Dieter Goretzki

Spektroskopie mit Prisma und Foto-CD

Artikel erschienen im
Journal für Astronomie Nr. 6,
Vereinszeitschrift der Vereinigung der Sternfreunde e.V. (VdS).

Bereitgestellt durch die VdS-Fachgruppe Spektroskopie.

Referenz:
D. Goretzki, VdS-Journal Nr. 6 (2001) 83ff

Diese Datei ist nur für Ihren persönlichen Bedarf bestimmt. Änderungen sowie die Vervielfältigung auf einem anderen physischen oder virtuellen Datenträger sind untersagt!

Beobachtungshinweise: Trojaner des Jupiters

von Jens Kandler

Die Trojaner des Planeten Jupiter befinden sich in der gleichen Umlaufbahn wie der Gasriese. Diese Kleinplaneten haben also die gleiche Entfernung zur Sonne bzw. die gleiche Umlaufzeit wie Jupiter. Man unterscheidet zwei Gruppen von Trojanern, welche sich in den Lagrangepunkten L4 und L5 befinden. Von der Sonne aus gesehen eilen die Mitglieder der Achillesgruppe (L4) dem Jupiter in einem Winkelabstand von 60 Grad voraus. Die Kleinplaneten der Patroclusgruppe (L5) folgen dem Jupiter im gleichen Winkelabstand.
In den Jahren 1906 bis 1937 entdeckten die Astronomen Reimuth, Wolf und Kopff an der Sternwarte Heidelberg die ersten 12 Trojaner. Ab 1950 wurden auch andere Sternwarten fündig. In den Jahren 1960 bis 1977 suchte man am Mt. Palomar – Observatorium gezielt nach Trojanern. Ab 1996 fand man durch den Einsatz von automatischen Teleskopen sehr viele Trojaner. Inzwischen sind 853 Trojaner des Planeten Jupiter bekannt.
In der Tabelle 1 sind Trojaner des Jupiter aufgeführt, die im Herbst 2001 heller als 15,6 Größenklassen werden. Aktuelle Bahnelemente und Ephemeriden dieser Kleinplaneten finden Sie im Internet unter: http://cfa-www.harvard.edu/iau/MPEph/MPEph.html.
Ihre Beobachtungsberichte und Aufnahmen können Sie an die Redaktion schicken.

Asteroid	JJJJ MM DD	Entfernung zur Erde in AE	Vmax in mag
(4348) Poulydamas	2001 10 20	3,748	15,6
(617) Patroclus	2001 10 30	3,682	14,5
(3451) Mentor	2001 10 30	4,139	15,1
(1172) Aneas	2001 11 09	4,367	15,4

Tabelle 1:
Helle Trojaner des Jupiters.

Spektroskopie mit Prisma und Foto-CD

von Dieter Goretzki

Für den Einsteiger in die Spektroskopie stellt sich nach den ersten erfolgreichen Versuchen der fotografischen Aufnahme von Sternspektren recht bald die Frage, wie sich aus den vorhandenen Spektren physikalisch-chemische Aussagen über das Objekt ableiten lassen können. Als erster Schritt ist die qualitative Analyse der beobachtbaren Elemente in Form der auftretenden Absorptionslinien möglich. Neben der Inspektion der Spektren mit bloßem Auge und der Zuordnung ausgeprägter Linien mittels Vergleichsspektren wird alsbald die Identifikation schwacher Linien von Interesse sein. Dieser Artikel beschreibt meine ersten Erfahrungen mit der fotografischen Erfassung von Spektren heller Sterne und deren qualitativer Auswertung. Dabei wurden die Fotos auf eine KODAK-Foto-CD übertragen, so dass eine digitale Verarbeitung möglich wurde. Dieses Verfahren stellt in einfacher Art und Weise die Möglichkeit einer Auswertung von Spektren ohne die Benutzung eines Fotometers oder einer CCD-Kamera zur Verfügung, was gerade auch für den Anfänger von Interesse ist. Die digitale Auswertung erfolgte an einem handelsüblichen Computer unter MS-Windows mittels Bildverarbeitungs- (hier PaintShopPro) und Tabellenkalkulationsprogrammen (hier MS-EXCEL), die allgemein verfügbar sind.

Abb. 1:
Aufbau meines Objektivprismenspektrographen. Ein Prisma befindet sich vor dem Objektiv der Fotokamera. Das Teleskop dient der kontrollierten Verbreiterung der Spektren.

