Spektralphotometrische Untersuchungen

an

Beta Lyrae

Diplomarbeit

von

Helmut Steinle

Durchgeführt
1976 / 1977
am
Institut für Astronomie und Astrophysik
München
unter Leitung von Prof. P. Wellmann

Inhalt Seite

1. Einleitung und Aufgabenstellung 1

2. Messinstrumente und Beobachtungsbeschreibung 3
2.1 Messinstrumente 3
2.2 Beobachtungsbeschreibung 5

3. Messungen und Auswertung 7
3.1 Messungen mit Daten 9
3.2 Auswertung der Messungen am TR 44o - Rechner 12
3.2.1 Auswertung der Spektren - Temperaturbestimmung 13
3.2.2 Auswertung der Linienmessungen - Äquivalentbreitenbestimmung 2o
3.3 Ergebnisse 26
3.3.1 Liste der berechneten Äquivalentbreiten und Farbtemperaturen 26
3.3.2 Graphische Darstellung der Messresultate 3o
3.3.3 Verhalten der Gesamtspektren und der Temperaturen 4o
3.3.4 Spektrales Verhalten in den Linienscans 42
3.3.5 Kurzzeitvariationen 57
3.3.6 Hα, Hβ Äquivalentbreiten-Variation über verschiedene Perioden 58

4. Modelle des Systems Beta Lyrae 6o

5. Interpretation der Messresultate 66

6. Zusammenfassung 7o

7. Literatur 71

==========

Anhang

A1 Auswerteformulare zur Temperaturbestimmung mit den dazugehörigen Spektren

A2 Auswahl von Literatur über Beta Lyrae

==========

Verwendete Symbole und Werte der Konstanten

A	:	Intensitätsverhältnis der Sternstrahlung (Gl.(7) S.16 und Gl.(7a) S. 18)
A_v	:	Absorption im visuellen Spektralbereich
$I(\lambda)$	:	Intensität der Strahlung an der Erdoberfläche
K	:	Kelvin
L_i	:	Lagrange - Punkt Nr. i
M	:	Absolute Helligkeit in Grössenklassen "m"
$M_\odot$	:	Masse der Sonne = $1.989 \cdot 10^{30}$kg
MEZ	:	Mitteleuropäische Zeit
P	:	Phase
R	:	Sternradius
$R_\odot$	:	Sonnenradius = $6.960 \cdot 10^{8}$m
T	:	Farbtemperatur (auch T', T_F)
W_λ	:	Äquivalentbreite in nm (Nanometer)
WZ	:	Weltzeit
a	:	Jahr
$a(\lambda)$	:	interstellare Extinktion
c	:	Lichtgeschwindigkeit im Vakuum = $2.9979\ 10^{8}$ m/s
d	:	Tag
$f(\lambda)$	:	absolute Strahlungsverteilung (eines Sterns)
h	:	Planck'sche Konstante = $6.6262 \cdot 10^{-34}$ Js
k	:	Boltzmann Konstante = $1.3806 \cdot 10^{-24}$ J/K
m	:	scheinbare Helligkeit in Grössenklassen "m"
m	:	Grössenklasse
nm	:	Nanometer = 10^{-9}m
pc	:	Parsec = $3.0857 \cdot 10^{16}$m
r	:	Entfernung eines Sterns
$\varepsilon(\lambda,t)$	:	instrumentelle Einflüsse auf registrierte Sternstrahlung
λ	:	Wellenlänge in nm (Nanometer)

1. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Der Stern Beta im Sternbild Lyra (Leier) wurde 1784 von Goodricke als veränderlich erkannt und 1891 von Pickering als spektroskopischer Veränderlicher klassifiziert. Dass Beta Lyrae in der Literatur zu einem immer wieder untersuchten Einzelobjekt wurde, hat seinen Grund in den merkwürdigen, bis heute noch nicht voll verstandenen Erscheinungen in seiner Lichtkurve, besonders aber in seinem spektralen Verhalten. Obwohl schon sehr bald Lichtkurven vorlagen (z.B. Argelander 1895) und auch schon eine Temperaturbestimmung erfolgte [22]*, konnte erst 1941 eine einigermassen fundierte Zusammenfassung der Beobachtungen und deren Interpretation erscheinen [5]. Das damals von O. Struve vorgeschlagene Modell für Beta Lyrae hat zwar seither einige Modifikationen erfahren, zieht sich aber wie ein roter Faden bis in neueste Abhandlungen, wie z.B. von Huang, Hack u. a.. Zwei Beobachtungsreihen der Internationalen Astronomischen Union wurden 1959 und 1971 mit dem Ziel durchgeführt, ein grösseres Datenmaterial über den Stern zu erhalten [10,14,7]. In jüngster Zeit wurden etliche UV und IR Beobachtungen von Erdsatelliten und der Raumstation Skylab aus gemacht, um auch in diesen, von der Erde aus unzugänglichen Spektralbereichen, das Bild von Beta Lyrae zu vervollständigen.

Nach den neuesten Arbeiten lässt sich das System von Beta Lyrae wie folgt beschreiben:
Der (Doppel-) Stern Beta Lyrae ist Mitglied in dem visuellen Mehrfachsystem ADS 11745. Als physische Begleiter sind jedoch nur zwei weitere Sterne, von denen einer wiederum ein spektroskopischer Doppelstern ist, mit Sicherheit festgestellt [1]. Beta Lyrae ist bedeckungsveränderlich und hat im Spektrum besondere Eigenschaften. Es ergeben sich für das System folgende Daten:

Nummer im Henry Draper Katalog	HD 174638	
Rektaszension (2000)	$18^h 50^m 04^s$	g [20]
Deklination (2000)	$+ 33^\circ 22'$	
Entfernung	< 260 pc	[1]
Periode	$12^d.9327$	
scheinbare visuelle Helligkeit	$m_v = 3^m.5 - 4^m.3$	

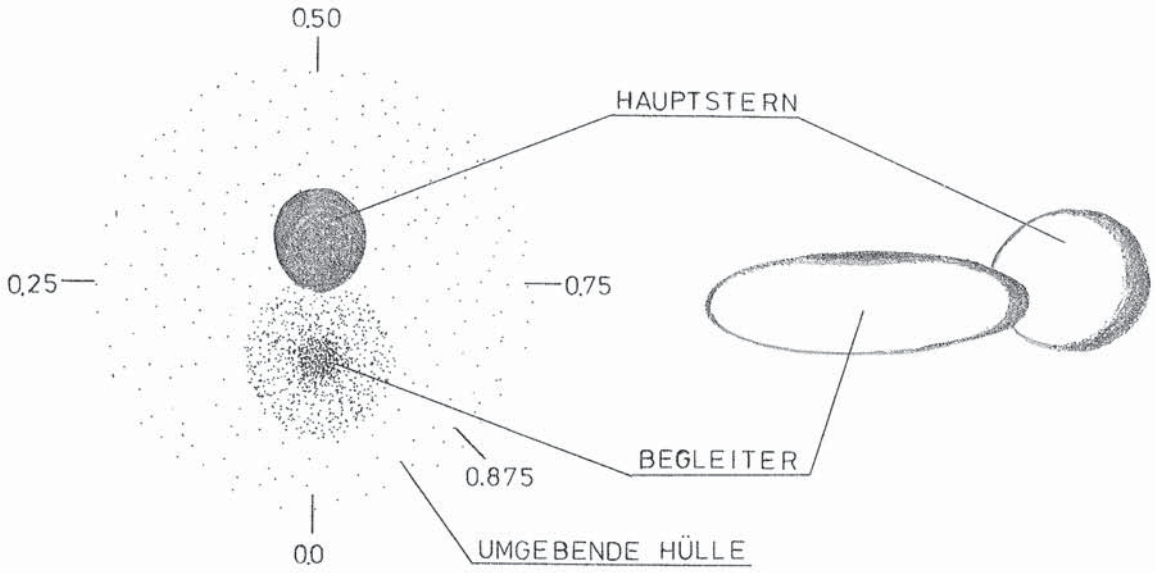
	Hauptstern	Begleiter
Masse	1 - 4 $M_\odot$	10 - 14 $M_\odot$
Radius	10 - 16 $R_\odot$	4 - 5 $R_\odot$
absolute visuelle Helligkeit	$-3^m.6$ / $-3^m.8$	$-1^m.4$ / $-2^m.4$
Spektrum	B 8 III	B 0 - B 2
(Abstand der Komponenten 20 - 30 $R_\odot$)		alles [7]

Das Problem, das immer noch nicht endgültig gelöst ist, ist die Natur des Begleiters. Es hat sich im Laufe der Zeit jedoch das

---

* Die in eckigen Klammern aufgeführten Zahlen beziehen sich auf die Nummer der zitierten Arbeit im Literaturverzeichnis (S.71).

Modell als am Besten erwiesen, in dem der Begleiter von einer relativ dicken Scheibe eingehüllt ist, die in der Bahnebene konzentriert ist. Abbildung 1 gibt dieses Modell nach [7 und 23] wieder.



Aufsicht Seitenansicht (Phase .875)

Abb. 1

Da in der Literatur bis zu Beginn der vorliegenden Arbeit Beobachtungen von Beta Lyrae mit einem Spektrum-Scanner nicht erwähnt wurden, bot es sich an, den an der Universitäts-Sternwarte München von R. Schoembs gebauten Scanner zur Beobachtung von Beta Lyrae einzusetzen um besonders das Verhalten von bestimmten Spektrallinien sowohl über Phase und Periode, als auch im Kurzzeitbereich zu messen. Während der Arbeit berichtete A. Sanyal [15] über ähnliche Messungen, die sehr gut als Vergleich dienen können. Da schon einige Scanner-Messungen von Beta Lyrae an der Sternwarte München 1975 durchgeführt wurden, können diese ebenfalls zum Vergleich verwendet werden.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es, mittels der vorgegebenen Instrumentierung (Spektrum-Scanner) die spektralen Eigenschaften von Beta Lyrae und deren Veränderlichkeit, soweit sie damit zugänglich waren, zu registrieren und an Hand der verschiedenen Modelle zu diskutieren.

An Beobachtungsmaterial wurde gewonnen:

92 Äquivalentbreiten der Linien Hα, Hβ und He I (587.5 nm) von Beta Lyrae,
61 Spektren im Bereich 400 - 800 nm von Alpha, Beta und Gamma Lyrae.

Die Messungen von Beta Lyrae verteilen sich über alle Phasen, jedoch erfolgten sie während verschiedener Perioden.

2. MESSINSTRUMENTE UND BEOBACHTUNGSBESCHREIBUNG

Im Folgenden werden die Instrumente die bei der Messung verwendet wurden und die Beobachtungsmethodik in einzelnen beschrieben. Die dabei angegebenen Daten beziehen sich auf die Messungen dieser Arbeit.

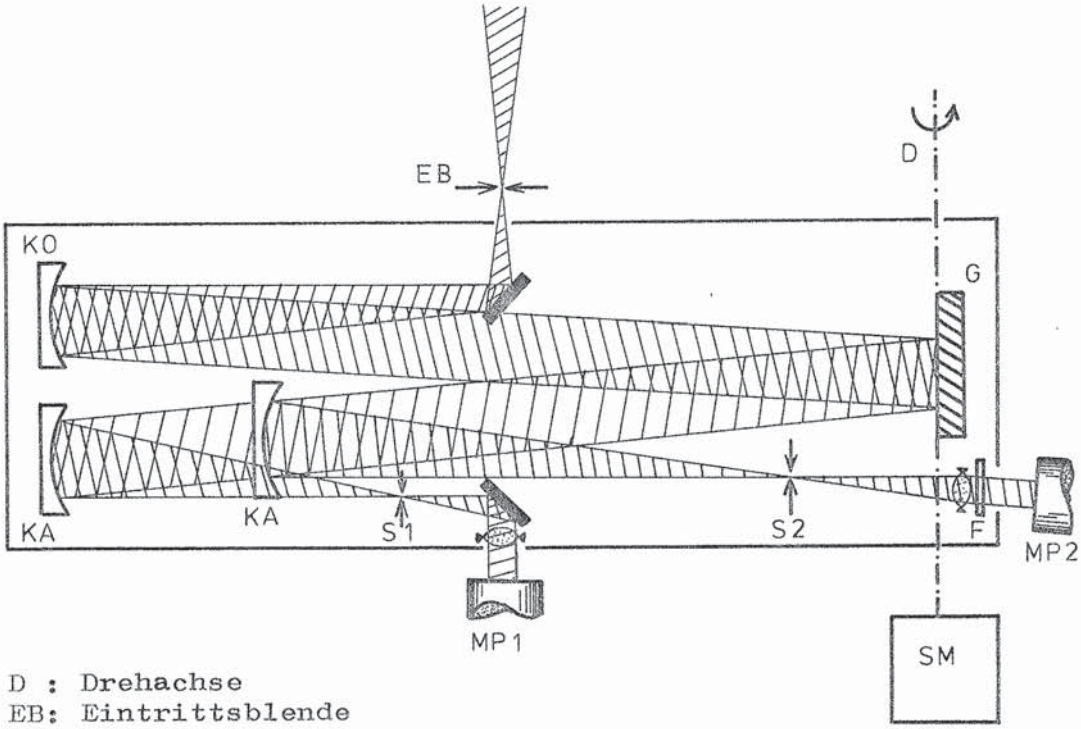
2.1. Messinstrumente

Fernrohr:
Die Beobachtungen wurden am Fraunhofer-Refraktor der Sternwarte München durchgeführt. Das Fernrohr hat eine Öffnung von 28 cm und eine Brennweite von 5 m. Das Objektiv ist für den visuellen Farbbereich korrigiert.

Nachführung:
Die Grob-Nachführung erfolgte über einen Synchronmotor, der über einen Sternzeitgenerator bzw. über die Netzfrequenz gesteuert wurde. Zur Fein-Nachführung wurde das von U. Babst [2] gebaute photoelektrische Nachführsystem verwendet. Dieses benützt einen Leitstern mit $m_V \leq 7^m$ aus der näheren Umgebung des zu messenden Sterns, wobei das Licht des Leitsterns aus dem Hauptstrahlengang durch einen kleinen verstellbaren Spiegel herausgelenkt wird. Dieser "offset-guiding" Betrieb ist durch das von R. Schoembs gebaute "Off-set-Teil" möglich, das vor dem Fokus des Fernrohres angebracht wird und gleichzeitig als Träger für den Spektrumscanner und das Kontrollokular dient. Das Nachführsystem arbeitet mit einer rotierenden Sektorblende, wobei der aus dem Zentrum der Blende herauswandernde Leitstern das von einem Photomultiplier empfangene Signal verändert, was zusammen mit der Stellung der Sektorblende eine gezielte Korrektur der Nachführung ermöglicht (nach Babcock).
Da beim Einstellen der automatischen Nachführung auf einen Leitstern das genaue Justieren sehr umständlich war, wurde gemeinsam mit M. Gottwald, der im gleichen Zeitraum am Refraktor photoelektrische Messungen durchführte, ein Verbesserungsvorschlag für die Nachführungseinstellung entworfen. Jetzt lassen sich die beiden Schlitten, auf denen das Nachführsystem befestigt ist und die zur Einstellung des Leitsterns verschiebbar sind, in der letzten Phase des Einstellens über Feineinstellschrauben leicht und genau in die richtige Stellung bewegen.

Spektrumscanner:
Ein Spektrumscanner misst schrittweise die Intensität des Spektrums in einem bestimmten Wellenlängenintervall. Da diese Messungen sehr rasch aufeinander folgen können, ist es möglich, in kurzer Zeit mehrmals die Intensitätsverteilung innerhalb eines bestimmten Intervalls zu messen. Ein solcher Messvorgang wird als Scan bezeichnet.
Die spektrale Verteilung der Strahlung des Messobjektes wurde mit dem ebenfalls von R. Schoembs gebauten Spektrumscanner - 2 Kanal - Photometer gemessen, das wie folgt aufgebaut ist [17] :
Das durch eine kreisförmige Blende von 1 mm Durchmesser in den Scanner einfallende Sternlicht wird von einem drehbar angeordneten Gitter spektral zerlegt. Dieses Strichgitter hat eine Teilung von 1200 Linien pro mm und eine Grösse von 26 × 26 mm. Die-

ses Gitter kann von einem Schrittmotor mit o.o23 nm/Schritt und maximal 1ooo Schritten pro Sekunde um eine Achse parallel zur Strichrichtung gedreht werden. Das mit dem Gitter erzeugte Spektrum wird von zwei Spiegeln auf zwei Spalte abgebildet, die vor den Ausgängen zu je einem Multiplier EMI 9558 angeordnet sind. Durch die Drehung des Gitters streicht das Spektrum über diese Spalte und es kann so die spektrale Verteilung der Intensität schrittweise gemessen werden. Dabei ist die Lage der Spektrumsabschnitte auf den beiden Spalten unabhängig voneinander frei wählbar, sodass simultane Messungen von z.B. Hα und Hβ möglich sind. Da das Bild des Sterns in der Öffnung der Eintrittsblende durch atmosphärische Einflüsse (Refraktion, Szintillation und "Seeing") nicht stets genau am gleichen Ort und in der gleichen Grösse erscheint, ist die Auflösung des Spektrumscanners je nach Bildgrösse verschieden und schwankt zwischen 1 nm bis 3 nm. Den schematischen Aufbau des Spektrumscanners zeigt die Abbildung 2. Der Scanner wird elektronisch so gesteuert, dass die von den Multipliern gemessenen Photonenströme (=Pulse) während einer einstellbaren Zeit summiert werden.

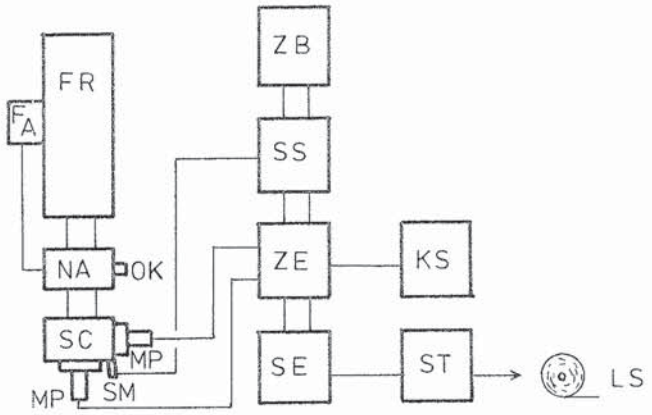


D : Drehachse
EB: Eintrittsblende
G : Gitter
KA: Kameraspiegel
KO: Kollimator
MP: Multiplier
F : Rot-Filter
S : Spalt
SM: Schrittmotor

Abb. 2
(Aufbau des Spektrumscanners)

Steuerelektronik:
Als Zeitbasis dient ein mit 1o MHz schwingender Quarz. Durch Division werden die zur Steuerung der verschiedenen Geräte notwendigen Frequenzen erzeugt. Damit wird der Schrittmotor des Spektrumscanners gesteuert, der mit 8 ms (Hα, Hβ) bzw. 4 ms (Spektren) pro Schritt betrieben wird. Pro Messwert werden jeweils die Photonen über 8 bzw. 16 Schritte summiert, mit einem Faktor 2 untersetzt und von der Zählelektronik binär gezählt. Dieses Messresultat wird dann von der Stanzelektronik auf 8-Kanal Lochstreifen ausgegeben.

Den schematischen Gesamtaufbau der Messeinrichtung gibt die Abbildung 3 wieder.



FA: Fernrohrantrieb
FR: Fernrohr
KS: Kontrollschreiber
LS: Lochstreifen
MP: Multiplier
NA: Nachführung
OK: Okular
SC: Scanner
SE: Stanzeinheit
SM: Schrittmotor
SS: Scannersteuerung
ST: Stanzer
ZB: Zeitbasis
ZE: Zähleinheit

Abb. 3
(Gesamtaufbau der Messeinrichtung)

2.2 Beobachtungsbeschreibung

Die Messungen an einem Objekt wurden stets von Messungen des Himmelshintergrundes (HH) eingeschlossen. Dazu wurde das Fernrohr in eine nahe, sternfreie Zone in der Umgebung des Objektes geschwenkt. Die Messungen des Himmelshintergrundes (+ Dunkelstrom der Multiplier) sind daher auf den Lochstreifen am Anfang und am Ende zu finden. Zwischen Himmelshintergrund und Objektmessung wurden stets eine (oder mehrere) leere Blockmarken gestanzt.
Zur leichteren Reduktion wurde bei Spektrummessungen der Vergleichstern auf dem selben Lochstreifen wie der Messtern erfasst, wobei die trennende Himmelshintergrund-Messung für beide Messungen verwendet wurde. Die Reihenfolge war also stets

HH - Vergleichstern - HH - Messtern - HH .

Bei Spektrumscans, d.h. bei Scans die sich über das beobachtbare Spektrum erstreckten, umfasst eine HH-Messung stets 2 Scans, so dass auf einem Lochstreifen mit Spektrumscans 6 HH-Messungen und 2 mal 8 Objekt-Messungen vorliegen.
Die im Anschluss an die Spektrummessungen erfolgenden Messungen von Hα, Hβ (1 Lochstreifen) und He I (1 Lochstreifen) hatten in

der Regel einen analogen Aufbau mit 8 HH-Scans, ~16o Hα, Hβ oder He I Scans und ~8 HH-Scans. Unter z.B. Hα-Scan ist dabei die Registrierung der Intensitätsverteilung der Strahlung in einem Wellenlängenintervall, das Hα enthält, gemeint. Da die Linien-Scans im Anschluss an die Beta Lyrae Spektrummessungen erfolgten, musste die Nachführung nicht verändert werden.
Zum absoluten Anschluss wurden auch noch vergleichende Spektrummessungen Alpha Lyrae - Gamma Lyrae - Beta Lyrae durchgeführt.

Die Zeitangaben auf den Lochstreifen und im Beobachtungsbuch sind in MEZ angegeben und auf volle Minuten gerundet. Gestartet wurde eine Messung immer bei vollen 5 Minuten. Die Startgenauigkeit betrug ± 15 Sekunden; bei einer Periodenlänge von ca. 13 Tagen bedeutet eine Unsicherheit von 1o Minuten nur einen Fehler von $5 \times 1o^{-4}$ in der Phase. Zur weiteren Berechnung wurde die mittlere Zeit der Beobachtung verwendet, die sich bei Linienmessungen auf Scanbeginn (= Anfang der ersten HH-Messung) plus 15 Minuten und bei Spektrummessungen auf Scanbeginn plus 1o Minuten für Gamma Lyrae und plus 3o Minuten für Beta Lyrae einstellte. (Abweichungen sind im Beobachtungsbuch vermerkt!)
Die Umrechnung auf Weltzeit WZ wurde mit

$$WZ = MEZ - 1^h$$

vorgenommen.
Die Festlegung des Seeings erfolgte über eine Abschätzung der maximalen Abweichung (in ") vom mittleren Ort des Stern-Bildes bei Betrachtung in einem Gesichtsfeld bekannter Grösse. Dazu wurde eine Blende verwendet, die ein Gesichtsfeld von 12" darstellte (Durchmesser o.3 mm). Das durch die Atmosphäre bedingte Seeing war zum grossen Teil schlecht (meisst 6"-7"), sodass kaum einmal sehr gute Beobachtungsbedingungen gegeben waren.

Da in den ersten zwei Monaten nach Beginn der Arbeit sehr günstige Witterungsverhältnisse herrschten, konnte genügend Beobachtungsmaterial gewonnen werden, um dann trotz des später sehr schlechten Wetters , das bis zum Ende der Arbeit anhielt, eine relativ gleichmässige Verteilung der Messungen über die gesamte Phase zu erhalten.
Periode

3. MESSUNGEN UND AUSWERTUNG

Zur Auswahl der weiterhin genauer zu untersuchenden spektroskopischen Details wurde zuerst das gesamte Spektrum von Beta Lyrae im Bereich von 3oo nm bis 85o nm gemessen. Es traten folgende drei Emissionslinien am deutlichsten hervor:

Hα	bei	656.3 nm
He I	bei	587.5 nm
Hβ	bei	486.1 nm .

Diese drei Linien wurden daraufhin zusätzlich zum gesamten Spektrum als Gegenstand der Beobachtung ausgewählt.
Das Gesamtspektrum wurde gleichzeitig in zwei Kanälen aufgenommen, wobei mit Kanal 1 (blau) der Spektralbereich von 3oo nm bis 7oo nm und mit Kanal 2 (rot) der Spektralbereich von 47o nm bis 85o nm überdeckt wurde.
(Als Beispiel für ein solches Gesamtspektrum und für die Sichtbarkeit der Linien vgl. die Abbildungen 4 und 5 auf den Seiten 7 und 8. Der Nullpunkt der Wellenlängen-Skala ist willkürlich, der Masstab ist richtig (vgl. Seite 12 unten).)

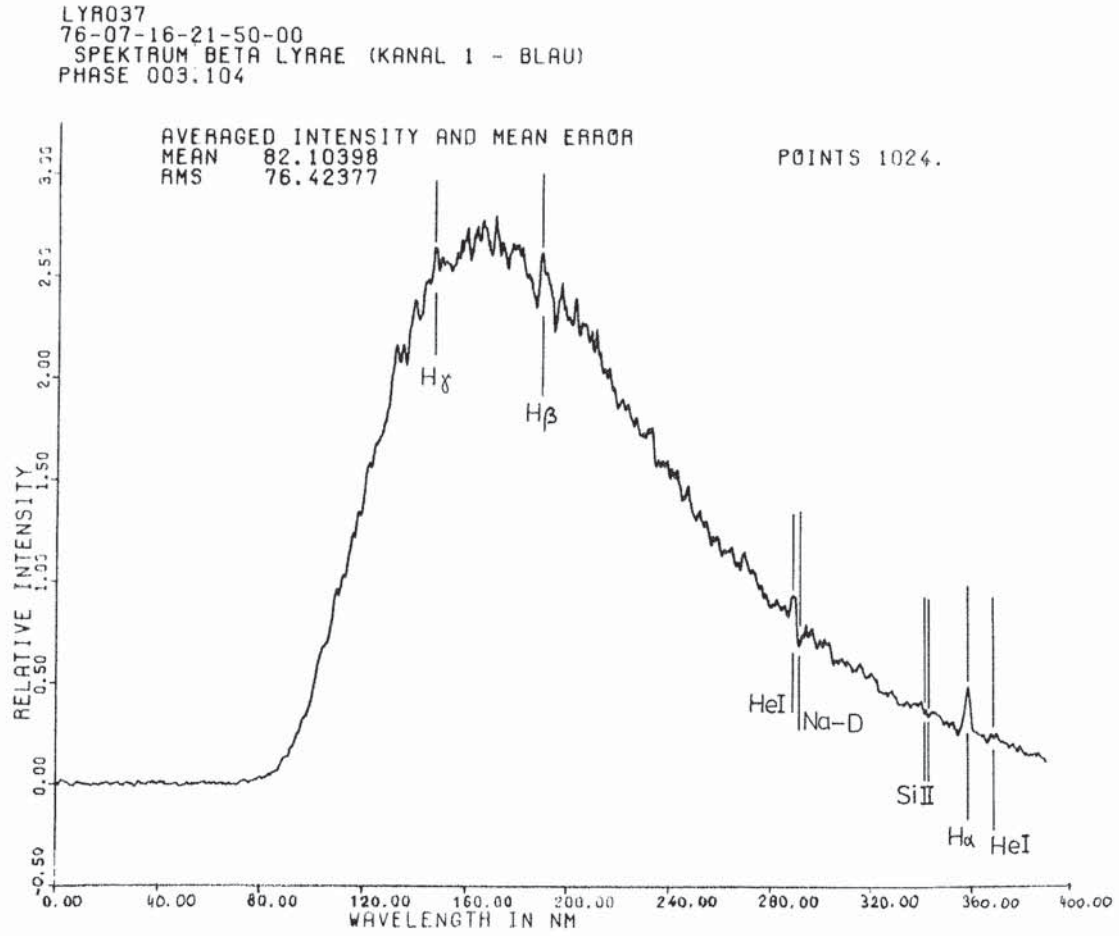


Abb. 4
(Gesamtspektrum Beta Lyrae Kanal 1 mit Linienidentifikation)

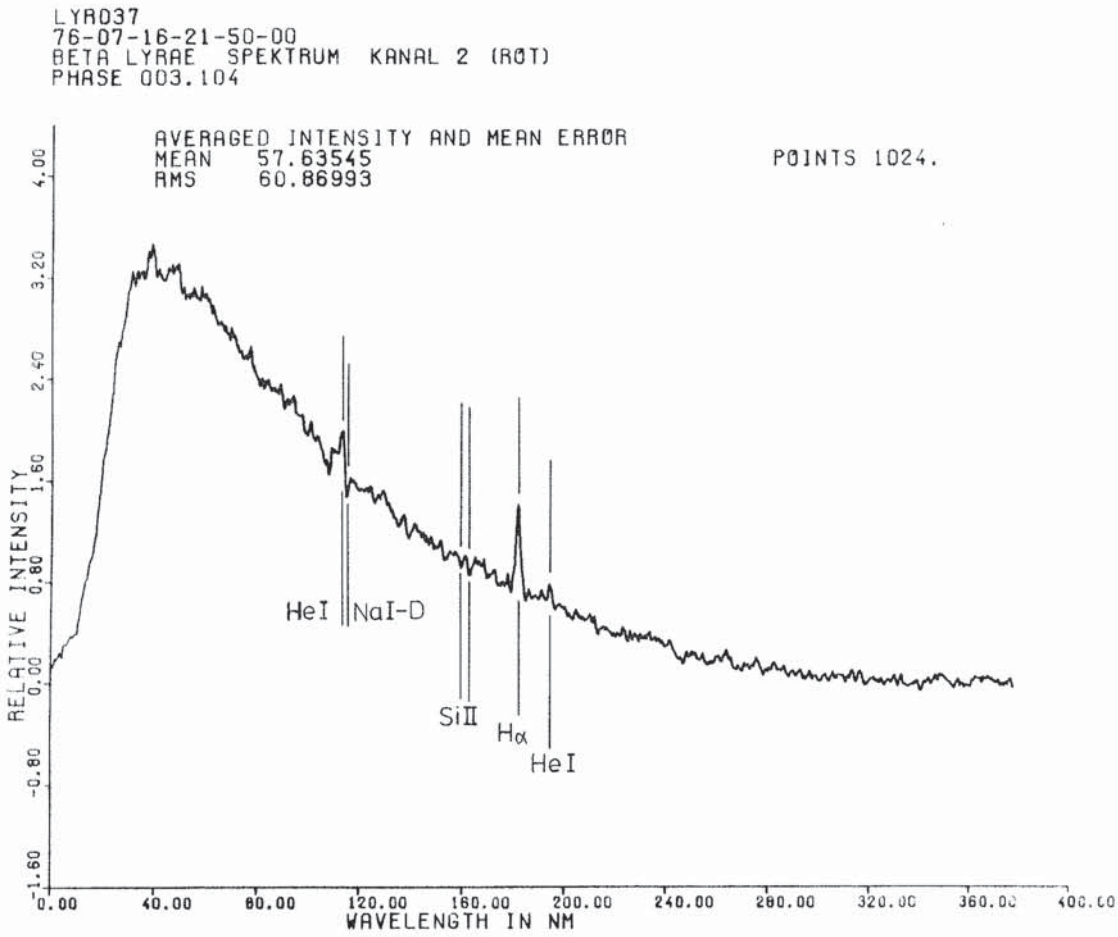


Abb. 5
(Gesamtspektrum Beta Lyrae Kanal 2 mit Linienidentifikation)

Bei den Linienscans wurde ein Bereich von 23.6 nm in die Messung einbezogen um das Kontinuum festlegen zu können. Die fest eingestellte Wellenlängendifferenz der Kanäle 1 und 2 betrug 17o nm, sodass Hα und Hβ simultan gemessen werden konnten. He I wurde mit Kanal 2 gemessen, wobei dann im Kanal 1 ein Bereich um die Wellenlänge 417.2 nm mitregistriert wurde, in dem aber keine Linien sichtbar waren und der auch kaum eine Änderung mit der Phase zeigte.

