe aufweist. Dann ist es ratsam, sich, einmal einen guten Fokus gefunden, eine Markierung an das Stellrad zu machen, um sich beim nächsten Beobachten die Arbeit zu erleichtern. Gegebenenfalls muss man nach dem Fokussieren noch einmal die Teleskopstellung verändern, da diese beim Arbeiten an der Montierung verwackelt sein kann. Wir haben vor Beginn der Arbeit noch nie astronomische Beobachtungen durchgeführt und mussten uns entsprechend erst in die Handhabung und Bedienung einarbeiten.

Schwierigkeiten beim Aufnehmen

Die größte Schwierigkeit beim Arbeiten mit CCD-Kamera und Teleskop ist das Wiedererkennen eines Himmelsausschnittes. Die beobachteten Objekte sind alle sehr lichtschwach und in einer Umgebung mit vielen anderen lichtschwachen Sternen. Man muss also einige Erfahrung sammeln, bis man einen gewünschten Himmelsausschnitt spontan wiedererkennt. Erschwert wird das Ganze zudem dadurch, dass der beobachtete (und jeder andere) Himmelsausschnitt bedingt durch die Bewegung der Erde immer anders orientiert ist. Wenn man also, das Teleskop einmal in die richtige Position gebracht, durch den Sucher schaut, ist derselbe Stern nicht immer an derselben Stelle bezogen auf das Fadenkreuz des Suchers!

Eine weitere Schwierigkeit ist das Fokussieren, das vor jedem Arbeiten mit der Kamera zweimal geschehen muss: Das erste Mal zum Aufsuchen eines Eichobjektes und zur Kontrolle, ob das Teleskop sich dann richtig auf den zu beobachtenden Himmelsausschnitt ausgerichtet hat (die Nachführung arbeitet gerade in Polrichtung äußerst ungenau), und beim zweiten Mal zum Fokussieren der Kamera. Der Fokus ist abhängig vom verwendeten Okular und der Kamera, denn diese müssen auf den Brennpunkt des Teleskops fokussiert werden. Es verlangt also einiges an Geduld, bis man mit dem eigentlichen Arbeiten anfangen kann.

2.2. Auswertung eigener Daten

Hilfsmittel

Zum Auswerten der eigenen Daten, die im Fit-Format vorliegen, nutzen wir das Programm Astroart ⁽¹⁾. Dieses Astronomieprogramm ist zum Bearbeiten von Himmelsaufnahmen entwickelt worden. Nützlich für unsere Auswertung ist vor allem das Menü „Bildstatistik“, das Informationen zu einem Bild oder einem Bildausschnitt liefert. Besonders „Pixel“, „Background“ und „Summe“ sind in diesem Menü für unsere Auswertung interessant. Sie geben Aufschluss über die Größe des Bildes oder eines markierten Ausschnitts, den kalkulierten Hintergrund des Gesamtbildes und die gezählten Counts im Gesamtbild oder einem markierten Ausschnitt.

Durchführung

Vor dem eigentlichen Auswerten der Daten müssen wir dafür sorgen, dass der durch das Rauschen beim Auslesen und durch die Temperatur entstandene Hintergrund entfernt wird. Dazu nutzt man sogenannte „Dark-Frames“, Bilder, die bei geschlossenem Shutter, aber derselben Belichtungszeit und Temperatur wie das eigentliche Bild entstanden sind. Durch diese wird das auszuwertende Bild dividiert. Was jetzt noch zu sehen ist, ist ein Bild mit einem gleichmäßig geschwärzten Hintergrund (bei diesen ersten Photometriearbeiten haben wir Flatfield- und Bias- Bilder noch nicht berücksichtigt). Dann muss man schauen, ob das Objekt, dessen Helligkeit man zu ermitteln sucht, auf allen Bildern zu sehen ist (durch den Abzug von Temperatur- und Ausleserauschen des Hintergrundes kann jetzt ein Objekt zu erkennen sein, dass vorher nicht zu sehen war). Als nächstes sucht man die Bilder, die beim selben Binning (das Binning gibt an, wie viele Pixel zu einem Pixel zusammengefasst werden, das ist besonders beim Fokussieren wichtig, bei dem man möglichst schnell viele Bilder machen muss. Denn wenn die Binningrate hoch ist, kann das Bild aufgrund weniger Pixel schneller ausgelesen werden), selber Belichtungszeit und selbem Filter entstanden sind, denn nur solche kann man (erst einmal) vergleichen. Sie werden dann zusammen ausgewertet. Dazu markiert man ein Objekt mit einem Kasten (dieser muss so groß sein, dass er dasselbe Objekt auf allen Aufnahmen umschließt). Im Menü „Bildstatistik“ bekommen wir einige Informationen über diesen Kasten. Unter anderem wie groß er ist, denn das ist für ein einheitliches Auswerten nützlich, der Kasten sollte für dasselbe Objekt auf allen Bildern gleich groß sein. Des Weiteren findet man in diesem Menü die Anzahl der Counts in dem markierten Ausschnitt. Von dieser Zahl subtrahieren wir das Produkt aus der Größe des Kastens (in Pixeln) und den kalkulierten Hintergrundcounts pro Pixel. Diese Information liefert uns ebenfalls das Menü „Bildstatistik“, allerdings nur, wenn man keinen Ausschnitt markiert. Man findet diese Information jedoch auch direkt unter jedem Bild in einer Informationsleiste.

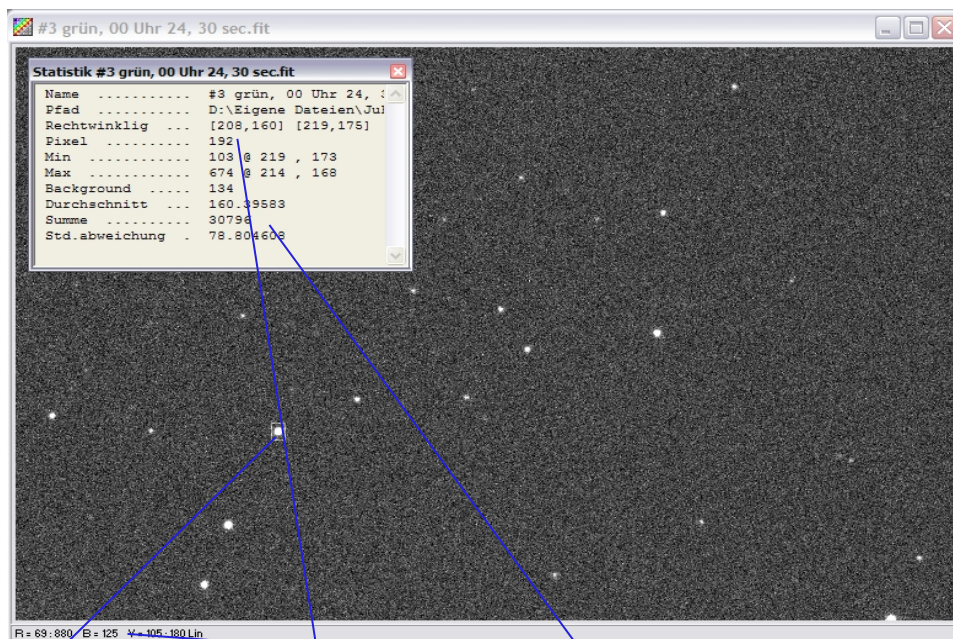


Abbildung entnommen aus *Astroart 3.0* ⁽¹⁾

Markiertes Objekt

Größe der Markierung

Gesamtcounts in der
Markierung

Hintergrund des
Gesamtbildes

Dann haben wir die absolute Größe eines Objektes in Counts. Da diese jedoch abhängig ist von der aktuellen Verstärkung, der Zenitdistanz und der Bewölkung müssen wir Verhältnisse vom aktiven galaktischen Kern zu einem Objekt bilden, von dem wir glauben, dass es eine konstante Helligkeit hat um die Zahlen vergleichen zu können. Wir nutzen dazu die Umgebungssterne der aktiven galaktischen Kerne auf einem Bild (verwendete Referenzsterne, siehe Abbildung).

Die verwendeten Referenzsterne

Wir zählen also dieselben Referenzsterne von jedem Bild nach demselben Muster wie oben beschrieben aus (Counts – Pixel · Hintergrundcounts). Dann bilden wir das Verhältnis $Counts_{AGN}/Counts_{Referenzstern}$. Diese Verhältnisse lassen sich dann bildübergreifend vergleichen. Hierfür stellen wir sie graphisch dar, indem wir die relative Intensität gegen die Zeit (wir suchen ja nach Helligkeitsunterschieden über einen Zeitraum) auftragen. Theoretisch könnten mit derselben Methode auch scheinbare Helligkeiten angegeben werden, doch die Helligkeiten des beobachteten Quasars 3C 382 lässt sich nur im Verhältnis zu den umgebenden Referenzobjekten angeben, da die Helligkeiten der Referenzobjekte für verschiedene Spektralbereiche unzureichend dokumentiert sind. So standen uns für 3 der 4 Referenzobjekte nur Helligkeitsangaben aus dem Guide Star Catalogue (GSC) zur Verfügung. Dieser photometrische Katalog, der in Zusammenarbeit mit dem Hubble-Space-Teleskop entstand, liefert allerdings nur Helligkeiten für den visuellen, also grünen Spektralbereich ⁽²⁾. Da unsere Aufnahmen jedoch mit verschiedenen Filtern entstanden, haben wir aufgrund fehlender Referenz-Helligkeiten keine Möglichkeit, Angaben zur Helligkeit für diese Spektralbereiche zu machen. Wir finden zwar eine Referenz-Helligkeit (Referenzstern 4) im Tycho-Katalog, ein astrometrischer Katalog, doch reicht eine Angabe bei weitem nicht für eine zufriedenstellende Eichung. Auch eine Anfrage in der Galaxienforschungsgruppe der Universitätssternwarte Göttingen konnte uns nicht weiterhelfen. So sind wir zu dem Schluss gekommen, die Helligkeiten in allen beobachteten Spektralbereichen ausschließlich als Intensitätsverhältnisse zu den gewählten Referenzobjekten anzugeben. Bei Markarian 421 haben wir jedoch aufgrund einiger Helligkeitsangaben für die Referenzsterne die Möglichkeit eine scheinbare Helligkeit anzugeben. Dazu zählen wir den aktiven galaktischen Kern und die Referenzobjekte genauso wie oben beschrieben aus und zeichnen eine Eichkurve, in der wir die scheinbaren Helligkeiten der Referenzsterne gegen deren Counts auftragen. Mit Hilfe der für Markarian 421 ausgezählten Counts lesen wir dann seine scheinbare Helligkeit ab. Doch haben wir nicht viele Aufnahmen von diesem aktiven galaktischen Kern, da er, kurz nach Beginn unserer Beobachtungen im Sommer 2005, so dicht an den Horizont gewandert ist, dass wir keine verlässlichen Aufnahmen mehr machen konnten (die Streuung der Strahlung von Himmelsobjekten durch die Atmosphäre ist in Horizontnähe zu groß). Zudem sind auf den Aufnahmen nur maximal zwei Referenzobjekte. Die Auswertung dieses aktiven galaktischen Kernes ist also bei weitem nicht so aussagekräftig, wie die Angaben der Verhältnis-Helligkeiten vom aktiven Galaktischen Kernes 3C 382. Aus diesem Grund wird auch unter 2.3. Ergebnisse keine Eichkurve gezeigt.

