

Mitteilungsblatt der
Fachgruppe

S P E K T R O S K O P I E

der Vereinigung der
Sternfreunde e.V.

Rundbrief Nr. 12 (1996)

Einzelheft: 3,50 DM (plus Porto)
Herausgeber: Ernst Pollmann
Charlottenburgerstraße 26c
51377 Leverkusen

Rundbrief Nr. 12 (1996)

Inhaltsverzeichnis

W. Bonk	Kalibration von Spektren später Spektraltypen	(1)
W. Diehl	Aufruf an alle Finsternis-Beobachter	(4)
W. Diehl	Quellen der Spektralarten	(4)
W. Diehl	Der Diehl/Rümmler'sche Spektrograph	(6)
E. Pollmann	H α -Emissionsbeobachtungen an Be-, Hüllen- und spektroskopischen Doppelsternen	(8)
Arbeitskreis Spektroskopie Volkssternwarte Neumarkt	Projekt NESSIE II (Teil 2) Bau eines Spektrographen	(12)
G. Müller	Ein ESO-Spektrum des Kometen Hyakutake aus dem Internet	(17)
Buchbesprechung	Atlas de Spectres Stellaires	(18)
	Danksagung für die erfreulich rege Manuscripteinsendung in diesem Rundbrief	(18)

Kalibration von Spektren später Spektraltypen

(von Werner Bonk, Springe)

Um Spektren auszuwerten, egal ob der Detektor eine CCD - Aufzeichnung oder eine Photoemulsion ist , muß eine Registrierung in Form eines Rohscans erfolgen. Eines der Ziele bei der Auswertung ist es, den einzelnen Linien einen Bezug zu den Wellenlängen zu geben, die diesen Linien entsprechen. Bei den frühen Spektraltypen (O,B,A,F) ist diese Kalibrierung keine schwierige Sache, da genügend prägnante, bekannte Linien vorhanden sind. Schwieriger wird die Kalibrierung bei den späten Typen (G,K,M) , bei denen eine eindeutige Zuordnung dadurch erschwert wird, daß die Anzahl der Linien zunimmt, gleichzeitig jedoch die Prägnanz durch Ausbildung einzelner Linien zu Banden abnimmt. In diesem Aufsatz will ich beschreiben , wie man unter Nutzung einiger physikalischer Gegebenheiten zu einer Lösung kommt.

Vorausgesetzt wird, daß mit einem Prismenspektrographen gearbeitet wird. (Mit einem Gitterspektrographen ist alles einfacher). Trägt man auf der x - Achse die Skalenwerte auf und auf der y -Achse die Wellenlänge λ , so liegt der geometrische Ort aller λ -Werte auf einer Kurve, die ähnlich einer Exponentialfunktion ist, der Prismenkennlinie. Jedes Prisma hat eine eigene, spezielle Kurve, die für das jeweilige benutzte Prisma erstellt werden muß. Das ist verhältnismäßig einfach: Man nimmt z.B. das Spektrum eines A-Sternes und ordnet den bekannten λ -Werten der Balmer Serie die Skalenwerte zu. Man kann nun die gefundenen Punkte auftragen und verbinden. Einfacher ist es sich ein kleines Basic - Programm zu erstellen, mit dem man ein Polynom, wie z.B. in meinem Programm 5. Ordnung , graphisch darstellen kann. Es ist physikalische Gegebenheit, daß bei jedem, mit diesem Prisma erzeugten Spektrum, alle λ -Werte diese Kennlinie als geometrischen Ort haben . Theoretisch braucht man jetzt nur noch die Werte einer bekannten Linie, um seinen Rohscan zu kalibrieren. Leider sind in der Praxis die Spektrenlängen der Sterne unterschiedlich. So sind z.B. meine A - Spektren ca. 22 mm lang, während die M - Spektren nur ca. 11 mm lang sind. Die Spektren sind zwar nicht gleich, aber analog. Um die Kalibrierung vornehmen zu können , kommt man nicht umhin, die Maßstäbe der beiden Kurven (Prismenkennlinie und Rohscannlinie) anzugleichen. Das läßt sich auch leicht mit einem kleinen Computerprogramm bewerkstelligen. Um den Maßstab zu kompensieren, müssen zwei Linien bekannt sein. Setzen wir voraus, daß die Skalenwerte für die Linien K (393.4) und H (396.8) des Rohscans bekannt sind und G (430.0) gesucht wird, so ist die Beziehung:

$$K' \cdot G' = (HG \cdot K'H') / KH$$

D.h., kennt man zwei Linien und die dazugehörigen Skalenwerte (Strecken), kann man leicht auf jede andere Linie schließen. In der Praxis ist es jedoch oft nicht einfach bei einem M - Stern zwei bekannte Linien zu finden. Meistens sind es die beiden K- und H-Linien die genügend auffällig sind. Diese Linien liegen jedoch sehr dicht beieinander, sodaß es ratsam ist, zuerst die Linie G zu suchen und mit dieser vergrößerten Basis die anderen Linien zu identifizieren. Nunmehr kann man, wenn notwendig, mit einer kleinen Korrektur der Werte, ein Polynom rechnen und an die endgültige Auswertung des Rohscans gehen.

Die 6 folgenden Abbildungen sollen deutlich machen, wie beim Stern α Ori die Identifizierung und Kalibrierung durchgeführt wurde.

Bild 1: Rohscan von α Ori

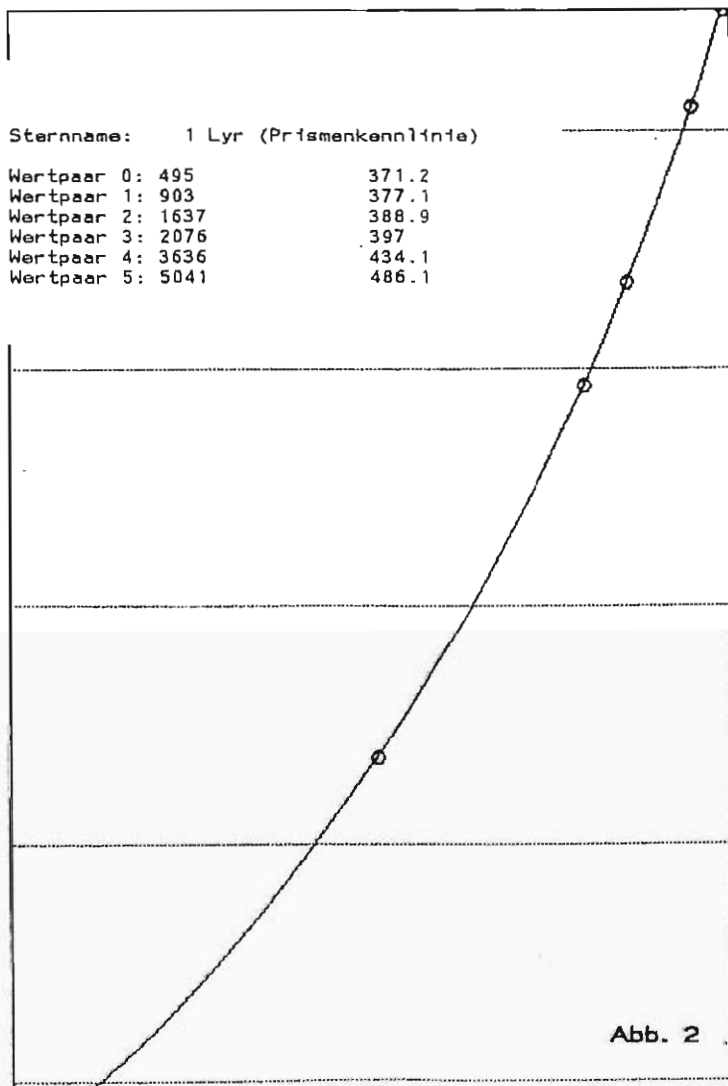
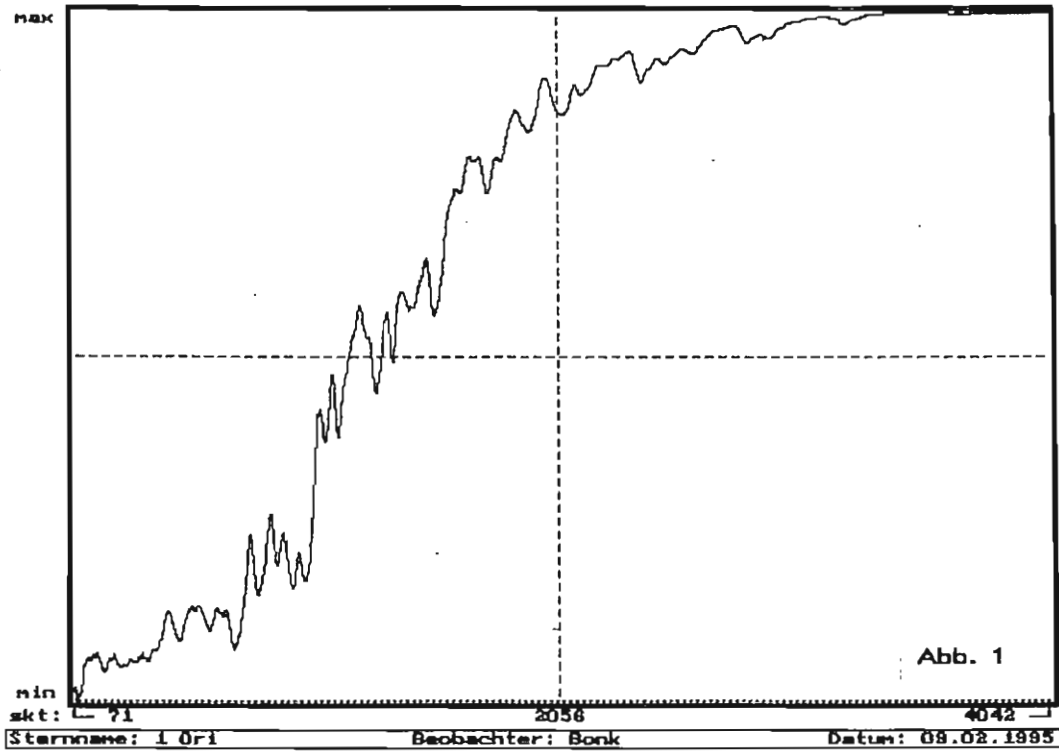
Bild 4: Polynom 4.Grades

