

Spektroskopie für Photometristen

Eine praxisbezogene
Einführung zum Einstieg in die Amateurspektroskopie

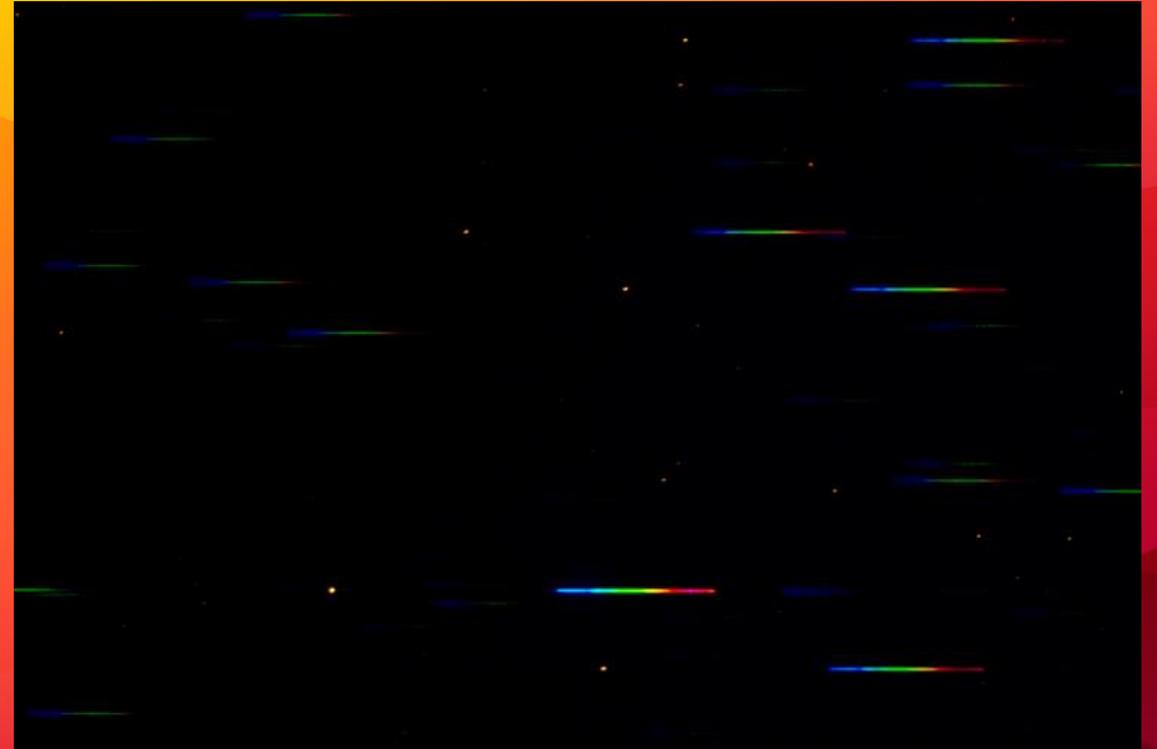
Martin Sblewski

Juni 2023

BAV-Tagung Hartha

- . Motivation
- . Handwerkszeug
- . Erfolge

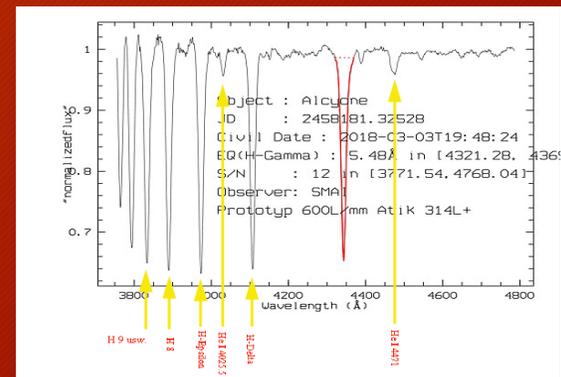
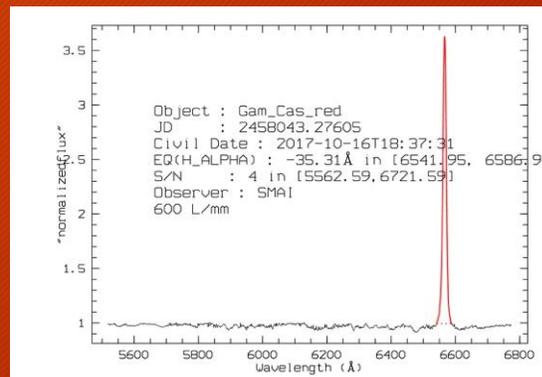
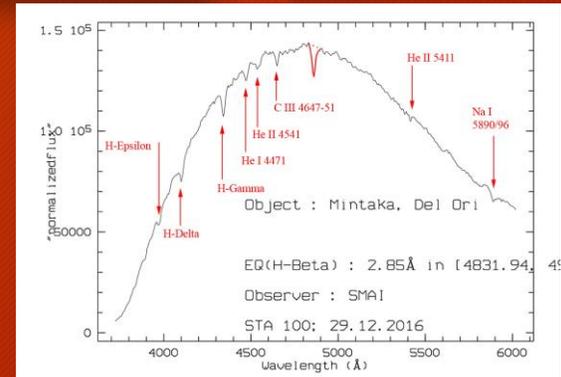
- Ein wenig Theorie - Notwendige Begriffe
- Das Equipment
- Die nächtliche Aufnahme
- Software, Datenreduktion
- Auswertung der Spektren
- Beobachtungsziele
- Literatur



Worüber sollte man Bescheid wissen

Theorie

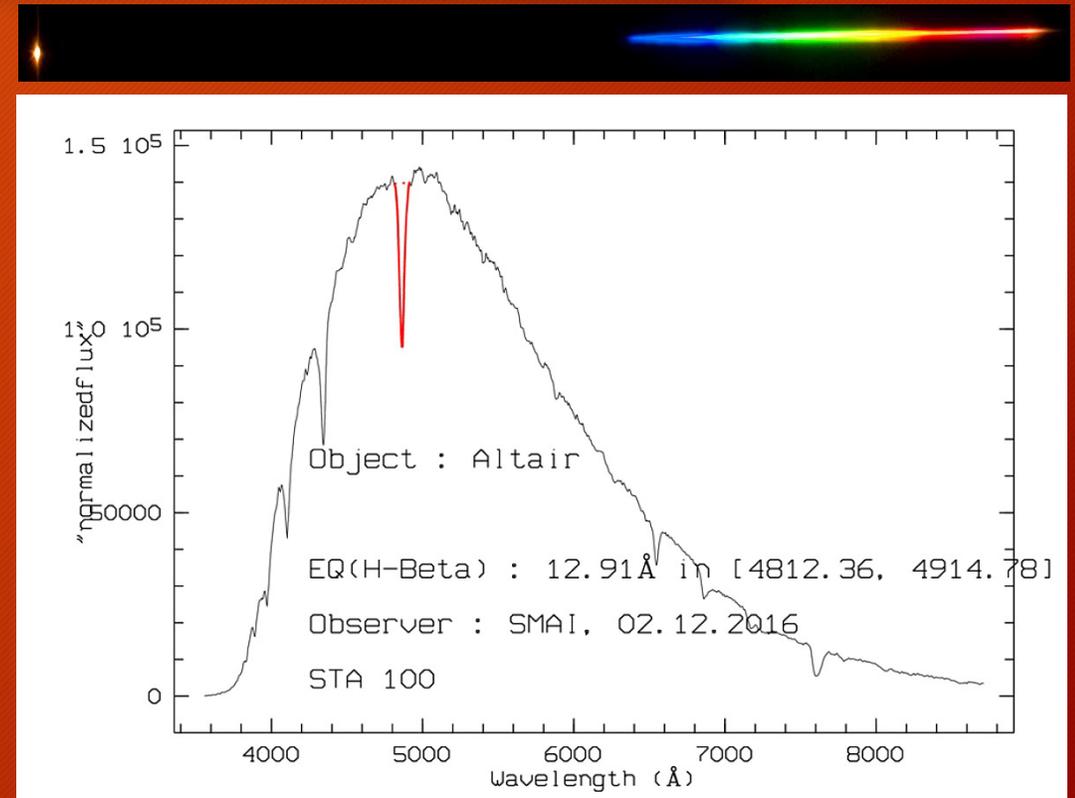
- Kontinuum, an der Sternoberfläche austretende Strahlung
- Pseudokontinuum, aufgezeichnete Strahlung
- Absorption, dichtes Gas vor einer Kontinuumsstrahlung, Photon hebt Elektron auf ein höheres Energieniveau, beim Rücksprung auf das alte Niveau wird das Photon wieder abgegeben, jedoch nun gestreut
- Emission, chemische Elemente in heißen Gasen strahlen Energie in Form von Photonen ab
- Linienfluss, hier nur die relative Peakintensität, auch LineDepth (LD), dimensionslos, Intensität der Linie / Kontinuumsniveau



Worüber sollte man Bescheid wissen

Theorie

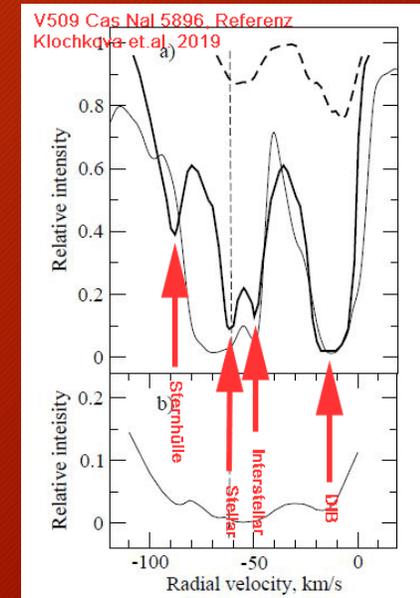
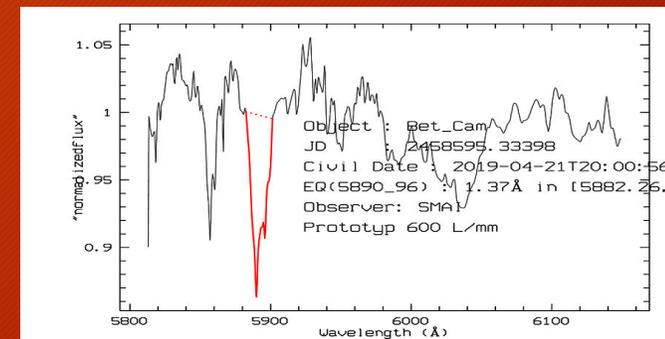
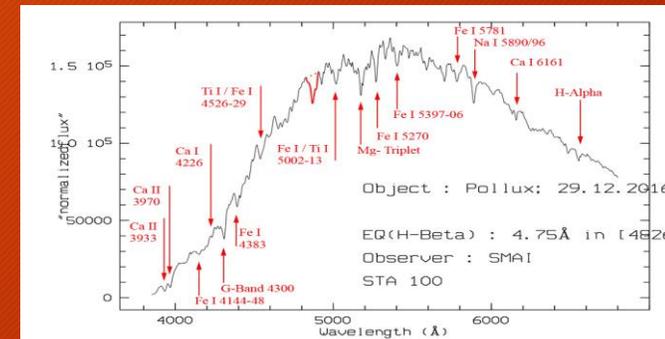
- Das Spektrum 2D/1D
- Dispersion ist die Länge der Abbildung des Spektrums auf dem Kamerachip, kleines D = hohe Dispersion
Für Transmissionsgitter: $D = \frac{\cos\beta * 10^7}{n * N * L}$ A/mm
 β = Ausgangswinkel für STA 100 = 3,7° bei 650nm
($\sin\beta = n * N * \lambda$) für STA 200 = 7,5°
 $\cos\beta$ für 3,7° bzw. 7,5° ~ 0,99
n = Anzahl der gebeugten Ordnung, in der Regel = 1
N = Anzahl der Gitterlinien pro mm
L = Abstand zwischen Gitter und Kamerachip
z.B. für L = 100mm D = 990 A/mm



