

ANLEITUNG



Blaze-Gitter-Spektroskop/Spektrograph

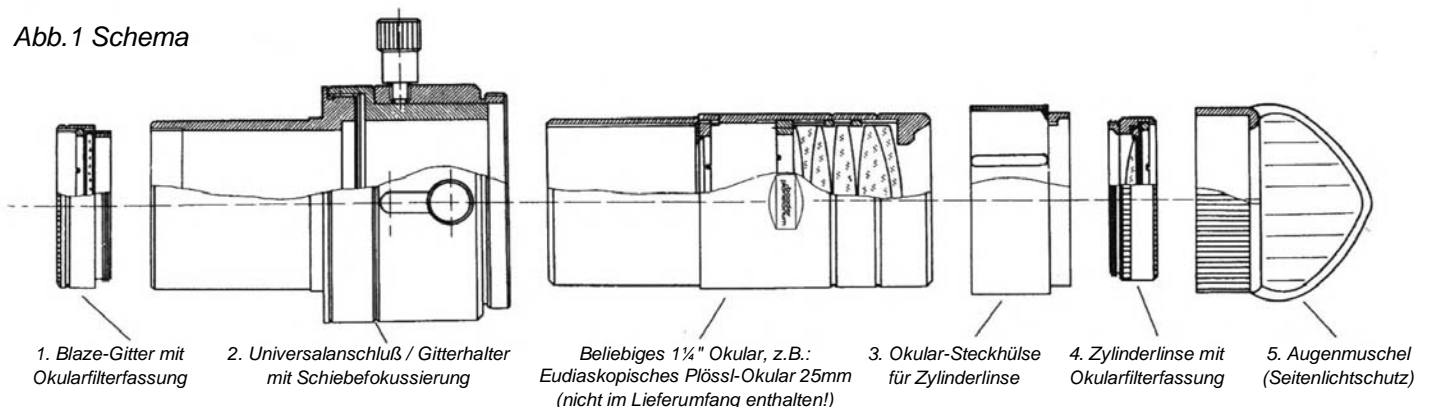
von N.Sommer

Einleitung

Das Licht der Sterne enthält drei grundsätzlich verschiedene Informationen. Erstens läßt sich die *Richtung* aus der es kommt, bestimmen und so die Position und Entfernung des Sternes messen. Zweitens kann seine *Intensität* ermittelt werden, woraus die Leuchtkraft des Sterns und deren mögliche Veränderungen erkennbar werden. Drittens kann man in Form seines Spektrums die *Art* des Lichtes analysieren und chemische Zusammensetzung, Radialgeschwindigkeit bzw. Oberflächentemperatur untersuchen und – mittelbar – nach einer weiteren, unabhängigen Methode die Entfernung des Sterns feststellen.

Spektralapparate bewirken die Zerlegung (Dispersion) des Lichtes in seine Bestandteile (Farben) und sind entweder mit Prismen, Gittern oder Kombinationen daraus als "dispergierendem" Element ausgestattet. Prismen trennen das Licht in nur ein Spektrum auf, verteilen jedoch die einzelnen Farben in ungleichmäßiger Breite und erzeugen im wichtigen blauen Bereich durch sehr hohe Dispersion und starke Absorption im Glas ein schwaches Spektrum. Neben einem unverändert bleibenden Teil (0. Ordnung) des Lichts liefern Gitter ein Spektrum in mehreren Ordnungen (1.-...Ordnung), die fast vollkommen gleichmäßige Farbauftrennung und höhere Intensität im blauen Bereich zeigen. Durch geeignete Gestaltung der Furchenform beim sogenannten Blaze-Gitter wird die Intensität in einer der Ordnungen stark erhöht, was der Benutzung eines weit größeren Fernrohres mit normalem Gitter gleichkommt. Da sich ab der zweiten Ordnung deren roter Bereich mit dem violetten der dritten Ordnung überlagert, wurde beim vorliegenden Gitter die erste Ordnung geblazed. Durch die bei schwächeren Vergrößerungen gleichzeitige Sichtbarkeit von nullter und heller, erster Ordnung ist die schnelle Zuordnung von Objekt und dazugehörigem Spektrum problemlos. Stärkere Vergrößerungen erlauben dann die genauere Untersuchung.

Abb.1 Schema



Benutzung des Gerätes:

1. Refraktoren und Schmidt-Cassegrain-Systeme

Die Okularsteckhülse wird auf den Gitteradapter geschraubt an dessen anderen Ende das Gitter befestigt. Alles zusammen wird im Okularstutzen des Fernrohres angebracht und mit der Feststellschraube gesichert. Anschließend fokussiert man wie gewohnt, zunächst mit einem Okular geringer Vergrößerung und stellt das Teleskop auf das gewünschte Objekt ein.

2. Newton-Teleskope

Diese Art von Teleskopen hat im allgemeinen einen geringeren Fokussierspielraum, als die vorgenannten. Es muß demzufolge entweder eine eventuelle Verlängerungshülse des Okularstutzens entfernt und wie oben beschrieben vorgegangen werden, oder das Gitter wird direkt ins Okular geschraubt.

