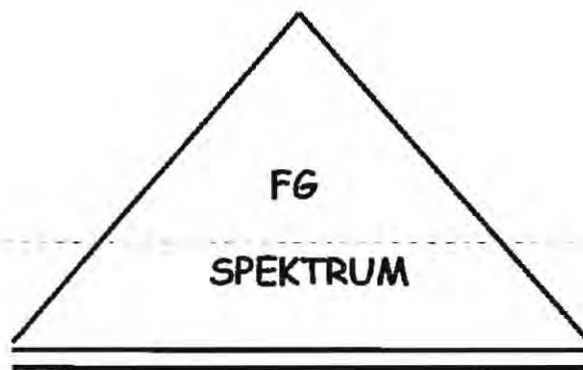




Mitteilungsblatt der

Fachgruppe

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

der Vereinigung der
Sternfreunde e.V.

Rundbrief Nr. 19 (1999)

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

Inhaltsverzeichnis

		Seite
Bernd Hanisch	Bestimmung von Radialgeschwindigkeiten mit Amateurmitteln: Beispiel P Cygni	1
Dieter Goretzki	Ausführungen zur Anwendung der Hartmannschen Dispersionsformel	5
Frank Hase	Bau eines Spektrometers zur Beobachtung des Dopplereffektes	9
Prof. Dr. E. H. Geyer	Die instr. Entwicklung der Astrospektroskopie (II)	14
Ernst Pollmann	Die Spektroskopie-Tagung 2000 in Hamburg	22
Ernst Pollmann	Die neue Vereinszeitschrift der VdS	23

Bestimmung von Radialgeschwindigkeiten mit Amateurmitteln

Fallbeispiel: P Cygni

(Von Bernd Hanisch, Frankfurt / Oder)

Im folgenden wird über den Versuch berichtet, mit Hilfe einer einfachen spektroskopischen Amateurausrüstung den radialen Anteil der Expansionsgeschwindigkeit der Hülle von P Cygni anhand einzelner Wasserstoff- und Heliumlinien zu bestimmen.

1. Allgemeine Bemerkungen zu P Cygni

P Cygni ist, seit seiner Entdeckung am 18. August 1600, ein in mehrfacher Hinsicht auffälliger Stern. Zum einen konnte man schon bei rein visueller Beobachtung in der Vergangenheit bemerkenswerte Helligkeits- und Farbänderungen feststellen. Während die visuelle Helligkeit im 17. bis Mitte des 18. Jahrhunderts irregulär zwischen der 3. und 6. Größenklasse variierte, ist seit etwa 200 Jahren ein kontinuierlicher Helligkeitsanstieg von etwa 5,^m2 auf 4,^m8 mit geringfügigen Schwankungen von $\Delta m = 0,2$ mag zu verzeichnen. Ebenfalls wird von einer langsamen Entrötung des Sternes über ein anfangs rötliches und ein später gelblich-weißes bis zum heutigen bläulich-weißen Erscheinungsbild berichtet [4].

Als etwa vor 110 Jahren die ersten Spektren des Sterns aufgenommen wurden, erkannte man bei fast allen Linien ein zunächst völlig ungewöhnliches Profil: breite, nicht verschobene Emissionen mit scharfen, blauverschobenen Absorptionen. Diese Erscheinung wird bis heute als P Cygni - Linienprofil bezeichnet. Die Erklärung dieses ungewöhnlichen Phänomens konnte erst in neuerer Zeit durch Lamers et. al. versucht werden, nachdem aufgrund weiterer spektroskopischer Beobachtungen die Ableitung der Zustandsgrößen und, damit verbunden, die Lokalisierung des Sterns im HRD möglich war. Nach Lamers et. al. ergeben sich für den etwa 6000 Lichtjahre entfernten B1 Ia-Stern folgende Parameter:

T_{eff}	$= 19300 \pm 2000 \text{ K,}$
$R^*/R_{\odot}$	$= 76 \pm 14,$
$\log L^*/L_{\odot}$	$= 5,86 \pm 0,3$
$M^*/M_{\odot}$	$= 23 \dots 40 \pm 4$

T_{eff} : effektive Temperatur; R: Radius; L: Leuchtkraft; M: Masse; *: Stern; $\odot$: Sonne

Man nimmt an, daß sich P Cygni nach Verlassen der Hauptreihe, verursacht durch einen starken Strahlungsdruck, in einer sehr instabilen Phase befindet. Dabei kommt es zur Kontraktion des Kerns und zum Verlust großer Teile seiner Masse mit einer expandierenden Hülle. Dabei ist davon auszugehen, daß die Emissionen in einem stationären Hüllenteil entstehen und die blauverschobenen Absorptionen einer expandierenden, äußeren Hüllenkorona zuzuordnen sind. Die Expansionsgeschwindigkeit der Hülle steigt mit fallendem Ionisationsgrad, also von inneren (heißeren) zu äußeren (kühleren) Hüllenschichten. Das Ausmaß ihres radialen, d.h. in die Sichtlinie des Beobachters fallenden, Anteils wird durch die gemessene Blauverschiebung der Absorptionskomponente bestimmt.

Unlängst wurde durch Stahl et. al. [2, 3] bei einer Langzeitüberwachung der spektroskopischen Parameter Radialgeschwindigkeit und Stärke der Emissionslinien auch deren zeitliche Variabilität festgestellt. Eine Korrelation in der Variation spektroskopischer und photometrischer Parameter konnte dabei jedoch nicht nachgewiesen werden [3].

2. Spektrenaufnahme und -bearbeitung

Die Aufnahme der Spektren zur Ermittlung der Radialgeschwindigkeit von P Cygni erfolgte mit einem auf einer Ib-Montierung angebrachten Zeiss- Meniscas 180 / 1800 mit vorgesetztem Objektivprisma (110 mm mal 110 mm Kantenlänge, 45° brechender Winkel, Bor-Kron (BK) 2 - Glas). Als photographische Emulsion diente KODAK T MAX 3200. Die Belichtungszeit eines nahezu unverbreiterten Spektrums betrug unter diesen Bedingungen etwa 10 min. Dabei kam es bei der Spektrenaufnahme auf das Vermeiden jeglicher Nachführabweichungen in Dispersionsrichtung an, welche ein Verschmieren der Linienprofile bewirkt hätten. Bei einer Spektrumslänge auf dem Negativ von 32 mm ergab sich eine Dispersion von 45 Å/mm bei 4000 Å.

Nach der Spektrenaufnahme und -entwicklung wurde das Negativ mit einem Zeiss-Registrierphotometer MD 100-gescannt; das Ausgangssignal über ein Digitalmultimeter digitalisiert und mittels eines PC aufgezeichnet. Die Bearbeitung des Scans (Wellenlängenkalibration, Kontinuumsnormierung) erfolgte mit einem vom Bonner Sternfreund Helmut Knobloch entworfenen Auswertprogramm.

3. Ermittlung der Radialgeschwindigkeit

In einem ersten Schritt der Spektrenauswertung wurden nach der Wellenlängenkalibrierung die Wellenlängen der nicht verschobenen Emissions- bzw. der blauverschobenen Absorptionskomponente der entsprechenden Spektrallinien möglichst genau bestimmt. Anschließend wurde aus der Differenz der Wellenlängen von Emissions- und Absorptionskomponente entsprechend der Doppler-Gleichung der radiale Geschwindigkeitsanteil der Expansionsgeschwindigkeit errechnet:

$$v_{\text{rad}} = -c \cdot \Delta\lambda / \lambda = -299793 \text{ km/s} \cdot \Delta\lambda / \lambda$$

v_{rad} : radialer Geschwindigkeitsanteil in km/s

λ : Wellenlänge der unverschobenen Linie in Å

$\Delta\lambda$: Differenz der Wellenlängen von Linienemission
und blauverschobener Absorption in Å

c : Lichtgeschwindigkeit in km/s

Die entsprechenden Werte und die daraus resultierenden Radialgeschwindigkeiten für die auswertbaren Spektrallinien des in Abb. 1 gezeigten Beispielspektrums zeigt Tab. 1 :

Linie	λ Emission (λ_E) in Å (nicht verschoben) ¹⁾	λ Absorption (λ_A) in Å (blauverschoben)	$\lambda_E - \lambda_A$ in Å	v_{rad} in km/s
He I	4471,48	4468,32	3,16	- 212
H χ	4340,47	4337,72	2,75	- 190
H δ	4101,74	4099,06	2,68	- 196
He I	4026,19	4024,00	2,19	- 163
H ϵ	3970,07	3967,32	2,75	- 208
H δ	3889,06	3886,47	2,59	- 200
H γ	3835,40	3832,57	2,83	- 221

Tab. 1: Errechnung der Radialgeschwindigkeiten für auswertbare Spektrallinien von P Cygni (Spektrum vom 24. 07. 1995)

Der aus den Einzelschritten (Aufnahme, Scannen, Kalibrieren,) resultierende Gesamtfehler für die letztlich bestimmte Radialgeschwindigkeit kann unter den beschriebenen Bedingungen auf $\pm 10 \%$ geschätzt werden. Für die im photographischen Teil des Spektrums (Abb.1, oberer Teil) bezeichneten Linien rotseits von etwa 4500 Angstr. waren die Emissions- und Absorptionskomponenten aufgrund der zum langwelligen Bereich hin abfallenden Dispersion nicht getrennt, so daß eine Bestimmung der Radialgeschwindigkeit nicht möglich war.