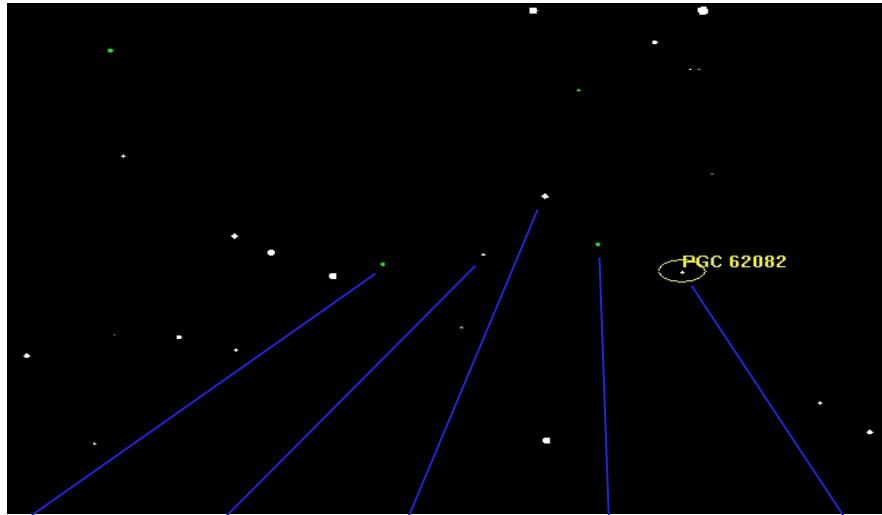


Abbildung entnommen aus Guide 8.0 ⁽³⁾

1 (2628 1545) ⁽⁴⁾ 2 (2628 1862) ⁽⁴⁾ 3 (2628 1888) ⁽⁴⁾ 4 (2628 1222) ⁽⁴⁾ 3C 382 in der Galaxie PGC 62082

2.3. Ergebnisse

Vorweg eine unserer ersten Aufnahmen von Markarian 421 in Falschfarbendarstellung (eine Falschfarbendarstellung wird verwendet, um mehr auf dem Bild erkennen zu können. Die einzelnen Farben bedeuten nur Helligkeitsabstufungen. Wir nutzen helle Farben für einen besseren Kontrast zum dunklen Hintergrund):

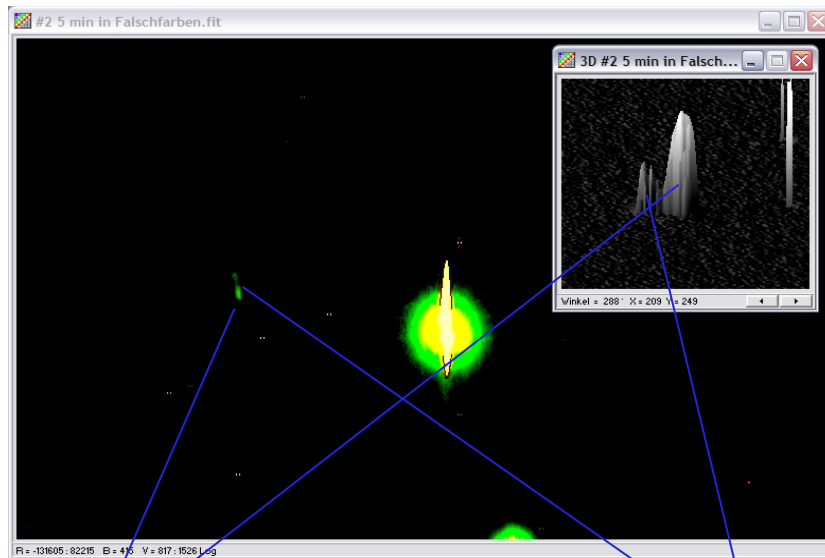


Abbildung unserer Aufnahme mit Astroart 3.0 ⁽¹⁾

Die Galaxie mit Markarian 421

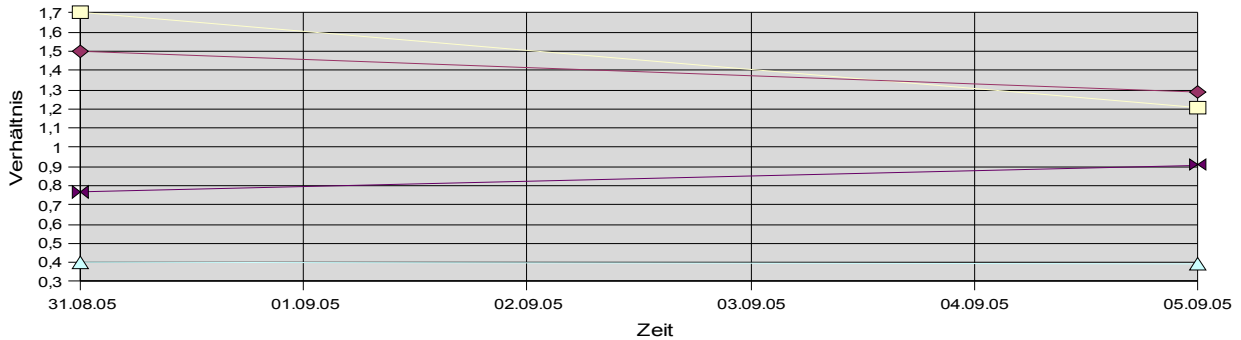
Eine Begleitgalaxie

Wie man sehr schön erkennen kann, ist es uns hier bei optimalen Bedingungen nicht nur gelungen den aktiven galaktischen Kern zu fotografieren, sondern wir konnten auch eine Begleitgalaxie auflösen. In der dreidimensionalen Darstellung (in der die Helligkeit in der dritten Dimension dargestellt ist) sieht man eindeutig zwei Erhebungen, die größere für die Galaxie mit Markarian 421 und die kleinere für eine Begleitgalaxie.

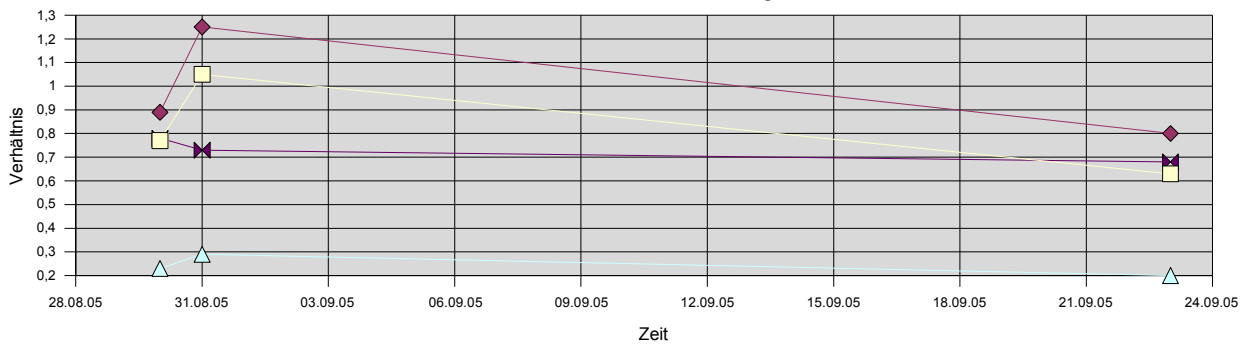
Auswertung vom aktiven galaktischen Kern 3C 382

Im Folgenden wird die graphische Darstellung unserer Auszählung gezeigt. Die Diagramme sind nach Belichtungszeit und verwendetem Filter getrennt. Die Graphen in einem Diagramm beschreiben den Helligkeitsverlauf des aktiven galaktischen Kerns 3C 382, denn wir haben das Verhältnis des aktiven galaktischen Kernes zu den vier Referenzobjekten (siehe 2.2. Auswertung) gegen die Zeit aufgetragen. Dieses Verhältnis ist abhängig von der Position des Himmelsausschnittes zum Beobachtungszeitpunkt und von der Wetterlage beim Beobachten, denn es werden nur die absoluten Counts, deren Anzahl von diesen Faktoren abhängt, des aktiven galaktischen Kernes zu den Referenzobjekten in Relation gesetzt. Aus diesem Grund unterscheiden sich die Graphen auf unterschiedlichen Diagrammen. Auch die Belichtungszeit und der verwendete Filter ist verantwortlich für diese Unterscheidung, denn der CCD-Chip arbeitet nicht ganz linear und ist in verschiedenen Spektralbereichen unterschiedlich empfindlich (genauer unter 2.4. Ergebnisdiskussion). Die Graphen auf einem Diagramm unterscheiden sich aufgrund unterschiedlicher Helligkeiten der Referenzobjekte.

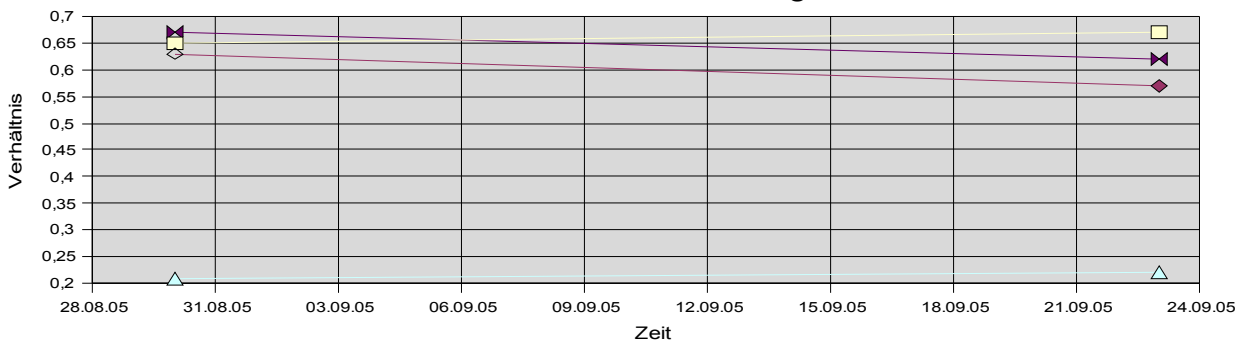
Aufnahme mit Klarfilter bei einer Belichtungszeit von 20 sec

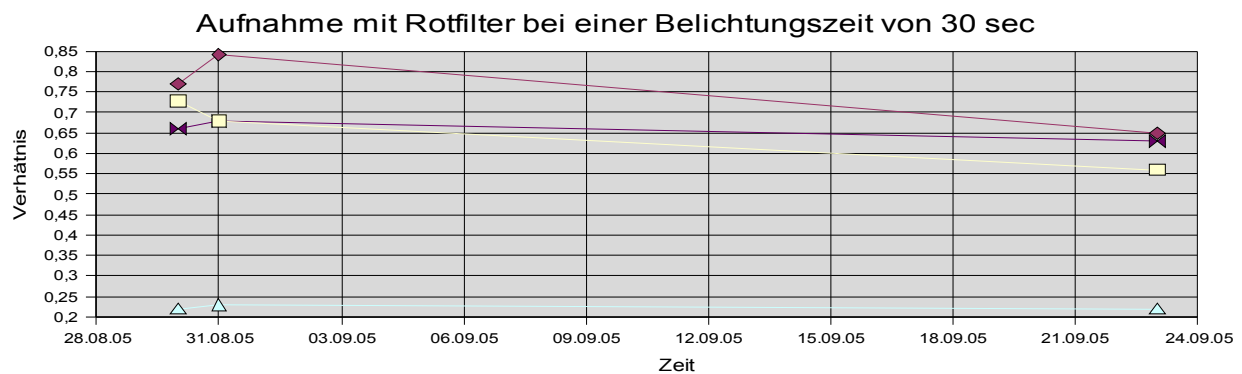
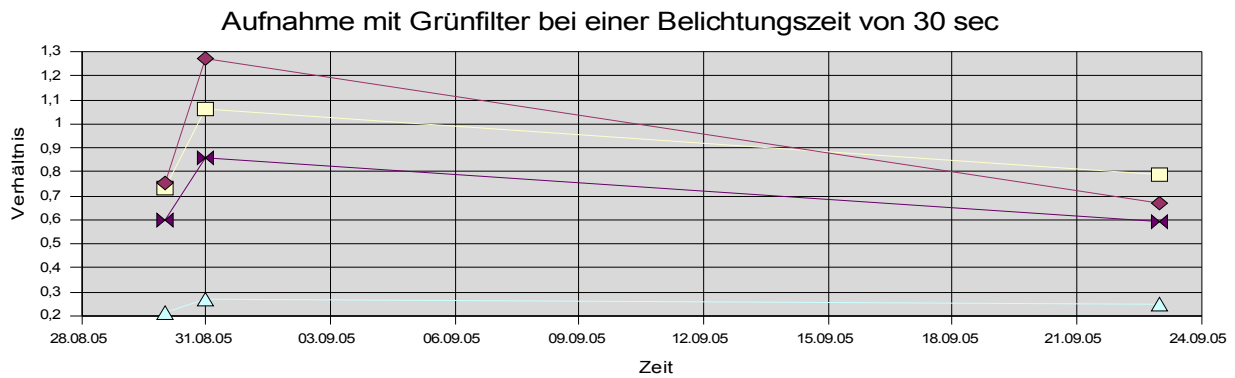


Aufnahme mit Klarfilter bei einer Belichtungszeit von 30 sec



Aufnahme mit Klarfilter bei einer Belichtungszeit von 60 sec





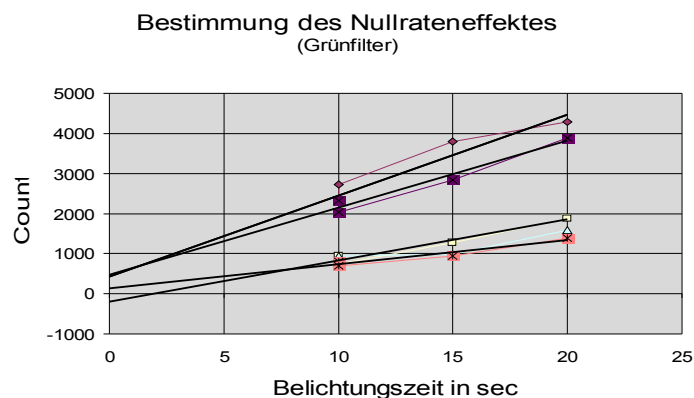
Wie man auf den meisten der Diagrammen erkennen kann, beschreiben alle Graphen einen ähnlichen Verlauf. Sie steigen vom 30.08.05 zum 31.08.05 an und fallen dann am 23.09.05 wieder ab. Der aktive galaktische Kern wird also innerhalb eines Tages heller und ist einen Monat später wieder lichtschwächer als zuvor. Da wir jedoch nur an diesen drei Tagen beobachtet haben, können wir keine Aussage darüber treffen, in welchem Maße sich die Helligkeit zwischen den einzelnen Messpunkten ändert. Aus zwei Diagrammen (im Klaren, bei Belichtungszeiten von 20 und 60 Sekunden) geht zudem hervor, dass die Helligkeit von 3C 382 zu Beginn und am Ende dieses Zeitraums gleich ist.

