

SPEKTRUM

Mitteilungsblatt
über

Astro-Spektroskopie für Amateure

Herausgeber:
Ernst Pollmann
Emil-Nolde-Str.12
51375 Leverkusen

Ausgabe Nr. 38 (2009)

Einzelheft als pdf-Datei: 2,00 €

Impressum

Das Mitteilungsblatt SPEKTRUM erscheint halbjährlich als Kommunikationsorgan der Arbeitsgemeinschaft für Astrospektroskopie „**ASPA – Aktive Spektroskopie in der Astronomie**“.

Für den Inhalt sind die Autoren selbst verantwortlich.

Kontakt

Ernst Pollmann
Emil Nolde Straße 12
51375 Leverkusen

eMail: ernst-pollmann@t-online.de
Telefon: 0214-91829

Bankverbindung:

Konto Nr. 202029344; Bankleitzahl 37551440;
Sparkasse Leverkusen

Inhalt

		Seite
Ernst Pollmann	Aktive Spektroskopie in der Astronomie mit ASPA	2
Christian Netzel	Super-Resolution	4
Sebastian Heß	Der DADOS Spektrograph - Ein Erfahrungsbericht	8
Martin Dubs	Die Dispersion des Spektrographen DADOS	13
Ernst Pollmann	Bericht zur Gemeinschaftsveranstaltung „Astrospektroskopie für Amateure“	19
Ernst Pollmann	Tagung der „Arbeitsgemeinschaft für Astrospektroskopie ASPA-Aktive Spektroskopie in der Astronomie“	21
Ralph Gerstheimer	Spektroskopie für Einsteiger (I)	22

„Aktive Spektroskopie in der Astronomie“ mit ASPA

(v. Ernst Pollmann, Leverkusen)

Die 17 Jahre währende, in der Geschichte der VdS beispiellose und positive Entwicklung der VdS-Fachgruppe Spektroskopie im Dienste der bundesdeutschen Amateur-Astrospektroskopie hat zumindest unter meiner Leitung als Fachgruppenreferent der VdS ein jähes Ende gefunden – ich habe meine Tätigkeit in dieser Funktion bei der VdS aus persönlichen Gründen niederlegt.

Das seit meiner Gründung am Rande der Bochumer-Herbst-Tagung 1992 von den Mitgliedern so sehr geschätzte Credo einer offenen Interessensgemeinschaft ohne jedwede Vereinsstrukturen, als Plattform für zwangloses Mitwirken eines jeden spektroskopisch interessierten Amateurastronomen, war das eigentliche Erfolgskonzept für das heutige Ansehen der ehemals stiefmütterlich beachteten Astrospektroskopie. Die in diesen 17 Jahren inzwischen erreichte hohe Wertschätzung dieses amateurastronomischen Betätigungsfeldes ist ein deutlicher Beweis für den Erfolg dieses Credos.

Mein Ausscheiden aus der VdS-Spektroskopie-Gruppe bedeutet nun keineswegs das Ende meiner bisherigen Tätigkeit. Im Gegenteil - die Arbeit der vergangenen Jahre mit dem Kapital des Erreichten wird auch weiterhin in den Dienst der Astrospektroskopie für Amateure in Deutschland (und darüber hinaus) gestellt werden. Von nun an eben nicht mehr unter dem Label VdS, sondern unter ASPA - „Aktive Spektroskopie in der Astronomie“ - einer Arbeitsgemeinschaft für Anfänger, Fortgeschrittene und professionell ambitionierte Amateure, die sich dieser unveränderten Zielsetzung verschrieben hat.



Die Mitgliedschaft in der Fachgruppe Spektroskopie der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft, die enge Kooperation mit dem Internetportal ASTRONOMIE.de, sowie eine verstärkte publizistische Präsenz in den verschiedensten astronomisch orientierten Zeitschriften wird dazu beitragen, dass die bisherige positive Wahrnehmung der Astrospektroskopie für Amateure ihre Kontinuität - nunmehr unterstützt durch **ASPA** - beibehält.

Das Tätigkeitsfeld von **ASPA** umfasst

- Beratung und Förderung von Anfängern
- Beratung und Förderung von Schülerfacharbeiten
- Beratung und Förderung von "Jugend-forscht-Projekten"
- Förderung von Zusammenarbeit mit externen Institutionen
- Beteiligung an externen professionellen Forschungsvorhaben
- Förderung des Gedankenaustausches zwischen Einzelbeobachtern

sowie in Arbeits- und in z.T. internationalen Beobachtungsgemeinschaften die Bereiche

- Monitoring von Emissionsliniensternen
- Radialgeschwindigkeitsmessungen an Doppelsternsystemen
- Hochauflösende Solarspektroskopie
- Spektroskopie Planetarischer Nebel
- Spektroskopie von Novae
- reproduktive Spektralklassifikation
- Instrumentenselbstbau
- Beratung in Praxis und Theorie

Das Diskussions-Forum der SAG Fachgruppe Spektroskopie (<http://www.astronomie.ch/forum/spektroskopie.php>), sowie das Spektroskopie-Forum bei ASTRONOMIE.de (<http://forum.astronomie.de>) sind die **ASPA**-Kommunikationsebenen des Austausches von Beobachtungsergebnissen, bei Fragen aus der praktischen Beobachtungstätigkeit und des individuellen Beratungsbedarfs.

Darüber hinaus vertreibt **ASPA** halbjährlich jeweils im April und Oktober das Mitteilungsblatt für Astrospektroskopie „**SPEKTRUM**“, in dem Amateure mit Beiträgen aus der eigenen praktischen Tätigkeit das faszinierende Feld der Astrospektroskopie dem interessierten Leser näher bringen.

Ernst Pollmann

<http://www.astrospectroscopy.de>

eMail: ernst-pollmann@t-online.de

Superresolution

(v. Christian Netzel, Aachen)

Einführung

Die folgenden Ausführungen über Superresolution, auf Deutsch Superauflösung, folgen einer Arbeit von Jiazheng Shi, Stephen E. Reichenbach und James D. Howe [1]. Nach einigem recherchieren im Internet habe ich diese Arbeit gewählt, da sie

1. frei verfügbar war,
2. eine übersichtliche und für Mathematiker, die auf diesem Gebiet Laien sind, verständliche Darstellung ohne Verweise auf frühere Veröffentlichungen bot und
3. so vollständig ist, dass eine Nutzung für Amateurastronomen möglich erscheint.

Ich möchte ausdrücklich darauf hinweisen, dass es weitere Verfahren gibt, die durch diese Arbeit nicht erfasst werden.

Unter Superresolution versteht man Methoden, die es ermöglichen eine Abbildung zu gewinnen, deren Auflösung und Abbildungstreue größer ist als die Pixelauflösung einer Digitalkamera. Dazu gehören auch Wiederherstellungsverfahren, die Artefakte wie Unschärfen, Aliasing (z. B. Moiré-Muster, allg. Abbildungsfehler durch zu geringe Auflösung) und Rauschen korrigieren.

Zu diesem Zweck bedarf es mehr als einer Aufnahme. Mittels einer einzigen Aufnahme ist keinerlei Verbesserung möglich. Die Aufnahmen müssen mit unterschiedlicher Verschiebung des Bildsensors gemacht werden, d. h. der Bildsensor muß zwischen zwei Aufnahmen leicht verschoben werden, wobei natürlich eine Verschiebung kleiner als der Abstand zwischen zwei Pixel ausreicht. Man spricht dann von Microscanning. Prinzipiell ist jede Verschiebung geeignet, z. B. auch eine leichte Drehung [3]. Im allgemeinen wird man jedoch in zwei zueinander senkrechte Richtungen, x und y verschieben, wobei die x-Richtung parallel zu einer Bildsensorkante und die y-Richtung parallel zur anderen Kante liegt. Es kann dabei auch in beiden Richtungen gleichzeitig verschoben werden. Die Verschiebung kann vorgegeben oder auch zufällig sein.

Das Verfahren gliedert sich in drei Schritte:

1. Aufnahme-prozedur (registration)
2. Rekonstruktion (reconstruction)
3. Bildwiederherstellung (restoration)

Die drei Schritte werden im Folgenden kurz erläutert.

Aufnahmeprozedur

Die Aufnahme-prozedur besteht darin, eine Serie von Einzelaufnahmen mit unterschiedlicher Verschiebung eines gemeinsamen Motivs in einem gemeinsamen Koordinatensystem zu fixieren. Dies kann auf Basis der genauen Kenntnis der Verschiebungen oder mittels Phasen, Kreuzkorrelation oder von Gradienten geschehen.

Rekonstruktion

Unter Rekonstruktion verstehen wir die Schätzung der Bildwerte an beliebigen Stellen in einem räumlichen Kontinuum auf Grund eines diskreten Musters (z. B. CCD-Aufnahme). Zum Zweck einer Superresolution sollte natürlich das Rekonstrukt eine höhere Pixelauflösung als die Digitalaufnahmen haben. Verbreitete Methoden sind etwa Interpolation zum nächsten Nachbarpixel, lineare Interpolation, stückweise kubische Faltung oder eine kubische optimale maximale Ordnung – minimale Trägermenge Interpolation.

Bildwiederherstellung

Bildwiederherstellung ist die Gewinnung eines möglichst treuen Abbildes durch Korrektur der Pixelreduktion, des Aliasing und Rauschen.

Mathematisches Modell

Die oben beschriebenen Verarbeitungsschritte werden in einem mathematischen Modell beschrieben, das hier zum besseren Verständnis nur grob skizziert werden soll. Für genauere Information sei der Leser auf die eingangs zitierte Arbeit verwiesen.

Es werden folgende Funktionen benötigt:

$s(x, y)$ beschreibt das Motiv, das im kartesischen Koordinatensystem (x, y) festgelegt sein soll, stellt also den Input dar.

$h(x, y)$ beschreibt die Abbildung eines Originalpunktes auf dem Aufnahmesensor, da in realen optischen Systemen Punkte nicht wieder auf Punkte abgebildet werden, sondern ein verwischtes Bild erzeugen, z. B. eine Fresnelscheibe in einem Teleskop.

$III(x, y)$ Auswahlfunktion (sampling), die die Abbildung eines Kontinuums auf ein Gitter (m, n) beschreibt. Bei einer CCD-Kamera sind dies die Pixelkoordinaten.

$e(m, n)$ Rauschen (noise) eines Pixels an der Stelle (m, n) .

$p(n, m)$ gibt das digitale Bild wieder.

$d(x, y)$ beschreibt die Eigenschaften des Displays, ist also das Pendant zu $h(x, y)$.

$r(x, y)$ ist schließlich unser Output, also das gewünschte Bild.

