

Studie zur Sternspektroskopie mit einem Gitter 1800 L/mm im DADOS-Spektrographen

In dieser Studie wird ein Gitter mit 1800 L/mm vorgestellt, welches zur höherauflösenden Spektroskopie eingeschränkt im DADOS-Spektrographen verwendet werden kann. Wegen des streifenden Lichteinfalls kann mit dem Gitter nur zwischen 360nm und 550nm spektroskopiert werden, wobei wegen des Lichtverlusts die Belichtungszeit ca. um das 10-fache gegenüber dem Standardgitter 900 L/mm verlängert ist. Offen bleibt, eine geeignete preiswerte Kalibrationslampe für die exakte Wellenlängenkalibration in diesen blaugrünen Spektralbereich zu finden. Eine bislang von uns erst wenig erprobte Plasmaröhre könnte sich eignen.

Der DADOS-Spektrograph eignet sich mit dem Gitter 200 L/mm hervorragend für die niedrigauflösende Spektroskopie von Sternen, Planeten und Gasnebeln, bei der das gesamte visuelle Spektrum auf einer Aufnahme abgebildet werden kann. Die Spektralklassifikation der Sterne ist damit möglich, ebenso die Bestimmung der chemischen Elemente in Planetenatmosphären und in galaktischen Emissionsnebeln, wie bsp. dem Orionnebel M42 (Abb. 1, rechts).

Das mittelauflösende Gitter mit 900 L/mm ist der gezielten Untersuchung einzelner Spektrallinien gewidmet. Ein faszinierender Anwendungsbereich ist das Studium von Gasscheiben um heiße B-Sterne, die von der UV-Strahlung des Muttersterns zum typischen Eigenleuchten angeregt werden. Die Abb. 1 zeigt links das Spektrum des hellen Be-Sterns γ Cas, wobei „e“ auf das Vorkommen von Emissionslinien im Spektrum hinweist.

