

Automatisierte Klassifikation stellarer Spektren im Hamburger Quasar-Survey

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität
zu Kiel

vorgelegt von
Derek Homeier

Kiel
im März 2001

Referent: Prof. Dr. D. Koester
Korreferent: Prof. Dr. H. Holweger
Tag der mündlichen Prüfung: 7. Mai 2001
Zum Druck genehmigt: Kiel, 7. Mai 2001

Prof. Dr. Th. Bauer
Dekan

Zusammenfassung

The Hamburger Quasar-Survey (HQS) ist eine großflächige Objektivprismendurchmusterung, für die am Schmidteleskop des Calar Alto-Observatoriums in Spanien 14 000 deg² des Nordhimmels auf galaktischen Breiten $|b| > 20^\circ$ mit dem 1°7-Prisma beobachtet wurden. Die photographischen Daten von 1 046 000 blauen Objekten, mit 1 889 000 Schwärzungsspektren von $\sim 40 \text{ \AA}$ Auflösung und einem S/N von 4–20 wurden in Hamburg im Zuge des Programms zur Suche nach leuchtkräftigen Quasaren extrahiert und digitalisiert. Diese Datenbasis ist als ergiebige Quelle lichtschwacher blauer Sterne erkannt worden und wurde im Rahmen einer Kollaboration zwischen der Hamburger Sternwarte, der Christian-Albrechts-Universität und der Dr. Reemis-Sternwarte Bamberg (Univ. Erlangen) für die Suche nach Weißen Zwergen und anderen Spätphasen der Sternentwicklung zur Verfügung gestellt.

Bei spektroskopischen Nachbeobachtungen heißer Sterne, die visuell aus den Prismenspektren ausgewählt wurden, wurden etwa 80 Weiße Zwerge des Spektraltyps DA entdeckt. In einer quantitativen Analyse dieser Spektren sind durch den Fit von Modellatmosphären die atmosphärischen Parameter T_{eff} und $\log g$ bestimmt, und aus diesen unter Verwendung theoretischer Abkühlsequenzen, die eine Masse-Radius-Beziehung herstellen, die Massen und Leuchtkräfte abgeleitet worden.

Für eine umfassendere Suche in der vollständigen Datenbasis digitalisierter Spektren sind Programme zur Umwandlung der Daten aus dem an der Hamburger Sternwarte verwendeten Binärformat in das standardisierte FITS-Format entwickelt worden. Basierend auf einer astrometrischen Identifikation sind bekannte Sterne aus Literaturkatalogen Weißer Zwerge und heißer Subdwarfs mit den Spektren abgeglichen worden, um die Vollständigkeit der Datenbasis zu prüfen und ein automatisiertes Suchverfahren für Weiße Zwerge zu entwickeln und zu testen. Diese Suche ist im Rahmen eines Systems zur Spektralanalyse und Klassifikation der stellaren Spektren realisiert worden, das auf einem χ^2 -Minimierungsverfahren auf einem Modellgitter theoretischer Spektren basiert. Die theoretischen Spektren sind durch Entwicklung eines Verfahrens zur Transformation von flusskalibrierten Spektren in photographische Schwärzungen erzeugt worden, welches unter Verwendung der bekannten heißen Sterne als Eichstandards kalibriert und getestet wurde. Das Programm erlaubt eine schnelle und voll automatisierte Klassifizierung aller stellaren Spektren mit einer ungefähren Bestimmung von $\log g$ und T_{eff} und einer groben Abschätzung der Metallicität von Hauptreihensternen. Weiße Zwerge können anhand der $\log g$ -Bestimmung mit $\sim 85\%$ Vollständigkeit ausgewählt werden. Für den Typ DA ist eine Temperaturbestimmung von etwa 20–25 % Genauigkeit möglich.

Ein Katalog von knapp 3000 Kandidaten für kühle DA mit etwa 9000–30 000 K T_{eff} ist mit diesem Verfahren erstellt worden. Aus der gleichförmigen Verteilung der Sterne bezüglich der Milchstraße kann eine Kontamination mit helleren Sternen der galaktischen Scheibe zu mehr als etwa 30 % ausgeschlossen werden. Die Temperaturen von 1100 der als DA ausgewählten Sterne würden sie in die Nähe des sog. ZZ Ceti-Instabilitätsstreifens, in dem pulsierende Weiße Zwerge auftreten, rücken.

Abstract

The Hamburg Quasar Survey (HQS) is a wide-angle objective prism survey covering a total area of $14\,000\text{ deg}^2$ on the northern hemisphere at $|b| > 20^\circ$, carried out with the Calar Alto Schmidt telescope in Spain using the 1.7° -prism. Photographic data for 1 046 000 blue objects, containing 1 889 000 density spectra of $\sim 40\text{ \AA}$ resolution and a S/N of 4–20 have been extracted and digitized in Hamburg in a programme searching for bright quasars. This database has been recognized as a rich source of blue subluminoous stars and made available as part of a collaboration between the Hamburg Observatory, Christian-Albrecht-University Kiel and the Dr. Remeis-Observatory Bamberg for searches for white dwarfs and other late stages of stellar evolution.

In follow-up spectroscopy of hot stars visually selected from the prism spectra about 80 white dwarfs of spectral type DA have been detected. Detailed fits of the slit spectra were made using DA model atmospheres to determine T_{eff} and $\log g$. From these atmospheric parameters masses and luminosities have been derived with the use of cooling tracks and the WD mass-radius relation.

For a more comprehensive search in the full database of digitized spectra, routines were developed for a conversion of the raw data provided by the Hamburg Observatory to standard FITS format, obtaining positions for objects without astrometric information and identifying known hot stars from the catalogues of white dwarfs and blue subdwarfs, respectively. These were used to investigate the completeness of the database and to develop and test an automated search procedure for white dwarfs. The identification of white dwarfs is realized as part of a spectral analysis and classification system for the stellar spectra in the database, which has been implemented as a χ^2 -minimization routine working on a grid of theoretical spectra. The template spectra have been obtained from model atmospheres by developing a procedure for the transformation of fluxes to photographic densities, which was calibrated and tested by the use of known hot stars as standards. The program allows a fast and fully automated classification of all stellar spectra giving estimates of $\log g$ and T_{eff} as well as rough estimates $[M/H]$ for MS stars. White dwarfs can be recovered with $\sim 85\%$ completeness based on the $\log g$ estimator. For DA white dwarfs, temperature determinations with 20–25% accuracy are also possible.

A catalogue of nearly 3000 candidates for cool DA white dwarfs of temperatures 9000–30 000 K has been produced. The homogeneity of the distribution with respect to galactic latitude allows to constrain contamination with brighter disk stars, which is estimated to be $< 30\%$. 1100 of the selected DA stars have T_{eff} estimates that put them close to the ZZ Ceti strip of pulsational instability.

Inhaltsverzeichnis

1	Die Suche nach Weißen Zwergsternen	1
1.1	Spätphasen von Sternen kleiner und mittlerer Masse	1
1.2	Beobachtete Eigenschaften	2
1.3	Optische Detektion Weißer Zwerge	4
2	Heiße Sterne im Hamburger Quasar-Survey	9
2.1	Quasarsuche	9
2.1.1	Der Hamburger Schmidtspiegel des DSAZ	10
2.1.2	Die photographischen Beobachtungen	10
2.2	Analyse digitalisierter photographischer Spektren	11
2.3	Die Datenauswertung im HQS	13
2.3.1	Digitalisierung der Platten	13
2.3.2	Extraktion und Klassifikation der Grobscans	14
2.3.3	Extraktion der Feinscans	14
2.3.4	Digitalisierung der Direktplatten	18
2.3.5	Klassifikation der Objektivprismenspektren im Quasarsurvey . .	19
2.4	Visuell selektierte heiße Sterne	19
2.4.1	Statistik der Nachbeobachtungsergebnisse	21
3	Spektroskopische Analyse Weißer Zwerge	25
3.1	Nachbeobachtete Spektren	25
3.2	Theoretische Modelle	27
3.2.1	Das Fitverfahren	28
3.2.2	Fehlerabschätzung	33
3.3	Ableitung von Massen und Leuchtkräften	35
3.4	Ergebnisse	38
4	Auswertung der digitalisierten Prismenspektren	39
4.1	Motivation und Ziele einer Neuanalyse der HRS-Daten	39
4.2	Aufbereitung und Archivierung der HRS-Daten	41
4.2.1	Die Datenformate des HQS	41
4.2.2	Die Umwandlung in FITS-Tabellen	44
4.3	Vergleich mit Katalogen klassifizierter Sterne	51
4.3.1	Datenbasen spektroskopisch identifizierter heißer Sterne	51
4.3.2	Identifikation bekannter Objekte in den HRS-Daten	54
4.3.3	Vollständigkeit der HRS-Spektren	55

5	Automatisierte Analyse der Schwärzungsspektren	59
5.1	Klassifikationsmethoden	59
5.2	Die Bildung des Spektrums	60
5.2.1	Ablenkwinkel am Prisma	60
5.2.2	Die Dispersionsrelation	61
5.3	Vom Schwärzungs- zum Flussspektrum und zurück	62
5.3.1	Die charakteristische Kurve	62
5.3.2	Beschreibung einer polychromatischen Belichtung	64
5.3.3	Wellenlängenabhängigkeit der Plattenfunktionen	66
5.3.4	Erstellung von Templates für den Vergleich mit Schwärzungsspektren	67
5.3.5	Transformation der Flussspektren	68
5.4	Klassifikation der HRS-Spektren	69
5.4.1	Reduktion der Prismenspektren	69
5.4.2	Anpassung der Modelle	73
5.4.3	Güte des Modellfits	75
5.4.4	Wellenlängenanpassung	77
5.5	Anpassung der Plattenfunktionen	85
6	Klassifikationsergebnisse	89
6.1	Einteilung stellarer Klassen	89
6.1.1	Vollständigkeit	90
6.1.2	Temperaturbestimmung	90
6.2	Visuelle Kontrolle	90
6.3	Räumliche Verteilung	93
6.4	Schlussbemerkung	96
A	DA-Kandidaten mit visueller Beurteilung	99
B	FITS Header der HRS-Dateien	107
B.1	Primäre HDU	107
B.2	1. Erweiterung – Binärtabelle	108
C	Liste der untersuchten Felder und Datensätze	111
	Literaturverzeichnis	125

Abbildungsverzeichnis

1.1	Sichtbarkeit Weißer Zwerge in Abhängigkeit von der Temperatur	3
1.2	Flächendichten aus Zählungen des Palomar-Green-Surveys	5
1.3	Theoretische $(U-B)$ -Farben Weißer Zwerge	6
2.1	Interne Farben und Helligkeiten auf einer UK-Schmidtplatte	13
2.2	Scan eines Ausschnitts einer Direktplatte	15
2.3	Scan eines Ausschnitts einer Objektivprismenplatte	16
2.4	Vergrößerter Ausschnitt einer Objektivprismenplatte	17
2.5	Densitysummen-Steigungs-Diagramm von LRS-Spektren	17
2.6	Densitysummen-Steigungs-Diagramm von LRS-Spektren	18
3.1	Spektrum eines kühlen DA mit Modellfit	29
3.2	Wärmerer DA mit Modellfit	30
3.3	Heißer DA mit Modellfit	30
3.4	Linienprofile von DA-Weißen Zwergen	34
3.5	Verteilung der kühlen DA im $\log g - T_{\text{eff}}$ -Diagramm	37
3.6	Verteilung der heißen DA im $\log g - T_{\text{eff}}$ -Diagramm	38
4.1	HRS-Spektrum eines Weißen Zwergs Typ DA2	44
4.2	Darstellung der Tabelle mit den HRS-Daten im FITS-Viewer <i>fv</i>	48
4.3	HRS-Spektren eines Weißen Zwerges Typ DA4.5	49
4.4	WZ aus McCook & Sion in 297 HQS-Feldern	56
5.1	Charakteristische Kurve	63
5.2	Sensitivität der IIIa-J-Emulsion	66
5.3	Schritte der Transformation von Modellspektren I.	70
5.4	Schritte der Transformation von Modellspektren II.	71
5.5	Transformierte Modellspektren	72
5.6	Vergleich von b' - und B_J -Helligkeiten	73
5.7	Rauschen in Abhängigkeit von der Schwärzung	74
5.8	Stark belichtetes und verrauschte Sternspektren	75
5.9	Modellgitter der theoretischen Spektren	76
5.10	HRS-Spektren und Fits eines DA2.5	78
5.11	HRS-Spektren und Fits eines DA3.5	79
5.12	HRS-Spektren und Fits eines HBB	80
5.13	HRS-Spektren und Fits eines sdB	81
5.14	HRS-Spektren und Fits eines kühlen Sterns	82
5.15	HRS-Spektren und Fits eines kühlen Sterns	83

5.16 Geisterspektren	84
5.17 Kontrastkurven	86
5.18 Heißer DA und Modell mit niedrigem Blaukontrast	87
5.19 Heißer DA und Modell mit hohem Blaukontrast	88
6.1 Vergleich spektroskopischer Temperaturen mit HRS I.	91
6.2 Vergleich spektroskopischer Temperaturen mit HRS II.	92
6.3 Räumliche Verteilung von WZ-Kandidaten	94
6.4 Räumliche Verteilung von HBB und kühlen Sternen	95

Tabellenverzeichnis

2.1	Beobachtungslog der spektroskopischen Folgebeobachtungen	20
2.2	Klassifikation 302 nachbeobachteter heißer Sterne	21
2.3	Klassifikation nachbeobachteter Sterne aus vier HQS-Feldern	22
3.1	Positionsliste und Beobachtungen der 82 nachbeobachteten DA	26
3.2	Für die Modellanpassung berücksichtigte Spektralbereiche	31
3.3	Parameter der 79 spektroskopisch analysierten DA	31
3.5	Vergleich mit Ergebnissen anderer Arbeiten	36
3.6	Kühle DA mit mehrfachen χ^2 -Minima.	37
4.1	Verteilung der Literaturobjekte auf die Sternklassen	54
4.2	Detektionsrate Weißer Zwerge in Abhängigkeit von der Helligkeit	57
6.1	Verteilung bekannter WZ und Subdwarfs auf HRS-Klassen	90
6.2	Anteil der Overlaps nach b und B_j	93
A.1	Liste der visuell inspizierten DA-Kandidaten	99
C.1	Liste der FITS-Datensätze	111

Kapitel 1

Die Suche nach Weißen Zwergsternen

*In me thou see'st the glowing of such fire
That on the ashes of his youth doth lie,
As the death-bed whereon it must expire
Consumed with that which it was nourish'd by.*

William Shakespeare, *Sonnet LXXIII*

1.1 Spätphasen von Sternen kleiner und mittlerer Masse

Weißer Zwerge stellen das Endstadium der Entwicklung von gut 90 % aller Sterne dar, namentlich aller Sterne, die auf der Hauptreihe eine Masse von nicht mehr als etwa 6–10 Sonnenmassen (M_{\odot}) haben. Weiße Zwerge bestehen aus einem weitgehend entarteten dichten Kern, der im Wesentlichen aus Kohlenstoff und/oder Sauerstoff, der durch die Kernfusionsprozesse im Roten-Riesen-Stadium entstanden ist, besteht, und lediglich von einer sehr dünnen Restschicht von Helium aus der ursprünglichen Hülle des Sterns und zumeist auch einer noch dünneren Wasserstoffschicht bedeckt ist. Da im Kern keine Energieerzeugung durch Kernprozesse mehr stattfindet, sinkt die Temperatur stetig und das hydrostatische Gleichgewicht wird im Wesentlichen nur noch durch den Druck des Elektronengases aufrechterhalten, der auf der Fermi-Dirac-Statistik der weitgehend entarteten Elektronen beruht. Weiße Zwerge sind dementsprechend sehr kompakt: der ursprüngliche Kern des Sterns von ca. 0.4–1.4 M_{\odot} schrumpft auf einen Radius von typischerweise 0.01–0.02 R_{\odot} . Die Dichte im Inneren liegt damit in der Größenordnung 10^6 g cm^{-3} , und die Schwerebeschleunigung an der Oberfläche bei einigen 10^5 m s^{-2} (entsprechend in cgs-Einheiten $\log g = 7 \dots 9$). Aufgrund der Entartung wird das Innere eines WZ in erster Näherung durch eine temperaturunabhängige Zustandsgleichung beschrieben, aus der sich eine Beziehung zwischen Masse und Radius ergibt, die für ein nichtrelativistisch entartetes Elektronengas die Form

$$R \propto M^{-\frac{1}{3}} \quad (1.1)$$

hat. Bei sehr hohen Massen und Zentraldichten müssen relativistische Effekte berücksichtigt werden, die im Grenzfall vollständig relativistischer Entartung eine stabile

Konfiguration nur noch für Massen unterhalb einer Grenzmasse, der *Chandrasekhar-Masse*, zulassen. Diese beträgt für kohlenstoffähnliche Zusammensetzungen des Inneren etwa $1.4 M_{\odot}$ (Koester & Chanmugam 1990).

Aus der Existenz einer Grenzmasse und der Beobachtung, dass Sterne mit einer Anfangsmasse von bis $\sim 8 M_{\odot}$ als Weiße Zwerge enden, folgt notwendig ein erheblicher Massenverlust bei den massiveren Sternen auf ihrem Entwicklungsweg zum WZ. Sterne dieses Massenbereichs durchlaufen tatsächlich nach Hauptreihen- und Roter-Riesen-Phase ein Stadium starken Massenverlustes auf dem *Asymptotischen Riesenast* (AGB), in dem vor allem gegen Ende dieses Stadiums nahezu die gesamte Hülle nicht durch Kernfusion prozessierten Materials abgestoßen wird und im wesentlichen nur der dichte Kern übrig bleibt, der anschließend zunächst als Zentralstern eines planetarischen Nebels zum Weißen Zwerg abkühlt. Die Mechanismen dieses Massenverlustes sind von theoretischer wie von Beobachtungsseite noch nicht hinreichend verstanden, um den Anteil der dabei abgestoßenen Materie genau quantifizieren zu können. Daher stellt eine aus der Beobachtung abzuleitende Beziehung zwischen der Anfangsmasse eines Sterns und seiner Endmasse als WZ wie auch die Bestimmung der genauen Höchstmasse eines Sterns, der eben noch zum Weißen Zwerg wird (und dessen Endmasse dann gerade die Chandrasekhar-Masse erreichen sollte) ein wichtiges Werkzeug zur Untersuchung der Massenverlustprozesse dar. Das Verständnis der Beziehung zwischen Weißen Zwergen und ihren Vorläufersternen sowie der Entwicklung zum WZ erlaubt Rückschlüsse auf die Zusammensetzung vergangener Sternpopulationen und somit die Untersuchung der Geschichte der Sternentwicklung in der Galaxis (Yuan 1991). Die Entwicklung zum Weißen Zwerg bildet dabei einen wesentlichen Kanal der Rückführung stellarer Materie ins interstellare Medium.

Um die vollständige Entwicklungsgeschichte eines Sterns von der Hauptreihe zum heutigen Weißen Zwerg nachzuvollziehen, ist es auch nötig, die Abkühlung während des WZ-Stadiums zu verstehen, die oft den überwiegenden Teil der gesamten Entwicklungszeit ausmacht. Zum Verständnis der inneren Struktur spielen dabei Beobachtungen *veränderlicher* WZ eine wesentliche Rolle, da sich aus der Analyse der Pulsationen Rückschlüsse auf den Aufbau der tieferen Schichten ziehen lassen.

1.2 Beobachtete Eigenschaften

Das sichtbare Erscheinungsbild Weißer Zwerge wird geprägt von der kompakten Natur dieser Objekte. Nachdem alle internen Kernprozesse beendet sind, geht die weitere Energieabstrahlung mit einem Verlust an innerer Energie einher, der zu einer über Jahrmilliarden andauernden Abkühlung des Sterns führt. Am Anfang dieser Entwicklung gehören WZ dabei mit teils weit über $100\,000\text{ K}$ zu den heißesten Sternen überhaupt. Trotz dieser hohen Temperaturen sind sie aber wegen der kleinen Radien intrinsisch sehr lichtschwach. Praktisch alle beobachtbaren Weißen Zwerge befinden sich daher in der näheren galaktischen Umgebung der Sonne (Abb. 1.1).

Die hohen Schwerebeschleunigungen an der Oberfläche bewirken eine effiziente gravitative Separation der Elemente in der Atmosphäre, die die spektroskopischen Eigenschaften Weißer Zwerge charakterisiert. Trotz des sehr kleinen verbliebenen Anteils an Wasserstoff im Stern treibt dieser praktisch vollständig in der obersten Atmo-

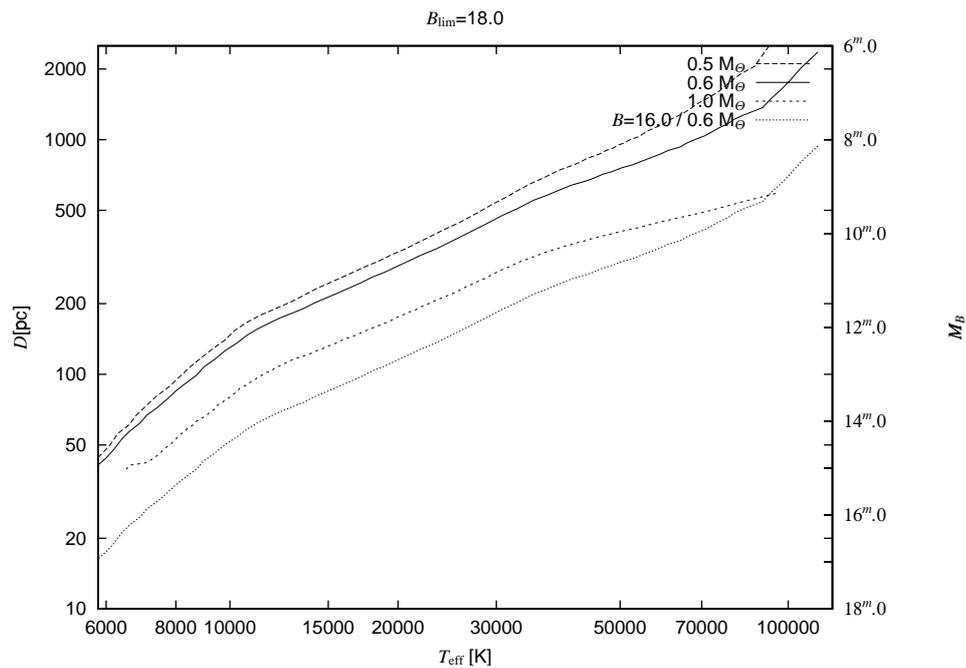


Abbildung 1.1: Sichtbarkeit Weißer Zwerge in Abhängigkeit von der Temperatur nach Berechnungen der Leuchtkraft für DA-Modelle und Abkühlsequenzen verschiedener Masse (vgl. Abschnitt 3.3), oben: bei einer angenommenen Grenzgröße von $18^m.0$, unten bei $16^m.0$ (interstellare Absorption nicht berücksichtigt)

sphärenschicht auf und dominiert das Spektrum bei etwa 80 % aller WZ. Die restlichen 20 %, die so gut wie überhaupt keinen Wasserstoff enthalten, haben überwiegend heliumreiche Atmosphären, und ihr Spektrum hängt im wesentlichen davon ab, ob Helium bei der Oberflächentemperatur ausgeprägte Spektrallinien zeigt und ob die Linien schwererer Elemente sichtbar sind. Insgesamt werden folgende primären Spektraltypen unterschieden (Koester & Chanmugam 1990; McCook & Sion 1999):

DA: Die große Mehrheit aller WZ, durch die Balmer Serie des Wasserstoffs im optischen Spektrum charakterisiert. Dieser Typ kommt über praktisch den gesamten bei WZ beobachteten Temperaturbereich von über 100 000 K bis unter 6000 K vor, allerdings werden die Balmerlinien bei den niedrigsten Temperaturen extrem schwach.

DB: WZ mit Linien des neutralen Heliums (He I), die bei Temperaturen von 12 000 bis 28 000 K auftreten. Bei niedrigeren Temperaturen werden die Heliumlinien zu schwach, um noch beobachtbar zu sein, dagegen stellt das Fehlen heißerer DB bei 28 000–48 000 K, wo durchaus starke He I-Linien präsent sein müssten, die so genannte *DB-Lücke*, eines der größten Rätsel in der WZ-Forschung dar.

DO: Heißere heliumreiche WZ von ca. 48 000 bis weit über 100 000 K, bei denen Linien des ionisierten Heliums (He II) dominieren. Bei einigen wird außerdem Wasserstoff beobachtet (DAO), und es wird vermutet, dass alle DO zumindest geringste Spuren Wasserstoffs enthalten, der bei Abkühlung unter 48 000 K auftritt und

so die scheinbare Lücke in der Sequenz zwischen DO und DB verursacht.

DC: Charakterisiert durch ein linienfreies optisches Spektrum, sind dies heliumreiche WZ bei Temperaturen unter 12 000 K. Beobachtungen mit sehr hoher Auflösung oder in anderen Wellenlängenbereichen, etwa im UV, zeigen jedoch häufig Absorption durch andere Elemente.

DQ: WZ mit Anzeichen von Kohlenstoff im Spektrum, typischerweise in Gestalt der Swan-Banden des C₂-Moleküls.

DZ: WZ mit Linien anderer schwerer Elemente außer Kohlenstoff, vor allem am kühlen Ende, wo die Absorption durch Helium oder Wasserstoff schwach ist. Es scheint, dass die meisten der auf den ersten Blick merkmalsarmen DC und kühlen DA auf Spektren mit genügend hohem Signal-zu-Rausch-Verhältnis Spuren von Metallen zeigen.

Zur näheren Beschreibung der Temperatur vor allem bei den DA wurde ein *Temperaturindex* (T. I.) als Suffix eingeführt, der durch den Parameter $\theta_{\text{eff}} := 504\,000\text{ K}/T_{\text{eff}}$ definiert ist: T.I. = $10\theta_{\text{eff}}$. Es sind halbzahlige Werte von 0.5 bis 13 in Gebrauch, bei sehr heißen Sternen (T. I. < 1) auch kleinere Bruchteile. Mit der zunehmenden Verbreitung exakterer spektroskopischer Temperaturbestimmungen verliert diese Bezeichnungsweise mittlerweile aber an Bedeutung.

1.3 Optische Detektion Weißer Zwerge

Die schon erwähnte geringe intrinsische Helligkeit Weißer Zwerge macht eine Entdeckung zu einem schwierigen Unterfangen und ist dafür verantwortlich, dass erst weniger als 3000 dieser Sterne bekannt sind, obwohl sie zu den häufigsten Objekten der Galaxis gehören. Bei der Suche nach WZ mit optischen Methoden stützt man sich daher überwiegend auf zwei Eigenschaften: die typischerweise hohe Eigenbewegung aufgrund der geringen Entfernungen, die vor allem bei den kühlest und lichtschwächsten WZ beinahe die einzige Möglichkeit der Entdeckung darstellt, und die im Vergleich zur Leuchtkraft hohe Temperatur, die ein „blauer“ erscheinendes Spektrum hervorruft, vor allem im Kontrast zu anderen Sternen vergleichbarer Helligkeit. Wesentliche Fortschritte sind dabei durch großflächige photographische Durchmusterungen erzielt worden, die entweder anhand von Aufnahmen in mehreren Farbbändern eine ungewöhnlich hohen Fluss im blauen Spektralband bzw. nahen Ultraviolett nachweisen (UV-Exzess), oder mit der Objektivprismentechnik niedrig aufgelöste Spektren einer Vielzahl von Objekten aufzunehmen, bei denen dann ebenfalls nach einer auffälligen Energieverteilung oder auch hervorstechenden spektralen Merkmalen gesucht werden kann. Richtungweisend für solche Durchmusterungen ist der Anfang der achtziger Jahre abgeschlossene Palomar-Green-Survey (PG-Survey) gewesen, in dem auf 11 000 deg² des nördlichen Himmels nach UV-Exzess-Quellen, d. h. Quellen mit einer Farbe $(U - B) < -0.43$, bis zu einer Grenzhelligkeit von durchschnittlich $B = 16^m0$ gesucht wurde (Green, Schmidt & Liebert 1986). Obgleich er primär der Suche nach extragalaktischen Objekten, vor allem Quasaren, diente, hat er zu einer Vielzahl von Neuentdeckungen lichtschwacher blauer Sterne geführt.

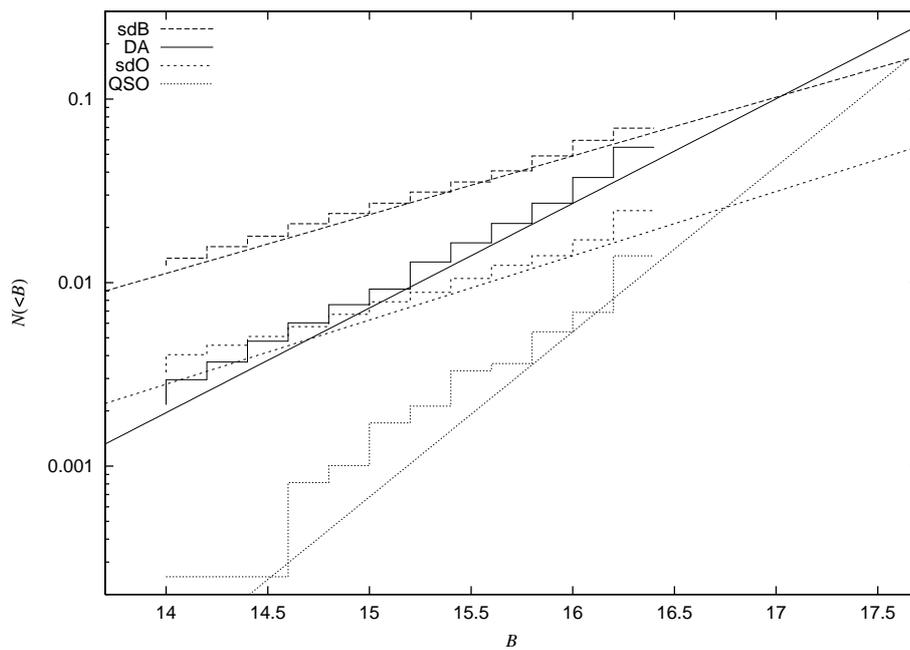


Abbildung 1.2: Kumulative Flächendichten der wichtigsten Spektralklassen aus den Zählungen des Palomar-Green-Surveys (Stufendiagramm) und nach den Steigungen extrapolierte Werte (nach 1986).

Seither sind eine Reihe ähnlicher groß angelegter Durchmusterungen begonnen und z. T. auch bereits abgeschlossen worden. Einige der wichtigsten sind:

Der Edinburgh-Cape-Survey (EC) , der auf $10\,000\text{ deg}^2$ der südlichen Hemisphäre Objekte mit $(U-B) < -0.40$ und $B < 18^m0$ erfasst (Stobie et al. 1997).

Der Montreal-Cambridge-Tololo-Survey (MCT) mit einer Abdeckung von 6750 deg^2 auf der Südhalbkugel, einem UV-Exzess-Kriterium von $(U-B) < -0.60$ und einem Helligkeitslimit von $B = 16^m5$ (Lamontagne et al. 2000).

Der Second Byurakan Survey (SBS) , ein Objektivprismensurvey, für den von 1974 bis 1991 auf 1000 deg^2 Aufnahmen mit drei Prismen bis zu einer Tiefe von $B = 19^m5$ gemacht wurden (Stepanian 1999)

Der Hamburger Quasar-Survey (HQS) , ein Survey über $14\,000\text{ deg}^2$ des Nordhimmels mit dem $1^{\circ}7$ -Objektivprisma des Calar-Alto-Schmidt (Hagen et al. 1995)

Der Hamburg/ESO-Survey (HES) , ein ähnlich wie der HQS angelegter Survey über $9\,500\text{ deg}^2$ auf der Südhalbkugel, der mit dem 4° -Prisma des ESO-Schmidtspiegels durchgeführt wurde (Wisotzki et al. 1996)

Wie Abb. 1.2 zeigt, dominieren unter den blauen Quellen, die bei Durchmusterungen in hohen galaktischen Breiten gefunden werden, bei geringen Helligkeiten neben Quasaren Weiße Zwerge und heiße *Subdwarfs* (sdB/sdO), ebenfalls Sterne in einem späten Entwicklungsstadium, die vermutlich zu den extremen Horizontalaststernen

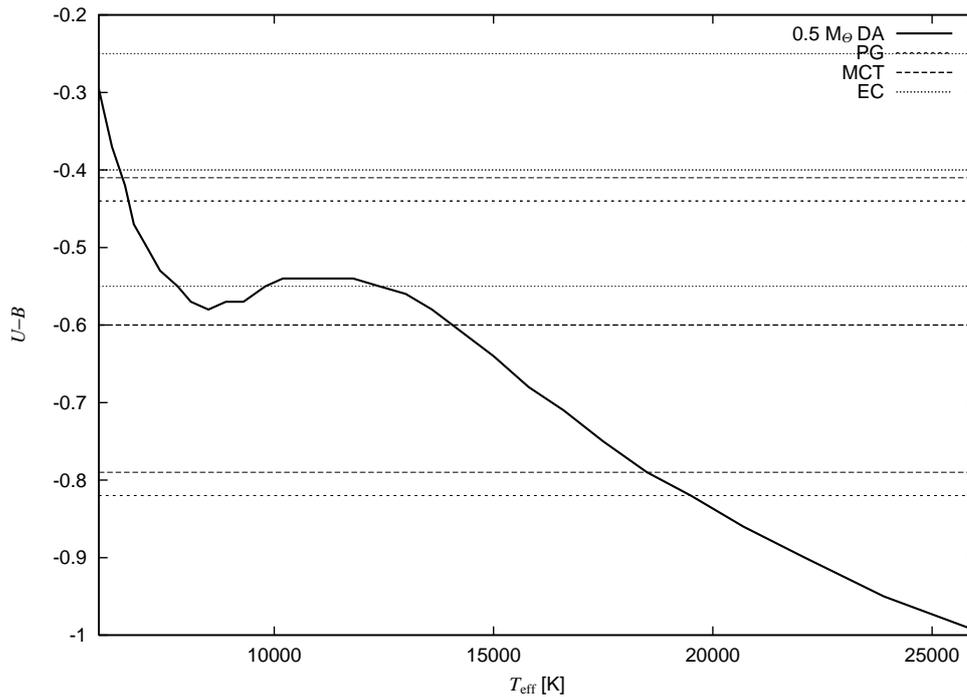


Abbildung 1.3: $(U-B)$ -Farben Weißer Zwerge mit Wasserstoffatmosphäre in Abhängigkeit von der Temperatur nach theoretischen Modellen und Abkühlsequenzen. Zum Vergleich sind die Selektionskriterien dreier UV-Exzess-Durchmusterungen dargestellt: Palomar-Green, Montreal-Cambridge-Tololo und Edinburgh-Cape-Survey. Es sind jeweils das Farblimit und die $1-\sigma$ -Fehler in $(U-B)$ eingezeichnet (das rote $1-\sigma$ -Limit des PG-Surveys liegt außerhalb der Graphik)

gehören oder aus ihnen hervorgegangen sind (Moehler, de Boer & Heber 1990; Dreizler et al. 1990; Theissen et al. 1993). Diese haben nach dem *Helium-Flash* am Ende des Roten-Riesen-Stadiums den größten Teil ihrer Hülle abgestoßen, so dass nur noch ein Heliumkern von etwa einer halben Sonnenmasse übrigbleibt (Kippenhahn & Weigert 1990). Im Unterschied zu den kühleren Horizontalaststernen entwickeln sich die sdB und sdO vermutlich nicht mehr über den AGB, sondern kühlen später direkt zu Weißen Zwergen ab.

Die Auswirkungen der neueren Durchmusterungen, vor allem des PG-Surveys, auf das Wissen über Weiße Zwerge lassen sich an der Entwicklung der Zahl der bekannten WZ ablesen:

1920:	3
1939:	18
1950:	111
1977:	~600
1987:	1279
1996:	2249 (nach Koester & Chanmugam 1990; McCook & Sion 1999).

Der Entdeckung Weißer Zwerge mit dem UV-Exzess-Kriterium sind dabei jedoch Grenzen gesetzt, wie Abb. 1.3 veranschaulicht: Die Limits, bis zu denen Objekte übli-

cherweise aus der photographischen Datenbasis ausgewählt werden, erfassen kühlere WZ oft nur noch teilweise, so dass danach zusammengestellte Stichproben unvollständig werden. Dies ist umso bedauerlicher, als auch eine Klasse der interessanten pulsierenden Weißen Zwerge, die variablen DA (DAV) oder ZZ *Ceti-Veränderlichen*, in diesem Temperaturbereich, bei ca. 11 000 K liegen. Diese Grenze lässt sich nicht ohne weiteres ausdehnen, da alle nach dem Farbkriterium ausgewählten Objekte zunächst spektroskopisch nachbeobachtet werden müssen, um eine definitive Klassifikation zu erhalten. Bei ausgedehnteren Surveys sind daher stets Beobachtungen von 1000 oder mehr einzelnen Quellen am Spaltspektrographen notwendig. Eine weniger strikte Farbgrenze würde die Zahl dieser Beobachtungen schnell vervielfachen, so wird etwa im EC-Survey auch nur eine Nachbeobachtung bis $B = 16^m.5$ durchgeführt und zur Verringerung des spektroskopischen Aufwands zusätzlich Drei-Farben-Photometrie zur weiteren Eingrenzung der Kandidatenlisten durchgeführt. Objektivprismenaufnahmen können eine Lösung dieses Dilemmas anbieten, da sich aus den Spektren der Sterne spezifischere Informationen gewinnen lassen, die eine gezieltere Suche nach bestimmten Sterntypen erlaubt. In den vergangenen beiden Jahrzehnten sind hier ebenfalls große technische Fortschritte hinsichtlich einer automatischen Bearbeitung des Beobachtungsmaterials gemacht worden, die die früher übliche, äußerst zeitaufwendige und fehlerträchtige Untersuchung der einzelnen Spektren unter dem Mikroskop überflüssig machen und damit erst die Grundlage für eine großangelegte Suche nach definierten Kriterien legen.

Kapitel 2

Heiße Sterne im Hamburger Quasar-Survey

There are 10^{11} stars in the galaxy. That used to be a huge number. But it's only a hundred billion. It's less than the national deficit! We used to call them astronomical numbers. Now we should call them economical numbers.

Richard P. Feynman

2.1 Die Suche nach Quasaren mit photographischen Durchmusterungen

Der Hamburger Quasar-Survey (HQS) ist als großflächige optische Durchmusterung des Nordhimmels nach optisch hellen QSOs konzipiert worden. Quasare sind im optischen Spektralbereich vornehmlich durch blaue Farbe und breite Emissionslinien identifizierbar, was in UV-Exzess-Durchmusterungen wie dem PG-Survey eine Detektion anhand der $(U-B)$ -Farben erlaubt. Dieses Kriterium versagt jedoch bei höheren Rotverschiebungen ab $z < 2.2$, da sich das Maximum der beobachteten Energieverteilung dann zu weit zu größeren Wellenlängen hin verschiebt. Niedrigaufgelöste spektroskopische Durchmusterungen mit dem Objektivprisma bieten einen Ausweg aus diesem Problem, da die ausgeprägten Emissionslinien ein gutes Unterscheidungsmerkmal von den meisten stellaren Spektren darstellen. Wegen der sehr niedrigen Flächendichte heller Quasare sollte ein möglichst großer Himmelsbereich abgedeckt werden. Im Unterschied zu früheren Surveys wird das Plattenmaterial des HQS in digitalisierter Form bearbeitet, um zum einen eine schnelle Analyse der umfangreichen Daten zu gewährleisten, zum anderen die Implementierung quantitativer Suchkriterien zu ermöglichen.

Das Surveygebiet umfasst die nördliche Hemisphäre außerhalb der Milchstraße, d. h. unter Auslassung niedriger galaktischer Breiten $|b| \leq 20^\circ$, wo die Beobachtung extragalaktischer Objekte durch hohe Sterndichte und galaktische Absorption stark erschwert ist. Die Definition der Felder erfolgt in Zonen von je 5° in Deklination auf der Nordhalbkugel. Diese werden nach ihrer Zentraldeklination bezeichnet und sind in wachsender Rektaszension durchnummeriert, z. B. 02.5/01–02.5/72 für den Bereich $0^\circ < \delta < 5^\circ$. Da die Platten eine Fläche von $5^\circ \times 5^\circ$ abdecken, besteht zwischen

den Feldern ein Überlapp, der bei höheren Breiten aufgrund der sphärischen Geometrie größer ist. Die Digitalisierung der entwickelten Platten erfolgt mit einem PDS-Mikrodensitometer an der Hamburger Sternwarte.

2.1.1 Der Hamburger Schmidtspiegel des DSAZ

Das ursprünglich 1955 an der Hamburger Sternwarte in Bergedorf in Betrieb genommene Schmidtteleskop des DSAZ wird seit der Neuinstallation auf dem Calar Alto 1980 vom Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg, betrieben. Der Hauptspiegel hat 120 cm, die Korrekturplatte 80 cm Durchmesser. Die Brennweite beträgt bei einem Öffnungsverhältnis von 3:1 2398 mm, was einen Abbildungsmaßstab von $11.63 \mu\text{m}/''$ ergibt. Die Plattenhalterung nimmt Photoplatten von $24 \text{ cm} \times 24 \text{ cm}$ auf, die der Krümmung der Brennebene folgend sphärisch durchgebogen werden. Damit beträgt das Gesichtsfeld einer Aufnahme etwa $5^\circ 5' \times 5^\circ 5'$. Korrektionsplatte und Objektivprisma bestehen aus UBK 7-Glas mit hoher Durchlässigkeit im Ultraviolett. Die Optik erlaubt unter praktisch allen Umständen seeingbegrenzte Aufnahmen mit einer instrumentellen Auflösung besser als $0''.5$ (Heckmann 1955).

Nachdem der Schmidtspiegel wegen fortschreitender Verschlechterung der Beobachtungsbedingungen in Bergedorf an das Deutsch-Spanische Astronomiezentrum verlegt worden war, zeigte sich zusehends ein Verfall der Bildqualität, obgleich sich Tubus und Optik als unverändert präzise erwiesen. Der Hauptgrund lag in mechanischem Verschleiß der gesamten Plattenhalterung und Fokussiervorrichtung. Infolge dessen wurde 1989 ein neuer, verbesserter Plattenhalter eingebaut, außerdem 1991 die Nachführung durch Installation eines Autoguiders verbessert. Der Erfolg dieser Maßnahmen konnte in einer wesentlich erhöhten Ausbeute von Platten mit guter Abbildungsschärfe nachgewiesen werden (Birkle et al. 1994; Hagen et al. 1995).

2.1.2 Die photographischen Beobachtungen

Für jedes der in den Survey einbezogenen 567 Felder wurden in den Jahren 1985–1997 mit dem 80 cm-Schmidtspiegel des Deutsch-Spanischen Astronomiezentrums (DSAZ/CAHA) ein bis zwei Spektralplatten mit dem $1^\circ 7'$ -Objektivprisma und eine Direktplatte aufgenommen. Die typische Belichtungszeit betrug für die Prismenplatten 50–75 min., bei den Direktplatten 45 min.

Sowohl für Spektral- als auch Direktaufnahmen wurden Platten mit der Kodak-Emulsion IIIa-J verwendet. Dabei handelt es sich um eine relativ feinkörnige Emulsion, die für quantitative spektroskopische Anwendungen optimiert ist. Die mittlere Korngröße beträgt ca. $10 \mu\text{m}$. Die Empfindlichkeit der unbehandelten Platte ist hingegen relativ gering. Der wesentliche Vorteil für spektroskopische Zwecke liegt jedoch darin, dass der Empfindlichkeitsverlauf über einen weiten Spektralbereich relativ wenig variiert; er fällt zu größeren Wellenlängen dann sehr abrupt bei ca. 5400 \AA ab. Die Lage dieser Rotkante, oder bei der IIIa-J-Emulsion angemessener, des *Green Head*, erlaubt zugleich eine Kalibration der Wellenlänge. Um trotz der geringen Korngröße eine hinreichende Empfindlichkeit und damit vertretbare Belichtungszeiten zu erzielen, wird eine *Hypersensibilisierung* durchgeführt. Dabei werden die Platten unmittelbar vor der Belichtung bis zu 16 Stunden in Schutzgas gebacken, um Feuchtigkeit und

Sauerstoff aus der Emulsion zu entfernen.

2.2 Analyse digitalisierter photographischer Spektren

Die Emulsion einer photographischen Platte bietet als Detektor für elektromagnetische Strahlung, anders als zum Beispiel CCD-Kameras oder Photomultiplier, keine lineare Beziehung zwischen aufgefangener Energie und Ausgangssignal. Bei Objektivprismenspektren insbesondere ist das photographische Signal sowohl von der Strahlung der beobachteten Himmelsobjekte als auch dem allgemeinen Himmelshintergrund abhängig, die in diesem Beobachtungsmodus üblicherweise in gleicher Größenordnung zur Belichtung beitragen. Zudem ist die Empfindlichkeit und die spektrale Charakteristik der Platte von Details der chemischen Zusammensetzung der Emulsion und ihrer Behandlung vor, während und nach der Belichtung abhängig, die nicht vollständig kontrollierbar sind und daher im Prinzip von Aufnahme zu Aufnahme schwanken können. Bei der Auswertung der Spektren ist daher kein unmittelbarer Vergleich mit Farben oder Flussverteilungen bestimmter Objektklassen möglich.

Als in Edinburgh und Cambridge erstmals Verfahren entwickelt wurden, Schmidtplatten vollständig zu digitalisieren und die Spektren in maschinenlesbarer Form zu extrahieren, hat man besonders im Hinblick auf die Quasarsuche nach Methoden gesucht, die eine automatische Klassifikation nach quantifizierbaren Kriterien auch solchen Materials ermöglichen. Hewett et al. (1985) haben hier zwei grundsätzliche Vorgehensweisen unterschieden:

“There are two broad approaches to the analysis of the measured spectra: (i) one can attempt to take into account all processes operating in the atmosphere, telescope, prism, photographic emulsion, measuring process and subsequent software processing to give a flux calibration – allowing for example direct measurement of line equivalent widths. Considerable progress in this field has been made by the careful work of Clowes et al. (1980). In principle this approach obviates the need for external calibration from large telescopes. (ii) one can define object samples by reference to the large number of ‘normal’ spectra on each plate, where one particular advantage is the ability to use the distribution of any spectral parameter – e. g. strength of emission features – from the entire sample of spectra to define the completeness and contamination of any particular subsample of objects.”

Nach dem ersten Ansatz, der im Resultat fluss- und wellenlängenkalibrierte Daten liefert, ist ein direkter Vergleich mit physikalischen Modellen oder anderen Beobachtungen, z. B. photoelektrisch gemessenen Spektren möglich, wie am Beispiel einer Reihe von Quasarspektren gezeigt wurde. Eine automatisierte Klassifikation mittels dieser Technik ist in der *Automated Quasar Detection* (AQD) von Clowes et al. (1984) demonstriert worden. Die vollständige Berücksichtigung aller photographischen und instrumentellen Effekte erfordert jedoch umfangreiche Kalibrationsmessungen für jede Platte. Der zweite Ansatz hingegen kommt bei Anwendungen wie der Quasarsuche sogar ganz ohne externe Kalibration aus, indem verschiedene „Klassen“ von

Objekten allein anhand der Verteilung interner Messgrößen unterschieden werden. Hewett et al. (1985) haben auf dieser Grundlage das *Prism Reduction System* (PRS) entwickelt. Es sollte eine quantitative, voll automatisierte Identifikation bestimmter Objektklassen ermöglichen. Als notwendige Qualifikatoren für ein solches System sollten folgende Kriterien gelten:

1. Die Auswahl soll einen wesentlichen und bekannten Anteil der Gesamtheit einer Objektklasse identifizieren.
2. Der nicht selektierte Anteil soll durch wohldefinierte Auswahlkriterien bestimmt sein.
3. Das selektierte Sample soll nicht durch größere Zahlen schlechter, z. B. überlappender Spektren oder Objekte einer anderen Klasse verunreinigt sein.
4. Das gesamte Verfahren soll keine umfangreichere visuelle Überprüfung der Spektren erfordern.

Ein Beispiel für die Arbeitsweise dieses Verfahrens ist in Abb. 2.2 illustriert. Als einige der möglichen internen Größen sind die integralen Schwärzungen (*Densities* über Plattenhintergrund) einmal über den gesamten empfindlichen Bereich der Emulsion von 3300–5400 Å, sowie innerhalb der Intervalle 3300–4000, 4000–4700 und 4700–5400 Å zur Berechnung instrumenteller Magnituden bestimmt worden. Aufgrund der Eigenschaften der photographischen Emulsion werden in die so definierten Helligkeiten und Farben erhebliche Nichtlinearitäten eingeführt. Ein direkter Vergleich mit photometrischen Helligkeiten und Farben ist daher nicht möglich. Die Verteilung der Objekte der untersuchten Schmidtplatte in diesem Pseudo-Farben-Helligkeits-Diagramm lässt die Verzerrungen der Farben insbesondere am hellen Ende erkennen, wo sich Sättigungseffekte der Emulsion zeigen. Unabhängig davon zeigt sich aber eine klare Teilung der Objekte in einen ausgeprägten stellaren „Locus“ und eine zahlenmäßig weit schwächere Population im blauen Bereich des Diagramms, die in jedem Helligkeitsintervall weniger als 3% aller Spektren ausmacht. Eine Trennung dieser beiden Klassen ist allein aufgrund des scharfen Dichteanstiegs zu den rötteren Spektren hin möglich, ohne dazu photometrische Farben bestimmen zu müssen, oder überhaupt Informationen über intrinsische Farben der beobachteten Objekte zu benötigen. Auch aus der unkalibrierten Farbverteilung lässt sich also eine Population unterleuchtkräftiger blauer Objekte selektieren. Aus der Verteilung weiterer interner Größen, z. B. anderer Farben oder Äquivalentbreiten von Absorptions- oder Emissionslinien können dann spezifischere Objektklassen unterschieden werden. Ein zusätzlicher Vorteil dieser Methode ist, dass sie eine generelle Identifikation ungewöhnlicher bzw. seltener Objekte erlaubt, ohne sich im vornehinein auf bestimmte Merkmale festlegen zu müssen: Spektren, die sich im Erscheinungsbild von der Masse der „normalen“ Quellen abheben, können leicht erkannt werden. Dies ist vornehmlich für die Quasarsuche eine erwünschte Eigenschaft, da Quasarspektren eine große Bandbreite an Erscheinungsformen aufweisen.

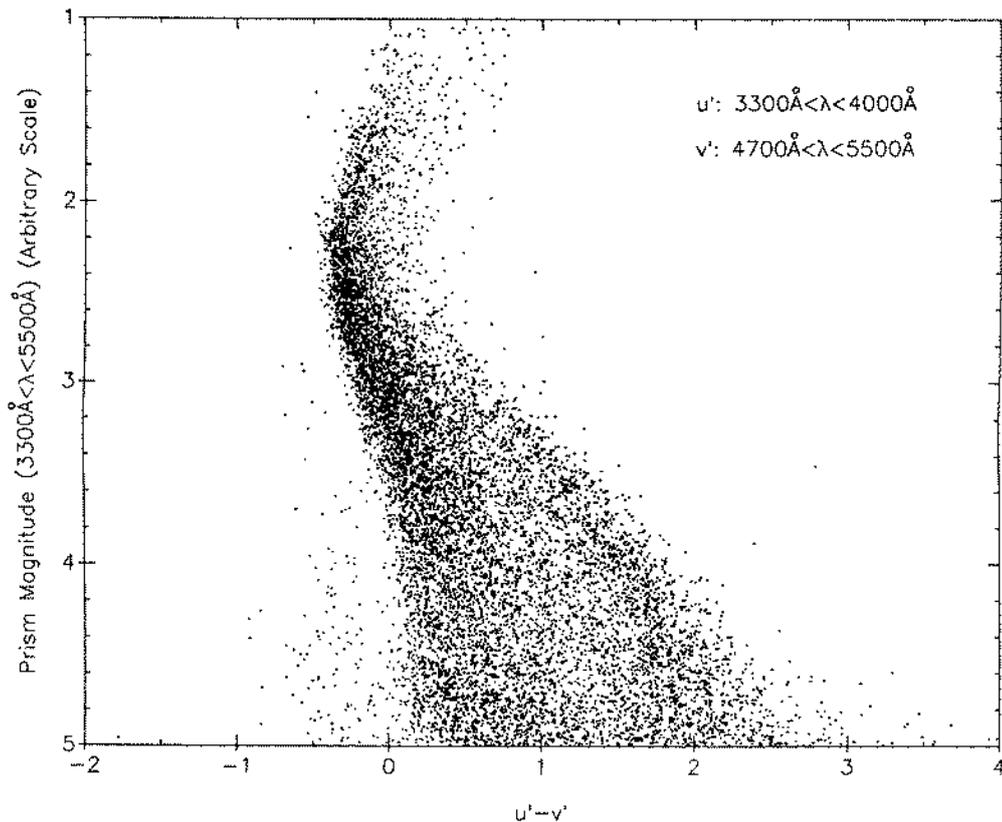


Abbildung 2.1: Verteilung der Spektren einer UK-Schmidt-Platte nach internen Farben und Helligkeiten (Hewett et al. 1985)

2.3 Die Datenauswertung im HQS

2.3.1 Digitalisierung der Platten

Im Unterschied zu den zitierten Arbeiten zu AQD und PRS, für die lediglich Spektren einer einzelnen Schmidtplatte bzw. sogar nur eines Teils einer Platte ausgewertet wurden, erforderte die Zielsetzung des HQS die Verarbeitung von über 1000 Spektralplatten. Dies machte ein schnelles Scan- und Digitalisierungsverfahren und eine Reduktion der gespeicherten Daten entsprechend den technischen Möglichkeiten um 1988 nötig (Hagen et al. 1995). Für die Digitalisierung der Platten mit einem Mikrodensitometer vom Typ PDS 1010G stand ein KWS-Computer mit Motorola-68030-Prozessor unter dem Betriebssystem OS-9 zur Verfügung, der den vollständigen Scan einer 24 cm × 24 cm-Schmidtplatte in 9 Stunden erlaubt. Um Zeitaufwand und anfallende Datenmengen zu reduzieren, wurde für die Spektralplatten ein zweistufiges Digitalisierungsverfahren entwickelt, bei dem die Platte zunächst mit höherer Geschwindigkeit und reduzierter spektraler Auflösung gescannt wird, und lediglich die in einem anschließenden Vorselektionsschritt als Quasarkandidaten ausgewählten Spektren mit voller Auflösung digitalisiert und gespeichert werden.

2.3.2 Extraktion und Klassifikation der Grobscans

Im Grobscanmodus wird die Prismenplatte mit einem Spalt von $100\ \mu\text{m}$ Weite in Dispersionsrichtung und $20\ \mu\text{m}$ senkrecht dazu, bei einer Schrittweite von $10\ \mu\text{m}$ senkrecht zur Dispersion, gescannt. Dies ergibt eine spektrale Auflösung von ca. $140\ \text{\AA}$ bei $H\gamma$. Die Objekterkennung wird während des Scans durchgeführt, indem nach zusammenhängenden Schwärzungsmaxima in aufeinanderfolgenden Scanzeilen gesucht wird. Die detektierten Spektren werden als *Low Resolution Scan* (LRS) von 12–26 Pixeln Länge aufgezeichnet und auf magnetooptischen Medien gespeichert. Die Anzahl dieser Grobscans beträgt 20 000–160 000 pro Platte, abhängig von der Sterndichte und somit von der galaktischen Breite. Untersuchungen zur Vollständigkeit haben ergeben, dass Quellen mit einer Schwärzung von mindestens 0.4 über dem Hintergrund komplett extrahiert werden. Für blaue Objekte wird ein Schwellenwert von 0.25 angegeben, was in etwa einer Helligkeit von $B = 17^{\text{m}}.5$ entspricht.

Die Helligkeiten werden durch Integration über die Spektren gewichtet mit der Transmissionsfunktion für den Johnson-*B*-Filter (Allen 1973) bestimmt und mit Eichsequenzen für jede Platte kalibriert. Dieses Verfahren, in das der spektrale Empfindlichkeitsverlauf der IIIa-J-Emulsion eingeht, ergibt so genannte B_J -Helligkeiten. Einen Anschluss an das Johnson-System ermöglicht die Gleichung

$$B = B_J + C \cdot (B - V). \quad (2.1)$$

Für den Farbterm ist von Reid & Gilmore (1982) nach Messungen an UK Schmidt-Platten ein mittlerer Wert von $C = 0.32 \pm 0.03$ bestimmt worden; Blair & Gilmore (1982) geben $C = 0.28 \pm 0.04$, sowie einen Gültigkeitsbereich von $-0^{\text{m}}.1 < (B - V) < 1^{\text{m}}.6$ für diese Relation an. Die Genauigkeit der Prismenhelligkeiten wird auf allgemein besser als $0^{\text{m}}.5$ geschätzt. Mit einem detaillierterem Modell der spektralen Empfindlichkeitskurve sind Genauigkeiten besser als $0^{\text{m}}.15$ im Bereich $13^{\text{m}}.0 < B < 18^{\text{m}}.0$ möglich, wenn entsprechend schwache Standardsterne zur Verfügung stehen (Engels, Cordis & Köhler 1994).

Zur Vorselektion der Kandidaten für die Quasarsuche wird ein Blaukriterium vergleichbar der in Abb. 2.2 demonstrierten Methode angewandt (Hagen et al. 1999). An Stelle der im PRS benutzten synthetischen Farben wird ein Maß für die Kontinuumssteigung Σ verwendet. Dazu wird das LRS-Spektrum durch einen Polynomfit 2. Grades angepasst und Σ als Steigung dieses Fits bei der Wellenlänge $4400\ \text{\AA}$ definiert. Die extrem blauen Spektren lassen sich dann an der Position in einem Diagramm von Densitätsumme gegen Kontinuumssteigung bestimmen. Der Schwellenwert wird auch hier anhand der Verteilung in jedem Helligkeitsbereich bestimmt, wozu in der Densitätsumme Intervalle von je 500 Spektren festgelegt werden. Um die unterschiedliche Helligkeitsverteilung von Sternen und Quasaren und die abnehmende Genauigkeit der gemessenen Steigungen mit geringerer Helligkeit zu berücksichtigen, wird außerdem ein veränderlicher Anteil der selektierten Spektren benutzt, der von 5 % bei den hellsten auf 20 % für die schwächsten Spektren zunimmt.

2.3.3 Extraktion der Feinscans

Von jedem der selektierten LRS-Spektren wird in einem zweiten Digitalisierungsschritt ein *High Resolution Scan* (HRS) extrahiert. In diesem Modus wird ein Mikrometer-

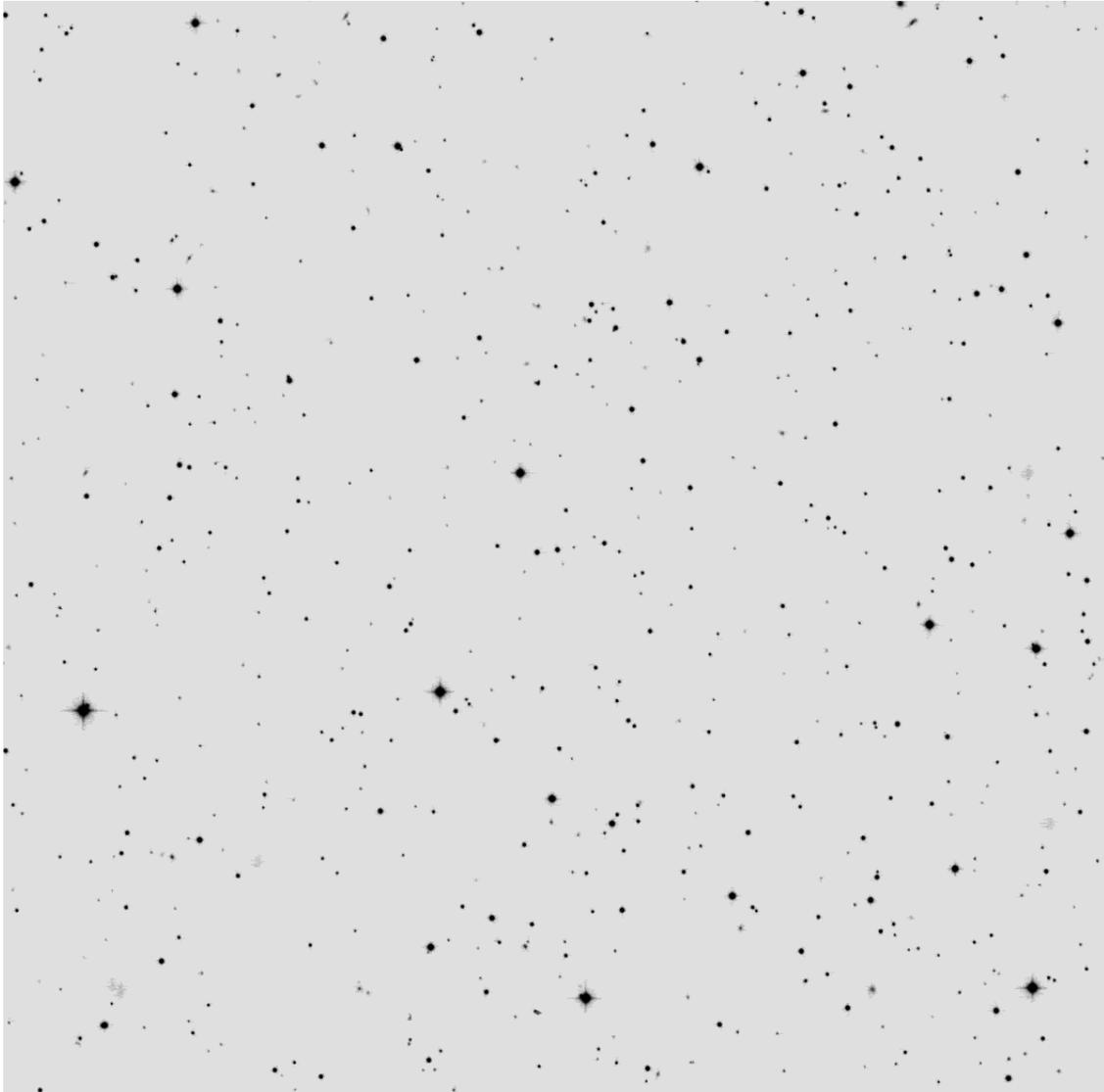


Abbildung 2.2: Vollständiger Scan eines Ausschnitts einer Direktplatte des HQS, etwa $1/120$ der Gesamtfläche umfassend – $30' \times 30'$, entsprechend einer modernen Weitwinkel-CCD-Kamera wie der ESO-WFC

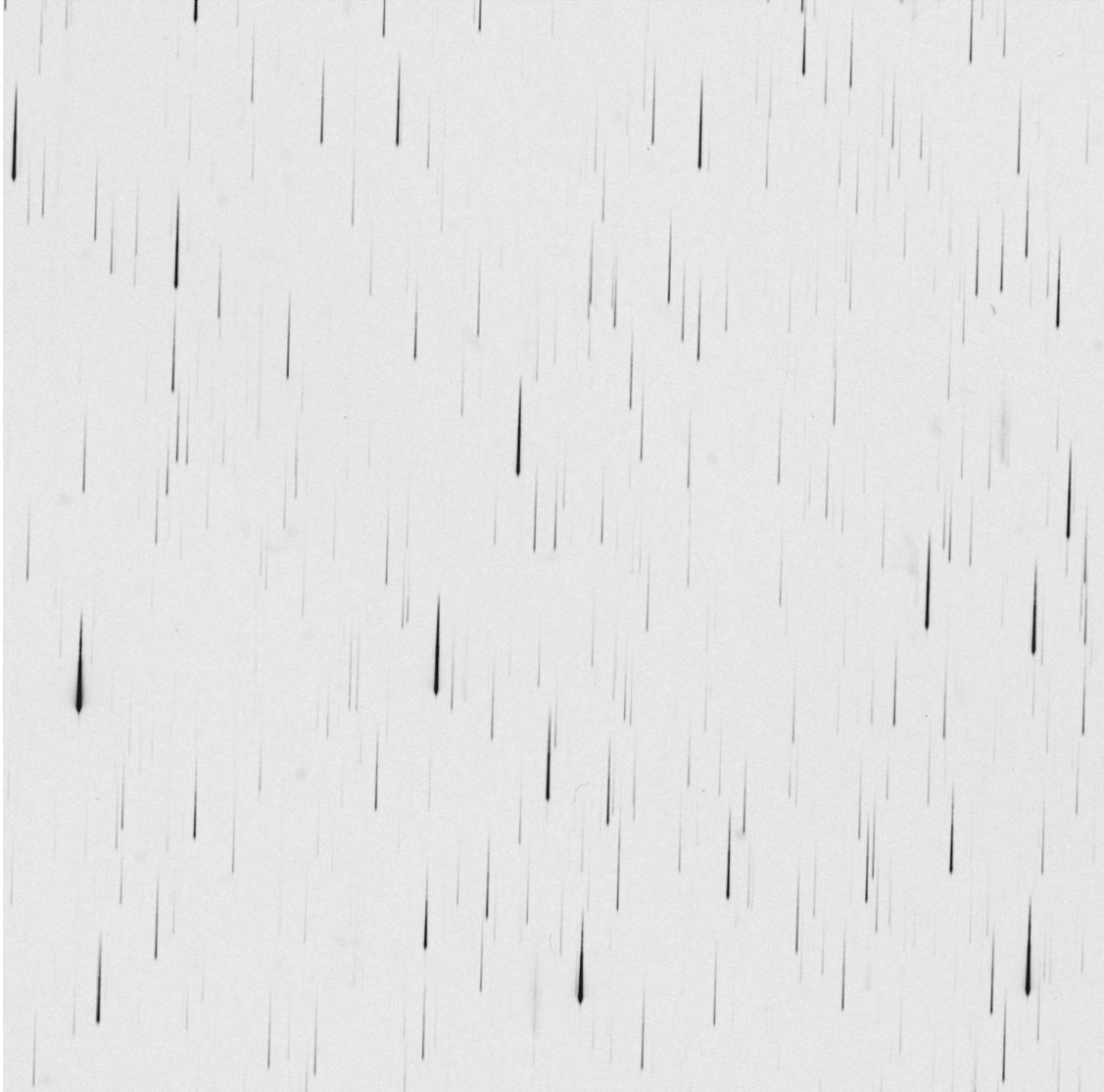


Abbildung 2.3: Scan desselben Ausschnitts wie in Abb. 2.2 von der zugehörigen Objektivprismenplatte. Südöstlich des Plattenzentrums befindet sich ein Doppelsternsystem von zwei DA-Weißen Zwergen



Abbildung 2.4: Vergrößerung eines Ausschnitts aus Abb.2.3 mit dem Doppel-DA HS 2240+1234 in der Mitte des linken Bildrandes. Die Balmerlinien sind schwach erkennbar

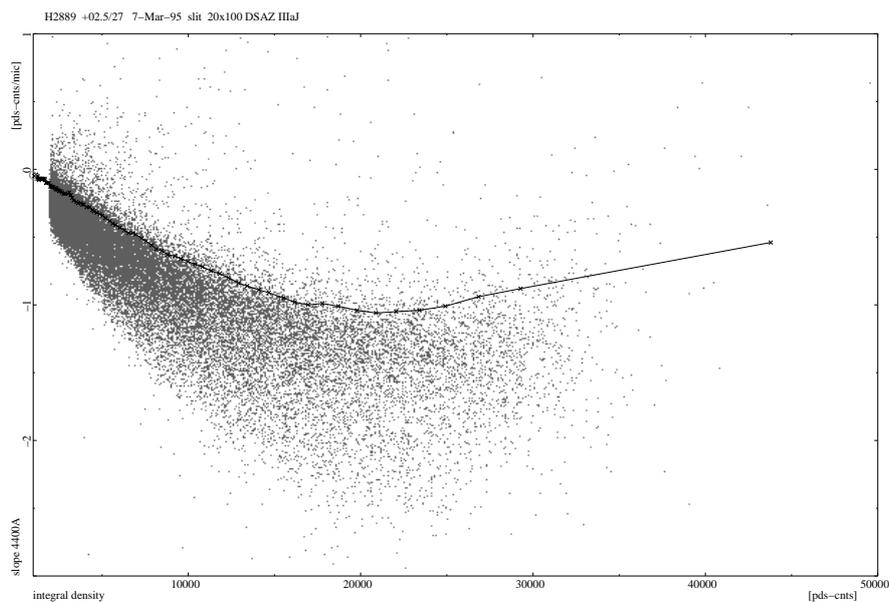


Abbildung 2.5: Verteilung der LRS-Spektren einer HRS-Platte im Densitätssummensteigungs-Diagramm mit Grenzwert für das Quasarsuchkriterium. Die Position eines bekannten QSOs ist mit Q gekennzeichnet (Hagen, *priv. comm.*)

spalt von $30\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$ mit einer Schrittweite von $20\ \mu\text{m}$ benutzt. Die so gewonnenen Spektren haben bei 301 Pixeln Länge eine hauptsächlich durch das Seeingprofil bestimmte Auflösung, die typisch $30\text{--}40\ \mu\text{m}$ beträgt. Im Unterschied zu Verfahren der optimalen Spektrenextraktion, bei denen jede Stelle des Spektrums durch ein Mo-

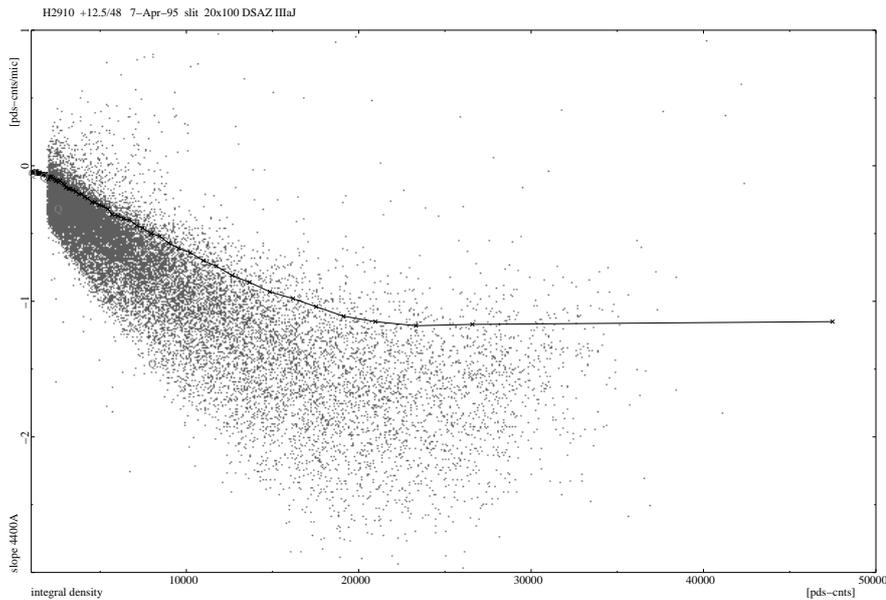


Abbildung 2.6: Densitysummen-Steigungs-Diagramm für eine zweite HRS-Platte mit zugehörigem Quasarlimit. Bekannte QSO sind mit **Q**, AGN mit **A** gekennzeichnet (Hagen, *priv. comm.*)

dell des Spektrumsquerschnitts senkrecht zur Dispersionsrichtung angepasst wird, nutzt diese Methode die Information in den Flügeln des Querschnittsprofils nicht vollständig aus. Nach Hewett et al. (1985) können optimale Extraktionsverfahren demgegenüber das Signal-zu-Rausch-Verhältnis schwacher Spektren bis zu einem Faktor 2 verbessern. Je Platte wurden etwa 600–5000 HRS-Spektren im Helligkeitsbereich $13^m0 < B < 18^m5$ gewonnen.