3.1 Messungen mit Daten

Im Zeitraum 76-06-09 (1. Messung) bis 77-07-22 (letzte Messung) wurden in 23 Nächten 90 einzelne Beobachtungen (= Zahl der Lochstreifen) gewonnen. Die einzelnen Beobachtungen mit den verschiedenen Daten sind in der folgenden Tabelle 1 zusammengefasst. Die Schreibweise von Datum und Zeit erfolgt nach DIN 1355. Es sind folgende Spalten von links nach rechts in der Tabelle verwendet:

1) Kennz. : Kennzeichen der Beobachtung = Kennzeichen des Lochstreifens
2) Datum : Jahr - Monat - Tag
3) WZ : Weltzeit; gilt für die Mitte der Beobachtung
4) Objekt : Hα, Hβ, He I oder Spektrum
5) Epoche : Die Epoche der Phase (Periode) ist J. D. 2442936.246 (≙ 76-06-06-17.54.14 (WZ)). Die Berechnung der Phase erfolgte nach [mod. 1^d] mit J. D. 2442936.246 + $12^d.9327$ E .
6) Scans : Anzahl der brauchbaren Scans pro Messung
7) Seeing : Abweichung des Sternbildes in " vom mittleren Ort
8) Wolken : Angabe in %; N = Nebel; D = Dunst;
9) Temperatur: Lufttemperatur in Grad Celsius auf volle Grad gerundet
10) Höhe : Höhe des Objektes über dem Horizont auf volle Grad gerundet.

Die neben den Zeilen stehenden kleinen Buchstaben verweisen auf besondere Bemerkungen zu den jeweiligen Messungen und sind auf der gleichen Seite am Ende der Tabelle aufgeführt.

Tabelle 1

Kennz.	Datum	WZ	Objekt	Epoche	Sc	S	W	T	H	
LYR001	76-06-09	22.35.00	β Lyr-Spektrum	00.247	32	3	0	+19	60	a,b)
LYR002	76-06-10	00.05.00	β Lyr- Hα, Hβ	00.252	310	3	0	+18	73	a,c)
LYR003	76-06-15	00.15.00	β Lyr-Spektrum	00.639	17	4	0	+19	75	a,d)
LYR004	76-06-15	01.30.00	β Lyr- Hα, Hβ	00.643	156	4	0	+18	71	a,d)
LYR005	76-06-17	22.00.00	β Lyr-Spektrum	00.864	18	5	0	+16	60	
LYR006	76-06-17	23.00.00	β Lyr- Hα, Hβ	00.867	98	6	0	+16	68	
LYR007	76-06-17	23.40.00	β Lyr- Hα, Hβ	00.869	160	6	0	+15	74	
LYR008	76-06-18	00.15.00	β Lyr-Spektrum	00.871	20	6	0	+14	75	
LYR009	76-06-21	21.50.00	β Lyr-Spektrum	01.172	16	5	0	+21	61	e)
LYR010	76-06-21	22.20.00	β Lyr- Hα, Hβ	01.174	154	5	0	+21	66	e)
LYR011	76-06-22	23.45.00	β Lyr-Spektrum	01.256	17	6	20	+21	75	
LYR012	76-06-23	00.20.00	β Lyr- Hα, Hβ	01.258	156	6	20	+20	75	
LYR013	76-06-23	00.55.00	β Lyr-Spektrum	01.260	18	6	20	+20	72	f)
LYR014	76-06-23	01.30.00	β Lyr- Hα, Hβ	01.262	160	6	20	+20	67	
LYR015	76-06-27	23.15.00	β Lyr-Spektrum	01.641	18	4	0	+21	74	

a) Blaufilter in Kanal 1
b) 512 Punkte pro Scan
c) 64 Punkte pro Scan
d) automatische Nachführung versagt wegen nahestehendem Mond
e) automatische Nachführung setzt aus
f) Messung 5 Minuten unterbrochen da Wolken durchziehen

Tabelle 1 Forts.

Kennz.	Datum	WZ	Objekt	Epoche	Sc	S	W	T	H	
LYRo16	76-o6-28	oo.3o.oo	βLyr- Hα, Hβ	o1.645	158	4	o	+2o	72	
LYRo17	76-o6-28	o1.oo.oo	βLyr-Spektrum	o1.647	18	4	o	+2o	69	
LYRo18	76-o6-28	o1.3o.oo	βLyr- Hα, Hβ	o1.648	154	4	o	+2o	64	
LYRo19	76-o6-3o	21.oo.oo	βLyr-Spektrum	o1.866	12	6	o	+24	61	
LYRo2o	76-o6-3o	21.4o.oo	βLyr- Hα, Hβ	o1.868	16o	6	o	+23	65	
LYR A	76-o6-3o	22.35.oo	γLyr-Spektrum	-	9	7	o	+23	7o	
LYR B	76-o6-3o	23.15.oo	γLyr- Hα, Hβ	-	16o	7	o	+21	73	g)
LYRo21	76-o7-o1	oo.15.oo	βLyr-Spektrum	o1.876	8	7	o	+2o	73	
LYRo22	76-o7-o1	oo.45.oo	βLyr- Hα, Hβ	o1.877	158	6	o	+2o	7o	
LYRo23	76-o7-o2	oo.oo.oo	βLyr-Spektrum	o1.953	18	6	o	+21	74	
LYRo24	76-o7-o2	o1.1o.oo	βLyr- Hα, Hβ	o1.956	12o	6	o	+2o	65	h)
LYR C	76-o7-o2	o1.55.oo	γLyr-Spektrum	-	18	6	o	+2o	58	
LYRo25	76-o7-o6	21.1o.oo	γLyr-Spektrum	-	7	5	o	+22	62	i)
	76-o7-o6	21.2o.oo	βLyr-Spektrum	o2.331	1o	5	o	+22	67	i)
LYRo26	76-o7-o6	22.o5.oo	βLyr- Hα, Hβ	o2.333	156	5	o	+21	71	j)
LYRo27	76-o7-o6	22.4o.oo	βLyr- He I	o2.335	82	5	o	+2o	75	k)
LYRo28	76-o7-o6	23.3o.oo	γLyr-Spektrum	-	5	5	o	+2o	74	
	76-o7-o6	23.4o.oo	βLyr-Spektrum	o2.338	5	5	o	+2o	73	
LYRo29	76-o7-o7	oo.3o.oo	βLyr- Hα, Hβ	o2.341	15o	5	o	+18	68	
LYRo3o	76-o7-o7	o1.1o.oo	βLyr- He I	o2.343	9o	5	o	+18	63	
LYRo31	76-o7-11	21.4o.oo	γLyr-Spektrum	-	8	7	D	+25	69	1)
	76-o7-11	21.5o.oo	βLyr-Spektrum	o2.719	8	7	D	+25	73	1)
LYRo32	76-o7-11	22.25.oo	βLyr- Hα, Hβ	o2.721	16o	7	D	+22	75	1)
LYRo33	76-o7-11	23.oo.oo	βLyr- He I	o2.723	16o	7	D	+22	75	1)
LYRo34	76-o7-11	23.45.oo	γLyr-Spektrum	-	8	7	D	+21	72	1)
	76-o7-12	oo.oo.oo	βLyr-Spektrum	o2.726	7	7	D	+21	69	1)
LYRo35	76-o7-12	oo.3o.oo	βLyr- Hα, Hβ	o2.727	156	7	D	+21	65	1)
LYRo36	76-o7-12	o1.o5.oo	βLyr- He I	o2.729	156	7	D	+2o	6o	1)
LYRo37	76-o7-16	21.oo.oo	γLyr-Spektrum	-	6	6	5	+26	67	m)
	76-o7-16	21.15.oo	βLyr-Spektrum	o3.1o4	6	6	5	+26	71	m)
LYRo38	76-o7-16	21.5o.oo	βLyr- Hα, Hβ	o3.1o6	145	6	5	+25	74	m)
LYRo39	76-o7-16	22.3o.oo	βLyr- He I	o3.1o8	158	6	5	+25	75	m)
LYRo4o	76-o7-16	23.35.oo	αLyr-Spektrum	-	18	6	5	+25	73	m)
LYRo41	76-o7-17	oo.2o.oo	γLyr-Spektrum	-	8	6	5	+24	64	m)
	76-o7-17	oo.45.oo	βLyr-Spektrum	o3.115	8	6	5	+24	59	m)
LYRo42	76-o7-17	o1.15.oo	βLyr- Hα, Hβ	o3.117	156	6	5	+22	56	m)
LYRo43	76-o7-17	o1.5o.oo	βLyr- He I	o3.118	158	6	5	+22	49	m)
LYRo44	76-o7-18	22.4o.oo	γLyr-Spektrum	-	8	7	15	+25	74	m)
	76-o7-18	23.o5.oo	βLyr-Spektrum	o3.264	8	7	15	+25	72	m)
LYRo45	76-o9-o7	2o.4o.oo	γLyr-Spektrum	-	8	6	5	+14	66	n)
	76-o9-o7	2o.5o.oo	βLyr-Spektrum	o7.2oo	8	6	5	+14	64	o)
LYRo46	76-o9-o7	21.25.oo	βLyr- Hα, Hβ	o7.2o2	146	6	5	+14	59	
LYRo47	76-o9-o7	22.oo.oo	βLyr- He I	o7.2o4	146	6	5	+12	53	

g) Lochstreifen beschädigt - keine Auswertung
h) Scan-Nullpunkt mehrmals verschoben
i) ab LYRo25 Spektren von Gamma und Beta Lyrae auf einem Lochstreifen
j) endgültig Scan-Nullpunkt festgelegt
k) He I Emissionslinie bei λ = 587.5 nm
l) nahestehender Mond stört
m) Fokus des Fernrohres verstellt
n) Filter in Kanal 1, Verstärker Kanal 2 defekt
o) Filter in Kanal 1

Tabelle 1 Forts.

Kennz.	Datum	WZ	Objekt	Epoche	Sc	S	W	T	H	
LYRo48	76-09-07	22.35.00	γ Lyr-Spektrum	-	6	6	5	+12	49	
	76-09-07	22.50.00	β Lyr-Spektrum	07.207	7	6	5	+12	44	
LYRo49	76-09-07	23.30.00	β Lyr- Hα, Hβ	07.209	154	6	5	+12	38	
LYRo50	76-09-08	00.35.00	β Lyr- He I	07.213	158	6	5	+12	28	
LYRo51	76-09-22	19.10.00	γ Lyr-Spektrum	-	6	5	N	+13	70	p)
	76-09-22	19.40.00	β Lyr-Spektrum	08.357	6	5	N	+13	66	p)
LYRo52	76-09-22	20.05.00	β Lyr-"Hα, Hβ"	08.358	156	5	N	+13	63	p)
LYRo53	76-09-22	20.40.00	β Lyr-"He I"	08.360	158	5	N	+12	56	p)
LYRo54	76-09-22	21.25.00	γ Lyr-Spektrum	-	6	5	N	+11	50	
	76-09-22	21.45.00	β Lyr-Spektrum	08.363	8	5	N	+11	46	
LYRo55	76-09-22	22.15.00	β Lyr- Hα, Hβ	08.365	158	5	N	+11	41	
LYRo56	76-09-22	22.45.00	β Lyr- He I	08.366	158	5	N	+11	36	
LYRo57	76-09-22	23.25.00	γ Lyr-Spektrum	-	8	5	N	+10	31	
	76-09-22	23.45.00	β Lyr-Spektrum	08.370	8	5	N	+10	26	
LYRo58	76-09-23	00.15.00	β Lyr- Hα, Hβ	08.371	74	5	N	+10	22	q)
LYRo59	76-09-23	21.00.00	γ Lyr-Spektrum	-	8	7	N	+13	53	
	76-09-23	21.20.00	β Lyr-Spektrum	08.439	8	7	N	+13	49	
LYRo60	76-09-23	21.55.00	β Lyr- Hα, Hβ	08.441	130	7	N	+12	44	
LYRo61	76-09-23	22.25.00	β Lyr- He I	08.443	154	7	N	+12	39	
LYRo62	76-09-24	19.55.00	γ Lyr-Spektrum	-	6	4	o	+16	64	
	76-09-24	20.20.00	β Lyr-Spektrum	08.513	6	4	o	+16	58	
LYRo63	76-09-24	20.45.00	β Lyr- Hα, Hβ	08.515	158	4	o	+16	55	
LYRo64	76-09-24	21.15.00	β Lyr- He I	08.516	156	4	o	+16	50	
LYRo65	76-10-26	17.55.00	γ Lyr-Spektrum	-	8	6	o	+10	63	
	76-10-26	18.15.00	β Lyr-Spektrum	10.981	4	6	o	+10	59	
LYRo66	76-10-26	18.45.00	β Lyr- Hα, Hβ	10.983	156	6	o	+10	54	
LYRo67	76-10-26	19.15.00	β Lyr- He I	10.984	162	6	o	+10	49	
LYRo68	76-10-26	20.35.00	α Lyr-Spektrum	-	8	6	o	+09	37	r)
	76-10-26	20.55.00	γ Lyr-Spektrum	-	8	6	o	+09	36	
LYRo69	76-10-26	21.15.00	γ Lyr-Spektrum	-	8	6	o	+08	30	
	76-10-26	21.40.00	β Lyr-Spektrum	10.992	4	7	10	+08	24	
LYRo70	76-10-26	22.10.00	β Lyr- Hα, Hβ	10.994	150	7	N	+08	20	
LYRo71	76-10-26	22.40.00	β Lyr- He I	10.995	152	7	N	+08	16	
LYRo72	76-11-28	17.05.00	α Lyr-Spektrum	-	18	7	20	+07	50	r)
LYRo73	76-11-28	17.50.00	γ Lyr-Spektrum	-	18	7	20	+06	41	
LYRo74	76-12-27	19.00.00	β Lyr- Hα, Hβ	-	---	-	--	---	--	s)
LYRo75	77-05-25	21.30.00	γ Lyr-Spektrum	-	8	4	5	+17	38	t)
	77-05-25	21.50.00	β Lyr-Spektrum	27.308	8	4	5	+17	44	t)
LYRo76	77-05-25	22.25.00	β Lyr- Hα, Hβ	27.310	154	4	5	+16	49	t)
LYRo77	77-05-25	22.55.00	β Lyr- He I	27.311	99	4	5	+16	54	
LYRo78	77-06-01	23.10.00	γ Lyr-Spektrum	-	8	3	o	+14	59	
	77-06-01	23.30.00	β Lyr-Spektrum	27.854	8	3	o	+14	63	
LYRo79	77-06-01	23.50.00	β Lyr- Hα, Hβ	27.856	158	3	o	+11	66	
LYRo80	77-06-02	00.20.00	β Lyr- He I	27.857	154	3	o	+10	70	
LYRo81	77-07-12	21.05.00	γ Lyr-Spektrum	-	8	4	o	+25	65	
	77-07-12	21.25.00	β Lyr-Spektrum	31.018	8	4	o	+25	68	
LYRo82	77-07-12	21.45.00	β Lyr- Hα, Hβ	31.019	158	4	o	+23	70	
LYRo83	77-07-12	22.20.00	β Lyr- He I	31.021	160	5	o	+22	74	

p) Scan-Nullpunkt falsch
q) sehr schlechte Sicht
r) mit Objektivblende, Nachführung von Hand
s) Stanzer stanzt Blockmarken nicht äquidistant - nicht auswertbar
t) Stern nicht im Zentrum der Blende

Tabelle 1 Forts.

Kennz.	Datum	WZ	Objekt	Epoche	Sc	S	W	T	H	
LYRo84	77-o7-12	22.5o.oo	β Lyr-Spektrum	31.o23	8	5	1o	+22	75	
	77-o7-12	23.o5.oo	β Lyr-Spektrum	-	8	5	1o	+22	74	
LYRo85	77-o7-22	21.o5.oo	β Lyr-Spektrum	-	8	7	2o	+16	7o	
	77-o7-22	21.3o.oo	β Lyr-Spektrum	31.791	8	7	2o	+16	74	
LYRo86	77-o7-22	21.55.oo	β Lyr- Hα, Hβ	31.793	48	7	2o	+16	75	
LYRo87	77-o7-22	22.3o.oo	β Lyr- He I	31.795	134	7	2o	+16	75	
SPAoo1	75-o2-27	o2.42.oo	β Lyr- Hα, Hβ	-37.999	---	-	--	---	26	u)
SPAoo2	75-o2-28	o2.1o.oo	β Lyr- Hα, Hβ	-36.o75	---	-	--	---	26	u)
SPAoo3	75-o3-o1	o3.o1.oo	β Lyr- Hα, Hβ	-36.155	---	-	--	---	31	u)
SPAoo4	75-o3-o7	o2.22.15	β Lyr- Hα, Hβ	-36.616	---	-	--	---	28	u)

u) Messungen von Chr. Spannagl

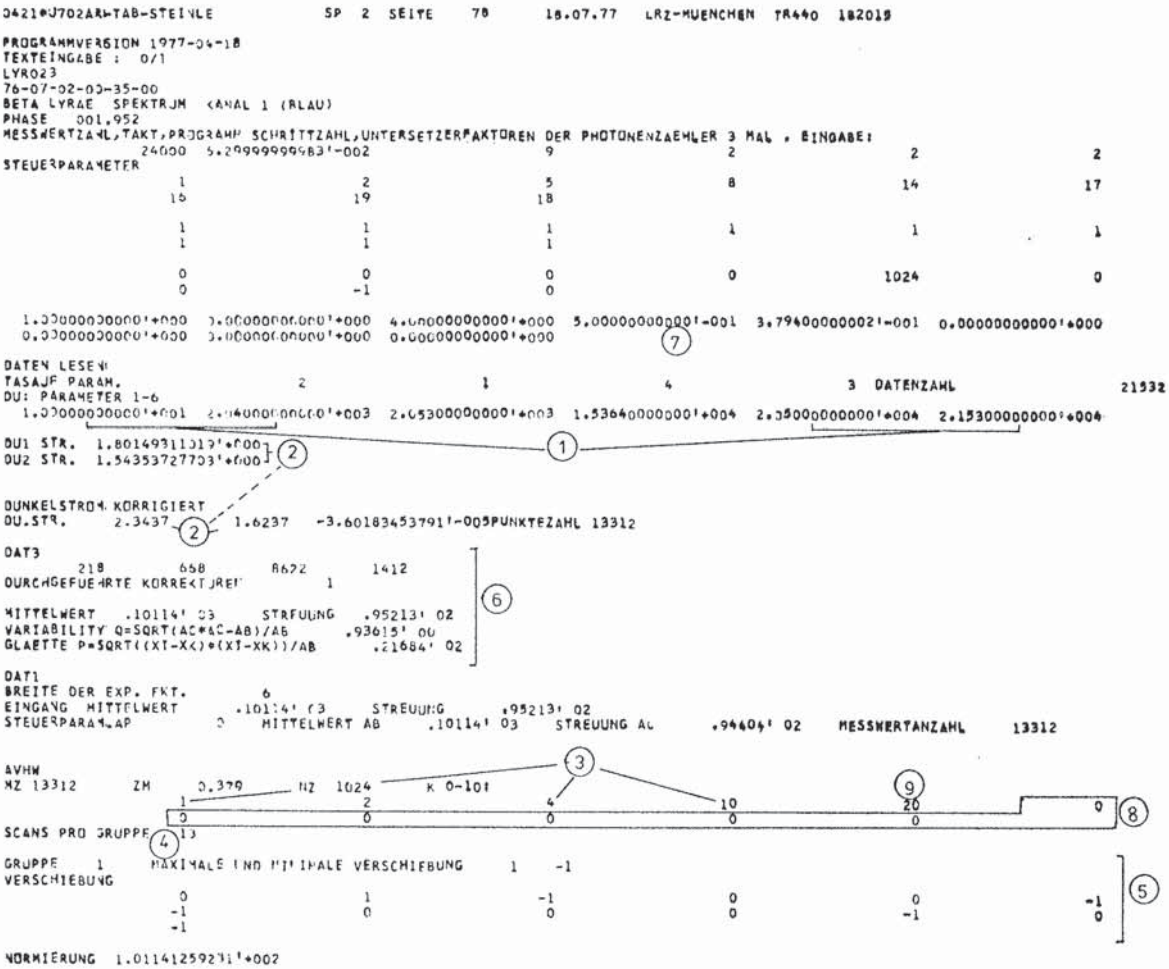
3.2 Auswertung der Messungen am TR 44o - Rechner

Die bei den Messungen gewonnenen Daten, die auf Lochstreifen vorlagen, wurden an dem Telefunken - Rechner 44o des Leibniz-Rechenzentrums München ausgewertet. Dazu wurden alle Lochstreifen zuerst auf Magnetband gespeichert, sodass sie stets verfügbar waren. Die eigentliche Auswertung erfolgte mit einem Programm von R. Schoembs.
Zunächst wurden alle Messungen gleich verarbeitet. Nach dem Lesen der Daten vom Magnetband und dem Umordnen der Rückwärtsscans wurde die bei der Verstärkung erfolgte Untersetzung der Photonenströme um den Faktor 2 rückgängig gemacht. Dann wurden aus den Himmelshintergrundmessungen vor und nach der Objektmessung durch eine lineare Interpolation der Anteil von Hintergrund und Dunkelstrom bestimmt und von den Messwerten abgezogen. Der Betrag des Hintergrundes und Dunkelstromes und deren Streuung werden im Rechnerprotokoll ausgegeben. Die Überlagerung der brauchbaren Scans konnte in beliebiger Gruppenzahl durchgeführt werden. Weiter war wahlweise eine korrelierte Überlagerung oder eine unkorrelierte Überlagerung möglich. Bei der korrelierten Überlagerung wurde ein Referenzscan angegeben, zu dem die Korrelation in einem angebbaren maximalen Verschiebungsbereich erfolgte. Sowohl Gruppenzahl, Anzahl der Scans pro Gruppe und Verschiebung bei Korrelation werden im Protokoll angegeben. Zur Beseitigung von fehlerhaften Messwerten fand ein Programmteil anwendung, in dem bei Abweichungen eines Messwertes um einen bestimmten, festlegbaren Betrag von den Werten der Umgebung, der fehlerhafte Wert durch den Mittelwert der gesamten Messung ersetzt wurde. Die überlagerten Messungen wurden anschliessend etwas geglättet, um das Photonenrauschen zu vermindern und das Spektrum übersichtlicher zu gestalten. Die Glättung erfolgte durch Faltung mit einer Gauss-Funktion, deren Breite anzugeben war.
(Vergl. die Abbildungen der Protokolle auf den Seiten 13 und 21)
Die graphische Darstellung der Messwerte erfolgte so, dass das Integral über die Kurve auf 1 normiert wurde. Die Achsenbeschriftung erfolgte im richtigen Masstab mit willkürlichem Nullpunkt.
(Vgl. die Abbildungen 7 und 9 auf den Seiten 14 und 22 .)

Da die weitere Verarbeitung von Spektrum- und Linienmessungen unterschiedlich war, werden beide im Folgenden getrennt behandelt.

3.2.1 Auswertung der Spektren - Temperaturbestimmung

Spektren:
Ein Spektrumscan in einer Richtung besteht aus 1024 Messpunkten und dauert ca. 65 Sekunden. Ein Messpunkt entspricht etwa einem Bereich von 0.4 nm. Die Spektrumscans einer Messung (8 Scans) wurden stets korreliert zu einem Gesamtscan überlagert. Dabei erfolgte die Wahl des Referenzscans durch Variation desselben, bis eine minimale (optimale) Verschiebung bei allen Scans erreicht wurde. Die Abbildungen 6 und 7 auf den Seiten 13 und 14 geben eine Darstellung eines so aufbereiteten Gesamtspektrums mit dem dazugehörigen Protokoll.



1: Hintergrundsbereiche; 2: Dunkelstrom + Streuung;
3: Gruppenzahl - Referenzscan - max. Verschiebungsbereich;
4: Scans pro Gruppe; 5: Verschiebung bei Korrelation;
6: Fehlerkorrektur; 7: Glättung - Breite; (8: Kontinuumsbereiche, Liniengrenzen; 9: Schranke für Linienerkennung;)

Abb. 6
(Protokoll zum Gesamtspektrum Beta Lyrae)

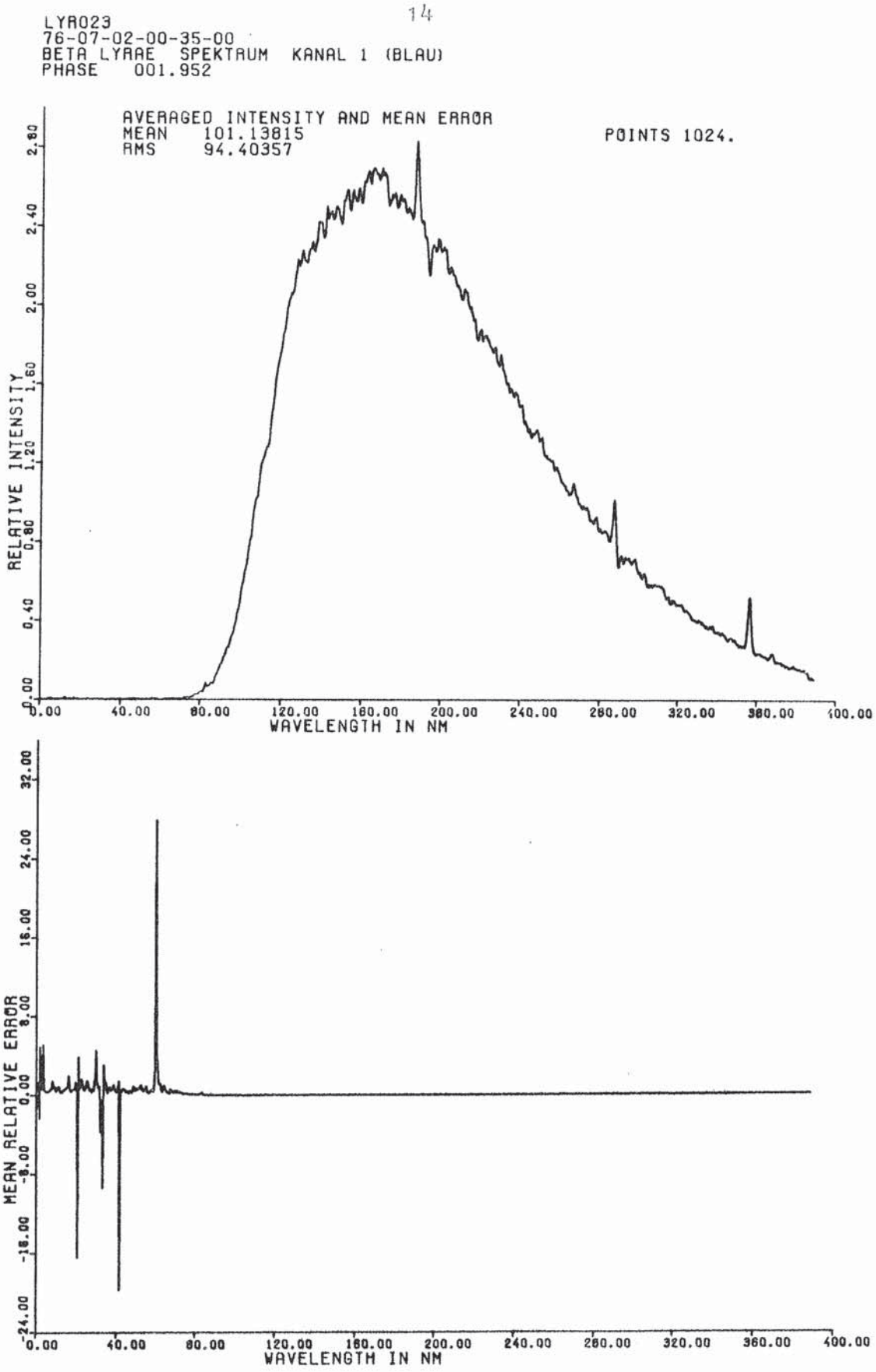


Abb. 7
(Gesamtspektrum Beta Lyrae mit Fehlerkurve - zu Abb.6)

Mit diesen Spektren wurden Farbtemperaturen von Beta Lyrae in den verschiedenen Phasen bestimmt. Als Vergleichsterne dabei dienten Alpha und Gamma Lyrae. Die Wahl von Gamma Lyrae wurde durch die etwa gleiche visuelle Helligkeit ($m_v = 3.25$), den ähnlichen Spektraltyp (B9 III) und die relative Nähe (scheinbarer Abstand 2.3 Grad) begründet. Um die Reduktion der gemessenen Spektren möglichst einfach zu gestalten, ist ein kleiner Abstand der zu vergleichenden Sterne am Himmel notwendig. Da auch in weiterem Abstand von Beta Lyrae kein geeigneterer Stern zu finden ist, wurde Gamma Lyrae als Vergleichstern gewählt, obwohl er (nur) in [28] als "var?" gekennzeichnet ist.
Um einen absoluten Anschluss, d. h. einen Vergleich mit einem absolut gemessenen Stern zu ermöglichen, wurde in drei Nächten zusätzlich Alpha Lyrae mit in die Messungen einbezogen. Glücklicherweise erfüllt auch Alpha Lyrae fast die gestellten Bedingungen (Spektraltyp Ao V, scheinb. Abstand 8.2 Grad). Lediglich die Helligkeit ist um einen Faktor 2o grösser. Für die Eichung wurde deshalb eine Lochblende mit o.o3 der Objektivfläche vor dem Objektiv befestigt um das Licht auf eine vergleichbare Helligkeit abzuschwächen.
(Zur Ähnlichkeit des Spektraltyps: Trotz annähernd gleichem Spektraltyp sind die Unterschiede im Einzelnen zwischen Alpha und Gamma Lyrae einerseits und Beta Lyrae andererseits sehr gross, wie man aus den im Anhang abgebildeten Spektren sofort sieht.)

