

1 Berechnung und Konstruktion

Paramètres télescope			Paramètres spectrographie			Paramètres CCD		
Diamètre (D) :	127	mm	Focale collimateur (f1) :	135	mm	Taille d'un pixel (p) :	9	microns
Focale (f) :	1016	mm	Focale caméra (f2) :	135	mm	Nombre de pixels (Nx) :	768	
F/D (F#) :	8		Nombre de traits / mm (m) :	1200		RQE (h) :	54	%
Obstruction centrale (e) :	0,22		Ordre de diffraction (k) :	-1		Bruit de lecture (RON) :	18	e-/pixel
Transmission télescope (To) :	0,85		Angle total (g) :	45	°	Signal thermique (Nd) :	0,1	e-/s/pixel

Longueur d'onde calage (λ_0)	Angle d'incidence (a)	Angle de diffraction (b)	Dispersion	Lambda min. (l1)	Lambda max. (l2)	FWHMD	FWHMT	Pouvoir de résolution	Finesse spectrale (DI)
			A/pixel	A	A	microns	microns		A
4000	7,4	-37,6	0,44	3831	4169	4,0	30,3	2696	1,48
4500	5,5	-39,5	0,43	4335	4665	4,6	30,9	3055	1,47
5000	3,6	-41,4	0,42	4840	5160	5,3	31,6	3421	1,46
5500	1,6	-43,4	0,40	5345	5655	6,1	32,3	3796	1,45
6000	-0,4	-45,4	0,39	5850	6150	6,8	33,1	4180	1,44
6500	-2,5	-47,5	0,38	6356	6644	7,7	34,1	4575	1,42
7000	-4,5	-49,5	0,36	6862	7138	8,6	35,1	4982	1,41

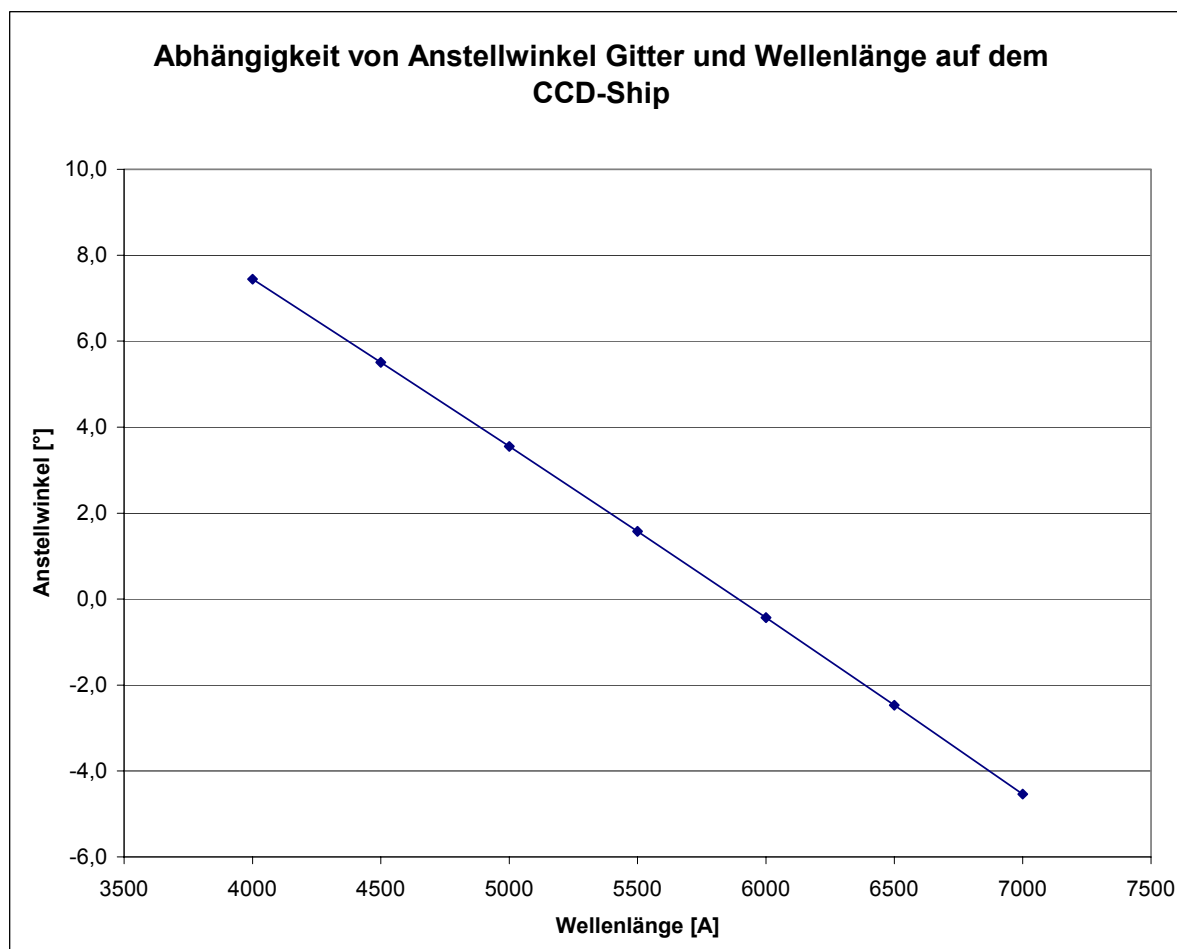


Abbildung 1 Darstellung des vorausberechneten Strahlenverlaufs

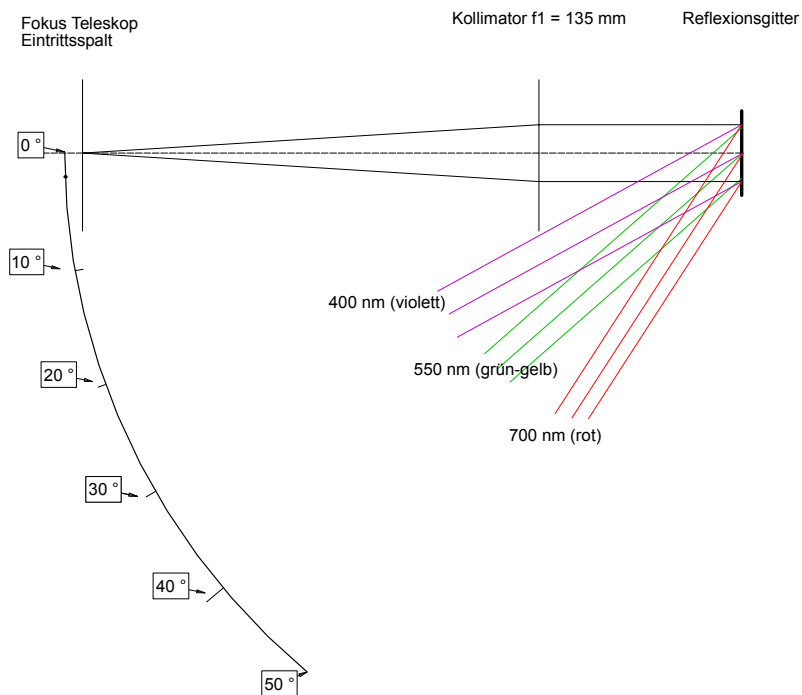
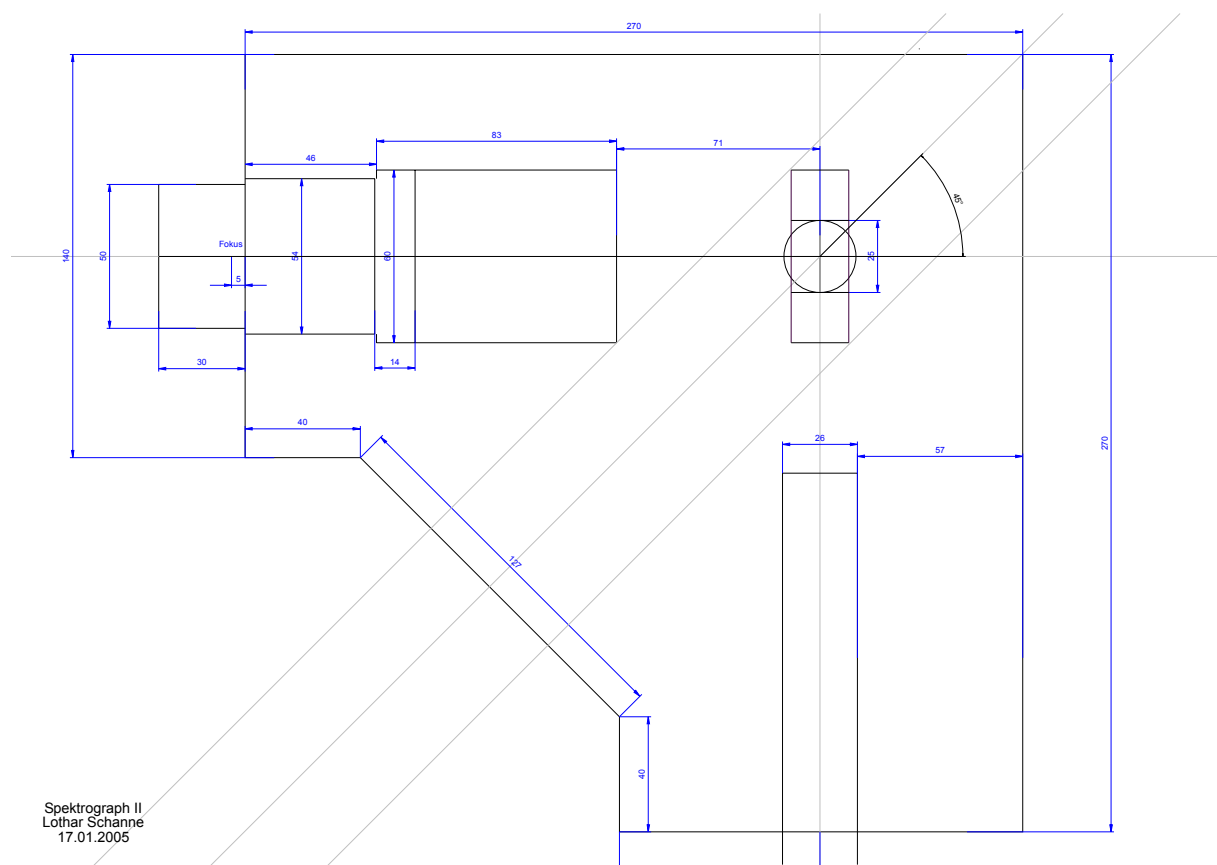


Abbildung 2 Umsetzung der theoretischen Konstruktionsprinzipien in eine bemaßte Zeichnung



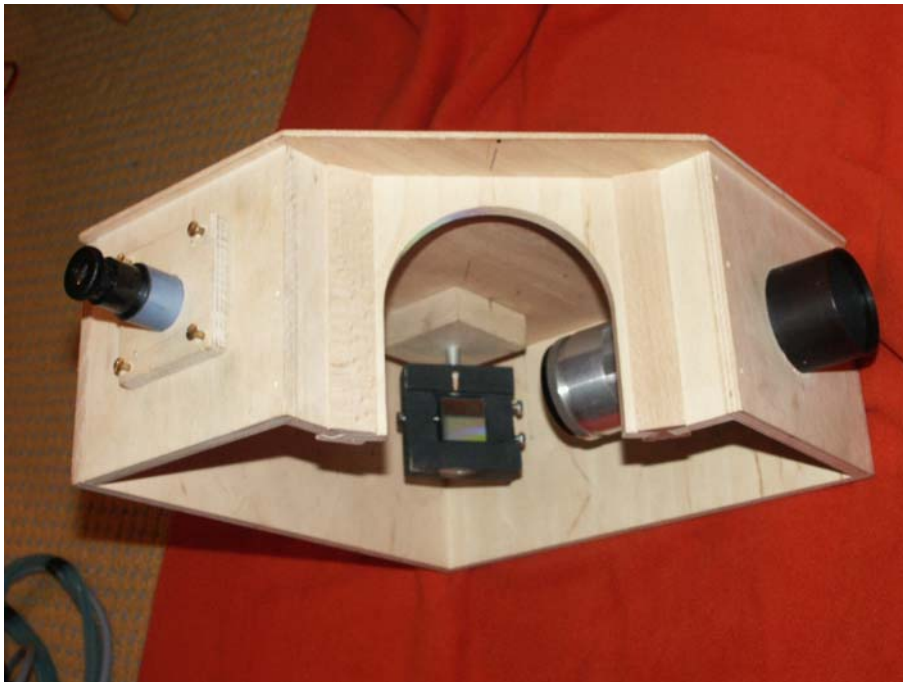
2 Bau

Das Sperrholzgehäuse ist ein Häuschen für kleine Nagetiere aus der Zoohandlung. Es hat genau die richtige Form, Größe und Symmetrie. Zwei 50 mm-Bohrungen in den beiden Seitenflügeln der Mäusevilla dienen der Aufnahme des 2"-Steckanschlusses für das Teleskop (Abb. 3, rechts) und das Fokussier- und Zentrierfernrohr (einfacher Sucher, links im Bild). Das große „Hauptportal“ dient zur Aufnahme der Kamera und des zugehörigen Objektivs. In den Schnittpunkt dieser beiden Achsen kommt die Drehachse der Reflexionsgitterhalterung (im Bild in der Mitte sichtbar).

Die Gitterhalterung hat insgesamt 6 Justierschrauben. Drei zur Klemmung in der Halterung und seitlichen Verschiebung (Zentrierung, im Bild zu sehen) und drei auf der Rückseite zum Ausgleich eines Kippfehlers des Gitters (in Abb. 3 nicht zu sehen).

Ein passender Deckel aus 8mm starkem Sperrholz ist schnell ausgeschnitten und mit Schrauben befestigt.

Abbildung 3



Das 135mm-Objektiv wird mit zwei passenden Zwischenringen (T2 und M42) an die Audine-CCD-Kamera geschraubt. Das lichtstarke Pentagon-Objektiv (1:2,8) bildet bei Stellung ∞ auf dem Scharfeinstellring weit entfernte Objekte (Sterne) scharf ab. Dies wurde durch entsprechende Sternfeldaufnahmen mit kurzen Belichtungszeiten < 3 sek getestet und bestätigt.

Die Kamera wird mit einer Sperrholz-Konstruktion und langen Schrauben an den Holzleisten des „Hauptportals der Mäusevilla“ angeklemt. Die Kamera kann so jederzeit leicht aus dieser Halterung entnommen und für andere Zwecke verwendet werden.

Der Kollimator ist ein auf ∞ eingestelltes Zeiss-Jena-Objektiv, ebenfalls mit 135 mm Brennweite, das genau in die 49mm-Bohrung des 2"-Steckanschlusses für das Teleskop passt und mit dem Klemmring festgeklemmt werden kann.

Die optischen Achsen des Kollimators, des Gitterzentrums, des kleinen Suchers und des Kameraobjektivs und CCD-Ship liegen alle auf 1 mm genau in einer Ebene, etwa 63 mm über dem Gehäuseboden.

Abbildung 4



Abbildung 5



Abbildung 6

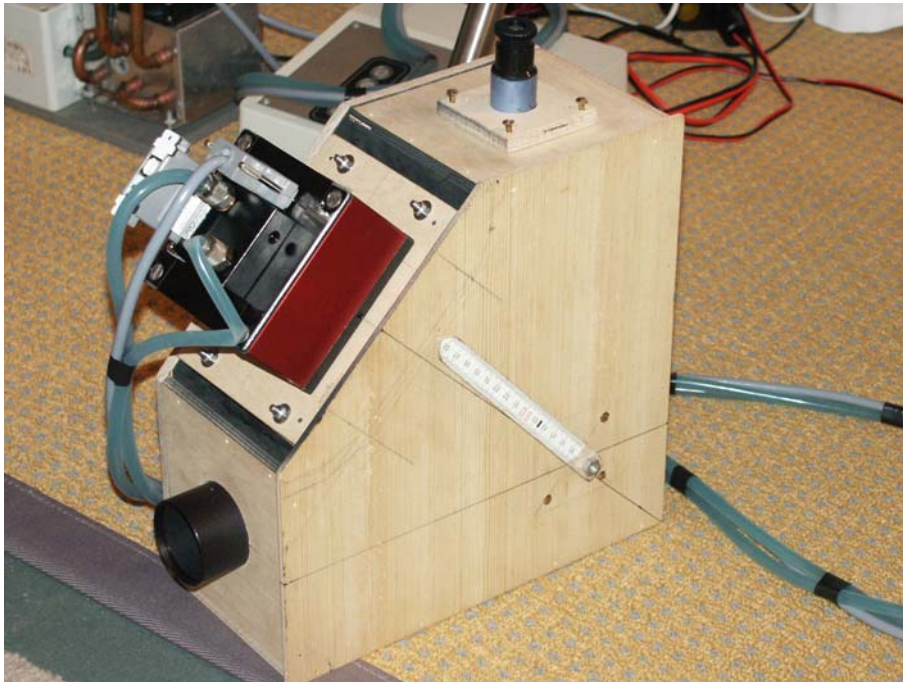


Abbildung 7



3 First Light (5. Februar 2005)

Am Teleskop montiert, einsatzbereit:

Abbildung 8

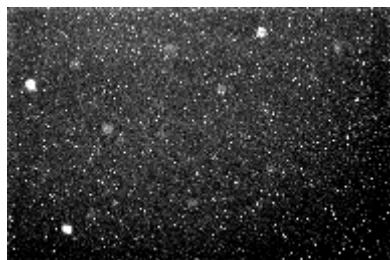


Dieser sternklare, kalte Abend war erfüllt mit mechanischen und praktischen Problemen:

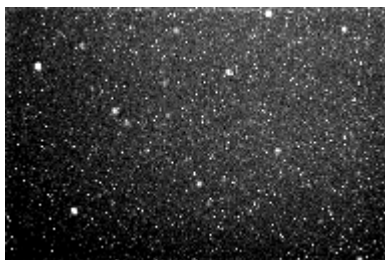
- Der Spektrograph ist mit der Kamera sehr schwer und hängt ausschließlich an dem Okularauszug des Maksutov-Newtons (MN58 von Intes Micro). Der Okularauszug musste „härter“ eingestellt werden, damit der Spektrograph den Auszug nicht selbsttätig vollständig herauszog und eine Fokussierung damit unmöglich machte.
- Die Ausgleichsgewichte genügen nicht mehr das System bzgl. der Polachse auszutariieren. Die Klemmung der Achse schafft es gerade noch, wobei dem Verfasser die aufzubietende Gewalt gefühlsmäßig sehr unangenehm ist.
- Genauso ist keine Austarierung mehr bzgl. der Stundenachse möglich. Auch hier muss mit Gewalt geklemmt werden. Die arme Nachführungsmechanik!
- Nachdem dies provisorisch gelöst war und wenigstens der tiefstehende Sirius um ca. 21 Uhr mit dem Telrad angefahren werden konnte, war festzustellen, dass er bei einem Gitteranstellwinkel von 45° mit Mühe nach längerem suchen im Sucher des Spektrographen zentriert werden konnte, aber abseits des ansonsten gut justierten Telradzentrums.
- Dann waren aber alle Versuche auch das Spektrum des Sirius zu finden, nicht mit Erfolg gekrönt. Bei einer Anstellwinkelstellung des Gitters von $22,5^\circ$ waren nach einigen Fokussierungsversuchen tatsächlich Sterne auf dem CCD-Chip zu finden und eine kleine Variation des Anstellwinkels hat auch entsprechende

Bewegungen dieser Sterne im Kamerabild bewirkt, aber der Sirius war nicht auffindbar und keine Spektren bei Anstellwinkeln des Gitters zwischen 10 und -10° .

Abbildung 9 Sternfeld in der Nähe des Sirius¹, in nullter Ordnung (Reflektiert bei $22,5^\circ$ Gitteranstellwinkel).



a) schlecht fokussiert



b) besser fokussiert

Um 2 Uhr morgens wurden die Versuche bei -6°C abgebrochen. Kälte, Misserfolg und Müdigkeit hatten die Motivierung auf Null absinken lassen.

Offensichtlich ist die Justierung des Spektrographen nicht ausreichend gut. Wahrscheinlich ist das Gitter gekippt, so dass die Bilder des Suchers, der Reflexe nullter Ordnung und die Spektren in einer schiefen Ebene liegen, und nicht in der geometrischen Ebene der optischen Achsen der Elemente des Spektrographen.

4 Justierung (7. Februar 2005)

Die Beobachtungen und Erfahrungen des 5.2.05 lassen sich am besten erklären, wenn für das Gitter ein Kippfehler angenommen wird. Dann wird ein im Bildfeld des Teleskops = Fokus des Kollimators zentrierter Stern nicht auf den Kamerachip oder auf das Zentrierfernrohr gelenkt, sondern daran vorbei. Oder anders ausgedrückt, man sieht Sterne im Sucher oder mit der Kamera, die seitlich im Bildfeld des Teleskops liegen. Dann ist auch verständlich, dass Sirius nicht auf den Kamerachip zu bringen war. War er im Justierfernrohr bei einem Anstellwinkel des Gitters von 45° , war er nach Änderung des Anstellwinkels des Gitters auf $22,5^\circ$ eben nicht auf dem Kamerachip.

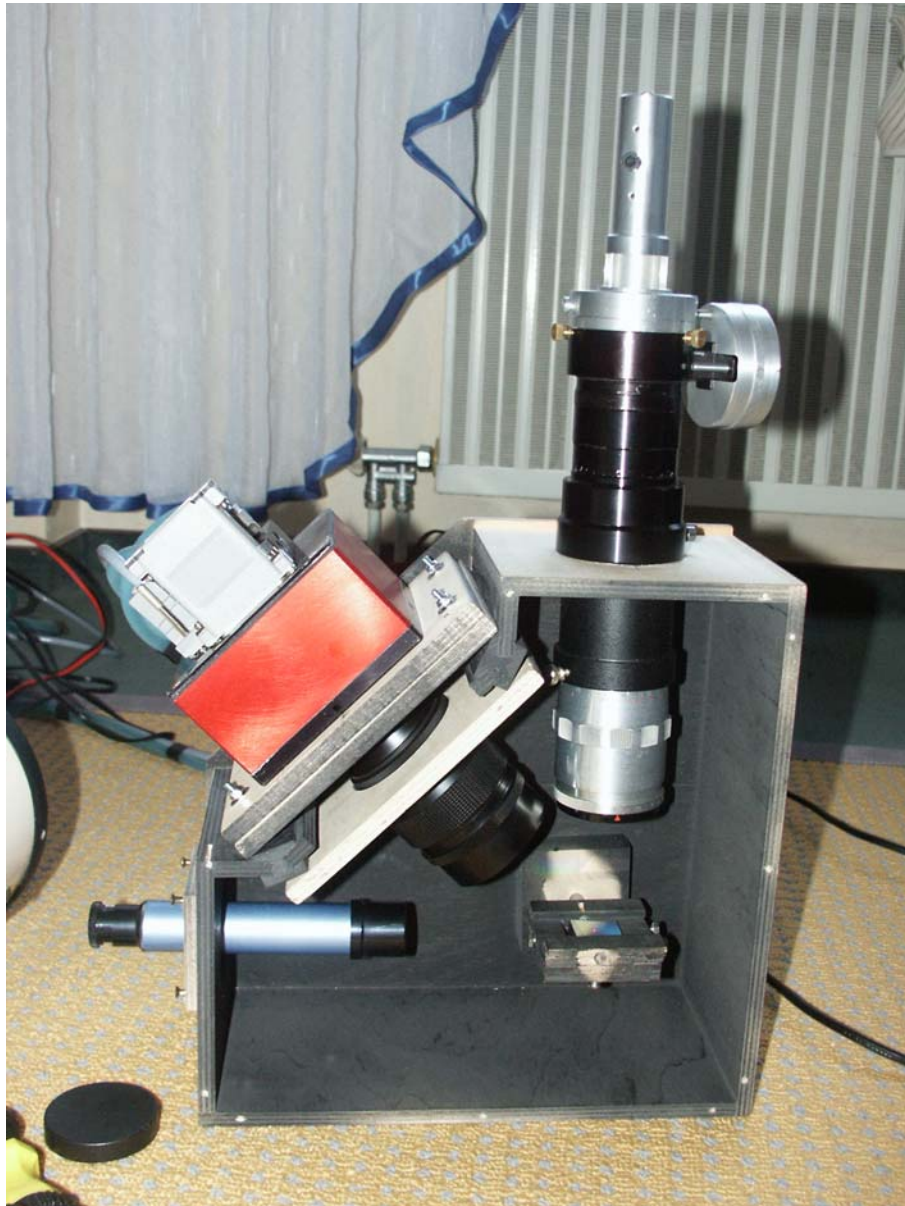
Um diese Hypothese zu überprüfen war eine Mess- und Justiermethode auszutüfteln. Die zündende Idee war am Morgen des 7. Februar geboren: Ein künstlicher Sternenhimmel im Fokus des Kollimators muss her. Das war sehr einfach zu verwirklichen: Ein Papierröllchen wird dem 2"-Anschluss des SpectroLo angepasst. Es bekommt einen passenden Papierdeckel. Beides wird zusammengeklebt zu einem Zylinder mit einem Boden. Dieser wird schwarz lackiert und erhält anschließend mit einer feinen Nadel zwei dicht benachbarte kleine Löcher im Zentrum des Bodens, Durchmesser der Sternlöcher ca. 0,2 mm. Jetzt kann der Zylinder in den 2"-Tubus gesteckt und bis zum Fokus des Kollimators geschoben werden. Wird er jetzt von außen beleuchtet, ist das künstliche Sternfeld fertig.

¹ Die Fotos wurde 30 sek belichtet, keine Darkfield oder Flatfield-Korrektur. CCD-Temperatur -10°C . Die Aufgabe bestand nicht, darin schöne Fotos zu machen, sondern das System zu justieren und zu testen.

Diese einfache Vorrichtung war der Schlüssel für eine effektive Justierung des Gitters.