2.4. Ergebnisdiskussion

Um unsere Ergebnisse beurteilen zu können, müssen wir wissen, wie groß die Fehleranteile aufgrund der Empfindlichkeit der Versuchsanordnung sind. Das haben wir getrennt für verschiedene Spektralbereiche und unterschiedliche Belichtungszeiten untersucht:

Untersuchung der Empfindlichkeit der Versuchsanordnung bei verschiedenen Belichtungszeiten

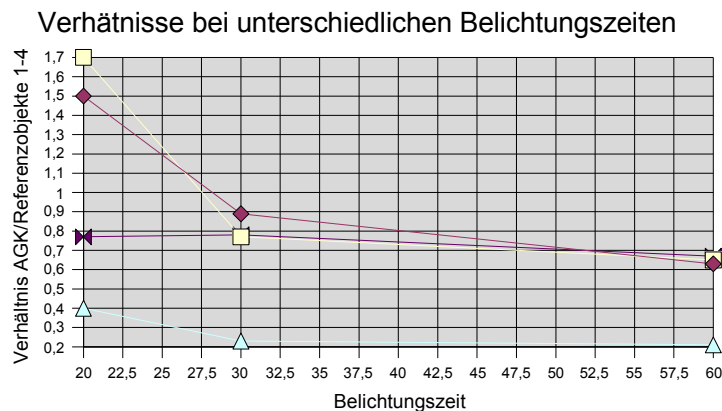
Aufgrund unterschiedlicher Ergebnisse bei der Auswertung von Bildern in kurzen und langen Belichtungszeiten haben wir untersucht, ob die Ursache für diese Phänomene an der Versuchsanordnung oder am Auswerteverfahren liegt. Um beurteilen zu können, wie die Versuchsanordnung bei unterschiedlichen Belichtungszeiten reagiert, haben wir einmal die absoluten Counts verschiedener Objekte gegen die Belichtungszeit aufgetragen (siehe Abbildung).



Wie man auf den gezeigten Graphen erkennen kann, verlaufen nicht alle Geraden durch den Ursprung. Dies merkt man besonders bei hellen Objekten. Das liegt daran, dass der Shutter öffnet, -zwar so kurz wie möglich-, aber er öffnet. Folglich werden auch Photonen registriert und Counts angezeigt. Dieser Nullrateneffekt wirkt sich prozentual um so mehr aus, je kürzer die Belichtungszeit und heller das Objekt ist. Beides kann man an den Graphen sehr schön erkennen: Bei den helleren Objekten (die mit mehr Counts) kommen bei einer Belichtungszeit von angegebenen null Sekunden mehr Photonen an. Man erkennt mehr absolute Counts. Relativ gesehen bleibt der Anteil des Nullrateneffekts bei den unterschiedlichen Objekten bei gleicher Belichtungszeit aber immer gleich, bei kurzen Belichtungszeiten ist er bei allen Objekten prozentual sehr hoch, bei angegebenen null Sekunden 100%. Das heißt, dass der Anteil des Nullrateneffektes bei einer Belichtungszeit immer gleich ist, aber bei länger werdender Belichtungszeit abnimmt. Daraus folgt, dass wir unterschiedliche Belichtungszeiten nicht vergleichen können, da wir einen unterschiedlich hohen Nullratenanteil haben. Ein ähnliches Ergebnis erhalten wir auch, wenn wir uns die Kurve anschauen, bei denen das Verhältnis *AGK/Referenzsterne* gegen die Belichtungszeit aufgetragen wurde (siehe Abbildung). Der Graph nähert sich nach einem Abfall einem konstanten Wert. Das Verhältnis nimmt bei kleinen Zeiten mit wachsender Belichtungszeit ab. Das liegt daran, dass sich bei kurzen Belichtungszeiten die Fehler besonders stark auswirken, aber ab einer bestimmten Zeit die Werte etwa konstant sind. Da wir bei einigen Belichtungszeiten mehrere Aufnahmen gemacht haben, können wir zusätzlich eine Fehlerabschätzung machen. So liegen uns im roten Spektralbereich bei einer Belichtungszeit von zehn Sekunden zwei Aufnahmen vom 05.09.05 vor. Der Fehleranteil ist in der folgenden Tabelle aufgelistet.

	<i>AGK/Referenzstern 1</i>	<i>AGK/Referenzstern 2</i>	<i>AGK/Referenzstern 3</i>	<i>AGK/Referenzstern 4</i>
<i>Fehlerabschätzung</i>	$1,04 \pm 0,03$	$0,91 \pm 0,16$	$0,41 \pm 0,08$	$1,09 \pm 0,18$

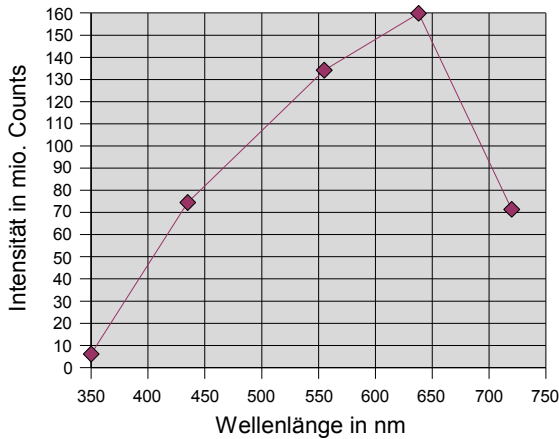
Wir kalkulieren damit einen annehmbaren Fehleranteil von etwa 10%.



Untersuchung der Empfindlichkeit der Versuchsanordnung für verschiedene Wellenlängen

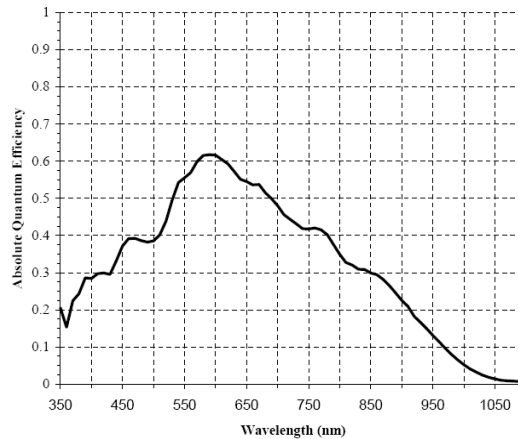
Da wir bei der Auswertung unserer Daten festgestellt haben, dass der aktive galaktische Kern 3C 382 auf Bildern im blauen Spektralbereich bei keiner Belichtungszeit zu erkennen ist, haben wir untersucht, ob die Ursache für dieses Phänomen an der Versuchsanordnung oder am Objekt selbst liegt. Um beurteilen zu können, wie empfindlich die Versuchsanordnung für verschiedene Wellenlängen ist, haben wir ein helles Objekt, Wega, mit all unseren Filtern unterschiedlich lang belichtet. Diese Aufnahmen haben wir genauso wie alle anderen Bilder ausgewertet und graphisch dargestellt (siehe Abbildung, 10 Sekunden belichtet). Seit Max Planck wissen wir, dass, wenn wir die Intensität gegen die Wellenlänge auftragen, eine Plancksche Kurve zu sehen sein muss. Ähnliches kann man bei unseren Graphen bei allen Belichtungszeiten erkennen, doch wenn wir nachrechnen, stellen wir fest, dass die Kurven relativ zu der für Wega berechneten Kurve verschoben sind (mit Planck'schem Gesetz für die Oberfläche von Wega errechnete Kurve, siehe Abbildung, mit Wien'schem Gesetz errechnete Wellenlänge des Maximums bei 289 nm). Das liegt daran, dass unsere aus Aufnahmen erstellte Kurve, eine Überlagerung aus der eigentlichen Planck'schen Kurve für Wega und der Empfindlichkeitskurve der Versuchsanordnung ist. Da die Empfindlichkeit der Versuchsanordnung sich jedoch stärker auf die Aufnahmen auswirkt als die eigentliche Energieverteilung der Wega, ist die erstellte Kurve praktisch identisch mit der Empfindlichkeitskurve der Versuchsanordnung. Dies erkennen wir auch, wenn wir uns eine Empfindlichkeitskurve speziell für den von uns verwendeten CCD-Chip anschauen (vergleiche Abbildung): Die Kurven sind fast identisch. Wir erkennen, dass der CCD-Chip besonders empfindlich im roten und infraroten Spektralbereich ist. Dies erklärt, warum auf unseren Bildern im blauen Spektralbereich die aktiven galaktischen Kerne selbst bei langen Belichtungszeiten nicht zu sehen sind, obwohl sie gerade Strahlung in diesem Spektralbereich emittieren ⁽⁵⁾.

Wegaaufnahmen mit Filtern



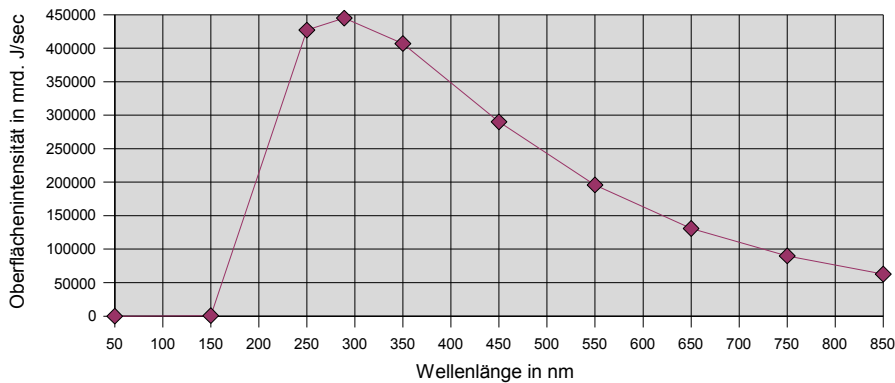
Beobachtete Intensitätsverteilung bei Wega

KAF-0401E



Empfindlichkeitsverteilung des CCD Chips

für Wega berechnete Energieverteilung



Berechnete Intensitätsverteilung für $T = 10000\text{ K}$

3. Beschaffung fremder Daten

Nachdem wir nun eigene Daten hatten, war es uns wichtig, sie auch mit anderen Daten vergleichen zu können und auch die Daten anderer Amateurastronomen in unser Ergebnis mit einzubeziehen.