Fazit: Mit einem in Relation zur beschriebenen Ausrüstung vergleichbaren (oder besseren) Equipment ist bei sorgfältigem Arbeiten die Bestimmung von radialen Geschwindigkeitsanteilen ($> 100 \text{ km/s}$) im blauen und violetten Spektralbereich mit einer Genauigkeit von etwa $\pm 10 \%$ möglich. Die ermittelten Radialgeschwindigkeiten stimmen mit dem für P Cygni bezüglich dieser Linien in der Literatur [2, 3] angegebenen Bereich von -150 km/s bis -220 km/s recht gut überein. Die derzeitigen zeitlichen Schwankungen der Radialgeschwindigkeiten (bei P Cygni etwa $\pm 15 \text{ km/s}$) werden für die beschriebene Ausrüstung vom Fehler überdeckt und sind somit nicht mit hinreichender Genauigkeit zu verfolgen. Die Bestimmung von Radialgeschwindigkeiten, und damit der Nachweis von Hüllenexpansion und Masseverlust, ist für P Cygni trotz der genannten Einschränkungen auch mit einfachen Mitteln möglich.

Literatur:

- [1] Saidel A. N., Prokofjew W. K., Raiski S. M., Spektraltabellen, Zweite Auflage, VEB Verlag Technik Berlin, 1961
- [2] Stahl O., Mandel H., Wolf B., Gäng Th., Kaufer A., Kneer R., Szeifert Th., Zhao F., Long-term spectroscopic monitoring of P Cygni-type stars, I. Spectral atlas of P Cygni, Astronomy and Astrophysics, 12.8.1992
- [3] Stahl O., Mandel H., Wolf B., Gäng Th., Kaufer A., Szeifert Th., Zhao F., Long-term spectroscopic monitoring of P Cygni-type stars, II. Spectroscopic Variations of P Cygni during 1990 - 1992, Astronomy and Astrophysics, 8.2.1994
- [4] Lamers H. J. G. L. M., de Groot M., Casatella A. : P Cygni stars as an intermediate stage between red supergiants and Wolf-Rayet stars, Astron. Astrophysics 123 (1983) L 8 - L 10

He I
5876

He I
5016

H β
4861

He I
4471

H γ
4340

H δ
4102

He
3970

H δ
3889

H γ
3835

p Cygni B1 Ia 24. 07. 1995 10 min KODAK T MAX 3200

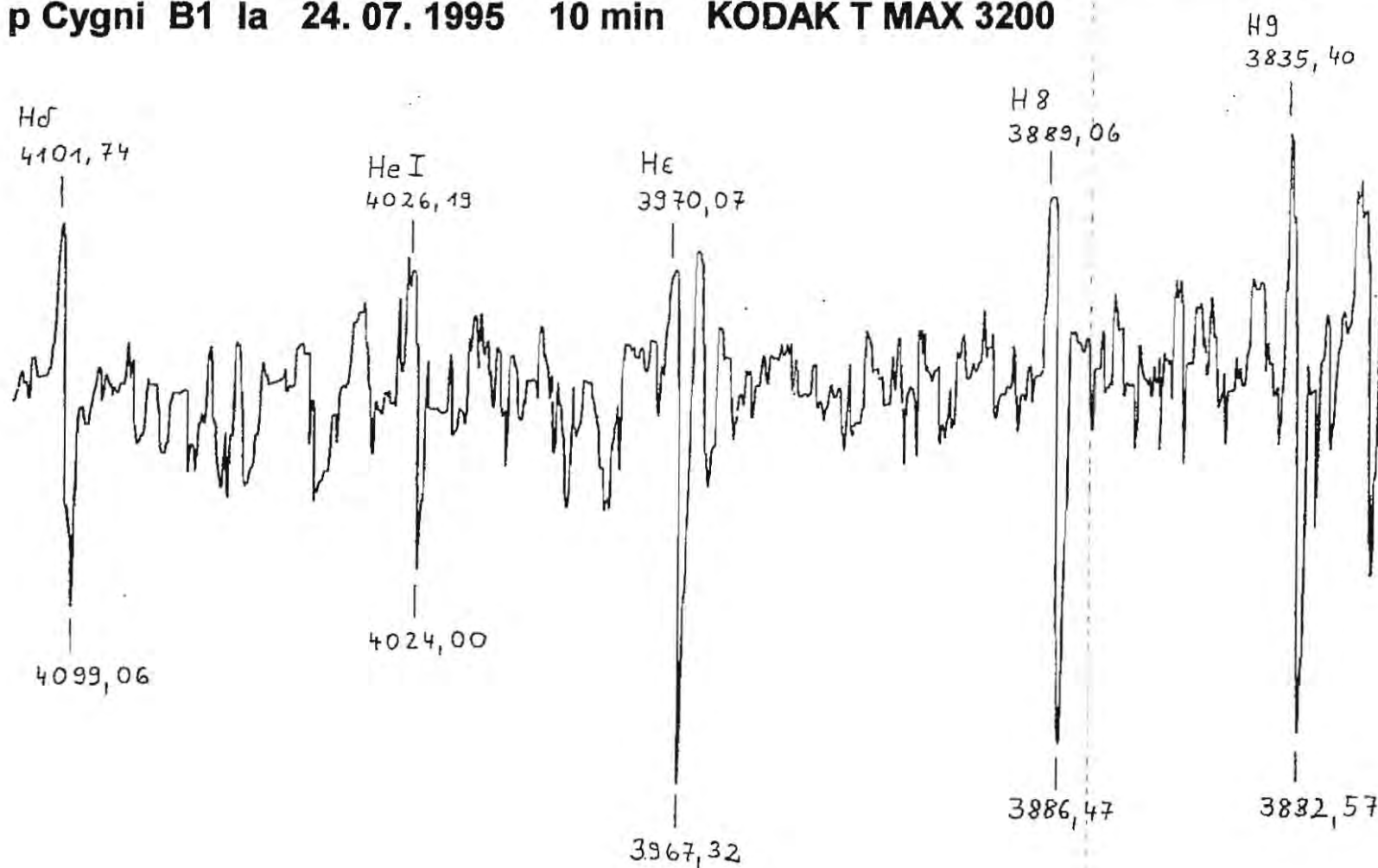


Abb.1: oben: photographisches Spektrum von p Cygni

unten: Ausschnitt aus dem Scan

Diese Konstanten werden nun in die Gleichung von Hartmann (0) eingesetzt und die unbekannten Wellenlängen können berechnet werden.

Beispiel: Linie 4 = 133 Pixel ergibt $\lambda = 396,81 \text{ nm}$ ($H\beta = 397,01 \text{ nm}$)

Linie 8 = 18 Pixel ergibt $\lambda = 376,83 \text{ nm}$ ($H11 = 377,06 \text{ nm}$)

Wie man sieht, erhält man schon recht genaue Resultate, obwohl die Stützstellen recht ungünstig verteilt sind. Das schafft man mal mit einem Polynom! Natürlich erhält man so weitere Zuordnungen und damit andere Wertepaare, mit denen neue Konstanten berechnet werden können. Die kann man dann mitteln und erhält dann recht genaue Zuordnungen. Besser ist natürlich der SOLVER in Excel, nur eine Beschreibung der Vorgehensweise würde hier zu sehr ausufern.

Vortrag Spektroskopietagung Bonn 1999

Bau eines Spektrometers zur Beobachtung des Dopplereffektes
(von Frank Hase, Karlsruhe)

1. Motivation zum Bau des Spektrometers

Das Spektrometer soll (unter anderem) zur Beobachtung des Dopplereffektes dienen. Der Dopplereffekt erlaubt die Untersuchung des Bewegungszustandes astronomischer Quellen mit Hilfe der Spektralanalyse. Die Bewegung einer Lichtquelle entlang einer Sichtlinie führt zu einer Verschiebung des Spektrums entlang der Farbachse.

Sofern das Spektrum geeignete Meßmarken besitzt, kann diese Verschiebung gemessen und so die Geschwindigkeit der Lichtquelle entlang des Sehstrahls bestimmt werden. Da ich die Messung von Geschwindigkeiten beabsichtige, die klein sind gegenüber der Lichtgeschwindigkeit, benötige ich ein Spektrometer mit ausreichend hohem spektralen Auflösungsvermögen.

2. Erklärung des Dopplereffektes

Klassisch:

In S' erfolgt die Aussendung von Wellenfronten im zeitlichen Abstand T' . Die Quelle bewege sich mit der Geschwindigkeit u_r vom Beobachter fort.

Der Wellenzug wird gedehnt um $u_r T'$

$$T = T' + u_r T' / c$$

Mit

$$\lambda_0 = c T'$$

$$\lambda = c T$$

folgt

$$\lambda = \lambda_0 (1 + u_r / c)$$

Wir sind hierbei von einer bewegten Quelle ausgegangen. Nach klassischer Auffassung ist die Größe des Effektes unabhängig davon, ob sich Beobachter oder Quelle gegenüber dem wellentragenden Medium bewegen (Schallwelle, Wasserwelle).