Zuerst wurde aber bei geöffnetem Deckel mittels eines Justierlasers auf der Teleskopseite überprüft, ob der Laser auch die Mitte des Gitters trifft und die entsprechenden Reflexe den Sucher und das Kameraobjektiv (Abb. 9).

Abbildung 10

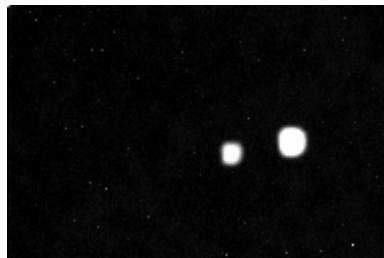


Dann wurde der künstliche „Sternenhimmel“ genau in den Kollimatorfokus gebracht. Die Fokussierung erfolgt mit dem Justierfernrohr. Der Anstellwinkel des Gitters wird auf 45° eingestellt damit das reflektierte Bild nullter Ordnung in Richtung Zentrierfernrohr gelenkt wird. Sobald das auf unendlich eingestellte Fernrohr die beiden „Sterne“ scharf abbildet, liegen sie genau im Fokus des Kollimators, in der Ebene, in der später auch der Fokus des Teleskops liegen muss.

Anschließend wird der Kippfehler des Gitters beseitigt. Dabei muss das Gitter solange mit seinen Justierschrauben bzgl. der Ebene Kollimatorachse/Fernrohrachse gekippt werden, bis die beiden Sterne in der Mitte des Fadenkreuzes des Zentrierfernrohres zu sehen sind. Man schaut also in das Zentrierfernrohr und dreht systematisch an den Justierschrauben des Gitters und beobachtet gleichzeitig, in welche Richtung sich die „Sternbilder“ bewegen. So ist es einfach, sie in die Mitte des Fadenkreuzes des Justierfernrohres zu bringen.

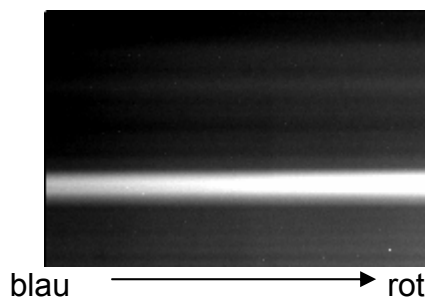
Der nächste Schritt ist die Prüfung, ob dann auch die künstlichen Sterne von der Kamera mittig gesehen werden. Dazu wird der Anstellwinkel des Gitters am Zeiger auf $22,5^\circ$ eingestellt, so dass das Bild nullter Ordnung (einfache Reflexion auf dem Gitter) in Richtung des Zentrums des Kameraobjektivs abgelenkt wird. Dies wird durch einige Aufnahmen mit der Kamera bestätigt. Kleine Abweichungen werden durch Korrektur des Kippwinkels des Gitters ausgeglichen. Das Ergebnis zeigt Abbildung xx.

Abbildung 11 Künstliche Sterne in nullter Ordnung auf dem CCD-Ship



Im nächsten Schritt wurde der künstliche Sternenhimmel mit dem Licht einer normalen Glühlampe beleuchtet und der Anstellwinkel des Gitters auf wenige Grad eingestellt. Dann sollte theoretisch ein Teil des Spektrums zu sehen sein.

Abbildung 12 Künstliche Sterne in erster Ordnung (Teil des Spektrums)



Geschafft. Die Spektren der beiden „Sterne“ überlappen sich zu einem Streifen der Breite beider Sterne. Die geringe Verschiebung zwischen Bild nullter Ordnung und Spektrum erster Ordnung in der Y-Achse ist tolerierbar. Nun ist davon auszugehen, dass ein Objekt, welches mit dem Zentrierfernrohr zentral eingestellt und fokussiert wird, auch in nullter Ordnung und in erster Ordnung auf dem Ship zu sehen sein wird, was wichtig ist, um schnell und zweifelsfrei Spektren vorgewählter Objekte aufnehmen zu können und Verwechslungen auszuschließen sind.

Im nächsten Schritt wurde der künstliche Sternenhimmel von hinten mit einer Leuchtstoffröhre beleuchtet, welche eine definierte Bandenstruktur zeigt. Dann ist zu erwar-

ten, dass die breiten Emissionslinien des Lichts sich als Bildchen der „Sterne“ darstellen, vor dem Hintergrund eines vorhandenen Kontinuums.

Genau das ist das Ergebnis, wie die folgenden Bilder zeigen.

Abbildung 13 Licht einer Leuchtstoffröhre: Emissionslinien im Blauen

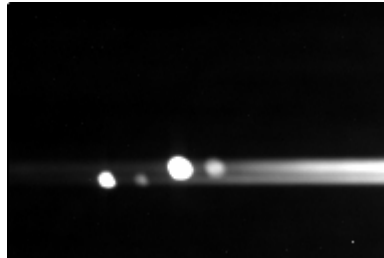


Abbildung 14 Licht einer Leuchtstoffröhre: Eine einzelne Linie im Blaugrün

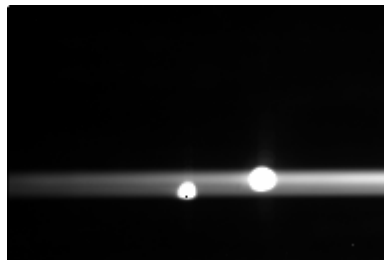


Abbildung 15 Licht einer Leuchtstoffröhre: Ein Bereich vieler überlappender Linien (wahrscheinlich noch im Blauen)

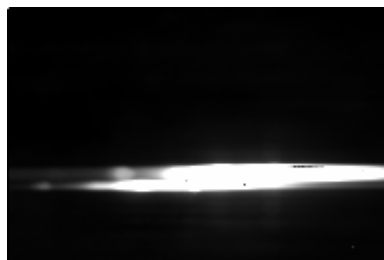
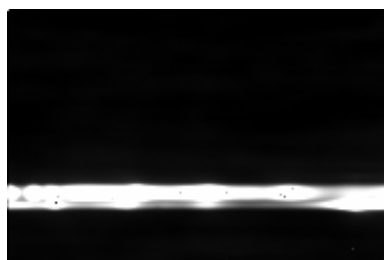


Abbildung 16 Licht einer Leuchtstoffröhre: Ein Bereich vieler überlappender Linien, wahrscheinlich im Roten



Diese Bilder korrelieren mit dem Spektrum einer Leuchtstoffröhre, wie die Abb. 7 und 8 zeigen.

Abbildung 17 Spektrum einer Leuchtstoffröhre

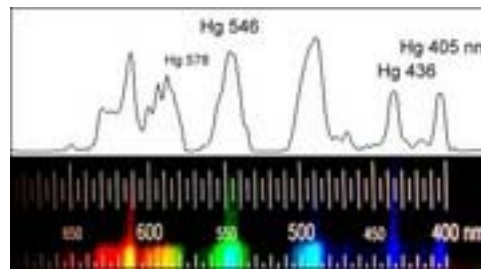
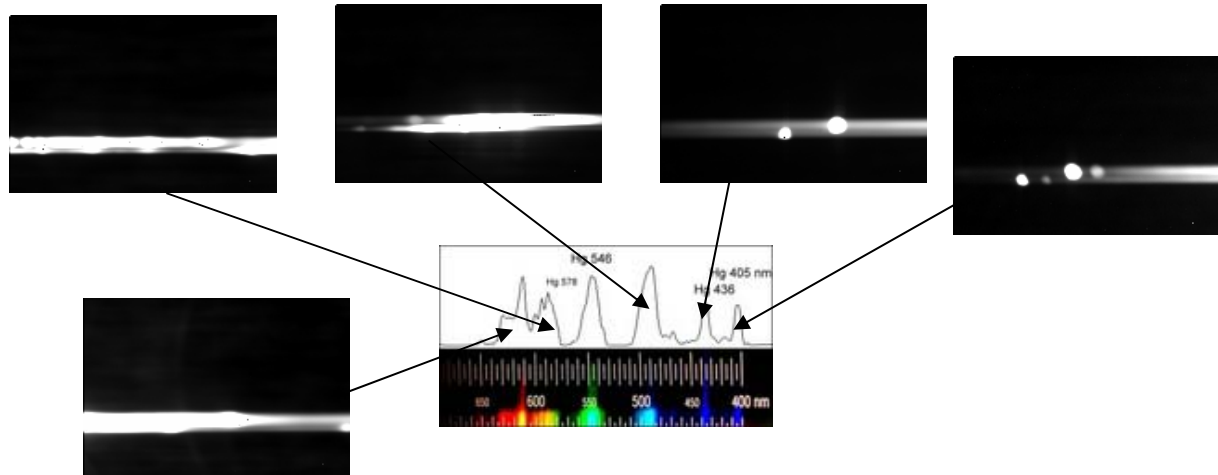


Abbildung 18 Licht einer Leuchtstoffröhre: Zuordnung der Spektrenausschnitte



5 Test an einer Glimmlampe (18. Februar 2005)

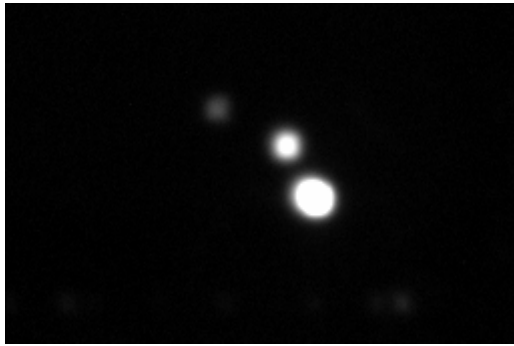
Im vorstehenden Kapitel wurde der „künstliche Stern“ mit einer Leuchtstoffröhre (Sparlampe, Osram) beleuchtet. Diese zeigen zwar linienähnliche Emissionsschwerpunkte, aber keine scharfen Linien.

Um mit scharfen Emissionslinien arbeiten zu können, wurde eine Glimmlampe verwendet, welche rötliches Licht (wahrscheinlich Neon-Linien) aussendet und von mir vor 42 Jahren 1962 während einer Klassenfahrt in Berlin gekauft wurde und die als Notlicht für Räume konzipiert war. Neon (Ne) sendet als einatomiges Edelgas scharfe Emissionslinien aus, die nicht durch intermolekulare Wechselwirkungen (Schwingungsbanden, Rotationsbanden) verbreitert sind.

Abbildung 19 Glimmlampe



Abbildung 20 Abbildung der künstlichen Sterne in nullter Ordnung



Der Sternenhimmel wurde etwas modifiziert. Es wurden die Löcher des vorigen Experiments mit grauem Isolierband zugeklebt und ein neues gestochen. Wie in Abb. 19 zu sehen ist (Abbildung nullter Ordnung = direkt gespiegeltes Bild der „Sterne“), scheinen die zugeklebten Löcher noch etwas durch. Das Bild wurde 60 sek belichtet und mit 3x3 binning ausgelesen. Der Durchmesser des abgebildeten Loches beträgt 20 Pixel bzw. 60 Pixel bei 1x1-binning, was einem metrischen Durchmesser von $60 \times 9 \text{ um} = 540 \text{ um} = 0,54 \text{ mm}$ entspricht. Dieser große Durchmesser weitet die Halbwertsbreite der beobachtbaren Emissionslinien des Neons riesig auf. Das seeing- und beugungsbegrenzte Sternscheibchen im Fokus des Kollimators ist unter Berücksichtigung der Beugungseffekte aller Elemente des Spektrographen etwa auf 23 um zu schätzen. Größer sollte auch der Durchmesser des Loches für den künstlichen Stern nicht sein. Nur ist eben ein solch feines Loch mit einer Nadel nicht stechbar. Hier müsste jetzt ein regulierbarer optischer Spalt eingesetzt werden. Aber man kann nicht alles haben.

Die nachfolgenden Aufnahmen der Tabelle 1 wurden alle 60 sek belichtet, jeweils 5 Aufnahmen wurden dark-korrigiert und addiert. Die resultierenden Fotos sind in der Tabelle enthalten. Es sind nur die interessierenden horizontalen Bildstreifen aus den Fotos dargestellt.

Tabelle 1 Bilder einer Lochblende (0,54 mm Durchmesser) im Licht einer Klimmlampe

Anstellwinkel Gitter in °	Theoretischer Wellenlängenbereich (Zentrum und Bereich in Å)²	Foto des künstlichen Sterns (Emissionslinien ergeben Bilder der Lochblende in horizontaler Richtung)
22,5	Bild nullter Ordnung, keine Dispersion	
2	5400 (5187 bis 5613)	
0	5900 (5687 bis 6113)	
-2	6400 (6187 bis 6613)	
-3	6600 (6387 bis 6813)	

Deutlich sind die Bilder unterschiedlicher „Farbe“ (Wellenlänge), verursacht durch die diskreten Emissionslinien der Glimmlampe, zu sehen.

Auf der homepage der Fachgruppe Spektroskopie ist eine Seite von Günter Gebhard, Einführung in die Spektroskopie für Amateure, zu finden. Hier ist ein Ausschnitt des Spektrums einer Glimmlampe dargestellt (Abb. 22).

Auf den ersten Blick hat das Glimmlampenspektrum, gemessen von Herrn Gebhard, Ähnlichkeit mit dem Foto, das bei -2° Gitteranstellwinkel gemessen wurde. Nachfolgend ist das Foto mit dem Programm Visual Spec ausgewertet (Abb. 21) und dem Spektrum von Günter Gebhard gegenübergestellt. Es ist eine Ähnlichkeit vorhanden, auch der Wellenlängenbereich ist etwa korrekt, aber es gibt auch Unterschiede. Ob die Zuordnung falsch ist oder ob reale Unterschiede der Glimmlampen die Ursache sind, soll hier nicht weiter verfolgt werden.

² Das Zentrum des Wellenlängenbereichs kann aus der Grafik in Abbildung 1 entnommen werden, die Grenzen ergeben sich bei Anwendung des Excel-Tabellenkalkulations-Programms von Christian Buil.

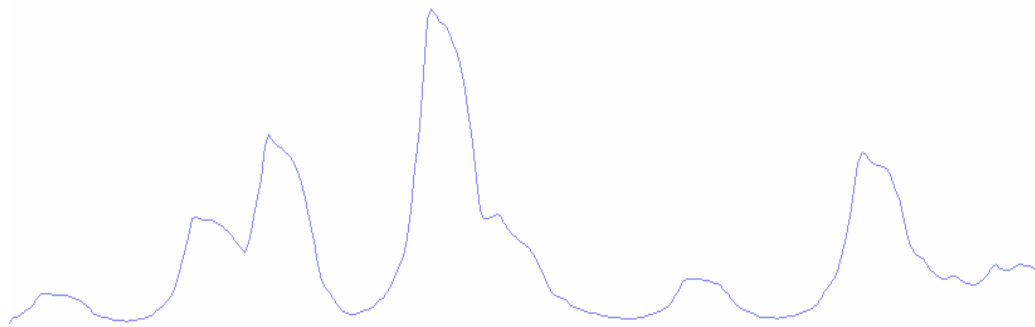


Abbildung 21 Das bei -2° Gitteranstellwinkel gemessene Spektrum

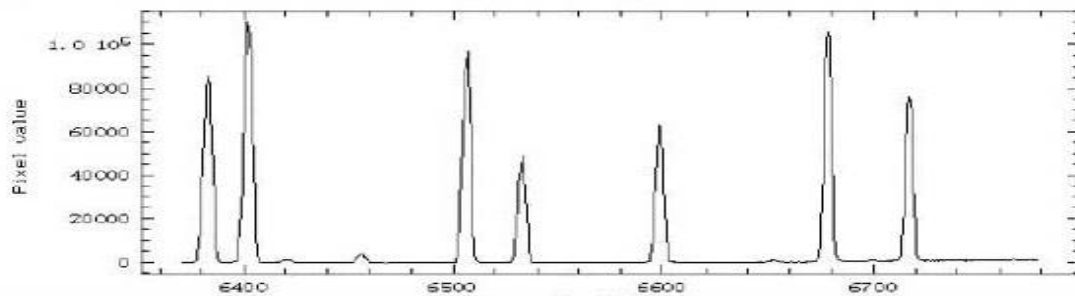


Abbildung 22 Das Spektrum einer Glühlampe, gemessen von Herrn Günter Gebhard

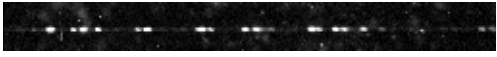
6 Verbesserter Test an einer Glühlampe (19. Februar 2005)

Im gestrigen Test wurde eine Lochblende von 0,54 mm Durchmesser verwendet, was als künstlicher Stern viel zu viel ist. Deshalb wurden heute Experimente gemacht, kleinere Löcher in besser geeignetes Material zu stanzen. Am besten stellte sich folgende Vorgehensweise heraus: Träger ist eine übliche Haushalts-Aluminiumfolie. Diese wird mit einer dünnen Nadel der Größe 00, wie sie von Entomologen zum Aufspießen kleiner Insekten verwendet wird, auf einer Glasplatte unter dem Stereomikroskop angestochen. Anschließend wird die Blende auf das Papprollchen geklebt, womit es in die Fokusebene des Kollimators geschoben werden kann.

Das künstliche Sternscheibchen ist jetzt auf dem CCD-Chip 9 Pixel groß bei 3x3-binning = 27 Pixel bei 1x1 = 27x9µm = 0,24 mm. Damit sollte eine wesentlich bessere Auflösung der Glühlampen-Emissionslinien erreicht werden.

Es wurden wiederum Messungen durchgeführt, diesmal bei -7°C Chip-temperatur, 60 sek Belichtungszeit, 3x3 binning, jeweils Serien von 10 Bildern und eine dark-Serie von 10 Bildern. Die Bilder wurden mit Astroart dark-korrigiert und anschließend addiert. Damit die fit-Dateien im 16bit-Format bleiben (nur dann können die Emissionsspektren mit Visual Spec ausgewertet werden), wurden die Summenbilder noch durch die Anzahl der addierten Bilder geteilt.

Abbildung 23 Künstlicher Stern im Licht der Emissionslinien einer Glimmlampe

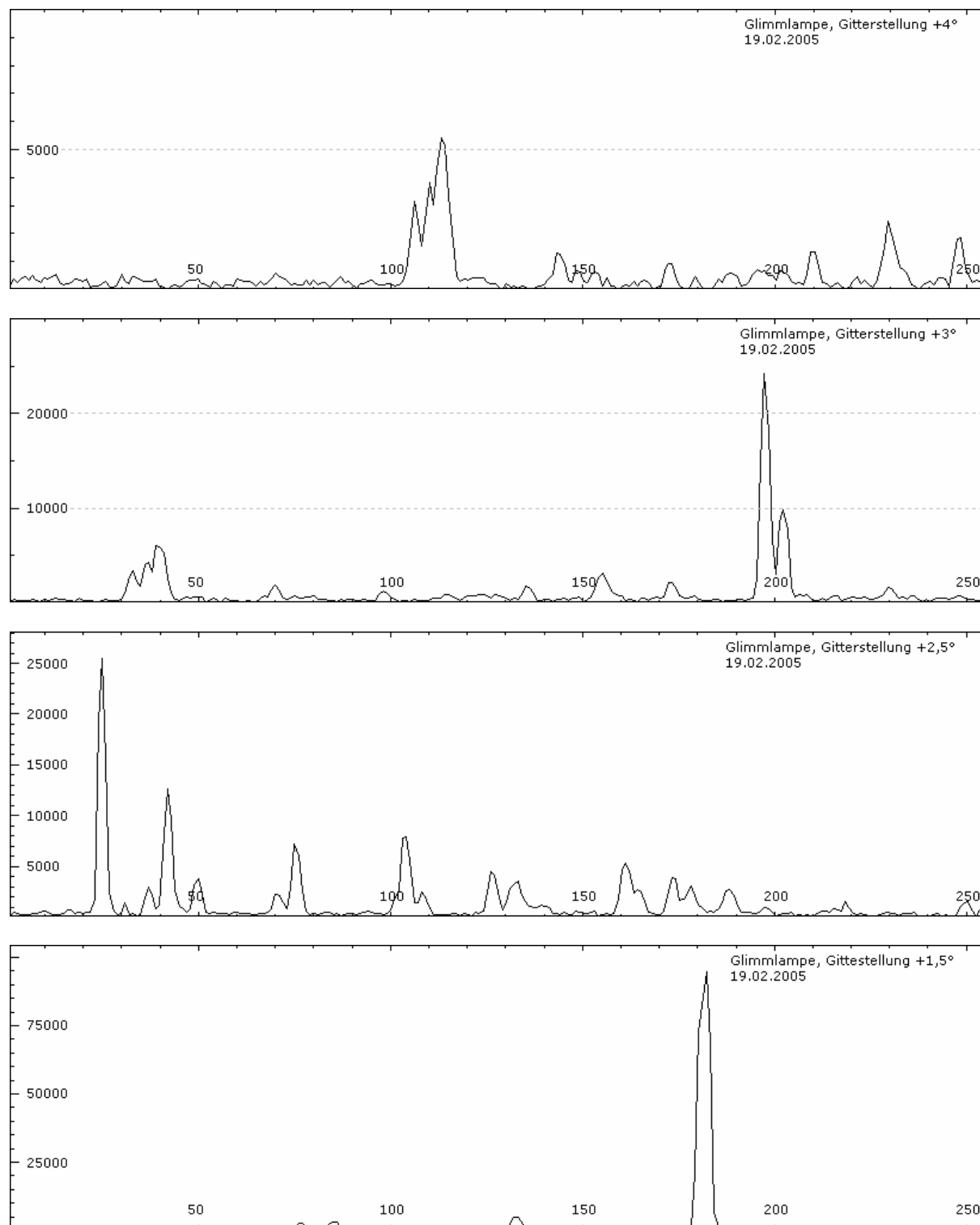
Gitter- stellung [°]	Theoretischer Wellenlängenbe- reich (Zentrum und Bereich [Å]) ³	Foto des künstlichen Sterns ⁴ (Emissionslinien ergeben Bilder der Lochblende in horizontaler Richtung)
22,5	Bild nullter Ordnung, keine Dispersi- on	
4	4900 (4687 bis 5113)	
3	5100 (4887 bis 5313)	
2,5	5400 (5187 bis 5613)	
1,5	5500 (5287 bis 5713)	
0	5900 (5687 bis 6113)	
-1	6200 (5987 bis 6413)	
-2	6400 (6187 bis 6613)	
-3	6600 (6387 bis 6813)	
-4	6900 (6687 bis 7113)	

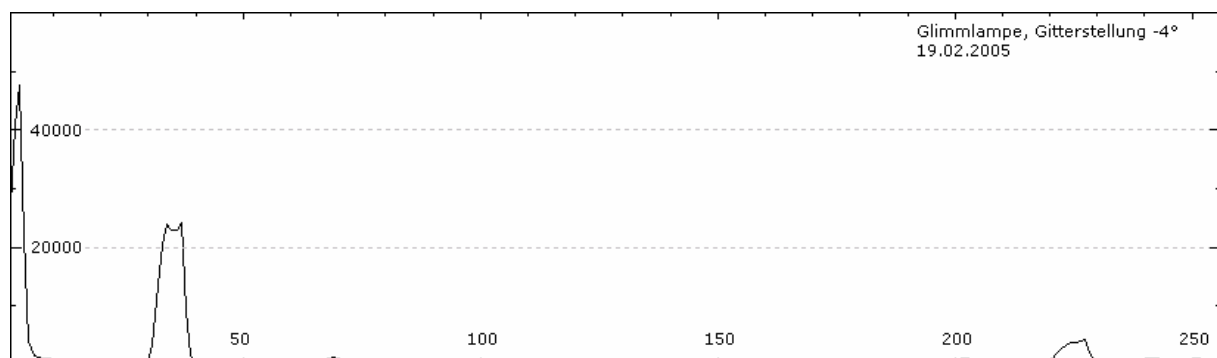
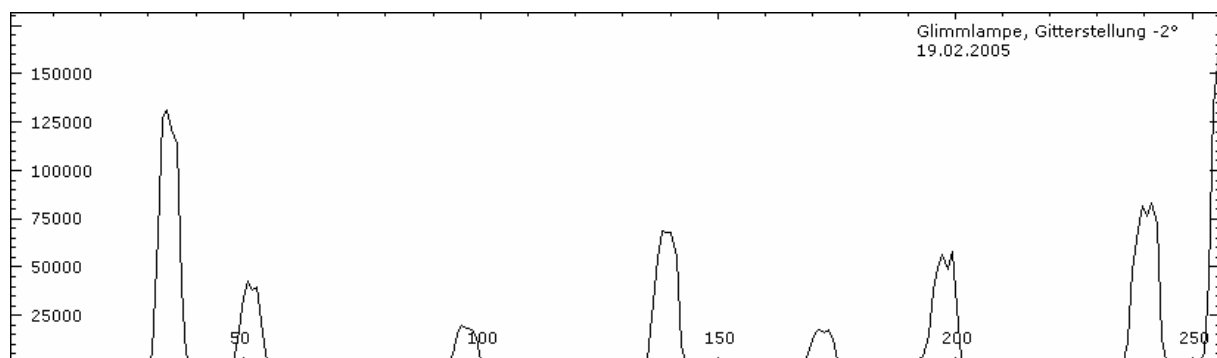
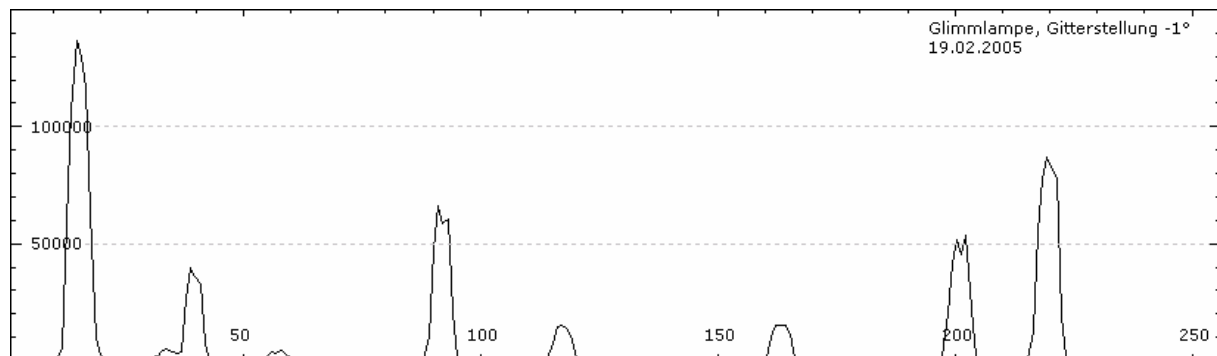
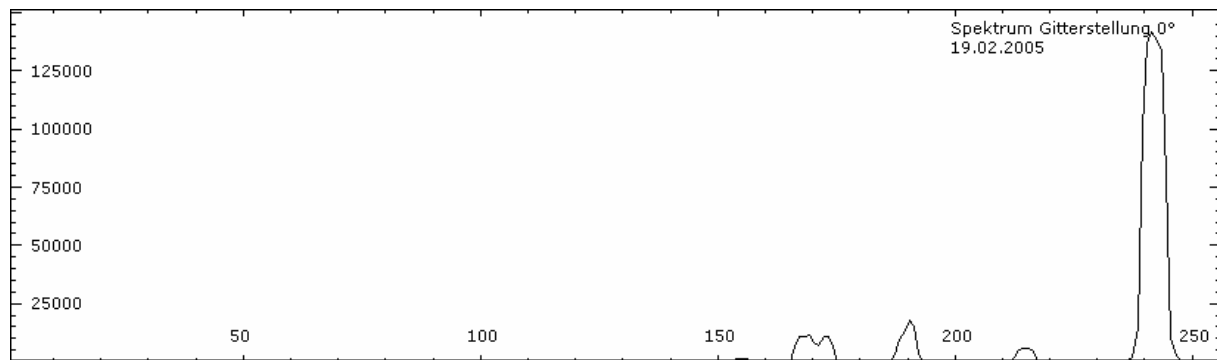
Die Fotos wurden mit Visual Spec ausgewertet. Die erhaltenen Emissionsspektren-Ausschnitte (Abszisse in Pixel) sind nachfolgend dargestellt.