Die Suche begannen wir im Internet, da wir durch Zeitschriften wie „Sterne und Weltraum“ bereits einige Links zu bekannten Seiten mit großen Archiven hatten. Die Suche gestaltete sich mehr als nur schwierig, da die meisten Archive entweder unvollständig, Passwort geschützt oder umständlich aufgebaut waren. Auch mehrere Versuche, Kontakt mit Archivleitern und anderen Astronomen zu bekommen, scheiterten, weil diese nicht auf unsere Anfragen antworteten. Schließlich fanden wir auf der Seite <http://www.aavso.org/cgi-bin/getit.pl> www.aavso.org einen Link. Durch diesen bekamen wir eine E-Mail, in deren Anhang wir eine mehr als 120 Seiten lange Tabelle mit Helligkeiten über Markarian 421, ein Quasar im „Großen Wagen“, der letzten 25 Jahre in verschiedenen Frequenzen fanden. Diese Tabelle war leider nicht so einfach in ein Programm einzulesen und auszuwerten und so mussten wir erst einmal ein Programm zum Einlesen der Werte und dann zum Auswerten schreiben. Da wir noch nie mit „Delphi“ oder anderen Programmiersprachen gearbeitet hatten, mussten wir uns erstmal die Grundbegriffe beibringen und haben uns beim Erstellen des Programms in Syntaxfragen auch von Delphiexperten in unserem Umfeld helfen lassen.

4. Auswertung der Daten

Ziel des Programms war, Perioden in den Beobachtungen zu finden. Dabei traten folgende Probleme auf:

- Die Daten haben Beobachtungslücken.
- Verschiedene Frequenzen liegen in einer Datei vor.

Dabei mussten wir auch darauf achten, dass es bei Beobachtungen in der Natur immer Abweichungen und Schwankungen gibt und diese vielleicht noch mit anderen Perioden überlagert sein könnten. Also musste unser Verfahren nur angeben, wie gut eine Periode auf die Schwankungen unseres Quasars passte. Wir hatten erst die Idee,

mit Schablonen von verschiedenen Perioden, die wir über die Helligkeitskurven des Quasars legen, die Perioden zu ermitteln, doch wäre das erstens wegen der Vielzahl von möglichen Perioden unmöglich und zweitens zu ungenau gewesen. So suchten wir in der Literatur Verfahren zur Periodensuche und fanden die Fouriertransformation und die Strukturfunktionen.

Fouriertransformation

Die Fouriertransformation kann eine Frequenz und ihre Oberschwingungen mathematisch berechnen. Durch Zuordnung einer Funktion zu ihrer Fouriertransformierten kann man Perioden in der Funktion selber finden, die in viele kleine Oberschwingungen aufgeteilt wird. Das funktioniert aber nur bei vollständig gegebenen Funktionen und somit nicht bei unseren Datensätzen, da bereits eine kleine Lücke in den Daten völlig neue Oberschwingungen erzeugt. Somit war die Fouriertransformation für uns nicht sinnvoll.

Strukturfunktion

Bei der Strukturfunktion geht es darum, bei bestimmten Zeiträumen festzustellen, ob sie eine Periodenlänge angeben. Man nimmt also den ersten Punkt der Funktion und geht die Länge der angenommenen Periode auf der X-Achse weiter und nimmt die Differenz der Werte auf der Y-Achse von diesen beiden Stellen. Wenn man genau die zu suchende Periode trifft, dann ist diese Differenz 0. Das macht man jetzt mit jedem Punkt im Graphen, nimmt den Betrag und addiert alle Differenzen zusammen und teilt diese durch ihre Anzahl, um eine Durchschnittsdifferenz zu bekommen. Je kleiner diese Differenzen, desto näher ist man der wirklichen Periode. Im Programm haben wir unsere angenommene Periode τ genannt. So funktioniert die Auswertung aber nur, wenn man vom Idealfall ausgeht und alle Daten immer genau den gleichen Abstand voneinander haben. Doch wenn man zu einem Zeitpunkt eine Häufung von Daten oder Beobachtungslücken findet, wird es problematisch, da es sein kann, dass an Stellen nach denen man sucht keine weiteren Daten vorliegen. Die lückenhaften Daten waren das größte Problem. Wir mussten uns eine Möglichkeit freihalten, alle Daten zu verwenden, wenn die X-Werte nicht genau aufeinander passen und Kommastellen haben. Um das Problem zu lösen, haben wir eine Umgebungsspanne mit eingebaut, welche auch zulässt, dass Werte verwendet werden können, die innerhalb eines Fensters um den Wert der Umgebungsspanne von dem angenommenen Wert entfernt liegen. Bei einer Umgebungsspanne von 10 Tagen schaut das Programm um bis zu 10 Tage, ob es Werte gibt und nimmt den nächstgelegenen Wert. Wenn keine Werte existieren, wird zur Durchschnittsdifferenz einfach 0 addiert und die Anzahl der zu addierenden Werte wird nicht erhöht, wodurch diese Differenz letztendlich herausfällt. Wenn ein Wert existiert, folgt das Programm seinem normalen Ablauf. Der Wert der Umgebungsspanne sollte so gewählt werden, dass zu große Sprünge herausfallen. Das wäre zum Beispiel der Fall, wenn man jeden Tag einen Wert hat, aber an einer Stelle die Daten eine Lücke von einem Monat aufweisen. Dann würde man ansonsten diesen Wert mit einbeziehen, obwohl er deutlich über der vom Anwender gewünschten Toleranzgrenze liegt. Das Programm liest die Daten erst ein, bestimmt für jedes τ eine Durchschnittsdifferenz und gibt diese als Tabelle in einer .txt-Datei aus. Diese rufen wir mit Excel auf und lassen uns den Graphen der mittleren Abweichungen gegen τ angeben. Diesen Graphen haben wir Periodensuchkurve getauft.

5. Bewerten der Kurven

Erwartung

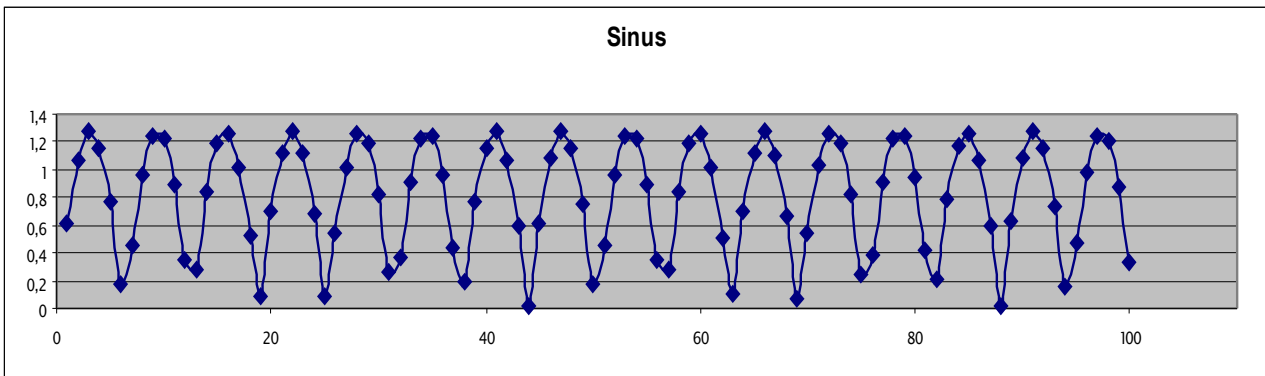
Es ist zu erwarten, dass wir in der Periodensuchkurve Hochpunkte und Tiefpunkte finden. Stark ausgeprägte Tiefpunkte würden eine Periode angeben und stark ausgeprägte Hochpunkte halbe Perioden, da dort die Differenz der Werte am größten ist. Zu Beginn des Graphen müsste dieser ansteigen, da nahe bei einander liegende Werte immer auch eine geringe Differenz zu einander haben. Wir fangen bei allen Periodensuchkurven bei einem τ von 1 Tag an und gehen bis zu einem Wert, bei dem uns die Periode interessiert, wie sie vermuten oder die Werte noch genau genug sind um sie angeben zu können. Denn bei Beobachtungen innerhalb von 200 Tagen lohnt es sich nicht nach Perioden von 300 Tagen zu schauen. Da wir aber nicht sicher sind, wie man Perioden in der Periodensuchkurve erkennt, haben wir einige Tests durchgeführt, die uns praktisch darüber aufklären sollten.

5.1. Tests

Test 1. Sinuskurve

Wir haben uns die Sinuswerte zu $x=0$ bis $x=3000$ von Excel angeben lassen und diese in unser Programm eingelesen, da wir bei der Sinuskurve ihre Periode (2π) genau kennen.

Wir sehen in der Periodensuchkurve einen Hochpunkt bei einem τ von etwa 3π und einen Tiefpunkt bei 2π . Außerdem sind jeweils bei den doppelten τ s die gleichen Durchschnittsdifferenzen zu sehen. Das liegt daran, dass bei doppelter Periode natürlich auch dasselbe wie für 2π gilt. Bei drei und vierfacher Periode ist dasselbe zu beobachten.

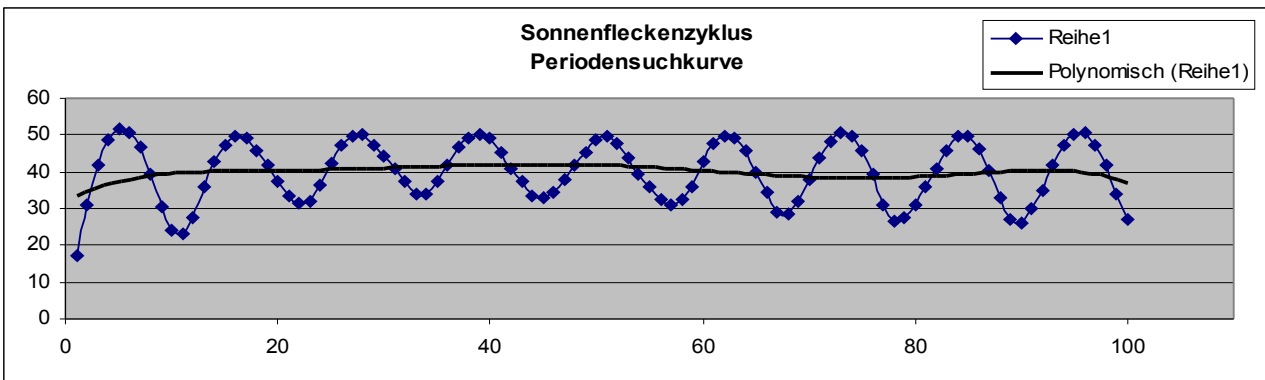


Aufgetragen sind die Werte der Periodensuchfunktion gegen Tau

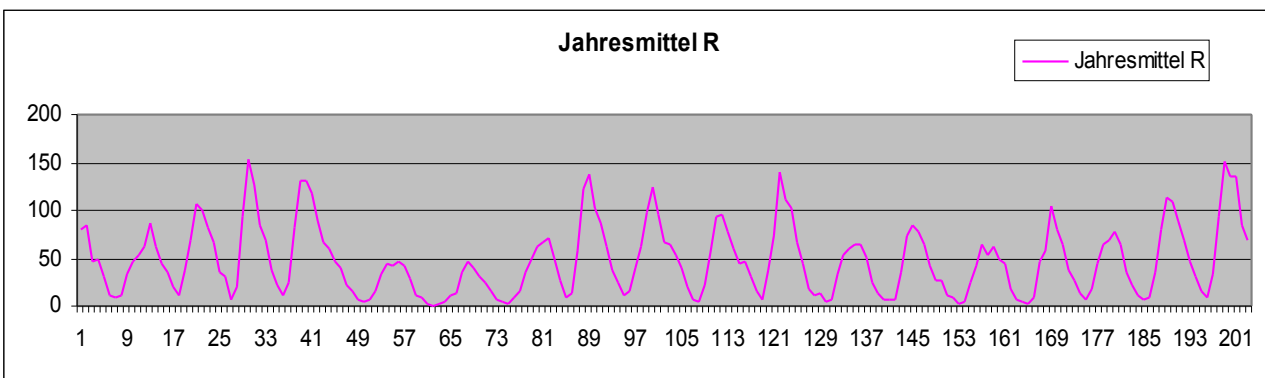
Test 2. Sonnenfleckenzyklen

Die Sonne hat auf ihrer Oberfläche dunkle, kältere Stellen, die man als Sonnenflecken bezeichnet. Die Menge der Sonnenflecken wird mit Hilfe einer Sonnenfleckenrelativzahl angegeben. Diese setzt sich aus der Anzahl der Fleckengruppen (g) und der Anzahl der Einzelflecken (f) zusammen. Die Formel ist: $R=10*g+f$. Es ist bekannt, dass die Sonnenfleckenrelativzahl eine Periode von etwa 11 Jahren besitzt, sie kann aber zwischen 6 und 13 Jahren schwanken. Auch eine nicht so stark ausgeprägte 80-jährige Periode ist bekannt.