Weitere Hinweise zur Benutzung:

Unabhängig vom Teleskop-Typ kann nach der exakten Einstellung eine Zylinderlinse auf das Okular gesteckt und dadurch das Spektrum so verbreitert werden, daß auch Absorptionslinien zum Vorschein kommen. Bei einigen optischen Systemen mit Sekundärspiegel (Newton und Cassegrain) wird dabei deren zentrale Abschattung als etwas dunklerer Streifen längs durch alle Spektralfarben sichtbar. Die Zylinderlinse wird sinnvollerweise so zum Gitter ausgerichtet, daß die Aufweitung genau senkrecht zum Spektrum erfolgt.

Die Notwendigkeit zur Benutzung der Zylinderlinse hängt vom Objekttyp ab. Emissionslinienobjekte, wie Planetarische Nebel (PN; z.B. NGC 7662 in And), kleine und helle Gasnebel (GN; z.B. NGC 1999 in Ori) und einige Wolf-Rayet-Sterne (WRS; z.B. β 1207 in Cyg), lassen ihre spektralen Einzelheiten (monochromatische Bilder der GN und PN, das Kontinuum der WRS und Zentralsterne der PN, bzw. die Emissionsbanden der WRS) bereits ohne Zylinderlinse erkennen. Bei allen übrigen Objekten ist zur Beobachtung von Absorptionslinien und -banden das Aufweiten des Spektralfadens unerlässlich. Es muß darauf hingewiesen werden, dass die Sichtbarkeit von Spektrallinien im gleichen, ganz erheblichen Maße von der Luftruhe und dem Objektcontrast (hier dem Contrast zwischen Absorptions-/Emissionslinie und den ihr benachbarten Teilen des Spektrums) abhängig ist, wie dies bei der üblichen Beobachtung (ohne Spektralansatz) von Doppelsternen und Einzelheiten auf Planetenoberflächen der Fall ist. Auch die Erfahrung des Beobachters mit dieser Art Beobachtungen wird im Laufe der Zeit zunehmen und ihn mehr und mehr Einzelheiten erkennen lassen; dies ist ebenfalls vergleichbar der Planeten- und Doppelsternbeobachtung.

Einige Beobachter bevorzugen es das Teleskop kurz leicht anzutippen, um durch die Schwingungen des Fernrohrs die Aufweitung zu erreichen.

Nach Aufstecken der Zylinderlinse muß im allgemeinen die Fokussierung um einen geringen Betrag verändert werden, um die bestmögliche Sichtbarkeit der Spektrallinien sicherzustellen. In welche Richtung dies erfolgen muß, läßt sich leicht an kleinen, punktförmig erscheinenden PN's herausfinden. Ein zwar belangloser aber sichtbarer Nebeneffekt ist, dass danach die Bilder nullter Ordnung leicht defokussiert verzerrt erscheinen.

Dadurch, dass das Gitter in einen separaten Adapter und nicht in das Okular geschraubt wird, ist ein sehr schneller Wechsel der Vergrößerung möglich, ohne dass sich die Orientierung der im Okular sichtbaren Details verändert. Ohne größeren Aufwand durch erneutes Ab- und Aufschrauben können so bei stärkerer Vergrößerung spektrale Einzelheiten genauer untersucht oder bei größerem Gesichtsfeld und schwächerer Vergrößerung ein anderes Objekt eingestellt werden.

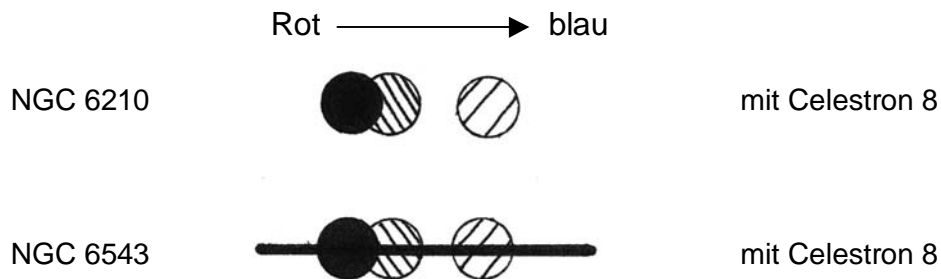
Wie bereits gesagt, nennt man den Teil des Lichtes der unverändert durch das Gitter tritt, die nullte Ordnung. Dieser ist bei PN's in einigen Fällen sehr lichtschwach oder nicht sichtbar und kann somit nicht immer sofort von einem monochromatischen Spektralbild unterschieden werden. Dreht man jedoch das Gitter bzw. den kompletten Ansatz im Okularstutzen, so bleibt die Lage des Bildes nullter Ordnung im Gesichtsfeld des Okulars unverändert, während das Spektralbild um sie herumwandert. Die nullte Ordnung liegt genau in Verlängerung des Spektralfadens über dessen blaues Ende hinaus.

Die Einfügung eines Gitters in einen stark konvergenten Strahlengang, wie den eines lichtstarken Fernrohres, führt zu Abbildungsfehlern. Bei konstantem Abstand von der Fokalebene, wie er bei dem vorliegenden Gerät gegeben ist, ist die eingeführte Koma umgekehrt proportional der Furchenzahl, der Astigmatismus steigt quadratisch an. Für ein gegebenes Gitter werden die Aberrationen minimal wenn das Gitter möglichst wenig Linien hat und maximal weit vor der Fokalebene steht | 13 |.