Temperaturbestimmung:
Die Farbtemperatur eines Sterns ist definiert als diejenige Temperatur T_F, mit der sich die bei zwei Wellenlängen λ_1 und λ_2 beobachtete Intensitätsverteilung der Strahlung des Sterns mit Hilfe der Planck'schen Strahlungsformel

$$B_\lambda(T)\cdot C' = \frac{2hc^2}{\lambda^5}\left(e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1\right)^{-1}\cdot C' =: f(\lambda) \qquad (1)$$

darstellen lässt. Dabei ist vorausgesetzt, dass Sterne angenähert als Schwarze Strahler betrachtet werden können.
Ist $f(\lambda)$ die absolute Strahlungsverteilung eines Sterns, so beobachtet man mit einem Beobachtungsinstrument an der Erdoberfläche die Intensität

$$I(\lambda) = f(\lambda)\cdot a(\lambda)\cdot \varepsilon(\lambda,t) \quad . \qquad (2)$$

$a(\lambda)$ wird verursacht durch die interstellare Extinktion, $\varepsilon(\lambda,t)$ ist ein Faktor der durch die instrumentellen Bedingungen und durch die atmosphärischen Einflüsse bestimmt ist.
Kennt man die absolute Energieverteilung der Strahlung eines Sterns, so lässt sich aus dem Intensitätsverhältnis der Strahlung bei zwei Wellenlängen λ_1 und λ_2 die Farbtemperatur direkt aus Gleichung (1) durch Iteration berechnen.

$$T_F = \frac{hc}{\lambda_1 k}\left[\ln\left(1 + \frac{f(\lambda_2)}{f(\lambda_1)}\cdot\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^5\left(e^{\frac{hc}{kT\lambda_2}} - 1\right)\right)\right]^{-1} \qquad (3)$$

Zur Berechnung wird eine geschätzte Temperatur T in die rechte Seite der Gleichung (3) eigesetzt und eine bessere Temperatur T_F' berechnet. Diese setzt man dann statt T ein und erhält so nach einigen Wiederholungen die Farbtemperatur T_F die die Gleichung (3) erfüllt.

Die absolute Strahlungsverteilung eines Sterns erhält man durch Vergleich mit einem Eichstern (z.B. Alpha Lyrae).

Gegeben sei $f^{\alpha}(\lambda)\cdot a^{\alpha}(\lambda)$, d.h. die am Ort der Erde empfangene absolute Strahlungsverteilung von Alpha Lyrae.
Sei $f^{\gamma}(\lambda)\cdot a^{\gamma}(\lambda)$ die gesuchte Strahlungsverteilung am Ort der Erde für den Stern Gamma Lyrae.
Der Messung zugänglich ist nach (2)

$$I_o^{\alpha}(\lambda) = f^{\alpha}(\lambda)\cdot a^{\alpha}(\lambda)\cdot \varepsilon_o^{\alpha}(\lambda,t)$$

$$I_o^{\gamma}(\lambda) = f^{\gamma}(\lambda)\cdot a^{\gamma}(\lambda)\cdot \varepsilon_o^{\gamma}(\lambda,t)$$

Unterscheiden sich $\varepsilon_o^{\alpha}(\lambda,t)$ und $\varepsilon_o^{\gamma}(\lambda,t)$ nur um einen konstanten Faktor $b \neq o$ (Blende), so gilt:

$$f^{\gamma}(\lambda)\cdot a^{\gamma}(\lambda) = I_o^{\gamma}(\lambda)\ \frac{f^{\alpha}(\lambda)\cdot a^{\alpha}(\lambda)\cdot b}{I_o^{\alpha}(\lambda)} \quad . \qquad (4)$$

Bei weiteren Messungen (Index n) werden die Intensitäten der Sterne Gamma- und Beta Lyrae unter jeweils gleichen Bedingungen ($\varepsilon_n^{\gamma} = \varepsilon_n^{\beta}$) gemessen.

$$I_n^{\gamma}(\lambda) = f^{\gamma}(\lambda)\cdot a^{\gamma}(\lambda)\cdot \varepsilon_n^{\gamma}(\lambda,t)$$

$$I_n^{\beta}(\lambda) = f^{\beta}(\lambda)\cdot a^{\beta}(\lambda)\cdot \varepsilon_n^{\beta}(\lambda,t)$$

Daraus folgt

$$f_n^{\beta}(\lambda)\cdot a^{\beta}(\lambda) = I_n^{\beta}(\lambda)\cdot \frac{f^{\gamma}(\lambda)\cdot a^{\gamma}(\lambda)}{I_n^{\gamma}(\lambda)} \qquad (5)$$

(4) ÷ (5) ergeben

$$f_n^{\beta}(\lambda) = \frac{I_n^{\beta}(\lambda)}{I_n^{\gamma}(\lambda)}\cdot \frac{I_o^{\gamma}(\lambda)\cdot f^{\alpha}(\lambda)\cdot a^{\alpha}(\lambda)\cdot b}{I_o^{\alpha}(\lambda)\quad a^{\beta}(\lambda)} \qquad (6)$$

Zur Bestimmung der Farbtemperatur von Beta Lyrae aus einer Beobachtung mit Index n wird der Wert $f_n^{\beta}(\lambda)$ aus (6) für zwei Wellenlängen λ_1, λ_2 in (3) eingesetzt.

$$T_{F,n}^{\beta} = \frac{hc}{\lambda_1 k}\left[\ln\left(1 + \frac{I_n^{\beta}(\lambda_2)\ I_n^{\gamma}(\lambda_1)}{I_n^{\gamma}(\lambda_2)\ I_n^{\beta}(\lambda_1)}\cdot \frac{I_o^{\gamma}(\lambda_2)\cdot f^{\alpha}(\lambda_2)\cdot a^{\alpha}(\lambda_2)\cdot b\cdot I_o^{\alpha}(\lambda_1)\cdot a^{\beta}(\lambda_1)}{I_o^{\gamma}(\lambda_1)\cdot f^{\alpha}(\lambda_1)\cdot a^{\alpha}(\lambda_1)\cdot b\cdot I_o^{\alpha}(\lambda_2)\cdot a^{\beta}(\lambda_2)}\ \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^5\left(e^{\frac{hc}{kT\lambda_2}} - 1\right)\right)\right]^{-1} \qquad (7)$$

Der konstante Faktor wird definiert als:

$$A^{\beta} := \frac{I_o^{\gamma}(\lambda_2)\cdot I_o^{\alpha}(\lambda_1)\cdot f^{\alpha}(\lambda_2)\cdot a^{\alpha}(\lambda_2)\cdot a^{\beta}(\lambda_1)}{I_o^{\alpha}(\lambda_2)\cdot I_o^{\gamma}(\lambda_1)\cdot f^{\alpha}(\lambda_1)\cdot a^{\alpha}(\lambda_1)\cdot a^{\beta}(\lambda_2)}$$

Die Bestimmung der Intensitäten bei den verschiedenen Wellenlängen in den gemessenen Spektren wurde wie folgt vorgenommen. Anhand der nicht nur gezeichneten, sondern auch numerisch ausgedruckten Spektren wurde aus der Lage der Linien Hα, Hβ, Hγ und He I der Nullpunkt der Wellenlängenskala des jeweiligen Spektrums bestimmt. Anschliessend wurden für Bereiche von ± 15

Messpunkten um bestimmte Wellenlängen die Mittelwerte der Intensitäten berechnet. Die Bereiche wurden nach den Gesichtspunkten von Linienfreiheit und angenähert linearem Verlauf des Spektrums in diesem Bereich ausgewählt.

Bestimmung der Farbtemperatur von Alpha Lyrae

Da in der Literatur stets nur allgemein die Farbtemperatur für Ao V - Sterne angegeben wird und das auch nur in Spektralbereichen die ausserhalb der bei den Scannermessungen beobachteten liegen, wurde mittels der in [13] veröffentlichten absoluten Intensitäten von Alpha Lyrae die Farbtemperatur nach Gleichung (3) berechnet. Durch Mittelung der Farbtemperaturen von Wellenlängenintervallen verschiedener Länge wurden mittlere Farbtemperaturen für die benötigten Bereichkombinationen erhalten. Sie sind in Tabelle 2 mit den daraus berechneten Intensitätsverhältnissen $f^{\alpha}(\lambda_j) / f^{\alpha}(\lambda_i)$ aufgeführt.

Tabelle 2
Farbtemperaturen von Alpha Lyrae

Bereichkombination B_i / B_j	Mittlere Wellenlänge [nm]	Farbtemperatur [K]	$\frac{f^{\alpha}(\lambda_j)}{f^{\alpha}(\lambda_i)}$
B1 / B2	442.5	17700	0.7511
B1 / B3	465.0	17500	0.5740
B1 / B4	485.0	17500	0.4566
B1 / B5	512.5	17700	0.3374
B1 / B6	525.0	17900	0.2948
B1 / B7	545.0	17900	0.2412
B2 / B3	487.5	17500	0.7630
B2 / B4	507.5	17600	0.6063
B2 / B5	535.0	17900	0.4477
B2 / B6	547.5	17900	0.3931
B2 / B7	567.5	17600	0.3238
B3 / B4	530.0	17900	0.7940
B3 / B5	557.5	17800	0.5889
B3 / B6	570.0	17500	0.5191
B3 / B7	590.0	16800	0.4303
B4 / B5	577.5	17200	0.7438
B4 / B6	590.0	16800	0.6563
B4 / B7	610.0	16300	0.5423
B5 / B6	617.5	16200	0.8815
B5 / B7	637.5	15700	0.7279
B6 / B7	650.0	15300	0.8259
R1 / R2	577.5	17200	0.7049
R1 / R3	612.5	16300	0.5032
R2 / R3	645.0	15400	0.7137

Berechnung der Farbtemperatur von Gamma Lyrae

Aus Gleichung (3) in Verbindung mit Gleichung (4) lässt sich die Farbtemperatur von Gamma Lyrae berechnen, wenn das Verhältnis $a^{\alpha}(\lambda) / a^{\gamma}(\lambda)$ der interstellaren Extinktion bekannt ist. Dieses Verhältnis wurde mit den Werten der interstellaren Extinktion berechnet, die in [1o] für die Cygnus-Region angegeben sind. Obwohl Alpha , Beta und Gamma Lyrae nicht mehr genau in der Galaktischen Ebene liegen, wurde in Ermangelung eines besseren Wertes der Wert für die benachbarte Cygnus-Region als gültig angenommen. Die zur Berechnung von $a^{\gamma}(\lambda)$ notwendige Entfernung von Gamma Lyrae musste, da keine Literaturwerte vorliegen, aus dem Farbexzess abgeleitet werden.
Berechnet man für Gamma Lyrae aus dem Farbexzess $E_{B-V} = + o.o26$ die Absorption im visuellen Spektralbereich nach [1o] mit

$$A_V = 3.2\ E_{B-V} \tag{8}$$

so ergibt sich

$$A_V = o.^{m}o8 \quad .$$

Damit und mit einer absoluten Helligkeit für B9 III - Sterne von $M_V = -o.^{m}4$, ergibt sich aus dem Entfernungsmodul

$$m_V - M_V - A_V = -5+5\log r \tag{9}$$

die Entfernung von Gamma Lyrae zu

$$r_{\gamma} = 51.7\ pc \quad .$$

Für Alpha Lyrae wurde der Wert

$$r_{\alpha} = 8.13\ pc$$

nach [16, S. 69] angenommen.
Damit lässt sich nun für Gamma Lyrae die Farbtemperatur

$$T_F^{\gamma} = \frac{hc}{\lambda_1 k}\left[\ln\left(1+\frac{I_o^{\gamma}(\lambda_2)\,f^{\alpha}(\lambda_2)\,a^{\alpha}(\lambda_1)\cdot bI_o^{\alpha}(\lambda_1)\,a^{\gamma}(\lambda_1)}{I_o^{\gamma}(\lambda_1)\,f^{\alpha}(\lambda_1)\,a^{\alpha}(\lambda_1)\,bI_o^{\alpha}(\lambda_2)\,a^{\gamma}(\lambda_2)}\cdot\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^5\cdot\left(e^{\frac{hc}{kT\lambda_2}}-1\right)\right)\right]^{-1} \tag{7a}$$

$$A^{\gamma} := \frac{I_o^{\gamma}(\lambda_2)\cdot I_o^{\alpha}(\lambda_1)\cdot f^{\alpha}(\lambda_2)\cdot a^{\alpha}(\lambda_2)\cdot a^{\gamma}(\lambda_1)}{I_o^{\gamma}(\lambda_1)\cdot I_o^{\alpha}(\lambda_2)\cdot f^{\alpha}(\lambda_1)\cdot a^{\alpha}(\lambda_1)\cdot a^{\gamma}(\lambda_2)}$$

bestimmen.

Die für Gleichung (7a) notwendigen Intensitäten $I_o^{\gamma}(\lambda)$ und $I_o^{\alpha}(\lambda)$ wurden aus den Messungen LYRo4o/LYRo41 , LYRo68 und LYRo72/LYRo73 bestimmt. Die Messung LYRo68, bei der zwischen den Messungen von Alpha und Gamma Lyrae nur ein Zenitdistanzunterschied von 1 Grad bestand, konnte unverändert verwendet werden. Die beiden Messreihen LYRo4o/LYRo41 und LYRo72/LYRo73 waren nur bedingt brauchbar. Bei LYRo4o/LYRo41 war der Fokus des Fernrohres verstellt und ebenso wie bei LYRo72/LYRo73 war die Differenz in der Zenitdistanz zwischen den jeweiligen Messungen mit ~1o Grad schon so gross, dass der Einfluss der atmosphärischen Extinktion nicht

mehr vernachlässigbar war. Da die Extinktionskoeffizienten der jeweiligen Nacht nicht bekannt waren, wurden mittlere Koeffizienten verwendet die sich aus [18] und den Messungen von M. Gottwald ergaben. Die mit den so reduzierten Intensitäten berechneten Farbtemperaturen von Gamma Lyrae streuten sehr stark, so dass, wie bei der Berechnung der Temperatur von Alpha Lyrae, auch hier ein mittlerer Verlauf der Farbtemperaturkurve über den verwendeten Wellenlängenbereich ermittelt wurde. Die Streuung der Werte hat verschiedene Ursachen. Bei Berechnung der Temperatur aus Bereichen die nahe beieinander liegen (Bereichnummerunterschied 1 oder 2), wirkt sich die Ungenauigkeit der $I_o(\lambda)$ stark aus; bei Bereichkombinationen mit zu grossem Abstand wird die Abweichung der Sternstrahlung vom Schwarzen Körper merklich. Unter diesen Gesichtspunkten wurde eine mittlere Farbtemperaturkurve für Gamma Lyrae abgeleitet. Diese Temperaturen sind in Tabelle 3 mit den daraus abgeleiteten A^{δ} und A^{β} aufgeführt. Alle Berechnungen der Farbtemperatur von Beta Lyrae sind mit diesen Werten ausgeführt.

Tabelle 3
(Farbtemperatur Gamma Lyrae, A^{δ}, A^{β})

Bereichkombination B_i/B_j	T_F^{δ} [K]	A^{δ}	A^{β}
B1/B2	15900 ± 5100	0.764 ± 0.029	0.711 ± 0.030
B1/B3	17300 ± 5800	0.576 ± 0.037	0.495 ± 0.040
B1/B4	18100 ± 5700	0.451 ± 0.035	0.360 ± 0.040
B1/B5	18100 ± 4800	0.334 ± 0.029	0.239 ± 0.030
B1/B6	17900 ± 4300	0.295 ± 0.024	0.204 ± 0.025
B1/B7	17500 ± 3500	0.244 ± 0.021	0.162 ± 0.020
B2/B3	18200 ± 5800	0.760 ± 0.020	0.702 ± 0.020
B2/B4	18200 ± 5100	0.602 ± 0.024	0.522 ± 0.025
B2/B5	17700 ± 3900	0.449 ± 0.023	0.345 ± 0.025
B2/B6	17500 ± 3500	0.396 ± 0.021	0.295 ± 0.020
B2/B7	16900 ± 3300	0.330 ± 0.021	0.282 ± 0.020
B3/B4	17800 ± 4100	0.794 ± 0.012	0.744 ± 0.015
B3/B5	17200 ± 3300	0.593 ± 0.017	0.493 ± 0.020
B3/B6	16900 ± 3300	0.523 ± 0.019	0.422 ± 0.020
B3/B7	15800 ± 4100	0.438 ± 0.027	0.338 ± 0.030
B4/B5	16500 ± 3600	0.747 ± 0.014	0.663 ± 0.015
B4/B6	15800 ± 4100	0.662 ± 0.020	0.569 ± 0.020
B4/B7	14700 ± 5000	0.555 ± 0.031	0.457 ± 0.030
B5/B6	14200 ± 5400	0.887 ± 0.012	0.860 ± 0.015
B5/B7	12900 ± 6300	0.745 ± 0.031	0.692 ± 0.030
B6/B7	12100 ± 7000	0.841 ± 0.025	0.805 ± 0.030
R1/R2	19500 ± 4300	0.695 ± 0.012	0.617 ± 0.015
R1/R3	14100 ± 4500	0.522 ± 0.033	0.429 ± 0.035
R2/R3	15300 ± 4800	0.714 ± 0.019	0.661 ± 0.020

Bestimmung der Farbtemperatur von Beta Lyrae

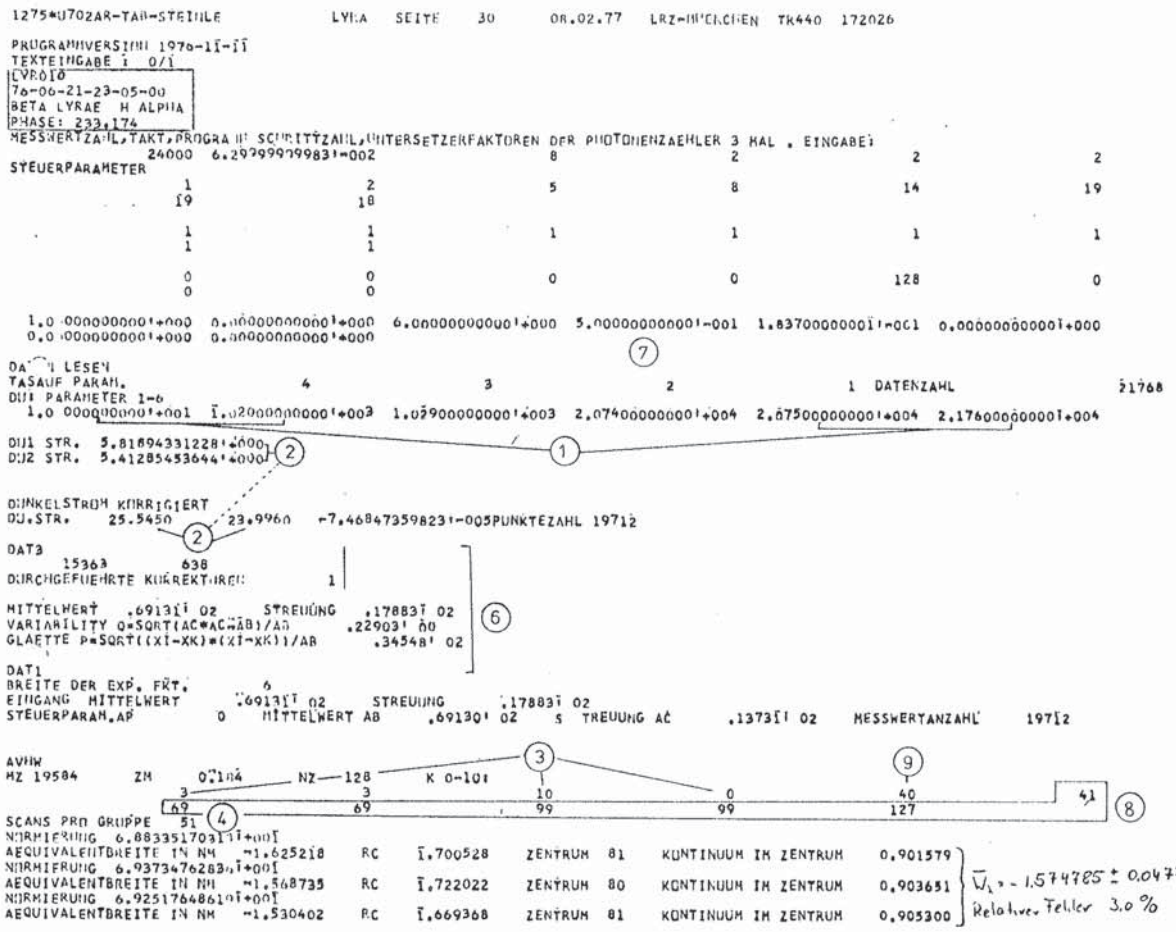
Das zu Berechnung der Farbtemperatur von Beta Lyrae nach Gleichung (7) notwendige Verhältnis $a^{\alpha}(\lambda) / a^{\beta}(\lambda)$ wurde ebenfalls mit den Werten der interstellaren Extinktion berechnet, die in [1o] für die Cygnus-Region angegeben sind. Die Entfernung von Beta Lyrae beträgt nach [1] 26o pc. Die daraus und aus den Werten von A^{δ} berechneten Werte A^{β}, sind in der Tabelle 3 auf Seite 19 aufgeführt.
Die zu Gültigkeit der Gleichung (5) notwendige Bedingung $\varepsilon^{\alpha}_{n} = \varepsilon^{\beta}_{n}$ wurde dadurch erfüllt, dass die Beobachtung des Spektrums von Beta Lyrae stets unmittelbar auf Beobachtungen des Spektrums von Gamma Lyrae folgten. Der maximale Zeitunterschied betrug 2o Minuten. Dadurch wurde erreicht, dass fast in der gleichen Richtung mit nahezu gleicher Zenitdistanz gemessen wurde. (Für eine mittlere Zenitdistanz von 35 Grad und einen mittleren Zenitdistanzunterschied von 4 Grad, ergibt sich bei ungünstigstem Extinktionskoeffizienten und ungünstigster Bereichkombination ein Unterschied von etwa 1% in ε.) Der Einfluss der atmosphärischen Extinktion war daher stets vernachlässigbar klein und es gilt

$$\varepsilon^{\alpha}_{n} \approx \varepsilon^{\beta}_{n} \quad .$$

Die Auswerteprotokolle für die Spektren und die berechneten Temperaturen sind im Anhang mit den dazugehörigen Spektren abgebildet.

3.2.2 Auswertung der Linienmessungen - Äquivalentbreitenbestimmung

Ein Linienscan in einer Richtung besteht aus 128 Messpunkten und dauert etwa 8 Sekunden. Einem Messpunkt entspricht ein Bereich von ca. o.18 nm.
Bis auf wenige Ausnahmen wurden die Linienscans stets unkorreliert überlagert, da eine Korrelation, wie die Erfahrung zeigte, nicht nötig war. Da während einer Messung bis zu 16o Linienscans erhalten wurden, erfolgte eine Aufteilung in drei Gruppen, sodass etwa alle 5 Minuten die Äquivalentbreite als der Mittelwert über diese Zeit bestimmt wurde.
Das für die Berechnung der Äquivalentbreiten vorhandene Programm von R. Schoembs konnte unverändert nur für die Bestimmung der Äquivalentbreite W_{λ} von Hα angewendet werden. Dieses Programm berechnet W_{λ} auf drei verschiedene Arten, von denen jedoch nur eine verwendet wurde, die nun kurz beschrieben wird.
Zuerst wird aus drei einzugebenden Messpunkten (Kontinuumsanfang vor der Linie KA - Kontinuumsende vor der Linie = Linienanfang LA - Linienende LE) die Differenz LA - KA berechnet und am Ende der Linie ein zweiter Kontinuumsbereich definiert: LE bis LE + (LA - KA). Aus diesen beiden Kontinuumsbereichen wird das Kontinuum in der Linie durch Interpolation berechnet, um die Bestimmung der Fläche zwischen Linie und Kontinuum zu ermöglichen. Die Breite einer gleich grossen Fläache mit Höhe des Kontinuums im Linienzentrum ist als Äquivalentbreite W_{λ} definiert.
Als Beispiel für eine Äquivalentbreitenberechnung ist in den Abbildungen 8 und 9 auf den Seiten 21 und 22 das Protokoll und die Zeichnung einer Linie wiedergegeben.



1: Hintergrundsbereiche
2: Dunkelstrom und Dunkelstromstreuung;
3: Gruppenzahl - Referenzscan - maximaler Verschiebungsbereich;
4: Scans pro Gruppe;
5: -
6: Fehlerkorrektur;
7: Glättung - Breite;
8: Kontinuumsbereiche, Liniengrenzen (mod. Programm);
9: Schranke für Linienerkennung;

Abb. 8
(Rechnerprotokoll als Beispiel für Äquivalentbreitenberechnung)
(Vergl. 3.2 Seite 12)

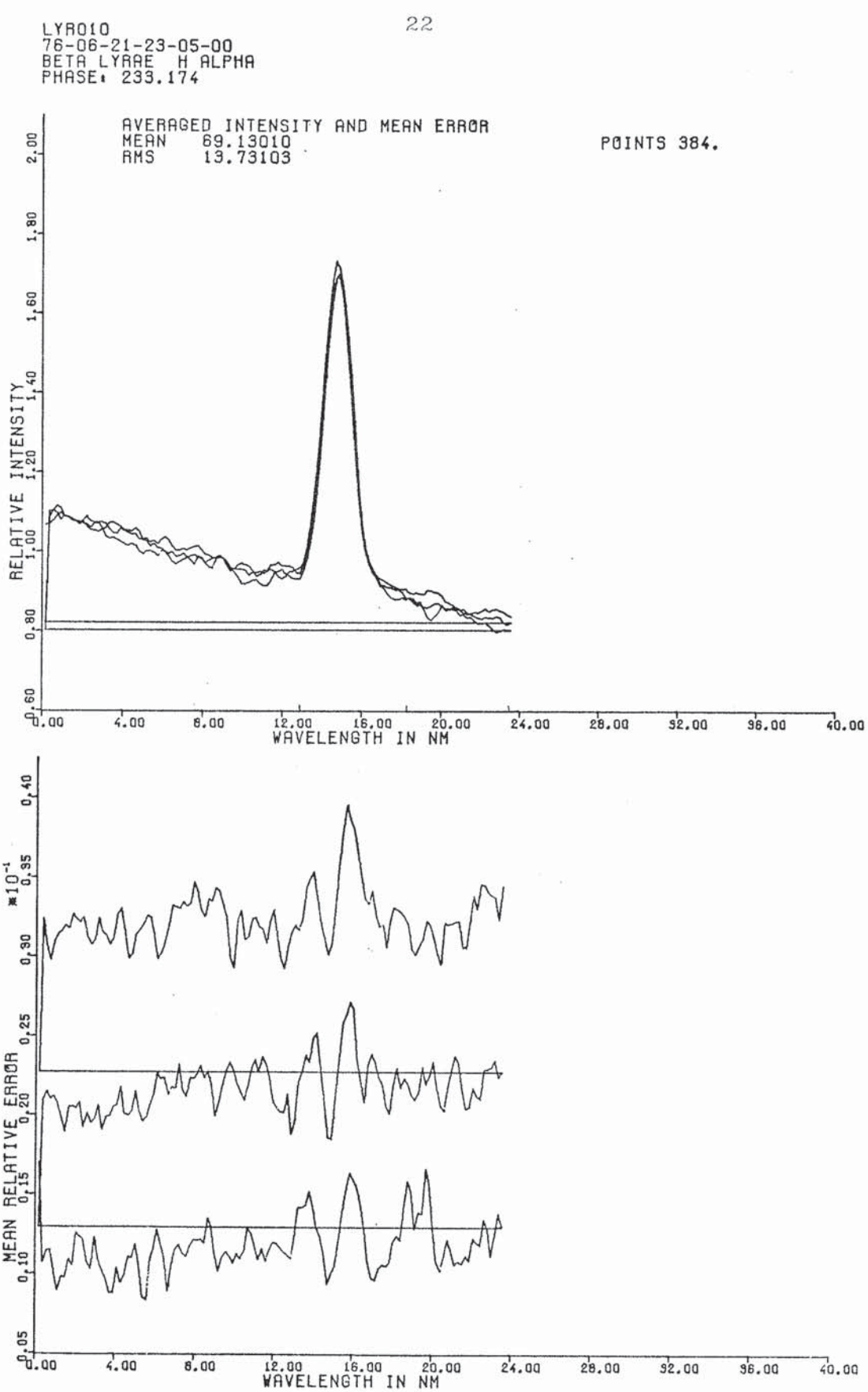


Abb. 9
(Zeichnung zum Rechnerprotokoll Abb. 8 Seite 21 mit den sonst weggelassenen Fehlerkurven)

Wie schon angedeutet konnte die oben beschriebene Berechnung von W_λ nur im Fall von Hα erfolgen, da in dem benötigten Bereich um Hα sonst keine Linien auftraten und so das Kontinuum problemlos zu berechnen war. (Vgl. Abb. 1o)

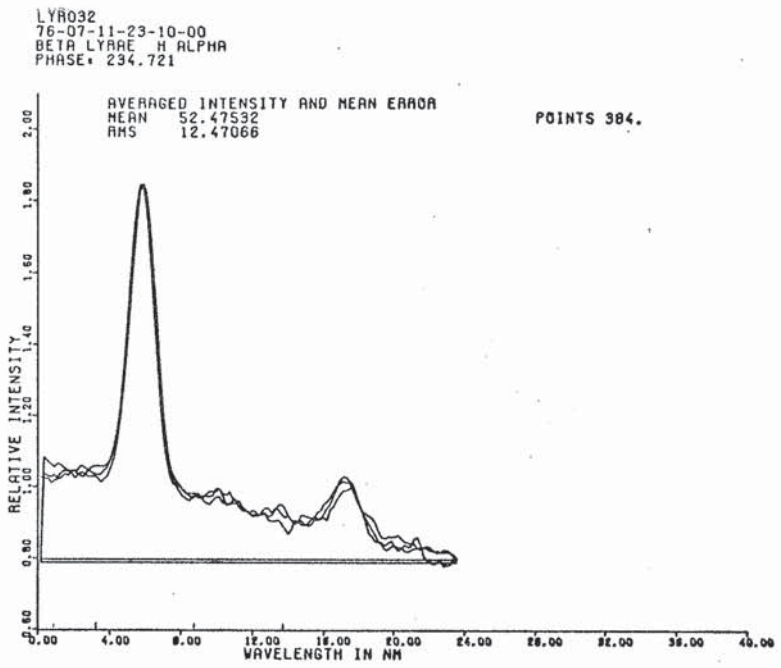


Abb. 1o

In den Fällen der beiden anderen Linien He I und Hβ jedoch war es nicht möglich die Kontinuumsbereiche direkt an die Linie angrenzen zu lassen. Bei He I z.B. war die starke, durch die interstellaren Na I - D Linien (589.o nm und 589.6 nm) verursachte Absorption, zu berücksichtigen. (Vgl. Abb. 11)