Bild 2: Prismenkennlinie

Bild 5: Prismenkennlinie zw. 393,4 u. 396,8nm

Bild 3: Vergleich: Rohscan zu Kennlinie

Bild 6: Das kalibrierte Spektrum



Vergleich X-VS —> Y-Prismenkennlinie

PK_x - Identwert: 2065 3497
 VS_x - Identwert: 1015 3217

(Skt)	726	(nm)	393.3	✓
(Skt)	832	(nm)	394.5	
(Skt)	964	(nm)	396.2	
(Skt)	1015	(nm)	396.8	✓
(Skt)	1154	(nm)	398.5	
(Skt)	1306	(nm)	400.5	
(Skt)	1547	(nm)	403.7	
(Skt)	1764	(nm)	406.7	✓
(Skt)	1938	(nm)	409.2	
(Skt)	2076	(nm)	411.2	
(Skt)	2392	(nm)	416.0	
(Skt)	2821	(nm)	423.0	✓
(Skt)	2915	(nm)	424.5	
(Skt)	3217	(nm)	430.0	✓
(Skt)	0	(nm)	385.0	

Abb. 3

PRISMENKENNLINIE

Grenzwert A: 1884
 Grenzwert E: 3497

Wertpaar 1: 1884 393.4
 Wertpaar 2: 2065 396.8
 Wertpaar 3: 3227 422.7
 Wertpaar 4: 3497 430

Sternname: 1 Ori

Wertpaar 0: 726 393.4
 Wertpaar 1: 1015 396.8
 Wertpaar 2: 1764 406.7
 Wertpaar 3: 2821 422.7
 Wertpaar 4: 3217 430

X-Wert:	726	nm-Wert:	393.4
X-Wert:	832	nm-Wert:	394.6
X-Wert:	964	nm-Wert:	396.2
X-Wert:	1015	nm-Wert:	396.8
X-Wert:	1154	nm-Wert:	398.5
X-Wert:	1306	nm-Wert:	400.5
X-Wert:	1547	nm-Wert:	403.7
X-Wert:	1764	nm-Wert:	406.7
X-Wert:	1938	nm-Wert:	409.1
X-Wert:	2076	nm-Wert:	411.1
X-Wert:	2392	nm-Wert:	415.8
X-Wert:	2821	nm-Wert:	422.7
X-Wert:	2915	nm-Wert:	424.3
X-Wert:	3217	nm-Wert:	430.0
X-Wert:	0	nm-Wert:	387.1

Abb. 5

Abb. 4

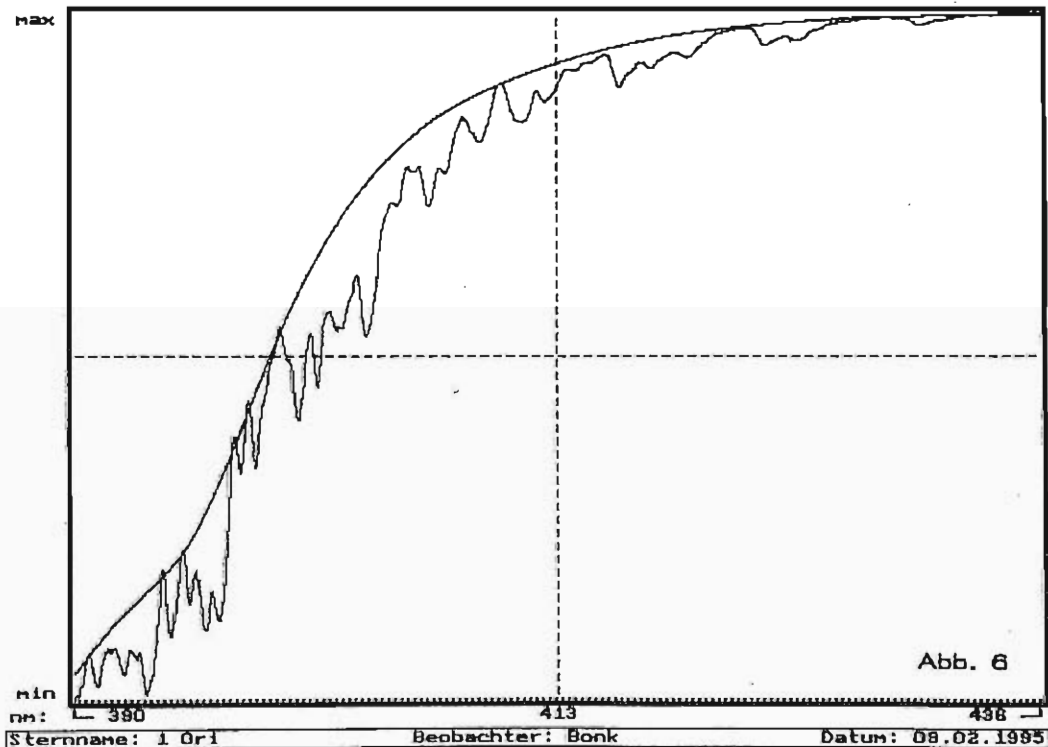


Abb. 6

Aufruf an alle Finsternisbeobachter

(von Walter Diehl, Wetzlar)

Die totale Sonnenfinsternis am 11. August 1999 naht so langsam und deswegen möchte ich die Gelegenheit nutzen, um erste nähere Absprachen zu treffen. Die VdS, unter der Federführung der FG Sonne, plant einige Aktivitäten zur Sofi 1999 mit Infomaterial, Karten, Wetterprognosen, gemeinsame Beobachtungsprogramme, Auswertungen usw. Als AG-Leiter für Solarspektroskopie habe ich in diesem Rahmen um eine Zusammenarbeit mehrfach gebeten, doch leider bis jetzt noch keine Antwort erhalten.

Es darf daher davon ausgegangen werden, daß eine Zusammenarbeit nicht gewünscht wird. Da wir Spektroskopiker an der Sonnenfinsternis ebenfalls sehr interessiert sind (z.B. Flash-Spektrum, Korona-Spektrum, Protuberanzen-Spektrum, um nur einige Möglichkeiten zu nennen), da sie in heimischen Gefilden zu beobachten ist (die nächste erst wieder 2145 in Deutschland), sollten wir die gebotene Chance nicht verpassen, hier gemeinsame Beobachtungsprogramme und Auswertungen durchzuführen.

Jeder, der an der Beobachtung interessiert ist und mitarbeiten möchte, sollte sich bei mir melden. In Nürnberg auf unserem diesjährigen Meeting sollten wir uns zu einer ersten Vorbesprechung treffen. Jeder ist herzlich willkommen. Wir sollten die Möglichkeiten von Interessen und gemeinsamen Beobachtungsstrategien besprechen, sowie Vorgehensweisen bei der Beobachtung, welche Filmemulsionen verwendet werden sollten und welche Auswertungen angestrebt werden .

Damit eine möglichst hohe Ausschöpfung erzielt wird, sind gemeinsame Programme notwendig und gemeinsam macht es nochmal soviel Spaß.

Quellen der Spektralarten

(von Walter Diehl, Wetzlar)

Die Quellen der einzelnen Spektralarten sind unterschiedlich. Wir unterscheiden drei Grundarten von Spektren:

1. Das kontinuierliche Spektrum, auch Kontinuum genannt
2. Das Emissionsspektrum
3. Das Absorptionsspektrum
4. Das Flash-Spektrum

Im nachfolgenden sollen die vier Arten kurz beschrieben werden.

Das kontinuierliche Spektrum (Kontinuum)

Wird der Spalt eines Spektroskopes mit rein monochromatischem Licht beleuchtet, so entsteht in der Brennebene lediglich das Bild des Spaltes. Bei der Spaltbeleuchtung mit weißem Licht entstehen nebeneinander bzw. ineinander übergehend die Spaltbilder, entsprechend den einzelnen Farben, sprich Frequenzen. Man sieht dann ein buntes Band von Farben von Rot über Gelb nach Grün und Blau bis Violett. Ein so erzeugtes Spektrum wird *kontinuierliches Spektrum* oder auch *Kontinuum* genannt. Die Entstehung wird durch feste erhitzte Körper gegeben. Die Erzeugung erfolgt, wenn Atome von höherer Energie (E_1) in den Zustand niedrigerer Energie (E_2) übergehen. Die Frequenz (ν) hat die Formel: $\nu = (E_1 - E_2)/h$.