Diese Funktionen werden durch normale Rechenoperationen wie $+$ oder $*$ miteinander verknüpft. Zusätzlich können zwei Funktionen durch eine sogenannte Faltung verknüpft werden. Dies soll anhand der Funktion p , die das digitale Bild beschreibt, beispielhaft beschrieben werden:

$$p(m, n) = \iint s(x, y) h(m - x, n - y) dx dy + e(m, n)$$

Der Integralausdruck wird (hier eine 2-dimensionale) Faltung genannt. Durch die Verschiebungen (x_k, y_k) beim Microscanning wird dann aus dieser Formel die leicht modifizierte

$$p(m, n) = \iint s(x - x_k, y - y_k) h_k(m - x, n - y) dx dy + e(m, n),$$

wobei die Funktion h von der k -ten Verschiebung abhängig sein soll und dem entsprechen $h_k(x, y)$ genannt wird. Das Rauschen wird durch Addition berücksichtigt.

Der zweite und dritte Verarbeitungsschritt, also Rekonstruktion und Bildwiederherstellung werden zusammengefasst und durch eine weitere Funktion $f(x, y)$ beschrieben, die Filter genannt wird. Unseren Output erhalten wir schließlich durch eine weitere Faltung

$$r(x, y) = \iint \left[\sum_m \sum_n p(m, n) f(x' - m, y' - n) \right] d(x - x', y - y') dx' dy'.$$

Der Rechenaufwand kann erheblich reduziert werden, wenn anstelle der Funktionen s, h u.s.w. deren Fouriertransformierte S, H u.s.w. verwendet werden. Dabei werden Multiplikation durch Faltung und umgekehrt ersetzt. Besonders vorteilhaft ist, daß die Verschiebungen nicht mehr im Argument erscheinen, sondern als Exponentialfaktoren ausgeklammert werden.

Jede dieser Funktionen bis auf das Filter ist soweit zumindest theoretisch definiert. Was ist aber mit dem Filter f ? f kann im Prinzip beliebig festgelegt werden. Jedoch möchte man natürlich in Anbetracht des Aufwandes ein möglichst originalgetreues Abbild $r(x, y)$ erzielen. Unser Ziel muß also darin bestehen, ein möglichst optimales f zu finden, wobei das „optimal“ natürlich irgendwie definiert sein soll. Dazu betrachten wir hier die Varianz (= Quadrat der Standardabweichung)

$$\sigma^2 = \iint |r(x, y) - s(x, y)|^2 dx dy.$$

f wird nun so festgelegt, daß die Varianz möglichst klein wird. Dazu gibt es nun mehrere Methoden, die hier nicht näher geschildert werden. Die Einzelheiten können der o. g. Veröffentlichung [1] entnommen werden. Zusätzlich sei noch auf die Arbeit von Jiasheng Shi und Stephen E. Reichenbach [2] verwiesen.

Damit ist der Formelapparat vollständig beschrieben und, adäquate mathematische Kenntnisse oder der Besitz eines geeigneten Programms vorausgesetzt, steht der Durchführung nichts mehr im Wege.

Warum könnte der Amateurastronom davon profitieren?

Betrachten wir unser Modell noch einmal im Hinblick darauf, wieweit uns die verwendeten Funktionen bzw. Parameter tatsächlich bekannt sind.

$h(x, y)$ beschreibt eine Fresnelscheibe und kann durch eine 2-dimensionale Gaußverteilung unabhängig von k approximiert werden.

$III(x, y)$ ist eine universelle Funktion, die aus einer unendlichen Summe verschobener δ -Funktionen besteht und in der Literatur beschrieben wird.

$e(m, n)$ kann aus den dark - bzw. flat - Bildern gewonnen werden.

$d(x, y)$ beschreibt die Eigenschaften des Displays, ist also prinzipiell bekannt..

Bleiben noch die x_k und y_k . Sie setzen sich aus den Seeing - bedingten Abweichungen und den Fehlern der Nachführung zusammen. Letztere sind bei kurzen Belichtungszeiten vernachlässigbar. Das Seeing kann als Wahrscheinlichkeitsverteilung betrachtet werden, d. h. auch die x_k und y_k werden durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben, was eine allerdings nicht allzu schwere Abänderung der obigen Formeln bedingt. Wird eine Gaußverteilung verwendet, muß die Varianz ermittelt oder geschätzt werden. Bei längeren Belichtungszeiten kommen noch die Nachführfehler in Betracht. Diese können entweder in gesonderten Versuchen unter Verwendung einer Digitalkamera ermittelt werden oder simultan bei Verwendung von Autoguiding durch Aufzeichnung der gewonnenen Bilder (ich hoffe, dass dies möglich ist!). Hier bei kann selbstverständlich auch das Seeing ermittelt werden.

Literatur:

- [1] Jiazheng Shi, Stephen E. Reichenbach und James D. Howe, Small kernel superresolution methods for microscanning imaging systems, 2006
- [2] Jiasheng Shi und Stephen E. Reichenbach, Spatially constrained Wiener Filter with Markov Autocorrelation Modeling for image Resolution Enhancement, 2006
- [3] Krzysztof Malczewski, Ryszard Stasinski, Improved Frequency Domain Super-Resolution Algorithm with conjugate Gradient – NUFFT Method as ist reconstruction Core

Der DADOS Spektrograph - Ein Erfahrungsbericht

(v. Sebastian Heß, Darmstadt)

Der Spektrograph

Seit einiger Zeit liefert nun die Firma Baader Planetarium den, zusammen mit dem Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik entwickelten, DADOS - Spaltspektrographen aus. Es handelt sich um einen der wenigen, als Komplettsystem erhältlichen Spektrographen. Hiervon können sowohl Einsteiger, als auch "alte Hasen" durchaus profitieren. Dieser Erfahrungsbericht soll einen kleinen Einblick in erste Erfahrungen mit dem DADOS geben und einige der Möglichkeiten aufzeigen, die sich dem geneigten Amateurastronomen nun mit diesem Gerät ohne viel Aufwand erschließen.



Abb. 1: Der DADOS-Spektrograph montiert am C8 des Verfassers

DADOS ist das spanische Wort für Würfel oder Würfelspiel. Sehr passend für das, im wesentlichen aus zwei miteinander verbundenen Metallquadern bestehende System. In dem ersten Würfel befindet sich eine Optik, durch welche das Bild des eingestellten Objektes auf ein Okular oder eine vom Beobachter an dieser Stelle zu verwendende Positionier- und Nachführ - CCD umgelenkt wird. Nach der Positionierung des Objektes auf einem der drei hier angebrachten Spalte unterschiedlichen Durchmessers gelangt ein Teil des Lichtstrahls in den zweiten Würfel, in welchem sich das austauschbare Reflexionsgitter befindet.

Dabei handelt es sich bei den von Baader vertriebenen Gittern um "geblazte" Gitter. Diese Gitter sind durch einzelne, leicht angeschrägte Spiegelflächen so präpariert, dass das Licht bevorzugt in eine der vielen spektralen Ordnungen gebeugt wird, in welche Gitter einen Lichtstrahl im Normalfall aufteilen. Hierdurch wird deutlich weniger Licht sinnlos verschwendet. Durch den relativ einfach gehaltenen Umbau des Gitters sowie der zu jedem Zeitpunkt möglichen Wahl des Spaltes hat der Beobachter generell eine hohe Flexibilität bei der Entscheidung zwischen Helligkeit (und damit kurze Belichtungszeiten) sowie der spektralen Auflösung. Diese Entscheidung ist vor allem von dem jeweiligen Objekt abhängig.

Der Spektrograph wird abgerundet durch eine Fokussieroptik, die in einem 90 Grad Winkel hinter dem Gitter angebracht ist und sich mithilfe einer kleinen Schraube feststellen lässt, so daß im Normalfall alle Aufnahmen eines Abends mit der gleichen Einstellung gefahren werden können. In diesem Zusammenhang hat sich auch der von der Firma Baader Planetarium mitgelieferte Schwalbenschwanz Aufsatz bewährt, mit dessen Hilfe das komplette Kamerasystem abgenommen und wieder angebracht werden kann, ohne dass sich der Fokuspunkt verstellt. Zur Einstellung des sichtbaren Spektrenausschnitts kann zusätzlich an einer Mikrometerschraube der Winkel eingestellt werden unter dem das am Gitter erzeugte Spektrum beobachtet wird. Hierzu wird der Kippwinkel des Gitters selbst leicht variiert. Auch dieser lässt sich mit einer Schraube fixieren.

Erste Erfahrungen

Damit sind wir im Übergang zu den ersten Erfahrungen mit dem Gerät. Abb. 2 zeigt zwei Spektren der H α -(Balmer)-Linie des Wasserstoffs in dem Spektrum des spektroskopischen Doppelsterns β Aurigae mit nur einem Tag Abstand. Durch die abwechselnde Bewegung der beiden Sterne in Richtung des Beobachters oder auch von ihm weg, werden die Lichtwellen des Spektrums gestaucht oder auseinander gezogen. Hierdurch erscheinen Linien im Spektrum in regelmäßigen Abständen doppelt. Die Linien auf der rechten Seite liegen bereits im infraroten Bereich des Spektrums und entstehen in der Atmosphäre unserer Erde, weshalb sie von der Verdopplung ausgenommen sind.

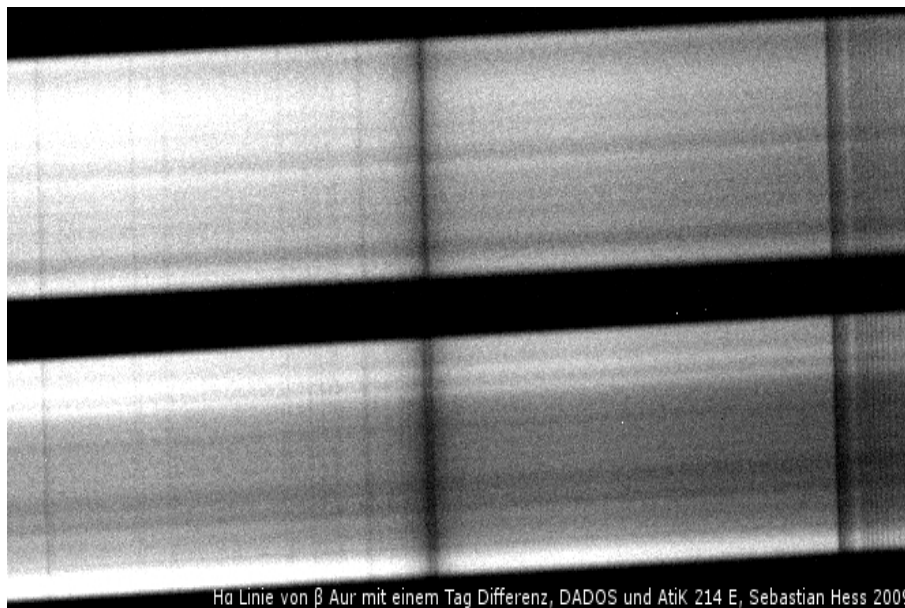


Abb. 2: Die H α -Linie des spektroskopischen Doppelsterns β Aurigae

Diese Aufnahme zeigt recht deutlich, was mit dem DADOS Spektrographen und recht einfachen Mitteln bereits möglich ist. Um es zu unterstreichen: Um einen so hellen Stern wie β Aurigae (~ 1.9 mag) zu spektroskopieren, reicht ein kleines Teleskop mit einer einigermaßen gut ausgerichteten Montierung, ein wenig Fingerspitzengefühl bei der Nachführung und 2 Nächte mit 20 Minuten klarem Himmel. Allerdings ist eine leichtgewichtige (wegen des 90 Grad Winkels der Fokussieroptik) und gekühlte Kamera mit möglichst kleinen Pixeln sehr hilfreich. Obere Aufnahme entstand zum Beispiel mit einer Atik 214 E.