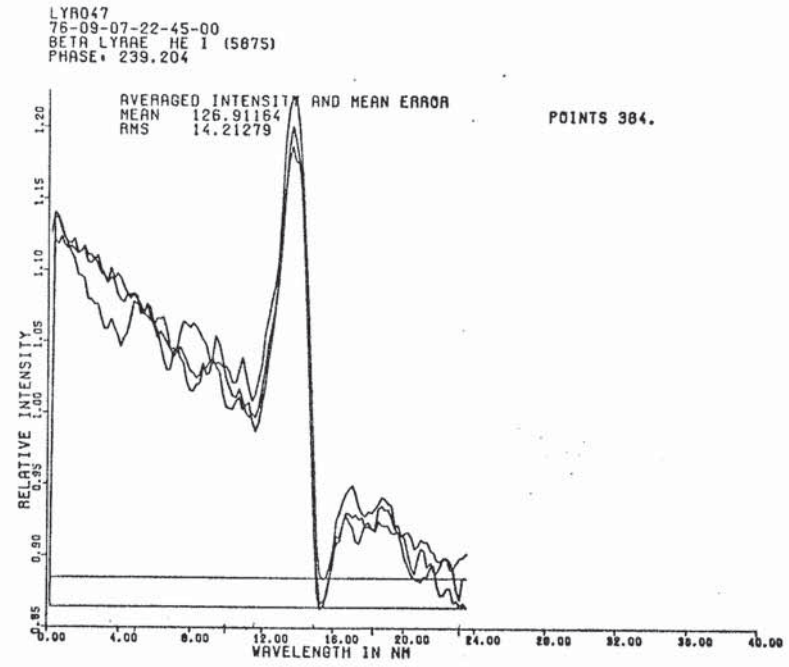


Abb. 11

Bei Hß sollten die wechselnd auftretenden Absorptions- und Emissionslinien, die sehr komplex waren, für jede Messung einzeln berücksichtigt werden. Da hier immer wieder an verschiedenen Stellen Linien auftraten (vgl. z.B. Abb. 12 und 13), wurde

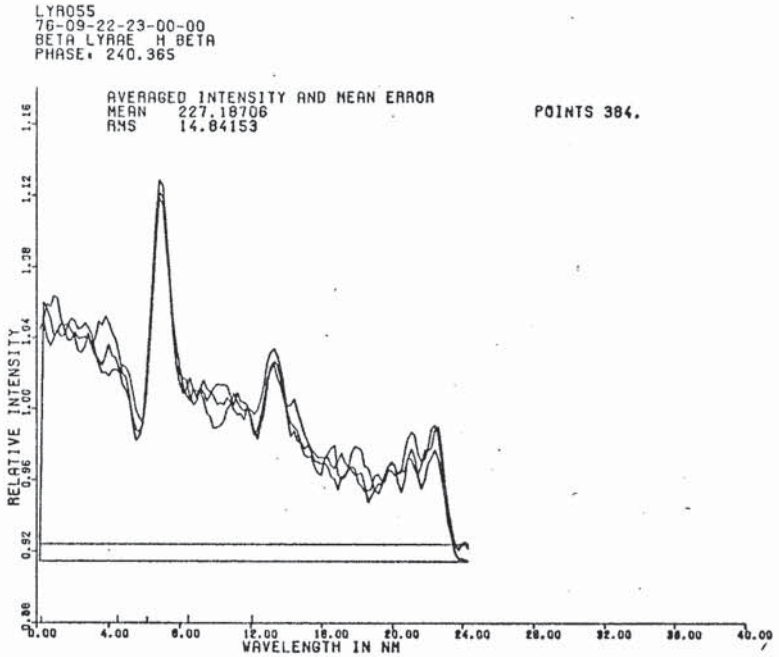


Abb. 12

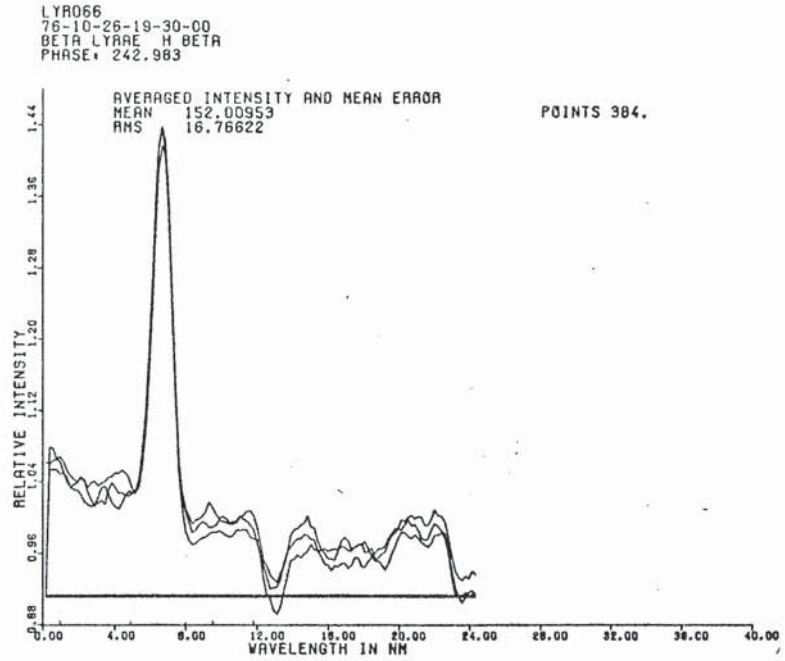


Abb. 13

über eine Statistik der auftretenden Linien (Abb. 14 Seite 25) und an Hand photographischer Spektren versucht, Bereiche mit ungestörtem Kontinuum zu finden. In der Literatur waren keine

Abbildungen des Bereichs um Hβ zu finden und so musste auf Spektren zurückgegriffen werden, die vor einiger Zeit an der Sternwarte Bonn (Hoher List) aufgenommen worden waren. Ausserdem wurden freundlicherweise von M. Hack die zu der Arbeit [4] verwendeten Registrierkurven der entsprechenden Spektren zur Verfügung gestellt. Zusätzlich konnten auch noch Kontaktabzüge der obigen Spektren erhalten werden.

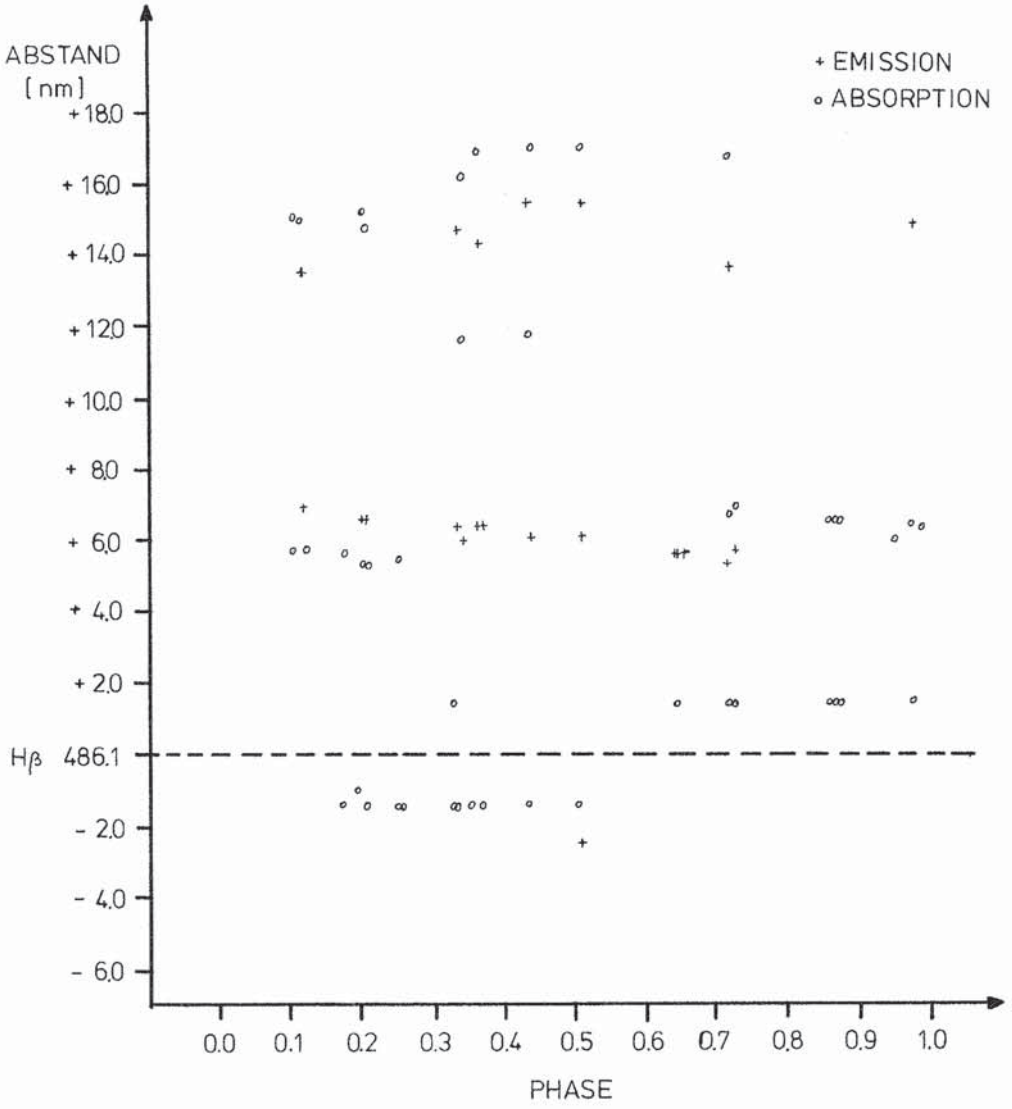


Abb. 14
(Statistik der um Hβ auftretenden Emissions- und Absorptionslinien)

Um nun die Wahl der Kontinuumsbereiche zu ermöglichen, wurde das Programm so verändert, dass die Kontinuumsbereiche unabhängig von den Liniengrenzen gewählt werden können. Damit wurden dann die Äquivalentbreiten von Hβ und He I bestimmt.

3.3 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Messergebnisse aufgeführt und beschrieben, aber noch nicht diskutiert, was erst in Abschnitt 5 geschieht.

3.3.1 Liste der berechneten Äquivalentbreiten und Farbtemperaturen

Die Spalten der Tabelle 4 haben von links nach rechts folgende Bedeutung:

1: Kennzeichen der Messung
2: Julianisches Datum mit Tagesbruchteilen für Beobachtungsmitte
3: Epoche
4: Ausgewertete Linie oder Kanal
5: Mittelwert der Äquivalentbreiten der Gruppen einer Messung in Nanometer und mittlerer Fehler
oder
"mittlere" Temperatur in Kelvin für die Wellenlängenbereiche 420 nm bis 630 nm (Kanal 1 - blau) bzw. 545 nm bis 680 nm (Kanal 2 - rot) und mittlerer Fehler
6: relativer Fehler in %

Tabelle 4

Kennz.	Julianisches Datum	Epoche	Linie/ Kanal	Äquiv.-Breite/ Temperatur	relat. Fehler
LYR001	2442939.441	00.247	Kanal 1		
			Kanal 2		
LYR002	939.503	00.252	Hα	-1.4565 ±0.0151	1.0
			Hβ	-	-
LYR003	944.510	00.639	Kanal 1		
			Kanal 2		
LYR004	944.563	00.643	Hα	-1.8213 ±0.0233	1.3
			Hβ	-	-
LYR005	947.417	00.864	Kanal 1		
			Kanal 2		
LYR006	947.458	00.867	Hα	-1.6675 ±0.0377	2.3
			Hβ	-0.1350 ±0.0215	15.9
LYR007	947.486	00.869	Hα	-1.7087 ±0.0089	0.5
			Hβ	-0.1468 ±0.0098	6.7
LYR008	947.510	00.871	Kanal 1		
			Kanal 2		
LYR009	951.410	01.172	Kanal 1		
			Kanal 2		
LYR010	951.431	01.174	Hα	-1.5748 ±0.0477	3.0
			Hβ	-0.1302 ±0.0031	2.4
LYR011	952.490	01.256	Kanal 1		
			Kanal 2		
LYR012	952.514	01.258	Hα	-1.4565 ±0.0179	1.2
			Hβ	-0.0999 ±0.0037	3.7
LYR013	952.538	01.260	Kanal 1		
			Kanal 2		

Tabelle 4 Forts.

Kennz.	Julianisches Datum	Epoche	Linie/ Kanal	Äquiv.-Breite/ Temperatur	relat. Fehler
LYRo14	2442952.563	o1.262	Hα	-1.4148 ±o.o46o	3.7
			Hβ	-o.o935 ±o.oo78	8.4
LYRo15	957.469	o1.641	Kanal 1		
			Kanal 2		
LYRo16	957.521	o1.645	Hα	-1.6321 ±o.o393	2.4
			Hβ	-o.1634 ±o.o143	8.7
LYRo17	957.542	o1.647	Kanal 1		
			Kanal 2		
LYRo18	957.562	o1.648	Hα	-1.6675 ±o.oo91	o.5
			Hβ	-o.1586 ±o.oo35	2.2
LYRo19	96o.375	o1.866	Kanal 1	19ooo ± 67oo	35.3
			Kanal 2	161oo ± 43oo	26.7
LYRo2o	96o.4o3	o1.868	Hα	-1.5363 ±o.o242	1.6
			Hβ	-o.o881 ±o.oo77	8.7
LYRo21	96o.51o	o1.876	Kanal 1	287oo ± 115oo	4o.1
			Kanal 2	197oo ± 55oo	27.9
LYRo22	96o.531	o1.877	Hα	-1.5941 ±o.o532	3.3
			Hβ	-o.o982 ±o.oo41	4.2
LYRo23	961.5oo	o1.953	Kanal 1	272oo ± 7ooo	25.7
			Kanal 2	186oo ± 53oo	28.5
LYRo24	961.549	o1.956	Hα	-2.6128 ±o.o8o5	3.1
			Hβ	-o.2962 ±o.oo86	2.9
LYRo25	966.389	o2.331	Kanal 1	249oo ± 118oo	47.4
			Kanal 2	359oo ± 1o4oo	29.o
LYRo26	966.42o	o2.333	Hα	-1.555o ±o.o538	3.5
			Hβ	-o.13o2 ±o.oo55	4.2
LYRo27	966.444	o2.335	He I	-o.4855 ±o.o136	2.8
			He I +A	-o.3957 ±o.o394	9.9
LYRo28	966.486	o2.338	Kanal 1	187oo ± 72oo	38.5
			Kanal 2	118oo ± 25oo	21.2
LYRo29	966.521	o2.341	Hα	-1.4729 ±o.o254	1.7
			Hβ	-o.1286 ±o.oo51	4.o
LYRo3o	966.549	o2.343	He I	-o.5116 ±o.o277	5.4
			He I +A	-o.4292 ±o.o246	5.7
LYRo31	971.41o	o2.719	Kanal 1	337oo ± 88oo	26.1
			Kanal 2	291oo ± 86oo	29.6
LYRo32	971.434	o2.721	Hα	-1.4818 ±o.o236	1.6
			Hβ	-o.1293 ±o.oo28	2.2
LYRo33	971.458	o2.723	He I	-o.5571 ±o.o175	3.1
			He I +A	-o.4896 ±o.o2o1	4.1
LYRo34	971.5oo	o2.726	Kanal 1	216oo ± 123oo	56.9
			Kanal 2	156oo ± 43oo	27.6
LYRo35	971.521	o2.727	Hα	-1.5194 ±o.o252	1.7
			Hβ	-o.1259 ±o.oo99	7.9
LYRo36	971.542	o2.729	He I	-o.5656 ±o.o137	3.o
			He I +A	-o.4366 ±o.o352	8.1
LYRo37	976.385	o3.1o4	Kanal 1	325oo ± 1o1oo	31.1
			Kanal 2	245oo ± 2o1oo	82.o
LYRo38	976.41o	o3.1o6	Hα	-1.7648 ±o.o1o2	o.6
			Hβ	-o.1335 ±o.o1o9	8.1
LYRo39	976.437	o3.1o8	He I	-o.4155 ±o.o155	3.7
			He I +A	-o.1669 ±o.o185	11.1
LYRo41	976.531	o3.115	Kanal 1	198oo ± 71oo	35.9
			Kanal 2	193oo ± 1o7oo	55.4

Tabelle 4 Forts.

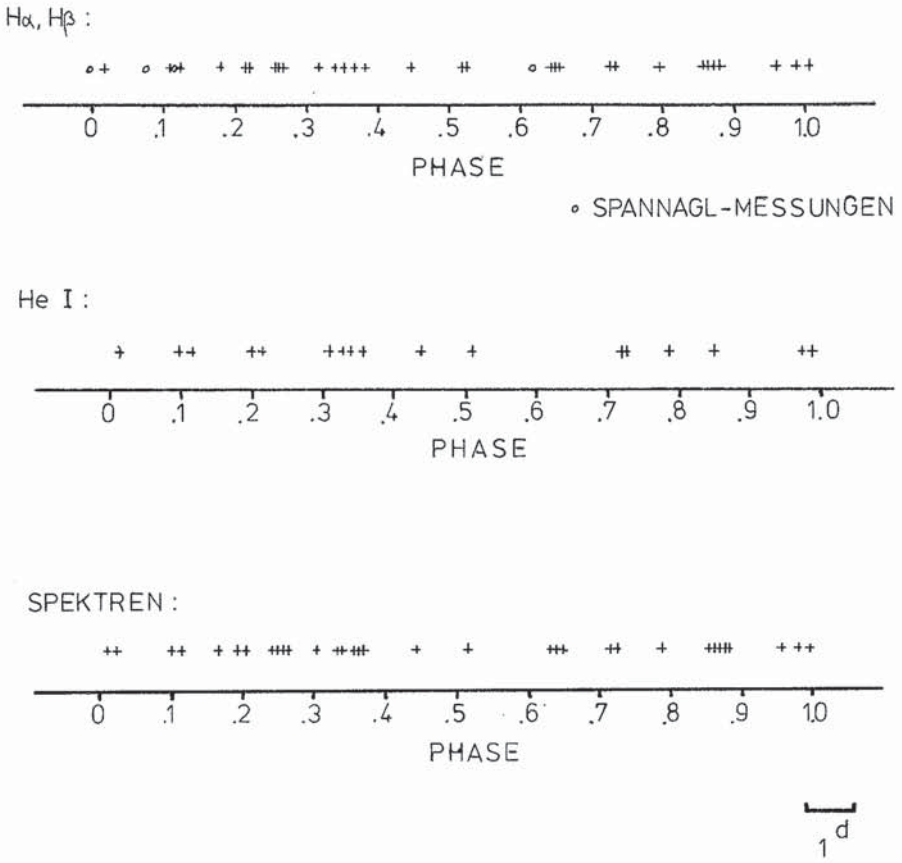
Kennz.	Julianisches Datum	Epoche	Linie/ Kanal	Äquiv.-Breite/ Temperatur	relat. Fehler
LYRo42	2442976.552	o3.117	Hα	-1.6576 ±o.o283	1.7
			Hβ	-o.1144 ±o.oo67	5.9
LYRo43	976.576	o3.118	He I	-o.4125 ±o.o23o	5.6
			He I +A	-o.1665 ±o.o478	28.7
LYRo44	978.459	o3.264	Kanal 1	43ooo ± 13ooo	32.o
			Kanal 2	26ioo ± 11ooo	44.1
LYRo45	2443o29.368	o7.2oo	Kanal 1	-	-
			Kanal 2	-	-
LYRo46	o29.392	o7.2o2	Hα	-1.4291 ±o.o4o2	2.8
			Hβ	-o.o888 ±o.oo32	3.6
LYRo47	o29.417	o7.2o4	He I	-o.3772 ±o.o269	7.1
			He I +A	-o.2542 ±o.o4o2	15.8
LYRo48	o29.451	o7.2o7	Kanal 1	5o3oo ± 176oo	35.o
			Kanal 2	226oo ± 5oo	2.2
LYRo49	o29.479	o7.2o9	Hα	-1.6451 ±o.o4o7	2.5
			Hβ	-o.o93o ±o.o125	13.4
LYRo5o	o29.524	o7.213	He I	-o.4o69 ±o.oo94	2.8
			He I +A	-o.3957 ±o.o394	9.9
LYRo51	o44.319	o8.357	Kanal 1	223oo ± 65oo	29.1
			Kanal 2	226oo ± 114oo	5o.4
LYRo54	o44.4o6	o8.363	Kanal 1	251oo ± 9ooo	35.9
			Kanal 2	245oo ± 48oo	19.6
LYRo55	o44.427	o8.365	Hα	-1.2665 ±o.o655	5.2
			Hβ	-o.o958 ±o.o14o	14.6
LYRo56	o44.448	o8.366	He I	-o.458 ±o.o66	1.4
			He I +A	-o.3278 ±o.o356	1o.9
LYRo57	o44.49o	o8.37o	Kanal 1	162oo ± 46oo	28.4
			Kanal 2	139oo ± 79oo	56.8
LYRo58	o44.51o	o8.371	Hα	-1.3188	2.o
			Hβ	-o.o828	2.o
LYRo59	o45.389	o8.439	Kanal 1	199oo ± 1o2oo	51.3
			Kanal 2	149oo ± 48oo	32.2
LYRo6o	o45.413	o8.441	Hα	-1.6887 ±o.o696	4.1
			Hβ	-o.1385 ±o.o129	9.3
LYRo61	o45.434	o8.443	He I	-o.6446 ±o.o552	8.6
			He I +A	-o.5223 ±o.o255	4.9
LYRo62	o46.347	o8.513	Kanal 1	3o3oo ± 122oo	4o.3
			Kanal 2	129oo ± 94oo	72.9
LYRo63	o46.365	o8.515	Hα	-1.76o2 ±o.o228	1.3
			Hβ	-o.1629 ±o.oo29	5.7
LYRo64	o46.385	o8.516	He I	-o.7167 ±o.oo52	o.7
			He I +A	-o.6912 ±o.oo85	1.2
LYRo65	o78.26o	1o.981	Kanal 1	193oo ± 127oo	65.8
			Kanal 2	8ooo ± 12oo	15.o
LYRo66	o78.281	1o.983	Hα	-3.4799 ±o.o6o8	1.7
			Hβ	-o.5281 ±o.oo92	1.7
LYRo67	o78.3o2	1o.984	He I	-1.11o1 ±o.o391	3.5
			He I +A	-o.8481 ±o.o313	3.5
LYRo69	o78.4o3	1o.992	Kanal 1	112oo ± 21oo	18.8
			Kanal 2	168oo ± 93oo	55.4
LYRo7o	o78.424	1o.994	Hα	-3.5259 ±o.1859	5.2
			Hβ	-o.6377 ±o.o422	6.6
LYRo71	o78.444	1o.995	He I	-1.118o ±o.o9o7	8.1
			He I +A	-o.7922 ±o.1218	15.4

Tabelle 4 Forts.

Kennz.	Julianisches Datum	Epoche	Linie/ Kanal	Äquiv.-Breite/ Temperatur	relat. Fehler
LYRo75	2443289.396	27.3o8	Kanal 1	-	-
			Kanal 2	8ooo ± 49oo	61.3
LYRo76	289.434	27.31o	Hα	-1.25o4 ±o.1o25	8.2
			Hβ	-o.1445 ±o.oo31	2.1
LYRo77	289.455	27.311	He I	-o.3391 ±o.o438	12.9
			He I +A	-o.2797 ±o.o289	1o.4
LYRo78	296.479	27.854	Kanal 1	-	-
			Kanal 2	-	-
LYRo79	296.493	27.856	Hα	-1.371o ±o.o419	3.1
			Hβ	-o.o894 ±o.oo85	9.5
LYRo8o	296.514	27.857	He I	-o.4o17 ±o.o362	9.o
			He I +A	-o.2859 ±o.o628	21.9
LYRo81	24433o7.392	31.o18	Kanal 1	293oo ± 8ooo	27.3
			Kanal 2	113oo ± 18oo	15.9
LYRo82	3o7.4o6	31.o19	Hα	-3.7343 ±o.o334	o.9
			Hβ	-o.5523 ±o.o137	2.5
LYRo83	3o7.431	31.o21	He I	-1.o316 ±o.o167	1.6
			He I +A	-o.9181	o.7
LYRo84	3o7.462	31.o23	Kanal 1	272oo ± 47oo	17.3
			Kanal 2	195oo ± 64oo	32.8
LYRo85	317.396	31.791	Kanal 1	182oo ± 8ooo	44.o
			Kanal 2	153oo ± 6ooo	39.2
LYRo86	317.413	31.793	Hα	-1.3334	3.o
			Hβ	-o.1oo8	1.o
LYRo87	317.438	31.795	He I	-o.3813 ±o.o452	12.o
			He I +A	-o.2822 ±o.o635	22.5
SPAoo1	2442470.613	-37.999	Hα	-3.4382	3.9
			Hβ	-o.6628	6.4
SPAoo2	471.59o	-36.o75	Hα	-3.2124	1.9
			Hβ	-o.5682	5.4
SPAoo3	473.626	-36.155	Hα	-1.8o46	5.9
			Hβ	-o.2215	16.7
SPAoo4	479.599	-36.616	Hα	-1.94o5	6.8
			Hβ	-o.2625	9.o

3.3.2 Graphische Darstellung der Messresultate (3.3.1)

a) Verteilung der Messungen über die Phase:



b) Variation der Farbtemperaturen:
Die Abbildungen 15 , 16 und 17 auf den Seiten 31 und 32 zeigen die Variation der Farbtemperatur in ausgewählten Bereichkombinationen und die mittlere Farbtemperatur wie sie in Tabelle 4 (und 5) aufgeführt ist.

c) Hα - Äquivalentbreiten:
Tabelle 6 Seite 33 und Abbildung 18 Seite 34

d) Hβ - Äquivalentbreiten:
Tabelle 7 Seite 35 und Abbildung 19 Seite 36

e) He I - Äquivalentbreiten:
Tabelle 8 , 8a Seite 37 und Abbildung 2o Seite 38

f) Darstellung der Variationen von Hα, Hβ und He I in einem Diagramm:
Abbildung 21 Seite 39 .