Im Hamburg/ESO-Survey, der einige Jahre nach dem HQS zunächst mit den gleichen Methoden begonnen wurde, ist das Scanverfahren 1994 auf eine vollständige Digitalisierung der Prismenplatten umgestellt worden, nach der die Objekte auf Direktaufnahmen identifiziert und die zugehörigen Spektren mittels einer astrometrischen Transformation auf die Spektralplatte extrahiert werden (Wisotzki et al. 1996).

2.3.4 Digitalisierung der Direktplatten

Die Direktaufnahmen jedes Feldes werden mit $20 \mu\text{m}$ Spaltbreite und Schrittweite vollständig gescannt (*Direct Plate Scan, DPS*) und in eine automatische Objekterkennung ähnlich dem Verfahren bei den Grobscans durchgeführt. Lediglich Pixel, die einer Quelle zugeordnet werden, werden gespeichert, so dass eine Datenreduktion um durchschnittlich 95 % erreicht wird. Mittels 30 AGK 3-Sternen wird eine astrometrische Lösung der Platte bestimmt, die eine Positionsbestimmung besser als $\sim 2''$ erlaubt (Hagen et al. 1995).

2.3.5 Klassifikation der Objektivprismenspektren im Quasarsurvey

Für die Quasarsuche werden die automatisch selektierten HRS-Spektren in Hamburg visuell weiter klassifiziert. Für die Bestimmung wurden von H.-J. Hagen Programme entwickelt, die die simultane Darstellung von Spektren zweier Prismenplatten eines Feldes sowie des zugehörigen Ausschnitts der Direktplatte ermöglichen. Der Vergleich mit den Direktscans erlaubt die Erkennung überlappender Spektren (Overlaps), ausgedehnter Objekte (z. B. Galaxien) und von Plattenartefakten, wie sie z. B. durch Reflexionen am Prisma entstehen können (so genannte Ghosts). Die verbleibenden Spektren werden nach Kontinuumsverlauf und Vorhandensein und Breite von Emissionslinien oder Absorptionsmerkmalen als primäre oder sekundäre Quasarkandidaten klassifiziert oder einer Reihe stellarer Klassen zugeordnet (Hagen et al. 1999).

Bei dieser visuellen Bestimmung fielen von Anfang an zahlreiche Spektren mit klar erkennbaren Absorptionslinien der Balmerreihe des Wasserstoffs auf, die diese als heiße Sterne identifizierten. Außerdem sind die sekundären Quasarkandidaten, die hauptsächlich nach hohem UV-Anteil im Spektrum ausgewählt wurden, aber keine Emissionslinien zeigen, nicht von sehr heißen Sternen zu unterscheiden, die nur sehr schwache Absorptionslinien besitzen. Dies war nicht unerwartet, da der erste Selektionsschritt nach ähnlichen Eigenschaften auswählt wie ein UV-Exzess-Kriterium. Man würde also in den HRS-Spektren ähnliche Verteilungen der Objekte finden wie z. B. in den Samples des PG-Surveys. Zum einen werden daher bei Nachbeobachtungen von Quasarkandidaten, die auf Vollständigkeit ausgelegt sind und deshalb auch die sekundären Kandidaten umfassen, stets auch heiße Sterne identifiziert. Zum anderen lassen sich aus den HRS-Spektren auch direkt Kandidaten für heiße Sterne auswählen. Der HQS bildet daher eine wertvolle Datenbasis für die Erforschung unterleuchtkräftiger blauer Sterne. Da dedizierte Nachbeobachtungen der stellaren Komponente außerhalb der personellen Möglichkeiten wie auch des wissenschaftlichen Interesses der Hamburger Quasargruppe lagen, wurde zur Auswertung dieses Materials eine Kollaboration mit der Universität Kiel begonnen.

2.4 Nachbeobachtung visuell selektierter heißer Sterne

Seit 1989 wurden aus den in Hamburg klassifizierten stellaren HRS-Spektren Kandidaten zur Folgebeobachtung am Spaltspektrographen ausgewählt, insbesondere um die Eignung des HQS für die Suche nach Weißen Zwergsternen zu prüfen (Heber, Jordan & Weidemann 1991; Jordan, Heber & Weidemann 1991; Jordan & Heber 1993). Durch U. Heber und S. Dreizler wurde die Zusammenarbeit in den Folgejahren auch auf die Remeis-Sternwarte Bamberg und die Universität Tübingen ausgeweitet. Im Verlauf dieser Nachbeobachtungen wurden bis 1996 einzelne Regionen, insbesondere das Feld +47.5/22, umfassend nach WZ und heißen Subdwarfs (sdB/sdO) durchsucht, wobei es auch gelang, die Zuverlässigkeit der visuellen Bestimmung der HRS-Spektren deutlich zu verbessern (Homeier et al. 1998). Tabelle 2.1 enthält eine Liste der Beobachtungen, bei denen Weiße Zwerge vom Typ DA entdeckt wurden. Neben den Kampagnen des eigentlichen Projekts zur Suche nach heißen Sternen sind darin auch einige Beobachtungen von Quasarkandidaten aufgeführt, bei denen WZ entdeckt wurden (Beobachter Hagen und Bade).

Tabelle 2.1: Beobachtungslog der spektroskopischen Folgebeobachtungen

Datum	Instrument	Rez. Disp. Å/mm	Wellenlängen Å	Beobachter
Januar 1989	3.5m Cass	240	3400–6750	Hagen & Reimers
Januar 1989	3.5m B&C	120	3850–5650	Heber & Jordan
Januar 1989	2.2m Cass	288	3790–7170	Hagen
Januar 1990	3.5m Twin	144/160	3550–5550, 5570–7030	Jordan & Möller
Oktober 1990	3.5m FRed	134	3770–5550	Heber & Dreizler
November 1990	3.5m Twin	144/160	3430–5550, 5560–7030	Jordan & Rauch
Juni 1991	3.5m Twin	144/160	3570–5750, 5110–9300	Heber & Marten
April 1992	3.6m EFOSC	300	3800–7000	Koester
August 1992	3.6m EFOSC	200	3750–6880	Bade
September 1992	3.5m Twin	144/160	3360–5550, 5430–9740	Dreizler
März 1993	3.5m Twin	144/160	3470–5680, 5420–9630	Heber
März 1993	2.2m Cass	240	3300–8500	Hagen
September 1993	3.5m Twin	72/72	3600–5500, 5540–7420	Dreizler & Haas
	2.2m B&C	120	4010–6720	Haas & Dreizler
April 1994	2.2m Cass	900	3250–8200	Hagen
September 1994	3.5m Twin	72/72	3610–5490, 5440–7320	Dreizler
Januar 1995	3.5m Twin	72/72	3580–5470, 5420–7320	Dreizler
Juni 1996	3.5m Twin	72/72	3610–5510, 5440–7320	Dreizler
August 1996	3.5m Twin	72/72	3770–5660, 5430–7340	Lemke
Oktober 1996	2.2m CAFOS	400	3400–9200	Hagen

Es gab einige Ansätze, die Selektion heißer Sterne zu standardisieren und spektrale Merkmale für eine automatische Klassifikation der HRS-Spektren zu definieren (Weidemann 1991), doch im weiteren Verlauf des Projektes erwies es sich im Einzelfall als interessanter, die Beobachtungen auf offensichtlich sehr heiße Sterne zu konzentrieren. Auf diese Weise konnte eine Reihe von Neuentdeckungen seltener Sterntypen verzeichnet werden:

Heliumreiche Weiße Zwerge des Spektraltyps DO (Dreizler & Werner 1996), bei denen z. T. Absorptionslinien hoch ionisierter Metalle beobachtet wurden, die auf Massenverlust durch heiße und schnelle Winde deuten (Werner et al. 1995), darunter auch der erste Weiße Zwerg mit wasserstoffdominierter Atmosphäre (Spektraltyp DAO), bei dem dieses Phänomen nachgewiesen wurde (Dreizler et al. 1995).

Vier PG 1159-Sterne, Übergangsobjekte zwischen der Post-AGB-Phase und Weißen Zwergen mit hohem C- und O-Anteil in der Atmosphäre, von denen zwei pekuiliare Eigenschaften zeigen (Dreizler et al. 1994a; Dreizler & Heber 1998; Dreizler et al. 1996).

Unter zwei kühleren WZ mit Helium und schwereren Elementen in der Atmosphäre ist besonders der DAB-Stern HS 0209+0832 (Jordan et al. 1993) interessant, da er mit etwa 35 000 K genau in die „DB-Lücke“ zwischen 28 000 und 45 000 K fällt

und damit der bislang einzige WZ in diesem Temperaturbereich ist, bei dem Helium nachgewiesen werden konnte. Variationen in der Stärke der Heliumlinien deuten auf Akkretion aus dem interstellaren Medium oder eventuell von einem kühlen Begleiter hin (Heber et al. 1997; Wolff et al. 2000), dies wird auch bei dem kühleren DBAZ HS 2253+8023 vermutet (Friedrich et al. 1999).

Zwei Doppelsternsysteme von DA-WZ (*Double Degenerates*, DD), von denen eines einen ZZ Ceti-Veränderlichen enthält (Jordan et al. 1998).

Über die Hälfte der nachbeobachteten Sterne sind heiße Subdwarfs vom Typ sdB (Heber et al. (1996) oder sdO (Lemke et al. 1998).

Tabelle 2.2: Klassifikation der 302 nachbeobachteten visuell ausgewählten Kandidaten für heiße Sterne

Typ	No.	Typ	No.
DA	69	PG 1159	4
DAB/DAO	7	sdO	59
DA+M, DAe	4	sdB	93
DB	3	HBA/HBB	27
DO	9	sdF/sdG	13
mag. WD	1	CV	2
QSO	2	andere	9

2.4.1 Statistik der Nachbeobachtungsergebnisse

Die Verteilung der anhand der Nachbeobachtungen klassifizierten Sterne in Tabelle 2.2 zeigt, dass die Ausbeute an „gewöhnlichen DA“ relativ klein (69) ist, und im Vergleich zur Anzahl von Horizontalaststernen und Population II-Hauptreihensternen (zusammen 40) noch keine sehr hohe Effizienz erreicht (eine vollständige Liste der DA-Weißen Zwerge ist in Tabelle 3.1 auf Seite 26 aufgeführt). Insbesondere ist aber das beobachtete Sample, für das in insgesamt 37 Feldern Kandidaten ausgesucht wurden, insgesamt nicht für statistische Untersuchungen zur Häufigkeit und Verteilung Weißer Zwerge geeignet, und es können auch nur bedingt Rückschlüsse auf die Vollständigkeit und Effizienz einer aus den HRS-Spektren getroffenen Selektion gezogen werden. Beschränkt man sich auf die vier Felder mit den umfassendsten Nachbeobachtungen, sind immerhin einige quantitative Aussagen zum Auswahlverfahren möglich. Tabelle 2.3 fasst die spektroskopischen Identifikationen der in diesen Feldern aus der Klasse der heißen Sterne (HOT STAR), sekundären Quasarkandidaten (QSO/HS) und anderen (nach dem HRS-Spektrum überwiegend eingestuft als Horizontalaststern oder Spektrum mit Absorptionsmerkmalen) ausgewählten Kandidaten zusammen. Um die Zahl der eventuell bislang noch unentdeckten Weißer Zwerge abzuschätzen, wurden die HRS-Spektren der nicht nachbeobachteten Objekte aus den Klassen „HOT STAR“ und „QSO/HS“ außerdem nochmals visuell inspiziert und danach als wahrscheinliche WZ-Kandidaten eingestuft oder verworfen.

Tabelle 2.3: Verteilung von Sternen aus den HQS-Feldern +47.5/22, +47.5/28, +62.5/25 und +77.5/15 bezüglich der Klassifikation nach HRS-Daten und spektroskopischen Nachbeobachtungen

HRS-Klasse	Gesamt	nachbeobachtet			nicht nachbeobachtet	
		WZ	sdB/O	HB/kühl	WZ-Kand.	unbestimmt
HOT STAR	56	20	12	12	8	4
QSO/HS	57	5	1	0	14	28
andere	4653	3	1	17	0	4632

Betrachtet man hier die Zahlen von insgesamt 29 HBA/HBB- und sdF/sdG-Sternen gegenüber 28 spektroskopisch identifizierten WZ und 14 sdB/sdO, so fällt noch deutlicher der hohe Anteil kühlerer Sterne auf. Viele davon wurden allerdings schon im HQS als HB- oder Absorptionsspektrum eingestuft, so dass man mit den Erfahrungen der Nachbeobachtungen eine bessere Grenze zu Weißen Zwergen und Subdwarfs ziehen kann. Da umgekehrt nur drei WZ in diesen HRS-Klassen gefunden wurden, kann man sich auf die ersten beiden Klassen beschränken, ohne allzu große Verluste befürchten zu müssen. Entsprechend wurden solche Zweifelsfälle im späteren Verlauf der Nachbeobachtungskampagne auch nicht mehr ausgewählt.

Bis zu 22 Objekte verbleiben als möglicherweise unentdeckte WZ, da sie nicht nachbeobachtet worden sind. Daher können zur Häufigkeit der WZ in diesen Feldern höchstens untere Grenzen angegeben werden, die allerdings schon einen Vergleich mit Flächenanzahldichten zulassen, die für den Palomar-Green-Survey bis zu einer Grenzhelligkeit von $B = 16^m4$ bestimmt worden sind (1986). Für die Weißen Zwerge des Typs DA beträgt sie $5.4 \cdot 10^{-2} \text{ deg}^{-2}$ (vgl. Abb. 1.2 S. 5), so dass für die vier Felder mit zusammen 120 deg^2 6.5 DA zu erwarten sind. Tatsächlich wurden dort einschließlich des zuvor schon bekannten GD320 (McCook & Sion 1999) 14 DA mit $B < 16^m4$ gefunden. Diese Zahl ist noch gegen eine systematische Verfälschung aufgrund der photometrischen Fehler zu berichtigen: Da die Anzahl der WZ zu schwächeren Helligkeiten hin stark zunimmt, enthält eine Stichprobe bis zu einer gegebenen gemessenen Grenzhelligkeit mehr Objekte mit geringerer Magnitudo, die durch die Messungenauigkeit in die Probe hineingewandert sind, als umgekehrt aus ihr herauswandern. Für gaussverteilte Fehler beträgt die resultierende Fehlschätzung

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{\sigma_B^2}{2} \frac{d^2 N}{dB^2} \quad (2.2)$$

(Eddington 1940). Dabei ist σ_B die Standardabweichung der Helligkeit und $d^2 N/dB^2$ die Ableitung der differentiellen Sternzahlen pro Magnitudo. Die Flächendichten in 1986 sind bereits entsprechend korrigiert, und wenn man die dort gegebene logarithmische Steigung $d(\log N)/dB = 0.57$ übernimmt, erhält man

$$\frac{d^2 N}{dB^2} = \left(\ln 10 \cdot \frac{d \log N}{dB} \right)^2 = 1.72. \quad (2.3)$$

Da der photometrische Fehler der im HQS bestimmten B_J -Magnituden bei typi-

schersweise 0^m5 liegt, ergibt sich ein Korrekturfaktor von

$$-\frac{\Delta N}{N} = -\frac{\sigma_B^2}{2} \frac{d^2 N}{dB^2} = -\frac{0.5^2}{2} \cdot 1.72 = -0.215. \quad (2.4)$$

Eine Umrechnung von B_J in das Johnson- B -System nach Gl. 2.1 ist mit Ungenauigkeiten behaftet, weil die dort zitierten Farbterme im Wesentlichen an helleren Sternen kalibriert wurde, und der Farbterm auch von Platte zu Platte unterschiedlich sein dürfte. Da die meisten WZ aber Farben $-0^m2 < (B - V) < 0^m3$ haben, sollte dieser Umrechnungsterm in der Regel weniger als 0^m1 betragen. Ein systematischer Fehler Δ_B in der Helligkeitskalibration würde sich zwar wesentlich stärker auswirken als der normalverteilte Messfehler, nämlich mit

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{d \ln N}{dB} \Delta_B = \ln 10 \cdot \frac{d \log N}{dB} \Delta_B = 1.3 \Delta_B, \quad (2.5)$$

der Wert von Δ_B über alle WZ gemittelt dürfte jedoch noch deutlich kleiner als 0^m1 sein. Die korrigierte Anzahl von etwa 11 DA liegt damit immer noch deutlich über den nach 1986 erwarteten 6.5, einer Abweichung von knapp 2σ entsprechend.

Für einen detaillierten Vergleich mit den Zahlen des PG-Surveys wäre allerdings eine genauere Kenntnis der Vollständigkeit der HQS-Selektion in Abhängigkeit von der Effektivtemperatur der DA nötig, die bei der kleinen Zahl der Sterne in diesem Sample nicht möglich ist. Anhand dieser Daten lässt sich daher noch nicht sagen, ob im HQS signifikant kühlere DA gefunden werden als im PG-Survey.

Kapitel 3

Spektroskopische Bestimmung der atmosphärischen Parameter Weißer Zwerge

The pure and simple truth is rarely pure and never simple.

Oscar Wilde

3.1 Nachbeobachtete Spektren

Das Aufkommen effizienter CCD-Detektoren machte es möglich, auch bei Weißen Zwergen Spektroskopie mit hohem Signal-zu-Rausch-Verhältnis (S/N) und einer Auflösung von wenigen Å zu betreiben, die eine quantitative Analyse der Atmosphären mit der Bestimmung der Parameter T_{eff} und $\log g$ erlaubt. Die Methode beruht auf dem Fit der Linienprofile mittels theoretischer Spektren und ist erstmals von Bergeron et al. (1992) auf eine größere Anzahl von DA angewandt worden. Neuere Untersuchungen optisch wie auch im EUV selektierter Samples sind von Finley, Koester & Basri (1997), Marsh et al. (1997), Vennes et al. (1997) und Napiwotzki, Green & Saffer (1999) veröffentlicht worden. Die Klassifikationsspektren der HQS-Folgebeobachtungen sind von geringerem S/N und vor allem weniger homogener Qualität als die für obige Arbeiten gewonnenen, reichen aber noch für eine Analyse mit entsprechend größeren Fehlergrenzen aus. Für alle Spektren aus den Nachbeobachtungen wurde daher eine Bestimmung atmosphärischer Parameter durchgeführt. Die beobachteten Sterne sind in Tabelle 3.1 aufgeführt; neben den 69 DA aus Tabelle 2.2 enthält diese 13 weitere DA aus den Quasarnachbeobachtungen, von denen wir Spektren aus Hamburg erhielten. Die im HQS neu identifizierten Weißen Zwerge sind mit dem Präfix HS bezeichnet, während schon vorher bekannte WZ mit ihren ursprünglichen Namen aufgeführt sind. HS 0210+1629, HS 0641+6528 und HS 1627+7436 sind identisch mit GD 24, GD 442 und GD 510, die aufgrund der Farben als mutmaßliche WZ identifiziert waren (Giclas et al. 1965, 1970 und 1971), aber noch nicht spektroskopisch bestätigt wurden. HS 1619+6443 ist mit PG 1620+648 aus dem Palomar-Green-Survey identisch, dessen Koordinaten dort fehlerhaft sind. PG 2235+082 aus dem selben Katalog war dort als sdB klassifiziert, HS 1745+6043 ist aufgrund einer gemeinsamen Detektion von ROSAT und EUVE im EUV von Lampton et al. (1997) als EUVE J 1745+607 publiziert worden, die jedoch kein optisches Gegenstück gefunden hatten.

Tabelle 3.1: Positionsliste und Beobachtungen der 82 nachbeobachteten DA

Name	α_{1950}	δ_{1950}	B_J	Feld	Lauf	Tel.	Instr.
HS 0008+3302	0 ^h 08 ^m 23 ^s .3	33°02'53"	17 ^m 5	32.5/01	10/96	2.2m	Cass
HS 0009+1621	0 ^h 09 ^m 44 ^s .6	16°21'38"	17 ^m 2	17.5/02	10/96	2.2m	Cass
HS 0026+3114	0 ^h 26 ^m 02 ^s .9	31°14'34"	15 ^m 6	32.5/02	08/93	3.5m	Twin
GD 8	0 ^h 37 ^m 11 ^s .6	31°16'02"	14 ^m 6	32.5/03	08/93	3.5m	Twin
HS 0047+0716	0 ^h 47 ^m 38 ^s .7	7°16'20"	16 ^m 7	07.5/03	08/92	3.6m	EFOSC
HS 0129+0511	1 ^h 29 ^m 37 ^s .0	5°11'11"	15 ^m 9	07.5/06	01/89	3.5m	B&C
HS 0130+0156	1 ^h 30 ^m 22 ^s .6	1°56'11"	16 ^m 0	02.5/06	09/93	2.2m	Cass
HS 0130+0800	1 ^h 30 ^m 46 ^s .0	8°00'42"	16 ^m 4	07.5/06	01/89	3.5m	B&C
HS 0138+0451	1 ^h 38 ^m 15 ^s .2	4°51'41"	17 ^m 8	07.5/06	01/88	3.5m	Cass
HS 0146+0723	1 ^h 46 ^m 54 ^s .3	7°23'31"	17 ^m 3	07.5/06	01/89	2.2m	Cass
Feige-17	1 ^h 55 ^m 03 ^s .5	6°57'30"	14 ^m 7	07.5/07	10/90	3.5m	FRed
HS 0210+1629	2 ^h 10 ^m 20 ^s .7	16°29'12"	16 ^m 4	17.5/07	10/90	3.5m	FRed
HS 0235+0655	2 ^h 35 ^m 54 ^s .1	6°55'15"	16 ^m 8	07.5/09	01/89	3.5m	B&C
HS 0235+0514	2 ^h 35 ^m 47 ^s .4	5°14'07"	17 ^m 8	07.5/09	01/89	2.2m	Cass
GD 41	3 ^h 02 ^m 01 ^s .2	2°45'21"	14 ^m 6	02.5/10	09/92	3.5m	Twin
HS 0348+2803	3 ^h 48 ^m 56 ^s .4	28°03'09"	17 ^m 1	27.5/11	10/96	2.2m	Cass
KUV 03520+0500	3 ^h 52 ^m 01 ^s .3	5°00'00"	15 ^m 8	02.5/13	90 92	3.5m	Twin
KUV 03561+0807	3 ^h 56 ^m 05 ^s .9	8°07'14"	15 ^m 4	07.5/13	09/93	2.2m	Cass
HS 0401+0001	4 ^h 01 ^m 59 ^s .3	0°01'43"	17 ^m 1	02.5/14	01/95	3.5m	Twin
HS 0421+0342	4 ^h 21 ^m 38 ^s .4	3°42'00"	15 ^m 9	02.5/14	03/93	2.2m	Cass
HS 0424+0141	4 ^h 24 ^m 16 ^s .8	1°41'09"	15 ^m 6	02.5/14	09/92	3.5m	Twin
HS 0503+0154	5 ^h 03 ^m 03 ^s .3	1°54'28"	15 ^m 2	02.5/16	01/95	3.5m	Twin
HS 0507+0434 B	5 ^h 07 ^m 34 ^s .5	4°35'15"	15 ^m 6	02.5/16	09/92	3.5m	Twin
HS 0507+0434 A	5 ^h 07 ^m 35 ^s .0	4°34'59"	14 ^m 3	02.5/16	09/92	3.5m	Twin
HS 0615+6535	6 ^h 15 ^m 29 ^s .6	65°35'40"	15 ^m 2	67.5/09	09/92	3.5m	Twin
HS 0641+6528	6 ^h 41 ^m 34 ^s .1	65°28'50"	16 ^m 2	67.5/09	11/90	3.5m	Twin
HS 0727+6915	7 ^h 27 ^m 34 ^s .7	69°15'57"	16 ^m 9	67.5/11	01/90	3.5m	Twin
HS 0742+2306	7 ^h 42 ^m 33 ^s .6	23°06'34"	17 ^m 0	22.5/22	01/95	3.5m	Twin
HS 0841+4547	8 ^h 41 ^m 32 ^s .4	45°47'31"	15 ^m 7	47.5/20	02/94	2.2m	Cass
HS 0943+4724	9 ^h 43 ^m 45 ^s .0	47°24'19"	17 ^m 8	47.5/22	01/89	3.5m	B&C
HS 0943+4852	9 ^h 43 ^m 55 ^s .3	48°52'14"	19 ^m 0	47.5/22	01/89	2.2m	Cass
HS 0946+4848	9 ^h 46 ^m 20 ^s .3	48°48'06"	17 ^m 6	47.5/22	01/89	2.2m	Cass
HS 0946+5009	9 ^h 46 ^m 48 ^s .1	50°09'50"	16 ^m 6	47.5/22	01/89	3.5m	B&C
HS 0949+4935	9 ^h 49 ^m 31 ^s .7	49°35'01"	18 ^m 4	47.5/22	01/89	3.5m	B&C
HS 0951+3620	9 ^h 51 ^m 38 ^s .3	36°20'30"	17 ^m 5	37.5/25	01/95	3.5m	Twin
HS 1001+4651	10 ^h 01 ^m 25 ^s .5	46°50'59"	16 ^m 4	47.5/22	01/90	3.5m	Twin
HS 1002+4518	10 ^h 02 ^m 59 ^s .0	45°18'42"	16 ^m 9	47.5/22	01/90	3.5m	Twin
HS 1003+4852	10 ^h 03 ^m 47 ^s .9	48°52'36"	16 ^m 0	47.5/22	01/90	3.5m	Twin
HS 1110+2150	11 ^h 10 ^m 26 ^s .3	21°50'40"	17 ^m 0	22.5/32	01/95	3.5m	Twin
Ton 82	12 ^h 31 ^m 02 ^s .7	46°29'58"	15 ^m 8	47.5/28	01/89	3.5m	B&C
GD 148	12 ^h 32 ^m 33 ^s .1	47°54'06"	14 ^m 7	47.5/28	01/89	3.5m	B&C
PG 1234+482	12 ^h 34 ^m 23 ^s .4	48°11'57"	14 ^m 5	47.5/28	01/89	3.5m	B&C
HS 1241+4821	12 ^h 41 ^m 22 ^s .0	48°21'58"	17 ^m 1	47.5/28	01/89	3.5m	B&C

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle 3.1 (Fortsetzung)

Name	α_{1950}	δ_{1950}	B_J	Feld	Lauf	Tel.	Instr.
GD 348	15 ^h 37 ^m 08 ^s .1	65°11'31"	14 ^m .7	62.5/25	06/91	3.5m	Twin
PG 1541+650	15 ^h 41 ^m 08 ^s .8	65°03'23"	15 ^m .7	62.5/25	06/91	3.5m	Twin
HS 1556+6025	15 ^h 56 ^m 03 ^s .0	60°25'28"	16 ^m .9	62.5/25	06/91	3.5m	Twin
HS 1610+6149	16 ^h 10 ^m 54 ^s .6	61°49'08"	16 ^m .8	62.5/25	06/91	3.5m	Twin
HS 1619+6443	16 ^h 19 ^m 55 ^s .6	64°43'01"	15 ^m .4	62.5/25	06/96	3.5m	Twin
HS 1627+7436	16 ^h 27 ^m 48 ^s .3	74°36'49"	15 ^m .7	72.5/18	06/91	3.5m	Twin
HS 1641+7132	16 ^h 41 ^m 34 ^s .2	71°32'36"	16 ^m .7	72.5/18	06/91	3.5m	Twin
HS 1650+7229	16 ^h 50 ^m 03 ^s .6	72°29'15"	17 ^m .6	72.5/18	06/91	3.5m	Twin
HS 1653+7753	16 ^h 53 ^m 17 ^s .0	77°53'37"	14 ^m .8	77.5/15	06/91	3.5m	Twin
HS 1703+6315 A	17 ^h 03 ^m 02 ^s .0	63°15'30"	16 ^m .3	62.5/27	09/93	2.2m	Cass
HS 1729+7735	17 ^h 29 ^m 05 ^s .3	77°35'54"	16 ^m .0	77.5/15	06/91	3.5m	Twin
HS 1730+7844	17 ^h 30 ^m 16 ^s .8	78°44'21"	16 ^m .0	77.5/15	06/91	3.5m	Twin
HS 1745+6043	17 ^h 45 ^m 18 ^s .9	60°43'15"	16 ^m .0	62.5/28	06/91	3.5m	Twin
HS 1749+7145	17 ^h 49 ^m 52 ^s .9	71°45'56"	15 ^m .7	72.5/20	06/96	3.5m	Twin
HS 1817+7852	18 ^h 17 ^m 29 ^s .6	78°52'52"	16 ^m .6	77.5/15	06/91	3.5m	Twin
RE J 1820+580	18 ^h 19 ^m 42 ^s .8	58°03'13"	13 ^m .3	57.5/32	08/96	3.5m	Twin
HS 1822+7452	18 ^h 22 ^m 10 ^s .0	74°52'28"	17 ^m .2	77.5/15	06/91	3.5m	Twin
HS 1827+7753	18 ^h 27 ^m 45 ^s .3	77°53'39"	15 ^m .7	77.5/15	06/96	3.5m	Twin
KUV 18453+6819	18 ^h 45 ^m 20 ^s .6	68°19'18"	14 ^m .8	67.5/25	06/91	3.5m	Twin
RE J 1918+595	19 ^h 17 ^m 40 ^s .0	59°54'25"	14 ^m .3	57.5/34	08/96	3.5m	Twin
HS 1938+6902	19 ^h 38 ^m 24 ^s .6	69°02'14"	16 ^m .3	67.5/25	06/91	3.5m	Twin
HS 2058+0823	20 ^h 58 ^m 46 ^s .6	8°23'21"	14 ^m .7	07.5/64	06/96	3.5m	Twin
PG 2120+055	21 ^h 20 ^m 05 ^s .3	5°29'48"	15 ^m .8	07.5/65	09/92	3.5m	Twin
HS 2132+0941	21 ^h 32 ^m 23 ^s .9	9°41'56"	15 ^m .9	07.5/66	04/92	3.6m	EFOSC
HS 2138+0910	21 ^h 38 ^m 35 ^s .5	9°10'07"	15 ^m .9	07.5/66	04/92	3.6m	EFOSC
HS 2157+8153	21 ^h 57 ^m 18 ^s .5	81°53'01"	16 ^m .0	82.5/13	06/91	3.5m	Twin
HS 2210+1130	22 ^h 10 ^m 58 ^s .0	11°30'22"	16 ^m .8	12.5/67	11/90	3.5m	Twin
PG 2220+134	22 ^h 20 ^m 46 ^s .7	13°23'44"	15 ^m .5	12.5/67	11/90	3.5m	Twin
HS 2234+8352	22 ^h 34 ^m 36 ^s .9	83°52'43"	16 ^m .0	82.5/13	06/91	3.5m	Twin
HS 2235+0813	22 ^h 35 ^m 05 ^s .3	8°13'14"	15 ^m .3	07.5/69	11/90	3.5m	Twin
HS 2236+3118	22 ^h 36 ^m 03 ^s .5	31°18'41"	14 ^m .1	32.5/59	08/93	3.5m	Twin
PG 2239+082	22 ^h 39 ^m 12 ^s .9	8°09'30"	16 ^m .5	07.5/69	06/91	3.5m	Twin
HS 2240+1234 B	22 ^h 40 ^m 01 ^s .7	12°34'20"	16 ^m .7	12.5/68	10/90	3.5m	FRed
HS 2240+1234 A	22 ^h 40 ^m 02 ^s .5	12°34'23"	16 ^m .4	12.5/68	10/90	3.5m	FRed
HS 2244+0305	22 ^h 44 ^m 49 ^s .7	3°05'57"	16 ^m .2	02.5/69	09/92	3.5m	Twin
HS 2246+0640	22 ^h 46 ^m 54 ^s .0	6°40'53"	16 ^m .8	07.5/69	06/96	3.5m	Twin
PG 2308+050	23 ^h 08 ^m 45 ^s .4	5°03'12"	15 ^m .6	07.5/71	09/92	3.5m	Twin
HS 2330+0556	23 ^h 30 ^m 32 ^s .5	5°56'37"	17 ^m .2	07.5/72	10/90	3.5m	FRed
PG 2353+027	23 ^h 53 ^m 53 ^s .8	2°40'24"	14 ^m .8	02.5/01	06/96	3.5m	Twin

3.2 Theoretische Modelle

Die synthetischen Spektren beruhen auf Modellatmosphärenrechnungen von D. Koester und liegen für ein umfassenden Parameterbereich in Temperatur und Schwerebeschleunigung vor. Alle Modelle sind mit reinen Wasserstoffatmosphären unter der Annahme lokalen thermodynamischen Gleichgewichts (LTE) gerechnet worden und werden in Finley, Koester & Basri (1997) näher beschrieben. Unter diesen Annahmen wird eine Sternatmosphäre vollständig charakterisiert durch zwei physikalische Para-

meter:

log g Die (logarithmisch angegebene) Schwerebeschleunigung an der Oberfläche

T_{eff} Die Effektivtemperatur

Die Effektivtemperatur ist definiert als Temperatur eines Schwarzen Körpers, der nach der Planckschen Strahlungsformel gleich viel Energie emittiert wie der Stern, d. h. nach dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz ist die Leuchtkraft

$$L =: 4\pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4. \quad (3.1)$$

T_{eff} ist also eigentlich ein Maß für die Energiedichte des Strahlungsstroms in der Sternatmosphäre. Das für diese Analyse verwendete Gitter reicht von 6000 K bis 200 000 K und von $\log g = 6.0$ bis $\log g = 9.0$. Von 6000 K bis 20 000 K sind 250 K-Schritte in der Temperatur eingesetzt worden, darüber von 500 K weiter ansteigend. Der Bereich $7.5 \leq \log g \leq 8.5$ ist in Intervallen von 0.1 dex abgedeckt, bis 9.0 respektive 7.0 in 0.25 dex.

Für kühlere DA spielt der konvektive Energietransport in der Atmosphäre eine maßgebliche Rolle. Bei den Modellen mit $T_{\text{eff}} \leq 20\,000$ K wird die Konvektion nach dem Mischungswegansatz berücksichtigt (Böhm-Vitense 1958). Es wird ein Modell mit mittlerer Effizienz des Energietransportes, ML2 nach Koester et al. (1994) mit einer Mischungsweglänge von $\alpha = 0.6$ verwendet. Diese Wahl der Parameter hat nach Bergeron et al. (1995) und Koester & Vauclair (1997) die beste Anpassung an die Liniensprofile ergeben.

3.2.1 Das Fitverfahren

Die Bestimmung der besten Modellparameter für ein Spektrum erfolgt durch einen χ^2 -Fit. Dabei wird das theoretische Spektrum gesucht, für welches die Flusswerte $f_{\text{th}}(\lambda, T_{\text{eff}}, \log g)$ am besten mit denen des beobachteten Spektrums $f_{\text{ob}}(\lambda)$ übereinstimmen, indem die Größe

$$\chi^2 \equiv \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{\text{ob}}(\lambda_i) - f_{\text{th}}(\lambda_i, T_{\text{eff}}, \log g)}{\sigma_i} \right)^2 \quad (3.2)$$

minimiert wird. σ_i ist die Standardabweichung des beobachteten Flusses bei der Wellenlänge λ_i . Das χ^2 gibt also ein Maß für die Abweichung zwischen beobachtetem und theoretischen Spektrum, gewichtet mit dem Inversen des Messfehlers der Beobachtung. Für eine gute Übereinstimmung beider Spektren und korrekte Abschätzung der Fehler erhält man einen Erwartungswert von $\chi^2 \approx \nu$. Dabei ist $\nu = n - N - 1$ die Anzahl der Freiheitsgrade für n Messpunkte mit N freien Parametern des Modells (also $N = 2$ im vorliegenden Fall). Zur Beurteilung der Güte des Fits wird daher oft das *reduzierte* χ^2

$$\chi_\nu^2 = \frac{\chi^2}{\nu} \quad (3.3)$$

betrachtet, das bei einem guten Fit folglich im Mittel eins betragen sollte. Zur Anpassung des Modells habe ich ein von D. Koester unter Verwendung von Routinen von H. Schmidt entwickeltes Programm benutzt. Es ermittelt das Minimum der Funktion $\chi^2(T_{\text{eff}}, \log g)$ nach dem Levenberg-Marquard-Verfahren, das eine Kombination der

Gradientenmethode und der Invertierung der Hesseschen Matrix darstellt (Schmidt 1995, Press et al. 1992). Die Modellspektren werden zwischen den Gitterpunkten in $\log g$ und T_{eff} stetig fortgesetzt, indem jeder Flusswert bilinear interpoliert wird. Zur Anpassung des beobachteten Spektrums wird das theoretische Spektrum mit einem Gaußprofil gefiltert, dessen Halbwertsbreite gleich der spektralen Auflösung der Beobachtung ist, und auf die Wellenlängenpunkte des beobachteten Spektrums gebinnt. Nach jeder Iteration der χ^2 -Minimierung wird außerdem separat die Wellenlängenverschiebung zwischen Modell und Beobachtung – durch Kalibrationsfehler, Radialgeschwindigkeit und Gravitationsrotverschiebung angepasst. Aus der *Kovarianzmatrix*, der Inversen zur Hesseschen Matrix des χ^2 , lassen sich schließlich die Standardabweichungen der Lösung in beiden Parametern bestimmen.

Das Rauschen, das zur korrekten Bestimmung der χ^2 -Summe bekannt sein muss, wird in diesem Programm empirisch aus der Beobachtung bestimmt. Dazu wird ein lokales Kontinuum berechnet, indem das Spektrum mit einem Savitzky-Golay-Filter geglättet wird. Dieser Filter mittelt jeden Punkt des Spektrums durch Anpassung eines Polynoms vierter Ordnung über einen Bereich von ± 15 Punkten. Dies erlaubt auch in den Flügeln der Balmerlinien noch eine recht gute Annäherung des Spektrums. Das Rauschen wird dann aus der Abweichung zwischen ursprünglichem und geglättetem Spektrum bestimmt. Für den Bereich innerhalb der Linien wird das im angrenzenden Kontinuum bestimmte Rauschen interpoliert.

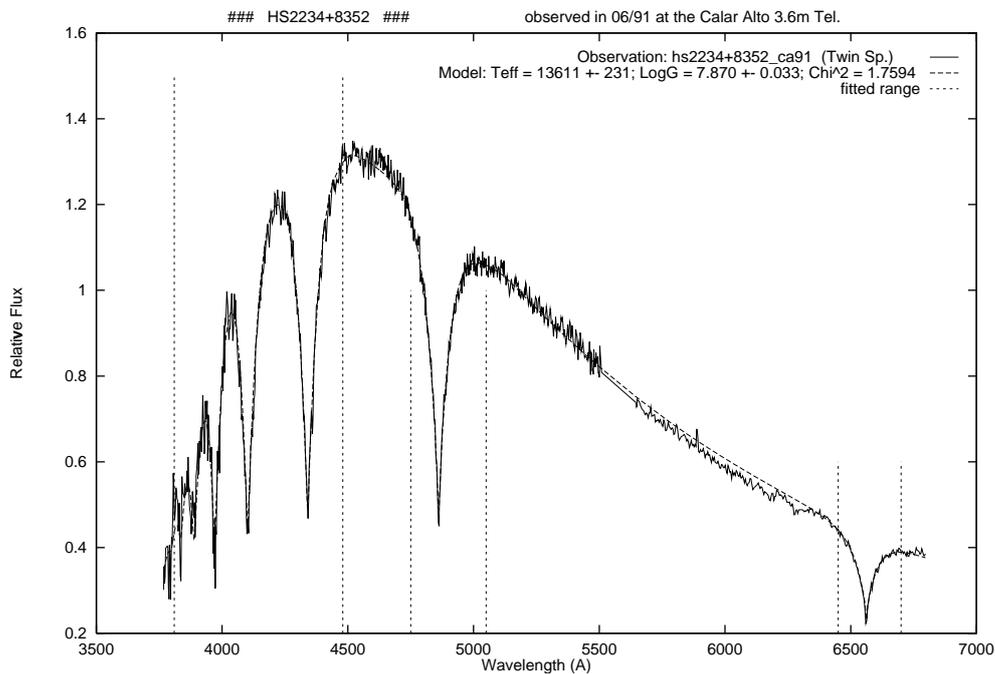


Abbildung 3.1: Spektrum eines kühlen DA mit angepasstem Modellspektrum (gestrichelt) und für den Anfangsfit berücksichtigten Wellenlängenbereichen (senkrechte Linien)

Für die χ^2 -Summe selbst werden nur die engeren Umgebungen der Balmerlinien berücksichtigt, da die Analyse sich im Wesentlichen auf die Linienprofile stützt. Die Steigung des Kontinuums, die ebenfalls einen wichtigen Temperaturindikator darstellt, lässt sich bei den hier untersuchten Beobachtungen nicht ausnutzen, da die

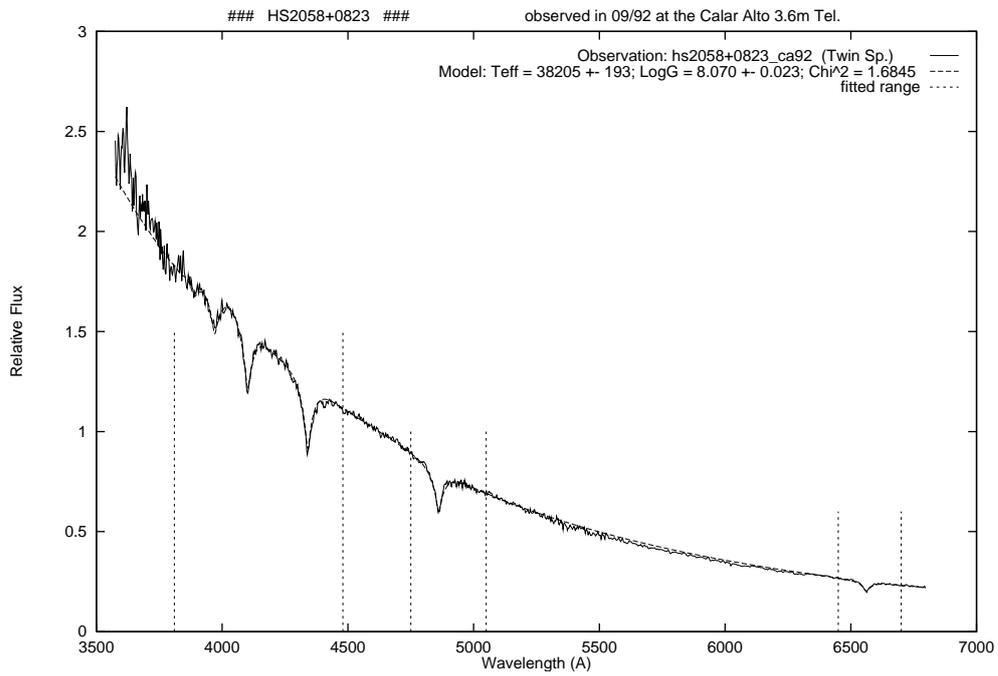


Abbildung 3.2: Warmerer DA mit Modellfit

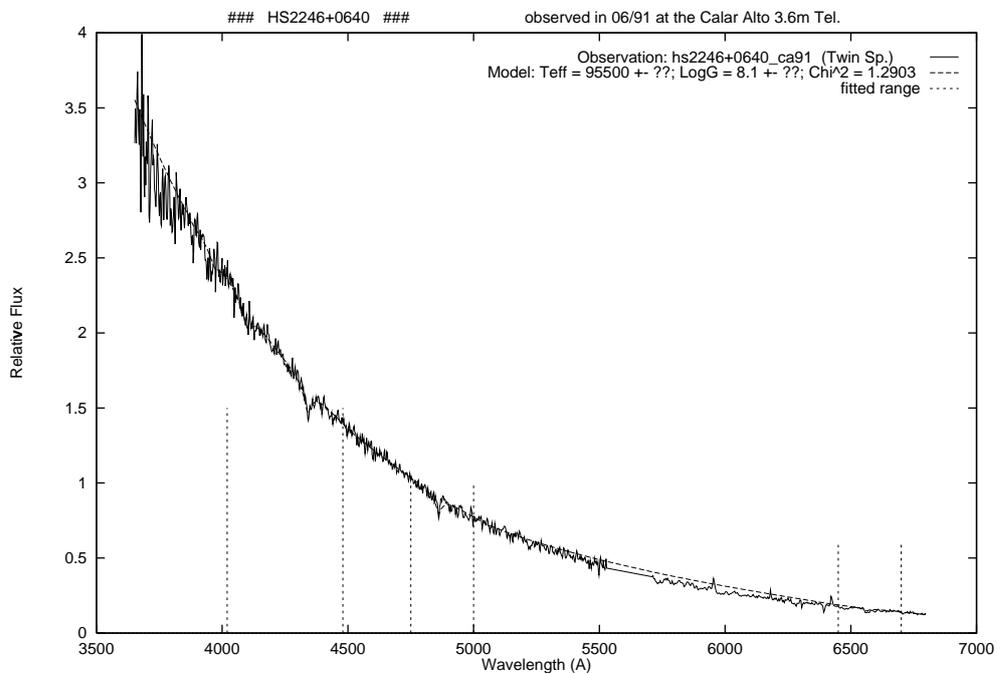


Abbildung 3.3: Heißer DA mit Modellfit

Spektren nicht ausreichend gut flusskalibriert sind. Daher wird für jeden Wellenlängenbereich einzeln eine Normierung des Modellspektrums auf die Flusswerte der Beobachtung durchgeführt. Die Skalierung wird ebenfalls vor allem im Kontinuum beidseits der Linien angepasst. Die Wellenlängenbereiche, die in den Fit eingehen, müssen der Breite der Balmerlinien angepasst werden, um einerseits das vollständige Linienprofil zu erfassen und korrekt zu normalisieren, andererseits nicht zuviel Kontinuumswerte mitzurechnen, die bei dieser Methode keine Informationen beisteuern und daher die Genauigkeit des Fits nur beeinträchtigen würden. Die Parameter sind daher je nach Effektivtemperatur und Schwerebeschleunigung und daraus resultierenden Unterschieden in der Linienbreite unterschiedlich zu wählen. Für die hier untersuchten DA wurde jeweils zunächst eine vorläufige Bestimmung der Parameter durchgeführt, nach der die Sterne einer von drei Gruppen zugeordnet wurden: kühle (bis ca. 22 000 K, bei sehr hohem $\log g$ bis 35 000 K), mittlere (bis etwa 50 000 K) und heiße (siehe Abb. 3.1–3.3). Nach dieser Zuordnung wurden dann die Wellenlängenbereiche für den endgültigen Fit nach Tabelle 3.2 ausgewählt. Allerdings umfassen nicht alle Beobachtungen den gesamten Spektralbereich von $H\alpha$ bis $H\zeta$, so dass in den entsprechenden Fällen die Fitbereiche reduziert wurden.

Tabelle 3.2: Für die Anpassung der Modelle berücksichtigte Spektralbereiche in Å nach T_{eff} /Linienbreite

Temperaturbereich	$H\alpha$	$H\beta$	$H\gamma$	$H\delta-H\zeta$
Heiß	6480–6630	4780–4930	4270–4400	3865–4150
Mittel	6450–6650	4760–4950	3865–4450	
Kühl	6380–6730	4700–5050	3865–4510	

Tabelle 3.3: Atmosphärische Parameter, abgeleitete Massen, Radien, Absolute Helligkeiten und Entfernungen für die 79 analysierten DA

Stern	T_{eff} [K]	$\sigma_{T_{\text{eff}}}$	$\log g$ [dex]	$\sigma_{\log g}$	M_{\star} [M_{\odot}]	$\sigma_{M_{\star}}$	R_{\star} [$0.01 R_{\odot}$]	$\sigma_{R_{\star}}$	M_B [mag]	σ_M	D_{lum} [pc]	
HS 0008+3302	10300	180	8.35	0.29	0.83	0.18	1.00	0.21	12 ^m 8	0.05	85	C
HS 0009+1621	16100	830	7.55	0.18	0.40	0.08	1.76	0.19	10 ^m 5	0.09	210	CX
HS 0026+3114	53600	420	7.57	0.03	0.53	0.01	1.98	0.04	8 ^m 1	0.01	310	
GD 8	48900	240	7.85	0.02	0.62	0.01	1.55	0.02	8 ^m 4	0.00	150	X
HS 0047+0716	14800	350	7.91	0.08	0.56	0.05	1.38	0.07	11 ^m 2	0.04	120	C
HS 0129+0511	13100	330	7.83	0.05	0.52	0.03	1.45	0.05	11 ^m 4	0.05	75	Z
HS 0130+0156	37000	1800	7.12	0.26	0.35	0.08	2.63	0.42	7 ^m 1	0.07	410	M
HS 0130+0800	13100	310	7.69	0.06	0.45	0.03	1.58	0.05	11 ^m 2	0.04	110	Z
HS 0146+0723	25000	1800	8.27	0.22	0.80	0.14	1.08	0.18	10 ^m 7	0.13	210	C
Feige-17	20600	200	7.72	0.04	0.49	0.02	1.60	0.04	10 ^m 2	0.02	75	
HS 0210+1629	16900	230	7.91	0.05	0.57	0.03	1.38	0.04	10 ^m 9	0.02	120	
HS 0235+0655	11420	60	7.93	0.05	0.56	0.03	1.35	0.04	11 ^m 8	0.01	95	Z
HS 0235+0514	16000	1400	7.63	0.31	0.43	0.14	1.66	0.31	10 ^m 7	0.15	260	ZN
GD 41	37600	160	7.72	0.03	0.54	0.01	1.68	0.03	8 ^m 9	0.01	140	X
HS 0348+2803	17800	860	7.93	0.16	0.58	0.09	1.37	0.15	10 ^m 9	0.08	170	C

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle 3.3 (Fortsetzung)

Stern	T_{eff}	σ_{Teff}	$\log g$	$\sigma_{\log g}$	M_{\star}	$\sigma_{M_{\star}}$	R_{\star}	$\sigma_{R_{\star}}$	M_B	σ_M	D_{lum}	
KUV 03520+0500	36400	170	8.85	0.04	1.12	0.02	0.66	0.03	10 ^m 9	0.01	90	M
KUV 03561+0807	41600	830	7.61	0.11	0.51	0.04	1.85	0.15	8 ^m 4	0.02	240	C
HS 0401+0001	50900	670	7.70	0.05	0.57	0.02	1.75	0.07	8 ^m 3	0.01	550	
HS 0421+0342	31700	790	8.05	0.20	0.68	0.11	1.29	0.18	9 ^m 8	0.05	170	C
HS 0424+0141	48000	1100	7.78	0.09	0.59	0.04	1.64	0.11	8 ^m 4	0.02	250	
HS 0503+0154	57400	460	7.86	0.03	0.65	0.02	1.56	0.04	8 ^m 7	0.01	210	
HS 0507+0434 B	11720	40	7.90	0.03	0.55	0.02	1.38	0.02	11 ^m 7	0.01	55	Z
HS 0507+0434 A	20030	70	7.98	0.01	0.62	0.01	1.33	0.01	10 ^m 7	0.01	50	
HS 0615+6535	98000	5500	7.07	0.15	0.55	0.04	3.55	0.53	6 ^m 6	0.05	600	T
HS 0641+6528	17700	250	8.07	0.06	0.66	0.03	1.24	0.04	11 ^m 1	0.02	100	
HS 0727+6915	12100	250	8.29	0.14	0.79	0.09	1.06	0.11	12 ^m 2	0.04	85	Z
HS 0742+2306	60000	660	7.66	0.04	0.58	0.02	1.85	0.06	8 ^m 4	0.01	600	
HS 0841+4547	29000	1900	8.19	0.34	0.76	0.20	1.15	0.29	10 ^m 2	0.14	120	C
HS 0943+4724	16000	2200	8.75	0.26	1.07	0.14	0.72	0.18	12 ^m 4	0.23	120	zN
HS 0943+4852	19000	3000	7.90	0.50	0.57	0.27	1.40	0.49	10 ^m 7	0.27	450	zN
HS 0946+4848	11700	310	8.69	0.35	1.04	0.20	0.76	0.24	13 ^m 0	0.07	80	Z
HS 0946+5009	30300	290	7.99	0.07	0.65	0.04	1.34	0.07	9 ^m 0	0.02	230	
HS 0949+4935	15000	1400	8.39	0.16	0.86	0.11	0.98	0.12	11 ^m 9	0.16	190	z
HS 0951+3620	65000	1500	7.66	0.08	0.59	0.03	1.88	0.12	8 ^m 4	0.02	800	
HS 1001+4651	18100	230	7.89	0.05	0.56	0.03	1.40	0.04	10 ^m 8	0.02	130	
HS 1002+4518	35800	810	7.99	0.16	0.66	0.09	1.36	0.16	9 ^m 2	0.04	310	C
HS 1003+4852	16100	490	8.19	0.10	0.73	0.07	1.14	0.08	11 ^m 5	0.05	80	
HS 1110+2150	46600	380	7.65	0.04	0.53	0.02	1.81	0.05	8 ^m 5	0.01	500	
Ton 82	20100	390	7.48	0.06	0.39	0.03	1.88	0.06	9 ^m 7	0.03	150	M
GD 148	14700	160	7.96	0.03	0.59	0.02	1.33	0.03	11 ^m 3	0.02	45	
PG 1234+482	56000	780	7.84	0.05	0.63	0.02	1.58	0.06	8 ^m 6	0.01	150	
HS 1241+4821	14800	500	8.54	0.05	0.95	0.03	0.87	0.03	12 ^m 3	0.06	90	
GD 348	9640	20	7.91	0.04	0.55	0.02	1.36	0.03	12 ^m 4	0.01	30	
PG 1541+650	12000	70	7.79	0.04	0.49	0.02	1.48	0.03	11 ^m 5	0.01	65	Z
HS 1556+6025	17500	150	8.03	0.03	0.64	0.02	1.28	0.03	11 ^m 0	0.01	140	
HS 1610+6149	10670	30	7.96	0.05	0.58	0.03	1.32	0.04	12 ^m 1	0.01	85	Z
HS 1619+6443	30110	40	7.82	0.01	0.56	0.01	1.53	0.01	9 ^m 3	0.00	150	X
HS 1627+7436	13900	210	8.10	0.03	0.67	0.02	1.21	0.02	11 ^m 7	0.03	60	
HS 1641+7132	11600	80	7.98	0.06	0.59	0.04	1.31	0.05	11 ^m 9	0.02	90	Z
HS 1650+7229	53000	1600	7.61	0.12	0.54	0.04	1.90	0.18	8 ^m 1	0.03	750	
HS 1653+7753	29400	210	7.15	0.05	0.32	0.02	2.46	0.06	8 ^m 6	0.02	180	M
HS 1703+6315 A	16100	360	7.68	0.08	0.45	0.04	1.61	0.09	10 ^m 7	0.04	130	
HS 1729+7735	13800	290	7.69	0.07	0.45	0.03	1.58	0.07	11 ^m 1	0.04	95	
HS 1730+7844	13400	390	7.68	0.06	0.44	0.03	1.60	0.06	11 ^m 1	0.05	90	z
HS 1745+6043	35600	220	8.68	0.04	1.05	0.02	0.78	0.03	10 ^m 6	0.01	120	
HS 1749+7145	76900	550	7.56	0.03	0.59	0.01	2.10	0.04	7 ^m 4	0.01	410	
HS 1817+7852	31200	440	7.95	0.12	0.63	0.06	1.39	0.12	9 ^m 6	0.03	240	
REJ 1820+580	45900	170	8.00	0.02	0.68	0.01	1.37	0.02	9 ^m 8	0.00	70	
HS 1822+7452	9690	50	7.97	0.15	0.59	0.09	1.31	0.13	12 ^m 5	0.02	85	
HS 1827+7753	75800	610	7.68	0.03	0.62	0.01	1.89	0.05	7 ^m 8	0.01	370	X
KUV 18453+6819	37700	210	8.24	0.04	0.80	0.02	1.13	0.03	9 ^m 6	0.01	100	
REJ 1918+595	32670	80	7.98	0.02	0.65	0.01	1.36	0.02	9 ^m 0	0.00	85	
HS 1938+6902	15800	200	7.52	0.05	0.39	0.02	1.79	0.05	10 ^m 5	0.02	140	M
HS 2058+0823	36830	70	7.86	0.01	0.60	0.01	1.50	0.01	9 ^m 6	0.00	130	
PG 2120+055	36600	200	7.94	0.03	0.63	0.02	1.41	0.03	9 ^m 1	0.01	200	

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle 3.3 (Fortsetzung)

Stern	T_{eff}	$\sigma_{T_{\text{eff}}}$	$\log g$	$\sigma_{\log g}$	M_{\star}	$\sigma_{M_{\star}}$	R_{\star}	$\sigma_{R_{\star}}$	M_B	σ_M	D_{lum}	
HS 2157+8153	10700	40	8.71	0.08	1.05	0.04	0.75	0.05	13 ^m 3	0.01	35	Z
HS 2210+1130	29900	300	7.99	0.08	0.65	0.04	1.34	0.07	9 ^m 3	0.02	250	
PG 2220+134	22600	910	8.81	0.16	1.10	0.08	0.68	0.11	11 ^m 9	0.08	50	C
HS 2234+8352	13500	220	7.88	0.04	0.54	0.02	1.40	0.03	11 ^m 4	0.03	80	
HS 2235+0813	37100	460	7.82	0.08	0.58	0.04	1.55	0.09	9 ^m 9	0.02	170	
HS 2236+3118	35200	110	7.49	0.02	0.45	0.01	1.99	0.03	8 ^m 2	0.00	120	
PG 2239+082	22300	250	7.80	0.04	0.53	0.02	1.52	0.03	10 ^m 2	0.02	180	
HS 2240+1234 B	14000	540	8.17	0.08	0.72	0.05	1.15	0.06	11 ^m 8	0.07	95	Z
HS 2240+1234 A	15300	170	7.97	0.04	0.60	0.03	1.33	0.03	11 ^m 2	0.02	100	
HS 2244+0305	72000	1600	7.78	0.08	0.65	0.03	1.72	0.11	8 ^m 4	0.02	410	
HS 2246+0640	98000	1700	7.04	0.05	0.54	0.02	3.68	0.18	6 ^m 8	0.01	1350	T
PG 2308+050	37600	250	7.62	0.04	0.50	0.02	1.81	0.05	8 ^m 2	0.01	240	
HS 2330+0556	12800	820	7.68	0.13	0.44	0.06	1.60	0.13	11 ^m 2	0.12	150	Z
PG 2353+027	63200	600	7.57	0.04	0.55	0.01	2.03	0.06	7 ^m 0	0.01	240	

Anmerkungen: C: Unzuverlässige Wellenlängenkalibrierung oder sehr schlechte Auflösung

X: $\chi^2_v > 2.0$

N: Sehr stark verrauschtes Spektrum

M: Masse aus Abkühlsequenzen extrapoliert

T: T_{eff} aus Abkühlsequenzen extrapoliert

F: Fluss für (M_B) aus Modellgitter extrapoliert

Z: ZZ Ceti-Kandidat (1 $\sigma_{T_{\text{eff}}}$ vom Instabilitätsstreifen)

z: ZZ Ceti-Kandidat (3 $\sigma_{T_{\text{eff}}}$ vom Instabilitätsstreifen)

Die Resultate der Analyse sind in Tabelle 3.3 aufgeführt. Drei DA, für die keine Flusspektren vorlagen, sind nicht gefittet worden: HS 0138+0451, mit einer visuell geschätzten Temperatur von 20 000 K (± 4000 K), und zwei als Backup-Programm bei ESO spektroskopierte WZ; bei diesen ergab eine frühere Analyse für HS 2132+0941 $T_{\text{eff}} = 15\,800$ (2000) K/ $\log g = 7.5$ (0.5), sowie für HS 2138+0910 zwei Lösungen im Parameterraum mit $T_{\text{eff}} \approx 19\,000$ K/ $\log g \approx 7.0$ oder $T_{\text{eff}} \approx 9250$ K (Koester, *priv. comm.*).

3.2.2 Fehlerabschätzung

Die im Fitverfahren bestimmten Standardabweichungen sind formale Fehler, die lediglich für gute Fits mit $\chi^2 \approx 1$ und annähernd normalverteilte Abweichungen zwischen beobachtetem und theoretischem Spektrum Gültigkeit haben. Bei Spektren mit hohem S/N dominieren zumeist systematische Abweichungen aufgrund von Fehlern in der Wellenlängen- und Flusskalibration und von Unvollkommenheiten der theoretischen Modelle. Die hier analysierten Spektren haben zwar überwiegend moderates S/N , doch in einigen Fällen gab es größere Probleme mit der Wellenlängenkalibration. Bei allen in Tabelle 3.3 entsprechend kommentierten Sternen sind die internen Fehler mit besonderem Vorbehalt zu behandeln. Bei einigen Spektren mit besonders schlechtem S/N -Verhältnis können die tatsächlichen Unsicherheiten in T_{eff} 20% überschreiten. Die Resultate für $\log g$ haben in diesen Fällen keine Aussagekraft.