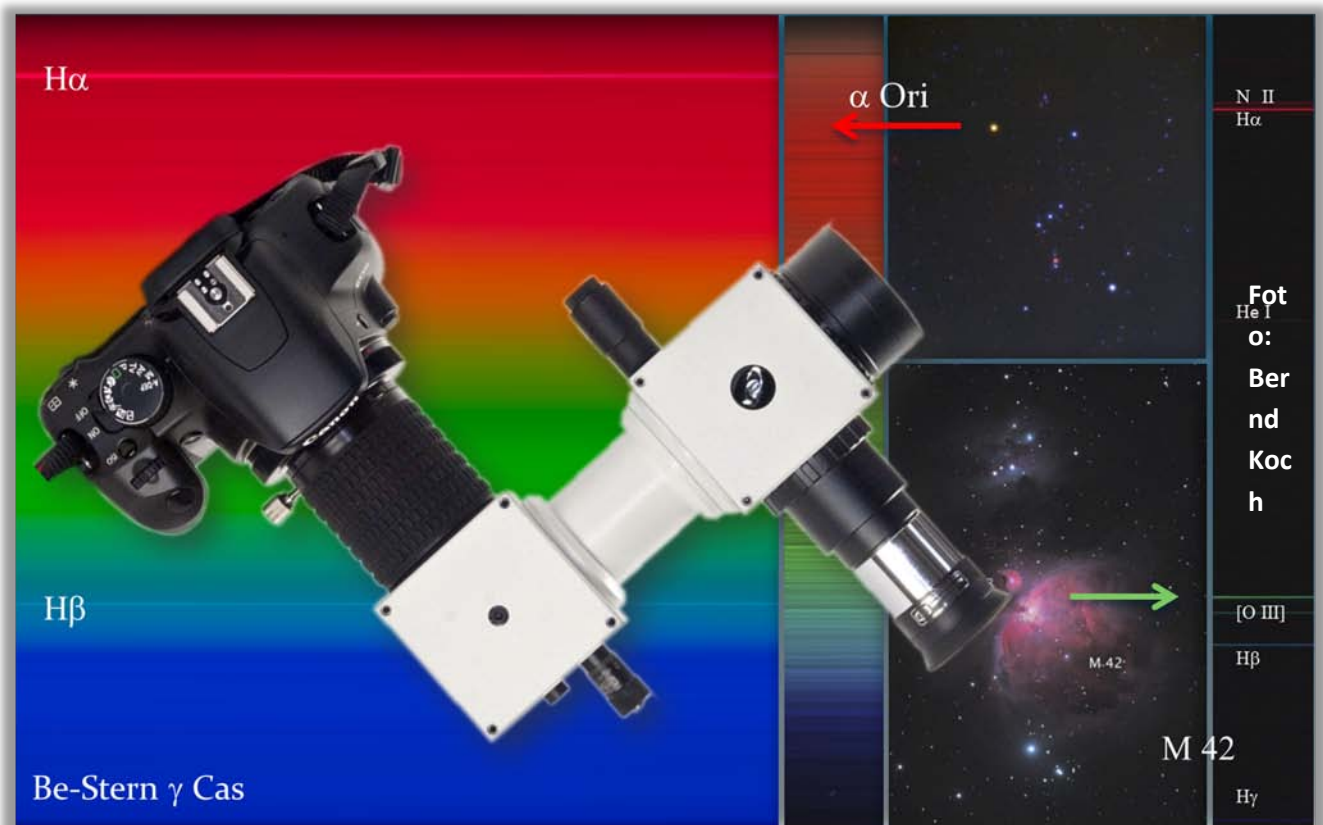


Abbildung 1: Stellar- und Nebelspektroskopie mit dem DADOS-Spektrographen

Der DADOS-Spektrograph kommt im Rahmen der astronomischen Ausbildung am Carl-Fuhlrott-Gymnasium in Wuppertal zum Einsatz. Das Schülerlabor Astronomie¹ des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums ermöglicht Schülern aller Jahrgangstufen und Lehramtsstudenten der nahegelegenen Bergischen Universität Wuppertal den Einstieg in die praktische Astronomie und Astrophysik. Das für die selbstständige Arbeit an der Sternwarte benötigte Fachwissen eignen sich die Schüler und Studenten in Form von Ausbildungskursen zu den Grundlagen der Astronomie, Astrofotografie und Sternspektroskopie (Abb. 2) an.



Abbildung 2: Osterkurs Sternspektroskopie 2011 im Schülerlabor Astronomie des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums Wuppertal

Gerne können auch Amateurastronomen an den Kursen teilnehmen, bitte nehmen Sie einfach Kontakt mit uns auf. Mehr als 50 Arbeiten zu astronomischen Themen sind seit 2009 an dieser Einrichtung bereits entstanden, darunter Staatsexamensarbeiten sowie Bachelor- und Masterarbeiten von Lehramtskandidaten. Mit ihren Facharbeiten nehmen die Schüler erfolgreich an Wettbewerben wie dem Physikpreis des Deutschen Röntgen-Museums und Jugend Forscht teil.


Im Rahmen der Kursvorbereitung stellte sich uns die Frage, ob man im DADOS ein Gitter mit höherer Linienzahl zwecks Steigerung der spektralen Auflösung verwenden könnte. Die Recherche führte unter anderem zur Firma Thorlabs, in deren Produktangebot wir ein Gitter mit 1800 L/mm fanden (Abb. 3, 4), welches in den Abmessungen 25mm x 25mm x 6mm genau den Standardgittern des DADOS entspricht².

¹ www.physikdidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/physik/didaktik/Physik_in_der_Schule_Heft2-2012_01.pdf

² www.thorlabs.de/thorProduct.cfm?partNumber=GR25-1850s

500 nm Blaze Wavelength Diffraction Gratings

Zoom



Item #	Grooves/mm	Blaze Angle	Dispersion (nm/mrad)	Size (mm)	Efficiency Curves*
500 nm Blaze Wavelength					
GR13-0305	300	4° 18'	3.32	12.7 x 12.7	
GR25-0305	300	4° 18'	3.32	25 x 25	
GR50-0305	300	4° 18'	3.32	50 x 50	
GR13-0605	600	8° 37'	1.65	12.7 x 12.7	
GR25-0605	600	8° 37'	1.65	25 x 25	
GR50-0605	600	8° 37'	1.65	50 x 50	
GR13-1205	1200	17° 27'	0.80	12.7 x 12.7	
GR25-1205	1200	17° 27'	0.80	25 x 25	
GR50-1205	1200	17° 27'	0.80	50 x 50	
GR13-1850	1800	26° 44'	0.50	12.7 x 12.7	
GR25-1850	1800	26° 44'	0.50	25 x 25	
GR50-1850	1800	26° 44'	0.50	50 x 50	

*All gratings are measured in the Littrow mounting configuration; All gratings utilize an Aluminum (Al) reflective coating.

Order

Based on your currency / country selection, your order will ship from our European warehouse

