

## Erfahrungen mit dem Baader Blaze-Gitter (1)

Klaus Finsterbusch

Auf der diesjährigen Mitgliederversammlung beschlossen die Sternfreunde Münster den Kauf des Baader Blaze-Gitter-Spektroskops, um künftig nicht nur aus dem Lehrbuch einen Einblick in die Physik der Sterne und anderer Himmelsobjekte zu erhalten. In den folgenden Monaten hatte ich das Vergnügen, einen engeren Kontakt mit dem Gerät herzustellen. Dies geschah während einer Handvoll Nächte, in denen ich Spektren fotografierte und visuell betrachtete. Nicht gerade viel in Anbetracht der Zeit, die mir zur Verfügung stand, doch gab es jede Menge Gründe, sich nicht mit Spektren zu beschäftigen, z. B. Hyakutake, die Galaxien des Virgo-Haufens, Klausuren und Diplomprüfungen, etc...

Als Leitfaden diente mir neben der Anleitung zum Spektroskop [1] vor allem der Artikel „Sternspektrographie in der Schule“ (mit Baader Blaze-Gitter) in SuW [2]. In [1] findet man wichtige Hinweise zur Spektroskopie, d. h. der visuellen Beobachtung von Spektren. Für das nötige Wissen zur Fotografie von Spektren (Spektrographie) greife man besser auf [2] zurück. Allgemeines zum Thema Spektroskopie/Spektrographie findet man in [3] - [5]. Doch nun zum Gegenstand dieser Zeilen.

Das Baader Blaze-Gitter ist ein Transmissionsgitter mit 207 Linien/mm. Bei einem Durchmesser von 26 mm hat es insgesamt etwa 5400 Linien. Daraus folgt ein theoretisches Auflösungsvermögen von  $\{\lambda/\Delta\lambda = 5400\}$ , d. h. bei 540 nm können 0.1 nm getrennt werden ( $nm=10^{-9}m$ ). Ob dieses in der Praxis erreicht werden kann, steht auf einem ganz anderen Blatt. Gegenüber Prismen haben Gitter den Vorteil einer fast vollkommen gleichmäßigen Farbauftrennung und einer höheren Intensität im blauen Bereich. Bei Prismen nimmt die Farbauftrennung von rot nach blau zu, und der blaue Bereich wird durch Absorption im Glas geschwächt. Ein Nachteil des Gitters ist, daß es neben einem unverändert bleibenden Teil (0. Ordnung) des Lichts, Spektren in mehreren höheren Ordnungen liefert, die symmetrisch zu beiden Seiten der 0. Ordnung angeordnet sind. Im Klartext: Ein Gitter erzeugt mehrere Spektren, so daß Licht verschenkt wird. In der astronomischen Praxis werden deshalb oft Gitter verwendet, die so konstruiert sind, daß sie das Licht überwiegend in einer gewünschten Ordnung konzentrieren. Solche Gitter heißen Blaze-Gitter. Das Baader-Gitter ist für eine der beiden ersten Ordnungen geblazet.

Abbildung 1 zeigt die Anordnung bei visueller Beobachtung. Das Gitter ist in eine 1 1/4"-Filterfassung mit Schraub-

gewinde eingebaut. Es kann direkt ins Okular oder besser in den Universalanschluß/Gitterhalter eingeschraubt werden. Letzterer besteht aus zwei Teilen: A) 1 1/4"-Steckhülse mit Filtergewinde und T-2 (M42 x 0.75 mm) Anschlußgewinde und B) Einsteckhülse für 1 1/4"-Okulare, auf die eine Fokussierhülse mit T-2 Gewinde für KB-Kameras gestülpt ist. Die Fokussierhülse kann auf der Einsteckhülse bewegt werden, um bei fotografischer Beobachtung eine Grobfokussierung zu erzielen. Wird der Universalanschluß mit Gitter und einem Okular bestückt, und das Ganze dann in den Okularstutzen des Teleskops gesteckt, eröffnet sich dem Betrachter ein farbenfrohes Universum. Alle Sterne, die ohne Gitter im Gesichtsfeld des Okulars Platz finden, zeigen nun zusätzlich zu ihren jetzt geschwächten Bildern (0. Ordnung) ein fadenförmiges Spektrum. Die Zuordnung eines Sterns zu seinem Spektrum ist einfach. Die nullte Ordnung liegt genau auf der Verlängerung des Spektralfadens über das blaue Ende hinaus. Sollte die Zuordnung nicht offensichtlich sein, was z. B. bei planetarischen