Ein Gitter wie das hier verwendete, lenkt den Strahlengang um einen bestimmten Winkel von der Achse der Okularsteckhülse ab. Vornehmlich bei längeren Okularbrennweiten bzw. geringeren Vergrößerungen, wird dadurch oftmals eine Vignettierung im Gesichtsfeld sichtbar, die in ihrem Ausmaß vom verwendeten Instrument abhängig ist. Diese Abschattung dreht sich beim Drehen des Gitters mit.

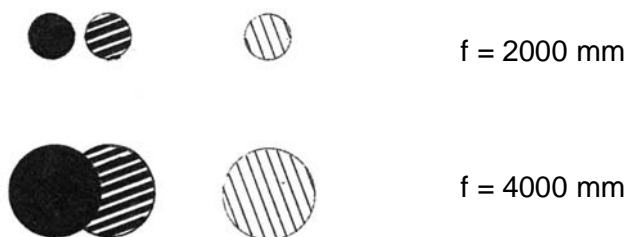
Je kleiner der Winkeldurchmesser der beobachteten PN ist, desto größer ist oft ihre Flächenhelligkeit. Das hat verschiedene Konsequenzen für die Beobachtung. Zum einen verbessert ein kleiner Winkeldurchmesser die Auflösung eng beieinander liegender monochromatischer Bilder des PN; ein Effekt, der besonders an den [OIII]-Linien (495.9 + 500.7nm) sichtbar wird, welche bei sehr hoher Vergrößerung z.T. getrennt, nur elliptisch verlängert oder unaufgelöst, aber in der normalen Gestalt des PN erscheinen. Eventuelle Veränderungen der Form (der PN kann mit Spektralansatz plötzlich wie "aufgespießt" oder mit einem spitzen Ausläufer versehen erscheinen) können von der Überlagerung des Spektrums des Zentralsterns herrühren. Erhöhte Flächenhelligkeit wiederum läßt schwächere Linien aus dem Himmelshintergrund hervortreten, wie H β (486.1nm) oder HeI (587.6nm). Die Intensität dieser Linien ist jedoch sehr stark von der "Anregungsklasse" des PN abhängig | 1 | und oft nicht hoch genug, um visuell beobachtet werden zu können. Die im Allgemeinen sehr intensive H α -Linie kann nur

fotografisch erfaßt werden, da dem menschlichen Auge dieser Farbbereich bei schwachen Beleuchtungsstärken – hier lichtschwachen Objekten – nicht zugänglich ist | 4 |.



Ein wichtiger Effekt muß hier ebenfalls berücksichtigt werden. Da die Stärke des Auftrennens der monochromatischen Einzelbilder eines PN weder von der verwendeten Vergrößerung noch von der Brennweite des Teleskops, sondern nur vom Abstand Gitter-Fokalebene des Okulars abhängt, der Winkeldurchmesser des PN aber sehr wohl von der Brennweite des Fernrohrs bestimmt wird, kann ein zunächst unerwarteter Effekt eintreten. Es kann passieren, dass ein Fernrohr geringerer Brennweite die [OIII]-Linien eines bestimmten PN's besser trennt, da sich die beiden Bilder weniger überlappen. Das längerbrennweitige, im Allgemeinen auch größere Teleskop wird jedoch bei kleineren, auch lichtschwächeren Objekten überlegen sein. Nachfolgende Skizze soll das verdeutlichen.

Da sich die Strahlung der GN bzw. PN aus nur wenigen Linien / Farben zusammensetzt, wird sie durch das Gitter auch nur wieder in wenige reine Farben aufgespalten. Die nutzbare Grenzelligkeit



dieser Objekte liegt daher viel niedriger = günstiger (gilt bedingt auch für WRS!), als die von Sternen.

Bekanntermaßen bewirkt der bei den üblichen Refraktoren unkorrigierte Rest an chromatischer Aberration, daß unterschiedliche Farben auf differierenden Ebenen fokussiert werden, was sich als sekundäres Spektrum bemerkbar macht. Bei der spaltlosen Spektrografie kann dieser optische Fehler nicht behoben werden. Er tritt bei Reflektoren und Fluorit-Refraktoren/Apochromaten nicht auf.

Liste von Objekten verschiedenen Spektraltyps

	α 2000 h m	δ 2000 o	Spektral- typ	m_v Bemerkungen
β -Cas	00 09.2	+ 59 09	F5	2.3 Caph
α -Cas	00 40.6	+ 56 33	K0	2.3 Shedar
β -And	01 09.7	+ 35 37	M0	2.1 Mirach
β -Per var.	03 08.1	+ 40 58	B8	2.1-3.4 Algol
α -Per	03 24.2	+ 49 52	F5	1.8 Hirfak
BD-Cam	03 42.2	+ 63 13	S5	5.0-5.2
ξ -Per	03 59.0	+ 35 47	O7	4.0 Menkib
α -Tau	04 35.8	+ 16 31	K5	0.9 Aldebaran
α -Cam	04 54.1	+ 66 21	O9	4.3
R-Lep	04 59.6	- 14 48	C6	5.9-10.5
W-Ori	05 05.4	+ 01 11	C6	6.2-7.0
β -Ori	05 14.6	- 08 12	B8	0.1 Rigel
α -Aur	05 16.7	+ 46 01	G8	0.1 Capella
γ -Ori	05 35.1	+ 09 56	O8	3.4 Meissa, dopp.
NGC 1931	05 31.4	+ 34 15	GN	- um Sternhfn.
NGC 1999	05 36.5	- 06 42	GN	- um V380-Ori