+1QTY	Docs	Part Number - Universal/Imperial	Price	Available/Ship
<input type="checkbox"/>		GR13-0305 - Ruled Diff. Grating, 300/mm, 500 nm Blaze, 12.7 x 12.7 x 6 mm	€ 54,40	✓ Today
<input type="checkbox"/>		GR25-0305 - Ruled Diff. Grating, 300/mm, 500 nm Blaze, 25 x 25 x 6 mm	€ 90,60	✓ Today
<input type="checkbox"/>		GR50-0305 - Ruled Diff. Grating, 300/mm, 500 nm Blaze, 50 x 50 x 9.5 mm	€ 159,50	✓ Today
<input type="checkbox"/>		GR13-0605 - Ruled Diff. Grating, 600/mm, 500 nm Blaze, 12.7 x 12.7 x 6 mm	€ 54,40	Lead Time
<input type="checkbox"/>		GR25-0605 - Ruled Diff. Grating, 600/mm, 500 nm Blaze, 25 x 25 x 6 mm	€ 90,60	✓ 2-3 Days
<input type="checkbox"/>		GR50-0605 - Ruled Diff. Grating, 600/mm, 500 nm Blaze, 50 x 50 x 9.5 mm	€ 159,50	✓ Today
<input type="checkbox"/>		GR13-1205 - Ruled Diff. Grating, 1200/mm, 500 nm Blaze, 12.7 x 12.7 x 6 mm	€ 54,40	✓ Today
<input type="checkbox"/>		GR25-1205 - Ruled Diff. Grating, 1200/mm, 500 nm Blaze, 25 x 25 x 6 mm	€ 90,60	✓ Today
<input type="checkbox"/>		GR50-1205 - Ruled Diff. Grating, 1200/mm, 500 nm Blaze, 50 x 50 x 9.5 mm	€ 159,50	✓ Today
<input type="checkbox"/>		GR13-1850 - Ruled Diff. Grating, 1800/mm, 500 nm Blaze, 12.7 x 12.7 x 6 mm	€ 54,40	✓ Today
<input type="checkbox"/>		GR25-1850 - Ruled Diff. Grating, 1800/mm, 500 nm Blaze, 25 x 25 x 6 mm	€ 90,60	✓ Today
<input type="checkbox"/>		GR50-1850 - Ruled Diff. Grating, 1800/mm, 500 nm Blaze, 50 x 50 x 9.5 mm	€ 159,50	✓ Today

Add to Basket

© Thorlabs

Abbildung 4: Das Gitterangebot der Firma Thorlabs

Product Specification Sheet

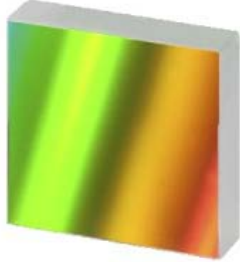
Ruled Diffraction Gratings

Description

Thorlabs offers a selection of ruled diffraction gratings optimized with blaze wavelengths from 300 nm to 10.6 μm. These gratings are made from a soda lime glass substrate with 75 to 1800 grooves/mm. Ruled gratings are ideal for applications centered at the grating's blaze angle and typically offer higher efficiencies than holographic gratings.

Specifications

Specification	Value
Blaze Wavelength	500 nm
Grooves/mm	1800
Blaze Angle	26° 44'
Dispersion	0.50
Size	
Height	25 mm
Width	25 mm
Thickness	6 mm



GR25-1850

© Thorlabs

Abbildung 4: Spezifikation des Gitters GR25-1850 mit 1800 L/mm

Für das Gitter benötigt man einen neuen Gitterhalter, der von der Firma Baader Planetarium, dem Hersteller des DADOS-Spektrographen bezogen werden kann. Auf diesen Halter wird das Gitter aufgeklebt, wobei wir zu Testzwecken empfehlen, zunächst nur ein Doppelklebeband zu verwenden (Abb. 5). So kann man das Gitter leicht ablösen, falls es in der falschen Orientierung angeklebt wurde. Danach empfiehlt es sich, eine Markierung am Rand des Gitters anzubringen und es fest anzukleben.



Abbildung 5: Position der Gitterhalter mit den Gittern 200 L/mm bis 1800 L/mm im DADOS (blaue Markierung)

Berechnung der spektralen Gitterdaten im DADOS-Spektrographen

Die von Christian Buil konzipierte Excel-Tabelle SimSpec³ zur Berechnung der charakteristischen Daten eines Spektrographen kann auf den DADOS-Spektrographen angewandt werden (Abb. 6). Mit Hilfe von SimSpec ist man in der Lage, die Eignung von Blazegittern für den DADOS zu ermitteln.

Tabelle 1 zeigt das Ergebnis der Berechnungen für die drei Gitter 200 L/mm, 900 L/mm und 1800 L/mm.

Gitter	Auflösungsvermögen R	Spektrale Auflösung [Å]	Nutzbarer Wellenlängenbereich [Å]	Dispersion ρ [Å/px]	Dispersion r [nm/mm]
200 L/mm	380	13,6	8759	2,05	39,4
900 L/mm	2127	2,44	2316	0,54	10,4
1800 L/mm	5590	0,93	1283	0,30	5,8

Tabelle 1: Auflösungsdaten von drei DADOS-Gittern nach SimSpec. Spaltbreite: 25µm, 1. Ordnung, Mittenwellenlänge: 5180Å, Pixelgröße des Sensors: 5,2µm.