Leider - und hier wären wir bei einem kleinen Kritikpunkt - lässt sich das System nur recht schwer fokussieren. Dies liegt an Abbildungsfehlern, die aufgrund der gewählten 90 Grad Geometrie zwischen dem einfallendem Lichtstrahl und der das Spektrum abbildenden Optik in der Kombination mit dem Beugungsgitter an den Rändern der Linien entstehen.

Diese können durch eine entsprechende Zeitinvestition in eine exakte Fokussierung nahezu ausgeglichen werden. Am besten man lässt das System - einmal fokussiert - immer in dieser Position zusammengebaut, oder verwendet wirklich ausschließlich den Schwalbenschwanz, um einen Wechsel, etwa zwischen Kamerasystemen und einem Okular durchzuführen.

Gerade im Umgang mit DSLR Kameras, kann es sich es sich - aufgrund der ansonsten mühsamen Fokussiermöglichkeiten auf dem kleinen Bildschirm - durchaus lohnen, ein Fokussierokular zu verwenden. Dann ist es sinnvoll, einen zweiten Schwalbenschwanzaufsatz sowie Verlängerungsadapter für die Okulare mitzubestellen.

Hier muss der geneigte Beobachte selbst ein wenig basteln, um die für ihn optimale Kombination zu finden. Für die Fokussierung eignen sich dann vor allem sehr helle, flächenhafte Objekte mit scharfen Linienstrukturen, wie etwa den Fraunhoferlinien des am Mond reflektierten Sonnenlichtes (siehe Abb3.).

Falls kein Mond erstrahlt, bietet sich die optional mitzubestellende Neonglimmlampe an. Sie liefert gute Dienste wenngleich sie den Nachteil hat, dass man in der momentan angebotenen Konfiguration des DADOS, das System zur Fokussierung oder der Kalibration vom Teleskop abnehmen muss.

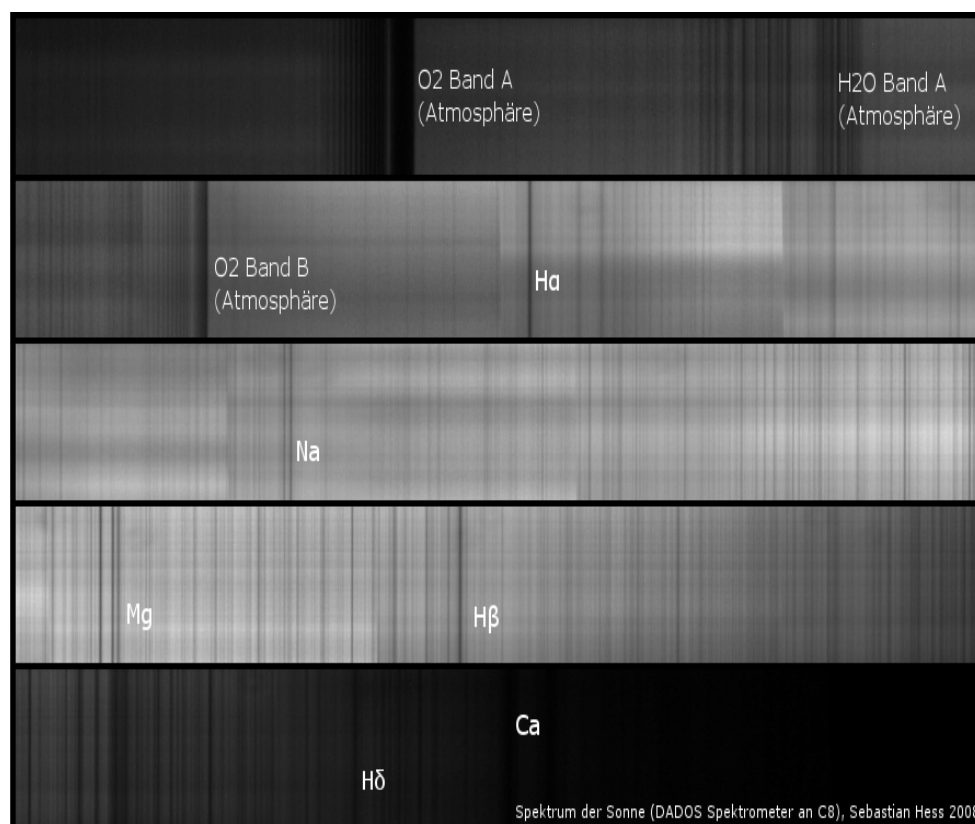


Abb. 3: Das Spektrum des am Mond reflektierten Sonnenlichtes zeigt deutliche Fraunhofer-Linien

Gitterwechsel und Versuche mit DSLR Kameras

Auch wenn es verlockend ist, immer mit der maximal möglichen Auflösung zu arbeiten: gerade bei dunkleren Objekten, oder wenn man einen größeren Ausschnitt mit einer einzigen Aufnahme abdecken möchte, kann es durchaus Sinn machen, zu dem standardmäßig mitgelieferten 200 Linien /mm Gitter zu wechseln. Für diesen Eingriff sollte man sich eine saubere Arbeitsumgebung schaffen und möglichst vorher die notwendigen Arbeitsschritte durchgegangen sein, damit das Gitter nicht unnötig lange der Gefahr einer Verunreinigung ausgesetzt ist. Wenn man sich noch die notwendigen Arbeitsmaterialien, zurecht legt, ist der eigentliche Vorgang relativ harmlos und kann mit ein wenig Übung in weniger als 10 Minuten durchgeführt werden.

Dabei müssen die Feststell- und die für den Winkel des Gitters verantwortliche Mikrometerschraube gelöst, der zweite "Würfel" aufgeschraubt und das alte Gitter von der Halterung entfernt werden. Dann kann das neue Gitter in der richtigen, bereits vormarkierten Position eingebracht werden. Diese unterscheiden sich für beide Gitter leicht, da der Beugungswinkel unterschiedliche ist. Für höhere Gitterkonstanten sind bereits weitere Markierungen vorgesehen. Bevor man wieder zur Tat schreitet, sollte man am besten noch am Tage den neuen Fokuspunkt finden und die richtige Beugungsordnung in den Mittelpunkt des Gesichtsfeldes stellen.

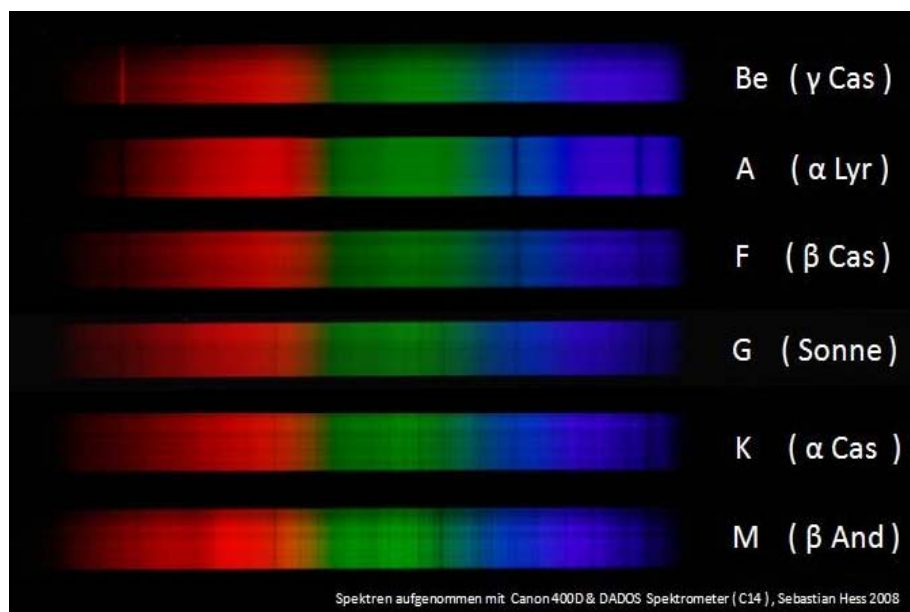


Abb. 4: Spektren von Sternen verschiedener Spektralklassen

Abb. 4 zeigt Spektren verschiedener Sterne mit dem 200 Linien/mm Gitter und einer DSLR Kamera (Canon EOS 400D). Bereits mit dem in diesem Modus kann der DADOS Spektrograph eingesetzt werden, um die dominanten Unterschiede zwischen den Sternklassen sichtbar zu machen. Die historisch entstandenen Spektralklassen O,B,A,F,G,K,M sind entsprechen in der von unten nach oben verlaufenden Reihenfolge der Oberflächentemperatur. So ist es zu verstehen, dass die in der unteren Aufnahme oben liegenden (heißeren) Sterne andere Linien zeigen als die unteren (kühleren) Sterne. Diese gehen dabei "ineinander über" Manche intensive Linie verschwindet auch mit steigender Temperatur (von unten nach oben), weil die entsprechenden Elemente ionisiert werden und daher kein Leuchtelektron mehr für den Übergang zur Verfügung steht. Andere Linien werden aber auch erst im ionisierten oder im angeregten Zustand, also mit steigender

Temperatur sichtbar. Bei den ganz kühlen Sternen, am unteren Ende Spektrenserie, spielen auch Linien chemischer Verbindungen eine Rolle, die sich erst bei sehr niedrigen Temperaturen bilden. Ganz oben ist mir anstelle eines B-Sternes, ein Be-Stern "reingerutscht". Diese Sterne besitzen eine selbstleuchtende zirkumstellare Gasscheibe und weisen daher Emissionslinien anstelle von Absorptionslinien auf.

Fazit

Insgesamt kann man sagen, dass der spektroskopisch geneigte Beobachter ein, für das gebotene Preis-Leistungs-Verhältnis, gutes Gerät erhält, welches vor allem für Neulinge auf dem Gebiet der Spektroskopie einen äußerst angenehmen Einstieg ermöglicht. Hier helfen nicht zuletzt die gut durchdachten Details wie etwa die integrierte Möglichkeit, eine Positionier-Okular oder eine Nachführ-Kamera zu adaptieren oder etwa das mitgelieferte Schwalbenschwanz-System. Auch der fortgeschrittene Amateur wird sicherlich seine Freude an diesen Merkmalen finden, wahrscheinlich vor allem im höher auflösenden Modus unter Einsatz des 900 Linien/mm Gitters.