	α 2000 h m	δ 2000 o	Spektral- typ	m_v Bemerkungen
α -Ori var.	05 55.1	+ 07 24	M2	0.5-1.3 Beteigeuze
IC.2149	05 56.3	+ 46 07	PN	9.9
β -Aur	05 59.6	+ 44 58	A0	1.9 Menkalinan
TU-Gem	06 10.9	+ 26 01	C5	7.3-10.4
η -Gem var.	06 14.9	+ 22 30	M3	3.2-4.2
BL-Ori	06 25.5	+ 14 43	C6	6.2-7.4
RT-Aur	06 28.6	+ 30 30	F4-G1	5.0-5.8 δ -Ceph
V 613-Mon	06 48.4	+ 05 33	S5	7.7
HD 50896	06 54.2	- 23 56	WN5	6.9 WRS
R-Gem	07 07.4	+ 22 42	S2-S8	6.0-14.0
R-Cmi	07 08.8	+ 10 01	C7	7.3-11.6
NGC 2392	07 29.2	+ 20 55	PN	8.6 Eskimo-Nebel
α -Gem	07 34.6	+ 31 54	A0	1.6 Castor
α -CMi	07 39.3	+ 05 14	F5	0.4 Procyon
β -Gem	07 45.4	+ 28 02	K0	1.1 Pllux
9-Cnc	08 06.3	+ 22 38	M4	6.0
X-Cnc	08 55.4	+ 17 14	C4	5.6-7.5
δ_2 -UMa	09 10.4	+ 67 08	F7	4.8
RS-Cnc	09 10.6	+ 30 58	M6	5.3-6.8
R-Leo	09 47.6	+ 11 26	M8	4.4-11.3
α -Leo	10 08.4	+ 11 58	B8	1.4 Regulus
30-Lmi	10 25.9	+ 33 48	F0	4.7
U-Hya	10 37.6	- 13 23	C7	7.0-9.2
α -Uma	11 03.8	+ 61 45	K0	1.8 Dubhe
IC.3568	12 32.9	+ 82 33	PN	9.0
Y-CVn	12 45.1	+ 45 26	C5	5.5-6.0
ε -UMa	12 54.0	+ 55 58	A0	1.8 Alioth
α -Com	13 10.0	+ 17 32	F5	4.3
η -Uma	13 47.6	+ 49 19	B3	1.9 Alkaid
α -Boo	* 14 15.7	+ 19 13	K0	-0.1 Arcturus
γ -Boo	14 32.1	+ 38 19	A7	3.0 Seginus
β -Umi	14 50.6	+ 74 10	K4	2.1 Kochab
α -CrB	* 15 34.7	+ 26 43	A0	2.2 Gemma / Alphecca
ε -Oph	16 18.3	- 04 42	G8	3.2
γ -Her	16 21.9	+ 19 09	A9	3.8
NGC 6210	* 16 44.5	+ 23 49	PN	9.7
γ -Dra	17 56.5	+ 51 30	K5	2.2 Eltanin
NGC 6543	* 17 58.6	+ 66 38	PN	8.8
NGC 6572	* 18 12.1	+ 06 51	PN	9.6
T-Lyr	18 32.3	+ 37 00	C6	7.8-9.6
α -Lvr	* 18 36.8	+ 38 47	A0	0.0 Wega
NGC 6720	18 53.6	+ 33 02	PN	8.9 Ringnebel
V-Aql	19 04.6	- 05 41	C5-C6	7.4-8.0
R-Aql	19 06.4	+ 08 14	M5-M9	5.5-12.0
δ -Dra	19 12.6	+ 67 40	G9	3.1 Altais
RR-Lyr	19 25.5	+ 42 47	A8-F7	7.1-8.1 δ -Ceph
χ -Cyg	19 50.6	+ 32 55	S6-S10	3.3-6.1
η -Aql	19 52.2	+ 01 00	F6-G4	5.4-6.1 δ -Ceph
HD 189256	19 57.2	+ 44 16	N8	7.8
VZ-Sge	20 00.0	+ 17 31	M4	5.3-5.6
HD 190918	20 05.9	+ 35 48	WN5	6.7 WRS
NGC 6884	20 10.4	+ 46 28	PN	12.6
HD 192163	20 12.1	+ 38 21	WN6	7.5 WRS
ND 192281	20 12.5	+ 40 16	O6	7.6
RS-Cyg	20 13.4	+ 38 44	C8	6.5-9.3
HD 192641	* 20 14.5	+ 36 40	WC7	7.4 WRS
HD 193077	20 17.0	+ 37 25	WN5	8.0 WRS
AC-Dra	20 20.1	+ 68 53	M5	5.6