Das Emissionsspektrum

Wenn wenig ausgedehnte oder sehr dünne Gase Licht erzeugen und damit der Spektrographenspalt beleuchtet wird, so entsteht in der Brennebene das Bild von hellen farbigen Linien auf dunklem Hintergrund. Diese Linien bezeichnen die Elementarzusammensetzung des Lichtes. Dieses Linienspektrum wird Emissionsspektrum genannt. Jedes Element besitzt ein charakteristisches Linienspektrum. So sind die Linien von Natrium gelb, die Linien des Wasserstoffes $H\alpha$ rot, die vom Magnesium grün und die des Calcium (H- und K-Linie) violett.

Das Absorptionsspektrum

Die Sonne verbindet die beiden zuvor genannten Arten und besitzt noch eine weitere Eigenschaft. Die Sonne ist eine heiße Lichtquelle mit kontinuierlichem Spektrum. Diesem Kontinuum sind kühlere Gase vorgelagert (Photosphäre und Chromosphäre). Durch das kühlere vorgelagerte Gas werden genau die Wellenlängen absorbiert, die normalerweise als Emissionslinien ausgesendet werden. So entsteht in der Brennebene des Spektrographen das Bild eines farbigen Lichtbandes (Kontinuum) mit dunklen unterschiedlich dicken Linien. Diese Linien sind nichts weiter als Fehlstellen des Gesamtspektrums. Da wo normalerweise die farbige Linie eines Elementes erscheinen sollte, wird diese absorbiert, sodaß diese ganz einfach als Fehlstelle in Erscheinung tritt. Joseph von Fraunhofer katalogisierte 1814 eine Vielzahl solcher dunklen Linien im Sonnenspektrum. Es waren genau 567 Linien. Einige Linien tragen zum Teil heute noch seine damals gewählten Bezeichnungen. Daher wird das Absorptionsspektrum der Sonne auch Fraunhoferspektrum genannt.

Das Flash-Spektrum (siehe hierzu auch **SPEKTRUM** Nr.10/1995)

Das Flash-Spektrum stellt eine Besonderheit des Sonnenspektrums dar und ist nur bei totalen Sonnenfinsternissen beobachtbar. Es zeigt das Spektrum der Chromosphäre. Zu sehen sind die Fraunhoferlinien als Emissionslinien durch Reemission. Haben ionisierte und neutrale Atome eine hohe Anregungsenergie, so sind diese Linien beim Flash-Spektrum verstärkt und umgekehrt beobachtbar. Die Abbildung 1 zeigt schematisch die Darstellung der einzelnen Spektralarten. Nun ist noch sehr interessant zu erfahren, welche Elemente auf der Sonne bis jetzt nachgewiesen werden konnten und wo genau die einzelnen Elemente nachgewiesen wurden (z.B. in Sonnenflecken, der Korona usw.). Die Abbildung 2 zeigt das Periodensystem der chemischen Elemente und darin eingezeichnet, welche Elemente wo auf der Sonne bis jetzt nachgewiesen wurden.

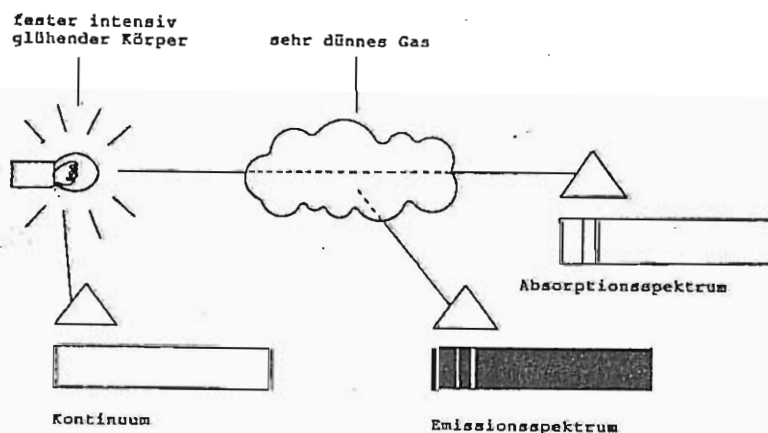






Abb. 1 Quellen der einzelnen Spektralarten (schematische Darstellung)

	nur in der Photosphäre		nur in der Chromosphäre
	nur in Sonnenflecken		nur in der Korona

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	P	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Ku	Ha													

x Lanthanide

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

▲ Actinide

Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Abb. 2 Das Periodensystem der chemischen Elemente und deren Nachweis auf der Sonne

Der Diehl/Rümmler'sche Spektrograph

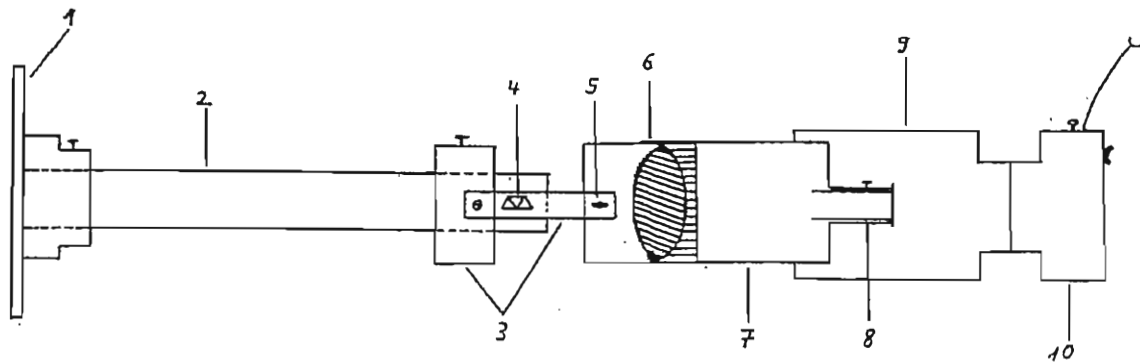
(von Walter Diehl, Wetzlar)

Durch ihre Bauweise sind Prismenspektroskope größer als die Gitterspektroskope. Daher sind Prismenspektroskope auch nicht ganz so handlich, wie die eher kompakten und kleineren handlichen Gitterspektroskope. Wie jeder weiß, lenken Prismen das Licht nur in eine Richtung ab. Damit der Strahlengang dennoch gerade bleibt, bedient man sich eines sogenannten Geradsichtprismas. Es besteht aus drei miteinander verkitteten Prismen, wobei die beiden äußeren jeweils aus einer Glassorte bestehen und das Mittlere aus einer anderen Glassorte mit höherer Dispersion. Diese Geradsichtprismen werden auch Amici-Prisma genannt. Die Dispersion ist abhängig vom Glasmaterial. Das Prismenspektroskop hat den Vorteil der vollen Lichtausbeute. Bei der Sonne kann dieser Aspekt vernachlässigt werden, da genügend Licht vorhanden ist.

Der *Diehl/Rümmler'sche Spektrograph* ist benannt nach deren Konstrukteure Walter Diehl (Wetzlar) und Frank Rümmler (Weißenfels). Beide sind Amateure. Das Selbstbauinstrument ist ein Prismenspektroskop mit Kameraadapter und zur Abbildung ist eine Spiegelreflexkamera (Leica R3 MOT Electronic) angeschlossen. Der Spalt wird mit Hilfe von zwei Rasierklingen (Wilkinson, es sind die schärfsten; ausgetestet) hergestellt mit einer Breite von etwa 1/10 mm. Der Spalt ist variabel. Der Spalt sitzt in der Mitte einer sogenannten Frontplatte, die auch als Projektionsschirm dient. Durch Projektion des Sonnenbildes auf diese Platte, können größere Fleckengruppen über den Spalt gebracht werden, wodurch auch Fleckenspektren aufgenommen werden können. Der Aufbau ist wie üblich, bestehend aus: **Spalt, Prisma und einem Betrachtungsfernrohr**

Die Besonderheit daran ist, daß die klassischen Kollimatoren (= Linsen um Licht zu parallelisieren) weggelassen wurden. Der Grund dafür ist, daß das Licht aus dem Weltraum, welches die Erde trifft, ohnehin fast parallel ist und daher diese Linsen nicht

unbedingt notwendig sind. Das Instrument wurde speziell für die Solarspektroskopie (-graphie) konstruiert. Durch das Fehlen der Kollimatoren verlängert sich lediglich etwas die Baulänge. Wichtig ist der Abstand zwischen Spalt und Objektiv. Dieser sollte 300 mm nicht unterschreiten, da sonst die Abbildung des Spektrogrammes zu klein wird und Details "verschwimmen". Am Ende befindet sich ein Betrachtungsfernrohr ($f = 200$ mm) mit einem Kameraadapter. In der Mitte des Kameraadapters ist eine Okularhülse für Okulare von 24,5 mm Durchmesser eingesetzt. Somit kann sowohl ohne Kamera, also visuell, wie auch mit Kamera fotografisch und in Okularprojektion gearbeitet werden. Zur Beobachtung von Spektrogrammen ist kein Zusatzgerät erforderlich. Die Teile bestehen aus Aluminium, Kunststoff und geringen Eisenelementen und können in Heimwerkermärkten und Bastlerzentralen erworben werden. Das Prisma kann man sich bei der Firma Spindler & Hoyer (Göttingen) beschaffen. Wenn die Frontplatte entfernt wird, kann das Instrument auch nachts zur Sternspektroskopie eingesetzt werden, doch sollte hierbei nicht zuviel erwartet werden, da der Durchmesser sehr klein ist. Dieses Instrument findet man in keinem Optikbuch. Es ist speziell den Bedürfnissen und Wünschen einer besonderen Zielsetzung angepaßt und kann jederzeit ausgebaut werden. Es ist sehr schnell montiert und gut zu transportieren, da es völlig zerlegbar ist. Das Gewicht beträgt 1280 g und hat eine Länge von 900 mm. Die Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung. Wer an der Bauanleitung und der Materialliste interessiert ist, sollte sich bei dem Unterzeichner melden.