An dieser Stelle bleibt anzumerken, dass es auch Komplettsysteme mit höherer Spektralaufklärung zu jedoch deutlich höheren Preisen auf dem Markt gibt. Ich für meinen Teil kann sagen, dass der DADOS mir einen bislang lang gehegten Traum erfüllt hat: Auspacken und loslegen! - Wie könnte der Einstieg schöner sein :-). Ich habe die Entscheidung, mir ein solches Gerät zuzulegen bislang nicht bereut.

Ausblick

Für diejenigen, die auf Spektroskopie der Superlative warten: In naher Zukunft dürfen wir uns auf den, von der gleichen Gruppe entwickelten, BACHES Echelle Spektrographen freuen, den die Firma Baader Planetarium möglicherweise noch vor dem Ende dieses Jahres auf den Markt bringen wird. Die Besucher der ATT-Spektroskopie-Veranstaltung 2009 konnten sich bereits einen ersten Eindruck von dem Prototyp verschaffen und ich muss, sagen - es ist überwältigend! Ohne zu viel zu versprechen kann man, nach dem was hier präsentiert wurde, von einer kleinen Revolution sprechen.

Erstmals wird Amateuren Echelle - Spektroskopie in einem Komplettsystem mit atemberaubender Auflösung eröffnet werden, so dass der vollständige visuelle Spektralbereich in nur einer einzigen Aufnahme abzudecken ist. Zum Vergleich: Die derzeitigen Spaltspektrographen auf dem Markt (auch der hier besprochene) haben ein Auflösungsvermögen ($R = \lambda/\Delta\lambda$) von etwa 4000. BACHES wird ein R von bis zu 20000 besitzen. Exoplaneten wurden bereits mit weniger spektraler Auflösung von Profis, aber auch Amateuren beobachtet. Mit - der verbalen Ankündigung folgend - etwa 6000 EUR wird das System bei deutlicher höherer Auflösung erschwinglicher sein, als alle derzeit auf dem Markt befindlichen Systeme und Möglichkeiten eröffnen, wie sie sich derzeit nur ganz wenigen Menschen weltweit bieten.

Zur Dispersion des Spektrographen DADOS

(v. Martin Dubs, Schweiz)

Problemstellung

Für die Auswertung von Spektren ist es notwendig, die Nichtlinearität der Wellenlängenskala auf dem CCD Chip zu berücksichtigen. Dies wird hier am Beispiel des DADOS durchgerechnet, ist aber natürlich auch auf andere Spektrometer anwendbar. Es wird gezeigt, wie gross der Fehler bei linearer, quadratischer und kubischer Interpolation wird. Zum Vergleich wird die Dispersion in der Brennebene der Kamera mit der aus einer einfachen Formel berechneten verglichen.

Technische Daten

Für die folgenden Rechnungen wurden die Eigenschaften des DADOS verwendet, entnommen aus der Gebrauchsanleitung:

Gitter: 200 resp. 900 L/mm

Brennweite des Objektivs: 96 mm

Winkel Kollimator – Kamera: 90°

Gesichtsfeld Kamera: 20 mm (entspricht etwa Canon 350D) für Gitter mit 900 L/mm resp. 12 mm für Gitter 200 L/mm, ausreichend für Wellenlängenbereich 4000 – 8000 Å

Rechnung

Die Rechnung wurde in einem EXCEL Datenblatt ausgeführt, basierend auf SIMSPEC.XLS von Christian Buil und für die vorliegende Fragestellung modifiziert.

Die Rechnung basiert auf der Gittergleichung

$$G \cdot m \cdot \lambda = \sin \alpha + \sin \beta \quad (1)$$

Wobei G die Gitterkonstante (Linien/mm) m die Gitterordnung und α resp. β Ein- und Ausfallswinkel darstellen. Dabei sind die richtigen Vorzeichen zu wählen, in unserem Fall α ca. 50° und β ca. -40°, somit $\alpha - \beta = 90^\circ$. Für das Gitter mit 900 L/mm wird α entsprechend grösser, ca. 65°. Mit dieser Winkelwahl ergibt sich auch die in der Anleitung spezifizierte Dispersion (rund 40 resp. 10 nm/mm).

Für die Winkeldispersion kann folgende Formel verwendet werden

$$D = d\beta / d\lambda = m \cdot G / \cos \beta \quad (2)$$

welche durch Differenzieren der 1. Gleichung erhalten wird (Die Formel wurden dem Diffraction Grating Handbook entnommen, welches auf der Newport Webseite heruntergeladen werden kann). Diese Formeln gelten insbesondere im Bildzentrum der CCD Kamera, d.h. für die Zentralwellenlänge λ_0 . Ist diese und somit α festgelegt, können für andere Wellenlängen λ die entsprechenden Winkel β berechnet werden und in Detektorkoordinaten x umgerechnet werden, wobei $x = 0$ dem Bildzentrum und somit λ_0 entspricht. Dabei gilt bei verzeichnungsfreier Abbildung des Objektivs:

$\tan(\beta - \beta_0) = x/f$, wobei f die Brennweite des Objektivs ist.

Somit kann für jede Wellenlänge λ und gegebenem α (bestimmt durch λ_0) der zugehörige Winkel β und weiter x bestimmt werden. Durch Ableitung von x nach λ (numerisch) kann die Lineardispersion über den CCD Chip bestimmt werden.

Die berechneten Werte $\lambda(x)$ können nun durch eine lineare, quadratische oder kubische Funktion approximiert werden: $\lambda = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3$, wobei für die lineare Interpolation nur a und b variiert werden, c und d zu Null gesetzt werden, für die quadratische Interpolation noch c verwendet wird. Dies wurde mit dem Solver von Excel durchgeführt, kann aber auch mit einer linearen, quadratischen oder kubischen Trendlinie im Diagramm erzielt werden.

Resultate

Gitter 900 L/mm

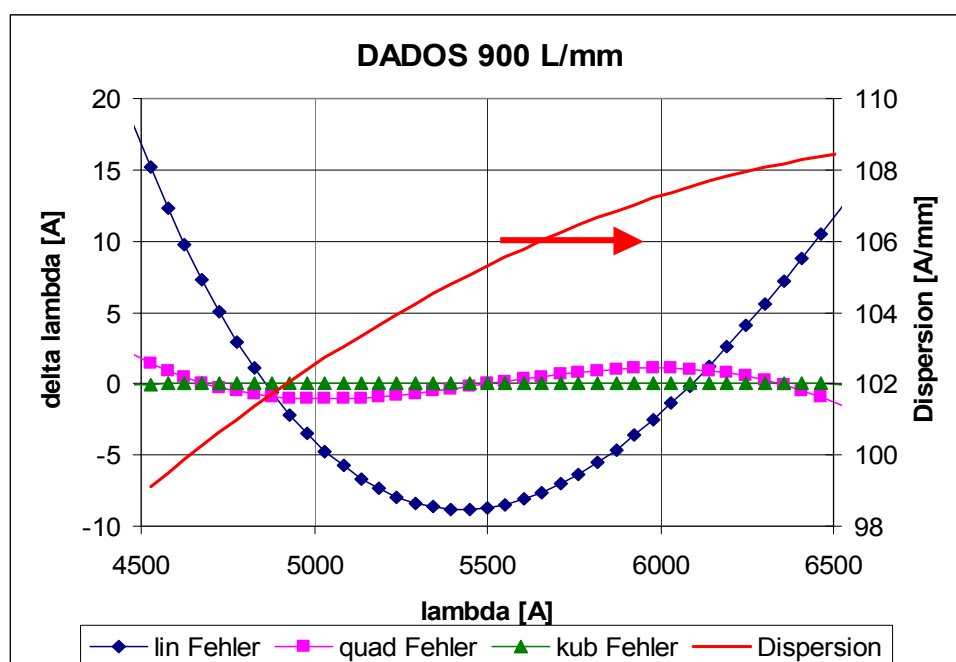
Fitparameter	linear fit	quad fit	kub fit
a	5508.70	5500.01	5500.01
b	104.95	104.95	105.31
c		0.248	0.248
d			-5.66E-03
rms Fehler	7.81	0.917	0.017

(Dasselbe für $\lambda_0 = 400$ nm:

a	4010.57	4000.02	4000.02
b	99.64	99.64	99.98
c		0.302	0.302
d			-5.37E-03
rms Fehler	9.47	0.871	0.020

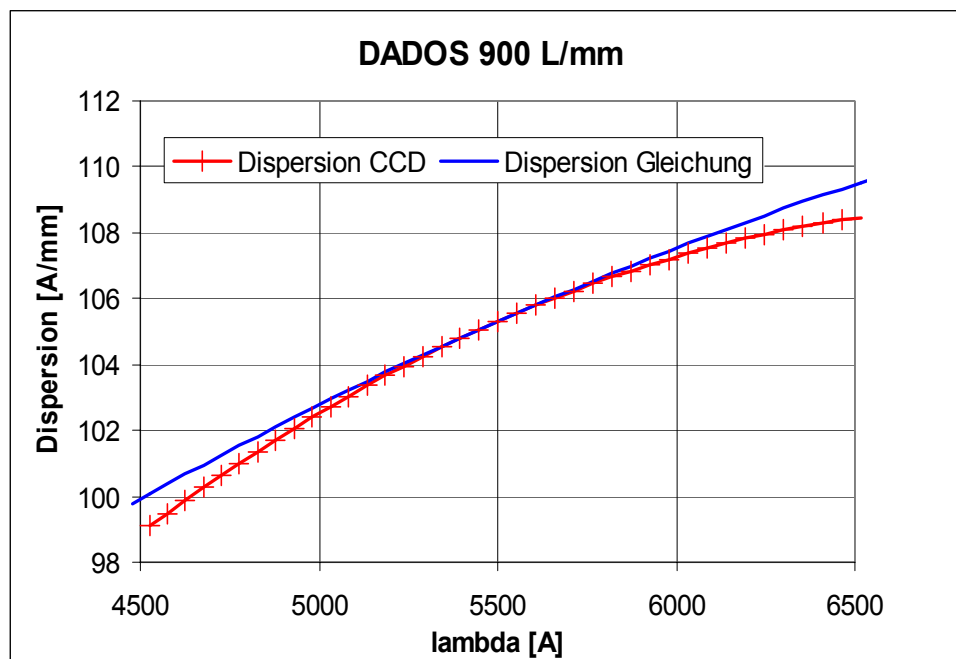
Die Rechnungen wurden für einen großen Chip durchgeführt mit 20 mm Länge des Spektrums (z.B. Canon 350D), bei dem die Nichtlinearität natürlich besonders gut sichtbar ist. Für eine andere Zentralwellenlänge sind die quadratischen und kubischen Korrekturen relativ ähnlich, d. h. bei einer wenig geänderten Zentralwellenlänge sollte es ausreichend sein, die lineare Dispersion mit zwei Kalibrierlinien anzupassen.)

In der folgenden Abbildung sind die Fehler der verschiedenen Interpolationen über den Wellenlängenbereich dargestellt, bei optimaler Wahl der Kalibrierparameter.