Aufnahme der Spektren

Als Aufnahmeinstrument habe ich einen Objektivprismenspektrographen verwendet. Er besteht aus einem herkömmlichen Fotoapparat mit einem 300-mm-APO-Objektiv (f/d = 5,6 und 2x-Konverter). Vor dem Objektiv befindet sich ein Prisma aus F2-Glas mit 60 mm Basislänge und 30° brechendem Winkel [1]. Als Leitrohr und Podest verwende ich ein 4"-SCT von Meade. Die komplett montierte Anordnung ist in Abb. 1 zu sehen.
Die Spektren wurden mit der sog. Pendelmethode aufgenommen. Zunächst wird der „Spektralfaden", d.h. das dispergiert abgebildete Licht des

Sterns, senkrecht zur scheinbaren Bewegungsrichtung des Sternes justiert. Dann belichtet man bei ausgeschalteter Nachführung den Film. Die Bewegung des Sternes führt nun zu einer Verbreiterung des Spektrums senkrecht zum Spektralfaden, was zu einem ansehnlichen Spektrum führt. Diesen Vorgang kann man nun (beliebig) oft wiederholen und damit die gleichen Stellen des Filmmaterials mehrmals belichten, indem man den Stern immer wieder kontrolliert „zurückholt". Diesen Vorgang habe ich mittels eines Messokulares gut steuern können.
Abb. 2a zeigt eine Aufnahme von Wega (α Lyr, A_0 V) auf TP 2415, die mit der Pendelmethode aufgenommen wurde. Hier sind deutlich die dominanten Linien der Balmer-Serie des Wasserstoffs erkenntlich. Generell sind frühe Sterne (Spektralklassen B, A, F) sehr gut für den Einstieg in die Spektralanalyse geeignet, da sie deutlich zuordenbare Absorptionslinien enthalten.
In Abb. 2b ist das Spektrum von Rigel (β Ori, B8 I) abgebildet, das auf NEOPAN 400 mit 4 Durchläufen abgebildet und dann auf Foto-CD übertragen wurde. Die Größe des Spektrums auf dem Film betrug ca. 1 x 14 mm². Man erkennt deutlich die Überbelichtung auf der langwelligen Seite und die Unterbelichtung auf der kurzwelligen Seite des Spektrums. Im mittleren Bereich sind die Absorptionslinien der Balmerserie aber gut zu erkennen. Weitere Linien lassen sich zumindest erahnen. An dieser Aufnahme wird nun exemplarisch eine Auswertung vorgenommen.

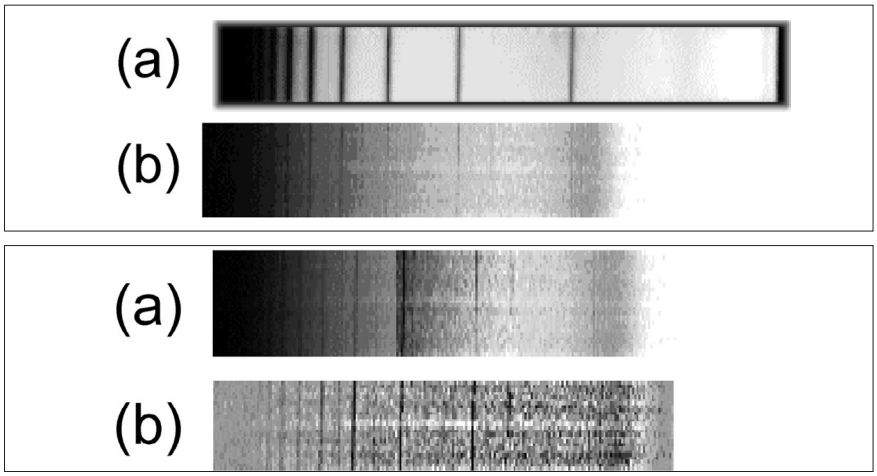

Abb. 2 (oben):
Rohaufnahmen der (a) Wega (Typ: Ao V, Filmmaterial: TP2415) und des (b) Rigel (B8 I, Neopan 400). Das rote (langwellige) Ende der Spektren ist rechts. Bei Wega dominiert die ausgeprägte Absorption des Wasserstoffs (Balmer-Serie).

Abb. 3 (unten):
Spektrum des Rigel. (a) Kontrastvariation. Schwächere Linien im mittleren Bereich werden deutlicher. (b) Hochpassfilterung.

