

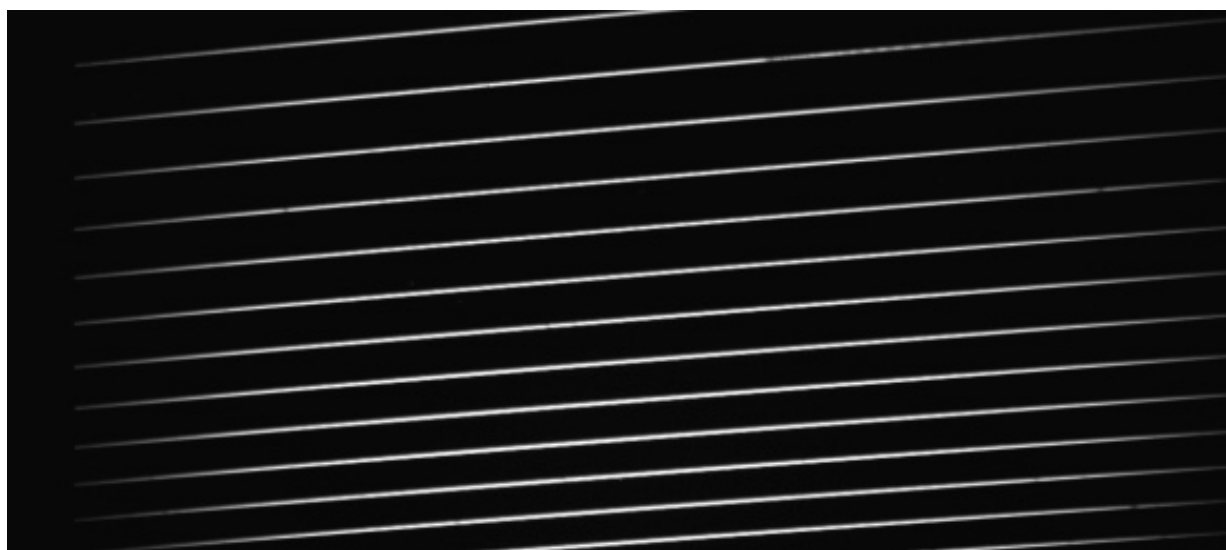
SPEKTRUM

Mitteilungsblatt der Fachgruppe Spektroskopie
in der Vereinigung der Sternfreunde e.V.

NR. 40

INTERNETAUSGABE

1 / 2011



EUROPIUM AUF DER SONNE

ECHELLE-SPEKTROGRAPH AUS DEM METALLBAUKASTEN

ASPEKT11 - RÜCKBLICK

Spektrum – Mitteilungsblatt der Fachgruppe Spektroskopie in der Vereinigung der Sternfreunde wird herausgegeben von der Fachgruppe Spektroskopie in der Vereinigung der Sternfreunde e.V. Es erscheint halbjährlich als PDF-Ausgabe oder auf Wunsch als Druckversion. Das Journal dient dem überregionalem als auch dem internationalen Erfahrungsaustausch auf dem Gebiet der Astrospektroskopie besonders für Amateure. Dazu können Beiträge in Deutsch oder English publiziert werden. Senden Sie Ihre Beiträge, Auswertungen, Erfahrungen und Kritiken an **Spektrum** zur Veröffentlichung ein, damit andere Spektroskopiefreunde an Ihren Erkenntnissen teilhaben und davon lernen können.

Spektrum – Mitteilungsblatt der Fachgruppe Spektroskopie in der Vereinigung der Sternfreunde is issued twice a year by Fachgruppe Spektroskopie of Vereinigung der Sternfreunde e.V. (The spectroscopy section of the German society for amateur astronomy). The journal is published as a PDF or as a printed version on special request. The aim of the journal is to be a national and international communication especially for amateurs, on topics related to astronomical spectroscopy. Contributions are welcome in German or English. Please send your papers, results, experiences and reviews to **Spektrum** for publication. The community can then benefit from your experience.

Die Fachgruppe Spektroskopie im Internet: spektroskopie.fg-vds.de

Die Vereinigung der Sternfreunde e.V. im Internet: www.vds-astro.de

Kontaktadresse (Redaktion, Bestellung gedruckter Ausgaben, Manuskripte)

Dr. Thomas Hunger
Normannenweg 39
59519 Möhnesee-Körbecke
fg-spektroskopie@vds-astro.de

Hinweise für Autoren:

Nur durch Ihre Artikel wird Spektrum gefüllt. Die Redaktion behält sich vor, in Rücksprache mit den Autoren Beiträge zu kürzen, anzupassen oder zu ändern. Für die Inhalte der Artikel ist aber allein der Autor verantwortlich.

Reichen sie Ihren Beitrag bitte elektronisch unter Berücksichtigung folgender Regeln ein:

Form des Textes: Senden sie vorzugsweise als unformatierten ASCII-Text. Tabellen mit Tabulatoren getrennt. Ein zusätzliches PDF des formatierten Gesamttextes ist anzuraten.

Aufbau der Artikel: Die Artikel benötigen einen Titel, eine vollständige Adressangabe des Autors / der Autoren, eine Kurzzusammenfassung, den klar gegliederten Artikel mit Einleitung und Zusammenfassung sowie eine vollständige Literaturangabe.

Abbildungen: Bitte getrennt vom Text senden. Empfehlenswert sind hochauflösende JPG, PNG und TIFF.

Hints for authors:

Your article will be edited to fit the style of Spektrum. The editor is responsible for editing the article in close collaboration with the author. The author is in charge of the content in all cases, however. Please send your contribution via electronic mail considering the following rules:

Text: Prepare it as unformatted text (preferably ASCII). Tables: columns separated by tabs. A PDF printout of the whole document is highly recommended.

Article structure: Each article should include a title, an address line of the author(s), an abstract, a clear text body with introduction and conclusion and complete references.

Figures: Please send them separate from text. High resolution JPG, PNG or TIFF files are recommended.

(Special thanks to Robin Leadbeater for English translations.)

Umschlagfoto: Spektrum von α Cyg aufgenommen mit dem Selbstbau-Echelle von Berthold Stober.

Inhaltsverzeichnis / Content

Dieter Goretzki: Zum Isotopenverhältnis von Europium auf der Sonne	4
Berthold Stober: Ein Echelle-Spektrograph aus dem Metallbaukasten	14
Thomas Hunger, Thomas Eversberg und Rainer Borchmann: ASpekt 11 – Jahrestagung der Fachgruppe in Drebach	20
Thomas Hunger: Bericht des Sprechers über das Fachgruppentreffen der VdS (nur Mitglieder)	23
Termine / News	24
Mitgliederverzeichnis (nur Mitglieder)	25

Editorial



Liebe Leser des Spektrums,
liebe Spektroskopiker,
liebe Fachgruppenmitglieder,

seit der letzten Ausgabe von Spektrum können wir auf eine gelungene Jahrestagung der Fachgruppe mit vielen neuen Impulsen und Eindrücken zurückblicken.

Die Fertigstellung dieser Ausgabe von Spektrum hat sich spürbar verzögert. Dies ist einigen Zeitproblemen in der redaktionellen Arbeit geschuldet. Daraus ist die Schlussfolgerung zu ziehen, dass in Zukunft die Arbeit auf mehrere Schultern zu verteilen ist. Bereitschaft zur Mitarbeit aus den Reihen der Fachgruppe ist hierbei gefragt.

Um das hohe Ansehen und die Inhaltsvielfalt von Spektrum auch weiterhin aufrechterhalten zu können, ist es unerlässlich, dass mehr aus den Reihen der Spektroskopiker publiziert wird. So segensreich und einfach die Onlinemöglichkeiten wie unser Forum sind, so wichtig ist die zusammenhängende Darstellung und Dokumentation in einem Printmedium. Bitte unterstützt dieses Anliegen aktiv.

Mit sternfreundlichen Grüßen und Prosit.
Ihr Thomas Hunger

Dear readers of Spektrum,
dear spectroscopists,
dear members of the section,

Since the last issue of Spektrum we can look back on a successful annual conference of the group with many new impulses and impressions.

The completion of this issue of spectrum has been delayed significantly. This is due to some timing problems in the editing process. From this the conclusion is drawn that the work has to be distributed on several shoulders in the future. Willingness to cooperate from the group is therefore required.

To continue with the high reputation and content diversity of Spektrum it is imperative that more will be published from the community of the spectroscopists. The beneficial and easy online opportunities as our forum are so important is a print medium to present and document in a coherent manner. Please support this concern actively.

Clear skies and Cheers.
Yours
Thomas Hunger

Zum Isotopenverhältnis von Europium auf der Sonne

Dieter Goretzki

Akazienstraße 16, 63505 Langenselbold

Zusammenfassung

Das Element Europium besteht aus zwei stabilen Isotopen (^{151}Eu und ^{153}Eu). Einige Spektrallinien dieses Elements zeigen sowohl eine hohe Isotopieverschiebung (IVS) als auch eine deutliche Hyperfeinstruktur-Aufspaltung (Hfs). Durch diese Eigenschaft ist es möglich, das Verhältnis der beiden Isotope aus dem Profil von Absorptionslinien auf der Sonne abzuleiten und mit dem terrestrischen Verhältnis zu vergleichen. Im Folgenden wird versucht, anhand der Eu II - Linie bei 3972 Å das Isotopenverhältnis auf der Sonne aus professionellen Spektren und eigenen Aufnahmen abzuschätzen. Innerhalb der Fehlergrenzen wird in Übereinstimmung mit Hauge [8] ein terrestrisches Verhältnis für diese Linie ermittelt. Details zur Berechnung der Hfs-Aufspaltung und die anzubringende Korrektur durch die IVS werden im Detail angegeben. Die Rechnungen erfolgen mit dem Programm spectrum von R.O. Gray.

Abstact

The element europium has two stable isotopes (^{151}Eu and ^{153}Eu). Some spectral lines of this element show both a high isotope shift (IVS) and a high hyperfine splitting (Hfs). Using these characteristics, it is possible to derive the isotopic ratio from the profile of absorption lines in the sun and compare it with the terrestrial relationship. In the following paper, I attempt to derive the isotopic ratio in the sun on the basis of the Eu II line at 3972 Å, derived from professional and my own spectra. The terrestrial isotopic ratio determined for this line is in agreement, within the error bars, with Hauge. Details of the Hfs splitting computation and the applied correction by the IVS, are included. The calculations were made using the Spectrum program by R. O. Gray.

1. Einführung

Europium ist ein Element der seltenen Erden mit einer Protonenzahl $Z = 63$. Die Elemente bis etwa $Z = 29$ (Nickel) können durch Kernfusionen in Sternen gebildet werden, da bei diesen Reaktionen Energie gewonnen werden kann. Die Synthese der schwereren Elemente mit $Z > 29$ bis zum Uran ist durch reine Kernfusion nicht möglich. Zur Entstehung dieser Elemente werden verschiedene Möglichkeiten diskutiert [2]. Nach Cowan [4] wird Europium hauptsächlich durch den sog. r-Prozess gebildet. Danach nimmt ein kleinerer „Saat-Kern“ in rascher Folge (< 10 sec.) ca. 10 - 20 Neutronen auf. Diese „exotischen“ Isotope zerfallen anschließend durch den β^- - Zerfall in höhere, stabile Elemente. Nach Hauge [8] kann ^{151}Eu auch durch den s-Prozess gebildet werden, in dem ^{150}Sm nur ein Neutron einfängt und sich dieser Kern durch einen β^- - Zerfall stabilisiert. ^{153}Eu kann auf gleiche Weise aus ^{152}Sm gebildet werden.

Um die Bildungswege der schweren Atome zu erforschen, ist es hilfreich, die Isotopenverhältnisse auch in Sternen zu ermitteln. Bei der Sonne ist man in der komfortablen Lage, die Absorptionslinien orts aufgelöst (d.h. ohne Rotationsverbreiterung) mit hoher spektraler Auflösung beobachten zu können. Wegen der in der Photosphäre herrschenden Ionisationsverhältnisse sind allerdings nur Linien des einfach

ionisierten Europiums (Eu II) vorhanden. In der Literatur wird zu diesen Untersuchungen oft die Eu II - Linie bei 4129 Å herangezogen. Nachteilig an dieser Linie ist, dass sie in einem Spektralgebiet liegt, in dem zahlreiche Cyan-Banden vorhanden sind. Von diesen Linien liegen jedoch nur theoretische Angaben zur Wellenlänge und Stärke vor. Vermutlich zeigen die in der Literatur veröffentlichten Ergebnisse deshalb häufig ein etwas anderes Isotopenverhältnis als das auf der Erde. In dieser Arbeit wird die Linie bei 3972 Å untersucht, die diese Nachteile nicht aufweist, allerdings liegt sie im roten Flügel der Call(H) - Linie, so dass eine genaue Festlegung des Kontinuums erschwert wird. Weitere Eu II - Linien auf der Sonne sind entweder zu schwach oder durch andere Metall-Linien gestört.