Wie man sieht, ist eine lineare Interpolation nicht zulässig, bei quadratischer Interpolation sind die Fehler im Mittel etwa 1 Å, eine kubische Interpolation ist ausreichend. Dazu sollten mindestens etwa 5 Linien über den Spektralbereich zur Kalibrierung verwendet werden. Bei ungünstiger Wahl der Kalibrierwellenlängen werden die Fehler noch grösser als hier dargestellt.

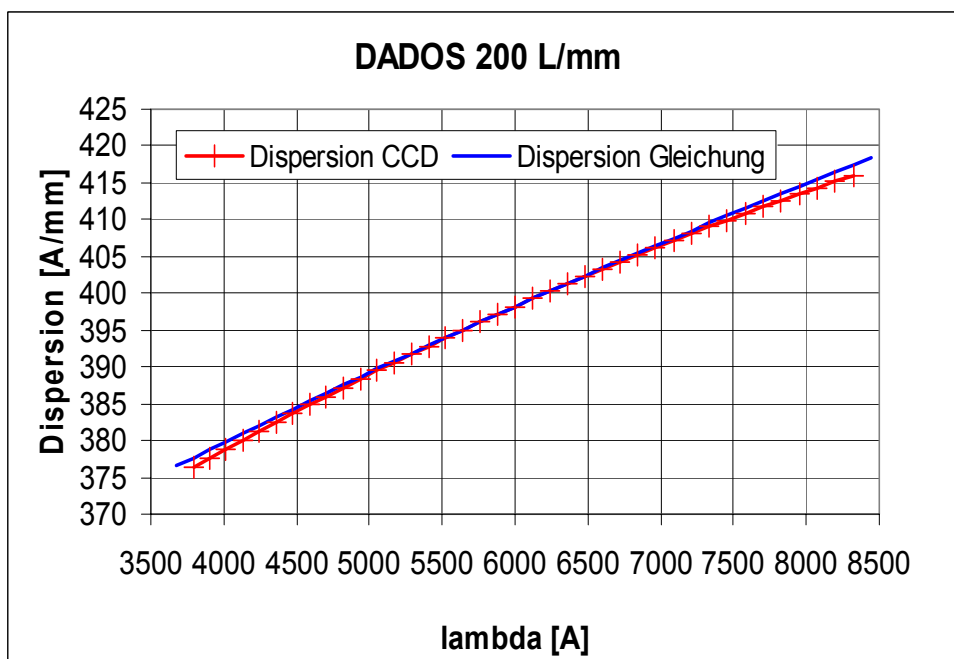
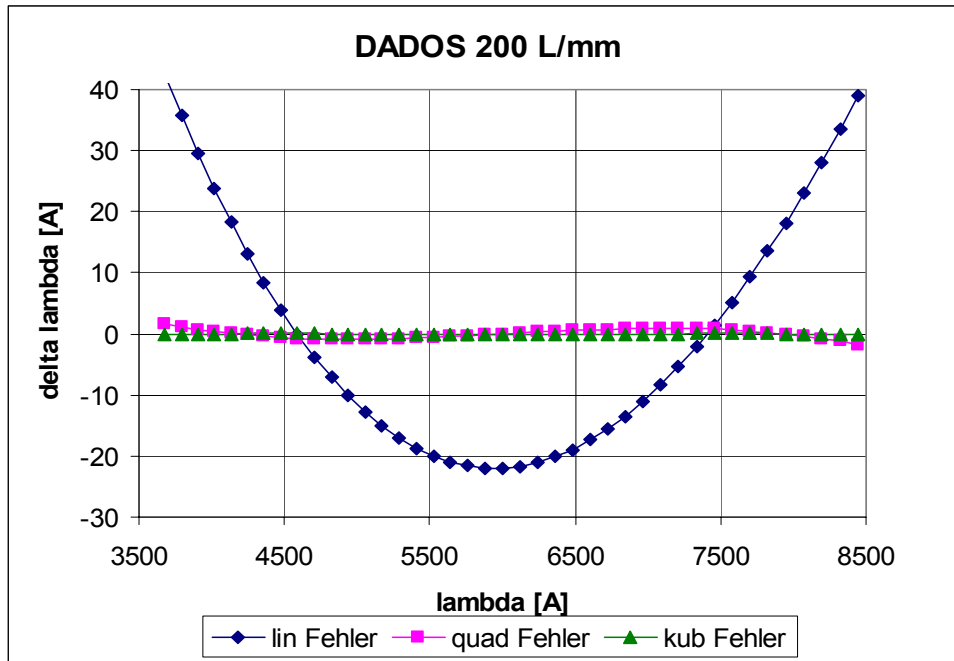
Im folgenden Diagramm ist noch die lineare Dispersion in Å/mm dargestellt, einmal exakt für den ebenen CCD Chip und andererseits berechnet mit der obigen Formel aus der Gittergleichung allein abgeleitet. Für ein Objektiv mit Verzeichnung würde wieder eine andere Kurve herauskommen, am einfachsten ist es also, die Wellenlängenkalibrierung mit einem geeigneten Eichspektrum einmal sorgfältig experimentell zu bestimmen.



Die Dispersion variiert über den Bereich 4500 – 6500 Å um rund 10%, dazu ist der Einfluss der Umwandlung des Winkels auf die Bildebene des CCD deutlich sichtbar. Der letztere Effekt ist bei allen Spektrometern vorhanden, welche ein ebenes Bildfeld aufweisen.
Gitter 200 L/mm

Fitparameter	linear fit	quad fit	kub fit
a	6021.99	6000.01	6000.01
b	397.72	397.72	398.21
c		1.744	1.744
d			-2.16E-02
rms Fehler	19.650	0.754	0.016

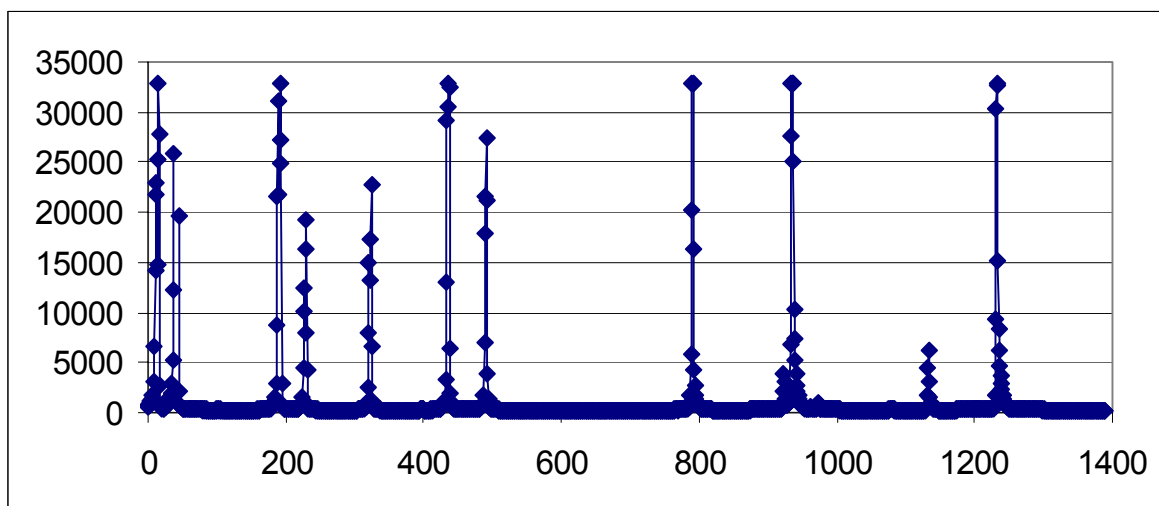
Für den größeren Spektralbereich ist die lineare Interpolation noch schlechter, hingegen sind die quadratische und kubische Interpolation vergleichbar mit dem Gitter höherer Auflösung.



Bei der kleineren Dispersion und dem kleineren CCD Chip ± 6 mm von der Zentralwellenlänge ist der Einfluss des Tangens des Bildwinkels kleiner. Um die Kalibrierung mit mehreren Wellenlängen nicht jedes Mal durchführen zu müssen, ist es empfehlenswert, immer bei der gleichen Zentralwellenlänge zu arbeiten, indem das Gitter so eingestellt wird, dass eine bekannte Wellenlänge immer an der gleichen Position auf dem CCD erscheint. Dann reicht eine Kalibrierung mit einer Linie (vorausgesetzt, dass nichts an der Fokussierung geändert wird, was direkt in die Dispersion eingeht).

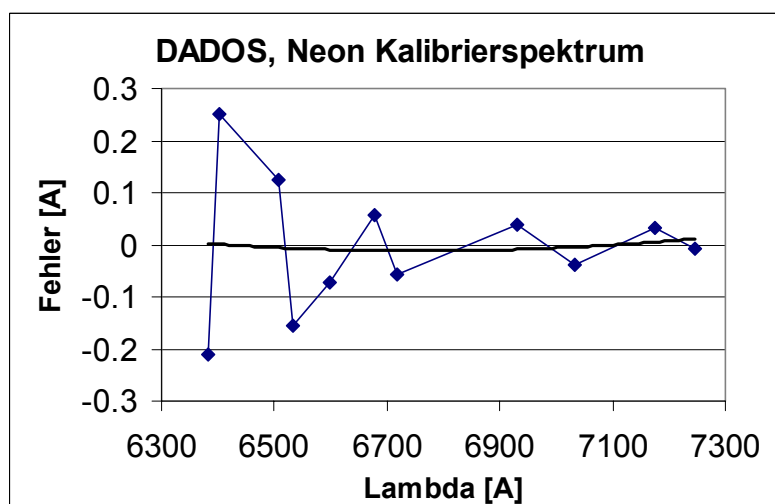
Vergleich mit gemessenem Spektrum

Urs Flükiger hat mir dankenswerterweise Spektren zur Verfügung gestellt, mit denen diese Berechnungen überprüft werden konnten. Als Beispiel sei hier ein Neonspektrum, gemessen mit dem Gitter mit 900 L/mm und aufgenommen mit einer ATIK ATK 314 L, Pixelgrösse 6.45 μ m, 1392 x 1040 Pixel.



Spektrallinien von 6382 – 7245 Å.