³ www.astrosurf.com/buil/us/compute/SimSpec_V4_0.xls

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N		
1	SIMSPEC V4.0 english version, by Ken Harrison , original version by Christian Bull										Latest Revision:	Apr 12				
2																
3	Enter data in highlighted cells															
4																
5	Telescope				Spectrograph				Camera							
6	Diameter (D) :	280	mm	Collimator				pixel size (p) :	5,2	microns						
7	Focal length (f) :	2800	mm	Collimator-Focal length (f1) :				80	mm	number of X pixels(Nx) :	4272					
8	F/D (F#) :	10,0		Collimator-Required Focal ratio (Fc) :				10,0		quantum efficiency (η) :	54	%				
9	Central obstruction (ε) :	0,3		Collimator-Minimum diameter (d1) :				8,0	mm	Read noise (RON) :	7	e-/pixel				
10	Telescope throughput (To) :	0,9		Resolution of Collimation lens-FWHM _o :				15	microns	Dark noise (Nd) :	0,1	e-/s/pixel				
11																
12	Seeing/ Atmosphere				Camera				Exposure							
13	Seeing (φ) :	2	"	Camera-Focal length (f2) :				96	mm	Binning, X axis (fx) :	1					
14	Atmospheric transmission (Ta) :	0,75		Camera-Distance to grating (T) :				140	mm	Binning, Y axis (fy) :	1					
15	Sky magnitude (mag/arc sec ²) :	16		Camera-Minimum lens diameter (d2) :				154,4	mm	Sampling Factor :	3,09					
16	Star size at focus (FWHM) :	27,1	microns	Camera-Maximum focal ratio (Fo) :				0,6		Subs, exposure time (ts) :	300	secs				
17																
18	NOTES:				Resolution of Camera lens-FWHM _c :				15	microns	number of subframes (n) :	1				
19	See www.astrosurf.org/buil/us/spe2/hresol1.htm				Collimator/Camera -Total angle (γ) :				90	°	Total exposure time (t) :	300	secs			
20	www.astrosurf.org/buil/us/stage/calcul/design_us.htm				Slit width (w) :				25	microns	Spectrum size/ spread					
21	(explanatory notes and worked example)				Grating				Height of Spectrum (n) :						12	pixel
22																
23																
24	SUMMARY															
25	Resolving power R	5590		Grating-Lines/ mm (n) :				1800		Target Star						
26	Spectral resolution	0,93	Å	Grating-Diffraction order (k) :				1		Magnitude (m) :	2					
27	Wavelength range	1283	Å	Grating- Minimum height (H) :				8,0	mm	Effective temperature (Te) :	7800	K				
28	Grating-Lines/ mm	1800		Grating- Minimum width (W) :				122,2	mm	Bolometric Correction (BC) :	-0,4					
29	Grating-Diffraction order	1		Dispersion (p) :				0,30	Å/ pixel	SNR						
30	Slit width	25	microns	Resolving power (R) :				5590		Signal/Noise (SNR) :	1187					
31	Target Mag.	2,0		Spectral resolution (Δλ) :				0,93	Å	Limiting Mag						
32	Signal/Noise (SNR)	1187		Dispersion (r) :				5,8	nm/mm	Limiting Mag.(Bowen-mod) :	12,40					
33																
34																
35	Other Results				Wavelength Range				SNR Calculations							
36	Angle of incidence (α) :	86,25	°	Reference wavelength (λ ₀) :				5180	Å	Number of photons (E) :	2,12E+02	photons/cm2/s/Å				
37	Angle of diffraction (β) :	-3,75	°	Lambda min. (λ ₁) :				4539	Å	Sky background(Ed) :	5,34E-04	photons/cm2/s/Å/ arc sec				
38	Anamorphic factor (r) :	0,07	microns	Lambda max. (λ ₂) :				5821	Å	Final Efficiency (R) :	0,12	%				
39	diffraction limit grating, FWHM _d :	0,41	microns	Wavelength range/ image frame :				1283	Å	Useful signal (Nm) :	1409708	e-/pixel				
40	Slit/ image width on CCD, FWHM _t :	16,05	microns	Throughput efficiency												
41																
42																
43																
44																

Abbildung 6: Berechnung der Daten des Gitters mit 1800 L/mm im DADOS-Spektrographen

Es wurde eine Sensor-Pixelgröße von 5,2 µm zugrunde gelegt. Die Dispersion des 1800 L/mm-Gitters von 0,3 Å/px bestimmt den Abbildungsmaßstab. Entscheidend für die Beurteilung der Trennung eng beieinander liegender Spektrallinien ist der Wert der spektralen Auflösung. Linienaufspaltungen oder Linienneigungen weniger als 0,9Å sind nur mit sehr großen Messfehlern zu bestimmen. Das betrifft insbesondere die aus der Neigung der Spektrallinien abgeleiteten Werte für die Rotationsdauern der Planeten Jupiter und Saturn.