2. Das Profil der Eu II - Linie bei 3972 Å

Beide Eu-Isotope zeigen in dieser Linie eine deutliche Hfs-Aufspaltung, die etwa 0,2 Å beträgt. Jedes Isotop zeigt 15 einzelne Linien, so dass die gesamte Linie aus 30 Komponenten besteht. Mit einem Spektrografen geringer Auflösung und einer Hohlkathoden-Lampe (HKL) [19] als Lichtquelle lassen sich diese Linien nicht einzeln beobachten, da schon die Kombination aus Dopplerverbreiterung und Apparateprofil größer ist als der spektrale Abstand der einzelnen Komponenten. In einem

Spektrogra-fen mit etwas höherer Auflösung [4] ($R \approx 100.000$) zeigt diese Linie aber ein von der Gaußform deutlich abweichendes Profil.

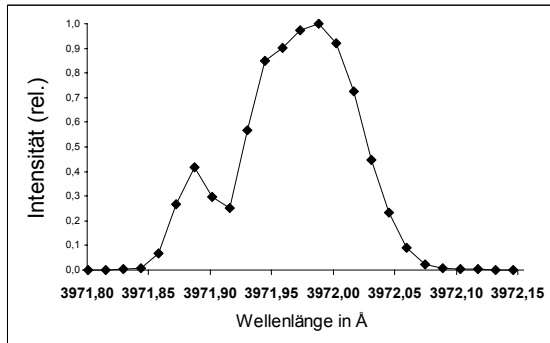


Abb. 1: Profil der Eu II – Linie aufgenommen mit einer HKL. Die Punkte entsprechen den jeweiligen Pixelwerten des CCD.

Zur Kalibration der Wellenlänge wurde die Tatsache genutzt, dass bei längerer Belichtungszeit weitere Linien im Spektrum der Eu-HKL sichtbar werden, von denen einige als Fe I – Linien identifiziert werden können. Die Regressionsrechnung aus sieben Linien ergibt im Spektralbereich der Eu II – Linie eine Unsicherheit in der Wellenlänge von etwa ± 3 mÅ. Diese Kalibration, obschon etwas unsicher, ist aber erforderlich, um später das korrekte Anbringen der Isotopieverschiebung experimentell zu überprüfen. Durch die Korrektur der Termwerte aufgrund der IVS darf sich der Linienschwerpunkt nicht verschieben (vgl. 2.2). Um den Einfluss verschiedener Isotopen-Verhältnisse auf das Profil der Linie abschätzen zu können und die Linie später mit Hilfe von Programmen (z.B. spectrum) zu modellieren, ist es unumgänglich das jeweilige Profil aus den einzelnen Komponenten zu berechnen.

2.1 Berechnung der Lage der einzelnen Hfs-Komponenten

Zur Ermittlung des Linien-Profiles wird die Wellenlänge jeder Komponente berechnet. Die rel. Intensitäten der einzelnen Linien können der Literatur entnommen werden [10]. Die Berechnung selbst erfolgt in mehreren Schritten und ist nicht besonders kompliziert. Zu beachten ist, dass die Termwerte in Wellenzahlen [cm^{-1}] angegeben werden. Die Schritte im Einzelnen sind:

- Berechnung der Termwerte des unteren und oberen Niveaus zwischen denen die jeweilige Linie entsteht (Einheit cm^{-1})
- Berechnung der Energiedifferenz aus dem unteren und oberen Termwert (in cm^{-1})
- Anbringen der IVS (in cm^{-1})
- Berechnung der Vakuum-Wellenlänge (in Å)

- Umrechnung der Wellenlänge auf Luft (in Å)

Die Rechnung ist für jede der 30 Linien durchzuführen.

Ohne auf die physikalischen Details der Hyperfeinstruktur-Aufspaltung näher einzugehen, kann der jeweilige Termwert nach [14] (für jedes Isotop separat) nach folgender Formel berechnet werden.

$$T = T_0 + A \frac{K}{2} + b \frac{0,75 \cdot K(K+1) - I(I+1)J(J+1)}{2I(2I-1)J(2J-1)} \quad (1)$$

mit

- T = Termwert in cm^{-1}
- T_0 = Termschwerpunkt in cm^{-1}
- I = Kernspin des Isotops
- J = Quantenzahl des Terms
- A, b = Konstanten in cm^{-1}
- K = $F(F+1) - I(I+1) - J(J+1)$, mit $F = I+J, I+J-1, \dots, |I-J|$

Beide Europium-Isotope haben einen Kernspin von $I = 5/2$ und die Konstanten J, A und b können für die entsprechende Terme und Isotope der Arbeit von Lawler [15] entnommen werden. Der Termschwerpunkt T_0 wird der Arbeit von Ivans [9] entnommen, da diese hier genauer vermessen wurde als in [15].

2.2 Die Isotopieverschiebung (IVS)

Aufgrund der hohen Masse des Europiums wird die IVS auf den Kernvolumeneffekt zurückgeführt. Nach Kopfermann [10] rührt dieser Effekt aus der endlichen Ausdehnung des Atomkerns, da dass in den Kern eintauchende 6s-Elektron nicht mehr ein ungestörtes Coulomb-Potential erfährt. Da sich die Atomkerne der beiden Isotope um zwei Neutronen unterscheiden, manifestiert sich dieser Unterschied in der IVS. Wie von Wagner [18] beschrieben, wird die IVS relativ auf einen Bezugsterm festgelegt.

Bei der Anbringung der IVS ist nach Kurucz [12] das Isotopenverhältnis zu berücksichtigen und zu beachten, dass sich der Termschwerpunkt (T_0) der gesamten Linie nicht verschiebt. Für die Linie bei 3972 Å ergeben sich bei einem terrestrischen Isotopenverhältnis für Europium $^{151}\text{Eu}:^{153}\text{Eu}$ von 0,478:0,522 und einer IVS nach den Angaben von Lawler et al. [15] von $-0,1445 \text{ cm}^{-1}$ die folgenden Korrekturen (K_{IS}):

$$^{151}\text{Eu} : 0,1445 \cdot (1-0,478) = + 0,07543 \text{ cm}^{-1}$$

$$^{153}\text{Eu} : -0,1445 \cdot (1-0,522) = - 0,06907 \text{ cm}^{-1}$$

2.3 Rechenweg und Validierung

Nach Formel (1) berechnet man den Termwert des jeweils unteren und oberen Niveaus der

jeweiligen Komponente. Die Differenz beider Werte ergibt den Termwert in cm^{-1} , an den dann die oben angegebenen Korrekturen je nach Isotop angebracht werden. Aus dem so erhaltenen Termwert berechnet man die Wellenlänge (bez. auf Vakuum) in $\text{\AA}$.

$$\Delta E = T_0 - T_u + K_{IS} \quad (2)$$

$$\lambda_{vac} [\text{\AA}] = 10^8 / \Delta E [\text{cm}^{-1}]$$

Die Angaben von Wellenlängen in den üblichen Nachschlagwerken sind aber auf Luft bezogen, wobei mit Luft hier eine sog. Norm-Luft (15°C , 1013 mbar) gemeint ist. Zur Umrechnung kann man eine Formel aus Labs & Neckel [13] verwenden:

$$\lambda_{air} = 0,99972683 \cdot \lambda_{vac} + 0,0107 - 196,25 / \lambda_{vac} \quad (3)$$

mit λ in $\text{\AA}$.

Diese Formel garantiert eine Abweichung von weniger als $0,001\text{ \AA}$. Mit Hilfe dieser Angaben wurden die Wellenlängen aller 30 Komponenten berechnet und mit den Angaben in der Arbeit von Ivans [9] verglichen. Wie in der im Anhang beigefügten Tabelle zu entnehmen ist, liegen die Abweichungen in der Wellenlänge für ^{151}Eu bei $+0,5\text{ m\AA}$ und für ^{153}Eu bei $+0,1\text{ m\AA}$. Eine bessere Übereinstimmung kann man auch nicht erwarten, da die Formel zur Umrechnung in Luft nur eine Genauigkeit von $<1\text{ m\AA}$ garantiert. Weiterhin wurde zum Vergleich aus Krebs et al. [11] die Angaben der Wellenzahl einzelner Komponenten in die Wellenlänge umgerechnet. Die Abweichungen zur Rechnung lagen für beide Isotope unter $1\text{ m\AA}$. Eine zusätzliche Rechnung wurde für die Eu II – Linie bei $4129\text{ \AA}$ durchgeführt. Hier lagen die Abweichungen für ^{151}Eu bei $+0,3\text{ m\AA}$ und für ^{153}Eu bei $+0,4\text{ m\AA}$.

Damit ist hinreichend sichergestellt, dass die eigenen Berechnungen gültig sind.

Abbildung 2 zeigt das Aufspaltungsmuster der Eu II - Linie. Die genauen Werte der Wellenlänge der einzelnen Komponenten sind im Anhang angegeben.

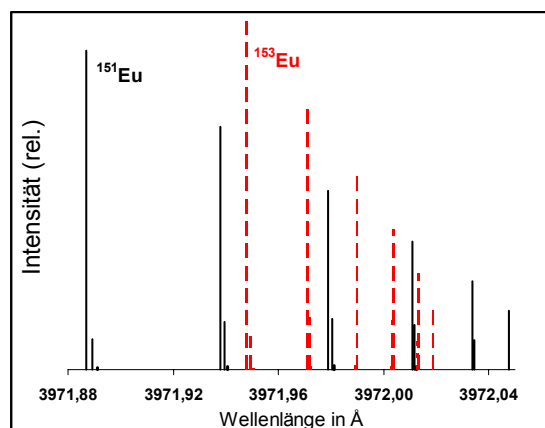


Abb. 2: Aufspaltung der Eu II – Linie (terrestrisches Isotopenverhältnis)

Jedes Isotop besteht aus 6 Liniengruppen, die aus jeweils 1 – 3 Komponenten bestehen, die allerdings so dicht beieinander liegen, dass diese in der Grafik kaum zu erkennen sind.

2.4 Einfluss verschiedener Isotopenverhältnisse auf das Profil der Linie

In Abbildung 2 sind die einzelnen Komponenten der Linie als „Striche“ dargestellt. Bei einer realen Beobachtung (z.B. mit einer HKL) wird aber jede Linie durch die natürliche Linienverbreiterung und zusätzlich durch thermische Bewegungen und das Apparateprofil verbreitert. Alle Mechanismen können zusammen mit Hilfe einer Gauß-Funktion simuliert werden. Für eine bestimmte Komponente gilt:

$$I = I_0 \cdot e^{-\left(\frac{\lambda - \lambda_0}{g}\right)^2} \quad (4)$$

mit:

- I ... Intensität als Funktion der Wellenlänge
- I_0 ... maximale Intensität
- λ ... Laufvariable (Wellenlänge in $\text{\AA}$)
- λ_0 ... zentrale Wellenlänge in $\text{\AA}$
- g ... „Gauß-Faktor“

Der Faktor g wird experimentell („per Hand“) ermittelt. Die weiteren Konstanten sind für jede Komponente bekannt. Das Profil der Linie ergibt sich aus der Summe aller 30 Gauß-Kurven, wobei für jede Linie der gleiche g -Faktor verwendet wird.

Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis für einen g -Faktor von $0,0215\text{ \AA}$. Dieser Wert wurde per Hand so ermittelt, dass die scheinbar beste Übereinstimmung mit der Aufnahme erreicht wurde („ χ^2 by eye“). Zusätzlich wurden die Profile für andere Isotopenverhältnisse berechnet.