³ Das Zentrum des Wellenlängenbereichs kann aus der Grafik in Abbildung 1 entnommen werden, die theoretischen Grenzen ergeben sich bei Anwendung des Excel-Tabellenkalkulations-Programms von Christian Buil.

⁴ Nach rechts steigende Wellenlänge (blau links, rot rechts).

Abbildung 24 Emissionslinien der Glimmlampe





Nach einigen Schwierigkeiten ist es gelungen, das Puzzle der gemessenen Spektrenausschnitte mit den Emissionslinien des Neons zu korrelieren.

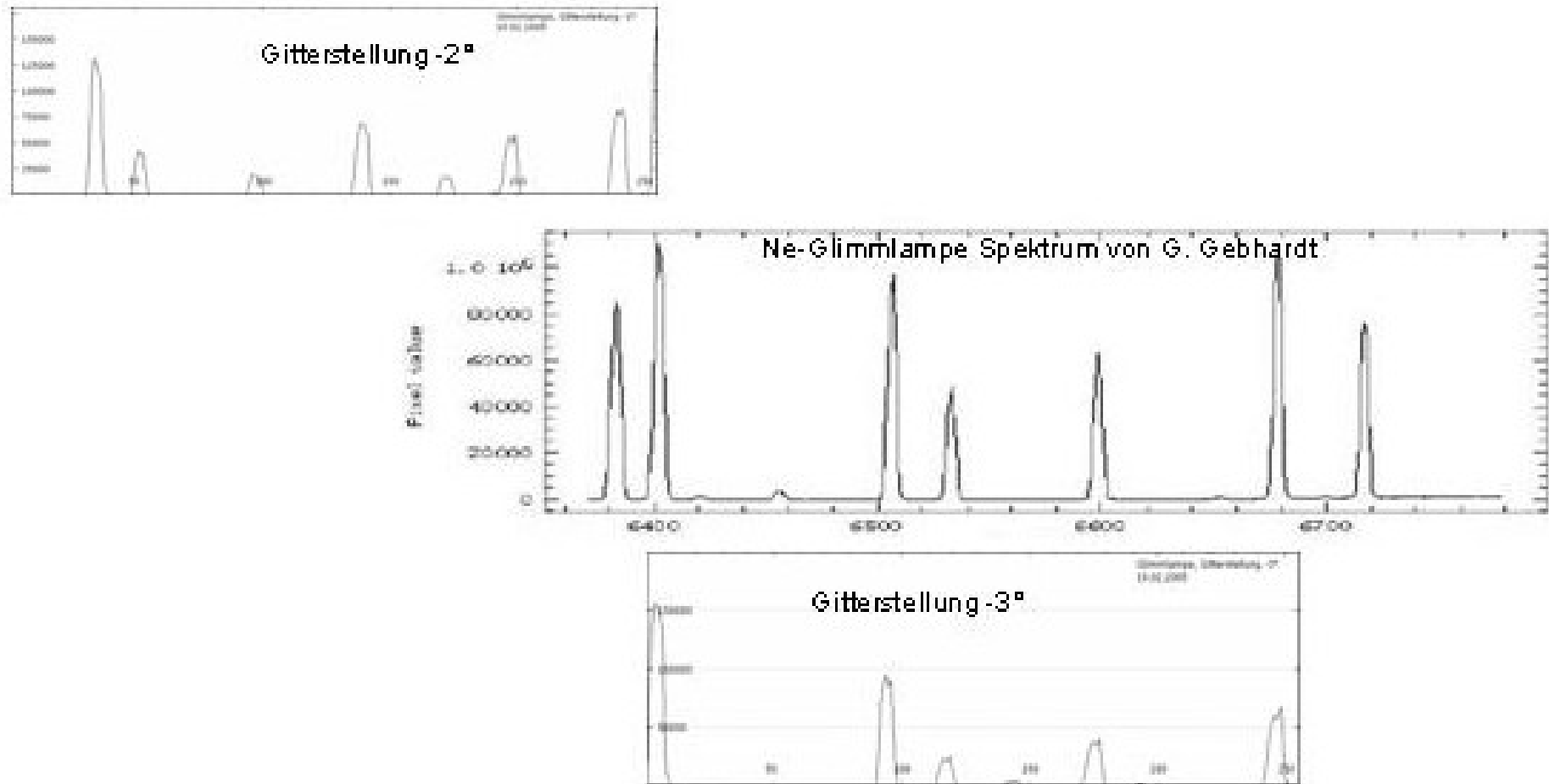


Abbildung 25 Zuordnung der gemessenen Spektren zu einem Ausschnitt der Ne-Glimmlampen-Linien (nach G. Gebhardt)

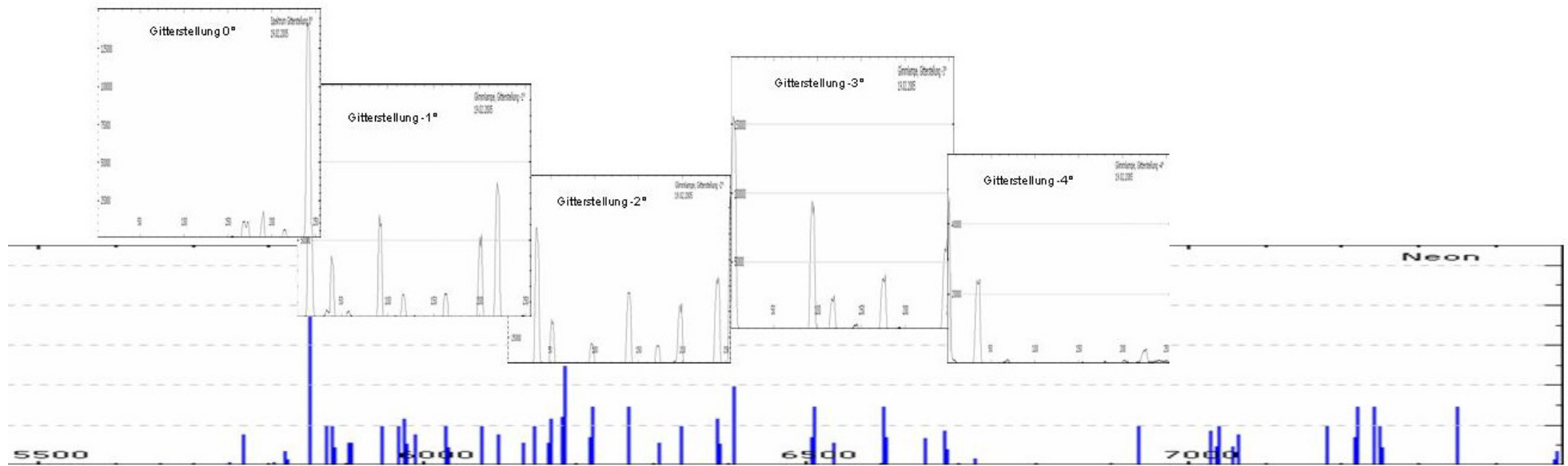


Abbildung 26 Zuordnung aller gemessenen Glühlampen-Emissionslinien zu den Linien des Neons (aus Visual Spec, identisch mit Handbook Physics and Chemistry))

Die Emissionsspektren wurden nach der visuellen Zuordnung der Ne-Linien zu den gemessenen Linien (vorstehende Abbildungen) mit Visual Spec kalibriert. Ein Beispielergebnis ist in der nachfolgenden Abbildung zu sehen. Die Linien sind 9 Pixel an ihrer Basis breit, was 0,24 mm auf der Chipfläche bedeutet. Die Dispersion wurde zu 1,037 Å/Pixel (bei 3x3 binning bei der Bildaufnahme) bestimmt, was umgerechnet 38,4 Å/mm auf dem Chip entspricht. Es werden 262 Å auf der Chiplängsachse aufgezeichnet (Breite des Spektrums).

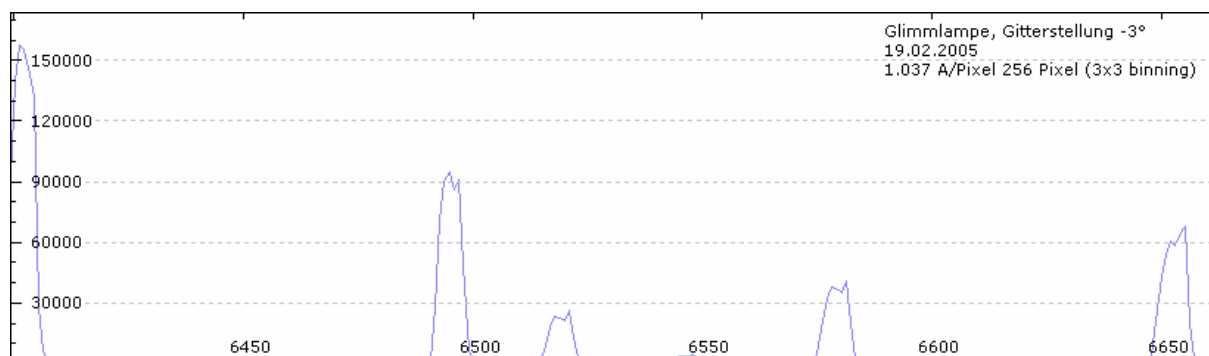


Abbildung 27 Ergebnis nach der Kalibrierung mit Visual Spec

7 Erster Test am Stern (25. Februar 2005)

Am Freitagabend, den 25.02.2005, war es dann soweit: Das erste richtige Sternspektrum sollte aufgenommen werden.

Die Beobachtungsbedingungen waren miserabel, aber die mittelfristige Wetterlage ließ keine Wahl. – 6 bis – 8 °C, ziemlich diesig, schlechte Sichtigkeit. Nur die hellsten Sterne waren zu sehen. Fast Vollmond im SE-Quadrant und ein heller gelber Schein (Streulicht) über der Chemieplattform Carlingen (F), welche ca. 8 km im Süden betrieben wird. Orion steht im Südwesten. Anfangs sind die Gürtelsterne noch deutlich zu sehen, gegen 1 Uhr nachts verschwinden sie langsam im Dunst. Um 2 Uhr werden die Beobachtungen abgebrochen, sogar Betageuze ist nicht mehr zu sehen, Sirius noch ganz schwach.

Nach dem Aufbau der Montierung, ihrer Einnordung mit dem Polsucher und der Anbringung des Teleskops und des Spektrographen stellt sich heraus, dass durch die Korrektur der Schwerpunktlage (Verschiebung der Trapezschiene in Richtung Teleskopobjektiv) die Drehung des Teleskops um seine Längsachse nicht mehr vollständig möglich ist. Das Telrad stößt an die Montierung. Also abbauen und das Telrad versetzen. Aufbauen, Telrad neu justieren.

Abbildung 28



Um 22.30 Uhr ist es dann soweit, alles ist bereit (Abb. 28). Sirius wird als Beobachtungsobjekt ausgesucht. Er ist der hellste Stern des Abends und hat eine noch vertretbare Azimutdifferenz zum Mond, so dass kein direktes Mondlicht auf die Maksutov-Platte des Teleskops fällt⁵. Sirius ist auch für erste Versuche ein geeignetes Objekt. Als Stern der Spektralklasse A1 zeigt er nur schwache Metalllinien, die ein Spektrum kompliziert machen. Das Spektrum ist beherrscht von den starken und breiten Wasserstoff-Absorptionslinien der Balmer-Serie, weshalb eine Zuordnung der Linien leicht fallen sollte.

Sirius wird in das Zentrum des inneren Telradrings genommen. Dann wird er im Sucher des Spektrographen gesucht. Bei der Gitterstellung 45° ist er etwas dezentriert zu finden. Etwas mit der Teleskopsteuerung nachjustieren. Dann mittels Kontrolle des Sucherbildes fokussieren. OK.

Dann wird die Gitterstellung auf $22,5^\circ$ eingestellt. Nach etwas suchen ist Sirius in nullter Ordnung (als normales Sternbild) auf dem CCD-Chip. Jetzt wird die Belichtungszeit variiert und der Stern besser fokussiert. In Abb. 29 ist er zu sehen. Wegen seiner Helligkeit sind die von ihm belichteten Pixel bereits übersättigt, trotz der minimalen Belichtungszeit von 1 sek (vgl. das Profil durch Sirius, Abb. 30)

⁵ Der Mond steht zu diesem Zeitpunkt in 119° in 26° Höhe, Sirius in 205° und 20° Höhe.

Dann wird bei einer Gitterstellung von -2° das (erste von mir beobachtete) Spektrum durch mehrere Fokussierungsversuche möglichst schmal gemacht. Das erste gemessene Spektrum zeigt Abb. 31. Chiptemperatur -25°C . Keine Korrekturen.

Abbildung 29 Sirius in nullter Ordnung



Abbildung 30

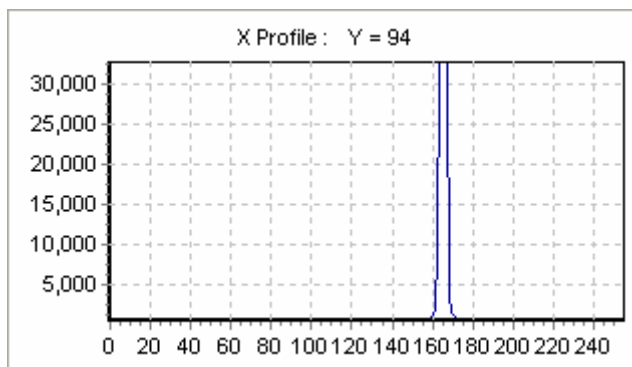
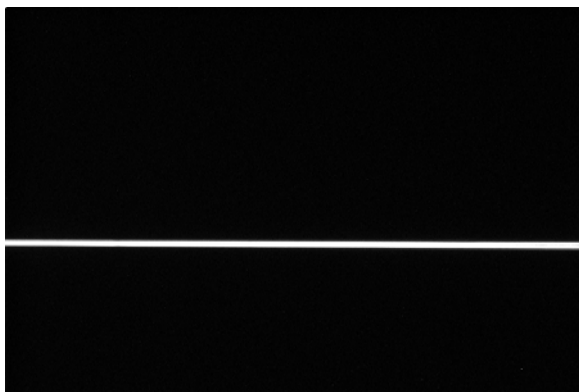


Abbildung 31 Das erste Spektrum (Sirius)



8 Sonnenspektrum mit einer $5\ \mu\text{m}$ - Lochblende (26. Februar 2005)

Sozusagen als Schlechtwetter-Alternativprogramm waren für dieses Wochenende Messungen mit einer $5\ \mu\text{m}$ - Lochblende im Fokus des Kollimators vorgesehen. Die

Blende stammt von Edmund Optics und wurde von mir in einem kleinen Stück PVC-Rohr (Abflussrohr) installiert. Das Rohr ist außen mit zwei schwarzen Gummiringen bestückt, welche das Rohr in der 2"-Hülse des Spektrographen verschiebbar halten und gleichzeitig unerwünschtes Fremdlicht zurückhalten.

Ziele des Lochblendeneinsatzes:

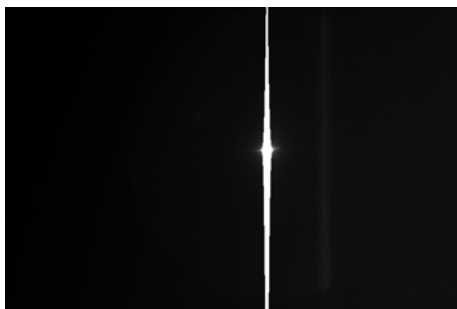
1. Test des Spektrographen, welche Auflösung er bringt (Verbreiterung des Bildes durch Apparate- und Fokussierfehler, auch Farbfehler der Optikkomponenten).
2. Verbesserte und detailliertere Aufnahme des Glimmlampenspektrums.
3. Aufnahme des Sonnenspektrums ohne Teleskop (einfach nur das Loch mit der Sonne ausleuchten).
4. Verwendung als „Spaltspektrograph“, mit dem auch andere Spektren aufgenommen werden können, z.B. die Kennlinien von Filtern (erst nach absoluter Eichung des CCD-Chips).

Da in der letzten Nacht die Spektren immer breiter wurden und einen diffusen Rand bekamen, bestand der Verdacht, dass der Chip vereist ist. Deshalb wurde heute Morgen das Kieselgel in der Audine-Kamera ausgetauscht. Anschließend wurde aber die Kamera versehentlich um 90° verdreht eingebaut, weshalb auf den gemachten Fotos die Spektren senkrecht verlaufen.

Der mit der Lochblende ausgerüstete Spektrograph wurde im Freien so orientiert, dass das Sonnenlicht etwa senkrecht auf die Lochblende fällt. Eine Montierung oder Nachführung ist nicht notwendig. Der CCD-Chip wurde bei -10°C betrieben. Alle Fotos im Modus 1x1binning.

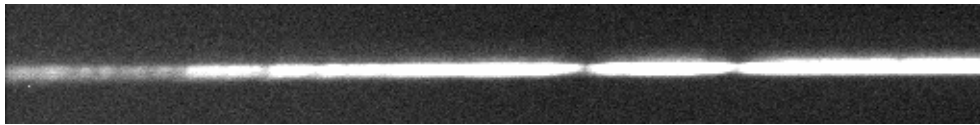
Eine Aufnahme des Bildes der Lochblende in nullter Ordnung zeigt Abb. 32. Die Helligkeit ist so extrem, dass bei 1 s Belichtungszeit das Bild hoffnungslos überstrahlt ist, die Pixel laufen über.

Abbildung 32 Bild der Lochblende im Sonnenlicht (überbelichtet, starkes blooming)



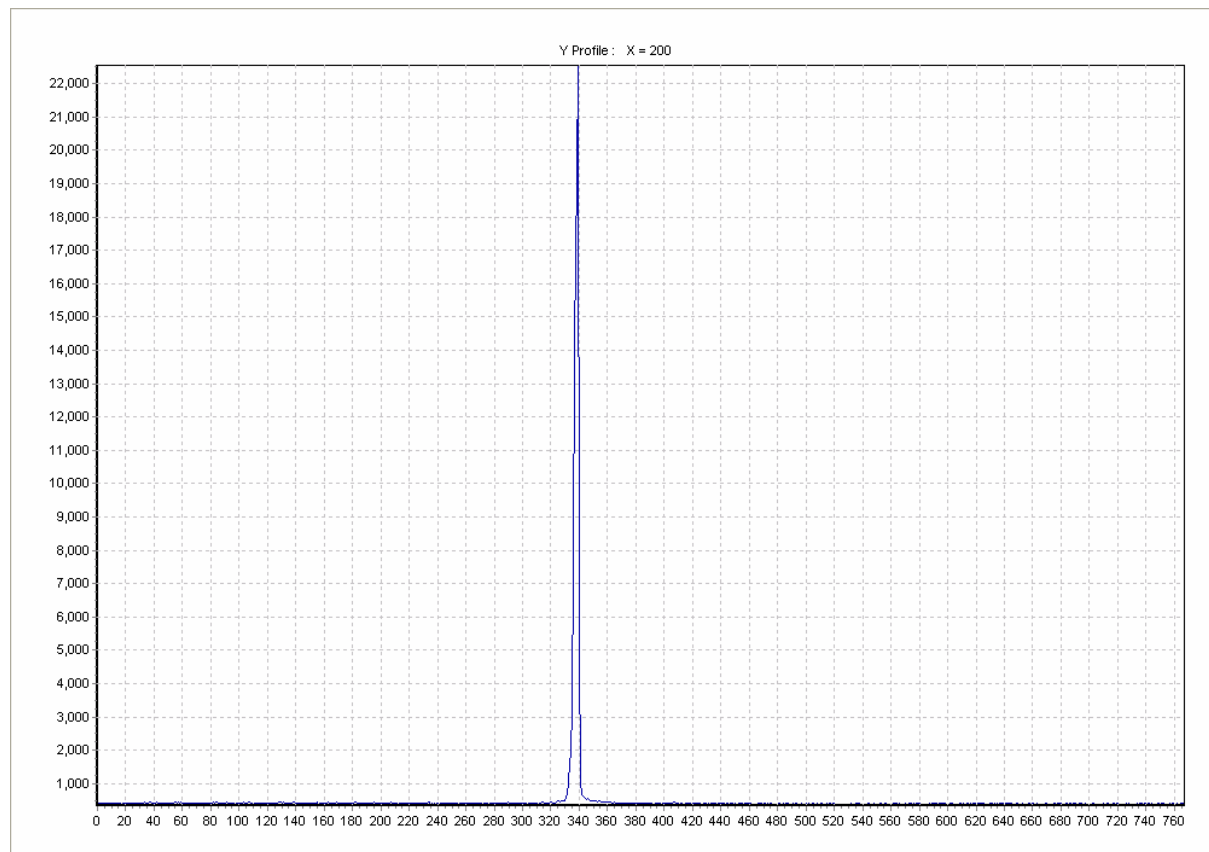
Deshalb wurde die exakte Fokussierung im mittleren Bereich des Spektrums durchgeführt. Die Blende wurde solange im Bereich des Kollimator-Fokus verschoben, bis die Breite des Lichtstreifens (Spektrum) ein Minimum erreicht. Abbildung 33 zeigt ein solches Spektrum, das bei einer Gitterstellung von 6,5° aufgenommen wurde, was etwa 4400 Å im Zentrum entspricht (exakte Justierung des Systems vorausgesetzt, was später bei der Kalibrierung der Spektren überprüft wird).

Abbildung 33 Spektrum der Sonne bei 6,5° Gitterstellung



Das Profil durch ein solches Spektrum zeigt Abb. 34. Es handelt sich um das Spektrum aufgenommen bei Gitterstellung 3° . Die scharfe Linie hat eine Halbwertsbreite von 5 Pixel = $45\text{ }\mu\text{m}$ auf dem Chip. Im Maximum (Zentrum der Linie) sind die Pixel zu $2/3$ gesättigt (dynamischer Bereich 0 bis 32000), also optimal belichtet.

Abbildung 34 Profil des fotografierten Spektrums (Breite des Bandes)



Mit dieser Breite des Spektrums ist auch eine entsprechende spektrale Linienauflösung von ca. 5 Pixeln zu erwarten.