Relativistisch:

Der Gang einer Uhr im Bezugssystem der aussendenden Quelle erscheint verlangsamt. Der Beobachter stellt demnach fest, daß die Quelle Wellenberge im zeitlichen Abstand $\gamma T'$ aussendet mit

$$\gamma = (1 - v^2 / c^2)^{-1/2}$$

→ Wellenzug wird gedehnt um $u_r \gamma T'$

$$\rightarrow T = \gamma T' + u_r \gamma T' / c$$

Nun ist der Gesamtbetrag der Quellgeschwindigkeit v und die radiale Komponente der Quellgeschwindigkeit ist u_r . Im allgemeinen Fall ergibt sich

$$\lambda = \gamma \lambda_0 (1 + v_r / c)$$

Ist die Bewegungsrichtung der Quelle radial, so vereinfacht sich dies zu

$$\lambda = \lambda_0 ((1 + v / c) / (1 - v / c))^{1/2}$$

Auch wenn sich die Quelle tangential zum Beobachter bewegt, tritt infolge der Zeitdilatation eine Veränderung der Wellenlänge auf (transversaler Dopplereffekt):

$$\lambda = \gamma \lambda_0$$

Die kosmologische Rotverschiebung ferner Galaxien ist nicht mit der speziell-relativistischen Rotverschiebung zu verwechseln. Die kosmologische Rotverschiebung rührt her von der „Dehnung des Wellenzuges“ beim Durchlaufen des expandierenden Kosmos.

$$\lambda / \lambda_0 = R(t_{\text{det}}) / R(t_{\text{em}})$$

R ist der Skalenfaktor

3. Der Dopplereffekt in der Astronomie

- Raumbewegung der Sterne (Sternstromparallaxe)
- Radialgeschwindigkeit der Gasnebel (Kartierung der galaktischen Spiralstruktur mit 21 cm-Linie)
- Umlaufbewegung von Sternen (Sternmassen, spektroskopische Doppelsterne, Planeten um andere Sterne)
- Rotation der Sonne, Rotation der Sterne (Dopplerimaging)
- Sonne: Oszillation und kleinräumige Bewegungsvorgänge (innerer Aufbau der Sonne)
- Rotationskurven der Galaxien, Bewegung der Galaxien in Haufen (dunkle Materie)
- Dopplerverbreiterung von Spektrallinien: thermische und turbulente Bewegung in Sternatmosphären und Gasnebeln.

4. Beschreibung des Spektrometers LEPUS

(Likely Exhilarating and Partly Unfinished Spectrometer)

- **Gitter**
Holografisches Reflexionsgitter, 1800l/mm
Nutzbare Fläche 102 x 102 mm (Pyrex, 120 x 120 x 20 mm)
Hersteller: Thermo Vision Colorado (Empfehlung v. A. Kaufer, 600 US\$)
Theoretisches Auflösungsvermögen: 180000
- **Gitterbühne**
Gleitlager Messing auf Holz, Freiheitsgrade der Justierung: Gitter drehbar, Gitternormale senkrecht zur Drehachse verstellbar, Drehachse in beiden Richtungen verstellbar.
- **Gitterdrehung**
Tangentialarm (40 cm Länge) an Gewindestange M8, motorisch drehbar
- **Kolimator am Teleskop**
Vixen Refraktoren 80/910mm
Kolimator mit Barlowlinse 2x
Teleskop: direkt, Barlowlinse 2x, Okularprojektion 6x
- **Spalte**
Rasierklingspalte: 10, 20, 30 μm , Spalthöhe 10mm
- **Detektor**
KB-Kamera oder CCD
(Starlight SXL8 512x512 Pixel, 15x15 μm)
Chip: Philips FT12
Digitale Tiefe: 14 Bit
QE: 30% bei 530nm, 15% bei 400/650 nm
- **Einkopplung**
Faser 980 μm , 15m Länge, ESKA Polymethyl-Methacrylate-Faser von Mitsubishi NA 051, Dämpfung 200-400dB/km

Objektseitige Einkopplung:
50 mm f 1.4 Objektiv oder 60/900 mm Refraktor (in Projektion)

Spektrographenseitige Einkopplung:
Videoobjektiv 4,8mm f 1.8 bildet den Faserausgang 10x vergrößert auf den Spalt ab. Eine einfache Sammellinse unmittelbar vor dem Spalt bildet die Pupille des Videoobjektivs auf das Gitter ab.

5. Erste Ergebnisse

In den nachfolgenden Messungen wurde eine solare Eisenlinie bei 588,38 nm und eine terrestrische Linie bei 588,59 nm verwendet.