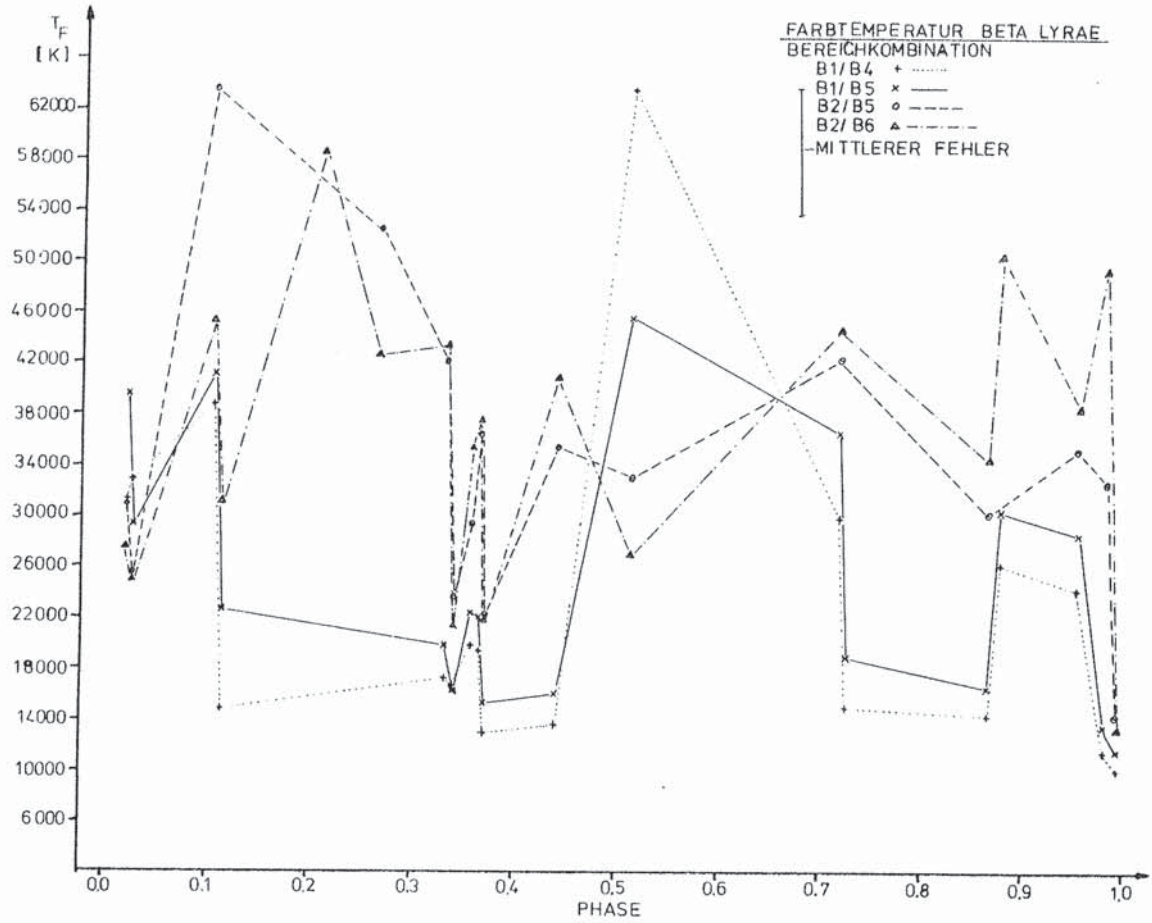

FARBTEMPERATUR BETA LYRAE
BEREICHKOMBINATION
B1/B4 +
B1/B5 ×
B2/B5 ○
B2/B6 △
MITTLERER FEHLER
T_F [K]
62000
58000
54000
50000
46000
42000
38000
34000
30000
26000
22000
18000
14000
10000
6000
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
PHASE

Abb. 15

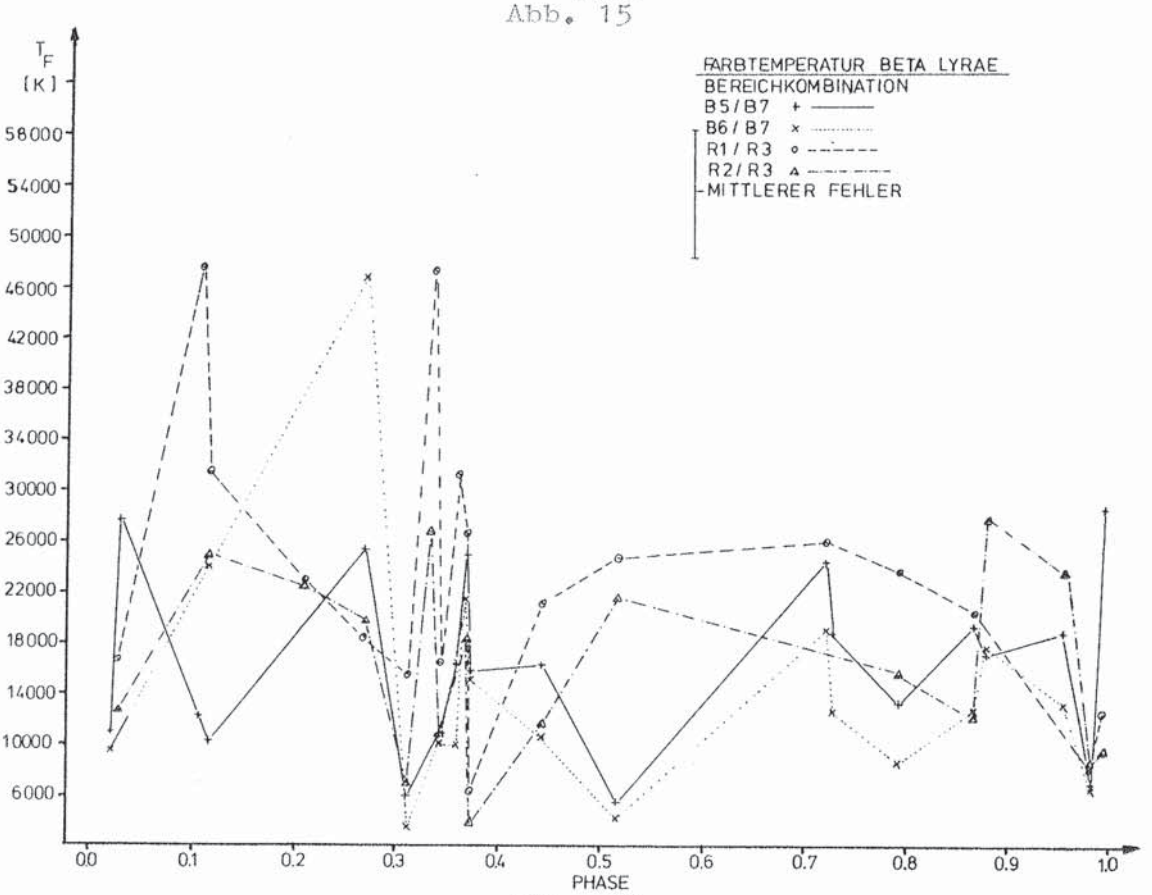

FARBTEMPERATUR BETA LYRAE
BEREICHKOMBINATION
B5/B7 +
B6/B7 ×
R1/R3 ○
R2/R3 △
MITTLERER FEHLER
T_F [K]
58000
54000
50000
46000
42000
38000
34000
30000
26000
22000
18000
14000
10000
6000
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
PHASE

Abb. 16

Tabelle 5
(Mittlere Farbtemperaturen Beta Lyrae
nach Phasen geordnet)

Epoche	Kennz.	$\overline{T}_F$ (blau) [K]	relat. Fehler	$\overline{T}_F$ (rot) [K]	relat. Fehler
31.o18	LYRo81	293oo ± 8ooo	27.3 %	113oo ± 18oo	15.9 %
31.o23	LYRo84	272oo ± 47oo	17.3 %	195oo ± 64oo	32.8 %
o3.1o4	LYRo37	325oo ± 1o1oo	31.1 %	245oo ± 2o1oo	82.o %
o3.115	LYRo41	198oo ± 71oo	35.9 %	193oo ± 1o7oo	55.4 %
o7.2o7	LYRo48	5o3oo ± 176oo	35.o %	226oo ± 5oo	2.2 %
o3.264	LYRo44	435oo ± 139oo	32.o %	261oo ± 115oo	44.1 %
27.3o8	LYRo75	–	–	8ooo ± 49oo	61.3 %
o2.331	LYRo25	249oo ± 118oo	47.4 %	359oo ± 1o4oo	29.o %
o2.338	LYRo28	187oo ± 72oo	38.5 %	118oo ± 25oo	21.2 %
o8.357	LYRo51	223oo ± 65oo	29.1 %	226oo ± 114oo	5o.4 %
o8.363	LYRo54	251oo ± 9ooo	35.9 %	245oo ± 48oo	19.6 %
o8.37o	LYRo57	162oo ± 46oo	28.4 %	139oo ± 79oo	56.8 %
o8.439	LYRo59	199oo ± 1o2oo	51.3 %	149oo ± 48oo	32.2 %
o8.513	LYRo62	3o3oo ± 122oo	4o.3 %	129oo ± 94oo	72.9 %
o2.719	LYRo31	337oo ± 88oo	26.1 %	291oo ± 86oo	29.6 %
o2.726	LYRo34	216oo ± 123oo	56.9 %	156oo ± 43oo	27.6 %
31.791	LYRo85	182oo ± 8ooo	44.o %	153oo ± 6ooo	39.2 %
o1.866	A/o19	19ooo ± 67oo	35.3 %	161oo ± 43oo	26.7 %
o1.876	A/o21	287oo ± 115oo	4o.1 %	197oo ± 55oo	27.9 %
o1.953	C/o23	272oo ± 7ooo	25.7 %	186oo ± 53oo	28.5 %
1o.981	LYRo65	193oo ± 127oo	65.8 %	8ooo ± 12oo	15.o %
1o.992	LYRo69	112oo ± 21oo	18.8 %	168oo ± 93oo	55.4 %

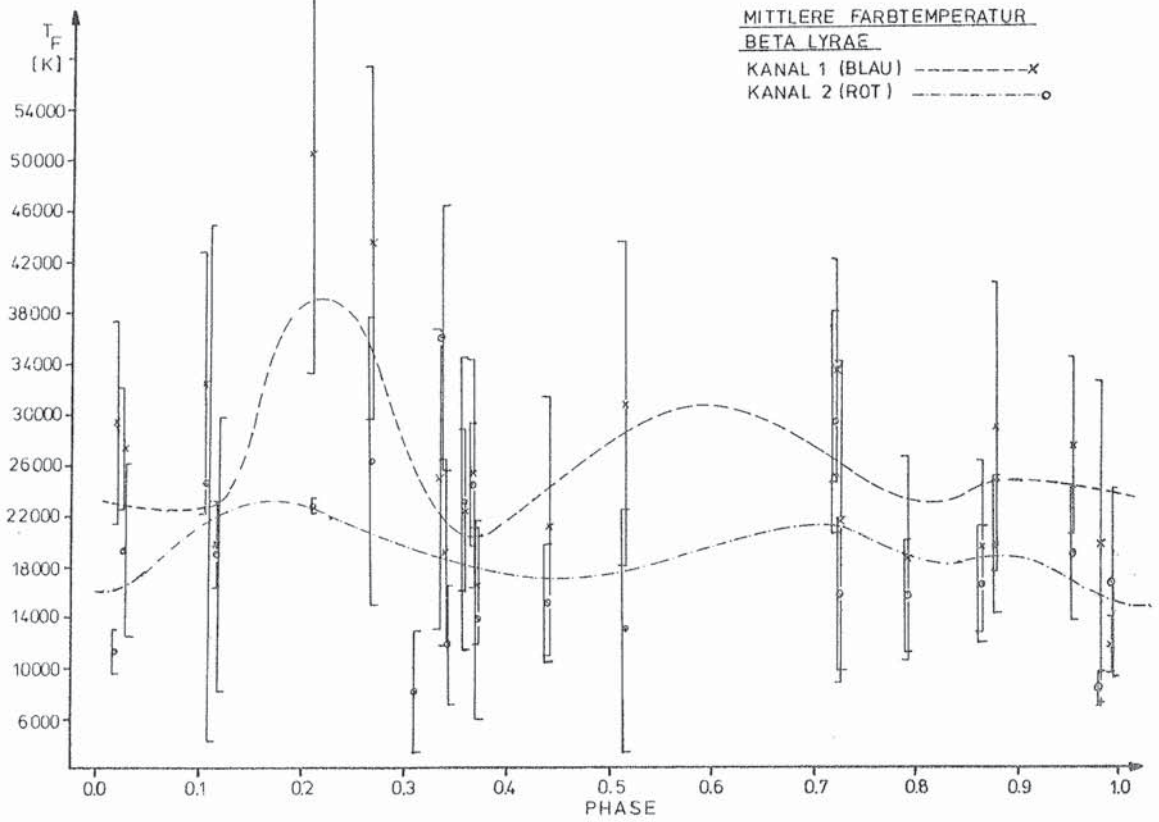


Abb. 17

Tabelle 6

Äquivalentbreiten von Hα
nach Phase geordnet

Epoche	Kennz.	Äquivalentbreite [nm]	relat. Fehler
31.019	LYRo82	-3.7343 ± 0.0334	0.9 %
-36.075	SPAoo2	-3.2124 ± 0.0578	1.8 %
03.106	LYRo38	-1.7648 ± 0.0102	0.6 %
03.117	LYRo42	-1.6576 ± 0.0283	1.7 %
-36.155	SPAoo3	-1.8046 ± 0.1065	5.9 %
01.174	LYRo1o	-1.5748 ± 0.0477	3.0 %
07.202	LYRo46	-1.4291 ± 0.0402	2.8 %
07.209	LYRo49	-1.6451 ± 0.0407	2.5 %
00.252	LYRoo2	-1.4565 ± 0.0151	1.0 %
01.258	LYRo12	-1.4565 ± 0.0179	1.2 %
01.262	LYRo14	-1.4148 ± 0.0460	3.2 %
27.31o	LYRo76	-1.2504 ± 0.1025	8.2 %
02.333	LYRo26	-1.5550 ± 0.0538	3.5 %
02.341	LYRo29	-1.4729 ± 0.0254	1.7 %
08.365	LYRo55	-1.2665 ± 0.0655	5.2 %
08.371	LYRo58	-1.3188 ± 0.0264	2.0 %
08.441	LYRo6o	-1.6881 ± 0.0696	4.1 %
08.515	LYRo63	-1.7602 ± 0.0228	1.3 %
-36.616	SPAoo4	-1.9405 ± 0.1320	6.8 %
00.643	LYRoo4	-1.8213 ± 0.0233	1.3 %
01.645	LYRo16	-1.6321 ± 0.0393	2.4 %
01.648	LYRo18	-1.6675 ± 0.0091	0.5 %
02.721	LYRo32	-1.4818 ± 0.0236	1.6 %
02.727	LYRo35	-1.5194 ± 0.0252	1.7 %
31.793	LYRo86	-1.3334 ± 0.0400	3.0 %
27.856	LYRo79	-1.3710 ± 0.0419	3.1 %
00.866	LYRoo6	-1.6675 ± 0.0377	2.3 %
01.868	LYRo2o	-1.5363 ± 0.0242	1.6 %
00.869	LYRoo7	-1.7087 ± 0.0089	0.5 %
01.877	LYRo22	-1.5941 ± 0.0532	3.3 %
01.956	LYRo24	-2.6128 ± 0.0805	3.1 %
10.983	LYRo66	-3.4799 ± 0.0608	1.7 %
10.994	LYRo7o	-3.5259 ± 0.1859	5.2 %
-37.999	SPAoo1	-3.4375 ± 0.1478	4.3 %

(Vergleiche Abbildung 18 Seite 34)

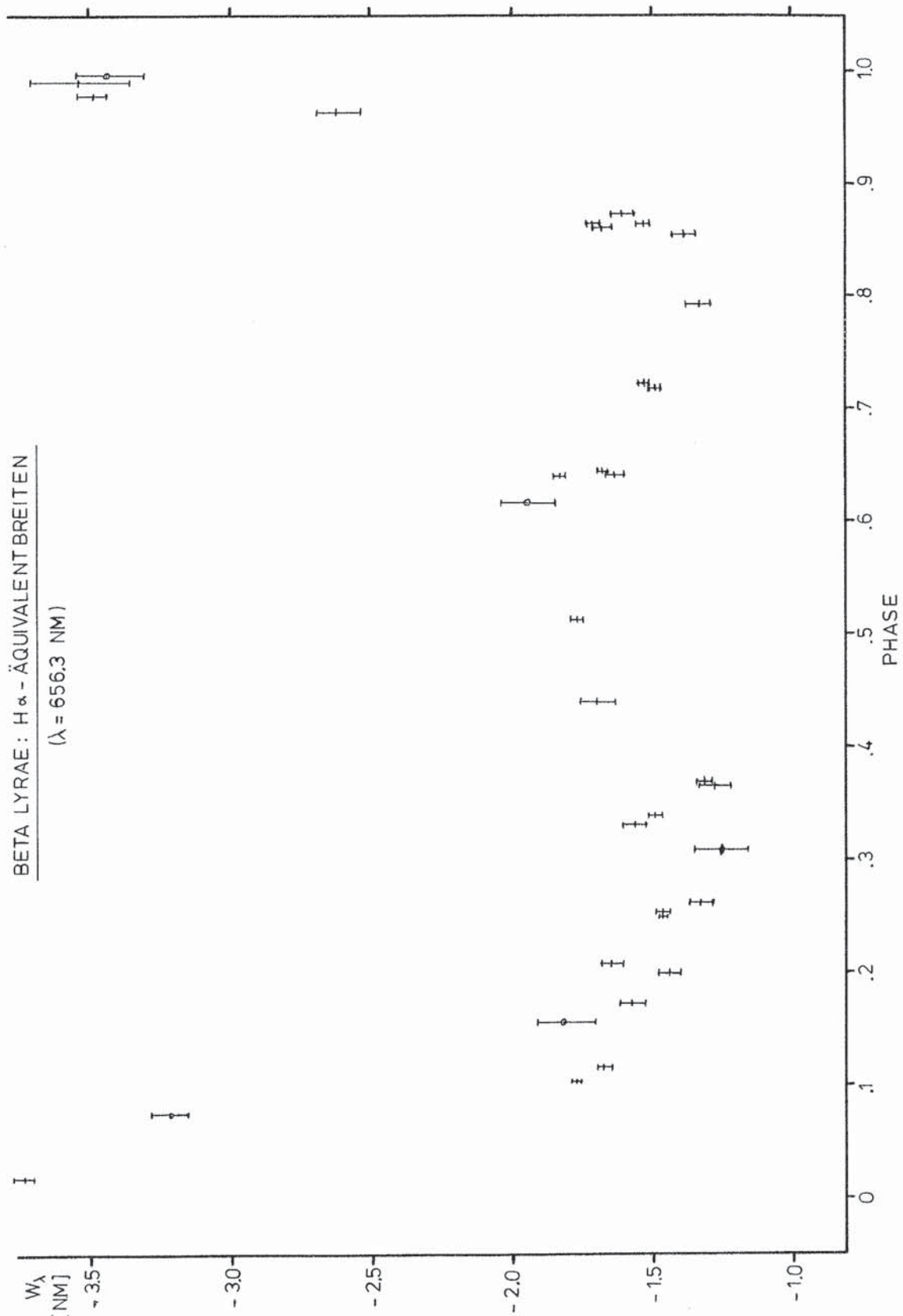


Abb. 18
(Hα - Äquivalentbreiten)

Tabelle 7

Äquivalentbreiten von Hβ
nach Phase geordnet

Epoche	Kennz.	Äquivalentbreite [nm]	relat. Fehler
31.019	LYRo82	-0.5523 ± 0.0137	2.5 %
-36.075	SPAoo2	-0.5682 ± 0.0307	5.4 %
03.106	LYRo38	-0.1335 ± 0.0109	8.1 %
03.117	LYRo42	-0.1144 ± 0.0067	5.9 %
-36.155	SPAoo3	-0.2215 ± 0.0370	16.7 %
01.174	LYRo1o	-0.1302 ± 0.0031	2.4 %
07.202	LYRo46	-0.0888 ± 0.0032	3.6 %
07.209	LYRo49	-0.0930 ± 0.0125	13.4 %
01.258	LYRo12	-0.0999 ± 0.0037	3.7 %
01.262	LYRo14	-0.0935 ± 0.0078	8.4 %
27.310	LYRo76	-0.1445 ± 0.0031	2.1 %
02.333	LYRo26	-0.1302 ± 0.0055	4.2 %
02.341	LYRo29	-0.1287 ± 0.0051	4.0 %
08.365	LYRo55	-0.0958 ± 0.0140	14.6 %
08.371	LYRo58	-0.0828 ± 0.0017	2.0 %
08.441	LYRo6o	-0.1385 ± 0.0129	9.3 %
08.515	LYRo63	-0.1629 ± 0.0029	5.7 %
-36.616	SPAoo4	-0.2625 ± 0.0236	9.0 %
01.645	LYRo16	-0.1634 ± 0.0143	8.7 %
01.648	LYRo18	-0.1586 ± 0.0035	2.2 %
02.721	LYRo32	-0.1293 ± 0.0028	2.2 %
02.727	LYRo35	-0.1259 ± 0.0099	7.9 %
31.793	LYRo86	-0.1008 ± 0.0030	3.0 %
27.856	LYRo79	-0.0894 ± 0.0085	9.5 %
oo.866	LYRoo6	-0.1350 ± 0.0215	15.9 %
01.868	LYRo2o	-0.0881 ± 0.0077	8.7 %
oo.869	LYRoo7	-0.1468 ± 0.0098	6.7 %
01.877	LYRo22	-0.0982 ± 0.0041	4.2 %
01.956	LYRo24	-0.2963 ± 0.0086	2.9 %
1o.983	LYRo66	-0.5281 ± 0.0092	1.7 %
1o.994	LYRo7o	-0.6377 ± 0.0422	6.6 %
-37.999	SPAoo1	-0.6628 ± 0.0057	6.4 %

(Vergleiche Abbildung 19 auf Seite 36)

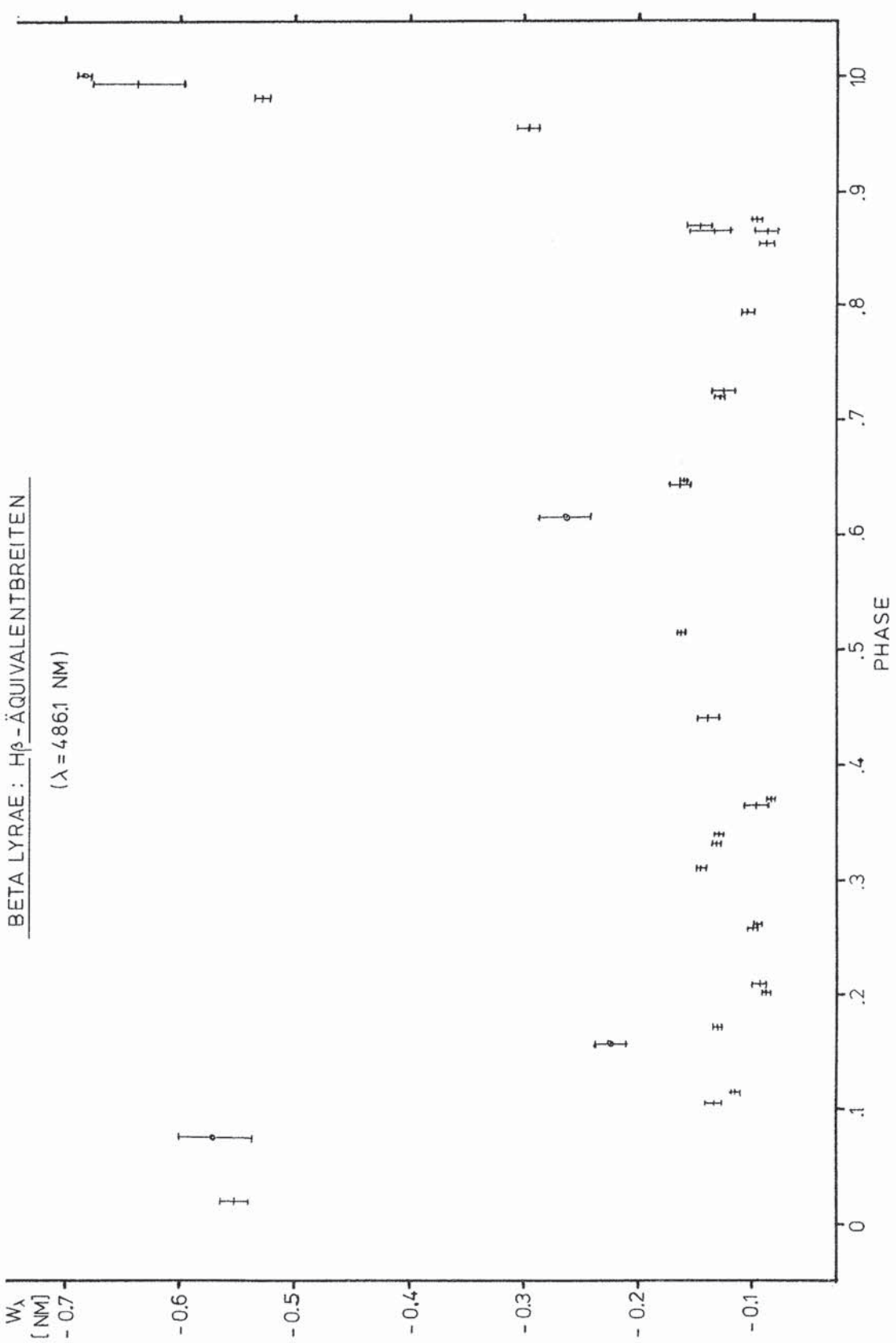


Abb. 19
(Hβ - Äquivalentbreiten)

Tabelle 8

Äquivalentbreiten von He I
nach Phase geordnet

Epoche	Kennz.	Äquivalentbreite (korrigiert) [nm]	relat. Fehler	Äquivalentbreite mit Absorption [nm]	relat. Fehler
31.021	LYRo83	-1.0316 ± 0.0167	1.6 %	-0.9181 ± 0.0064	0.7 %
03.108	LYRo39	-0.4155 ± 0.0155	3.7 %	-0.1669 ± 0.0185	11.1 %
03.118	LYRo43	-0.4125 ± 0.0230	5.6 %	-0.1665 ± 0.0478	28.7 %
07.204	LYRo47	-0.3772 ± 0.0269	7.1 %	-0.2542 ± 0.0402	15.8 %
07.213	LYRo50	-0.4069 ± 0.0094	2.3 %	-0.3028 ± 0.0086	2.9 %
27.311	LYRo77	-0.3391 ± 0.0438	12.9 %	-0.2797 ± 0.0289	10.4 %
02.335	LYRo27	-0.4855 ± 0.0136	2.8 %	-0.3957 ± 0.0394	9.9 %
02.343	LYRo30	-0.5116 ± 0.0277	5.4 %	-0.4292 ± 0.0246	5.7 %
08.366	LYRo56	-0.4578 ± 0.0660	1.4 %	-0.3278 ± 0.0356	10.9 %
08.443	LYRo61	-0.6446 ± 0.0552	8.6 %	-0.5223 ± 0.0255	4.9 %
08.516	LYRo64	-0.7167 ± 0.0052	0.7 %	-0.6912 ± 0.0085	1.2 %
02.723	LYRo33	-0.5571 ± 0.0175	3.1 %	-0.4896 ± 0.0201	4.1 %
02.729	LYRo36	-0.5656 ± 0.0173	3.0 %	-0.4366 ± 0.0352	8.1 %
31.795	LYRo87	-0.3813 ± 0.0452	12.0 %	-0.2822 ± 0.0635	22.5 %
27.857	LYRo80	-0.4017 ± 0.0362	9.0 %	-0.2859 ± 0.0628	21.9 %
10.984	LYRo67	-1.1101 ± 0.0391	3.5 %	-0.8481 ± 0.0313	3.7 %
10.995	LYRo71	-1.1180 ± 0.0907	8.1 %	-0.7922 ± 0.1218	15.4 %

Tabelle 8a

Differenz der Äquivalentbreiten
(Äquiv. korr. - Äquiv. + A)

Epoche	Kennz.	Differenz
31.021	LYRo83	-0.1135
03.108	LYRo39	-0.2486
03.118	LYRo43	-0.2460
07.204	LYRo47	-0.1230
07.213	LYRo50	-0.1041
27.311	LYRo77	-0.0594
02.335	LYRo27	-0.0898
02.343	LYRo30	-0.0824
08.366	LYRo56	-0.1300
08.443	LYRo61	-0.1223
08.516	LYRo64	-0.0255
02.723	LYRo33	-0.0702
02.729	LYRo36	-0.1290
31.795	LYRo87	-0.0991
27.857	LYRo80	-0.1158
10.984	LYRo67	-0.2620
10.995	LYRo71	-0.3258

(Vergleiche die Abbildung 20 auf Seite 38 zu Tabelle 8 und die Abbildung 23 auf Seite 52 zu Tabelle 8a .)

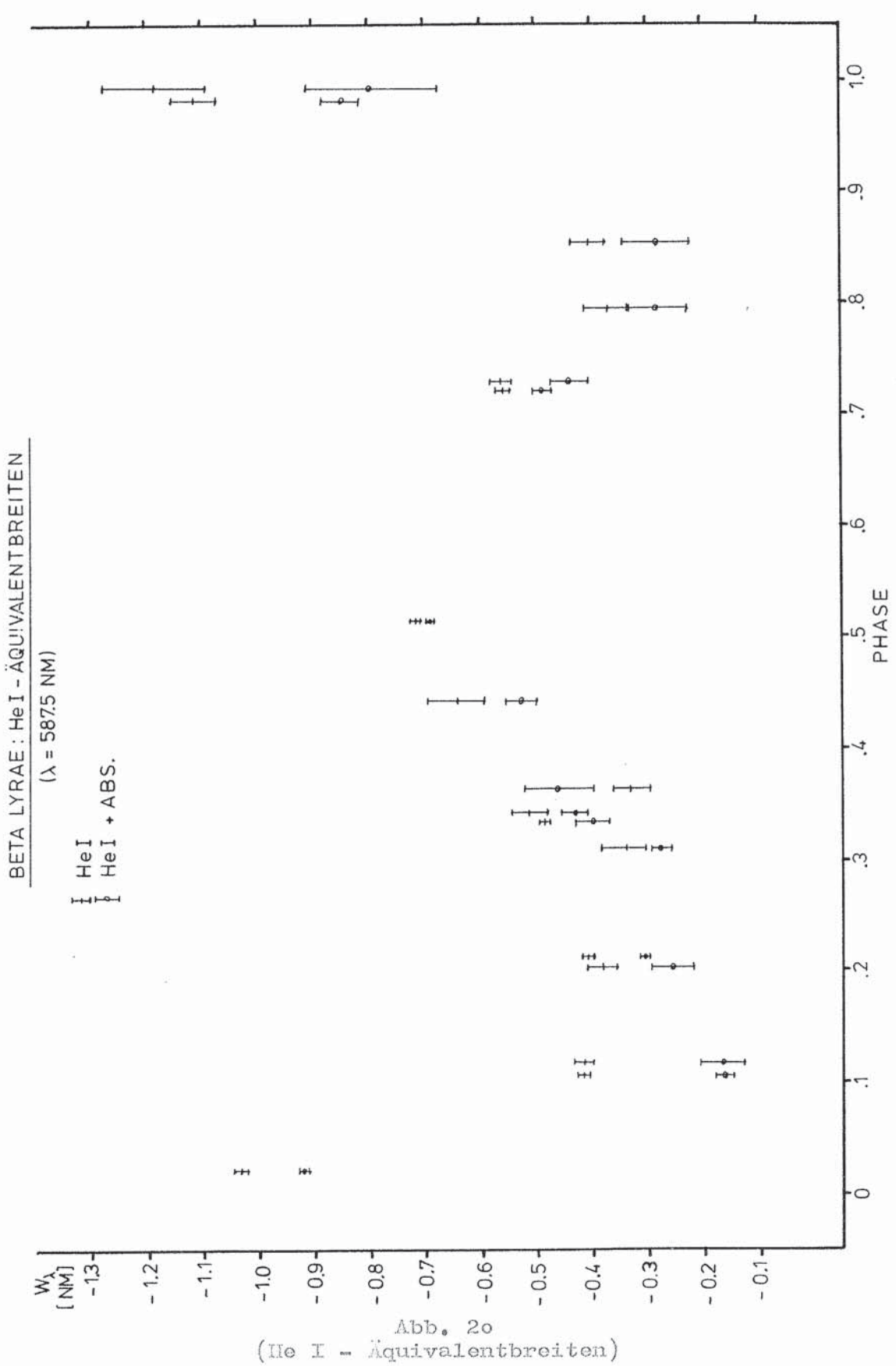


Abb. 2o
(He I - Äquivalentbreiten)

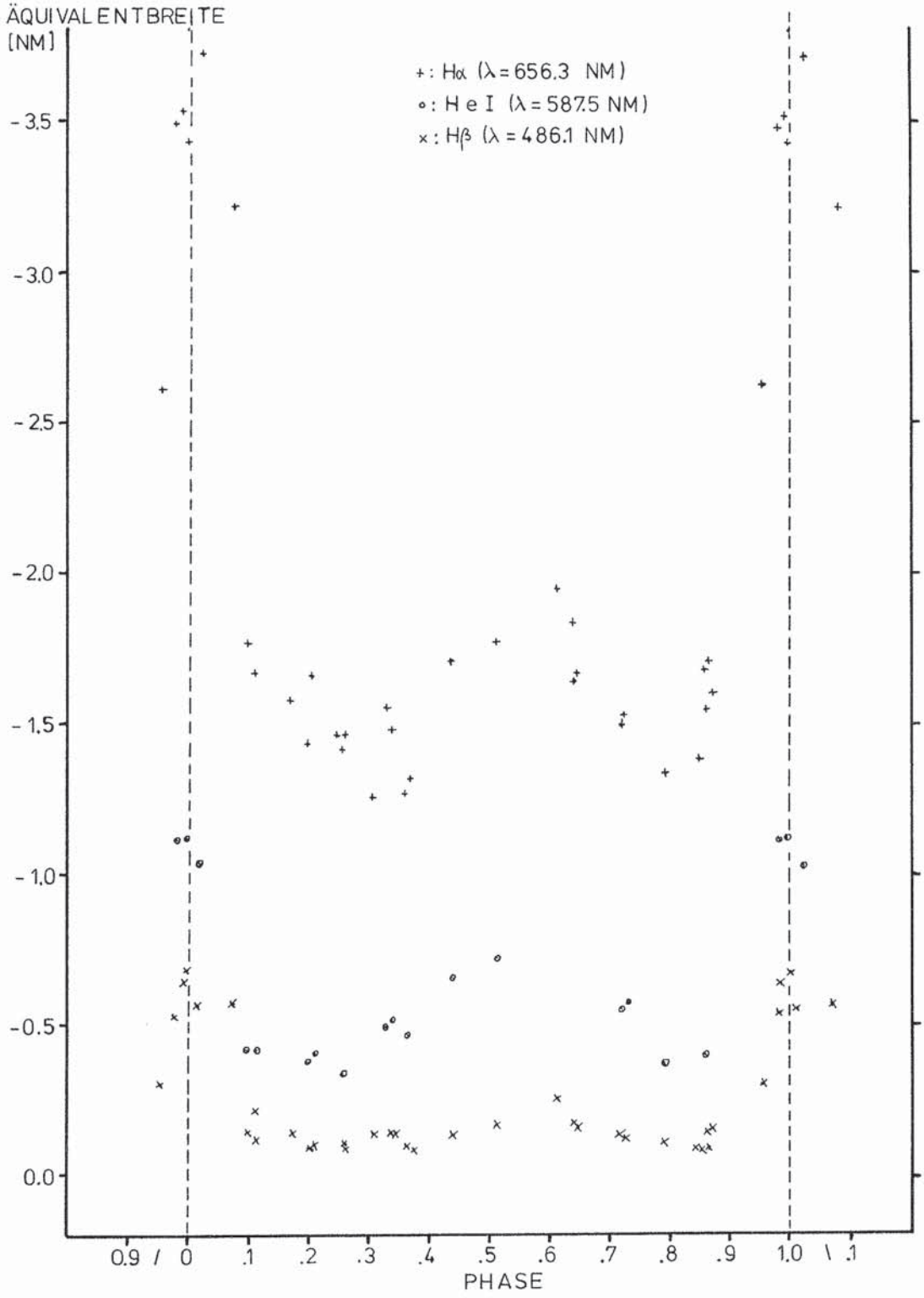


Abb. 21
(Gesamtdarstellung der Variationen von
Hα, Hβ und He I in einem Diagramm)

3.3.3 Verhalten der Gesamtspektren und der Temperaturen

Von den 34 Spektren von Beta Lyrae (pro Kanal) wurden nur die 24 Spektren verwendet, für die eine gleichzeitig erfolgte Messung des Spektrums von Gamma Lyrae vorlag. Die Einflüsse der von Nacht zu Nacht stark wechselnden atmosphärischen Extinktion verfälschen einen Vergleich zwischen Gamma und Beta Lyrae Spektren die nicht in der gleichen Nacht aufgenommen wurden so stark, dass die Resultate zu ungenau sind.
Abgesehen von den atmosphärischen und instrumentellen Einflüssen auf das Aussehen des Spektrums, war während des Beobachtungszeitraumes bei Alpha und Gamma Lyrae keine Veränderung im Spektrum zu erkennen. Die vor allem bei den letzten Messungen (LYR o75/o81/o84/o85) auftretende Abschwächung im kurzwelligen Spektralbereich des Spektrums von Gamma Lyrae, hat ihre Ursache wahrscheinlich in einer nicht genauen Lage des Sternbildes im Zentrum der Messblende. Da das Fernrohr auf den visuellen Farbbereich korrigiert ist, ist das Bild des Sterns im blauen Spektralbereich wesentlich grösser und es wirkt sich so eine Lage ausserhalb der Blendenmitte als Abschwächung im blauen Spektralbereich aus. Bei LYRo75 ist dies sicher der Fall, da schon während der Messung festgestellt wurde, dass der Stern nicht im Zentrum der Blende war (vgl. Anmerkung t Seite 11). Da das Aussehen der Spektren bei den übrigen Messungen (LYRo81/o84/o85) fast gleich ist und sonst keine andere Erklärung denkbar ist, scheint auch hier eine Dejustierung des Fadenkreuzes im Einstellokular vorgelegen zu haben. Unerklärlich ist jedoch, dass die Einstellung von Beta Lyrae stets besser gelang; die Spektren von Beta Lyrae weisen jedenfalls in dieser Beziehung keine grosse Abweichung von den anderen Spektren auf.