Schematische Darstellung des Spektrographen

- | | |
|----|--------------------------|
| 1 | Frontplatte |
| 2 | 1. Tubustell |
| 3 | Gelenkteile |
| 4 | Amici-Prisma |
| 5 | Drehpunkt (arretierbar) |
| 6 | Objektiv (Achromat) |
| 7 | 2. Tubustell |
| 8 | Okular |
| 9 | Kameraadapter |
| 10 | Kleinbildkamera oder CCD |

Abb. 1

H α -Emissions-Beobachtungen an Be-, Hüllen- und spektr. Doppelsternen

(von Ernst Pollmann, Leverkusen)

Seit den ersten spektroskopischen Versuchen der 30iger Jahre, die beobachteten Erscheinungen physikalisch zu deuten, haben die Emissionsliniensterne vom Typ Be auf alle spektroskopisch arbeitenden Astronomen eine große Faszination ausgelübt. Die astronomische Literatur ist voll von Artikeln, die sich mit den Spektrvariationen verschiedener Be-Sterne beschäftigen.

Typisch für das Erscheinungsbild der Be-Sterne sind die Wasserstoff-Emissionslinien, deren Stärke mit den höheren Gliedern der Balmersequenz abnimmt. H α zeigt dabei stets mit Abstand die stärkste Emission.

Obwohl zeitlich begrenzte periodische Schwankungen bei vielen Sternen beobachtet wurden, so ist das Langzeitverhalten doch meist irregulär. Typische Beispiele für dieses Verhalten sind die Sterne γ Cas, ζ Tau, 48 Lib und BU Tau, um nur einige zu nennen.

Welch ungebrochenes Interesse seitens der Fachastronomie auch heute noch den Emissionsliniensternen entgegengebracht wird, beweist der Aufsatz von Prof. Dachs in **Sterne und Weltraum 11/12 1995**.

Einleitend ist dort zu lesen: Seit über hundert Jahren sind helle Sterne dieser Klasse bekannt. Aber trotz intensiver Bemühungen haben sie das Geheimnis ihrer Natur bis heute nicht vollständig preisgegeben.

Nicht nur der Fachastronomie, auch den Amateuren stellt diese Sternklasse ausgesprochen faszinierende Objekte bereit. Am nördlichen Himmel wären hier die populärsten Sterne γ Cas, ζ Tau, ρ Cyg, β Lyr, σ And, κ Dra, BU Tau und ϕ Per zu nennen. Allesamt veränderliche Sterne, die hinsichtlich ihres Helligkeitsverhaltens sogar teilweise mit bloßem Auge beobachtet werden können.

Neben der Erfassung des Helligkeitsverhaltens mit Zeitscalen von Stunden über Tage, Monate und Jahre, zu dem auch der lichtelektrisch ausgerüstete Amateur beitragen kann, ist diese Sternklasse auch für die Amateurspektroskopiker höchst interessant. Bei Anwendung von CCD-Kameras eröffnet sich hier ein Betätigungsfeld, auf dem, sorgfältiges arbeiten vorausgesetzt, Ergebnisse erarbeitet werden können, die durchaus der Fachastronomie angeboten werden können und dort auch auf Interesse stoßen.

Die CCD-Spektroskopie also, in der einfachsten Instrumentierung, dem Objektivprismenspektrographen, eröffnet dem Amateurspektroskopiker hier diese Möglichkeit.

Die Beliebtheit dieser Instrumentierung kommt nicht von ungefähr. Sie ist einfach in der Handhabung, mit wenigen hundert Mark finanzierbar und findet einige interessante Anwendungen in der spektroskopischen Veränderlichenbeobachtung. Ich bin sicher, daß mit mir diese Einschätzung auch noch von vielen anderen Amateuren getragen wird. Das Gerät, mit dem die hier vorgestellten Ergebnisse erarbeitet wurden, ist eine Konfiguration aus einem Maksutov-Spiegelteleskop ($f=1000\text{mm}$; Öffnung=100mm) der sogenannten "Russentonne" und einem Objektivprisma gleicher Öffnung bzw. Kantenlänge mit 30° brechendem Winkel aus Flintglas F2. Die mittlere Lineardispersion dieses Instrumentes hat bei H α den Wert von $4,46 \text{ \AA}/\text{Pixel}$. Angeschlossen daran ist derzeit eine OES-CCD-Kamera (Typ Lc CCD 14SC) ausgestattet mit dem CCD-Chip FT800P von Philips mit 386×290 Pixel (Binning-Mode) und einer Bildfeldgröße von $6,4 \times 4,8$ mm und einer spektralen Auflösung $\lambda/\Delta\lambda$ bei H α ≈ 2000 .

Die spektrale Empfindlichkeitsfunktion des CCD-Chip (Abb.1) mit ihrem Empfindlichkeitsmaximum im Bereich der H α -Linie bei 656 nm, macht diesen zu einem konkurrenzlosen Lichtspeichermedium für derartige Beobachtungsvorhaben. Und dieses Leistungsvermögen sollte auch genutzt werden. Die fotografische Beobachtung mit H α -empfindlichen Emulsionen ist hier nicht das geeignete Mittel, um zuverlässig und reproduzierbar Intensitätsvariationen der H α -Emission zu verfolgen.

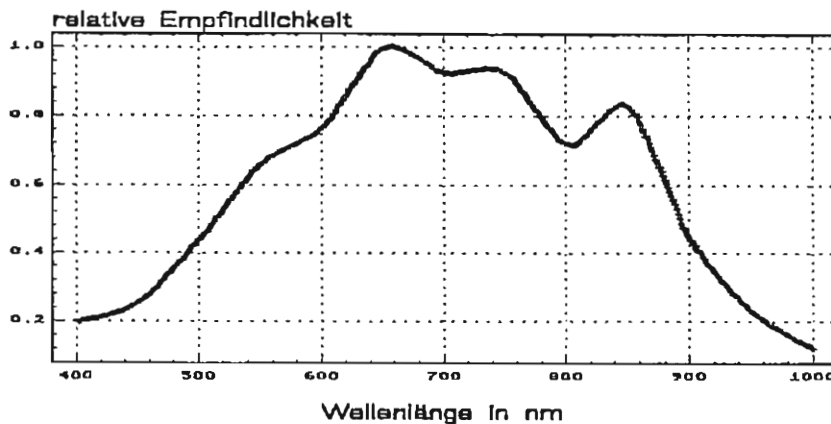


Abb.1 Spektrale Empfindlichkeitsfunktion

Womit wir auch schon beim Thema wären. Es geht in diesem Aufsatz um die Beobachtung des Zeitverhaltens der Wasserstoffemission $H\alpha$. Stellvertretend für die Klasse der Emissionsliniensterne soll darum hier an dem populären blauen Überriesen P Cygni (MK-Klasse B1 Ia) die Art der Beobachtung wie auch die Auswertung der Spektren besprochen werden.

Ein Kurzportrait dieses Sterns könnte etwa wie folgt skizziert sein:

P Cygni gehört zu der Klasse der absolut hellsten Überriesen, den sogenannten LBV's, den "Leuchtkräftigen Blauen Veränderlichen". Die Klasse dieser Veränderlichen zeigt einen weiten Bereich von Helligkeitsschwankungen, von einigen 0,01mag in Stunden, bis hin zu langsamen Änderungen der Größenordnung 1mag in Jahren oder Jahrzehnten. Ihre Spektren sind reich an Emissionslinien, die vielfach auf der kurzwelligen Seite verschobene Absorptionskomponenten aufweisen und die auf ausströmende Materie zurückzuführen sind. Die Geschwindigkeiten der abströmenden Materie erreichen einige 100 km/sec, verbunden mit einem Massenverlust der Größenordnung 10^{-5} Sonnenmassen/Jahr. Man geht heute davon aus, daß die Beschleunigung des Sternwindes durch den hohen Strahlungsdruck der heißen Sterne erfolgen dürfte. Die große Stärke der Emissionslinien bedeutet, daß diese in den ausgedehnten Bereichen, außerhalb des Sterns, in denen Temperaturen von 10^5 bis 10^6 K anzutreffen sind, entstehen. Ausgedehntes stark verdünntes Sternhüllengas strahlt ein reines typisches Emissionslinienspektrum aus, das sich gut vom Kontinuum des Sterns selbst und den Absorptionslinien der Photosphäre abhebt. Das Intensitätsprofil solcher Linien liefert Aufschlüsse über Größe, Dichtestruktur und Bewegungszustand der Hülle. Die höheren Linien oberhalb $H\gamma$ sind optisch dünn und entstehen in den tieferen sternnahen Schichten, wogegen die optisch dickeren ersten Balmerlinien $H\alpha$ und $H\beta$ in den höheren äußeren Schichten der Sternatmosphäre entstehen. Sie sind somit ausgezeichnete Indikatoren für die dynamischen Verhältnisse in diesen Atmosphärenbereichen des Sterns. $H\alpha$ zeigt stets mit Abstand die stärkste Emission.