Eine Abschätzung der tatsächlichen Fehler erhält man aus der Gegenüberstellung mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen, die für einen kleinen Teil der Objekte vorliegen. Diese sind in Tabelle 3.5 aufgeführt. Von einigen Sternen wurden auch in diesem Programm mehrere Spektren aufgenommen. In Tabelle 3.3 sind die Mittelwerte der jeweiligen Ergebnisse aufgeführt, mit Ausnahme der Beobachtung von

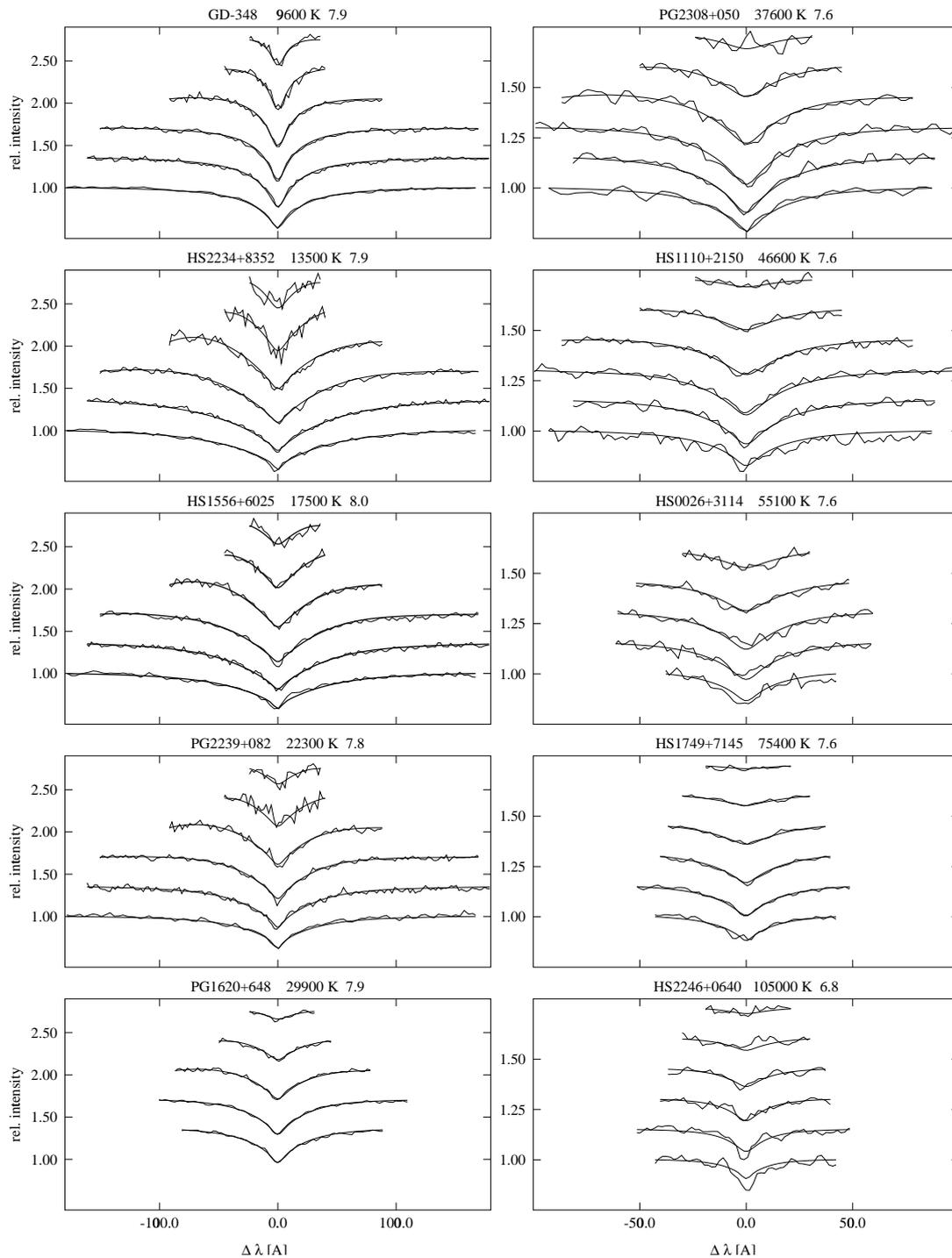


Abbildung 3.4: Linienprofile von DA-Weißen Zwergen aus dem gesamten Temperaturbereich mit allen gefitteten Balmerlinien. Beobachtetes Spektrum und Modell sind jeweils innerhalb der für den Fit berücksichtigten Wellenlängengrenzen dargestellt. $H\alpha$ ist auf einen Kontinuumsfluss von 1 normalisiert und die höheren Linien um jeweils gleiche Beträge verschoben worden. Die heißeren Spektren rechts sind auf einer doppelt so großen Wellenlängenskala dargestellt

KUV 03561+0807 am 3.5 m, die wegen sehr schlechten S/N verworfen wurde, sowie der sechs heißesten Sterne. Diese wurden im Juni 1996 mit wesentlich höherem S/N nochmals nachbeobachtet, und hier wurden die älteren Spektren ebenfalls nicht berücksichtigt. Diese verschiedenen Mehrfachbeobachtungen werden in Tabelle 3.5 ebenfalls verglichen.

Die Ergebnisse stimmen in den meisten Fällen mit etwa 5–7% Abweichungen in T_{eff} und nicht mehr als 0.15 dex in $\log g$ gut überein. Eine auffällige Ausnahme bildet REJ 1820+580 in allen Arbeiten. Bei den sehr heißen Sternen sind die Diskrepanzen generell größer. Hier werden auch Abweichungen von der Annahme des lokalen thermodynamischen Gleichgewichts (LTE) in den Modellen relevant und können so zusätzliche Fehler einführen. Nach einem Vergleich von Ergebnissen mit LTE- und NLTE-Modellen von Napiwotzki, Green & Saffer (1999) kann dies bei den heißesten hier untersuchten DA eine Korrektur von etwa -6000 K in T_{eff} und $+0.1$ in $\log g$ bedingen. Ähnliche oder größere Unsicherheiten sind aber auch durch den Einfluss nicht im optischen Spektrum nachweisbarer Spuren von Helium oder schwererer Elemente möglich. Diese können durch den Blanketingeffekt die aus der Analyse mit reinen Wasserstoffatmosphären abgeleiteten Temperaturen um $10\,000$ K und mehr nach oben treiben (Bergeron et al. 1994; Wolff et al. 1998).

Eine weitere Unsicherheit schließlich besteht bei kühleren DA zwischen $10\,000$ und $20\,000$ K, bei denen die Stärke der Balmerlinien des Wasserstoffs ihr Maximum erreicht. Um $12\,000$ – $13\,000$ K ändert sich daher nur die Form des Linienprofils geringfügig mit der Temperatur, und die Linienstärke ist weitgehend in T_{eff} und $\log g$ entartet. Es gibt daher i. A. bei solchen Spektren kein klar definiertes Minimum, sondern ein langgezogenes Tal mit niedrigen Werten des χ^2 . Bei einigen Sternen kann man deshalb abhängig von den Anfangswerten des Modellfits mehrere Lösungen finden, die nur geringe Differenzen im χ^2 zeigen (Tabelle 3.6).

Man kann versuchen, diese Zweideutigkeit anhand der Kontinuumssteigung zu entscheiden, wenn die Flusskalibration der Spektren einigermaßen vertrauenswürdig ist. Bei HS 1556+6025 und HS 1938+6902 wird nach diesem Kriterium die heißere Lösung, bei HS 2157+8153 die kühlere bevorzugt. Das Spaltspektrum von Ton 82 ist von schlechterer Qualität; das HRS-Spektrum spricht in diesem Fall für die höhere Temperatur. Für HS 1003+4852 schließlich lässt sich auch bei $14\,500$ K noch eine weitere Lösung finden, so dass die Temperaturfrage mit dem vorhandenen Beobachtungsmaterial nicht zu entscheiden ist.

3.3 Ableitung von Massen und Leuchtkräften

Unter der Annahme der Gültigkeit einer Masse-Radius-Beziehung bei Weißen Zwergsternen können aus der Schwerebeschleunigung Masse und Radius bestimmt werden. Da die Temperatur gleichfalls bekannt ist, können hier Modelle benutzt werden, die Abweichungen, wie sie sich von der Masse-Radius-Relation für $T_C = 0$ nach Hamada und Salpeter bei endlichen Temperaturen ergeben, berücksichtigen (vgl. Schmidt 1995). Die Zentraltemperatur wird dabei aus Modellrechnungen zur Abkühlung Weißer Zwerge (Wood 1994, 1995) bestimmt. Aus diese Entwicklungsrechnungen für Weiße Zwerge mit reinem Kohlenstoffkern und einer Heliumschicht von $M_{\text{He}} = 10^{-2} M_{\star}$

Tabelle 3.5: Vergleich der spektroskopischen Bestimmungen mit den Ergebnissen anderer Arbeiten und zwischen Ergebnissen aus mehrfachen Beobachtungen

Stern	T_{eff} (σ)	$\log g$ (σ)	Quelle	T_{eff} (σ)	$\log g$ (σ)
HS0026+3144	52600 (500)	7.57 (.04)	93/95	55100 (740)	7.56 (.05)
GD 8	48900 (240)	7.85 (.02)	FKB	48655 (520)	7.74 (.05)
GD 41	37600 (160)	7.72 (.03)	FKB	35082 (257)	7.64 (.06)
			V97	35600 (200)	7.76 (.06)
KUV03520+0500	36700 (190)	8.89 (.03)	90/92	36000 (340)	8.72 (.07)
HS0507+0434B	11720 (40)	7.90 (.03)	J98	11900 (300)	8.00 (.05)
HS0507+0434A	20030 (70)	7.98 (.01)	J98	20220 (50)	7.99 (.05)
GD 148	14700 (160)	7.96 (.03)	BSL	14700 (200)	7.90 (.04)
PG1234+482	56000 (780)	7.84 (.05)	FKB	56382 (493)	7.67 (.03)
			B95	57000 (700)	7.91 (.04)
GD 348	9640 (20)	7.91 (.04)	K95	9831 (42)	8.13 (.04)
PG1620+648	30110 (40)	7.82 (.01)	B95	30800 (100)	7.75 (.03)
PG1620+648	30600 (110)	7.85 (.03)	91/96	30030 (40)	7.78 (.01)
HS1749+7145	75400 (720)	7.59 (.03)	96	78500 (830)	7.53 (.03)
REJ1820+580	45900 (170)	8.00 (.02)	FKB	49610 (626)	7.86 (.06)
			M97	45330 (850)	7.73 (.07)
			N99	43300 (260)	7.70 (.03)
HS1827+7753	73200 (840)	7.56 (.04)	96	78500 (880)	7.78 (.04)
REJ1918+595	32700 (80)	7.98 (.02)	V97	33000 (200)	7.90 (.05)
KUV18453+6819	37700 (210)	8.24 (.04)	V97	37400 (300)	8.24 (.04)
			N99	35600 (200)	8.15 (.03)
HS2058+0853	36870 (90)	7.87 (.02)	96	36800 (110)	7.84 (.02)
PG2120+055	36600 (200)	7.94 (.03)	FKB	34155 (398)	7.80 (.10)
PG2239+082	22300 (250)	7.80 (.04)	FKB	21862 (160)	7.72 (.03)
HS2246+0640	94000 (1800)	7.23 (.06)	96	105000 (3500)	6.75 (.09)
PG2353+026	63200 (600)	7.57 (.04)	FKB	62013 (760)	7.74 (.04)
PG2353+026	62300 (760)	7.59 (.05)	96	64200 (950)	7.54 (.06)

Quellen: BSL: Bergeron et al. 1992; FKB: Finley et al. 1997; V97: Vennes et al. 1997; J98: Jordan et al. 1998; N99: Napiwotzki et al. 1999; B95: Bergeron et al. 1995; K95: Kepler et al. 1995; M97: Marsh et al. 1997; sonstige: Jahre mehrfacher Beobachtungen für das HQS-Programm, 93: Simultaner Beobachtungslauf am Calar Alto 2.2 m- und 3.5 m-Teleskop

Tabelle 3.6: Kühle DA mit mehrfachen χ^2 -Minima.

Stern	Lösung 1		Lösung 2	
	T_{eff}	$\log g$	T_{eff}	$\log g$
HS 1003+4852	13 000 K	8.4	16 100 K	8.2
HS 2157+8153	10 700 K	8.7	19 750 K	8.3
Ton 82	9900 K	8.1	20 100 K	7.5
HS 1938+6902	10 600 K	7.5	15 800 K	7.5
HS 1556+6025	11 200 K	8.3	17 500 K	8.0

sowie einer dicken Wasserstoffschicht von $M_{\text{H}} = 10^{-4} M_{\star}$ werden verbesserte Bestimmungen des Radius bei gegebener Masse erhalten. Die in Tabelle 3.3 aufgeführten Werte für die Massen und Radien wurden aus Abkühlsequenzen für 0.4 bis $1.1 M_{\odot}$ (s. a. Abb. 3.5, 3.6) interpoliert. Die angegebenen Fehler sind lediglich durch Fehlerfortpflanzung aus den internen Fehlern in T_{eff} und $\log g$ bestimmt und berücksichtigen keine Unsicherheit in den Modellen.

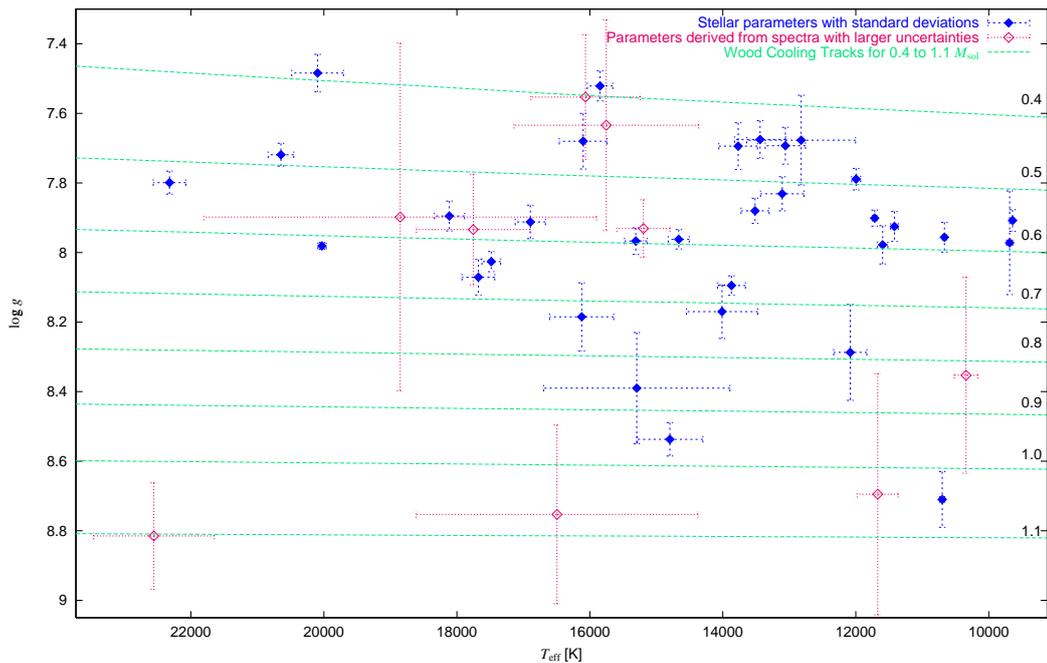


Abbildung 3.5: Verteilung der kühleren DA nach Effektivtemperatur und Oberflächenschwerebeschleunigung im Vergleich mit Abkühlsequenzen nach Wood (1994). Beobachtungen mit unsicheren Bestimmungen, d. h. in Tabelle 3.3 als C, X oder N gekennzeichnete sind als offene Symbole dargestellt

Bei bekanntem Radius lässt sich aus dem Strahlungsfluss an der Sternoberfläche, der aus den Atmosphärenmodellen hervorgeht, die absolute Helligkeit berechnen. Sie ist für den Johnson-B-Filter in der Tabelle aufgeführt. In Verbindung mit den scheinbaren Helligkeiten in Tabelle 3.1 lässt sich daraus der Entfernungsmodul, und somit

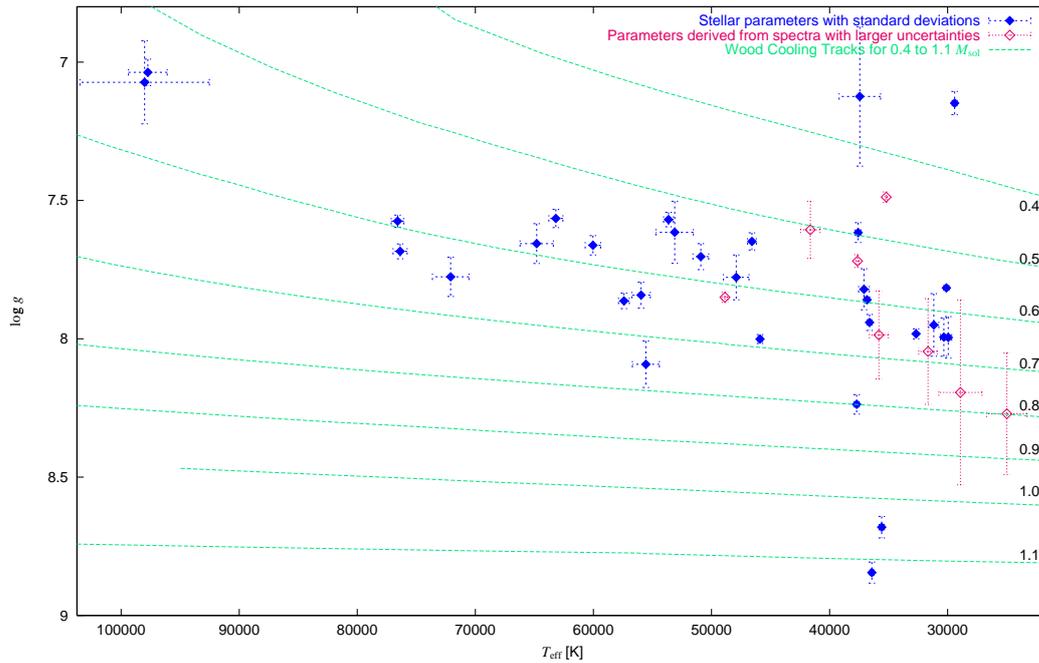


Abbildung 3.6: Verteilung der heißen DA im $\log g - T_{\text{eff}}$ -Diagramm

die Entfernung des Sterns bestimmen. In diese Bestimmung gehen natürlich schon über Radius und Effektivtemperatur eine Reihe von Fehlern ein, und die Genauigkeit der B_J -Helligkeiten von etwa 0^m5 führt allein eine Unsicherheit von über 30 % in der Entfernung ein.

3.4 Ergebnisse

Die atmosphärischen Parameter lassen sich aus den Nachbeobachtungsspektren, die primär als Klassifikationsaufnahmen gedacht waren, nicht mit der gleichen Zuverlässigkeit bestimmen, wie aus speziell für solche Analysen, etwa zur Bestimmung der Massenverteilung, durchgeführten Beobachtungen mit hohem Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Dennoch konnte ein brauchbarer Überblick über die Verteilung von Effektivtemperaturen und Schwerebeschleunigungen bei den nachbeobachteten DA gewonnen werden. Auch wenn sehr heiße Sterne aus den späteren Beobachtungen überrepräsentiert sind, finden sich noch zahlreiche DA aller Temperaturbereiche bis hinunter zu 10 000 K. Einige dieser Sterne sind anhand dieser Analyse bereits als aussichtsreiche Kandidaten für ZZ Ceti-Variabilität identifiziert, und in einem Fall (PG 1541+650) auch schon photometrisch bestätigt, worden (Vauclair et al. 2000a, 2000b & 2000c).

Kapitel 4

Auswertung der digitalisierten Prismenspektren

*Remember, Information is not knowledge;
Knowledge is not wisdom;
Wisdom is not truth;
Truth is not beauty;
Beauty is not love;
Love is not music;
Music is the best.*

Frank Zappa

4.1 Motivation und Ziele einer Neuanalyse der HRS-Daten

So erfolgreich die bisherige Auswertung der Feinscan-Datenbasis des HQS bei der Entdeckung seltener und exotischer Objekte war, hat sie doch einige grundlegende Fragen nicht beantworten können:

Kann der HQS einen verbesserten Katalog Weißer Zwergsterne bereitstellen, auf dessen Grundlage sich die Raumdichte, Leuchtkraftfunktion und Massenverteilung der WZ neu bestimmen ließe? In diesem Zusammenhang ist vor allem entscheidend, ob die Selektionseffekte, denen aus dem HQS ausgewählte Sterne zwangsläufig auch unterliegen, nachvollziehbar und quantitativ erfassbar sind.

Erlaubt die Kandidatenauswahl anhand der HRS-Spektren, zuverlässig zumindest Hauptreihensterne und Horizontalaststerne auszuschließen, so dass sich der Aufwand an Nachbeobachtungen minimieren lässt?

Bis zu welchen Grenzen in Helligkeit und Farbe, d. h. vor allem Effektivtemperatur, ist eine Identifikation Weißer Zwerge in den Feinscans möglich? Da die Feinscans bereits nach einem im wesentlichen farbbasierten Kriterium aus den Grobscans ausgewählt sind, ist auch zu klären, in welchem Umfang kühlere, also röttere WZ überhaupt noch vom Quasarsuchkriterium erfasst werden. Zwar sind bei den Nachbeobachtungen DA mit $T_{\text{eff}} < 10\,000\text{ K}$ gefunden worden, jedoch in zu geringer Zahl, um Aussagen über die Vollständigkeit machen zu können.

Da einer der interessantesten Aspekte einer vollständigen Auswertung der WZ-Komponente des HQS die Suche nach neuen ZZ Ceti-Veränderlichen, also DAV im Temperaturbereich um 11 000 K ist, ist die Temperaturgrenze von großer Bedeutung.

Eine Beantwortung dieser Frage erfordert notwendig eine automatisierte Klassifikation der HRS-Spektren. Nur mit quantitativ beschreibbaren Kriterien lassen sich Selektionseffekte kontrollieren und subjektive Einflüsse ausschalten. Daher sollte eine solche Klassifikation möglichst unabhängig von den visuell festgelegten Klassen arbeiten. Da dies eine Neubestimmung sämtlicher Feinscans nötig macht – annähernd 1.9 Mio. Spektren – setzt schon der Arbeitsaufwand ein automatisiertes Verfahren fast zwingend voraus. Für differenziertere Untersuchungen der Vollständigkeit, insbesondere zur Bestimmung der Abhängigkeit von Helligkeit und Farbe, sind außerdem Vergleiche mit größeren Stichproben bekannter Weißer Zwerge, nach Möglichkeit mit einer Unterscheidung nach Temperaturen erforderlich. Für einen Teil des HQS – 105 Felder – ist bereits untersucht worden, wie vollständig WZ vom Quasarsuchkriterium erfasst werden, wobei bis zum Spektraltyp DA 7, also bis zu Temperaturen von etwa 7000 K, keine nennenswerten Verluste festzustellen waren (Kusch 1991). Die Statistik für kühlere DA ist aber in dieser Untersuchung so schlecht, dass eine sichere Temperaturgrenze nicht festgelegt werden konnte.

Für das südliche Gegenstück des HQS, den Hamburg/ESO-Survey, ist von Christlieb (1995, 2000) ein automatisiertes Klassifikationsverfahren entwickelt worden, das die Berücksichtigung einer Reihe spektraler Merkmale wie Äquivalentbreiten verschiedener Linien und Energieverteilungen oder Pseudofarben erlaubt. Mittels Lernstichproben für eine gegebene Objektklasse ist eine automatische Auswahl der optimalen Merkmalskombination für die Klassifikation möglich. Diese Methode der automatischen Klassifikation hat in der Anwendung auf Weiße Zwerge allerdings noch eher unbefriedigende Ergebnisse erzielt. Zum Teil liegt dies daran, dass die Merkmalsgewinnung für die Klassifikation von kühleren Sternen auf Basis der MK-Klassen entwickelt wurde und z. B. bei der Bestimmung von Äquivalentbreiten nicht die starke natürliche Linienverbreiterung bei Weißen Zwergen berücksichtigt. Bessere Resultate konnten hier mit „von Hand“ festgelegten Grenzen im Merkmalsraum erzielt werden (Christlieb 2000; Christlieb et al. 2001). Eine direkte Übernahme der für den HES entwickelten Verfahren ist dennoch nicht ohne weiteres möglich, da die spektrale Auflösung im HQS 2.5- bis 3mal niedriger und das Plattenmaterial von deutlich geringerer Homogenität ist. Ersteres bedeutet, dass auch in den HRS-Spektren des HQS bis auf starke Balmerlinien praktisch keine individuellen Spektrallinien aufgelöst werden können, letzteres, dass die Kalibration von Farben oder Energieverteilungen weitaus problematischer ist. Ein technisches Problem besteht zudem darin, dass die Analysesoftware des südlichen Surveys für die im MIDAS-Format archivierten Spektren des HES konzipiert ist, wogegen die Daten des nördlichen Surveys bisher ausschließlich im Rohformat des PDS-Steuerrechners vorlagen und in dieser Form weiter untersucht wurden. Diese Arbeit hat allein die Untersuchung Weißer Zwergsterne zum Primärziel. Daher ist auch keine vollständige Reproduktion der Fähigkeiten der HES-Klassifikation angestrebt. Die Entwicklung eigener Klassifikationsmethoden ist auf der anderen Seite durchaus wünschenswert, um eventuell einmal einen Vergleich

verschiedener Stichproben vornehmen zu können, die nach verschiedenen Verfahren unabhängig voneinander ausgewählt sind.

4.2 Aufbereitung und Archivierung der HRS-Daten

Für die Durchführung dieses Klassifikationsprojektes wurden uns von der Hamburger Sternwarte die Originaldaten sämtlicher High Resolution Scans im Ursprungsformat zur Verfügung gestellt, so dass zunächst eine Erschließung des Datenmaterials erforderlich war. Wir haben uns entschieden, die Daten für alle weiteren Arbeiten zunächst in Dateien im FITS-Format (*Flexible Image Transport System*) umzuwandeln. Dieses System zur Archivierung und Übermittlung astronomischer oder anderer physikalischer Daten definiert ein standardisiertes und portables Dateiformat (Wells, Greisen & Harten 1981; NOST 1999). Damit bietet es hardwareunabhängige Speicherung, die Möglichkeit, Standardsoftware zur Bearbeitung zu benutzen, und erlaubt für künftige Arbeiten mit den Spektren einen offen dokumentierten Zugriff auf die Daten.

4.2.1 Die Datenformate des HQS

Das Signal auf der photographischen Platte, die Schwärzung oder *Density* D , ist definiert als negativer Logarithmus der Transmission, d. h. des von der entwickelten Platte durchgelassenen Anteils I_t des einfallenden Lichts I_0 (Kodak 1973):

$$D := \log \frac{I_0}{I_t} = \log \tau = -\log T. \quad (4.1)$$

Gelegentlich wird auch der Kehrwert der Transmission, die Opazität τ , angeführt. Je nachdem, ob nur das geradeaus durchfallende Licht oder auch das seitlich gestreute gemessen wird, ist zwischen gerichteter oder *spekularer* und *diffuser* Schwärzung zu unterscheiden. Letztere wird oft bei Kalibrationsmessungen im Labor angegeben; das PDS-Mikrodensitometer hingegen misst spekulare Densities. Diese werden in 12-Bit-Werten (*counts*), also mit Zahlenwerten von 0 bis 4092 digitalisiert. Die Digitalisierung erfolgt dabei in 4er-Schritten, so dass die tatsächliche Digitalisierungstiefe 10 Bit, oder 1024 Stufen, beträgt (Christlieb 1995). 800 dieser PDS-counts entsprechen der Schwärzung 1. Die Nullpunktskalibration, die durch Einregelung des Verstärkers des Photomultipliers einstellbar ist, bezieht sich jedoch auf eine Schwärzung unterhalb der Hintergrundschwärzung D_B , aber oberhalb der leeren Platte¹:

$$cts_i = 800 \cdot (D - D_0) \quad (4.2)$$

mit $0 < D_0 < D_B$.

Im HRS-Verfahren kann diese Skala außerdem zur Erhöhung des Dynamikbereichs lokal angepasst werden, d. h. in Bereichen der Platte mit hohem Hintergrund wird der Nullwert durch Reduzierung der Verstärkervorspannung angehoben. Das

¹Auch die leere, d. h. unbelichtete oder nicht entwickelte Platte hat eine Eigenopazität und einen so genannten Grundschleier (*Base Fog*), die jedoch deutlich unter den bei den Prismenplatten erreichten Hintergrundschwärzungen liegen und daher hier vernachlässigt werden sollen.

Endsignal ist wieder um die Nullpunktsschwärzung berichtigt, so dass der ausgegebene Messwert auch mehr als 4092 *counts* betragen kann (Hagen, *priv. comm.*):

$$cts_e = cts_i + 800 \cdot D_0 \quad (4.3)$$

In Publikationen zum HQS und HES wird häufig die Density in *counts*, oft als Wert relativ zum Hintergrund angegeben.

Neben dem vollständigen LRS-Datensatz, der in einem eigenen Dateiformat archiviert ist, werden beim anschließenden Feinscan für jede Platte zwei Dateien angelegt. In die Spektrendatei, durch die Endung *'hrs'* bezeichnet, werden im Binärformat die von der PDS ausgegebenen Schwärzungswerte aller im HRS-Modus extrahierten Spektren hintereinander eingelesen. Zusätzlich wird vor jedes HRS-Spektrum nochmals das zugehörige LRS-Spektrum geschrieben. Während das HRS-Spektrum stets 301 Schwärzungswerte umfasst, werden im LRS nur die oberhalb des Hintergrunds detektierten Pixel aufgezeichnet; die Länge dieses Spektrums kann daher zwischen etwa 12 und 26 Werten variieren. Damit ist auch der Abstand der Spektreneinträge in der *hrs*-Datei variabel.

Die für den Zugriff auf die Spektren in der *hrs*-Datei benötigten Informationen werden in einer Verzeichnis-Datei mit dem Suffix *'hrd'* aufgezeichnet. Sie enthält außerdem Informationen zur Platte, zum Scanprotokoll und zur Astrometrie und Photometrie der Spektren. Weiter werden dort bei der visuellen Klassifikation die Zuordnungen zu den einzelnen Klassen eingetragen. Die folgende Beschreibung bezieht sich auf die Form, in der ich die Dateien erhalten habe, d. h. nach abgeschlossener visueller Klassifikation und Positionsbestimmung für die einzelnen Spektren, für die die astrometrische Lösung der Direktplatten verwendet wird.

Für viele Felder existieren mehrere Prismenplatten. Diese werden aber stets gemeinsam klassifiziert, wobei maximal die zwei besten Platten verwendet werden. Einer der Scans, in der Regel der mit der besten Plattenqualität wird dabei als Klassifikationsdatensatz definiert. Zwei Datensätze eines Feldes enthalten daher stets dieselbe Anzahl an Feinscans und identische Klassifikationen.

Die Daten zur gesamten Platte sind in den ersten 168 Byte der *hrd*-Datei als *C-structure* eingetragen:

```
struct hrs_par
{
    char header[100];
    char refnam[2][20];
    long refpos[2][2];
    long inc, lrsinc, spec_cnt;
};
```

Dabei bedeuten:

header: Nr. der Platte und des Feldes, Scandatum und verwendete Emulsion als Textstring.

refnam: Bezeichnung zweier Referenzsterne aus dem AGK 3, die zur internen Astrometrie auf der Prismenplatte verwendet werden.

refpos: Position der Referenzsterne auf der Platte in μm .

inc, lrsinc: Schrittweite von HRS und LRS in μm , im HQS sind dies stets 10 bzw. 100.

spec_cnt: Anzahl der HRS-Spektren

Für jedes HRS-Spektrum folgen Informationen in Form je einer weiteren *structure*:

```
struct hrssto
{
    short lrsnum, lrsnum2;
    short bckgrnd, rsvd1, maxamp, nphrs, nplrs;
    short pos[2][2], offset, offset2;
    char classind;
    unsigned char rededge, bright;
    char prop;
};
```

Die für die Auswertung wesentlichen Informationen sind hier:

lrsnum: Nr. des zugehörigen Grobscans im LRS-Datensatz.

bckgrd: Hintergrundschwärzung in PDS-Einheiten.

maxamp: Maximale Schwärzung des Spektrums in PDS-Einheiten.

nphrs: Länge des HRS-Spektrums (stets 301).

nplrs: Länge des LRS-Spektrums.

pos: Position. Diese ist kodiert: Je nachdem, ob eine astrometrische Lösung von der Direktplatte existiert, Himmelskoordinaten anhand der Position auf der Platte bestimmt wurden oder nur die Plattenkoordinaten vorliegen, ist $2 \cdot 10^8$, $1 \cdot 10^8$ oder 0 zum Zahlenwert addiert. Himmelspositionen sind in 0.1 arcsec angegeben, Plattenpositionen in μm .

offset: Position des Spektrendatensatzes in der hrs-Datei, gemessen in Bytes vom Dateianfang an.

classind: Index für die HRS-Klasse nach visueller Klassifikation.

rededge: Offset der Rotkante des Spektrums vom Beginn des HRS.

bright: B_J -Helligkeit in 0.1 mag.

Die Zahlenwerte für lrsnum, pos und offset werden vom KWS-Steuerrechner, der auf einem 16-Bit-Prozessor basiert, jeweils als *zwei* 16-Bit-Zahlen geschrieben und müssen zunächst in einen 32-Bit-Wert kopiert werden. Beim Einlesen der Daten in einer 32-Bit-Architektur muss außerdem die Länge der je 30 Byte langen Einträge auf 32 Byte aufgefüllt werden, da *structures* hier entlang 4-Byte-Grenzen angeordnet werden. Unter Kenntnis des Offset-Wertes und der Spektrenlänge ist damit das Auslesen jedes Spektrums aus der hrs-Datei möglich.

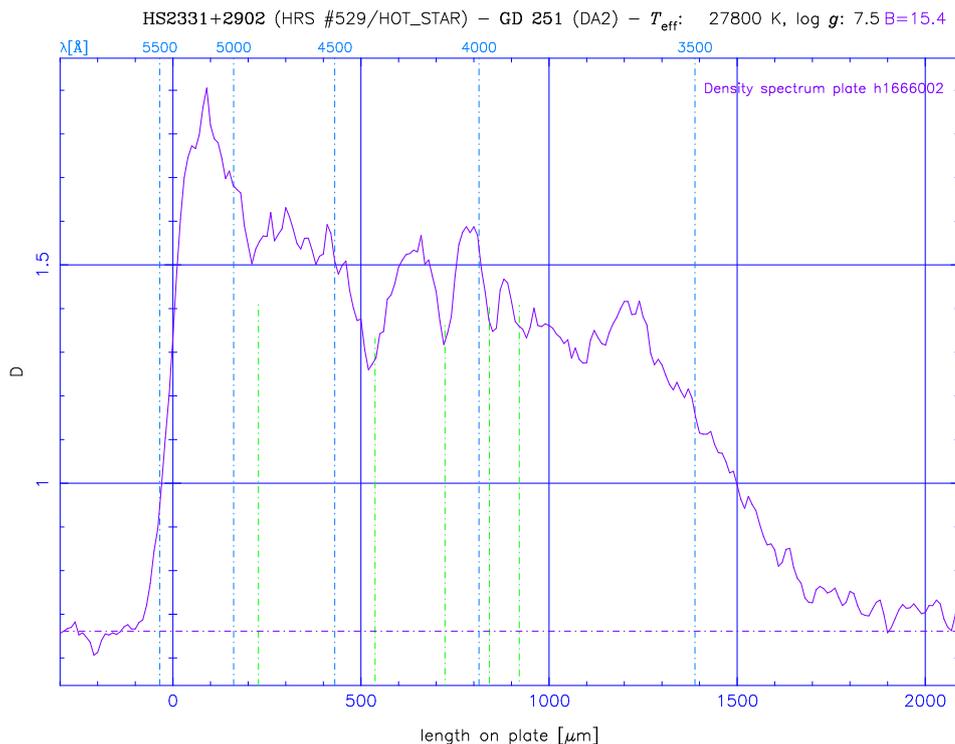


Abbildung 4.1: HRS-Spektrum eines Weißen Zwergs vom Spektraltyp DA2 mit sichtbarer Balmerserie und hohem Fluss im UV (die Lage der Balmerlinien ist durch senkrechte Linien markiert)

4.2.2 Die Umwandlung in FITS-Tabellen

Für die Konversion der HRS-Daten in ein Arbeitsformat sind außer den schon angeführten Aspekten der Maschinenunabhängigkeit und der Präferenz für ein standardisiertes, dokumentiertes Format folgende Kriterien zu berücksichtigen gewesen:

Die existierenden Daten sollten möglichst vollständig ohne Informationsverlust erfasst werden.

Zu einem Feld gehörige Daten sollten im Sinne einer übersichtlichen Archivierung in jeweils einer Datei zusammengefasst werden. Vorzugsweise wären dabei auch weitere Informationen z. B. zu Beobachtungsbedingungen, Ergebnissen der Scanprotokolle etc., die auf verschiedene Tabellen und Listen verteilt vorliegen, mit zu erfassen.

Auch die umgewandelten Daten sollten in möglichst kompakter Form bleiben, um den Speicherbedarf in Grenzen zu halten. Eine Konversion in direkt menschenlesbare ASCII-Tabellen wurde daher letztlich verworfen: Der Platzbedarf pro Spektrum hätte sich dadurch minimal auf ca. 1800 Byte verdreifacht, womit der gesamte Speicherplatz für die unkomprimierten Daten auf 3.5 GByte oder mehr angewachsen wäre. Vor allem aber würde die Einlesegeschwindigkeit gegenüber binär gespeicherten Daten drastisch sinken.

Für die Suche nach Weißen Zwergen sollten auch Abgleiche mit Katalogen schon be-

kannter WZ durchgeführt werden. Optional war deshalb auch eine Aufnahme der Daten identifizierter Sterne in die Dateien erwünscht.

Diese Forderungen werden weitestgehend von Binärtabellen im FITS-Format erfüllt. Tabellen sind (in ASCII-Form) seit längerem als Erweiterung im FITS-Standard definiert (Grosbol et al. 1988; Harten et al. 1988). Die *Binary Table Extension* ist in neuere Versionen des Standards aufgenommen (NOST 1999).² Die Header-Struktur von FITS-Dateien erlaubt zudem eine fast unbegrenzte Aufnahme von Zusatzinformationen als Schlüsselworte. Da eine Datei mehrere Erweiterungen mit Tabellen enthalten kann, ist auch die Zusammenfassung der zu einem Feld existierenden Scans problemlos möglich.

4.2.2.1 Datenerfassung

Für die Arbeiten mit den HRS-Binärdaten wurden mir von H.-J. Hagen freundlicherweise seine in Hamburg zur Auswertung verwendeten Programme im Quelltext zur Verfügung gestellt, so dass ich zum Einlesen der Dateien größtenteils auf die dort existierenden Eingaberroutinen zurückgreifen konnte. Der vollständige HRS-Datensatz des HQS enthält in der endgültigen Fassung 1 889 000 digitalisierte Spektren von 961 Objektivprismenplatten, auf denen etwa 1 050 000 Objekte erfasst sind. Damit sind 549 der 567 Felder des HQS abgedeckt; für die verbleibenden, auf niedrigen galaktischen Breiten liegenden Felder sind zwar Platten aufgenommen worden, doch wurde wegen der sehr hohen Sternzahlen keine Klassifikation mehr durchgeführt.

Neben den eigentlichen Binärdateien mit den HRS-Daten wurden Informationen aus folgenden Dateien erfasst:

Eine Liste der nominellen Positionen und Ausdehnungen der Felder.

Koordinaten der für die Spektralplatten verwendeten AGK-Referenzsterne für das Äquinox 1950.

Der Katalog des Hamburger Schmidtplattenarchivs (Hamburger Sternwarte 1997) mit Beobachtungsdatum, tatsächlicher Position des Plattenzentrums, Belichtungszeit, Emulsionstyp (IIIa-J für alle HQS-Platten), Filter (im HQS keiner), Aufnahmemodus (1°-Prisma für die Spektralplatten, keines für Direktplatten), Weitung des Spektrums (bei HQS-Aufnahmen nicht durchgeführt und Qualität der Platte nach einer Note von A–E).

Die Zusammenfassung der von Prof. U. Haug (†) eingeführten Beobachtungsprotokolle, die zusätzlich zu den Angaben des Plattenkatalogs noch folgende Informationen enthält:

Belichtungsfolge

Anfangszeit der Aufnahme in UT

Eine Benotung von Durchsicht, Ruhe und Schärfe

²Dies ist zum Zeitpunkt der Datenaufbereitung eine Entwurfsfassung (Draft Standard NOST 100-1.2) gewesen. Da die offiziell verabschiedete Version wiederum Binary Tables erst als Entwurf (*Proposed Extension*) vorsah, habe ich mich nach der Beta-Version gerichtet.

Beobachter

Emulsionsnummer (*Batch*) der Platte

Zur Hypersensibilisierung angewandte Backzeit in Stunden

Lufttemperatur in der Kuppel

Luftfeuchtigkeit in der Kuppel

Auszüge aus dem Scanprotokoll mit Messungen der Seeing-Halbwertsbreite, des mittleren Plattenhintergrunds, der Anzahl der LRS-Spektren, einer Qualitätsbeurteilung auf einer Skala von 1–5 und der Magnitudo B_{300} , definiert als Blauhelligkeit, bei der eine Schwärzung von 300 *counts* über dem Hintergrund erreicht wird.

Die Einträge aus obigen Listen werden automatisch sortiert und den entsprechenden Feldern bzw. Platten zugeordnet und mit HRS-Daten der ein oder zwei zu einem Feld vorliegenden Platten jeweils in einer Datei für ein Feld zusammengefasst.

Für die Suche nach Weißen Zwergsternen werden außerdem Kataloge bekannter stellarer Objekte in den Datensatz aufgenommen. Die Identifikation dieser Sterne mit Spektren aus dem HQS wird weiter unten beschrieben.

4.2.2.2 1 + 3 = 2

Für einen Teil der Prismenplatten existieren zwei Datensätze mit Feinscans, die in separaten Durchläufen digitalisiert worden sind. Dies ist historisch auf eine Modifikation des Quasarsuchkriteriums in der Anlaufphase des Surveys zurückzuführen. Nach Auswertung der Ergebnisse der ersten Plattenscans wurde die Auswahlgrenze im Steigungs-Densitysummen-Diagramm der LRS-Spektren für schwache Objekte etwas relaxiert und die Behandlung von Ausreißern im Spektrum verbessert, um eine vollständigere Erfassung der Quasarkandidaten zu erreichen. Die Scans der zweiten Generation, an Dateinamen der Form $\langle \text{Plattennr.} \rangle 002.\text{hrs}$ erkenntlich, enthalten daher eine umfangreichere HRS-Auswahl als die der ersten Generation ($*001.\text{hrs}$). Für die älteren Platten sind daraufhin generell nicht komplett neue HRS-Dateien extrahiert worden, sondern für eine weitere Digitalisierung wurden die *nur* nach dem neuen Kriterium anfallenden Quasarkandidaten ausgewählt und in einen zusätzlichen Datensatz geschrieben, der Dateinamen der Form $*003.\text{hrs}$ erhalten hat. Um vollständige Feinscan-Datensätze dieser Platten nach dem aktuellen Quasarkriterium zu erhalten, müssen daher die 001- und 003-Dateien kombiniert werden (Hagen, *priv. comm.*).

Eine Zusammenfassung beider Scanversionen zu einer Spektrentabelle ist technisch problematisch, da nicht in allen Fällen die gleichen Platten für die Klassifikationsdateien gewählt wurden. Für einige Felder in niedrigeren galaktischen Breiten sind die zusätzlichen Daten auch nicht mehr klassifiziert worden, da dort nach dem neueren Kriterium z. T. über 5000 Spektren pro Platte selektiert werden. So existieren für das Feld 02.5/01 z. B. die Prismenplatten H0752, H0758 und H3157, aus denen die Datensätze h0758001, h0752001, h3157003 und h0758003 (jeweils als .hrs- und .hrd-Datei) erstellt wurden. Die Daten beider Scandurchläufe können aber, da sie komplementär sind, im wesentlichen unabhängig voneinander untersucht werden. Für die

betreffenden Felder wurden daher jeweils zwei FITS-Dateien erstellt, im obigen Beispiel 02.5_01_1.fits und 02.5_01_3.fits. Die übrigen Felder sind in je einer Datei der Form *_2.fits archiviert.

4.2.2.3 Aufbau der FITS-Datensätze

Die FITSIO/CFITSIO-Bibliothek (Pence 1998) bietet für C und FORTRAN eine komfortable Programmierschnittstelle für die Datenein- und -ausgabe im FITS-Format und gewährleistet dabei einen standardkonformen Aufbau der Dateien. Zusätzlich stellen sie eine Reihe nützlicher Zusatzfunktionen für Datumsbearbeitung, astrometrische Umformungen etc. zur Verfügung. Alle in dieser Arbeit benutzten Programme zur Erstellung des HRS-Archivs und zur Analyse der archivierten Spektren bedienen sich für den Datenzugriff daher generell der Im- und Exportfunktionen dieses Packets. Ein weiterer Vorzug ist die Fähigkeit der FITSIO-Routinen, beim Lesezugriff transparent auf die GNU zip-Kompressionsfunktionen (*zlib*) zurückzugreifen. Die Dateien können daher problemlos *gzip*-komprimiert gespeichert werden. Da die HRS-Daten bereits sehr kompakt sind, ist der Kompressionseffekt zwar relativ gering, kann aber immerhin 30–35% Platzersparnis bewirken.

Die FITS-Datei ist aus mehreren so genannten *Header/Data Units* (HDU) aufgebaut, die jeweils eine Headersektion und einen Datenteil enthalten. Die erste HDU enthält die Headerinformationen für das Feld (der Datenteil ist leer, da in der primären HDU nur Bilddateien erlaubt sind). Darauf folgen ein oder zwei *Extension HDUs*, deren Header jeweils Informationen zu den einzelnen Platten enthält (siehe Anhang B). Insbesondere ist dort das Format der Binärtabelle beschrieben, in der die Spektren selbst und die Objektinformationen aufgezeichnet sind. Jede Tabellenspalte kann einen einzelnen Eintrag (Skalar) oder ein Feld von Einträgen (Vektor oder Matrix) in einem der gültigen FITS-Datenformate enthalten, die im Wesentlichen den FORTRAN-Formaten entsprechen. Der Header gibt die Bezeichnung des Datenfeldes (TTYPEn), das Format (TFORMn), optional die physikalische Einheit (TUNITn), einen Skalierungsfaktor (TSCALEn) und Nullpunkt (TZEROn) an.

Jede Tabellenzeile enthält die vollständigen Daten der hrd-Datei (Spalten 12 bis 24), das LRS-Spektrum (Spalte 25) und das HRS-Spektrum (Spalte 26). Zusätzlich sind 11 Spalten eingerichtet, um Katalogdaten von Objekten, die aus der Literatur identifiziert werden konnten, aufzunehmen. Es hat sich als großer Vorteil der Flexibilität der Tabellendefinition erwiesen, dass die Daten im Binärformat der HRS-Dateien nahezu ohne Modifikationen als gültige Binärtabelle übernommen werden können! Dem kommt zusätzlich entgegen, dass das native Datenformat des KWS-Rechners *big endian* ist, was auch als Standard für FITS-Binärdaten festgelegt ist. Von den eingelesenen Daten werden daher lediglich die in 32-Bit-Format umzuwandelnden Werte für `lrsnum`, `pos` und `offset` modifiziert³. Die LRS-Spektren werden mit Nullwerten auf eine einheitliche Länge von 26 Pixeln aufgefüttert. Zwar gibt es auch Möglichkeiten zur Definition von Feldern variabler Länge, doch würde der zusätzliche Overhead in diesem Fall den Platzgewinn mehr als aufwiegen. Das HRS-Spektrum wird gleichfalls

³Diese Umwandlung wurde auf Sparc- und Ultrasparc-Workstations durchgeführt, die ebenfalls auf einer *big endian*-Prozessorarchitektur basieren. Daher ist hier, anders als z. B. auf Intel-kompatiblen PCs, gleichfalls keine Korrektur der Binärdaten erforderlich gewesen.

The image shows two screenshots of the FITS-Viewer software interface. The top screenshot displays a table with columns: Spectrum_Y (1J), Spectrum_X (1J), Type (6A), Name (10A), T_eff (1I), log_g (1B), u_V (1B), Parallax (1I), Proper_Motion (1I), Pos.Angle (1B), Pos.Diff (1B), LRS_No (1J), and Background (1I). The data rows include values for wavelength in microns and flux density in dex. The 11th row is highlighted in yellow.

The bottom screenshot displays a table with columns: rsrvc (1I), Max.Amplitude (1I), NPoint_HRE (1I), NPoint_LRS (1I), RA1950 (1J), DEC1950 (1J), Offset (1J), Class (1B), Greenhead (1B), B.Magnitude (1B), Astrometric (1B), LRS_Density (26I), and HRS_Density (302I). The data rows include values for flux density and position in degrees. The 11th row is highlighted in yellow.

Abbildung 4.2: Darstellung der Tabelle mit den HRS-Daten im FITS-Viewer *fv*

um ein Pixel verlängert, was die Gesamtlänge einer Zeile auf 720 Byte bringt – exakt ein Viertel der Länge eines FITS-Datenblocks. Die so vorbereiteten Daten werden direkt als Bytestrom in die FITS-Datei geschrieben, was den Datendurchsatz gegenüber der Verwendung der regulären Routinen für den Zugriff auf Tabellenfelder deutlich steigert.

Die Umrechnung der Daten in physikalische Einheiten wird durch die entsprechenden Schlüsselworte für Skalierung und Einheit im Header definiert. Diese werden von den meisten Ausgabeprogrammen automatisch interpretiert, so dass etwa die Schwärzungswerte der Spektren unmittelbar als physikalische Densities exportiert werden, ohne dazu in der Datei selbst im REAL-Format gespeichert werden müssen.

4.2.2.4 Astrometrische Bearbeitung

Die Positionseinträge in den .hrd-Katalogdateien enthalten nicht für alle Objekte astrometrische Koordinaten, da nicht immer ein Gegenstück des Spektrums auf der Direktplatte gefunden werden konnte. Teilweise ist dies durch die nicht exakte Übereinstimmung der Plattenpositionierung bedingt. In einigen Fällen sind statt dessen Himmelskoordinaten angegeben, die aus den Positionen auf der Prismenplatte bestimmt wurden, in anderen liegen nur die Plattenkoordinaten selbst vor (vgl. Abschnitt 4.2.1). Im letzteren Fall müssen anhand der Plattenkoordinaten zumindest genäherte Himmelspositionen bestimmt werden. Ein einfaches Instrument hierfür bieten die astrometrischen Bibliotheksroutinen `fits_pix_to_world`, `fits_world_to_pix` und

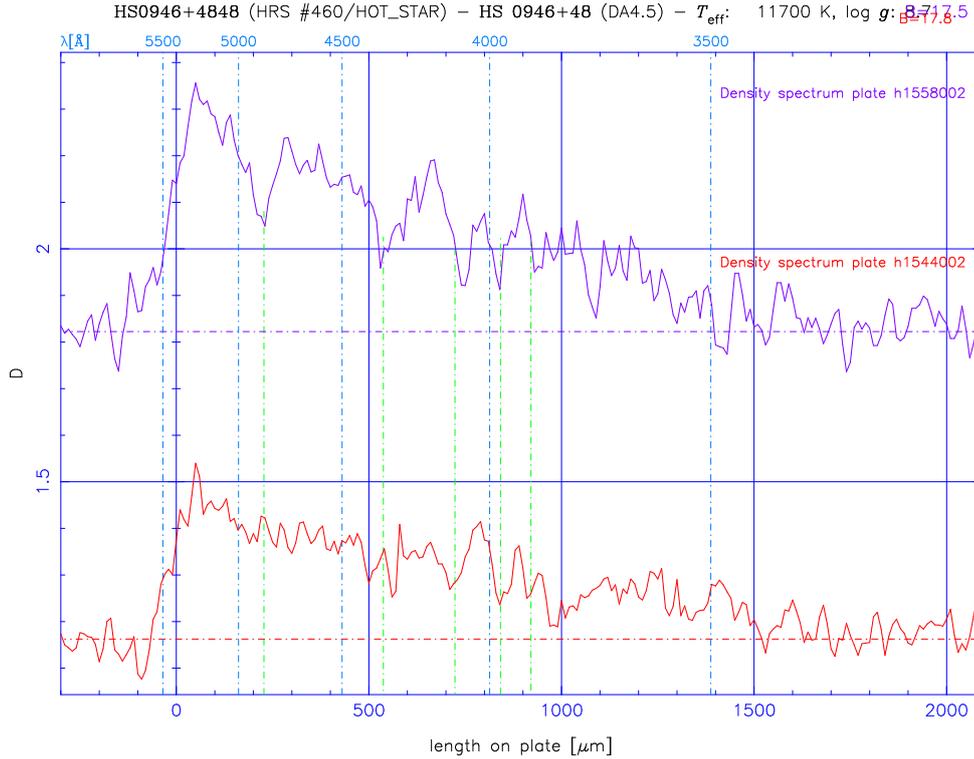


Abbildung 4.3: HRS-Spektren eines kühleren Weißen Zwergergs vom Spektraltyp DA4.5 mit deutlich sichtbaren Balmerlinien. Die Scans beider Platten des Feldes sind gezeigt

`fits_read_tbl_coord`, welche die Transformation von Bildkoordinaten (Plattenpositionen) in Weltkoordinaten (Himmelspositionen) und zurück für eine Reihe verschiedener Projektionen ermöglichen. Diese Umformungen sind durch eine Reihe verschiedener Schlüsselworte im Header definiert (Greisen & Calabretta 1993, 1995; Calabretta & Greisen 2000) und setzen sich formal aus zwei Abbildungen zusammen: Eine lineare Transformation zwischen Bildkoordinaten und *intermediären Weltkoordinaten*, bestehend aus Rotation, Translation, Skalierung und optional Scher, stellt die Umformung von Pixelwerten in physikalische Dimensionen dar (Greisen & Calabretta 2000). Die Pixelwerte können dabei den Bildpunkten einer *Image*-HDU oder, wie im vorliegenden Fall, Pixellisten in einer Tabelle entstammen. Der Formalismus ist nicht prinzipiell auf zweidimensionale Räume beschränkt, für diesen Fall ist aber die Darstellung der linearen Transformation

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{CD}_{11} & \text{CD}_{12} \\ \text{CD}_{21} & \text{CD}_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_r \\ y - y_r \end{pmatrix}. \quad (4.4)$$

Hier beschreibt $\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$ die Pixelwerte, $\begin{pmatrix} x_r \\ y_r \end{pmatrix}$ die Pixelwerte des Referenzpunktes und $\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix}$ die intermediären Koordinaten. Die Matrix **CD** beschreibt Rotation, Skalierung und Scher. Nach einer älteren Konvention wird die Transformation statt dessen durch zwei Skalenfaktoren und einen Rotationswinkel beschrieben; sie stehen zur **CD**-Matrix in

der Beziehung

$$\begin{pmatrix} CD_{11} & CD_{12} \\ CD_{21} & CD_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} CDELT_1 \cos(CROTA_2) & -CDELT_2 \sin(CROTA_2) \\ CDELT_1 \sin(CROTA_2) & CDELT_2 \cos(CROTA_2) \end{pmatrix}. \quad (4.5)$$

Diese Darstellung ist als veraltet deklariert, wird allerdings noch von vielen Programmen benutzt, so auch den astrometrischen Routinen von FITSIO.

Die intermediären Weltkoordinaten wiederum werden durch eine sphärische Projektion auf die Himmelskoordinaten abgebildet. Die Art der Projektion ist dabei auf die Optik des Instruments abzustimmen; für Schmidtplatten kann als einfache Näherung die *Äquidistante Zenitprojektion* verwendet werden, durch das Schlüsselwort „-ARC“ gekennzeichnet (Calabretta & Greisen 1999). Es können auch Modelle für aufwendigere Lösungen dargestellt werden, die die Verzeichnungen von Platte und Optik berücksichtigen, wie es auch für die astrometrische Lösung auf den Direktaufnahmen durchgeführt wurde. Für die Arbeit mit den HRS-Daten standen jedoch die nötigen Koeffizienten (für die Direktplatten neun freie Parameter) nicht zur Verfügung.

Beide Transformationsschritte werden von den Bibliotheksfunktionen durchgeführt, erfordern aber die Angabe des Referenzpunktes für die Projektion in Bild- und Weltkoordinaten sowie der Elemente der Transformationsmatrix. Der Bezugspunkt für die Projektion von Himmels- auf intermediäre Weltkoordinaten ist durch die optische Achse des Teleskops definiert und wird am besten durch die Koordinaten des Plattenzentrums laut Beobachtungslog gegeben. Die **CD**-Matrix und die Pixelkoordinaten des Zentrums müssen mithilfe der beiden AGK-Referenzsterne bestimmt werden, die mit Bild- und Weltkoordinaten bekannt sind. Hierzu wird zunächst für die Referenzsterne eine Transformation in intermediäre Koordinaten in Bezug auf das Plattenzentrum durchgeführt, indem **CD** = **1** und die Translation auf 0 gesetzt wird. Es liegen nun je zwei intermediäre und Pixelkoordinaten vor, die Gl. 4.4 erfüllen. **CD** wird nun als eine reine Rotations- und Multiplikationsmatrix angesetzt – mit nur zwei Referenzpunkten ist kein Scherterm zu bestimmen. Dann ist $CD_{11} = CD_{22}$ und $CD_{12} = -CD_{21}$, und die Matrixelemente lassen sich auflösen nach

$$\begin{aligned} CD_{11} = CD_{22} &= \frac{(\xi_1 - \xi_2)(x_1 - x_2) + (\eta_1 - \eta_2)(y_1 - y_2)}{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \\ -CD_{21} = CD_{12} &= \frac{(\xi_1 - \xi_2)(y_1 - y_2) - (\eta_1 - \eta_2)(x_1 - x_2)}{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Die Pixelkoordinaten des Referenzpunktes erhält man schließlich durch

$$\begin{aligned} x_r &= x_i - \frac{\xi_i CD_{11} + \eta_i CD_{21}}{\det(\mathbf{CD})} \\ y_r &= y_i - \frac{\xi_i CD_{21} + \eta_i CD_{11}}{\det(\mathbf{CD})}, \end{aligned} \quad (4.7)$$

wobei als Test der Lösung die Koordinaten für $i = [1,2]$ verglichen werden. Aus den Elementen von **CD** können Skalenfaktor und Rotationswinkel berechnet werden:

$$CDELT_1 = CDELT_2 = \sqrt{\det(\mathbf{CD})} \quad (4.8)$$

$$\text{CROTA}_2 = \arctan\left(\frac{\text{CD}_{21}}{\text{CD}_{11}}\right) \quad (4.9)$$

Mit diesen Parametern stehen die notwendigen Informationen für alle Umwandlungen von Plattenpositionen in Himmelskoordinaten oder umgekehrt zur Verfügung. Die Plattenpositionen bleiben in den ersten beiden Tabellenspalten erhalten. Für die Objekte mit astrometrischen Koordinaten werden ebenfalls Plattenpositionen bestimmt, die allerdings wiederum nur Näherungslösungen sind, da die ursprünglichen Pixelwerte in den hrd-Dateien nicht mehr erhalten sind. In den Spalten 18 und 19 werden die uncodierten Himmelskoordinaten gespeichert, die Klassifikation erfolgt durch einen eigenen Eintrag in Spalte 24 mit 0 für neu berechnete, 1 für vorhandene Koordinaten von den Prismenplatten und 2 für Astrometrie von den Direktplatten.

4.2.2.5 Zenitdistanz und Airmass

Für die spätere Interpretation der Spektren ist zur Berücksichtigung der atmosphärischen Extinktion die Kenntnis der *Airmass*, der Dicke der vom Sehstrahl durchquerten Luftsäule relativ zu einer Zenitbeobachtung, wichtig. Diese wird aus der Zenitdistanz des Teleskops während der Aufnahme bestimmt. Der Einfachheit halber wird hier die Teleskopposition nach der Hälfte der Belichtungszeit zugrundegelegt. Für diese findet man aus der Ortszeit mit einem groben Ansatz für die Zeitdifferenz zum Herbstäquinoktium die Sternzeit

$$t_\star = \left(t_\odot + (30(m-1) + d - 263) \cdot \frac{86400}{365.24} \right) \pmod{86400} \quad (4.10)$$

(in Sekunden), wobei t_\odot die mittlere örtliche Sonnenzeit, m der Monat und d der Tag der Beobachtung sind. Der durch die Annahme konstanter Monatslänge entstehende Fehler ist stets kleiner als 20 min. Aus Sternzeit und Rektaszension α wird der Stundenwinkel

$$\tau = t_\star - \alpha \quad (4.11)$$

bestimmt. Damit ergibt sich aus dem sphärischen Dreieck mit Deklination δ und geographischer Breite ϕ

$$\cos z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \tau \quad (4.12)$$

die Zenitdistanz z , aus der die Airmass zu

$$X = \sec z - 0.001816(\sec z - 1) - 0.002875(\sec z - 1)^2 - 0.000808(\sec z - 1)^3 \quad (4.13)$$

berechnet werden kann (Formel für $z < 80^\circ$ nach Walker 1987⁴).

4.3 Vergleich mit Katalogen klassifizierter Sterne

4.3.1 Datenbasen spektroskopisch identifizierter heißer Sterne

Zur Untersuchung der Vollständigkeit jeder Selektion im HQS ist ein Vergleich mit unabhängig davon identifizierten Objekten erforderlich. Um hier nach verschiedenen

⁴Die höheren Terme sind hier allerdings deutlich kleiner als die Variation von $\sec z$ über eine Platte!

Parametern, insbesondere Helligkeit und Effektivtemperatur noch statistisch aussagekräftig differenzieren zu können, soll das Vergleichsmaterial möglichst umfangreich sein. Als Vergleichsbasis für die Suche nach Weißen Zwergen wurde daher auf alle in der Literatur verfügbaren Bestimmungen zurückgegriffen.

4.3.1.1 Der Villanova-Katalog Weißer Zwergsterne

Der Villanova-Katalog spektroskopisch identifizierter WZ (McCook & Sion 1999) enthält in der aktuellen Ausgabe alle bis 1996 veröffentlichten Entdeckungen Weißer Zwerge, die auf spaltspektroskopischen Bestimmungen beruhen. Die 2249 Objekte bilden allerdings eine sehr heterogene Datenbasis, da sie aus völlig unterschiedlich selektierten Samples kombiniert wurden, die z. T. nicht nur auf optischen Methoden, sondern auch auf UV- und EUV-Beobachtungen beruhen. Der Gesamtkatalog genügt daher keinerlei Vollständigkeitskriterien. Auch der Umfang und die Qualität der Beobachtungsdaten ist sehr unterschiedlich, so sind zum Teil visuelle, zum Teil photographische Helligkeiten aufgeführt, darüberhinaus teilweise aber auch Mehrfarbenphotometrie. Generelle Bestimmungen der atmosphärischen Parameter enthält der Katalog nicht, lediglich eine Angabe zur Temperatur in Form des Temperaturindex ist in vielen Fällen vorhanden. Der weitaus größere Teil der Sterne des Katalogs liegt auf der nördlichen Hemisphäre, jedoch wiederum nicht alle innerhalb des Gebietes des HQS.

4.3.1.2 Der Kilkenny-Katalog blauer Subdwarfs

Der Katalog spektroskopisch identifizierter heißer Subdwarf-Sterne von Kilkenny, Heber & Drilling (1988) stellt eine dem Villanova-Katalog vergleichbare Sammlung der publizierten Unterzwerge der Typen sdB und sdO dar. Die photometrischen Daten sind allerdings weniger umfangreich, und i. A. gibt es keine Temperaturindikationen.

4.3.1.3 Stellare blaue Quellen aus dem SBS

Zum Second Byurakan Survey, der das Gebiet zwischen $+50^\circ$ und $+60^\circ$ Deklination außerhalb der Milchstraße weitgehend abdeckt, existieren umfangreiche Nachbeobachtungen blau-selektierter stellarer Objekte (Stepanian et al. 1999), in denen sowohl zahlreiche Weiße Zwerge und heiße Subdwarfs als auch Horizontalaststerne und einige Hauptreihensterne entdeckt wurden. Es gibt jedoch keine Temperaturbestimmungen für die Weißen Zwerge, und die Klassifikation der stellaren Quellen ist nicht immer sehr präzise, da auch diese Durchmusterung vorrangig der Quasarsuche dient. Viele der spektroskopischen Nachbeobachtungen am SAO-6 m-Teleskop wurden mit der IPCS-Kamera (*Image Photon Counting System*) durchgeführt, die ein laufendes Auslesen des Signals ermöglicht, so dass die Integration bei eindeutig als stellar identifizierten Spektren oft schon bei sehr geringem S/N abgebrochen wurde (Chavushyan, *priv. comm.*).

Die identifizierten Horizontalaststerne und kühleren Sterne stellen gleichwohl ein nützliches Kontrollsample zur Überprüfung der Selektionseffizienz dar, da ansonsten keine spezifischen Kataloge dieser Sterne verfügbar sind.

4.3.1.4 Spektroskopische Temperaturbestimmungen

Seit die in Kapitel 3 beschriebenen Möglichkeiten der CCD-Spektroskopie Weißer Zwerge existieren, sind in einer Reihe von Arbeiten atmosphärische Parameter einiger hundert WZ, vor allem des Spektraltyps DA, bestimmt worden. Eine Diskussion der wichtigsten Publikationen findet sich in der Diplomarbeit von Holger Schmidt (1995), durch die mir 345 Bestimmungen aus den jeweils besten Resultaten der Arbeiten von Kidder (1991), Bergeron, Saffer & Liebert (1992), Bergeron, Liebert & Fulbright (1995), Bergeron et al. (1995), Bragaglia, Renzini & Bergeron (1995) sowie Finley, Koester & Basri (1997) zur Verfügung standen. Für die Referenzdatenbasis Weißer Zwerge wurden die Einträge dieser Sterne im Villanova-Katalog um die Ergebnisse der spektroskopische Analyse ergänzt, d. h. die für T_{eff} , $\log g$ und eventuell absolute Helligkeit abgeleiteten Werte sind ab Spalte 200 hinzugefügt worden.

4.3.1.5 Nachbeobachtungen aus dem HQS

Die in den Nachbeobachtungskampagnen zum HQS gefundenen Weißen Zwerge können naturgemäß nicht zur Kontrolle der Vollständigkeit der HRS-Selektion herangezogen werden. Auch als Test für neue Klassifikationsverfahren innerhalb der HRS-Spektren sind sie nur bedingt geeignet, da sie eben aufgrund von Merkmalen aus der selben Datenbasis ausgewählt werden, auch wenn einmal eine visuelle Methode und einmal ein automatisiertes Verfahren benutzt wird. Die Temperaturbestimmungen aus den Nachbeobachtungen ergänzen aber die Datenbasis spektroskopisch bestimmter Parameter. Damit stehen, abzüglich der Sterne, für die bereits spektroskopische Analysen existierten, Temperaturen für insgesamt 408 DA zur Verfügung. Außerdem sind auch in den HQS-Nachbeobachtungen eine Reihe Horizontalaststerne und sdF/sdG identifiziert worden, mit deren Hilfe sich die Grenze zwischen WZ und anderen Sternklassen genauer bestimmen lässt.

4.3.1.6 Import der Vergleichsdaten

Sämtliche Objekte aus der Literatur wurden in das Katalogformat von McCook & Sion (1999) mit den zusätzlichen Einträgen für spektroskopisch bestimmte Parameter gebracht. Daraus wurden automatisch folgende Daten eingelesen, soweit vorhanden:

Position Koordinaten aus dem J2000.0-System werden ggf. auf das Äquinox B1950.0 umgerechnet.

Typ WZ-Spektraltyp laut Spalte 30–35 von McCook & Sion oder Klassifikation als Subdwarf, Horizontalast- oder Hauptreihenstern.

Name Katalogbezeichnung nach Spalte 40–49.

T_{eff} Spektroskopische oder aus dem Spektraltyp nach T. I. abgeleitete Temperatur.

$\log g$ Spektroskopische Schwerebeschleunigung.

m Scheinbare Helligkeit, in der Priorität $V/m_{\text{pg}}/B$ (Spalte 71–78), $V(MC)$ aus Vielkanalphotometrie (100–105) oder Strömgren- y (117–122) eingelesen.

π Trigonometrische Parallaxe.

μ Eigenbewegung.

θ Positionswinkel der Eigenbewegung.

Tabelle 4.1: Verteilung der Literaturobjekte auf die Sternklassen

Typ	No.	Typ	No.
DA	1737	PG 1159	10
DAB/DAO	58	sdB	901
DB	142	sdO	386
DO	47	CV	4
DQ	43	HBA/HBB	39
DZ	34	MS ²	86
DC	225	QSO	36
WD ¹	121	andere	24

¹ Ohne nähere Klassifikation; ² sdF/G und F/G

Der kombinierte Katalog enthält insgesamt 3893 Objekte (Tabelle 4.1).