Die Peakpositionen wurden mit IRIS bestimmt und eine kubische Kalibriergleichung mit EXCEL gefittet. Dabei wurde zum Vergleich mit den Rechnungen der Nullpunkt der x-Achse in den Mittelpunkt des Bildes gelegt (Pixel 700, 6865 Å). Die Restfehler $\lambda - \lambda(\text{fit})$ des kubischen Fit sind im folgenden Diagramm dargestellt:

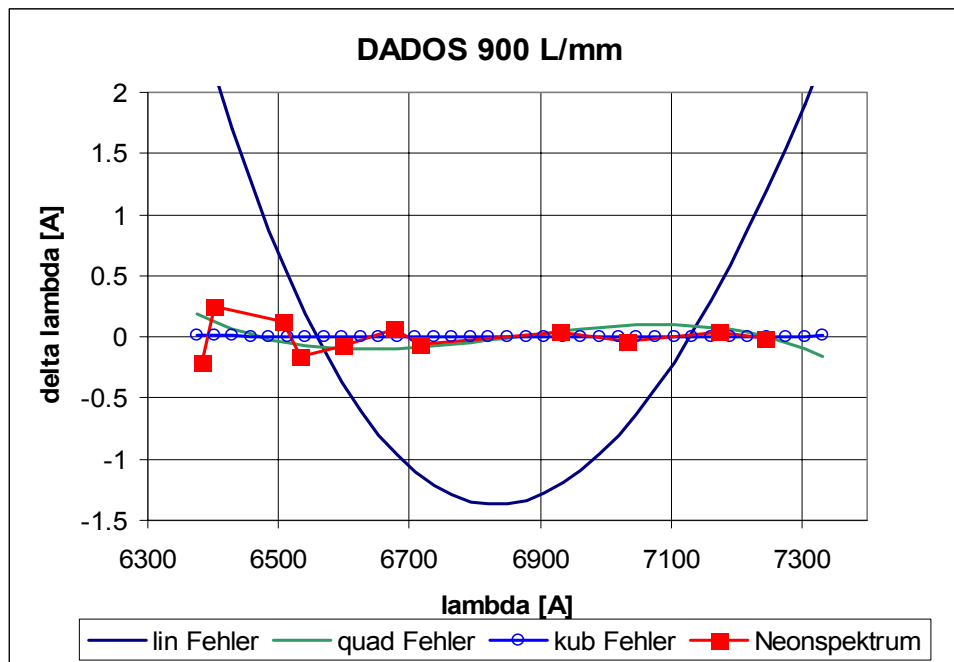


Im unteren Wellenlängenbereich waren die Linien nicht sehr scharf, deshalb die etwas grösseren Fehler, aber wesentlich kleiner als 1 Pixel (0.7 Å). Zum Vergleich mit der Theorie die Koeffizienten des kubischen Polynoms:

	Neonspektrum	Theorie für 6865 Å	
a	6864.50	6864.00	Zentralwellenlänge
b	0.7095	0.7054	Dispersion Å/Pixel
c	9.38E-06	8.17E-06	Quadratische Korrektur
d	-1.77E-09	-1.58E-09	Kubische Korrektur

Die Zentralwellenlänge der Theorie wurde auf ganze nm gerundet, die Dispersion stimmt fast genau, exakt für 95.5 anstatt 96 mm Objektivbrennweite. Auch die Übereinstimmung der restlichen Koeffizienten ist sehr gut.

Zum Schluss sind die Daten des kubischen Fit auf das Neonspektrum noch verglichen mit den theoretischen Fehlern mit verschiedenen Approximationen für diesen Wellenlängenbereich, der im Vergleich zu den Rechnungen oben kleiner gewählt wurde. Die Restfehler sind von gleicher Größenordnung wie die Fehler der quadratischen Interpolation.



Schlussfolgerung

Eine Zweiwellenlängenkalibrierung ist in der Regel nicht ausreichend, ausser es wird nur ein sehr kleiner Spektralbereich beobachtet und die Kalibrierlinien sind in der Nähe der Ränder dieses Bereichs, oder die quadratischen und kubischen Korrekturen werden auf Grund früherer Messungen hinzugefügt.

Bericht zur Gemeinschaftsveranstaltung
„Astrospektroskopie für Amateure“
anlässlich des Essener ATT vom 16. Mai 2009
von Firma BAADER Planetarium & Ernst Pollmann

Vortrag Torsten Daiber (Fröndenberg/Ruhr)

In seinem Vortrag berichtete Herr Torsten Daiber über seine Motivation zur Sternspektroskopie und seine ersten Schritte, sich mit dem Spektrographen DADOS der Firma Baader vertraut zu machen. Torsten Daiber ist es didaktisch ausgezeichnet gelungen, darzulegen, dass keine übermäßig hochwertige Ausstattung und kein hochwissenschaftlicher Hintergrund vorhanden sein muss, um sich mit der Astro-Spektroskopie zu beschäftigen.

Vortrag Sebastian Hess (GSI, Darmstadt)

Im zweiten Vortrag der Gemeinschaftsveranstaltung gab Herr Sebastian Hess einen Einblick in die faszinierenden physikalischen Vorgänge am Himmel anhand seiner selbst gewonnenen DADOS-Spektren - vom Sonnenspektrum bis zu den „verbotenen Linien“ planetarischer Nebel. Herr Hess machte darüber hinaus deutlich, dass ein gewisses physikalisches Grundwissen hilfreich ist, um die komplexen Sachverhalte in Spektren verstehen zu können.

Vortrag Hugo Kalbermatten, Bitsch (Schweiz)

Eine etwas detaillierte Beschreibung spektroskopischer Beobachtungsmerkmale einiger bekannter und populärer Emissionsliniensterne wie etwa P Cygni, 28 Tauri, ζ Tauri und γ Cas bzw. deren Interpretation war das wesentliche Ziel des Vortrages von Herrn Hugo Kalbermatten. Herr Kalbermatten beschrieb anhand der Spektren dieser Sterne gewisse Unterschiede im Dispersionsvermögen zwischen den Spektrographen DADOS von Firma BAADER und dem Spektrographen LHIRES der französischen Firma SHELIAC.

Vortrag Dr. Andreas Ulrich (TU-München)

Seit der Antike ist bekannt, dass der Mond nur das Licht der Sonne reflektiert. Dr. Ulrich ging in seinem Vortrag der Frage nach, was das heißt.

- Ist der Mond ein idealer Spiegel?
- Gibt es nur das fahle, kalte Mondlicht oder auch romantisch rote Auf- und Untergänge?

Vor der Mondlandung wurden Mineralien der verschiedenen Regionen des Mondes durch spektrale Messungen genau analysiert. Herrn Dr. Ulrich ist es anschaulich gelungen, die globale Strahlung so zu erläutern, warum selbst so helle Objekte wie der Mond und die Sonne eine große Herausforderung für den Amateurspektroskopiker darstellen können.

Vortrag Ernst Pollmann (Leverkusen)

H α -Beobachtungen am Doppelsternsystem VV Cephei war das Thema des Vortrages von Herrn Pollmann. VV Cep ist ein einzigartiges und großartiges Beispiel eines Bedeckungsternsystems mit einem Massenaustausch zwischen den Komponenten, in dem ein aufgeblähter heller M2-Überriese mit einer ausgedehnten Atmosphäre von einem sehr viel schwächeren, heißen blau-weißen Hauptreihenstern der Spektralklasse B0Ve umkreist wird. Herr Pollmann beschrieb Langzeitbeobachtungen an diesem Sternsystem mit seinem hochauflösendem Selbstbauspektrographen.

Vortrag Dr. Vadim Burwitz (MPE Garching)

Zukünftige Amateur-Spektroskopie mit hoher Auflösung war das Kernthema dieses Vortrages. Üblicherweise erreicht man eine hohe spektrale Auflösung nur auf Kosten einer Verkleinerung des zu untersuchenden Wellenlängenbereiches.

Der von Dr. Burwitz erstmals vorgestellte Echelle-Spektrograph BACHES – eine Produktneuheit der Firma Baader Planetarium (siehe Abb.) – erlaubt dem Beobachter, den ganzen optischen Wellenlängenbereich bei hoher spektraler Auflösung zu untersuchen. Ein solcher Spektrograph gehört in jede Volkssternwarte und Astrovereinigung wobei die Präsentation dieses Prototypen „das Highlight des Tages“ war.



Ein Teilnehmer der Veranstaltung schreibt: „Sehr beeindruckend war das Spektrum der Sonne und die unzähligen Fraunhoferlinien. Selbst zwischen den beiden – im Spektrum sehr weit getrennten Linien des Na-Dubletts (Abstand 0,6 nm) konnte man problemlos noch mindestens eine weitere Linie sehen“.

Ich möchte mich auf diesem Wege noch einmal herzlich bei allen Referenten für ihre ganz ausgezeichneten Beiträge zu diesem ATT-Spektroskopie-Meeting bedanken. Nach meiner festen Überzeugung haben Sie ganz wesentlich dazu beigetragen, dass das ohnehin stark gewachsene Interesse an der Astrospektroskopie in der Amateurastronomie sich weiterhin zum Positiven entwickeln wird.

Bei mehr als 80% der Veranstaltungsteilnehmer und der außergewöhnlich hohen Besucherzahl - teilweise war der Vortragsraum an der Grenze der Kapazität mit 60 Personen gefüllt - handelte es sich z. T. um einen mir vorher unbekannten Personenkreis, der sich in diesem Rahmen mit seinem spektroskopischen Interesse erstmals zu erkennen gab. Ich werte dies als Tatsache, dass auch weiterhin noch ein beachtliches und "unangezapftes Potential" von Spektroskopikern in der deutschen Amateurastronomie zu finden ist. Die Essener Gemeinschaftsveranstaltung hat dazu beigetragen, zumindest zum Teil Zugang zu diesem vorhandenen Potential zu finden.

Ernst Pollmann

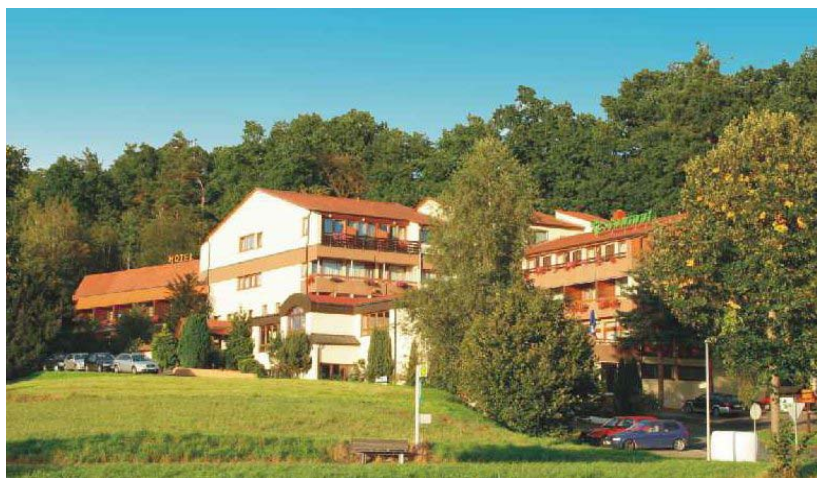
Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Astrospektroskopie
„ASPAS - Aktive Spektroskopie in der Astronomie“
in Zusammenarbeit mit der Fachgruppe Spektroskopie
der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft SAG

Die Fachgruppe Spektroskopie der SAG (Schweizerische Astronomische Gesellschaft) und ASPAS-Aktive Spektroskopie in der Astronomie veranstalten vom 7.- 9.5.2010 in Bebra (Nähe Fulda) im "Hotel Sonnenblick" ihre erste gemeinsame Spektroskopie-Jahrestagung unter dem Motto "Astrospektroskopie für Amateure". Ziel dieser Tagung wird sein, einen Querschnitt aus möglichst vielen Bereichen amateurastronomischer Tätigkeit unter spektroskopischen Gesichtspunkten vorzustellen.