Worüber sollte man Bescheid wissen

Theorie

- Auflösung
- Spektrale Auflösung definiert als kleinster Abstand zwischen benachbarten Spektrallinien bei einer bestimmten Wellenlänge
- Dimensionslose Zahl $R = \lambda/\Delta\lambda$
- Niedrig auflösende Spektroskopie $R = 100 - 1000$, Amateur Einstieg, Spektrographen: Staranalyser, einfache Selbstbauten
- Mittlere Auflösung $R = 3000 - 10.000$, Amateur zielgerichtete Beobachtung, Dados, Alpy, UVEX
- Hohe Auflösung $R > 10.000$, Übergang erfahrene Amateure / Profiastronomie, Lhires, Echellespektrographen



Das Einstiegsmodell, der Staranalyser 100

Equipment

- Am Anfang ohne Spalt
- Transmissionsgitter 100/200 L/mm, 1.25“ Fassung mit Gewinde, vielseitig einsetzbar, ideal als Einstieg in die Spektroskopie
- Vorteile: Einfacher Geräteaufbau mit bereits vorhandenen Komponenten realisierbar, Einfache Aufnahmetechnik, Einfache Auswertung mit schnell erlernbarer Software, Wissenschaft selbst nachvollziehen, Erste Erfolge sind motivierend, Kostengünstig
- Nachteile: Durch fehlenden Spalt unterliegt das Spektrum starken Seeingeinflüssen in Abhängigkeit von der Belichtungszeit, Himmelshintergrund stört, exakte Wellenlängenkalibrierung schwer, Spektren beschränken sich auf stark ausgeprägte Linien, nach ersten Erfolgen möchte man gern „mehr“, die dann zu nehmenden Hürden sind deutlich höher



Das Einstiegsmodell, der Staranalyser 100

Equipment

- . Einsatz im Fokus des Teleskops mit DSLR-Kamera, beeinflussende Faktoren:
- . Dispersion in A/Pixel = $\frac{\text{Pixelgröße}}{\text{Abstand Gitter} / \text{Chip} \times \text{Linienzahl Gitter}}$; kleines D = hohe Dispersion
- . Dispersion und Auflösung steigen mit Anzahl der Linien des Gitters
- . Einfluss der Pixelgröße der Kamera, kleinere Pixel ergeben eine höhere Dispersion
- . Einfluss des Abstands Gitter / Chip: Dispersion und Auflösung steigen mit zunehmendem Abstand, Anzahl der pro Pixel eintreffenden Photonen sinkt mit zunehmendem Abstand, längere Belichtungszeiten erforderlich
- . Abbildungsfehler wie Astigmatismus, chromatische Aberration (Gitter mit höherer Linienzahl besitzen einen größeren Ablenkungswinkel) und Bildfeldkrümmung nehmen mit größerem Abstand zu
- . Empfehlung für den Start: Nullte und erste Ordnung sollten die Aufnahme ausfüllen
- . Waagerechte Ausrichtung des Spektrums auf dem Kamerachip, bei der Drehung eines diagonal aufgenommenen Spektrums zur Bearbeitung werden Dispersion und Auflösung verschlechtert



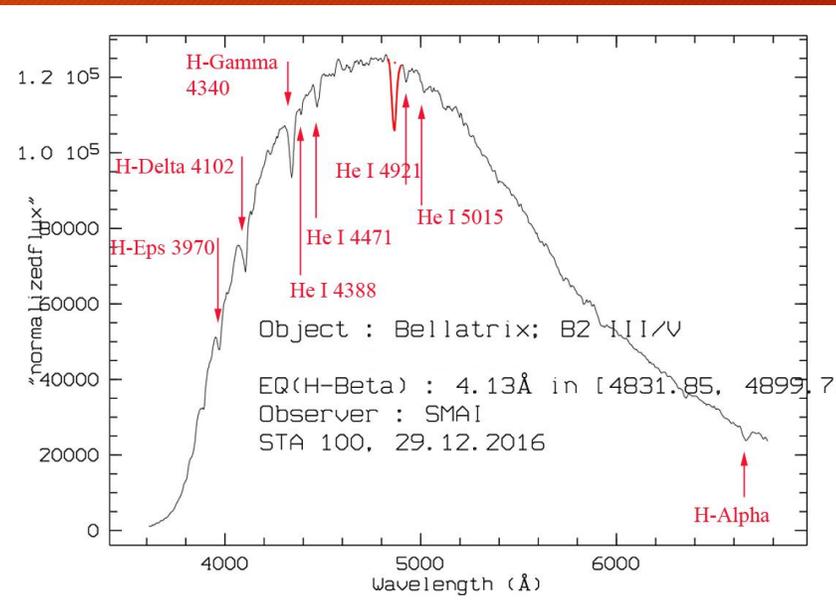
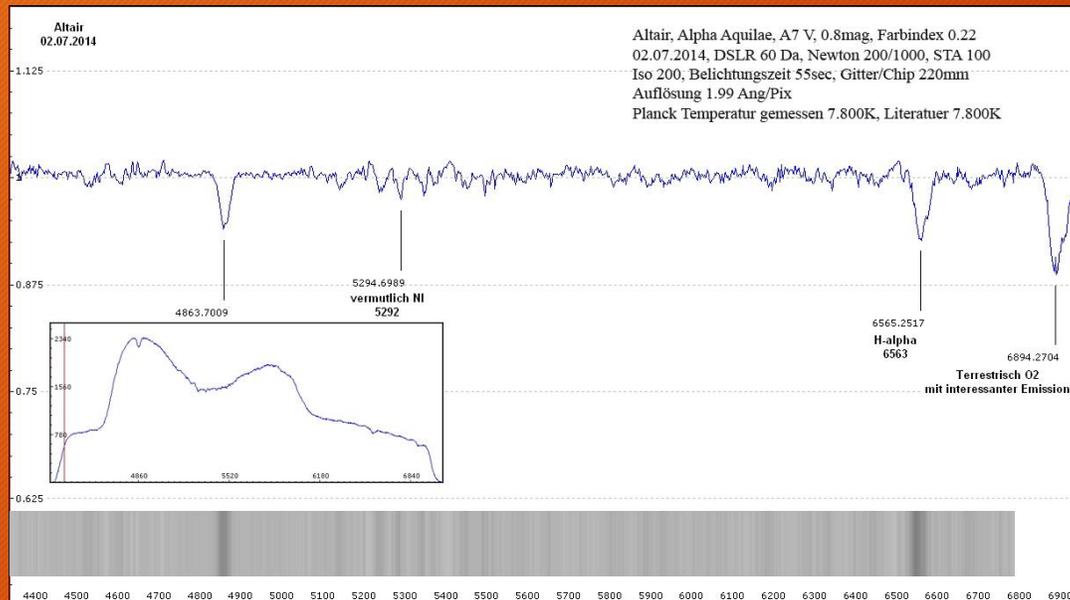
Das Einstiegsmodell, der Staranalyser 100

Equipment

Einfluss der Teleskopbrennweite: kurze BW erzeugt kleine Sternscheibchen, bestimmt entscheidend die spektrale Auflösung, Empfehlung: unter 1.000mm BW bleiben

Öffnungsverhältnis Teleskop ($F = BW/\text{Öffnung}$): Abbildungsgröße und Auflösung steigen mit kleinerer F- Zahl (Verringerung der Teleskop-BW w.v.), allerdings steigen auch die Abbildungsfehler mit kleinerem F. s. unten

Was ist am Anfang für die Qualität des Spektrums zu erwarten? Linien mit großer Intensität z.B Wasserstofflinien der Balmerserie, terrestrische Linien, das Natriumdoublett sind gut erkennbar, Linien geringer Intensität lassen sich nur schwer zuordnen



Einfluss Öffnungsverhältnis
 $R = m \cdot k \cdot L$
 $m = \text{Anzahl Gitterlinien}$
 $k = \text{Beobachtete Ordnung}$
 $L = D \cdot \frac{d}{F} = \frac{d}{N}$
 $D = \text{Teleskopöffnung}$
 $d = \text{Abstand Gitter/Chip}$
 $F = \text{Brennweite Teleskop}$
 $N = \text{Öffnungsverhältnis}$
 Großes L resultiert aus großem d und kleinem N

Das Einstiegsmodell, der Staranalyser 100

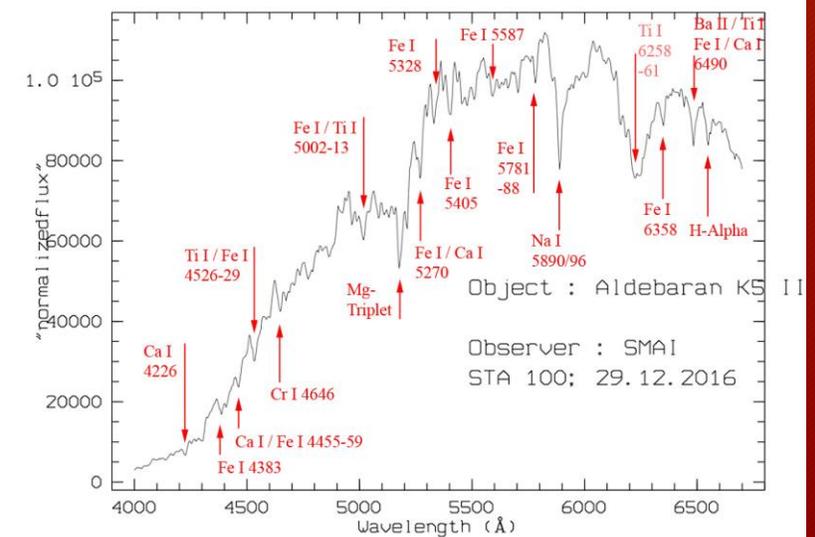
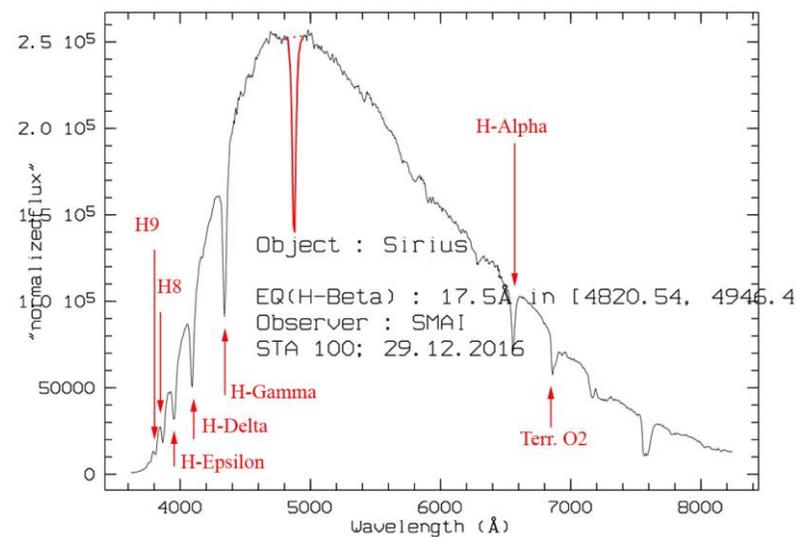
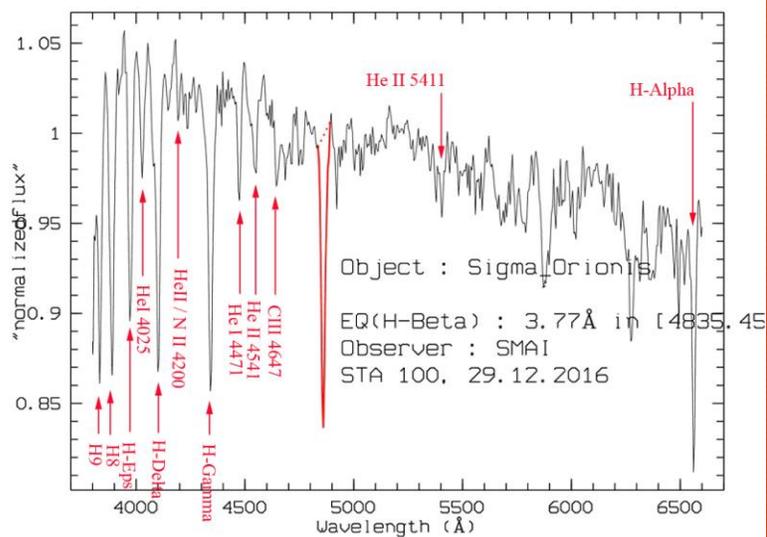
Equipment