4.3.2 Identifikation bekannter Objekte in den HRS-Daten

Die Suche nach bekannten Quellen unter den HQS-Spektren ist in das Programm zur Umwandlung in FITS-Tabellen integriert. Die Identifikation erfolgt primär nach Übereinstimmung der Koordinaten. Dies ist nicht immer problemlos zu entscheiden, da die Koordinaten vieler Sterne aus älteren Katalogen, z. B. dem PG-Survey, mit erheblichen Fehlern behaftet sind, die z. T. mehrere Bogenminuten erreichen. Die Unsicherheit kommt damit in die Größenordnung der mittleren Abstände zwischen den HRS-Spektren, so dass die Gefahr einer fehlerhaften Zuordnung besteht. Um dennoch eine möglichst vollständige Identifikation zu erreichen, habe ich ein halbautomatisches Erkennungsverfahren eingesetzt, das in Zweifelsfällen zu einer interaktiven Bewertung übergeht.

Zunächst werden die originalen Headerdaten aller Spektren eines Scans eingelesen und die Koordinaten erfasst, nachdem eventuelle fehlende Himmelskoordinaten aus den Plattenpositionen der Spektren bestimmt worden sind. Umgekehrt werden auch die Pixelkoordinaten aller Sterne auf der Platte berechnet. Mittels der jeweiligen Minimal- und Maximalwerte unter allen Spektren wird die genaue Ausdehnung der Platte in beiden Achsen abgeschätzt. Aus der Anzahl der Feinscanspektren auf der Platte N und deren Fläche A wird außerdem ein charakteristischer Abstand als der Radius berechnet, in dem im Mittel ein HRS-Spektrum zu finden ist:

$$\langle r \rangle := \sqrt{\frac{A}{\pi N}} \quad (4.14)$$

Für den Koordinatenabgleich wird ein Radius definiert, innerhalb dessen eine Zuordnung mit 96 % real ist, d. h. in dem sich mit 4 % Wahrscheinlichkeit *zufällig* ein Objekt

aus der HRS-Datenbasis befindet:

$$r_{96} := 0.2 \langle r \rangle \quad (4.15)$$

Anschließend werden aus der Datenbasis der bekannten Objekte zunächst alle ausgewählt, deren Rektaszension und Deklination innerhalb eines Bereichs von etwa $20'$ um die Feldgrenzen liegen. Für diese Sterne werden dann ebenfalls durch eine astrometrische Transformation die Pixelkoordinaten auf der Platte berechnet. Für jeden Stern, der mit einer Toleranz von $5000 \mu\text{m}$ innerhalb der vorher bestimmten genaueren Plattengrenzen liegt, wird dann zu allen Objekten auf der Platte die Differenz in beiden Koordinaten, und bei hinreichender Übereinstimmung, der genaue Abstand ausgerechnet. Sofern dieser unter $5000 \mu\text{m}$ liegt, und die Helligkeiten innerhalb von 2^m5 übereinstimmen, wird das HRS-Spektrum dem Katalogstern vorläufig zugeordnet. Sobald zu einem anderen Spektrum ein geringerer Abstand bestimmt wird, tritt dieses an die Stelle des vorherigen. Wenn diese Prozedur für alle HRS-Spektren durchgeführt ist, also der Abstand zum nächstgelegenen Spektrum gefunden ist, wird überprüft, ob dieser kleiner als $0.5 r_{96}$ ist. Dies würde einer 99 %-Wahrscheinlichkeit für nicht-zufällige Übereinstimmung entsprechen. In diesem Fall wird das betreffende Spektrum automatisch dem bekannten Objekt zugeordnet, und die betreffenden Daten werden nebst der Koordinatendifferenz in die FITS-Datei geschrieben. Anderenfalls erfolgt eine Textausgabe mit den Daten des Katalogsterns und des in Frage kommenden HRS-Objektes mit Helligkeit, Klassifikation aus der visuellen Zuordnung, Positionsdifferenz und dem r_{96} -Abstand der Spektren auf der Platte sowie eine Eingabeaufforderung, die Zuordnung zu bestätigen oder abzulehnen. Eine solche subjektive Entscheidung war in etwa 10–20 % der Fälle nötig, und hat sich im Wesentlichen danach gerichtet, ob der Stern aus einem Katalog mit notorisch ungenauen Positionsangaben stammt und ob der in der Literatur angegebene Typ plausibel mit der HRS-Klasse übereinstimmt. Sterne mit sehr hohen Koordinatenabweichungen wurden demnach nur zugelassen bei gut übereinstimmenden Helligkeiten, und wenn (für WZ und Subdwarfs) das HRS-Spektrum als „HOT STAR“ oder „QSO/HS“ klassifiziert ist.

4.3.3 Vollständigkeit der HRS-Spektren

Soweit die heißen Sterne innerhalb der Feldgrenzen des HQS lagen, konnten sie zu einem großen Teil in der Feinscan-Datenbasis identifiziert werden. Für eine nach Temperaturen differenzierte Analyse sind die Identifikationen aus dem Villanova-Katalog für ein Teilgebiet von 297 Feldern geprüft worden (Homeier et al. 1999). Dabei wurden alle WZ mit Helligkeiten von 13^m5 – 18^m5 berücksichtigt. Die Zahlen der Identifikationen wurden für Mehrfachdetektionen auf überlappenden Plattenteilen korrigiert. Als Temperaturindikator wurde der Spektralindex der DA herangezogen, da die Basis spektroskopischer Bestimmungen vor allem für $T_{\text{eff}} < 10\,000 \text{ K}$ immer noch sehr schmal ist. Die Resultate bestätigen weitgehend die Ergebnisse von Kusch (1991): Sterne der Klassen DA 1 – DA 7 wurden mit durchweg über 90 % in den HRS-Spektren wiedergefunden (Abb. 4.4). Diese Spektren wurden in der visuellen Inspektion auch überwiegend als „HOT STAR“, oder zu einem geringeren Teil als „QSO/HS“, klassifiziert. Diese Klassifikation ist am sichersten im mittleren Temperaturbereich, wo

die Balmerlinien am deutlichsten ausgeprägt sind. Bei den Spektraltypen DA 8/DA 9 zeichnet sich eine abnehmende Vollständigkeit ab, doch hier ist bereits wieder die statistische Basis (6 DA 8 und 3 DA 9) sehr schlecht.

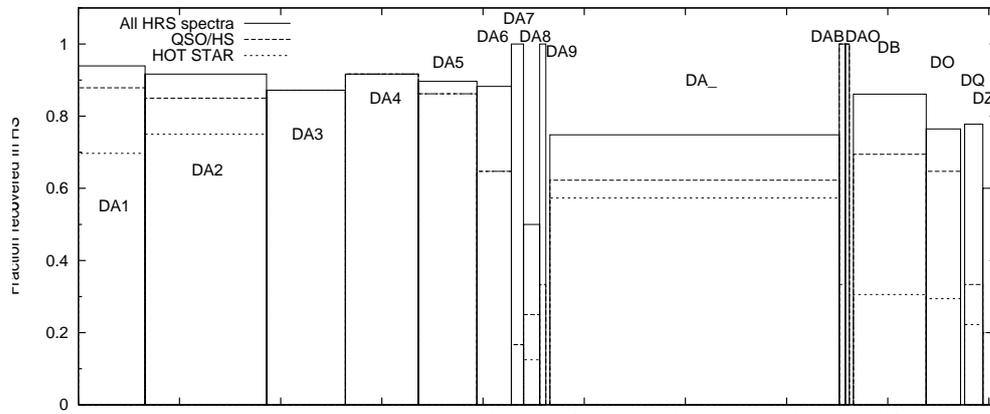


Abbildung 4.4: Anteil der in den Feinscans von 297 Feldern des HQS wiedergefundenen WZ aus dem Katalog von McCook & Sion (1999) nach Spektralklassen. Die Gesamtzahl der auf das Gebiet entfallenden bekannten Sterne ist auf der Abszisse angegeben. Der Anteil der visuellen Klassifikation als „Heiße Sterne“ oder sekundäre Quasarkandidaten eingestufteten Spektren ist ebenfalls angezeigt.

Für dieses Sample kann offenbar eine gleichmäßig gute Erfassung aller Weißen Zwerge mit Temperaturen größer als 6000–7000 K bestätigt werden. Die Unvollständigkeit entspricht dabei etwa den Verlusten durch Overlaps. Wie Stichproben unter den LRS-Spektren zeigten, ist sie zum kleineren Teil auch durch gesättigte Spektren verursacht, die noch bei Helligkeiten bis $B = 14^m5$ auftreten können. Es ist bei dieser Untersuchung jedoch zu beachten, dass die verwendete Probe den Helligkeitsbereich des HQS bei weitem nicht gleichmäßig abdeckt. Zwar wurde als Helligkeitslimit der herangezogenen Sterne nominell 18^m5 gewählt, die tatsächliche Verteilung im Katalog ist aber von wesentlich helleren WZ dominiert, da die Mehrzahl der Durchmusterungen, die zum Villanova-Katalog beigetragen haben, Grenzgrößen heller als 16^m5 haben. Die Spektren dieser Sterne haben im HQS daher durchweg überdurchschnittliches Signal-zu-Rausch-Verhältnis, was sich sowohl auf die Leistungsfähigkeit des Quasarkriteriums als auch der visuellen Klassifikation auswirkt.

Eine bessere Abschätzung der Vollständigkeit in Abhängigkeit von der Helligkeit kann man unter Hinzunahme der WZ aus den SBS-Nachbeobachtungen erhalten. Ein großer Teil der Kandidaten dieses Surveys ist innerhalb eines Gebietes von lediglich 1000 deg^2 bis zu einer Tiefe von $B = 19^m5$ nachbeobachtet worden. Einschließlich hellerer Sterne aus dem Villanova-Katalog findet man in den HQS-Feldern zwischen $\delta = 49^{\circ}5$ und $\delta = 60^{\circ}5$, die den SBS weitgehend überdecken, 215 WZ. Die Rate, mit der diese Sterne als Feinscan wiedergefunden wurden (Tabelle 4.2), zeigt deutlich, dass schon ab etwa $B = 17^m0$ erhebliche Unvollständigkeit einsetzt. Für die LRS-Datenbasis wird bei blauen Objekten Vollständigkeit bis $B = 17^m5$ angenommen, es ist daher naheliegend, dass das Quasarkriterium bei niedrigem S/N keine vollständige Abtrennung der Weißen Zwerge mehr ermöglicht und zumindest kühlere WZ innerhalb der

Tabelle 4.2: Detektionsrate in der Zone $49^{\circ}5 < \delta < 60^{\circ}5$ bekannter Weißer Zwerge in der HRS-Datenbasis in Abhängigkeit von der Helligkeit

B	in HRS	kein HRS	Anteil
$13.50 < B < 15.25$	18	2	0.90
$15.25 < B < 15.75$	16	2	0.89
$15.75 < B < 16.25$	30	3	0.91
$16.25 < B < 16.75$	25	5	0.83
$16.75 < B < 17.25$	27	16	0.63
$17.25 < B < 17.75$	13	32	0.29
$17.75 < B < 18.25$	9	9	0.50
$18.25 < B < 18.75$	0	8	0.00

Fehlergrenzen der Auswahl liegen.

Eine Abhängigkeit von T_{eff} lässt sich wegen der fehlenden Temperaturinformationen zu den SBS-Sternen leider nicht untersuchen. Es mag dennoch überraschen, dass auch bei den generell etwas helleren Sternen aus Abb. 4.4 selbst bei den sehr kühlen DA 6 und DA 7 noch keine abnehmende Vollständigkeit zu erkennen ist. Dies ist sehr wahrscheinlich dadurch zu erklären, dass der Fluss im nahen UV im Bereich um 12 000 K mit niedrigerer Temperatur nur wenig zurückgeht oder sogar wieder steigt, da hier gleichzeitig die Absorption an der Balmerkante abnimmt (s. Abb. 1.3 auf S. 6). Somit ändert sich auch die mittlere Kontinuumssteigung wenig. Vermutlich erfasst daher das Quasarkriterium DA zwischen etwa 7000 K und 15 000 K nahezu gleich gut.

Für das Literatursample selbst sind dabei jedoch keine Selektionskriterien definiert. So umfassen die bisher veröffentlichten 363 stellaren Quellen aus dem SBS erst einen Teil der insgesamt 900 nachbeobachteten Sterne (Stepanian, *priv. comm.*). Ob die Verteilung der schon publizierten WZ repräsentativ ist, lässt sich derzeit nicht sagen. Die Auflistung in Tabelle 4.2 kann daher keinesfalls eine quantitative Aussage über die Vollständigkeit der HRS-Spektren geben, sondern allenfalls einen Trend bezüglich der Helligkeit aufzeigen.

Kapitel 5

Automatisierte Analyse der Schwärzungsspektren

If we assume, and we just have, that within un-, sub- or supernatural forces the probability is that the law of probability will not operate as a factor, then we must accept that the probability of the first part will not operate as a factor, in which case the law of probability will operate as a factor within un-, sub- or supernatural forces. And since it obviously hasn't been doing so, we can take it that we are not held within un-, sub- or supernatural forces after all; in all probability, that is. Which is a great relief to me personally.

Tom Stoppard, *Rosencrantz & Guildenstern are dead*

5.1 Klassifikationsmethoden

Die Erfassung der vollständigen Datenbasis der als Feinscan digitalisierten Objektivprismenspektren legt die Grundlage für eine quantitative Analyse der Spektren mit dem Ziel einer möglichst sicheren Identifikation Weißer Zwergsterne. Die Anbindung der Literaturdatenbasis bekannter heißer Sterne hat bestätigt, dass die HRS-Daten eine große Zahl neuer Weißer Zwerge hervorbringen können, und steht als Referenz für die Entwicklung verbesserter Suchverfahren zur Verfügung.

Bei der Suche nach dem aussichtsreichsten Verfahren für eine automatisierbare Klassifikation der heißen Sterne hat der vergleichsweise heterogene Zustand der Datenbasis ein wichtiges Kriterium gebildet. Im Unterschied zu den oben diskutierten Klassifikationsmethoden in der Quasarsuche ist für diese Klassifikation auch die Suche nach einem klar definierten Objekttypus maßgeblich, dessen physikalische Eigenschaften sehr gut verstanden sind. Da also nach einer im Prinzip bekannten Signalform in einem stark verrauschten Datensatz gesucht wird, sollte ein *Template-matching*-Verfahren die besten Ergebnisse liefern. Das Grundproblem liegt hier darin, geeignete Templates für die Beobachtungsdaten, die als photographische Schwärzungswerte vorliegen, zu finden. Daher stellt die von Clowes et al. (1980) für das AQD-Projekt beschriebene Methode, Schwärzungsspektren in flusskalibrierte Spektren zu transformieren, einen vielversprechenden Weg zur Analyse stellarer Spektren dar. Die Transformation zwischen Schwärzungs- und Flusspektrum ermöglicht die Verwendung beliebiger Modellspektren als Templates. Ob dieser Weg tatsächlich gegangen werden

kann, hängt wesentlich davon ab, ob es möglich ist, die für die AQD durchgeführten sorgfältigen Kalibrationsarbeiten zur Bestimmung des charakteristischen Verhaltens der photographischen Emulsion und der instrumentellen Einflüsse entweder auf das Material des HQS zu übertragen oder durch eigene Kalibrationen unter Verwendung der verfügbaren Daten zu ersetzen. Dazu sollen zunächst die physikalischen Prozesse, die für die Entstehung eines photographischen Spektrums relevant sind, erläutert werden.

5.2 Die Bildung des Spektrums

5.2.1 Ablenkwinkel am Prisma

Das spektral aufgelöste Bild im Fokus des Schmidteleskops wird durch Dispersion des einfallenden Lichtes im Objektivprisma erzeugt, das vor der Korrekturplatte montiert ist und die ganze Apertur überdeckt. Anders als bei den in modernen Spaltspektrographen verwendeten Beugungsgittern ist die Ablenkung am Prisma durch dessen nichtlineare Dispersionsrelation charakterisiert: Die spektrale Aufspaltung des von jedem Objekt eintreffenden Lichtes ist durch die Wellenlängenabhängigkeit des Brechungsindex n bedingt, der zur unterschiedlich starken Refraktion am Prisma führt. Im Falle kleiner Winkel am Prisma ist die resultierende Winkelablenkung, und entsprechend auch die Ablenkung auf der Platte, näherungsweise linearisiert in n wie auch im Öffnungswinkel des Prismas. Daher wird auch üblicherweise von einer linearen Beziehung zwischen dem Ort auf der Platte und $n(\lambda)$, und insbesondere von einer Unabhängigkeit vom Einfallswinkel auf das Prisma, ausgegangen. Da allerdings dieser Winkel über das Gesichtsfeld des Schmidspiegels um etwa $5^\circ 5'$, also mehr als der Prismenwinkel, variiert, und es andererseits Anzeichen für Probleme in der Wellenlängenkalibration auf den Prismenplatten gab, soll der Betrag der Ablenkung hier genauer hergeleitet werden.

Ein Lichtstrahl, der unter dem Winkel δ zur Normalen der Außenfläche auf das Prisma fällt (im HQS ist dies tatsächlich die Differenz in Deklination zur Achse des Prismas, da das Prisma in der Süd-Nord-Achse ausgerichtet ist), wird im Inneren des Prismas in die Richtung δ_p gebrochen, wobei nach dem Brechungsgesetz gilt:

$$\sin \delta_p = \frac{\sin \delta}{n} \quad (5.1)$$

Er trifft unter dem Winkel $\delta_p + \alpha$ zur Normalen auf die Innenfläche des Prismas, wenn α der Prismenwinkel ist. Der Austrittswinkel sei δ_t , für den dann gilt:

$$\sin(\alpha + \delta_t) = n \sin(\alpha + \delta_p) = n \sin\left(\alpha + \arcsin\left(\frac{\sin \delta}{n}\right)\right) \quad (5.2)$$

Die Beziehung zwischen Eintritts- und Austrittswinkel lautet also

$$\delta_t = \arcsin\left(n \sin\left(\alpha + \arcsin\left(\frac{\sin \delta}{n}\right)\right)\right) - \alpha \quad (5.3)$$

oder nach dem Additionstheorem

$$\delta_t = \arcsin\left(n \left(\sin \alpha \cos\left(\arcsin\left(\frac{\sin \delta}{n}\right)\right) + \cos \alpha \frac{\sin \delta}{n}\right)\right) - \alpha. \quad (5.4)$$

Diese Gleichung lässt sich mittels der Reihenentwicklungen für die trigonometrischen Funktionen

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} + \dots = \sum_1^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n-1)!} \quad (5.5)$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + \dots = \sum_0^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n}}{(2n)!} \quad (5.6)$$

$$\arcsin x = x + \frac{x^3}{2 \cdot 3} + \frac{1 \cdot 3 x^5}{2 \cdot 4 \cdot 5} + \dots = \sum_0^{\infty} \frac{(2n)! x^{2n+1}}{2^n n! (2n+1)} \quad (5.7)$$

nach Potenzen von α und δ entwickeln, wobei man mit

$$\sin \alpha = \alpha + \frac{\alpha^3}{6} + \mathcal{O}^5(\alpha)$$

und

$$\cos \left(\arcsin \left(\frac{\sin \delta}{n} \right) \right) = 1 - \frac{\arcsin^2 \left(\frac{\sin \delta}{n} \right)}{2} + \mathcal{O}^4(\delta) = 1 - \frac{\delta^2}{2n^2} + \mathcal{O}^4(\delta)$$

sowie

$$(n \sin \alpha \cos A + \cos \alpha \sin \delta)^3 = n^3 \sin^3 \alpha \cos^3 A + 3n^2 \sin^2 \alpha \cos^2 A \cos \alpha \sin \delta + 3n \sin \alpha \cos A \cos^2 \alpha \sin^2 \delta + \cos^3 \alpha \sin^3 \delta$$

unter Weglassung aller Terme höher als dritter Ordnung erhält:

$$\begin{aligned} \delta_t &= (n-1)\alpha - n\frac{\alpha^3}{6} - n\alpha\frac{\delta^2}{2n^2} + \delta - \frac{\delta^3}{6} - \frac{\alpha^2}{2}\delta + \\ &\quad + \frac{n^3\alpha^3}{6} + \frac{n^2\alpha^2\delta}{2} + \frac{n\alpha\delta^2}{2} + \frac{\delta^3}{6} + \mathcal{O}^5(\alpha, \delta) \\ &= \delta + (n-1)\alpha + \\ &\quad + \frac{(n^2-1)\alpha\delta^2}{2n} + \frac{(n^2-1)\alpha^2\delta}{2} + \frac{(n^3-n)\alpha^3}{6} + \mathcal{O}^5(\alpha, \delta) \end{aligned} \quad (5.8)$$

Bei einem Prismenwinkel von $1^\circ 7'$ und Abweichungen von der optischen Achse $< 3^\circ$ ist also die Ablenkung $(\delta_t - \delta)$ des Lichts in hervorragender Näherung proportional zu $(n-1)\alpha$, mit einem positionsabhängigen Beitrag, der maximal einige 10^{-3} des ersten Terms erreicht. Da es bei der Beschreibung der Spektren auf der Platte grundsätzlich nur um Differenzen in den Ablenkwinkeln geht, wird im Folgenden von einer linearisierten Abhängigkeit vom Brechungsindex ausgegangen.

5.2.2 Die Dispersionsrelation

Mit Gl. 5.8 erhält man für die Position auf der Platte in Abhängigkeit von der Wellenlänge mit der Brennweite f

$$x(\lambda) = (n(\lambda) - 1)\alpha f + \text{const.} = x(\lambda_0) + (n(\lambda) - n(\lambda_0))\alpha f. \quad (5.9)$$

Der Brechungsindex lässt sich durch eine Potenzreihe in der Wellenzahl λ^{-1} beschreiben, die bei Abbruch nach der vierten Ordnung lautet:

$$n(\lambda) = n_0 + \frac{n_2}{\lambda^2} + \frac{n_4}{\lambda^4} \quad (5.10)$$

Damit erhält man für die Ablenkung auf der Platte

$$x(\lambda) = C_0 + \frac{C_2}{\lambda^2} + \frac{C_4}{\lambda^4} \quad (5.11)$$

mit

$$\begin{aligned} C_0 &= x(\lambda \rightarrow \infty) \\ C_2 &= \alpha f n_2 \\ C_4 &= \alpha f n_4. \end{aligned} \quad (5.12)$$

Häufig wird die reziproke Dispersion angegeben:

$$\frac{d\lambda}{dx} = \left(-2 \frac{C_2}{\lambda^3} - 4 \frac{C_4}{\lambda^5} \right)^{-1} \quad (5.13)$$

Diese beträgt für den Calar Alto-Schmidt mit dem 1°7-Prisma bei H γ (4340.46 Å) 1390 Å mm⁻¹. Für dieses Prisma sind nur die Koeffizienten bis zur zweiten Ordnung ermittelt worden, für das 4°-Prisma des ESO-Schmidt-Teleskops ist im Rahmen des Hamburg/ESO-Surveys jedoch auch der Koeffizient in λ^{-4} bestimmt worden (Ikonomou 1995):

$$\begin{aligned} C_0 &= -2953.588 \mu\text{m} \\ C_2 &= 8.218377 \cdot 10^{10} \mu\text{m} \text{Å}^2 \\ C_4 &= 7.675455 \cdot 10^{16} \mu\text{m} \text{Å}^4 \end{aligned} \quad (5.14)$$

Da die Prismen beider Teleskope aus optisch gleichem Material gefertigt sind (Witsotzki, *priv. comm.*), ist hiermit eine Umrechnung auf das 1°7-Prisma möglich (die aus Gl. 5.14 resultierenden relativen Brechungsindizes im Optischen entsprechen denen von BSC-Kronglas nach Allen (1973)). Der Umrechnungsfaktor ließe sich aus den Prismenwinkeln und den Brennweiten beider Teleskope, $f_{\text{CAHA}} = 2398$ mm und $f_{\text{ESO}} = 3055$ mm, bestimmen, genauer ist jedoch das Verhältnis der bei H γ gemessenen reziproken Dispersionen. Mit $\frac{d\lambda}{dx} = 447.4 \text{Å mm}^{-1}$ beim ESO-4°-Prisma erhält man für das DSAZ-1°7-Prisma

$$\begin{aligned} C_0 &= -950.673 \mu\text{m} \\ C_2 &= 2.64525 \cdot 10^{10} \mu\text{m} \text{Å}^2 \\ C_4 &= 2.47050 \cdot 10^{16} \mu\text{m} \text{Å}^4. \end{aligned} \quad (5.15)$$

Die Konstante C_0 ist dabei relativ zur Rotkante des Spektrums angegeben, definiert durch den Empfindlichkeitsabfall der IIIa-J-Emulsion. Der Wert von Ikonomou (1995) bezieht sich auf eine Wellenlänge von 5360 Å, entsprechend etwa 50 % der Maximalempfindlichkeit. Im HQS wird oft der Wert 5400 Å gewählt, was einem Empfindlichkeitsabfall auf rund 35 % entspricht; dann ist $C_0 = -936.2 \mu\text{m}$.

5.3 Vom Schwärzungsspektrum zum Flussspektrum und zurück

5.3.1 Die charakteristische Kurve

Eine Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Schwärzung eines photographischen Materials und der einfallenden Energie oder Belichtung erfordert eine Beschrei-

bung der *charakteristischen Kurve*. Die Schwärzung oder *Density D* (Gl. 4.1) wird üblicherweise als Funktion des Logarithmus der Belichtungsintensität E beschrieben (s. Abb. 5.1). In dieser Darstellung zeigt die charakteristische Kurve bei geringen Belichtungen ein nichtlineares Verhalten, gekennzeichnet durch den Grundsleier, die ohne Belichtung schon vorhandene Opazität, und den *Fuß* der Kurve. Daran schließt sich ein annähernd linearisierter Bereich an, bis bei Annäherung an die maximale Schwärzung Sättigungseffekte auftreten und einen sublinearen Anstieg der Kurve bewirken.

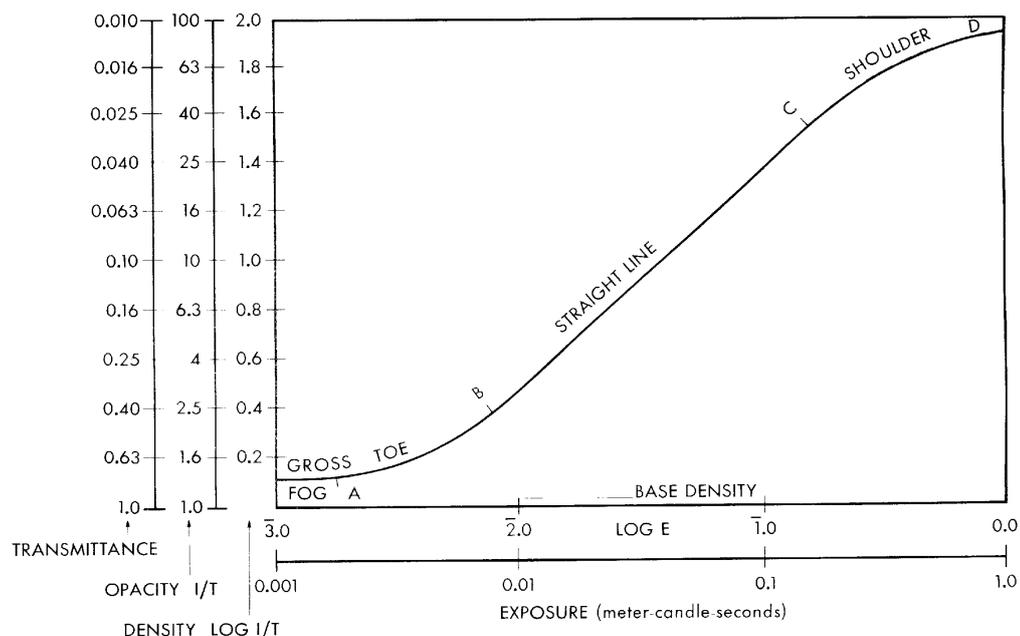


Figure 1. Characteristic curve representative of a negative photographic material.

Abbildung 5.1: Darstellung der Beziehung zwischen Belichtung und Schwärzung in der charakteristischen Kurve (Kodak 1973)

Die in dieser Arbeit beschriebenen Modelle beziehen sich grundsätzlich auf den linearen Teil der Schwärzungskurve. Der nichtlineare Fuß ist bei der Arbeit mit Objektivprismenplatten nicht relevant, da die Helligkeit des Himmelshintergrundes die schwächsten Objekte bereits in den linearen Bereich anhebt. Die Abweichungen von der Linearität im Sättigungsbereich treten hingegen bei hellen Objekten durchaus auf und können erhebliche Probleme bei der Kalibration solcher Spektren verursachen. Objekte dieser Helligkeit machen aber nur einen geringen Anteil der im HQS erwarteten heißen Sterne aus. Die charakteristische Kurve hat in ihrem linearen Teil bei einer monochromatischen Belichtung die Form

$$D(\lambda) = \gamma(\lambda) \cdot \log(g(\lambda)E(\lambda)). \quad (5.16)$$

Die beiden Parameter sind der *Kontrast* γ , der die Steigung der Geraden angibt, und die *Sensitivität* g , die als additive Konstante in die Schwärzung eingeht.

5.3.2 Beschreibung einer polychromatischen Belichtung

Das Licht eines Himmelsobjektes ist in seinem Spektrum an jedem Punkt monochromatisch. Bei spaltloser Spektroskopie erreicht die Photoplatte jedoch nicht nur das Licht des Objektes, sondern jeder Punkt wird gleichmäßig durch die Hintergrundhelligkeit des Himmels belichtet. Der Hintergrundanteil ist im Vergleich zu Direkt-aufnahmen hoch, da das Licht der Objekte selbst ja über eine größere Fläche verteilt wird. Im HQS wird regelmäßig eine Hintergrundschwärzung von 1 – 1.5 erreicht, was zwar als erwünschten Effekt den Arbeitsbereich in den linearen Teil verschiebt, die Beschreibung des photographischen Prozesses aber deutlich erschwert. Bei der Darstellung des Verfahrens zur Berechnung von Schwärzungen aus Mischbelichtungen folge ich im wesentlichen der Beschreibung von Clowes et al. (1980).

Das Verhalten der photographischen Platte wird unter anderem mit Hilfe der Empfindlichkeit S_D (*Speed*) beschrieben, die als Kehrwert der Belichtung definiert ist, die eine Schwärzung D erzeugt. Bei monochromatischer Belichtung ist sie im linearen Bereich nach Gl. 5.16

$$S_D(\lambda) := \frac{1}{E_D(\lambda)} = \gamma(\lambda) \cdot g(\lambda) 10^{-\frac{D}{\gamma(\lambda)}}. \quad (5.17)$$

Um den Einfluss der Hintergrundbelichtung auf das Spektrum zu berücksichtigen und ihn in der Folge entfernen zu können, wird das Gesetz von Van Kreveld ausgenutzt. Dieses gibt für eine Mischbelichtung folgende Relation an: Verursachen monochromatische Belichtungen E_1, E_2, \dots, E_n bei den Wellenlängen $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, jeweils alleine die Schwärzung D , dann erzeugt eine Mischung

$$\sum_i \alpha_i E_i(\lambda_i)$$

dieselbe Schwärzung, wenn

$$\sum_i \alpha_i = 1$$

gilt. Die Empfindlichkeit der Mischung ist damit durch

$$S_D = \sum_i f_i S_D(\lambda_i) \quad (5.18)$$

gegeben, wobei die f_i die jeweiligen Anteile der Wellenlängen λ_i an der Energie der Gesamtbelichtung angeben. Auf den Fall der Objektivprismenplatte übertragen bedeutet das: Auf jeden Punkt der Platte fällt die Hintergrundbelichtung E_B , die sich aus Anteilen bei verschiedenen Wellenlängen $f_B(\lambda_i) E_B$ zusammensetzt. Dazu kommt die der Wellenlänge des Spektrums entsprechende spektrale Belichtung des Objekts $E_*(\lambda)$. Die Gesamtbelichtung ist also durch

$$E_{tot}(\lambda) = E_B + E_*(\lambda) = \sum_i f_B(\lambda_i) E_B + E_*(\lambda) \quad (5.19)$$

Wenn diese Belichtung die Schwärzung D bewirkt, folgt nach 5.18

$$\frac{1}{E_{tot}(\lambda)} = \frac{E_*(\lambda)}{E_B + E_*(\lambda)} S_D(\lambda) + \sum_i \frac{f_B(\lambda_i) E_B}{E_B + E_*(\lambda)} S_D(\lambda_i) \quad (5.20)$$

oder

$$E_*(\lambda)S_D(\lambda) + E_B \sum_i f_B(\lambda_i)S_D(\lambda_i) = 1 \quad (5.21)$$

Für die vom Himmel alleine verursachte Hintergrundschwärzung D_B , die auf der Platte gleichfalls bestimmbar ist, erhält man

$$\frac{1}{E_B} = \sum_i f_B(\lambda_i)S_{D_B}(\lambda_i). \quad (5.22)$$

Dieser Ausdruck lässt sich nun in Gl. 5.21 für E_B einsetzen, und ergibt unter Auflösung von S_D und S_{D_B} nach Gl. 5.17:

$$E_* = \left(1 - \frac{\sum_i f_B(\lambda_i)g(\lambda_i)10^{-\frac{D}{\gamma(\lambda_i)}}}{\sum_i f_B(\lambda_i)g(\lambda_i)10^{-\frac{D_B}{\gamma(\lambda_i)}}} \right) \frac{10^{-\frac{D}{\gamma(\lambda)}}}{g(\lambda)} \quad (5.23)$$

In kürzerer Form lässt sich dies schreiben als

$$E_* = (1 - F(D_B, D)) \frac{10^{-\frac{D}{\gamma(\lambda)}}}{g(\lambda)} =: \left(1 - 10^{\frac{D_B - D}{\gamma_s}} \right) \frac{10^{-\frac{D}{\gamma(\lambda)}}}{g(\lambda)}, \quad (5.24)$$

die dort eingeführte Funktion $F(D_B, D)$ stellt ein Maß für den Beitrag des Hintergrundflusses zur Belichtung dar, geeignet gewichtet nach den Kontrast- und Sensitivitätswerten bei den Wellenlängen des Hintergrunds. Der Parameter γ_s ist nach obiger Gleichung definiert durch

$$\gamma_s := \frac{D_B - D}{\log F(D_B, D)}.$$

Er stellt einen charakteristischen für den Himmelshintergrund gemittelten Kontrast dar und ist insofern eine Näherung, als er tatsächlich von $(D_B - D)$ abhängt. Anhand dieser Darstellung lässt sich aber das approximative Verhalten der photographischen Emulsion bei niedriger und hoher Schwärzung veranschaulichen: Für $D - D_B \ll 1$ gilt näherungsweise

$$\begin{aligned} 10^{-\frac{D}{\gamma(\lambda)}} &\approx 10^{-\frac{D_B}{\gamma(\lambda)}} = \text{const.}, \\ 10^{\frac{D_B - D}{\gamma_s}} &\approx 1 - \ln 10 \cdot \frac{D - D_B}{\gamma_s}, \end{aligned} \quad (5.25)$$

und somit

$$E_* \approx (D - D_B) \cdot \frac{\ln 10}{\gamma_s} \cdot \frac{10^{-\frac{D_B}{\gamma(\lambda)}}}{g(\lambda)} \quad (5.26)$$

Für niedrige Schwärzungen über dem Hintergrund ist die Density also näherungsweise in der *Belichtung* des Objektes E_* linearisiert. Für hohe Werte über der Hintergrundschwärzung dagegen wird der Flussbeitrag $F(D_B, D)$ des Hintergrunds vernachlässigbar, und Gl. 5.24 geht über in

$$E_* \approx \frac{10^{-\frac{D}{\gamma(\lambda)}}}{g(\lambda)}, \quad (5.27)$$

also in die normale monochromatische Form der charakteristischen Kurve, die eine Linearität im *Logarithmus* der Belichtung beschreibt.

5.3.3 Wellenlängenabhängigkeit der Plattenfunktionen

Die Hintergrundsubtraktion nach Gl. 5.24 erlaubt die Transformation beliebiger, nicht gesättigter Schwärzungsspektren in Flussspektren, sofern die Funktionen $f_B(\lambda)$, $g(\lambda)$ und $\gamma(\lambda)$ bekannt sind, also die spektrale Energieverteilung des Himmelshintergrundes und Sensitivität und Kontrast in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Für die von ihnen untersuchte Platte des UK-Schmidt haben Clowes et al. (1980) alle drei Größen durch Kalibrationsbeobachtungen und Labormessungen bestimmt, konnten allerdings keine Resultate für das blaue Ende des Spektrums ($\lambda < 4000 \text{ \AA}$) erzielen. Die Messungen der Plattenfunktionen beziehen sich auf das Batch 2C7 der IIIa-J-Emulsion. Die Brauchbarkeit dieser Funktionen für andere Emulsionen kann daher nicht automatisch vorausgesetzt werden.

Eine vergleichbare Kalibration existiert für die mindestens 15 verschiedenen Batches, die im HQS verwendet wurden, nicht. Es hat jedoch verschiedene Versuche gegeben, die Plattenfunktionen aus der Beobachtung von Referenzsternen oder mittels interner Kalibrationsverfahren zu bestimmen und so eine Flusskalibration zu ermöglichen (Maudrich 1989; Witt 1992). Dabei wurden im Spektralverlauf des Kontrasts signifikante Unterschiede zwischen verschiedenen Batches gefunden. Die Sensitivität, die bei IIIa-J generell eine sehr geringe Wellenlängenabhängigkeit bis zur Rotkante zeigt, scheint sich demgegenüber stabiler zu verhalten (Abb. 5.2). Im HES hat von Laar (1995) eine Bestimmung der spektralen Empfindlichkeiten durch den Vergleich mit flusskalibrierten Spektren und auch Modellspektren Weißer Zwerge durchgeführt, die allerdings den Einfluss des Hintergrunds nicht berücksichtigt. Christlieb (2000) hat in einer auf diesen Methoden basierenden Untersuchung verschiedener Platten eine, gleichwohl geringe, Variation der spektralen Empfindlichkeit festgestellt, die überhaupt nicht mit den verwendeten Emulsionsbatches korreliert. Er nimmt daher an, dass Prä- und Postprozessierung einen stärkeren Einfluss als die ursprüngliche Chemie der Emulsion haben. Im HQS könnten sich dies potentiell noch stärker bemerkbar machen, da die Behandlung der Platten weniger einheitlich gehandhabt wurde.

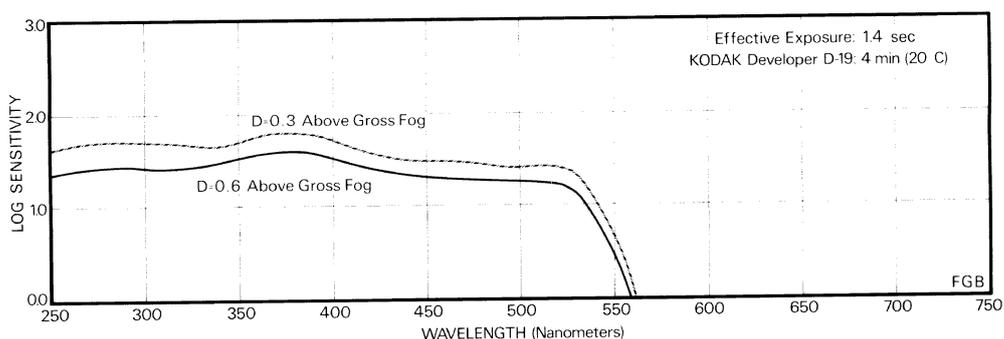


Abbildung 5.2: Spektraler Verlauf der Sensitivität $g(\lambda)$ der IIIa-J-Emulsion (Kodak 1973)

Eine wesentlichen Faktor stellt die vor der Belichtung angewandte *Hypersensibilisierung* dar. Sie kann die Empfindlichkeit (*Speed*) der IIIa-J-Emulsion bei optimaler Anwendung um einen Faktor 5–10 erhöhen (Kodak 1973), verändert jedoch auch

den spektralen Kontrastverlauf. Im Verlauf der Beobachtungen ist ein standardisiertes Sensibilisierungsverfahren entwickelt worden, um eine Homogenisierung der Beobachtungsdaten zu gewährleisten. Während anfangs oft mit Backzeiten von bis zu 16 Stunden unter reinem Stickstoff gearbeitet wurde, ging man ab etwa Ende 1987 generell zu 3- bis 5-stündigem Backen bei 65°C in *Forming Gas*, einem Gemisch von 5% Wasserstoff in Stickstoff (Schutzgas) über. Die Hypersensibilisierung beruht auf der vollständigen Dehydrierung und dem Entzug des Sauerstoffs aus der Emulsion; bei Kontakt mit Umgebungsluft geht der Effekt der Behandlung daher allmählich wieder verloren. Dieser Empfindlichkeitsverlust kann je nach Luftfeuchte innerhalb der typischen Belichtungszeit von 1 Stunde bis zu 50% erreichen (Witt 1992).

5.3.4 Erstellung von Templates für den Vergleich mit Schwärzungsspektren

Als Templates für die Suche nach Weißen Zwergen sollen theoretische Spektren zum Einsatz kommen, die unter Anwendung der Transformationsmodelle mit den Schwärzungsspektren verglichen werden. Dabei wird eine Umwandlung der flusskalibrierten Modelle in Densities durchgeführt, so dass man theoretische Schwärzungsspektren erhält, die mit den gängigen Methoden wie dem χ^2 -Test an die beobachteten Spektren angepasst werden können. Dieser Weg wurde der umgekehrten Variante, die HRS-Spektren in Flussspektren umzuwandeln, vorgezogen, da sich in der Density-Domäne das Rauschen leichter beschreiben lässt und sich auch die Einflüsse des Scanverfahrens besser berücksichtigen lassen. Die theoretischen Spektren wurden der Bibliothek von DA-Modellen entnommen, mit denen auch die in Kapitel 3 beschriebene Analyse der Spaltspektren durchgeführt wurde. Da die Prismenspektren natürlich nur eine sehr viel gröbere Klassifikation erlauben, reicht hier eine kleinere Auswahl aus, die den Parameterbereich der WZ weiträumig abdeckt. Es wird daher ein recht grobes Gitter mit Abständen von 1.0 in $\log g$ aufgesetzt, das Modelle von $6.0 \leq \log g \leq 9.0$ und $6000 \text{ K} \leq T_{\text{eff}} \leq 200\,000 \text{ K}$ umfasst (Abb. 5.9). Die Temperaturschritte betragen 1000 K bei den kühleren DA und steigen bei $T_{\text{eff}} > 100\,000 \text{ K}$ bis auf 25 000 K an. Zusätzlich sind Modelle mit $\log g = 5.0$ von 10 000 K bis 80 000 K aufgenommen, die zwar schon deutlich außerhalb des Parameterbereichs Weißer Zwerge liegen, aber die Unterscheidung von sdB und Horizontalaststernen erleichtern. Aus diesem Grund sind die Modelle mit reinen Wasserstoffatmosphären später noch um Modelle für heiße Hauptreihensterne ergänzt worden, die den Anschluss zu noch niedrigeren Temperaturen und Schwerebeschleunigungen, in $\log g = 5.0$ und $\log g = 4.0$ jeweils bis $T_{\text{eff}} = 6000 \text{ K}$, herstellen. Hierfür wurden synthetische Spektren geringer Auflösung aus der Bibliothek von Lejeune, Cuisinier & Buser (1997) verwendet, die auf die Modellatmosphären von Kurucz (1979) zurückgehen. Für $\log g = 5.0$ habe ich etwas metallärmere Modelle mit $[M/H] = -2$ ausgewählt als für $\log g = 4.0$ ($[M/H] = 0$), um einen besseren Übergang zu den DA-Atmosphären zu schaffen, und um eine größere Bandbreite spektraler Merkmale abzudecken. Mit Ausnahme der Balmerreihe sind im HQS keine einzelne Linien aufzulösen, doch macht sich die Metallizität teilweise im Bereich der Calcium-Linien und im G-Band bemerkbar (vgl. die Modelle in Abb. 5.14 und 5.15). Eine Abschätzung der Metallizität ist mit den verwendeten Modellsequenzen natürlich nicht möglich, da $[M/H]$ und $\log g$ nicht getrennt sind, und

würde auch weit über das eigentliche Ziel der Suche nach unterleuchtkräftigen blauen Sternen hinausschießen.

5.3.5 Transformation der Flussspektren

Die Modellspektren, die als Liste von Wellenlängen- und Flusswerten vorliegen, werden zunächst nach Gl. 5.11 auf die Längenskala der Prismenspektren umgerechnet. Wegen der nichtlinearen Dispersionsrelation gibt es einen Stauchungseffekt zu größeren Wellenlängen, da der Fluss am roten Ende des Spektrums verdichtet wird, d. h. die Flusswerte werden bei der Umrechnung mit $\frac{d\lambda}{dx}$ nach Gl. 5.13 skaliert. Bevor die Modelle dann auf das Sampling der HRS-Spektren, also $10 \mu\text{m}$ Schrittweite, interpoliert werden, werden sie mit einem Gaußprofil von der Halbwertsbreite des Seeing gefiltert. Die Seeingwerte werden dabei für jede Platte den Informationen im Header entnommen. Da die Filterung zu den relativ aufwendigen Rechenschritten bei der Transformation gehört, werden die Modelle für jede Halbwertsbreite einmal umgerechnet und dann in einer temporären Datei abgespeichert. Die vorkommenden Seeingwerte werden dabei in Schritten von $2 \mu\text{m}$ Halbwertsbreite auf der Platte erfasst, so dass für den gesamten Survey schließlich eine Bibliothek von etwa 10 Sätzen seeingverbreiteter Modellspektren mit $28 \mu\text{m} - 46 \mu\text{m}$ FWHM zusammenkommt.

Diese Modelle werden dann nach dem Verfahren aus Abschnitt 5.3.2 transformiert. Zunächst werden die Flusswerte mit der atmosphärischen Transmissionskurve multipliziert. Diese basiert auf einer Extinktionstabelle für den Calar Alto (S. Friedrich, *priv. comm.*) und der Airmass X nach der Formel

$$T = 10^{-0.4XA(\lambda)}, \quad (5.28)$$

wobei A die Extinktion in Größenklassen/Airmass ist. Diese Größe stellt nun im Wesentlichen die Belichtung der Platte dar, wobei Verluste in der Teleskopoptik nicht berücksichtigt werden. Entsprechende Transmissionswerte für den Calar Alto-Schmidt waren nicht erhältlich, doch weisen die von Clowes et al. für den UK-Schmidtspiegel angegebenen Werte erst weit im UV, ab ca. 3500 \AA , wesentliche Abweichungen von der maximalen Durchlässigkeit auf. Die Unsicherheit aus den Plattenfunktionen $g(\lambda)$ und vor allem $\gamma(\lambda)$ und auch in der atmosphärischen Extinktion ist in diesem Bereich aber schon weit größer. Da die Gleichung 5.23 nicht analytisch invertierbar ist, kann die Schwärzung nur iterativ aus der Belichtung bestimmt werden. Das Modell wird zunächst mit der Sensitivität multipliziert und in einem Iterationsverfahren in ein Schwärzungsspektrum umgerechnet. Als Startwert wird dabei jeweils der vorher im Spektrum bestimmte Schwärzungswert angesetzt; da die geglätteten theoretischen Spektren stetig variieren, führt dies meist nach vier bis fünf Iterationen zur Konvergenz. In jedem Iterationsschritt wird mit einer Kombination zwischen linearer und logarithmischer Interpolation der nächste Wert für die Schwärzung bestimmt, entsprechend den beiden Grenzfällen für das Verhalten der Schwärzungsrelation, Gln. 5.25 und 5.26. Als Gewichtungsfaktor für den linearen Teil der Interpolation wurde die Quadratwurzel des Belichtungsanteils des Hintergrunds gewählt. Diese Funktion $F(D_B, D)$ wird in der numerischen Realisation nicht durch die Näherung $10^{\frac{D_B - D}{\gamma_s}}$ nach Gl. 5.24 ersetzt, die jeweils die Berechnung einer Exponentialfunktion erfordern würde; statt dessen werden die Werte der Summen aus Gl. 5.23 einmal für ein Gitter in

D_B und $(D - D_B)$ berechnet und dann für die Analyse eines ganzen HRS-Datensatzes tabelliert.

Das in Schwärzungswerte umgerechnete Modellspektrum wird schließlich in einem letzten Schritt in Plattenmissionen nach Gl. 4.1 umgerechnet und mit einem Boxcar-Filter über drei Pixel geglättet, um die Spaltweite des Mikrodensitometers zu simulieren, und dann wieder zurückgerechnet. Dieser Schritt ist auch eine ursprüngliche Motivation gewesen, trotz des aufwendigeren Verfahrens die Anpassung der Modelle in der Schwärzungsdomäne durchzuführen, wenn sich auch später herausgestellt hat, dass die durch den Spalt bewirkte zusätzliche Verbreiterung keine maßgebliche Rolle spielt. Die iterative Berechnung des theoretischen Schwärzungsspektrums stellt in der gesamten Reduktion und Anpassung eines HRS-Spektrums den mit Abstand rechenzeitaufwendigsten Schritt dar, aber das Verfahren ist dennoch schnell genug, eine zügige Bearbeitung aller Datensätze zu erlauben. In der Praxis werden bei der Transformation eines Spektrums von etwa 130 Pixeln, wie man es für den Fit über den Bereich $3\,500 - 5\,200 \text{ \AA}$ benötigt, etwa folgende Geschwindigkeiten auf verschiedenen Architekturen erzielt:

143 MHz Ultraspac I 500 Modelle sec^{-1}

333 MHz PowerPC 750 1000 Modelle sec^{-1}

500 MHz Pentium III 1100 Modelle sec^{-1}

5.4 Klassifikation der HRS-Spektren

5.4.1 Reduktion der Prismenspektren

Für den Vergleich der Schwärzungsspektren mit transformierten Modellen habe ich das Programm `fithrs` entwickelt. Die vollständigen HRS-Datensätze werden im FITS-Format eingelesen. Für jedes Feinscan-Spektrum wird zunächst der in der Tabelle angegebene Hintergrund überprüft und nötigenfalls durch eine Bestimmung der mittleren Schwärzung unterhalb der Rotkante korrigiert. Auf Teilen einiger Platten sind offensichtlich alle Schwärzungswerte einschließlich des Hintergrunds falsch kalibriert, was sich im Auftauchen von Hintergrundwerten von 7 und mehr bemerkbar macht! Vermutlich beruht dies auf Problemen bei der Anpassung des Messbereichs der PDS bzw. einer fehlerhaften Rekonstruktion der Schwärzungen nach einer Änderung der Verstärkervorspannung (s. Abschnitt 4.2.1). Bei Hintergrundschwärzungen größer als 5.12 (entsprechend 4096 *counts* über der leeren Platte) oder mehr als 5σ unter dem mittleren Hintergrund der Platte werden daher sämtliche Werte neu auf den mittleren Plattenhintergrund kalibriert. Für die Spektren selbst wird außerdem überprüft, ob sie signifikant über dem Hintergrund liegen, indem ein Fit an eine horizontale Linie bestimmt wird (da die zwei Platten eines Feldes jeweils zu einem Datensatz zusammengefasst sind, kommt es vor, dass zu einigen Scans auf der zweiten Platte kein Spektrum extrahiert wurde, insbesondere in den Randzonen, da die Platten nicht exakt überlappen).

Anschließend wird das HRS-Spektrum einmal in ein Flussspektrum umgewandelt, um die Normierung der Modelle zu ermöglichen. Der transformierte Fluss wird

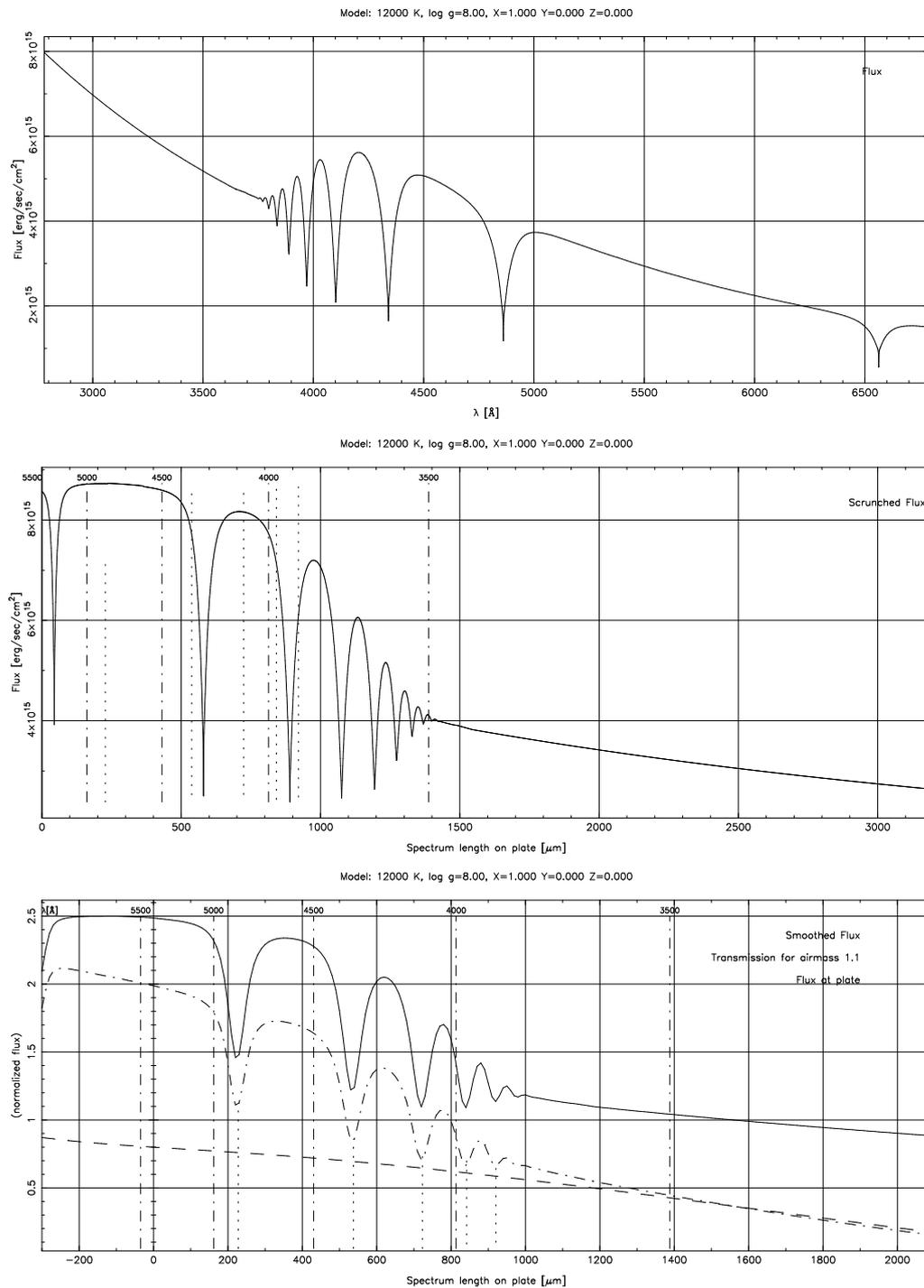


Abbildung 5.3: Transformation von Modellspektren I. Oben: flusskalibriertes Spektrum gegen Wellenlänge. Mitte: Umrechnung auf die Dispersionsskala des Prismenspektrums. Unten: justiert Rotkante, Seeingverbreiterung und Multiplikation mit atmosphärischer Transmissionskurve: Belichtung $E(x)$

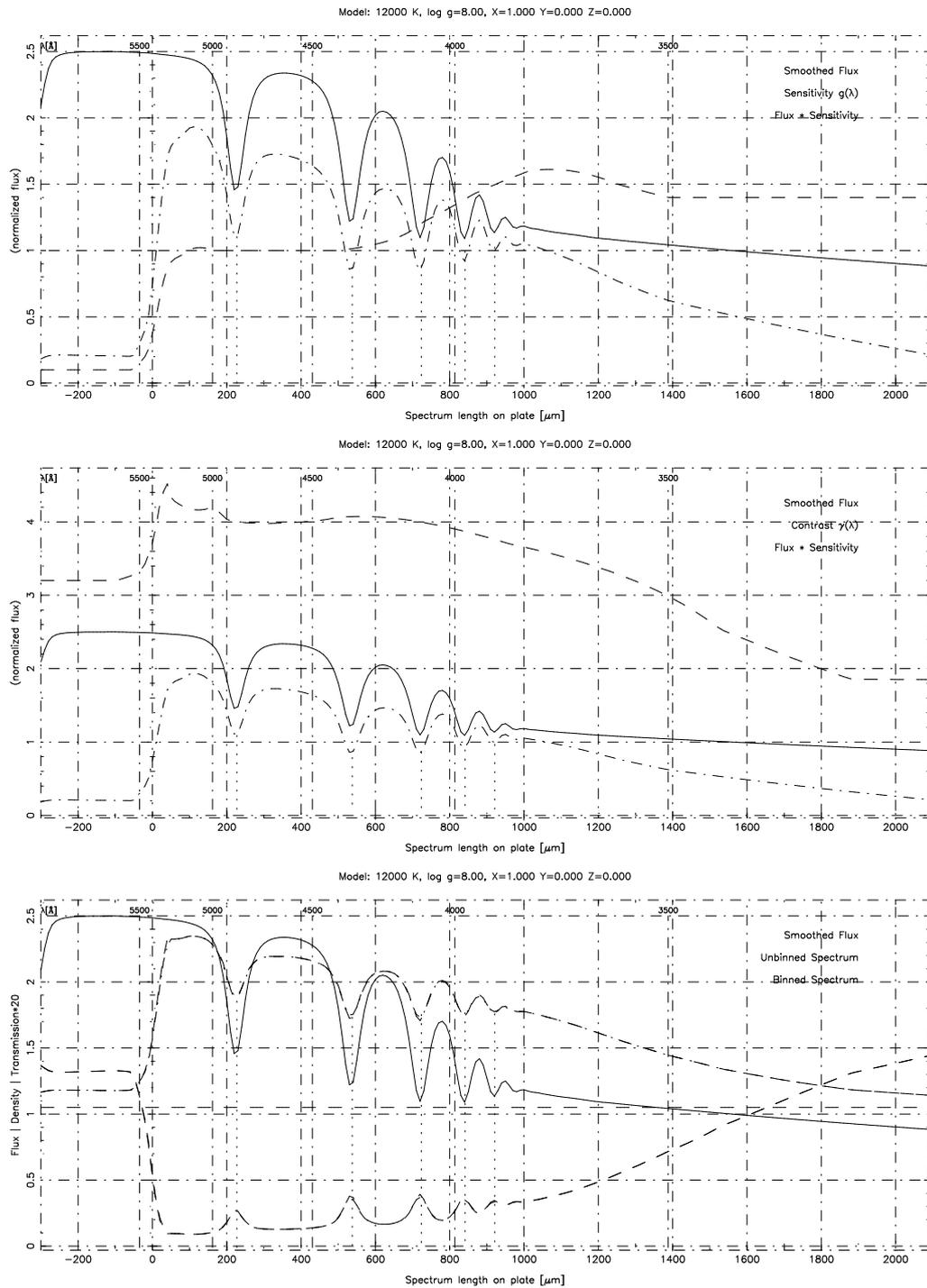


Abbildung 5.4: Transformation von Modellspektren II. Oben: Belichtung $E(x)$ und Sensitivität $g(\lambda(x))$. Mitte: $E(x)$, $E(x) \cdot g(\lambda(x))$ und $\gamma(\lambda(x))$. Unten: $E(x) \cdot g(\lambda(x))$, Schwärzung $D(x)$ für einen Plattenhintergrund $D_B = 1.05$ und Transmission $T = 10^{-D}$ vor und nach dem Mitteln über die Spaltbreite der PDS (die gebinnten und ungebinnnten Kurven sind nahezu identisch)

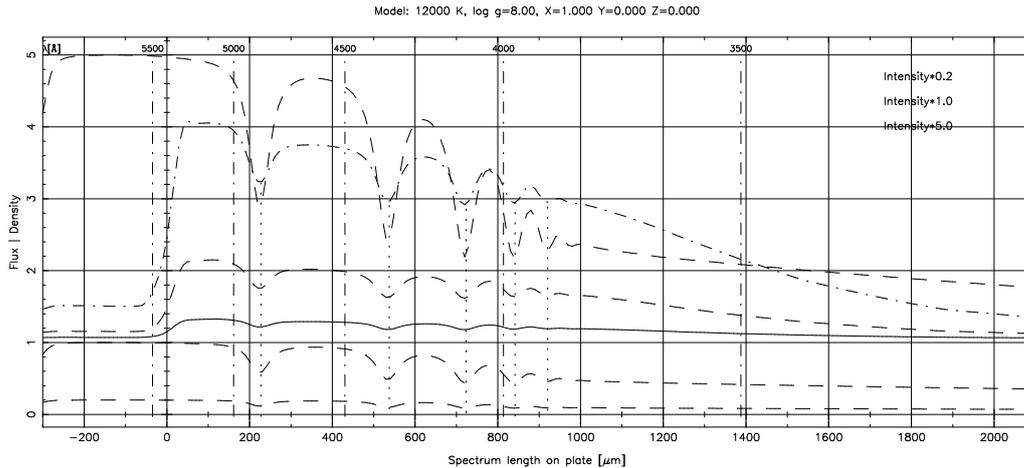


Abbildung 5.5: Transformierte Modellspektren und ursprüngliche Belichtungsspektren für drei verschiedene Flusswerte, näherungsweise normiert auf die Hintergrundintensität

dazu in einem Intervall entsprechend dem Wellenlängenbereich $4410 \text{ \AA} - 4740 \text{ \AA}$, der bei den DA im Kontinuum zwischen $H\beta$ und $H\gamma$ liegt und auch bei den meisten anderen Sternen weitgehend frei von Linien ist, gemittelt. Aus den Flusswerten werden ausserdem synthetische Helligkeiten in drei Farbbändern berechnet:

$$v': 4700 - 5400 \text{ \AA}$$

$$b': 4000 - 4700 \text{ \AA}$$

$$u': 3300 - 4000 \text{ \AA}$$

Für die Bestimmung der Helligkeiten wird derzeit nur eine einfache Integration über die Passbänder ohne Berücksichtigung einer Filterkurve durchgeführt. Eine grobe absolute Kalibration wird bezogen auf die Helligkeit B_{300} aus dem Scanprotokoll vorgenommen, dazu wird als Referenzspektrum ein Modell mit $T_{\text{eff}} = 10\,000 \text{ K}$, $\log g = 4.0$ auf eine Schwärzung von 0.375 (300 cts.) über Plattenhintergrund normiert. Die integrierten Flüsse dieses Modells werden in jedem Band als Referenzhelligkeit $m' = B_{300}$ definiert. Trotz dieses einfachen Modells zeigen die so berechneten Helligkeiten gute Übereinstimmung mit den an Eichsequenzen kalibrierten B_J -Helligkeiten (Abb. 5.6).

Mittels des umgerechneten Spektrums wird außerdem eine verbesserte Bestimmung des *Green Head* (Rotkante) versucht, die auf dem Abfall des errechneten Flusses anstelle der Schwärzung basiert. Dies beruht auf dem Ansatz, dass der Empfindlichkeitsabfall der Emulsion durch ein Absinken der Sensitivität $g(\lambda)$ dargestellt wird (Abb. 5.2). Dazu werden ausgehend von der höchsten Amplitude in der Nähe der Rotkante die Schwärzungswerte über drei Pixel ($30 \mu\text{m}$) geglättet und unter Annahme einer konstanten Sensitivität in Flüsse umgerechnet. Die Stelle, an der der Fluss auf 30% des Maximalwertes abgefallen ist, wird als neue Rotkante definiert. Das entspricht unter der Annahme, dass sich der tatsächliche Strahlungsfluss der meisten Objekte über diesen Bereich nicht wesentlich ändert, der Bedingung $g(\lambda) = g_{\text{max}}$ (diese Annahme ist z. B. für Objekte mit starken Emissionslinien nahe der Rotkante sicher

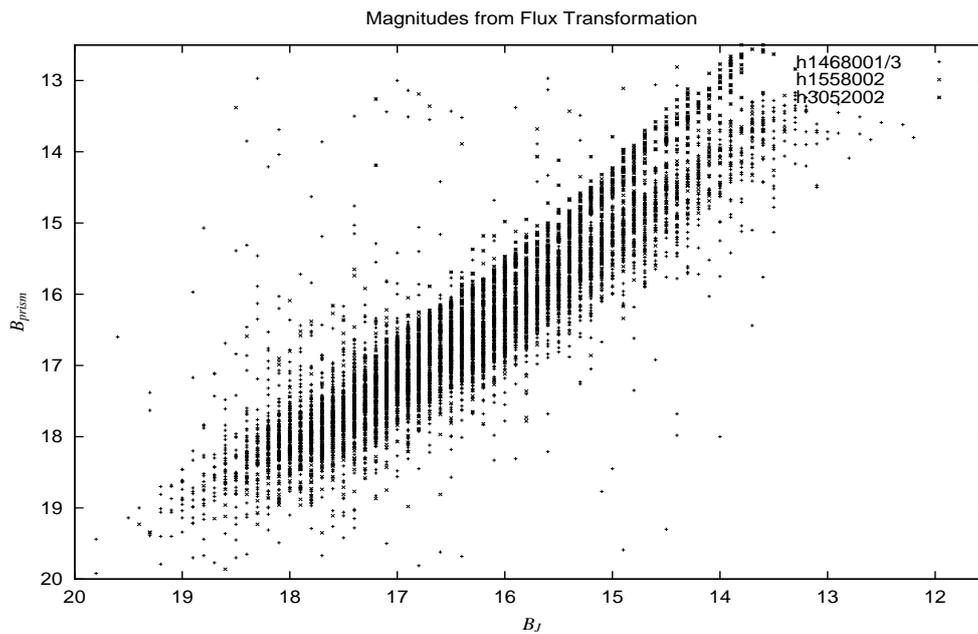


Abbildung 5.6: Vergleich der aus den transformierten Prismenspektren berechneten b' -Helligkeiten mit den B_J -Magnituden

nicht erfüllt, doch von den hier interessierenden Sternen zeigen in diesem Bereich allenfalls DO oder sdO mit der He II-5412 Å-Linie eine – sehr schwache – Abweichung vom Kontinuum). Die Kalibration dieser Werte wurde anhand der Balmerlinienfits mehrerer kühler DA s. u.) durchgeführt.