Eigenschaften des Gitters 1800 L/mm im DADOS-Spektrographen

Die Mittenwellenlänge (Reference Wavelength, Feld G30) in diesem Beispiel beträgt 5180Å (Mg-Triplet)

- Wegen des streifenden Lichteinfalls von rund 86° (Feld C36) müsste das Gitter eine Höhe (W) von 122mm aufweisen (G24), um das gesamte einfallende Lichtbündel zu reflektieren. Die Gittergröße beträgt aber nur 25mm x 25mm. Das führt zu einem hohen Lichtverlust und damit bedingter ca. 10-fach verlängerter Belichtungszeit gegenüber dem Gitter mit 900 L/mm.
- Je nach Größe des Sensors und eingestellter Mittenwellenlänge ist der nutzbare Wellenlängenbereich auf 390nm bis 550nm eingeschränkt.
- **Die H α -Wellenlänge ist nicht erreichbar!**
- Die zur Kalibration der Wellenlänge mitgelieferte Ne-Glimmlampe ist im blaugrünen Wellenlängenbereich nicht verwendbar. Es gibt dort keine hellen Referenzwellenlängen.
- Radialgeschwindigkeitsmessungen an hellen A-Sternen werden im Wellenlängenbereich um die H β -Linie bei 486nm im blauen/grünen Spektralbereich durchgeführt.
- Zur Einstellung auf die H β -Linie benötigt man eine Lichtquelle, deren Spektrallinien zwischen 390nm und 550nm grob bekannt sind. Wir verwenden eine Energiesparlampe vom Typ Ormalight für diesen Zweck.

- Für die exakte Wellenlängenkalibrierung greift man auf genau bekannte Spektrallinien im aufzunehmenden Spektrum zurück, bsp. tellurische Linien, falls verfügbar.
- Äquivalentbreiten (EW) misst man bsp. an der H β -Linie.
- Eine Kalibrationslampe für diesen Spektralbereich als Ersatz für die Ne-Glimmlampe wird derzeit geprüft, es liegen aber noch keine praktischen Resultate vor.

Die Gitter 900 L/mm und 1800 L/mm im direkten Vergleich

Zur Verdeutlichung des Auflösungsgewinns, den man mit dem Gitter von 1800 L/mm erzielt, wurde das Tageslichtspektrum mit beiden Gittern aufgenommen. Wir betrachten im Folgenden die Spektrallinien im Bereich des Mg-Triplets bei ca. 5180Å.



Abbildung 7: Original-Tageslichtspektrum in voller Breite, aufgenommen mit dem DADOS und der Canon EOS 10D im APS-C-Format 15x23mm. Pixelgröße: 7,4µm, Spaltbreite oben 35µm, Mitte 25µm, unten: 50µm. Gitter: Thorlabs GR25-1850, 1800 L/mm

Abb. 8 zeigt die Tageslichtspektren (Spalt 25µm) der Gitter 900 L/mm (oben) und 1800 L/mm (Mitte) im direkten Vergleich. Das monochrome Spektrum gehört zum Stern Arktur (α Boo). In Abb. 9 ist der zentrale Ausschnitt im Bereich des Mg-Triplets dargestellt. Der Auflösungsgewinn ist deutlich sichtbar.