		α 2000 h m	δ 2000 o	Spektral- typ	m_v Bemerkungen
IC.4997		20 20.2	+ 16 45	PN	12.0
HD 193793/ β 1207	*	20 20.5	+ 43 51	WC6	6.9 WRS
ε -Del		20 33,2	+ 11 18	B6	4.0
β -Del		20 37.5	+ 14 36	F5	3.5
ε -Cva		20 46.2	+ 33 58	K0	2.5
T-Vul		20 51.5	+ 28 15	F5-G0	5.4-6.1 δ -Ceph
NGC 7009		21 04.2	+ 11 22	PN	8.4 Saturn-Nebel
NGC 7027	*	21 07.1	+ 42 14	GN / PN?	10.4
α -Eau		21 15.8	+ 05 15	G0	3.9 Kitalpha
IC.5117		21 32.5	+ 44 35	PN	10.5
μ -Cep	*	21 43.5	+ 58 47	M2	3.6-5.1
16-Peg		21 53.5	+ 25 56	B3	5.1
α -Aar		22 05.8	- 00 19	G2	3.0 Sadalmelik
IC.5217		22 23.9	+ 50 58	PN	10.0
11-Lac		22 40.5	+ 44 17	K3	4.5
β -Peg	*	23 03.8	+ 28 05	M2	2.4 Scheat
NGC 7662	*	23 25.9	+ 42 33	PN	9.4
κ -And		23 40.5	+ 44 20	B8	4.1
TX-Psc		23 46.4	+ 03 29	C6	5.3-5.8
ω -Psc		23 59.3	+ 06 52	F4	4.0

Diese Liste enthält ausgewählte, helle Sterne aller Spektraltypen, PN sowie kleine GN, verteilt über den gesamten von Mitteleuropa sichtbaren Himmel. Sie ist keineswegs vollständig. Für erste Beobachtungen sollten Sie die mit einem * gekennzeichneten Objekte wählen. Weitere Objekte können in | 2 | und | 3 | gefunden werden. Über die Eigenheiten der verschiedenen Spektraltypen informieren | 7,9,10,12 |.

Liste von Doppelsternen großen Farbunterschiedes

		α 2000 h m	δ 2000 o	Spektrum	d "	PW o	$m_1 + m_2$
WZ-Cas var.		00 01.3	+ 60 21	C9+A?	58.1	89	7.4-10.1 + 8.7
ADS 1/Cam		00 02.6	+ 66 06	G0+A2	15.2	70	5.9+7.3
35-Cas		01 21.1	+ 64 40	A0+?	55.5	344	6.3+8.7
1-Ari		01 50.1	+ 22 17	G9+A2	2.8	166	6.2+7.4
$\gamma_{1,2}$ -And	*	02 03.9	+ 42 20	K0+A0	9.4	64	2.3+5.1
O Σ 26/Cas		02 19.7	+ 60 02	A2+G5	63.3	200	6.9+7.4
32-Eri		03 54.3	- 02 57	G5+A2	6.8	347	4.8+6.1
55-Eri		04 43.6	- 08 48	F5+G8	9.2	317	6.7+6.8
11-Cam		05 06.1	+ 58 58	B3+K0	180.5	8	5.4+6.5
O Σ 79/Mon		06 54.1	+ 06 41	G5+A0	116.1	89	7.2+7.3
ι -Cnc		08 46.7	+ 28 46	G5+A5	30.5	307	4.2+6.6
ADS 8600/Com		12 35.1	+ 18 23	K0+A3	20.3	271	5.2+6.7
32-Com		12 52.2	+ 17 04	K5+F8	95.2	49	6.3+6.7
ι -Boo		14 16.2	+ 51 22	A5+?	38.5	33	4.9+7.5
$\alpha_{1,2}$ -Lib		14 50.9	- 16 03	A2+F5	231.0	314	2.8+5.2
ADS 10105/Her		16 31.8	+ 45 36	A0+F9	16.4	195	5.7+8.2
$\alpha_{1,2}$ -Her var.	*	17 14.6	+ 14 23	M5+G5	4.7	105	3.1-3.9 + 5.4
95-Her		18 01.5	+ 21 36	A3+G5	6.3	258	5.0+5.1
β -Cyg		19 30.7	+ 27 58	K3+B8	34.4	54	3.1+5.1
ADS 15764/Cep		22 12.9	+ 73 18	G5+A3	28.9	348	6.2+8.3
ADS 15881/Cep	*	22 21.8	+ 66 42	F5+A2	4.3	96	6.7+6.7
δ -Cep var.		22 29.2	+ 58 25	G0+A0	41.0	191	3.5-4.4 + 7.5

Zur Beobachtung von Doppelsternen dreht man das Gitter am besten so, daß die Spektren senkrecht zur Verbindungslinie der Sterne ausgerichtet sind. Die spektralen Unterschiede machen sich dann sofort als voneinander abweichende Verteilung der Farbintensität bemerkbar – gleichzeitig ein Anzeichen für unterschiedliche Oberflächentemperaturen. Bei engen Doppelsternen ist es besser, auf die Benutzung der Zylinderlinse zu verzichten.

Obige Listen basieren auf |3,5,6| und sind – wie bereits angedeutet – nicht vollständig. Ebenso hätten aufgenommen werden können:

weitere δ -Cepheiden (spektrale Veränderungen mit der Phase), Mira- und U-Geminorum-Sterne (meist nur im Maximum erreichbar), halbregelmäßige Veränderliche, Novae (nicht vorhersehbar), Symbiotische Sterne (z.B. AG-Peg), Be- und P-Cyg-Sterne (veränderliche Emissionslinien, bzw. Absorptionskanten) oder einige Bedeckungsveränderliche (spektrale Veränderungen während der Verfinsternung, z.B. VV-Cep / ξ -Aur / 31+32-Cyg) .