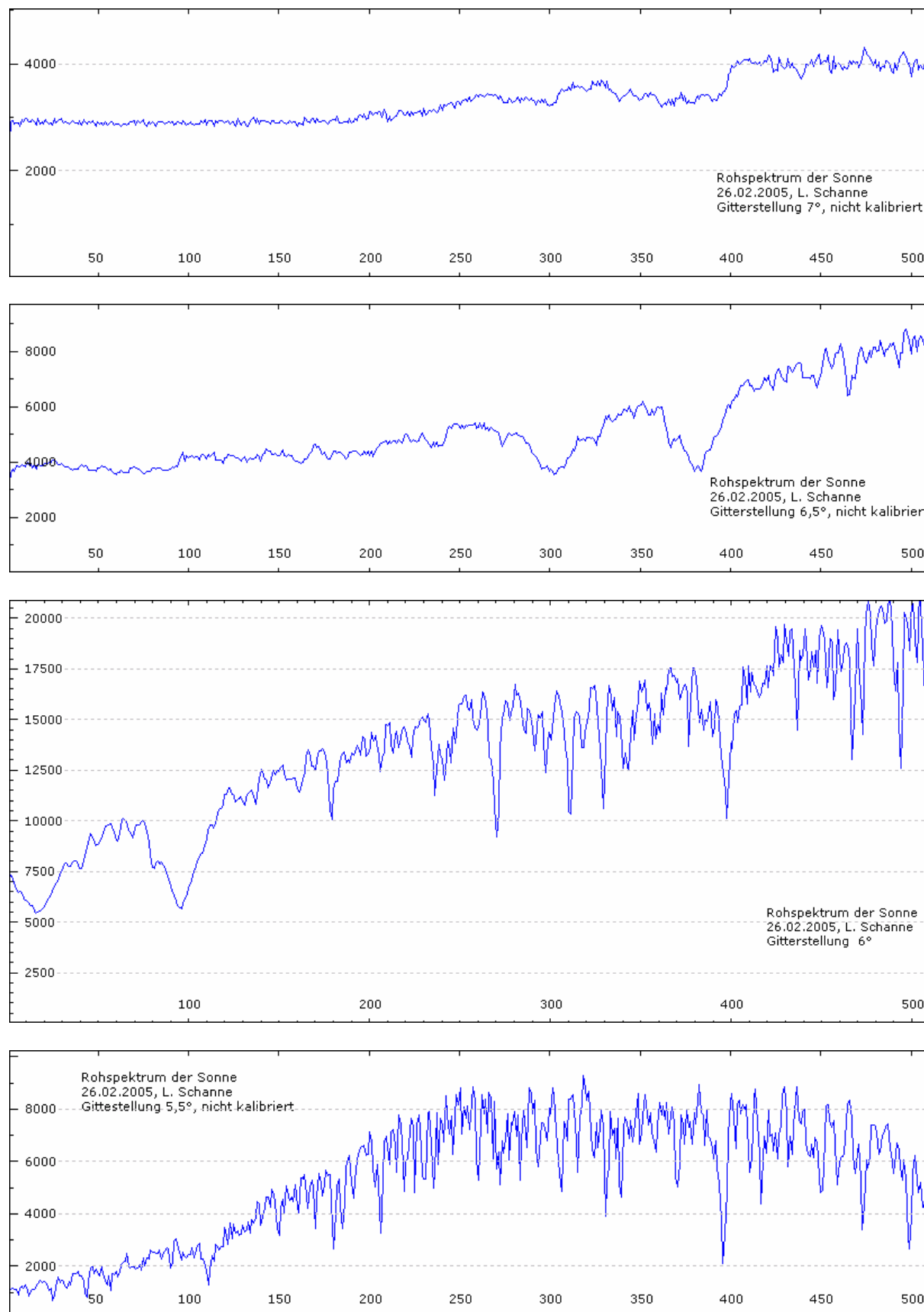
Die Gitterstellungen wurden zwischen 12.00 und 12.30 Uhr zwischen 8° und $2,5^\circ$ in $\frac{1}{2}^\circ$ -Schritten durchgefahren, dann musste wegen aufziehender Bewölkung abgebrochen werden. Belichtungszeit jeweils 1 s, 1x1 binning.

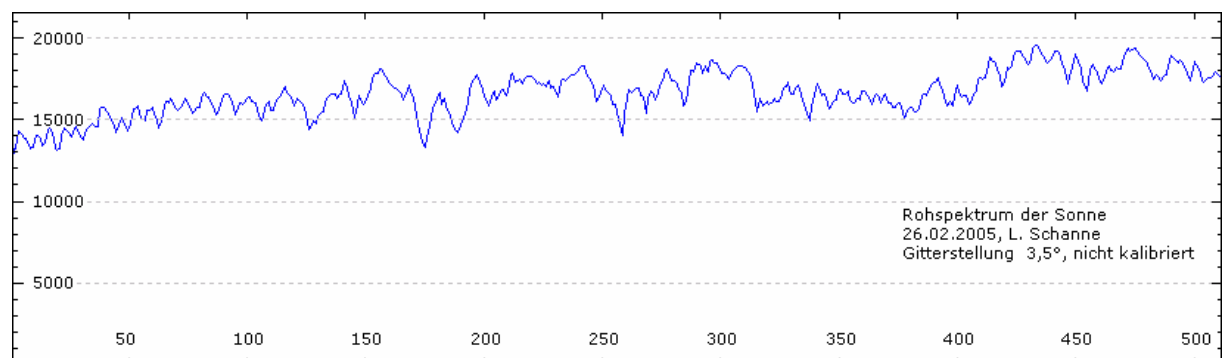
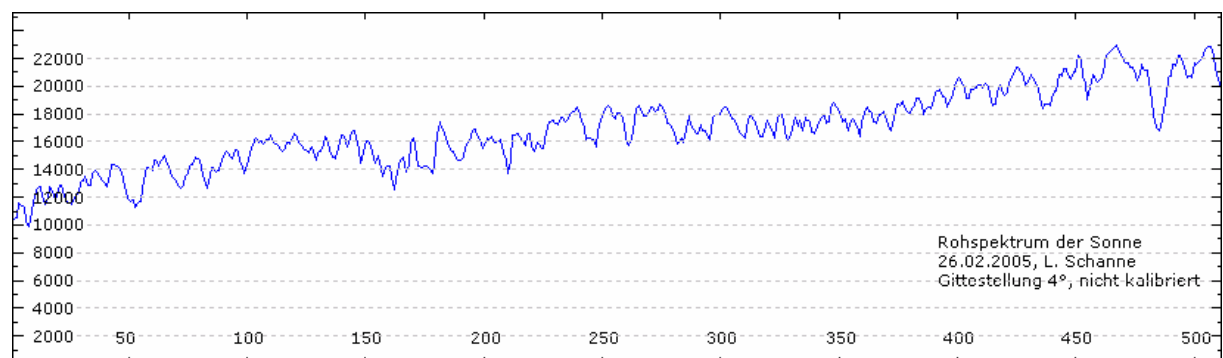
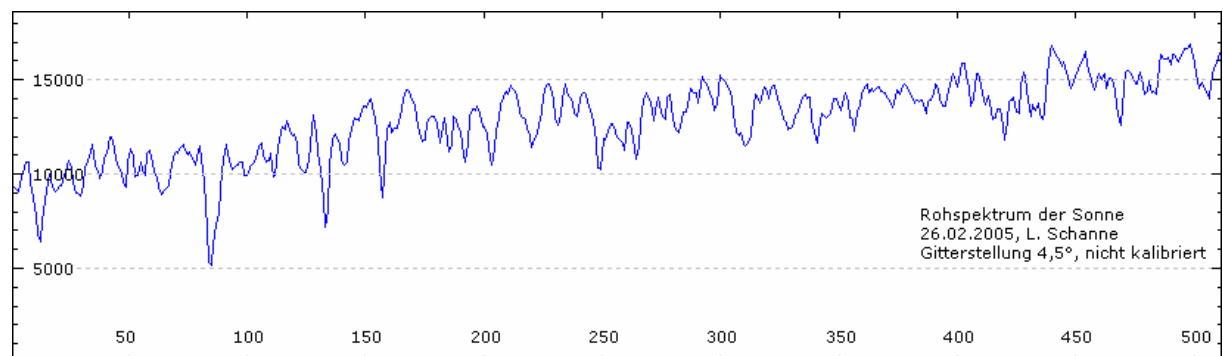
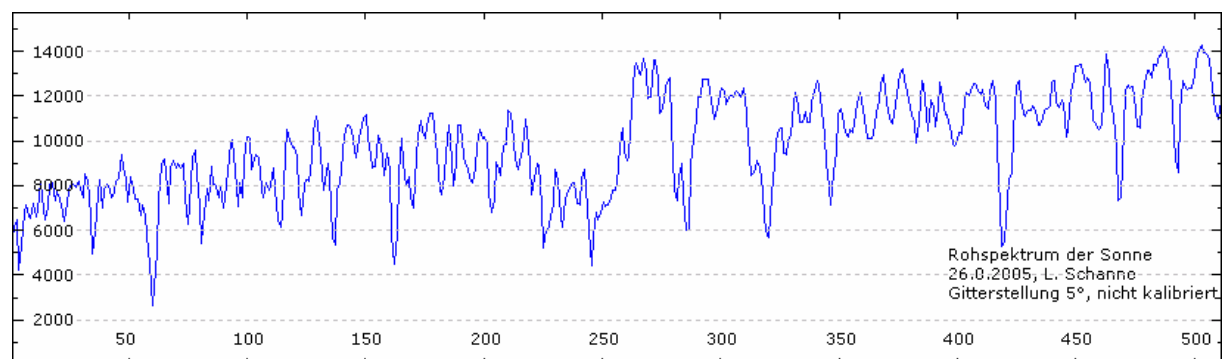
Die Rohfotos wurden dark-korrigiert und mit Astroart um 270° gedreht, damit die Spektrenstreifen horizontal verlaufen. Anschließend wurden sie mit Visual Spec in die Rohspektren überführt.

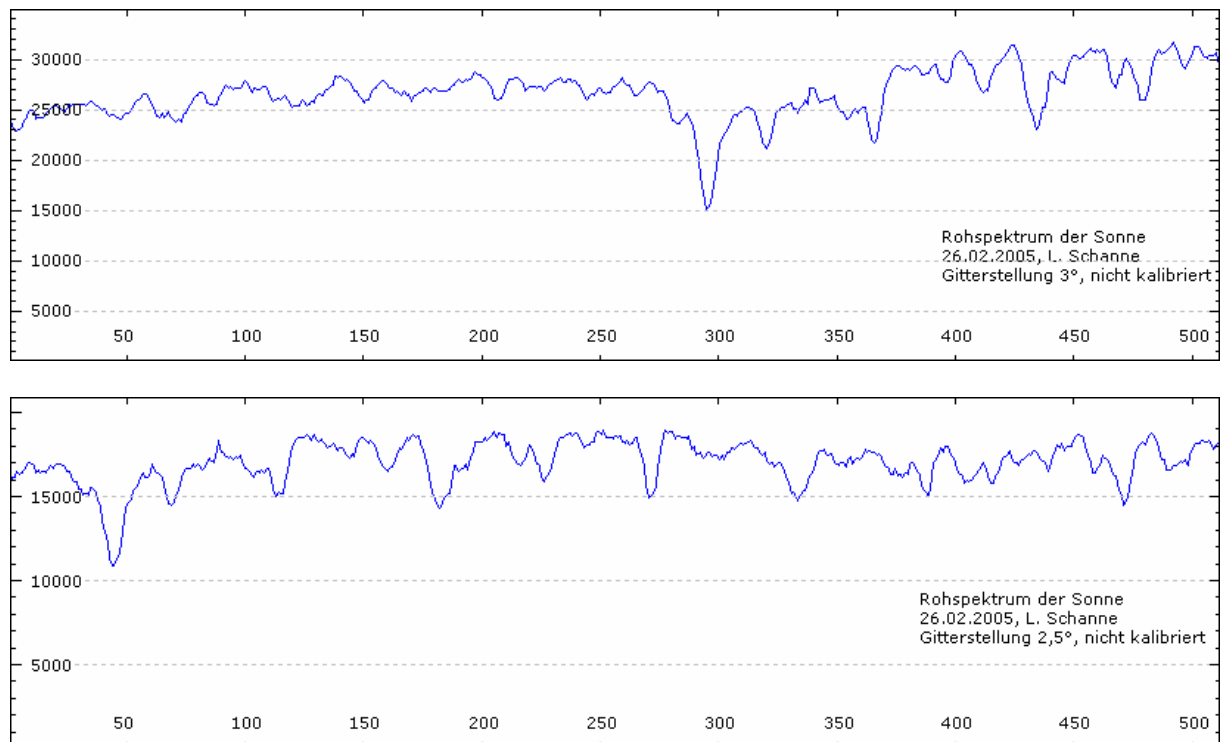
Nachfolgend werden die Spektren gezeigt (Abb. 35). Die ungefähre Wellenlänge der Zentren der Spektrenbereiche können mit Abb. xx aus der Gitterstellung ermittelt werden. Die Rohspektren überlappen sich seitlich immer ca. zu 30%.

Die schärfsten Linien sind ca. 2 bis 3 Pixel breit, was etwa $1\text{ }\text{\AA}$ entspricht.

Abbildung 35 Rohspektren der Sonne im Wellenlängenbereich 4000 Å bis 5300 Å







Diese Spektren können in VisSpec in synthetische Spektren überführt werden. Wegen der geringen Ausdehnung der Wellenlängenbereiche der einzelnen Spektrenausschnitte kann die Kennlinie der CCD-Chip-Empfindlichkeit für jedes Spektrum in erster Näherung als konstant angesehen werden. Deshalb sind die synthetischen Spektren geeignet, mit Literatur-Spektren direkt verglichen zu werden.

Die folgende Abbildung 36 zeigt die synthetischen Spektren:

Abbildung 36 Synthetische Spektren, abgeleitet aus den Spektren der Abb. 35

Gitterstellung 7°



Gitterstellung 6.5°



Gitterstellung 6°



Gitterstellung 5,5°



Gitterstellung 5°



Gitterstellung 4,5°



Gitterstellung 4°



Gitterstellung 3,5°



Gitterstellung 3°



Gitterstellung 2,5°



9 Vervollständigung des Sonnenspektrums (27. Februar 2005)

Gestern musste die Messung der Sonnenspektren unterbrochen werden weil zu dichte Bewölkung aufzog. Die Messungen mit der 5 µm-Lochblende wurden am Sonntagmorgen, den 27.02.2005, fortgesetzt. Der CCD-Chip wurde bei -20°C betrieben, im 1x1binning-mode, 1 s Belichtungszeit.

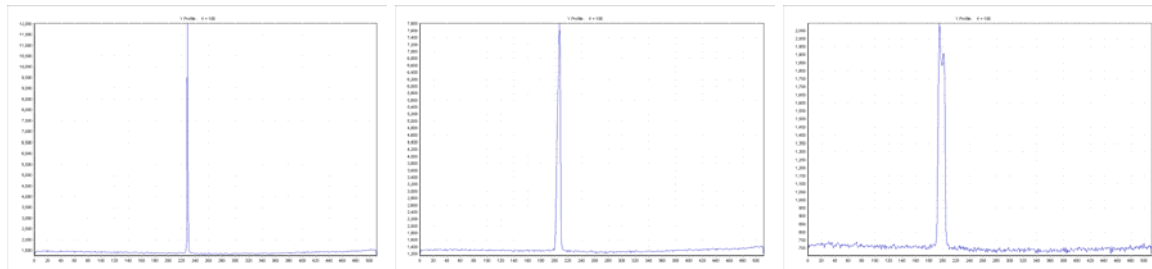
Die Fokussierung konnte noch verbessert werden, so dass bei einer Gitterstellung von 2,5° die Breite des Spektrums nur noch 2 Pixel = 18 µm beträgt. Die Auflösung der Spektren sollte also im Vergleich zu gestern noch besser sein.

Bei den Messungen fiel auf, dass die gute Fokussierung im Wellenlängenbereich um 5000 Å (2,5° Gitterstellung, 2 Pixel Breite) nach dem Rot hin immer schlechter wird, die Spektrenstreifen werden breiter. Dies ist deutlich beim Vergleich der folgenden Profile quer durch die Spektren zu sehen (vgl. Abbildung 37). Im Rot (7100 Å) wächst die Breite des Spektrums auf ca. 15 Pixel an. Dies war bei den Messungen gestern im blauen Bereich in wesentlich schwächerer Form erst bei Messungen unter 4500 Å zu erkennen.

Es handelt sich um kein Artefakt. Durch mehrfaches Einstellen der verschiedenen Wellenlängenbereiche ohne Änderung der Fokussierung ergab sich immer wieder das gleiche Bild. Wahrscheinlich handelt es sich um ein Problem der Farbkorrektur der verwendeten photographischen Objektive.

Damit ist aber klar, dass ohne weitere Gegenmaßnahmen im Roten nur eine geringere Auflösung des Spektrums erreicht werden kann.

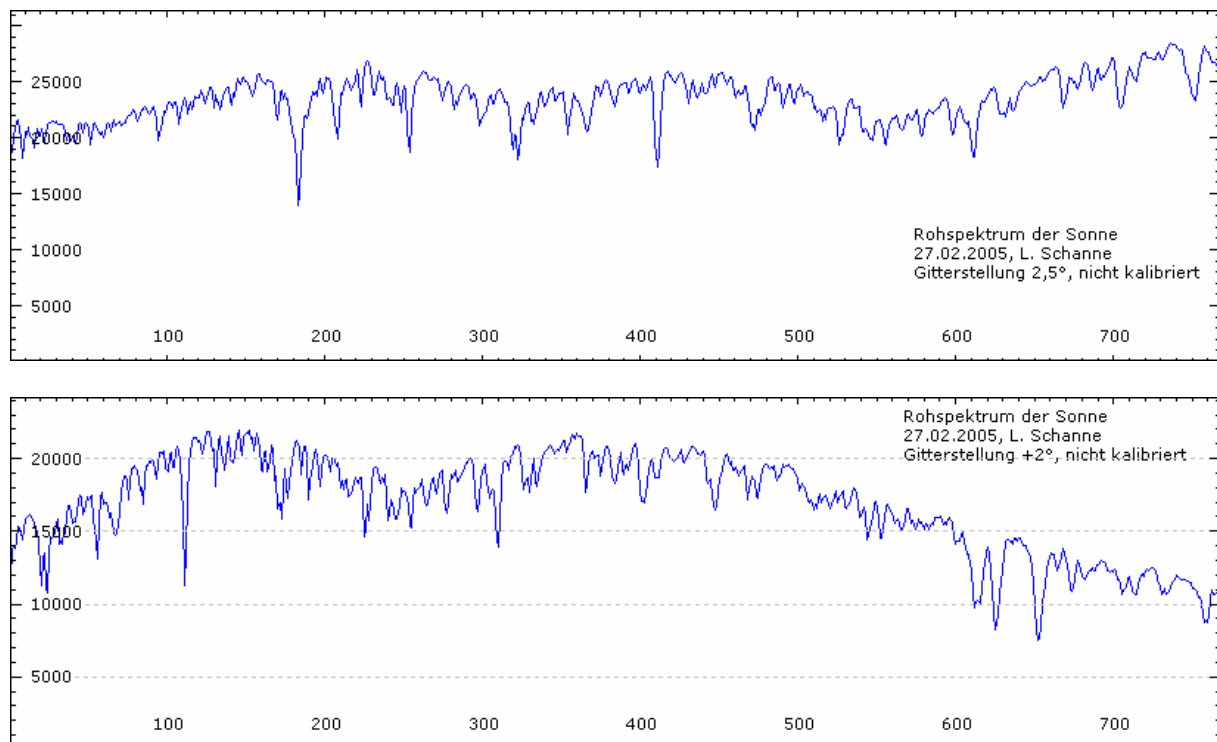
Abbildung 37 Zunahme der Spektrumsbreite zum Rot hin (Wellenlängenbereiche 5000 Å links, 6400 Å Mitte, 7100 Å rechts, die Å-Angaben gelten jeweils für die Mitte der Abszisse (= Pixelnummer))

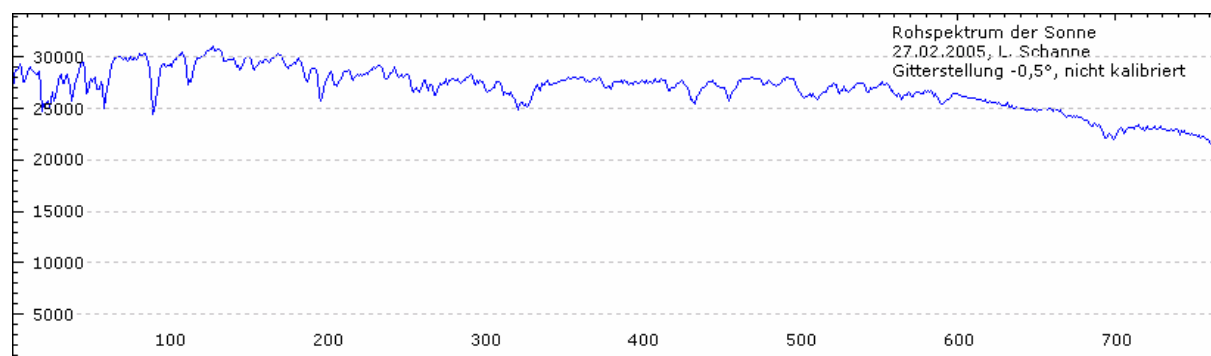
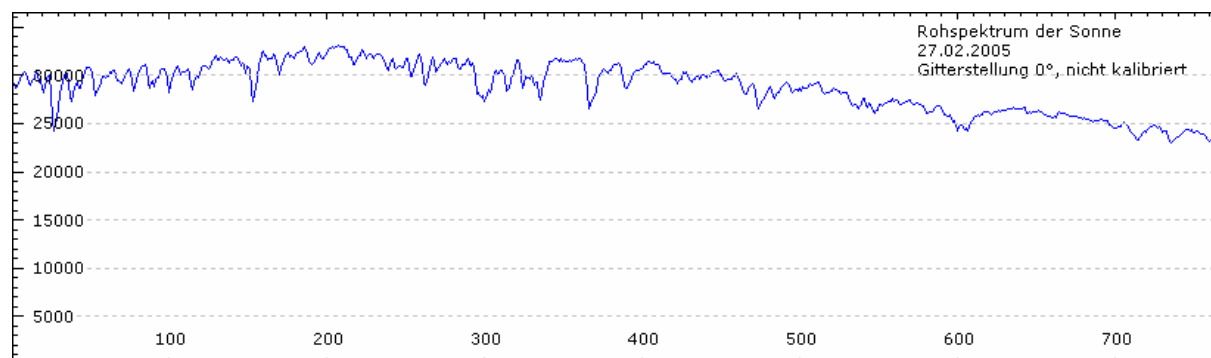
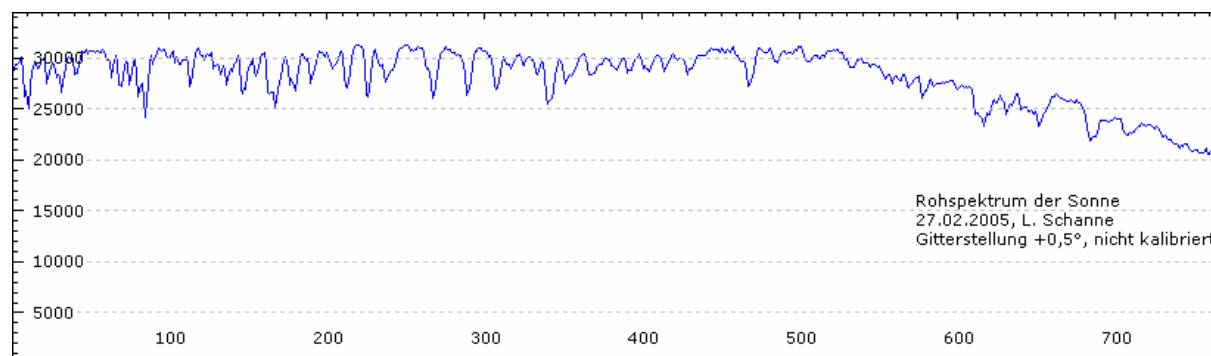
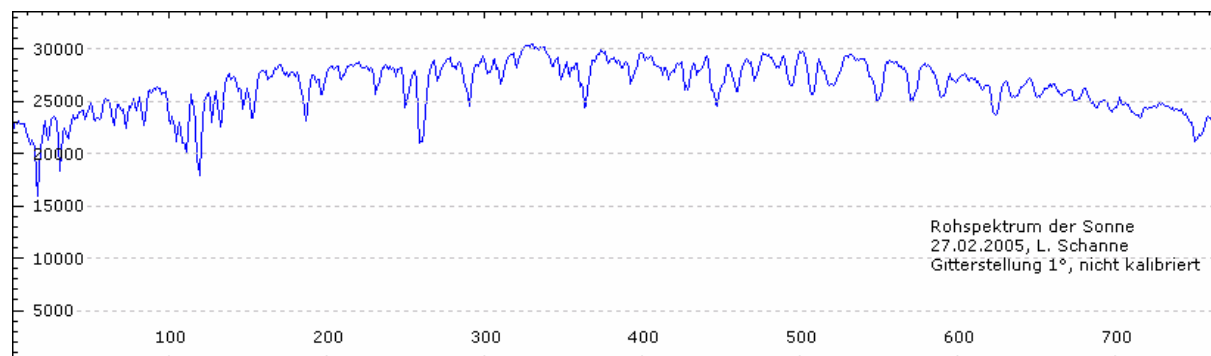
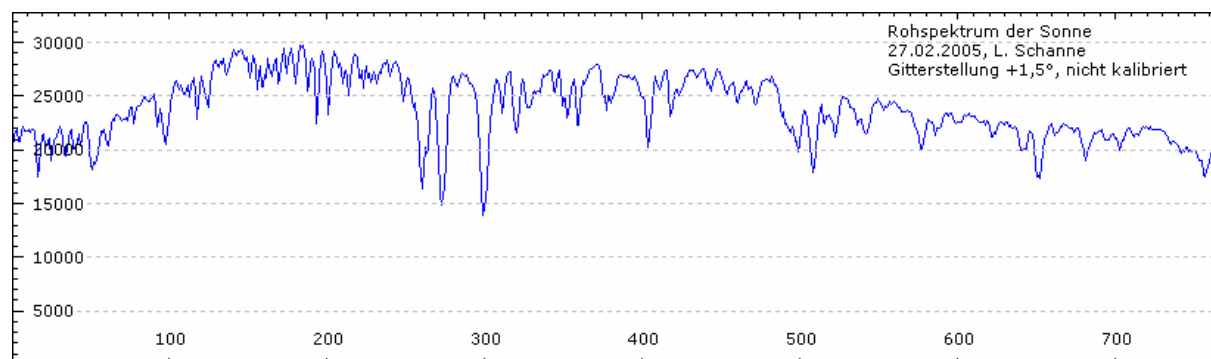