Bei Beta Lyrae waren im Verlauf der Periode charakteristische Änderungen im Aussehen des Spektrums feststellbar. Der Verlauf des Kontinuums ist in den verschiedenen Phasen deutlich unterschiedlich. Die Sichtbarkeit der Emissionslinien und deren Stärke im Vergleich zum Kontinuum zeigen ebenfalls eine deutliche Phasenabhängigkeit. (Zum Folgenden vergleiche die Abbildungen der Spektren auf den Auswerteformularen im Anhang.)
Beginnend bei der Phase o.o , nimmt die Intensität des Kontinuums des Spektrums im blauen (kurzwelligen) Bereich stärker zu als im roten (langwelligen) Spektralbereich, bis bei etwa o.5 der Periode wieder eine langsame Abschwächung des blauen Anteils des Kontinuums eintritt.

Betrachtet man bei den Messungen das Verhältnis der Gesamtstrahlung, die auf den Spektren als "MEAN" angegeben ist, zwischen Gamma und Beta Lyrae, so kann man, da der Einfluss der Spektrallinien auf diesen Wert in allen Phasen nur etwa 3% ausmacht, eine grobe Lichtkurve ableiten (vgl. Abb. 22 Seite 41). Die so erhaltene Lichtkurve von Beta Lyrae gleicht in ihrem wesentlichen Verlauf den in der Literatur angegebenen Lichtkurven (z.B. [19]). Der deutlichste Unterschied zeigt sich in einer Unsymmetrie der Höhe der beiden Maxima, von denen das bei den Phasen o.7 - o.8 grösser ist als das bei o.2 - o.3 .

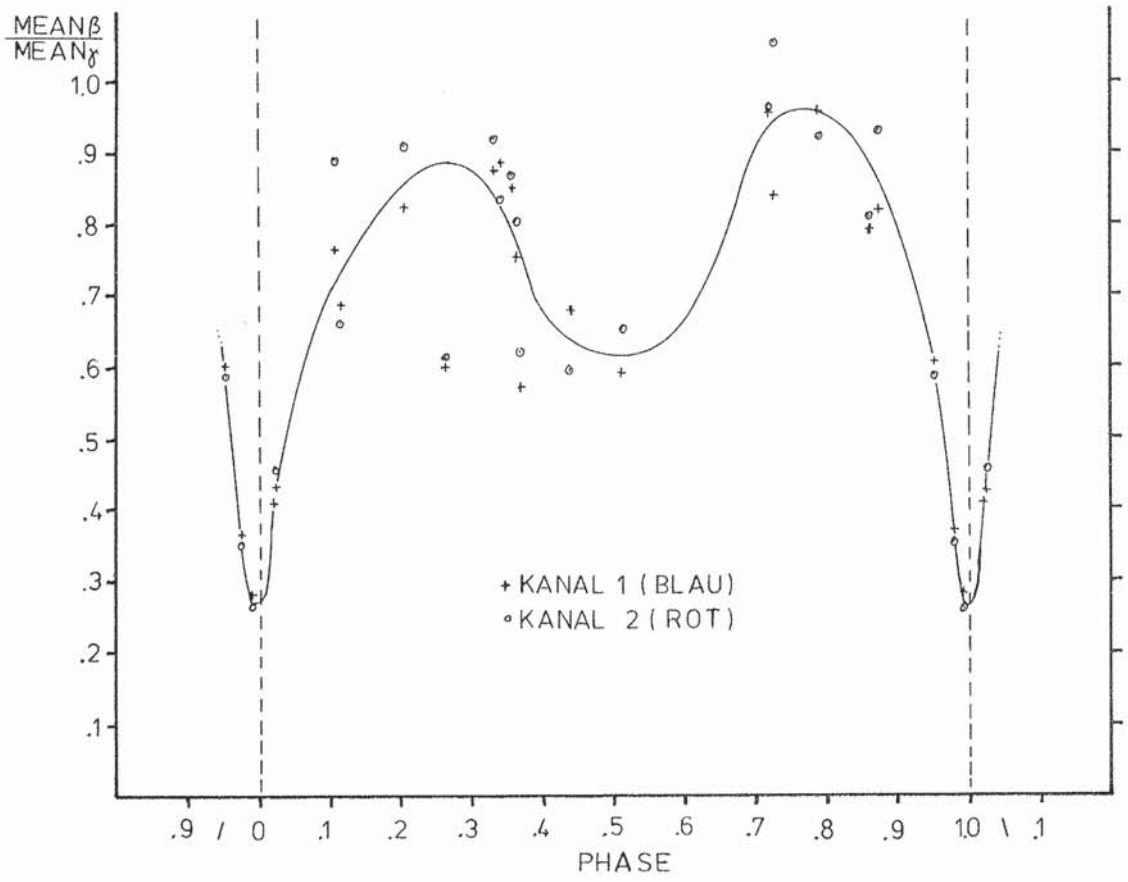


Abb. 22
("Lichtkurve" Beta Lyrae aus dem Verhältnis der Gesamtintensitäten der Spektren von Beta und Gamma Lyrae)

Zur Untersuchung der Temperatur von Beta Lyrae in den verschiedenen Phasen, wurde zuerst das Verhalten in verschiedenen Bereichkombinationen festgestellt (vgl. Abb. 15, 16 Seite 31). Bei Bereichkombinationen im (blauen) Spektralbereich um 500 nm (B1/B4, B1/B5) ist zwischen den Phasen o.5 und o.6 ein deutliches Maximum zu erkennen. Bei Phase o.1 ist ein Nebenmaximum vorhanden. Die Minima befinden sich bei den Phasen o.o und o.4 . Bei Bereichkombinationen die schon etwas mehr in den (roten) Spektralbereich um 600 nm fallen (B2/B5, B2/B6), ist der Verlauf der Temperaturkurve bereits stark verändert. Maxima bei o.1 - o.2 und o.9 - o.o und Minima bei o.3 - o.4 und ein langsamer Anstieg während der Phasen o.4 - o.9 . Bei den Bereichkombinationen im roten Spektralbereich ist der Verlauf nicht eindeutig zu kennzeichnen. Insgesamt ist bei den Kombinationen B5/B7, B6/B7 ein Minimum bei Phase o.5 zu sehen, während die Bereichkombinationen R1/R3 und R2/R3 das Minimum bei o.38 zeigen und dann wie B2/B5, B2/B6 einen Anstieg von o.4 bis o.7 der Periode erkennen lassen. Allen Temperaturen ist zwischen den Phasen o.3 und o.4 ein Bereich stark streuender Messwerte gemeinsam.
Der Verlauf der mittleren Farbtemperatur für die beiden Spektralbereiche (Abb. 17 Seite 32) gibt die oben beschriebenen Ein-

zelheiten ebenfalls wieder und es ist zwischen den beiden Temperaturkurven ein Unterschied feststellbar.

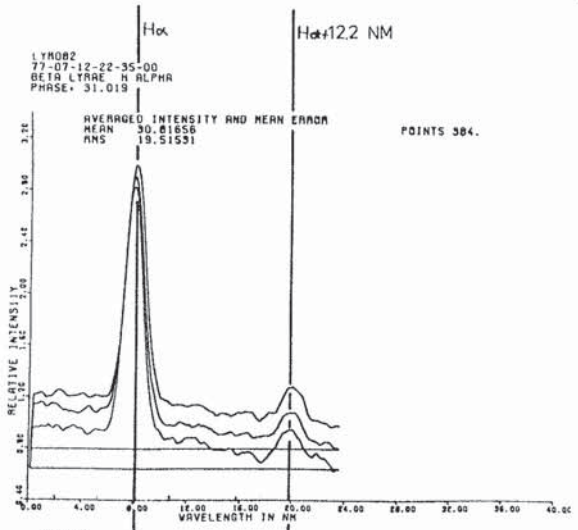
Die Fehler der mittleren Farbtemperaturen für Beta Lyrae (Tab. 5 und Abb. 17 Seite 32) sind sehr gross, obwohl die in den einzelnen Bereichkombinationen berechneten Temperaturen wesentlich genauer sind (etwa ± 5ooo K). Dieses hat seine Ursache in der Mittelung über sehr verschiedene Bereiche, wobei auch die ungünstigsten Bereichkombinationen berücksichtigt werden mussten. Die berechneten Temperaturen von Gamma Lyrae (mittlere Farbtemperatur) haben einen Fehler von ± 4ooo K (≈2o%) und die aus den Literaturwerten bestimmten Farbtemperaturen von Alpha Lyrae sind mit einem Fehler von ± 2oo K sehr genau.

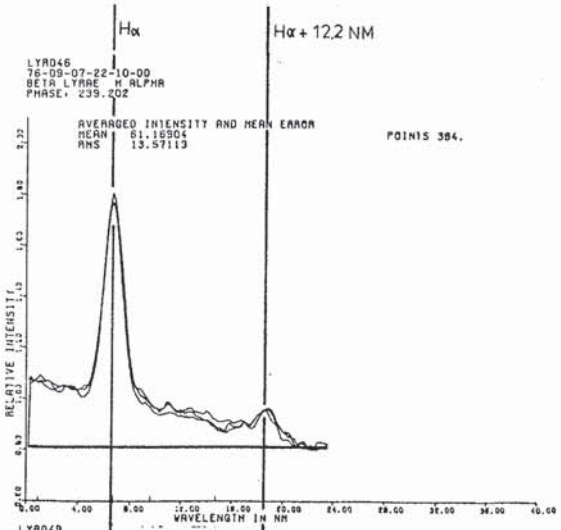
3.3.4 Spektrales Verhalten in den Linienscans

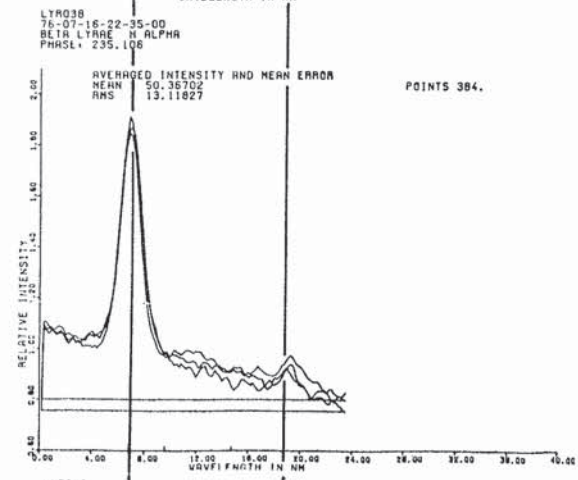
Hα: Bei 18 von insgesamt 3o Scans der Linie Hα (λ = 656.3 nm) war der Scanbereich so gewählt, dass die He I - Emissionslinie bei λ = 667.8 nm (668.5 nm) mitregistriert wurde. Im allgemeinen kann aus dem Erscheinungsbild der Linie relativ zu Hα gefolgert werden, dass sie sich in etwa analog verhält. Ausser diesen beiden Linien war der gesamte Scanbereich frei von erkennbaren Linien.
Die Änderungen in der Äquivalentbreite von Hα sind in Tabelle 6 Seite 33 und in der Abbildung 18 Seite 34 dargestellt. Neben einem Hauptmaximum bei der Phase o.o , ist ein Nebenmaximum bei der Phase o.55 zu erkennen. Während die durchschnittlichen Werte von W_λ (Hα) bei -1.7o nm liegen, hat das Hauptmaximum W_λ (Hα) = -3.72 nm und das Nebenmaximum W_λ (Hα) = -2.o nm Äquivalentbreite. Der Verlauf der Äquivalentbreite zwischen den Hauptmaxima ist unsymmetrisch. Das Hauptmaximum ist mit einer Breite von o.2 Perioden relativ schmal.
Eine Gesamtdarstellung der Variationen des Spektralbereiches um Hα ist auf den Seiten 43 bis 46 gegeben.

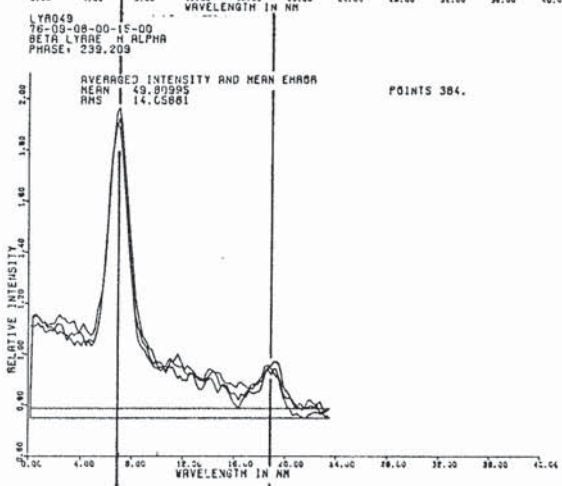
Zur Lage der Linien ist zu sagen, dass der Scannullpunkt nicht fest ist. Eine Verschiebung des Sternbildes in der Eintrittsöffnung des Spektrumscanners hat eine Verschiebung des Scananfanges im Spektrum zur Folge. Es kann deshalb aus einer Verschiebung des Zentrums einer Linie nicht gefolgert werden, dass diese Linie tatsächlich im Gesamtspektrum verschoben erscheint. Deshalb wurden zur Markierung von Linien stets nur der relative Abstand zur Hauptlinie (hier z.B. Hα) angegeben, der konstant über eine Sequenz eingezeichnet wurde.
Aus dem Wandern der He I - Linie λ = 667.8 nm um die in einem Abstand von 12.2 nm von der Hα - Linie eingezeichnete "Referenzlinie" (λ = 668.5 nm), ist zwar eine Radialgeschwindigkeit ableitbar, aber die Ursache der Verschiebung ist nicht eindeutig. Es können Hα, He I oder beide Linien zusammen verschoben sein.

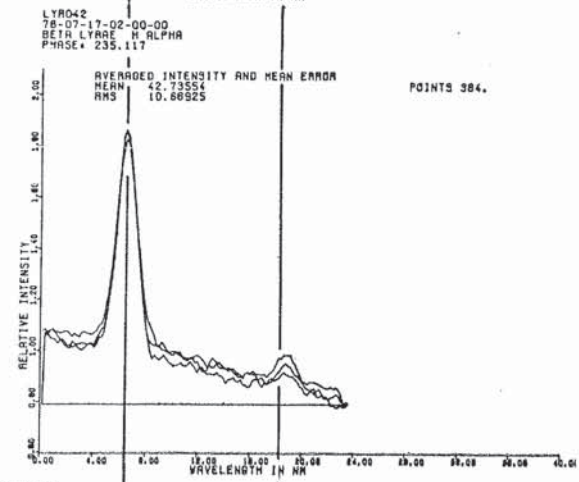
(Auf den folgenden Seiten 43 bis 46 sind alle erhaltenen Hα - Scans der Phase nach geordnet abgebildet. Zu beachten ist, dass der Intensitätsmasstab nicht bei allen Zeichnungen gleich ist!)

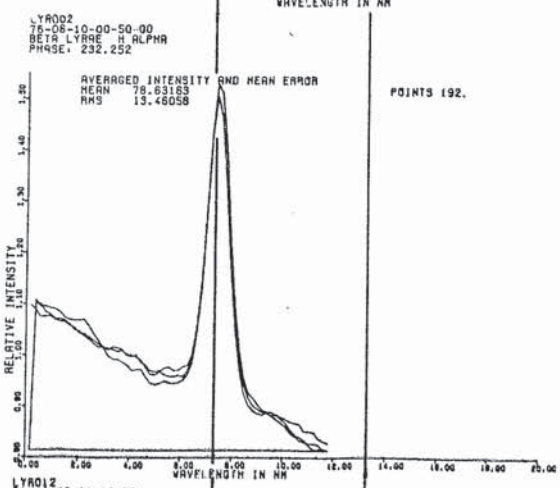

Hα
Hα+12.2 NM
LYR082
77-07-12-22-35-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 31.019
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 30.81656
RMS 19.51531
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

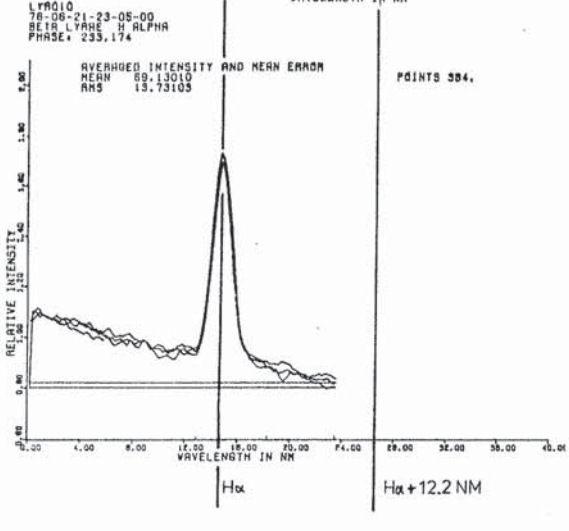

Hα
Hα + 12.2 NM
LYR046
76-09-07-22-10-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 239.202
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 61.16904
RMS 13.57113
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

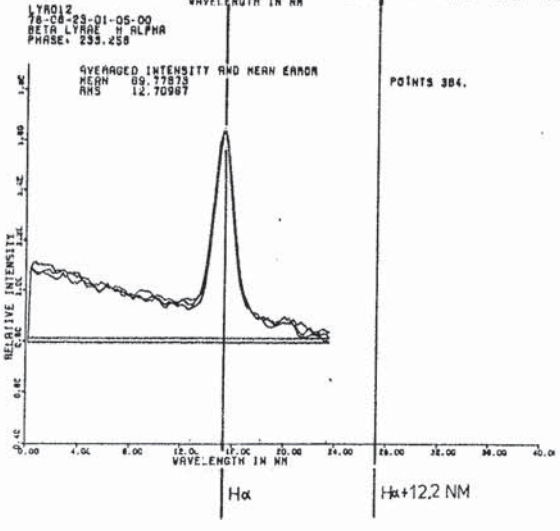

LYR038
76-07-16-22-35-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 235.106
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 50.36702
RMS 13.11827
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

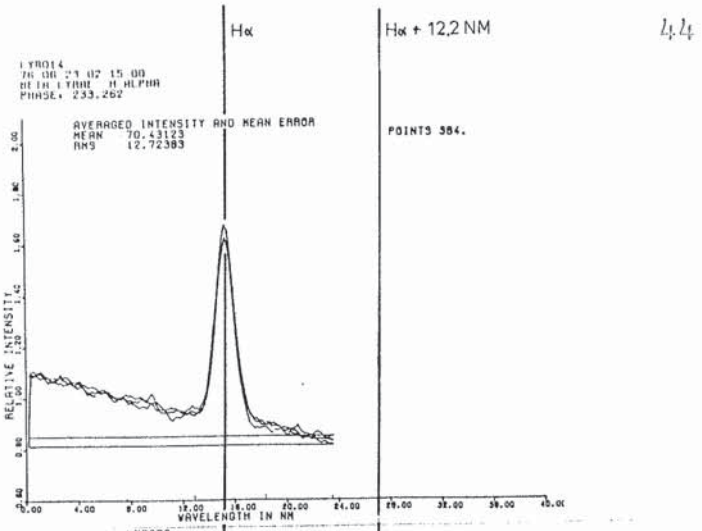

LYR049
76-09-08-00-15-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 239.209
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 49.80995
RMS 14.05861
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

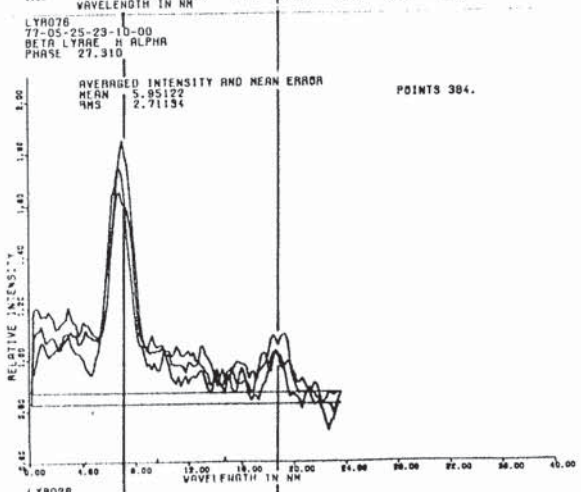

LYR042
76-07-17-02-00-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 235.117
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 42.73554
RMS 10.66925
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

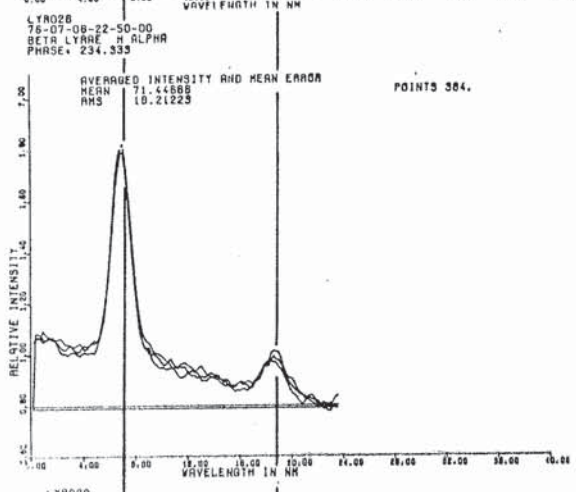

LYR002
76-08-10-00-50-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 232.252
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 78.63183
RMS 13.48058
POINTS 192.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

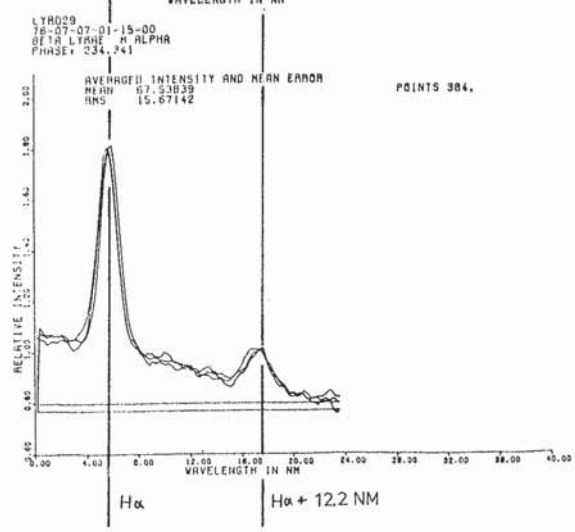

LYR010
76-08-21-23-05-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 233.174
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 89.13010
RMS 13.73103
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
Hα
Hα+12.2 NM

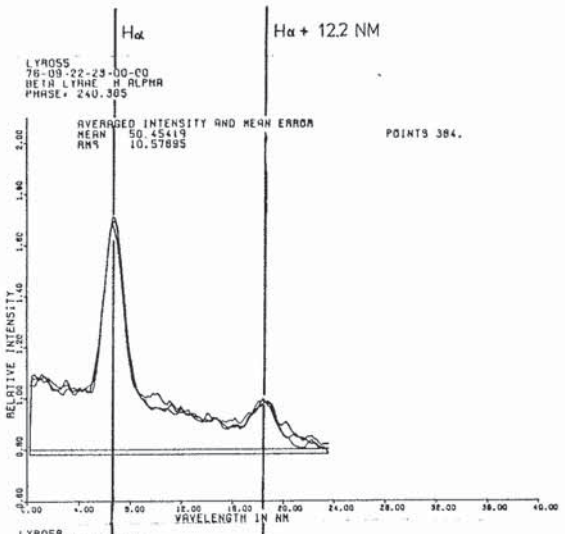

LYR012
76-08-23-01-05-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 233.258
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 89.17873
RMS 12.70987
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
Hα
Hα+12.2 NM

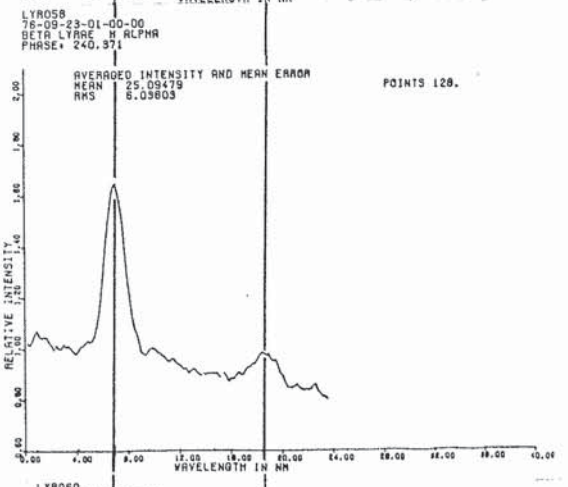

Hα
Hα + 12,2 NM
LYR014
76-08-24-02-15-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 233.262
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 70.43123
RMS 12.72383
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

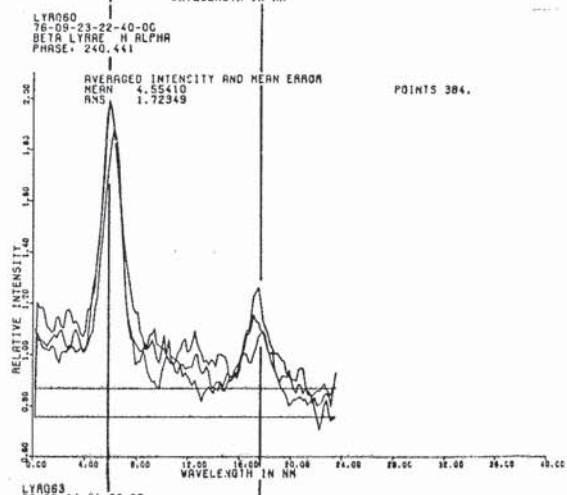

LYR076
77-05-25-23-10-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 27.310
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 5.95122
RMS 2.71134
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

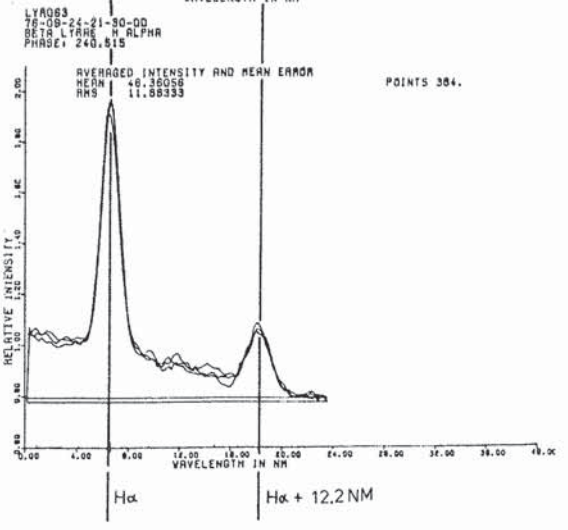

LYR028
76-07-08-22-50-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 234.333
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 71.44688
RMS 10.21225
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