Nebeln der Fall sein kann, (siehe [1]), drehe man den ganzen Ansatz im Okularstutzen. Dabei drehen sich die Spektren um ihre nullte Ordnungen, deren Lage im Gesichtsfeld unverändert bleibt. Durch das Einschrauben des Gitters in den Gitterhalter ist ein schnelles Wechseln der Okulare (der Vergrößerung) möglich, ohne ständig das Gitter auf- und wieder abschrauben zu müssen. Will man die Einzelheiten im Spektrum erkennen, muß man die Zylinderlinse auf das Okular stecken, wodurch der Spektralfaden aufgeweitet wird. Die Okular-Steckhülse für die Zylinderlinse ist für Okulare mit 34 mm Außendurchmesser ausgelegt. Kleinere Okulare können durch Isolierband angepaßt werden. Die Augenmuschel ist äußerst einfach verarbeitet und fällt meistens ab. Die Sichtbarkeit von Einzelheiten hängt entscheidend von der Luftunruhe und dem Kontrast zwischen Absorptions-/Emissionslinie und den ihr benachbarten Teilen des Spektrums ab. Die Situation ist also ähnlich wie bei der Beobachtung enger Doppelsterne und Planeten. Weitere wichtige Hinweise

zur visuellen Beobachtung in [1]. Beobachtet und fotografiert habe ich einige Spektren an meinem 6"-Newton f/6. Mit einem Instrument dieser Größe ist die Spektroskopie nur der hellsten Sterne möglich. Kurz nach Erhalt des Gerätes beobachtete ich den Stern Beteigeuze im Sternbild Orion. Beteigeuze ist ein M2 Überriese [5], der neben einem dichten Wald von Linien neutraler Elemente starke Absorptionsbanden des Titanoxids im gelbroten Bereich zeigt. Bei 56-fach waren solche Banden gut zu sehen. Auch das für Banden typische scharfe kurzwellige Ende war zu erkennen. Eine höhere Vergrößerung ließ das Sehen nicht zu. Im Sommer richtete ich Teleskop und Gitter auf Wega im Sternbild Leier, einem A0 Hauptreihenstern. Die Balmer-Serie des Wasserstoffs hat beim Spektraltyp A ihr Maximum und beherrscht

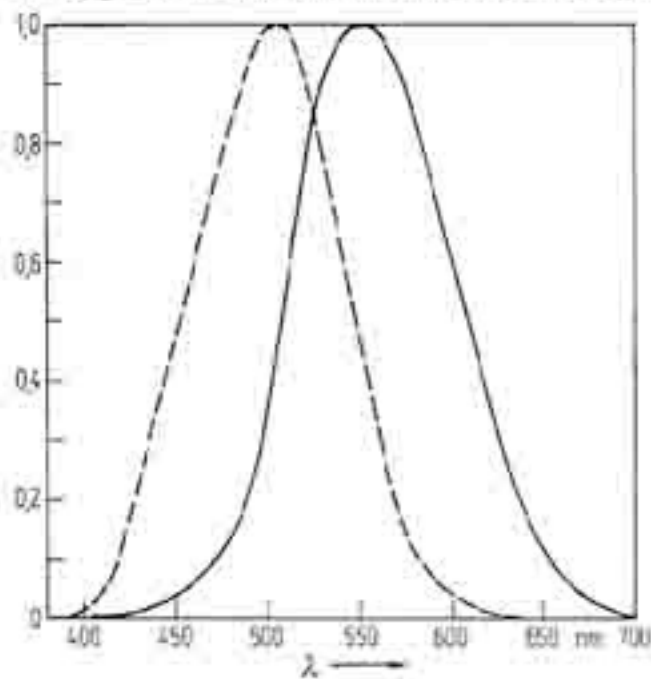


Abbildung 2: Spektrale Empfindlichkeitskurve des Auges, normiert auf jeweiligen Maximalwert; Nachtsehen: -----, Tagsehen: —

das Spektrum. Auf Fotografien zeigt sie sich als hübsches Muster von Linien, das zum blauen Ende des Spektrums immer dichter wird. Visuell ist dies nicht zu erfassen, da lediglich  $H_{\beta}$  und  $H_{\gamma}$  gesehen werden können. Dies ist eine Folge der Unempfindlichkeit des menschlichen Auges im roten und blauen Bereich bei schwachen Beleuchtungsstärken, siehe *Abbildung 2*. In Spektren etwas schwächerer Sterne, z. B. von Atair im Adler, konnte ich keine Linien erkennen. Möglicherweise liegt das daran, daß ich mit dieser Art von Beobachtung nicht vertraut bin. Laut Baader Planetarium ist bei einem Objektivdurchmesser von 200 mm die Beobachtung von stärkeren Absorptions- und Emissionslinien in den Spektren von Sternen bis zur 7. Größe möglich. Bei Planetarischen- und Gasnebeln wird angeblich die 12. Größe erreicht. Wir werden es erleben.