5.4.2 Anpassung der Modelle

Zur Anpassung eines theoretischen Spektrums an ein HRS-Spektrum wird der theoretische Fluss im Band 4410 Å–4740 Å gemittelt und mit dem im selben Bereich gemittelten transformierten Fluss des Schwärzungsspektrums ein Normierungsfaktor berechnet. Dieses auf die Beobachtung normierte Modell wird dann mit dem Iterationsverfahren ebenfalls in ein Schwärzungsspektrum umgerechnet. Die Übereinstimmung der transformierten Modelle mit den Prismenspektren wird durch Bestimmung der χ^2 -Summe bewertet. Dazu ist eine Bestimmung des Rauschens der HRS-Spektren notwendig. Eine rein empirische Ermittlung für jedes Spektrum ist schwierig, da die relevanten Bereiche nur ca. 100 Pixel umfassen und zwischen den Linien kaum genug Kontinuum bleibt, um einen aussagekräftigen Wert zu erhalten. Das Rauschen wird im Wesentlichen durch das photographische Rauschen, hervorgerufen durch die Körnung der Emulsion, und das Photomultierrauschen des Mikrodensitometers dominiert. Ersteres zeigt einen nur geringen Anstieg mit der Schwärzung, siehe hierzu die Messungen von Furenlid (1978) in Abb. 5.7, nach Witt (1992) umgerechnet auf den Spaltquerschnitt der Hamburger PDS-Maschine. Christlieb (1995) findet demgegenüber in digitalisierten Spektren ab einer Schwärzung von etwa 2 einen recht starken, näherungsweise quadratischen Anstieg des Rauschens, der vornehmlich durch das Prozessrauschen des Photomultipliers zu verantworten ist. Dies zeigt sich auch

in den HRS-Spektren an einer anderen Frequenzverteilung des Rauschens (Abb. 5.8): während sie bei niedrigen Schwärzungen offensichtlich mit der PDS-Spaltweite oder der Seeing-Halbwertsbreite korrespondiert, scheint bei nahezu gesättigten Spektren die (höhere) PDS-Schrittfrequenz zu dominieren.

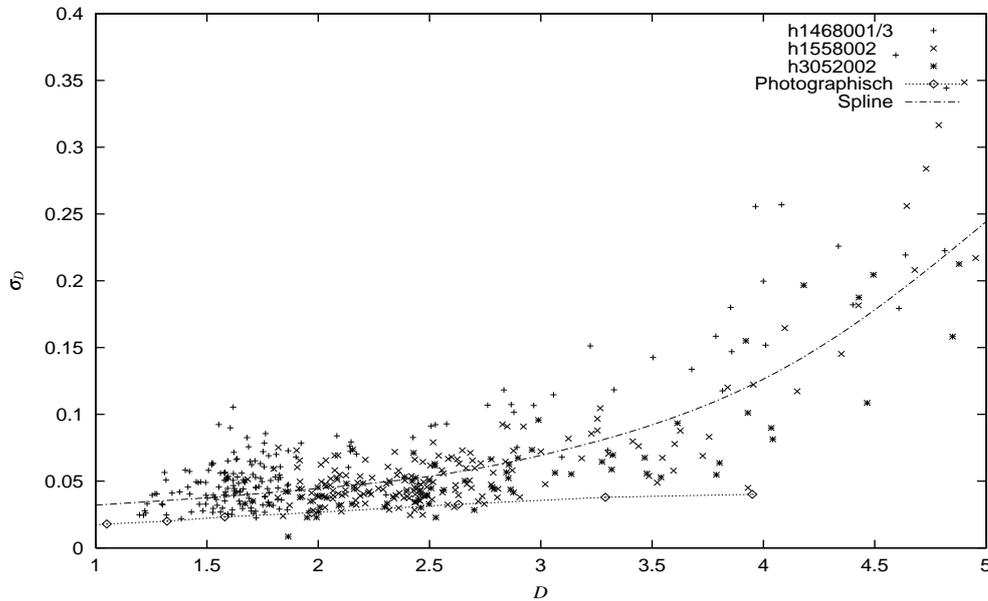


Abbildung 5.7: Verteilung des Rauschens in Abhängigkeit von der Schwärzung nach Messungen an heißen Sternen auf drei Platten. Im Vergleich dazu sind Messungen des *photographischen* Rauschens nach Furenlid (1978) aufgetragen. Die als mittlere Relation zwischen Schwärzung und Rauschen verwendete Kurve ist durch einen kubischen Spline aus den empirischen Werten bestimmt worden

Für den HQS habe ich das Rauschen mittels der gefitteten Spektren (für die ich als Anfangsmodell des Rauschens die Beziehung aus Christlieb (1995) angesetzt hatte) von Sternen mit Anzeichen höherer Temperatur ($T_{\text{eff}} > 8000 \text{ K}$) im Bereich zwischen $H\beta$ und $H\gamma$ (bei $4410 \text{ \AA} - 4740 \text{ \AA}$) bestimmt. Die Verteilung (Abb. 5.7) stimmt gut mit der im HES überein. Für die weiteren Fits wurde aus diesen Werten mit einem kubischen Spline, der mit den inversen χ^2 -Ergebnissen gewichtet wurde (Funktion `acsplines` in Gnuplot), eine gemittelte Kurve gebildet. Allerdings ist die Abweichung der einzelnen Spektren von der mittleren σ_D - D -Beziehung hoch.

Das `fithrs`-Programm bietet mittels der PGLOT-Bibliothek eine graphische Ausgabe der Schwärzungsspektren und der transformierten Modellspektren und erlaubt einen interaktiven Vergleich mit verschiedenen Modellen und unterschiedlichen Parametern der Transformation, wie auch des Spektralbereiches, in dem die χ^2 -Summe ausgewertet werden soll. Der Hauptzweck ist jedoch der automatische Fit an das beste Modell, also die Bestimmung des kleinsten χ^2 im verwendeten Gitter theoretischer Spektren (Abb. 5.9).

Da die Zahl der Gitterpunkte klein ist, wird ein vereinfachtes Verfahren zur χ^2 -Minimierung verwendet, bei dem zunächst für jedes Spektrum eine kleine Zahl rela-

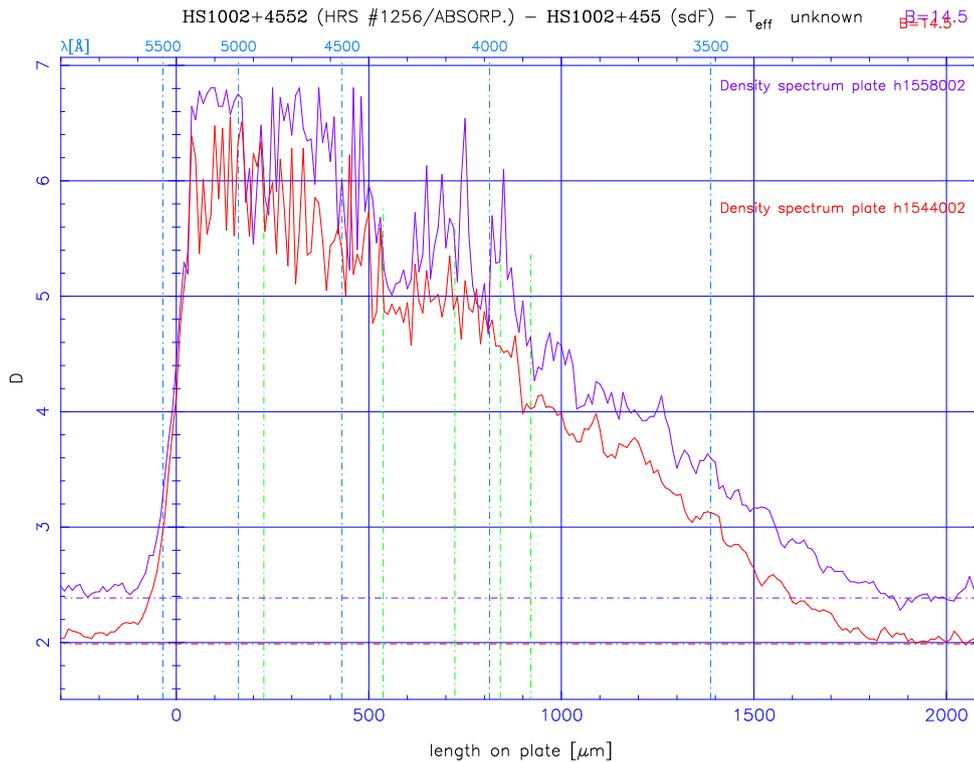


Abbildung 5.8: HRS-Spektren eines stark belichteten Sterns, die sehr starkes Rauschen im Sättigungsbereich zeigen

tiv kühler Modelle mit niedrigem bis mittlerem $\log g$ angepasst wird (in Abb. 5.9 mit Kreisen markiert). Die kühlest Modelle geben die überwiegende Mehrzahl der Spektren bereits annehmbar wieder, so dass diese nicht weiter untersucht werden brauchen. Weiße Zwerge und andere heiße Sterne werden in diesem Schritt am besten von den heißen Modellen angepasst und anschließend jeweils über die volle Temperatursequenz gefittet. Dabei wird zunächst mit einer Schrittweite von vier Gitterpunkten zu höheren Temperaturen gegangen. Ist ein Minimum gefunden, werden noch die folgenden drei Modelle berechnet, um nicht in einem Nebenminimum hängen zu bleiben. Im Bereich um das Minimum wird dann bei jeweiliger Halbierung der Schrittweite das Gitter feiner aufgelöst, bis das genaue Minimum und je fünf Modelle bei niedrigerer und höherer Temperatur bestimmt sind (sofern das Minimum nicht zu nahe am Gitterrand liegt; in diesem Fall wird eine Folge von elf Modellen bis zum Rand berechnet). Diese Ermittlung des Temperaturminimums wird sukzessive für höhere $\log g$ durchgeführt, bis ein Minimum in beiden Parametern gefunden ist. Eine weitere Interpolation zwischen den Modellen findet dabei nicht statt, da die Auflösung des Gitters bereits die mit diesen Spektren erreichbare Präzision in der Bestimmung der Parameter übertrifft.

5.4.3 Güte des Modellfits

Der vollständig durchgeführte Fit liefert eine Bestimmung der besten Werte für die Parameter T_{eff} und $\log g$, nach der eine Klassifikation vorgenommen werden kann.

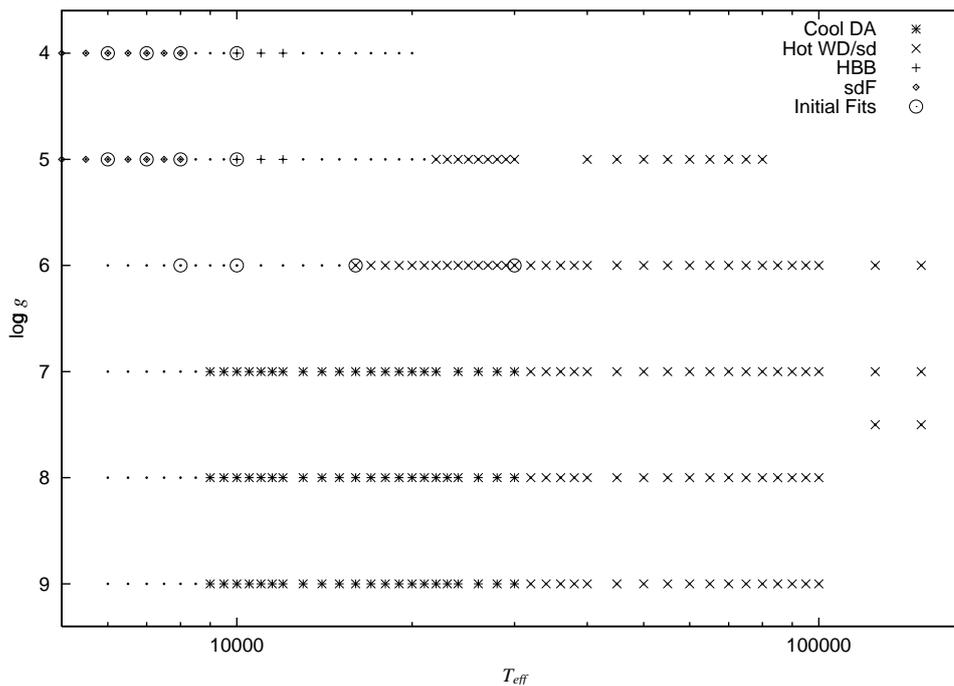


Abbildung 5.9: Modellgitter der theoretischen Spektren. Die Modelle, mit denen bei der Analyse die ersten Fits durchgeführt werden, sind umrandet. Parameterbereiche, die bei der Klassifikation bestimmten Sternklassen zugeordnet wurden, sind entsprechend gekennzeichnet

Weißer Zwerge sollten unter den Objekten mit hohem $\log g$ zu finden sein, und anhand des χ^2 -Wertes eine Beurteilung der Klassifikationsgenauigkeit möglich sein. Leider ist die Bestimmung des Rauschens aus der σ_D - D -Relation aber nicht zuverlässig genug, allein aus dem kleinsten χ^2 die Güte des Fits abzuschätzen. Es ist somit noch nicht möglich, hier einen einfachen Grenzwert anzugeben, unterhalb dessen die Spektren mit einer gewissen Sicherheit vertrauenswürdige Kandidaten sind.

Zur Überprüfung der Funktion $\sigma_D(D)$ wird daher für jedes Spektrum das Rauschen anhand des vorläufig besten Fits nochmals empirisch bestimmt. Wenn entweder schon das χ^2 deutlich unter 1 liegt oder das im Kontinuum bei $4410 \text{ \AA} - 4740 \text{ \AA}$ gemessene mittlere Rauschen um mehr als ein Drittel unter dem aus der Schwärzung abgeleiteten Wert liegt, wird für die endgültigen Fits eine Korrektur durchgeführt. Dazu wird die mittlere Schwärzung bestimmt, bei der nach der σ_D - D -Relation das empirisch bestimmte Rauschen erreicht wird. Für die weiteren Bestimmungen des Rauschens in jedem Pixel wird bei diesem Spektrum dann die Schwärzung um eine entsprechende Differenz korrigiert, so dass das Rauschen als $\sigma_D(D + \Delta D)$ bestimmt wird. Eine umgekehrte Korrektur zu *niedrig* geschätzten Rauschens kann mit dieser Methode allerdings nicht durchgeführt werden, da ein scheinbar höheres Rauschen auch durch nicht erkannte spektrale Merkmale vorgetäuscht werden kann.

Als zuverlässigste Methode zur Bewertung der Spektren hat sich die Betrachtung der *Differenzen* der χ^2 -Werte bei verschiedenen Modellen erwiesen. Ein Spektrum, bei dem aufgrund zu hoch eingeschätzten Rauschens systematisch ein zu niedriges χ^2 be-

rechnet wird, mag im Minimum ein akzeptables χ^2 erhalten, auch wenn es tatsächlich von *keinem* theoretischen Spektrum aus dem stellaren Modellgitter gut wiedergegeben wird. In der Regel sind dann aber auch die Ergebnisse mit anderen Modellen des Gitters zu gut, d. h. der Unterschied im χ^2 bei einer Änderung der Parameter fällt kleiner aus als bei einem echten stellaren Spektrum. Um den erwarteten Unterschied zu quantifizieren, wird von dem besten Modell zum gegebenen $\log g$ eine Serie von 11 Template-Spektren erzeugt, indem mittels des angenommenen Rauschens und einer mit einem Pseudozufallszahlengenerator erzeugten Normalverteilung (Press et al. 1992) das Modellspektrum künstlich verrauscht wird. Für jedes dieser Templates wird zu jedem der 11 Modelle um das Temperaturoptimum herum die χ^2 -Summe bestimmt und der Mittelwert für jede Temperatur als χ_0^2 definiert (der Anteil der Berechnung des χ^2 an der Rechenzeit liegt im Prozentbereich, so dass dies keinen nennenswerten Zusatzaufwand bedeutet). Die resultierenden $\chi_0^2(T_{\text{eff}})$ haben konstruktionsgemäß bei der zugrundeliegenden Temperatur ihr Minimum $\chi_0^2(T_0) \approx 1$ und steigen in der Regel schneller an als die $\chi^2(T_{\text{eff}})$ des beobachteten Spektrums. Als Maß für die Ausprägung des Minimums der $\chi^2(T_{\text{eff}})$ werden nun die Temperaturen bestimmt, bei denen für die $\chi_0^2(T_{\text{eff}})$ die Differenz zum Minimum gerade 1 überschreitet:

$$\chi_0^2(T_u) := \chi_0^2(T_0) + 1 \quad , \quad \chi_0^2(T_l) := \chi_0^2(T_0) + 1 \quad (5.29)$$

Danach wird für das beobachtete χ^2 eine Differenz

$$\frac{\delta\chi^2}{\delta T_{\text{eff}}} := \frac{\chi^2(T_u) + \chi^2(T_l)}{2\chi^2(T_0)} \frac{2\chi_0^2(T_0)}{\chi_0^2(T_u) + \chi_0^2(T_l)} \quad (5.30)$$

definiert, die unter idealen Bedingungen in der Größenordnung 1 liegen sollte. Ist das beobachtete χ^2 allein aufgrund einer Unterschätzung des Rauschens größer 1, sollte immer noch $\delta\chi^2/\delta T_{\text{eff}} \approx \chi^2(T_0)$ gelten. In den Beispielspektren in Abb. 5.10–5.16 ist das χ_0^2 daher auf das beobachtete χ^2 -Minimum normiert, was in etwa einer Definition des Rauschens über die Differenz zwischen Beobachtung und Modell äquivalent ist.

5.4.4 Wellenlängenanpassung

Bei Spektren mit ausgeprägten Balmerlinien ist über die Anpassung der Linien eine noch bessere Bestimmung der Dispersions- bzw. Wellenlängenskala möglich, indem man nach dem besten χ^2 justiert. Diese Anpassung kann bei kühlen und insbesondere sehr heißen Spektren dagegen nicht durchgeführt werden, da sie statt dessen zu einer Verfälschung des Kontinuumsabfalls im UV führen könnte. Die Zulassung der freien Wellenlängenanpassung bei nur einem Teil der Modellsequenz ist ebenfalls problematisch, da durch die Anpassung grundsätzlich ein besseres χ^2 erreicht werden kann (im Prinzip ist damit ein dritter freier Parameter eingeführt). Um hier einen stetigen Übergang zu finden, wird daher bei Modellen ab $T_{\text{eff}} = 30\,000$ K die Rotkante festgehalten, darunter wird eine Verschiebung von einem Pixel ($10\ \mu\text{m}$), und nur für $9000\ \text{K} < T_{\text{eff}} < 23\,000\ \text{K}$ von zwei Pixeln zugelassen. Letztere reicht mit der verbesserten Definition der Rotkante meist für die optimale Anpassung aus. Eine Variation auf kleineren Skalen findet nicht statt, um eine Interpolation des Spektrums zu vermeiden.

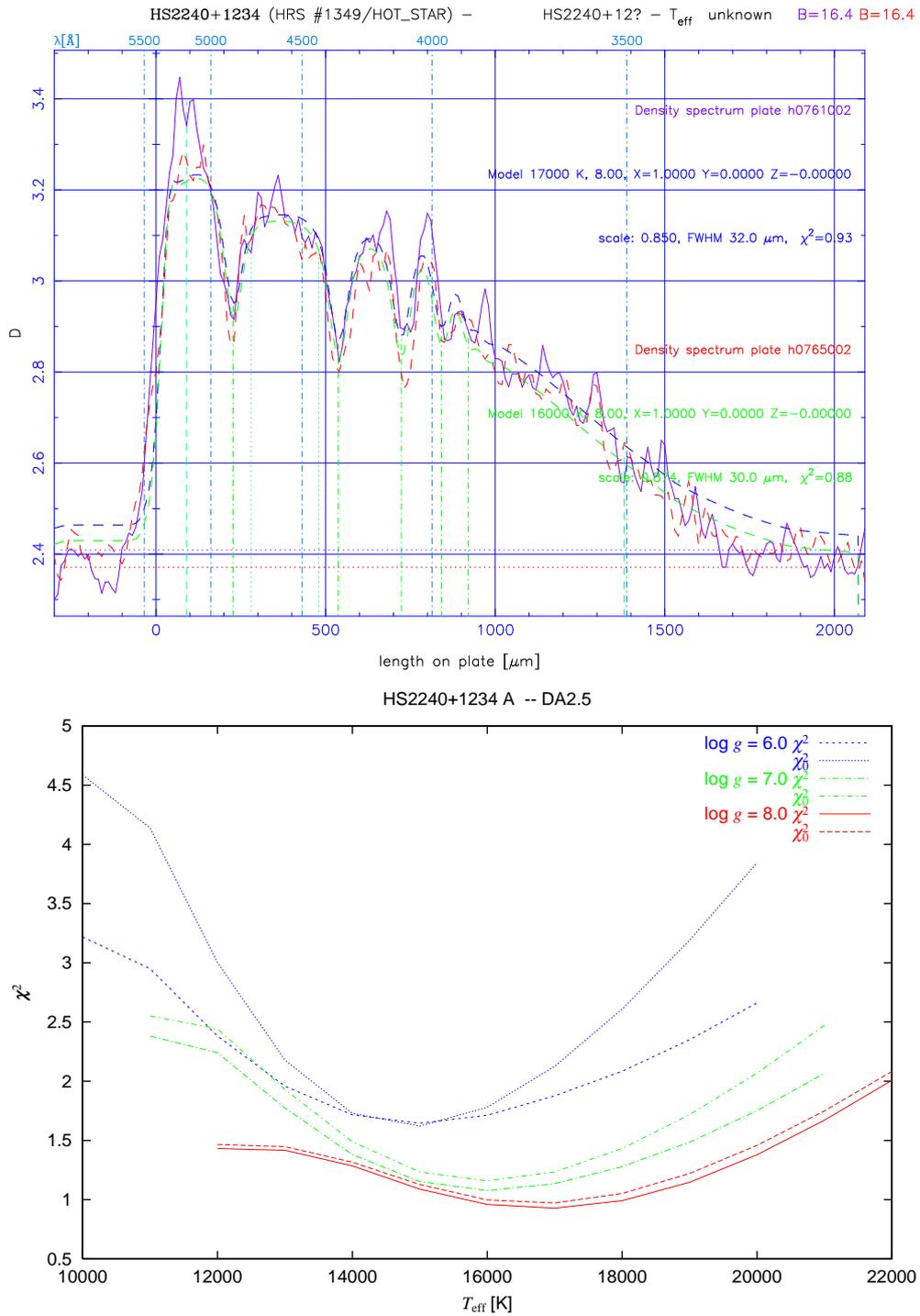


Abbildung 5.10: HRS-Spektren eines Weißen Zwergs vom Spektraltyp DA2.5 und die jeweils angepassten theoretischen Modelle mit Darstellung der Grenzen des Normierungs- (gepunktet) und des Fitbereich (gestrichelt). Unten ist für die drei besten $\log g$ der Verlauf der χ^2 -Werte für das erste Spektrum und der auf das χ^2 -Minimum der Beobachtung normierte theoretische Verlauf χ_0^2 dargestellt

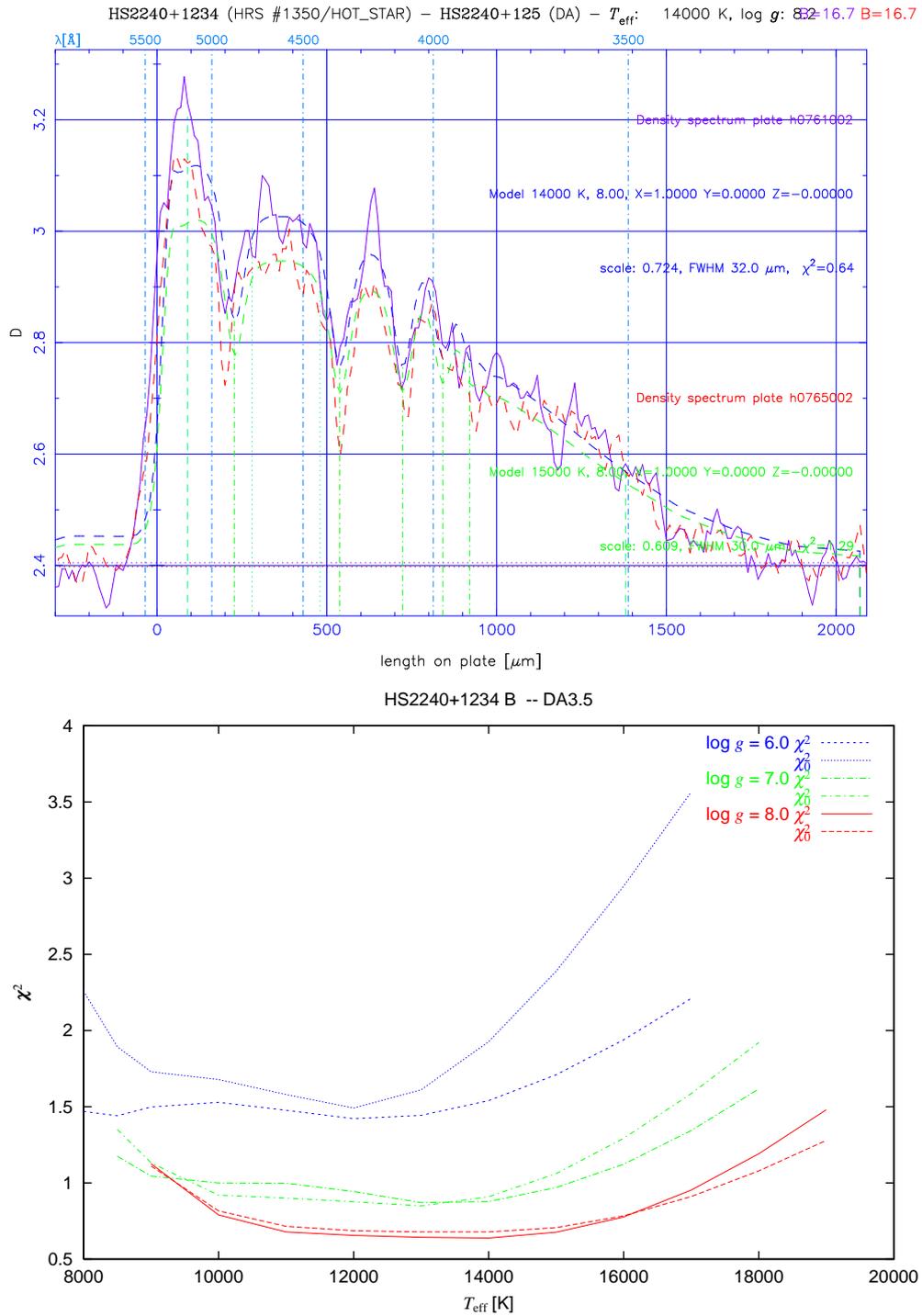


Abbildung 5.11: HRS-Spektren eines Weißen Zwergs vom Spektraltyp DA3.5 mit Verlauf der χ^2 - und der normierten χ_0^2 -Werte. Für $\log g = 7$ und $\log g = 8$ zeigt sich ein weites und flaches Minimum, das jedoch mit dem theoretisch erwarteten Verlauf übereinstimmt und auf die annähernde Stationarität der Balmerlinienstärke zurückzuführen ist

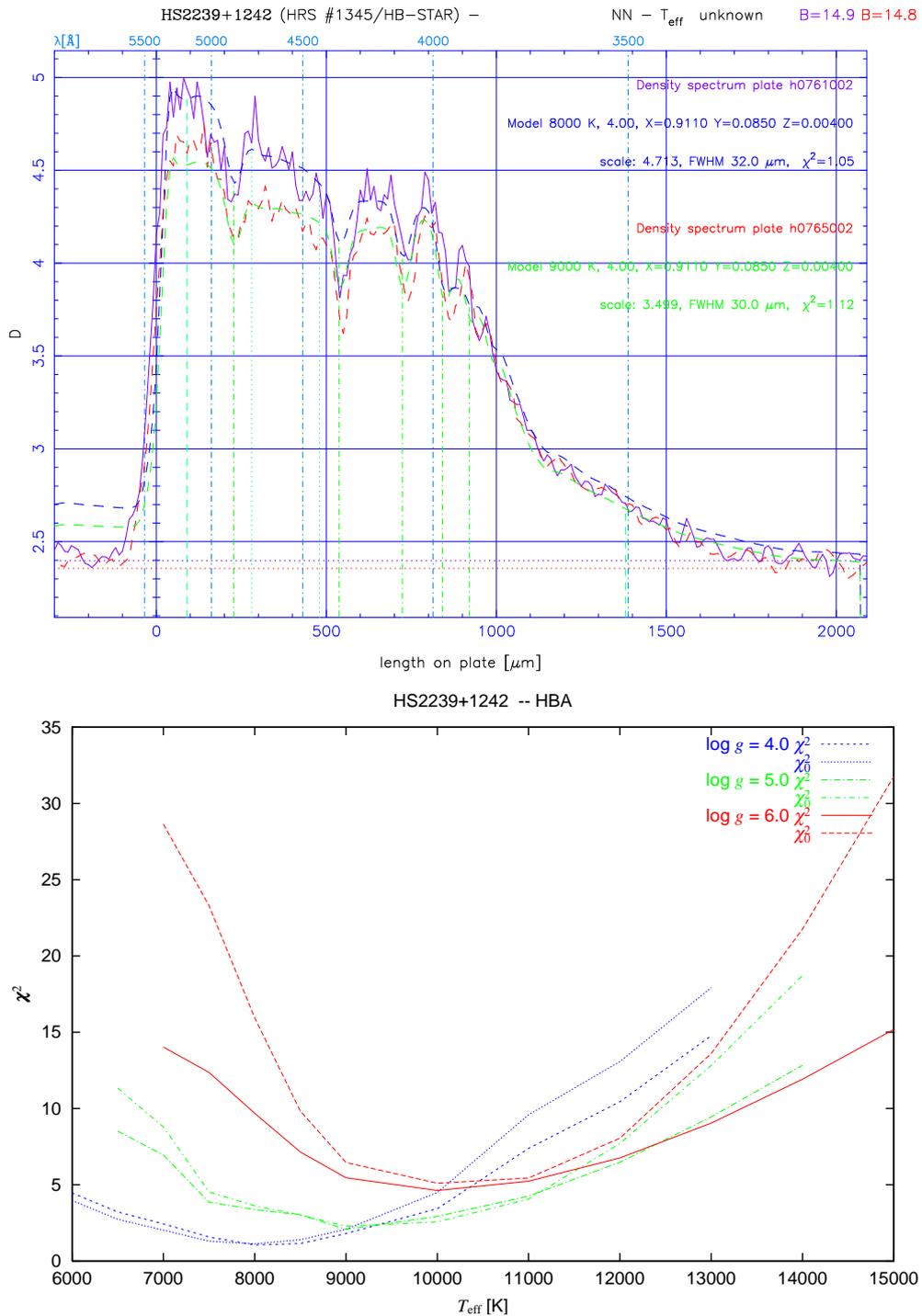


Abbildung 5.12: HRS-Spektren und Fits eines blauen Horizontalaststerns. Die Balmerseie ist ebenfalls deutlich erkennbar, der extrem ausgeprägte Balmersprung erlaubt anhand des Kontinuumsabfalls im UV aber eine klare Unterscheidung von Modellen mit höherem $\log g$

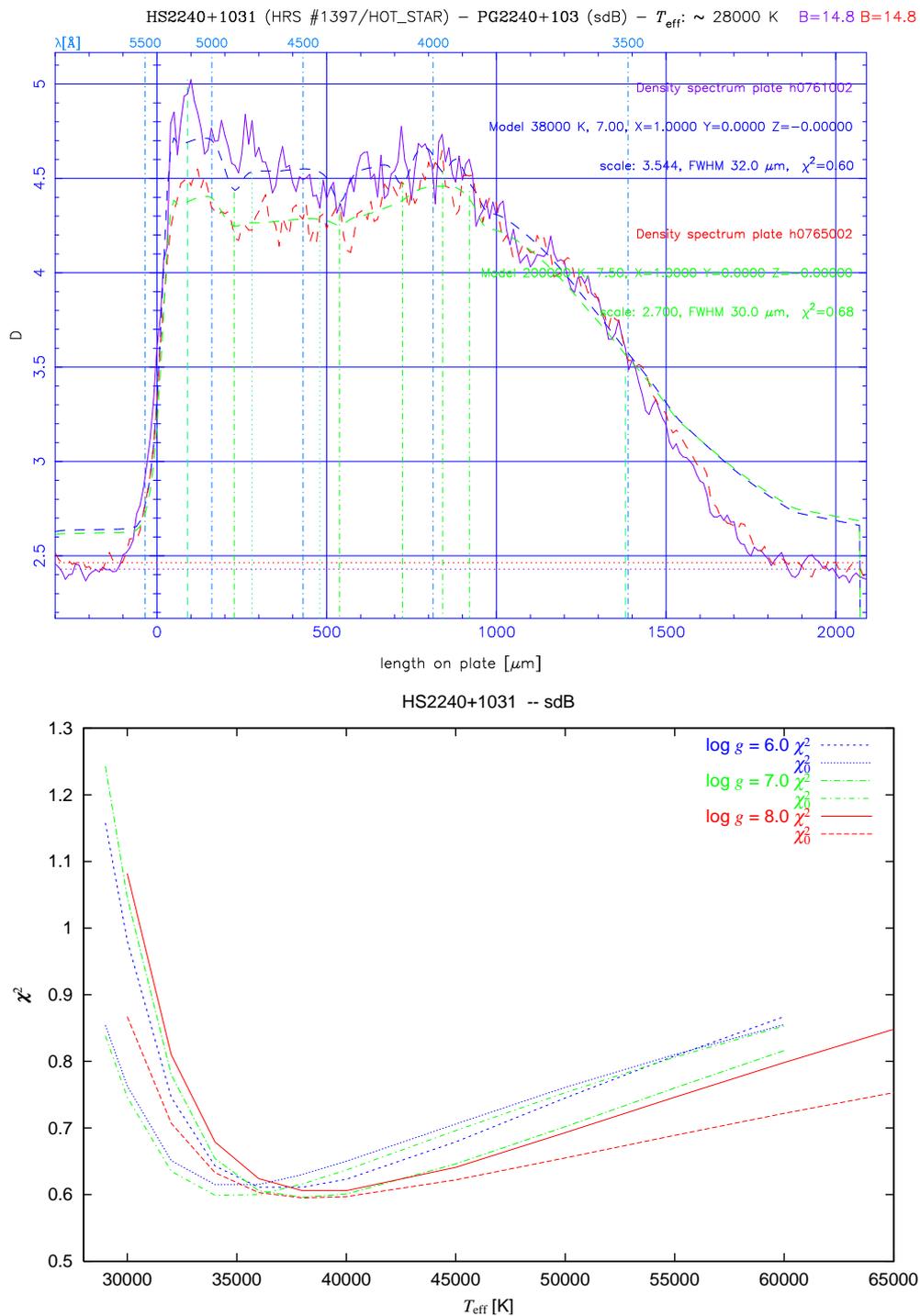


Abbildung 5.13: HRS-Spektren und Fits eines heißen Subdwarfs. Die praktisch nicht mehr auflösbaren Linien des Wasserstoffs lassen praktisch keine Bestimmung des $\log g$ mehr zu, und die Temperaturbestimmung wird stark von der spektralen Empfindlichkeit im UV abhängig, da der Verlauf des Kontinuums sich bis zu den höchsten Temperaturen nur noch wenig ändert – siehe den Fit des 2. Spektrums mit 200 000 K!

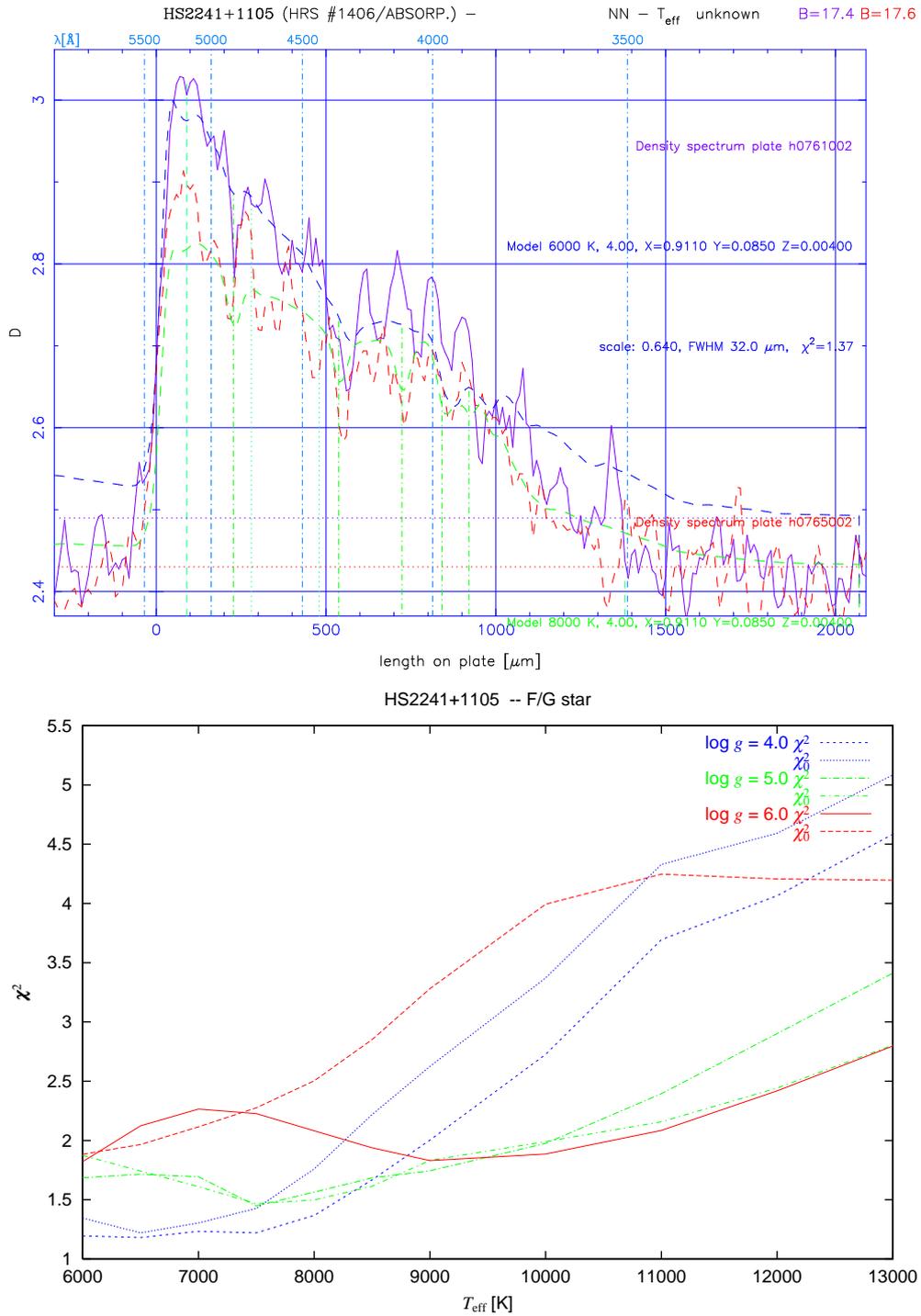


Abbildung 5.14: HRS-Spektren eines kühlen Sterns, vermutlich des Spektraltyps G oder F auf der Hauptreihe oder sdG/sdF. Dieser Typus stellt etwa 60 % des stellaren Anteils der HRS-Spektren

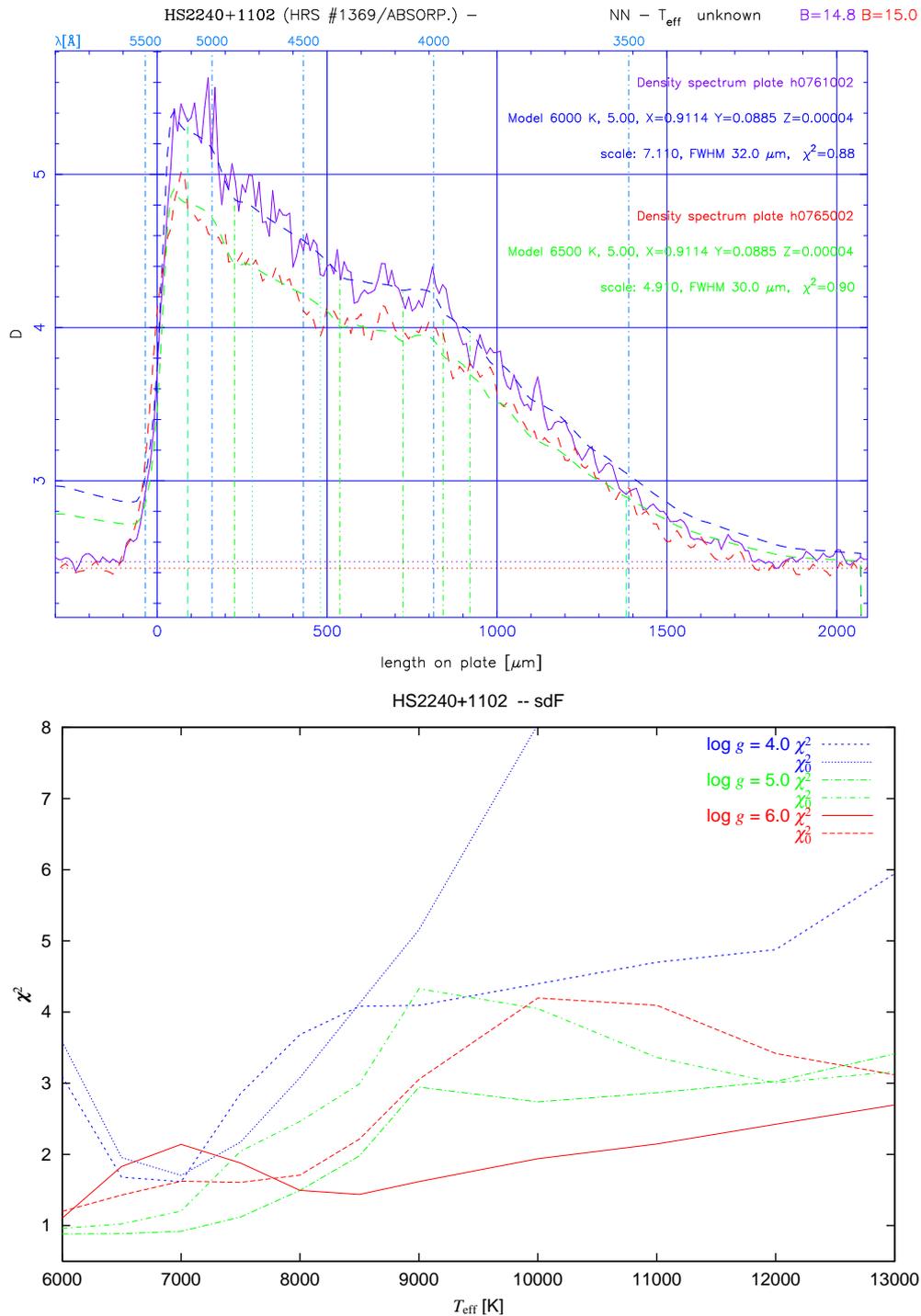


Abbildung 5.15: HRS-Spektren eines kühlen Sterns mit einem Modell geringerer Metallizität gefittet. Alternativ könnten die schwächeren Absorptionsmerkmale auch eine höhere Temperatur indizieren, allerdings erzielt keins der $\log g = 4$ -Modelle mit solarer Metallizität einen guten Fit. Für $\log g = 5$ sind bei 10 000 K Unstetigkeiten aufgrund des Übergangs zu reinen Wasserstoffatmosphären zu beobachten

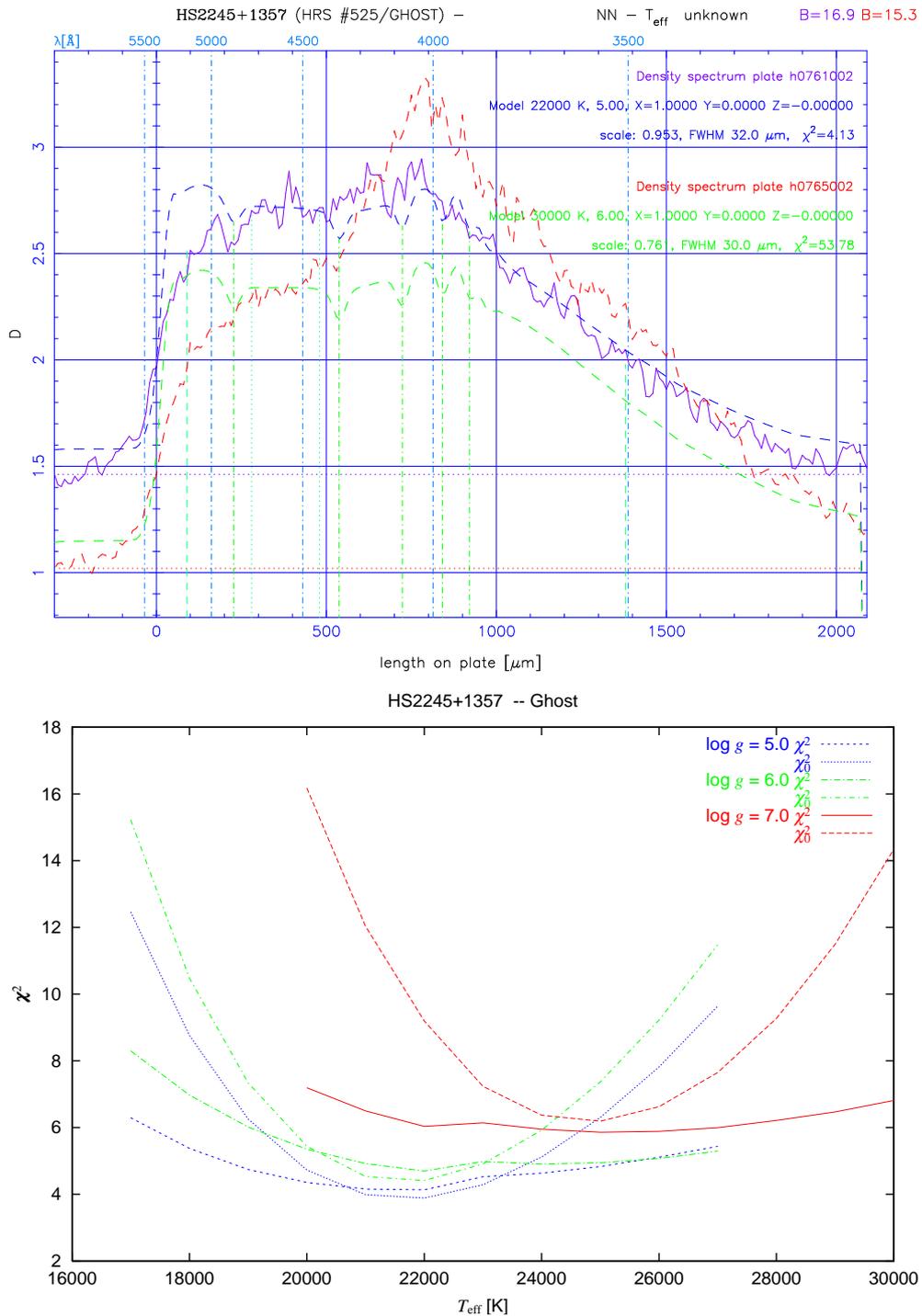


Abbildung 5.16: Durch Reflexionen am Prisma hervorgerufene Geisterspektren, die durch ihre symmetrische Form Ähnlichkeit mit einem heißen Objekt vortäuschen können. Der Vergleich der χ^2 -Kurven mit dem theoretischen Verlauf zeigt jedoch deutlich, dass es kein wohldefiniertes Minimum gibt

5.5 Anpassung der Plattenfunktionen

Die für die Transformation der Modellspektren zugrundegelegten Plattenfunktionen $g(\lambda)$ und $\gamma(\lambda)$ beruhen im Wesentlichen auf den von Clowes et al. (1980) gemessenen Werten. Eine vollständige Bestimmung beider Funktionen allein nach den im HRS als Standardsternen zur Verfügung stehenden WZ und heißen Subdwarfs ist schwierig, da einerseits je Wellenlängenintervall nur wenige Pixel im HRS-Spektrum zur Verfügung stehen, so dass eine über 100–200 Å gemittelte Schwärzung noch immer mit recht hohem Rauschen behaftet ist, andererseits der Einfluss von Sensitivität und Kontrast bei einem gegebenen Schwärzungsniveau entartet ist. Um $g(\lambda)$ und $\gamma(\lambda)$ unabhängig voneinander bestimmen zu können, bräuchte man also mehrere Standardspektren, möglichst von deutlich verschiedener Helligkeit. In der Regel findet man in einem Feld aber maximal einen WZ mit gut bestimmter Effektivtemperatur. Daher wurden einige Vereinfachungen gemacht:

1. Die Sensitivität $g(\lambda)$ wird als invariant über alle Platten und Batches angenommen und aus den Messungen von Clowes et al. (1980) und Kodak (1973) übernommen.
2. Im langwelligen Bereich ($\lambda > 4400 \text{ \AA}$) wird eine gleichfalls einheitliche Kurve für $\gamma(\lambda)$ verwendet, die anhand einer Reihe bekannter WZ angepasst wurde und offenbar die meisten Platten gut reproduziert.
3. Für den kurzwelligen Teil des gefitteten Bereichs $-3500 \text{ \AA} < \lambda < 4400 \text{ \AA}$ wird eine quadratische Interpolation zwischen dem langwelligen Bereich und dem festgehaltenen Teil für $\lambda < 3400 \text{ \AA}$ (der für die Anpassung der Modelle keine Rolle spielt) angesetzt, die durch einen einzigen Parameter beschrieben wird: den Wellenlängenpunkt bei 3850 Å.

Durch diese Reduktion auf ein

$$\gamma_B := \gamma(3850 \text{ \AA}) \quad (5.31)$$

lässt sich der Kontrastverlauf an einem einzigen Standardspektrum kalibrieren. Die verwendeten Kurven für $\gamma(\lambda)$ werden dabei auf den Parameterbereich $3.4 < \gamma_B < 4.0$ beschränkt (siehe Abb. 5.17).

Damit scheint sich der vorkommende Bereich an spektralen Empfindlichkeiten der Emulsionen weitgehend abdecken zu lassen. In der Regel führt auch eine Unsicherheit innerhalb dieser Grenzen nicht zu einer völligen Fehlklassifikation, sondern beeinträchtigt im Wesentlichen die Temperaturbestimmung. Bei heißeren WZ und Subdwarfs kann dies allerdings auf die Bestimmung von $\log g$ rückwirken (Abb. 5.18, 5.19). Generell ist ein höheres γ_B der konservativere Ansatz, da auf diese Weise der Fluss im UV und damit auch die Temperatur im Zweifel unterschätzt wird. Da zu sehr hohen Temperaturen die Kontinuumssteigung fast konstant wird (bzw. sich asymptotisch dem Rayleigh-Jeans-Verlauf annähert), führt umgekehrt eine Überschätzung des Flusses leicht zu Ausreißern mit extremen Temperaturwerten.

Eine Bestimmung von γ_B für alle Platten, auf denen WZ oder Subdwarfs mit bekannten Temperaturen identifiziert wurden, hat eine deutliche Streuung auch innerhalb der verschiedenen Emulsionsbatches gezeigt. Die Verteilung lässt aber dennoch

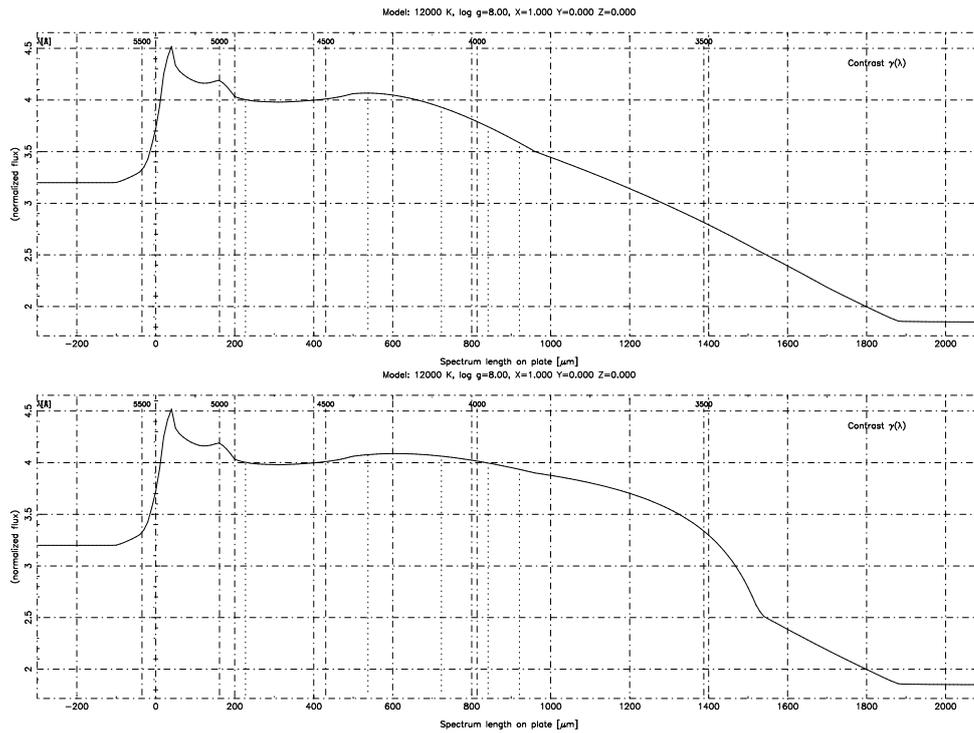


Abbildung 5.17: Kontrastkurven mit unterschiedlichem Wert des Kontrasts im Blauen und UV. Oben: $\gamma_B = 3.5$, Unten: $\gamma_B = 3.9$

eine leichte Abhängigkeit von den Batches erkennen. Für die Analyse wurde daher einmal ein für alle Platten gleiches hohes $\gamma_B = 3.85$ gewählt und für einen weiteren Durchlauf ein für jedes Batch individuell bestimmtes γ_B , das am oberen Quartil der für das Batch gemessenen γ_B orientiert ist.

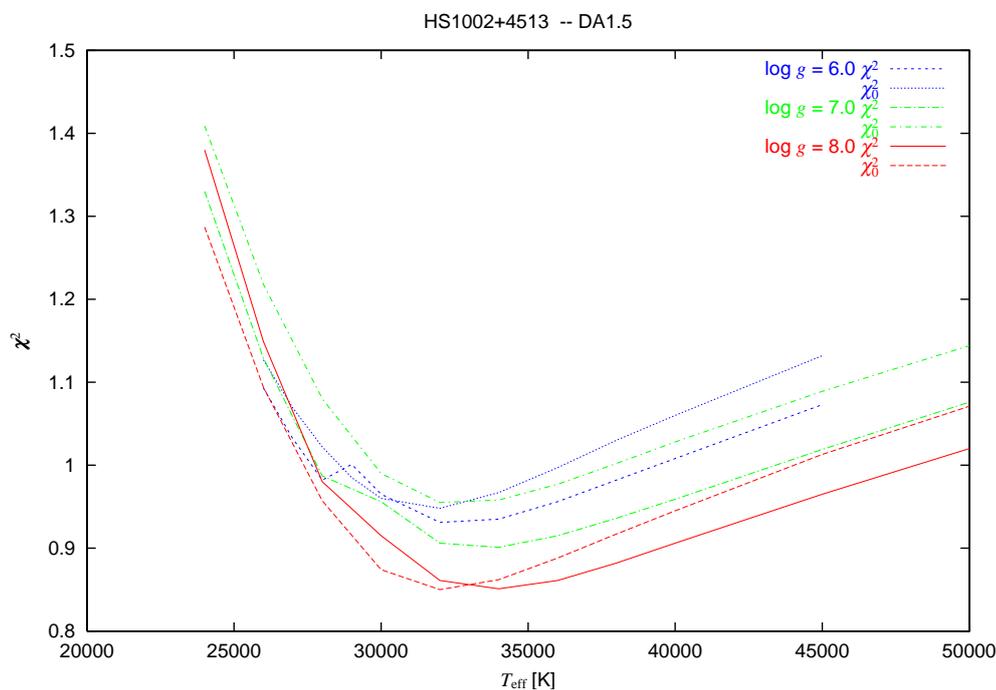
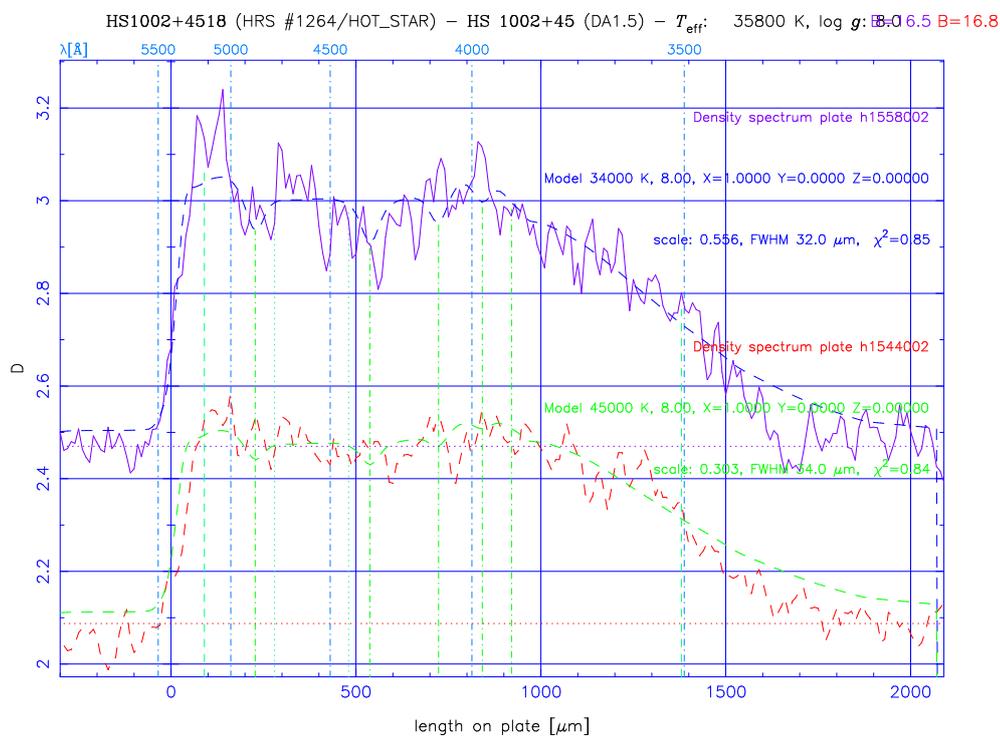


Abbildung 5.18: Heißer DA, gefittet mit einem Modell mit niedrigem (korrektem) Blaukontrast von $\gamma_B = 3.5$

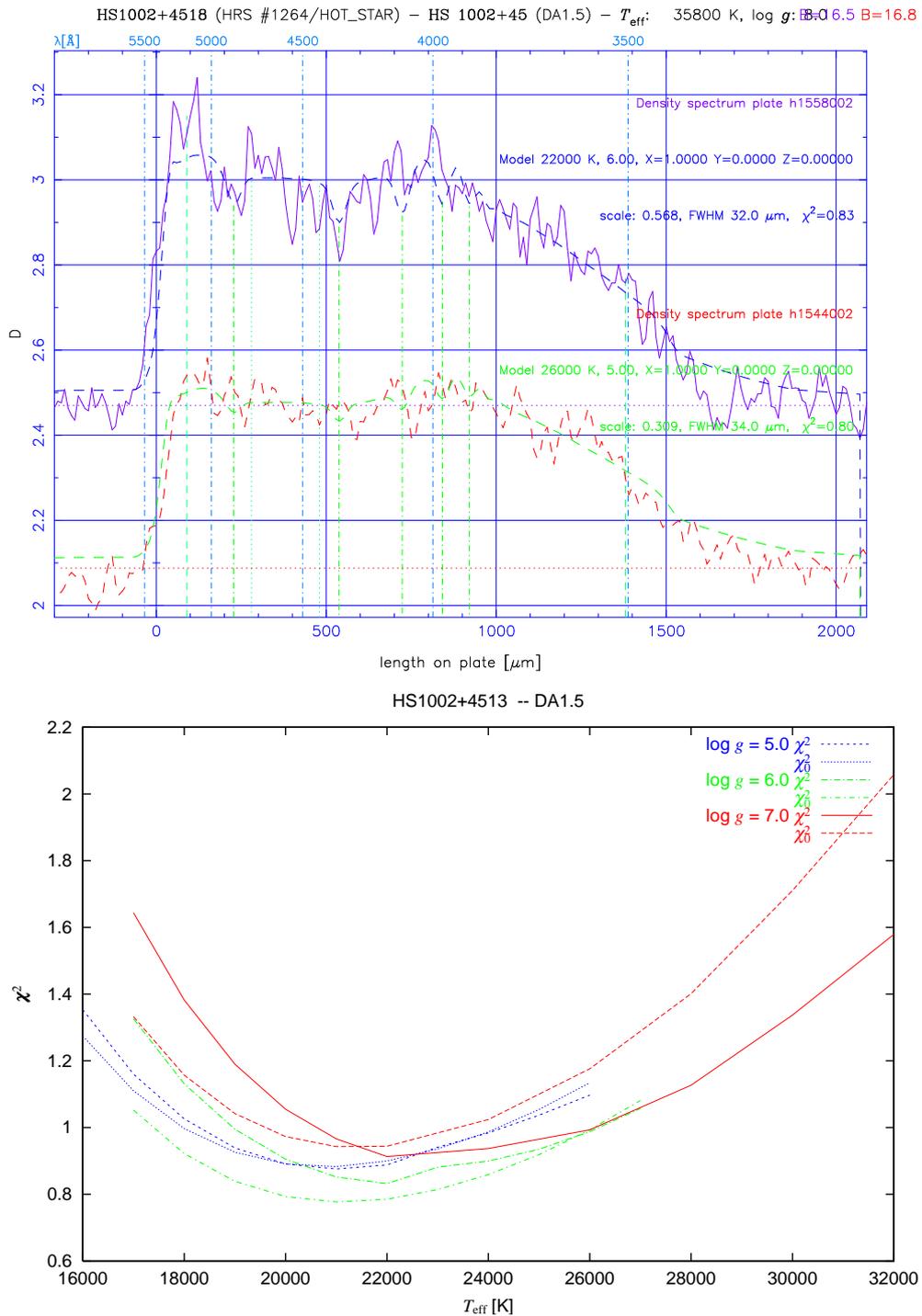


Abbildung 5.19: Der heiße DA aus Abb. 5.18, gefittet mit zu hohem Kontrast am kurzwelligeren Ende von $\gamma_B = 3.9$. Die Unterschätzung des Flusses im UV führt zu einer verringerten Temperaturbestimmung. Da die Stärke der Balmerlinien dazu wiederum im Widerspruch steht, wurde zugleich ein niedrigeres $\log g$ bestimmt

Kapitel 6

Klassifikationsergebnisse

Ich entsinne mich noch der Zeiten, da der schönste Lohn für ein Kind eine Sonntagsfahrt zum Mars war – heute dagegen ist ein launenhafter Junge sein Frühstück nicht, wenn der Vater für ihn nicht die Extraexplosion einer Supernova hervorruft!

Stanislaw Lem, *Retten wir den Kosmos* (Offener Brief Ijon Tichys)

6.1 Einteilung stellarer Klassen

Der automatische Fit aller HRS-Spektren hat eine Bestimmung stellarer Parameter für 562 416 der 1.05 Mio. Objekte ergeben. Dabei sind aus dem ursprünglichen Datensatz bereits unklassifizierbare Spektren oder solche mit unsicherer Bestimmung entfernt worden, insbesondere alle, die in der visuellen Klassifikation als überlappende Spektren, Geisterspektren, ausgedehnte oder gesättigte Objekte markiert waren. Da diese Zuordnungen auf Informationen aus den Direktplattenscans bzw. photometrischen Daten beruhen, ist damit kein subjektiver Bias in die *spektrale* Klassifikation eingeführt. Außerdem sind nur Spektren mit einem mittleren Signal-zu-Rausch-Verhältnis $S/N > 4.0$ berücksichtigt worden. Bei der Einteilung nach Klassen aufgrund der gefitteten $\log g$ und T_{eff} stand eine möglichst vollständige Erfassung der Weißen Zwerge mit gleichzeitig jedoch möglichst geringer Kontamination durch andere Objekte, vor allem kühlere Sterne, im Vordergrund. Da eine Unterscheidung sehr heißer WZ von sdO/sdB nach den HRS-Spektren praktisch unmöglich ist, besonderes Augenmerk aber auf der Suche nach kühlen DAV-Kandidaten liegt, werden die heißeren WZ (notwendig zusammen mit den Subdwarfs) getrennt von den kühleren behandelt. Daher wurden folgende Klassen definiert:

„**Kühle DA**“: $9000 \text{ K} \leq T_{\text{eff}} \leq 30\,000 \text{ K}$, $\log g \geq 7.0$

„**Heiße WZ**“: $\log g \geq 7.0$ und $T_{\text{eff}} > 30\,000 \text{ K}$, oder $\log g = 6.0$ und $T_{\text{eff}} \geq 16\,000 \text{ K}$, oder $\log g = 5.0$ und $T_{\text{eff}} \geq 22\,000 \text{ K}$

In allen Fällen wird außerdem neben $S/N > 4.0$ verlangt:

$$\begin{aligned} \chi^2 &< 3.0 \\ \frac{\delta\chi^2}{\delta T_{\text{eff}}} &> 0.3 \chi^2 \end{aligned} \tag{6.1}$$

Die Bezeichnungen sind dabei nur als vorläufig zu verstehen, da über die tatsächliche Zusammensetzung der Klassen zunächst keine Angaben gemacht werden können. Die im folgenden diskutierte Klassifikation beruht jeweils nur auf den Ergebnissen für ein Spektrum, das HRS-Spektrum der jeweils besseren ersten Platte des Feldes.

6.1.1 Vollständigkeit

Anhand der bekannten Sterne lässt sich die Vollständigkeit bestimmen, mit der WZ und andere heiße Sterne erfasst werden. Tabelle 6.1.1 zeigt die Verteilung dieser Sterne auf die Klassen je einmal für das Modell mit unterschiedlichem Blaukontrast für die verschiedenen Batches und für konstant hohem Blaukontrast für alle Platten. Das erste Modell erzielt mithin deutlich höhere Vollständigkeit bei den „Kühlen DA“, wenn auch um den Preis etwas größerer Kontamination mit Subdwarfs. Für alle WZ zusammen liegt die Vollständigkeit, bezogen auf die bereits in den HRS-Daten enthaltenen Objekte, bei 80 %, für die WZ mit bekannten Temperaturen $T_{\text{eff}} \geq 9000$ K sogar bei über 85 %.

Tabelle 6.1: Verteilung bekannter WZ und Subdwarfs auf die Klassen der automatisierten HRS-Klassifikation nach I.: nach Emulsionsbatches angepasstem Kontrast γ_B , II.: für alle Platten gleiches $\gamma_B = 3.85$

HRS-Klasse		insgesamt	DA/DB/DO	sdB/sdO
„Kühle DA“	I.	3275	424	38
„Heiße WZ“	I.	3755	246	408
„Kühle DA“	II.	2486	379	9
„Heiße WZ“	II.	2951	240	338
alle stellaren HRS	$S/N > 4.0$	562416	837	596

6.1.2 Temperaturbestimmung

Die Ergebnisse der Temperaturfits für die HRS-Spektren sind in den Tabellen 6.1, 6.2 mit den Literaturwerten verglichen. Hier zeitigt das Modell I. deutlich bessere Ergebnisse, da der zu hoch angesetzte Kontrast im Modell II. systematisch zu niedrige Temperaturbestimmungen verursacht. Für Modell I. ist der mittlere relative Fehler der Temperatur bezogen auf die spektroskopischen Analysen 0.26 für DA mit $T_{\text{eff}} \leq 30\,000$ K, für $T_{\text{eff}} \leq 20\,000$ K sogar kleiner als 0.20. Damit sind also gerade im Bereich der kühlen DA gute Temperaturabschätzungen möglich, die ein Eingrenzen von Kandidaten im Bereich der DAV, also bei etwa $10\,000\text{ K} \leq 14\,000\text{ K}$ erlauben. Für dieses Intervall enthält das Sample nach Modell I. 1104 Sterne, so dass ein deutlicher Zuwachs der Anzahl bekannter ZZ Ceti-Veränderlicher möglich ist.