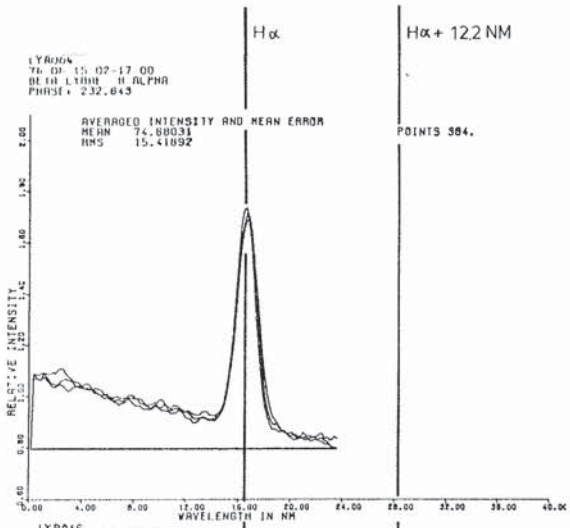

LYR029
76-07-07-01-15-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 234.341
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 67.53839
RMS 15.67142
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
Hα
Hα + 12,2 NM

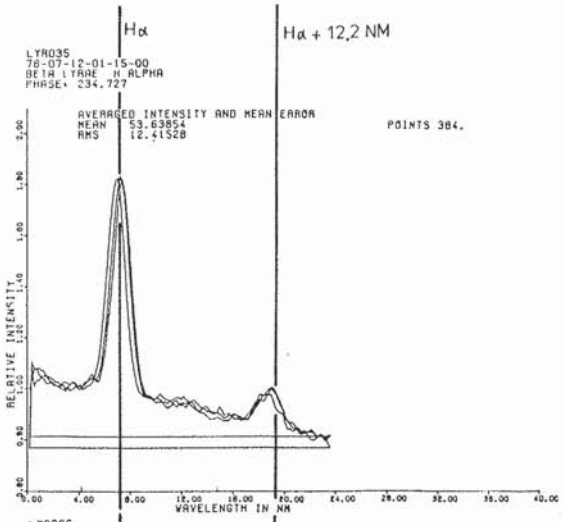

Hα
Hα + 12,2 NM
LYR055
76-09-22-23-00-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 240.305
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 50.45419
RMS 10.57895
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

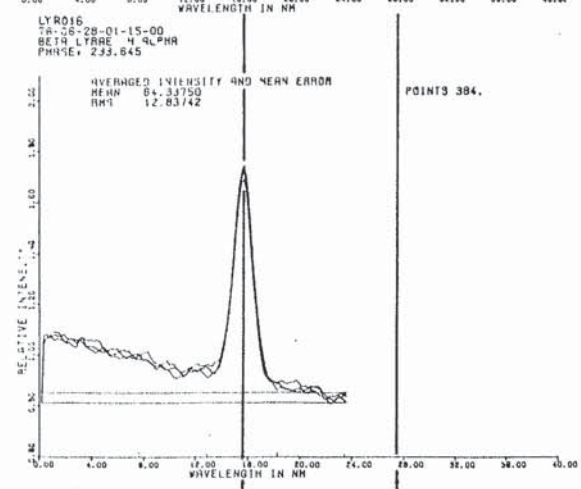

LYR058
76-09-23-01-00-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 240.371
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 25.09479
RMS 6.03803
POINTS 128.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

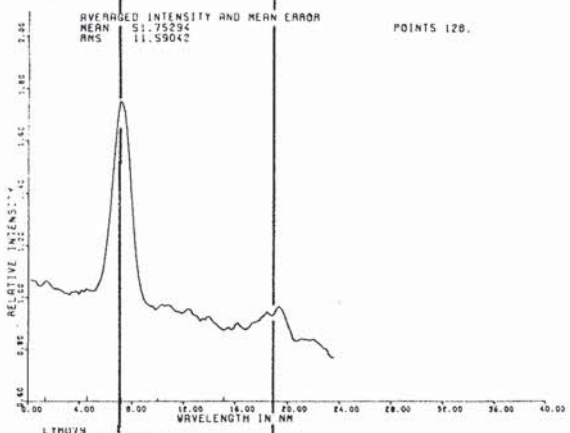

LYR060
76-09-23-22-40-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 240.441
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 4.55410
RMS 1.72349
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

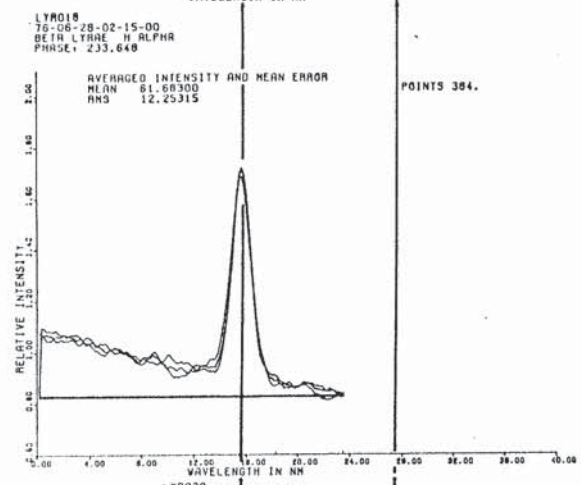

LYR063
76-09-24-21-30-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 240.515
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 48.38058
RMS 11.88333
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
Hα
Hα + 12,2 NM

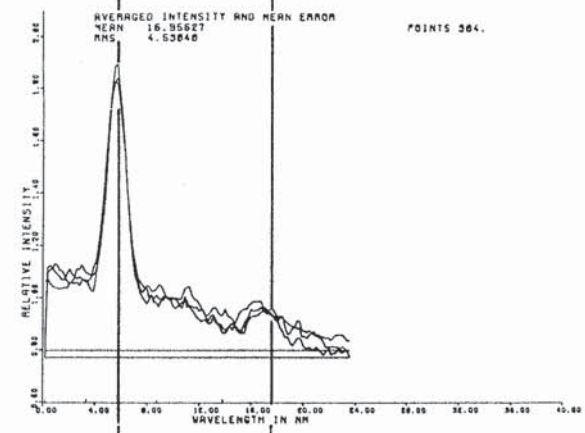

Hα
Hα + 12.2 NM
LYR004
76-09-15-02-17-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE 232.843
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 74.88031
RMS 15.41892
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

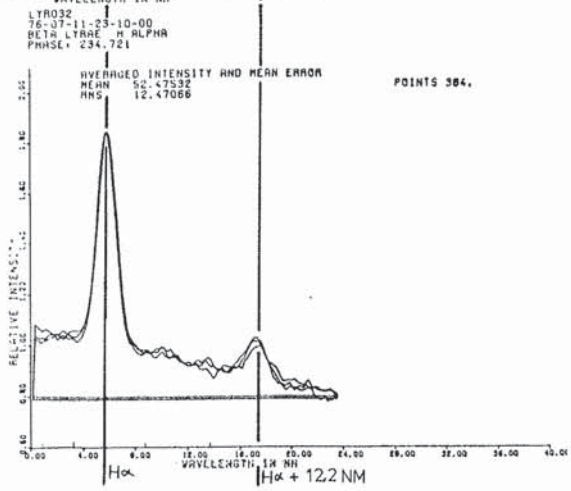

Hα
Hα + 12.2 NM
LYR035
78-07-12-01-15-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE 234.727
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 53.63854
RMS 12.41528
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

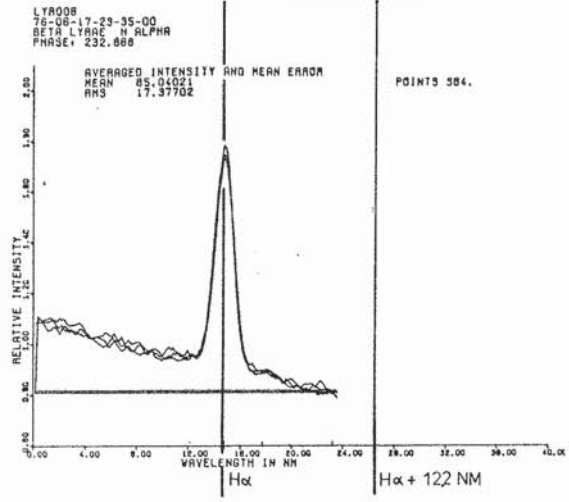

LYR016
78-08-28-01-15-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE 233.645
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 84.33750
RMS 12.83742
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

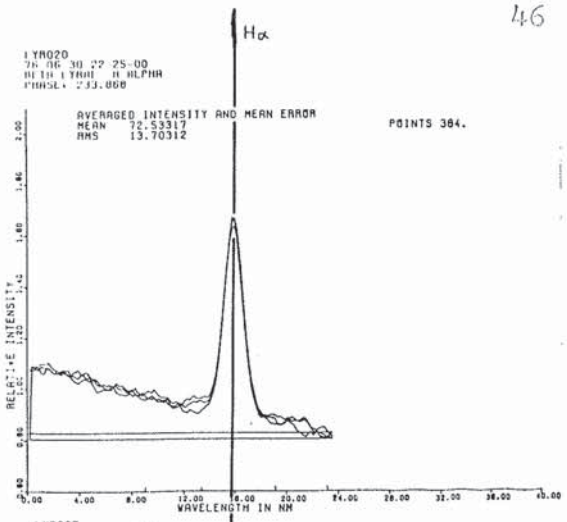

LYR086
77-07-22-22-40-00
BETA LYRAE H ALPHA I
PHASE 31.793
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 51.75294
RMS 11.59042
POINTS 128.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

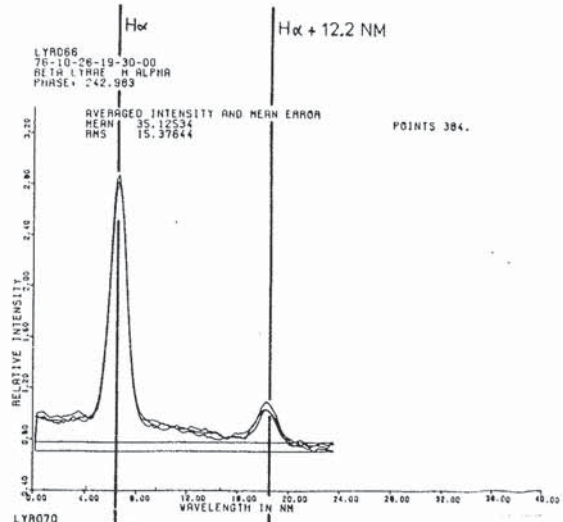

LYR018
76-08-28-02-15-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE 233.640
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 81.68300
RMS 12.25315
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

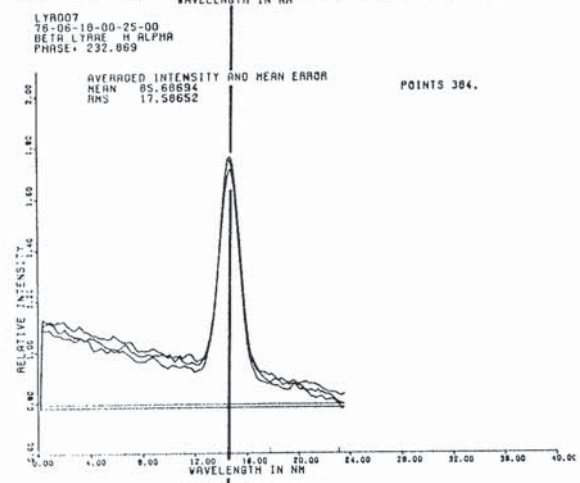

LYR079
77-06-02-00-35-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE 27.056
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 16.95627
RMS 4.63848
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

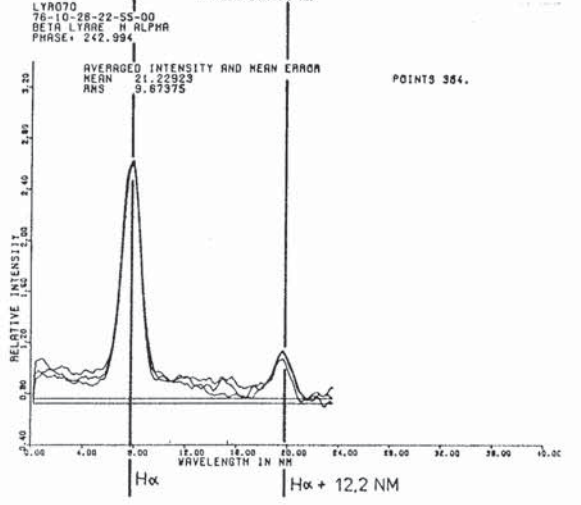

LYR032
76-07-11-23-10-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE 234.721
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 52.47532
RMS 12.47066
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
Hα
Hα + 12.2 NM

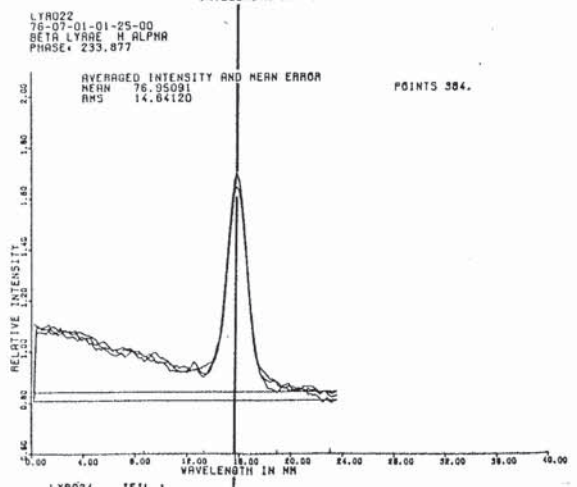

LYR008
76-08-17-23-35-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE 232.868
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 85.04021
RMS 17.37702
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
Hα
Hα + 12.2 NM

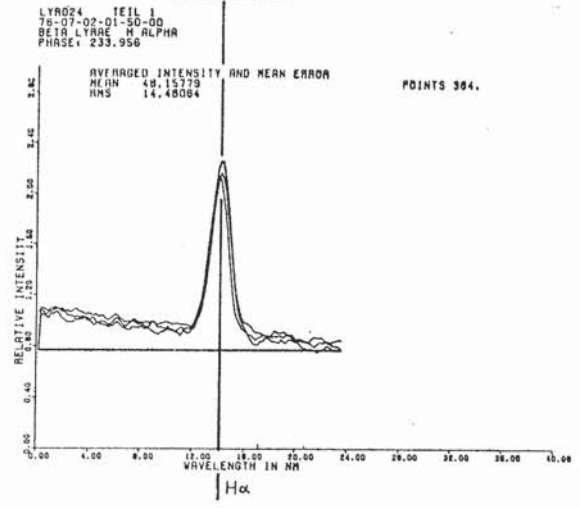

Hα
LYR020
76-06-30-22-25-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 233.060
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 72.53317
RMS 13.70312
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM


Hα
Hα + 12.2 NM
LYR066
76-10-26-19-30-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 242.983
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 35.12534
RMS 15.37644
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM


LYR007
76-06-18-00-25-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 232.869
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 85.68694
RMS 17.58652
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

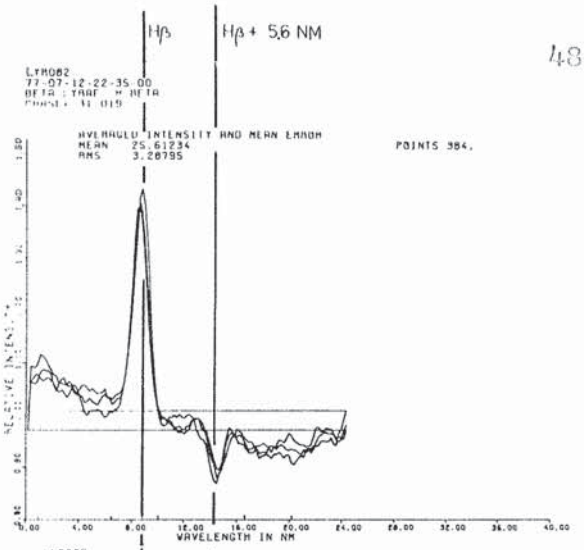

LYR070
76-10-28-22-55-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 242.994
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 21.22923
RMS 9.67375
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
Hα
Hα + 12.2 NM

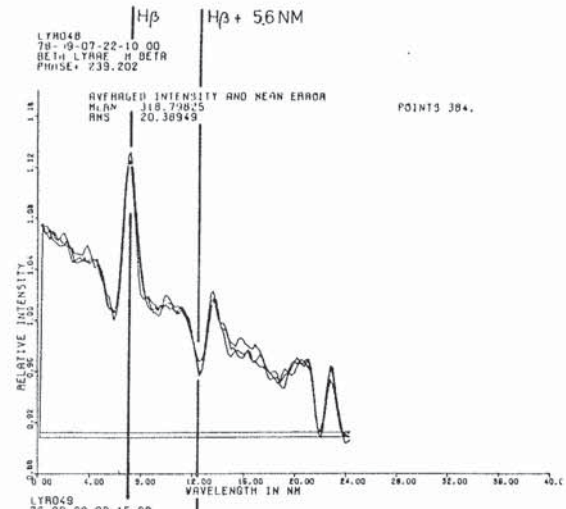

LYR022
76-07-01-01-25-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 233.877
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 76.95091
RMS 14.64120
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

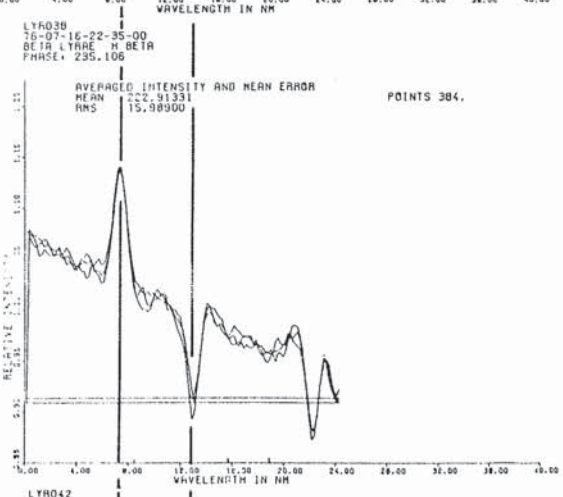

LYR024 (FIL 1)
76-07-02-01-50-00
BETA LYRAE H ALPHA
PHASE: 233.956
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 48.15779
RMS 14.48084
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
Hα

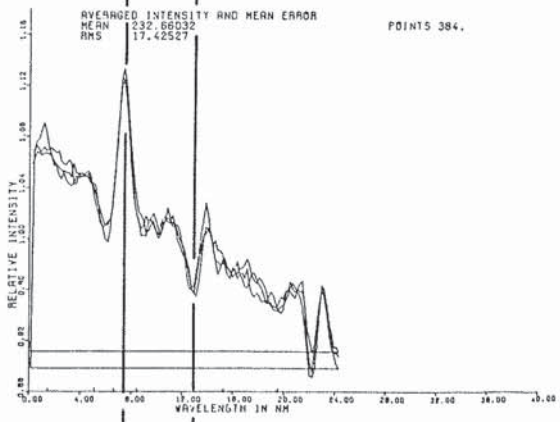
Hβ: Gleichzeitig mit Hα wurde im zweiten Kanal des Spektrumscanners die Emissionslinie Hβ (λ = 486.1 nm) registriert. Hβ liegt in einem Teil des Spektrums, der von sehr starken Veränderungen während der gesamten Periode gekennzeichnet ist. Nicht nur in der Umgebung der eingezeichneten Referenzlinie bei Hβ + 5.6 nm wechseln während einer Periode Emissions- und Absorptionslinien, sondern auch zum Beispiel am langwelligen Ende des Scanbereiches. Um die Lage des Kontinuums für die Äquivalentbreitenbestimmung festlegen zu können, wurde die Statistik Abbildung 14 Seite 25 erstellt. Wie man sieht, wechselt eine zwischen den Phasen o.o bis o.5 vorhandene Absorption an der kurzwelligen Seite von Hβ bei der Phase o.6 auf die langwellige Seite (± 1.5 nm). Nach [27] handelt es sich dabei um eine Cr II - Linie.
Bei der Referenzlinie von Hβ + 5.6 nm wandert eine Emissionslinie während der Phasen o.1 bis o.5 von Hβ + 7.o nm nach Hβ + 5.o nm, um dann verborgen zu bleiben. Statt dessen tritt nach der Phase o.7 eine Absorption bei Hβ + 6.5 nm auf, die bis zur Phase o.25 auf Hβ + 5.5 nm heranrückt. Nach [3] handelt es sich um eine weitere He I - Linie.
Die weiter aussen gelegenen Emissions- und Absorptionslinien bei Hβ + 16 nm sind nicht in dieser Weise eindeutig zu beschreiben. Zum Vergleich dazu die Hβ - Sequenz auf den Seiten 48 bis 51.
Die Äquivalentbreite von Hβ zeigt wie die oben beschriebene Linie Hα, ebenfalls eine starke Variabilität mit der gleichen Phasenabhängigkeit (Tabelle 7 Seite 35 und Abbildung 19 Seite 36). Das Hauptmaximum liegt bei Phase o.o , das Nebenmaximum bei Phase o.6. Auch hier ist das Hauptmaximum schmal mit einer Breite von o.1 der Periode. Der Maximalwert der Äquivalentbreite ist -o.64 nm bei einem Durchschnitt von -o.13 nm. Das Nebenmaximum beträgt -o.17 nm.
Dass die Messungen von Chr. Spannagl stets zu grosse Äquivalentbreiten ergeben, liegt daran, dass durch eine ungünstige Lage der Linie Hβ im Scanbereich das Kontinuum nur falsch (zu klein) berechenbar ist.

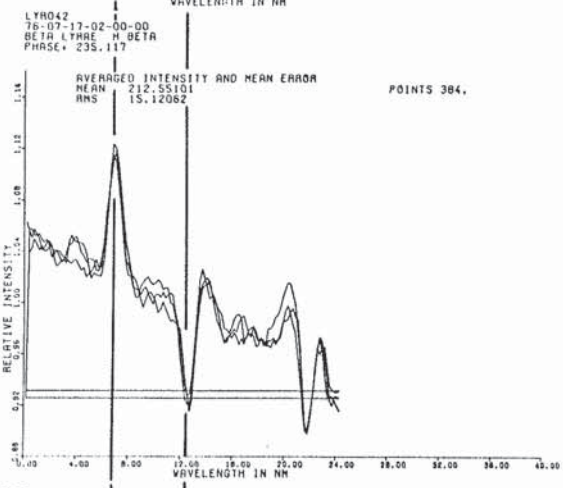
(Auf den folgenden Seiten 48 bis 51 sind alle erhaltenen Hβ - Scans der Phase nach geordnet abgebildet. Zu beachten ist, dass der Intensitätsmasstab nicht bei allen Zeichnungen gleich ist!)

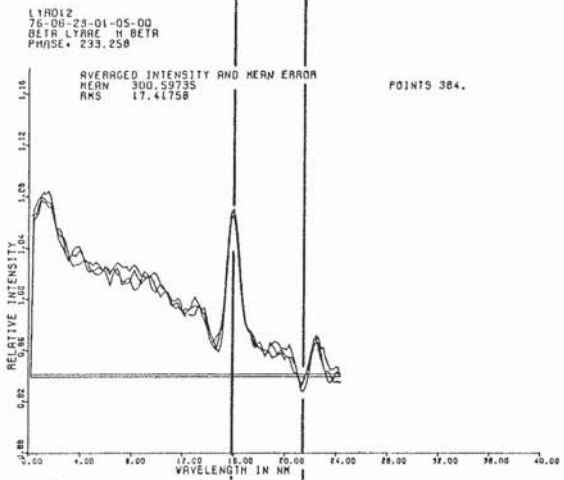

Hβ
Hβ + 5.6 NM
LYR082
77-07-12-22-35-00
BETA LYRAE M BETA
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 25.61234
RMS 3.28795
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

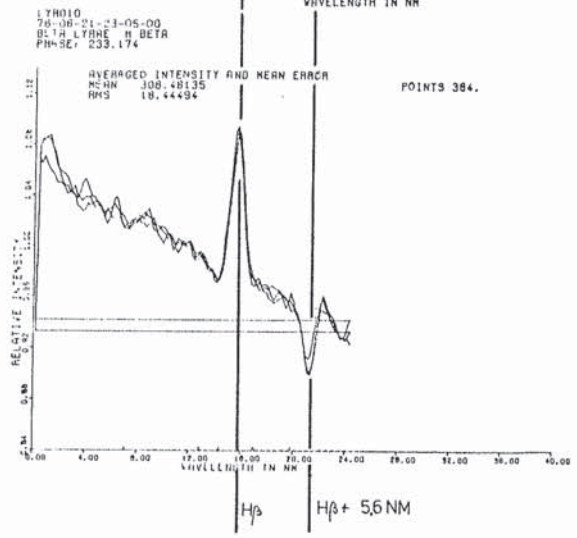

Hβ
Hβ + 5.6 NM
LYR048
78-09-07-22-10-00
BETA LYRAE M BETA
PHASE: 239.202
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 318.79825
RMS 20.38949
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

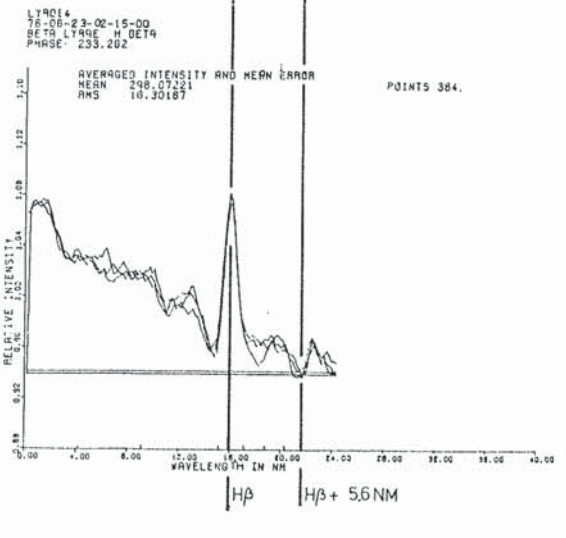

LYR038
76-07-16-22-35-00
BETA LYRAE M BETA
PHASE: 235.106
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 222.91331
RMS 15.98900
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

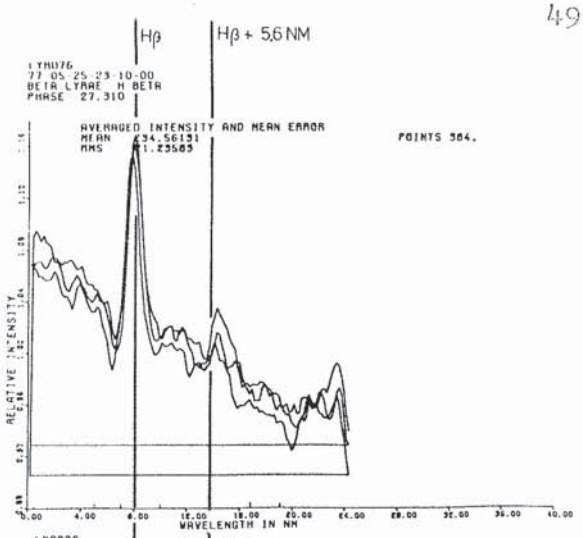

LYR049
76-09-08-00-15-00
BETA LYRAE M BETA
PHASE: 239.209
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 232.66032
RMS 17.42527
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

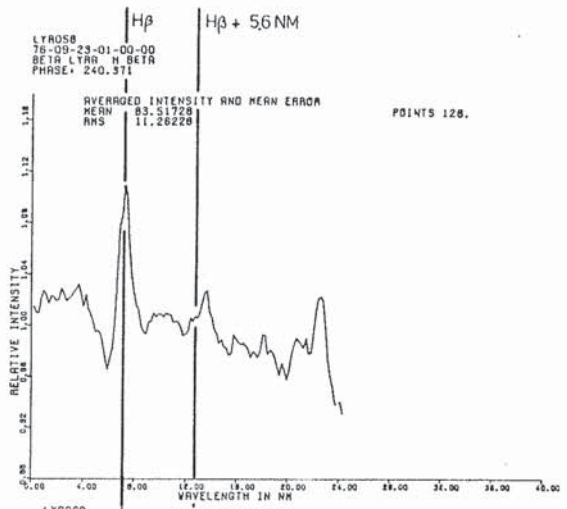

LYR042
76-07-17-02-00-00
BETA LYRAE M BETA
PHASE: 235.117
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 212.55101
RMS 15.12062
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

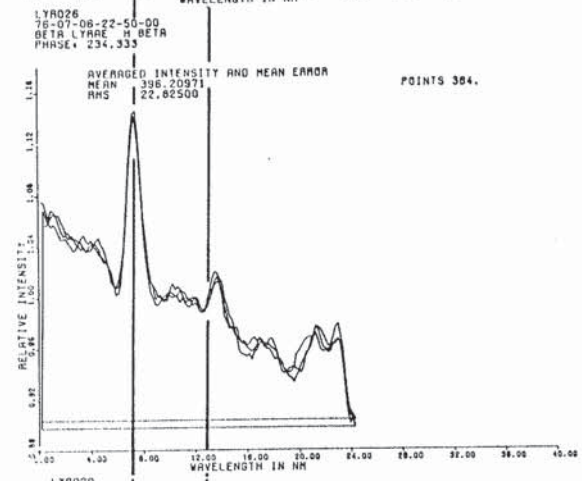

LYR012
76-06-23-01-05-00
BETA LYRAE M BETA
PHASE: 233.258
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 300.59735
RMS 17.41758
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

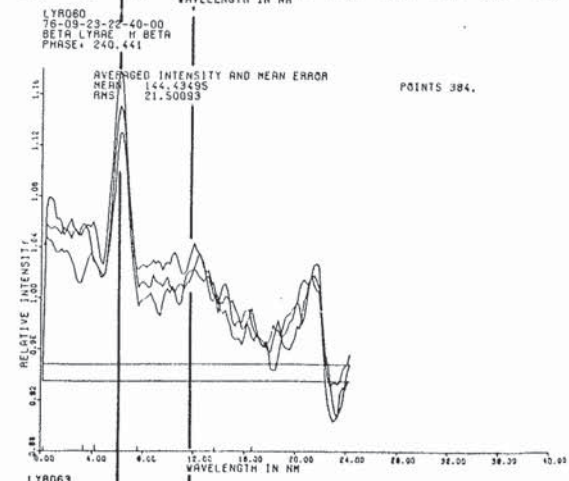

LYR010
76-06-21-23-05-00
BETA LYRAE M BETA
PHASE: 233.174
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 308.48135
RMS 18.44494
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
Hβ
Hβ + 5.6 NM