Gegenüber der visuellen Beobachtung hat die Spektrographie entscheidende Vorteile. So lassen sich Spektren wesentlich schwächerer Objekte beobachten, die zudem in auswertbarer Form vorliegen. Außerdem sind fotografische Filme im roten und blauen Spektralbereich empfindlicher als das Auge. Zur Aufnahme sind sowohl Farb(dia)- als auch S/W-Filme geeignet. Ihnen gemeinsam ist die nicht gleichmäßige Empfindlichkeit über den sichtbaren Spektralbereich. Zur Bewertung der Aufnahmen kann deshalb die spektrale

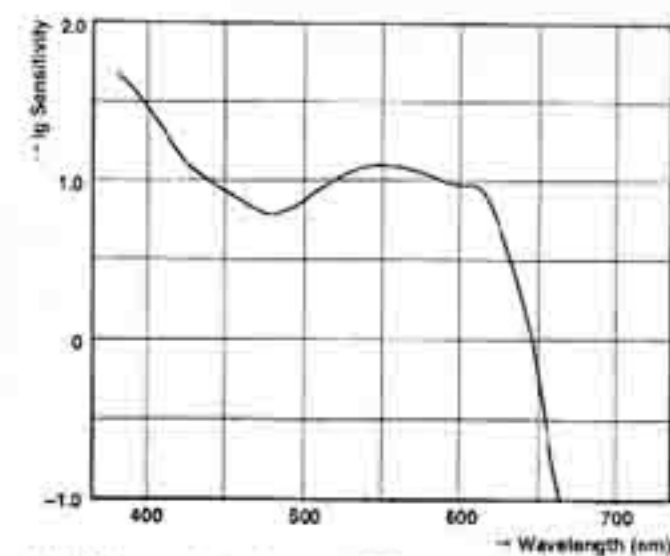
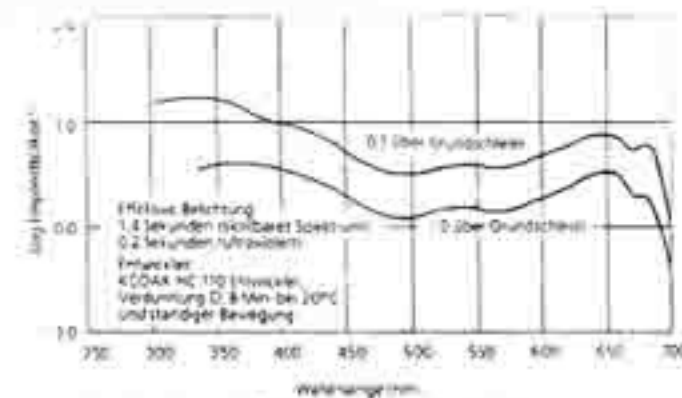


Abbildung 4: Agfapan 400

Empfindlichkeitskurve des verwendeten Films hilfreich sein, siehe *Abbildung 4* (Agfapan 400) und  $\xi$  (Kodak TP 2415). Diese Kurven sind für jede Emulsion vom Hersteller erhältlich. Ein paar Details sind in [1] nachzulesen. *Abbildung 3* zeigt die Anordnung bei fotografischer Beobachtung. Auf die Okulareinsteckhülse wird ein T-2 Adapter geschraubt und an diesen dann die Kamera gesetzt. Ein Okular ist nicht notwendig, kann aber zur Projektion des

### Spektralempfindlichkeit



\*entspricht dem Kehrwert der Belichtung (t/um<sup>2</sup>), die erforderlich ist um die angegebene Dichte zu erreichen

Abbildung 5: Kodak TP 2415

Spektrums auf die Filmebene zusätzlich in der Einsteckhülse angebracht werden. Zwischen dieser und dem T-Ring wird dann allerdings eine Verlängerungshülse nötig. Die Aufweitung des Spektrums wird erreicht, indem man das Teleskop während der Belichtung senkrecht zur Richtung des Spektralfadens bewegt. Dieses läßt sich am einfachsten bei exakter Ausrichtung des Spektrums in Deklinationsrichtung erreichen.