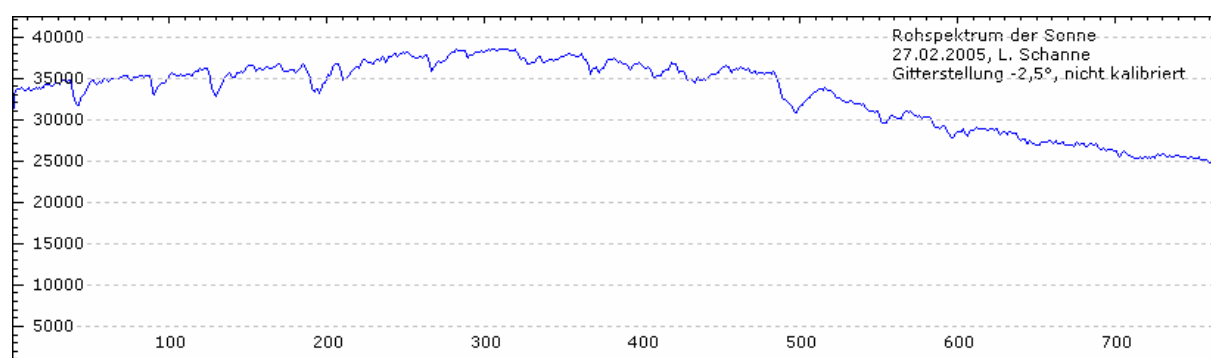
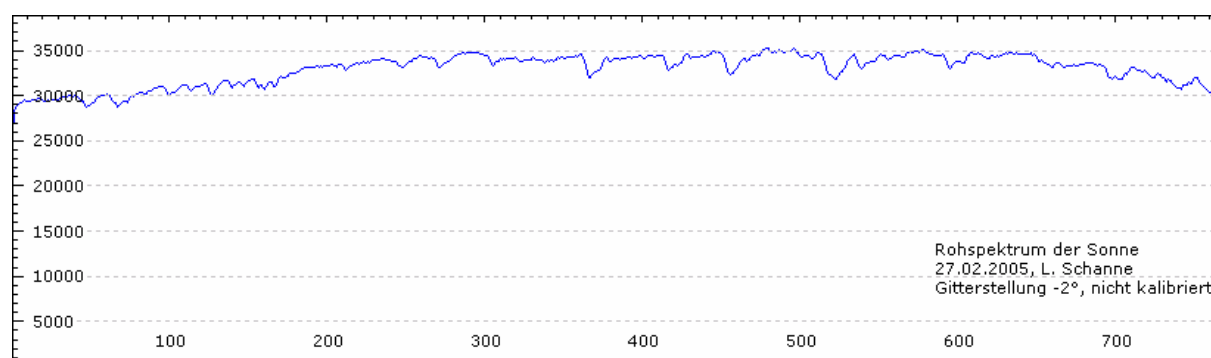
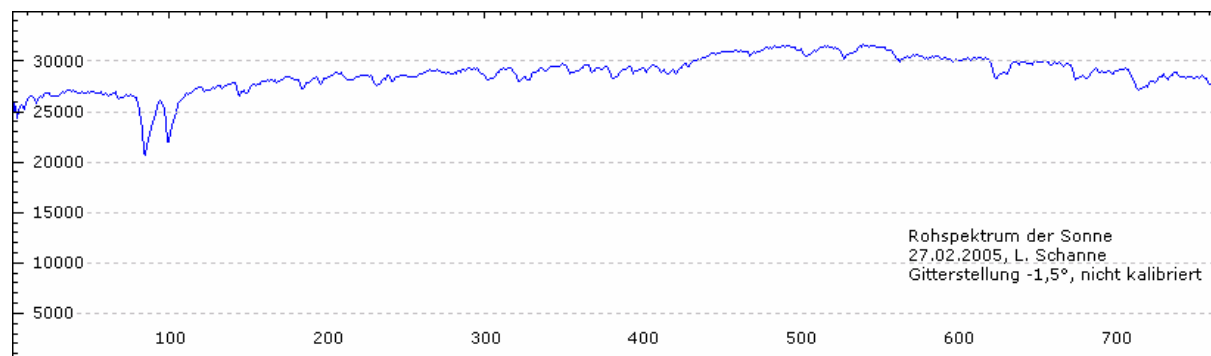
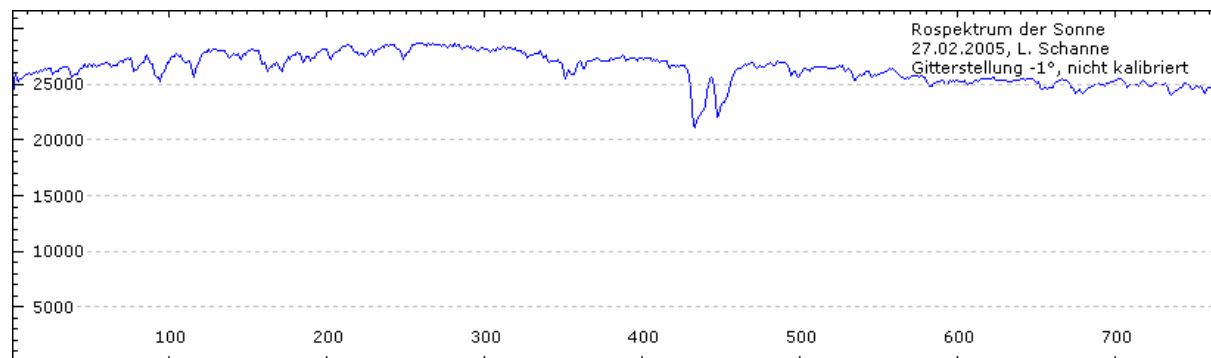
Bei den Gitterstellungen $+2,5^\circ$ bis $-0,5^\circ$ wurde wegen ausreichender Intensität jeweils ein Foto gemacht (1 s Belichtungszeit). Bei den negativeren Gitterstellungen wurden 3 Fotos genommen, die dann in Astroart addiert wurden. Alle Fotos sind dark korrigiert.

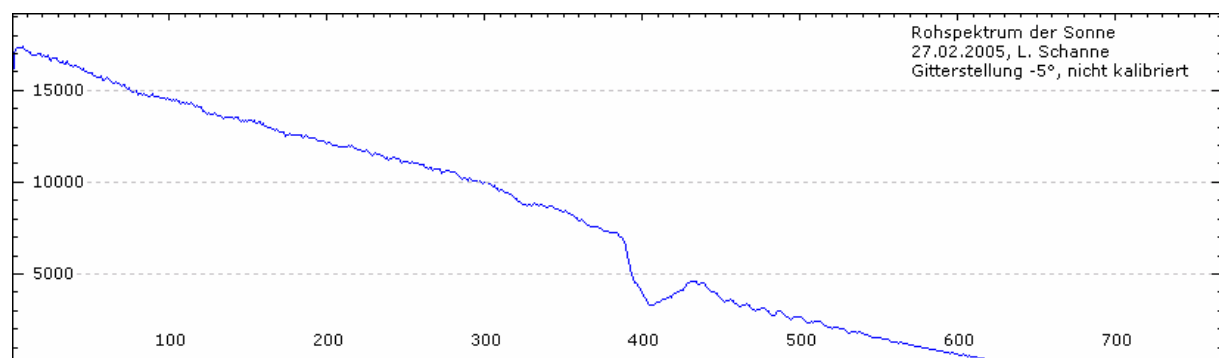
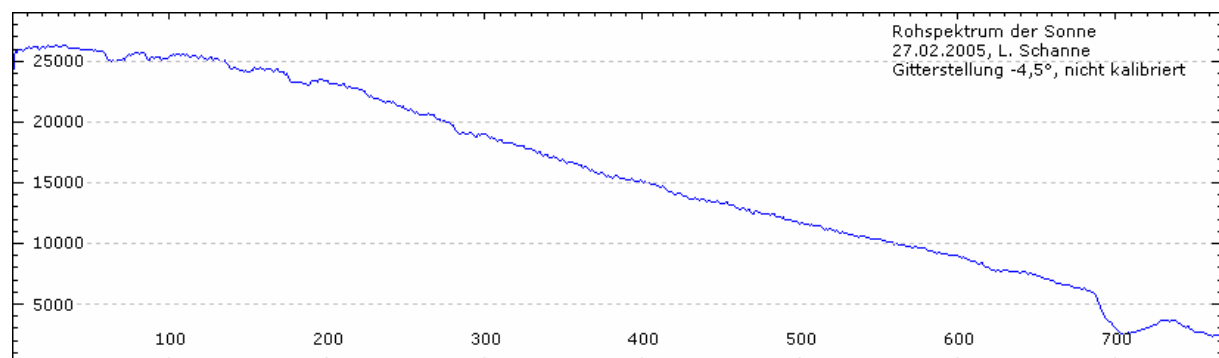
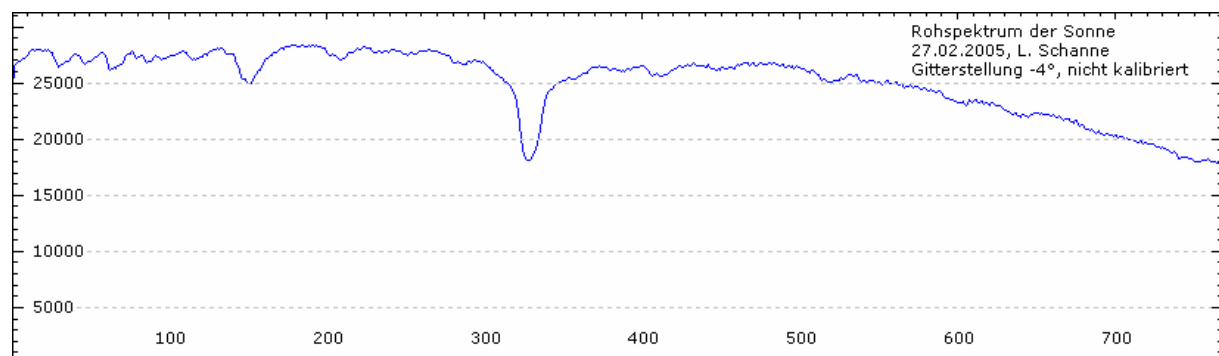
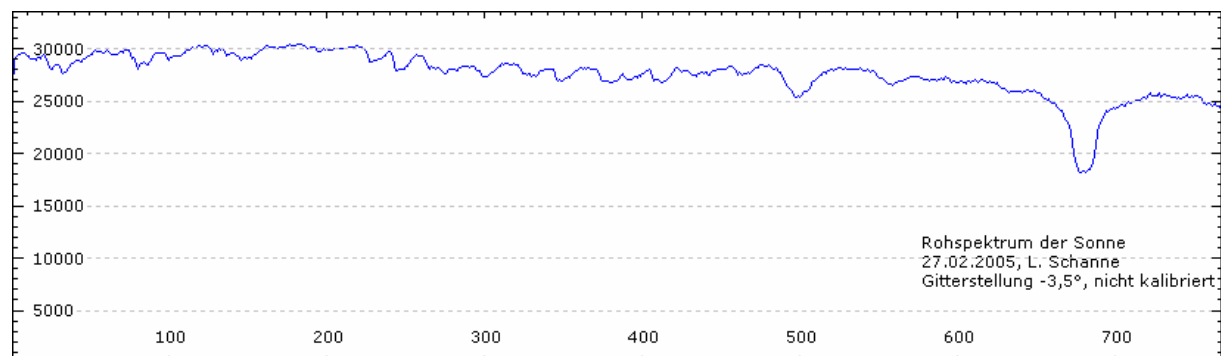
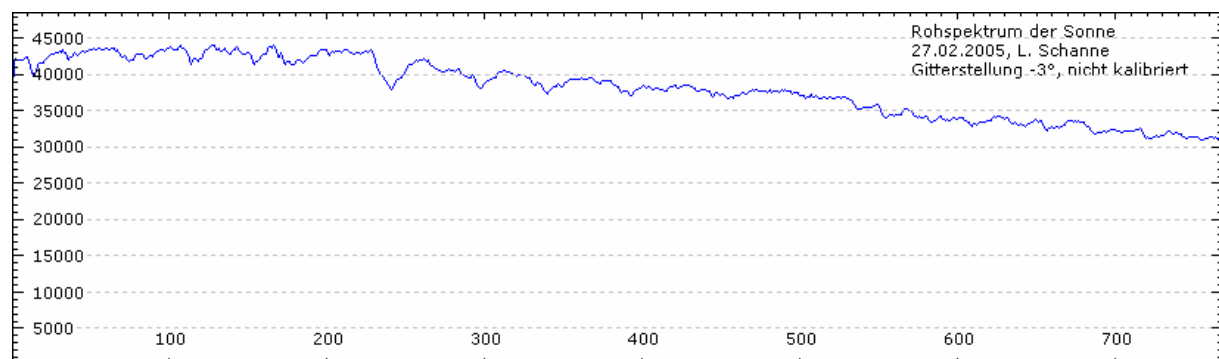
Die Spektrenstreifen wurden mit Visual Spec ausgewertet. Die Spektren sind nachfolgend abgebildet.

Abbildung 38 Rohspektren der Sonne im Wellenlängenbereich 5200 Å bis 7200 Å









Die synthetischen Spektren sind in der folgenden Abbildung 39 zusammengefasst.

Abbildung 39 Synthetische Spektren

Gitterstellung $+2,5^\circ$



Gitterstellung $+2^\circ$



Gitterstellung $+1,5^\circ$



Gitterstellung $+1^\circ$



Gitterstellung $+0,5^\circ$



Gitterstellung 0°



Gitterstellung $-0,5^\circ$



Gitterstellung -1°



Gitterstellung $-1,5^\circ$



Gitterstellung -2°



Gitterstellung $-2,5^\circ$



Gitterstellung -3°



Gitterstellung $-3,5^\circ$



Gitterstellung -4°



Gitterstellung $-4,5^\circ$



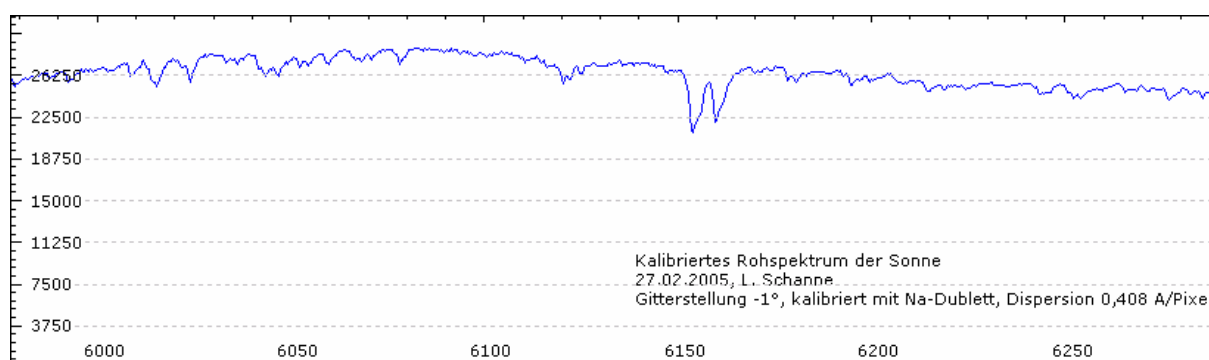
Gitterstellung -5°



Beim Versuch, die Linien der erhaltenen Spektren zu identifizieren und ihnen bestimmte Wellenlängen zuzuordnen, gelang dies zweifelsfrei nur mit dem Na-Dublett bei Gitterstellung -1° und $-1,5^\circ$. Mit beiden Linien wurden beide Aufnahmen kalibriert.

Das Ergebnis zeigt Abbildung 40. Die Abszisse zeigt nur die Wellenlänge in Å an. Es wurden also die dicht zusammen liegenden starken Na-Linien in Å angegeben und daraus berechnet Visual Spec die Kalibrierskala und die zugehörige Dispersion (in Å/Pixel, hier 0408). Mit dem Spektrum bei Gitterstellung $-1,5^\circ$ ergibt sich eine Dispersion von 0,45 Å/Pixel. Dies ist ein wesentlicher Unterschied. Die Abweichung ergibt sich daraus, dass die beiden Linien dicht aufeinander liegen, nur wenige Pixel entfernt und deshalb ein kleiner Fehler bei der Bestimmung der Linienmitte bereits sich wesentlich auf die Dispersion auswirkt. Es ist deshalb besser, zur Kalibrierung 2 Linien zu benutzen, die möglichst weit auseinander liegen.

Abbildung 40



Ist die Dispersion des Spektrographen erst einmal exakt bestimmt, ist nur noch eine einzige Linie zur Kalibrierung notwendig, solange keine Änderungen der Gerätekonfiguration vorgenommen wird. Dann können mehrere Spektrenabschnitte in einer Kette kalibriert werden, wenn eine Linie in einem Spektrum zweifelsfrei identifiziert werden kann und die Mitglieder der Kette, die Spektren, sich gegenseitig überlappen und im Überlappungsbereich markante Muster/Linien haben, die dem Anschluss der Spektren dienen können.

10 Exakte Bestimmung der Dispersion des Spektrographen (28. Februar 2005)

Die Dispersion wurde bereits in Abschnitt 6 für den 3x3-binning-Modus grob bestimmt. Wegen der dabei benutzten großen Lochblende ist die Auflösung der Spektren schlechter wie bei der Verwendung einer 5 um-Blende. Um die Dispersion möglichst exakt zu bestimmen, wurde das Spektrum der Ne-Glimmlampe nochmals mit

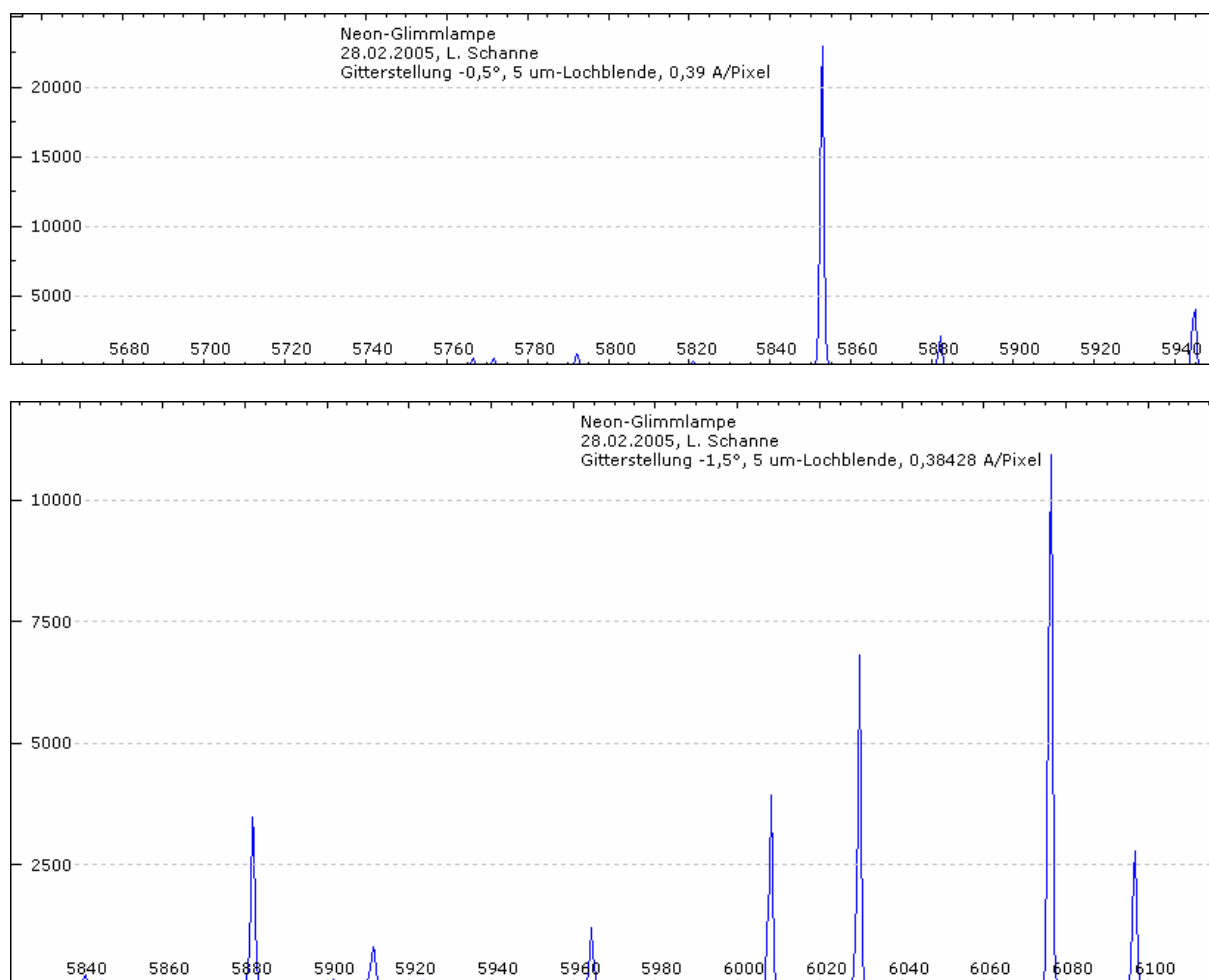
der 5 μm -Blende und im 1x1-binning-mode in $\frac{1}{2}$ -Grad-Schritten vermessen. Chip-temperatur -10°C , 60 s Belichtungszeit, jeweils 5 Bilder. Dafür wurde sorgsam fokussiert, damit die Emissionslinien möglichst (pixel)genau lokalisiert werden können.

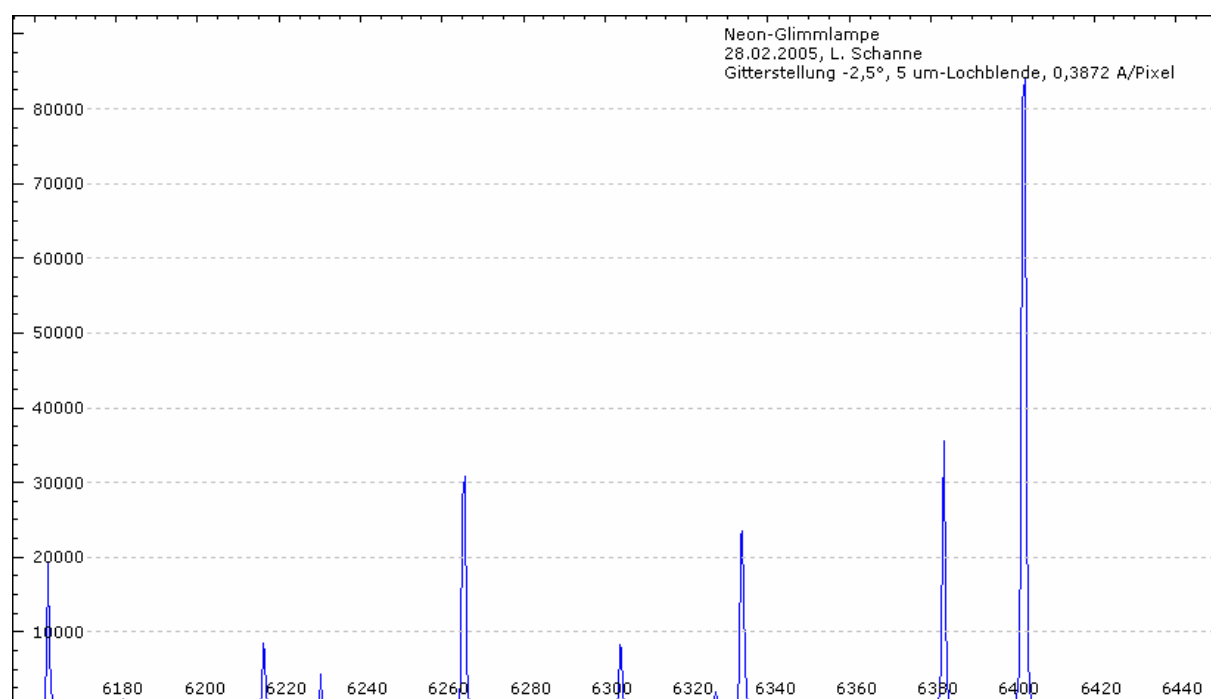
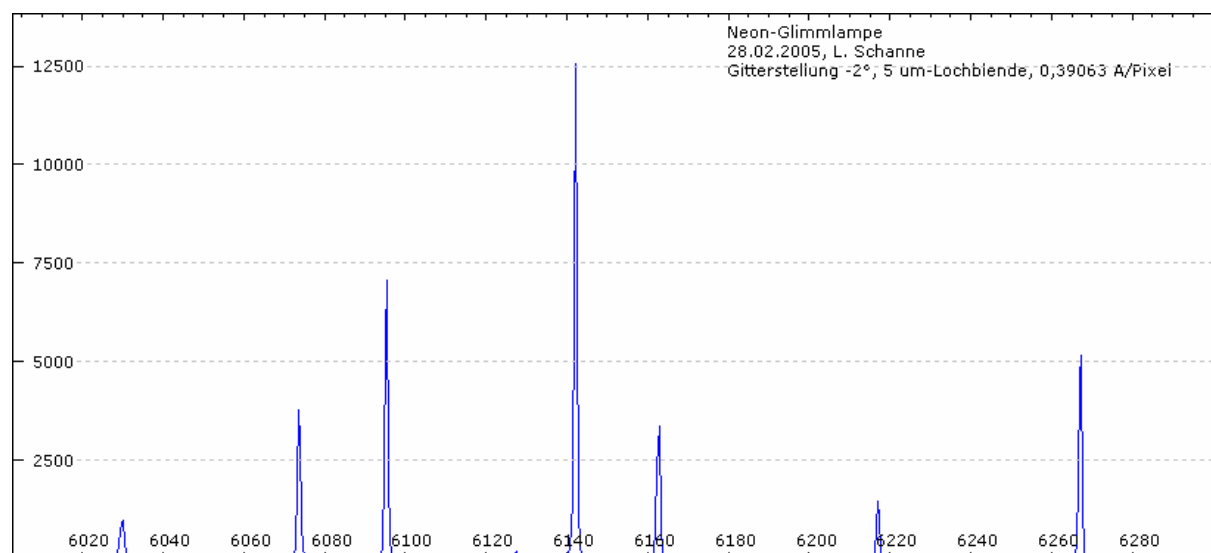
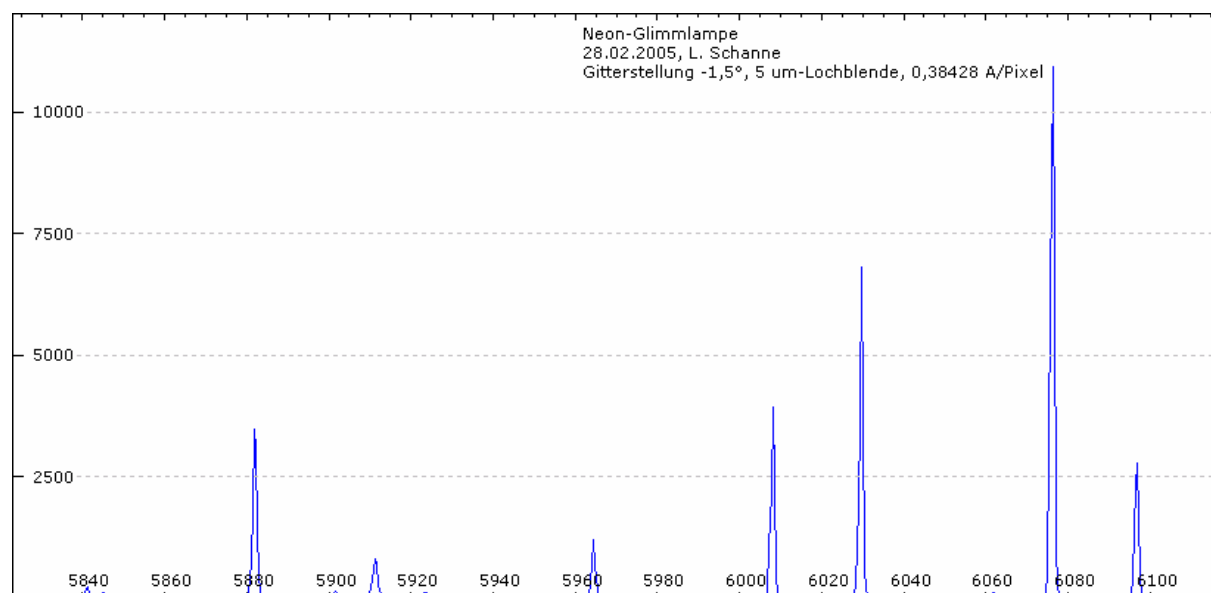
Nachfolgend sind die ausgewerteten und kalibrierten Spektren dargestellt. Die gemessene Dispersion liegt zwischen 0,37 und 0,39 $\text{\AA}/\text{pixel}$. Die Basisbreite der beobachteten Emissionslinien liegt zwischen 3 und 4 $\text{\AA}$, die FWHM etwa bei 1 bis 2 $\text{\AA}$.