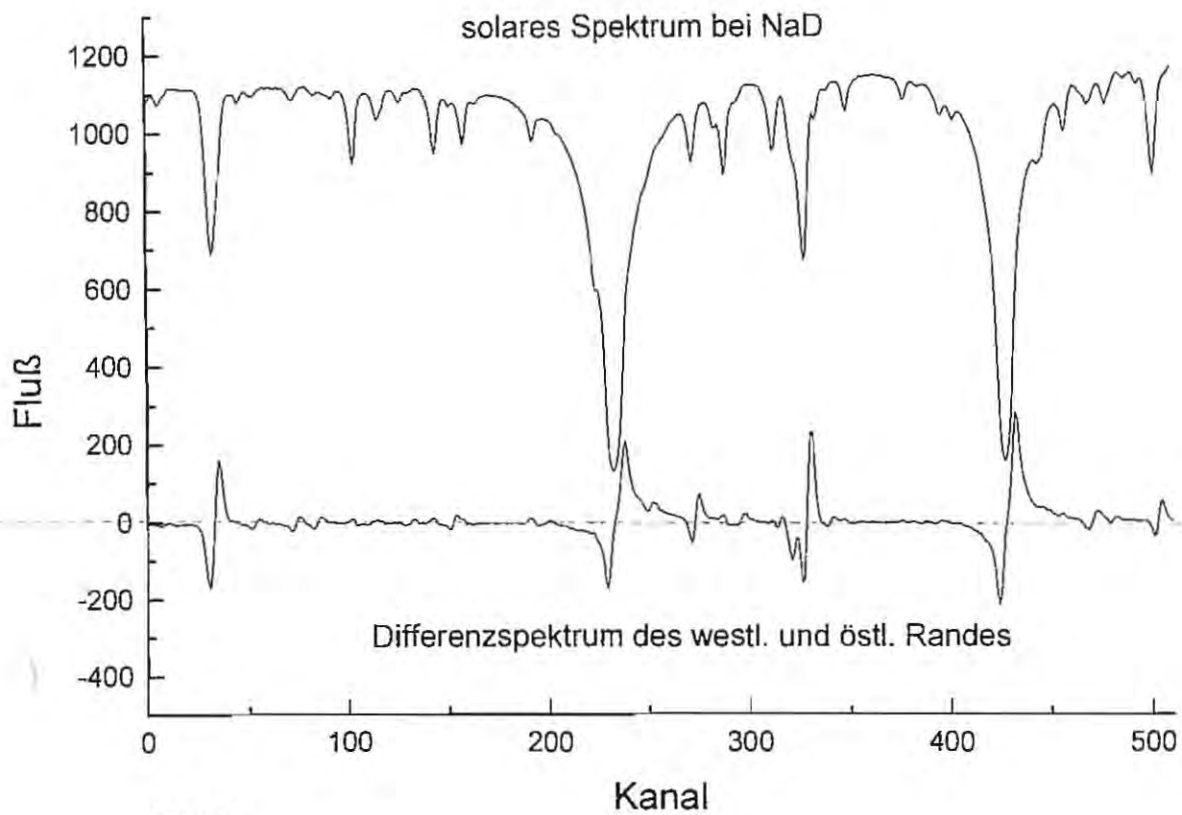


Bild 1

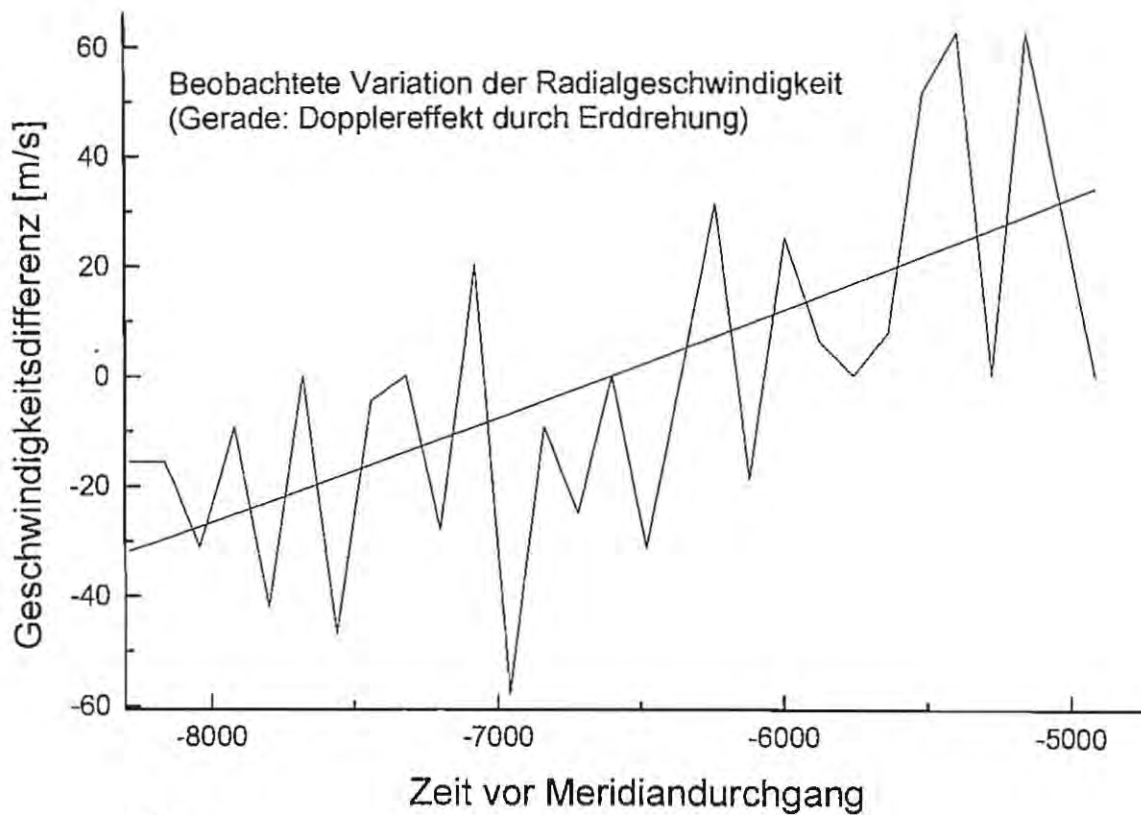


Bild 2

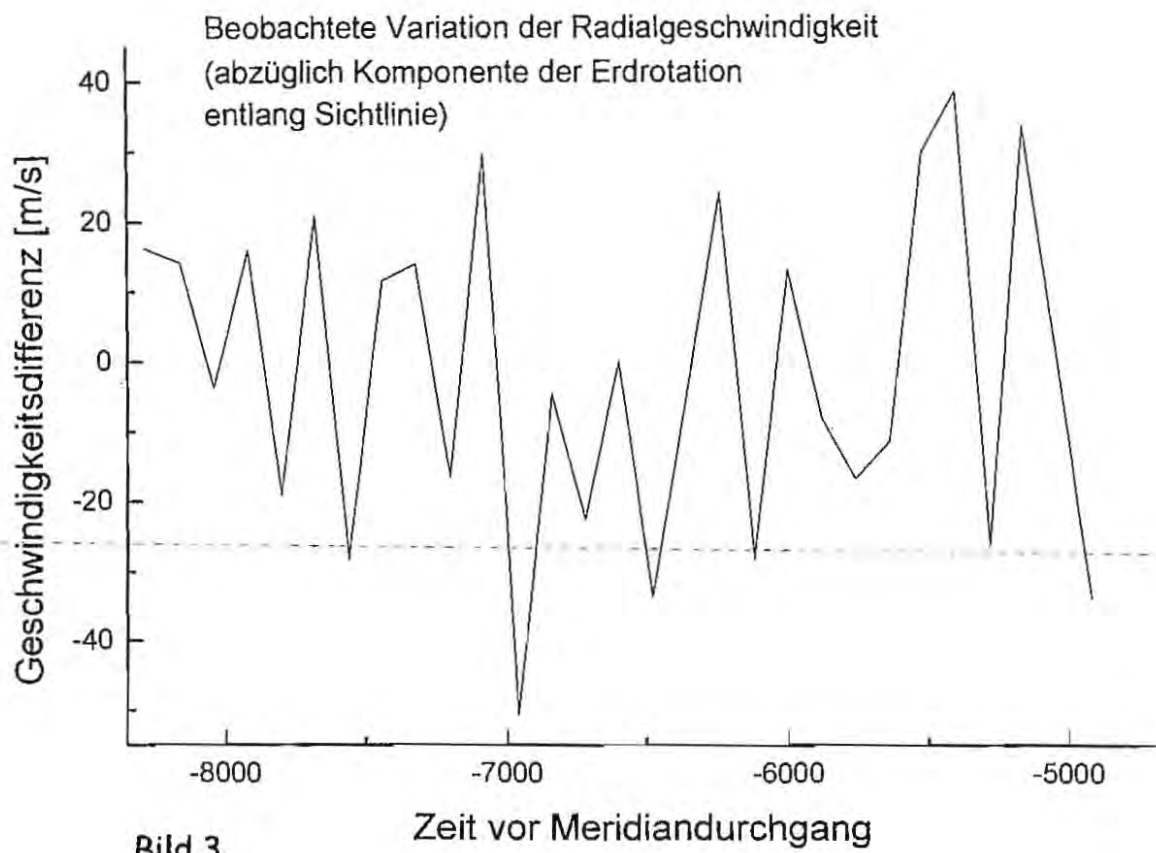


Bild 3

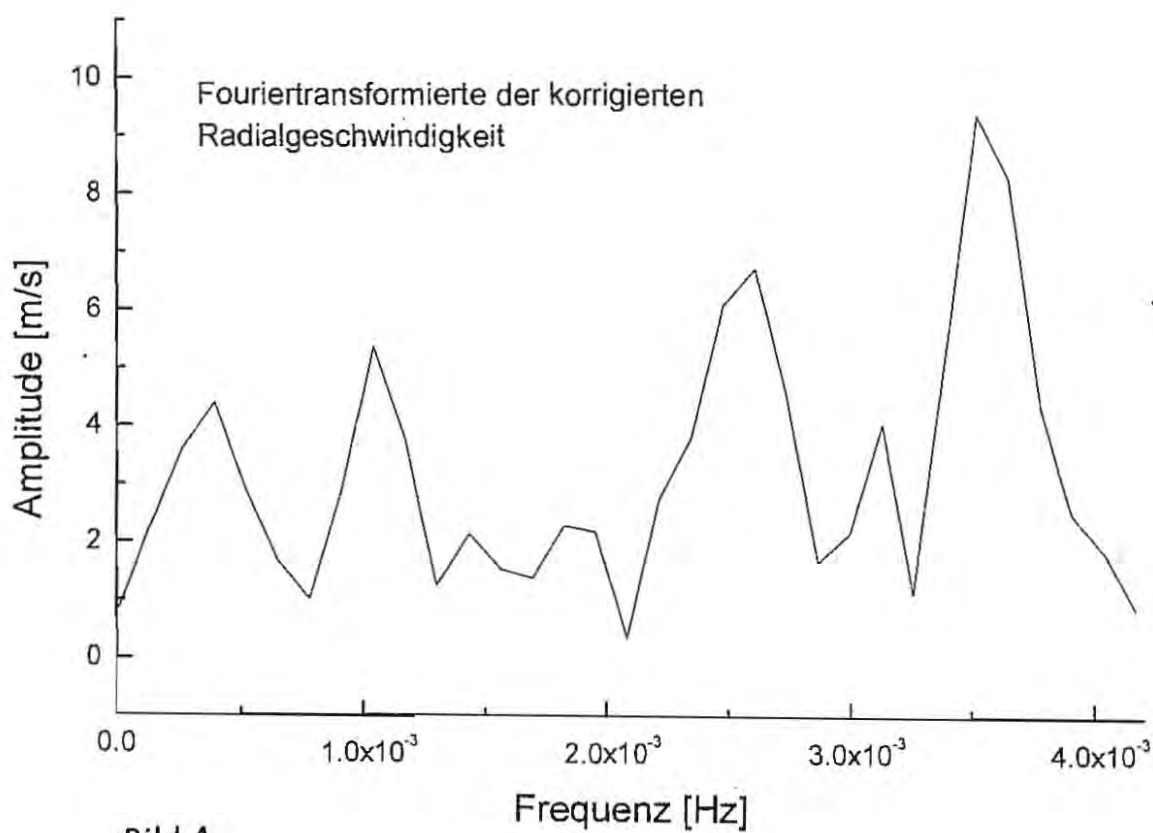


Bild 4

Beobachtung der Sonnenrotation Abb. 1-4:

Vergleich zweier Spektren vom östlichen und westlichen Sonnenrand am 3.5.99 Meßblende 1' Durchmesser. Die Fouriertransformierte der gemessenen Geschwindigkeitsschwankungen (nach Abzug der variablen Geschwindigkeit des Beobachters infolge der Erdrotation) zeigt ein Maximum von 10 m/s bei 3,3 mHz (4,6 Minuten).

6. Ausblick

Verbesserte Messungen des solaren Oszillationsspektrums sind geplant. Anstelle terrestrischer Linien soll eine Quecksilberdampfampe Verwendung finden, um ruhende Vergleichslinien gleichbleibender Stärke zu erzielen (Probleme: veränderliche Luftmasse, Winde).