*Literatur:* [1] Anleitung zum Baader Blaze-Gitter [2] O. Zimmermann: Sternspektrographie in der Schule, in *Sterne und Weltraum* 11 / 1989 [3] R. Häfner: Grundlagen der Spektralanalyse und B. Koch und N. Sommer: Spektrographie in *Handbuch für Sternfreunde* (1) [4] Vortragsskript vom 11. März 1996: Spektroskopie [5] J. B. Kaler: *Sterne und ihre Spektren*, Spektrum 1994

Teil 2 folgt in der Andromeda 1/97.

Abbildung 3



## Erfahrungen mit dem Baader Blaze-Gitter (2)

Klaus Finsterbusch

Dann gibt es laut [2] drei Methoden:

A) bei stehender Kamera wird die Aufweitung durch die Erdrotation erreicht, B) die Nachführfrequenz bzw. die Winkelgeschwindigkeit wird mit einem Frequenzwandler kontrolliert verändert und dem Stern angepaßt (s. u.), C) man läßt das Spektrum bei stehender Kamera mehrmals über den Film wandern, indem man den Spektralfaden immer wieder an die Ausgangsposition zurückbringt und die Bewegung mit einem Leitfernrohr oder Off-Axis-Guider und einem Fadenkreuzokular kontrolliert.

Methode A) ist die einfachste, bietet aber am wenigsten Flexibilität. Der Film muß richtig belichtet werden. Unter der Belichtung der fotografischen Schicht versteht man das Produkt aus Beleuchtungsstärke und Belichtungszeit. Da der Spektralfaden über den Film wandert, hat hier die Belichtungszeit nichts mit der Verschußzeit der Kamera zu tun, sondern ist die Zeit, die das Spektrum benötigt, um über einen bestimmten Punkt des Films zu wandern. Die Geschwindigkeit des Spektrums in der Fokalebene ist also entscheidend. Sie hängt bei stehender Kamera von der Brennweite des Teleskops

und der Deklination des Sterns ab. Wenn letzteres nicht einleuchtet, schaue sich eine Strichspuraufnahme der Polregion an. Je weiter ein Stern vom Pol entfernt ist, desto länger ist seine Strichspur. Er legt also in der gleichen Zeit einen größeren Weg auf dem Film zurück als ein Stern, der näher am Pol steht. Über die Verschußzeit der Kamera steuert man die Breite des Spektrums. Die Belichtungszeit wird also ausschließlich über die Deklination bestimmt. Man kann nun versuchen, bei gegebener Filmempfindlichkeit, Fernrohröffnung und -brennweite einen Stern zu finden, dessen Helligkeit und Deklination zu einer passenden Belichtung führen. Ist ein solcher Standardstern gefunden, läßt sich mit einigen mathematischen Überlegungen [2] eine Beziehung finden, die einem Stern bestimmter Deklination eine Helligkeit zuordnet, die dieser haben müßte, um die gleiche Belichtung zu bewirken (s. u.). Nur sehr wenige Sterne werden diese Beziehung erfüllen. Andere Sterne werden den Film nur durch Variation der Filmempfindlichkeit passend belichten.

Methode B) ist die eleganteste, erfordert aber größeren technischen Aufwand, da die Nachführgeschwindigkeit kontrolliert variiert werden muß. Das kann z. B. mit einem Frequenzwandler oder einer programmierbaren Steuerung realisiert werden. Stehen solche Geräte zur Verfügung, kann die Win-

kelgeschwindigkeit an Spektrograph (Teleskop, Gitter, Film) und Stern (Helligkeit, Deklination) angepaßt werden. Dazu muß durch Probieren ein Stern gefunden werden, der bei stehendem oder einem mit genau bekannter Frequenz nachgeführten Spektro-

Abbildung 3

graphen ein passend belichtetes Spektrum ergibt. Von diesem Standardstern ausgehend, kann für jeden beliebigen Stern die richtige Nachführfrequenz berechnet werden, siehe [2]. Bedingung ist natürlich die Verwendung desselben Spektrographen. Durch Überlegungen, wie sich eine Änderung der Fernrohröffnung/-brennweite oder der Filmempfindlichkeit auf die erforderliche Intensität auswirkt, können Standardsterne auf andere Spektrographen umgerechnet werden. Der neue (gedachte) Bezugsstern hat dann die Deklination des ursprünglichen, aber eine andere Helligkeit.