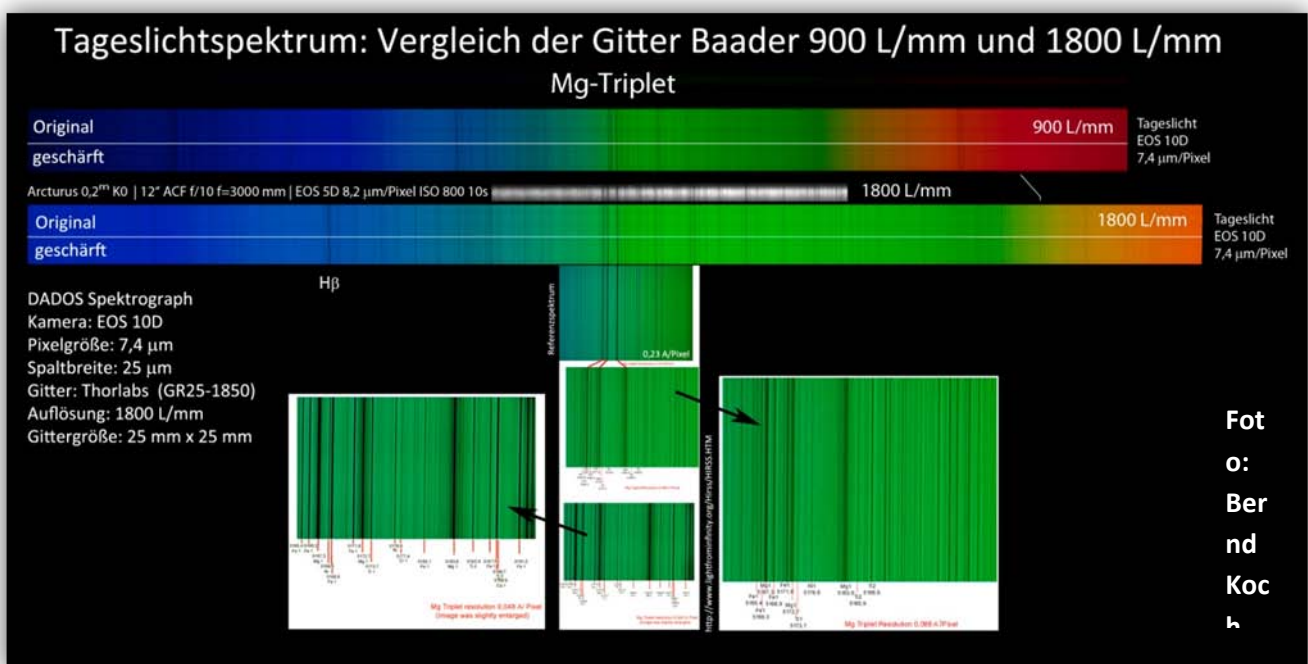


Abbildung 8: Tageslichtspektren der Gitter 900 L/mm und 1800 L/mm im Vergleich

Das Magnesium-Triplet

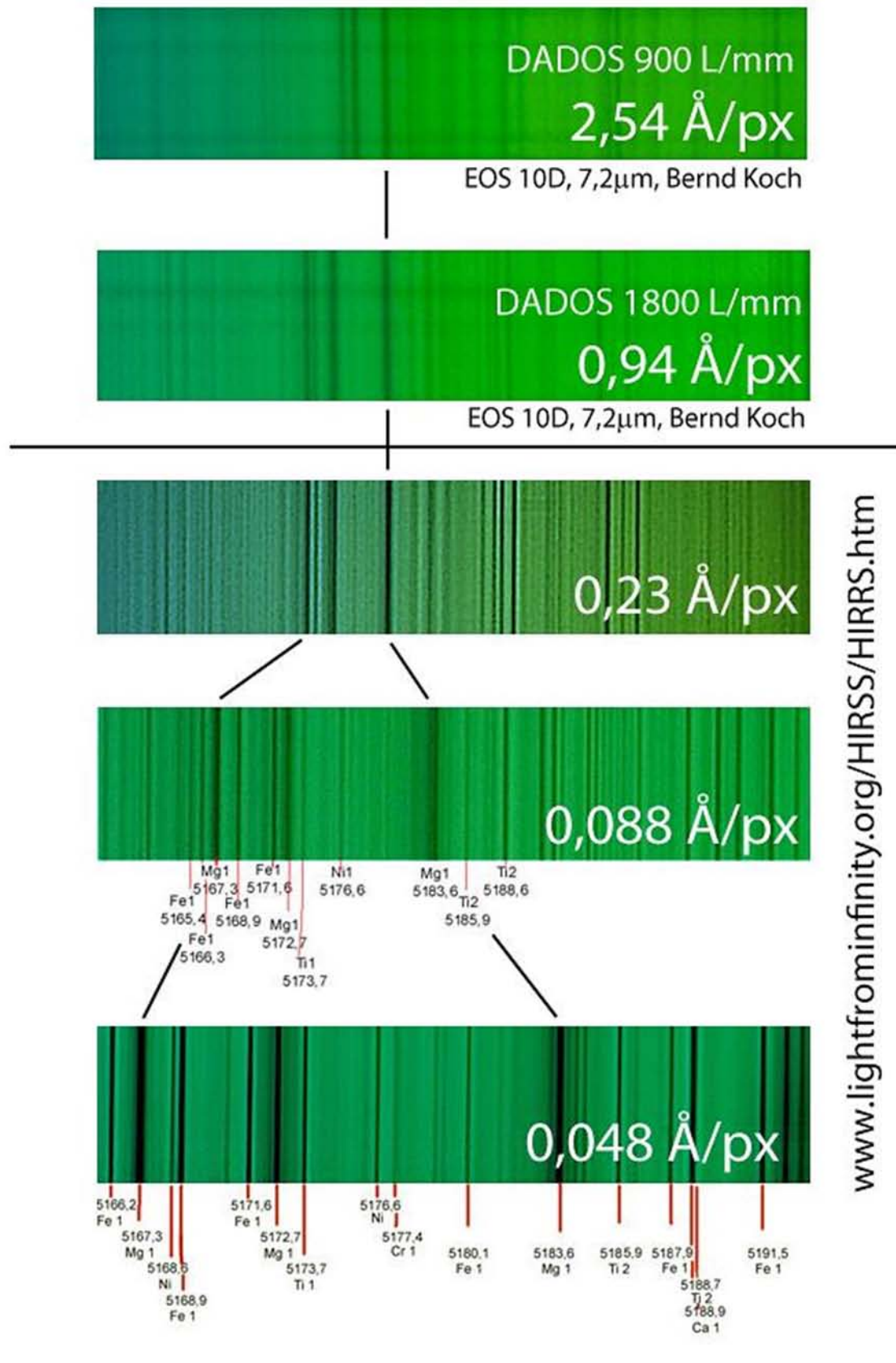


Abbildung 9: Auflösung im Bereich des Mg-Triplets

Auflösungstest am Sternspektrum von α Bootis

Mit der Vollformat-Digitalkamera Canon EOS 5D wurde zum stellaren Auflösungsstest des 1800 L/mm-Gitters der Stern Arktur