Wir haben die Sonnenfleckenrelativzahlen von 1749 bis 1951 in Jahresdurchschnittswerten ⁽⁶⁾ mit unserem Programm ausgewertet und eine Periodensuchkurve erhalten, in der der 11-jährige Zyklus sofort ins Auge sticht. Bei einem Tau von ungefähr 11 Jahren ist ein stark ausgeprägtes Minimum zu erkennen. Die daraus folgenden weiteren Tiefpunkte bei den Vielfachen von 11 sorgen dafür, dass es schwierig wird, weitere Perioden dem Graphen zu entnehmen. Deswegen haben wir uns eine in Excel mögliche Trendlinie angegeben lassen, welche ein Polynom 6. Grades ist und die 11-jährigen Schwingungen herausfiltert. Nun erkennt man bei etwa 80 Jahren ein Minimum im Graphen. Somit können wir davon ausgehen, dass es uns auch in anderen Fällen möglich sein wird, überlagerte Perioden zu erkennen. Es ist auch festzustellen, dass das Verfahren geeignet ist um Variationen mit nicht fester, aber um einen Wert schwankende Periode zu erkennen.



Aufgetragen sind die Werte der Periodensuchfunktion der Sonnenfleckenrelativzahl gegen Tau in Jahren



Aufgetragen sind die Jahresmittel der Sonnenfleckenrelativzahlen gegen die Jahre seit 1749

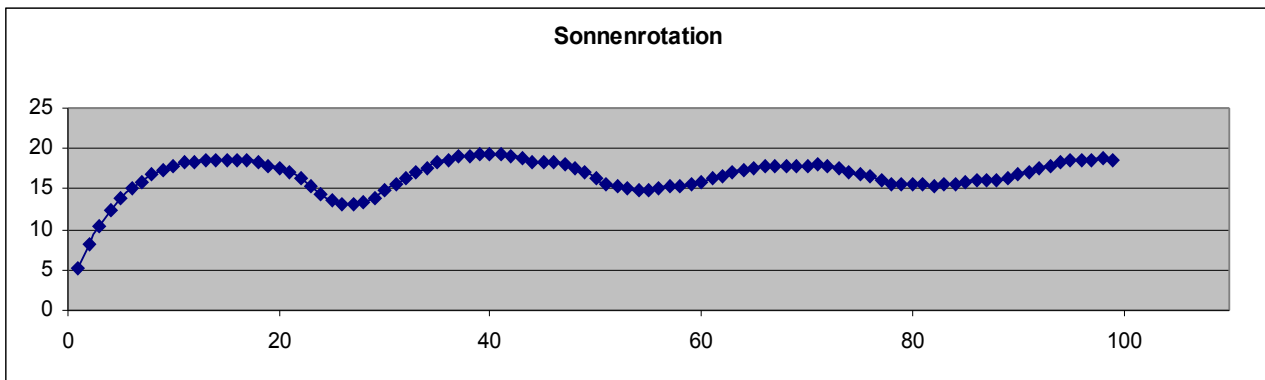
5.2. Anwendungen

Aufgrund sehr guter Ergebnisse bezüglich nur schwach ausgeprägter Perioden haben wir uns entschlossen weitere Anwendungen mit unserem Periodensuchverfahren zu untersuchen.

Anwendung 1. Sonnenrotation

Nun sollte auch bei einer rotierenden Sonne eine Periode der Sonnenfleckenrelativzahlen auftreten, da die Flecken nicht immer völlig gleich über die Sonne verteilt sind und es vorkommen kann, dass manchmal ein Aktivitätsgebiet mit vielen Sonnenflecken nach einer Umdrehung von der Erde aus wieder sichtbar ist und zu einem erneuten Anstieg der Sonnenfleckenrelativzahl führt.

Da die Sonne etwa alle 25 Tage einmal rotiert und die Erde sich in die gleiche Richtung der Rotation dreht, was letztendlich 27 Tage ergibt, mussten wir Tageswerte der Sonnenfleckenrelativzahl nutzen. Wir verwendeten Werte aus einer Zeit einer starken Sonnenfleckenrelativzahl und nutzten unser Programm um eine Periodensuchkurve zu erstellen. Man kann in dieser eindeutig ein Minimum bei 27 Tagen erkennen, was beweist, dass unser Programm in der Lage ist auch nicht regelmäßig auftretende periodische Variationen zu finden.

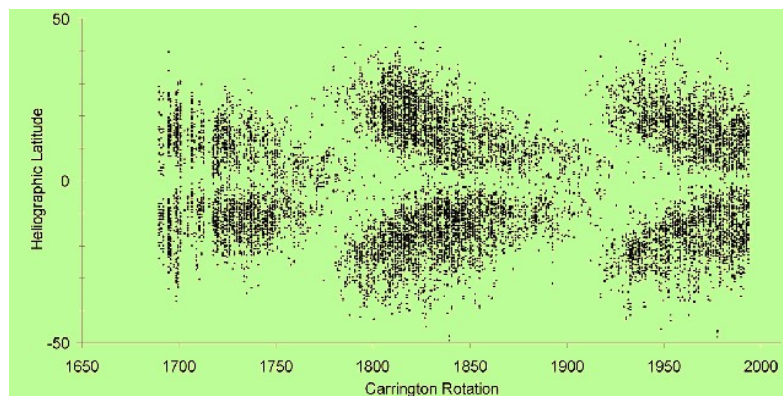


Aufgetragen sind die Werte der Periodensuchfunktion der Sonnenfleckenrelativzahlen gegen Tau in Tagen

Anwendung 1.1. Differentielle Sonnenrotation

Die Sonne dreht sich an verschiedenen Stellen der Oberfläche nicht immer mit der gleichen Geschwindigkeit. Am Pol dreht sie sich deutlich langsamer als am Äquator. Sonnenflecken entstehen am Anfang des 11-Jahres-Zyklus bei etwa 40° Breite. Mit der Zeit wandern sie Richtung Äquator, wo sie am Ende des Zyklus zu sehen sind. Beim Sonnenfleckenrelativzahl- Maximum sind sie bei etwa 15° heliographischer Breite zu beobachten.

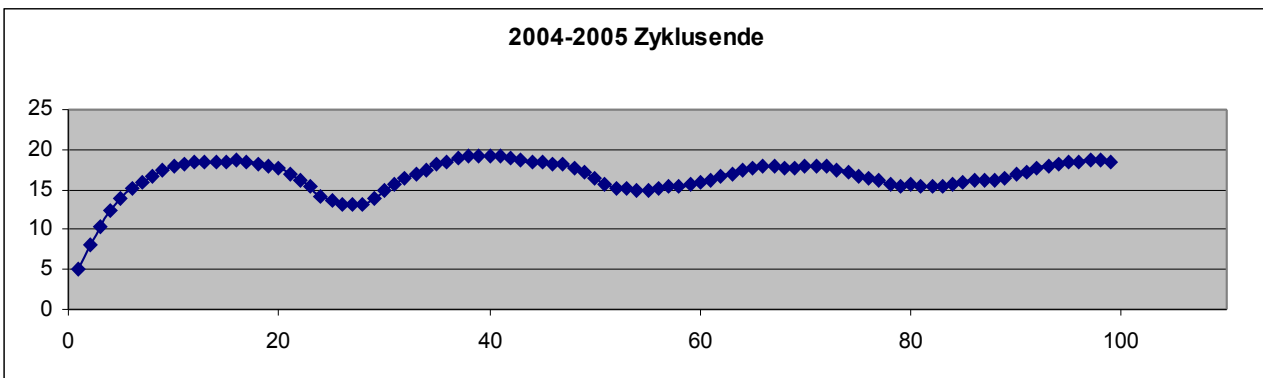
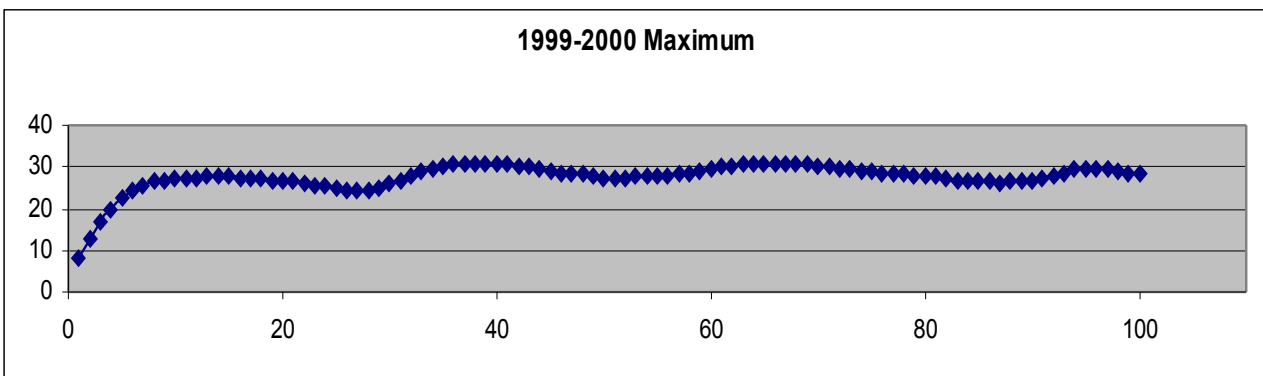
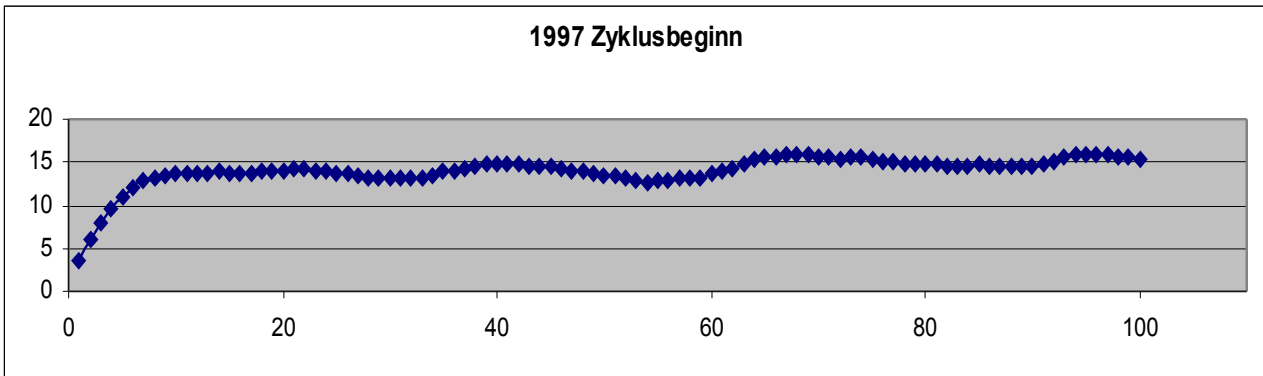
Voigt gibt dazu eine empirische Formel an: $\omega_S = 14,48 - 2,94 * \sin^2(\varphi)$. ω gibt an, wieviel ° pro Tag sich die Sonne an der heliographischen Breite φ dreht. $360^\circ/\omega$ ist die Anzahl der Tage, die eine ganze Umdrehung braucht. Doch ist hier nur die Drehung der Sonne miteinbezogen. Man muss beachten, dass wir uns um die Sonne drehen. Die Erde dreht sich **mit** der Eigenrotation der Sonne, also ist die beobachtete Winkelgeschwindigkeit $\omega_B = \omega_S - \omega_E$. Die Winkelgeschwindigkeit der Erde ist $\omega_E = 360^\circ/365 \text{ Tage} = 0,986^\circ/\text{Tag}$



Dieses Schmetterlingsdiagramm gibt die Bewegung der Sonnenflecken zum Äquator während des Zyklus an.

Durch die Berechnung haben wir festgestellt, dass bei 40° Breite eine Umdrehung von 30 Tagen, bei 15° Tagen eine Umdrehung von 27 Tagen und bei 5° eine Umdrehung von 26 Tagen vorliegt. Sucht man jetzt per Periodensuchkurve Perioden, zu den verschiedenen Zeiten, dann sollten unterschiedliche Perioden herauskommen.