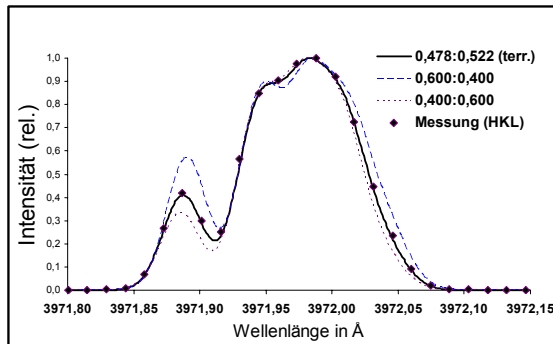


Abb. 3: Vergleich von Messung und Rechnung für verschiedene Isotopenverhältnisse $^{151}\text{Eu} : ^{153}\text{Eu}$

Aus dem Gauß-Faktor von $g = 0,0215 \text{ Å}$ kann auch die FWHM der einzelnen Linien berechnen:

$$FWHM = g \cdot \sqrt{\ln 16} \quad (5)$$

Daraus errechnet sich eine Auflösung $R = 110.000$ in guter Übereinstimmung mit Goretzki [6].

Abbildung 3 zeigt, dass das beobachtete Profil der Linie mit der Eu – HKL sehr gut mit der Rechnung für ein terrestrisches Isotopenverhältnis übereinstimmt. Allerdings musste die gemessene Linie um $0,002 \text{ Å}$ rot verschoben werden. Dies ist nachvollziehbar, da die Kalibration eine Unsicherheit von $\pm 0,003 \text{ Å}$ aufweist.

3. Das Isotopenverhältnis auf der Sonne

3.1 Professionelles Spektrum

Als professionelles Spektrum der Sonnen-Mitte wurde das von Brault & Neckel [1] verwendet. Abbildung 4 zeigt den Spektralbereich um die Eu II – Linie im roten Flügel der Call(H) – Linie. Die Eu II – Linie liegt relativ ungestört zwischen einer Fe I – und Ni I – Linie. Der Einfluss der Call(H) – Linie ist deutlich erkennbar, obwohl der Linienkern außerhalb des gezeigten Spektralgebietes liegt. Der Kern der ebenfalls starken H- ϵ Linie ist gerade noch erkennbar.

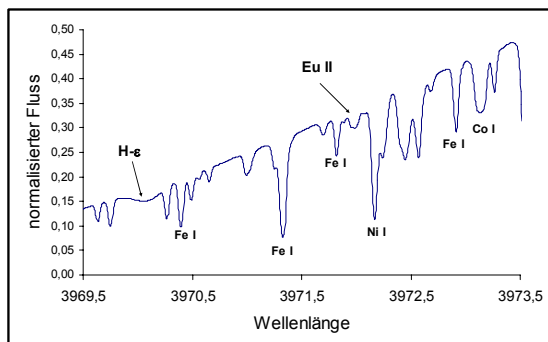


Abb. 4: Spektrale Umgebung der Eu II – Linie auf der Sonne.

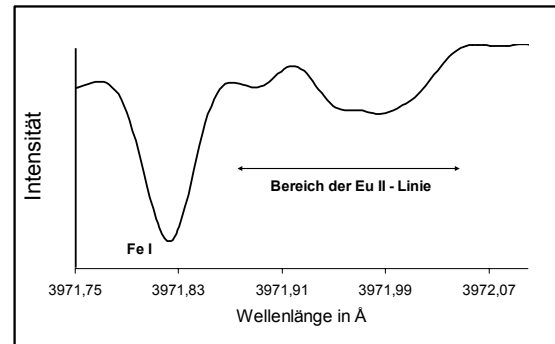


Abb. 5: Detail der Eu II – Linie auf der Sonnen-Mitte

Die Detail-Aufnahme zeigt deutlich, dass das Profil der Eu II-Linie eine Struktur aufweist, die vergleichbar (hier allerdings in Absorption) mit der Aufnahme der HKL (Abb. 3) ist.

3.2 Rechnungen mit spectrum

Die Modellierung des Profils wurde mit dem Programm spectrum von Gray [7] durchgeführt. Dieses Programm berechnet aus einem vorgegebenen Photosphärenmodell in Verbindung mit einer Liste der verschiedenen Elemente und Moleküle ein synthetisches Spektrum unter Annahme eines Lokalen Thermischen Gleichgewichts (LTE). Das Programm unterstützt auch den sog. „isotope mode“, bei dem die Linien einzelner Isotope und auch die Komponenten der Hfs-Aufspaltung berechnet werden können. Das Modell `ap00t5777g44377k1asp.mod` wurde von Castelli [3] übernommen. Dabei handelt es sich um ein Atlas9-Modell, berechnet für eine Temperatur von 5777 K, einer Schwerebeschleunigung von $\log(g) = 4,4377$ und einer Turbulenzgeschwindigkeit von 1 km/s mit der solaren Elementhäufigkeit lt. Castelli [3]. Die Linien-Liste wurde Gray [7] entnommen. Einige Einträge in der Liste musste aber angepasst werden. Dazu wurde der interessierende Spektralbereich ($3970 - 3973 \text{ Å}$) ausgeschnitten und, um die Zahl der Linien auf ein überschaubares Maß zu kürzen, alle Linien entfernt, die eine $EW < 1 \text{ mÅ}$ aufweisen. In dieser verkürzten Liste wurden die Einträge der Elemente mit weiteren Datenbanken (z.B. VALD [17]) abgeglichen und entsprechend verändert, ergänzt oder gestrichen.

Diese Vorgehensweise ist üblich, da die Wellenlängen und die $\log(gf)$ -Werte vieler Linien häufig nur ungenau bekannt sind. Die verwendete, modifizierte Liste ist im Anhang 3 beigelegt. In der Literatur schwanken die $\log(gf)$ -Werte der Eu II – Linie von $-0,080$ (Gray) bis $+0,279$ (Kurucz). Da in dieser Arbeit nur das Isotopenverhältnis untersucht werden soll, wurde per Hand ein Wert von $\log(gf) = 0,100$ als passend ermittelt. Die Aufteilung dieses Wertes auf alle 30 Komponenten erfolgte wie

in Gray [7, Seite 30] angegeben dadurch, dass für jede Komponente und jedes Isotop separat der $\log(gf)$ -Wert entsprechend der individuellen Intensität verrechnet wurde. Diese Daten wurden auch in die Line-List eingefügt (Anhang 3). Die Gewichtung bezüglich des Isotopenverhältnisses erfolgt im Programm spectrum mit dem file isotope.iso, der entsprechend zu modifizieren ist. Die Rechnung wurde mit einer Mikrotubulenz von 1,5 km/s durchgeführt. Dieser Wert wurde so gewählt, dass das Profil der benachbarten Fe – Linie (vgl. Abb. 5) gut wiedergegeben wird.

($f/D = 10$) auf einen Schirm projiziert. Der Eingang des LWL wurde hinter einem Loch von 0,5 mm $\varnothing$ positioniert und das Licht der Sonnenmitte eingefangen. Die Belichtungszeit betrug 1000 sec. Die Reduktion des Spektrums erfolgte mit ESO-MIDAS® [5], wobei ein Verfahren in Anlehnung an Wöhl et al. [20] programmiert wurde, das die Reduktion des Spektrums ohne Aufnahme separater Dark- und Flat-Spektren ermöglicht. Allerdings liegt die EuII – Linie im roten Flügel der CaII(H) – Linie, so dass sich die Normierung etwas problematisch darstellt. Das professionelle Spektrum wurde normiert, in dem das Kontinuum

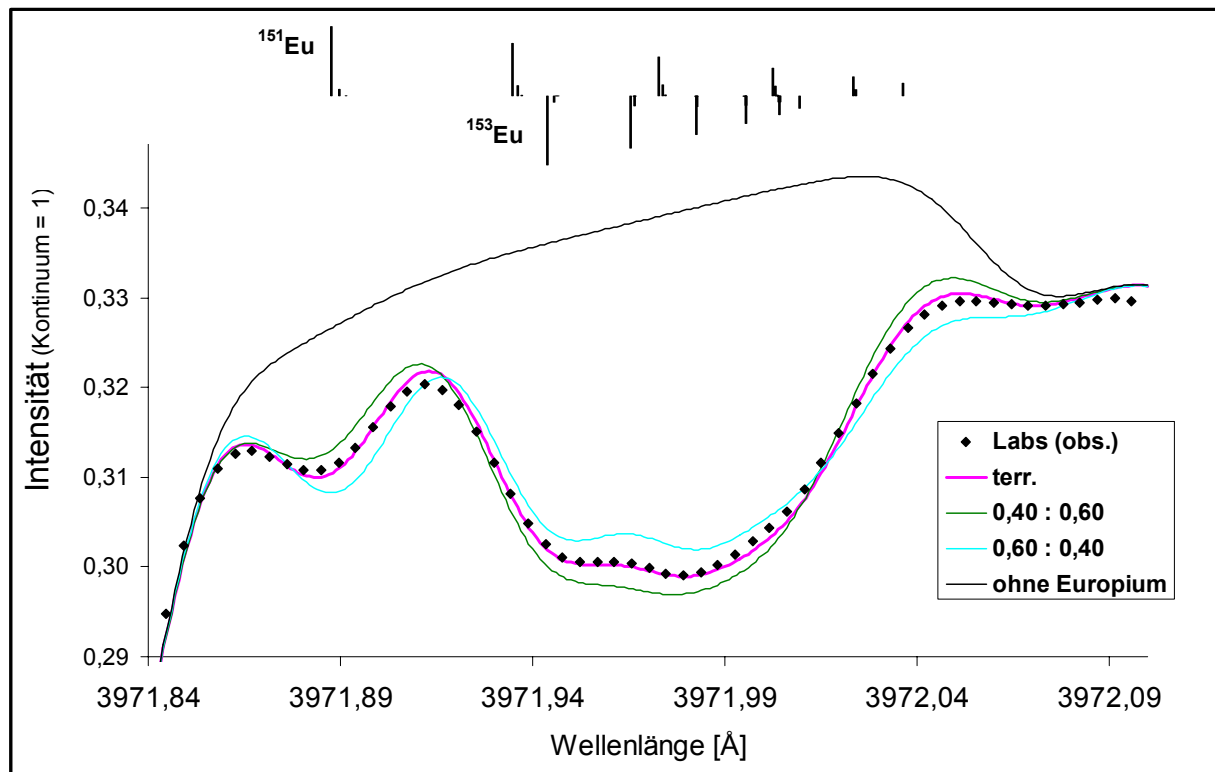


Abb. 6: Vergleich von Messung und Rechnung für verschiedene Isotopenverhältnisse $^{151}\text{Eu} : ^{153}\text{Eu}$; die einzelnen Komponenten der Linie sind mit angegeben.

Das Ergebnis zeigt Abb. 6, in der auch die Ergebnisse für vom Terrestrischen abweichende Isotopenverhältnisse angegeben sind. Wie die Abbildung zeigt, passt das terrestrische Isotopenverhältnis von Europium sehr gut zu dem professionell beobachteten Profil der Linie. Die zusätzlich angegebenen Profile (gerechnet) mit veränderten Isotopenverhältnissen können zu einer Fehlerabschätzung herangezogen werden. Die Rechnung ohne Europium zeigt auch, dass die Linie nicht wesentlich durch andere Element-Linien gestört wird.

3.3 Eigene Beobachtungen

Die Beobachtungen wurden mit Hilfe des CT2000 (Goretzki [6]) durchgeführt. Das Bild der Sonne (16 mm $\varnothing$) wurde mit einem 4“-SC

gleich 1 gesetzt wurde. Die Aufnahme mit dem CT2000 umfasst aber nur etwas mehr als den gezeigten Spektralbereich. Hier ist gar kein Kontinuum vorhanden. Deshalb wurde zunächst so normiert, dass der höchste ADU-Wert auf 1 gesetzt wurde. Eine nachträgliche Normierung bezogen auf das professionelle Spektrum wurde mit Hilfe einer linearen Funktion durchgeführt.

Wenn man den Spektralbereich um die Europium-Linie genauer betrachtet, erkennt man deutliche Unterschiede in der Lage des Profils. Eine Modellierung der Linie mit Hilfe von spectrum würde hier sicher scheitern, da die Rechnung das Kontinuum deutlich höher anlegen würde.