Die Tagung richtet sich gleichermaßen an Einsteiger in die Astrospektroskopie und an fortgeschrittene Amateure mit (voraussichtlich) folgenden Themen:

- N. Stahr: Spektralklassifikation mit dem Star-Analyser
- S. Slijkhuys: Objektiv-Prismen-Spektroskopie
- S. Hess: Einblicke in physik. Vorgänge am Himmel mit Hilfe von DADOS-Spektren
- A. Gerhardus: Spektroskopische Ermittlung der chem. Zusammensetzung u. Elementverteilung in planetarischen Nebeln (Schüler-Facharbeit)
- J. Sembdner: Hochaufgelöste Solarspektroskopie als Schüler-Facharbeit
- E. Pollmann: H α -Beobachtungen am Be-Doppelstern ζ Tauri
- T. Daiber: Motivation zur Sternspektroskopie und erste Schritte mit DADOS
- S. Raetz: FIASCO - der Spektrograph der Uni-STW-Jena
- Th. Bauer: Spektrenkalibration im Sub-Pixelbereich
- E. Pollmann: Gemeinschaftsprojekte mit der professionellen Astronomie
- A. Ulrich: Astrospektroskopie mit dem OCEAN-OPTICS-Spektrographen
- H. Kalbermatten: Interpretation spektroskopischer Beobachtungsmerkmale versch. Objekte

Der Vertiefung persönlicher Kontakte und zwischenmenschlicher Kommunikation wird auf dieser Tagung eine besondere Bedeutung beigemessen. Die Unterbringungsart der Vollpension im Tagungshotel "Sonnenblick" bietet gerade deshalb dazu ausgezeichnete Gelegenheiten.



Ansicht des Tagungshotels „Sonnenblick“ in Bebra

Ausgiebige Pausen zwischen den Beiträgen bei Erfrischungsgetränken, Gebäck und Kaffee werden dazu entsprechend beitragen.

Die Teilnahmekosten bei Vollpension belaufen sich bei einer Teilnahme vom 7.5. (beginnend mit einem gemeinschaftlichen Abendessen) bis zum 9.5. (mit abschließendem gemeinschaftlichen Mittagessen) im Einzelzimmer auf 165,00 € pro Person, und im Doppelzimmer auf 135,00 € pro Person. Ansonsten werden keine weiteren Tagungsgebühren erhoben. Selbstverständlich ist auch eine Teilnahme ohne Unterbringung im Hotel Sonnenblick möglich. In diesem Fall wird ein Tagungsbeitrag in Höhe von 10,00 € erhoben.

Wegen der Begrenzung der Teilnehmerzahl auf 45 Personen, richten Sie bitte rechtzeitig Ihre Anmeldung an:

Ernst Pollmann

eMail: ernst-pollmann@t-online.de

Spektroskopie für Einsteiger (I)

(v. Ralf Gerstheimer)

Wer einen Blick in die faszinierende Welt der Farben und Farbmuster der Gestirne werfen möchte, benötigt dazu neben einem Teleskop lediglich ein preiswertes optisches Gitter. Schon visuell lassen sich damit bereits grundlegende Informationen über die Eigenschaften vieler Himmelsobjekte gewinnen. Mit einer Kamera können darüber hinaus auch noch schwächere Objekte aus einem breiteren Spektralbereich aufgenommen werden. Um tiefer in die Analyse des Sternenlichts einzudringen, kann mit wenig Aufwand ein simples Spaltspektroskop gebastelt werden, mit dem sich die Leistungsfähigkeit des optischen Gitters erheblich steigern lässt. Im folgenden Beitrag beschreibt der Autor seine Ausrüstung sowie die verwendeten Aufnahmeverfahren und stellt seine Ergebnisse vor.

Im Oktober 2008 unternahm ich meine ersten Schritte auf dem Gebiet der astronomischen Spektroskopie. Ein vorhandenes, schon etwas in die Jahre gekommenes Blaze-Gitter von Baader-Planetarium mit 207 Linien/Millimeter (Abb.1) diente zunächst ersten Experimenten zur Gewinnung von spaltlosen Sternspektren (Das Blaze-Gitter ist ein holographisch hergestelltes Transmissionsgitter, dessen sägezahnförmiges Profil der Gitterfurchen eine Konzentration des Lichtes auf eine der beiden 1. Ordnungen des Beugungsbildes bewirkt. Damit ist ein großer Nachteil des Gitters im Vergleich zum Prisma, die geringere Helligkeit des Beugungsbildes, im Wesentlichen behoben).



Abb. 1: Blaze-Gitter mit 207 Linien/Millimeter von Baader-Planetarium, das mittlerweile aber nicht mehr erhältlich ist.

Für den visuellen Einsatz als einfaches Spektroskop wurde das Gitter in die Steckhülse eines Okulars geschraubt. Eine Zylinderlinse als Aufsatz zum Okular diente dazu, den dünnen Spektralfaden zur besseren Erkennbarkeit der Absorptionslinien aufzuweiten. Die visuelle Beobachtung von Sternspektren hat beispielsweise bei öffentlichen Sternwartenführungen einen großen Reiz, weil hier Astrophysik live demonstriert werden kann. Besonders geeignet als Demonstrationsobjekte sind die hellen A-Sterne wie Wega, Atair usw., die kontrastreiche Balmer-Linien zeigen oder auch kleine und helle planetarische Nebel wie NGC 6543 mit diskreten Beugungsbildern, die den Emissionslinien entsprechen.

Für die Aufnahme von spaltlosen Spektren wurde das Gitter direkt in die 1,25" Steckhülse einer Philipps ToUCam (Webcam) bzw. einer DMK21AF04 (industrielle Video-Überwachungskamera) der Firma The Imaging Source TIS geschraubt und in den Okularauszug meines 32cm Newton-Teleskops gesteckt. Weil das Gitter für eine hohe Auflösung möglichst im parallelen Strahlengang eingesetzt werden muss, blendete ich das Teleskop mit einer Pappblende auf eine Öffnung von 10 Zentimetern ab. Daraus resultierte (bei einer primären Brennweite von 152 Zentimetern) ein Öffnungsverhältnis von $f/15$. Ein noch stärkeres Abblenden hätte zwar das Öffnungsverhältnis weiter vergrößert, die geringere Beleuchtung von Spalt und Sensor wäre aber insgesamt nachteilig gewesen. Als Sensor setzte ich zunächst die Philipps ToUCam ein. Allerdings blieben die Ergebnisse unter meinen Erwartungen, so dass ich im Weiteren nur noch mit der DMK 31AF03 arbeitete, welche deutlich kontrastreichere Spektralbilder lieferte.

Die Aufnahme von spaltlosen Spektren

Sterne erscheinen uns durch ihre sehr großen Entfernungen punktförmig und lassen sich in optischen Teleskopen nicht direkt darstellen. Die Teleskopöffnung verursacht Beugungserscheinungen, wobei im Maximum 0-ter Ordnung, dem Airyscheibchen, der größte Teil des einfallenden Lichtes vereinigt wird. Durch die praktisch immer währende, jedoch stark schwankende Luftunruhe wird das Airyscheibchen auf dem Sensor (das kann die Netzhaut unseres Auges sein, eine photographische Emulsion oder auch ein CCD-Chip) auf eine größere Fläche 'verschmiert'. Das Airyscheibchen erscheint folglich aufgeblasen und unscharf. Fällt das Licht des Airyscheibchens nun im Brennpunkt der Optik auf ein optisches Gitter, wird es gebeugt und das Scheibchen auf dem Sensor abgebildet. Die Stärke der Lichtbeugung (Dispersion) fällt dabei für jede Wellenlänge unterschiedlich stark aus, so dass die gebeugten Airyscheibchen nebeneinander auf dem Sensor abgebildet werden. Dabei kommt es aufgrund der geringen Wellenlängenunterschiede zu Überlappungen der Spektralbilder - und zwar umso stärker, je größer der Durchmesser der Beugungsscheibchen (also des Airyscheibchens im Fokus) ist. Somit wird klar, dass die spektrale Auflösung beim spaltlosen Spektrographen vergleichsweise gering bleiben muss und darüber hinaus auch noch stark von der Luftunruhe, dem Seeing, beeinträchtigt wird. Andererseits sind spaltlose Spektren sehr einfach zu gewinnen und eignen sich gut dazu, Sterne zu klassifizieren. Die grobe Einteilung in Spektralklassen (klassisch: O,B,A,F,G,K,M) fußt auf wenigen, meist deutlich hervortretenden Linien, die mit ein wenig Übung problemlos identifiziert werden können. Durch die geringe Auflösung stößt die spaltlose Spektroskopie aber schnell an Grenzen, wenn es darum geht, z.B. Radialgeschwindigkeiten von Sternen zu bestimmen oder die Spektren flächiger Objekte wie Gasnebel etc. aufzunehmen. Für diese Aufgaben sind sog. Spaltspektrographen erforderlich, die im Amateurbereich zwar Auflösungen bis zu 0,1 Angström erreichen, aber auch schnell mehrere tausend Euro kosten können. Darüber hinaus erfordert der Betrieb eines Spaltspektrographen ein sehr exakt nachgeführtes Teleskop.

Meine ersten Aufnahmen von Spektren zeigten schon bald, dass die Gewinnung von Spektralbildern in befriedigender Qualität es erforderte, wiederholt Spektren von ein und denselben Sternen aufzuzeichnen. Die seeingbedingten Qualitätsschwankungen waren teilweise gravierend und so schwankte die Auflösung der Spektren – besonders bei tief stehenden Sternen – von mehreren Beobachtungssitzungen erheblich.

Spezialfall: Sonnen, Planeten- und Mondspektrum

Eine weitere interessante Anwendung zur Erzeugung von Planetenspektren ohne Spalt nutzt das veränderliche Erscheinungsbild mancher Gestirne aus. Immer dann, wenn Objekte dauerhaft oder vorübergehend sehr schmale „Phasen“ zeigen, scheint ihr Licht durch einen natürlichen Spalt zu fallen. Das Paradebeispiel hierfür sind die so genannten Flash-Spektren, die bei totalen Sonnenfinsternissen kurz vor der Totalität aufgenommen werden können. Wenige Sekunden, bevor der Mond die Sonnenscheibe vollständig verdunkelt, bleibt nur noch ein sehr schmaler, gekrümmter Lichtspalt am Rand sichtbar, der mit einem Gitter oder Prisma zunächst zu einem Absorptionsspektrum der Photosphäre, im Anschluss daran auch kurzzeitig zu einem Emissionsspektrum der Chromosphäre und der inneren Korona aufgeweitet werden kann. In den Jahren 2008 und 2009 zeigte sich der Ring des Saturn von der Erde aus zeitweilig nur noch als mehr oder weniger breiter, heller Strich. Analog zum Flash-Spektrum schien das Licht des Ringes wie durch einen Spalt abgebildet und bot die Möglichkeit, ein Spektrum aufzunehmen. Wie Abb.2 zeigt, wurde der flächige Bereich der Saturnkugel dabei überlappend abgebildet und ergab ein verwaschenes Bild ohne Absorptionslinien. Ober- und unterhalb dieses Bereiches war das Spektrum des Ringes (das dem Sonnenspektrum entsprach) mit den stärksten Absorptionslinien des Sonnenlichtes zu erkennen. Die Auflösung war dabei durch die scheinbare Breite des Ringes vorgegeben.