6.2 Visuelle Kontrolle

Eine sichere Klassifikation der Objekte aus der HRS-Datenbasis ist im Einzelfall erst durch eine Nachbeobachtung, im Regelfall mit Spaltspektroskopie, möglich. Da die

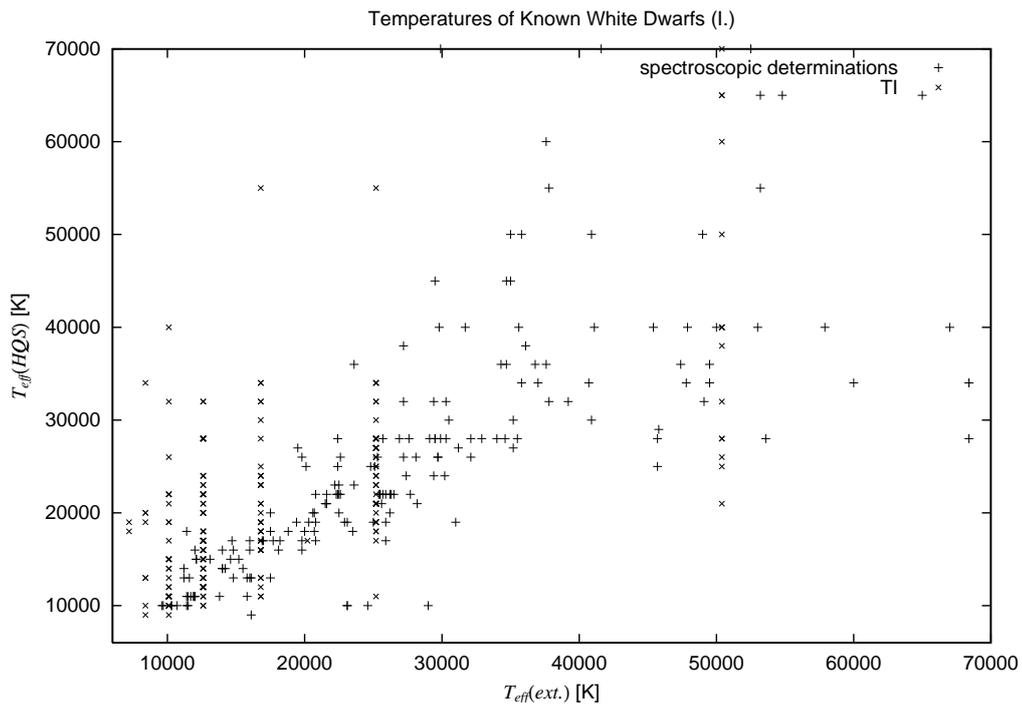


Abbildung 6.1: Vergleich der aus den HRS-Fits bestimmten Temperaturen mit Literaturwerten aufgrund spektroskopischer Analysen oder Temperaturindizes für das Modell I. mit variablem γ_B

Zahl der Kandidaten in der automatisierten Klassifikation aber bereits erheblich vermindert wurde, kommt für die ausgewählten Samples auch eine zusätzliche visuelle Inspektion in Frage, um z. B. exotischere Objekte zu identifizieren, die durch das Raster der stellaren Klassen gerutscht sind. Eine solche Nachkontrolle habe ich für einen Teilbereich des Surveys durchgeführt, um WZ-Kandidaten für die Suche nach engen WZ-Binärsystemen (*Double Degenerates*) zu identifizieren. Um solche Systeme, die als mögliche Vorläufer von Typ Ia-Supernovae in Frage kommen, zu finden, ist die Beobachtung sehr vieler (geplant sind 1500) Weißer Zwerge nötig, so dass über die bekannten Kataloge hinaus etliche neue Kandidaten benötigt werden (Christlieb et al. 2001; Koester et al. 2001). Da die Sterne andererseits direkt am ESO-VLT mit sehr hoher Auflösung spektroskopiert werden sollen, um Radialgeschwindigkeitsvariationen nachzuweisen, soll die Anzahl von Fehlbestimmungen natürlich möglichst minimiert werden.

Unter den automatisch klassifizierten „kühlen DA“ finden sich 306, die technisch die Voraussetzungen für die VLT-Beobachtungen erfüllen: niedrige Deklination ($\delta < 15^\circ$) und $B < 16^m55$. Diese wurden mit `fithrs` im interaktiven Modus untersucht, wobei vor allem auf die Ausprägung der Balmerlinien und den χ^2 -Verlauf bei höherem verglichen mit dem bei niedrigerem $\log g$ geachtet wurde. Die Spektren wurden dann mit einer Note von 1-6 bewertet, wobei für die SNIa-Beobachtungen nur die Noten 1-2 akzeptiert wurden (Tabelle A.1). Tatsächlich sollten auch die 3er in der Regel noch vertrauenswürdige WZ-Kandidaten sein.

Das auffälligste Ergebnis dieser Untersuchung ist, dass sich auf einigen wenigen

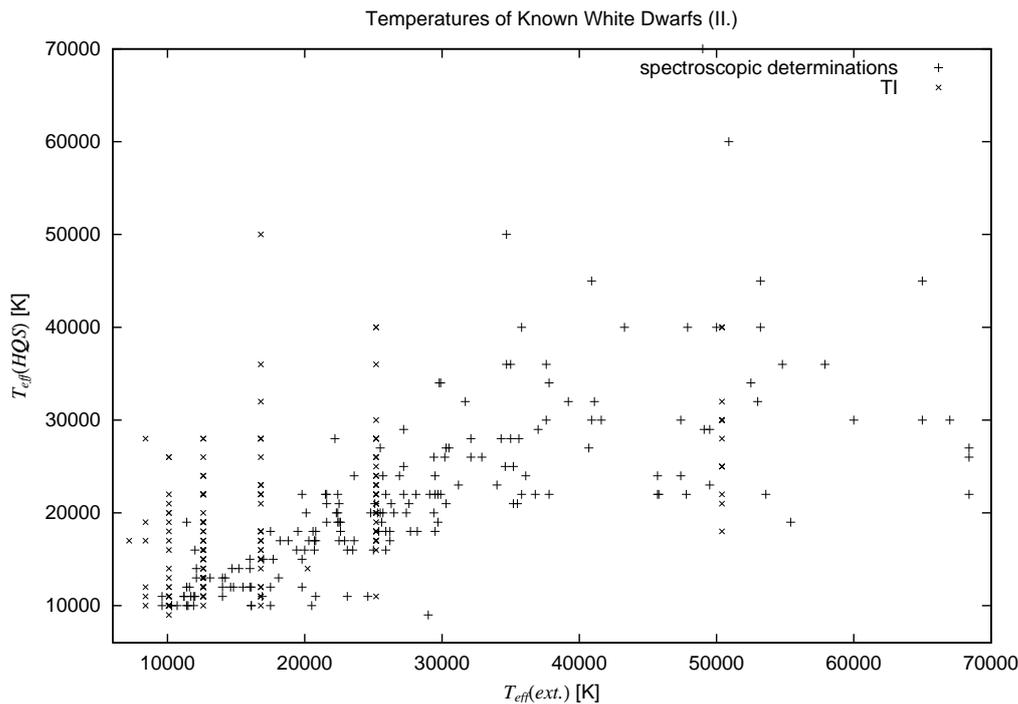


Abbildung 6.2: Vergleich der Temperaturen aus den HRS-Fits mit Literaturwerten für das Modell II. mit konstantem $\gamma_B = 3.85$

Platten große Mengen an fehlklassifizierten Spektren häufen, nämlich relativ helle Sterne, die schon weit im nichtlinearen Teil der Schwärzungskurve liegen und dadurch wesentlich stärkeren Flussanteil im UV zu haben scheinen, obgleich sie noch nicht als gesättigt eingestuft wurden und auch meist schwächer als $B = 14^m0$ sind. Diese Objekte sind oft schon auf der zweiten Platte des jeweiligen Feldes als kühle Sterne zu identifizieren und wurden daher mit eindeutiger 5 oder 6 bewertet. Da diese Erscheinung auf einzelne Platten beschränkt ist, muss hier eine besonders hohe Belichtung oder ein ungewöhnlich frühes Abknicken der charakteristischen Kurve vorliegen. Demgegenüber wurden bei schwächeren Helligkeiten lediglich einige wenige unsichere Kandidaten gefunden. Dabei muss allerdings daran erinnert werden, dass hier nur Sterne bis $B = 16^m5$ untersucht wurden, also alle Spektren noch recht hohes S/N hatten. Bei Sternen nahe am Helligkeitslimit des Surveys dürfte auch die visuelle Kontrolle deutlich schwieriger werden.

Diese Erkenntnis erlaubte eine relativ unaufwendige Nachkontrolle des gesamten DA-Samples. Da im Mittel deutlich weniger als ein heller DA mit $B < 15^m0$ pro Feld zu erwarten ist, habe ich auf allen Feldern, auf denen mehr als zwei DA mit $B < 14^m5$ oder mehr als drei mit $B < 15^m0$ selektiert wurden, die hellen Kandidaten visuell inspiziert und dann ggf. verworfen. Auf diese Weise wurden von den ursprünglich 3275 Kandidaten der Selektion I 329 ausgemustert.

6.3 Räumliche Verteilung

Unter allen bekannten kühleren Sternen und Horizontalaststernen ist zwar nicht einer als Weißer Zwerg klassifiziert worden, doch ist die Anzahl dieser Sterne in der Literaturodatenbasis noch deutlich zu klein, daraus sichere Angaben zur Effizienz der Selektion abzuleiten. Einen unabhängigen Test der Höhe der Kontamination des Samples bietet allerdings die Verteilung der Objekte in Bezug auf galaktische Breite und Entfernung. Während im HQS allgemein die Anzahl der Quellen zu niedrigeren Breiten erheblich zunimmt, sind alle bis auf die heißesten WZ bis zur Grenzgröße des HQS nur bis weniger als 200 pc beobachtbar, also weniger als eine Skalenhöhe der galaktischen Scheibe (s. Abb. 1.1) Für die Verteilung der WZ im HQS ist daher folgendes Verhalten zu erwarten:

Die Flächenanzahldichte sollte nahezu unabhängig von der galaktischen Breite sein.

Es sollte eine isotrope Raumverteilung zu beobachten sein, d.h. bis zur Vollständigkeitsgrenze des Surveys sollten die beobachteten Sternzahlen (kumulativ) mit jeder Magnitude um den Faktor $10^{0.6} \approx 4$ ansteigen.

Zur Überprüfung dieser Annahme wurden die Flächendichten bis zu verschiedenen Grenzhelligkeiten bei unterschiedlichen galaktischen Breiten bestimmt. Dazu wurden die Felder mit Platten der höchsten Qualität („Grade A“) nach Abstand zur Milchstraßenebene in vier Zonen von je 41 Feldern eingeteilt, dabei erstreckte sich die erste Zone von $b = 20^\circ - 30^\circ$, die zweite bis 40° , die dritte bis 55° und die vierte umschließt den galaktischen Nordpol. Um aus den in den einzelnen Zonen gezählten Objekten die tatsächlichen Sternzahlen zu ermitteln, muss der jeweilige Verlust durch Overlaps bestimmt werden. Dazu sind für die einzelnen Anteile der Overlaps an allen HRS-Spektren für die vier Zonen in Abhängigkeit von der Helligkeit ausgezählt worden (Tabelle 6.3).

Tabelle 6.2: Anteil der Overlaps an den HRS-Spektren für die vier Zonen galaktischer Breite nach Helligkeitsintervallen

Magnitudo	$20^\circ < b \leq 30^\circ$	$30^\circ < b \leq 40^\circ$	$40^\circ < b \leq 55^\circ$	$55^\circ < b \leq 90^\circ$
$B_J \leq 13.0$	0.108	0.063	0.055	0.006
$13.0 < B_J \leq 13.5$	0.165	0.090	0.057	0.017
$13.5 < B_J \leq 14.0$	0.210	0.097	0.067	0.048
$14.0 < B_J \leq 14.5$	0.242	0.143	0.087	0.049
$14.5 < B_J \leq 15.0$	0.241	0.147	0.096	0.053
$15.0 < B_J \leq 15.5$	0.269	0.184	0.109	0.057
$15.5 < B_J \leq 16.0$	0.307	0.217	0.121	0.077
$16.0 < B_J \leq 16.5$	0.338	0.244	0.143	0.092
$16.5 < B_J \leq 17.0$	0.352	0.283	0.180	0.112
$17.0 < B_J \leq 17.5$	0.377	0.303	0.202	0.137
$17.5 < B_J \leq 18.0$	0.442	0.358	0.245	0.168
$18.0 < B_J \leq 18.5$	0.577	0.463	0.286	0.182

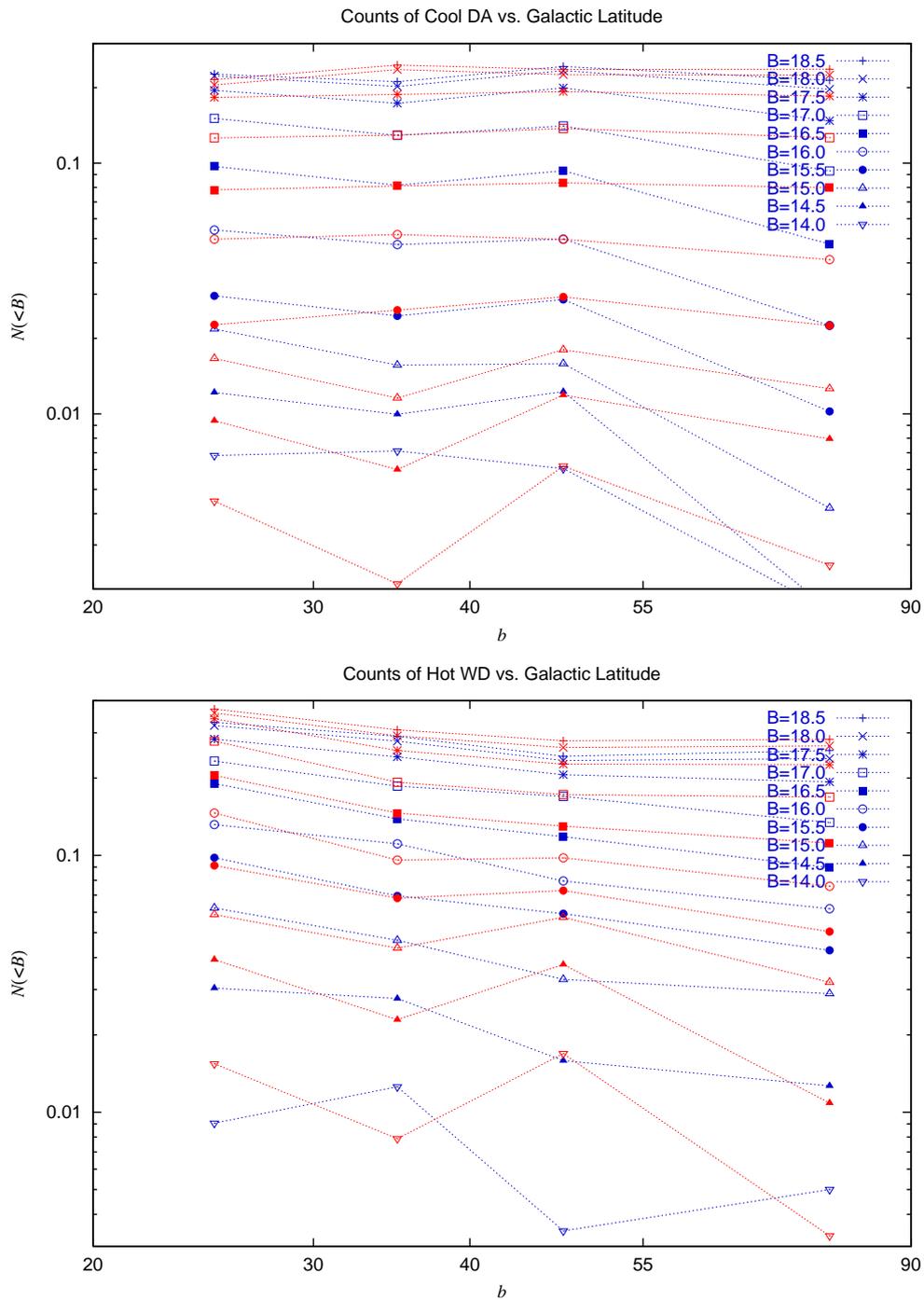


Abbildung 6.3: Kumulative Flächendichten der „kühlen DA“ (oben) und „heißen WZ“ (unten) nach Helligkeit in vier Zonen verschiedener galaktischer Breite. Dünn gepunktet: A-Platten, dick gepunktet: B-Platten

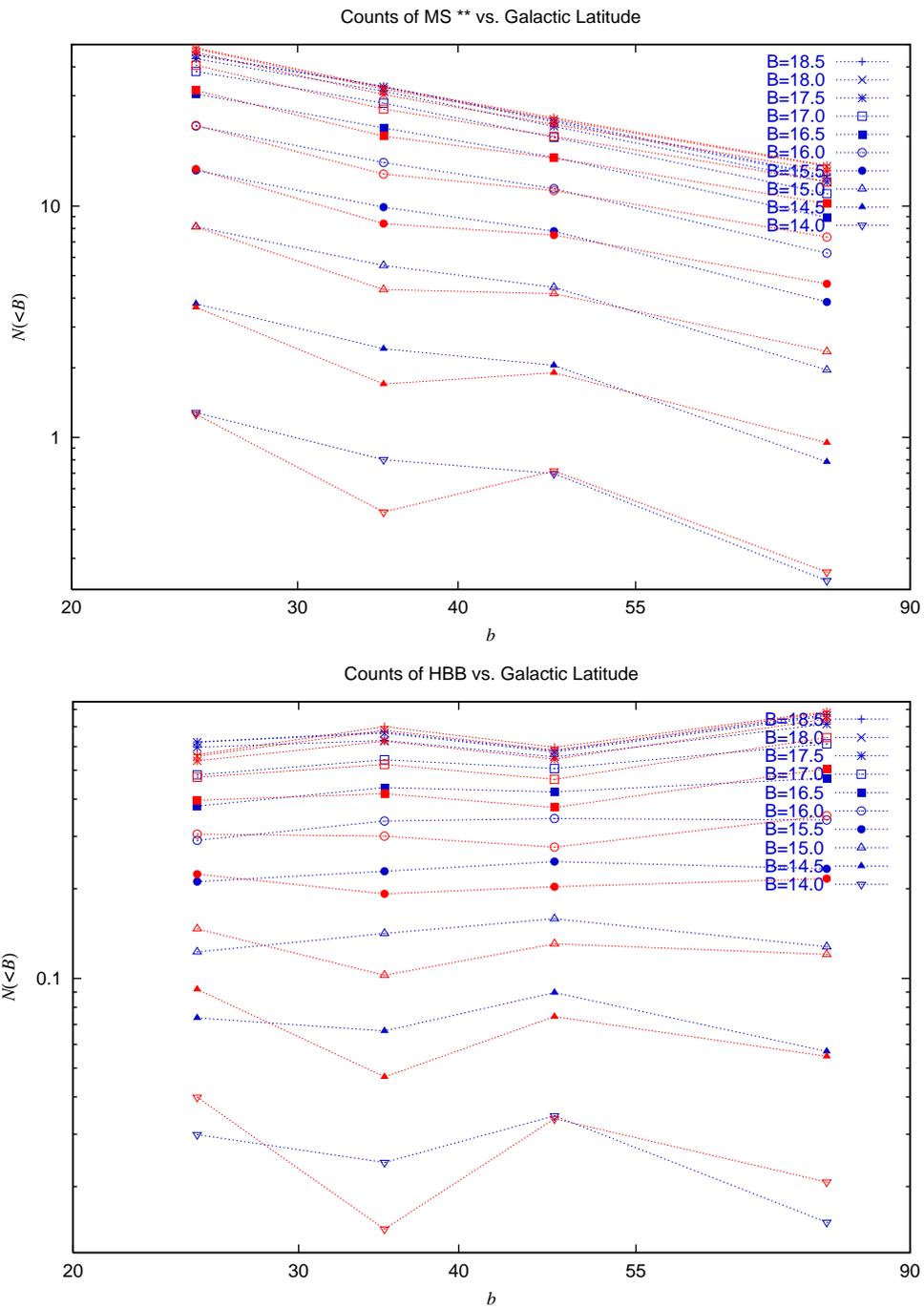


Abbildung 6.4: Kumulative Flächendichten der „kühlen Sterne“ (oben) und „HBB“ (unten) nach Helligkeit und galaktischer Breite. Dünn gepunktet: A-Platten, dick gepunktet: B-Platten

Zum Vergleich mit den Ergebnissen der WZ-Samples, wobei für die „kühlen DA“ das visuell nachselektierte Sample verwendet wurde, sind auch zwei Klassen anderer Sterne untersucht worden: Die eine mit $\log g \leq 5.0$ und $10\,000\text{ K} \leq T_{\text{eff}} \leq 12\,000\text{ K}$, die einen großen Anteil der heißen Horizontalaststerne enthalten sollte, sowie Spektren mit $\log g \leq 5.0$ und $6000\text{ K} \leq T_{\text{eff}} \leq 8000\text{ K}$, also kühlere Hauptreihensterne und Population II-Subdwarfs. Als Kontrollgruppe wurden auch die „Grade B“-Platten jeweils innerhalb derselben Breitenzonen ausgewertet. Wie die Resultate in Abb. 6.3 und 6.4 zeigen, ist die Gleichverteilung bei den „kühlen DA“ sehr gut erfüllt, wogegen die „heißen WZ“ bereits eine merkliche Konzentration zur galaktischen Ebene zeigen. Dies überrascht nicht, da in dieser Gruppe zahlreiche sdB und sdO enthalten sind. Demgegenüber sind die Flächendichten der „kühlen Sterne“ in den niedrigsten Breiten etwa viermal so hoch wie am Pol. Die „HBB“ wiederum sind sehr wenig zur Ebene konzentriert, was dafür spricht, dass es sich hier tatsächlich um Halo-Horizontalaststerne handelt.

Aus den statistischen Fehlern der Sternzählungen in den einzelnen Zonen lässt sich eine Obergrenze von etwa 20 % Kontamination der DA durch Objekte mit einer deutlich anderen Verteilung zur galaktischen Ebene abschätzen. Eine Kontamination durch Horizontalaststerne kann damit allein nicht ausgeschlossen werden, da diese eine ähnliche Verteilung zeigen. Hier können nur die Resultate der in den HRS-Daten identifizierten 29 bekannten HB-Sterne herangezogen werden, von denen einer als „heißer WZ“ und keiner als „kühler DA“ klassifiziert wurde. Da Horizontalaststerne insgesamt aber bis fünfmal höhere Flächendichten haben als Weiße Zwerge, muss man konservativ von einer Kontamination von gleichfalls bis zu 20 % ausgehen.

Aus den Helligkeitsverteilungen wird auch eindeutig sichtbar, dass die Bedingung einer euklidischen Volumengleichverteilung bereits bei $B = 17^m 0$ nicht mehr gut erfüllt ist, hier wachsen die kumulativen Zahlen deutlich langsamer an. Die Helligkeitsverteilung der in den HRS-Spektren identifizierten bekannten WZ, die nicht von der automatischen Klassifikation erfasst wurden, unterscheidet sich jedoch nicht von der im automatisch selektierten Sample, so dass die in der Verteilung sichtbare Unvollständigkeit im wesentlichen bereits in der Auswahl der Feinscans entstehen muss. Dies entspricht auch der Interpretation von Tabelle 4.2.

6.4 Schlussbemerkung

Das in dieser Arbeit entwickelte Verfahren zur automatisierten Analyse von photographischen Schwärzungsspektren hat gezeigt, dass auch bei sehr geringer spektraler Auflösung und mäßigem Signal-zu-Rausch-Verhältnis eine Klassifikation auf der Basis physikalischer Modelle, das heißt theoretischer Spektren aus Sternatmosphärenrechnungen, möglich ist, wenn die Information aus der Flussverteilung genutzt werden kann. Eine sichere Bestimmung mit quantitativ angegebener Genauigkeit ist mit dem vorliegenden Material und auf dem gegenwärtigen Stand der Nachbeobachtungen nicht möglich gewesen, aber mit etwa 3000 selektierten Sternen liegt ein umfassender Katalog von Objekten für künftige Beobachtungen vor, der die Zahl bisher bekannter Weißer Zwerge praktisch verdoppeln könnte. Das Untersample von 1100 DA4 – DA5 kann, wenn sich die Temperaturbestimmungen bestätigen, und etwa jeder

zehnte oder zwanzigste dieser Sterne innerhalb des Instabilitätsstreifens liegt, zu einer bedeutenden Erhöhung der Anzahl bekannter ZZ Ceti beitragen.

Die Zukunft wird zeigen, ob es je zu umfassenden Nachbeobachtungen des gesamten Katalogs kommen wird, oder ob die Datenbasis des HQS vorher von neueren Durchmusterungen wie dem Sloan Digital Sky Survey, die von den überlegenen Kalibrationsmöglichkeiten der CCD-Technik profitieren, überholt wird. Bis zu diesem Zeitpunkt spielen photographische Durchmusterungen zumindest noch eine unverzichtbare Rolle bei der Erstellung großer astronomischer Datenbasen, und die Entwicklung der technischen Möglichkeiten für hochaufgelöste Spektroskopie erfordert umfangreiche Kataloge: Allein durch die Suche nach Radialgeschwindigkeitsveränderlichen am VLT hat sich die Anzahl Weißer Zwerge, für die hochaufgelöste Spektroskopie vorliegt, innerhalb etwa eines Jahres fast verdoppelt, und dieses Tempo wird mit dem vermehrten Einsatz von Multi-Objekt-Spektrographen eher noch steigen.

Der HQS selbst steht derzeit kurz vor dem Abschluss einer neuen Phase, HQS++, für die die Prismenplatten jedes Feldes vollständig digitalisiert werden (Abb. 2.3). Eine umfassendere Untersuchung der Spektren, unabhängig von Farbselektionskriterien und profitierend von effizienteren Extraktionsverfahren, wird damit möglich sein. So wäre es z. B. möglich, die Suche auch auf wesentlich kühlere Weiße Zwerge auszuweiten. Eine Klassifikation allein nach spektralen Merkmalen ist in diesem Bereich allerdings sehr viel schwieriger, so dass eine Kombination mit anderen Daten, etwa der Eigenbewegung, aussichtsreicher ist. Eine wichtige mögliche Verbesserung wäre auch die Aufnahme von Modellen mit anderer Atmosphärenchemie, insbesondere von DB, in das Gitter. Der Informationsgehalt der Schmidtplatten ist also noch bei weitem nicht ausgeschöpft, so dass eher die Frage sein wird, ob die Arbeit für eine komplette Neureduktion der Daten aufzubringen ist. Doch auch für die Zeit nach den photographischen Durchmusterungen werden automatische Klassifikationsverfahren nur noch an Bedeutung gewinnen, da die von elektronischen Detektoren gesammelte Datenmenge eher noch schneller steigen wird – von der Weltraummision GAIA werden Energieverteilungen bzw. niedrig aufgelöste Spektren über einen sehr breiten Spektralbereich für Milliarden von Sternen erwartet (Bailer-Jones 2000), deren Auswertung und Analyse mittels Sternmodellen in völlig neue Größenordnungen vorstößt. Eine mittlerweile sehr alte Technik mag also einen Ausblick auf sehr aktuelle Herausforderungen geben.

Anhang A

Liste der DA-Kandidaten mit visueller Beurteilung

Tabelle A.1: Liste der für das SNIa-Projekt aus der automatischen Klassifikation entnommenen DA-Kandidaten mit den Ergebnissen der Feinscan-FITS und den Noten der visuellen Beurteilung

(auf einer Skala von 1–6, 0: bereits bekannte Sterne, s: möglicherweise sdB)

Name	α_{1950}	δ_{1950}	B_J	$\log g$	T_{eff}	χ^2	Feld	HRS	Note	Anm.
HS 0002+0507	00 ^h 02 ^m 46 ^s .3	+05°07'28"	16 ^m 2	8.00	9000	2.07	07.5_01_1	448	4	Emiss.
HS 0004+0608	00 ^h 04 ^m 31 ^s .2	+06°08'52"	15 ^m 9	8.00	21000	1.22	07.5_01_1	504	2+	
HS 0005+0803	00 ^h 05 ^m 32 ^s .5	+08°03'23"	16 ^m 1	8.00	11000	1.27	07.5_01_1	532	2-	
HS 0007+0928	00 ^h 07 ^m 54 ^s .8	+09°28'53"	16 ^m 0	8.00	10000	0.95	07.5_01_1	591	2+	
HS 0007+0928	00 ^h 07 ^m 55 ^s .1	+09°28'42"	16 ^m 1	8.00	10000	0.82	07.5_02_1	82	2+	
HS 0011+0002	00 ^h 11 ^m 04 ^s .9	+00°02'49"	15 ^m 1	8.00	19000	2.28	02.5_02_1	110	0	EG002
HS 0014+0947	00 ^h 14 ^m 21 ^s .5	+09°47'11"	15 ^m 6	7.00	11000	2.53	07.5_02_1	294	0	PG
HS 0018+0027	00 ^h 18 ^m 15 ^s .2	+00°27'55"	16 ^m 3	7.00	22000	1.60	02.5_02_1	367	2s	
HS 0026+1406	00 ^h 26 ^m 44 ^s .7	+14°06'15"	16 ^m 5	7.00	11000	2.40	12.5_02_2	909	3-	
HS 0031+0607	00 ^h 31 ^m 22 ^s .0	+06°07'29"	16 ^m 5	8.00	19000	1.26	07.5_03_1	177	2	
HS 0032+1334	00 ^h 32 ^m 32 ^s .1	+13°34'13"	16 ^m 4	7.00	18000	0.72	12.5_03_2	222	2-	
HS 0033+0136	00 ^h 33 ^m 02 ^s .0	+01°36'44"	15 ^m 4	8.00	11000	2.08	02.5_03_1	206	0	PG
HS 0033+0644	00 ^h 33 ^m 27 ^s .6	+06°44'17"	16 ^m 4	8.00	26000	1.21	07.5_03_1	235	2s!	
HS 0045+0217	00 ^h 45 ^m 39 ^s .0	+02°17'29"	16 ^m 3	8.00	14000	1.70	02.5_03_1	543	2	
HS 0046+0545	00 ^h 46 ^m 48 ^s .5	+05°45'31"	14 ^m 5	7.00	22000	1.04	07.5_04_3	4	6	
HS 0046+0659	00 ^h 46 ^m 52 ^s .3	+06°59'51"	14 ^m 5	7.00	22000	1.09	07.5_04_3	8	6	
HS 0047+0805	00 ^h 47 ^m 15 ^s .2	+08°05'21"	14 ^m 4	7.00	23000	1.88	07.5_04_3	30	6	
HS 0049+0459	00 ^h 49 ^m 07 ^s .3	+04°59'53"	13 ^m 9	7.00	28000	1.65	07.5_04_3	129	6	
HS 0051+1145	00 ^h 51 ^m 41 ^s .2	+11°45'46"	15 ^m 6	8.00	16000	1.32	12.5_04_2	186	2+	
HS 0051+0541	00 ^h 51 ^m 43 ^s .5	+05°41'09"	14 ^m 8	7.00	17000	1.85	07.5_04_3	189	6	Var.!
HS 0052+0957	00 ^h 52 ^m 33 ^s .7	+09°57'40"	14 ^m 8	7.00	19000	1.90	07.5_04_3	219	6	Var.!
HS 0055+0642	00 ^h 55 ^m 59 ^s .1	+06°42'04"	14 ^m 4	7.00	28000	1.63	07.5_04_3	325	6	
HS 0056+0447	00 ^h 56 ^m 47 ^s .6	+04°47'26"	14 ^m 4	7.00	19000	2.05	07.5_04_3	369	6	Var.!
HS 0057+0742	00 ^h 57 ^m 40 ^s .7	+07°42'10"	14 ^m 1	7.00	28000	1.76	07.5_04_3	384	6	
HS 0057+0749	00 ^h 57 ^m 59 ^s .2	+07°49'34"	14 ^m 1	7.00	30000	1.73	07.5_04_3	386	6	
HS 0059+0958	00 ^h 59 ^m 12 ^s .1	+09°58'39"	14 ^m 2	7.00	28000	1.93	07.5_04_3	401	6	
HS 0100+0904	01 ^h 00 ^m 25 ^s .7	+09°04'19"	14 ^m 2	7.00	29000	1.50	07.5_04_3	474	6	
HS 0100+0843	01 ^h 00 ^m 29 ^s .2	+08°43'41"	14 ^m 1	7.00	28000	1.77	07.5_04_3	478	6	
HS 0101+0559	01 ^h 01 ^m 13 ^s .2	+05°59'02"	16 ^m 0	8.00	12000	2.14	07.5_04_1	300	0	PB

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle A.1 (Fortsetzung)

	α_{1950}	δ_{1950}	B_J	$\log g$	T_{eff}	χ^2	Feld	HRS	Note	Anm.
HS 0102+0827	01 ^h 02 ^m 02 ^s .9	+08 [°] 27 ['] 10 ["]	14 ^m .3	7.00	25000	1.49	07.5_04_3	535	6	
HS 0102+0933	01 ^h 02 ^m 04 ^s .4	+09 [°] 33 ['] 38 ["]	14 ^m .4	8.00	26000	1.80	07.5_04_1	325	0	PHL972
HS 0102+0847	01 ^h 02 ^m 40 ^s .2	+08 [°] 47 ['] 08 ["]	14 ^m .2	7.00	27000	1.30	07.5_04_3	558	6	
HS 0104+0128	01 ^h 04 ^m 03 ^s .1	+01 [°] 28 ['] 59 ["]	16 ^m .4	8.00	14000	1.52	02.5_04_1	496	1-	
HS 0105+0712	01 ^h 05 ^m 49 ^s .2	+07 [°] 12 ['] 18 ["]	14 ^m .3	7.00	30000	1.11	07.5_04_3	687	6	
HS 0107+1310	01 ^h 07 ^m 30 ^s .6	+13 [°] 10 ['] 18 ["]	16 ^m .5	8.00	18000	1.14	12.5_04_2	821	2	
HS 0107+0625	01 ^h 07 ^m 33 ^s .0	+06 [°] 25 ['] 37 ["]	14 ^m .3	7.00	28000	1.10	07.5_04_3	764	6	
HS 0107+0754	01 ^h 07 ^m 33 ^s .7	+07 [°] 54 ['] 15 ["]	14 ^m .2	7.00	27000	1.53	07.5_04_3	782	6	
HS 0107+0948	01 ^h 07 ^m 43 ^s .8	+09 [°] 48 ['] 11 ["]	14 ^m .6	7.00	20000	1.47	07.5_04_3	792	6	
HS 0108+1428	01 ^h 08 ^m 03 ^s .7	+14 [°] 28 ['] 40 ["]	16 ^m .4	7.00	10000	0.97	12.5_05_2	23	4	
HS 0108+1045	01 ^h 08 ^m 09 ^s .8	+10 [°] 45 ['] 17 ["]	16 ^m .1	7.00	11000	1.70	12.5_05_2	49	4	
HS 0112+1228	01 ^h 12 ^m 40 ^s .4	+12 [°] 28 ['] 23 ["]	16 ^m .1	7.00	22000	1.12	12.5_05_2	209	4	
HS 0117+1220	01 ^h 17 ^m 54 ^s .2	+12 [°] 20 ['] 07 ["]	16 ^m .5	8.00	18000	1.28	12.5_05_2	466	3-	
HS 0121+1101	01 ^h 21 ^m 44 ^s .2	+11 [°] 01 ['] 13 ["]	16 ^m .4	7.00	19000	1.26	12.5_05_2	682	4-	
HS 0125+1335	01 ^h 25 ^m 54 ^s .1	+13 [°] 35 ['] 51 ["]	14 ^m .1	8.00	15000	1.75	12.5_05_2	824	2+	
HS 0126+0335	01 ^h 26 ^m 17 ^s .9	+03 [°] 35 ['] 29 ["]	16 ^m .3	8.00	14000	1.59	02.5_05_1	497	1-	
HS 0127+0821	01 ^h 27 ^m 42 ^s .8	+08 [°] 21 ['] 06 ["]	14 ^m .2	8.00	11000	2.31	07.5_06_1	50	5	Sat.
HS 0129+1041	01 ^h 29 ^m 06 ^s .8	+10 [°] 41 ['] 32 ["]	15 ^m .6	8.00	17000	0.93	12.5_05_2	960	2-	
HS 0129+0754	01 ^h 29 ^m 09 ^s .5	+07 [°] 54 ['] 13 ["]	14 ^m .0	7.00	9000	2.17	07.5_06_1	111	6	Sat.
HS 0129+0511	01 ^h 29 ^m 37 ^s .0	+05 [°] 11 ['] 11 ["]	15 ^m .9	8.00	15000	1.47	07.5_06_1	91	0	HS
HS 0131+0937	01 ^h 31 ^m 17 ^s .3	+09 [°] 37 ['] 05 ["]	14 ^m .3	7.00	10000	0.72	07.5_06_3	124	5	Sat.
HS 0131+0149	01 ^h 31 ^m 53 ^s .7	+01 [°] 49 ['] 02 ["]	14 ^m .4	7.00	12000	1.87	02.5_06_1	167	2	
HS 0134+0323	01 ^h 34 ^m 43 ^s .3	+03 [°] 23 ['] 16 ["]	16 ^m .4	7.00	22000	2.30	02.5_06_1	264	4-	Emiss.
HS 0136+0858	01 ^h 36 ^m 26 ^s .5	+08 [°] 58 ['] 02 ["]	14 ^m .0	8.00	11000	1.14	07.5_06_3	229	5	Sat.
HS 0137+0836	01 ^h 37 ^m 48 ^s .7	+08 [°] 36 ['] 37 ["]	14 ^m .1	7.00	10000	0.92	07.5_06_3	269	5	Sat.
HS 0139+0636	01 ^h 39 ^m 38 ^s .6	+06 [°] 36 ['] 20 ["]	14 ^m .1	7.00	10000	2.29	07.5_06_1	458	5	Sat.
HS 0144+0850	01 ^h 44 ^m 02 ^s .3	+08 [°] 50 ['] 38 ["]	16 ^m .2	8.00	9000	1.40	07.5_06_1	668	4	
HS 0144+0824	01 ^h 44 ^m 47 ^s .3	+08 [°] 24 ['] 31 ["]	14 ^m .1	7.00	9000	0.85	07.5_06_3	458	5	Sat.
HS 0145+0657	01 ^h 45 ^m 42 ^s .2	+06 [°] 57 ['] 56 ["]	13 ^m .9	7.00	10000	1.16	07.5_06_3	478	5	Sat.
HS 0145+0844	01 ^h 45 ^m 47 ^s .2	+08 [°] 44 ['] 17 ["]	13 ^m .9	7.00	10000	1.02	07.5_06_3	470	5	Sat.
HS 0150+0045	01 ^h 50 ^m 25 ^s .0	+00 [°] 45 ['] 34 ["]	16 ^m .3	8.00	16000	1.37	02.5_07_1	92	0	HE
HS 0151+0146	01 ^h 51 ^m 38 ^s .9	+01 [°] 46 ['] 40 ["]	14 ^m .9	8.00	17000	1.59	02.5_07_1	160	0	G073-004
HS 0151+1131	01 ^h 51 ^m 42 ^s .1	+11 [°] 31 ['] 20 ["]	16 ^m .0	8.00	18000	1.01	12.5_07_2	135	1-	
HS 0155+0657	01 ^h 55 ^m 03 ^s .5	+06 [°] 57 ['] 30 ["]	14 ^m .7	7.00	20000	1.91	07.5_07_1	236	0	EG206
HS 0156+0333	01 ^h 56 ^m 03 ^s .0	+03 [°] 33 ['] 09 ["]	16 ^m .2	7.00	20000	2.52	02.5_07_1	296	3-	Emiss.?
HS 0157+0855	01 ^h 57 ^m 05 ^s .1	+08 [°] 55 ['] 11 ["]	16 ^m .3	8.00	16000	1.00	07.5_07_1	266	2+	
HS 0157+0009	01 ^h 57 ^m 16 ^s .3	+00 [°] 09 ['] 09 ["]	15 ^m .8	7.00	28000	2.54	02.5_07_1	346	3s!	
HS 0159+0429	01 ^h 59 ^m 38 ^s .6	+04 [°] 29 ['] 03 ["]	16 ^m .2	8.00	10000	1.87	02.5_07_1	425	2-	
HS 0200+0250	02 ^h 00 ^m 38 ^s .6	+02 [°] 50 ['] 10 ["]	16 ^m .1	8.00	28000	1.46	02.5_07_1	440	2(s)	
HS 0201+0712	02 ^h 01 ^m 35 ^s .7	+07 [°] 12 ['] 07 ["]	15 ^m .9	8.00	16000	1.81	07.5_07_1	400	2	
HS 0213+1145	02 ^h 13 ^m 26 ^s .0	+11 [°] 45 ['] 25 ["]	15 ^m .5	8.00	17000	1.66	12.5_08_2	202	2+	
HS 0216+1422	02 ^h 16 ^m 04 ^s .7	+14 [°] 22 ['] 15 ["]	13 ^m .8	7.00	22000	2.10	12.5_08_2	325	0	PG
HS 0223+1211	02 ^h 23 ^m 47 ^s .6	+12 [°] 11 ['] 55 ["]	16 ^m .0	8.00	10000	0.84	12.5_08_2	619	2+	
HS 0224+1348	02 ^h 24 ^m 25 ^s .6	+13 [°] 48 ['] 28 ["]	15 ^m .9	8.00	22000	1.46	12.5_08_2	650	2+	
HS 0225+0010	02 ^h 25 ^m 21 ^s .5	+00 [°] 10 ['] 14 ["]	15 ^m .9	7.00	11000	2.15	02.5_08_1	513	2+	
HS 0233+1404	02 ^h 33 ^m 07 ^s .1	+14 [°] 04 ['] 50 ["]	16 ^m .2	7.00	19000	1.48	12.5_09_2	162	3+	
HS 0237+1034	02 ^h 37 ^m 53 ^s .8	+10 [°] 34 ['] 11 ["]	16 ^m .0	8.00	16000	1.30	12.5_09_2	353	2-	
HS 0241+1411	02 ^h 41 ^m 15 ^s .9	+14 [°] 11 ['] 50 ["]	16 ^m .2	8.00	11000	1.39	12.5_09_2	461	2-	
HS 0244+0327	02 ^h 44 ^m 07 ^s .3	+03 [°] 27 ['] 28 ["]	13 ^m .7	7.00	11000	2.51	02.5_09_3	572	5	No
HS 0249+0225	02 ^h 49 ^m 43 ^s .1	+02 [°] 25 ['] 22 ["]	13 ^m .5	7.00	11000	2.04	02.5_10_3	518	6	Sat.
HS 0255+0952	02 ^h 55 ^m 06 ^s .1	+09 [°] 52 ['] 48 ["]	16 ^m .3	8.00	24000	1.06	12.5_10_2	311	3-	

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle A.1 (Fortsetzung)

	α_{1950}	δ_{1950}	B_J	$\log g$	T_{eff}	χ^2	Feld	HRS	Note	Anm.
HS 0307+1454	03 ^h 07 ^m 07 ^s .1	+14°54'00"	15 ^m 1	8.00	18000	0.49	12.5_10_2	897	0	PG
HS 0307+0746	03 ^h 07 ^m 28 ^s .7	+07°46'14"	16 ^m 3	8.00	10000	1.61	07.5_10_1	619	2+	
HS 0308+0938	03 ^h 08 ^m 12 ^s .7	+09°38'12"	15 ^m 3	8.00	27000	2.22	07.5_10_1	633	0	PG
HS 0309+1001	03 ^h 09 ^m 52 ^s .2	+10°01'15"	15 ^m 6	8.00	17000	0.61	12.5_10_2	1000	2+	
HS 0309+1001	03 ^h 09 ^m 52 ^s .3	+10°01'15"	15 ^m 7	8.00	11000	1.47	12.5_11_2	55	2+	
HS 0315+0858	03 ^h 15 ^m 01 ^s .3	+08°58'58"	15 ^m 9	7.00	19000	1.96	07.5_11_1	163	2	
HS 0329+1121	03 ^h 29 ^m 51 ^s .3	+11°21'26"	15 ^m 8	7.00	12000	1.45	12.5_12_2	38	2+	
HS 0337+0939	03 ^h 37 ^m 15 ^s .4	+09°39'31"	16 ^m 2	7.00	16000	0.80	07.5_12_1	260	2+	
HS 0340+1020	03 ^h 40 ^m 30 ^s .4	+10°20'10"	16 ^m 2	8.00	27000	1.22	12.5_12_2	411	3-	
HS 0341+0206	03 ^h 41 ^m 35 ^s .0	+02°06'05"	15 ^m 4	7.00	18000	2.90	02.5_12_1	457	0	KUV
HS 0344+0944	03 ^h 44 ^m 08 ^s .9	+09°44'40"	16 ^m 5	8.00	18000	1.50	07.5_12_1	517	2-	
HS 0344+0718	03 ^h 44 ^m 10 ^s .4	+07°18'46"	16 ^m 2	7.00	14000	2.16	07.5_12_1	493	0	KUV
HS 0345+1324	03 ^h 45 ^m 52 ^s .5	+13°24'20"	15 ^m 9	8.00	17000	2.21	12.5_12_2	667	2+	
HS 0346+0755	03 ^h 46 ^m 33 ^s .7	+07°55'46"	16 ^m 3	7.00	19000	1.23	07.5_12_1	638	2	
HS 0349+0130	03 ^h 49 ^m 16 ^s .3	+01°30'52"	15 ^m 8	8.00	26000	1.80	02.5_13_1	97	0	KUV
HS 0352+0514	03 ^h 52 ^m 01 ^s .9	+05°14'36"	16 ^m 4	7.00	16000	2.08	07.5_13_1	294	0	KUV
HS 0352+0938	03 ^h 52 ^m 38 ^s .4	+09°38'33"	14 ^m 5	8.00	15000	1.52	07.5_13_1	358	0	GH7-041
HS 0400+1451	04 ^h 00 ^m 52 ^s .8	+14°51'16"	15 ^m 1	7.00	11000	1.57	12.5_13_2	677	2+	
HS 0401+1454	04 ^h 01 ^m 45 ^s .7	+14°54'18"	16 ^m 2	7.00	11000	0.90	12.5_13_2	681	2	
HS 0409+1144	04 ^h 09 ^m 57 ^s .4	+11°44'11"	13 ^m 7	7.00	17000	0.78	12.5_13_2	969	0	HZ02
HS 0409+1144	04 ^h 09 ^m 57 ^s .4	+11°44'14"	14 ^m 2	7.00	22000	1.33	12.5_14_2	7	2s-	
HS 0412+0632	04 ^h 12 ^m 17 ^s .5	+06°32'41"	15 ^m 5	8.00	13000	1.78	07.5_14_1	272	2+	
HS 0413+0611	04 ^h 13 ^m 15 ^s .2	+06°11'16"	16 ^m 1	7.00	23000	2.59	07.5_14_3	254	5	Var.!
HS 0417+0028	04 ^h 17 ^m 21 ^s .8	+00°28'51"	15 ^m 9	8.00	26000	1.42	02.5_14_1	314	2s	
HS 0430+1236	04 ^h 30 ^m 57 ^s .2	+12°36'26"	14 ^m 0	7.00	20000	2.81	12.5_15_2	20	2	
HS 0437+0621	04 ^h 37 ^m 42 ^s .7	+06°21'52"	14 ^m 3	7.00	12000	0.61	07.5_15_3	510	5	Sat.
HS 0439+0753	04 ^h 39 ^m 11 ^s .2	+07°53'46"	13 ^m 8	7.00	11000	2.69	07.5_15_3	581	5	Sat.
HS 0440+0815	04 ^h 40 ^m 37 ^s .1	+08°15'32"	13 ^m 9	7.00	10000	1.31	07.5_15_3	679	5	Sat.
HS 0441+0319	04 ^h 41 ^m 20 ^s .3	+03°19'44"	14 ^m 6	8.00	24000	2.08	02.5_15_3	804	6	Sat.
HS 0447+0743	04 ^h 47 ^m 01 ^s .7	+07°43'09"	13 ^m 7	7.00	13000	1.72	07.5_15_3	1137	5	Sat.
HS 0447+0526	04 ^h 47 ^m 52 ^s .7	+05°26'11"	15 ^m 1	7.00	21000	0.87	07.5_15_3	1215	5	Var.?
HS 0507+0435	05 ^h 07 ^m 34 ^s .5	+04°35'14"	15 ^m 6	8.00	11000	1.97	02.5_16_1	1457	0	HS
HS 0507+0434	05 ^h 07 ^m 35 ^s .0	+04°34'58"	14 ^m 3	7.00	18000	2.55	02.5_16_1	1456	0	HS
HS 0807+0659	08 ^h 07 ^m 50 ^s .6	+06°59'04"	14 ^m 2	7.00	10000	0.98	07.5_26_2	387	5	Sat.
HS 0810+0729	08 ^h 10 ^m 21 ^s .4	+07°29'25"	13 ^m 8	7.00	10000	1.29	07.5_26_2	1138	5	Sat.
HS 0812+0558	08 ^h 12 ^m 36 ^s .1	+05°58'33"	13 ^m 8	7.00	11000	1.73	07.5_26_2	1585	5	Sat.
HS 0815+0914	08 ^h 15 ^m 30 ^s .8	+09°14'00"	13 ^m 8	7.00	18000	1.56	07.5_26_2	2077	5	Sat.
HS 0816+1015	08 ^h 16 ^m 17 ^s .4	+10°15'23"	13 ^m 6	7.00	11000	1.10	07.5_26_2	2120	5	Sat.
HS 0816+0936	08 ^h 16 ^m 38 ^s .9	+09°36'47"	14 ^m 0	7.00	11000	1.19	07.5_26_2	2139	5	Sat.
HS 0817+0526	08 ^h 17 ^m 17 ^s .6	+05°26'11"	13 ^m 5	7.00	11000	1.98	07.5_26_2	2265	5	Sat.
HS 0823+1320	08 ^h 23 ^m 46 ^s .1	+13°20'39"	16 ^m 5	7.00	28000	1.75	12.5_26_2	1961	4	
HS 0825+0405	08 ^h 25 ^m 20 ^s .0	+04°05'19"	16 ^m 3	7.00	17000	2.21	02.5_26_2	3318	2+	
HS 0828+0440	08 ^h 28 ^m 57 ^s .9	+04°40'19"	15 ^m 9	7.00	11000	2.02	02.5_27_2	438	5	Sat.?
HS 0839+1028	08 ^h 39 ^m 17 ^s .5	+10°28'01"	13 ^m 6	7.00	11000	2.99	07.5_27_2	15	6	Sat.
HS 0841+0609	08 ^h 41 ^m 06 ^s .4	+06°09'22"	16 ^m 5	7.00	25000	1.26	07.5_27_2	2201	2s	
HS 0841+0844	08 ^h 41 ^m 17 ^s .0	+08°44'42"	14 ^m 8	7.00	10000	0.84	07.5_27_2	2253	4-	Sat.
HS 0842+0812	08 ^h 42 ^m 18 ^s .7	+08°12'09"	15 ^m 0	7.00	13000	1.36	07.5_27_2	2334	5	Sat.
HS 0843+0813	08 ^h 43 ^m 08 ^s .6	+08°13'10"	14 ^m 8	7.00	11000	1.80	07.5_27_2	2460	5	Sat.
HS 0847+0820	08 ^h 47 ^m 18 ^s .3	+08°20'08"	14 ^m 2	8.00	10000	2.55	07.5_27_2	1499	6	Ovl.
HS 0855+1201	08 ^h 55 ^m 14 ^s .2	+12°01'45"	14 ^m 6	8.00	25000	2.79	12.5_27_2	2181	5	Var.?
HS 0858+0443	08 ^h 58 ^m 42 ^s .7	+04°43'39"	14 ^m 7	8.00	27000	2.93	02.5_28_2	1515	6	Sat.!

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle A.1 (Fortsetzung)

	α_{1950}	δ_{1950}	B_J	$\log g$	T_{eff}	χ^2	Feld	HRS	Note	Anm.
HS 0921+1011	09 ^h 21 ^m 59 ^s .8	+10 [°] 11 ['] 14 ["]	14 ^m .3	7.00	10000	1.94	07.5_29_2	1267	5	Sat.
HS 0922+0522	09 ^h 22 ^m 34 ^s .2	+05 [°] 22 ['] 31 ["]	14 ^m .9	8.00	10000	1.85	07.5_29_2	1341	3-	
HS 0926+0828	09 ^h 26 ^m 56 ^s .8	+08 [°] 28 ['] 57 ["]	16 ^m .2	7.00	12000	1.04	07.5_30_2	68	2+	
HS 0928+0927	09 ^h 28 ^m 18 ^s .6	+09 [°] 27 ['] 00 ["]	16 ^m .3	7.00	9000	0.92	07.5_30_2	172	5	
HS 0929+0839	09 ^h 29 ^m 50 ^s .1	+08 [°] 39 ['] 54 ["]	16 ^m .1	8.00	14000	1.73	07.5_30_2	343	2	
HS 0931+0712	09 ^h 31 ^m 54 ^s .0	+07 [°] 12 ['] 12 ["]	16 ^m .5	8.00	26000	0.87	07.5_30_2	499	2(s)	
HS 0933+0235	09 ^h 33 ^m 05 ^s .4	+02 [°] 35 ['] 24 ["]	16 ^m .0	8.00	19000	2.40	02.5_30_2	437	0	PG
HS 0933+0028	09 ^h 33 ^m 34 ^s .1	+00 [°] 28 ['] 01 ["]	16 ^m .5	8.00	28000	1.77	02.5_30_2	465	2s	
HS 0937+0130	09 ^h 37 ^m 24 ^s .1	+01 [°] 30 ['] 13 ["]	16 ^m .5	8.00	18000	1.64	02.5_30_2	692	2+	
HS 0940+1129	09 ^h 40 ^m 33 ^s .0	+11 [°] 29 ['] 54 ["]	16 ^m .1	7.00	12000	1.96	12.5_30_2	336	2+	
HS 0943+1401	09 ^h 43 ^m 48 ^s .8	+14 [°] 01 ['] 28 ["]	16 ^m .4	8.00	15000	1.27	12.5_30_2	478	2+	
HS 0949+0935	09 ^h 49 ^m 09 ^s .4	+09 [°] 35 ['] 20 ["]	16 ^m .3	7.00	18000	1.59	07.5_31_2	159	2	(s?)
HS 0949+0823	09 ^h 49 ^m 17 ^s .5	+08 [°] 23 ['] 44 ["]	16 ^m .1	7.00	12000	0.89	07.5_31_2	172	1-	
HS 0950+0745	09 ^h 50 ^m 20 ^s .4	+07 [°] 45 ['] 19 ["]	15 ^m .3	7.00	12000	1.50	07.5_31_2	233	0	PG
HS 0956+0435	09 ^h 56 ^m 00 ^s .9	+04 [°] 35 ['] 57 ["]	15 ^m .0	8.00	17000	1.43	02.5_31_2	710	0	PG
HS 0956+0201	09 ^h 56 ^m 15 ^s .7	+02 [°] 01 ['] 44 ["]	14 ^m .8	8.00	17000	2.04	02.5_31_2	794	0	PG
HS 0958+0308	09 ^h 58 ^m 11 ^s .1	+03 [°] 08 ['] 34 ["]	16 ^m .2	7.00	18000	1.11	02.5_31_2	946	4	Ovl.
HS 1000+0517	10 ^h 00 ^m 58 ^s .1	+05 [°] 17 ['] 04 ["]	16 ^m .3	8.00	22000	1.66	07.5_31_2	931	4-	Emiss.?
HS 1003+0726	10 ^h 03 ^m 45 ^s .1	+07 [°] 26 ['] 53 ["]	15 ^m .3	7.00	16000	0.84	07.5_31_2	1109	2	
HS 1004+0046	10 ^h 04 ^m 11 ^s .8	+00 [°] 46 ['] 42 ["]	16 ^m .5	7.00	25000	0.80	02.5_31_2	1413	0s!	LB567
HS 1013+0321	10 ^h 13 ^m 12 ^s .6	+03 [°] 21 ['] 51 ["]	15 ^m .6	7.00	14000	0.95	02.5_32_2	409	2	
HS 1015+0126	10 ^h 15 ^m 30 ^s .8	+01 [°] 26 ['] 24 ["]	16 ^m .4	7.00	24000	1.00	02.5_32_2	564	0	PG
HS 1026+0014	10 ^h 26 ^m 01 ^s .1	+00 [°] 14 ['] 54 ["]	14 ^m .4	8.00	20000	0.70	02.5_32_2	1214	0	PG
HS 1029+0234	10 ^h 29 ^m 44 ^s .7	+02 [°] 34 ['] 20 ["]	15 ^m .8	7.00	10000	2.31	02.5_33_2	165	3-	
HS 1031+0343	10 ^h 31 ^m 55 ^s .0	+03 [°] 43 ['] 06 ["]	16 ^m .5	8.00	19000	2.50	02.5_33_2	299	2-	
HS 1037+0233	10 ^h 37 ^m 58 ^s .1	+02 [°] 33 ['] 08 ["]	16 ^m .4	7.00	27000	1.21	02.5_33_2	587	2s	
HS 1043+0258	10 ^h 43 ^m 48 ^s .7	+02 [°] 58 ['] 23 ["]	15 ^m .6	7.00	12000	1.95	02.5_33_2	959	2+	
HS 1046+0520	10 ^h 46 ^m 43 ^s .4	+05 [°] 20 ['] 06 ["]	14 ^m .4	7.00	10000	2.52	07.5_34_2	69	5	Sat.
HS 1049+1019	10 ^h 49 ^m 50 ^s .4	+10 [°] 19 ['] 32 ["]	15 ^m .5	7.00	21000	0.99	07.5_34_2	257	0	PG
HS 1053+0844	10 ^h 53 ^m 14 ^s .9	+08 [°] 44 ['] 46 ["]	16 ^m .5	8.00	17000	1.03	07.5_34_2	362	2	
HS 1055+0222	10 ^h 55 ^m 33 ^s .4	+02 [°] 22 ['] 52 ["]	16 ^m .3	8.00	15000	1.96	02.5_34_2	473	3-	Emiss.?
HS 1059+0900	10 ^h 59 ^m 29 ^s .5	+09 [°] 00 ['] 43 ["]	16 ^m .0	7.00	28000	2.21	07.5_34_2	727	3s!	
HS 1102+0934	11 ^h 02 ^m 00 ^s .3	+09 [°] 34 ['] 34 ["]	16 ^m .4	7.00	16000	1.28	07.5_34_2	818	2+	PG?
HS 1102+0032	11 ^h 02 ^m 41 ^s .4	+00 [°] 32 ['] 37 ["]	14 ^m .8	7.00	12000	0.89	02.5_34_2	812	2+	
HS 1103+0153	11 ^h 03 ^m 55 ^s .5	+01 [°] 53 ['] 11 ["]	14 ^m .0	7.00	10000	0.81	02.5_34_2	896	4	Sat.
HS 1104+0540	11 ^h 04 ^m 22 ^s .7	+05 [°] 40 ['] 09 ["]	14 ^m .3	7.00	11000	2.83	07.5_34_2	957	5	Sat.
HS 1104+0425	11 ^h 04 ^m 29 ^s .9	+04 [°] 25 ['] 25 ["]	16 ^m .5	8.00	20000	0.69	02.5_34_2	872	0	LP551-066
HS 1115+0321	11 ^h 15 ^m 11 ^s .5	+03 [°] 21 ['] 17 ["]	15 ^m .4	7.00	14000	1.93	02.5_35_2	460	2+	
HS 1116+0236	11 ^h 16 ^m 38 ^s .2	+02 [°] 36 ['] 57 ["]	14 ^m .6	7.00	16000	1.00	02.5_35_2	554	0	GD-133
HS 1124+0144	11 ^h 24 ^m 15 ^s .6	+01 [°] 44 ['] 28 ["]	16 ^m .3	8.00	18000	0.95	02.5_35_2	891	2+	
HS 1135+0429	11 ^h 35 ^m 13 ^s .0	+04 [°] 29 ['] 07 ["]	16 ^m .3	8.00	22000	1.32	02.5_36_2	341	2s	
HS 1136+1359	11 ^h 36 ^m 50 ^s .4	+13 [°] 59 ['] 47 ["]	16 ^m .0	8.00	18000	1.34	12.5_36_2	14	2(s)	
HS 1136+0326	11 ^h 36 ^m 52 ^s .8	+03 [°] 26 ['] 56 ["]	16 ^m .2	8.00	13000	1.28	02.5_36_2	418	2	
HS 1144+1517	11 ^h 44 ^m 50 ^s .3	+15 [°] 17 ['] 10 ["]	16 ^m .3	8.00	10000	0.92	12.5_36_2	296	2+	
HS 1153+1416	11 ^h 53 ^m 26 ^s .0	+14 [°] 16 ['] 54 ["]	15 ^m .8	8.00	17000	1.14	12.5_36_2	665	2+	
HS 1204+0159	12 ^h 04 ^m 55 ^s .9	+01 [°] 59 ['] 31 ["]	16 ^m .5	8.00	24000	0.59	02.5_37_2	1099	2	
HS 1215+0844	12 ^h 15 ^m 02 ^s .2	+08 [°] 44 ['] 49 ["]	16 ^m .5	8.00	22000	1.34	07.5_38_2	328	0	WD
HS 1224+0853	12 ^h 24 ^m 50 ^s .5	+08 [°] 53 ['] 31 ["]	16 ^m .3	8.00	18000	1.24	07.5_38_2	784	2-	
HS 1225+1033	12 ^h 25 ^m 08 ^s .9	+10 [°] 33 ['] 58 ["]	13 ^m .6	7.00	21000	1.27	07.5_38_2	879	5	Sat.
HS 1228+0659	12 ^h 28 ^m 06 ^s .6	+06 [°] 59 ['] 35 ["]	14 ^m .5	7.00	11000	1.70	07.5_38_2	1036	6	Sat.
HS 1237+1015	12 ^h 37 ^m 54 ^s .7	+10 [°] 15 ['] 39 ["]	16 ^m .3	7.00	28000	0.72	07.5_39_2	619	2(s)	

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle A.1 (Fortsetzung)