Aus mehreren Aufnahmeserien eines Beobachtungsabends werden jeweils die qualitativ besten Aufnahmen ausgewählt. Dies sind in der Regel etwa 100 Einzelaufnahmen, die mit der sogenannten Mittlungsfunktion zu einem Summenspektrum aufaddiert und ausgewertet werden. Der große Vorteil der Anwendung dieser Mittlungsfunktion ist die Möglichkeit, diese rückzentriert ausführen zu können. Hierbei werden, bezogen auf das Intensitätsmaximum der Emission, exakt die Einzelspektren zur Deckung gebracht und erst dann addiert. Obwohl unverbreitert, besitzen die Spektren quer zur Dispersion natürlich eine endliche Breite. In der Regel sind dies etwa 3-5 Pixelzeilen, abhängig von der Gesamtbelichtung versteht sich.

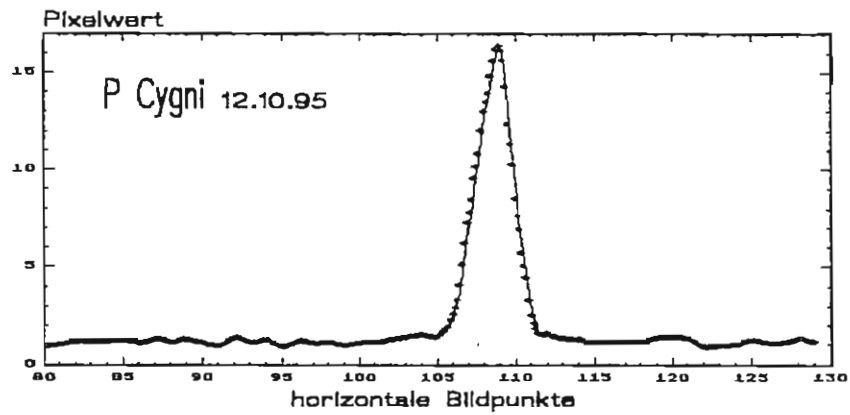


Abb. 2 Scannung (Schnitt) quer zur Dispersion

In Abbildung 2 ist ein Schnitt als Querscannung (quer zur Dispersion), zum Verständnis dieses Zusammenhangs dargestellt. Die Breite und Form dieses Schnittes ist bedingt durch Luftunruhe, Beugung und vor allem durch Nachführung. Die Asymetrie ist belanglos, da jede Pixelzeile des CCD's im Prinzip die gleiche Information enthält und das Spektrum sinnvollerweise aus allen Zeilen mit Information aufsummiert wird. Das Signal-Rausch-Verhältnis wächst nämlich mit der Anzahl der Counts, also auch mit der Anzahl der Zeilen. Eine Einzelzellenscannung für einige Zeilen mit Bildinformation des obigen Spektrums ist in Abb. 3 zu sehen.

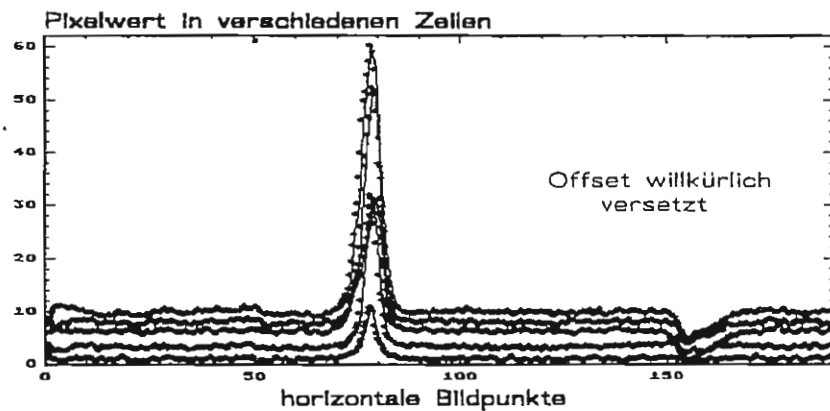


Abb. 3 Einzelzellenscannung zur Nullpunktstabilität

Eine solche Übersichtsscannung ist durchaus angebracht. Sie dient der Beurteilung der Nullpunktstabilität für alle Zeilen. Eine wichtige Voraussetzung. Ohne diese Stabilität wird jede spektrale Information verschmiert und eine spätere Integration des Emission-speaks erscheint wenig sinnvoll. Ist Nullpunktstabilität gegeben, können alle relevanten Zeilen mit spektraler Information aufaddiert werden, dies zeigt Abb. 4.

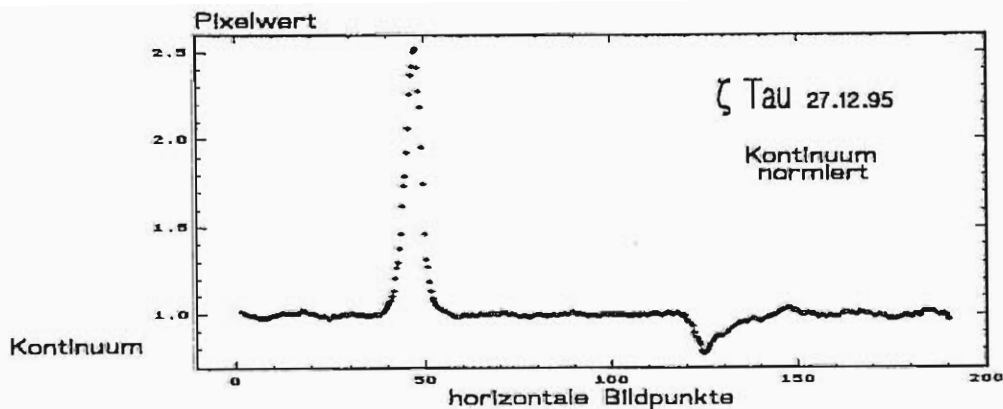


Abb. 4 Zellenaddition mit Kontinuumnormierung

Berechnung der Äquivalentbreite W_λ :

$$W_\lambda = \int_{\text{Linie}} \frac{I_c(\lambda) - I(\lambda)}{I_c(\lambda)} d\lambda$$

$$= \int_{\text{Linie}} \left(1 - \frac{I(\lambda)}{I_c(\lambda)} \right) d\lambda$$

mit $I_c(\lambda)$ der Kontinuumsintensität bei der Wellenlänge λ und $I(\lambda)$ der Intensität im Spektrum bei der gleichen Wellenlänge λ . Das heißt also, daß bei der Integration die Intensität im Spektrum immer auf die lokale Kontinuumsintensität bezogen wird.

Im allgemeinen ist die Kontinuumsintensität nicht konstant sondern vielmehr eine Funktion der Wellenlänge und muß daher vorher (interaktiv) bestimmt werden. Eine lineare Funktion ist für kleinere Wellenlängenabschnitte meist ausreichend. Für eine Kontinuumsanpassung des ganzen Spektrums sind Polynom- oder Splinesfunktionen vorzuziehen. Wegen der Kontinuumsnormierung auf 1 erhält man für das lokale Kontinuum unter der Emission $I_c = \Delta x = x_2 - x_1$

W_x wäre normal:

$$W_x = \sum_{x_2}^{x_1} \left(1 - \frac{I(x)}{I_c(x)} \right)$$

Danach wird $W_\lambda = W_x \cdot d$ ($d = 4,46 \text{ \AA}/\text{Pixel}$)

Nach diesem Muster sind nun von einigen der eingangs erwähnten Sterne die Äquivalentbreiten der $H\alpha$ -Emission im Sinne der Überwachung ihres Zeitverhaltens beobachtet worden. Eine Übersicht hierzu zeigt die folgende Abbildung.