Bildverarbeitung

Unabhängig vom digitalen Format liegt ein Bild als n x m - Matrix vor. Die einzelnen Elemente der Matrix (die Bildpunkte oder Pixel) bei der Foto-CD enthalten die Grauwerte von 0 bis 255 (8-Bit Dynamikumfang). Dabei wird das Bild von 24 x 36 mm² in 2048 x 3072 quadratische Pixel aufgelöst, so dass ein Pixel etwa 12 x 12 µm² groß ist. Mit einer herkömmlichen Bildbearbeitung werden nun diese Grauwerte verändert oder die ganze Matrix verschoben bzw. gedreht. Die dabei erreichbaren Effekte können das Aussehen zwar verbessern, sind aber für analytische Zwecke nur bedingt einsetzbar und liefern manchmal auch Artefakte. Abb. 3a zeigt ein im mittleren Spektralbereich durch Kontrastvariation angepasstes Bild von Rigel. Dadurch konnten schwächere Linien subjektiv besser sichtbar gemacht werden. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass nur das besser sichtbar gemacht wird, was schon auf der ursprünglichen Aufnahme vorhanden war. Aus dem überbelichteten Teil der Aufnahme kann auch das beste Programm keine Informationen gewinnen. Gleichzeitig erkennt man, dass der Hintergrund viel deutlicher wird (Körnung) – das Signal-zu-Rausch-Verhältnis (S/N) hat sich nicht verbessert. Eine Kontraststeigerung entspricht nur einer Verstärkung von Information und Rauschen gleichermaßen. Nun könnte man zunächst das Bild glätten und dann erst verstärken. Aber auch diese Vorgehensweise führt nicht weiter, da durch das Glätten die schwachen Linien weggemittelt werden.
Interessante Möglichkeiten bieten Hoch- bzw. Tiefpassfilter. Abb. 3b zeigt ein derart hochpassgefiltertes Spektrum. Außerdem kann man die Bilder künstlich vergrößern, z. B. durch Pixelvervielfältigung. Allerdings ist man aufgrund beschränkter Tabellengrößen begrenzt, wenn man eine weitere Auswertung z. B. mit MS-EXCEL anstrebt. Manchmal ist es zusätzlich erforderlich, das Bild zu drehen, um die Absorptionslinien „senkrecht zu stellen".
Das nun vorbereitete Spektrum kann man „ausschneiden" und in eine Tabellenform überführen, mit der man weitere Verarbeitungschritte durchführt. So ist z. B. eine Mittelung der Pixelspalten dann einfach im Tabellenkalkulationsprogramm möglich, was zu einem besseren S/N-Verhältnis führt.

Konvertierung und Normierung

Zunächst muss das bearbeitet Spektrum in eine Form gebracht werden, dass es von MS-EXCEL eingelesen werden kann. Dazu wird es aus dem Bildbearbeitungsprogramm im RAW-Format abgespeichert und die hexadezimalen Helligkeitswerte ($00-$FF) unter Beachtung von Zeilen und Spalten in ganze Zahlen (0...255) umgewandelt. Dies wird durch ein kleines PASCAL-Programm verwirklicht [2]. Diese Software gebe ich gern an Interessierte weiter.
Nachdem das so konvertierte Bild in MS-EXCEL eingelesen ist, kann daraus ein „Linien-Scan" errechnet werden, indem die Helligkeitswerte jeder einzelnen Spalte gemittelt werden. Die anschließende Auswertung erfolgt mit dem Programm MK/MK32 [3] für MS-DOS. Diese Software stellt alle speziell für die Stellarspektroskopie notwendigen Auswerteschritte bereit. Da die Bestimmung der Linien-Schwerpunkte mit MK/MK32 erfolgen soll, sei noch anzumerken, dass eine zusätzliche Spalte mit der Tabellenkalkulation zu erzeugen ist, in der das Spektrum invers dargestellt wird, da MK/MK32 nur in dieser Form korrekte Werte liefert. In

Abb. 4 und 5 sind die Ergebnisse zweier unterschiedlich bearbeiteter Spektren von Rigel dargestellt. Deutlich ist zu erkennen, dass die Filterung durch den Hochpass nur das Rauschen verstärkt hat, ohne zusätzliche Informationen zu liefern. Beide Spektren wurden mit Hilfe von MK/MK32 normiert [4], d.h. der kontinuierliche Anteil des Spektrums wird auf einen konstanten Wert gebracht.