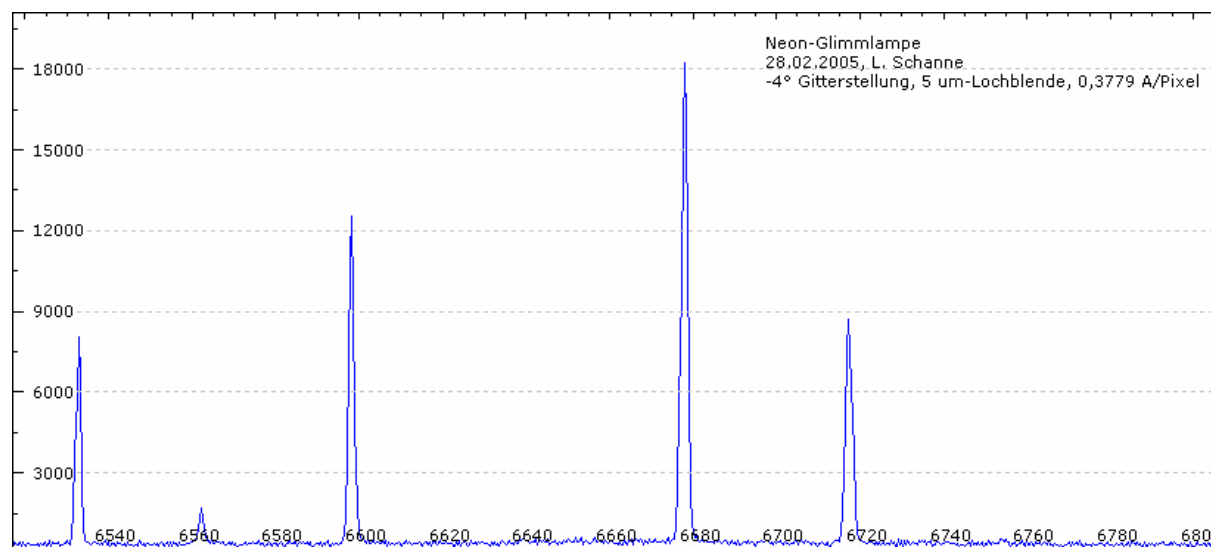
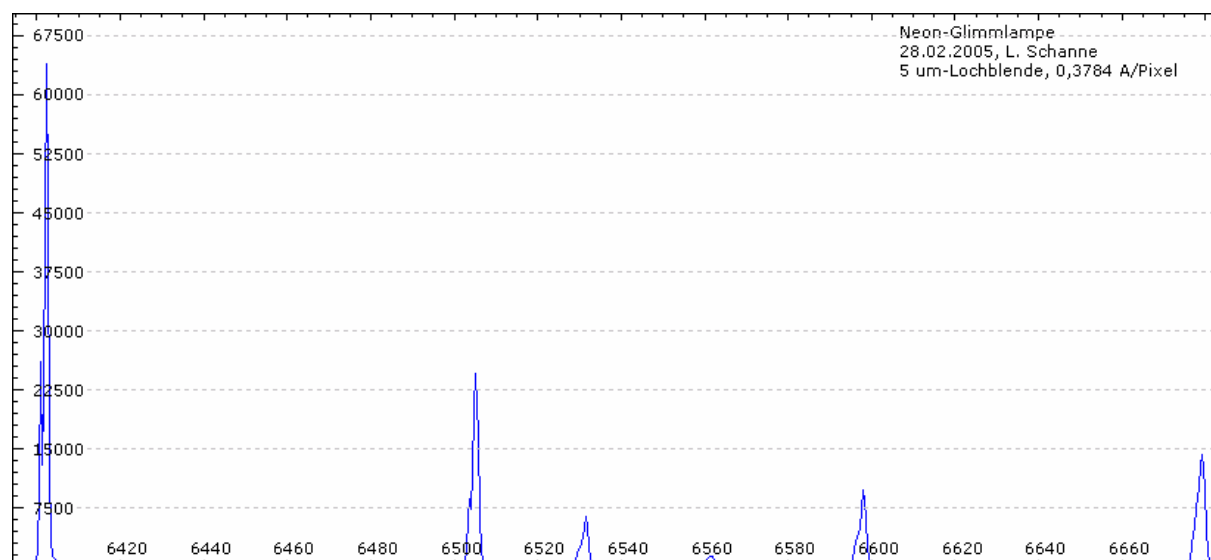
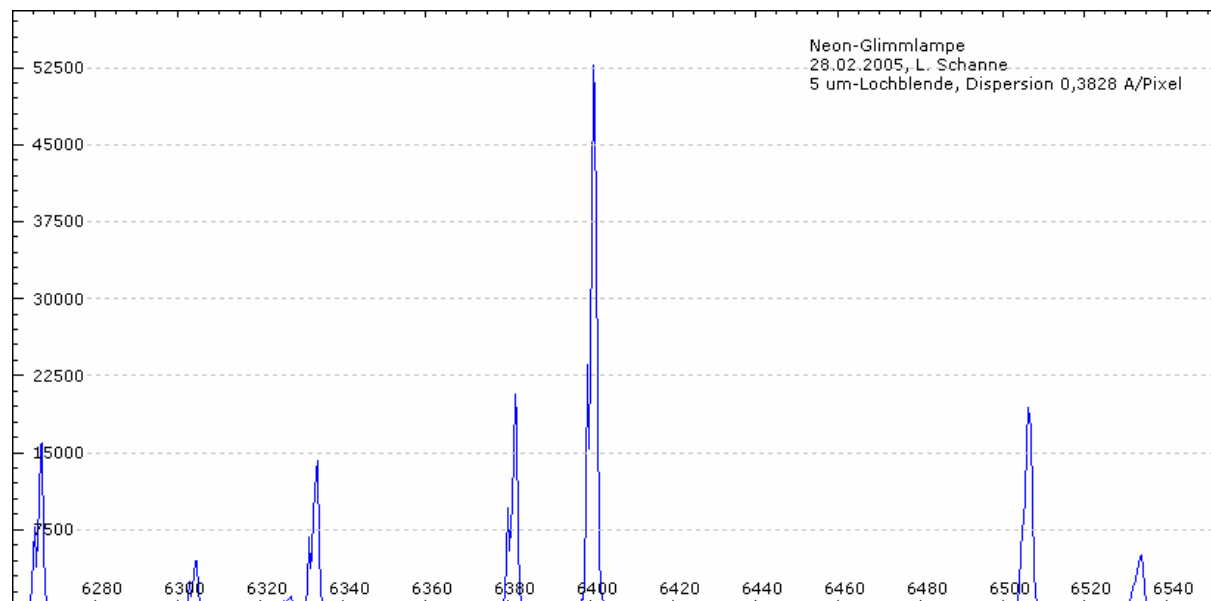
Die 1 bis 2 Pixel breiten Linien sind Artefakte (heiße Pixel). Die echten Emissionslinien sind etwas breiter zur Basis hin.

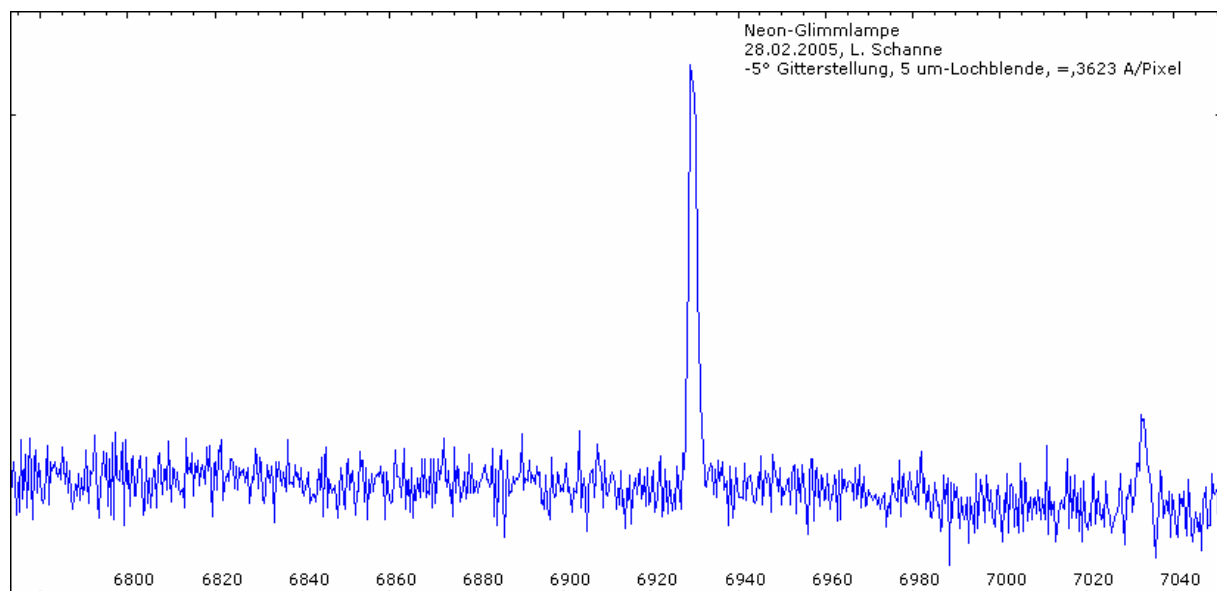
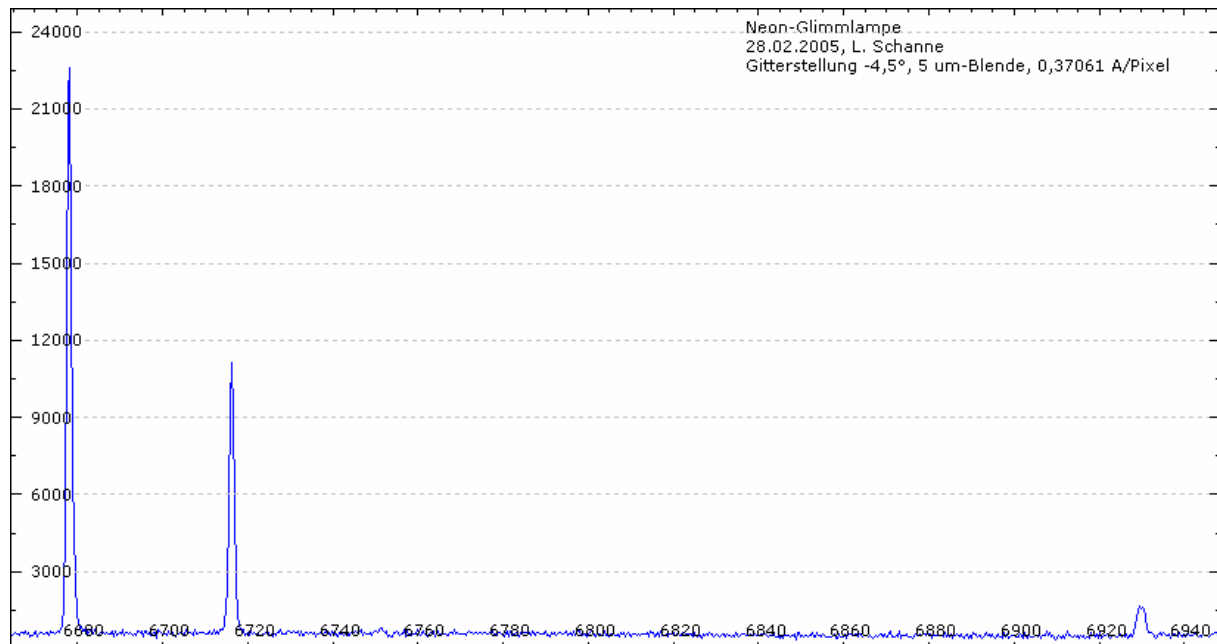
Die wenigen Linien im Blauen konnten nicht mit Sicherheit zugeordnet werden, weshalb für diesen Bereich keine Dispersionsmessung mit dem Ne-Spektrum möglich war.

Abbildung 41 Emissionspektren der Glimmlampe (Neon)









11 Auswertung der Siriuspektren (25. Februar 2005)

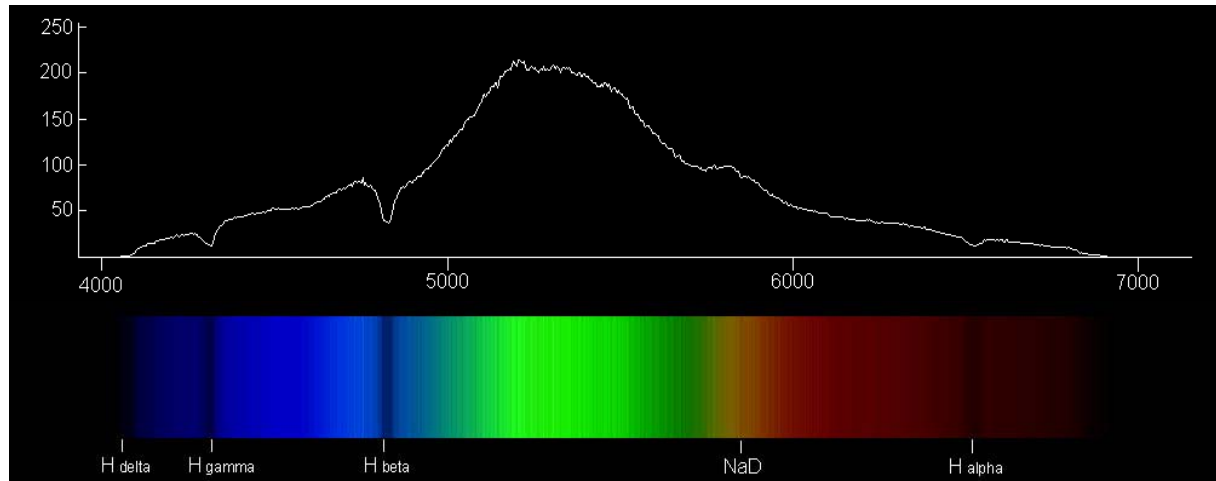
Nachdem die Dispersion exakt vermessen ist, können nun die Sirius-Spektren des Abends 25.02.2005 ausgewertet werden (02.02.2005).

Der Abend war für normale Messungen ziemlich ungeeignet. Die Sicht war trübe, nur die hellsten Sterne waren sichtbar. Die Sichtbarkeit wurde im Laufe der Nacht immer schlechter.

Sirius (α CMa) ist ein A1V-Stern. Ein Spektrum niedriger Auflösung aus der Literatur ist nachfolgend wiedergegeben. Es bietet einen Überblick und eine Vergleichsmöglichkeit mit den gemessenen Spektren höherer Auflösung, wie sie anschließend vorgestellt werden. Das Spektrum dieser Spektralklasse wird dominiert von den breiten

Wasserstoffabsorptionslinien der Balmerreihe ($H\alpha$ bei 6562,85 Å, $H\beta$ bei 4861,33, $H\gamma$ bei 4340,47 und $H\delta$ bei 4101,74). Die schmalen Linien der sonstigen Elemente sind bei dieser Auflösung kaum sichtbar.

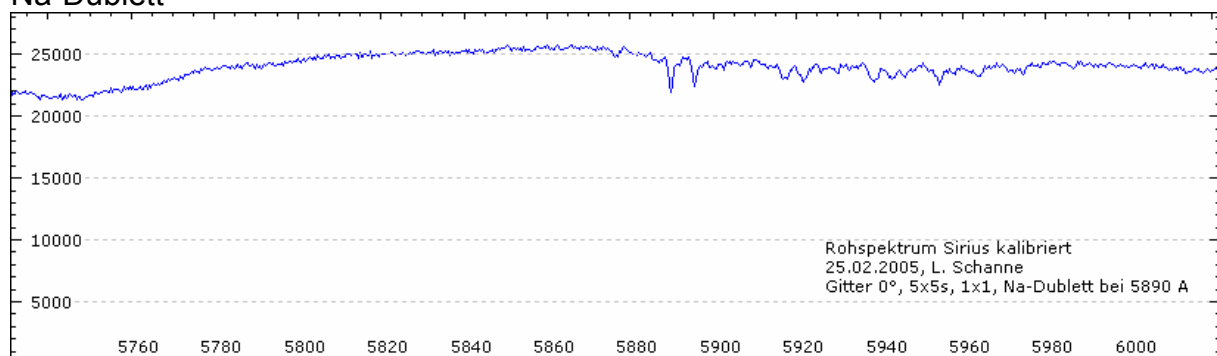
Abbildung 42 Literaturspektrum des Sirius



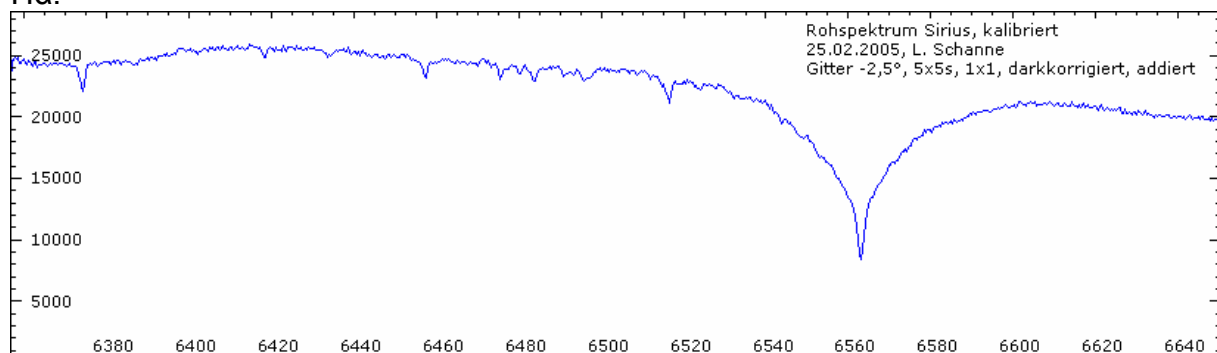
Es wurden 5 Spektren aufgenommen mit einer Belichtungszeit von 5 s und von 30s. Die mit Astroart dark-korrigierten und addierten Bilder wurden mit Visual Spec ausgewertet. Die an Hand identifizierbarer Absorptionslinien kalibrierten Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

Abbildung 43 Kalibrierte Spektren des Sirius mit markanten Absorptionslinien

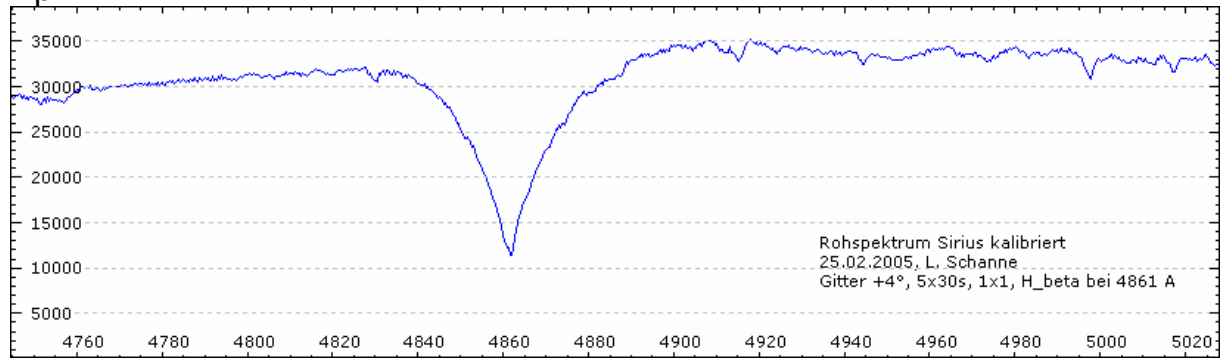
Na-Dublett



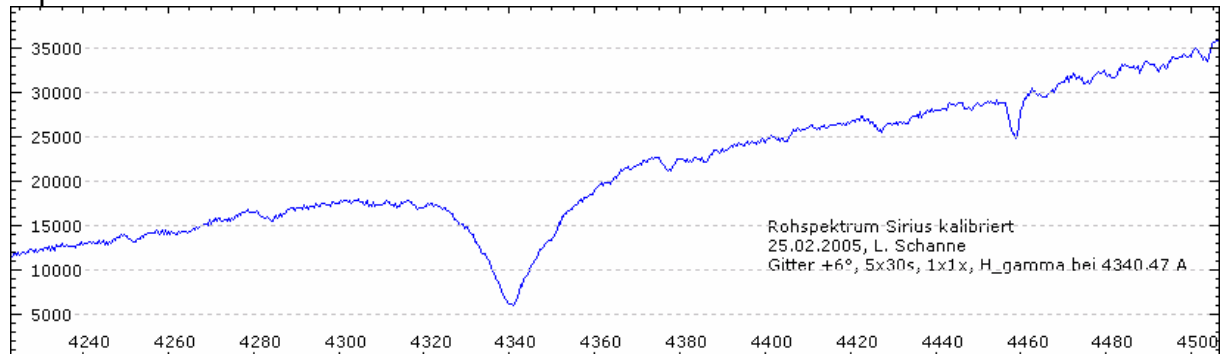
H α :



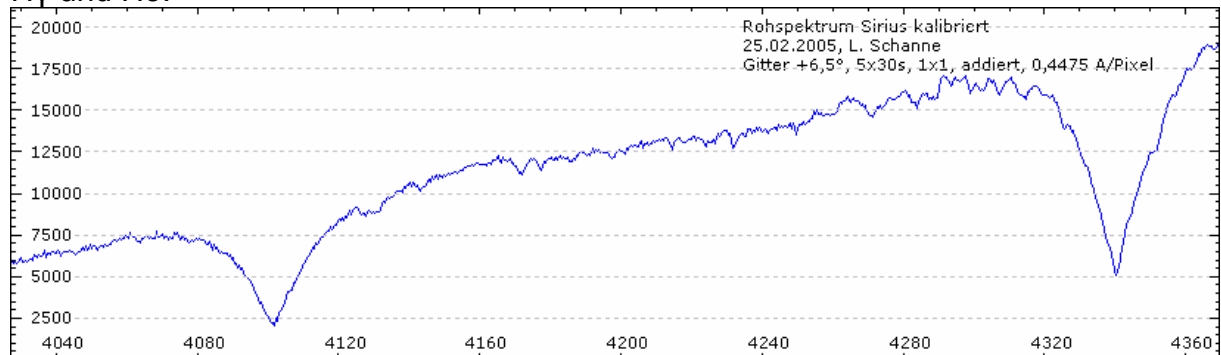
H β



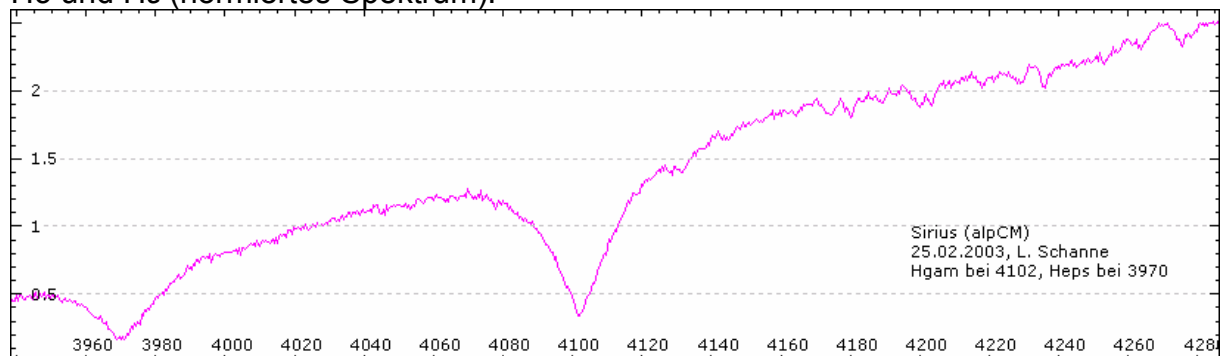
H γ :



H γ und H δ :



H δ und H ϵ (normiertes Spektrum):



12 Verbesserte Auswertung der Sirius-Spektren (05. März 2005)

Die verwendeten Rohbilder (.fit) vom 25.02.2005 haben einige Mängel:

- Die Spektrenstreifen hatten eine deutlich wahrnehmbare Drift über den CCD-Chip. Das führt bei einfacher Addition mehrerer aufgenommener Spektren dazu, dass die Absorptionslinien verbreitert werden (sie sehen im Bild schräg aus und verschieben sich von Aufnahme zu Aufnahme in beiden Koordinatenachsen). Der Effekt hängt an einer nicht ausreichend genauen Einnordung der Montierung, teilweise auch an den Unregelmäßigkeiten der Montierungsnachführung (Sprünge, zyklische Abweichungen).
- Die Spektrenstreifen verlaufen nicht exakt in der „Horizontalen“, also nicht genau in der x-Achse des CCD-Chips (= Pixelzeilen). Sie hängen etwas schief (hier $0,33^\circ$). Deshalb muss bei der Integration des Spektrumsfadens der addierten Einzelbilder zur spektralen Intensitätsverteilung unnötig viel Himmels-hintergrund mit einbezogen werden, was das Signal-Rauschverhältnis verschlechtert.