- Möglichkeiten, die Qualität des Spektrums zu verbessern
- Erster Schritt:
 - . Der Einsatz einer gekühlten S/W-CCD-Kamera verbessert die Abbildungsqualität erheblich. Die Farbmatrix (Bayer-Array) der CMOS-Farbchips verringert die Aufnahmequalität deutlich
 - . Vermutlich sind die in der DSLR vor dem Chip enthaltenen Filter verantwortlich für die Blockierung von Teilen der Wellenfront des aufgenommenen Spektrums.
- Zweiter Schritt:
 - . Einbau eines Keilprismas im Strahlengang vor dem STA 100, hierdurch wird der Ablenkungswinkel des STA 100 von $3,7^\circ$ korrigiert und der Farbfehler (chromatische Aberration) deutlich vermindert.
- Ist ein Spalt sinnvoll?
 - . Im Unterschied zu Reflexionsgittern bei denen der Langspalt senkrecht auf dem Stern platziert wird, ist es bei Transmissionsgittern nur sinnvoll den Spalt horizontal über dem Spektralstreifen anzuordnen um den Himmelshintergrund und Helligkeitseinflüsse der Umgebung zu reduzieren. Das Ergebnis kann von experimentierfreudigen Sternfreunden gecheckt werden.

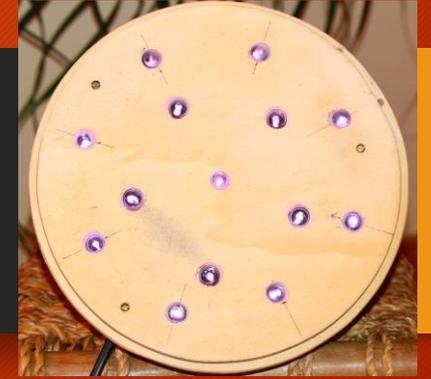
Das Einstiegsmodell, der Staranalyser 100

Equipment

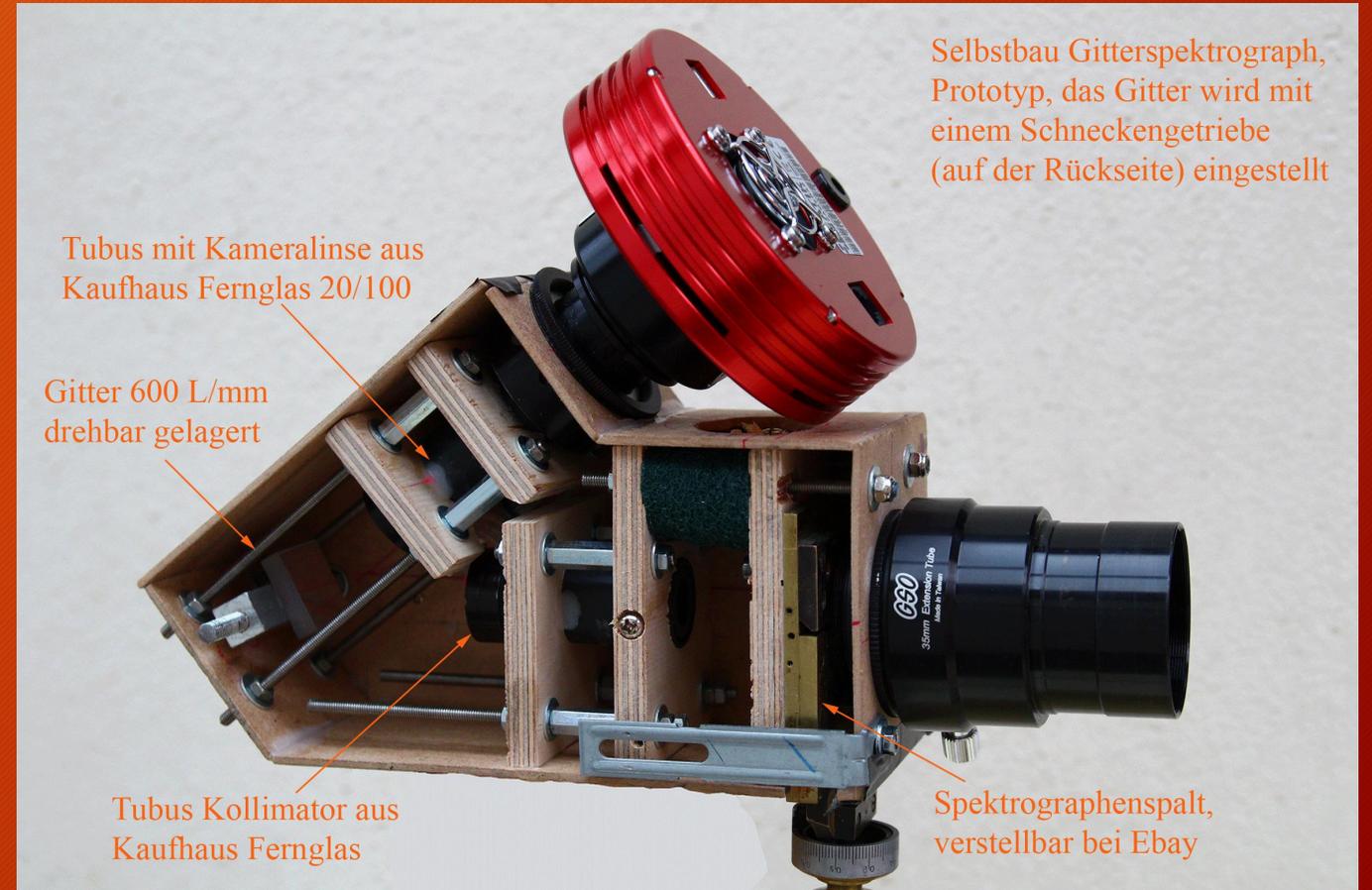
- Beispiele für Aufnahmen mit:
 - . CCD Atik 314 L+
 - . STA 100 mit Keilprisma
 - . Newton-Teleskop 1000/200mm
 - . Sigma Orionis O9.5 V (5 x 5s), Sirius A1 Vm (5 x 0.5s), Aldebaran K5 III (5 x 1s)



Der nächste Schritt, ein Eigenbau



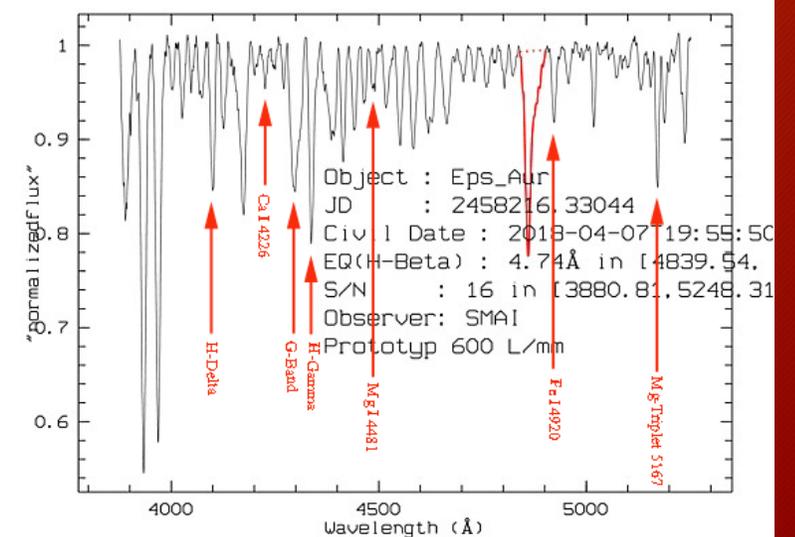
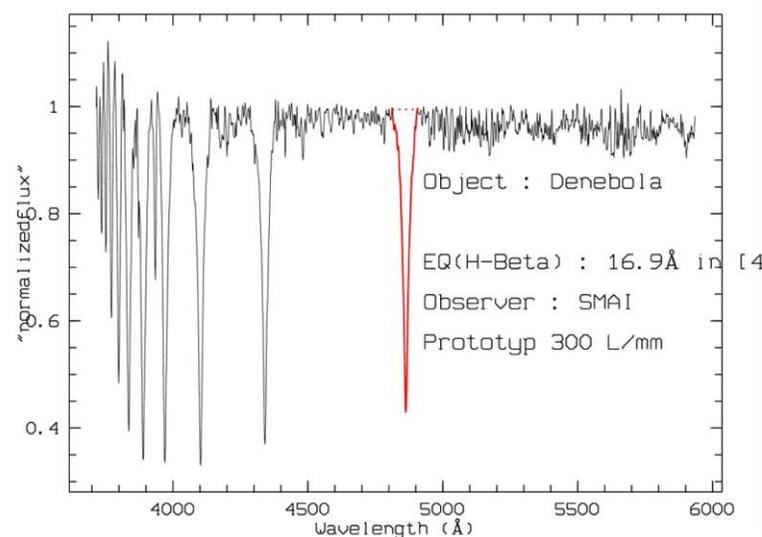
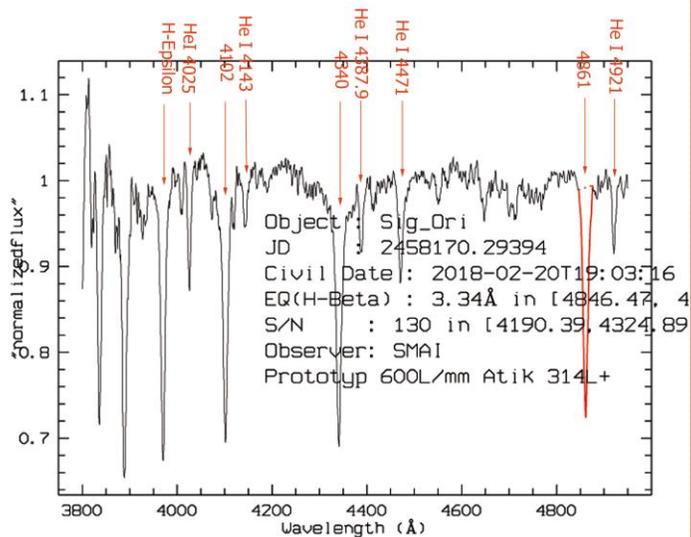
- Klassisches Design, nun mit Reflexionsgitter, erst 300, später 600 L/mm
- Totaler Winkel Kollimator / Kamera = 38°
- Atik 314 L+, Pixel $6,45 \times 6,45 \mu\text{m}$, Chiplänge 1392Pix
- Auflösung $R = 500$ (300L/mm) und $R = 1000$ (600L/mm)
- Stern 6. Größenklasse, bei 300s Belichtungszeit SNR = 300
- Binning 2×2 , Sampling = 2.11
- Wellenlängenbereich 1442 Å