In der Tat sieht man bei der Periodensuchkurve, welche sich auf den Anfang des 11-jährigen Zyklus beschränkt (1997/98), dass die Periode bei etwa 31 Tagen liegt. Die Kurve ist nicht sehr ausgeprägt, da zu Beginn des Sonnenfleckenzyklus nur wenige Sonnenflecken auf der Oberfläche sind und diese ungleich verteilt sein müssen, damit es zu einer Variation mit der Rotation kommen kann.

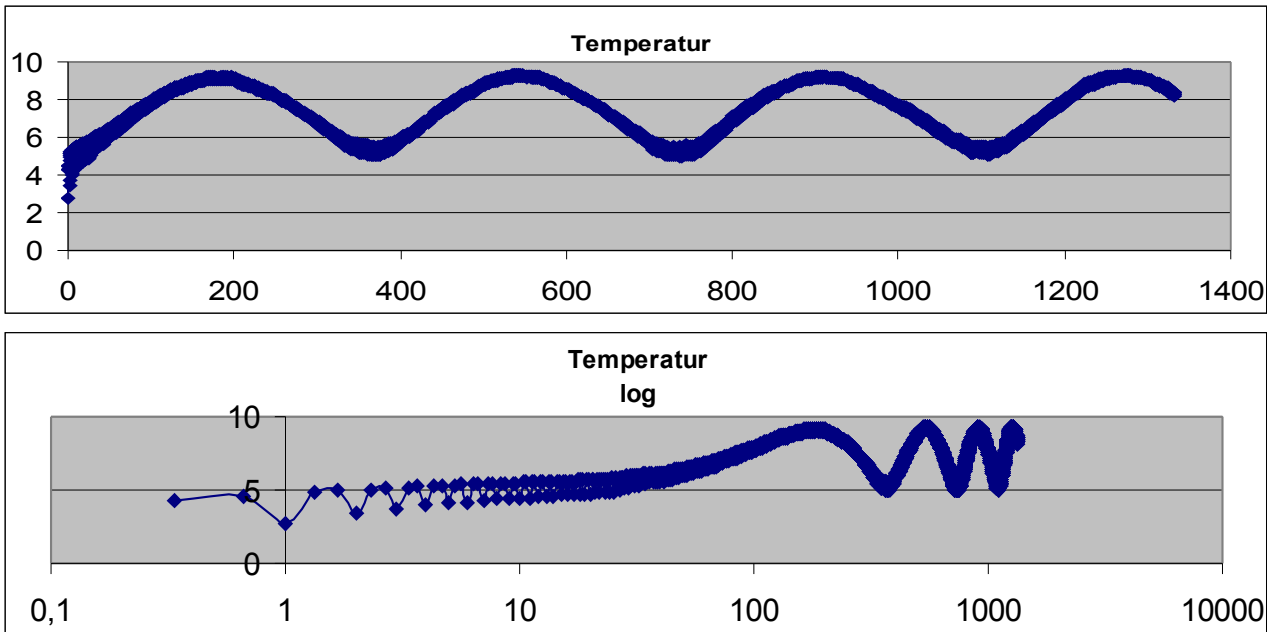


Aufgetragen sind jeweils die Werte der Periodensuchfunktion der Sonnenfleckenrelativzahlen gegen Tau in Tagen in verschiedenen Phasen des letzten Sonnenfleckenzyklus

2000/2001 ist das Sonnenfleckenmaximum und so kommt es auch öfters vor, dass man die Perioden beobachtet. Diese liegen bei 27 Tagen. Bei der Periodensuchkurve vom Ende des Zyklus sieht man, dass bei etwa 26 Tagen Perioden vorliegen. Damit ist bewiesen, dass die Sonne sich an unterschiedlichen Stellen unterschiedlich schnell dreht, und das hat unser Programm herausgefunden, obwohl die Variationen nicht immer da sein müssen, nämlich nur, wenn auf der einen Seite der Sonne mehr Sonnenflecken sind als auf der anderen.

Anwendung 2. Temperatur

Wir haben uns nach anderen möglichen Anwendungen für unser Verfahren umgesehen und sind auf Wetterdaten des Gymnasium Ohmoor / Hamburg - Wetterstation gestoßen. Wir benutzten Werte von 1998-2005, welche dreimal pro Tag gemessen wurden. Die Temperaturwerte ergeben eine Tages-, sowie eine Jahresperiode. Das war zu erwarten.

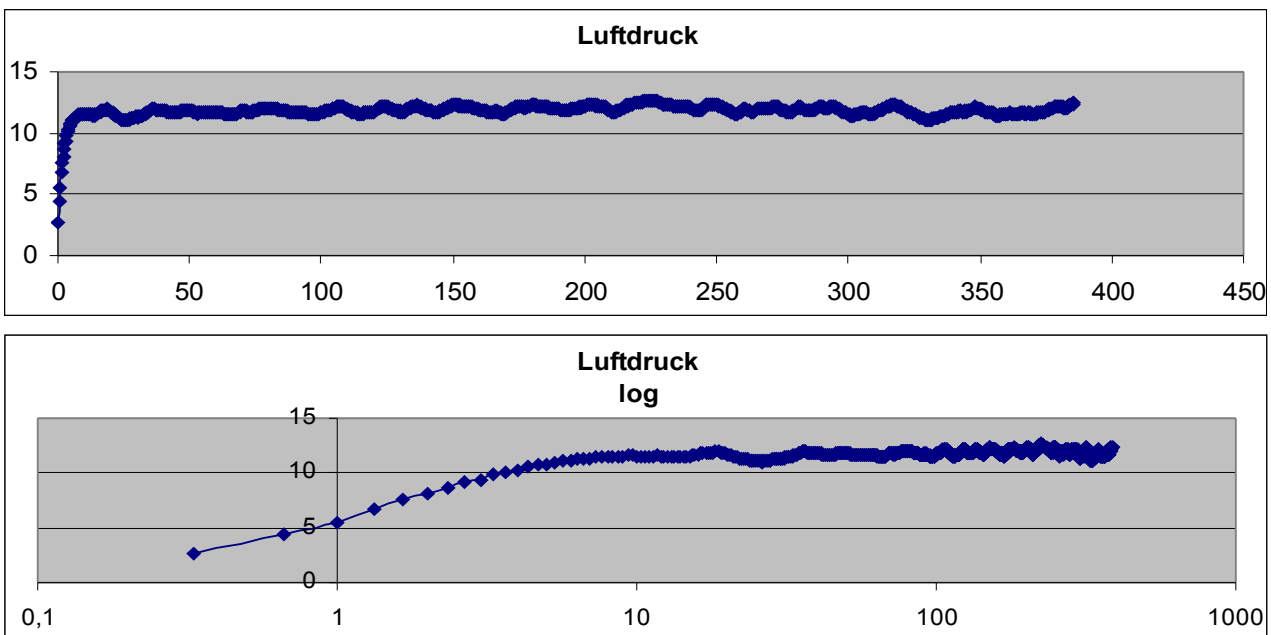


Aufgetragen sind jeweils die Werte der Periodensuchfunktion der Temperatur in Grad Celsius gegen Tau in Tagen

Anwendung 3. Luftdruck

Bei den Luftdruckwerten der Wetterstation finden wir eine schwach, ca 14-tägige, und eine stärker ausgeprägte 29-tägige Periode. Wir gehen davon aus, dass wir damit die atmosphärischen Gezeiten nachgewiesen haben. Alle 14,5 Tage gibt es eine Springflut. Das die Periode bei 29 Tagen stärker ist, ist sehr erstaunlich. Wir wissen im Moment noch nicht warum, sind aber dabei uns darüber zu informieren. Die atmosphärischen Gezeitenschwankungen haben eine Amplitude von 0,013mbar. Die Luftdruckschwankungen durch Wetteränderungen liegen bei 20mbar⁽⁷⁾. Damit ist das Rauschen etwa 700mal stärker als die Periode, aber trotzdem scheint das Verfahren die Periode herauszufiltern.

Die atmosphärischen Gezeiten wurden erstmals 1918 von Chapman anhand von einer 64-jährigen Messreihe Luftdruckdaten nachgewiesen. Wir scheinen es mit unserem Verfahren mit nur sieben Jahren Daten geschafft zu haben.

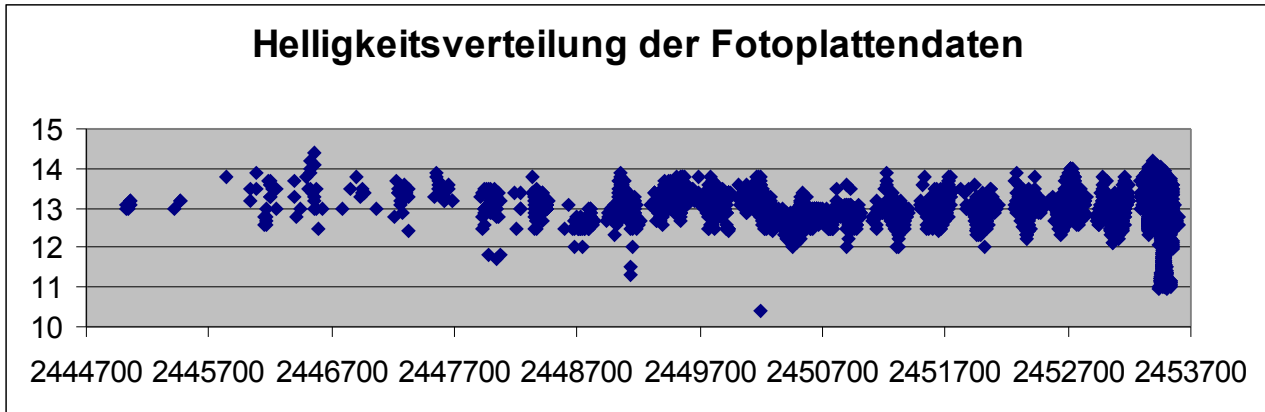


Aufgetragen sind jeweils die Werte der Periodensuchfunktion des Luftdruckes in hPa gegen Tau in Tagen

6. Auswertung der Quasardaten

Nach diesen absolut positiven Tests unseres Verfahrens hinsichtlich schlecht ausgeprägter Perioden haben wir die lückenhaften Helligkeitsdaten des Quasars untersucht.

- Hier liegen die Aufnahmen in verschiedenen Frequenzen vor. Man sieht, wie lückenhaft die Daten vorliegen und dass mit bloßem Anschauen keine Perioden zu finden sind.

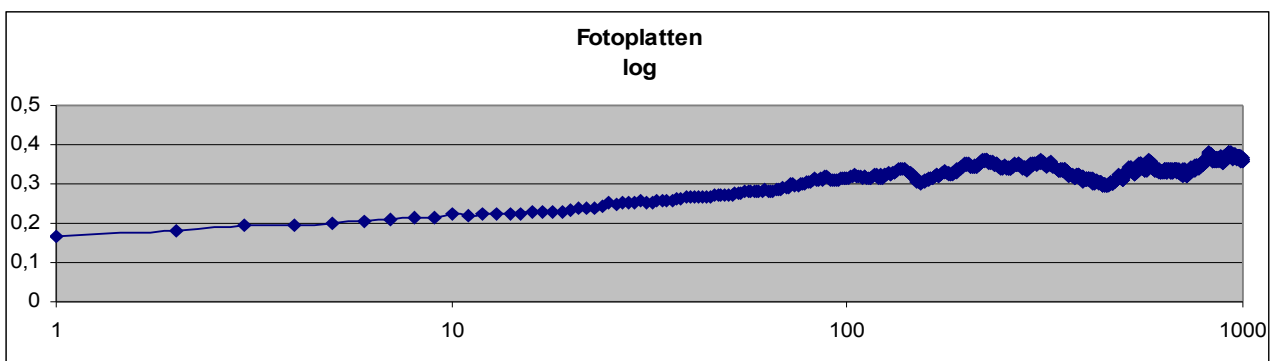
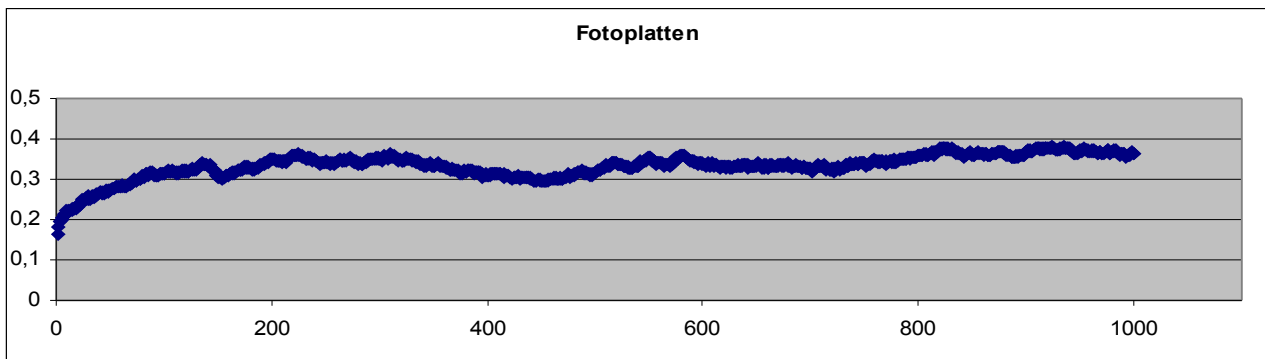


Aufgetragen sind die scheinbaren Helligkeiten gegen das julianische Datum

- Nun haben wir die dazu gehörigen Periodensuchkurven erstellt und man sieht einige, wenn auch nicht sehr stark ausgeprägte Tiefpunkte.