Die Beobachtung sollte sich über einen längeren Zeitraum von einigen Stunden erstrecken, die Aufnahmen im Minutentakt aufgenommen werden (dadurch verbesserte Auflösung im Frequenzraum und höhere Nyquist-Frequenz).

Vortrag Spektroskopietagung Bonn 1999

Die instrumentelle Entwicklung der Astrospektroskopie (II)

(von Prof. Dr. E. Geyer, Brockscheid)

Wie erwähnt, hatte Fraunhofer mit seinem kleinen Objektivprismenspektrometer neben einigen hellen Fixsternen (Sirius, Capella) auch labormäßige Untersuchungen des elektrischen Funkens (er verband die Pole einer „Elektrisiermaschine“ mit einem dünnen Glasfaden und konnte so die Entladung längs des Fadens stabilisieren) und von einigen Flammen angestellt wobei er vor letztere Schirme mit schmalen Spalten stellte.

Der Hintergrund dieser Messungen war, Ob die „Brechbarkeit des Lichtes“, also eine eventuelle Verschiebung der Lage der Absorptionslinien im Vergleich zur Sonne (Chr. Doppler, 1803-1853, veröffentlichte den nach ihm benannten Effekt 1843), bei anderen Himmelskörpern anders ist. Wegen der Lichtstärke des kleinen Spektrometers waren die Linien in den wenigen hellen Sternspektren nicht meßbar. Aus diesem Grunde wiederholte er um 1817 diese Untersuchungen zusammen mit J. Soldner (1776-1833) der 1816 zum Direktor der im Bau befindlichen Sternwarte München Bogenhausen ernannt worden war. Dazu verfertigte er ein großes Objektivprisma (108mm Kantenlänge, $37^{\circ}40'$ brechendem Winkel), das vor dem Objektiv eines ebenso großen Refraktors angebracht wurde (Abb. 4)

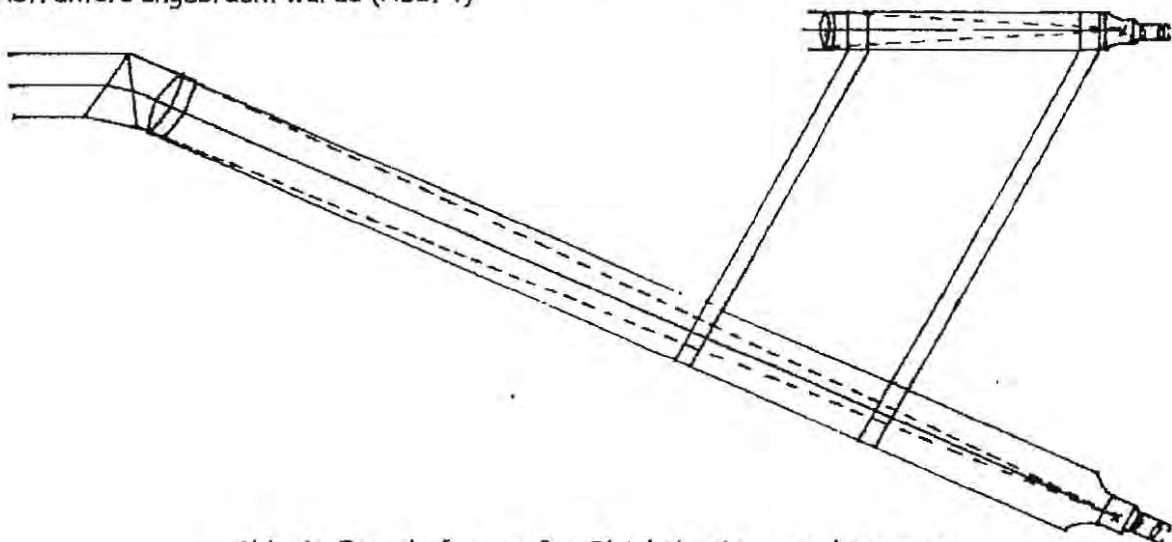


Abb. 4: Fraunhofers großes Objektivprismenspektrometer

Ein kleines Sucherfernrohr wurde unter dem ablenkenden Winkel des Prismas (26°) mit dem großen Rohr starr verbunden. Beide Fernrohre waren mit guten Fadenmikrometern versehen. Dieses Instrument, das eigentlich als „Radialgeschwindigkeits-Spektrometer“ zu bezeichnen ist, erfordert zwei Beobachter. Im Hauptrohr stellte der eine Beobachter die Mikrometerfäden auf bestimmte gut sichtbare Absorptionslinien eines bestimmten Vergleichsterns, während der andere im Sucherleitrohr das direkte Sternbild auf den Mikrometerfaden positionierte. Sodann wurde unter Festhaltung dieser Einstellungen das ganze Gerät auf einen zweiten Stern gerichtet und eine eventuelle Verschiebung der Spektrallinien mikrometrisch gemessen (relative Meßmethode).

Die zweite - absolute Meßmethode - bestand darin, das Doppelfernrohr nicht nachzuführen und die Zeitdifferenz zwischen dem Passieren einer bestimmten Spektrallinie am festen Mikrometerfaden und dem Durchgang des direkten Sternbildes am Mikrometerfaden des Suchleitrohrs zu bestimmen.

Fraunhofer und Soldner fanden keine Linienverschiebung, obwohl sie eine Meßgenauigkeit von 1:9360 zu haben glaubten. Dies ist auch nicht verwunderlich, da die Radialgeschwindigkeiten der 6 untersuchten Sterne (α CMa, RV -7,6 km/s; α Gem, RV +6 km/s, var; β Gem, RV +3,3 km/s; α Aur, RV +30,2 km/s, var; α Ori, RV +21 km/s, var; α Cmi, RV -3 km/s, var) nicht 30 km/s überschreiten! Durch die genaue Beschreibung der Spektren dieser Sterne kann Fraunhofer auch als Vater der Sternklassifikation bezeichnet werden.

Die Fraunhofer'sche Spektrometertischanordnung war richtungsweisend für die gesamte Laborspektroskopie und -spektrographie für nahezu 100 Jahre. Aus ihr haben sich auch die Astrospektrometer und Spektrographen entwickelt: Durch die Anbringung des Spaltes im Fokus eines „Kollimator-Fernrohres“ wurden die langen Lichtwege für kollimierten Strahlengang vermieden. Jedoch wußte darüber auch Fraunhofer sehr genau Bescheid, da er das Kollimationsprinzip ja auch zur Fadenkreuzbeleuchtung schon an seinem Theodolitenfernrohr verwandte. Warum er es nicht für seine Lichtbrechungsversuche anwandte liegt auf der Hand: Er vermutete, daß durch die Farbfehler der Kollimatoroptik die Bestimmung der Brechungsindizes verfälscht werden konnte.

In den ersten zwei Jahrzehnten des 19. Jhd. wurde durch das Dreigestirn Th. Young (1773-1829), J. Fraunhofer und A. Fresnel (1788-1827) der Wellennatur des Lichtes mit Hilfe ihrer Versuche zur Interferenz und Beugung und ihren anschließenden theoretischen Überlegungen zum Durchbruch verholfen. Ab 1819 wendet sich Fraunhofer der experimentellen Untersuchung der Lichtbeugung an ganz unterschiedlichen Aperturen und Anordnungen zu, erfindet die optischen Transmissions- und Reflexionsgitter sowie die Parallelstabgitter (unabhängig schon 1786 von Rittenhouse angegeben). Mit der von ihm erfundenen Teilungsmaschine stellt er mit Gravirnadel und mit Diamanten geritzte Plangitter bis zu ca. $3,3 \mu\text{m}$ Gitterkonstante (≈ 300 Linien/mm, Linienzahl bis zu 10000) und auch Kreisgitter her. Mit seiner bewährten Spektrometeranordnung untersucht er diese und findet die Gittergleichung:

$$a + \sin \alpha + \sin \beta = m \times \lambda$$

a = Gitterkonstante; α = Einfallswinkel des Strahlenbündels zur Gitternormalen; β = Beugungswinkel zur Gitternormalen; λ = Lichtwellenlänge; $m = 1, 2, \dots$, Ordnungszahl der Spektren.

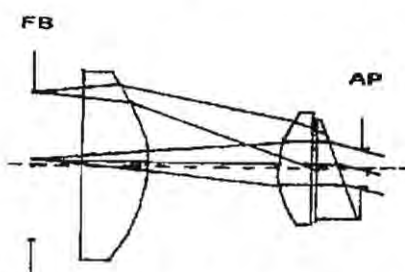
Damit bestimmt er die Wellenlänge einer Reihe von im Sonnenspektrum gefundenen Linien mit einer erstaunlichen Genauigkeit von etwa $\pm 0,1 \text{ nm}$. Außerdem macht er die Entdeckung der „Blaze“-Wirkung an den Gitterspektren, die er richtig auf die Furchenfom der mit Diamanten geteilten Gitter zurückführte und er stellte außerdem die vollständige Polarisierung der Gitterspektren

fest. Die „Blaze“-Wirkung wird erst wieder 60 Jahre später 1882 durch H. A. Rowland (1848-1901) entdeckt.