Die erste Auswertung nach Abschnitt 11 erfolgte so, dass die einzelnen Spektrenstreifen (jeweils 5 für jede Gitterstellung) mit Astroart addiert wurden. Obige Effekte ergeben dann einen verbreiterten Summenstreifen mit leicht schrägen erkennbaren Absorptionslinien. Es ist zu befürchten, dass die erzielte Auflösung nicht das Maximum ergibt, welche bei aufwendigerer Verarbeitung der Rohspektren möglich wäre.

Aus diesem Grund (und auch zur Einarbeitung in die entsprechenden Techniken) wurde an einem Spektrum (Gitterstellung 7° , im Blauen) folgende Vorgehensweise exerziert:

Im Bildverarbeitungsprogramm IRIS (Version 4.22):

1. Drehung der 5 Rohspektren, so dass die Spektrenstreifen horizontal liegen (Befehle: `>l_ori Angle=0.332 >rot2 sirius_30s_7grd_ sirius_30s_7grd_h_ 250 350 0.332 5`).
2. Horizontale Verschiebung (Ausrichtung) der jetzt horizontalen Spektren nach Lage der H δ -Linie (registering, Befehl: `l_register sirius_30s_7grd_h_ sirius_30s_7grd_h_reg_ 0 30 5`).
3. Addition der 5 Spektrenstreifen (Befehl: `>Composit sirius_30s_7grd_h_reg_ 2.5 2 1 5` mit Syntax: `composit [name] [sigma] [#iter] [flag max] [#images]`)
4. Korrektur um den Median des Himmelshintergrunds (Befehl: `>noffset 0`)

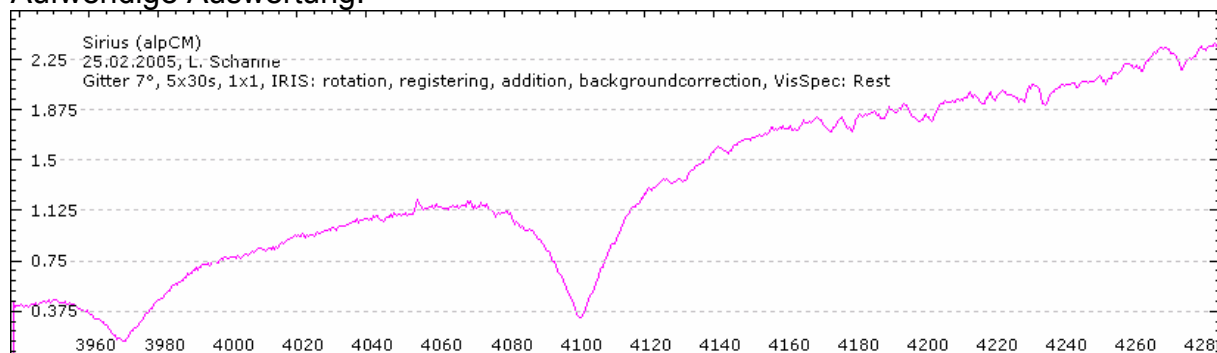
Im Spektrenauswertungsprogramm Visual Spec:

1. Halbmanuelle Integration des Spektrenstreifens aus IRIS zu einer Intensitäts/Pixel-Liste (bzw. Grafik).
2. Kalibrierung an Hand der beiden H-Linien H δ und H ϵ .
3. Normierung.

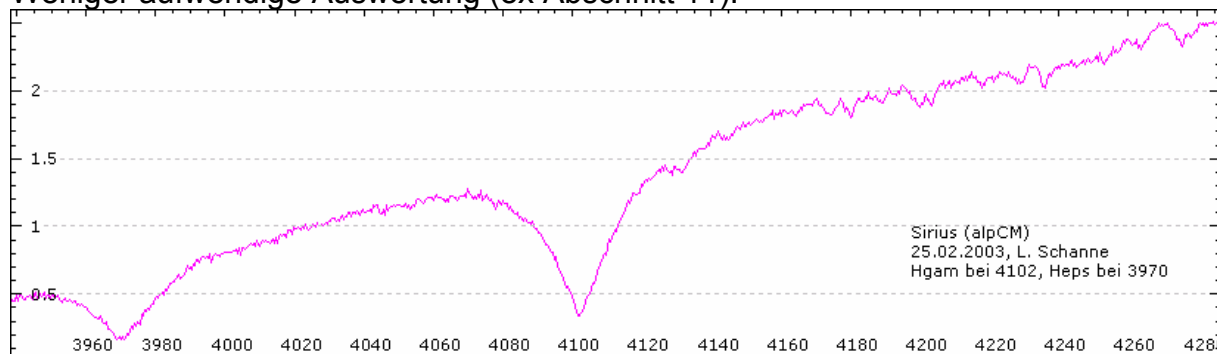
Das Ergebnis ist nachfolgend zum Vergleich mit dem Ergebnis aus Abschnitt 11 dargestellt (sich aus der Linienzuordnung H δ und H ϵ ergebende Dispersion = $0,44 \text{ \AA/Pixel}$).

Abbildung 44 Vergleich der Siriukspektren unterschiedlicher Auswertungstiefe

Aufwendige Auswertung:



Weniger aufwendige Auswertung (ex Abschnitt 11):



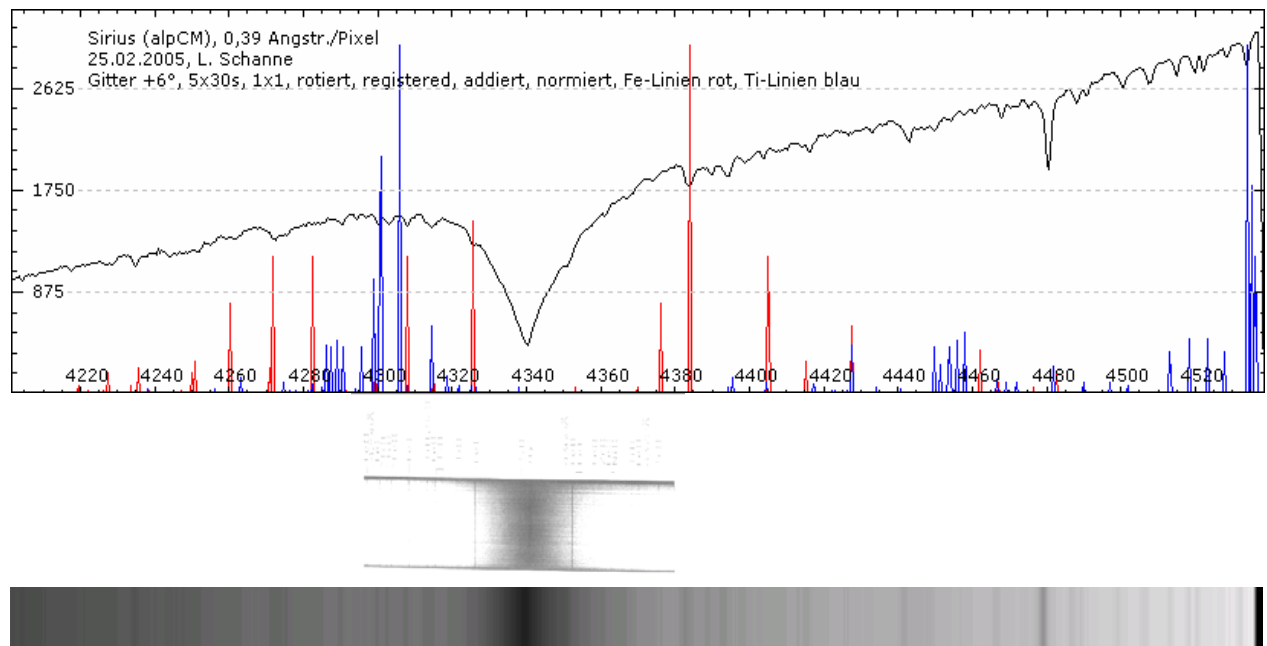
Ergebnis: Der Spektrenverlauf ist nach der aufwendigeren Auswertung etwas glatter (besseres S/N-Verhältnis: SNR = 34 gegen 13).

Ob die schwache Emissionslinie bei 4055 Å echt oder ein Artefakt ist oder einer Straßenlaterne zuzuordnen ist (Hg 4047 Å ?), soll an dieser Stelle nicht weiter diskutiert werden.

Die gleiche Technik wurde angewandt auf die 5 Spektren, die mit Gitterstellung +6° jeweils 30s belichtet wurden. Die Wellenlängenskala wurde definiert durch Eingabe der Wellenlänge der H γ -Linie und der Dispersion von 0,44 Å/Pixel⁶. Zudem wurden noch die Linien von Fe und Ti, ein aus den Messergebnissen synthetisch erstelltes Spektrum und ein gescanntes Beispiel aus der Literatur (J.B. Kaler, Sterne und ihre Spektren, Seite 213) eingeblendet. SNR = 40.

⁶ Diese Dispersion ergab sich aus der Gitterstellung +7° durch Kalibrierung mit H δ und H ϵ . Mit der Ne-Glimmlampe konnte die Dispersion dieses Wellenlängenbereiches wegen fehlender Linien im Blauen nicht ermittelt werden.

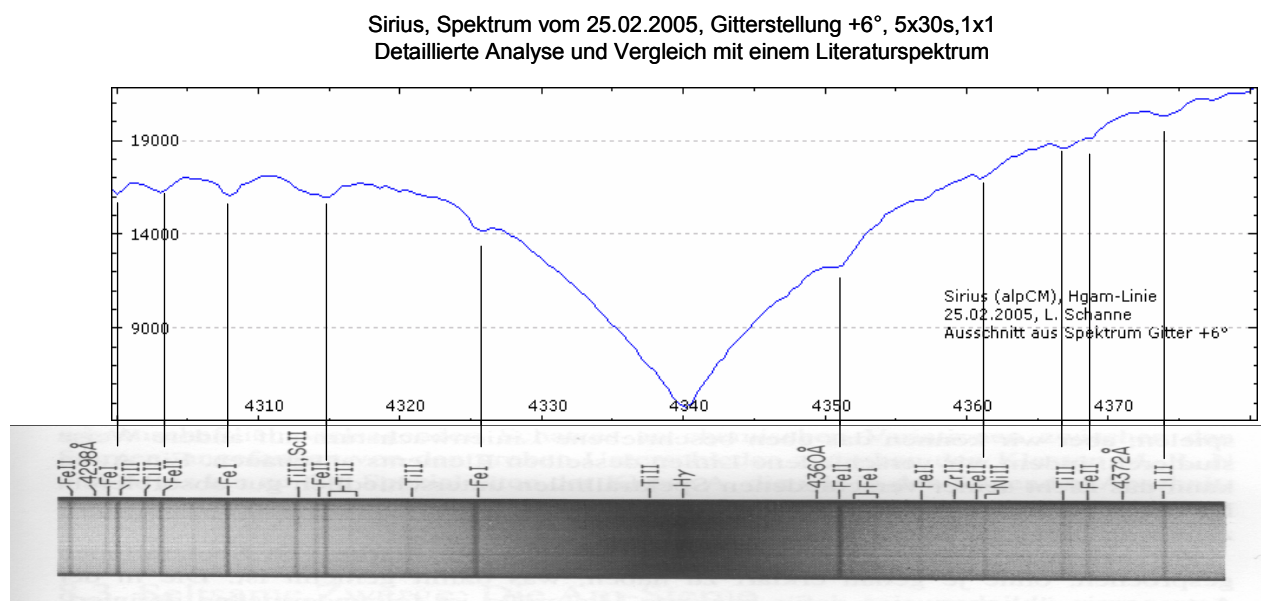
Abbildung 45 Siriuusspektrum im Bereich der Hy-Linie und Vergleich mit Literaturspektrum



Bei der Linie bei 4481 Å könnte es sich um die beiden Linien des MgII (4481,129 und 4481,327 Å, gleiche relative Intensität) handeln (?).

Die direkte Umgebung der Hy-Linie wurde noch einmal herausvergrößert und mit dem Literaturspektrum verglichen (folgende Abbildung). Das Literaturspektrum wurde mit dem 2,5m-Teleskop und einem Goudé-Spektrographen auf dem Mount Wilson gemessen.

Abbildung 46 Vergrößertes Siriuusspektrum im Bereich der Hy-Linie und Vergleich mit Literaturspektrum

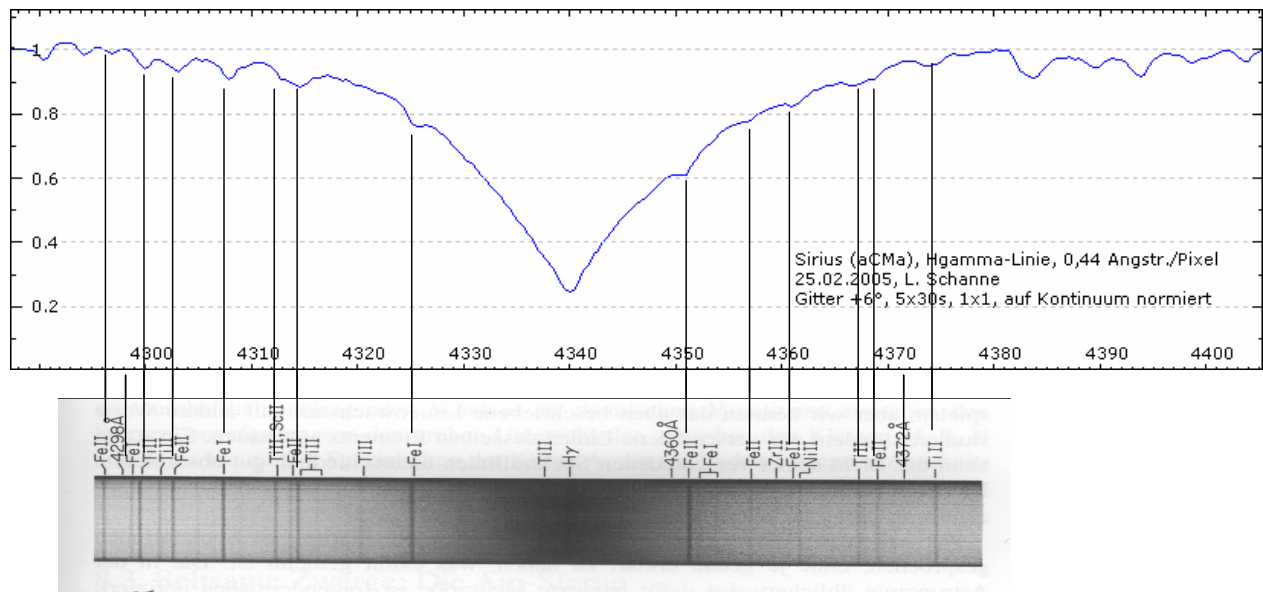


J.B. Kaler, Sterne und ihre Spektren, Seite 213

Durch Spline-Interpolation wurde das Kontinuum dieses Spektrums bestimmt und die Intensitäten auf das Kontinuum normiert. Ergebnis ist Abb. 46.

Abbildung 47 Vergrößertes Siriuusspektrum im Bereich der H γ -Linie und Vergleich mit Literaturspektrum, nach Normierung auf das Kontinuum

Sirius, Spektrum vom 25.02.2005, Gitterstellung +6°, 5x30s, 1x1
 Spektrenausschnitt H γ -Linie bei 4340Å, Detailanalyse mit Vergleichsspektrum



J.B. Kaler, Sterne und ihre Spektren, 1994, Spektrum-Verlag, Seite 213

Nach diesen ersten Tests zur Verbesserung und Einübung der Auswertemethodik wurden alle Spektrenbereiche des Sirius, gemessen am 25.02.2005, nach der gleichen Methode behandelt:

Mit IRIS:

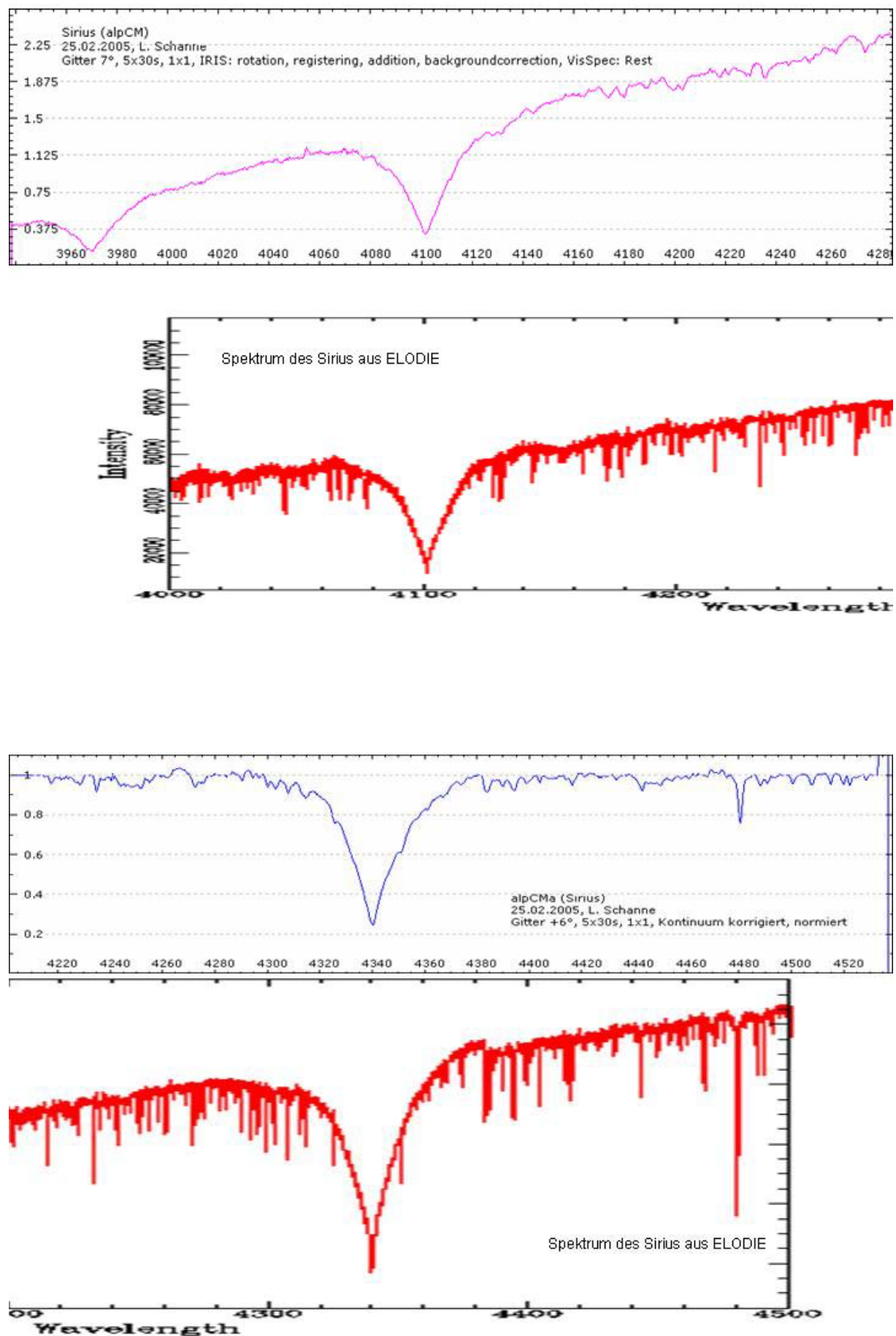
1. Darkfield-Korrektur aller Fotos
2. Drehung der Spektrenstreifen, damit sie horizontal liegen.
3. Ausrichtung der Spektren an Hand sichtbarer Absorptionslinien (registering).
4. Addition der jeweils 5 Spektrenstreifen zur Verbesserung des S/N-Verhältnisses.
5. Abzug des Himmelshintergrundes

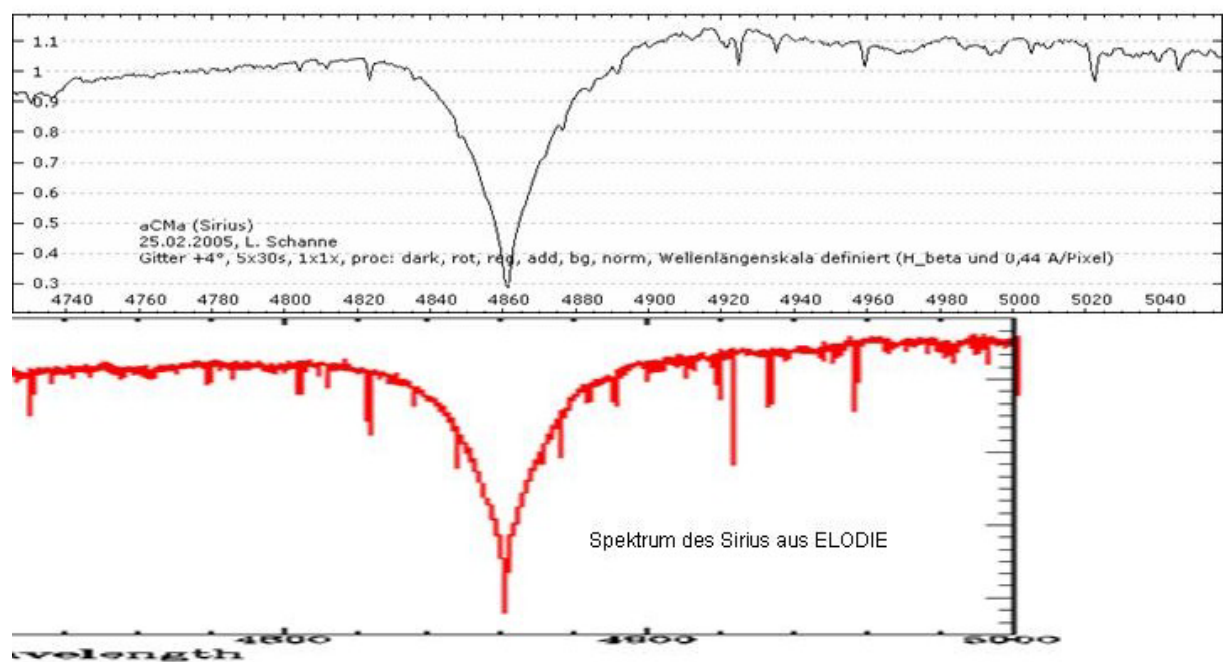
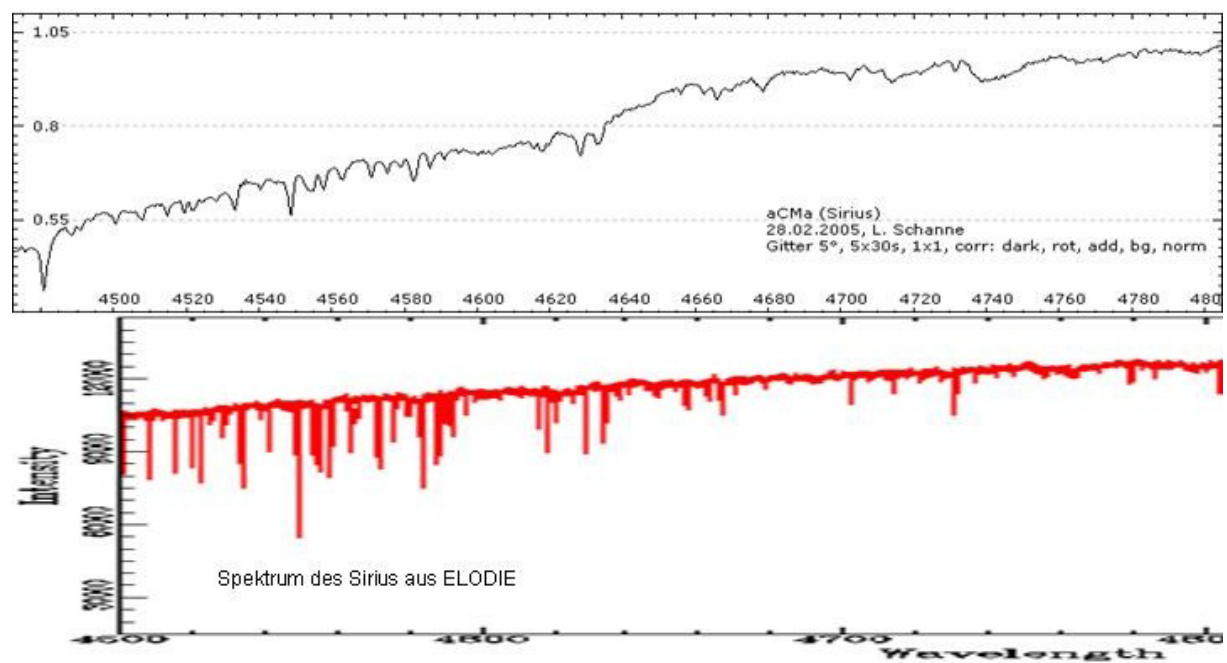
Mit Visual Spec:

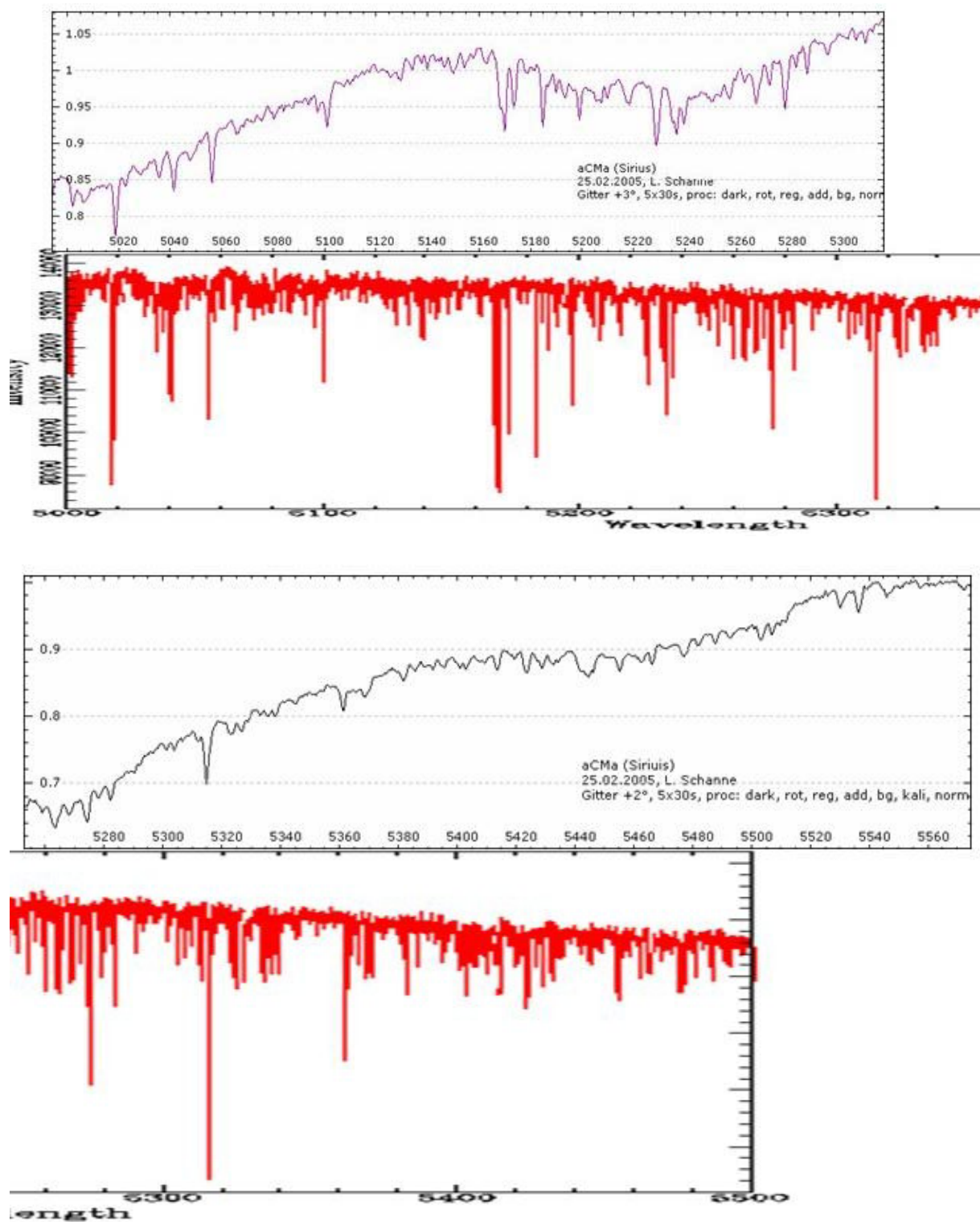
6. Rohspektrum
7. Kalibrierung an Hand eines Vergleichsspektrums des Sirius (aus dem Spekrenatlas ELODIE).
8. Normierung auf eine Stelle im Spektrum (also keine Normierung auf das Kontinuum, was ein nicht-linearer Eingriff auf die Daten ist, der ohne konkreten Anlass vermieden wird).

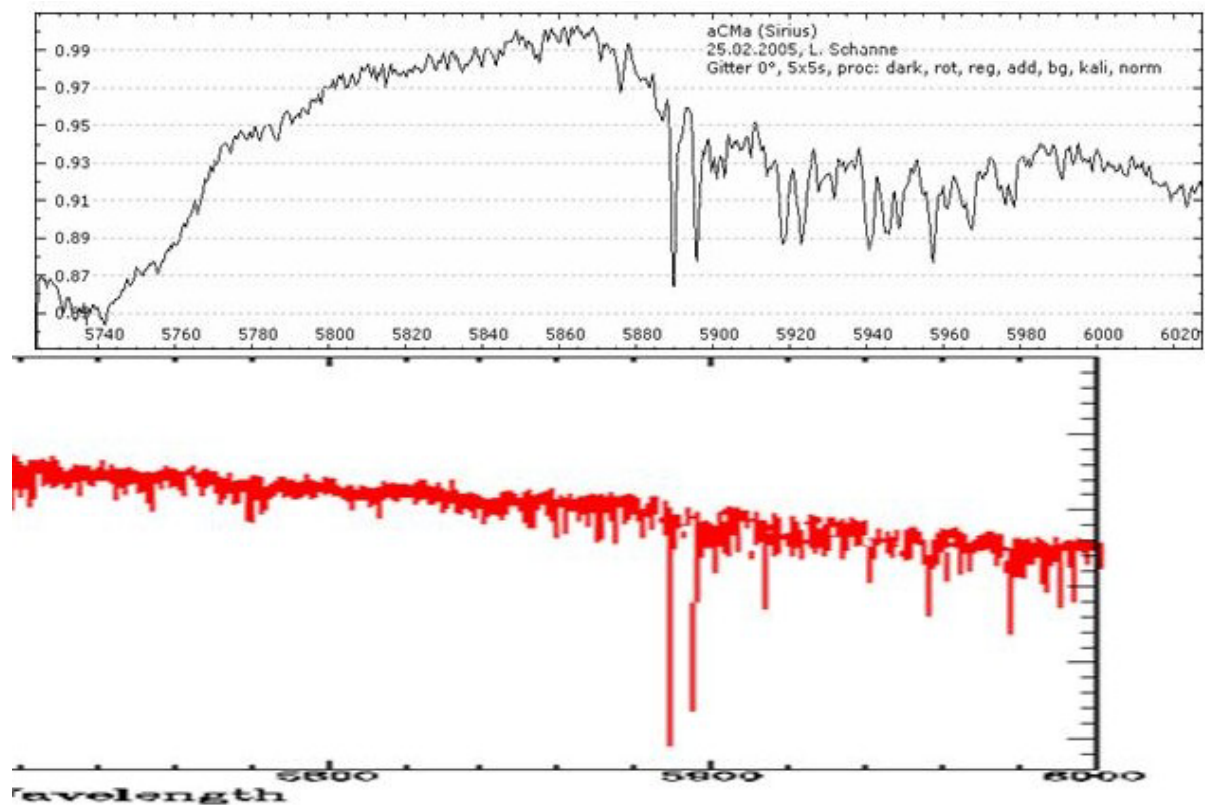
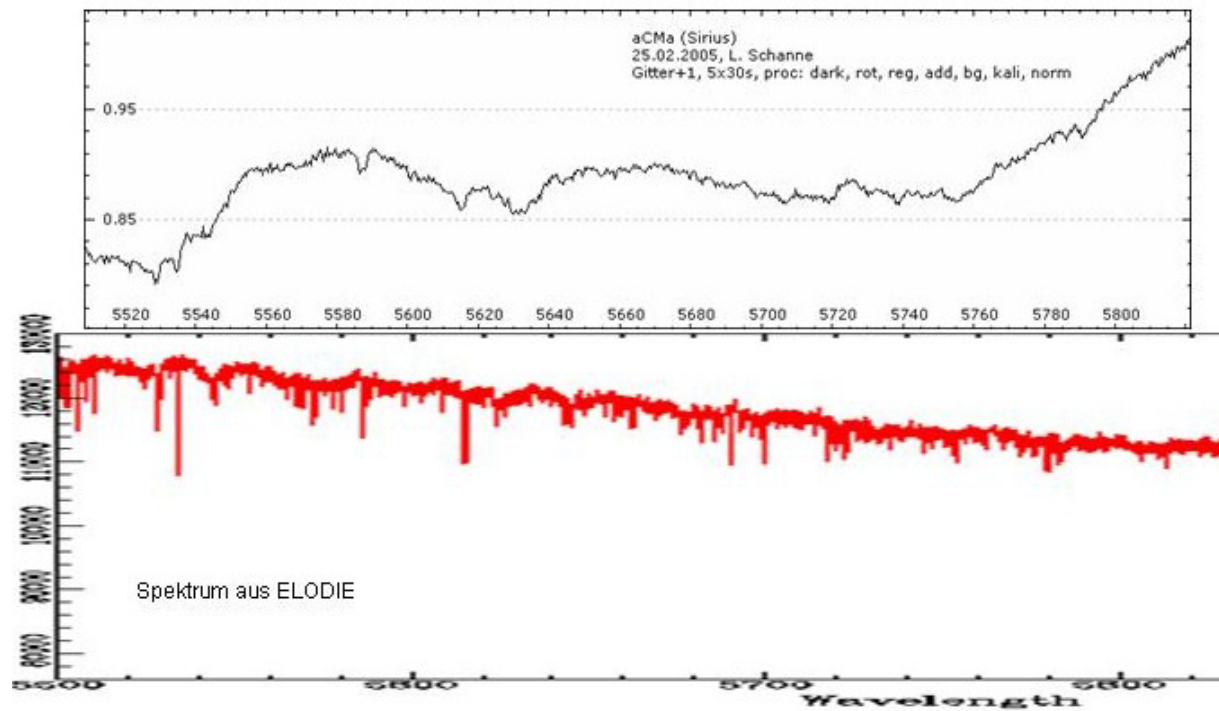
Zum Vergleich mit professionellen Messungen wurden die Spektrenbereiche mit einem Vergleichsspektrum des Sirius aus ELODIE dargestellt.

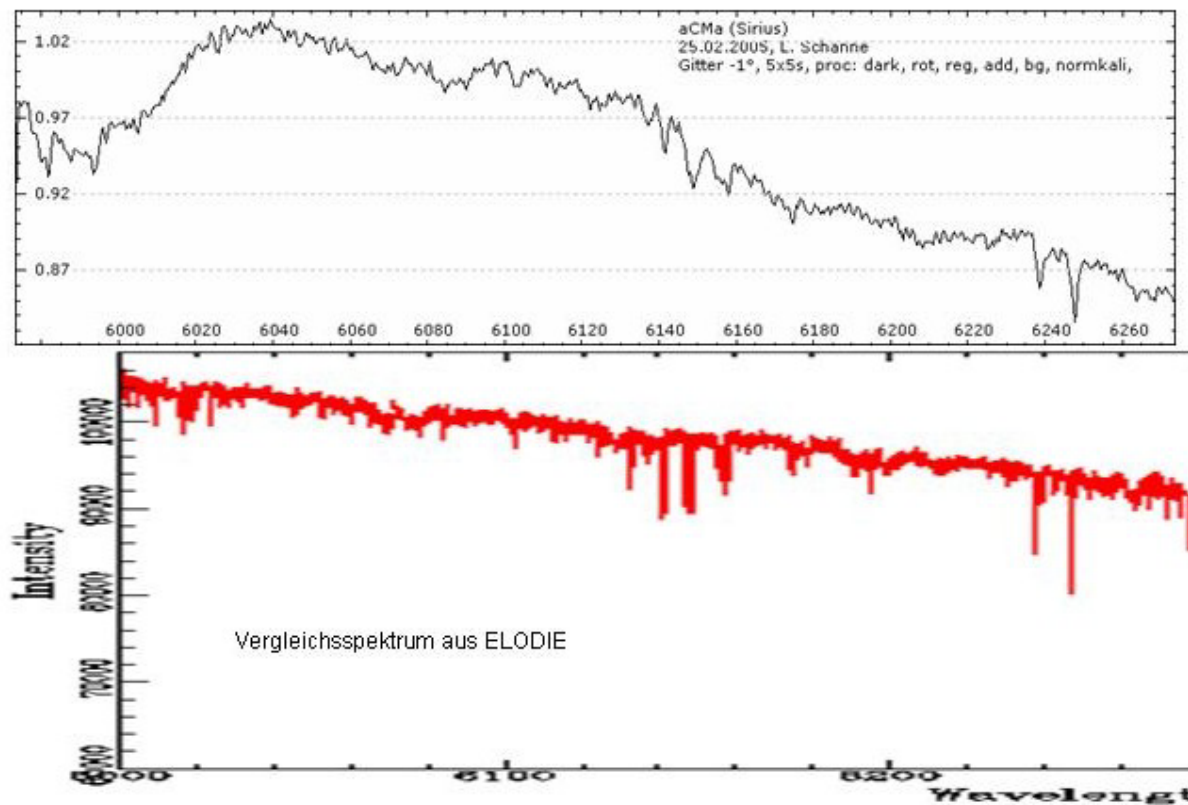
Abbildung 48 Gemessene Spektren des Sirius mit Vergleichsspektren aus der Literatur



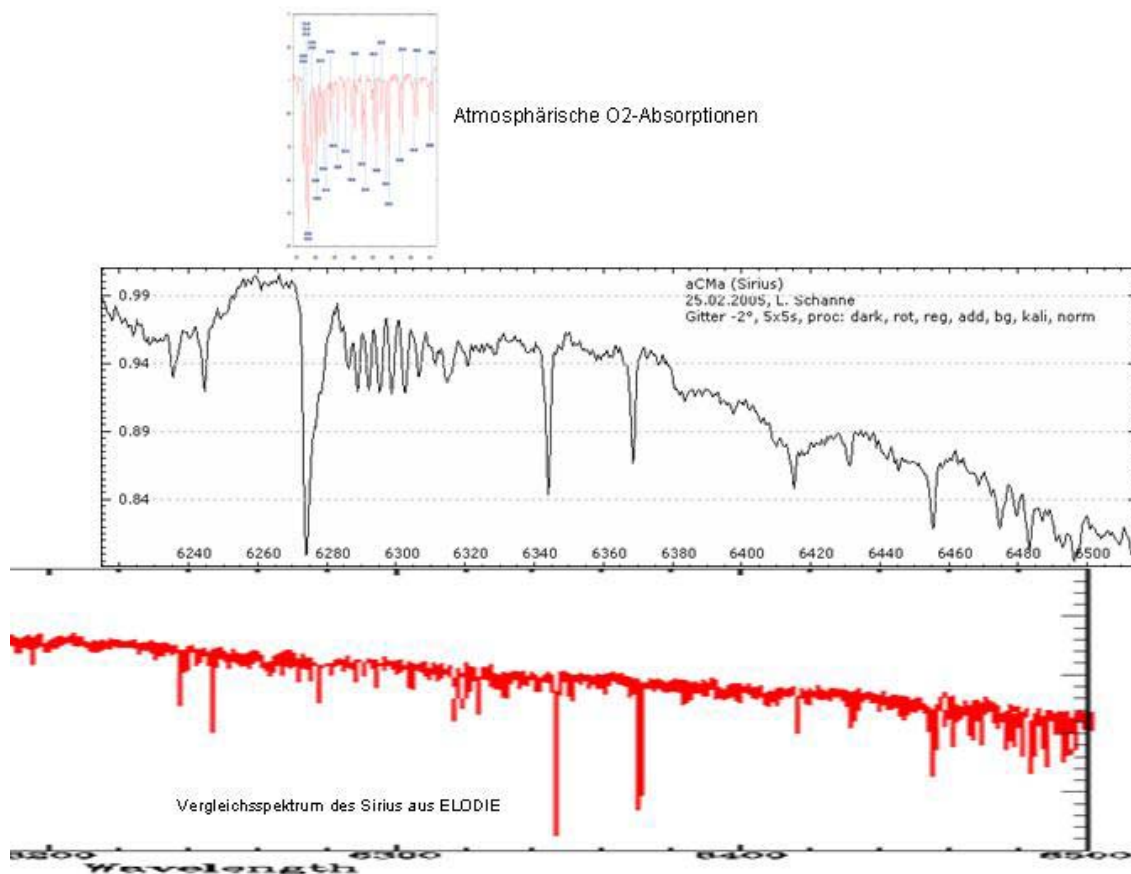


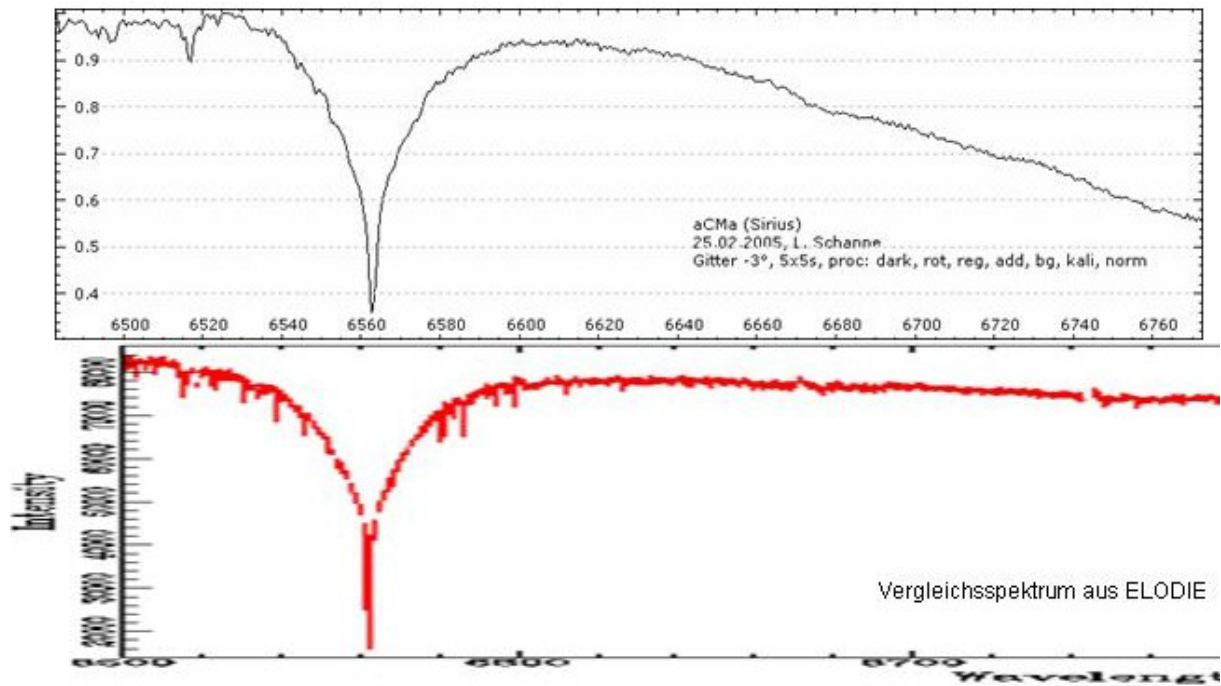




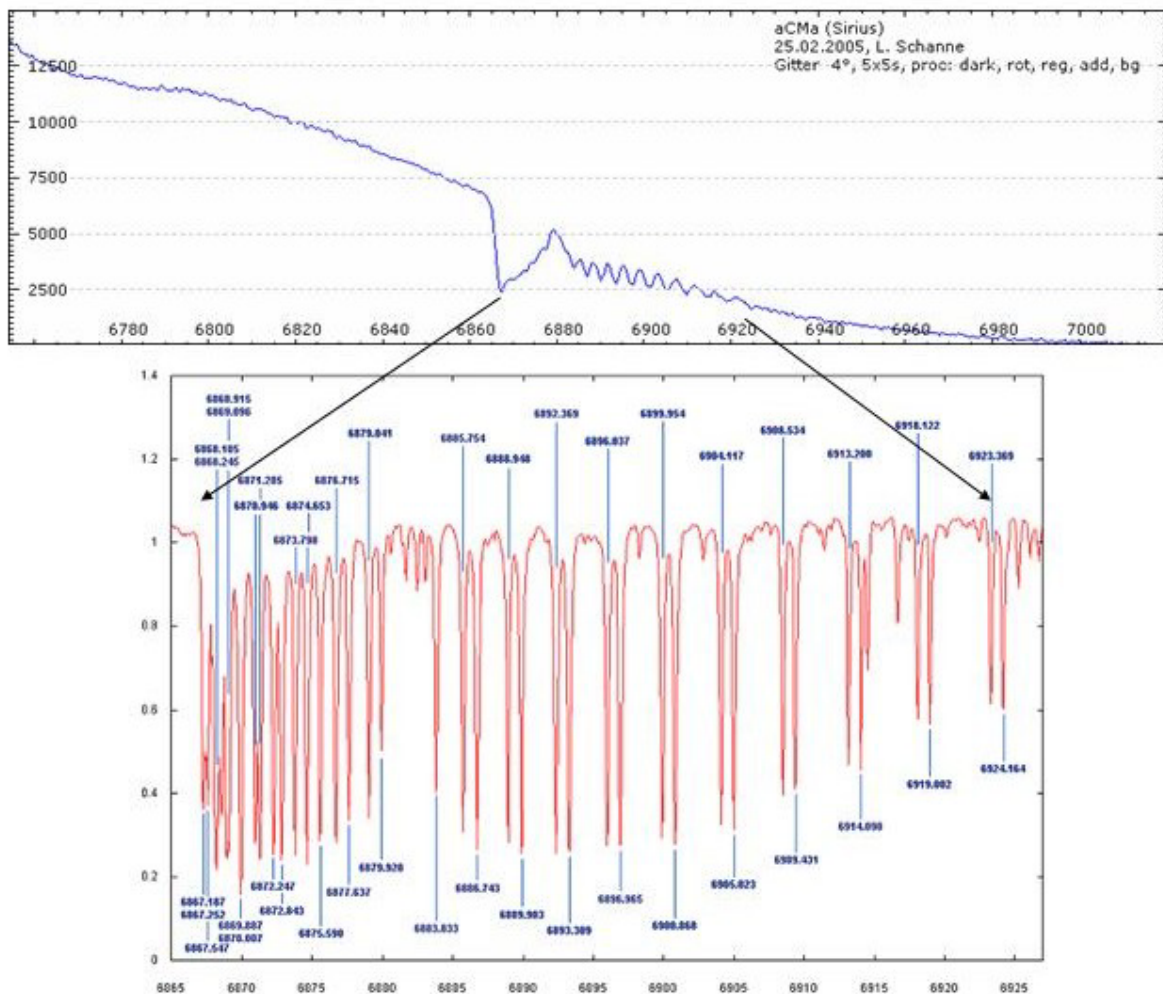


Bei 6300 Å finden sich atmosphärische Absorptionsbanden, verursacht durch den Luftsauerstoff.





In der Region um 6890 Å befindet sich das atmosphärische A-Band von O₂-Absorptionen. Diese gehören nicht zum Spektrum des Sirius.



13 Weitere Messungen von Spektren heller Sterne und Auswertungsübungen (16. März 2005)

Nachdem eine Grundausrüstung an Auswertemethoden und Erfahrung mit den Messungen an Sirius erworben war, sollten weitere Sterne vermessen und ausgewertet werden. Einmal, um die verschiedenen Spektralklassen etwas besser kennen zu lernen und zum anderen, um die Spektren von Standardsternen zu erhalten, mit denen experimentell die response-Funktion meiner Apparatur, insbesondere die wellenlängenabhängige Quanteneffizienz des CCD-Ships, ableiten zu können.

Am 16. März 2005 war ein relativ klarer Abend. Allerdings wurde es im Laufe der Nacht immer böiger, was zu breiten und über die Breite unregelmäßig belichteten Spektrenstreifen führte. Diese mussten verworfen werden. Es wurden für jede Einstellung 10 Bilder mit 10s Belichtungszeit geschossen. Die Belichtungszeit wurde deshalb so kurz gewählt, weil bei längeren Zeiten kaum noch Phasen erwischt wurden mit ausreichender Luftruhe (Windstille). Der Abend war im Nachhinein betrachtet relativ ungeeignet, um gut aufgelöste Sternspektren aufzunehmen.

Es wurden die Spektren folgender Sterne durchgemessen:

			Visuelle Helligkeit [mag]	Spektralklasse
α Leo	Regulus	HD 87901	1,35	B8V
α Ori	Betelgeuze	HD 39801	0,50	M1 2Ia-Iab
α Boo	Arcturus	HD 124897	-0,04	K1.5IIIFe-0.5
α Vir	Spica	HD 116658	0,98	B1III-IV+B2V

Die Auswertung erfolgte wie im vorigen Abschnitt. Mit IRIS die Darkkorektur und die horizontale Ausrichtung der Streifen, anschließend das registern und die Addition, die Backgroundkorrektur. Mit Vis Spec wurde dann der erhaltene Spektrenstreifen ausgewertet (Intensitätsfunktion, Kalibrierung, Normierung).

α Leo

Als B8-Stern ist das Spektrum des Regulus relativ glatt und das thermische Kontinuum lediglich von der Balmer Serie gestört. Er eignet sich deshalb ganz gut zur Bestimmung der Geräte-response.

Das normierte Spektrum bei der Gitterstellung $+8^\circ$ (blaue Kante) ist zusammen mit den Vergleichsspektren aus dem Gray'schen „atlas of stellar spectra“ nachfolgend wiedergegeben. Es sind neben den H-Linien noch die HeI- und die CaII K-Linie zu sehen.

Abbildung 49 Spektrum des Regulus im Bereich der H δ -Linie (4101 Å)