1. Periodensuchkurve der mit Fotoplatten über 25 Jahre gemessenen Helligkeiten

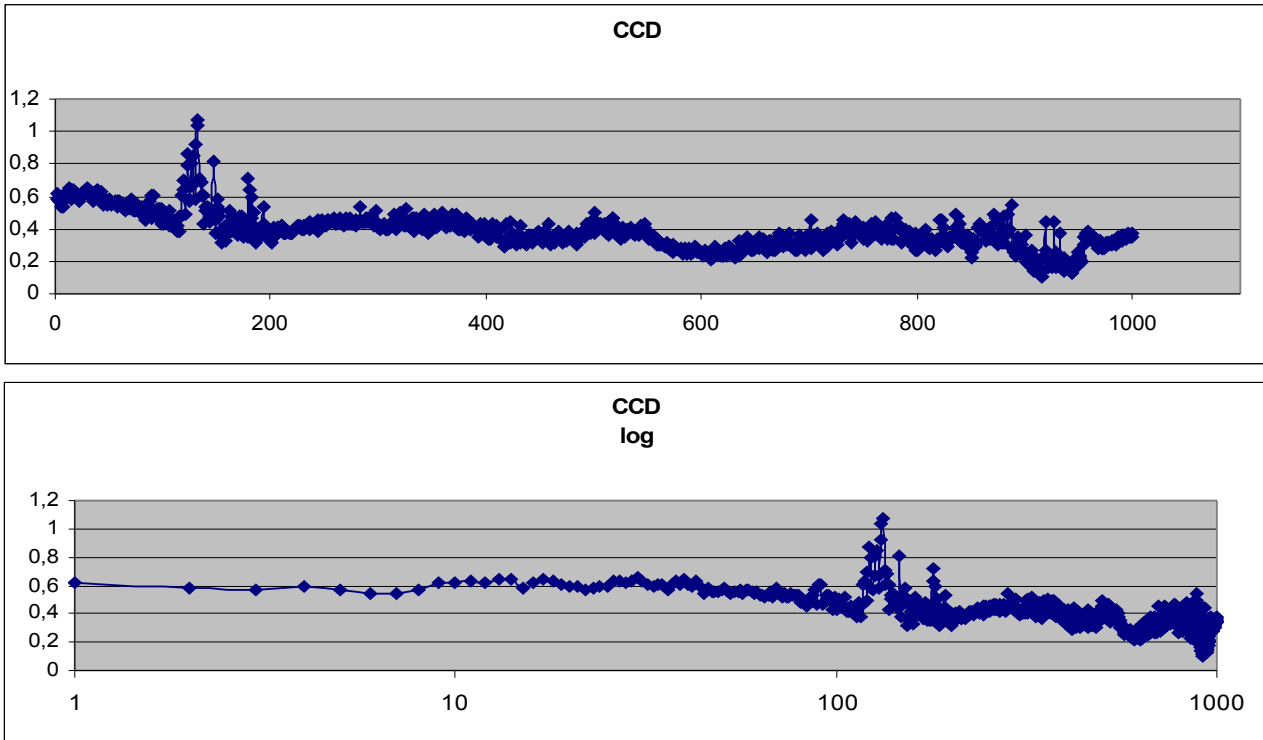
Auf *allen* folgenden Diagrammen sind jeweils die Werte der Periodensuchfunktion der scheinbaren Helligkeit gegen Tau in Tagen aufgetragen!



Diese Aufnahmen wurden nach unserem Wissen mit Fotoplatten gemacht und ausgewertet. Sie sind sehr gut über die Zeit verteilt und waren vor 25 Jahren das einzige Mittel, um astronomische Helligkeiten aufzunehmen. Man sieht einen Tiefpunkt bei 160 und 450 Tagen. Auch bei genauem Betrachten in kleinen Tau-Bereichen lassen sich keine Tiefpunkte finden. Um kleinere Tau-Bereiche zu betrachten, kann man bei Excel die X-Achse logarithmisch skalieren.

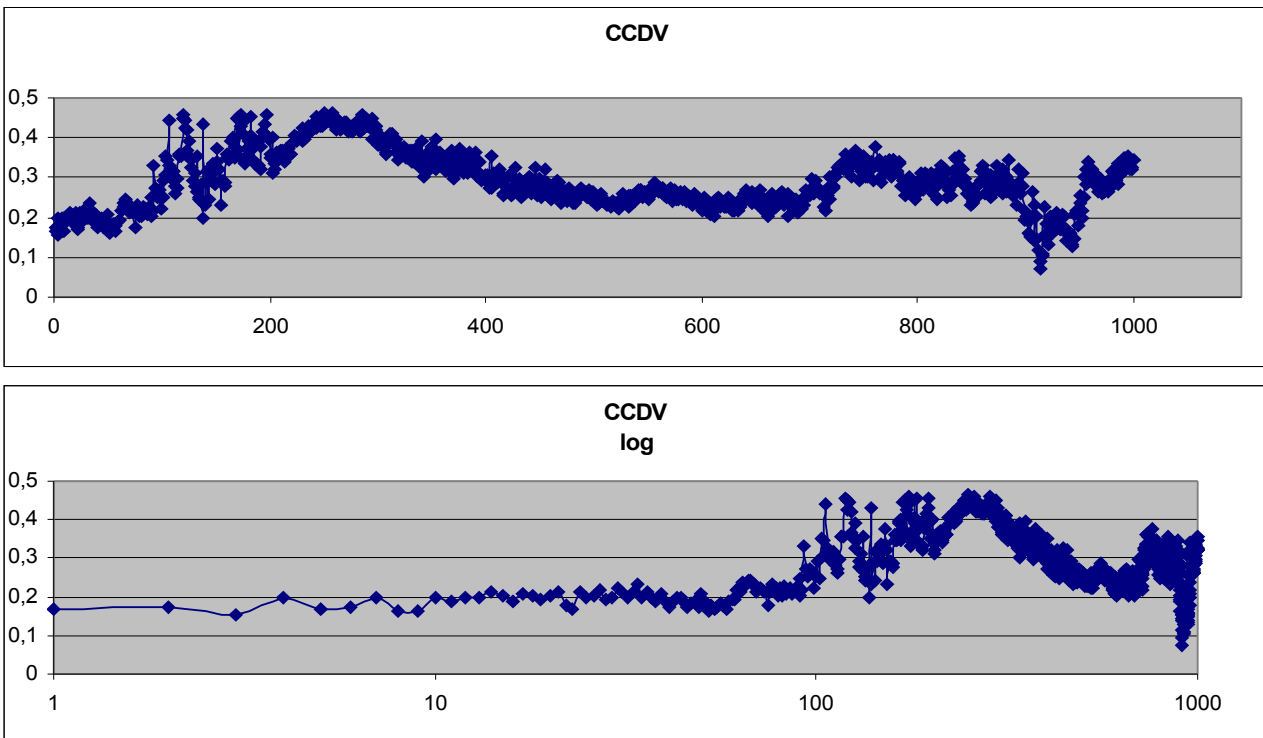
2. Periodensuchkurven für CCD-Aufnahmen

Diese Bilder wurden mit einer CCD-Kamera ohne Filter gemacht und sind die ältesten CCD-Aufnahmen, die wir haben. Die Periodensuchkurve zeigt wieder bei 450 Tagen bzw. 600 Tagen eine Periode. Bei 3 Tagen ist eine mögliche Periode sichtbar, welche durch weitere Tiefpunkte bei ihren Vielfachen noch deutlicher wird.



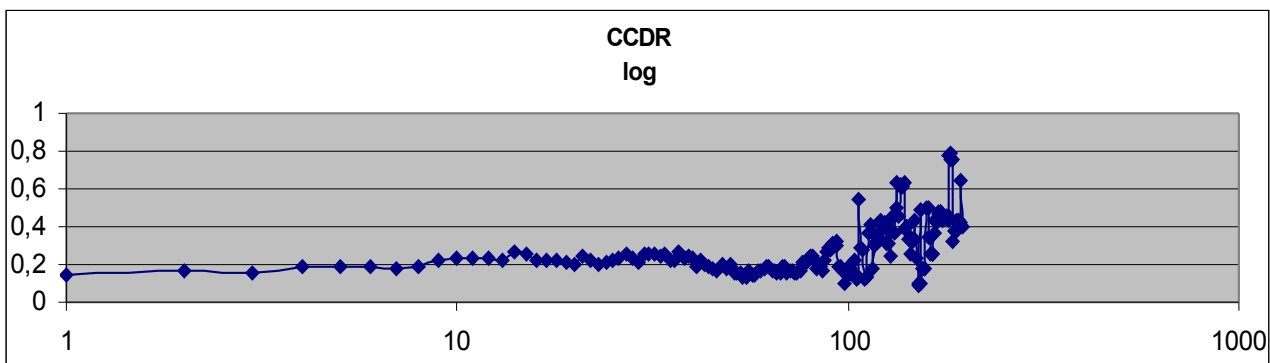
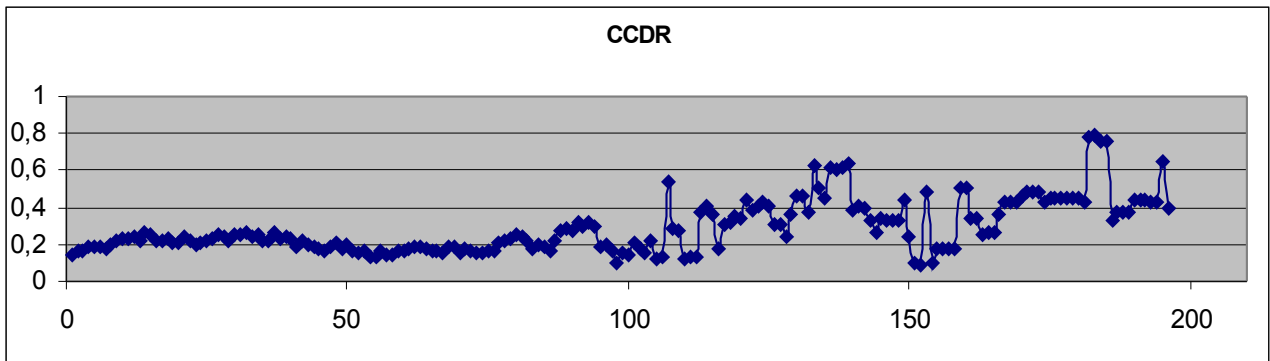
3. CCD Aufnahmen im Visuellen

Die CCDV Aufnahmen sind CCD Aufnahmen, welche mit einem grünen Filter von 555 nm gemacht wurden. Deutlich sichtbar sind Perioden bei 3 Tagen und ein breites Minimum um die 600 Tage.