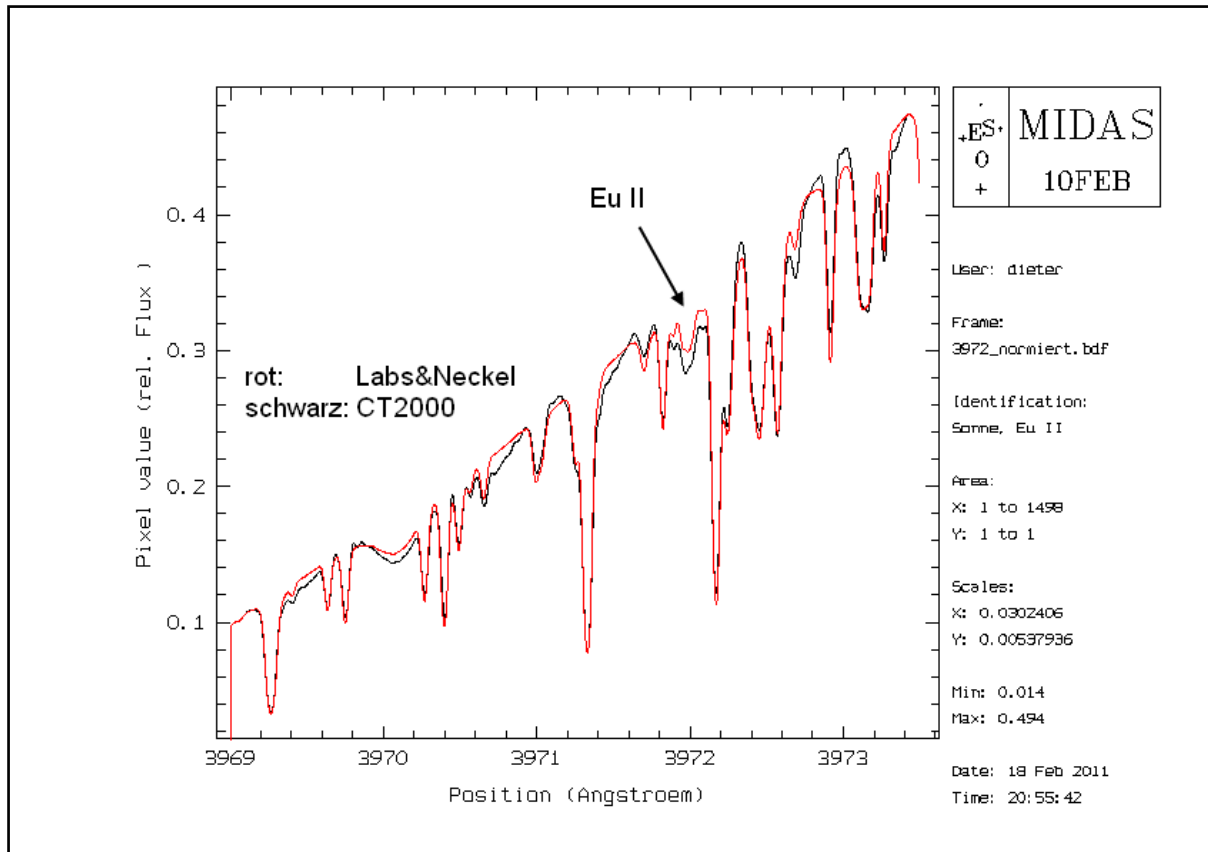


Abb. 7: Normiertes Spektrum bezogen auf Brault & Neckel.

3.4 Ableitung des Isotopenverhältnisses

Trotz dieser Schwierigkeiten kann aus der eigenen Aufnahme das Isotopenverhältnis abgeleitet werden. Wie in der Abb. 6 gezeigt, wird eine Komponente im Komplex der Eu II-Linie ausschließlich vom Isotop ^{151}Eu gebildet. Die Äquivalentbreite (EW) einer schwachen Linie ist nach Unsöld [16] linear von der Anzahl der emittierenden Atome abhängig. Die einzelnen Komponenten der Eu-Linie sind alle sehr schwach ($\text{EW} < 5 \text{ mÅ}$). Wenn zudem das Verhältnis zweier EW aus demselben Spektrum gebildet wird, werden Einflüsse der Reduktion und Normierung vermindert.

Wird die EW dieser ^{151}Eu – Linie (es handelt sich hier genau genommen um drei Linien, wobei eine dominant ist) ins Verhältnis zur EW der gesamten Linie gesetzt, ergibt sich das in der Abbildung 8 gezeigte Ergebnis. Dabei wurden auch die Ergebnisse (spectrum) für andere Isotopenverhältnisse eingezeichnet.

$$Q = \frac{EW(^{151}\text{Eu})}{EW(^{151}\text{Eu}) + EW(^{153}\text{Eu})} \quad \dots\dots(6)$$

Die Unterschiede im Quotienten zwischen dem professionellen Spektrum von Brault & Neckel und der eigenen Aufnahme sind gering. Dies

zeigt auch, dass die EW und insb. die Verhältnissbildung wenig vom Auflösungsvermögen des Spektrographen abhängig ist. Gegenüber der mit spectrum berechneten Spektren mit verschiedenen Isotopenverhältnissen wird nach dieser Methode eher ein Isotopenverhältnis von $^{151}\text{Eu}:^{153}\text{Eu} = 0,45:0,55$ angezeigt.

4. Zusammenfassung

Mit Hilfe von zwei unterschiedlichen Methoden wurde versucht, das Isotopenverhältnis von $^{151}\text{Eu}:^{153}\text{Eu}$ auf der Sonne aus der EuII – Linie bei 3972 Å abzuleiten. Dabei konnte bei dem qualitativ besseren professionellen Spektrum eine Modellierung des Profils der Linie mit Hilfe des Programms spectrum durchgeführt werden. Bei der eigenen Aufnahme mit dem CT2000 wurde das Verhältnis aus den Äquivalentbreiten der Komponenten abgeleitet. Dies ist speziell bei dieser Linie möglich, da hier eine Komponente aus dem Komplex der Eu II – Linie eindeutig dem Isotop ^{151}Eu zugeordnet werden kann. Beide Methoden kommen zu etwa gleichen Ergebnissen.

Methode 1:

Vergleich des Profils der Linie mit der Rechnung nach Gray:

$$^{151}\text{Eu} : ^{153}\text{Eu} = 0,48 : 0,52$$

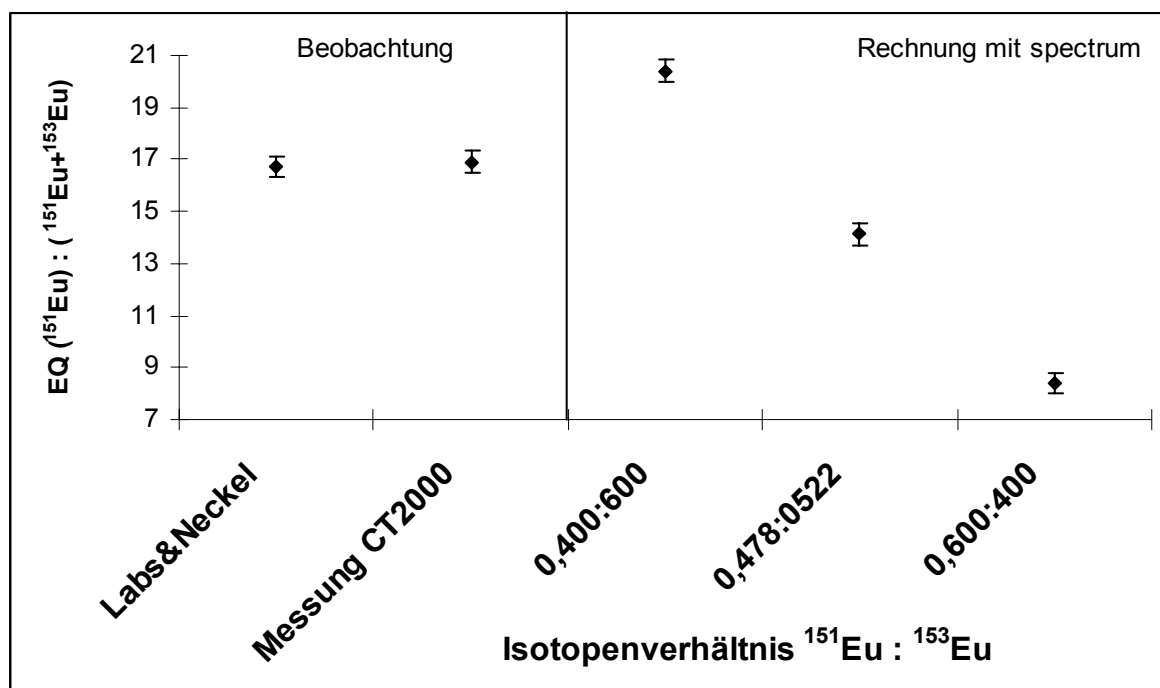


Abb. 8: Vergleich des Quotienten für verschiedene Isotopenverhältnisse $^{151}\text{Eu} : ^{153}\text{Eu}$; die Fehlerbalken wurden experimentell aus mehrfachen Bestimmungen der EW ermittelt.

Methode 2:

Ermittlung aus der EW der Linie des Isotops ^{151}Eu im Verhältnis zur EW der ganzen Linie:

$$^{151}\text{Eu} : ^{153}\text{Eu} = 0,45 : 0,55$$

Wird zu einer Abschätzung des Fehlers rein pragmatisch der Mittelwert aus den Ergebnissen beider Methoden berechnet, ergibt sich das Isotopenverhältnis wie folgt:

$$^{151}\text{Eu} : ^{153}\text{Eu} = 0,46 : 0,54 \pm 5\%$$

Danach wird das Ergebnis von Hauge [8] bestätigt, der aus fünf Linien (inkl. der Linie bei 3972 Å) ein terrestrisches Isotopenverhältnis mit einem Fehler von $\pm 10\%$ ermittelt hat.

Acknowledgements: I thank Robin Leadbeater for English translations.

Literatur und Bezugsquellen

- [1] Brault, J. and Neckel, H.; 1987, <http://www.hs.uni-hamburg.de/DE/Inf/Inf/Einbl/Sospec/sonnspec.html>
- [2] Burbidge, E. M. et al.; 1957, Synthesis of the Elements in Stars, Reviews of Modern Physics, http://rmp.aps.org/abstract/RMP/v29/i4/p547_1
- [3] Castelli, F.; <http://wwwuser.oat.ts.astro.it/castelli/sun.html>
- [4] Cowan, J. J. et al.; 2006, Nucleosynthesis: Stellar and Solar Abundances and Atomic Data, in: Proc. NASA LAW, ed. V. Kwong, (Washington: NASA), 82, <http://articles.adsabs.harvard.edu/full/2006nla.conf...82C>
- [5] ESO-MIDAS Documentation,

- <http://www.eso.org/sci/software/esomidas/doc/index.html>
- [6] Goretzki, D.; 2010, Spektrum Nr. 39, <http://spektroskopie.fg-vds.de/pdf/Spektrum39.pdf>
- [7] Gray, R.O.; spectrum, A Stellar Spectral Synthesis Program, <http://www1.appstate.edu/dept/physics/spectrum/spectrum.html>
- [8] Hauge, Ö.; 1969, The isotopic ratio of Europium in the solar Atmosphere, <http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1970SoPh...11...17H>
- [9] Ivans, I. I.; 2006, Near-Ultraviolet Observations of HD 221170, Astrophys. J., 645, 613 <http://iopscience.iop.org/0004-637X/645/1/613/pdf/63935.web.pdf>
- [10] Kopfermann, H., 1956, Kernmomente
- [11] Krebs, K., et al.; 1960, Zur Hyperfeinstruktur des Eu-II, Z. für Physik
- [12] Kurucz, private Mitteilung
- [13] Labs, D. and Neckel, H.; 1984, The solar radiation between 3300 and 12500 Å, <http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1984SoPh...90..205N>
- [14] Landolt-Börnstein, 6. Aufl., Bd. I/5, 161, Hyperfeinstruktur der Atomterme
- [15] Lawler, J. E. et al.; 2001, Improved Laboratory Transition Parameters for Eu II and Application to the solar Europium elemental and isotopic Composition, Astrophys. J., 563, 1075, <http://iopscience.iop.org/0004-637X/563/2/1075/pdf/54360.web.pdf>
- [16] Unsöld, A., 1958, Physik der Sternatmosphären
- [17] Vienna Atomic Line Database, <http://vald.astro.univie.ac.at/~vald/php/vald.php>
- [18] Wagner, S., 1955, Zur Isotopieverschiebung im Cu I-Spektrum, Z. für Physik
- [19] Weiss, J., LOT ORIEL, <http://www.lot-oriel.com/>
- [20] Wöhl, H. et al., 2002, A&A, 394, 1077, Precise reduction of solar spectra obtained with large CCD ar-rays, http://www.aanda.org/index.php?option=com_article&access=bibcode&Itemid=129&bibcode=2002A%2526A...394.1077WFUL