Der nächste Schritt, ein Eigenbau

Equipment

- Beispiele für Aufnahmen mit:
 - CCD Atik 314 L+
 - „Prototyp“ 300/600 L/mm
 - Newton-Teleskop 1000/200mm
 - Sigma Orionis O9.5 V (5 x 200s), Denebola A3 V (1 x 5s), Epsilon Aurigae F0 Ia (2 x 200s)



Das Objekt im Visier

Die nächtliche
Prozedur

- Tipps zur Aufnahmetechnik für Spektralaufnahmen mit dem STA 100
 - . Der Abstand Gitter / Chip des Aufnahmesets ist unter Berücksichtigung der Teleskopbrennweite, des verwendeten Gitters, der Pixelgröße und der Chipgröße angepasst
 - . Hilfreich ist ein parallel zum Aufnahmeteleskop ausgerichtetes Leitrohr mit Fadenkreuzokular mit dem das Objekt zentriert werden kann
 - . Live View einrichten, bei DSLR oft vorhanden, sonst mittels Kamerasoftware und PC, bei CCD-Kamera Maxim DL oder der Herstellersoftware Verbindung herstellen
 - . Fokussieren der Aufnahme auf den gewünschten Spektralbereich, nicht auf die 0. Ordnung
 - . Testaufnahme starten
 - . Spektralaufnahmen auf Sättigung und Qualität prüfen, Maxim DL, Fitswork, FitsView, Rspec
 - . Schärfereinstellung korrigieren, Belichtungszeit anpassen, für Objekte geringerer Helligkeit Binning verwenden, es verkürzt die Belichtungszeit und verbessert in der Regel das Sampling.

Das Objekt im Visier

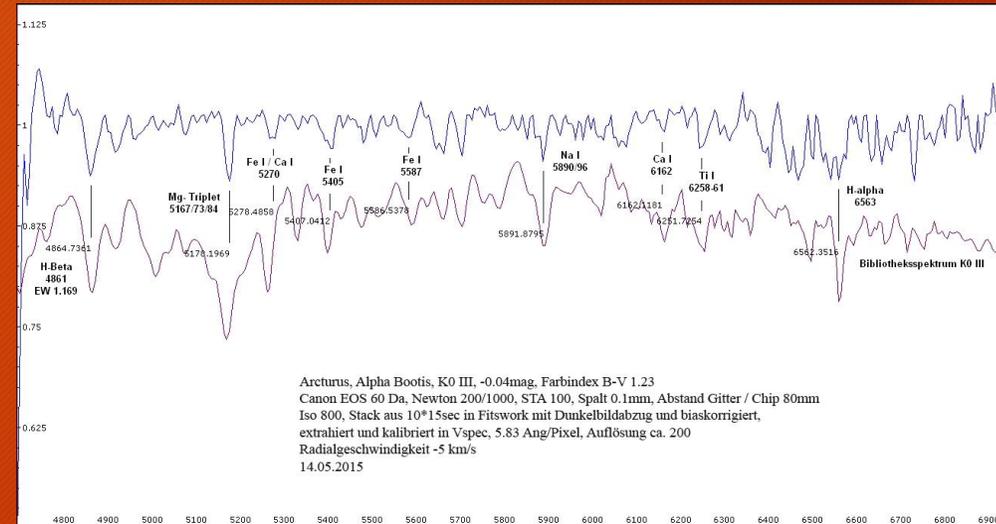
Die nächtliche
Prozedur

- . Evtl. Guiding starten
- . Bildserien aufnehmen, 5-10 Stk
- . Evtl. einen A-Stern aufnehmen, an Hand der einfach in der Wellenlänge zu kalibrierenden Wasserstofflinien kann die Dispersion bestimmt werden und auf das eigentliche Spektrum angewendet werden.
Mit Hilfe der 0. Ordnung ist das Spektrum dann leicht zu kalibrieren.
- . Bei einer Aufnahmedauer bis 30s sind je nach Kameramodell in der Regel keine Darks erforderlich.
- . Müssen Darks angefertigt werden, bei DSLR nicht den automatischen Darkabzug verwenden, dieser verschwendet wertvolle Aufnahmezeit. Darks können beim Zusammenräumen nach der Spektralsession aufgenommen werden.
- . Kann auf die Aufnahme von Flats verzichtet werden? Die Aufnahme von Flats muss gekonnt sein, gute Flats verbessern das Ergebnis - schlechte Flats verschlechtern das Ergebnis wesentlich, im Zweifelsfall lieber auf Flats verzichten.
- . Dateien eindeutig benennen, evtl. ein Logbuch führen, es kommt sonst sehr schnell zu einem Aufnahmewust bei dem man später nicht mehr weiß, welches Objekt im Visier war.

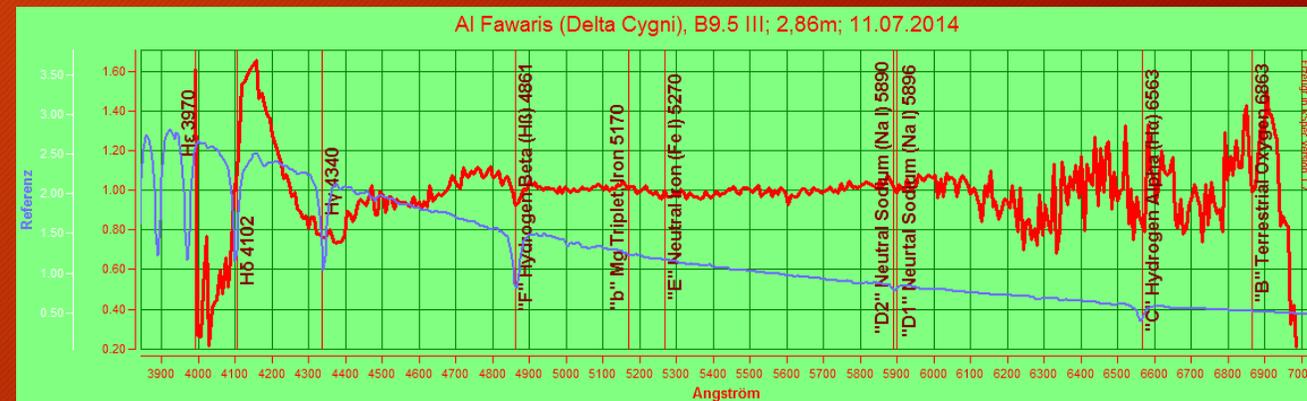
Amateursoftware, Stand Dezember 2022

Software,
Datenreduktion

- Vspec v. Valerie Desnoux, kostenlos, Windows, letztes Update 2019, leicht zu erlernen, vielseitige, mit vielen Funktionen versehene Software, mangelhafte grafische Ausgabe, sehr gut dokumentiert, quittiert Fehleingaben gnadenlos mit einem Programmabsturz (ist das immer noch so?), Online-Hilfe???



- Rspec v. Tom Field, einmalig kostenpflichtig, Windows, letztes Update 07/2022, leicht zu erlernen, gute grafische Ausgabe, viele einfach zugängliche Features, für den Einsteiger besonders empfehlenswert, viele Tutorial-Videos verfügbar,



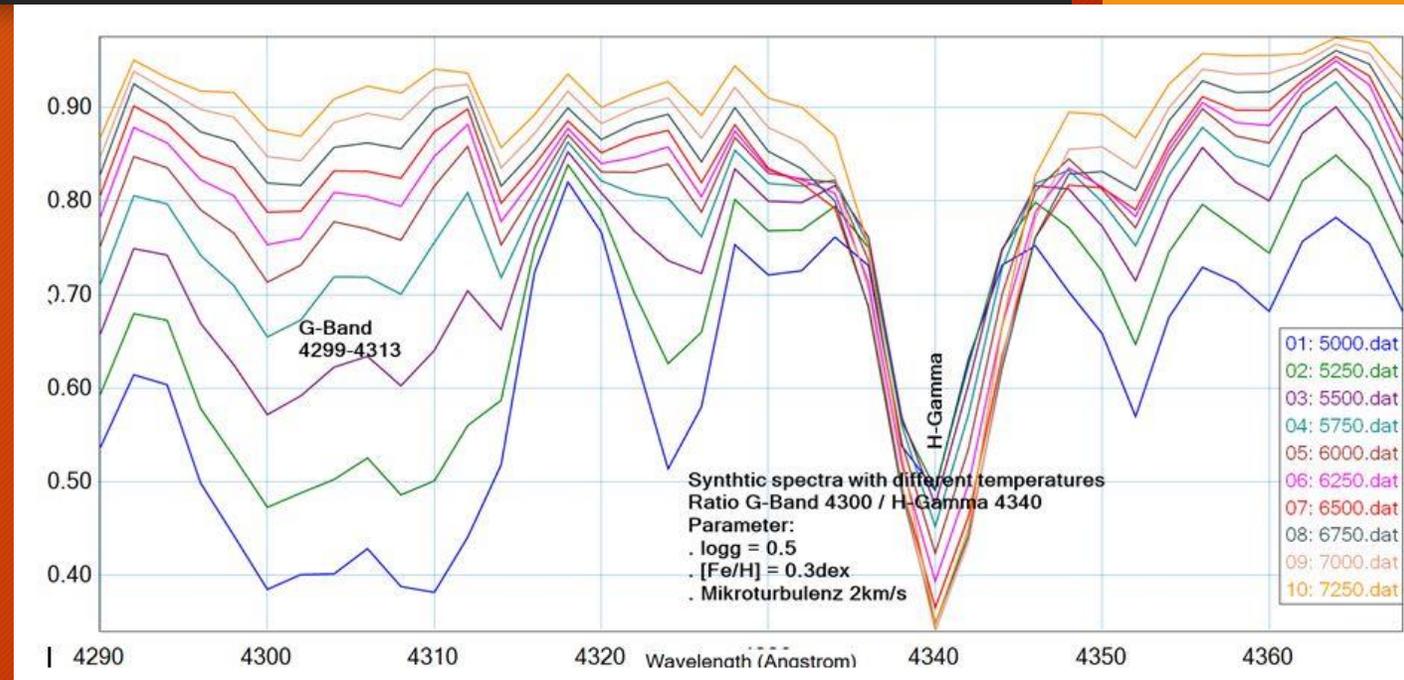
Amateursoftware

Software,
Datenreduktion

• Bass v. John Paraskeva, kostenlos, Windows und Linux (neu), letztes Update 02/2022, die wichtigsten Funktionen sind gut dokumentiert und leicht erlernbar, gute grafische Ausgabe, vielseitige Software auch für den anspruchsvollen Amateur, sehr gute Online-Hilfe über Yahoo-Group

• SpectroCalc2 v. Manfred Schwarz, kostenlos, Windows, Software mit hohen Ansprüchen an die Genauigkeit des Reduktionsprozesses, für den erfahrenen Amateur

• ISIS v. Christian Buil, keine persönlichen Erfahrungen, französische Kollegen genießen einen exzellenten Ruf