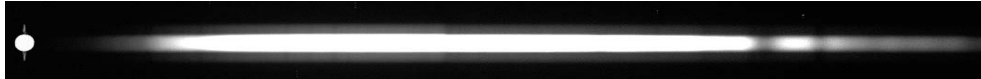


Abb. 2: Rohspektrum Saturn (Montage). Der schmale Saturnring erzeugte ober- und unterhalb der Kugel ein deutliches Absorptionsspektrum, während die Planetenkugel selbst ein verwaschenes, überbelichtetes Spektrum ergab.

Da Mond und Venus (theoretisch auch Merkur) sehr schmale Sichel zeigen, besteht auch dort die Möglichkeit zur Aufnahme von Spektren. Die schmalen Spitzen der „Hörner“ ergeben zwar gekrümmte und konisch zulaufende, aber ausreichend schmale Lichtstreifen. Auch wenn die Breite des Pseudospaltes vergleichsweise groß und die Überlappung der Spaltbilder entsprechend stark ist, können die kräftigsten Linien des Sonnenspektrums doch eindeutig identifiziert werden.

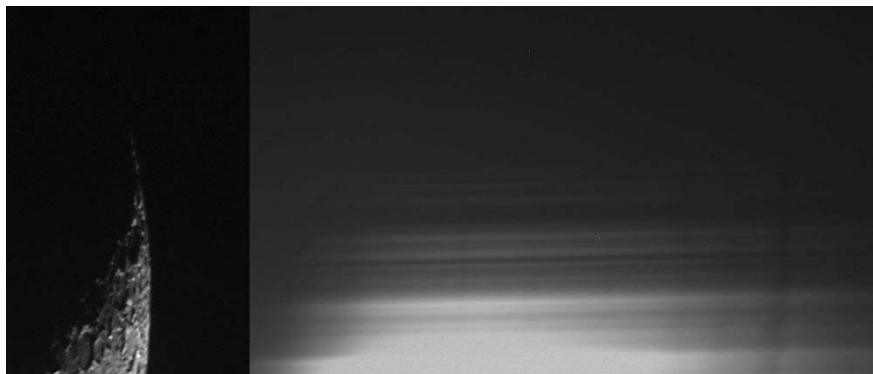


Abb. 3: Rohspektrum Mond (Montage). Nur die schmalen Ausläufer der Sichel bilden die Absorptionslinien des Sonnenspektrums erkennbar ab

Die Aufnahme von Spaltspektren mit einem einfachen Experimentalspalt spektroskop

Angeregt durch verschiedene Beiträge auf Amateur-Internetseiten experimentierte ich mit dem relativ gering auflösenden Baader-Gitter und ein paar wenigen optischen Komponenten, um Erfahrungen auf dem Gebiet der Spaltspektroskopie zu sammeln. Zudem setzte ich mir das Ziel, das Leistungsvermögen des Gitters so weit wie möglich auszuschöpfen und dabei nicht nur eine qualitative Bewertung durchzuführen, sondern auch ein quantitatives fotografisches Ergebnis zu erhalten.

Im Wesentlichen setzt sich der Spektrograph aus den folgenden vier Komponenten zusammen:

- Einem feinen Spalt, der aus dem zu untersuchenden Objekt als Spaltabbildung einen feinen Lichtstreifen ausschneidet.
- Einem Kollimator hinter dem Spalt, der einen parallelen Strahlenverlauf des Spaltbildes erzeugt
- Einem optischen Gitter, das den Lichtstreifen bei der Beugung in die Einzelfarben zerlegt
- Einer abbildenden Optik, um das Beugungsbild des Lichtstreifens, das Spektrum, betrachten oder aufnehmen zu können.

Spalt

Ohne Frage war die Anfertigung eines engen und sauberen! Spaltes keine einfache Sache. Der selbstgefertigte Spalt besteht aus zwei Fragmenten einer Rasierklinge. Die Bruchstücke wurden mit kleinen Magneten auf einer passend gedrehten Unterlegscheibe fixiert und dann behutsam in die richtige Position geschoben. Mit etwas Sekundenkleber ließ sich der Spalt leicht fixieren, die Magnete konnten später entfernt werden (Abb. 4).



Abb. 4: Die Fixierung der Rasierklingenfragmente mit kleinen Magneten

Durch den sehr einfachen und kostengünstigen Aufbau ließen sich je nach Einsatzzweck schnell verschieden breite Spalte bauen und einsetzen. Als Halterung für die Spalt-Scheiben diente eine Aluminium-Steckhülse, die von einem hilfsbereiten Vereinskollegen angefertigt wurde. Der Hülsendurchmesser betrug auf beiden Seiten 1,25", somit konnte die Hülse auch als Verbindungsstück zwischen Spektrograph und Okularauszug des Teleskops eingesetzt werden. Etwa in der Mitte der Hülse wurde eine Auflage für die Spaltscheiben abgesetzt, seitlich mündet an dieser Stelle eine Klemmschraube zur Fixierung der Spaltscheibe. Aufgabe des Spaltes ist es, aus einem flächigen Objekt, z.B. Sonnenscheibe oder Emissionsnebel, einen sehr schmalen Bereich auszuschneiden, der vom Gitter auf der Sensorebene als feine Lichtlinie abgebildet wird. Je schmaler der Spalt ist, umso feiner und genauer (besser aufgelöst) ist das resultierende Spektrum. Nachteilig wirkten sich bei der Verwendung von Rasierklingen die feinen Unebenheiten auf der Schnittkante aus, die beim

Schliff der Klingen entstanden. Im Beugungsbild traten dadurch quer zu den Spektrallinien störende Linien auf, und zwar um stärker, je feiner der Spalt war. Optimal wäre eine polierte Schneide, jedoch war auch ein leichtes Abziehen der Klinge auf einem feinkörnigen Abziehstein längs zur Schnittrichtung hilfreich. Sehr lästig ist darüber hinaus das Anhaften von Staubkörnern auf der Schneide. Im Beugungsbild traten dann hässliche, sehr dunkle Streifen quer zu den Spektrallinien auf. Auch hier galt: Je feiner der Spalt, desto lästiger die Artefakte. Die nachträgliche Reinigung des Spaltes führte in den meisten Fällen zur einer Verschlimmbesserung und oft war der Spalt anschließend mehr oder weniger unbrauchbar. Die besten Ergebnisse konnten erzielt werden, wenn die Schnittflächen mit warmem Wasser gründlich abgespült und nach dem Trocknen an einer Gummi-Fusselrolle (die eine sehr gute adhäsive Wirkung hat) abgetupft wurden.

Kollimator

Aufgabe des Kollimators ist es, den Lichtstreifen aufzuweiten und als möglichst paralleles Lichtbündel auf dem Gitter abzubilden. Ein großer Vorteil des Teleobjektives ist die komfortable und leichtgängige Fokussierung des Beugungsbildes. Um möglichst große Freiheiten bei der Einstellung des Strahlenganges zu haben, wurde der Kollimator mit einer höhenverstellbaren Rohrschelle drehbar auf einem stabilen Holzbrettchen montiert (Abb. 5).



Abb. 5: Der fertig aufgebaute Spaltspektrograph

Als Kollimator diente ein überzähliges 200 Millimeter (oder ein 135 Millimeter) Teleobjektiv mit M42 Anschluss. Am M42-Gewinde war ein T2/1,25"-Adapter über einen M42/T2-Adapterring angeschraubt. Am 1,25" -anschluss wurde die Alu-Hülse inklusive der darin befindlichen Spaltscheibe eingesteckt (Abb. 6).



Abb. 6: Ansicht des eingebauten Spaltes von vorn.

Gitter

Direkt hinter dem Kollimator wurde das Blaze-Gitter angebracht. Die theoretisch erreichbare Auflösung des Gitters liegt bei einem freien Durchmesser von 25 Millimetern und 207 Linien/Millimeter bei ca. 1 \AA (0,1 Nanometer). Es ist ebenfalls in einen T2(innen)/1,25"-Okularadapter eingeschraubt und wird von einer höhenverstellbaren und drehbaren Rohrschelle gehalten (Abb.7).



Abb. 7: Das Gitter befindet sich unmittelbar hinter dem Kollimator und kann horizontal und vertikal verstellt werden.

In diesen Adapter ist von der Rückseite her ein Adapter T2(außen)/1,25"-Steckhülse eingeschraubt. Aus Stabilitätsgründen wird dieser Adapter durch eine weitere Rohrschelle gehalten. Während der vordere Teil frei drehbar ist, wird der hintere jedoch seitlich in einem Langloch geführt und ermöglicht so ein Schwenken der gesamten Einheit um die vordere Achse. Dies ist erforderlich, um verschiedenen Bereiche des eventuell weit auseinander gezogenen Spektrums betrachten zu können.

Abbildende Optik

Zwischen den Adaptern befindet sich als abbildendes Element eine Konvexlinse mit einer Brennweite von ca. 10 Zentimetern. Am hinteren Adapter ist ein Zenitspiegel befestigt (Abb. 5). Neben einer komfortableren Beobachtungshaltung hat dies den Vorteil, dass bei Verwendung von Barlowlinsen und unterschiedlichen Okularen grobe Lichtwegunterschiede per Schiebefokussierung leicht ausgeglichen werden können. Die Feinfokussierung erfolgt dann über das Teleobjektiv. Gegen Streulicht kann es erforderlich sein, den Bereich zwischen Gitter und Kollimator mit einer Aluminiumfolie (oder besser noch mit einer aluminiumbeschichteten PE-Folie etwa aus Lebensmittelverpackungen) abzudecken.

Bei Übersichtsaufnahmen arbeitete ich im "Primärfokus" des Spektrometers, für Detailaufnahmen verwendete ich eine 2- oder 5-fach Barlowlinse direkt vor der Kamera. Mit dem Einsatz der Televue 5x-Powermate stößt die mechanische Belastbarkeit der gegenwärtigen (sehr provisorischen) Konstruktion aber an ihre Grenzen. Die Aufnahme von Sternspektren mit dem Spaltspektrographen wird eine weitere Herausforderung sein. Zwar konnte ich schon erste Spektren damit aufnehmen, doch sind hier noch Verbesserungen bezüglich der mechanischen Stabilität und des Handlings am Teleskop erforderlich.

(Dieser Beitrag wird in SPEKTRUM Nr. 39 fortgesetzt)