Fotografie der Spektren

Die fotografische Aufnahme von Spektren nennt man Spektrografie. Wie auf den anderen Gebieten der langbelichteten Astrofotografie werden auf diesem Wege sehr viel schwächere Einzelheiten beobachtbar, als bei visueller Beobachtung. Zudem ist das Auge im blauen und roten Spektralbereich bei weitem nicht so empfindlich wie fotografische Emulsionen. Zur Aufnahme sind sowohl Farb(dia)-als auch S/W-Filme geeignet.

Farbfilm ist der Aufbau aus drei Schichten unterschiedlicher Farbempfindlichkeit gemeinsam. Dies wirkt sich – außer bei sehr hellen Objekten (bei denen im allgemeinen alle Farben ohne Lücke wiedergegeben werden) – als Dreiteilung des Spektrums, bisweilen sogar als nur monochromes, dann oft rotes Spektrum aus. S/W-Filme haben ebenfalls keine für alle Farben gleichmäßige Empfindlichkeit. Neben einer mehr oder weniger starken "Grünlücke" wird der langwellige Bereich unterschiedlich weit ins Rote hinein registriert. Ähnliches gilt für das kurzwellige, blaue Ende des Spektrums. Man sollte also bei der Beurteilung von fotografierten Spektren immer die spektrale Empfindlichkeitskurve des Filmmaterials berücksichtigen. Diese Kurven sind für jede Emulsion vom Hersteller erhältlich. Auf Farbemulsionen ist es oft nicht möglich, sämtliche Bereiche des Spektrums gleichzeitig optimal zu belichten. Will man dies ausgleichen, muß eine Belichtungszeitenreihe angefertigt oder durch Filter der überbelichtete Bereich abgedunkelt werden, was leider auf eine verlängerte Belichtungszeit hinausläuft. Darüber, wie ein erhaltenes Spektrum ausgewertet wird, ist in |9| und |10| nachzulesen.

Ebenso wie durch die Spektrenverbreiterung mittels Zylinderlinse Linien erst sichtbar werden, müssen Spektren bei der Aufnahme ebenfalls aufgeweitet werden. Dies geschieht durch Anwendung der Zylinderlinse und der üblichen Nachführungstechniken. Einfacher und besser ist es, ohne Zylinderlinse zu arbeiten und den Leitstern in Rektaszension pendeln zu lassen. Dazu betätigt man entweder abwechselnd die Schnell- und Langsam-Tasten des Rektaszensionssteuergerätes oder verstellt das Fernrohr um einen bestimmten Winkel ν (siehe unten) nach Westen, schaltet dann den Motor aus, so daß die siderische Bewegung den Stern wieder an den Ausgangspunkt bringt oder – drittens, die Geschwindigkeit des Antriebes wird um einen geringen, auszuprobierenden Wert verstellt, wodurch das Spektrum ebenfalls aufgeweitet wird. Allen drei Methoden gemeinsam ist die Deklinationsabhängigkeit der damit erzielten effektiven Belichtung, da letztere umgekehrt proportional zum Cosinus der Deklination δ zunimmt.

Einfacher gesagt: δ sei 60° und $\cos 60^\circ = 0.5$, d.h., der Stern bewegt sich allein durch die siderische Bewegung mit der Hälfte der Geschwindigkeit über die Filmebene, die er am Himmelsäquator ($\delta=0^\circ$) haben würde. Sein Licht in Form des Spektrums hat zweimal soviel Zeit, auf die Emulsion einzuwirken und die effektive Belichtung ist demnach doppelt so groß. Das hat den positiven Nebeneffekt, dass bei gleicher Belichtung die erreichte Grenzgröße um etwa 0.7^m (für $\delta=60^\circ$) günstiger wird, da die Hintergrundhelligkeit davon unbeeinflusst bleibt. Das gilt selbstverständlich nur so lange, als der Himmelshintergrund nicht zur Verschleierung des Films beiträgt.

Zu beachten ist:

- a) die exakte Nachführung in Deklination (bei guter Poljustierung der Montierung kein Problem) und
- b) die Ausrichtung des Spektrums (durch Drehung des Gitters!) in Nord-Süd-Richtung, sonst wird die spektrale Auflösung beeinträchtigt. Die hiermit vorgeschlagene Aufweitung in Rektaszension ist mit weniger Manipulationen verbunden, als die in Deklination, da Nachführungskorrekturen in dieser Koordinate seltener notwendig sein werden, als solche in Rektaszension, die sich zudem nur als zwar unnötige, aber nicht weiter nachteilige Spektrenverbreiterung bemerkbar machen können.