Anhang

Anhang 1: Vergleich der Rechnung (terrestrisch) mit der Literatur für das Isotop ^{151}Eu

Wellenlänge	Quantenzahl F		Offset	Wellenlänge		Differenz	log(gf)
Å	lower	upper	Å	Ivans	Goretzki	Å	
3971,9684	0,5	1,5	0,079652	3972,0481	3972,0476	0,0005	-1,221
3971,9684	1,5	1,5	0,066456	3972,0349	3972,0344	0,0005	-1,522
3971,9684	1,5	2,5	0,065947	3972,0343	3972,0339	0,0005	-1,045
3971,9684	2,5	1,5	0,044459	3972,0129	3972,0124	0,0005	-2,486
3971,9684	2,5	2,5	0,043950	3972,0124	3972,0119	0,0005	-1,340
3971,9684	2,5	3,5	0,043147	3972,0115	3972,0111	0,0005	-0,883
3971,9684	3,5	2,5	0,013149	3971,9815	3971,9811	0,0005	-2,372
3971,9684	3,5	3,5	0,012346	3971,9807	3971,9803	0,0005	-1,282
3971,9684	3,5	4,5	0,011156	3971,9796	3971,9791	0,0005	-0,737
3971,9684	4,5	3,5	-0,027267	3971,9411	3971,9407	0,0005	-2,486
3971,9684	4,5	4,5	-0,028456	3971,9399	3971,9395	0,0005	-1,316
3971,9684	4,5	5,5	-0,030150	3971,9383	3971,9378	0,0005	-0,605
3971,9684	5,5	4,5	-0,076887	3971,8915	3971,8910	0,0005	-2,787
3971,9684	5,5	5,5	-0,078580	3971,8898	3971,8894	0,0005	-1,499
3971,9684	5,5	6,5	-0,080921	3971,8875	3971,8870	0,0005	-0,486

Anhang 2: Vergleich der Rechnung (terrestrisch) mit der Literatur für das Isotop ^{153}Eu

Wellenlänge	Quantenzahl F		Offset	Wellenlänge		Differenz	log(gf)
Å	lower	upper	Å	Ivans	Goretzki	Å	
3971,9684	0,5	1,5	0,050435	3972,0188	3972,0187	0,0001	-1,221
3971,9684	1,5	1,5	0,044570	3972,0130	3972,0129	0,0001	-1,522
3971,9684	1,5	2,5	0,044857	3972,0133	3972,0132	0,0001	-1,045
3971,9684	2,5	1,5	0,034795	3972,0032	3972,0031	0,0001	-2,486
3971,9684	2,5	2,5	0,035081	3972,0035	3972,0034	0,0001	-1,340
3971,9684	2,5	3,5	0,035249	3972,0036	3972,0036	0,0001	-0,883
3971,9684	3,5	2,5	0,021393	3971,9898	3971,9897	0,0001	-2,372
3971,9684	3,5	3,5	0,021560	3971,9900	3971,9899	0,0001	-1,282
3971,9684	3,5	4,5	0,021376	3971,9898	3971,9897	0,0001	-0,737
3971,9684	4,5	3,5	0,003956	3971,9724	3971,9723	0,0001	-2,486
3971,9684	4,5	4,5	0,003772	3971,9722	3971,9721	0,0001	-1,316
3971,9684	4,5	5,5	0,002935	3971,9713	3971,9713	0,0001	-0,605
3971,9684	5,5	4,5	-0,017751	3971,9506	3971,9506	0,0001	-2,787
3971,9684	5,5	5,5	-0,018587	3971,9498	3971,9497	0,0001	-1,499
3971,9684	5,5	6,5	-0,020443	3971,9480	3971,9479	0,0001	-0,486

Anhang 3: Modifizierte Linien-Liste für das Programm spectrum von R. O. Gray

(<http://stellar.phys.appstate.edu/spectrum/download.html>, luke.iso.lst.gz)

Element: 64,1 bedeutet z.B. Gd II, 3-stellig bedeutet Moleküllinie

Isotop:0 - nur ein Isotop, sonst das genaue Isotop

Eu, Eo: unterer und oberer Termwert in cm^{-1}

Quelle: Linienliste von Kurucz (wird dort detailliert erläutert), GOR = Goretzki

Grau unterlegt: Modifikationen vorgenommen

Wellenlänge	Element	Isotop	Eu [cm^{-1}]	Eo [cm^{-1}]	log(gf)	Quelle	Bemerkungen
3971,060	64,1	0	4852	30027	-1,117	K23	
3971,110	607,0	0	23758	304	-0,134	KCNBX	
3971,111	20,0	0	23652	48827	-0,973	KNLTE	
3971,137	59,1	0	3403	28578	-0,248	K23	
3971,242	607,0	0	23079	405	-0,149	KCNBX	
3971,249	24,0	0	21848	47022	-0,750	K23	
3971,320	26,0	0	21716	46889	-0,840	J	
3971,393	62,1	0	3499	28672	-0,422	K23	
3971,430	607,0	0	22615	506	-0,189	KCNBX	
3971,434	607,0	0	23078	405	-0,154	KCNBX	
3971,579	106,0	0	11546	403	-2,506	Q11ef	
3971,608	24,0	0	24282	49454	-2,280	KP	
3971,615	106,0	0	11546	403	-2,456	qR12ee	
3971,619	607,0	0	22615	506	-0,194	KCNBX	
3971,681	58,1	0	3952	29130	-0,500	VALD	
3971,681	58,1	0	3995	29167	-0,352	K23	verm. Dublette
3971,746	64,1	0	4027	29198	-0,712	K23	verm. Dublette
3971,750	64,1	0	3952	29130	-0,730	VALD	
3971,769	22,0	0	6839	32017	-4,412	VALD	
3971,820	26,0	0	22249	47420	-3,100	GOR	solar Fit
3971,870	58,1	0	2642	27811	-1,400	VALD	
3971,880	58,1	0	2584	27758	-1,270	KP	verm. Dublette
3971,887	-63,1	151	1669	26838	-0,486	GOR	
3971,889	-63,1	151	1669	26838	-1,499	GOR	
3971,890	27,0	0	29735	54905	-1,505	VALD	
3971,891	-63,1	151	1669	26838	-2,787	GOR	
3971,938	-63,1	151	1669	26838	-0,605	GOR	
3971,939	-63,1	151	1669	26838	-1,316	GOR	
3971,941	-63,1	151	1669	26838	-2,486	GOR	
3971,948	-63,1	153	1669	26838	-0,486	GOR	
3971,948	23,0	0	20768	45937	-0,695	GOR	ohne passt besser
3971,950	-63,1	153	1669	26838	-1,499	GOR	
3971,951	-63,1	153	1669	26838	-2,787	GOR	
3971,971	-63,1	153	1669	26838	-0,605	GOR	
3971,972	-63,1	153	1669	26838	-1,316	GOR	
3971,972	-63,1	153	1669	26838	-2,486	GOR	
3971,979	-63,1	151	1669	26838	-0,737	GOR	
3971,980	-63,1	151	1669	26838	-1,282	GOR	
3971,981	-63,1	151	1669	26838	-2,372	GOR	
3971,990	-63,1	153	1669	26838	-0,737	GOR	
3971,990	-63,1	153	1669	26838	-2,372	GOR	
3971,990	-63,1	153	1669	26838	-1,282	GOR	
3972,003	-63,1	153	1669	26838	-2,486	GOR	
3972,003	-63,1	153	1669	26838	-1,340	GOR	
3972,004	-63,1	153	1669	26838	-0,883	GOR	
3972,011	-63,1	151	1669	26838	-0,883	GOR	
3972,012	-63,1	151	1669	26838	-1,340	GOR	
3972,012	-63,1	151	1669	26838	-2,486	GOR	

3972,013	-63,1	153	1669	26838	-1,522	GOR	
3972,013	-63,1	153	1669	26838	-1,045	GOR	
3972,019	-63,1	153	1669	26838	-1,221	GOR	
3972,034	-63,1	151	1669	26838	-1,045	GOR	
3972,034	-63,1	151	1669	26838	-1,522	GOR	
3972,048	-63,1	151	1669	26838	-1,221	GOR	
3972,068	58,1	0	6390	31559	-0,500	GOR	solar Fit
3972,103	106,0	0	12929	201	-1,100	GOR	solar Fit
3972,136	59,1	0	442	25610	-0,518	K23	
3972,170	28,0	0	3410	28578	-3,500	VALD	WL nach NIST
3972,168	64,1	0	9944	35112	-0,711	K23	
3972,171	24,0	0	23163	48331	-2,831	K23	
3972,201	24,0	0	28637	53805	-2,428	K23	
3972,272	106,0	0	2161	0	-1,359	qP21	
3972,294	40,0	0	15720	40888	-0,310	K23	
3972,296	106,0	0	2161	0	-3,219	Q11	
3972,353	24,0	0	24300	49467	-3,091	K23	
3972,353	28,0	0	29084	54251	-2,819	K23	
3972,354	106,0	0	12930	201	-2,782	P11ff	
3972,455	106,0	0	2162	0	-1,332	R11ee	
3972,496	27,0	0	28346	53512	-0,006	K23	
3972,525	27,0	0	30103	55269	-0,167	K23	
3972,569	20,0	0	21850	47015	-1,420	KPm	
3972,667	25,0	0	41230	66395	-1,104	K23	
3972,679	24,0	0	21857	47022	-1,373	K23	
3972,912	26,0	0	28820	53983	-1,780	KP	

Ein Echelle-Spektrograph aus dem Metallbaukasten

Berthold Stober

Nelkenweg 14, 66907 Glan-Münchweiler

Zusammenfassung

In diesem Artikel wird über die Planung und den Selbstbau eines Echelle-Spektrographen berichtet. Erste Beobachtungsergebnisse an Sternen werden vorgestellt.

Abstract

This article deals with the construction and the realization of a self-made Echelle spectrograph. First results taken on stars are reported.

1. Einleitung

Joseph v. Fraunhofer hat es sich zur Aufgabe gesetzt, achromatische Linsenobjektive zu berechnen. Um den Brechungsindex seiner Glasschmelzen bestimmen zu können, schnitt Fraunhofer aus dem von ihm gewonnenen Glasschmelzen kleine Prismen. Durch einen schmalen Spalt ließ er Sonnenlicht auf die Prismen fallen. Das Licht der Sonne wurde zu einem schmalen Streifen auseinander gezogen, welcher die Farben des Regenbogens zeigte. Fraunhofer kam auf die geniale Idee, dieses Spektrum mit einem Fernrohr zu betrachten. Eine auf den ersten Blick aberwitzig erscheinende Idee. Er entdeckte jedoch dabei, dass das kontinuierlich bunt leuchtende Farbband des Sonnenspektrums von zahlreichen feinsten schwarzen Linien durchzogen war. Was sich allerdings hinter diesen nunmehr Fraunhofersche genannten Linien verbarg, vermochte Fraunhofer nicht zu entdecken. Sie dienten ihm lediglich als Markierungspunkte im Sonnenspektrum.

Die bahnbrechenden Arbeiten von Gustav Robert Kirchhoff und Robert Wilhelm Bunsen rund 50 Jahre nach Fraunhofers Tod zeigten, dass diese Linien chemischen Elementen zugeordnet werden können. Die Spektroskopie war erfunden. Es dauerte auch nur kurze Zeit, bis sich die Astronomie der Spektralanalyse bediente. Es wurden Spektralapparate an die größten Fernrohre der damaligen Zeit gebracht. Seither ist man in der Lage, detaillierte Aussagen über die chemischen und physikalischen Zustände zu machen, wie sie auf fernen Sternen und Galaxien herrschen.

Wenn man Spektren von Sternen erzeugt, möchte man mit möglichst einer Aufnahme das ganze sichtbare Spektrum in höchsten Detailreichtum – also in höchstmöglicher Auflösung – betrachten und untersuchen. Herkömmliche Spektrometer können aber nur eine von beiden Forderungen erfüllen. Entweder wird das gesamte sichtbare Spektrum sozusagen in einem Schuss erfasst, allerdings nur mit geringer

Auflösung, oder aber die Auflösung wird sehr hoch gewählt. Dann ist der auf einmal zu erfassende Spektralbereich sehr klein. Durch Drehen des dispersiven Elements (Gitter oder Prisma) eines herkömmlichen Spektrographen kann der abgebildete Wellenlängenbereich zwar variiert werden. Es ist dann aber regelmäßig ein neues Kalibrieren notwendig und selbstverständlich auch eine neue Belichtungsserie.