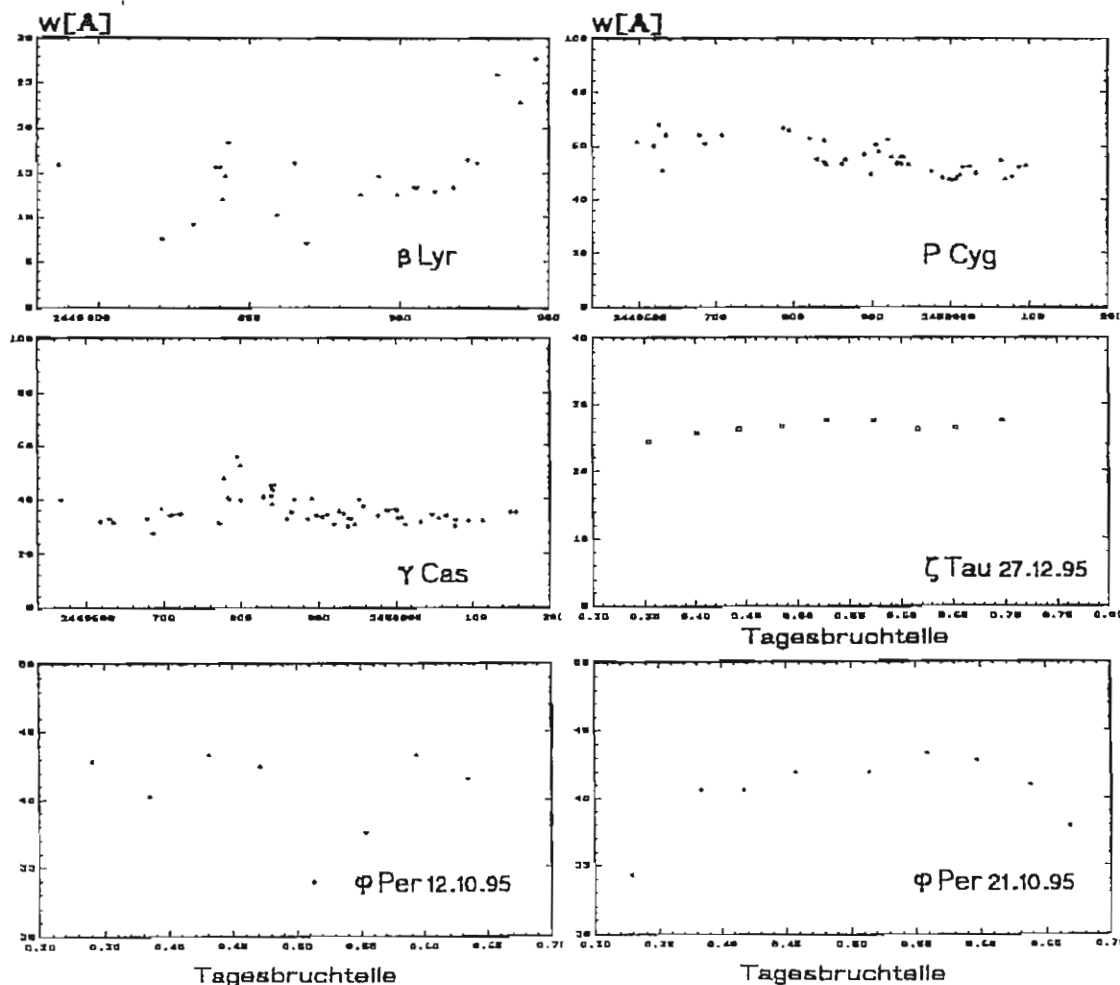


Abb. 5 Übersichtsdarstellung

Die Ermittlung der Äquivalentbreite W mit Amateurinstrumenten gelingt im allgemeinen nur mit einer Messgenauigkeit von etwa 10%, obwohl in einigen Messreihen bei φ Per eine unabhängige Fehlerabschätzung (Astr. Inst. Uni Bochum) zu Werten bei ca. 5% und bei Beobachtungen an ζ Tau gar zu 1,3% Standardabweichung führte.

Das Potential zur Verbesserung der Messgenauigkeit ist hierbei noch längst nicht ausgeschöpft. Dazu gehört beispielsweise die Stabilitätsbeurteilung des Spektrographen durch Messungen an Standardsternen während einer Beobachtungsnacht, empfindlichere CCD-Chip's u.a.

Dieser Artikel wird veröffentlicht in:

IAU - Be Star Newsletter

BAV Rundbrief 2/96

Projekt: NESSI II Bau eines Spektrographen (Teil 2)

(Arbeitskreis "Spektroskopie" Volkssternwarte Neumarkt)

Die Abbildungslinse

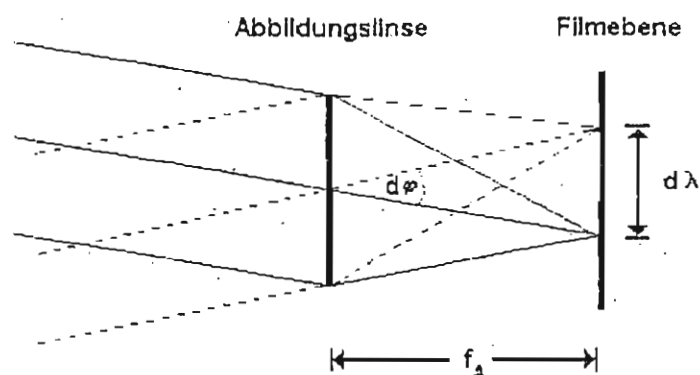


Abb.3 Strahlengang zweier Parallelbündel versch. Wellenlänge

Die Abbildungslinse bildet alle zueinander parallelen Strahlen einer Wellenlänge "genau" auf einen Punkt ab. Die Brennweite der Abbildungslinse bestimmt somit die Größe des auf der Filmebene abgebildeten Bereichs des Spektrums und wird deshalb so gewählt, daß $d\lambda$ vom Empfänger gerade noch aufgelöst wird.

Der Kollimator

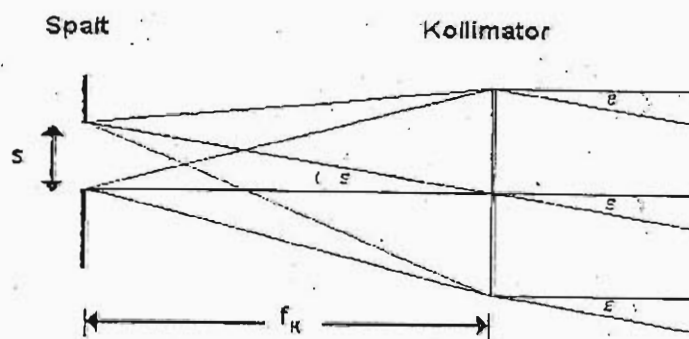


Abb. 4 Prinzip des Kollimators

Die Kollimatorlinse erzeugt aus dem stark divergenten Strahlenbündel der Lichtquelle bzw. des Lichtleiters im Idealfall, d.h. wenn $s=0$ ist, parallele Strahlen. Berücksichtigt man, daß der Spalt eine endliche große Breite besitzt, ergibt sich folgende Beziehung:

$$\tan \varepsilon = \frac{s}{f_K} ; \quad \text{da } \tan \varepsilon \approx \varepsilon \text{ für kleine } \varepsilon \text{ gilt:}$$

$$\varepsilon = \frac{s}{f_K}$$

Das Auflösungsvermögen

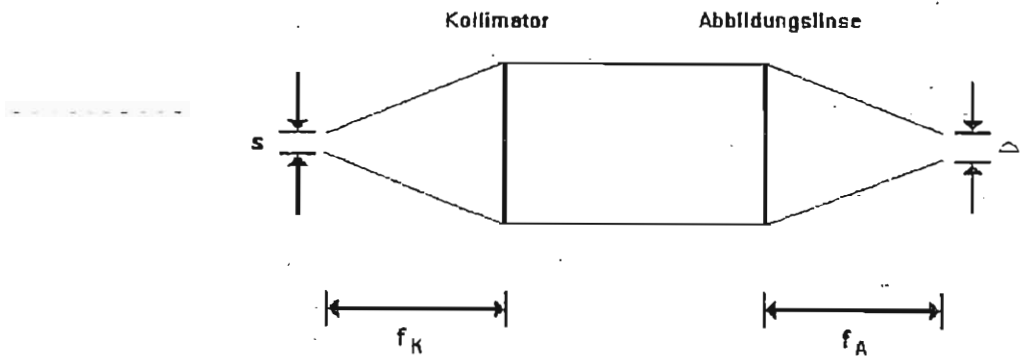


Abb. 5 Wirkungswiese der Linsenoptik

Die Optik des Spektrographen kann prinzipiell als eine Abbildung betrachtet werden, bei der Spalt bzw. Lichtleiter auf die Filmebene abgebildet werden. Die Eigenschaften dieser Abbildungen werden durch Kollimator und Abbildungslinse bestimmt. Für diese Abbildung zweier Linsen gilt folgendes Gesetz:

$$\frac{s}{f_K} = \frac{\Delta l}{f_A}$$

Aus Teil 1 (SPEKTRUM 11/98), Abschnitt: *Die Lineardispersion* ist bekannt:

$$d\lambda = \frac{\sqrt{g^2 - \lambda^2}}{f_A} dl$$

dl kann für eine ausreichende Näherung durch Δl ersetzt werden:

$$\Delta \lambda = \frac{s}{f_K} \cdot \sqrt{g^2 - \lambda^2}$$

Das Ergebnis ist von der Brennweite der Abbildungslinse unabhängig! Daher ergeben sich theoretisch folgende Verbesserungsmöglichkeiten der Auflösung :

1. Verkleinerung des Lichtleiterdurchmessers
2. Vergrößerung der Brennweite des Kollimators
3. Verkleinerung der Gitterkonstante