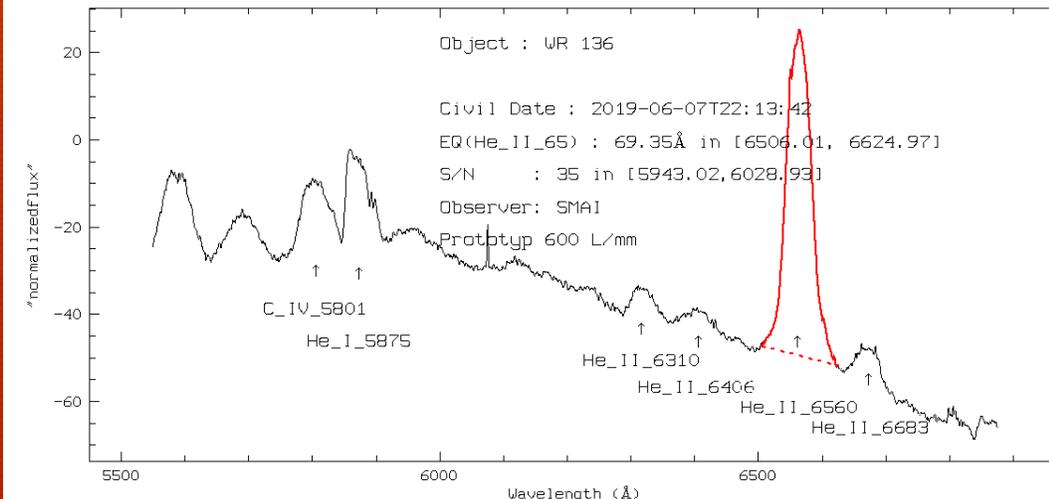
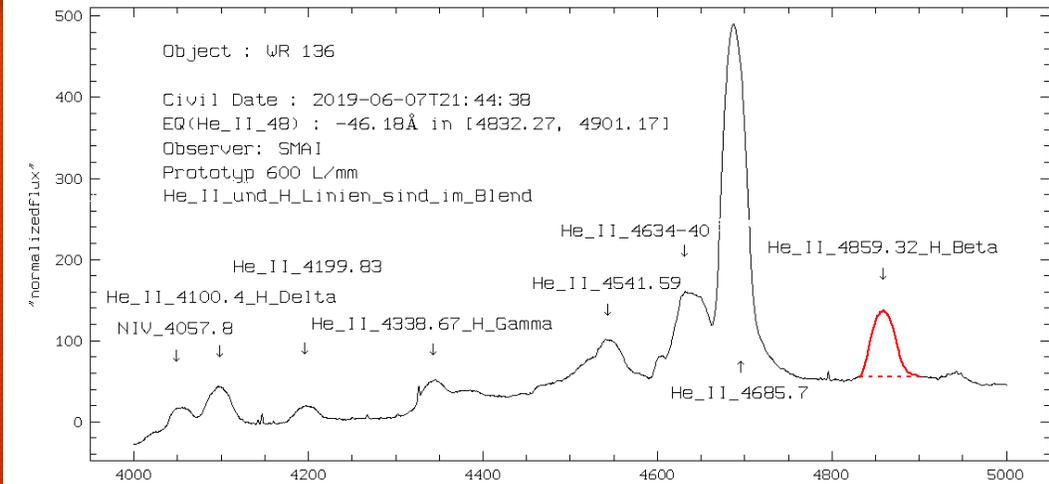


Synthetisch erzeugte Spektrenserie für Supergiants

Professionelle Software

Software,
Datenreduktion

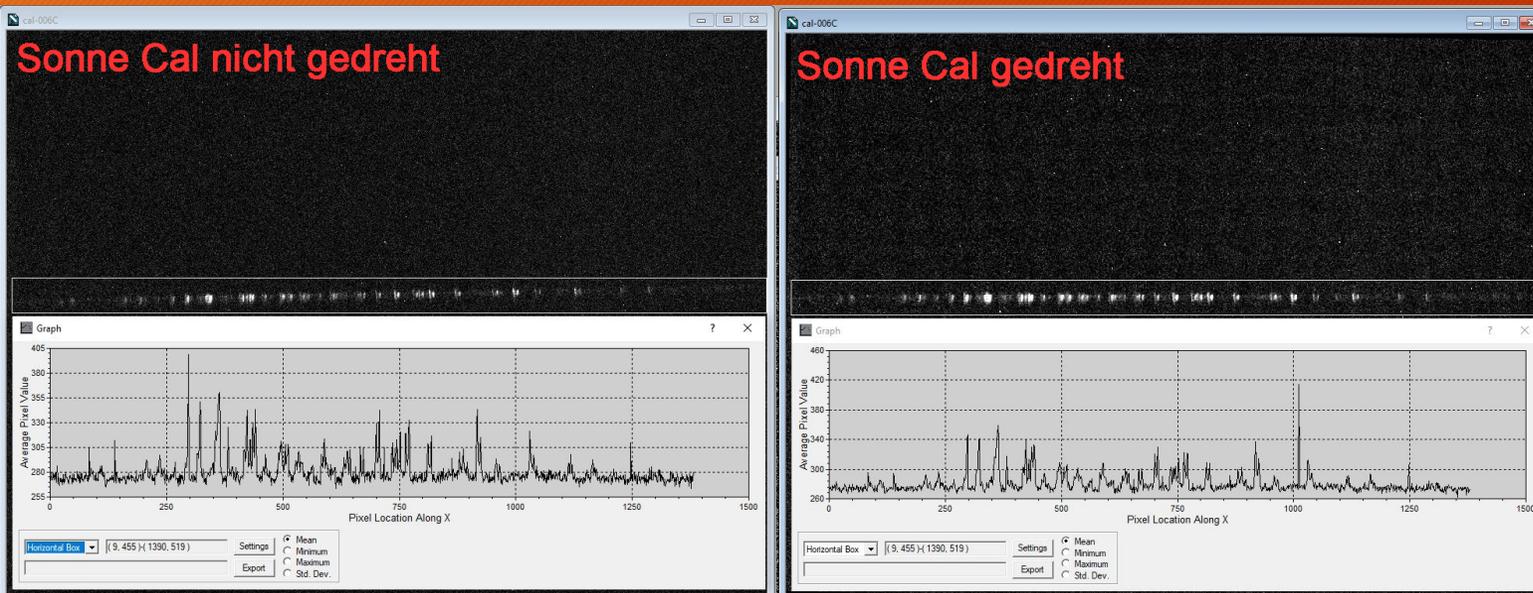
- Midas ESO-Software, kostenlos, Linux, in Fortran 77 programmiert, schwer zu erlernen, sehr vielseitig, sehr gut dokumentiert, gründlich getestet, wird auf Grund vielfältiger Möglichkeiten neuerer Software kaum noch verwendet
- IRAF, keine persönlichen Erfahrungen
- Python, kaum eigene Erfahrungen, ist auf Grund der Vielseitigkeit der Einsatzmöglichkeiten einer der neuen Trends



Was ist von Bedeutung für die Bearbeitung der ersten eigenen Spektralaufnahmen?

Software,
Datenreduktion

- . Bildrotation, so dass der Spektralstreifen waagrecht liegt (bei schlechter Ausrichtung des SA)
- . Bias-/ Darkkorrektur, in Abhängigkeit von Belichtungszeit und Kameramodell (gekühlt/ ungekühlt?)
Bias erleichtert die Darkkorrektur bei unterschiedlicher Belichtungszeit von Light und Dark
- . Flatkorrektur, am Anfang kaum erforderlich, Hände weg von schlechten Flats!
- . Himmelshintergrund abziehen, ebenfalls am Anfang selten erforderlich

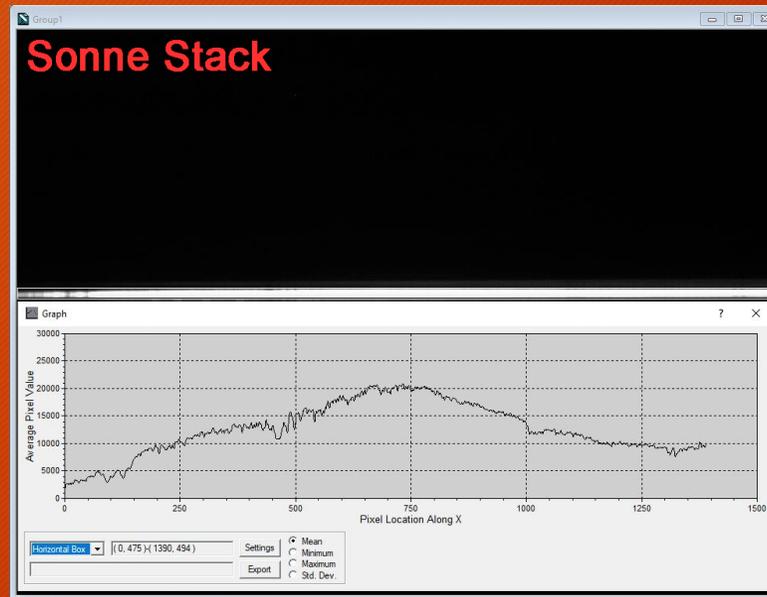


Experimente mit Faser 80 μ m
und Glimmstarter Relco SC480

Was ist von Bedeutung für die Bearbeitung der ersten eigenen Spektralaufnahmen?

Software,
Datenreduktion

- . Stacken der Bilddateien, auf Grund des „Verschwimmens“ in Dispersionsrichtung durch Seeingeinflüsse ist es meistens besser, das beste Einzelbild zu bearbeiten (Lucky Imaging)
- . Ist die Aufnahme eines A-Vergleichssterne vorhanden, dann an diesem die Bearbeitungsschritte wiederholen

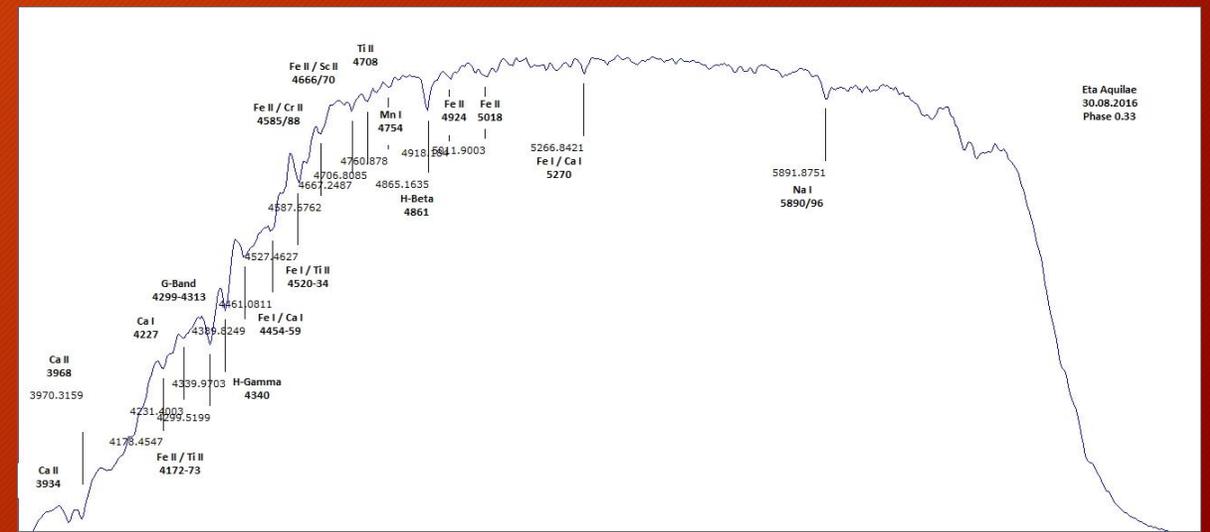
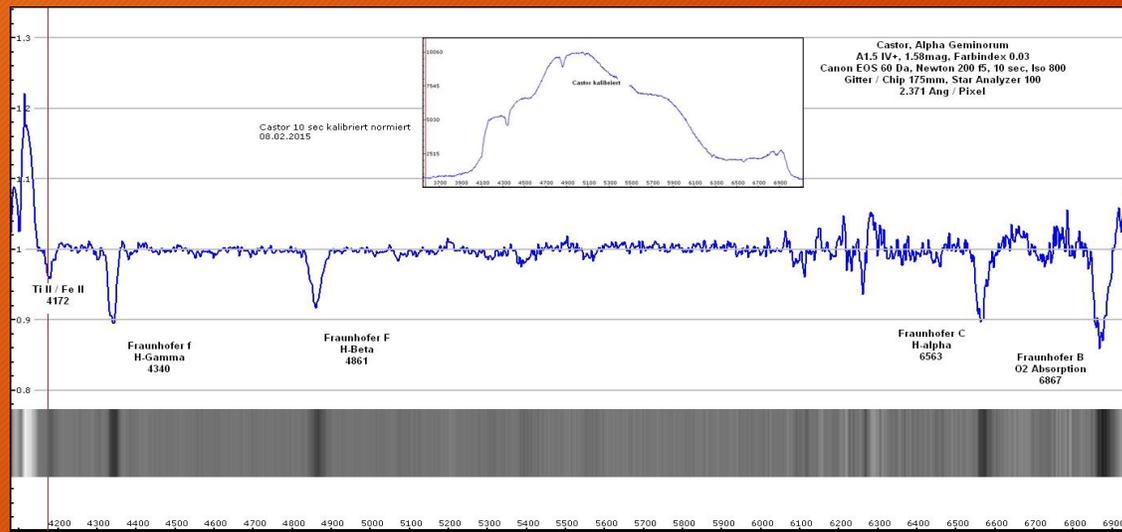