Durch den Bau von äußerst präzisen Teilungsmaschinen für die Gitterherstellung, vor allem von Konkavgittern und der geschickten Ausnutzung der „Blaze“-Wirkung, gelingt Rowland der Durchbruch für die Verwendung von optischen Gittern vor allem in der Laborspektroskopie. Aber erst nach der technischen Realisierung der Aufdampfmethode von Metallschichten auf Glasträgern, allen voran von Aluminium, ab etwa 1928 und die Herstellung von Materialien für Gitterkontakt-kopien, die sich ebenfalls aufdampfen lassen, erleben die Gitterspektrographen eine Renaissance aber erst nach dem zweiten Weltkrieg und verdrängen die bis dahin verwendeten Polymonochromatoren auf Prismenbasis. Hinzu kam die 1931 von B. Schmidt (1879-1935) erfundene, komafreie Spiegel-Linsen-Optik mit großem Feldwinkel, dem „Schmidt-Spiegel“, die wegen ihrer großen Lichtstärke (Öffnungszahlen bis 0,9) und geringen Farbabweichung und großen Aperturen die Spektrographenobjektive in den Hintergrund treten ließen. Eine weitere technische Entwicklung, die eng mit der Aufdampfmethode zusammenhängt, ist die „Vergütung“ der Linsenoptiken.

4. Die instrumentelle Entwicklung der Labor- und Astrospektrometer

Nach Fraunhofers frühem Tod 1826 trat eine Stagnation in der instrumentellen Entwicklung von Astrospektroskopen ein. Nur der Nachfolger von Soldner an der Münchener Sternwarte, J. Lamont (1805-1879), dem das große Objektivprismeninstrument zur Verfügung stand, unternahm noch einige spektrale Beobachtungen damit, vor allem an Doppelsternen. Da man, wie schon Fraunhofer bemerkte, nur bei ausgezeichneter Luftruhe (infolge der langen Brennweite des Instrumentes) Absorptionslinien in den Sternspektren sehen konnte, setzte er die Arbeiten nicht weiter fort. Auch stand ihm nach Fertigstellung des großen Fraunhofer'schen Refraktors für die Sternwarte ein lichtstärkeres Instrument zur Verfügung. Für dieses konstruierte er um 1835 ein einfaches Okularspektroskop, in dem in der Nähe der Austrittspupille des Okulars ein kleines Prisma setzte. (Abb. 5). Damit hat Lamont die Fokalreduktormethode vorweggenommen, die ich ab Mitte 1970 zur Feldspektroskopie einführte. Der Gewinn an Lichtstärke war für Lamont beträchtlich, da er von Sternen von bis zu 5 mag Linien in den Spektren beobachten konnte (auch bei mäßiger Luftruhe), wobei eine Verbreiterung durch eine Zylinderlinse sich erübrigte.



J. v. Lamonts Anordnung eines Prismas in der Austrittspupille des großen Refraktors der Bogenhausener-Münchener Sternwarte

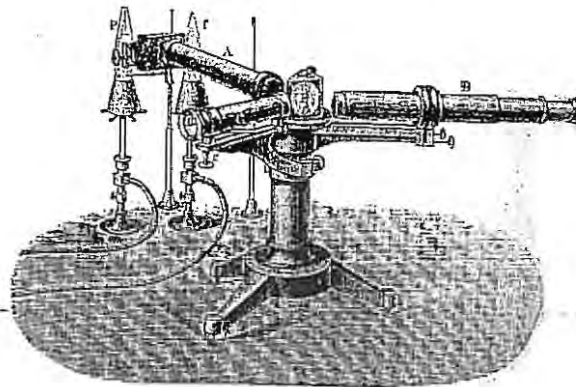
(Jahrbuch der königlichen Sternwarte bei München für 1838, Erster Jahrgang, S. 190-191)

FB = Feldblende; AP = Austrittspupille (= Eintrittspupille des Auges)

Abb. 5: Lamont's Okularspektroskop von 1835

Erst durch die fundamentale Entdeckung der Spektralanalyse und der Linienumkehr in den Laborspektren verschiedener chemischer Elemente durch R. W. Bunsen (1811-1899) und G. R.

Kirchhoff (1824-1887) um 1859/60 brachte eine entscheidende Wende für die Astrospektroskopie, da die Physik und Chemie der kosmischen Materie dem irdischen Beobachter zugänglich wurde.



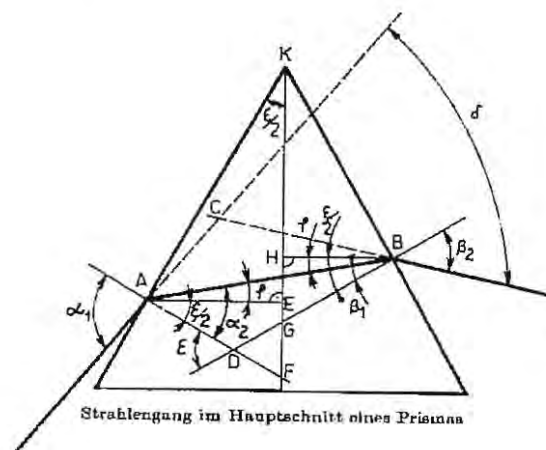
Bunsens & Kirchhoffs Laborspektrometer
(1862)

Abb. 6: Das Bunsen-Kirchhoff'sche Laborspektrometer von 1862

Bevor auf die daraufhin einsetzende rasche Entwicklung der Labor- und Astrospektrometer eingegangen wird, müssen die grundsätzlichen optischen und technischen Voraussetzungen für den Bau von Monochromatoren angesprochen werden.

5. Die opto-technische Grundlagen der Spektrometer/Spektrographen

Dazu gehen wir von den in allen Physikbüchern ausführlich beschriebenen Darstellungen an Hand des Strahlenverlaufs im Prisma aus:



Strahlengang im Hauptschnitt eines Prismas

Abb.6a: Prinzipieller Strahlengang im Prismenhauptschnitt

Die Beziehung für den ablenkenden Winkel δ : (ε = brechender Winkel) lautet:

$$\delta = \alpha_1 - \alpha_2 + (\beta_2 - \beta_1) = \alpha_1 + \beta_2 - \varepsilon ;$$

$$\alpha_2 = \varphi + \varepsilon/2; \beta_1 = -\varphi + \varepsilon/2$$

Das Brechungsgesetz liefert: $\alpha_1 = \arcsin(n \sin \alpha_2)$; $\beta_2 = \arcsin(n \sin \beta_1)$; Das Minimum der Ablenkung tritt auf für $\varphi = 0$; $\delta_{\min} = 2 \arcsin(n \sin \varepsilon/2)$; Die Winkeldispersion im Minimum der Ablenkung ist gegeben durch:

$$d\delta/dn = \Delta_w = 2 \sin(\varepsilon/2) \sec(\alpha_{\min}) dn/d\lambda;$$

wobei $f(\lambda) = dn(\lambda)/d\lambda$ die Dispersionsfunktion des Prismenmaterials ist.

Das beugungstheoretische Auflösungsvermögen R_0 (= Bedingung nach J. W. Rayleigh, 1842-1919) berechnet sich aus dem Bündelquerschnitt. Hat das Prisma quadratische Flächen mit einer Kantenlänge l , die vom Strahlenbündel voll ausgeleuchtet werden, so ist im Minimum der Ablenkung der Querschnitt q des homozentrischen Parallelstrahlenbündels für den einfallenden und den austretenden Strahl gleich: $q = l \cos \alpha_1$. Bezeichnet man noch die Kantenlänge der Prismenbasis mit $b \neq l$, so folgt:

$$\Delta_w = b \alpha^{-1} dn/d\lambda; R_0 = b dn/d\lambda = a \Delta_w$$

Dieses Auflösungsvermögen (oder spektrale Reinheit) beim Prisma (und ähnlich beim Gitter) wird aus folgendem Grund nie erreicht:

Durch die Abbildung des Spektrums mittels der Optik des Fernrohres bzw. der Kamera (Brennweite f_{opt} und Öffnungszahlen $N = f_{\text{opt}} / A$, ($A = \varnothing$ der EP) in die Fokalebene derselben, wird das aufgefächerte spektrale Bündel in ein lineares Spektrumsband auseinander gezogen, das eine reziproke lineare Dispersion $D_{\text{lin}} = 1 / (f_{\text{opt}} \times \Delta_w)$ besitzt. Dabei tritt eine Aufweitung des Bildes einer Punktquelle durch die Beugung an der Eintrittspupille, den optischen Restfehlern, der Luftunruhe (Seeing) usw. auf. Hinzu kommt noch das durch den Strahlungsdetektor bedingte Auflösungsvermögen.

Ist S der lineare, monochromatische Bilddurchmesser, so tritt eine Wellenlängenverschmierung $d\lambda = S \times D$ ein. Im Falle erdgebundener Beobachtung ist die Bildaufweitung durch den Seeingwinkel ψ bestimmt: $S = f_{\text{opt}} \times \psi = N \times A \times \psi$; wobei A der Durchmesser der Eintrittspupille ist.