Das Maß der Aufweitung a kann den Erfordernissen angepaßt werden. Es richtet sich nach der Körnigkeit des verwendeten Filmmaterials, liegt zwischen $a \approx 0.2\text{mm}$ (z.B. für KODAK TP2415) und 0.5mm (für Filme ISO 400/21°) und entspricht dem Winkel υ , der wie folgt berechnet wird:

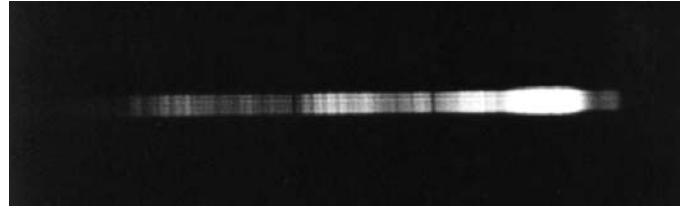
$$\upsilon = 60 \times \arctan(a/f)$$

wobei f die Brennweite des Fernrohres ist, die wie a in Millimetern angegeben wird, während der Winkel υ in Bogenminuten erscheint. υ kann an Doppelsternen oder Planetendurchmessern durch Vergleich mit Markierungen im Nachführokular abgeschätzt werden.

Belichtungszeiten sind von sehr vielen Faktoren abhängig; sie müssen für die jeweilige Kombination Stern-Teleskop-Spektrograf-Film abgeschätzt werden. Um sie möglichst kurz zu halten, sollte die Verbreiterung υ des Spektralfadens auf ein Minimum begrenzt bleiben. Anhaltswerte der Belichtungszeit können nach |8| berechnet werden.

Da Kollimatoren und abbildende Optiken nicht verwendet werden, das Gitter also im konvergenten Strahlengang vor der Fokalebene des Fernrohrobjektivs steht, werden lichtstarke optische Systeme wie Newton-Teleskope zur Minimierung von Koma, Astigmatismus und Bildfeldwölbung fotografisch am besten mit Barlowlinse bzw. Telekonverter zwischen Optik und Gitter benutzt.

Flächenhafte Objekte größerer Ausdehnung, besonders solche mit kontinuierlichen Spektren (z.B. Jupiter/Saturn, Gasnebel, Galaxien) sind nur dann sinnvoll zu spektrografieren wenn ein Spalt verwendet wird. Er muß genau in der Brennebene des Fernrohrs stehen. Hinter ihm – von der Fokalebene aus gesehen – richtet ein sogenannter Kollimator – d.i. eine positive Linse oder ein Linsensystem – das Licht parallel aus. In diesen parallelen Strahlengang fügt man das Gitter ein. Das erzeugte Spektrum wird von einer weiteren Optik, meist ein normales Kameraobjektiv in "unendlich-Stellung", auf die Filmebene abgebildet. Der Kollimator muß mindestens gleiches Öffnungsverhältnis wie das Teleskop haben (oder lichtstärker sein) und kann aus einem Achromaten/Feldstecherobjektiv oder langbrennweitigem Okular (1¼") bestehen. In seinem Brennpunkt – im Falle des Okulars in dessen Ebene der Gesichtsfeldblende – befindet sich der Spalt, der aus genau parallel positionierten Teilen einer Rasierklinge hergestellt werden kann. Der möglichst geringe Abstand der beiden Spaltbacken ist maßgeblich für die spektrale Auflösung. Der Selbstbau ist ganz sicher nicht einfach, zumal die Baulänge aufgrund der zusätzlichen Optiken viel größer wird, keinerlei Durchbiegung des Ansatzes erfolgen darf und das Mehr an Gewicht auszugleichen ist. Hinzu kommt, daß die genaue Positionierung des Objektes auf den Spalt entweder ähnlich einem "On-Axis-System" oder mittels Leitfernrohr kontrolliert werden muß. Der Vorteil eines solchen Ansatzes liegt in der völligen Unabhängigkeit vom Seeing und dem geringeren Einfluß der Himmelsaufhellung – mithin einer deutlich größeren Reichweite.



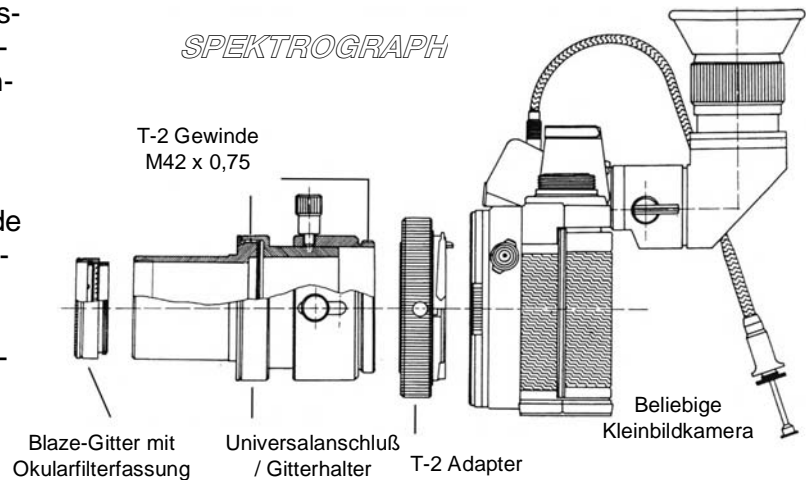
Aldebaran / Foto von Peter Stättmayer
Film: TP 2415, ca.3 Minuten belichtet.
Optik: 5" NSC 12b Schmidt-Cassegrain / Baader Blaze-Gitter-Spektrograph