Kalibrierung in der Wellenlänge

Software,
Datenreduktion

Bei spaltloser Aufnahmetechnik besteht nicht die Möglichkeit zur Kalibrierung mit einer Eichlichtquelle.
Eine Messung der Verschiebung von Spektrallinien in der Wellenlänge ist daher nichtmöglich (RV-Messung).

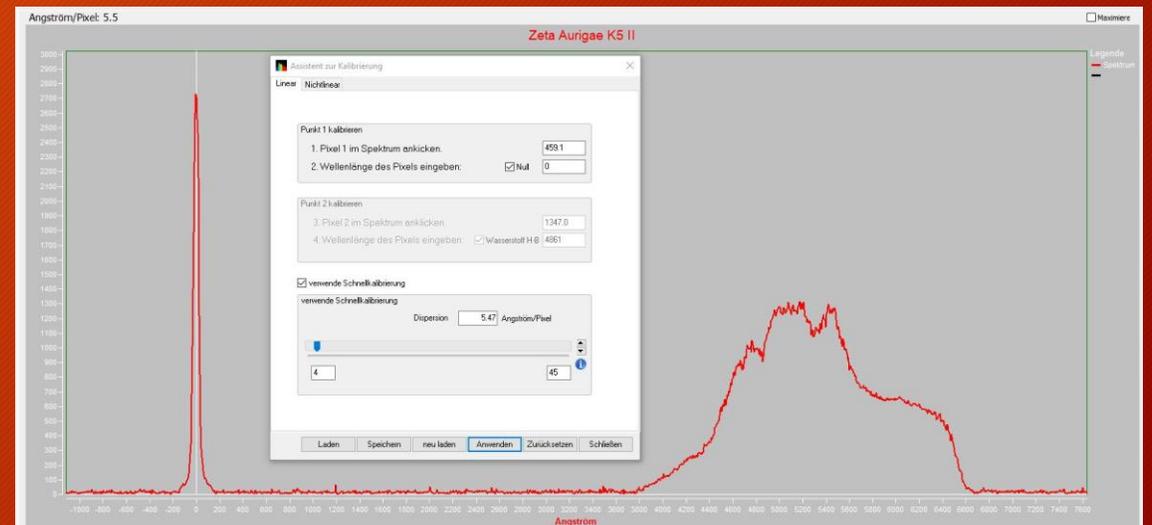
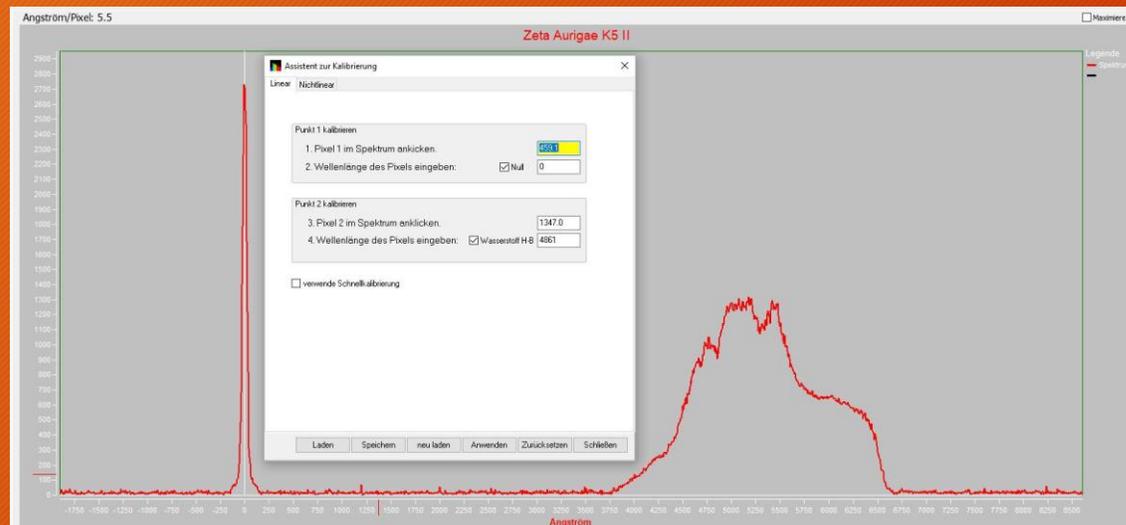
- Kalibrierung mittels interner prominenter Linien
 - Wasserstofflinien der Balmer Serie
 - Terrestrische Linien
 - CaII H-u. K-Linien
 - MK-klassenabhängige prominente Metalle, Fe, Mg, Si usw.



Kalibrierung in der Wellenlänge

Software,
Datenreduktion

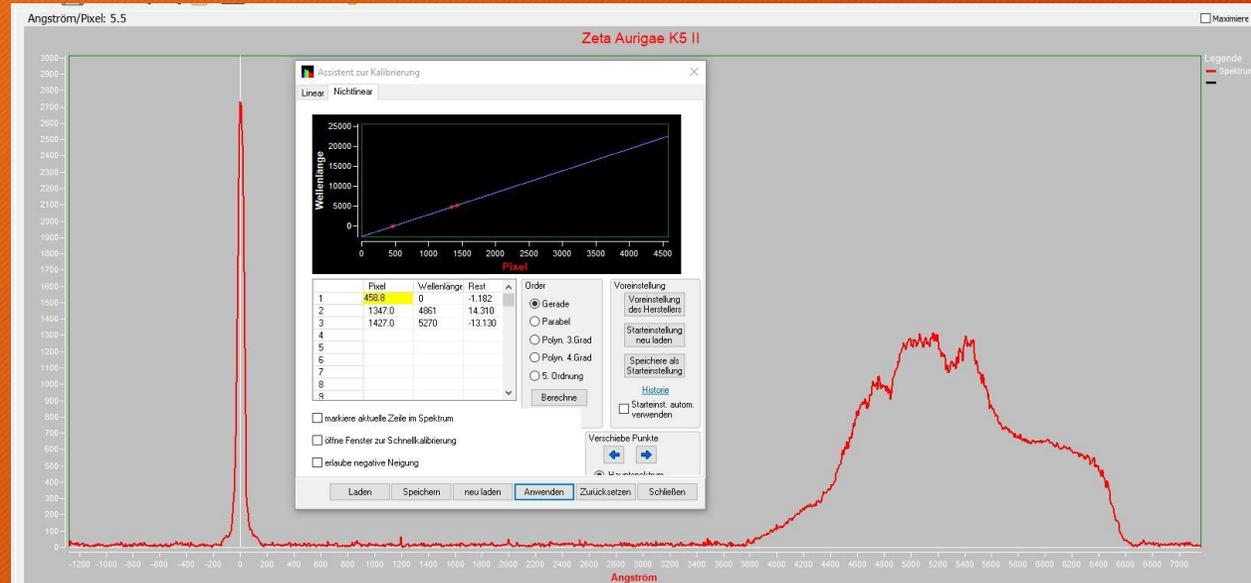
- . 0. Ordnung + 1 bekannte Linie
- . 0. Ordnung und bekannte Dispersion



Kalibrierung in der Wellenlänge

Software,
Datenreduktion

- Mit mehreren bekannten Linien
- Übertragung der Kalibrierung eines bekannten Vergleichssterne



Auswertung der Spektren

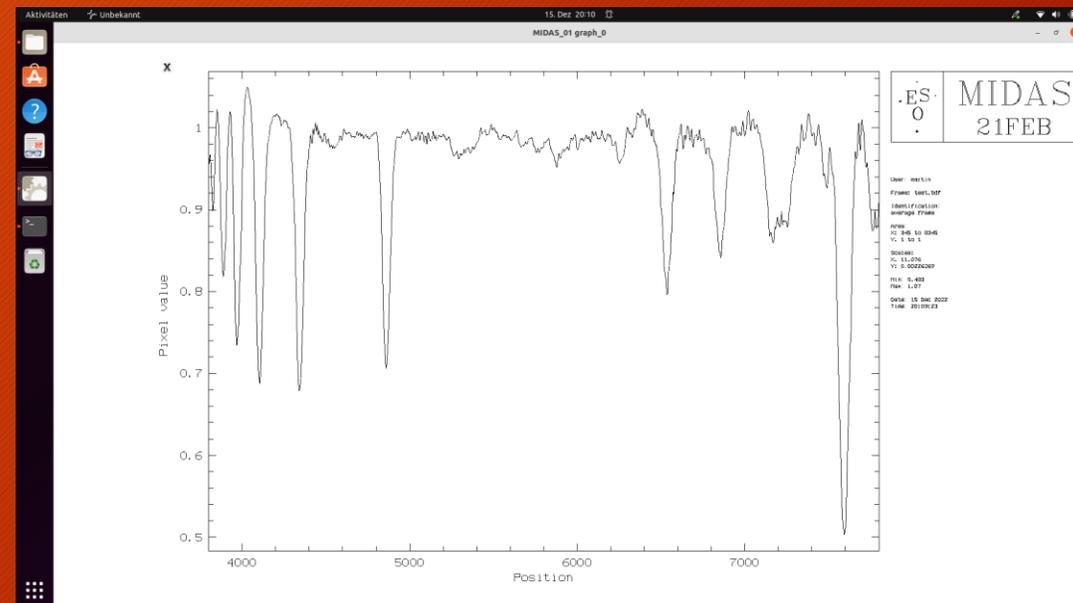
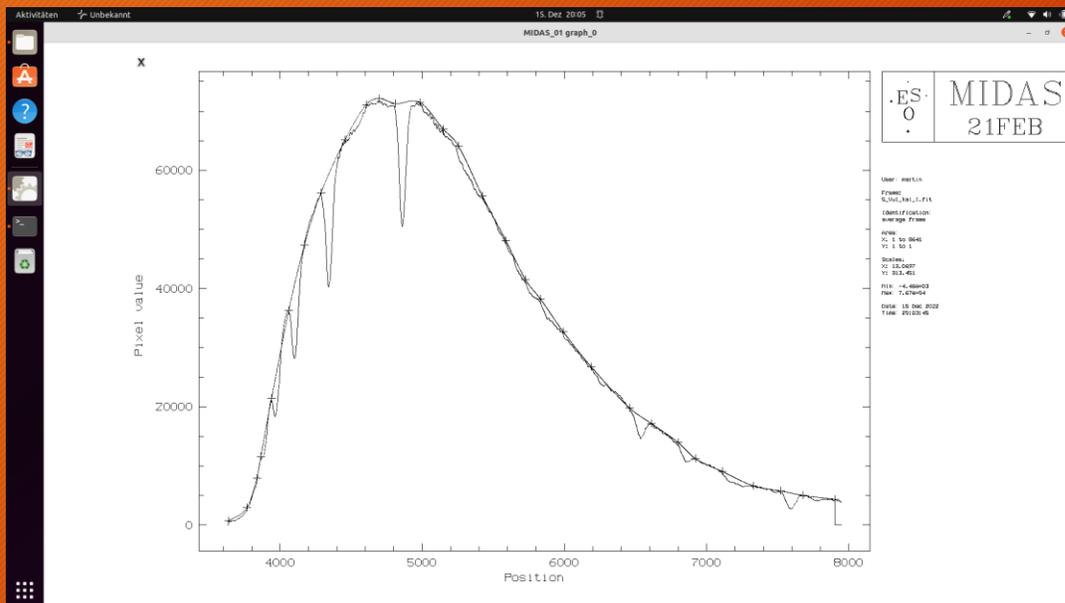
Auswertung
der Spektren