	α_{1950}	δ_{1950}	B_J	$\log g$	T_{eff}	χ^2	Feld	HRS	Note	Anm.
HS 1243+0132	12 ^h 43 ^m 05 ^s .3	+01 [°] 32'40"	15 ^m .6	8.00	19000	1.05	02.5_39_2	922	2+	
HS 1249+0426	12 ^h 49 ^m 42 ^s .5	+04 [°] 26'59"	15 ^m .8	8.00	10000	1.24	02.5_40_2	116	2+	
HS 1252+0200	12 ^h 52 ^m 46 ^s .5	+02 [°] 00'25"	15 ^m .8	8.00	28000	1.56	02.5_40_2	315	3s	Emiss.?
HS 1257+0447	12 ^h 57 ^m 18 ^s .0	+04 [°] 47'36"	14 ^m .6	8.00	22000	1.02	02.5_40_2	472	0	LP556-035
HS 1257+0312	12 ^h 57 ^m 23 ^s .9	+03 [°] 12'04"	15 ^m .3	8.00	20000	1.33	02.5_40_2	489	0	LB-4421
HS 1258+0123	12 ^h 58 ^m 37 ^s .1	+01 [°] 23'46"	16 ^m .2	8.00	11000	1.00	02.5_40_2	592	2+	
HS 1300+0144	13 ^h 00 ^m 13 ^s .6	+01 [°] 44'43"	16 ^m .5	8.00	13000	0.79	02.5_40_2	620	1-	
HS 1301+0103	13 ^h 01 ^m 24 ^s .0	+01 [°] 03'32"	13 ^m .9	7.00	10000	1.39	02.5_40_2	706	4	Sat.
HS 1304+0923	13 ^h 04 ^m 24 ^s .3	+09 [°] 23'20"	14 ^m .3	7.00	9000	1.90	07.5_40_2	735	5	Sat.
HS 1305+0029	13 ^h 05 ^m 47 ^s .1	+00 [°] 29'30"	16 ^m .2	8.00	14000	0.68	02.5_40_2	872	1-	
HS 1306+0702	13 ^h 06 ^m 21 ^s .3	+07 [°] 02'09"	15 ^m .1	7.00	9000	1.52	07.5_40_2	977	5	Sat.
HS 1306+0647	13 ^h 06 ^m 24 ^s .2	+06 [°] 47'40"	14 ^m .5	7.00	19000	1.40	07.5_40_2	986	5	Sat.
HS 1306+0610	13 ^h 06 ^m 53 ^s .2	+06 [°] 10'33"	15 ^m .0	7.00	9000	2.54	07.5_40_2	1003	5	Sat.
HS 1306+0730	13 ^h 06 ^m 54 ^s .1	+07 [°] 30'03"	15 ^m .1	7.00	17000	2.13	07.5_40_2	967	5	Sat.
HS 1307+0635	13 ^h 07 ^m 18 ^s .0	+06 [°] 35'53"	15 ^m .3	8.00	9000	1.55	07.5_40_2	1052	5	Sat.
HS 1307+1030	13 ^h 07 ^m 19 ^s .8	+10 [°] 30'10"	14 ^m .7	7.00	20000	1.29	07.5_40_2	1164	5	Sat.
HS 1307+0727	13 ^h 07 ^m 21 ^s .8	+07 [°] 27'29"	15 ^m .4	7.00	19000	1.55	07.5_40_2	1073	5	Sat.
HS 1307+1009	13 ^h 07 ^m 31 ^s .8	+10 [°] 09'18"	15 ^m .0	7.00	16000	1.62	07.5_40_2	1155	5	Sat.
HS 1307+0615	13 ^h 07 ^m 43 ^s .3	+06 [°] 15'50"	15 ^m .4	8.00	9000	1.74	07.5_40_2	1038	5	Sat.
HS 1307+0609	13 ^h 07 ^m 47 ^s .6	+06 [°] 09'49"	15 ^m .1	8.00	25000	1.44	07.5_40_2	1035	5	Sat.
HS 1307+0907	13 ^h 07 ^m 50 ^s .5	+09 [°] 07'05"	15 ^m .6	7.00	9000	1.88	07.5_40_2	1117	5	Sat.?
HS 1308+0942	13 ^h 08 ^m 00 ^s .0	+09 [°] 42'00"	15 ^m .1	7.00	25000	1.20	07.5_40_2	1132	5	Sat.
HS 1308+0445	13 ^h 08 ^m 05 ^s .4	+04 [°] 45'58"	14 ^m .4	8.00	15000	2.83	02.5_40_2	1010	6	Sat.!
HS 1308+0700	13 ^h 08 ^m 15 ^s .5	+07 [°] 00'38"	15 ^m .6	8.00	22000	1.88	07.5_40_2	1216	5	Sat.
HS 1308+0930	13 ^h 08 ^m 21 ^s .8	+09 [°] 30'11"	15 ^m .9	8.00	9000	1.66	07.5_40_2	1180	5	Sat.
HS 1308+1030	13 ^h 08 ^m 24 ^s .1	+10 [°] 30'19"	15 ^m .0	7.00	18000	1.66	07.5_40_2	1168	5	Sat.
HS 1320+0813	13 ^h 20 ^m 17 ^s .3	+08 [°] 13'07"	16 ^m .3	8.00	13000	1.29	07.5_41_2	791	2+	
HS 1322+0741	13 ^h 22 ^m 03 ^s .8	+07 [°] 41'01"	16 ^m .5	8.00	24000	1.06	07.5_41_2	830	0	PG
HS 1325+0631	13 ^h 25 ^m 29 ^s .5	+06 [°] 31'14"	16 ^m .5	8.00	26000	1.19	07.5_41_2	1020	2s	
HS 1330+0336	13 ^h 30 ^m 46 ^s .0	+03 [°] 36'28"	15 ^m .5	7.00	16000	1.41	02.5_42_2	269	0	BPM89123
HS 1334+0701	13 ^h 34 ^m 03 ^s .2	+07 [°] 01'45"	15 ^m .0	7.00	14000	1.58	07.5_42_2	287	2	
HS 1338+0807	13 ^h 38 ^m 57 ^s .9	+08 [°] 07'40"	16 ^m .0	7.00	26000	1.43	07.5_42_2	511	2(s)	
HS 1341+0339	13 ^h 41 ^m 58 ^s .3	+03 [°] 39'27"	16 ^m .5	8.00	30000	0.74	02.5_42_2	973	2(s)	
HS 1410+0809	14 ^h 10 ^m 37 ^s .9	+08 [°] 09'22"	15 ^m .5	7.00	20000	2.43	07.5_44_2	235	2	
HS 1414+0848	14 ^h 14 ^m 56 ^s .2	+08 [°] 48'57"	16 ^m .4	7.00	16000	1.39	07.5_44_2	535	2	
HS 1422+0247	14 ^h 22 ^m 05 ^s .5	+02 [°] 47'50"	16 ^m .5	8.00	18000	0.70	02.5_44_2	1200	0	PG
HS 1422+0930	14 ^h 22 ^m 11 ^s .9	+09 [°] 30'47"	14 ^m .3	7.00	16000	2.47	07.5_44_2	1016	0	CX_Boo
HS 1423+1434	14 ^h 23 ^m 05 ^s .3	+14 [°] 34'31"	16 ^m .3	7.00	15000	1.46	12.5_44_2	194	2-	
HS 1424+0129	14 ^h 24 ^m 53 ^s .4	+01 [°] 29'17"	16 ^m .2	7.00	11000	2.47	02.5_44_2	1418	5	Def.
HS 1426+0130	14 ^h 26 ^m 33 ^s .9	+01 [°] 30'26"	15 ^m .0	7.00	28000	0.73	02.5_44_2	1568	2s!	
HS 1430+1339	14 ^h 30 ^m 41 ^s .8	+13 [°] 39'43"	16 ^m .1	7.00	18000	1.52	12.5_44_2	630	2-	
HS 1431+0728	14 ^h 31 ^m 22 ^s .7	+07 [°] 28'00"	16 ^m .5	7.00	20000	1.30	07.5_45_2	227	3	
HS 1431+1521	14 ^h 31 ^m 44 ^s .5	+15 [°] 21'25"	15 ^m .8	7.00	12000	2.00	12.5_44_2	732	0	PG
HS 1432+1441	14 ^h 32 ^m 57 ^s .9	+14 [°] 41'52"	16 ^m .0	7.00	14000	1.60	12.5_44_2	749	2	
HS 1438+0839	14 ^h 38 ^m 31 ^s .1	+08 [°] 39'43"	16 ^m .3	8.00	18000	1.77	07.5_45_2	714	2	
HS 1447+0454	14 ^h 47 ^m 40 ^s .2	+04 [°] 54'07"	15 ^m .6	8.00	13000	1.71	02.5_46_2	20	2+	
HS 1447+0630	14 ^h 47 ^m 53 ^s .2	+06 [°] 30'25"	16 ^m .3	7.00	17000	0.92	07.5_45_2	1470	2-	
HS 1501+0314	15 ^h 01 ^m 52 ^s .3	+03 [°] 14'00"	15 ^m .5	8.00	14000	2.15	02.5_46_2	1193	0	PG
HS 1507+0207	15 ^h 07 ^m 25 ^s .0	+02 [°] 07'30"	16 ^m .5	7.00	18000	1.66	02.5_47_2	69	0	PG
HS 1516+0516	15 ^h 16 ^m 50 ^s .1	+05 [°] 16'57"	14 ^m .9	7.00	10000	1.90	02.5_47_2	892	5	Sat.
HS 1517+0814	15 ^h 17 ^m 39 ^s .5	+08 [°] 14'17"	15 ^m .9	8.00	16000	0.67	07.5_47_2	1123	2+	

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle A.1 (Fortsetzung)

	α_{1950}	δ_{1950}	B_J	$\log g$	T_{eff}	χ^2	Feld	HRS	Note	Anm.
HS 1522+1009	15 ^h 22 ^m 00 ^s 0	+10 [°] 09'03"	15 ^m 7	7.00	28000	1.90	07.5_47_2	1548	4-	Emiss.?
HS 1527+0614	15 ^h 27 ^m 13 ^s 4	+06 [°] 14'21"	16 ^m 1	8.00	12000	1.04	07.5_48_2	86	1-	
HS 1527+0614	15 ^h 27 ^m 13 ^s 5	+06 [°] 14'20"	15 ^m 9	8.00	14000	0.95	07.5_47_2	2066	2+	
HS 1527+0906	15 ^h 27 ^m 24 ^s 8	+09 [°] 06'01"	14 ^m 4	7.00	18000	0.93	07.5_48_2	38	0	PG
HS 1527+0905	15 ^h 27 ^m 24 ^s 9	+09 [°] 05'59"	14 ^m 4	8.00	20000	0.84	07.5_47_2	2122	0	PG
HS 1530+0542	15 ^h 30 ^m 42 ^s 4	+05 [°] 42'30"	14 ^m 4	7.00	17000	1.16	07.5_48_2	302	0s	PG
HS 1536+0944	15 ^h 36 ^m 18 ^s 5	+09 [°] 44'27"	15 ^m 7	8.00	27000	2.29	07.5_48_2	902	0s	PG
HS 1550+0012	15 ^h 50 ^m 55 ^s 7	+00 [°] 12'40"	16 ^m 3	8.00	10000	1.77	02.5_49_2	297	4	
HS 1606+0153	16 ^h 06 ^m 23 ^s 3	+01 [°] 53'45"	15 ^m 0	8.00	11000	2.07	02.5_49_2	2049	2	
HS 1609+1330	16 ^h 09 ^m 06 ^s 0	+13 [°] 30'26"	15 ^m 4	8.00	9000	1.22	12.5_49_2	1171	0	PG
HS 1609+1426	16 ^h 09 ^m 48 ^s 3	+14 [°] 26'40"	16 ^m 1	8.00	13000	1.20	12.5_49_2	1187	1-	
HS 1614+0537	16 ^h 14 ^m 42 ^s 6	+05 [°] 37'57"	14 ^m 7	7.00	10000	1.62	07.5_50_2	937	3+	
HS 1614+1136	16 ^h 14 ^m 48 ^s 2	+11 [°] 36'22"	16 ^m 4	7.00	12000	1.01	12.5_49_2	1791	1-	
HS 1616+0247	16 ^h 16 ^m 48 ^s 1	+02 [°] 47'23"	16 ^m 0	8.00	17000	1.48	02.5_50_2	1573		
HS 1619+1220	16 ^h 19 ^m 43 ^s 2	+12 [°] 20'36"	14 ^m 9	7.00	14000	0.95	12.5_49_2	2382	0	PG
HS 1641+1124	16 ^h 41 ^m 33 ^s 0	+11 [°] 24'22"	16 ^m 1	8.00	11000	1.26	12.5_51_2	213	2+	
HS 1643+1423	16 ^h 43 ^m 21 ^s 5	+14 [°] 23'08"	15 ^m 5	8.00	10000	1.67	12.5_51_2	436	0	PG
HS 1646+1059	16 ^h 46 ^m 19 ^s 3	+10 [°] 59'05"	16 ^m 1	8.00	16000	1.40	12.5_51_2	972	2-	
HS 1648+1300	16 ^h 48 ^m 43 ^s 7	+13 [°] 00'14"	15 ^m 6	8.00	17000	1.38	12.5_51_2	1377	2	
HS 2032+0942	20 ^h 32 ^m 05 ^s 4	+09 [°] 42'18"	15 ^m 9	8.00	23000	1.41	07.5_63_1	1317	3s!	
HS 2033+0821	20 ^h 33 ^m 03 ^s 3	+08 [°] 21'27"	14 ^m 5	7.00	28000	1.66	07.5_63_1	1793	2s!	
HS 2043+0615	20 ^h 43 ^m 52 ^s 6	+06 [°] 15'23"	16 ^m 1	7.00	28000	1.25	07.5_63_1	4853	2s!	
HS 2046+0044	20 ^h 46 ^m 05 ^s 2	+00 [°] 44'53"	15 ^m 9	7.00	23000	1.79	02.5_63_1	2495	2s	
HS 2051+0929	20 ^h 51 ^m 17 ^s 6	+09 [°] 29'48"	16 ^m 2	8.00	11000	1.68	07.5_64_1	1036	2	
HS 2056+0047	20 ^h 56 ^m 08 ^s 7	+00 [°] 47'58"	15 ^m 9	8.00	28000	2.40	02.5_64_3	1075	5	Ovl.?
HS 2056+0721	20 ^h 56 ^m 17 ^s 4	+07 [°] 21'58"	15 ^m 3	8.00	25000	2.19	07.5_64_1	2098	2-	
HS 2057+0425	20 ^h 57 ^m 45 ^s 7	+04 [°] 25'00"	16 ^m 1	7.00	22000	2.00	02.5_64_3	1169	5	
HS 2059+0208	20 ^h 59 ^m 15 ^s 8	+02 [°] 08'38"	16 ^m 5	8.00	17000	1.17	02.5_64_1	2175	2-	
HS 2059+0120	20 ^h 59 ^m 46 ^s 7	+01 [°] 20'23"	14 ^m 9	7.00	28000	0.92	02.5_64_1	2271	0s!	PG
HS 2102+0342	21 ^h 02 ^m 36 ^s 4	+03 [°] 42'45"	15 ^m 6	8.00	28000	2.44	02.5_64_1	2639	0s!	PG
HS 2109+0212	21 ^h 09 ^m 08 ^s 4	+02 [°] 12'33"	16 ^m 3	8.00	10000	1.04	02.5_65_1	160	3	
HS 2111+0954	21 ^h 11 ^m 13 ^s 6	+09 [°] 54'16"	16 ^m 5	8.00	10000	1.15	12.5_64_2	1670	4	
HS 2112+0106	21 ^h 12 ^m 26 ^s 8	+01 [°] 06'27"	16 ^m 1	7.00	9000	1.42	02.5_65_1	413	4-	
HS 2115+0103	21 ^h 15 ^m 00 ^s 6	+01 [°] 03'12"	15 ^m 4	7.00	22000	1.51	02.5_65_1	691	0	PG
HS 2120+0529	21 ^h 20 ^m 05 ^s 3	+05 [°] 29'48"	15 ^m 8	7.00	28000	1.92	07.5_65_1	1897	0	PG
HS 2120+0356	21 ^h 20 ^m 38 ^s 8	+03 [°] 56'36"	16 ^m 2	8.00	19000	1.08	02.5_65_1	1072	2-	
HS 2120+0213	21 ^h 20 ^m 45 ^s 9	+02 [°] 13'06"	14 ^m 8	8.00	10000	1.88	02.5_65_1	1091	3-	HBB?
HS 2125+1105	21 ^h 25 ^m 06 ^s 6	+11 [°] 05'10"	16 ^m 5	8.00	30000	2.15	12.5_64_2	4441	2s	
HS 2125+0947	21 ^h 25 ^m 20 ^s 4	+09 [°] 47'42"	16 ^m 4	8.00	27000	1.66	07.5_65_1	2569	7	PG
HS 2130+1215	21 ^h 30 ^m 36 ^s 5	+12 [°] 15'11"	16 ^m 3	7.00	23000	1.80	12.5_65_2	1240	2s	
HS 2132+0941	21 ^h 32 ^m 23 ^s 9	+09 [°] 41'55"	15 ^m 9	7.00	11000	2.27	07.5_66_1	763	2	
HS 2138+0910	21 ^h 38 ^m 35 ^s 5	+09 [°] 10'06"	15 ^m 9	7.00	9000	1.26	07.5_66_1	1477	2-	
HS 2139+1132	21 ^h 39 ^m 02 ^s 2	+11 [°] 32'41"	15 ^m 6	7.00	16000	2.61	12.5_65_2	2599	0	GD
HS 2204+0703	22 ^h 04 ^m 46 ^s 3	+07 [°] 03'55"	15 ^m 6	7.00	22000	2.31	07.5_67_1	1394	0	PG
HS 2214+1359	22 ^h 14 ^m 45 ^s 8	+13 [°] 59'19"	15 ^m 4	8.00	28000	2.80	12.5_67_2	1038	5	Emiss.
HS 2220+1323	22 ^h 20 ^m 46 ^s 7	+13 [°] 23'44"	15 ^m 6	8.00	26000	1.65	12.5_67_2	1468	0	PG
HS 2221+1256	22 ^h 21 ^m 15 ^s 0	+12 [°] 56'53"	16 ^m 5	7.00	10000	0.99	12.5_67_2	1462	4	
HS 2229+1355	22 ^h 29 ^m 18 ^s 0	+13 [°] 55'48"	15 ^m 9	7.00	28000	2.64	12.5_68_2	394	0	PG
HS 2233+0008	22 ^h 33 ^m 29 ^s 4	+00 [°] 08'08"	13 ^m 9	8.00	25000	1.30	02.5_69_1	322	2s	
HS 2240+1234	22 ^h 40 ^m 02 ^s 5	+12 [°] 34'22"	16 ^m 4	8.00	17000	0.93	12.5_68_2	1349	2+	
HS 2244+0237	22 ^h 44 ^m 13 ^s 9	+02 [°] 37'53"	16 ^m 5	8.00	13000	2.09	02.5_69_1	846	2	

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle A.1 (Fortsetzung)

	α_{1950}	δ_{1950}	B_J	$\log g$	T_{eff}	χ^2	Feld	HRS	Note	Anm.
HS 2248+0430	22 ^h 48 ^m 00 ^s .9	+04 [°] 30'20"	14 ^m 2	7.00	11000	2.29	02.5_69_3	717	6	
HS 2248+0958	22 ^h 48 ^m 22 ^s .2	+09 [°] 58'55"	14 ^m 5	8.00	22000	1.65	07.5_70_1	19	5+	Sat.!
HS 2250+0817	22 ^h 50 ^m 49 ^s .1	+08 [°] 17'43"	16 ^m 1	7.00	22000	1.83	07.5_70_1	127	2-	
HS 2254+1236	22 ^h 54 ^m 16 ^s .5	+12 [°] 36'47"	15 ^m 5	7.00	11000	2.20	12.5_69_2	705	0	LP521-049
HS 2257+1348	22 ^h 57 ^m 02 ^s .8	+13 [°] 48'33"	16 ^m 3	8.00	28000	1.15	12.5_69_2	902	0	PG
HS 2259+1419	22 ^h 59 ^m 25 ^s .8	+14 [°] 19'51"	15 ^m 8	8.00	13000	1.24	12.5_69_2	1033	1-	
HS 2303+1129	23 ^h 03 ^m 08 ^s .5	+11 [°] 29'23"	14 ^m 1	7.00	28000	0.62	12.5_69_2	1213	0s	PG
HS 2306+1303	23 ^h 06 ^m 00 ^s .3	+13 [°] 03'07"	15 ^m 2	8.00	13000	0.92	12.5_69_2	1353	0	KUV
HS 2306+1229	23 ^h 06 ^m 04 ^s .6	+12 [°] 29'24"	14 ^m 9	8.00	18000	0.79	12.5_69_2	1361	0	KUV
HS 2306+1229	23 ^h 06 ^m 04 ^s .7	+12 [°] 29'23"	14 ^m 8	8.00	16000	1.42	12.5_70_2	18	2+	
HS 2307+0055	23 ^h 07 ^m 19 ^s .9	+00 [°] 55'56"	16 ^m 2	7.00	28000	1.31	02.5_71_1	26	2s	
HS 2314+0625	23 ^h 14 ^m 17 ^s .9	+06 [°] 25'04"	15 ^m 8	8.00	19000	2.63	07.5_71_1	272	0	PB5312
HS 2318+1241	23 ^h 18 ^m 00 ^s .1	+12 [°] 41'48"	16 ^m 1	7.00	11000	2.34	12.5_70_2	794	0	KUV
HS 2328+1045	23 ^h 28 ^m 09 ^s .7	+10 [°] 45'33"	15 ^m 2	8.00	19000	1.01	12.5_71_2	96	0	KUV
HS 2336+0618	23 ^h 36 ^m 25 ^s .0	+06 [°] 18'53"	15 ^m 5	8.00	17000	2.57	07.5_72_1	333	0	PB
HS 2346+1303	23 ^h 46 ^m 24 ^s .4	+13 [°] 03'53"	16 ^m 4	8.00	16000	0.87	12.5_71_2	895	2-	
HS 2346+1006	23 ^h 46 ^m 56 ^s .4	+10 [°] 06'16"	16 ^m 3	8.00	12000	0.80	12.5_71_2	912	2	
HS 2346+1006	23 ^h 46 ^m 56 ^s .5	+10 [°] 06'15"	16 ^m 5	7.00	10000	0.97	12.5_01_2	73	5+	Emiss.?
HS 2347+1249	23 ^h 47 ^m 20 ^s .2	+12 [°] 49'31"	16 ^m 1	7.00	12000	2.05	12.5_01_2	55	2	
HS 2347+1249	23 ^h 47 ^m 20 ^s .3	+12 [°] 49'31"	15 ^m 9	7.00	11000	1.26	12.5_71_2	937	0	G
HS 2354+1126	23 ^h 54 ^m 03 ^s .7	+11 [°] 26'49"	16 ^m 3	8.00	13000	1.85	12.5_01_2	444	2-	
HS 2358+0115	23 ^h 58 ^m 08 ^s .9	+01 [°] 15'36"	15 ^m 8	7.00	10000	2.92	02.5_01_1	445	0	HE

Anhang B

FITS Header der HRS-Dateien

B.1 Primäre HDU

```
SIMPLE = T / file does conform to FITS standard
BITPIX = 16 / number of bits per data pixel
NAXIS = 0 / number of data axes
EXTEND = T / FITS dataset may contain extensions
COMMENT FITS (Flexible Image Transport System) format defined in Astronomy and
COMMENT Astrophysics Supplement Series v44/p363, v44/p371, v73/p359, v73/p365.
COMMENT Contact the NASA Science Office of Standards and Technology for the
COMMENT FITS Definition document #100 and other FITS information.
DATE = '2000-11-03T17:34:13' / file creation date (YYYY-MM-DDThh:mm:ss UTC)
ORIGIN = 'CAU Kiel -- ITAP' / Origin of FITS file
REGION = '02.5/50 ' / Name of HQS field
RA_CENT = 1.633333E+01 / [hr] '16:20:00' Right-Ascension of field centre
DEC_CENT= 2.500000E+00 / [deg] '02:30:00' Declination of field centre
RA_SW = 1.614225E+01 / [hr] '16:08:32' Right-Ascension of SW corner
DEC_SW = -3.691667E-01 / [deg] '00:-22:-8' Declination of SW corner
RA_SE = 1.652442E+01 / [hr] '16:31:27' Right-Ascension of SE corner
DEC_SE = -3.691667E-01 / [deg] '00:-22:-8' Declination of SE corner
RA_NE = 1.652525E+01 / [hr] '16:31:30' Right-Ascension of NW corner
DEC_NE = 5.362778E+00 / [deg] '05:21:46' Declination of NW corner
RA_NW = 1.614142E+01 / [hr] '16:08:29' Right-Ascension of NE corner
DEC_NW = 5.362778E+00 / [deg] '05:21:46' Declination of NE corner
EQUINOX = 1.950000E+03 / Julian Reference frame equinox
PLTSCALE= 8.600000E+01 / [arcsec/mm] Plate Scale
OBSERVAT= 'CAHA / DSAZ' / Observatory (Centro Astronomico Hispano-Aleman)
SITELAT = '+37:13:25.00' / Latitude of Observatory
SITELONG= '-2:32:46.50' / Longitude of Observatory
TELESCOP= 'Calar Alto 80-cm Schmidt' / Hamburg Schmidt telescope of CAHA
INSTRUME= 'PDS 1010G' / Microdensitometer of the Hamburg Observatory
END
```

B.2 1. Erweiterung – Binärtabelle

```

XTENSION= 'BINTABLE'           / binary table extension
BITPIX   =                      8 / 8-bit bytes
NAXIS    =                      2 / 2-dimensional binary table
NAXIS1   =                    720 / width of table in bytes
NAXIS2   =                   3677 / number of rows in table
PCOUNT   =                      0 / size of special data area
GCOUNT   =                      1 / one data group (required keyword)
TFIELDS  =                    26 / number of fields in each row
TTYPE1   = 'Spectrum_Y'        / Spectrum Y [ $\mu$ ] on plate or RA+2E8 [0.1 arcsec]
TFORM1   = '1J'                / data format of field: 4-byte INTEGER
TTYPE2   = 'Spectrum_X'        / Spectrum X [ $\mu$ ] on plate or DEC+2E8 [0.1 arcsec]
TFORM2   = '1J'                / data format of field: 4-byte INTEGER
TUNIT2   = 'micron'            / physical unit of field
TTYPE3   = 'Type'              / Object type
TFORM3   = '6A'                / data format of field: ASCII Character
TTYPE4   = 'Name'              / Name of near catalogue object
TFORM4   = '10A'               / data format of field: ASCII Character
TTYPE5   = 'T_eff'             / Temperature fit
TFORM5   = '1I'                / data format of field: 2-byte INTEGER
TUNIT5   = 'K'                 / physical unit of field
TTYPE6   = 'log_g'             / log g fit
TFORM6   = '1B'                / data format of field: BYTE
TUNIT6   = 'dex'               / physical unit of field
TTYPE7   = 'm_V'               / V Magnitude from photometry of catalogued refer
TFORM7   = '1B'                / data format of field: BYTE
TUNIT7   = 'mag'               / physical unit of field
TTYPE8   = 'Parallax'          / Trigonometric parallax  $\pi$ , if( $\pi > 3.2$ )  $\pi / -10$ .
TFORM8   = '1I'                / data format of field: 2-byte INTEGER
TUNIT8   = 'arcsec'            / physical unit of field
TTYPE9   = 'Proper_Motion'     / Total Proper Motion  $pm$ , if( $pm > 3.2$ )  $pm / -10$ .
TFORM9   = '1I'                / data format of field: 2-byte INTEGER
TUNIT9   = 'arcsec/yr'         / physical unit of field
TTYPE10  = 'Pos.Angle'         / Position angle of proper motion vector
TFORM10  = '1B'                / data format of field: BYTE
TUNIT10  = 'deg'               / physical unit of field
TTYPE11  = 'Pos.Diff'          / Distance to nearest object in reference catalog
TFORM11  = '1B'                / data format of field: BYTE
TUNIT11  = 'deg'               / physical unit of field
TTYPE12  = 'LRS_No'           / Number of LRS
TFORM12  = '1J'                / data format of field: 4-byte INTEGER
TTYPE13  = 'Background'        / Background density
TFORM13  = '1I'                / data format of field: 2-byte INTEGER
TTYPE14  = 'rsrvd1'           /
TFORM14  = '1I'                / data format of field: 2-byte INTEGER
TTYPE15  = 'Max.Amplitude'     / Maximum density amplitude of spectrum
TFORM15  = '1I'                / data format of field: 2-byte INTEGER
TTYPE16  = 'NPoint_HRS'        / Original length of High Resolution Scan (301)
TFORM16  = '1I'                / data format of field: 2-byte INTEGER
TTYPE17  = 'NPoint_LRS'        / Original length of Low Resolution Scan
TFORM17  = '1I'                / data format of field: 2-byte INTEGER
TTYPE18  = 'RA1950'           / Object right ascension
TFORM18  = '1J'                / data format of field: 4-byte INTEGER
TUNIT18  = 'deg'               / physical unit of field
TTYPE19  = 'DEC1950'           / Object declination

```

```

TFORM19 = '1J      ' / data format of field: 4-byte INTEGER
TUNIT19 = 'deg     ' / physical unit of field
TTYPER20 = 'Offset  ' / Original offset of spectrum in hrs file
TFORM20 = '1J      ' / data format of field: 4-byte INTEGER
TUNIT20 = 'Byte    ' / physical unit of field
TTYPER21 = 'Class   ' / HRS class index
TFORM21 = '1B      ' / data format of field: BYTE
TTYPER22 = 'Greenhead' / Offset of green head of spectrum
TFORM22 = '1B      ' / data format of field: BYTE
TUNIT22 = 'micron  ' / physical unit of field
TTYPER23 = 'B_Magnitude' / B magnitude from integrated spectrum
TFORM23 = '1B      ' / data format of field: BYTE
TUNIT23 = 'mag     ' / physical unit of field
TTYPER24 = 'Astrometric' / Astrometry flag
TFORM24 = '1B      ' / data format of field: BYTE
TTYPER25 = 'LRS_Density' / LRS density spectrum (array)
TFORM25 = '26I     ' / data format of field: 2-byte INTEGER
TTYPER26 = 'HRS_Density' / HRS density spectrum (array)
TFORM26 = '302I    ' / data format of field: 2-byte INTEGER
EXTNAME  = 'h3114002' / name of this binary table extension
TSCAL5   =          100 / scale of fitted effective temperature
TSCAL6   =      1.000000E-01 / scale of fitted log g
TSCAL7   =      1.000000E-01 / magnitude scale of m_V
TSCAL8   =      1.000000E-04 / scale of parallax
TSCAL9   =      1.000000E-04 / scale of proper motion
TSCAL10  =          2 / scale of position angle of pm
TSCAL11  = 2.77777777777800E-04 / scale of position difference
TSCAL13  =      1.250000E-03 / units of density per PDS count
TSCAL15  =      1.250000E-03 / units of density per PDS count
TSCAL22  =          10 / scale of green head position on plate [mu]
TSCAL23  =      1.000000E-01 / magnitude scale of B_J
TSCAL18  = 2.77777777777800E-05 / scale of right ascension
TSCAL19  = 2.77777777777800E-05 / scale of declination
TSCAL25  =      1.250000E-03 / units of density per PDS count
TSCAL26  =      1.250000E-03 / units of density per PDS count
TBIN26   =          3 / binning (slit width of PDS in steps)
PLTLABEL= 'H3114   ' / HQS plate label
CLASS0   = 'QSO     ' / Definition of class index 0 in TTYPER21
CLASS1   = 'N._EMISS.' / Definition of class index 1 in TTYPER21
CLASS2   = 'HOT_STAR' / Definition of class index 2 in TTYPER21
CLASS3   = 'UNID.   ' / Definition of class index 3 in TTYPER21
CLASS4   = 'MIRA    ' / Definition of class index 4 in TTYPER21
CLASS5   = 'HB-STAR ' / Definition of class index 5 in TTYPER21
CLASS6   = 'ABSORP. ' / Definition of class index 6 in TTYPER21
CLASS7   = 'QSO/HS  ' / Definition of class index 7 in TTYPER21
CLASS8   = 'OVERLAP ' / Definition of class index 8 in TTYPER21
CLASS9   = 'EXTENDED' / Definition of class index 9 in TTYPER21
CLASS10  = 'GHOST   ' / Definition of class index 10 in TTYPER21
CLASS11  = 'SATURATED' / Definition of class index 11 in TTYPER21
CLASS12  = 'NONSENSE' / Definition of class index 12 in TTYPER21
REGION   = 'FELD+ 2.5/50 ' / Name of HQS field
DATE-OBS= '1996-05-23T23:48:00' / Date and starting time of observation (UTC)
SID_TIME=      1.574472E+01 / '15:44:41' [hr] sidereal start time
POSTN_RA=      1.633028E+01 / [hr] '16:19:49' Tel. position Right-Ascension
POSTN_DE=      2.508611E+00 / [deg] '02:30:31' Tel. position Declination
POSTN_HA=      2.341444E+01 / '23:24:52' [hr] Tel. position hour angle

```

```

COMMENT   All Telescope positions are for centre of plate
EXPTIME =      3.000000E+03 / [sec] Exposure time
AIRMASS =      1.217291E+00 / Airmass for plate centre, exposure half time
OBSERVER= 'HALILHODZIC, P.' / Observer name (and acronym)
EMULSION= 'KODAK IIIa-J ( baked )' / Emulsion type and treatment
BATCH   = 'H93      ' / Emulsion batch [myy] (A=Jan., B=Feb., ...)
TM-BAKE =      3.500000E+00 / [hr] Baking time of hypersensitized plates
COMMENT   baking time > 5 hr is with pure N_2, < 5 hr with forming gas
FILTER   = 'no filter' / Filter code
OPMODE   = '1.7-deg prism / no grating' / Mode of telescope operation
WIDENING=      0.000000E+00 / [micron] Widening of the spectra perpendicular
DOM-TEMP=      7.000000E+00 / [C] Temperature of ambient air in the dome, deg
DOM-HUM  =      4.800000E+01 / [%] Humidity of ambient air in the dome, percen
PGRADE  = ' (1)      ' / Plate quality A(excellent) to E(unusable)
VISIBLTY= '20 15 15' / 'DURCHSICHT, RUHE, SCHAEFERFE' from U.Haug's list
DATE-SCN= '1998-11-16' / Date of plate digitization
PLTFWHM =      3.200000E+01 / [mu] Full width half maximum [micron] (Scan P.)
BACKGRD =      1.360000E+00 / Background at plate centre (Scan Protocol)
NSPECTRA=      86457 / Number of LRS spectra (Scan Protocol)
BMAG_300=      1.720000E+01 / B_J to reach D=300 counts above background
XPIXELSZ=      1.000000E+01 / [micron] X pixel step (HRS)
YPIXELSZ=      1.000000E+01 / [micron] Y pixel step (HRS)
HRDLIST = 'h3114canlsort' / Classification file
FIELD    = '+02.5/50' / Name of field
REFNAM1  = 'AGK 041985' / Name of first astrometric reference star
REFNAM2  = 'AGK 001932' / Name of second astrometric reference star
REFPOSY1=      71446 / [mu] y position of first reference star
REFPOSX1=     -68894 / [mu] x position of first reference star
REFALP1  = 2.46053825000922E+02 / [deg] RA of first reference star
REFDEL1  = 4.47089166667726E+00 / [deg] DEC of first reference star
REFPOSY2=     -84761 / [mu] y position of second reference star
REFPOSX2=      83054 / [mu] x position of second reference star
REFALP2  = 2.42449787505468E+02 / [deg] RA of second reference star
REFDEL2  = 7.066944444550408E-01 / [deg] DEC of second reference star
TCTYP1   = 'RA---ARC' / RA in table in zenithal equidistant projection
TCTYP2   = 'DEC--ARC' / DEC in table in zenithal equidistant projection
TCRVL1   = 2.44954166666667E+02 / [deg] RA at reference point (plate centre)
TCRVL2   = 2.50861111111111E+00 / [deg] DEC at reference point (plate centre)
TCRPX1   = -2.23478844478700E+04 / reference point y pixel coordinate
TCRPX2   = -1.03025618780584E+04 / reference point x pixel coordinate
TCD1_1   = 2.39000241561481E-05 / Transformation matrix (no shear)
TCD1_2   = 1.94829645871276E-07 / Transformation matrix (no shear)
TCD2_1   = 1.94829645871276E-07 / Transformation matrix (no shear)
TCD2_2   = -2.39000241561481E-05 / Transformation matrix (no shear)
TCROT2   = 4.67056815520198E-01 / [deg] Rotation angle (deprecated)
TCDLT1   = -2.39008182549338E-05 / [deg] RA pixel step (deprecated)
TCDLT2   = 2.39008182549338E-05 / [deg] DEC pixel step (deprecated)
END

```

Anhang C

Liste der untersuchten Felder und Datensätze

Tabelle C.1: Dateiliste der FITS-Datensätze mit Anzahl der HRS-Spektren, Position des Plattenzentrums in äquatorialen und galaktischen Koordinaten und den HRS-Datensätzen mit Angabe der Plattengüte und des Emulsionsbatches. Die Güte ist als Grad von A-E angegeben (für eine Definition siehe Hagen et al. 1995), alternativ als Note von 1-5 aus dem Scanprotokoll (6 ist ohne Wertung). Die Batches sind hier nach den Beobachtungsprotokollen mit Monat und *zweistelliger* Jahreszahl kodiert, abweichend von den Firmenangaben, die jeweils nur die letzte Jahresziffer enthalten. Ein X bedeutet hier, dass kein Batch bekannt ist, statt dessen wird nur das Jahr der Beobachtung genannt.

Datei	N_{HRS}	1. Platte		1. Platte		1. Platte			2. Platte		
		α	δ	l	b	HRS	Grade	Batch	HRS	Grade	Batch
02.5_01_1	721	0.00	+2.50	99.04	-57.87	h0758001	C(3)	X83	h0752001	C(3)	X83
02.5_01_3	736	0.00	+2.50	99.04	-57.87	h3157003	(2)	L95	h0758003	C(3)	X83
02.5_02_1	722	4.76	+2.39	107.70	-59.39	h0327001	A(1)	X81	h0326001	B(2)	X81
02.5_02_3	476	4.76	+2.39	107.70	-59.39	h0327003	A(1)	X81	h0326003	B(2)	X81
02.5_03_1	614	9.80	+2.41	117.59	-60.18	h0766001	A(1)	X83	h0762001	C(3)	X83
02.5_03_3	394	9.80	+2.41	117.59	-60.18	h0766003	A(1)	X83	h0762003	C(3)	X83
02.5_04_1	641	14.75	+2.40	127.57	-60.22	h0333001	B(2)	X81	h0321001	B(2)	X81
02.5_04_3	429	14.75	+2.40	127.57	-60.22	h0333003	B(2)	X81	h0321003	B(2)	X81
02.5_05_1	545	19.80	+2.42	137.49	-59.46	h0763001	B(2)	X83	h0767001	B(2)	X83
02.5_05_3	398	19.80	+2.42	137.49	-59.46	h0763003	B(2)	X83	h0767003	B(2)	X83
02.5_06_1	613	24.79	+2.42	146.69	-58.00	h0759001	B(2)	X83	h0764001	C(3)	X83
02.5_06_3	404	24.79	+2.42	146.69	-58.00	h0759003	B(2)	X83	h0764003	C(3)	X83
02.5_07_1	687	29.75	+2.41	154.98	-55.94	h0315001	C(3)	X81	h0322001	B(2)	X81
02.5_07_3	471	29.75	+2.41	154.98	-55.94	h0315003	C(3)	X81	h0322003	B(2)	X81
02.5_08_1	629	34.82	+2.44	162.43	-53.29	h1204001	B(2)	X85			
02.5_08_3	432	34.82	+2.44	162.43	-53.29	h1204003	B(2)	X85	h2467003	C(3)	C92
02.5_09_1	693	39.87	+2.46	168.91	-50.22	h1855001	B(2)	H87			
02.5_09_3	674	39.90	+2.47	168.93	-50.20	h2468003	A(1)	C92	h1855003	B(2)	H87
02.5_10_1	335	44.87	+2.46	174.52	-46.88	h1870001	C(3)	H87			
02.5_10_3	845	44.90	+2.30	174.72	-46.97	h2462003	B(2)	C92	h1870003	C(3)	H87
02.5_11_1	779	49.87	+2.46	179.43	-43.28	h1856001	B(2)	H87			
02.5_11_3	501	49.87	+2.46	179.43	-43.28	h1856003	B(2)	H87	h2595003	B(2)	F93
02.5_12_1	640	54.82	+2.46	183.73	-39.54	h1205001	B(2)	X85			

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle C.1 (Fortsetzung)

Datei	N_{HRS}	α	δ	l	b	HRS Grade	Batch	HRS Grade	Batch
02.5_12_3	793	54.92	+2.48	183.79	-39.44	h2591003	B(2) F93	h1205003	B(2) X85
02.5_13_1	737	59.82	+2.46	187.59	-35.58	h1185001	B(2) X85	h1193001	B(2) X85
02.5_13_3	507	59.82	+2.46	187.59	-35.58	h1185003	B(2) X85	h1193003	B(2) X85
02.5_14_1	827	64.82	+2.47	191.06	-31.51	h1178001	C(3) X85	h1171001	C(3) X85
02.5_14_3	921	64.92	+2.49	191.11	-31.41	h2820003	B(2) H93	h1178003	C(3) X85
02.5_15_1	819	69.87	+3.48	193.30	-26.75	h1874001	A(1) H87		
02.5_15_3	1791	69.92	+2.49	194.27	-27.24	h2596003	A(1) F93	h1874003	A(1) H87
02.5_16_1	1464	74.87	+2.49	197.16	-23.05	h1875001	B(2) H87		
02.5_16_3	2777	74.92	+2.49	197.18	-23.00	h2597003	B(2) F93	h1875003	B(2) H87
02.5_26_2	3626	124.93	+2.52	221.36	+21.06	h2842002	B(2) H93	h2877002	B(2) H93
02.5_27_2	3207	129.93	+2.52	223.97	+25.44	h2889002	B(2) H93	h2845002	C(3) H93
02.5_28_2	2446	134.93	+2.52	226.76	+29.78	h2878002	B(2) H93	h2846002	C(3) H93
02.5_29_2	2062	139.93	+2.52	229.79	+34.06	h2894002	B(2) H93	h2843002	B(2) H93
02.5_30_2	1376	144.93	+2.52	233.11	+38.28	h2852002	B(2) H93	h2890002	B(2) H93
02.5_31_2	1645	149.93	+2.52	236.81	+42.40	h2879002	B(2) H93	h2859002	C(3) H93
02.5_32_2	1300	154.93	+2.53	241.01	+46.40	h2880002	B(2) H93	h2847002	C(3) H93
02.5_33_2	1243	159.94	+2.53	245.84	+50.23	h2891002	B(2) H93	h2853002	B(2) H93
02.5_34_2	1082	164.94	+2.53	251.45	+53.84	h2895002	B(2) H93	h2835002	B(2) H93
02.5_35_2	1043	169.94	+2.53	258.06	+57.16	h2837002	B(2) H93	h3227002	(6) L95
02.5_36_2	921	174.94	+2.53	265.85	+60.08	h2854002	B(2) H93	h3280002	(6) L95
02.5_37_2	1249	179.94	+2.53	274.99	+62.48	h2897002	A(1) H93	h2860002	C(3) H93
02.5_38_1	444	184.90	+2.54	285.35	+64.20	h2398001	C(3) C92	h2397001	C(3) C92
02.5_38_3	987	184.96	+2.52	285.52	+64.20	h3228003	(2) L95	h3167003	(3) L95
02.5_39_2	1162	189.94	+2.53	296.95	+65.11	h2892002	B(2) H93	h2861002	C(3) H93
02.5_40_2	1028	194.94	+2.53	308.83	+65.12	h2838002	B(2) H93	h3239002	(2) L95
02.5_41_2	1364	199.96	+2.52	320.38	+64.20	h3234002	(1) L95	h2862002	C(3) H93
02.5_42_2	1414	204.94	+2.53	330.81	+62.50	h2896002	B(2) H93	h2796002	A(1) H93
02.5_43_2	1162	209.93	+2.53	339.95	+60.13	h2805002	B(2) H93	h3240002	(2) L95
02.5_44_2	1706	214.94	+2.52	347.78	+57.20	h2893002	B(2) H93	h2801002	B(2) H93
02.5_45_2	1637	219.95	+2.52	354.41	+53.87	h3107002	(2) H93	h2024002	B(2) E88
02.5_46_2	1788	224.93	+2.52	0.02	+50.29	h2802002	B(2) H93	h3242002	(2) L95
02.5_47_2	2084	229.95	+2.51	4.87	+46.44	h3108002	(2) H93	h2782002	C(3) H93
02.5_48_2	2392	234.95	+2.51	9.07	+42.44	h3111002	(1) H93	h1678002	C(3) X87
02.5_49_2	2222	239.93	+2.52	12.77	+38.35	h2799002	A(1) H93	h2795002	D(4) H93
02.5_50_2	3677	244.95	+2.51	16.11	+34.11	h3114002	(1) H93	h2800002	B(2) H93
02.5_51_2	2851	249.96	+2.51	19.14	+29.82	h3282002	(6) L95	h2783002	C(3) H93
02.5_63_1	2738	309.88	+2.46	48.66	-22.88	h1867001	B(2) H87		
02.5_63_3	4749	309.90	+2.47	48.68	-22.90	h2483003	A(1) C92	h1867003	B(2) H87
02.5_64_1	3330	314.87	+2.46	51.56	-27.13	h1891001	B(2) H90		
02.5_64_3	2117	314.87	+2.46	51.56	-27.13	h1891003	B(2) H90	h2494003	C(3) C92
02.5_65_1	1553	319.88	+2.46	54.71	-31.30	h1806001	A(1) E88	h1843001	C(3) H87
02.5_65_3	1251	319.88	+2.46	54.71	-31.30	h1806003	A(1) E88	h1843003	C(3) H87
02.5_66_1	1749	324.82	+2.44	58.11	-35.35	h1201001	B(2) X85		
02.5_66_3	1110	324.82	+2.44	58.11	-35.35	h1201003	B(2) X85	h2495003	A(1) C92
02.5_67_1	1392	329.82	+2.43	61.94	-39.31	h1196001	B(2) X85		
02.5_67_3	977	329.82	+2.43	61.94	-39.31	h1196003	B(2) X85	h2465003	A(1) C92
02.5_68_1	1141	334.88	+2.45	66.32	-43.14	h1839001	B(2) H87	h1849001	B(2) H87
02.5_68_3	803	334.88	+2.45	66.32	-43.14	h1839003	B(2) H87	h1849003	B(2) H87
02.5_69_1	999	339.82	+2.43	71.13	-46.73	h1195001	B(2) X85		
02.5_69_3	722	339.82	+2.43	71.13	-46.73	h1195003	B(2) X85	h2466003	A(1) C92
02.5_70_1	727	344.87	+2.45	76.78	-50.10	h1868001	B(2) H87		
02.5_70_3	985	344.90	+2.46	76.83	-50.11	h2484003	A(1) C92	h1868003	B(2) H87
02.5_71_1	569	349.82	+2.42	83.09	-53.12	h1202001	B(2) X85		

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle C.1 (Fortsetzung)

Datei	N_{HRS}	α	δ	l	b	HRS Grade	Batch	HRS Grade	Batch
02.5_71_3	453	349.82	+2.42	83.09	-53.12	h1202003	B(2) X85		
02.5_72_1	445	354.87	+2.44	90.50	-55.76	h1869001	C(3) H87		
02.5_72_3	900	354.95	+2.48	90.65	-55.77	h3153003	(2) L95	h2459003	C(3) C92
07.5_01_1	604	0.00	+7.50	102.05	-53.16	h2059001	A(1) H90		
07.5_01_3	893	0.00	+7.50	102.05	-53.16	h2991003	B(2) H93	h2059003	A(1) H90
07.5_02_1	883	4.88	+7.45	109.95	-54.48	h2069001	A(1) C91		
07.5_02_3	846	4.94	+7.47	110.04	-54.47	h2992003	B(2) H93	h2069003	A(1) C91
07.5_03_1	714	9.87	+7.45	118.45	-55.16	h1893001	B(2) H90		
07.5_03_3	453	9.87	+7.45	118.45	-55.16	h1893003	B(2) H90	h2993003	C(3) H93
07.5_04_1	483	14.82	+7.42	127.05	-55.20	h1203001	B(2) X85		
07.5_04_3	814	14.92	+7.47	127.22	-55.15	h2593003	A(1) F93	h1203003	B(2) X85
07.5_05_1	362	19.87	+7.45	135.68	-54.52	h1872001	B(2) H87		
07.5_05_3	736	19.92	+7.47	135.76	-54.49	h2827003	B(2) H93	h1872003	B(2) H87
07.5_06_1	848	24.75	+7.40	143.64	-53.32	h0328001	B(2) X81	h0334001	B(2) X81
07.5_06_3	536	24.75	+7.40	143.64	-53.32	h0328003	B(2) X81	h0334003	B(2) X81
07.5_07_1	595	29.79	+7.42	151.23	-51.44	h0768001	B(2) X83	h0760001	C(3) X83
07.5_07_3	492	29.79	+7.42	151.23	-51.44	h0768003	B(2) X83	h0760003	C(3) X83
07.5_08_1	519	34.82	+7.44	158.11	-49.08	h1198001	C(3) X85	h1191001	C(3) X85
07.5_08_3	916	34.92	+7.47	158.22	-49.00	h2819003	B(2) H93	h1198003	C(3) X85
07.5_09_1	584	39.81	+7.44	164.24	-46.33	h1177001	B(2) X85	h1170001	C(3) X85
07.5_09_3	449	39.81	+7.44	164.24	-46.33	h1177003	B(2) X85	h1170003	C(3) X85
07.5_10_1	644	44.81	+7.44	169.70	-43.24	h1199001	A(1) X85		
07.5_10_3	482	44.81	+7.44	169.70	-43.24	h1199003	A(1) X85	h2590003	A(1) F93
07.5_11_1	473	49.87	+7.46	174.60	-39.82	h1873001	B(2) H87		
07.5_11_3	644	49.92	+7.48	174.64	-39.78	h2599003	C(3) F93	h1873003	B(2) H87
07.5_12_1	699	54.81	+7.46	178.92	-36.28	h1184001	B(2) X85	h1192001	C(3) X85
07.5_12_3	570	54.81	+7.46	178.92	-36.28	h1184003	B(2) X85	h1192003	C(3) X85
07.5_13_1	1400	59.81	+7.46	182.82	-32.52	h1535001	B(2) X86	h1200001	A(1) X85
07.5_13_3	919	59.81	+7.46	182.82	-32.52	h1535003	B(2) X86	h1200003	A(1) X85
07.5_14_1	1148	64.89	+7.48	186.40	-28.53	h2563001	A(1) H92	h1857001	C(3) H87
07.5_14_3	967	64.89	+7.48	186.40	-28.53	h2563003	A(1) H92	h1857003	C(3) H87
07.5_15_1	2058	69.81	+7.46	189.60	-24.58	h1536001	B(2) X86		
07.5_15_3	1310	69.81	+7.46	189.60	-24.58	h1536003	B(2) X86	h2586003	C(3) F93
07.5_16_1	3033	74.87	+7.49	192.59	-20.40	h1894001	B(2) H90		
07.5_16_3	1748	74.87	+7.49	192.59	-20.40	h1894003	B(2) H90	h2585003	C(3) F93
07.5_26_2	3641	124.93	+7.52	216.57	+23.36	h2832002	C(3) H93	h3162002	(2) L95
07.5_27_2	2918	129.93	+7.52	219.04	+27.79	h2883002	B(2) H93	h2692002	C(3) D93
07.5_28_2	1616	134.96	+7.51	221.68	+32.22	h3164002	(2) L95	h2699002	C(3) D93
07.5_29_2	1790	139.93	+7.52	224.48	+36.57	h2884002	B(2) H93	h2693002	C(3) D93
07.5_30_2	1693	144.93	+7.52	227.58	+40.90	h2885002	B(2) H93	h2700002	C(3) D93
07.5_31_2	1440	149.96	+7.51	231.08	+45.19	h3220002	(1) L95	h2776002	C(3) H93
07.5_32_2	1298	154.96	+7.52	235.02	+49.36	h3221002	(2) L95	h2863002	C(3) H93
07.5_33_2	992	159.96	+7.52	239.61	+53.41	h3230002	(3) L95	h2836002	B(2) H93
07.5_34_2	1088	164.93	+7.53	245.01	+57.27	h2839002	B(2) H93	h3226002	(1) L95
07.5_35_2	1038	169.93	+7.53	251.59	+60.90	h2840002	B(2) H93	h3231002	(3) L95
07.5_36_2	1067	174.96	+7.52	259.75	+64.18	h3232002	(1) L95	h2865002	B(2) H93
07.5_37_2	1142	179.96	+7.52	269.73	+66.93	h3257002	(2) L95	h2841002	C(3) H93
07.5_38_2	1042	184.93	+7.53	281.69	+68.98	h2780002	B(2) H93	h3213002	(3) L95
07.5_39_2	1173	189.96	+7.52	295.65	+70.07	h3233002	(2) L95	h3208002	(3) L95
07.5_40_2	1224	194.94	+7.53	310.16	+70.09	h2908002	C(3) H93	h2963002	B(2) H93
07.5_41_2	1195	207.44	+7.53	341.38	+65.67	h2866002	B(2) H93	h2792002	C(3) H93
07.5_42_2	1068	204.93	+7.53	336.10	+66.98	h2785002	B(2) H93	h2964002	B(2) H93
07.5_43_2	1627	209.96	+7.51	346.16	+64.19	h3209002	(2) L95	h3241002	(2) L95

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle C.1 (Fortsetzung)

Datei	N_{HRS}	α	δ	l	b	HRS Grade	Batch	HRS Grade	Batch
07.5_44_2	1470	214.93	+7.53	354.23	+60.96	h2708002	C(3) D93	h2952002	B(2) H93
07.5_45_2	1603	219.93	+7.53	0.84	+57.34	h2789002	B(2) H93	h3085002	C(3) L95
07.5_46_2	1605	224.95	+7.51	6.31	+53.43	h3103002	(1) H93	h2786002	B(2) H93
07.5_47_2	2167	229.94	+7.52	10.89	+49.40	h2946002	A(1) H93	h2790002	C(3) H93
07.5_48_2	2173	234.93	+7.52	14.84	+45.24	h2791002	B(2) H93	h2958002	C(3) H93
07.5_49_2	2580	239.93	+7.52	18.30	+40.98	h2793002	B(2) H93	h2978002	C(3) H93
07.5_50_2	3569	244.93	+7.51	21.41	+36.65	h2775002	A(1) H93	h3086002	C(3) L95
07.5_51_2	3901	249.95	+7.51	24.25	+32.25	h3109002	(2) H93	h2787002	C(3) H93
07.5_63_1	5878	309.88	+7.46	53.23	-20.24	h1898001	B(2) H90		
07.5_64_1	3954	314.89	+7.46	56.20	-24.37	h2061001	A(1) H90		
07.5_64_3	2578	314.89	+7.46	56.20	-24.37	h2061003	A(1) H90	h2497003	A(1) C92
07.5_65_1	3069	319.89	+7.46	59.42	-28.41	h2062001	A(1) C91		
07.5_65_3	1969	319.89	+7.46	59.42	-28.41	h2062003	A(1) C91	h2498003	A(1) C92
07.5_66_1	2338	324.80	+7.43	62.85	-32.28	h0756001	B(2) X83	h0750001	B(2) X83
07.5_66_3	1525	324.80	+7.43	62.85	-32.28	h0756003	B(2) X83	h0750003	B(2) X83
07.5_67_1	1613	329.80	+7.42	66.73	-36.06	h0757001	B(2) X83	h1165001	C(3) X85
07.5_67_3	1160	329.80	+7.42	66.73	-36.06	h0757003	B(2) X83	h0751003	A(1) X83
07.5_68_1	1301	334.82	+7.43	71.08	-39.67	h1188001	B(2) X85	h1186001	B(2) X85
07.5_68_3	919	334.82	+7.43	71.08	-39.67	h1188003	B(2) X85	h1186003	B(2) X85
07.5_69_1	899	339.83	+7.43	75.91	-43.05	h1180001	C(3) X85	h1167001	C(3) X85
07.5_69_3	1319	339.93	+7.47	76.05	-43.08	h2824003	B(2) H93	h1180003	C(3) X85
07.5_70_1	784	344.82	+7.42	81.34	-46.16	h1189001	C(3) X85	h1187001	C(3) X85
07.5_70_3	1298	344.94	+7.47	81.51	-46.19	h2990003	B(2) H93	h1189003	C(3) X85
07.5_71_1	814	349.82	+7.42	87.43	-48.93	h1175001	B(2) X85	h1182001	B(2) X85
07.5_71_3	534	349.82	+7.42	87.43	-48.93	h1175003	B(2) X85	h1182003	B(2) X85
07.5_72_1	697	354.82	+7.42	94.23	-51.30	h1174001	C(3) X85		
07.5_72_3	819	354.93	+7.47	94.41	-51.30	h2826003	B(2) H93	h1174003	C(3) X85
12.5_01_2	1175	0.00	+12.50	104.46	-48.40	h2175002	B(2) E88		
12.5_02_2	998	4.95	+12.45	111.61	-49.59	h2176002	B(2) E88	h2567002	A(1) H92
12.5_03_2	733	10.05	+12.46	119.27	-50.17	h2453002	A(1) C92	h2183002	C(3) E88
12.5_04_2	954	15.10	+12.46	126.99	-50.16	h2507002	B(2) C92	h2203002	B(2) H91
12.5_05_2	992	20.16	+12.45	134.59	-49.55	h2184002	A(1) E88	h2581002	C(3) F93
12.5_06_2	1010	25.27	+12.47	141.96	-48.34	h2594002	B(2) F93	h2185002	B(2) E88
12.5_07_2	1024	30.30	+12.46	148.79	-46.64	h1928002	B(2) H90	h2598002	C(3) F93
12.5_08_2	881	35.38	+12.46	155.14	-44.45	h2561002	A(1) H92	h2163002	A(1) C91
12.5_09_2	969	40.45	+12.47	160.93	-41.85	h2562002	A(1) H92	h2171002	A(1) C91
12.5_10_2	1035	45.51	+12.47	166.16	-38.93	h2156002	A(1) C91	h2508002	A(1) C92
12.5_11_2	893	50.58	+12.47	170.89	-35.71	h2164002	B(2) C91	h2582002	C(3) F93
12.5_12_2	994	55.65	+12.47	175.16	-32.26	h2157002	B(2) C91	h2583002	C(3) F93
12.5_13_2	1025	60.72	+12.48	179.04	-28.60	h2149002	B(2) C91	h2568002	A(1) H92
12.5_14_2	1048	65.80	+12.48	182.57	-24.77	h2556002	A(1) H92	h2150002	C(3) C91
12.5_15_2	1102	70.90	+12.49	185.82	-20.80	h2584002	C(3) F93	h1929002	B(2) H90
12.5_25_2	3812	121.65	+12.51	210.16	+22.60	h3176002	(1) L95	h2564002	B(2) H92
12.5_26_2	3440	126.68	+12.52	212.39	+27.07	h2685002	A(1) D93	h3177002	(1) L95
12.5_27_2	2260	131.78	+12.51	214.76	+31.60	h3041002	B(2) H93	h3210002	(2) L95
12.5_28_2	1838	136.85	+12.52	217.25	+36.10	h3069002	B(2) H93	h2759002	C(3) D93
12.5_29_2	1469	141.92	+12.52	219.92	+40.58	h3042002	A(1) H93	h3217002	(3) L95
12.5_30_2	1219	146.96	+12.53	222.83	+45.02	h2768002	B(2) H93	h3235002	(2) L95
12.5_31_2	1304	152.07	+12.51	226.17	+49.46	h3211002	(1) L95	h2777002	B(2) H93
12.5_32_2	1041	157.13	+12.52	229.97	+53.81	h3070002	B(2) H93	h2779002	C(3) H93
12.5_33_2	961	162.21	+12.52	234.51	+58.07	h3236002	(2) L95	h2370002	B(2) C92
12.5_34_2	1004	167.28	+12.52	240.07	+62.18	h3237002	(1) L95	h3215002	(2) L95
12.5_35_2	1044	172.35	+12.52	247.13	+66.06	h3212002	(1) L95	h2769002	A(1) H93

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle C.1 (Fortsetzung)

Datei	N_{HRS}	α	δ	l	b	HRS Grade	Batch	HRS Grade	Batch
12.5_36_2	875	177.39	+12.53	256.28	+69.57	h2771002	B(2) H93	h2778002	C(3) H93
12.5_37_2	891	182.46	+12.53	268.59	+72.51	h2766002	A(1) H93	h3036002	B(2) H93
12.5_38_2	799	187.56	+12.52	284.71	+74.52	h3087002	B(2) L95	h2371002	B(2) C92
12.5_39_2	1013	192.63	+12.52	303.57	+75.22	h3092002	B(2) H93	h2772002	A(1) H93
12.5_40_2	1033	197.67	+12.53	322.23	+74.45	h2767002	A(1) H93	h3096002	(3) H93
12.5_41_2	1157	202.74	+12.53	338.06	+72.38	h2770002	B(2) H93	h3088002	B(2) L95
12.5_42_2	969	207.81	+12.53	350.19	+69.40	h2773002	A(1) H93	h3097002	(3) H93
12.5_43_2	1491	212.88	+12.53	359.29	+65.85	h2781002	B(2) H93	h3102002	(2) H93
12.5_44_2	1363	217.95	+12.53	6.25	+61.95	h2774002	A(1) H93	h3093002	C(3) H93
12.5_45_2	1671	223.05	+12.51	11.75	+57.80	h3089002	B(2) H93	h2764002	B(2) D93
12.5_46_2	1661	228.11	+12.52	16.21	+53.56	h2909002	B(2) H93	h3098002	(3) H93
12.5_47_2	2105	233.17	+12.52	19.98	+49.22	h2806002	A(1) H93	h1786002	C(3) E88
12.5_48_2	2146	238.25	+12.51	23.26	+44.78	h2910002	B(2) H93	h3251002	(3) L95
12.5_49_2	2716	243.32	+12.51	26.18	+40.32	h2947002	A(1) H93	h3090002	B(2) H93
12.5_50_2	3559	248.40	+12.51	28.84	+35.83	h2974002	B(2) H93	h2803002	C(3) H93
12.5_51_2	4201	253.43	+12.51	31.31	+31.37	h2422002	A(1) C92	h3091002	C(3) H93
12.5_52_2	3777	258.66	+12.51	33.72	+26.72	h2420002	B(2) C92	h2804002	C(3) H93
12.5_64_2	4707	319.33	+12.46	63.48	-24.93	h2067002	A(1) C91	h2503002	B(2) C92
12.5_65_2	3673	324.40	+12.46	67.03	-28.74	h2135002	A(1) C91	h2504002	B(2) C92
12.5_66_2	2517	329.41	+12.43	70.84	-32.36	h1181002	A(1) X85	h1173002	C(3) X85
12.5_67_2	1953	334.46	+12.42	75.11	-35.81	h1067002	B(2) X85	h1070002	A(1) X85
12.5_68_2	1987	339.53	+12.42	79.85	-39.03	h0761002	B(2) X83	h0765002	A(1) X83
12.5_69_2	1458	344.69	+12.46	85.22	-41.97	h2505002	B(2) C92	h1892002	C(3) H90
12.5_70_2	1386	349.76	+12.46	91.03	-44.54	h2506002	B(2) C92	h1871002	B(2) H87
12.5_71_2	990	354.84	+12.46	97.41	-46.72	h2452002	A(1) C92	h1854002	D(4) H87
17.5_01_2	1291	0.00	+17.50	106.45	-43.60	h2167002	A(1) C91		
17.5_02_2	1250	5.10	+17.45	113.06	-44.68	h2168002	A(1) C91		
17.5_03_2	1170	10.32	+17.45	120.05	-45.20	h2177002	B(2) E88		
17.5_04_2	1201	15.53	+17.45	127.11	-45.15	h2178002	B(2) E88	h2855002	C(3) H93
17.5_05_2	1195	20.75	+17.45	134.08	-44.53	h2169002	A(1) C91	h2829002	C(3) H93
17.5_06_2	1024	25.98	+17.46	140.82	-43.36	h2496002	B(2) C92	h2170002	B(2) C91
17.5_07_2	1197	31.12	+17.44	147.11	-41.74	h1736002	A(1) A87	h1744002	B(2) L85
17.5_08_2	785	36.42	+17.47	153.13	-39.57	h2455002	A(1) C92	h2204002	C(3) H91
17.5_09_2	1159	41.63	+17.47	158.59	-37.06	h2547002	A(1) H92	h2142002	C(3) C91
17.5_10_2	1069	46.85	+17.47	163.59	-34.19	h2554002	A(1) H92	h2139002	B(2) C91
17.5_11_2	1434	52.06	+17.47	168.16	-31.03	h2555002	A(1) H92	h2148002	B(2) C91
17.5_12_2	1109	57.28	+17.48	172.32	-27.63	h2548002	A(1) H92	h2140002	A(1) C91
17.5_13_2	1096	62.50	+17.48	176.12	-24.00	h2549002	B(2) H92	h2143002	B(2) C91
17.5_24_2	3121	119.96	+17.51	204.48	+23.12	h3161002	(2) L95	h2181002	B(2) E88
17.5_25_2	2387	125.17	+17.51	206.58	+27.71	h3163002	(2) L95	h2833002	C(3) H93
17.5_26_2	1828	130.36	+17.52	208.71	+32.31	h2931002	B(2) H93	h2182002	C(3) E88
17.5_27_2	1960	135.61	+17.51	210.95	+36.96	h3218002	(2) L95	h2745002	C(3) D93
17.5_28_2	1246	140.81	+17.52	213.27	+41.58	h3043002	B(2) H93	h2747002	C(3) D93
17.5_29_2	1309	146.02	+17.52	215.77	+46.21	h2937002	B(2) H93	h2753002	C(3) D93
17.5_30_2	1069	151.24	+17.52	218.55	+50.84	h2954002	B(2) H93	h2748002	C(3) D93
17.5_31_2	1037	156.45	+17.53	221.71	+55.43	h2929002	B(2) H93	h2754002	C(3) D93
17.5_32_2	1091	161.66	+17.53	225.43	+59.98	h2741002	C(3) D93	h2955002	B(2) H93
17.5_33_2	1006	166.89	+17.53	230.10	+64.48	h2938002	A(1) H93	h2749002	C(3) D93
17.5_34_2	933	172.12	+17.52	236.23	+68.84	h3035002	B(2) H93	h2760002	B(2) D93
17.5_35_2	1043	177.31	+17.53	244.74	+72.94	h2755002	C(3) D93	h2932002	A(1) H93
17.5_36_2	867	182.55	+17.53	257.76	+76.61	h2939002	A(1) H93	h2750002	C(3) D93
17.5_37_2	921	187.75	+17.53	277.94	+79.30	h2761002	C(3) D93	h2933002	B(2) H93
17.5_38_2	1018	192.97	+17.53	305.76	+80.22	h2756002	B(2) D93	h3053002	B(2) H93

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle C.1 (Fortsetzung)

Datei	N_{HRS}	α	δ	l	b	HRS Grade	Batch	HRS Grade	Batch
17.5_39_2	1118	198.19	+17.53	332.52	+78.90	h2788002	B(2) H93	h3214002	(2) L95
17.5_40_2	1105	203.43	+17.52	351.20	+75.94	h3072002	A(1) H93	h2697002	A(1) D93
17.5_41_2	1261	208.62	+17.53	3.09	+72.19	h2751002	C(3) D93	h2743002	B(2) D93
17.5_42_2	1260	213.85	+17.52	11.08	+68.00	h2940002	B(2) H93	h2757002	C(3) D93
17.5_43_2	1399	219.07	+17.52	16.83	+63.61	h2941002	B(2) H93	h2752002	C(3) D93
17.5_44_2	1648	224.28	+17.52	21.27	+59.12	h2746002	B(2) D93	h2744002	C(3) D93
17.5_45_2	1343	229.51	+17.52	24.88	+54.54	h2930002	B(2) H93	h2718002	C(3) D93
17.5_46_2	1564	234.74	+17.51	27.96	+49.92	h3094002	(2) H93	h2698002	A(1) D93
17.5_47_2	1759	239.96	+17.51	30.68	+45.29	h3099002	(3) H93	h2419002	B(2) C92
17.5_48_2	2475	245.17	+17.51	33.15	+40.66	h3112002	(2) H93	h2413002	B(2) C92
17.5_49_2	2795	250.40	+17.51	35.46	+36.02	h3095002	(2) H93	h2417002	B(2) C92
17.5_50_2	3413	255.56	+17.51	37.64	+31.44	h2414002	A(1) C92	h3100002	(3) H93
17.5_62_1	5662	318.15	+17.46	66.93	-20.90	h2129001	B(2) C91		
17.5_62_3	3280	318.26	+17.50	67.03	-20.96	h2129003	B(2) C91		
17.5_63_2	4209	323.39	+17.47	70.48	-24.68	h2451002	B(2) C92	h2130002	C(3) C91
17.5_64_2	2689	328.54	+17.44	74.27	-28.23	h1734002	B(2) A87	h1847002	C(3) H87
17.5_65_2	3037	333.80	+17.45	78.55	-31.62	h2068002	A(1) C91	h2499002	A(1) C92
17.5_66_2	2463	339.03	+17.46	83.21	-34.73	h2500002	A(1) C92	h2063002	A(1) C91
17.5_67_2	2098	344.11	+17.40	88.12	-37.52	h0313002	B(2) X81	h0320002	B(2) X81
17.5_68_2	1380	349.47	+17.46	93.85	-39.99	h2479002	A(1) C92	h2058002	B(2) H90
17.5_69_2	1833	354.62	+17.43	99.78	-42.04	h1743002	A(1) A87		
22.5_01_2	1648	0.00	+22.50	108.15	-38.76	h2154002	A(1) C91	h2530002	B(2) C92
22.5_02_2	1224	5.27	+22.46	114.31	-39.76	h2559002	B(2) H92	h2160002	B(2) C91
22.5_03_2	1383	10.63	+22.45	120.74	-40.22	h2155002	A(1) C91	h2531002	C(3) C92
22.5_04_2	1554	16.01	+22.46	127.25	-40.13	h2527002	A(1) C92	h2080002	B(2) C91
22.5_05_2	1159	21.38	+22.46	133.66	-39.50	h2560002	B(2) H92	h2141002	B(2) C91
22.5_06_2	1566	26.75	+22.46	139.88	-38.36	h2528002	A(1) C92	h2138002	A(1) C91
22.5_07_2	1180	32.12	+22.46	145.79	-36.74	h2501002	A(1) C92	h2134002	B(2) C91
22.5_08_2	1411	37.50	+22.46	151.36	-34.67	h2529002	A(1) C92	h2128002	A(1) C91
22.5_09_2	1344	42.85	+22.46	156.51	-32.22	h2076002	B(2) C91	h2532002	A(1) C92
22.5_10_2	1710	48.23	+22.47	161.28	-29.41	h2079002	B(2) C91	h2542002	A(1) C92
22.5_11_2	1900	53.60	+22.47	165.66	-26.31	h2082002	A(1) C91	h2502002	A(1) C92
22.5_12_2	2143	59.01	+22.48	169.71	-22.92	h2601002	C(3) F93	h2207002	C(3) H91
22.5_23_2	2703	118.08	+22.52	198.69	+23.36	h2159002	B(2) C91		
22.5_24_2	2490	123.51	+22.52	200.66	+28.05	h2857002	B(2) H93	h2166002	B(2) C91
22.5_25_2	1789	128.88	+22.52	202.57	+32.73	h2901002	B(2) H93	h1940002	C(3) H90
22.5_26_2	1683	134.20	+22.53	204.45	+37.40	h1941002	B(2) H90	h1937002	B(2) H90
22.5_27_2	1380	139.57	+22.54	206.39	+42.14	h1942002	B(2) H90	h3225002	(2) L95
22.5_28_2	1353	145.03	+22.51	208.46	+46.96	h3219002	(2) L95	h2858002	C(3) H93
22.5_29_2	947	150.39	+22.52	210.58	+51.71	h3052002	A(1) H93	h2319002	B(2) K91
22.5_30_2	967	155.71	+22.54	212.84	+56.44	h2327002	B(2) K91	h3050002	C(3) H93
22.5_31_2	1010	161.12	+22.53	215.52	+61.25	h2902002	B(2) H93	h2320002	C(3) K91
22.5_32_2	857	166.46	+22.54	218.61	+65.98	h2328002	B(2) K91		
22.5_33_2	900	171.89	+22.52	222.80	+70.75	h3044002	A(1) H93	h2903002	C(3) H93
22.5_34_2	923	177.25	+22.53	228.71	+75.40	h2904002	B(2) H93	h2321002	C(3) K91
22.5_35_2	718	182.58	+22.54	238.75	+79.85	h2329002	A(1) K91		
22.5_36_1	588	187.96	+22.54	261.27	+83.73	h2322001	A(1) K91		
22.5_36_2	453	187.96	+22.54	261.27	+83.73	h2322002	A(1) K91		
22.5_37_1	565	193.33	+22.54	312.46	+85.18	h2338001	A(1) K91		
22.5_37_2	433	193.33	+22.54	312.46	+85.18	h2338002	A(1) K91		
22.5_38_1	582	198.71	+22.54	354.25	+82.61	h2323001	A(1) K91		
22.5_38_2	499	198.71	+22.54	354.25	+82.61	h2323002	A(1) K91		
22.5_39_2	986	204.12	+22.53	11.19	+78.42	h2905002	B(2) H93	h1588002	C(3) L85