Die genannten Möglichkeiten sind jedoch nur begrenzt einsetzbar:

zu 1.: Durch die Verkleinerung des Lichtleiterdurchmessers kann weniger Sternlicht eingefangen werden, was bei der ohnehin geringen Lichtintensität zu Lasten der Belichtungszeit geht.

zu 2.: Da das Gitter nur eine begrenzte Fläche umfaßt, kann das parallele Strahlenbündel nicht beliebig groß sein. Die Brennweite des Kollimators wurde von vorn herein so groß gewählt, daß die Gitterfläche bestmöglich beleuchtet ist.

zu 3.: Die Gitterkonstante darf nicht kleiner werden als die Wellenlänge des Lichtes

Der Aufbau des Spektrographen

Mit Hilfe einer Fräsmaschine war es uns möglich, sämtliche Halterungen aus Aluminium zu fertigen. Die Bodenplatte aus Aluminium und das Gitter wurden von einer Gruppe der Volkssternwarte Neumarkt übernommen, die vor unserer Tätigkeit einen Spektrographen bauen wollte. Dadurch erreichten wir einen stabilen Aufbau des Spektrographen, der einen späteren Transport des Gerätes ohne Dejustage ermöglicht. Um Reflexionen der 0. Ordnung an der Halterung für die Lichtleiter, d.h. einen senkrechten Lichteinfall auf das Gitter zu vermeiden, wurde der Winkel Kollimator-Gitter-Abbildungslinse möglichst klein gehalten, wobei aber darauf geachtet wurde, daß sich die Objektive mit ihren Halterungen nicht gegenseitig abdecken.

Der Spektrograph wird in seinem momentanen Stadium während der Aufnahme eines Spektrums mit einem lichtdichten Holzkasten vor Streulicht geschützt.

Die Lichtleiter

Die Lichtleiter für den Spektrographen wurden von der Firma Faseroptik in Allersberg gespendet und bearbeitet. Es sind zwei $50\mu\text{m}$ Lichtleiter und ein $135\mu\text{m}$ Lichtleiter. Zu Beginn des Aufbaus sollten zwei Vergleichsspektren die Auswertung des aufgenommenen Spektrums erleichtern. Die drei Lichtleiter werden in einem Metallblock mit drei passenden Bohrungen gesteckt. Die Löcher wurden so gut wie möglich in einer Geraden gebohrt, damit die geplante Auswertung einigermaßen leicht geht.

Mit dem Einsatz einer CCD-Kamera und eines Computers ist geplant, das Vergleichsspektrum und das Sternspektrum durch den gleichen Lichtleiter nacheinander aufzunehmen.

Das Gitter und seine Halterung

Das Gitter hat eine Größe von 5×5 cm mit 1200 Linien/mm. Es wurde in einer drehbaren Halterung eingebaut. Die Einstellung des Gitters soll später vom Computer übernommen werden. Der Schrittmotor ist bereits montiert, die Steuerung ist in Teilen fertig gestellt.

Der Kollimator

Um die Kosten gering zu halten, suchten wir nach geeigneten, schon vorhandenen Objektiven für den Aufbau. Der Kollimator sollte ohne Vignettierung das Gitter voll ausleuchten. Hier stellte sich nach einer Reihe von Experimenten mit Kollimatoren ein Fernglasobjektiv als geeignet heraus, da bei allen geprüften Fotoobjektiven passender Brennweite die filmseitige Linse einen zu geringen Durchmesser hatte. Später wurde entdeckt, daß der Kollimator blaues Licht stärker ablenkt als rotes Licht, d.h. um scharfe Aufnahmen des Spektrums zu erhalten, müssen die Objektive immer wieder neu eingestellt werden. Dazu untersuchten wir zwei Möglichkeiten:

1. Das Fernglasobjektiv muß seine Position der jeweiligen Stellung des Gitters anpassen. Dies sollte mit einer Kulissensteuerung erreicht werden. Deshalb wurde die Halterung mit dem Objektiv auf zwei Metallschienen gestellt und mit einem Gummi unter Zug gesetzt. Ein Metallblech wurde an der Halterung des Gitters befestigt. Eine Metallstange, die an der beweglichen Objektivhalterung befestigt wurde, sollte durch Anliegen an der Metallplatte den genauen Abstand des Objektivs zum Lichtleiter festlegen. Es ist uns nicht gelungen, eine passende Steuerkurve an den Plattenrand zu fräsen. Deshalb befanden wir die Justierung des Kollimators als zu schwierig.

2. Wir ersetzten die Führungsstange durch eine Schraube mit Schraubenmutter. Das Kameraobjektiv stellten wir auf Unendlich und justierten durch das Verstellen der Schraubenmutter den Kollimator so, daß wir im blauen Spektralbereich scharfe Emissionslinien sahen. Die jeweilige Schärfereinstellungen in den anderen Spektralbereichen wird am Fotoobjektiv vorgenommen. Diese Methode erwies sich als die einfachere und genauere.

Das Fotoobjektiv und die Kamera

Das Objektiv der Kamera sollte möglichst viel Licht des Spektrums bündeln können, d.h. die Vorderlinse sollte einen größeren Durchmesser haben als die Höhe und Breite des Gitters. So erreicht man die volle Ausnützung des Lichts. Von den vorhandenen Objektiven hatte nur ein 135 mm Teleobjektiv den nötigen Durchmesser der Frontlinse. Zu Beginn des Aufbaus sollte ein Fotoapparat die Spektren aufnehmen. Schon bei den ersten Aufnahmen stellte sich heraus, daß die Belichtungszeit nur sehr schwer zu bestimmen ist, und der Film ungleichmäßig belichtet wurde. Da das Spektrum einmal in einen Computer übertragen werden soll, damit es dann automatisch ausgewertet werden kann, wurde der Einsatz einer CCD-Kamera beschlossen. Das Programm zur Aufnahmesteuerung stammt von der Firma OES. Die genaue Auswertung der einzelnen Aufnahmen soll mit MIDAS erfolgen.

Der Anschluß des Lichtleiters an das Teleskoop

Um Weihnachten 1994 baute die Sternwarte einen Lichtleiteranschluß für ihren 30-cm-Cassegrain, bei dem durch ein kleines Fernrohr aus einem Doppelfadenkreuzokular und einem Normalobjektiv die Frontseite des Lichtleiter beobachtet werden konnte. Mit unserem 200µm Lichtleiter gelang dabei die Nachführung des Teleskops bis zu Sternen zweiter Größe. Um auch lichtschwächere Sterne nachführen zu können, werden zwei andere Methoden geprüft:

1. Der Lichtleiter wird direkt in ein Okular eingeführt und dort in der Ebene der Gesichtsfeldblende in einer Plexiglasscheibe fixiert. 2. Vor dem Lichtleiter wird mit einem Deckglas (0,1 mm dick) als Strahlteiler etwas Sternlicht in das seitlich angebrachte Fadenkreuzokular gelenkt. Diese Variante liefert bis zu Sternen siebter Größe genügend Licht im Objektiv.

Da das Auflösungsvermögen unseres Spektrographen nur noch durch einen dünneren Lichtleiter verbessert werden kann, wollen wir prüfen, ob durch eine kleine Linse vor dem Lichtleiter die dadurch gestiegene Anforderungen an die Nachführgenauigkeit gemildert werden können. Mit den Experimenten zur Verbesserung des Lichtleiteranschluß wurde noch nicht begonnen. Die endgültige Fertigstellung ist nicht vor Herbst 1996 zu erwarten.

Aufnahme von Ausschnitten des Sonnenspektrums

Da die Sternwarte noch keinen Computer besitzt, und auch der Lichtleiteranschluß des Teleskops noch nicht vollständig fertiggestellt ist, blieb uns nur die Möglichkeit, ein Sonnenspektrum aufzunehmen.

Für die Aufnahme des Sonnenspektrums wurde das Sonnenlicht durch einen Lichtleiter von 50 μm Durchmesser zum Spektrographen geführt. Das Ende des Lichtleiters wurde dabei ohne Optik dem Tageslicht ausgesetzt. Je nach Sonneneinstrahlung (unter anderem auch bewölkter Himmel) erzielten wir mit einer Belichtungszeit von fünf bis zehn Sekunden gute Aufnahmen. Zur Orientierung wurde vor jeder Sonnenlichtaufnahme das Spektrum einer Quecksilberdampfampe im Bereich von circa 380 bis 590 nm aufgenommen. Mit Hilfe dieser Aufnahmen wurde auch die Optik des Spektrographen justiert, um eine optimale Schärfe zu erreichen. Dies war nach jeder Gitterdrehung aufgrund der Farbfehler der Abbildungsoptik des Spektrographen notwendig. Nach optimaler Justierung wurde im gleichen Wellenlängenbereich das Sonnenspektrum aufgenommen.

Da die Auflösung unseres Spektrographen nur durch den Durchmesser des Lichtleiters verbessert werden konnte, wurde für diesen Versuch ein 50 μm Lichtleiter verwendet. Dadurch konnten wir eine Auflösung von 2–3 \AA erzielen. So konnten wir die Na-D-Linien noch trennen. Zur besseren Auswertung wurden die Aufnahmen anschließend in ein Wellenlänge-Intensitäts-Diagramm übertragen.