- Bestimmung der Elemente, Klassifizierung der Sternspektren nach Temperatur und Leuchtkraftklasse, MK-System
 - . Spektraltyp nach Temperatur ohne Unterklasse gut möglich
 - . Bestimmung der Leuchtkraftklasse schwierig
- Messung von Äquivalentbreiten
 - . relatives Maß für den Flächeninhalt einer Spektrallinie
- FWHM
 - . Halbwertsbreite auf halber Linienhöhe
- Messung von Linientiefen
- Abschätzung der Temperatur mit dem Wienschen Verschiebungsgesetz
- Voraussetzung: Normierung der Spektren

Normierung auf Eins

Auswertung
der Spektren

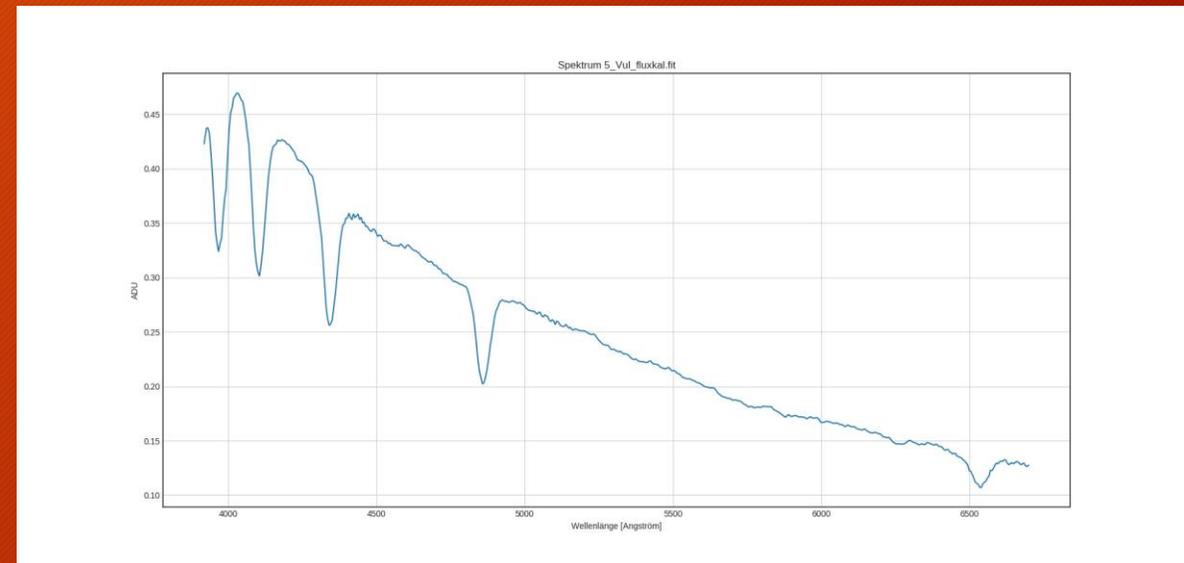
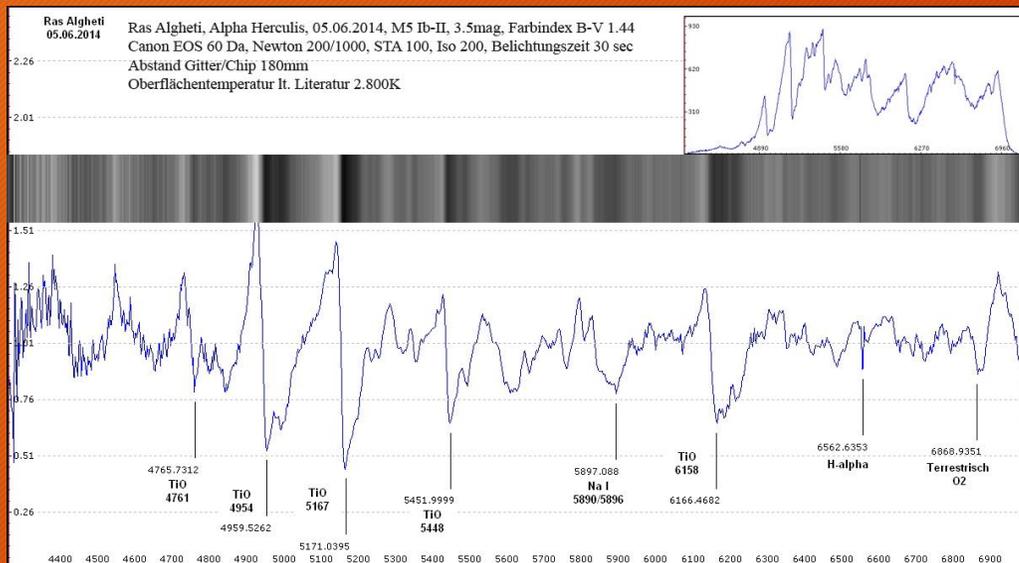
- Für das Messen der Äquivalentbreiten und der Linientiefe ist die Normierung des Spektrums in der Intensität auf einen Wert von 1 erforderlich. Hierzu muss das Spektrum durch sein eigenes Pseudokontinuum dividiert werden. Die Herausforderung besteht in der Bestimmung des Kontinuums, je später die Spektralklasse, umso schwieriger ist die Festlegung.
- Als Beispiel 5 Vulpeculae A0 V



Normierung mit Flusskalibrierung

Auswertung
der Spektren

- Noch zur Normierung auf 1: Beispiel eines M-Sterns mit dem Problem, das Kontinuum zu bestimmen
- Zur Abschätzung der Temperatur mittels des Wien'schen Verschiebungsgesetzes ist es erforderlich das Spektrum vom Instrumentenprofil zu befreien und radiometrisch zu korrigieren. Das geschieht am besten mit einem bereits korrigierten Standardstern einer Datenbank (Miles, Pickles, Uves, Elodie). Von diesem wird das Kontinuum abstrahiert um das eigene aufgenommene Spektrum durch diese Temperaturkurve zu dividieren. Das dabei entstehende Profil ist nun „flusskalibriert“ und das Kontinuum weist jetzt die Temperaturfunktion nach Wien auf und die Sterntemperatur kann mittels Software annähernd bestimmt werden.

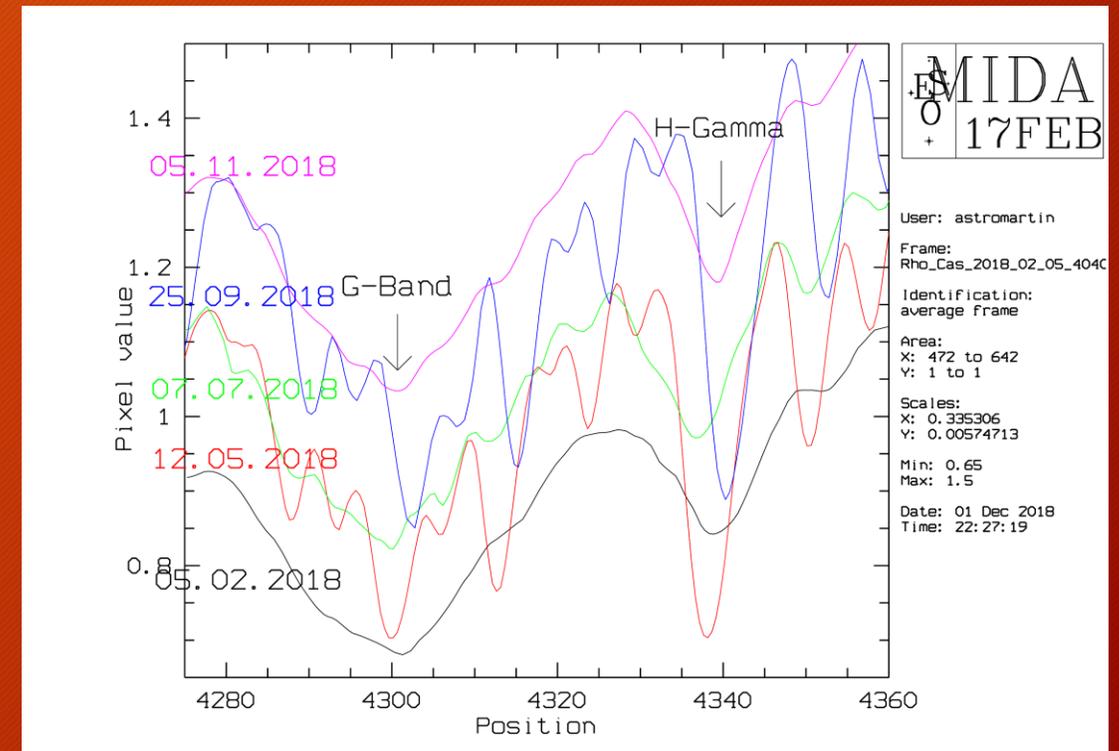


5 Vul

Beobachtungsziele, Sterne

Beobachtungs-
ziele

- Was kann an Sternen beobachtet und gemessen werden?
 - MK-Klassifizierung
 - Bestimmen chemischer Elemente im Spektrum
 - Vergleichen von Linienintensitäten
 - Vergleichen von Äquivalentbreiten
 - Beobachtung veränderlicher Sterne
 - Messreihen von Linientiefen und Äquivalentbreiten
 - Profilveränderungen beobachten
- Was kann nicht beobachtet werden?
 - Radialgeschwindigkeit
 - Nachweis spektroskopischer Doppelsterne