2. Echelle-Spektrographen

Das aufgezeigte Dilemma löst der Echelle-Spektrograph. Dieser kann bei sehr hoher Auflösung den gesamten sichtbaren Spektralbereich aufnehmen, ohne dass irgendein optisches Element verstellt werden braucht. Damit braucht es nur eine Belichtungsserie und eine Kalibration.

Die folgende Abb. 1 zeigt das Funktionsprinzip eines Echelle-Spektrographen.

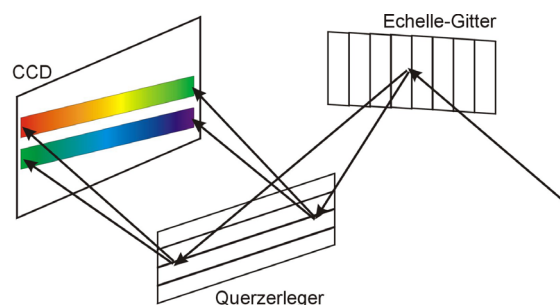


Abb. 1: Strahlengang in einem Echelle-Spektrographen. Darstellung ohne Kollimator, Kamera etc.

Bei einem herkömmlichen, klassischen Spektrographen wird das Spektrum auf dem Sensor – heute sind das zumeist CCD-Sensoren – als ein mehr oder weniger heller Strich dargestellt. Im Falle eines Gitterspektrographen benutzt man dabei meistens die erste Ordnung des Gitters.

Das Echelle-Prinzip hat als grundlegende Idee, dass das Gitter in viel höheren Ordnungen betrieben wird. Allerdings überlappen sich die Teilspektren dann, so dass diese erst wieder getrennt werden müssen. Dazu wird ein zweites dispergierendes Element (sog. Querzerleger, oder engl. Crossdisperser = CD) eingeschaltet, um die Ordnungen senkrecht zur Dispersionsrichtung voneinander zu trennen (siehe Abb. 1). Nach der Passage durch den CD fällt das Licht auf das Kameraobjektiv und wird auf einer CCD abgebildet. Da bei einem Echelle-Spektrographen sehr viele Ordnungen auf einmal abgebildet werden, entstehen auf dem Sensor mehrere, übereinander liegende helle Striche, so dass der Eindruck einer Leiter entsteht. Leiter heißt auf Französisch *les échelles*... Soweit die Theorie.

3. Mein Aufbau

In der Praxis ist das Alles allerdings nicht so einfach umzusetzen. Ein solcher Spektrograph hat bislang im Amateurbereich nur eine sehr eingeschränkte Anwendung erfahren. Da weltweit für Amateure bisher nur eine einzige Firma existiert, die einen solchen Echelle-Spektrographen fertig anbietet, entschloss ich mich, mir selbst so ein Gerät zu bauen.

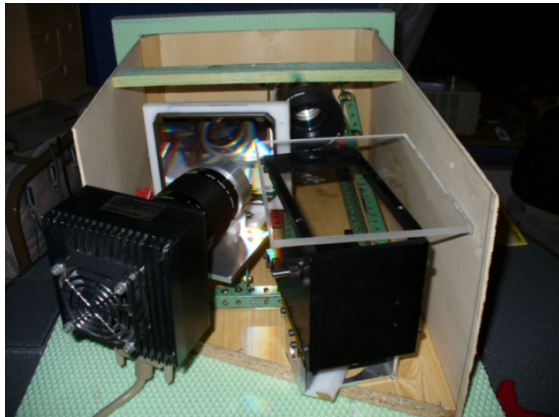


Abb. 2: Echelle-Spektrograph. Hinten: Kollimator; rechts im Vordergrund: Gehäuse mit Echellgitter; links (in weißem Rahmen!) großes Gitter als CD; links im Vordergrund: Kameraobjektiv mit CCD Kamera.

Um so einen Apparat zu bauen, müssen die optischen Parameter vorher sinnvoll berechnet werden, was für einen herkömmlichen Spektrographen schon nicht eben einfach ist. Für einen Echelle-Spektrographen ist es komplexer und kann in der Regel von Amateuren, wenn diese nicht sehr gut in Optik vorgebildet sind, nicht bewältigt werden. In unserer Spektroskopiegruppe haben wir aber Klaus Vollmann, der sich des Problems annahm, einen solchen Spektrographen zu berechnen. Als Physiker und Mathematiker brachte er die dafür notwendigen Kenntnisse mit. Seine Be-

rechnungen hat er in Form eines Excelmakros zur Verfügung gestellt, so dass mit diesem Hilfsmittel sozusagen „Jeder“ die optischen Bauelemente und deren Position zu einander bestimmen kann [1].

In Abb. 2 ist die von mir realisierte Ausführung eines fasergekoppelten Echelle-Spektrographen dargestellt. Das Öffnungsverhältnis beträgt faserangepasst $D/f=1/4$. Links im Vordergrund sieht man die CCD mit dem Kameraobjektiv. Die große spiegelnde Fläche ist der CD, der hier, da kein anderer vorhanden war, wesentlich zu groß ausgefallen ist. Rechts im Vordergrund sieht man das Gehäuse des Echelle-Gitters, im Hintergrund den Kollimator.

Auf den ersten Blick mag dem unbefangenen Leser der Bau eines Echelle-Spektrographen eher ein aussichtsloses Unterfangen zu sein. Ausführungs- und Berechnungsgrundlage ist das schon erwähnte Excel-Sheet. Hier können die Grundparameter der zur Verfügung stehenden Bauelemente eingegeben werden. Natürlich wäre es ideal, wenn man wirklich genau Alles so übernehmen könnte, wie es das Programm berechnet. Dies scheitert in der Regel zuerst einmal an den Kosten. Manche Bauteile sind auch in der erforderlichen Dimension schlicht nicht zu bezahlen. Besonders kritisch sind die Größe des Echelle-Gitters und die des Kameraobjektivs. Echelle-Gitter werden mit zunehmender Größe sehr teuer. Kameraobjektive müssen beim Echelle-Spektrographen, besonders wenn dieser eine Öffnung um $f/4$ hat, was bei lichtleitergekoppelten Spektrographen verlangt werden muss, sehr lichtstark sein und dürfen nur einen kleinen chromatischen Längsfehler aufweisen. Solche Objektive sind ebenfalls sehr teuer. Es werden also gewisse Kompromisse einzugehen sein.

Bevor aber hier weitergemacht werden kann, muss man sich überlegen, wie man Licht – Sternenlicht – in so einen Apparat bekommt. Dies nun ist allerdings ein sehr heikles Problem. In diesem Fall wurde das mittels Glasfasertechnik bewerkstelligt.

Um das im Brennpunkt des Teleskops gesammelte Sternenlicht auf eine nur $50\mu\text{m}$ im Durchmesser messende Glasfaseroberfläche zubringen, bedarf es einer trickreichen Einkoppelungsmechanik. Diese konnte der Verfasser nicht selber herstellen. Er verwandte deshalb eine „fiberinjection“ der Fa. Shelyak (Frankreich).

Es existieren auch Lösungen mit Echelle-Spektrographen, die direkt an Teleskope mit einer Öffnung von $f/10$ angebracht werden können. Zur Zeit der Abfassung dieses Berich-

tes ist das Amateuren jedoch noch nicht gelungen, dürfte aber zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Berichtes schon erfolgt sein. Hauptvorteil eines solchen Gerätes sind die bedeutend kleineren Abmessungen der erforderlich optischen Bauteile, was diese Geräte deutlich billiger und vor Allem auch masseärmer macht. Ein fasergekoppelter Spektrograph kann aber bei der Beobachtung ruhig auf dem Tisch stehen und es treten dann keinerlei mechanische Belastungen auf.

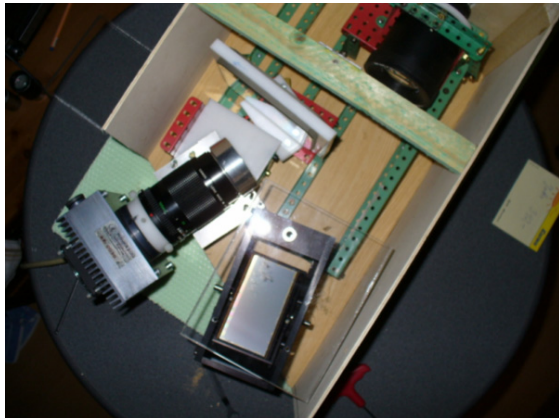


Abb. 3: Draufsicht. Oben rechts: Kollimator; rechts vorn: Echelle-Gitter, links mit weißem Rahmen: CD; links vorn: Kamera.

4. Konstruktion im Detail

Das Licht vom Teleskop wird über eine 50µm Glasfaser in einen Kollimator mit $f=150\text{mm}$ und der Blende 3,5 geführt und verlässt diesen als parallelen Lichtstrahl. Danach trifft dieser Lichtstrahl das Echelle-Gitter, welches in 2 Winkeln drehbar montiert sein muss. Der Neigungswinkel ist abhängig vom Blazewinkel vorgegeben und beträgt hier etwa 63° . Der andere Drehwinkel ist im Prinzip möglichst klein zu halten, weil es sonst zu extremen Schiefstellungen der Linien im Spektrum in Bezug auf die Dispersionsrichtung kommt. Das Licht geht nun nicht wieder von dem Echelle-Gitter in den Kollimator zurück sondern auf den CD. Erinnern wir uns: Der CD sorgt dafür, die einzelnen Ordnungen zu entzerren. Beim hier verwendeten Echelle-Gitter wird in den Ordnungen 30 bis 50 gearbeitet. Der CD selbst ist wieder ein Reflexionsgitter mit 300 Linien/mm. Prinzipiell gehen auch Transmissionsgitter oder Prismen.

Zum guten Schluss muss der parallele Lichtstrahl nach Passage des Crossdispersers wieder auf dem CCD Chip abgebildet werden. Dazu benötigt man ein sehr gut korrigiertes lichtstarkes Objektiv, weil das nun ja das gesamte sichtbare Spektrum von $4500\text{ \AA}$ bis $7000\text{ \AA}$ scharf und verzeichnungsfrei abbilden

soll. Hier wurde dazu ein Objektiv 1:2/100mm eingesetzt.

Diese ganzen Bauteile wurden auf einen steifen Rahmen, der aus Bauteilen eines MÄRK-LIN-Baukasten errichtet wurde, befestigt. Bauteile, die im Baukasten nicht vorhanden waren, wurden mit Hilfe von Dreh- und Fräsmaschine selbst hergestellt. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen den Aufbau im Detail.

Sehr hohe Anforderungen bei einem Echelle-Spektrographen werden an dessen Stabilität gestellt. Weil bei dem noch zu erwähnendem Auswertevorgang schon Abweichungen von 3 Pixeln zwischen Kalibrieraufnahmen und Signalbildern die Extraktion des Spektrums unmöglich bzw. zumindest deutlich erschwert wird. Da bei einem stationär betriebenen Echelle-Spektrographen „Verbiegungen“ praktisch nur Folge von thermischen Einflüssen sein können, wird der Apparat in eine Styroporkiste gepackt, die ggf. auch „klimatisiert“ werden könnte.

5. Aufnahme und Auswertung von Spektren

Mag der halbwegs geschickte Bastler vielleicht den Bau eines Echelle-Spektrographen hinbekommen, falls er jemanden hat, der ihm so ein Gerät berechnet. Ebenfalls „nicht ohne“ ist, diese Echelle-Spektren zu reduzieren, an denen dann gemessen werden kann.