Wellenlängenkalibration

Der nächste Schritt ist die Kalibrierung der Messkurve mit der Wellenlänge λ, es muss also die Funktion λ = f(Pixelnummer) bestimmt werden. Da bei meiner Anordnung die Verwendung einer Vergleichslichtquelle unmöglich ist, muss am Spektrum selbst kalibriert werden. Am besten eignen sich dazu die Balmer-Linien des Wasserstoffs. Dazu habe ich alternativ zwei Methoden benutzt, ein Ausgleichspolynom und die Formel nach Hartmann [5]. Für beide Verfahren ist es notwendig, die Linienschwerpunkte zu bestimmen. Dies geschieht entweder durch „scharfes Hinsehen“ in der EXCEL-Tabelle oder durch MK/MK32.

Ausgleichspolynom

Bei dieser Methode werden die Pixelwerte der entsprechenden Linienschwerpunkte und die entsprechenden Wellenlängen durch ein Polynom n-ten Grades nach Gauß approximiert. Der Grad des Polynoms sollte allerdings nicht höher als 3 bis 4 gewählt werden, da sonst der gewünschte ausgleichende

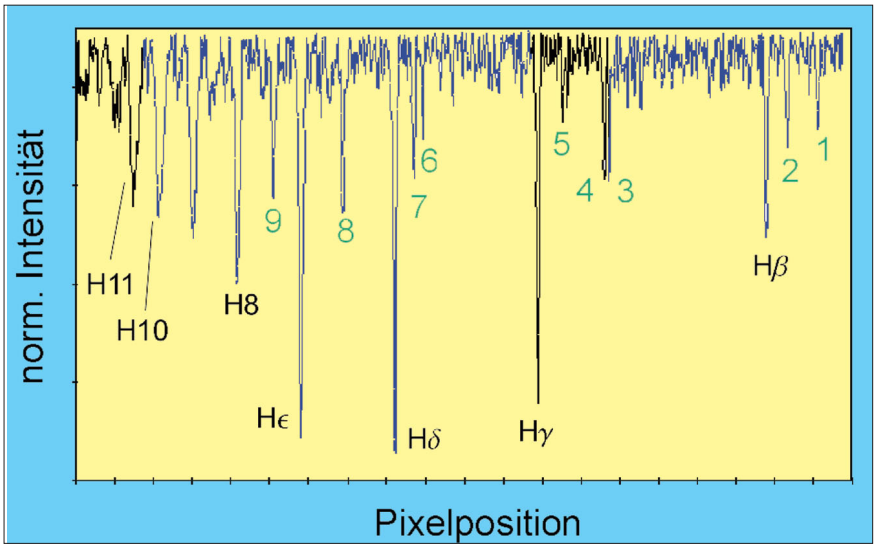

Abb. 4:
Linienscan (Rigel) mit Mittelung über mehrere Spektrumspalten. Anschließende Normierung. Details im Text.

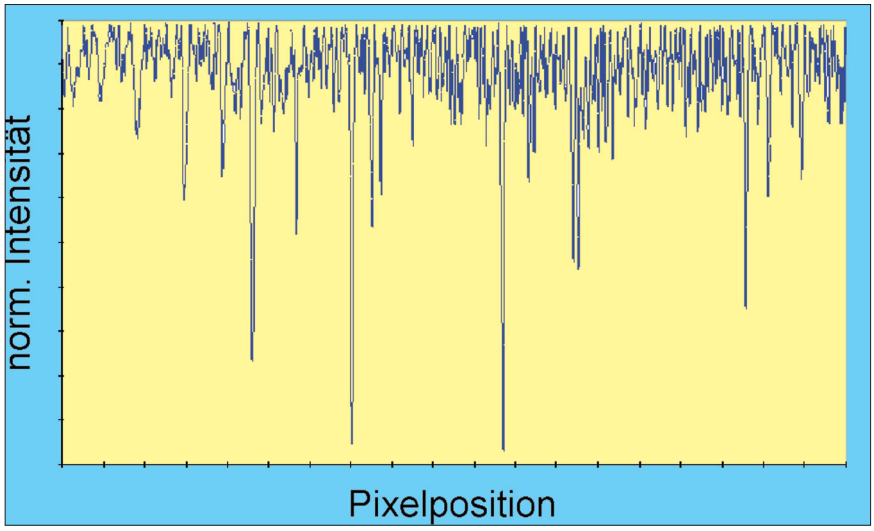

Abb. 5:
Linienscan eines hochpassgefilterten Spektrums. Manche Linien treten deutlicher hervor, andere (z.B. H11) sind unterdrückt.