Prototyp 600 L/mm, Atik 314 L+, Newton 200/1000

Beobachtungsziele, Morgan / Keenan - System

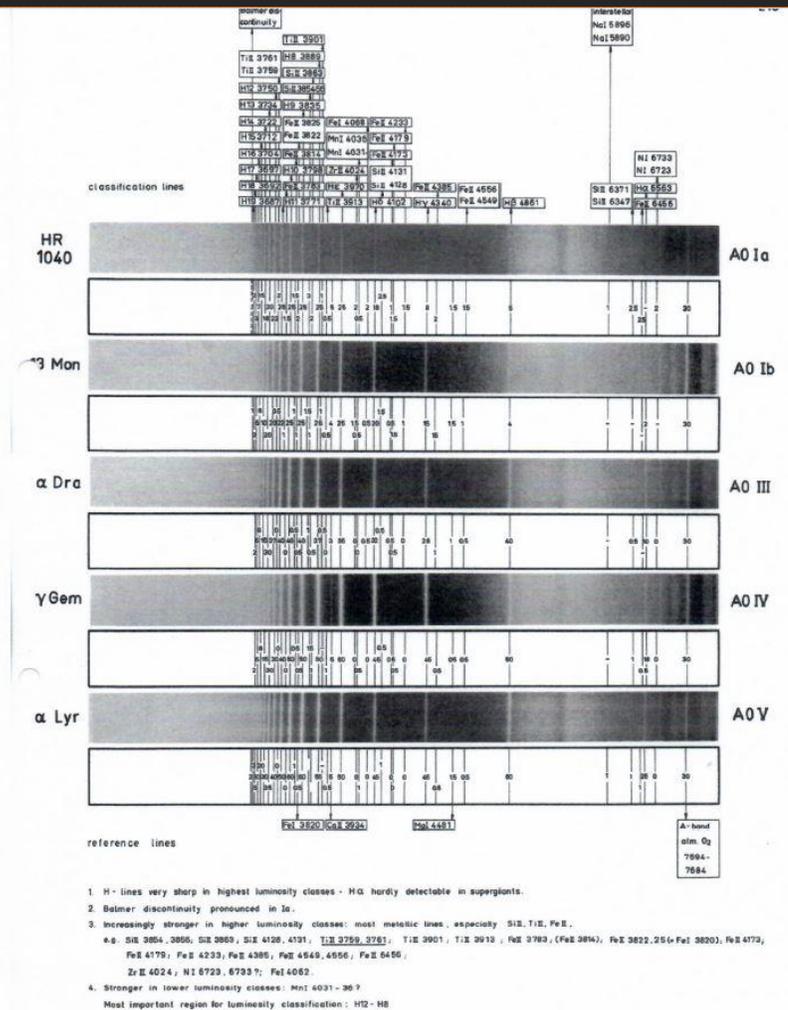
Beobachtungs-
ziele

Stern	Datum	EW	H-Alpha, 6563	Na I, 5890	H-Beta, 4861	Mg II, 4481	H-Gamma, 4340	G-Band CH, 4300	Ca I, 4226	CN, 4216	H-Delta, 4102	Sr II, 4077	Fe I, 4045	Fraunh. K, 3933	Spektral- klasse	LK - Klasse
Vega	09.05.2016	EW			14.40		12.80								A0	V
Vega	02.12.2016	EW	5.70		16.30		15.30				11.90				A0	V
HD 182761	02.12.2016	EW	7.00		12.10		11.10				6.30				A0	V
5 Vul	02.12.2016	EW	13.20		14.70		16.80				13.90				A0	V
Eps Uma	14.04.2016	EW			11.10		5.20								A1	III
Mizar	14.04.2016	EW			16.50		12.60				7.50				A1	V
Mizar	11.05.2017	EW	4.40	0.47	15.50	0.42	12.86		0.36		12.85		0.18	1.69	A1	V
Sirius	29.12.2016	EW	10.75		17.50		14.20				14.60				A1	V
Castor	29.12.2016	EW	7.80		15.80		16.70				14.40				A1	V
HD 182972	02.12.2016	EW	4.90		18.90		16.20				22.60				A1	V
Menkalina	27.03.2017	EW			14.40	0.25	10.80		0.10		11.10		0.50	1.50	A1	IV-V
Deneb	12.11.2016	EW		1.10	3.50	0.70	2.00	1.00			2.10				A2	Ia
HD 182620	02.12.2016	EW	5.20		14.70		11.10				7.20			0.50	A2	V
Denebola	08.04.2016	EW			17.60		11.40				3.50				A3	V
Denebola	05.05.2016	EW			17.20		15.20				6.95				A3	V
Denebola	17.04.2017	EW			16.90	0.56	19.00				18.80		0.06	2.86	A3	V
RR Lyn	30.12.2016	EW	8.36	1.32	14.25	0.51	12.42				12.80			0.44	A3	Vm
Delta Cas	28.01.2017	EW		0.14	12.80		10.30				8.10			2.50	A5	IV
Alkor	08.04.2016	EW			26.50										A6	V
Altair	05.09.2016	EW	8.30		12.90		14.40								A7	V
Altair	02.12.2016	EW	7.70		13.40		12.30				9.10				A7	V
Eps Aur	11.03.2017	EW		1.70	4.80	0.50	2.70	3.70	0.60		1.80		0.34	5.70	A9	Ia
Beta Cas	20.05.2016	EW			7.50										F2	III
Beta Cas	28.01.2017	EW			8.90		5.80	0.70	0.20		8.30			4.90	F2	III
Prokyon	29.12.2016	EW	4.43	2.16	7.50	0.56	3.96	1.90			2.87			5.90	F5	IV-V
Del Cep	21.05.2016	EW		1.46	7.48	0.02	3.57	3.38	0.17		1.16	0.09	0.02	3.77	F5	Ib
Del Cep	22.05.2016	EW		1.85	6.17	0.41	2.52	3.21	0.17		0.85	0.01	0.23	4.62	F5	Ib
Del Cep	24.05.2016	EW		1.91	3.07	0.16	2.38	3.84	0.37		0.44	0.91	0.34	2.22	F5	Ib
Del Cep	25.05.2016	EW		0.68	8.95	0.05	4.63	1.14	0.15		4.38	0.07	0.02		F5	Ib
Del Cep	26.05.2016	EW		1.22	8.35		3.61	2.68	0.29		1.89	0.04		4.96	F5	Ib

Auszug eigener
Messungen von Äquivalenzbreiten
zur Klassifizierung im
MK-System
Aufnahme der Spektren zumeist
STA 100 + CCD Atik 314L+

Beobachtungsziele, Morgan / Keenan - System

Beobachtungsziele



Auszug
Waltraud Seitter
Bonner Spektralatlas 1970

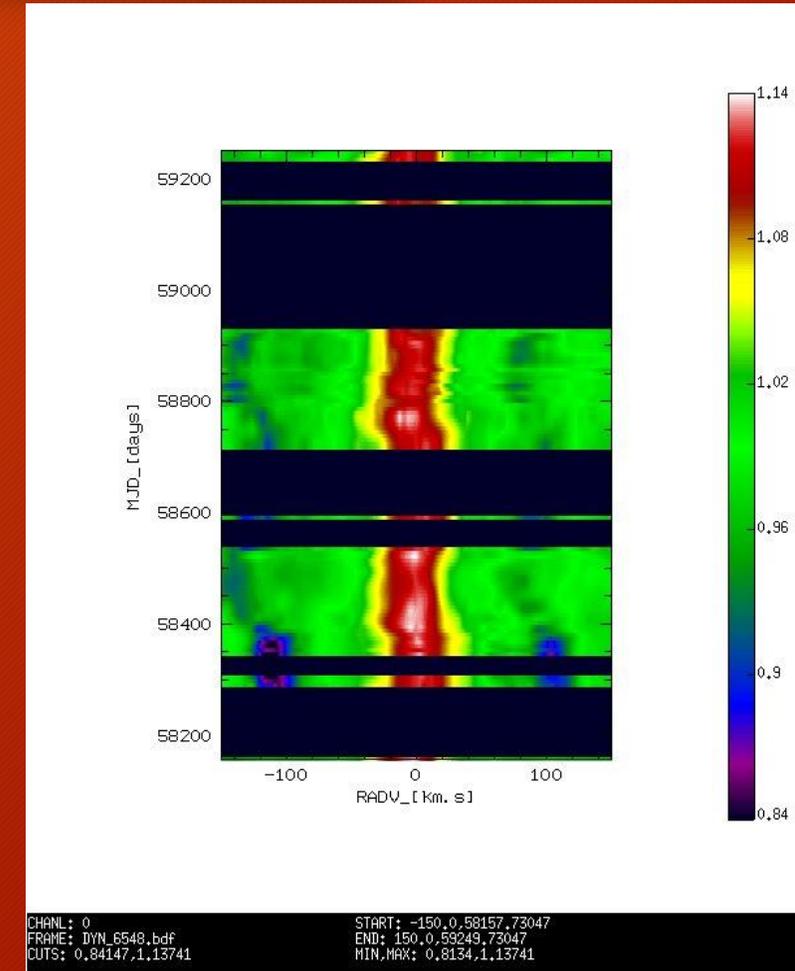
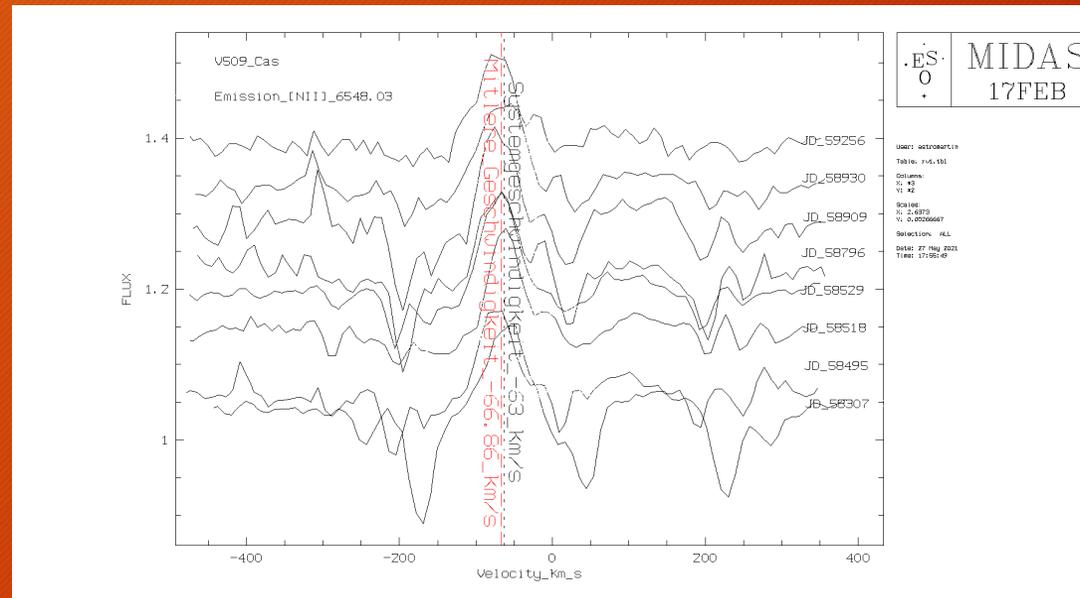
Beobachtungsziele, was geht noch, Ausblicke hochauflösende Spektroskopie

Beobachtungs-
ziele

- Supernovae beobachten
 - . Elemente bestimmen und damit auf den Typ der SN schließen
 - . Messreihen von Linientiefen und Äquivalentbreiten
- Emissionsnebel, Galaxien, Quasare
 - . Aufzeichnen von Emissionen und Bestimmen der Elemente
 - . Messen und Berechnen von Rotverschiebungen
- Ausblicke:

V509 Cas
[NII] 6548
Dynamisches
Spektrum

V509 Cas
[NII] 6548
im Geschwindigkeitsraum



Weniger ist am Anfang mehr, erste Empfehlungen

Literatur-
angaben

- Richard Walker (neuere Versionen vorbehalten)
 - . Praktische Aspekte der Spektroskopie 2.0 v. 02/2014
 - . Spektralatlas für Amateurastronomen 5.0 v. 04/2014
 - . Analyse und Interpretation astronomischer Spektren 9.1 12/2013
- Uwe Zurmühl
 - . Transmission Gratings - Resolution Optimization for Convergent Beam Setups, Webseite der FG Spektroskopie, Journal 51/2016
 - . Objective Gratings for Amateurs, Webseite w.v., Journal 55/2019
- Bernd Bitnar
 - . Spektroskopie von Quasaren mit hoher Rotverschiebung, Webseite w.v., Journal 53/2018