Das Problem beginnt schon damit, dass es nicht einfach und ebenfalls teuer ist, eine geeignete Eichlampe zu finden. Es muss eine Lampe sein, die über den gesamten (!) Spektralbereich des sichtbaren Lichtes in jeder der etwa 20 Ordnungen genügend Linien zur Verfügung stellt, damit die Wellenlänge kalibriert werden kann. Eine einfache Neonlampe, die bestenfalls bis etwa $5800\text{ \AA}$ genügend starke Linien zeigt, reicht da nicht. Es gibt aber Hohlkathodenlampen, die mit den Elementen Thorium und Argon dotiert sind. Die Spektren dieser Lampen zeigen sehr, sehr viele Linien, die zudem sehr genau vermessen und damit bekannt sind. Eine solche Lampe kann man aber nicht einfach in die Steckdose stecken, man braucht dazu ein Vorschaltgerät. Das zu bauen, ist nicht so einfach, wenn man von dem Umgang mit Transistoren, Widerständen und Kondensatoren unerfahren ist. Wolfgang Arnold aus der Fachgruppe Spektroskopie hat ein solches Vorschaltgerät konstruiert.

Jetzt kann das erste Kalibrierspektrum entstehen. In jeder (!) Ordnung des Echelle-Lampenspektrums müssen mindestens 2 Linien erkannt und eine Wellenlänge aus einem Katalog zugeordnet werden. Das ist für den

Ungeübten nun alles Andere als trivial. Der Autor hat vielleicht 3 Ordnungen selbst ausgewertet, den Rest hat Dr. O. Stahl für mich gemacht. Wenn man das fehlerlos (!) gemacht hat, dann hat man einen Linienkatalog für seinen Spektrographen, aber noch lange (!) kein Spektrum extrahiert.

Für Amateure gibt es kaum Software, die das kann. Ch. Buil, wohlbekannter Spektroskopiker aus Frankreich, hat so etwas auf Windows-Basis kreiert. Die Software ist aber nicht einfach bedienbar. Außerdem hilft nach meiner Erfahrung einem niemand, sich in diese Software einzuarbeiten.

Anders sieht das mit ESO-MIDAS aus. Diese Profissoftware hat allerdings LINUX als Betriebssystem, was wiederum eine gewisse Hürde darstellt. Unter Midas gibt es dann einen Kontext Echelle. O. Stahl ist aber hier Experte. Er hat mächtige Skripte erzeugt, die zwar den „cont/echelle“ von Midas benutzen, aber eben diesen auch erweitern und zwar in der Art, dass es zum guten Schluss selbst einem Laien wie mir möglich ist, mit einem einzigen (!) Tastendruck am PC ein ganzes Echelle-Spektrum fertig zu normieren und zu kalibrieren. Diese Skripte hat mir O. Stahl überlassen, und auf meine speziellen Bedürfnisse zugeschnitten. Das ist ebenso großzügig wie hilfreich. Das allerdings reichte allein immer noch nicht. Um diese Skripte bedienen zu können, war eine recht intensive Einweisung nötig, die ich von O. Stahl erhielt. Midas wurde nunmehr so konfiguriert, dass mir das Folgende, und damit für sich selbst Sprechende, gelang.

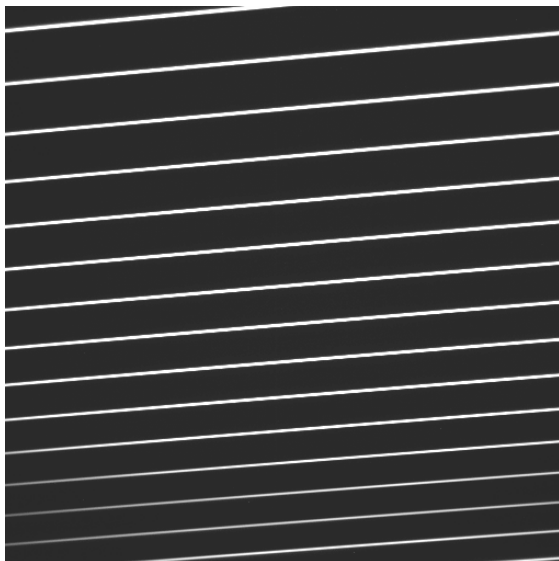


Abb. 4: Flat-Spektrum.

In Abb. 4 ist ein Echelle-Flat-Spektrum zu sehen, in Abb. 5 ein Thorium-Argon-Kalibrier-Spektrum. Bei den gezeigten „Bildern“ handelt es sich immer nur um Bildausschnitte.

Um ein Echelle-Spektrum auswerten zu können, müssen vorliegen:

- ein Flatspektrum, (Echelle-)Spektrum eines Kontinuumstrahlers,
- ein Kalibrierspektrum, erzeugt mit der erwähnten Thorium-Argon-Lampe und
- das eigentliche Sternspektrum.

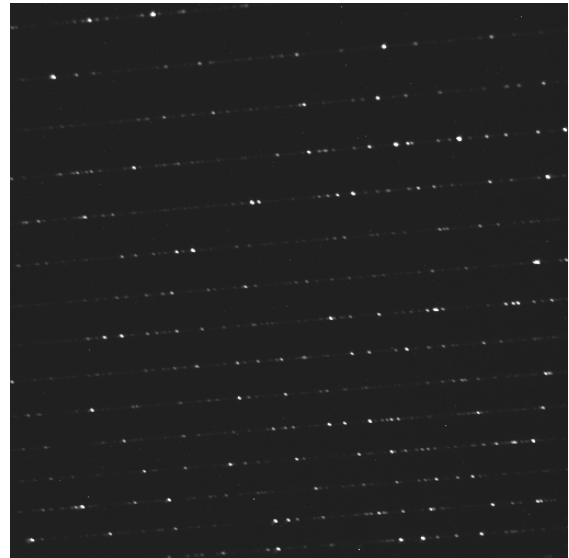


Abb. 5: Ar-Th-Kalibrierspektrum. Die Linienvielfalt pro Echelle-Ordnung ist klar sichtbar.

Als nächstes wird nun noch das eigentlich zu untersuchende Signalspektrum in Abb. 6 gezeigt: es zeigt γ Cas.



Abb. 6: Spektrum von γ Cas. Die für den Be-Stern charakteristischen Emissionen sind sichtbar. Spektrum von γ Cas. Die für den Be-Stern charakteristischen Emissionen sind sichtbar.

Zum Vergleich wird in Abb. 7 noch Spektrum eines absorptionslinienreicheren Sterns: α Cyg gezeigt.

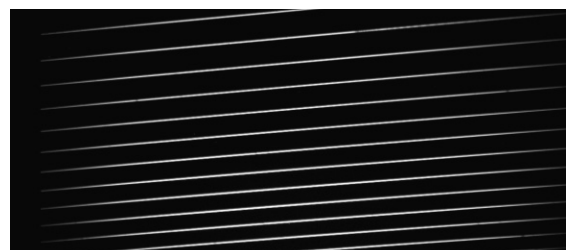


Abb. 7: Spektrum von α Cyg.

Nach erfolgter Reduktion erhält man nun das Spektrum des Sterns als Profil wie hier in Abb. 8 von γ Cas im Bereich der Heliumlinie bei 5875 Å. Diese „M“ Profil ist über die Zeit variabel. Gleichzeitig sieht man recht der Heliumlinie eine Natriumlinie.

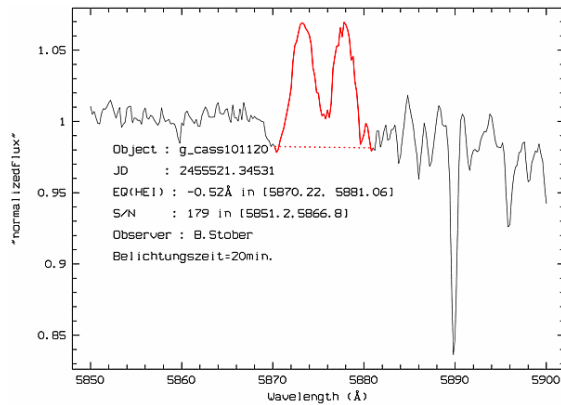


Abb. 8: Hel in Emission.

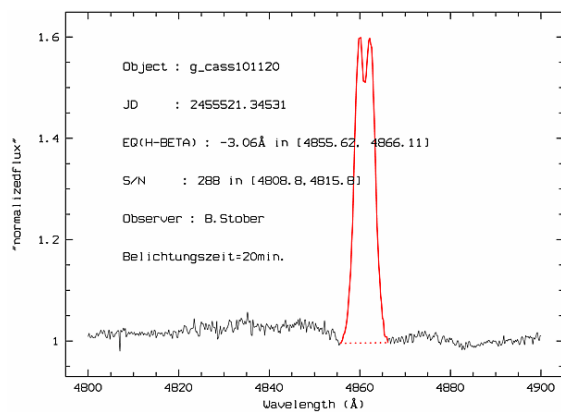


Abb. 9: H β von γ Cas.

Einen anderen Bereich des gleichen Echelle-Spektrums zeigt Abb.9: Hier sieht man H γ , die ebenfalls ein mit der Zeit variables Profil zeigt. Abb.10 zeigt nun H α . Hier ist das Profil der Linie nur noch ganz schwach bei der gegebenen Auflösung zu erkennen.

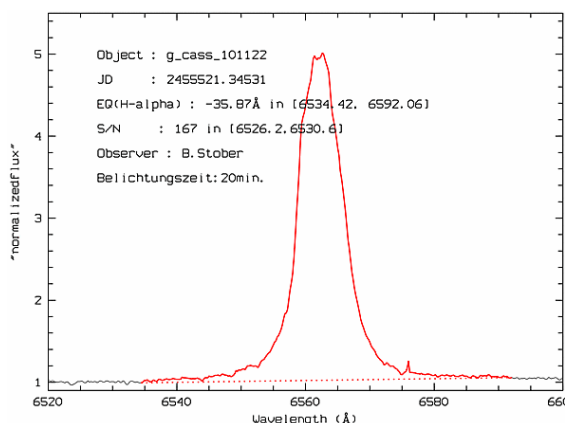


Abb. 10: H α von γ Cas.

Ein Wort zur Genauigkeit der Wellenlängenkalibration: Da mit Th-Ar-Lampen kalibriert wird und diese sehr viele Linien im sichtbaren Spektralbereich haben, sind die Kalibrierergebnisse sehr genau. Die sog. Residuen, auch Restfehler genannt, in Abb. 11 können einen Eindruck davon geben.

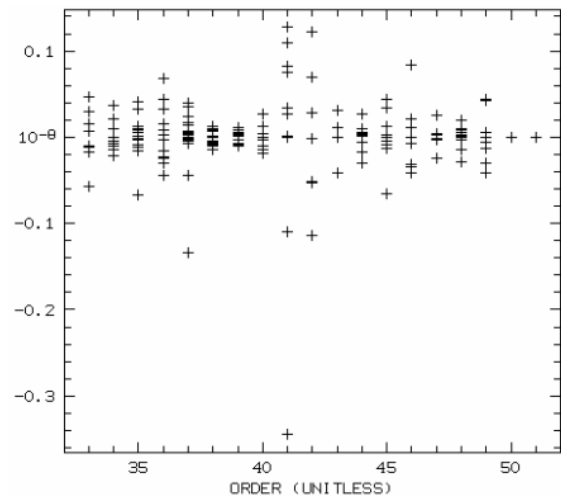


Abb. 11: Residuen der Kalibration.

Man liest aus diesem Graphen ab, dass die Kalibriergenauigkeit bei knapp unter 0.1 Å liegt, was einer Radialgeschwindigkeit von etwa 5 km/s entspricht. Radialgeschwindigkeitsmessungen mit dieser Genauigkeit sind eine spezielle Stärke von Echelle-Spektrographen!

In Abb. 12 ist ein Vergleich mit dem Spektrographen „Heros“ der ESO anhand eines P Cyg Spektrums gezeigt. Der Heros hat das doppelte Auflösungsvermögen wie der hier vorgestellte Selbstbau-Echelle. Trotzdem ist die Vergleichbarkeit evident.

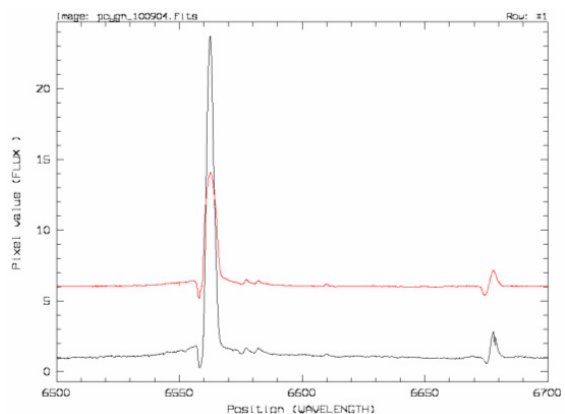


Abb. 12: Vergleich des Selbstbau-Echellespektrographen (schwarz) mit dem professionellen Spektrographen Heros (rot) der ESO.