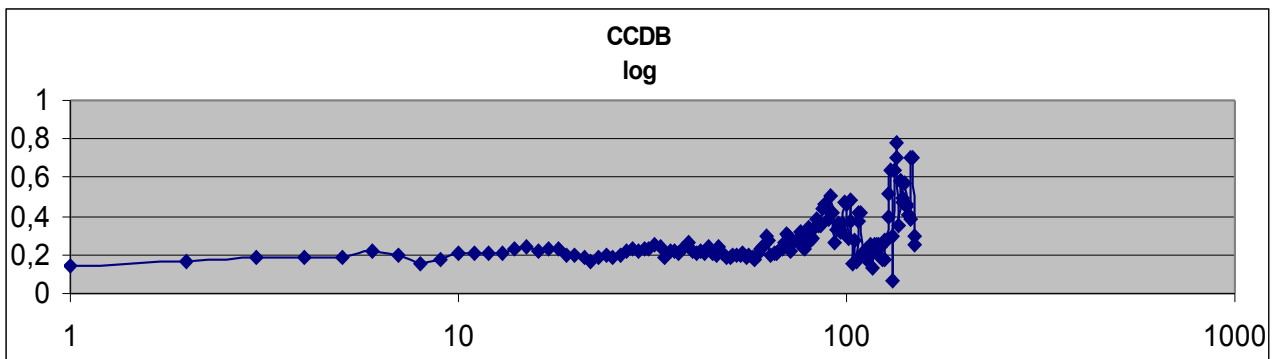
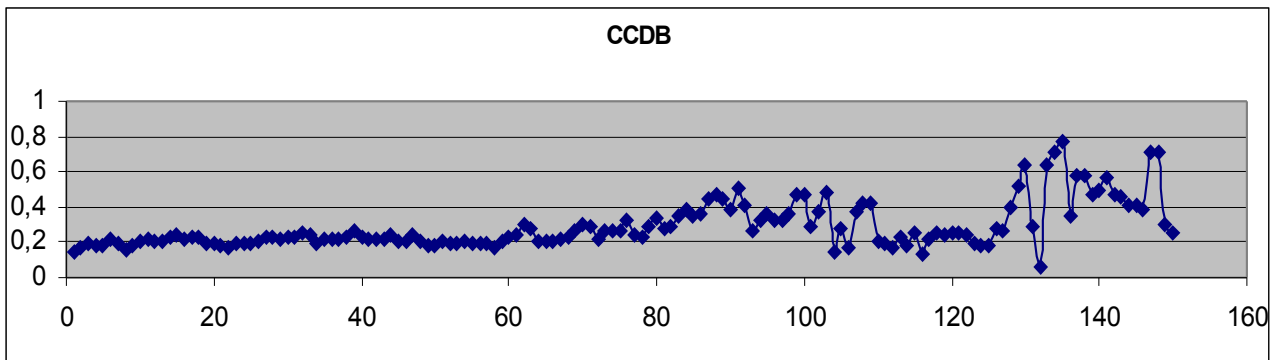
4. CCD Aufnahmen im Roten

CCDR Aufnahmen sind CCD Aufnahmen, die mit einem roten Filter von 640 nm aufgenommen sind. Man erkennt mögliche, wenn auch sehr schwache Perioden bei etwa 7 Tagen und bei etwa 30 Tagen. Man sieht bei höheren Werten die Kurve sehr extrem schwanken. Das liegt daran, dass die Ausgangsdaten sehr große Datenlücken haben, welche sich hier bemerkbar machen. Das gleiche gilt bei CCDB und CCDI Aufnahmen.



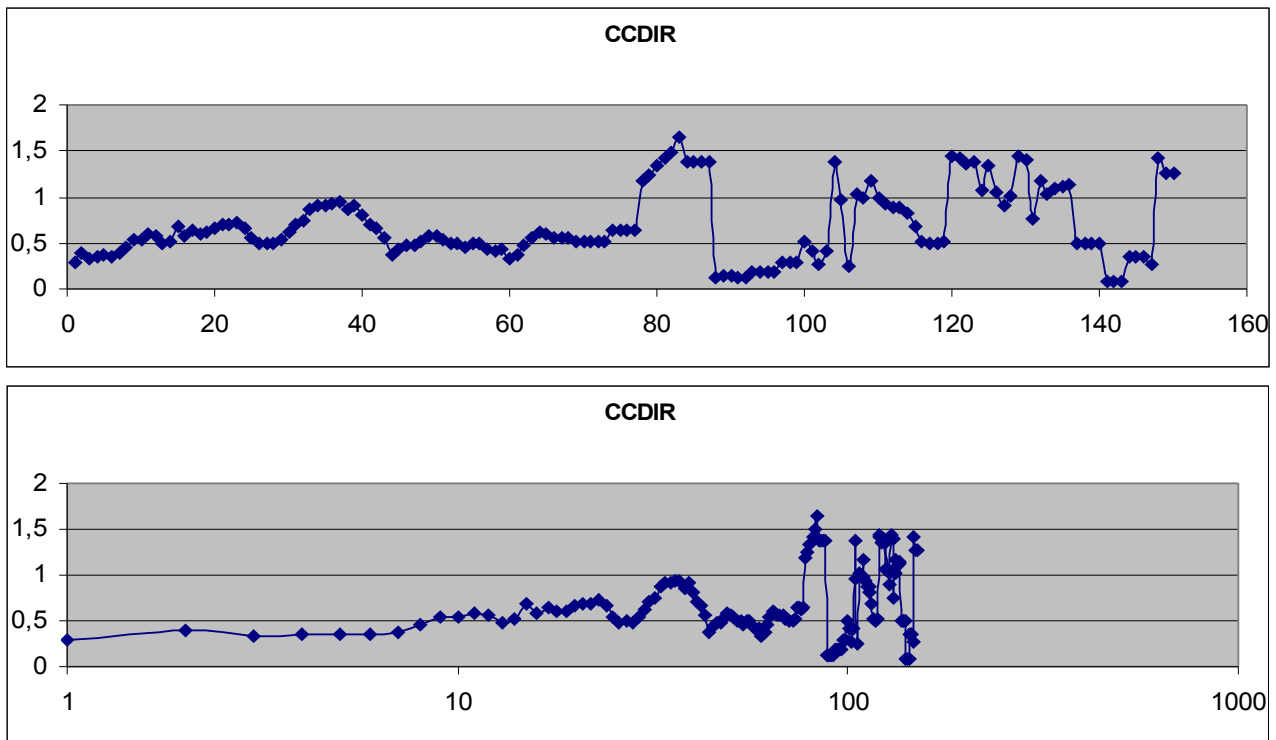
5. CCD Aufnahmen im Blauen

CCDB wurden mit einem blauen Filter von 435 nm gemacht. Mögliche Perioden finden sich bei 8 und 22 Tagen.



6. CCD Aufnahmen im Infraroten

CCDI sind Infrarot-Aufnahmen von 970 nm, welche eine ziemlich gute 15-Tages-Periode zeigen.



Plausibilitätsüberprüfung

Wir wollten natürlich wissen, welche Phänomene wir annehmen können. Wenn sich etwas mit dieser Periode um den Quasar drehen würde, müsste es auch physikalisch zu erklären sein; also im physikalischen Rahmen machbar sein.

Nehmen wir eine Masse, die sich um das Schwarze Loch dreht. So würde sie der folgenden Kraft unterliegen: Der Gravitationskraft ($F_g = \gamma * m * M / r^2$), welche die Zentralkraft $F_z = v^2 * m / r$ ist. Wir nehmen an, dass das Schwarze Loch eine Masse von $2 * 10^{39} \text{ kg}$ hat⁽⁵⁾.

Die Geschwindigkeit wollten wir allerdings nicht in der Formel als solche benutzen und ersetzen sie nach der Bahngeschwindigkeitsformel: $v = 2 * \pi * r / p$, dabei ist p die Umlaufperiode.

Die Zentralkraft ist die Gravitationskraft und deswegen: $v^2 * m / r = \gamma * m * M / r^2$

Man sieht, dass die Masse des Objektes selbst keine Rolle spielt. Nur die Masse des Schwarzen Lochs. Gekürzt sieht die Formel wie folgt aus: $v^2 = \gamma * M / r$

Ersetzt man nun v durch $2 * \pi * r / p$, so ergibt sich: $r^3 = \gamma * M * p^2 / 4 * \pi^2$

Man erhält, wenn man in diese Formel unterschiedliche p einsetzt, die dazugehörigen Radien und kann auch deren Bahngeschwindigkeiten mit Hilfe der Formel $v = (\gamma * M * r)^{1/2}$ ausrechnen.

Bei einer Periode von 15 Tagen erhalten wir einen Radius von 119 AE, auf der ein Objekt mit etwa 86.000 km/sec umläuft. Bei einer Periode von 450 Tagen sind es 1150 AE und 28.000 km/sec.

Das liegt nach unseren Einschätzungen im Rahmen des Möglichen.

Es könnte bedeuten, dass diese Perioden durch um das Schwarze Loch rotierende Massen verursacht werden.

Übertragung auf Modelle

Durch die Rechnungen haben wir herausgefunden, dass unsere Perioden Helligkeitsschwankungen sind, die durch Umlauf von Materie hervorgerufen sein könnten. Gerade im infraroten Bereich sehen wir stark ausgeprägte 15-Tages-Perioden. Infrarotes Licht ist auch das Einzige unserer vorliegenden Frequenzen, welches durch Staub dringen kann. Da man hier besonders ausgeprägte und kurze Perioden sieht, könnte es sein, dass man zu sonst nicht sichtbaren Bereichen des Quasars vordringen kann und deswegen weiter innen liegende Umlaufbahnen beobachten kann. Alle Datensätze, welche ausreichend waren, um in ihnen Perioden von mehr als 500 Tagen zu suchen, weisen eine mögliche Periode bei 450 Tagen auf. Dies könnte ein Staubtorus sein, welcher mal dichter und mal weniger dicht ist. So könnten unter Umständen auch kurzwelligere Photonen durch den dünnen Staub dringen und eine Periode bei unseren Messungen erzeugen.

7. Ausblick

Wir planen für die nächste Zeit weitere Aufnahmen von Markarian 421 zu machen, das Sternbild inzwischen wieder höher steht. Das ist insofern besonders interessant, da wir für diesen aktiven galaktischen Kern bereits mögliche periodische Variationen in verschiedenen Spektralbereichen mit Hilfe unseres Programmes festgestellt haben. Wir haben dann die Möglichkeit in unseren eigenen Aufnahmen nach Perioden zu suchen und diese mit den bereits gefundenen zu vergleichen. Außerdem planen wir Polarisationsmessungen für einen der aktiven galaktischen Kerne zu machen. Die Strahlung der meisten astronomischen Objekte ist nicht polarisiert, doch man geht davon aus, dass die Strahlung aktiver galaktischer Kerne auf Grund der unglaublich starken Magnetfelder polarisiert ist. Diese Messungen könnten uns zusätzlich Aufschluss über die Orientierung des Objektes relativ zur Erde geben. Wir werden dann versuchen, diese Orientierung auf unsere gefundenen Variationen zu beziehen (sofern uns solche Messungen von Markarian 421 im Großen Wagen gelingen, denn die gefundenen Perioden sind ausschließlich von diesem aktiven galaktischen Kern).

Wir suchen außerdem nach weiteren Anwendungen für unser Periodensuchverfahren, da dieses sich als äußerst zuverlässig hinsichtlich schlecht ausgeprägter Perioden erwiesen hat.

Anhang

Quellen

- ⁽¹⁾ Astroart 3.0, produced by M.S.B. Software, All Rights reserved
- ⁽²⁾ Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge:
http://cadwww.dao.nrc.ca/ADASS/adass_proc/adass3/papers/minkd/minkd.html
- ⁽³⁾ Guide 8.0, Project Pluto
- ⁽⁴⁾ GSC-Nummer
- ⁽⁵⁾ „Astronomie und Astrophysik“, Weigert, Wendker, Wisotzki
- ⁽⁶⁾ aus Gleissberg „Die Häufigkeit der Sonnenflecken“, (1952)
- ⁽⁷⁾ Walter Kertz „Einführung in die Geophysik“, B.I.-Hochschultaschenbuch

Danksagungen

Als erstes möchten wir uns bei den Mitarbeitern von AAVSO für die Überlassung ihrer 25 Jahre umfassenden umfangreichen Beobachtungsdaten bedanken.

Außerdem dem Astronomischen Arbeitskreis Kassel, dafür, dass wir in der Sternwarte Calden beobachten durften und der Sonnengruppe der VDS für die Bereitstellung der Sonnenfleckendaten.

Auch Dank an Stefan und Mike für die Hilfe beim Erlernen von Delphi und Armin dafür, dass er uns seine Rechenzeit für unsere Animation der Modelle und eigene Erfahrung zur Verfügung stellt.

Doch am meisten Dank verdient Herr Haupt, unser einmaliger Betreuer, welcher uns immer wieder motiviert und auf Problemzonen sowie gute Ansätze hingewiesen hat.

Moritz Mihm, Constantin Bär