Teleskop Service

Wolfgang Ransburg, Rübezahlstraße 66, D-81739 München
Tel. 089-66011090 Fax 089-66011092 URL www.teleskop-service.de

Vixen, Celestron, BAADER, Synta-Produkte, Discovery, Intes, Antares, Dörr, GSO, Bücher, Spezialanfertigungen, Einzelteile für den Dobson-Selbstbau;

Wir bieten Ihnen eine ständige Ausstellung von über 40 verschiedenen Fernrohren, sowie einen umfangreichen Gebrauchtmarkt. - Umfangreiches Infopaket gegen DM 10,-- -

Montierung Sky View / Mizar
Solide gute Montierung aus Taiwan.
Sie trägt Newtons bis 6“Öffnung –
inkl. Alu Stativ.....**DM 498,-**
RA Motor mit Steuerung.....**DM 229,-**
Polsucher .....**DM 98,-**

Neue Dobsons aus Taiwan auf Einarmgabel **mit Rohrschellen**. Das Gerät kann problemlos auf eine deutsche Montierung gepackt werden. Okularauszüge sind aus Metall!
6“ f/5 mit 1,25“ Auszug .... DM 575,-
8“ f/4 mit 2“ Auszug ..... DM 974,-

Maximales Gesichtsfeld für Ihre Geräte durch 2“ Erfle Okulare!
Gute Randschärfe durch 6 Linsen
Streulichtschutz durch Augenmuschel
ER 32mm .... 70° Feld ..... DM 389,-
ER 42mm .... 62° Feld ..... DM 389,-
ER 52mm .... 52° Feld ..... DM 389,-

Sehr gute multivergütete Plössl Okulare aus Taiwan (Skywatcher)
6,3mm 10mm 12,5mm 20mm 25mm
Jedes Okular nur DM 88,-
Super Plössl mit Gummiaugenmuschel von **6,3mm bis 40mm nur DM 128,-**

Weitere Produkte im Sortiment: Newton 200mm f/5 inkl. massiver Montierung – DM 1498,- / Refraktor 150/750mm Rich Field! inkl. Montierung DM 2149,- / Refraktor 120/600mm inkl. Montierung 1498,- / Refraktor 70/700mm (das optimale Leitfernrohr) mit 1,25“ Auszug inkl. Fixierung 242,- / Stabile Montierung für Newtons bis 8“ Öffnung inkl. Stativ DM 698,-

Effekt von Messfehlern verloren geht. Die Berechnung selbst kann in EXCEL durchgeführt werden. Ein Nachteil dieser Methode ist, dass die Abweichungen außerhalb der terminalen Stützstellen schnell sehr groß werden.

Formel nach Hartmann

Diese rein empirische Formel für ein Prismenspektralapparat enthält drei zunächst unbekannte Konstanten, die aus drei bekannten Positionen von Absorptionslinien zu berechnen sind:

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{\kappa}{(\varphi - \varphi_0)^a}$$

λ_0, κ, φ_0 sind die zunächst unbekannte Konstanten. λ ist die Wellenlänge und φ die Pixelnummer. Der Exponent α kann in erster Näherung eins gesetzt werden. Es werden also drei Gleichungen mit drei Unbekannten aufgestellt, die elementar gelöst werden können.

Bei der Auswertung benutze ich ein iteratives Verfahren (Solver in MS-EXCEL). Zunächst werden elementar aus drei bekannten Wellenlängen die drei Konstanten überschlägig ermittelt. Dann wird mit Hilfe des Solvers eine Approximation über alle „bekannten" Wellenlängen durchgeführt.