6. Fazit

Für Amateure ist bislang die Echelle-Spektroskopie doch ein eher schwieriges und anspruchsvolles Tätigkeitsgebiet. Echelle-Spektrographen erzeugen mit einer einzigen Aufnahme Spektren in hoher Auflösung. Die Vorteile gegenüber klassischen Spektrographen ist die Aufnahme des gesamten Spektrums in einem Schuss. Ich werde mich auch weiterhin mit diesem spannenden Konzept auseinandersetzen. Verbesserungspotentiale, wie die thermische Stabilität, sind erkannt

und werden in weiteren Spektrographen einfließen.

Wie man aus diesem Aufsatz leicht erkennen kann, ist es völlig unmöglich, dass man so ein Projekt alleine umsetzen kann. Deswegen sei an dieser Stelle besonders gedankt: Wolfgang Arnold, Günter Gebhard, Dr. L. Schanne, Dr. O. Stahl und Dr. Klaus Vollmann. Ohne deren Unterstützung wäre es mir unmöglich gewesen, das Vorstehende zu erarbeiten.

Literaturverweise

[1] www.stsci.de/simechelle.xls

ASpekt 11 - Jahrestagung der Fachgruppe Spektroskopie in Drebach

Thomas Hunger

Normannenweg 39, 59519 Möhnesee

Thomas Eversberg

STScI – Schnörringen Telescope Science Institute, Ringweg 7, 51545 Waldbröl

Rainer Borchmann

Büminghausstraße 150, 45236 Essen

Zusammenfassung

Im April trafen sich 36 spektroskopiebegeisterte Amateur- und Profiastronomen am Zeiss-Planetarium und Volkssternwarte im sächsischen Drebach zur Jahrestagung der Fachgruppe. Neben Vorträgen und einer Poster- und Gerätesitzung war diesmal wieder eine Rundtischdiskussion zu Möglichkeiten einer weiteren Zusammenarbeit mit der professionellen Forschung eingeplant.

Abstract

Last April 36 enthusiastic amateur and professional astronomers met at the Zeiss-Planetary and Observatory in Drebach, Saxonia, for the annual conference of the special group. Among plenary talks as well as a combined poster and instrument session a round table discussion regarding closer cooperation with the professionals took place.

Der Freitag wurde wie immer als Anreisetag genutzt und schon um 19:00 Uhr waren viele Teilnehmer zu ersten lebhaften Diskussionen rund um und über die Astrospektroskopie hinaus im Hotel anwesend. Günstig erwies sich wieder die Tatsache, dass der überwiegende Teil im in einem Haus nächtigte und es wird gemunkelt, dass bis 3:00 Uhr noch diskutiert wurde...

Nach der Begrüßung aller Teilnehmer durch den FG-Sprecher ließ es sich der Bürgermeister der Gemeinde Drebach nicht nehmen, die Teilnehmer mit sichtlichem Stolz auf die Einrichtung willkommen zu heißen. Im Anschluss bekundeten der Leiter der Einrichtung und der Vorsitzende des Fördervereins ihre Freude über unser Kommen. Neben dem 625-Jahr Jubiläum der Gemeinde feiert die Sternwarte ihr 25-jähriges Bestehen. Der ehemalige Leiter der Einrichtung, Karlheinz Müller, stellte deshalb kurzweilig und informativ die Geschichte der Einrichtung vor. Danach konnten wir mit dem Vortragsprogramm beginnen.

Thomas Eversberg referierte zunächst zu den wissenschaftlichen Ergebnissen der internationalen Beobachtungskampagne an dem Wolf-Rayet-Stern WR140, an der einige der Anwesenden beobachterisch – auch auf Teneriffa – beteiligt waren. Damit wurde eindrucksvoll deutlich, welche Ergebnisse für die professionelle Forschung erzielt werden können. Entscheidend für die erzielten Ergebnisse zur Ermittlung der Windgeometrie dieses Doppelsterns aus zwei massereichen Sternen war eine gute Vorbereitung, Koordinierung und der

höchste Einsatz aller Beteiligten. Amateure können in der Profifliga mitspielen!

Nach einer ersten Pause startete Berthold Stober, der den Gitterspektrographen in der deutschen Amateurszene hoffähig gemacht hat, mit seinen Arbeiten zu Echelle-Spektrographen durch. Zu Recht kann er auch hier wieder eine Vorreiterrolle reklamieren: Er hat den ersten Selbstbau-Echelle in der deutschen Amateurszene im spektroskopischen Dauereinsatz. Neben der Beschreibung des Instruments diskutierte Berthold jedoch auch seine technischen Probleme sowie mögliche Lösungen. Dem aufmerksamen Zuhörer dürfte nicht entgangen sein, dass hinter dem Gerät viel Beharrlichkeit, Geduld und Frustrationstoleranz steht.

Wolfgang Mahlmann und Thomas Kessler stießen erst 2009 zu unserer Fachgruppe. Auf unserer letzten Konferenz in Recklinghausen waren sie von dem selbstgebauten Messgerät von Bernd Marquardt so angetan, dass sie sich zu einem Selbstbau motivieren ließen. E voilà, anderthalb Jahre später präsentiert Wolfgang den von beiden entwickelten Littrow-Spektrographen in mechanisch souverän durchdachtem Design und mit überraschenden Detaillösungen. Wir können auf die nun folgenden Beobachtungsergebnisse gespannt sein.

Nach dem obligatorischen Gruppenfoto und der einstündigen Mittagspause mit reichlich „Fingerfood“ an der Sternwarte berichteten Hendrik Preuß und Frank Zobel zu ihren Arbeiten an einem selbstgebauten Czerny-Turner-

Spektrographen. Man beachte, das Gerät wurde im Rahmen eines Schülerprojektes gebaut. Dabei wurde jedem Teilnehmer die vielen Klippen, die es zu umschiffen gilt, eindrücklich ins Bewusstsein gerückt.

Lothar Schanne berichtete danach zu seinen Verbesserungen an der Kalibrierlichteinspeisung am kommerziellen Lihres III-Spektrographen von Shelyak. Sie erlaubt, andere Lichtquellen als die eingebaute Neon-Kalibrierung zu benutzen. Von den Teilnehmern wurden die Genauigkeit und die systematischen Fehlerquellen durch die Spaltbeleuchtung diskutiert, um dann in die kombinierte Pause mit Poster- und Gerätesitzung zu gehen.

Bestens bewährt hat sich der zum ersten Mal durchgeführte Büchertisch. Einige Teilnehmer hatten Literatur zur (Astro-)spektroskopie, Sternphysik und Optik ausgelegt, so dass für alle die Gelegenheit bestand, die teils kostspieligen Bücher vor einem Kauf zu begutachten.

Die letzte Vortragsrunde am Samstag bestritt im ersten Teil Wolf-Rainer Hamann von der Universität Potsdam. Er stellte den Teilnehmern sein Arbeitsgebiet „Heiße Sterne“ vor, insbesondere diskutierte er, welche Informationen Spektren über die Dynamik der Systeme liefern. Dabei legte er eindrucksvoll dar, dass viele Sterne aus seinem Arbeitsgebiet aufgrund ihrer Helligkeit und des notwendigen spektralen Auflösungsvermögens durch Amateure untersucht werden können. Dies ist für ihn wichtig, da Spektren gerade von diesen hellen Sternen oft nicht einmal in professionellen Datenbanken vorliegen. Mit diesen Informationen ging es dann in eine offene Diskussionsrunde, um mögliche gemeinsame Beobachtungskampagnen zu starten. Es zeigten sich vielversprechende Ansätze für weitere Amateur-Profi-Kampagnen.

Der Tagungstag klang unter dem künstlichen Himmel des Planetariums aus, um dann in lockerer Diskussionsatmosphäre beim gemütlichen Abendessen im Hotel auszulaufen.

Der Sonntag-Vormittag wurde von Markus Mugrauer, Universität Jena, begonnen. Er berichtet unterhaltsam über die verschiedenen Beobachtungsaktivitäten an der Universitätssternwarte. Dabei kommt auch der fibergokoppelte Spektrograph FIASCO zum Einsatz, der vom Club of Amateurs in Optical Spectroscopy (CAOS) entwickelt wurde.

Nach einer Pause folgte der letzte Vortragsblock, der durch unseren „Benjamin“, dem Schüler Daniel Weiss mit seinem Bericht über den Bau seines Gitterspektrographen nach klassischem Design eingeleitet wurde. Daniel berichtete von seinen grundsätzlichen Parameteransätzen sowie über die mechanische Umsetzung. Er brachte seinen Spektrographen zwecks Anschauung dann auch gleich mit, so dass sich alle ein Bild von seiner beachtlichen Leistung machen konnte.

Nachdem ein Vortrag ausfallen musste, schlug Wolfgang Holota vor, von seiner Arbeit für das Satellitenprojekt ECHO zu berichten. Wolfgang arbeitet professionell an der Entwicklung von „High-End-Spektrographen“ für die Raumfahrt und erzählte so spontan über seine Aktivitäten für die Forschung am Rande des technologisch Machbaren.

Zum Ende der Tagung diskutierten dann in der abschließenden Runde alle Teilnehmer über Fachgruppenthemen und zukünftige Arbeiten. Es wurden folgende Dinge verabredet:

- Angesichts eines regen Interesses an unserer Gruppe sowie eines damit verbundenen Wachstums erscheint es sinnvoll, unserer Tagungen jährlich stattfinden zu lassen. Damit befriedigen wir auch den Wunsch nach einem persönlichen Austausch.
- Die ASpekt 12 soll im Süden Deutschlands durchgeführt werden. Damit laden wir ganz bewusst und herzlich unsere Sternfreunde aus der Schweiz, aus Österreich und Frankreich ein, mit uns zu diskutieren.
- Im Herbst 2011 wird wieder ein Anfängerworkshop durchgeführt.
- Es besteht ein dringender Bedarf, die Techniken der Datenreduktion zu lernen. Dabei soll das professionelle Datenreduktionspaket MIDAS der ESO benutzt werden.
- Wir haben uns gegen einen Berichtsband über unsere Konferenz entschieden. Statt eines Tagungsproceedings sind alle Vortragenden aufgerufen, in unserem Fachgruppenjournal SPEKTRUM zu publizieren und/oder ihre Vorträge zumindest als PDF auf der Webseite hinterlegen zu lassen.
- Im Sinne einer breiten Streuung der Verantwortlichkeiten und zwecks Entlastung unseres Editors sind Freiwillige aufgerufen, die Redaktion für Spektrum und der Spektroskopiesektion des VdS-Journals zu übernehmen.



Abb. Teilnehmer der ASpekt 11.

Terminvorschau

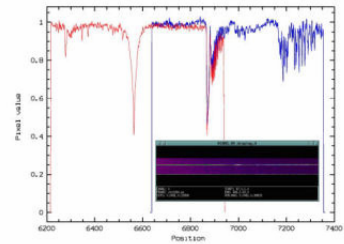
Midasworkshop

17. September 2011 in Neumarkt / Oberpfalz

Infos:

<http://spektroskopieforum.vdsastro.de/viewtopic.php?t=3573>

http://spektroskopie.fg-vds.de/midas_d.htm



Tagung der SAG, Sektion Spektroskopie

16.-18. September 2011 am Simplon, Schweiz

Infos:

<http://www.astronomie.ch/forum/viewtopic.php?f=28&t=5147&sid=28dc020188ff3382f1fe447f3965b03c>

Hugo Kalbermatten: elektro@hkalbermatten.ch

Anfängerworkshop (Beginner workshop)

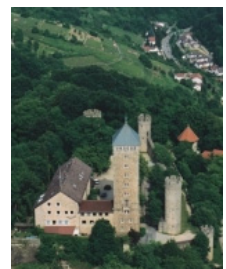
4.-6. November 2011 an der Starkenburgsternswarte Heppenheim

Infos:

<http://spektroskopieforum.vdsastro.de/viewtopic.php?t=3572>

http://spektroskopie.fg-vds.de/anfaenger2011_d.htm

Anmeldung bei Lothar Schanne: l.schanne@arcor.de



ASpekt 12 – Jahrestagung der Fachgruppe 2012

4.-6. Mai 2012 an der Evangelischen Akademie in Bad Boll

Infos:

<http://www.spektralklasse.de/>