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle C.1 (Fortsetzung)

Datei	N_{HRS}	α	δ	l	b	HRS Grade	Batch	HRS Grade	Batch
22.5_40_2	766	209.46	+22.54	19.52	+73.89	h2381002	B(2) C92		
22.5_41_2	1190	214.88	+22.52	24.67	+69.16	h3029002	A(1) H93	h2644002	B(2) D93
22.5_42_2	1416	220.24	+22.52	28.39	+64.42	h2906002	B(2) H93	h1841002	C(3) H87
22.5_43_2	1218	225.59	+22.53	31.35	+59.68	h2382002	B(2) C92		
22.5_44_2	1235	230.96	+22.53	33.86	+54.91	h2412002	B(2) C92		
22.5_45_2	1296	236.33	+22.52	36.10	+50.14	h2409002	A(1) C92		
22.5_46_2	2204	241.75	+22.51	38.18	+45.33	h3074002	B(2) H93	h2983002	C(3) H93
22.5_47_2	1876	247.12	+22.51	40.16	+40.58	h3147002	(2) L95	h2406002	B(2) C92
22.5_48_2	2900	252.50	+22.51	42.09	+35.85	h3148002	(2) L95	h2383002	A(1) C92
22.5_49_2	2820	257.83	+22.51	43.99	+31.20	h2407002	B(2) C92		
22.5_50_2	4306	263.20	+22.51	45.91	+26.52	h2410002	A(1) C92		
22.5_62_2	4144	327.67	+22.46	77.49	-24.04	h2474002	A(1) C92	h2152002	B(2) C91
22.5_63_2	3355	333.04	+22.46	81.62	-27.33	h2538002	B(2) C92	h2146002	C(3) C91
22.5_64_2	2936	338.41	+22.46	86.12	-30.34	h2544002	A(1) C92	h2153002	A(1) C91
22.5_65_2	2434	343.78	+22.46	91.02	-33.04	h2525002	B(2) C92	h2136002	B(2) C91
22.5_66_2	1684	349.14	+22.45	96.30	-35.38	h2131002	B(2) C91	h2533002	B(2) C92
22.5_67_2	1975	354.53	+22.46	101.99	-37.31	h2526002	A(1) C92	h2126002	A(1) C91
27.5_01_2	1248	0.00	+27.50	109.63	-33.91	h1685002	C(3) X87		
27.5_02_2	1215	5.37	+27.43	115.28	-34.85	h1688002	C(3) X87		
27.5_03_2	1833	10.96	+27.45	121.33	-35.23	h2074002	A(1) C91		
27.5_04_2	1654	16.49	+27.45	127.33	-35.11	h2077002	A(1) C91	h2848002	C(3) H93
27.5_05_2	1628	22.03	+27.45	133.27	-34.48	h2065002	A(1) C91	h2822002	B(2) H93
27.5_06_2	1988	27.57	+27.46	139.03	-33.36	h2071002	A(1) C91	h2620002	B(2) D93
27.5_07_2	1877	33.15	+27.47	144.59	-31.74	h2816002	A(1) H93	h2075002	C(3) C91
27.5_08_2	2091	38.68	+27.47	149.80	-29.72	h2818002	B(2) H93	h2072002	B(2) C91
27.5_09_2	2570	44.22	+27.48	154.67	-27.31	h2640002	C(3) D93	h2060002	B(2) H90
27.5_10_2	2246	49.71	+27.47	159.17	-24.59	h1938002	A(1) H90	h2603002	A(1) F93
27.5_11_2	2630	55.25	+27.47	163.35	-21.54	h1917002	C(3) E87	h2206002	B(2) H91
27.5_22_1	2041	116.17	+27.52	192.93	+23.49	h1921001	C(3) E87		
27.5_23_2	2644	121.75	+27.52	194.71	+28.17	h2831002	B(2) H93	h1922002	C(3) H90
27.5_24_1	802	127.25	+27.53	196.36	+32.83	h1923001	C(3) H90		
27.5_24_3	1809	127.31	+27.52	196.39	+32.88	h2872003	B(2) H93	h1923003	C(3) H90
27.5_25_2	1589	132.71	+27.55	197.90	+37.51	h1472002	A(1) X86	h1481002	B(2) X86
27.5_26_2	1370	138.33	+27.54	199.47	+42.34	h1924002	B(2) H90		
27.5_27_2	1123	143.87	+27.54	200.93	+47.15	h1925002	B(2) H90		
27.5_28_2	994	149.47	+27.52	202.37	+52.02	h2873002	B(2) H93	h1577002	C(3) A87
27.5_29_2	1025	155.01	+27.53	203.73	+56.87	h2886002	B(2) H93	h1576002	C(3) A87
27.5_30_2	716	160.49	+27.55	204.97	+61.69	h1960002	A(1) H90		
27.5_31_2	933	166.09	+27.53	206.27	+66.62	h2874002	B(2) H93	h1794002	C(3) H87
27.5_32_2	862	171.63	+27.53	207.44	+71.51	h2875002	B(2) H93	h2959002	B(2) H93
27.5_33_2	695	222.11	+27.55	40.46	+63.75	h1995002	B(2) H90	h2887002	B(2) H93
27.5_34_2	926	182.70	+27.53	209.22	+81.33	h2881002	B(2) H93	h1349002	C(3) X86
27.5_35_2	877	188.25	+27.53	208.57	+86.24	h2960002	B(2) H93	h1953002	C(3) H90
27.5_36_2	821	193.75	+27.54	45.40	+88.84	h2330002	A(1) K91	h0589002	C(3) X83
27.5_37_2	805	199.22	+27.57	37.15	+84.01	h1364002	A(1) X86	h0585002	C(3) X83
27.5_38_2	1113	204.88	+27.52	36.98	+78.99	h3038002	B(2) H93	h2971002	C(3) H93
27.5_39_2	1137	210.40	+27.52	37.93	+74.10	h2882002	B(2) H93	h1954002	C(3) H90
27.5_40_2	1368	215.95	+27.52	39.04	+69.19	h2888002	B(2) H93	h1964002	C(3) H90
27.5_41_2	1257	221.49	+27.52	40.24	+64.30	h2972002	C(3) H93	h1963002	B(2) H90
27.5_42_2	1098	226.98	+27.53	41.54	+59.47	h1955002	B(2) H90		
27.5_43_2	1280	232.52	+27.53	42.86	+54.61	h1965002	B(2) H90		
27.5_44_2	1340	238.05	+27.53	44.23	+49.78	h1842002	B(2) H87		
27.5_45_2	1901	243.50	+27.55	45.66	+45.05	h0580002	B(2) X83	h0583002	C(3) X83

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle C.1 (Fortsetzung)

Datei	N_{HRS}	α	δ	l	b	HRS Grade	Batch	HRS Grade	Batch
27.5_46_2	2267	249.13	+27.52	47.14	+40.17	h1845002	A(1) H87		
27.5_47_2	2911	254.72	+27.51	48.70	+35.37	h2968002	A(1) H93	h1376002	C(3) X86
27.5_48_2	3161	260.21	+27.51	50.32	+30.70	h1846002	B(2) H87	h1598002	C(3) X87
27.5_61_2	3788	332.19	+27.45	84.43	-22.96	h1838002	A(1) H87	h1717002	C(3) X87
27.5_62_2	4203	337.73	+27.45	88.77	-25.88	h1848002	A(1) H87	h1721002	B(2) X87
27.5_63_2	3550	343.32	+27.47	93.52	-28.49	h2985002	B(2) H93	h1684002	C(3) X87
27.5_64_2	2795	348.86	+27.47	98.56	-30.72	h2986002	B(2) H93		
27.5_65_2	1309	354.30	+27.43	103.80	-32.56	h1666002	B(2) X87	h1681002	C(3) X87
32.5_01_2	2728	0.00	+32.50	110.95	-29.03	h1730002	B(2) A87	h2539002	B(2) C92
32.5_02_1	1899	5.70	+32.46	116.38	-29.90	h2545001	A(1) C92	h2147001	B(2) C91
32.5_02_3	1186	5.70	+32.46	116.38	-29.90	h2545003	A(1) C92	h2147003	B(2) C91
32.5_03_1	1719	11.50	+32.46	122.03	-30.24	h2540001	A(1) C92	h2132001	B(2) C91
32.5_03_3	1151	11.50	+32.46	122.03	-30.24	h2540003	A(1) C92	h2132003	B(2) C91
32.5_04_1	1637	17.30	+32.45	127.68	-30.07	h2137001	A(1) C91	h2546001	C(3) H92
32.5_04_3	1214	17.30	+32.45	127.68	-30.07	h2137003	A(1) C91	h2546003	C(3) H92
32.5_05_2	2244	23.11	+32.46	133.27	-29.39	h2535002	A(1) C92	h2127002	B(2) C91
32.5_06_2	2443	28.90	+32.46	138.69	-28.23	h2133002	A(1) C91	h2541002	B(2) C92
32.5_07_2	2542	34.70	+32.46	143.89	-26.61	h2081002	A(1) C91	h2536002	B(2) C92
32.5_08_2	2502	40.51	+32.46	148.82	-24.56	h2078002	A(1) C91	h2537002	B(2) C92
32.5_09_2	2495	46.31	+32.47	153.45	-22.12	h2066002	A(1) C91	h2485002	A(1) C92
32.5_20_1	3782	110.18	+32.52	185.97	+20.30	h1930001	B(2) H90		
32.5_20_3	2242	110.18	+32.52	185.97	+20.30	h1930003	B(2) H90	h2645003	C(3) D93
32.5_21_2	3262	115.82	+32.55	187.61	+24.82	h0331002	B(2) X81	h0319002	C(3) X81
32.5_22_2	2582	121.79	+32.53	189.24	+29.63	h1939002	A(1) H90		
32.5_23_2	1804	127.60	+32.53	190.64	+34.39	h1931002	B(2) H90	h3025002	C(3) L95
32.5_24_2	1492	133.41	+32.53	191.87	+39.18	h1932002	B(2) H90		
32.5_25_2	1283	139.22	+32.54	192.92	+44.02	h1933002	B(2) H90		
32.5_26_2	1286	145.10	+32.52	193.80	+48.94	h3026002	B(2) L95	h1956002	B(2) H90
32.5_27_2	1092	150.91	+32.52	194.37	+53.82	h3065002	A(2) H93	h1957002	B(2) H90
32.5_28_2	840	156.72	+32.52	194.58	+58.72	h3060002	B(2) H93	h1959002	B(2) H90
32.5_29_2	925	162.53	+32.52	194.26	+63.61	h3076002	B(2) H93	h1591002	B(2) A87
32.5_30_2	840	168.32	+32.52	193.07	+68.47	h2898002	A(1) H93	h1792002	C(3) H87
32.5_31_2	808	174.13	+32.53	190.32	+73.29	h2899002	A(1) H93	h1784002	C(3) E88
32.5_32_2	725	179.94	+32.53	184.24	+77.95	h2900002	C(3) H93	h1354002	C(3) X86
32.5_33_2	842	185.76	+32.52	169.44	+82.18	h3061002	A(1) H93	h1961002	B(2) H90
32.5_34_2	951	191.55	+32.53	131.42	+84.71	h2911002	A(1) H93	h0577002	C(3) X83
32.5_35_2	802	197.32	+32.54	85.43	+83.28	h2331002	A(1) K91	h0581002	C(3) X83
32.5_36_2	770	203.13	+32.54	65.13	+79.39	h2332002	A(1) K91	h0590002	B(2) X83
32.5_37_2	1098	208.97	+32.52	57.05	+74.79	h2912002	B(2) H93	h1375002	C(3) X86
32.5_38_2	1098	214.69	+32.56	53.68	+70.09	h1378002	C(3) X86	h1384002	B(2) X86
32.5_39_2	1191	220.50	+32.56	52.06	+65.23	h1343002	C(3) L85	h0555002	B(2) X83
32.5_40_2	1359	226.41	+32.52	51.39	+60.25	h3023002	B(2) L95	h1655002	C(3) X87
32.5_41_2	1623	232.21	+32.52	51.47	+55.36	h2944002	B(2) H93	h1379002	C(3) X86
32.5_42_2	1620	238.03	+32.51	51.93	+50.46	h3119002	(2) H93	h1385002	B(2) X86
32.5_43_2	2212	243.82	+32.51	52.69	+45.61	h2948002	A(1) H93	h0588002	C(3) X83
32.5_44_2	2537	249.64	+32.51	53.68	+40.75	h3120002	(2) H93	h1352002	B(2) X86
32.5_45_2	2868	255.48	+32.50	54.86	+35.91	h3287002	(6) L95	h1380002	C(3) X86
32.5_46_2	3618	261.17	+32.51	56.20	+31.25	h1604002	B(2) X87	h1660002	C(3) X87
32.5_59_1	4613	336.67	+32.45	91.00	-21.22	h2125001	B(2) C91	h2470001	A(1) C92
32.5_59_3	2549	336.67	+32.45	91.00	-21.22	h2125003	B(2) C91	h2470003	A(1) C92
32.5_60_2	2325	342.43	+32.43	95.47	-23.78	h1739002	C(3) X87		
32.5_61_1	2384	348.28	+32.45	100.35	-25.97	h2064001	A(1) C91	h2471001	B(2) C92
32.5_61_3	1612	348.28	+32.45	100.35	-25.97	h2064003	A(1) C91	h2471003	B(2) C92

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle C.1 (Fortsetzung)

Datei	N_{HRS}	α	δ	l	b	HRS Grade	Batch	HRS Grade	Batch
32.5_62_2	3210	354.13	+32.47	105.52	-27.73	h3000002	B(2) H93	h1745002	C(3) L85
37.5_01_2	3368	0.00	+37.50	112.15	-24.15	h1737002	C(3) A87	h1740002	C(3) A87
37.5_02_2	3349	5.98	+37.45	117.29	-24.96	h2070002	A(1) C91	h2552002	B(2) H92
37.5_03_2	3788	332.16	+27.44	84.39	-22.96	h1717002	C(3) X87		
37.5_04_2	2788	18.12	+37.43	127.92	-25.05	h1732002	C(3) A87	h2454002	B(2) C92
37.5_05_2	4193	24.33	+37.47	133.28	-24.28	h3002002	B(2) H93	h2460002	C(3) C92
37.5_06_2	3307	30.31	+37.44	138.31	-23.13	h1733002	C(3) A87	h2461002	B(2) C92
37.5_07_2	4214	36.47	+37.46	143.27	-21.44	h1916002	B(2) H90	h2481002	A(1) C92
37.5_19_1	3088	109.60	+37.53	180.74	+21.52	h1475001	B(2) L85		
37.5_19_3	2097	109.60	+37.53	180.74	+21.52	h1475003	B(2) L85	h3004003	C(3) H93
37.5_20_1	1900	115.70	+37.53	182.29	+26.14	h1542001	B(2) X86		
37.5_20_3	1409	115.70	+37.53	182.29	+26.14	h1542003	B(2) X86	h2608003	B(2) F93
37.5_21_2	2390	121.95	+37.51	183.66	+30.95	h2914002	A(1) H93	h1477002	C(3) L85
37.5_22_2	1678	128.00	+37.53	184.72	+35.67	h2317002	B(2) K91		
37.5_23_2	1164	134.11	+37.53	185.54	+40.47	h2565002	A(1) H92		
37.5_24_2	920	140.22	+37.53	186.03	+45.30	h2566002	A(1) H92		
37.5_25_2	1011	146.32	+37.54	186.13	+50.14	h2318002	A(1) K91		
37.5_26_2	1135	152.45	+37.53	185.71	+54.99	h2694002	B(2) D93		
37.5_27_2	1087	158.56	+37.53	184.55	+59.79	h2701002	B(2) D93	h2916002	C(3) H93
37.5_28_2	989	164.66	+37.53	182.28	+64.51	h2695002	B(2) D93		
37.5_29_2	1023	170.79	+37.52	178.24	+69.11	h3027002	A(1) L95	h2961002	C(3) H93
37.5_30_2	916	176.87	+37.53	171.12	+73.36	h2696002	A(1) D93		
37.5_31_2	907	182.99	+37.53	158.58	+77.03	h2907002	B(2) H93	h2314002	C(3) K91
37.5_32_2	587	189.06	+37.54	137.80	+79.36	h2375002	B(2) C92		
37.5_33_2	614	195.16	+37.54	111.19	+79.51	h2380002	B(2) C92		
37.5_34_2	701	201.27	+37.54	89.31	+77.37	h2376002	B(2) C92		
37.5_35_2	796	207.38	+37.54	75.95	+73.82	h2377002	A(1) C92		
37.5_36_2	951	213.48	+37.54	68.36	+69.60	h2372002	A(1) C92		
37.5_37_2	1185	219.62	+37.52	63.98	+65.03	h3039002	B(2) H93	h2934002	C(3) H93
37.5_38_2	1267	225.73	+37.52	61.55	+60.31	h3030002	A(1) H93	h1370002	C(3) X86
37.5_39_2	1352	231.82	+37.51	60.29	+55.52	h3031002	A(1) H93	h2936002	C(3) H93
37.5_40_2	1695	237.90	+37.52	59.82	+50.72	h2373002	A(1) C92		
37.5_41_2	2100	244.00	+37.52	59.86	+45.88	h2374002	A(1) C92		
37.5_42_2	2017	250.10	+37.51	60.31	+41.05	h2378002	B(2) C92		
37.5_43_2	2378	256.20	+37.51	61.09	+36.25	h2379002	A(1) C92		
37.5_44_2	2652	262.29	+37.51	62.14	+31.50	h1803002	B(2) E88		
37.5_45_2	4424	268.42	+37.50	63.44	+26.77	h2810002	B(2) H93	h2401002	B(2) C92
37.5_58_2	4583	347.64	+37.43	102.02	-21.20	h1731002	C(3) A87	h2999002	B(2) H93
37.5_59_1	2819	353.79	+37.45	106.94	-22.92	h2073001	A(1) C91	h2475001	A(1) C92
37.5_59_3	1902	353.79	+37.45	106.94	-22.92	h2073003	A(1) C91	h2475003	A(1) C92
42.5_02_2	5269	6.48	+42.47	118.27	-20.01	h3003002	B(2) H93	h2161002	A(1) C91
42.5_03_2	3744	12.97	+42.45	123.36	-20.25	h2162002	A(1) C91	h2480002	A(1) C92
42.5_04_2	3241	19.52	+42.46	128.50	-19.94	h2476002	A(1) C92	h2179002	B(2) E88
42.5_18_2	2784	111.12	+42.52	175.94	+24.10	h2173002	B(2) C91	h2607002	B(2) F93
42.5_19_2	2012	117.68	+42.52	177.23	+28.80	h2543002	A(1) C92		
42.5_20_2	1369	124.23	+42.52	178.20	+33.55	h2550002	B(2) H92		
42.5_21_2	1176	130.78	+42.53	178.81	+38.35	h2557002	B(2) H92		
42.5_22_2	1454	137.38	+42.52	179.01	+43.21	h2920002	B(2) H93	h2647002	C(3) D93
42.5_23_2	1240	143.92	+42.52	178.68	+48.03	h2923002	B(2) H93	h2558002	C(3) H92
42.5_24_2	1110	150.47	+42.52	177.66	+52.81	h2917002	B(2) H93	h2643002	C(3) D93
42.5_25_2	1014	157.02	+42.53	175.71	+57.51	h2921002	B(2) H93	h2648002	C(3) D93
42.5_26_2	1122	163.55	+42.53	172.43	+62.03	h2687002	B(2) D93	h2924002	C(3) H93
42.5_27_2	901	170.11	+42.53	167.20	+66.30	h2918002	B(2) H93	h2688002	C(3) D93

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle C.1 (Fortsetzung)

Datei	N_{HRS}	α	δ	l	b	HRS Grade	Batch	HRS Grade	Batch
42.5_28_2	866	176.66	+42.53	159.07	+70.07	h2925002	B(2) H93	h2689002	C(3) D93
42.5_29_2	1019	183.20	+42.53	146.95	+73.00	h2649002	A(1) D93		
42.5_30_2	916	189.77	+42.52	130.51	+74.62	h3071002	A(1) H93	h2922002	C(3) H93
42.5_31_2	2303	129.44	+72.52	141.80	+33.95	h2626002	B(2) D93	h2650002	C(3) D93
42.5_32_2	700	202.82	+42.54	96.73	+72.59	h2404002	B(2) C92		
42.5_33_2	673	209.37	+42.54	85.31	+69.48	h2405002	B(2) C92		
42.5_34_2	1081	215.95	+42.52	77.68	+65.60	h2927002	B(2) H93	h2399002	C(3) C92
42.5_35_2	975	222.47	+42.53	72.87	+61.30	h2400002	B(2) C92		
42.5_36_2	1100	229.01	+42.53	69.85	+56.74	h2030002	A(1) E88		
42.5_37_2	1485	235.59	+42.52	68.05	+52.01	h2928002	B(2) H93	h1795002	C(3) H87
42.5_38_2	2107	242.16	+42.51	67.15	+47.20	h3256002	(1) L95	h1791002	B(2) H87
42.5_39_2	1375	248.68	+42.51	66.93	+42.40	h2797002	B(2) H93	h1796002	C(3) H87
42.5_40_2	2528	255.25	+42.50	67.19	+37.56	h3149002	(1) L95	h2031002	B(2) E88
42.5_41_2	2550	261.76	+42.51	67.86	+32.79	h2368002	B(2) C92		
42.5_42_2	3129	268.30	+42.50	68.88	+28.05	h2402002	B(2) C92		
47.5_16_2	3238	105.71	+47.51	169.57	+21.85	h2144002	C(3) C91		
47.5_17_2	1802	112.78	+47.52	170.89	+26.46	h2151002	B(2) C91		
47.5_18_2	1781	119.84	+47.52	171.84	+31.16	h2158002	B(2) C91		
47.5_19_2	1428	126.90	+47.53	172.35	+35.90	h2165002	B(2) C91		
47.5_20_2	1226	133.96	+47.53	172.36	+40.67	h2174002	B(2) E88		
47.5_21_2	1318	141.03	+47.54	171.75	+45.42	h1934002	C(3) H90		
47.5_22_2	1368	148.03	+47.56	170.35	+50.04	h1558002	A(1) X87	h1544002	B(2) X86
47.5_23_2	880	155.08	+47.57	167.95	+54.57	h1348002	C(3) X86		
47.5_24_2	908	162.22	+47.55	164.19	+58.93	h1935002	B(2) H90		
47.5_25_2	673	169.29	+47.55	158.58	+62.84	h1927002	B(2) H90		
47.5_26_2	916	176.30	+47.57	150.62	+66.11	h1556002	B(2) X87		
47.5_27_2	625	183.42	+47.55	139.86	+68.55	h2007002	B(2) H90		
47.5_28_2	873	190.44	+47.57	126.93	+69.67	h1557002	A(1) X87	h1559002	A(1) X87
47.5_29_2	732	197.55	+47.55	113.21	+69.37	h2008002	B(2) H90		
47.5_30_2	808	204.60	+47.55	101.09	+67.64	h1804002	B(2) E88		
47.5_31_2	985	211.68	+47.54	91.54	+64.80	h1992002	B(2) H90		
47.5_32_2	981	218.74	+47.54	84.65	+61.20	h1993002	B(2) H90		
47.5_33_2	944	225.81	+47.53	79.90	+57.10	h1994002	B(2) H90		
47.5_34_2	1224	232.86	+47.53	76.78	+52.68	h1805002	B(2) E88	h1790002	C(3) H87
47.5_35_2	1392	239.93	+47.52	74.85	+48.07	h2009002	A(1) H90		
47.5_36_2	1628	247.00	+47.52	73.83	+43.36	h2010002	B(2) H90		
47.5_37_2	2289	254.05	+47.52	73.51	+38.60	h1800002	B(2) E88	h1729002	D(4) A87
47.5_38_2	2695	261.12	+47.51	73.74	+33.83	h2011002	B(2) E88		
47.5_39_2	2338	268.17	+47.50	74.45	+29.11	h1840002	B(2) H87	h1837002	B(2) H87
52.5_14_2	3509	101.56	+52.51	163.59	+20.81	h2180002	C(3) E88		
52.5_15_2	2113	109.41	+52.51	164.95	+25.42	h2306002	A(2) H91		
52.5_16_2	2089	117.24	+52.52	165.84	+30.12	h2316002	B(2) K91		
52.5_17_2	1605	125.07	+52.53	166.18	+34.87	h2324002	A(1) K91		
52.5_18_2	1405	132.90	+52.53	165.90	+39.63	h2325002	A(1) K91		
52.5_19_2	1375	140.73	+52.53	164.86	+44.32	h2333002	A(1) K91		
52.5_20_2	1006	148.56	+52.54	162.88	+48.89	h2309002	B(2) K91		
52.5_21_2	931	156.38	+52.55	159.71	+53.20	h1926002	B(2) H90		
52.5_22_2	896	164.23	+52.54	155.03	+57.16	h2335002	A(1) K91		
52.5_23_2	830	172.06	+52.54	148.51	+60.52	h2336002	B(2) K91		
52.5_24_2	691	179.90	+52.54	139.98	+63.07	h2313002	C(3) K91		
52.5_25_2	538	187.73	+52.54	129.68	+64.51	h2304002	B(2) H91		
52.5_26_2	741	195.57	+52.54	118.58	+64.65	h2367002	A(1) C92		
52.5_27_2	668	203.39	+52.54	108.03	+63.47	h2028002	B(2) E88		

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle C.1 (Fortsetzung)

Datei	N_{HRS}	α	δ	l	b	HRS Grade	Batch	HRS Grade	Batch
52.5_28_2	998	211.22	+52.54	99.08	+61.14	h1962002	B(2) H90		
52.5_29_2	1038	219.05	+52.54	92.15	+57.93	h1798002	C(3) E88		
52.5_30_2	970	226.89	+52.53	87.08	+54.09	h2012002	B(2) E88		
52.5_31_2	1136	234.69	+52.54	83.65	+49.85	h1609002	B(2) A87		
52.5_32_2	1630	242.55	+52.53	81.41	+45.32	h1799002	B(2) E88		
52.5_33_2	1588	250.38	+52.52	80.18	+40.63	h2014002	B(2) E88		
52.5_34_2	1764	258.19	+52.51	79.76	+35.90	h1610002	B(2) A87	h1664002	B(2) X87
52.5_35_2	1430	266.01	+52.51	79.97	+31.14	h1715002	C(3) X87	h1682002	C(3) X87
52.5_36_1	1542	273.84	+52.49	80.74	+26.43	h1686001	B(2) X87	h1708001	C(3) X87
52.5_36_3	1460	273.84	+52.49	80.74	+26.43	h1686003	B(2) X87	h1716003	C(3) X87
52.5_37_1	3987	281.66	+52.48	81.99	+21.81	h1462001	B(2) X86	h1683001	C(3) X87
57.5_13_2	2793	105.17	+57.51	158.99	+24.17	h2172002	A(1) C91		
57.5_14_2	2525	113.98	+57.52	159.89	+28.82	h2315002	A(1) K91		
57.5_15_2	1317	122.77	+57.52	160.14	+33.53	h2307002	B(2) H91		
57.5_16_2	1046	131.56	+57.53	159.65	+38.23	h2363002	B(2) C92		
57.5_17_2	1019	140.35	+57.53	158.27	+42.83	h2359002	B(2) C92		
57.5_18_2	1071	149.13	+57.54	155.82	+47.21	h2310002	B(2) K91		
57.5_19_2	1142	157.92	+57.54	152.07	+51.24	h2334002	A(1) K91		
57.5_20_2	821	166.71	+57.54	146.80	+54.74	h2311002	C(3) K91		
57.5_21_2	628	175.50	+57.54	139.91	+57.47	h2303002	B(2) H91		
57.5_22_2	833	184.27	+57.56	131.57	+59.19	h1797002	C(3) E88		
57.5_23_2	583	193.08	+57.54	122.33	+59.75	h2305002	B(2) H91		
57.5_24_2	700	201.88	+57.54	113.16	+59.04	h2361002	B(2) C92		
57.5_25_2	964	210.66	+57.54	104.99	+57.15	h2017002	B(2) E88		
57.5_26_2	1053	219.45	+57.54	98.32	+54.30	h2018002	A(2) E88		
57.5_27_2	952	228.24	+57.53	93.27	+50.72	h2025002	B(2) E88		
57.5_28_1	1020	237.00	+57.54	89.74	+46.64	h1608001	B(2) A87		
57.5_28_3	1262	237.05	+58.46	90.93	+46.22	h3136003	(1) H93	h1608003	B(2) A87
57.5_29_1	1283	245.80	+57.52	87.42	+42.21	h1844001	A(1) H87	h1785001	C(3) E88
57.5_29_3	939	245.80	+57.52	87.42	+42.21	h1844003	A(1) H87	h1785003	C(3) E88
57.5_30_1	1235	254.57	+57.52	86.18	+37.61	h1066001	C(3) X85	h1069001	B(2) X85
57.5_30_3	1135	254.57	+57.52	86.18	+37.61	h1069003	B(2) X85	h1066003	C(3) X85
57.5_31_1	1443	263.36	+57.51	85.78	+32.90	h1382001	B(2) X86	h1386001	C(3) X86
57.5_31_3	1643	263.36	+57.51	85.78	+32.90	h1386003	C(3) X86	h1382003	B(2) X86
57.5_32_1	2370	272.16	+57.50	86.12	+28.18	h2021001	B(2) E88		
57.5_33_1	3849	280.94	+57.49	87.10	+23.55	h2032001	B(2) E88	h2027001	C(3) E88
57.5_33_3	2422	280.94	+57.49	87.10	+23.55	h2032003	B(2) E88	h2027003	C(3) E88
62.5_11_1	3013	99.70	+62.51	152.97	+22.77	h1741001	A(1) A87	h1738001	B(2) A87
62.5_11_3	1990	99.70	+62.51	152.97	+22.77	h1741003	A(1) A87	h1738003	B(2) A87
62.5_12_1	2053	109.68	+62.53	153.97	+27.28	h1466001	B(2) X86	h1469001	B(2) X86
62.5_12_3	1553	109.68	+62.53	153.97	+27.28	h1466003	B(2) X86	h1469003	B(2) X86
62.5_13_1	2044	119.69	+62.54	154.23	+31.89	h1470001	B(2) X86	h1471001	B(2) X86
62.5_13_3	1288	119.69	+62.54	154.23	+31.89	h1470003	B(2) X86	h1471003	B(2) X86
62.5_14_1	1045	129.84	+62.53	153.63	+36.54	h2358001	A(1) C92		
62.5_14_3	1266	129.94	+62.51	153.64	+36.59	h3193003	(1) L95	h2358003	A(1) C92
62.5_15_2	1029	139.85	+62.53	152.02	+40.98	h2364002	B(2) C92		
62.5_16_2	1187	149.86	+62.54	149.24	+45.12	h2369002	B(2) C92		
62.5_17_1	780	159.88	+62.54	145.12	+48.78	h2365001	B(2) C92		
62.5_17_3	739	159.93	+62.52	145.12	+48.81	h3040003	B(1) H93	h2365003	B(2) C92
62.5_18_1	563	169.88	+62.54	139.60	+51.75	h2302001	B(2) H91		
62.5_18_3	919	169.95	+62.52	139.58	+51.79	h3201003	(1) L95	h2302003	B(2) H91
62.5_19_1	678	179.90	+62.54	132.76	+53.79	h2312001	B(2) K91		
62.5_19_3	767	179.96	+62.52	132.73	+53.83	h3190003	(6) L95	h2312003	B(2) K91

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle C.1 (Fortsetzung)

Datei	N_{HRS}	α	δ	l	b	HRS Grade	Batch	HRS Grade	Batch
62.5_20_1	514	189.92	+62.54	125.02	+54.72	h2360001	C(3) C92		
62.5_20_3	777	189.95	+62.52	124.99	+54.74	h3046003	A(1) H93	h2956003	C(2) H93
62.5_21_1	557	199.93	+62.54	117.07	+54.42	h2362001	C(3) C92		
62.5_21_3	1003	199.96	+62.52	117.04	+54.43	h3021003	B(2) L95	h2945003	C(3) H93
62.5_22_1	649	209.94	+62.54	109.71	+52.92	h2029001	C(3) E88		
62.5_22_3	892	209.97	+62.52	109.67	+52.94	h2957003	B(2) H93	h2029003	C(3) E88
62.5_23_1	831	219.95	+62.54	103.47	+50.40	h2019001	B(2) E88		
62.5_23_3	1134	219.98	+62.52	103.44	+50.41	h3133003	(2) H93	h2019003	B(2) E88
62.5_24_1	963	229.96	+62.53	98.64	+47.07	h2020001	B(2) E88		
62.5_24_3	928	229.98	+62.51	98.60	+47.07	h3140003	(1) H93	h2020003	B(2) E88
62.5_25_2	1135	239.95	+62.54	95.21	+43.15	h1417002	A(1) X86	h1419002	C(3) L85
62.5_26_1	1358	249.96	+62.53	93.01	+38.85	h1435001	B(2) X86		
62.5_26_3	1637	249.99	+62.51	92.98	+38.84	h3134003	(2) H93	h1435003	B(2) X86
62.5_27_1	1612	259.97	+62.51	91.89	+34.32	h1426001	A(1) L85	h1434001	C(3) X86
62.5_27_3	785	259.97	+62.51	91.89	+34.32	h1426003	A(1) L85	h1434003	C(3) X86
62.5_28_2	1701	269.97	+62.50	91.71	+29.71	h1413002	C(3) X86	h1431002	C(3) X86
62.5_29_1	1267	279.97	+62.49	92.33	+25.13	h1704001	C(3) X87	h1713001	C(3) A87
62.5_30_1	1829	289.96	+62.48	93.65	+20.68	h1661001	C(3) X87		
67.5_09_1	2977	95.65	+67.51	147.26	+22.54	h1464001	B(2) X86	h1465001	A(1) X86
67.5_09_3	2152	95.63	+67.51	147.26	+22.54	h1465003	A(1) X86	h1464003	B(2) X86
67.5_10_1	2155	107.64	+67.52	148.28	+27.03	h1479001	B(2) L85		
67.5_10_3	1363	107.64	+67.52	148.28	+27.03	h1479003	B(2) L85	h3183003	(2) L95
67.5_11_1	1673	119.66	+67.54	148.35	+31.61	h1537001	B(2) X86		
67.5_11_3	1162	119.66	+67.54	148.35	+31.61	h1537003	B(2) X86		
67.5_12_1	1025	131.82	+67.53	147.35	+36.18	h2300001	B(2) K91		
67.5_12_3	1281	131.91	+67.51	147.36	+36.21	h3012003	C(3) H93	h2300003	B(2) K91
67.5_13_1	853	143.83	+67.54	145.10	+40.41	h2308001	B(2) K91		
67.5_13_3	1014	143.94	+67.51	145.10	+40.45	h3181003	(1) L95	h2308003	B(2) K91
67.5_14_1	864	155.85	+67.54	141.49	+44.13	h2301001	C(3) K91		
67.5_14_3	947	155.88	+68.42	140.58	+43.54	h3188003	(2) L95	h2301003	C(3) K91
67.5_15_1	822	167.87	+67.55	136.48	+47.09	h2015001	B(2) E88		
67.5_15_3	735	167.90	+68.41	135.79	+46.37	h3182003	(2) L95	h2015003	B(2) E88
67.5_16_1	1099	179.88	+67.55	130.27	+49.03	h1943001	A(1) H90		
67.5_16_3	774	179.88	+67.55	130.27	+49.03	h1943003	A(1) H90	h3183003	(2) L95
67.5_17_1	802	191.91	+67.55	123.31	+49.75	h2016001	B(2) E88		
67.5_17_3	1082	191.96	+67.52	123.28	+49.78	h3020003	B(2) L95	h2016003	B(2) E88
67.5_18_1	829	203.93	+67.55	116.32	+49.15	h1787001	B(2) H87	h1578001	C(3) A87
67.5_18_3	624	203.93	+67.55	116.32	+49.15	h1787003	B(2) H87	h1578003	C(3) A87
67.5_19_1	757	215.94	+67.56	110.02	+47.31	h1602001	B(2) X87		
67.5_19_3	616	215.94	+67.56	110.02	+47.31	h1602003	B(2) X87	h1589003	C(3) L85
67.5_20_1	955	227.96	+67.55	104.88	+44.44	h1579001	C(3) L85		
67.5_20_3	1218	227.99	+67.52	104.84	+44.46	h3022003	B(2) L95	h1579003	C(3) L85
67.5_21_1	918	239.98	+67.54	101.13	+40.78	h1580001	C(3) L85	h1703001	C(3) X87
67.5_21_3	1206	240.00	+67.51	101.10	+40.79	h3047003	B(2) H93	h1580003	C(3) L85
67.5_22_1	1557	252.00	+67.52	98.75	+36.59	h1425001	A(1) L85	h1436001	B(2) L85
67.5_22_3	1185	252.00	+67.52	98.75	+36.59	h1425003	A(1) L85	h1440003	B(2) L85
67.5_23_1	1848	264.01	+67.51	97.61	+32.10	h1439001	C(3) L85	h1365001	C(3) X86
67.5_23_3	1089	264.01	+67.51	97.61	+32.10	h1439003	C(3) L85	h3135003	(3) H93
67.5_25_1	3572	288.00	+67.48	98.50	+23.01	h1427001	C(3) L85		
67.5_25_3	2228	288.00	+67.48	98.50	+23.01	h1427003	C(3) L85	h1423003	B(2) L85
72.5_07_1	2691	86.10	+72.50	141.01	+21.23	h1895001	C(3) H90		
72.5_08_2	3271	100.68	+72.50	142.41	+25.41	h3006002	B(2) H93	h2622002	C(3) D93
72.5_09_1	1649	114.91	+72.52	142.70	+29.67	h1897001	C(3) H90		

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle C.1 (Fortsetzung)

Datei	N_{HRS}	α	δ	l	b	HRS Grade	Batch	HRS Grade	Batch
72.5_09_3	1951	115.11	+72.51	142.72	+29.73	h3186003	(2) L95	h3007003	C(3) H93
72.5_10_2	2303	129.44	+72.52	141.80	+33.95	h2626002	B(2) D93	h3008002	C(3) H93
72.5_11_2	1787	143.86	+72.53	139.56	+37.87	h2705002	B(2) D93	h3009002	C(3) H93
72.5_12_2	1621	158.32	+72.52	135.92	+41.17	h3010002	B(2) H93	h2714002	C(3) D93
72.5_13_2	1297	172.75	+72.52	131.01	+43.53	h3189002	(2) L95	h2706002	C(3) D93
72.5_14_2	1436	187.16	+72.52	125.22	+44.69	h3011002	B(2) H93	h2703002	C(3) D93
72.5_15_2	1408	201.57	+72.52	119.16	+44.51	h3013002	B(2) H93	h2704002	C(3) D93
72.5_16_1	947	215.98	+72.54	113.56	+43.00	h2013001	B(2) E88		
72.5_16_3	1078	215.99	+72.52	113.54	+43.02	h3014003	B(2) C92	h2013003	B(2) E88
72.5_17_1	1262	230.41	+72.55	108.97	+40.37	h1603001	B(2) X87	h1668001	C(3) X87
72.5_17_3	879	230.41	+72.55	108.97	+40.37	h1603003	B(2) X87	h1668003	C(3) X87
72.5_18_1	1571	244.85	+72.53	105.68	+36.89	h1441001	B(2) L85	h1420001	B(2) L85
72.5_18_3	913	244.85	+72.53	105.68	+36.89	h1441003	B(2) L85	h1420003	B(2) L85
72.5_19_1	1937	259.26	+72.51	103.78	+32.87	h1442001	A(1) L85		
72.5_19_3	1205	259.26	+72.51	103.78	+32.87	h1442003	A(1) L85	h3137003	(2) H93
72.5_20_1	2181	273.67	+72.50	103.19	+28.58	h1418001	B(2) X86	h1415001	C(3) X86
72.5_20_3	1304	273.67	+72.50	103.19	+28.58	h1418003	B(2) X86	h1415003	C(3) X86
72.5_21_1	2479	288.05	+72.48	103.78	+24.29	h1437001	B(2) L85	h1428001	C(3) L85
72.5_21_3	1662	288.05	+72.48	103.78	+24.29	h1437003	B(2) L85	h1428003	C(3) L85
72.5_22_1	1314	302.43	+72.46	105.40	+20.24	h1667001	B(2) X87	h1665001	D(4) X87
72.5_22_3	2469	302.41	+72.49	105.43	+20.26	h3139003	(1) H93	h1667003	B(2) X87
77.5_05_2	3603	75.60	+77.49	134.93	+21.15	h2998002	B(2) H93	h2614002	C(3) F93
77.5_06_2	1761	94.43	+77.50	136.64	+24.89	h2208002	B(2) H91		
77.5_07_2	2023	113.40	+77.52	137.01	+28.96	h2210002	B(2) H91		
77.5_08_2	2321	132.47	+77.52	135.86	+32.95	h2870002	B(2) H93	h2616002	C(3) F93
77.5_09_2	1501	151.45	+77.52	133.11	+36.35	h2871002	B(2) H93	h2617002	C(3) F93
77.5_10_2	1634	170.46	+77.52	128.94	+38.74	h3016002	B(2) C92	h2619002	B(2) D93
77.5_11_2	1643	189.43	+77.53	123.83	+39.75	h2868002	B(2) H93	h3017002	B(2) C92
77.5_12_2	1712	208.42	+77.53	118.58	+39.22	h2707002	B(2) D93	h2869002	B(2) H93
77.5_13_2	1398	227.41	+77.53	114.04	+37.24	h2416002	B(2) C92	h3018002	C(3) C92
77.5_14_1	958	246.45	+77.53	110.80	+34.10	h1669001	B(2) X87	h1674001	C(3) X87
77.5_14_3	778	246.45	+77.53	110.80	+34.10	h1669003	B(2) X87	h1674003	C(3) X87
77.5_15_1	1390	265.42	+77.51	109.12	+30.28	h1593001	A(1) A87		
77.5_15_3	1296	265.42	+77.51	109.12	+30.28	h1593003	A(1) A87	h1590003	C(3) A87
77.5_16_1	1964	284.37	+77.48	109.00	+26.19	h1438001	B(2) L85	h1443001	B(2) L85
77.5_16_3	2016	284.37	+77.48	109.00	+26.19	h1443003	B(2) L85	h1438003	B(2) L85
77.5_17_1	894	303.26	+77.46	110.30	+22.29	h1654001	C(3) X87	h1657001	C(3) X87
82.5_02_1	3264	27.24	+82.43	125.02	+19.97	h1468001	C(3) X86	h1463001	C(3) X86
82.5_02_3	2005	27.24	+82.43	125.02	+19.97	h1468003	C(3) X86	h2612003	B(2) F93
82.5_03_1	2815	54.72	+82.46	128.42	+21.61	h1473001	C(3) X86	h1478001	C(3) L85
82.5_03_3	1704	54.72	+82.46	128.42	+21.61	h1473003	C(3) X86	h2613003	B(2) F93
82.5_04_2	2899	82.37	+82.49	130.72	+24.51	h1756002	C(3) X87	h1744002	B(2) L85
82.5_05_2	3122	110.45	+82.51	131.39	+28.09	h2709002	A(1) D93	h1757002	C(3) X87
82.5_06_2	2508	138.22	+82.52	130.09	+31.49	h2710002	B(2) D93	h2625002	C(3) D93
82.5_07_2	1988	166.02	+82.53	126.98	+33.93	h2711002	B(2) D93	h2627002	C(3) D93
82.5_08_2	1986	193.84	+82.52	122.76	+34.78	h3255002	(1) L95	h2712002	C(3) D93
82.5_09_2	1917	221.59	+82.51	118.60	+33.77	h3122002	(1) L95	h2713002	B(2) D93
82.5_10_1	1100	249.58	+82.53	115.64	+31.17	h1673001	C(3) X87		
82.5_10_3	1821	249.32	+82.51	115.64	+31.20	h3123003	(1) L95	h1673003	C(3) X87
82.5_11_1	724	277.30	+82.49	114.52	+27.72	h1675001	C(3) X87	h1676001	C(3) X87
82.5_11_3	2556	277.02	+82.50	114.53	+27.76	h3124003	(1) L95	h1675003	C(3) X87
82.5_12_1	924	304.90	+82.46	115.33	+24.22	h1658001	C(3) X87	h1670001	C(3) X87
82.5_12_3	2749	304.69	+82.49	115.35	+24.25	h3150003	(2) L95	h1658003	C(3) X87

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle C.1 (Fortsetzung)

Datei	N_{HRS}	α	δ	l	b	HRS Grade	Batch	HRS Grade	Batch
82.5_13_1	1512	332.40	+82.44	117.75	+21.42	h1671001	B(2) X87	h1662001	C(3) X87
82.5_13_3	1329	332.40	+82.44	117.75	+21.42	h1671003	B(2) X87	h1662003	C(3) X87
87.5_01_2	2069	0.00	+87.50	122.38	+24.86	h3155002	(2) H93	h2054002	C(3) C91
87.5_02_2	2110	50.43	+87.47	124.70	+25.29	h2056002	B(2) H90	h2055002	B(2) C91
87.5_03_2	2760	102.45	+87.50	125.78	+27.27	h3206002	(1) H93	h3192002	(2) H93
87.5_04_2	1292	154.01	+87.52	124.74	+29.23	h3015002	A(1) C92	h2715002	C(3) D93
87.5_05_2	2138	205.84	+87.52	122.31	+29.72	h3258002	(2) L95	h3216002	(1) H93
87.5_06_2	2112	257.59	+87.50	120.40	+28.33	h3130002	(2) H93	h3144002	(1) H93
87.5_07_2	1725	308.92	+87.49	120.47	+26.16	h3154002	(2) H93	h2052002	C(3) C91

Literaturverzeichnis

ADF (NASA/GSFC Astrophysics Data Facility) 1997, *A User's Guide for the Flexible Image Transport System (FITS)*, ADF, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt MD <<http://fits.gsfc.nasa.gov/documents.html#UGuide>>

Allen C. W. 1973: *Astrophysical Quantities*, 3rd Ed., The Athlone Press, London, pp. 92, 201

Bailer-Jones C. A. L. 2000, *A&A* 357, 197

Barstow M. A., Fleming T. A., Diamond C. J., Diamond C. J., Finley D. S., Sansom A. E., Rosen S. R., Koester D., Holberg J. B., Marsh M. C. & Kidder K. 1993, *MNRAS* 264, 16

Bergeron P., Saffer, R. A. & Liebert J. 1992, *ApJ* 394, 228

Bergeron P., Wesemael F., Beauchamp A., Wood M. A., Lamontagne R., Fontaine G. & Liebert J. 1994, *ApJ* 432, 305

Bergeron P., Liebert J. & Fulbright M. S. 1995, *ApJ* 444, 810

Bergeron P., Wesemael F., Lamontagne R., Saffer R. A. & Allard N. F. 1995, *ApJ* 449, 258

Birkle K. 1984, in: *ASSL Vol. 110: IAU Colloq. 78*, ed. M. Capaccioli: *Astronomy with Schmidt-Type Telescopes*, Reidel, Dordrecht, p. 203

Birkle K., Belleman H. & Elsässer H. 1994, in: *IAU Symp. 161*, eds. H. T. MacGillivray et al. Kluwer, Dordrecht, p. 46

Blair M. & Gilmore G. 1982, *PASP* 94, 742

Bragaglia A., Renzini A. & Bergeron P. 1995, *ApJ* 443, 735

Böhm-Vitense E. 1958, *ZAp* 46, 108

Calabretta M. & Greisen E. W. 2000, in: *Astronomical Data Analysis Software and Systems IX*, ASP Conference Proceedings, Vol. 216, eds. N. Manset, C. Veillet & D. Crabtree, Astronomical Society of the Pacific, 2000, p. 571

Calabretta M. & Greisen E. W. 1999, *A&AS*, *submitted*

Christlieb N. 1995: *Automatische Klassifikation von digitalisierten Objektivprismenspektren*, Diplomarbeit, Universität Hamburg

- Christlieb N. 2000: *The Stellar Content of the Hamburg/ESO Objective-Prism Survey*, Dissertation, Universität Hamburg
<<http://www.sub.uni-hamburg.de/disse/209/ncdiss.html>>
- Christlieb N., Wisotzki L., Reimers D., Homeier D., Koester D. & Heber U. 2001, *A&A* 366, 898
- Clowes R. G., Emerson D., Smith M. G., Wallace P. T., Cannon R. D., Savage A. & Boksenberg A. 1980, *MNRAS* 193, 415
- Clowes R. G., Cooke J. A. & Beard S. M. 1984, *MNRAS* 207, 99
- Dreizler S. & Werner K. 1996, *A&A* 314, 217
- Dreizler S. & Heber U. 1998, *A&A*, 334, 618
- Dreizler S., Werner K., Jordan S. & Hagen H.-J. 1994a, *A&A* 286, 463
- Dreizler S., Heber U., Jordan S. & Engels D. 1994b, Faint blue stars from the Hamburg-Schmidt Survey, in: *Hot Stars in the Galactic Halo*, eds. S. J. Adelman, A. R. Upgren, C. J. Adelman, CUP, p. 228
- Dreizler S., Heber U., Napiwotzki R. & Hagen H.-J. 1995, *A&A* 303, L53
- Dreizler S., Werner K., Heber U. & Engels D. 1996, *A&A* 309, 820
- Dreizler S., Heber U., Werner K., Moehler S. & de Boer K. S. 1990, *A&A* 235, 234
- Eddington A. S., 1940, *MNRAS* 100, 354
- Engels D., Cordis L. & Köhler T. 1994, in: *IAU Symp. 161: Astronomy from Wide-Field Imaging*, eds. H. T. MacGillivray et al., Kluwer, Dordrecht, p. 317
- Engels D., Hagen H.-J., Cordis L., Köhler T., Wisotzki L. & Reimers D. 1998, *A&AS* 128, 507
- Finley D. S., Koester D. & Basri G. 1997, *ApJ* 488, 375
- Friedrich S., Koester D., Heber U., Jeffery C. S. & Reimers D. 1999, *A&A* 350, 865
- Furenlid I. 1978, Signal-To-Noise of Photographic Emulsions, in: *Modern Techniques in Astronomical Photography*, eds. R. M. West & J. L. Heudier, ESO, p. 153
- Giclas H. L., Burnham R., Jr., Thomas N. G., 1965, *Lowell Obs. Bull.* 6, 155
- Giclas H. L., Burnham R., Jr., Thomas N. G., 1970, *Lowell Obs. Bull.* 7, 183
- Giclas H. L., Burnham R., Jr., Thomas N. G., 1971, Lowell Proper Motion Survey, Northern Hemisphere (Flagstaff: Lowell Observatory)
- Green R. F., Schmidt M. & Liebert J. 1986, *ApJS* 61,305
- Greisen E. W. & Calabretta M. 1993, American Astronomical Society Meeting, 182, 0901

- Greisen E. W. & Calabretta M. 1995, in: *Astronomical Data Analysis Software and Systems IV*, ASP Conf. Ser. 77, p. 233
- Greisen E. W. & Calabretta M. 2000, *A&AS*, *accepted*
- Groote D., Heber U. & Jordan S. 1989, *A&A* 223, L1
- Grosbol P., Harten R. H., Greisen E. W. & Wells D. C. 1988, *A&AS* 73, 359
- Hagen H.-J. 1987: *Automatisches Suchen von Quasar-Kandidaten auf Objektivprismen-Platten*, Dissertation, Universität Hamburg
- Hagen H.-J., Groote D., Engels D. & Reimers D. 1995, *A&AS* 111, 195
- Hagen H.-J., Engels D. & Reimers D. 1999, *A&AS*, 134, 483
- Hamburger Sternwarte 1997: *Plate Archive of the Hamburg Schmidt Survey*, Universität Hamburg
<<http://www.hs.uni-hamburg.de/english/arbgeb/extgalqso/hqs/platecat.dat>>
- Harten R. H., Grosbol P., Greisen E. W. & Wells D. C. 1988, *A&AS* 73, 365
- Heber U., Jordan S. & Weidemann V., 1991, in *White Dwarfs*, NATO ASI Series, Series C, eds. G. Vauclair and E. Sion, p. 109
- Heber U., Bade N., Jordan S. & Voges W., 1993, *A&A* 267, L31
- Heber U., Dreizler S. & Hagen H.-J., 1996, *A&A* 311, L17
- Heber U., Napiwotzki R., Lemke M. & Edelmann H., 1997, *A&A* 324, L53
- Heckmann O. 1955, *Mitt. Astron. Ges.* 1954, p. 57
- Hewett P. C., Irwin M. J., Bunclark P., Bridgeland M. T., Kibblewhite E. J., He X. T. & Smith M. G. 1985, *MNRAS* 213, 971
- Hewett P. C., Foltz C. B. & Chaffee F. H. 1995, *AJ* 109, 1498
- Homeier D., Koester D., Hagen H.-J., Jordan S., Heber U., Engels D., Reimers D. & Dreizler S. 1998, *A&A* 338, 563
- Homeier D., Koester D., Jordan S., Hagen H.-J., Engels D., Heber U. & Dreizler S. 1999: The stellar content of the Hamburg Quasar Survey, in: *11th European Workshop on White Dwarfs*, Eds. J.-E. Solheim & E. Meiřtas, ASP Conf. Series Vol. 169, San Francisco, p. 37
- Homeier D. and Koester D. 2001: Classification of DA White Dwarfs in the Hamburg Quasar Survey, in: *The 12th European Workshop on White Dwarfs*, Eds. H. L. Shipman, J. L. Provencal, J. MacDonald & S. Goodchild ASP Conf. Series, *in press*
- Iben I., Tutukov A. V., 1986, *ApJ* 311, 753
- Ikonomou M. 1995: *Untersuchung der Umgebung von Seyfert-Galaxien*, Diplomarbeit, Universität Hamburg

- Jeffery C. S., Drilling J. S., Harrison P. M., Heber U. & Moehler S. 1997, *A&AS* 125, 501
- Jordan S. & Heber U. 1993, in *White Dwarfs: Advances in Observation and Theory*, ed. M. A. Barstow, Kluwer, p. 47
- Jordan S., Heber U. & Weidemann V. 1991, in *White Dwarfs*, NATO ASI Series, Series C, eds. G. Vauclair and E. Sion, p. 121
- Jordan S., Heber U., Engels D., Koester D., 1993, *A&A* 273, L27
- Jordan S., Koester D., Vauclair G., Dolez N., Heber U., Hagen H.-J., Reimers D., Chevretton M. & Dreizler S. 1998, *A&A* 330 277
- Kepler S. O., Giovannini O., Kanaan A., Wood M. A., Claver C. F., 1995, *Baltic Astronomy* 4, 157
- Kidder K. .M. 1991, Dissertation, University of Arizona, nach H. Schmidt und D. Koester
- Kilkenny D., Heber U. & Drilling J. S. 1988, *A Catalogue of Spectroscopically Identified Hot Subdwarf Stars*, South African Astronomical Observatory Circulars No. 12
- Kippenhahn R. & Weigert A. 1990: *Stellar Structure and Evolution*, Springer, Berlin, p. 320
- Kodak 1973, *Plates and Films for Scientific Photography*, Eastman Kodak Company, Rochester, NY
- Koester D., Allard N. F., Vauclair G., 1994, *A&A* 291, L9
- Koester D. & Chanmugam G. 1990, *Reports on Progress in Physics*, 53, 837
- Koester D., Vauclair G., 1997, in: *Proceedings of the tenth European Workshop on White Dwarfs*, Eds J. Isern, M. Hernanz and E. Garcia-Berro, Kluwer Academic Publisher, p. 429
- Koester D., Napiwotzki R., Gorski K., Hagen H.-J., Heber U., Homeier D., Karl C., Leibundgut B., Möhler S., Nelemans G., Reimers D. Reinecke E.-M., Renzini A. & Yungelson L. 2001, *A&A*, *in prep.*
- Kurucz R. L. 1979, *ApJS*, 40, 1
- Kusch J. 1991: *Suchkriterien für heiße Sterne im Rahmen des Hamburger Quasar Survey (HQS)*, Diplomarbeit, Universität Hamburg
- Lamontagne R., Demers S., Wesemael F., Fontaine G. & Irwin M. J. 2000, *AJ* 119, 241
- Lampton M., Lieu R., Schmitt J. H. M. M., Bowyer S., Voges W., Lewis J. & Wu X. 1997, *ApJS* 108, 545
- Lejeune T., Cuisinier F. & Buser R. 1997, *A&AS* 125, 229

- Lemke M., Heber U., Dreizler S., Napiwotzki R., Engels D., 1998, New results from the stellar component of the Hamburg Schmidt survey: A sample of sdO stars, in: *The Third Conference on Faint Blue Stars*, eds. A. G. D. Philip, J. Liebert, R. A. Saffer, L. Davis Press, Schenectady, NY
- Marsh T. R., Dhillon V. S., Duck S. R., 1995, MNRAS 275, 828
- Marsh M. C., Barstow M. A., Buckley D. A., Burleigh M. R., Holberg J. B. Koester D., O'Donoghue D., Penny A. J. & Sansom, A. E. 1997, MNRAS 286, 369
- Maudrich R. 1989: *Mehrfarbenphotometrie mit Objektivprismenspektren*, Diplomarbeit, Universität Hamburg
- McCook G. P. & Sion E. M. 1999, *The Villanova Catalogue of Spectroscopically Identified White Dwarf Stars*, ApJS 121, 1
- Moehler S., de Boer K. S. & Heber U. 1990, A&A 239, 265
- Napiwotzki R., Green P. J. & Saffer R. A. 1999, ApJ 517, 399
- NOST (NASA/Science Office of Standards and Technology) 1999, *Definition of the Flexible Image Transport System (FITS)*, NOST 100-2.0, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD
<<http://fits.gsfc.nasa.gov/documents.html#Standard>>
- Press W. H., Teukolsky S. A., Vetterling W. T., Flannery B. P. 1992, *Numerical Recipes in FORTRAN*, 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge
- Pence W.D. 1998, *CFITSIO User's Guide v. 2.0 beta*, HEASARC, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD
<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/software/fitsio/c/c_user/cfitsio.html>
- Reid N. & Gilmore G. 1982, MNRAS 201, 73
- Schmidt H. 1995: *Der empirische Stand der Masse-Radius-Beziehung von Weißen Zwergsternen*, Diplomarbeit, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- Stepanian J. in: IAU Symp. 161, eds. H. T. MacGillivray et al., Kluwer, Dordrecht, p. 731
- Stepanian J.A., Chavushyan V.H., Carrasco L., Tovmassian H.M. & Erastova L.K. 1999, PASP, 111, 1099
- Stobie R.S., Kilkenny D., O'Donoghue D. et al. 1997, MNRAS 287, 848
- Theissen A., Moehler S., Heber U. & de Boer K. S. 1993, A&A 273, 524
- Vauclair G., Dolez N., Fu J.-N., Homeier D., Roques S., Chevreton M. & Koester D. 2000, Baltic Astronomy, 9, 133
- Vauclair G., Dolez N., Fu J.-N., Homeier D., Roques S., Chevreton M. & Koester D. 2000:
PG1541+650: A new ZZ Ceti white dwarf. A&A 355, 291

- Vauclair G., Dolez N., Fu J.N., Chevreton M., Homeier D. & Koester D. 2000, in: *The Impact of Large-Scale Surveys on Pulsating Star Research*, Eds. L. Szabados & D. Kurtz ASP Conf. Ser. 203: IAU Colloq. 176, p. 516
- Vennes S., Thejll P. A., Galvan R. G. & Dupuis J. 1997, ApJ 480, 714
- von Laar H.-J. 1995: *Spektrophotometrische Eichung von Objektivprismenplatten*, Diplomarbeit, Universität Hamburg
- Walker G. 1987: *Astronomical Observations –an optical perspective*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 46
- Weidemann H. 1991: *Schwache blaue Sterne in hohen galaktischen Breiten*, Diplomarbeit, Universität Hamburg
- Wells D. C., Greisen E. W. & Harten R. H. 1981, A&AS 44, 363
- Werner K., Dreizler S., Heber U., Rauch T., Wisotzki L. & Hagen H.-J. 1995, A&A 293, L75
- Wisotzki L., Köhler T., Groote D. & Reimers D. 1996, A&A 115, 227
- Witt P. 1992: *Die Transformation absolut flußkalibrierter Spektren für Vergleiche mit Objektivprismenspektren im Hamburger Quasar Survey HQS*, Diplomarbeit, Universität Hamburg
- Wolff B., Jordan S. & Koester D. 1996, A&A 307, 149
- Wolff B., Koester D., Dreizler S. & Haas S. 1998, A&A 329, 1045
- Wolff B., Jordan S. Koester D. & Reimers D. 2000, A&A361, 629
- Wood M. A. 1994, in: *IAU Coll. 147: The Equation of State in Astrophysics*, eds. G. Chabrier and E. Schatzman, Cambridge University Press, Cambridge, p. 612 Lecture Notes in Physics, Springer, Berlin, p. 41
- Wood M. A. 1995, in: *White Dwarfs*, Eds D. Koester and K. Werner, Lecture Notes in Physics, Springer, Berlin, p. 41
- Yuan J. 1991: *Sternpopulationen und Galaktische Entwicklung*, Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Danksagung

An erster Stelle danke ich Detlev Koester, dass er mir dieses interessante und umfassende Projekt anvertraut hat und mich während meiner Arbeit bei aller Freiheit in der Bearbeitung des Themas stets in jeder Beziehung unterstützt hat. Ich verdanke ihm (hoffentlich) gründliche Verbesserungen meiner wissenschaftlichen Methoden und in der Darstellung meiner Arbeit und weiß die anhaltende Unterstützung auch während schwieriger und entmutigender Phasen des Projektes sehr zu schätzen. Auch bei Prof. Weidemann, Stefan Jordan, Susanne Friedrich, Matthias Hünsch und Burkhard Wolff bedanke ich mich für vielfältige Unterstützung in unserer Arbeitsgruppe. Allen fussballspielenden und nicht fussballspielenden Mitgliedern des Instituts und besonders der Abteilung Astrophysik ist für das außergewöhnlich angenehme und freundschaftliche Klima zu danken, besonders aber meinem Zimmergenossen Lars Kleinschmidt und meinen Co-Promovenden Wolfgang Wieser und Daniel Tschöke, die mir beim Abschluss dieser Arbeit in entscheidender Phase geholfen haben, sowie Christian Theis und vor allem Holger Boll für den bedingungslosen Einsatz für die Arbeitsfähigkeit der Rechnersysteme der Abteilung.

Der Hamburger Quasar-Survey ist das Werk zahlreicher wissenschaftlicher und technischer Mitarbeiter. Stellvertretend für alle danke ich für die Zusammenarbeit mit der Hamburger Quasargruppe und die Überlassung der Daten aus fünfzehnjähriger Beobachtungstätigkeit Prof. Dieter Reimers, ganz besonders Hans-Jürgen Hagen für den großzügigen Zugang zu allen Daten und seinen Programmen und Dieter Engels für Interesse und Unterstützung bei meinen Arbeiten. Lutz Wisotzki und Norbert Christlieb danke ich für informative Gespräche und Erfahrungen aus ihrer Arbeit im HES. Schließlich möchte ich Uli Heber und Ralf Napiwotzki in Bamberg und Stefan Dreizler in Tübingen für ihren Anteil an der Untersuchung der stellaren Komponente des HQS danken. Diese Arbeit hätte nicht ohne die Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft entstehen können, die das Projekt und meine Arbeit am ITAP unter dem Projekt Ko 738/10 finanziert hat. Verschiedene Tagungsreisen sind außerdem von der Astronomischen Gesellschaft und der Crystal Foundation am Mt. Cuba Observatory, Delaware unterstützt worden.

Ich möchte schließlich auch allen Freunden außerhalb der Astrophysik danken, die dazu beigetragen haben, dass ich mich in Kiel rasch heimisch fühlen konnte, besonders Jens und Sabine Karstens für ihre vielfältige Hilfe. Zu guter letzt aber und vor allem bin ich meiner Familie für die anhaltende und verlässliche Unterstützung meines Studiums und meiner Promotion zutiefst dankbar, ganz besonders meiner Mutter Angela Homeier sowie meinem Vater Jörn Homeier, auch für den Versuch, das Verhalten der Messelektronik eines Photomultipliers zu durchdringen, und nicht zuletzt meiner Schwester Dany. Das letzte Wort widme ich der Erinnerung an meine Großväter Hans Homeier und Karl-Heinz Schumann, deren Anregungen am Anfang meines Interesses für Wissenschaft und Astronomie standen.

Erklärung

Diese Arbeit wurde von mir nach Inhalt und Form nur unter Zuhilfenahme der angegebenen Hilfsmittel unter Anleitung von Prof. Dr. D. Koester angefertigt. Sie wurde noch nicht an anderer Stelle ganz oder zum Teil im Rahmen eines Prüfungsverfahrens vorgelegt.

Ein Teil der Ergebnisse ist mit Genehmigung des Dekans vom 20. Januar 1998 veröffentlicht worden.

Kiel, den 28. März 2001