aufgenommen. Das Ergebnis ist in Abb. 10 dargestellt. Die Kalibrierung erfolgte mit VisualSpec. Man erkennt, dass bei einem rechnerischen spektralen Auflösungsvermögen von $0,93 \text{ \AA/px}$ die beiden $1,6 \text{ \AA}$ entfernten Linien Mg I $5167,3 \text{ \AA}$ und Fe I $5168,9 \text{ \AA}$ deutlich aufgelöst sind.

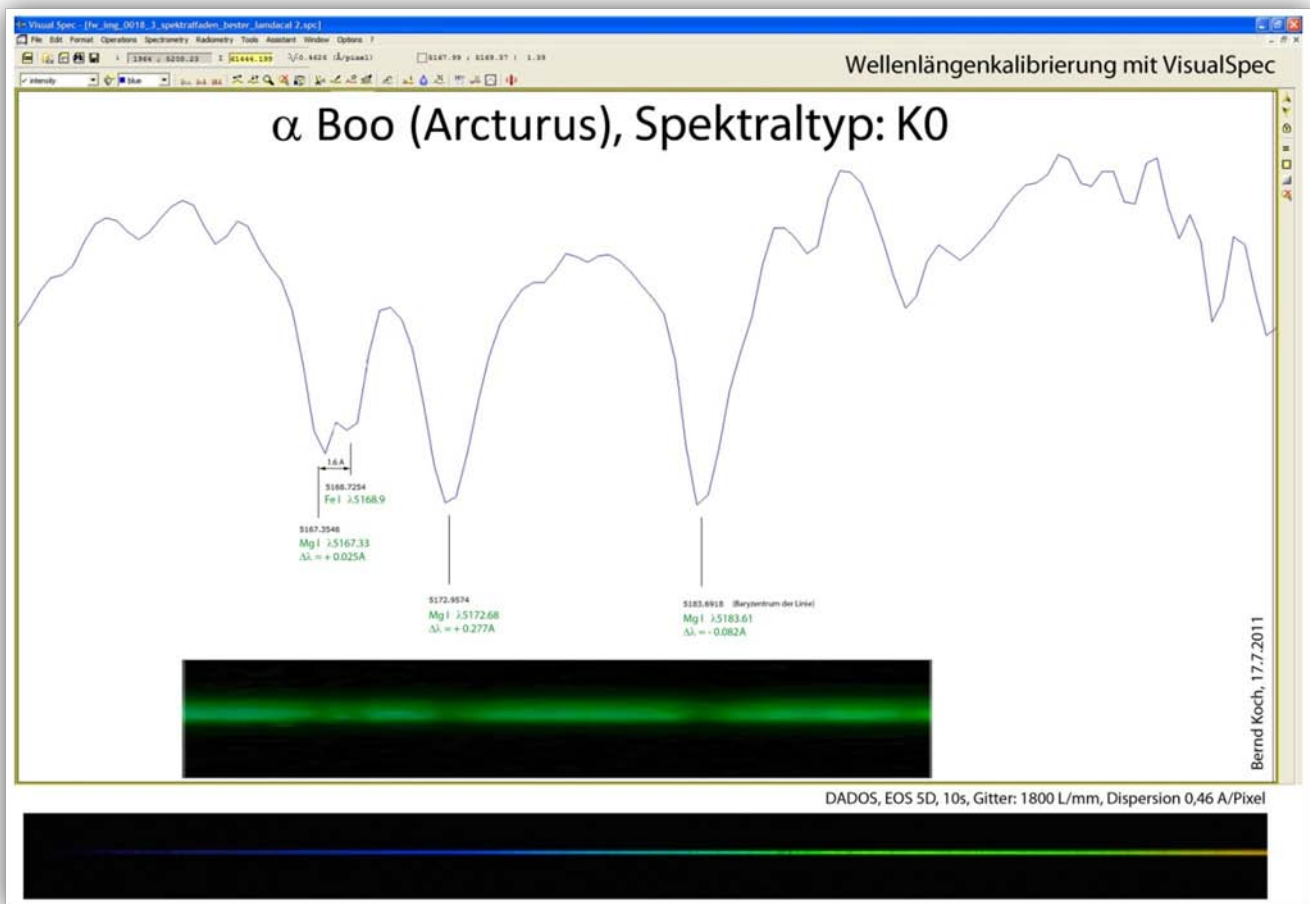
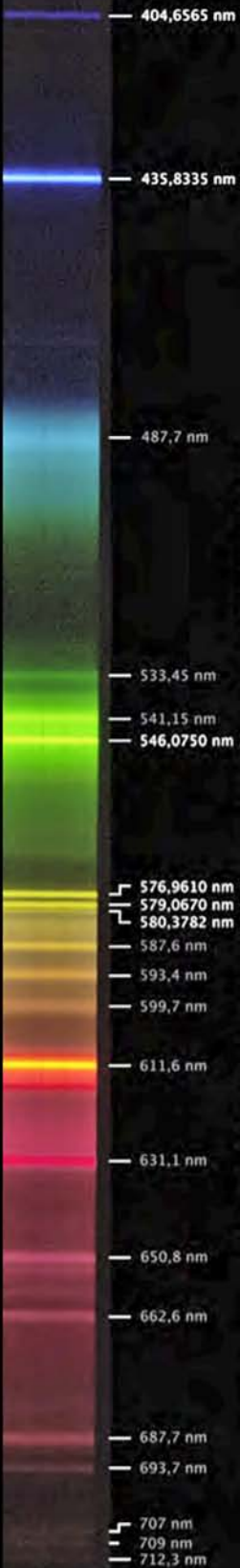