Dies gilt für alle sog. spaltlosen Spektroskope und Spektrographen und zeigt, daß man Objekte mit merklicher Winkelausdehnung (flächenhafte Objekte wie Gasnebel oder Galaxien) nicht oder nur unter Verlust der spektralen Auflösung mit spaltlosen Spektroskopen beobachten kann. Weiterhin wird durch die Einbringung des Dispersors (Prisma oder Gitter) in einen konvergenten oder divergenten Strahlengang die spektrale Reinheit herabgesetzt. Dieser Fehler ist bis in unsere Zeit, z.B. durch Anbringung von Transmissionsgittern kurz vor dem Teleskopfokus, immer wieder begangen worden!

Durch Einführung eines Spaltes im Fernrohrfokus (Abb. 6b) und nachgeschaltetem Kollimator mit gleicher Öffnungszahl wie es das Fernrohr hat, werden Nachteile - mit mehr oder minder starken Lichtverlusten - überwunden. Das Teleskop und der Kollimator bilden zusammen somit ein afokales System, das optisch entkoppelt ist (oder sein sollte). Der Kollimator unterliegt dabei der Bedingung, den Dispersor voll auszuleuchten.

Gleichzeitig entwirft er ein reelles Bild der Eintrittspupille des Teleskopes, das hinter den bildseitigen Fokus des Kollimators liegt. Wegen der optischen Entkopplung kann das aus dem Dispersor austretende monochromatische Spaltbildbündel mit einem Objektiv beliebiger Öffnungszahl (also auch kleineren als jene des Fernrohres und Kollimators) auf einen Detektor scharf abgebildet werden (oder auch direkt mit dem Auge beobachtet werden).

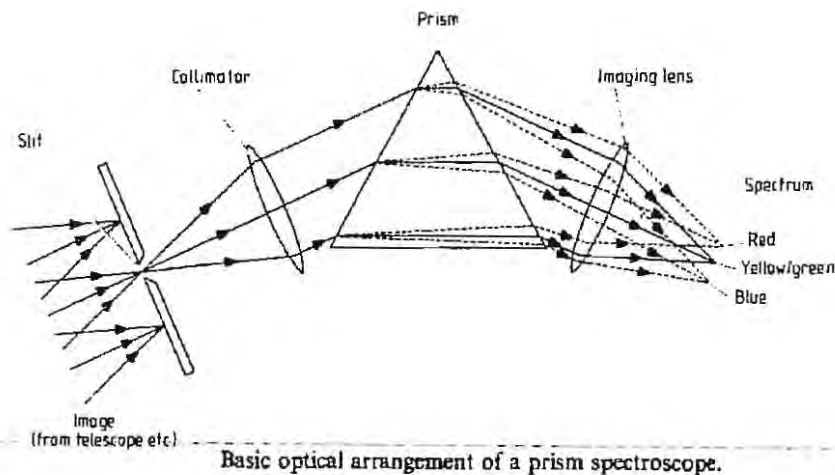


Abb. 6b: Schematische Darstellung des Spalt-Polymonochromators

Dabei ist entscheidend das Verhältnis m des Kollimators - zur Kamerabrennweite: $m = f_{\text{col}} / f_{\text{cam}}$. Je nachdem ob nun $m < 1$, oder $m > 1$, so tritt Verkleinerung bzw. Vergrößerung des Spaltbildes ein. Die Spaltbreite muß nun so dem Detektor angepaßt werden, daß diese dem Auflösungsvermögen entspricht (für CCD-Detektoren muß, dabei das Shannon-whitacker'sche-Sampling-Theorem erfüllt werden:

$$\text{Spaltbreite} = 2 \text{ Pixeldurchmesser}$$

Prismen zeigen starke Verzeichnung (Gitter in geringerem Maße), wenn das homozentrische Parallelstrahlbündel nicht im Hauptschnitt einfällt, wie in Abb. 6c schematisch dargestellt ist.

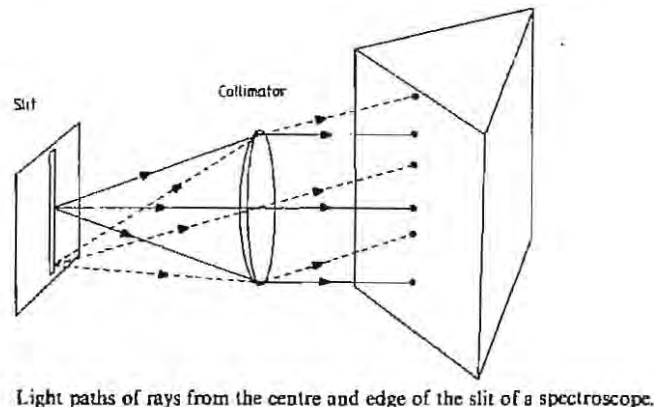


Abb. 6c: Schematische Darstellung des Verlaufs der Strahlenbündel außerhalb des Hauptschnittes

Dies führt bei Spaltspektrographen zur Krümmung der Spektrallinien deren konkave Seite stets zum kurzwelligen Bereich zeigt. Dies muß vor allem bei Radialgeschwindigkeitsmessungen berücksichtigt werden, da ja die Sternspektren zur Sichtbarmachung und Ausmessung der Linien senkrecht zur Dispersionsrichtung verbreitert werden müssen. Bei sehr langen Teleskopbrennweiten, wie sie bei sog. Coude-Spektrographen anzutreffen sind, ist das auf den Spalt projizierte Seeing-Sternscheibchen bereits so groß, daß es die Spaltbreite bei weitem übertrifft, wenn der Spektrograph der Detektorauflösung angepaßt ist. Dadurch treten enorme Lichtverluste an den Spaltbacken auf. Ein entsprechend angepaßter Coude-Spektrograph erfordert daher große Kollimator

matorbündel und entsprechend große Prismen bzw. Gitter. Da solche heutzutage eine Größe von 20 cm Kantenlänge überschreiten, bringt der Einsatz von erdgebundenen Teleskopen mit Aperturen, die etwa 2,5 m überschreiten, für hochauflösende Spektroskopie keinen Gewinn mehr. Die Prismenanordnung der unterschiedlichen Labor-Spektrometer sind in Abb. 7a,b,c dargestellt.

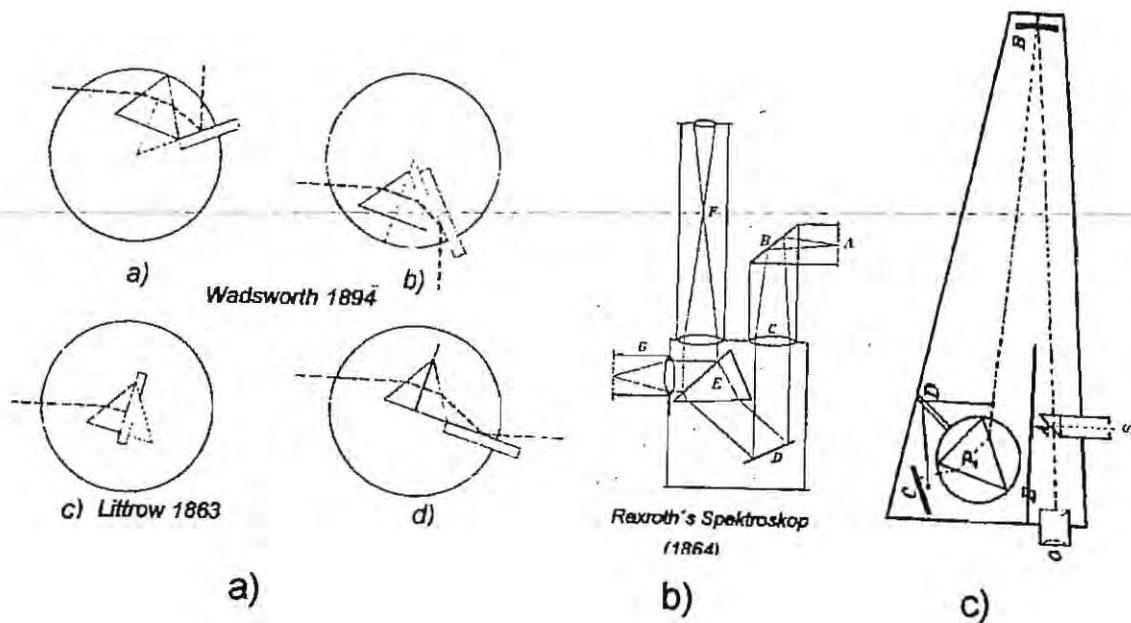


Abb.7: a) Spiegel-Prismenanordnungen
b) Rexroth-Spektrometer
c) Wadsworth's Spiegel-Prismen-Spektroskop

Bezüglich der heutzutage verwendeten Gitter und ihre Anordnungen in den Spektrometern sei auf die Abb. 8a,b der nächsten Seite verweisen.