Beide Verfahren werden nun am Beispiel des Rigel demonstriert. Zunächst wird mit den bekannten Balmer-Linien die unbekannte Funktion λ = f(Pixel) ermittelt und dann die mit den Nummern 1...9 in Abb. 4 bezeichneten Absorptionslinien zugeordnet. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse, die mit Hilfe eines Ausgleichspolynoms 3. Grades und der Formel nach Hartmann erhalten wurden. Die rückgerechneten Abweichungen mit der optimierten Formel nach Hartmann sind geringer als die Ergebnisse mit dem Polynom. Danach ist eine Zuordnung der unbekannten Absorptionslinien mit einer Unsicherheit von etwa ±0,2 Å zu erwarten. Das mit einem so einfachen Equipment eine derartige Präzision erreichbar ist, wird umso erstaunlicher, da die Auflösung des ursprünglichen Bildes bei nur etwa 2 Å/Pixel liegt. Der „Trick" besteht in der Schwerpunktsbestimmung der Linien im Subpixelbereich durch MK/MK32. Die Zuordnung der Linien 1...9 in Abb. 4 zeigt Tabelle 2. Wie man sieht, überschreiten die Abweichungen innerhalb der terminalen Stützstellen nicht den Wert von 0,4 Å, was ungefähr den Erwartungen entspricht. Je weiter man sich aber davon entfernt (Linien 1 und 2 in Tab. 2), um so größer werden die Abweichungen. Die Zuordnung der einzelnen Linien erhält man über den Vergleich mit Spektren aus der Literatur [6] oder mit Hilfe der einschlägigen NASA-Kataloge [7].

Linie	Pixel	λ (Å) Literatur	Ausgleichspolynom		Formel nach Hartmann	
			λ (Å) berechnet	Differenz Δλ (Å)	λ (Å) berechnet	Differenz Δλ (Å)
Hβ	1778,134	4861,33	4860,75	0,58	4861,37	0,04
Hγ	1189,034	4340,47	4340,45	0,02	4340,28	0,19
Hδ	821,994	4101,74	4100,93	0,81	4101,88	0,14
Hε	580,989	3970,07	3969,82	0,25	3970,13	0,06
H8	416,024	3889,05	3889,34	0,29	3889,09	0,04
H10	213,014	3797,90	3798,24	0,34	3798,08	0,18
H11	147,056	3770,63	3770,12	0,51	3770,37	0,26
Mittlere Abweichung				**0,4**		**0,2**

Tabelle 1:
Vergleich der Ausgleichsrechnungen mit einem Polynom 3. Grades und der Formel nach Hartmann anhand der Referenzlinien. Die Subpixelangaben ergeben sich aus der Schwerpunktsbestimmung in MK/MK32.

Linie	Pixel	λ (Å) Berechnet	Linien	Literatur λ (Å)	Abweichung Δλ (Å)
1	1911,977	5013,9	HeI	5015,7	1,8
2	1832,207	4921,1	HeI	4921,9	0,8
3	1372,960	4481,4	MgII	4481,1	0,3
4	1360,766	4471,5	HeI	4471,7	0,2
5	1253,065	4387,5	HeI	4387,9	0,4
6	892,805	4144,0	HeI	4143,8	0,2
7	871,701	4131,3	SiII	4130,9	0,4
8	687,199	4026,4	HeI	4026,3	0,1
9	508,959	3933,9	CaII (K)	3933,7	0,2

Tabelle 2:
Bestimmung der „unbekannten" Linien und Vergleich zu den Literaturangaben.

Zusammenfassung und Ausblick

Der Autor hofft, mit diesem Beitrag zu zeigen, dass eine Spektralanalyse von hellen Sternen auch mit einfachen Amateurmitteln möglich ist und zu interessanten Ergebnissen führt. Eine konkrete Auswertung wurde aufgezeigt und diskutiert, die es erlaubt, auch schwache Absorptionslinien zu identifizieren. Die Behandlung am Computer erlaubt eine hohe Genauigkeit bei der Bestimmung der Linien. Die so kalibrierten Daten können nun einer weiteren Bearbeitung unterzogen werden, z.B. einer Äquivalentbreitenbestimmung.

Literaturhinweise

[1] Bezugsquelle: LINOS Photonics GmbH, Göttingen, www.linos-photonics.de

[2] D. Goretzki, Rundbrief der FG Spektroskopie 17, 13 (1999)

[3] Software von Richard O. Gray, Appalachian State University, ftp://am.appstate.edu/pub/prog/grayro; Daten müssen als ASCII-Liste mit Zahlenangaben der Gestalt x.xEx vorliegen.

[4] J.-M. Will, Rundbrief der FG Spektroskopie 17, 22 (1999); Einführungsschrift der FG Spektroskopie, 2000

[5] D. Goretzki, Rundbrief der FG Spektroskopie 19, 5 (1999), dort weitere Literatur

[6] James B. Kaler, Sterne und ihre Spektren, Spektrum, Akad. Verlag, Heidelberg, 1994

[7] ftp://adc.gsfc.nasa.gov/pub/adc/archives/catalogs/