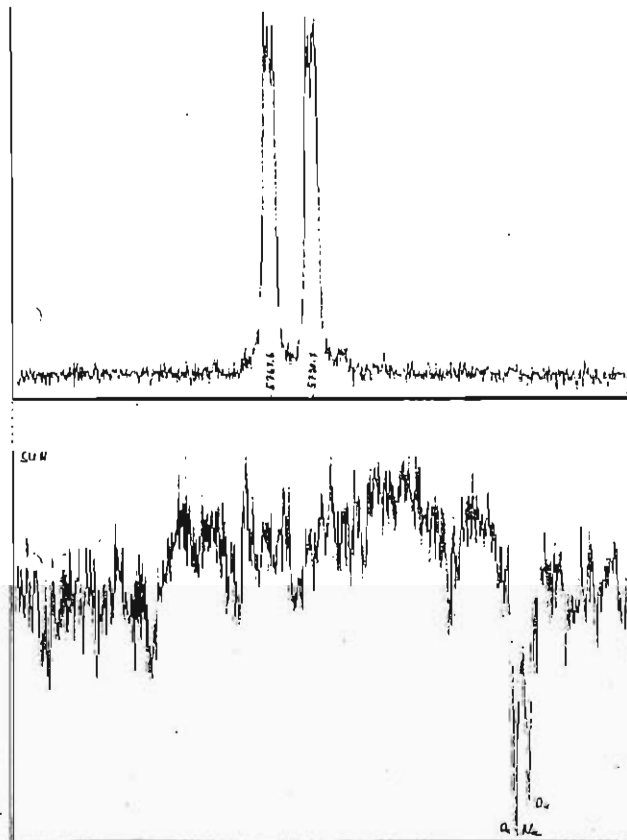


Abb. 6 oben: Hg-Dampf-Spektrum
unten: Sonnenspektrum

Ein ESO - Spektrum des Kometen Hyakutake

(aus dem Internet von Günther Müller, Bonn)

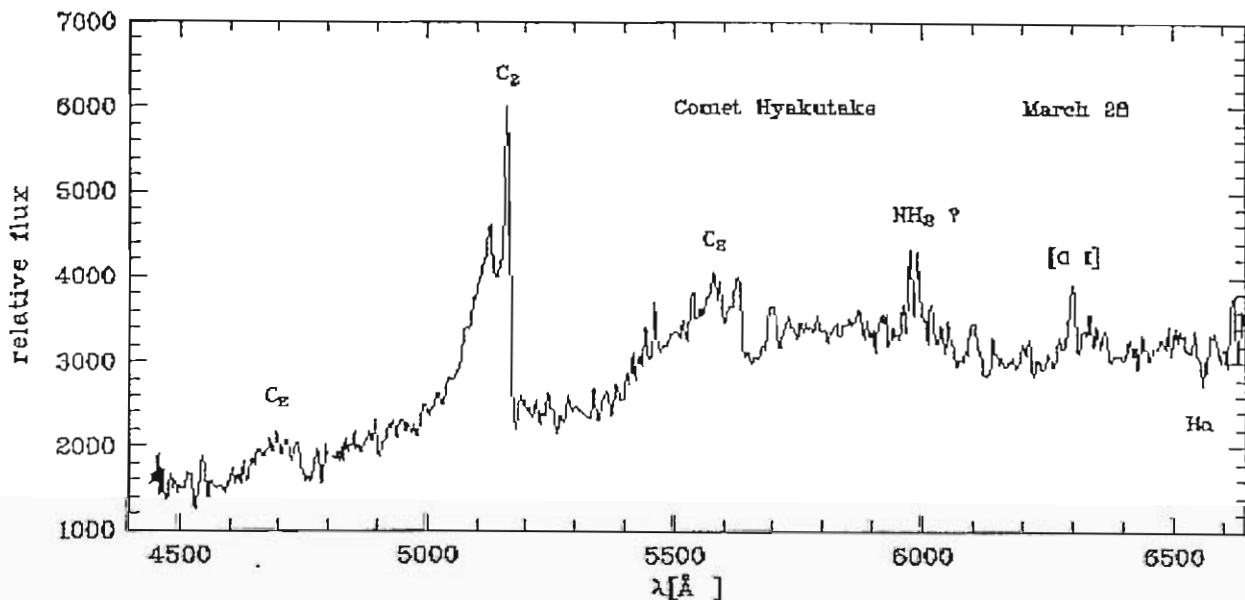
In der Nacht vom 27. auf den 28. März 1996 konnte auf dem European Southern Observatory in La Silla bei einer Deklination des Kometen von etwa +78 Grad ein Spektrum mit geringer Dispersion gewonnen werden. Das Spektrum wurde gewonnen von G. Avila, J. M. Alcalá, C. Guirao und J. Rodríguez mit einem selbstgebauten Spektrographen, der über ein Glasfaserkabel mit einem selbstgebauten Amateuerteleskop gekoppelt war. Die Belichtungszeit betrug 20 Minuten, wobei das Spektrum mit einer He-Ar-Referenzlichtquelle kalibriert worden ist. Nachfolgend einige Details zum Instrumentarium:

Teleskop: Öffnung 10cm; f/10 Maksutov Objektiv. Glasfaser: 200µm Durchmesser bei 3m Länge.

Spektrograph: Kollimator Doublett mit einer Öffnung von 50mm f/6. Gitter: 600 Linien/mm geblazed auf 500nm., 50x50mm. Kameraoptik: Fotoobjektiv f=100mm f/2.

CCD-Kamera: Hale Research mit einem Tektronix-Chip 512x512 Pixel. TE-Kühlsystem. 12 bit.

Das Spektrum: Wie normalerweise bei Kometen üblich, sind die starken Emissionen der Kohlenstoffverbindung C₂ zwischen 500 und 520 nm , sowie zwischen 550 und 560 nm zu finden neben einer NH₂-Emission bei etwa 600 nm. (Siehe hierzu nachfolgende Abbildung).



ESO-Spektrum des Kometen Hyakutake

Buchbesprechung: Atlas de Spectres Stellaires

N. Ginestet, J.M. Carquillat, M. u. C. Jaschek, A. Pedonssaut, J. Rochette

136 Seiten, 17 ganzseitige Tabellen, 2 Zeichnungen, 75 ganzseitige fotografische s/w Spektralaufnahmen mit zum Teil Spektralkurven, blauer Leinenringordner mit Goldprägeschrift (DIN A4 Querformat), Hochglanzpapier, französischer und englischer Textteil, Pic du Midi Press, 1992, Frankreich. Preis 430 ff

Hinter dem zunächst in seiner Aufmachung eher schlicht wirkenden blauen Leinenringordner verbirgt sich ein sehr stabiles Werk mit einem "Innenleben" von ganz besonderem Wert der Extraklasse. Die großen Letter, welche in sehr passender Weise in Goldprägeschrift aufgebracht sind, machen auf den Inhalt neugierig. Die Einlegeblätter sind ebenfalls sehr stabil und durch den Hochglanz sogar abwaschbar. Die Druckqualität ist entsprechend hoch und läßt keine Wünsche offen. Der gutgegliederte Inhalt unterteilt sich zunächst in den französischen Textteil auf den ersten 24 Seiten. Im Anschluß daran befindet sich der englische Textteil, welcher leichtverständlich kurz und knapp, jedoch sehr präzise bis zur Seite 45 reicht. Der Textteil ist in 5 Hauptkapitel unterteilt und zwar:

1. Reference Atlas: Spectra of MK Standard
 2. Atlas of Spectra of Spectroscopic Binaries
 3. Atlas of Stars with Peculiar Spectra
 4. The BS CASS Spectrograph
 5. Classification Criteria
- Alle Hauptkapitel enthalten

weitere 2 bis 7 Unterkapitel, die sehr spannend, informativ und eindrucksvoll den Leser fesseln.

Nach dem Textteil schließen sich ganzseitige Tabellen an, die sehr übersichtlich gestaltet sind und wertvolle Informationen liefern. Der größte Teil dieses Werkes ist den Spektralaufnahmen der letzten 75 Seiten gewidmet. Diese atemberaubenden hochauflösenden sehr ästhetisch ins Bild gesetzten Spektralaufnahmen, lassen jedes Spektroskopikerherz höher schlagen und lassen keinen Wunsch offen. Dieses wunderschöne Werk ist ein Meilenstein, Standardwerk und Nachschlagewerk zugleich und avanciert zur Spitzenklasse. Auch das Preis-Leistungsverhältnis stimmt. Dieser Spektralatlas ist ein muß für alle Spektroskopiker und sollte in keiner Bibliothek oder Sammlung fehlen. Prädikat: besonders wertvolles edles Spitzenprodukt das nur wärmstens empfohlen werden kann.

Walter Diehl, Wetzlar

Danksagung:

Es hat Freude gemacht, diesen Rundbrief zusammenzustellen. Mehr Skriptmaterial als sonst, und dennoch in der Hälfte der Zeit. Besonders erleichternd war die Skriptüberstellung auf Diskette. Wenn dieses Beispiel Schule machen würde, na das wär toll..... Ich möchte mich bei allen Skripteinsendern ganz herzlich für diese Mitarbeit bedanken.

Ernst Pollmann