Einige technische Größen

Typische Gitter für astronomische Spektrographen haben zwischen 100 und 1000 Linien (Furchen) pro Millimeter ($L \cdot \text{mm}^{-1}$) (Echelle-Gitter zwischen 10 und 50) und zwischen 1000 und 50000 Furchen insgesamt. Die gewählte Anzahl der Furchen ist immer ein Kompromiß zwischen angestrebter spektraler Auflösung und Lichtstärke des Spektrografen. Gitter werden in der ersten bis ca. zweihundertsten Ordnung benutzt, so daß ihr Auflösungsvermögen etwa 10^3 bis 10^5 beträgt |11|. Das in diesem Spektralansatz eingebaute Gitter ist die Kopie eines zur Vermeidung bestimmter Abbildungsfehler holografisch hergestellten Originals, hat $207 L \cdot \text{mm}^{-1}$ ($5318 L \cdot \text{inch}^{-1}$) und bei einem Durchmesser von 26mm etwa 5400 Furchen. Da es für die erste Ordnung "geblazed" ist, beträgt sein Auflösungsvermögen 5400, so daß theoretisch $<0.1\text{nm}$ getrennt werden können. Ein Wert, der spaltlos mit normalen Filmen unter üblichem Seeing nicht erreicht wird. In der Normalversion benutzt, d.h. ohne zusätzliche Verlängerungsstücke zwischen Gitter und Okular bzw. Kamera, ist das Spektrum der ersten Ordnung etwa 12' lang und hat etwa 14' - 26' Abstand von der nullten Ordnung. Auf der Filmebene beträgt die Länge des Spektrums etwa 6mm, die Auflösung ca. $48 \text{nm} \cdot \text{mm}^{-1}$.

Das Gerät besteht aus folgenden Teilen:

1. Holographisches Blaze-Transmissionsgitter mit 26 mm freier Öffnung, eingebaut in eine 1 1/4" Filterfassung mit Einschraubgewinde.
2. Halter für das Blaze-Gitter (Universalanschluss) mit Schiefbefokussierung. Teil A) 1 1/4" Steckhülse mit Filtergewinde und T-2 (M 42 x 0,75 mm) Anschlußgewinde! Teil B) Okulareinsteckhülse für alle 1 1/4" Okulare (auch 24,5 mm Okulare mit Reduzierhülse) und Fokussierhülse mit T-2 Gewinde für beliebige KB-Kameras.
3. Halterung für die Zylinderlinse: Steckhülse mit Filtergewinde zum Aufstecken auf beliebige 1 1/4"-Okulare, ausgelegt für Okulare mit 34 mm Aussendurchmesser. Geringfügig kleinere Durchmesser können mit Isolierband angepaßt werden. Für orthoskopische Okulare mit augenseitigem Durchmesser von 31,8 mm wird eine Erweiterungshülse mitgeliefert.
4. Zylinderlinse, eingebaut in eine Okularfilterfassung mit Drehvorrichtung zur leichten Justage.
5. Aufsteckbare Augenmuschel als Seitenlichtschutz und ggfs. zur Arretierung der o.g. Drehvorrichtung.



Literaturhinweise:

- 1 | F.Gieseking: Planetarische Nebel Teil 1-6. Sterne und Weltraum 22, 74, 224, 336, 524 (1983); 23, 15, 178 (1984)
- 2 | K.G.Jones: Webb Society Deep-Sky Observer's Handbook, Vol. 2, Planetary and Gaseous Nebulae. Enslow Publishers, Inc., Hillside, N.J. 1979
- 3 | A.Hirshfeld, R.W.Sinnot: Sky Catalogue 2000.0, Vol. 1 + 2, Cambridge University Press, New York; Sky Publishing Corp., Cambridge, Mass. 1985
- 4 | H.H.Voigt: Abriss der Astronomie. Bibliographisches Institut Mannheim / Wien / Zürich 1980, S.136.
- 5 | K.G.Jones: Webb Society Deep-Sky Observer's Handbook, Vol. 1, Double Stars. Enslow Publishers, Inc., Hillside, N.J. 1986
- 6 | E.J.Hartung: Astronomical objects for southern telescopes. Cambridge University Press, Cambridge 1968
- 7 | J.B.Kaler: Extraordinary Spectral Types. Sky & Telescope 75, 149 (1988)
- 8 | W.Knapp, H.M.Hahn: Astrofotografie als Hobby, vwi - Verlag, Herrsching 1980
- 9 | F.Gondolatsch, G.Groschopf, O.Zimmermann: Astronomie II. Ernst Klett-Verlag, Stuttgart 1979
- 10 | P.Fuchs, K.- P.Haupt, H.- H.Loose: Astronomie IV. Ernst Klett-Verlag, Stuttgart 1981
- 11 | C.R.Kitchin: Astrophysical Techniques. Adam Hilger Ltd., Bristol 1984
- 12 | K.Schäifers, G.Traving: Meyers Handbuch Weltall. Bibliographisches Institut, Mannheim / Wien / Zürich 1984
- 13 | Walker: Astronomical Observations



BAADER PLANETARIUM GMBH

Zur Sternwarte • 82291 Mammendorf • Tel.08145/8802 • Fax 08145/8805
www.baader-planetarium.de • kontakt@baader-planetarium.de • www.celestron.de