Bei Methode C) ist ein elektrischer Antrieb sicherlich hilfreich, muß aber nicht zwingend vorhanden sein. Es ist darauf zu achten, daß der Stern während der Belichtung exakt auf dem Faden wandert. Gegebenenfalls wird in Deklination korrigiert. Der Film wird

wiederholt an gleicher Stelle belichtet. Die Zahl der notwendigen Wiederholungen erhält man aus den Überlegungen zu B), siehe [2].

Den ersten Versuch unternahm ich am 19. Juli. Mit meinem 6"-Newton f/6 sollten die ersten Spektren bei stehender Kamera gewonnen werden. Als Film wählte ich aufgrund seiner Feinkörnigkeit und Empfindlichkeit im roten Kodak TP 2415. Die Brennweite mußte mittels Barlowlinse auf 1600 mm verlängert werden, da mit der Anordnung aus *Abbildung 3* der Fokus nicht mehr erreicht werden konnte (typisches Problem beim Newton). Nun folgte einiges Gefummel, das bei Fokalfotografie halt dazugehört: Justage des Scharfstellokulars mit Messerschneidenmethode, Ausrichten des Gitters mit Fadenkreuzokular, Fokussieren mit Scharfstellokular, Kamera anschrauben und ausrichten. Dann ging



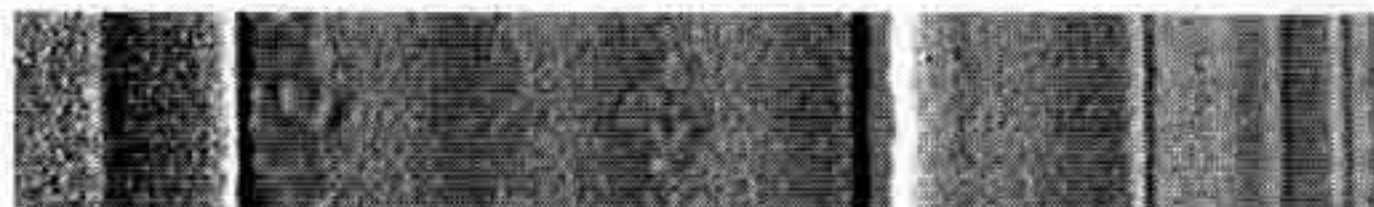


Abbildung 6 - Spektrum der Wega (Reliefdarstellung)

alles recht schnell: Spektrum mittig platzieren, belichten, fertig. Die Verschlusszeit, die benötigt wird, um ein Spektrum bestimmter Breite zu erzeugen, kann leicht berechnet werden, siehe [2]. Das Ergebnis war ernüchternd.

Am nächsten Tag holte Jochen Borgert einen weißen Streifen aus der Entwicklerdose. Nicht einmal Wega, der hellste Stern auf meiner Liste, hinterließ eine Spur. Eine Filmempfindlichkeit von 100 ASA reichte bei dieser Methode bei weitem nicht aus. Beim zweiten Versuch ging ich anders vor. Anstatt die Filmempfindlichkeit zu erhöhen, führte ich den Spektrographen mit genau bekannter Frequenz nach. Meine Steuerung bietet die Möglichkeit, die Korrekturfrequenz in Rektaszension in Stufen zu variieren. Ich wählte eine Korrekturfrequenz von  $14.06''/s$ , so daß sich eine Relativfrequenz von nur  $0.94''/s$  ergab, im Vergleich zu  $15''/s$  (die Erde dreht sich mit  $15''/s$ ). Diesmal verwendete ich Kodak Elite 100. Von den drei Sternen Wega, Deneb und Atair, deren Spektren jetzt mit gedrückt gehaltener RA-Stop-Taste aufgenommen wurden, konnte ersterer den Film ausreichend schwärzen. Das Spektrum erstreckt sich von ca. 390nm bis ca.