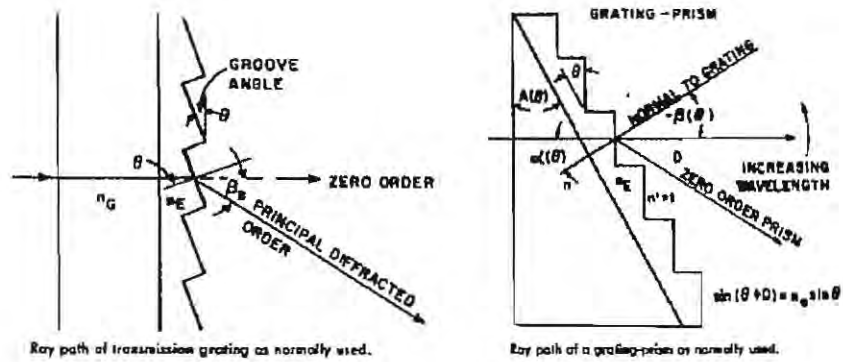
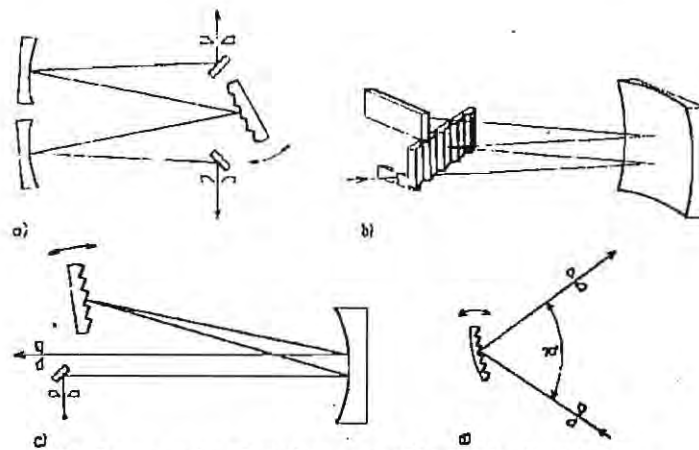


Abb. 8a: Schematische Darstellung der Blaze-Reflexions- und Transmissionsgitter



Häufig verwendete Grundtypen von Mono- oder Polychromatoren: a) CZERNY-TURNER-Anordnung; b) EBERT-Spektrograph; c) LITROW-Anordnung; d) SEYA-NAMIOKA-Monochromator mit Konkavgitter

Abb. 8b: Verwendete Gitteranordnungen in Monochromatoren

Der Beitrag wird in SPEKTRUM Nr. 20 fortgesetzt.

Spektroskopie - Tagung 2000 in Hamburg-Bergedorf

Hiermit möchte ich Sie zu der Jahrestagung der Fachgruppe SPEKTROSKOPIE nach Hamburg einladen. Sie findet statt vom 12.-14.5.2000 auf dem Gelände der ehrwürdigen Sternwarte Bergedorf. Zu der Tagung sind alle Mitglieder der VdS Fachgruppe Spektroskopie eingeladen. Natürlich freuen wir uns auch über jeden weiteren Gast, der sich für Spektroskopie interessiert. Während auf der Tagung 1999 der Themenschwerpunkt mehr auf der Auswertung und Interpretation von Spektren lag, werden die Themen in Hamburg eher ein gemischtes Spektrum abgeben. Hier eine vorläufige Übersicht:

1. Michael Winkhaus (Bochum): "Das Licht als einzige Informationsquelle über die Sterne". Didaktische Aufbereitung des Themas im Rahmen eines Oberstufenprojektes.
2. Dr. O. Josef Lieder (Hildesheim): "Die Schlüsselrolle der Spektroskopie im 20. Jahrhundert" Spektroskopische Wissensvermittlung unter didaktischen Aspekten.
3. Dr. Joachim Draeger (Teissendorf): Titel noch unklar. Thema ist die Beschreibung und der prakt. Einsatz seines Selbstbau-Spektrographen.
4. E. Pollmann: CCD-Spektroskopie verschiedener Objekte. Standortvorstellung und Ergebnisübersicht
5. G. Avila u. Kollegen (ESO, München): Preparing fibres to link telescopes to spectrograph
6. G. Gebhard (Neumarkt): Vorstellung der „Einführungsschrift“ (Fachgruppenprojekt)
7. Dr. K. P. Schroeder (TU Berlin): Spektroskopie v. ζ Aur-Systemen: Riesenchromosphären im Durchlicht
8. Fachvortrag eines Astronomen der Hamburger Sternwarte zum Thema: (noch nicht festgelegt)
9. K. H. Winkler (Neumarkt): Interessante Variante eines Selbstbauspektrographen
10. B. Hanisch (Frankfurt/Oder): Das Flashspektrum während der SoFi 1999
11. Michael Winkhaus (Bochum): Zur Physik der Be-Sterne und ihrer Äquatorscheiben; Spektroskopische Beobachtungsmöglichkeiten für Amateure

Kommen Sie zur Tagung 2000 und lassen Sie uns an Ihren Erfahrungen teilhaben. Sie haben vielfältige Möglichkeiten Ihre Ergebnisse, Versuche, Beobachtungen, Überlegungen und Erfahrungen zu präsentieren. Neben den Hauptvorträgen wird es Kurzreferate und eine Postersession geben. Sie müssen keine großartige Präsentation vorbereiten. Kleben Sie Ihre Fotos, Bilder, Texte oder Zeichnungen auf eine Pappe und bringen Sie diese mit. Die Jahrestagung ist dafür der richtige Rahmen. In Gesprächen ergeben sich für Sie neue Anregungen und Sie helfen anderen weiter. Wenn Sie ein Kurzreferat oder einen ausführlichen Vortrag halten möchten, stehen Ihnen ein Overhead- und Diaprojektor zur Verfügung. Mit großer Wahrscheinlichkeit wird auch ein Videoprojektor vorhanden sein.

Unserer Tagung wird das Gelände mit den alten Gebäuden, Kuppeln und Instrumenten einen wunderbaren Rahmen geben. Selbstverständlich wird es während der Tagung eine ausführliche Führung über das Gelände und durch alle Kuppeln geben. Bei gutem Wetter werden auch Beobachtungen möglich sein.

Wir treffen uns bereits am Freitagabend (12.5.99) in einer Gaststätte der näheren Umgebung und würden uns freuen, auch Sie in Hamburg zu begrüßen. Melden Sie sich mit beiliegendem Anmeldeformular bei mir an. Ich werde Ihnen ein Hotel-/Unterkunftsverzeichnis sowie den vorläufigen Tagungsplan überstellen.

Oder melden Sie sich on-line an: <http://www.gerd.neumann.net/spektag/anmeldg.htm>. Der Tagungsbeitrag wird wie üblich 10,- DM betragen.

Ernst Pollmann.

Die neue Vereinszeitschrift der VdS

(von Ernst Pollmann, Leverkusen)

Es wird vermutlich niemandem entgangen sein, die VdS hat nun auch ihre eigene Zeitschrift. Der Weg dorthin war von Ansprüchen seitens der Befürworter wie auch von Hindernissen technischer und menschlicher Art gekennzeichnet. Auf der VdS-Mitgliederversammlung Oktober 1999 in Duisburg konnte die Erstausgabe der Mitgliedergemeinde vorgestellt werden.

Wenngleich gewisse Mängel im Layout Erfordernisse der Überarbeitung künftiger Ausgaben erkennen ließen, haben die Mitglieder der VdS sich zum weiteren Erscheinen der Zeitschrift mit breiter Mehrheit ausgesprochen. Es steht somit der mehr als 3500 Mitglieder zählenden VdS-Gemeinde (vorerst im halbjährlichen Erscheinungszyklus) ein Publikationsforum zur Seite; in dem nun endlich dem amateurastronomischen Geschehen in Form und Umfang gebührend Rechnung getragen werden kann.

Am inhaltlichen Erscheinungsbild werden zielsetzungsgemäß die Fachgruppen der VdS - somit auch die FG SPEKTROSKOPIE - einen wesentlichen Anteil ausmachen. Entsprechend getroffener Vereinbarungen sind den FG gewisse Seitenzahlen für deren individuell inhaltliche Ausstattung bereitgestellt. Allen Mitgliedern der FG SPEKTROSKOPIE steht von nun an die Möglichkeit offen, neben unserem eigenen Mitteilungsblatt SPEKTRUM, auf max. 5 Seiten die neue VdS-Zeitschrift als Publikationsforum zu nutzen.

Die inhaltliche und redaktionelle Betreuung im Sinne eines Fachgruppenredakteurs obliegt für unsere FG (bisher aus Mangel an Interesse anderer Mitglieder in unserem Kreis) der Leitung der FG SPEKTROSKOPIE. Sollte sich künftig jemand anderes für diese Aufgabe erwärmen wollen, so wäre das wunderbar und jederzeit willkommen. Mit anderen Worten: Potentielle Autoren senden bitte zunächst ihre Arbeiten zur Leitung der FG SPEKTROSKOPIE, die von dort an das VdS-Redaktionsteam weitergeleitet wird.

In diesem Sinne wünscht sich die VdS-Redaktion eine möglichst rege Publikationstätigkeit besonders in den Reihen der Fachgruppen. So auch bei uns.