Abbildung 10: Mit VisualSpec kalibriertes Spektrum von α Boo. DADOS und 1800 L/mm, Canon EOS 5D. Pixelgröße: $8,2 \mu\text{m}$

Da sich das Sternenlicht auf einen langen Spektralfaden verteilt, ist es nicht einfach, auf ein lichtscheschwaches Spektrum zu fokussieren. Gerade Einsteiger in dieses Fachgebiet haben große Mühe dabei. Verstärkt wird das Problem im Zusammenhang mit dem Gitter 1800 L/mm empfunden. In unseren Kursen zur Sternspektroskopie am Schülerlabor des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums in Wuppertal verwenden wir deshalb eine Energiesparlampe zur Einstellung des Spektrums auf den gewünschten Wellenlängenbereich und um den Spektrographen zu fokussieren (Abb. 11). Abweichend von der Darstellung in Abb. 11 wurden inzwischen Kunststoffgehäuse für die Lampen gefertigt, um diese gefahrlos vor die Eintrittsöffnung des Teleskops setzen zu können.

Die zur Fokussierung verwendete Energiesparlampe Ormalight ist für eine exakte Wellenlängenkalibrierung mit den Gittern 900 L/mm und 1800 L/mm nicht geeignet, weil starke Fluoreszenzbanden der Seltenen Erden in der Beschichtung der Lampe das Hg-Spektrum in diesem Spektralbereich überlagern. Die Wellenlängenangaben dieser Banden sind für hochauflösende Messungen von Wellenlängenverschiebungen ungeeignet, weil sie nicht genau bekannt sind. Eine vorhandene Ne-Glimmlampe kann im Blaugrünen nicht verwendet werden, weil es zu wenige und zudem zu schwache Linien gibt. Geeignet sind Lampen mit Füllungen von Ar, Xe oder Th, die über intensive Linien im Blaugrünen verfügen.

Spektrum der Energiesparlampe Ormalight 9W



Quecksilber Hg I

$Ce^{3+} / Tb^{3+} \cdot CeMgAl_{11}O_{19}$
(Anregung durch Hg I - UV-Linie 254 nm)

Fluoreszenzlinien des Leuchtstoffs $Eu^{3+} \cdot Y_2O_3$
(mit Europium dotiertes Yttriumoxid)

Bernd Koch

DADOS 200 L/mm & EOS 450D (mod.)

Grundlagenartikel zu aktuellen Fluoreszenzstoffen (2003): <http://www.electrochem.org/dl/interface/sum/sum03/IF6-03-Pages48-51.pdf>



Abbildung 11: Das Spektrum der Energiesparlampe "Ormalight"

Diese Lampen sind in der Regel sehr teuer. Derzeit ist am CFG Wuppertal eine preiswerte Plasmaröhre⁴ in Erprobung, die mit den Edelgasen Ne, Ar und Xe gefüllt ist und über das gesamte visuelle Spektrum sehr genau bekannte Referenzlinien bereitstellt.

Sollte in naher Zukunft die absolute Wellenlängenkalibrierung im blaugrünen Spektralbereich damit gelingen, ist das Gitter mit 1800 L/mm für die hochauflösende Spektroskopie gut geeignet. Einzig der Umstand, dass bei $H\alpha$ (656,28nm) nicht spektroskopiert werden kann, trübt etwas den guten Gesamteindruck.

Autor: Dipl.-Phys. Bernd Koch, Schülerlabor Astronomie des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums, Wuppertal

Kontakt: Bernd.Koch@astrofoto.de

⁴ http://forum.astronomie.de/phpapps/ubbthreads/ubbthreads.php/topics/987888/Kalibrationslicht_fur_den_LHIR#Post987888