670nm und zeigt die Balmerlinien  $H_\beta$  (486nm),  $H_\gamma$  (434nm),

$H_\delta$  (410nm) und  $H_\epsilon$  (397nm), siehe *Abbildung 6*. Wega diente jetzt als Standardstern. Von ihm ausgehend überlegte ich, welche Sterne einen 400 ASA-Film (Agfapan 400) ähnlich stark schwärzen würden. Ein Stern mit gleicher Deklination wie Wega müßte bei 4-facher Filmempfindlichkeit nur ein Viertel der Intensität haben, um ein gleich stark belichtetes Spektrum zu erzeugen. Mit dem so berechneten Standardstern und der bei Methode A) angesprochenen mathematischen Beziehung läßt sich ein Diagramm erstellen, aus dem sich die Helligkeit ablesen läßt, die ein Stern bestimmter Deklination haben müßte, um passend belichtet zu werden, siehe *Abbildung 7*. Ich suchte Sterne, die möglichst nahe an dieser Kurve liegen, und fotografierte mit gleicher Methode. Der Spektralfaden schwärzte den Film je nach Abstand von der Kurve etwas zu stark oder zu schwach. Mirphark war am besten belichtet. Die Linien sind allerdings nicht gerade scharf und zeigen nur geringen Kontrast. Dafür gibt es mehrere Gründe. Die trapezförmigen Spektren zeigen, daß der Spektralfaden nicht exakt in Deklinati-

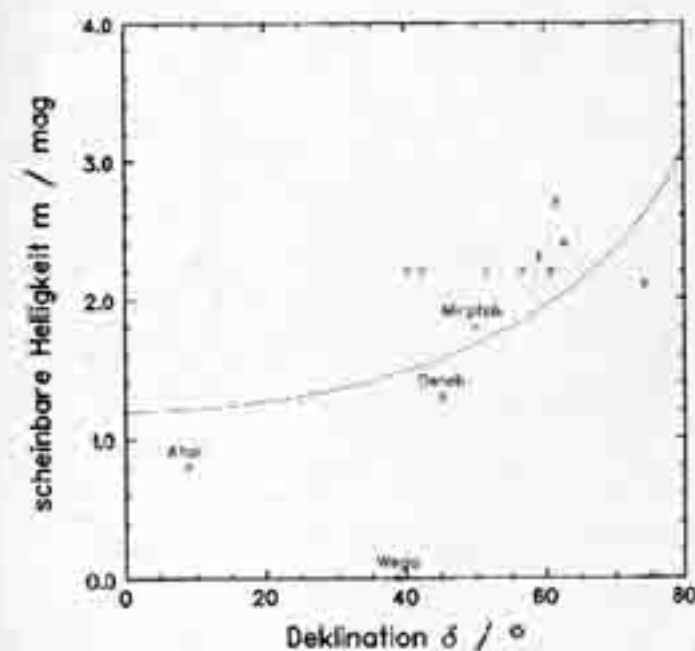


Abbildung 7

onsrichtung ausgerichtet war, was zu einer Verminderung des Kontrastes führt. Gleiche Auswirkung hat das atmosphärische Seeing. Die Zitterbewegung des Sterns hat eine zusätzliche Bewegung des Spektrums auf dem Film zur Folge, deren Komponente in Deklination die Linien etwas verwischen läßt. Hinzu kommt möglicherweise eine ungenaue Fokussierung. Ausrichtung des Spektralfadens und Fokussierung sollte man mit den entsprechenden Hilfsmitteln wie Fadenkreuz- und Scharfstellokular in den Griff kriegen. Das Seeing läßt sich nicht umgehen, solange man den Spektralansatz einfach in den konvergenten Strahlengang des Teleskops bringt. Hierfür wäre eine Spaltanordnung nötig, bei der ein im Fokus platzierter enger Spalt die unerwünschte Bewegungskomponente unterdrückt. Auch ausgedehnte Objekte wie Planeten und größere Gasnebel sind nur so zu spektrographieren. Es ist

kaum notwendig zu erwähnen, daß das theoretische Auflösungsvermögen, wenn überhaupt, nur mit Spaltanordnung zu erreichen ist. Es ist jedoch auch ohne Spalt möglich, bei einigermaßen gutem Seeing und exakter Ausrichtung und Fokussierung auswertbare Spektren zu erhalten. Die in [2] gezeigten Ergebnisse bestätigen dies. Hier werden auch zwei Auswerteverfahren beschrieben, auf die ich nicht weiter eingehen möchte. Zunächst müssen auswertbare Spektren her. Ich bin gerne bereit, Diagramme wie in *Abbildung 7* zu erstellen und bei der Erarbeitung der mathematischen Hintergründe zu helfen.

#### Literatur:

- [1] Anleitung zum Baader Blaze-Gitter
- [2] O. Zimmermann: Sternspektrographie in der Schule, in *Sterne und Weltraum* 11 / 1989
- [3] R. Häfner: Grundlagen der Spektralanalyse und B. Koch und N. Sommer: *Spektrographie in Handbuch für Sternfreunde* (I)
- [4] Vortragsskript vom 11. März 1996: *Spektroskopie*
- [5] J. B. Kaler: *Sterne und ihre Spektren, Spektrum* 1994