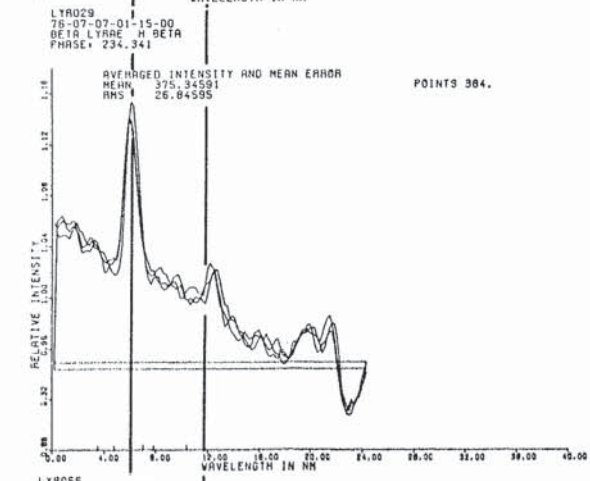

LYR014
76-06-23-02-15-00
BETA LYRAE M BETA
PHASE: 233.202
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 298.07221
RMS 16.30187
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
Hβ
Hβ + 5.6 NM

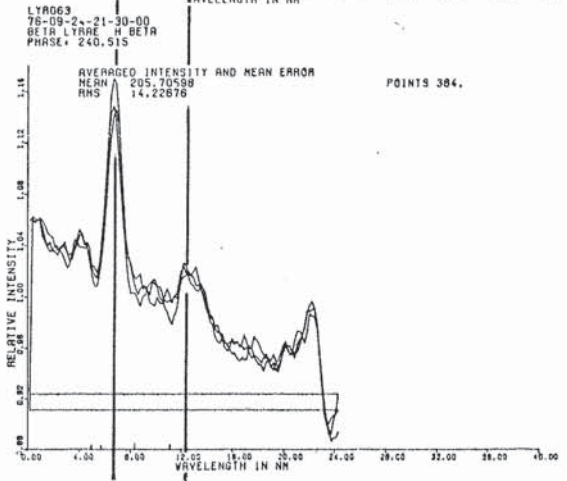

Hβ
Hβ + 5.6 NM
LYH076
77-05-25-23-10-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE 27.310
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 34.56131
RMS 1.23585
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

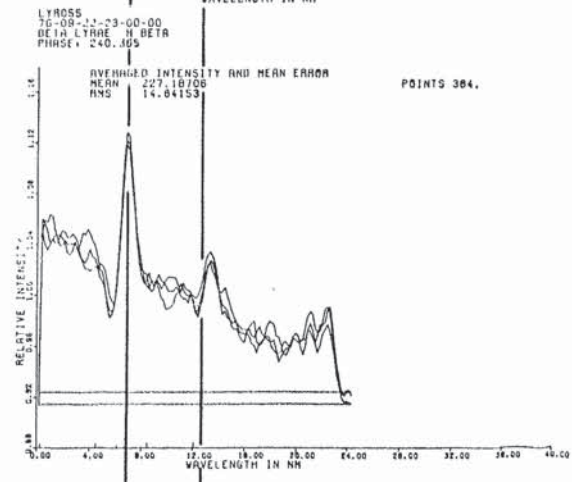

Hβ
Hβ + 5.6 NM
LYR058
78-09-23-01-00-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE 240.371
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 83.51728
RMS 11.26228
POINTS 128.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

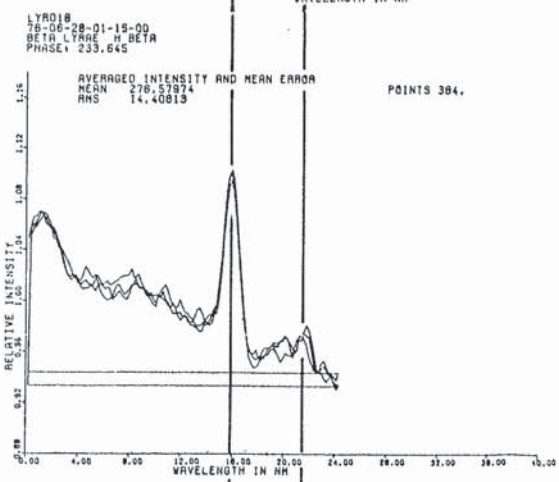

LYR026
76-07-06-22-50-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE 234.333
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 396.20971
RMS 22.82500
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

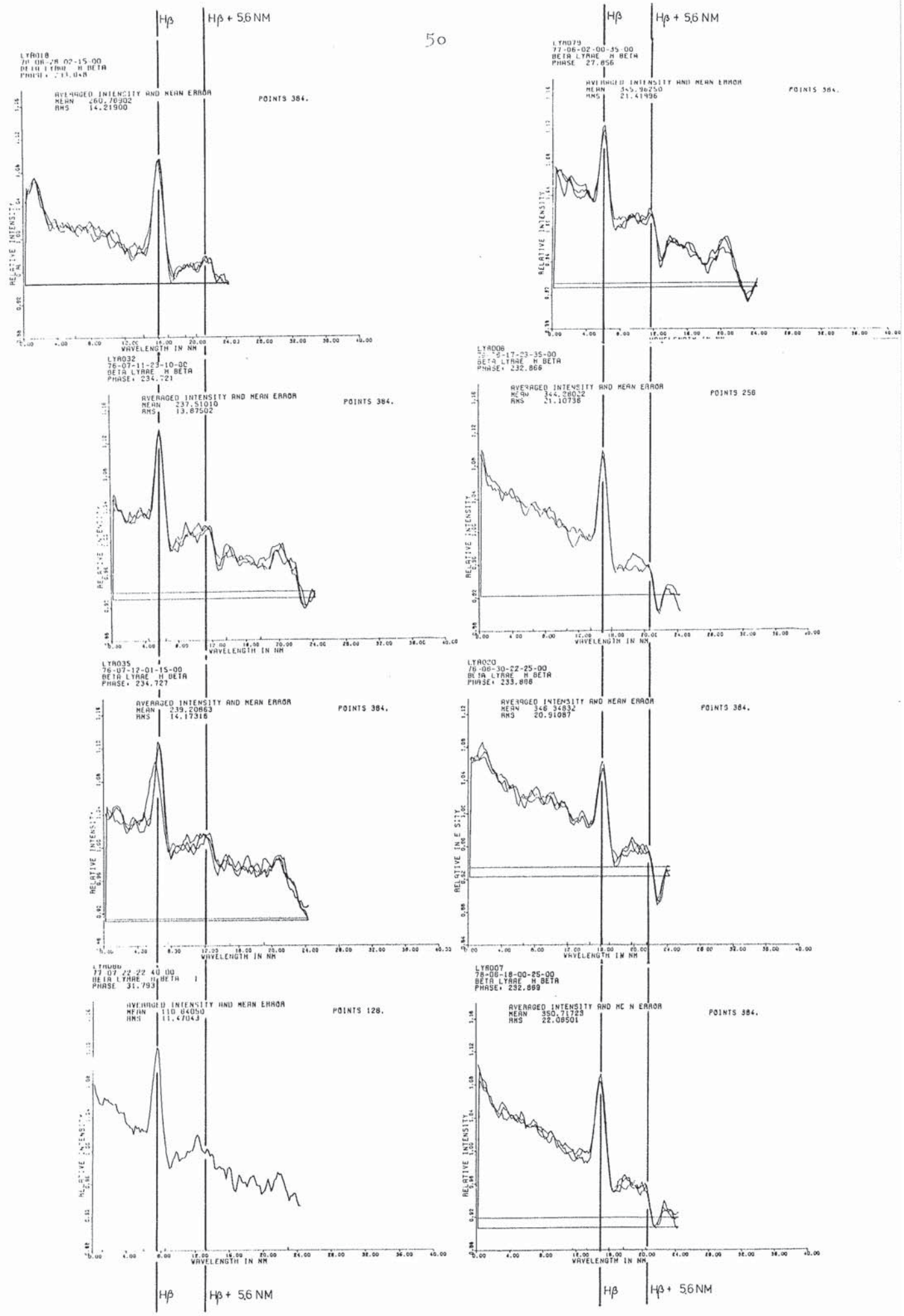

LYR060
78-09-23-22-40-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE 240.441
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 144.43495
RMS 21.50093
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

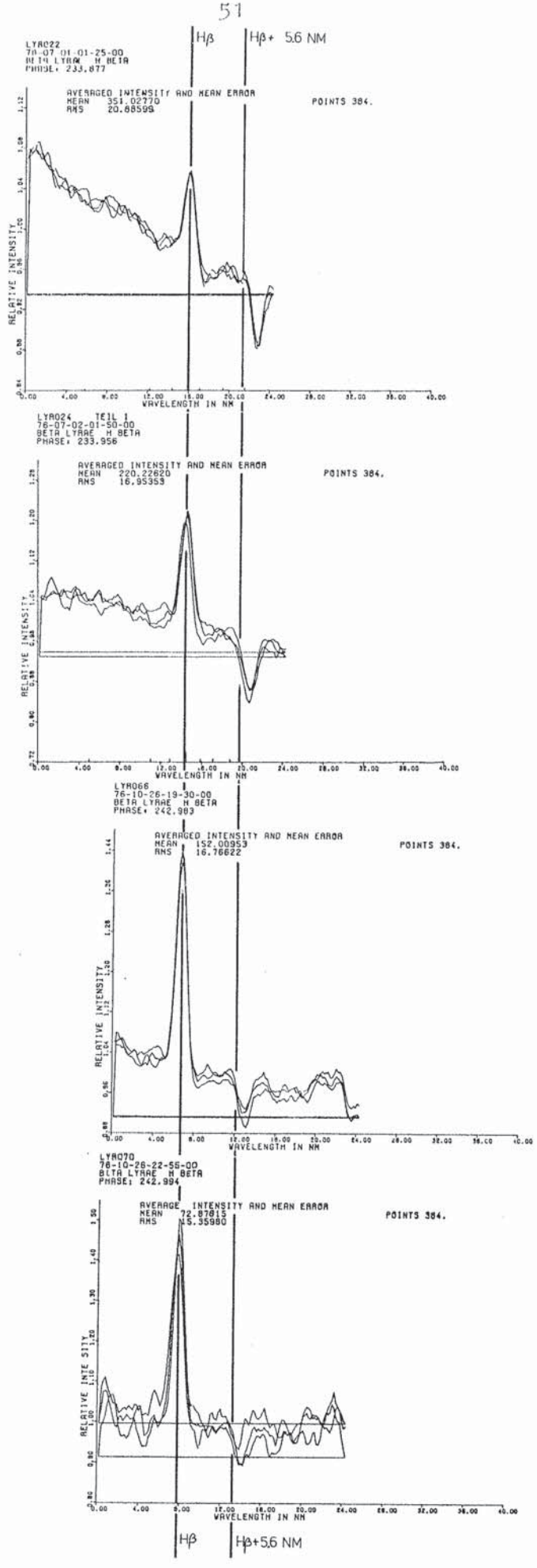

LYR029
76-07-07-01-15-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE 234.341
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 375.34591
RMS 26.84595
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM


LYR063
78-09-24-21-30-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE 240.515
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 205.70598
RMS 14.22676
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM


LYR055
78-09-24-23-00-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE 240.385
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 227.18706
RMS 14.84153
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
Hβ
Hβ + 5.6 NM


LYR018
78-06-28-01-15-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE 233.645
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 276.57974
RMS 14.40813
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
Hβ
Hβ + 5.6 NM


Hβ
Hβ + 5.6 NM
LYR018
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 260.78902
RMS 14.21900
POINTS 384.
LYR079
77-06-02-00-35-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE 27.656
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 345.36250
RMS 21.41996
POINTS 384.
LYR032
76-07-11-23-10-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE 234.721
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 237.51010
RMS 13.87502
POINTS 384.
LYR006
BETA LYRAE H BETA
PHASE 232.866
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 344.28032
RMS 21.10738
POINTS 256
LYR035
76-07-12-01-15-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE 234.727
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 239.20863
RMS 14.17318
POINTS 384.
LYR020
76-08-30-22-25-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE 233.808
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 346.34832
RMS 20.91087
POINTS 384.
LYR088
77-07-22-22-40-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE 31.793
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 110.84050
RMS 11.47043
POINTS 128.
LYR007
78-08-18-00-25-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE 232.869
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 350.71723
RMS 22.08501
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM


LYR022
76-07-01-01-25-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE: 233.877
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 351.02770
RMS 20.88599
POINTS 384.
Hβ
Hβ+ 5.6 NM
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
LYR024 TEIL 1
76-07-02-01-50-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE: 233.956
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 220.22620
RMS 16.95353
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
LYR066
76-10-26-19-30-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE: 242.983
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 152.00953
RMS 16.76622
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
LYR070
76-10-26-22-55-00
BETA LYRAE H BETA
PHASE: 242.994
AVERAGE INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 72.07815
RMS 15.35980
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
Hβ
Hβ+5.6 NM

He I: Die He I - Emissionslinie bei λ = 587.5 nm liegt in einem steilen Bereich des Kontinuums. Auf ihrer langwelligen Seite wird die Emission durch die starke Absorption der beiden interstellaren Na I - D Linien bei $\lambda\lambda$ = 589.o / 589.6 nm verformt. Wegen der geringen spektralen Auflösung des Spektrumscanners können die Linien nicht getrennt werden (vgl. Abbildung 11 Seite 23).
Zur Bestimmung der Äquivalentbreite der He I - Linie wurde der Schnittpunkt des in die Linie hineininterpolierten Kontinuums mit der langwelligen Seite der Linie bestimmt und als Linienende definiert. Der dabei auftretende Fehler in der Festlegung der Liniengrenze war unvermeidlich. Zusätzlich wurde auch noch die Äquivalentbreite einschliesslich der Absorption berechnet. Wie schon aus Abbildung 2o Seite 38 hervorgeht, in der die Äquivalentbreiten mit und ohne Absorption eingetragen sind, ist die Differenz zwischen den Äquivalentbreiten nicht konstant. Dies ist in Tabelle 8a Seite 37 und in Abbildung 23 nochmals verdeutlicht.

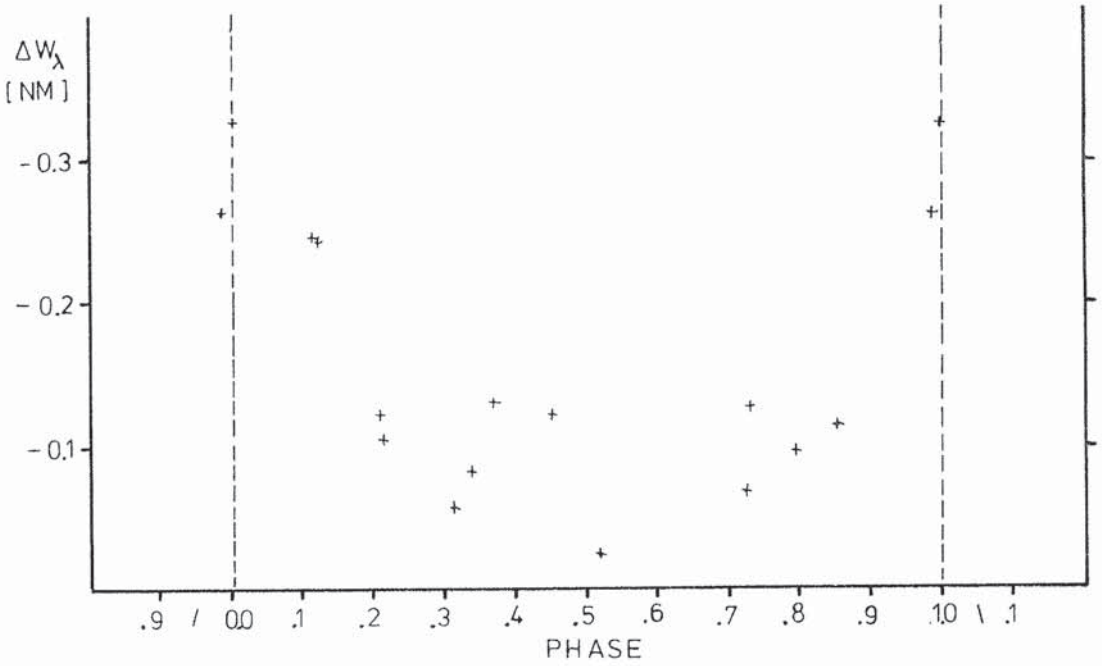


Abb. 23
(Differenz der Äquivalentbreiten He I - (He I + A))

Als Erklärung sind vier Möglichkeiten denkbar: die Intensität der He I - Linie schwankt; die Intensität der Na - I - D Linien ist variabel; die Lage der He I - Linie ist nicht konstant; die Lage der Na I - D Linien ist nicht fest; oder eine Kombination diese Möglichkeiten. Da es sich bei den Na I - D Linien um interstellare Linien handelt, kann angenommen werden, dass diese Linien in Lage und Intensität konstant sind. Die Änderung beruht also auf einer Verschiebung der He I - Linie, was durch die veröffentlichten Radialgeschwindigkeitsmessungen an Beta Lyrae bestätigt wird [3]. Zum Vergleich die auf den Sei-

ten 54 bis 56 abgebildete Sequenz der He I - Linie.
Wie Tabelle 8 auf Seite 37 und Abbildung 2o Seite 38 zeigen, ist der Verlauf der Äquivalentbreiten über die Phase mit dem Verlauf von Hα und Hβ vergleichbar. Der Abfall vom Hauptmaximum (W_λ = -1.11nm) scheint rascher zu erfolgen, das Nebenmaximum (W_λ = -o.71 nm) liegt zwischen den Phasen o.5 und o.6 und der Kurvenverlauf zwischen den Hauptmaxima ist unsymmetrisch.
Der simultan zu He I aufgenommene Bereich um die Wellenlänge 417.5 nm zeigte keine Linien und kaum Veränderungen. Die Abbildung 24 zeigt zwei Beispiele für verschiedene Phasen. Da dieser Bereich in einem Gebiet liegt, das schon durch den raschen Abfall der Empfängerempfindlichkeit verfälscht ist, ist obige Feststellung (keine Linien) nur für die vorliegenden Spektren gültig!

Eine Gesamtdarstellung der Variationen der Äquivalentbreiten von Hα, Hβ und He I gibt Abbildung 18 Seite 41.

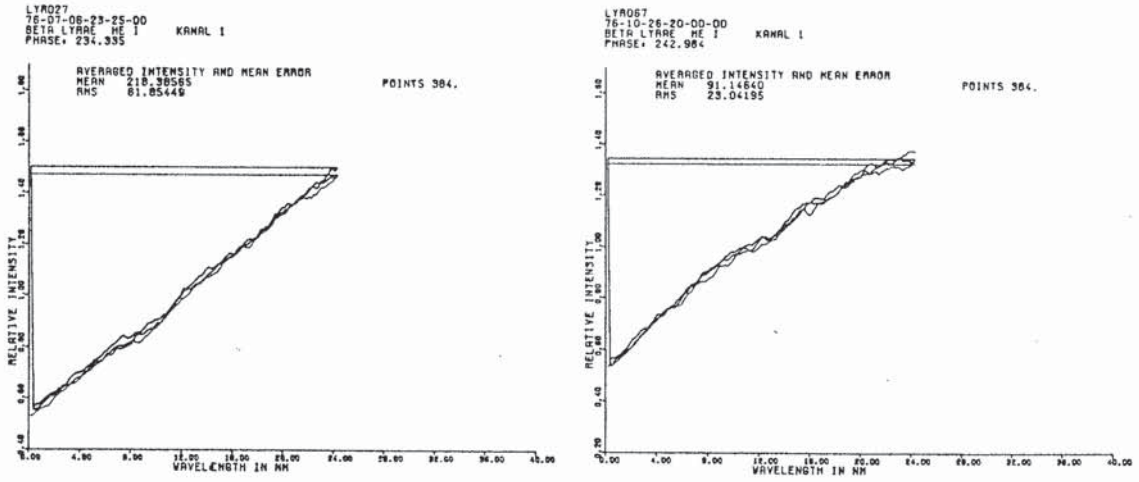
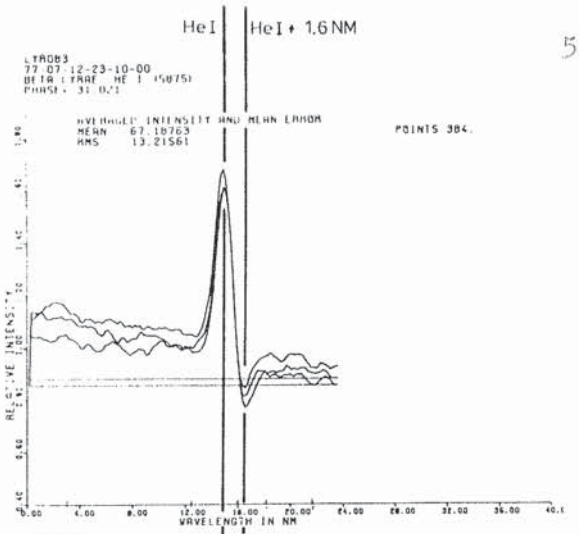
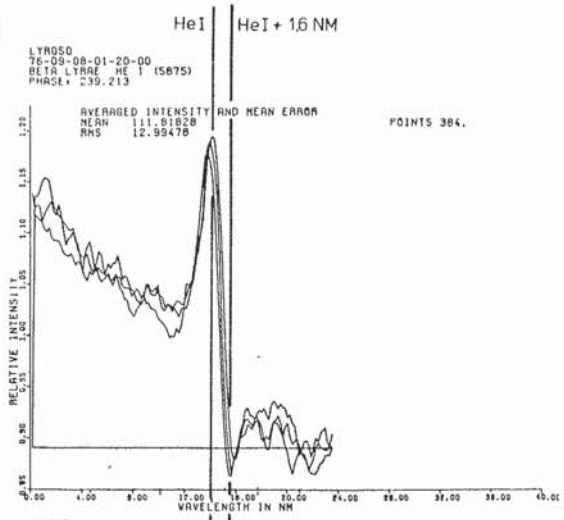
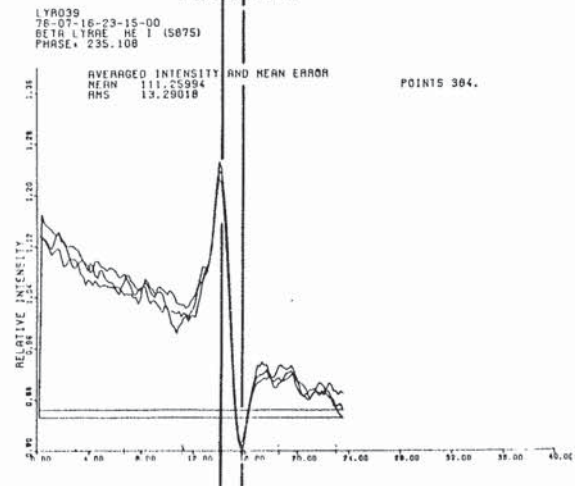


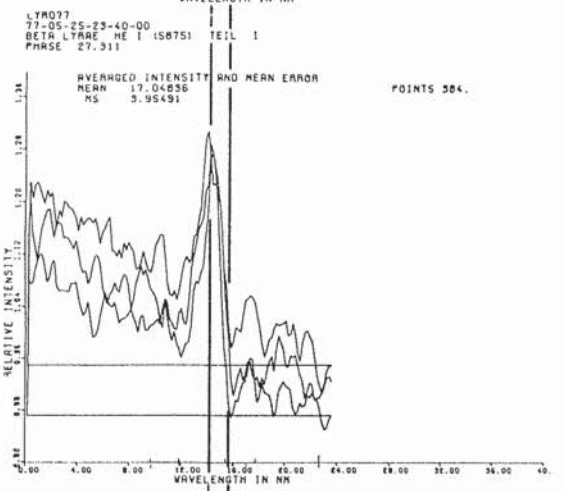
Abb. 24
(Scanbereich um 417.5 nm für zwei Phasen)

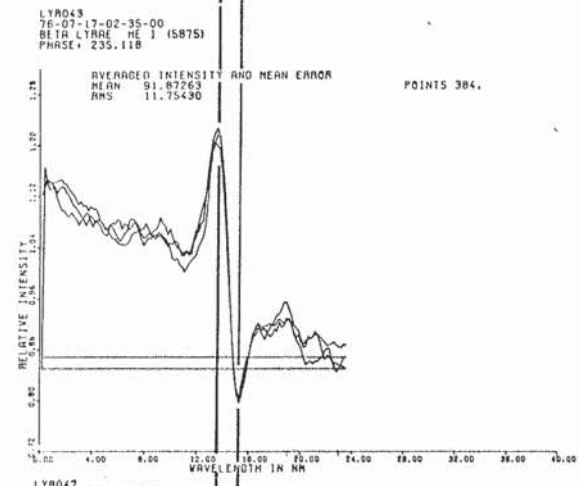
(Auf den folgenden Seiten 54 bis 56 sind alle erhaltenen He I - Scans der Phase nach geordnet abgebildet. Zu beachten ist, dass der Intensitätsmasstab nicht bei allen Zeichnungen gleich ist!)

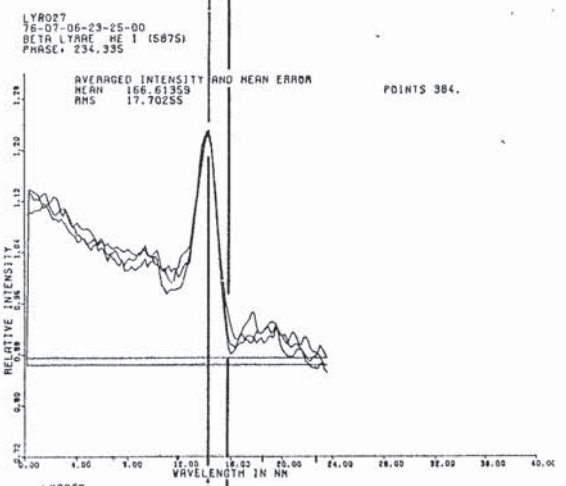

HeI
HeI + 1.6 NM
LYR083
77-07-12-23-10-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE= 31.071
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 67.18763
RMS 13.21561
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

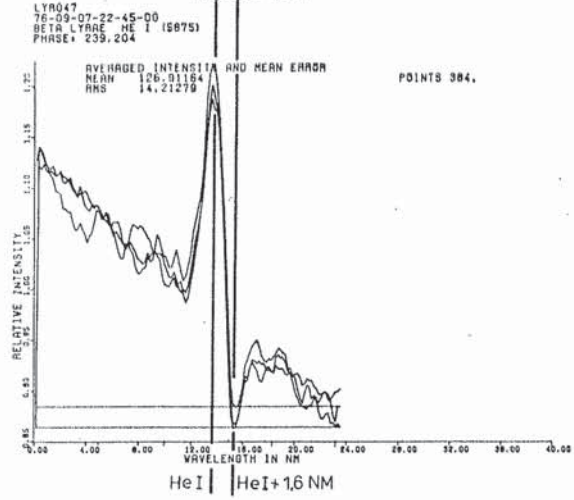

HeI
HeI + 1.6 NM
LYR050
76-09-08-01-20-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE= 239.213
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 111.81828
RMS 12.99478
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

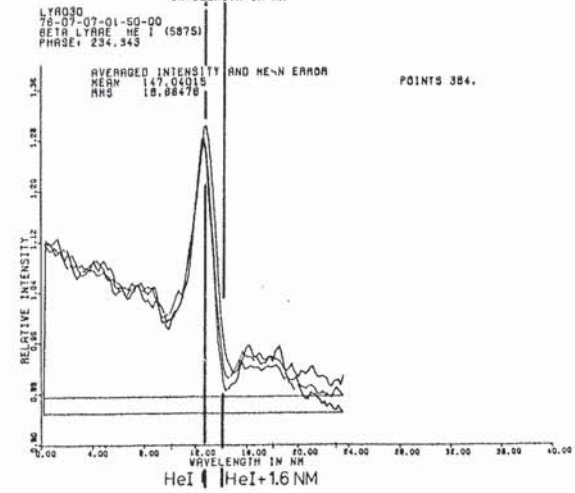

LYR039
76-07-16-23-15-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE= 235.108
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 111.25994
RMS 13.29018
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

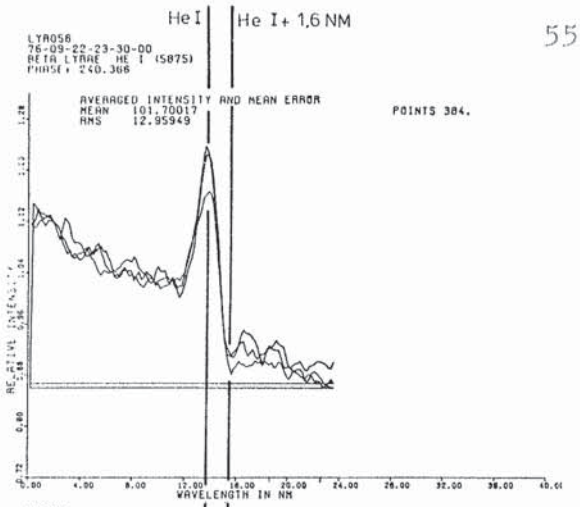

LYR077
77-05-25-23-40-00
BETA LYRAE HE I (5875) TEIL 1
PHASE 27.311
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 17.04836
RMS 3.95491
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

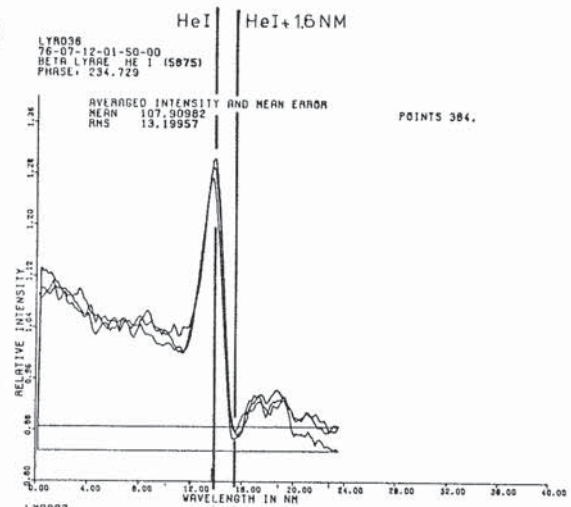

LYR043
76-07-17-02-35-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE= 235.118
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 91.87263
RMS 11.75430
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

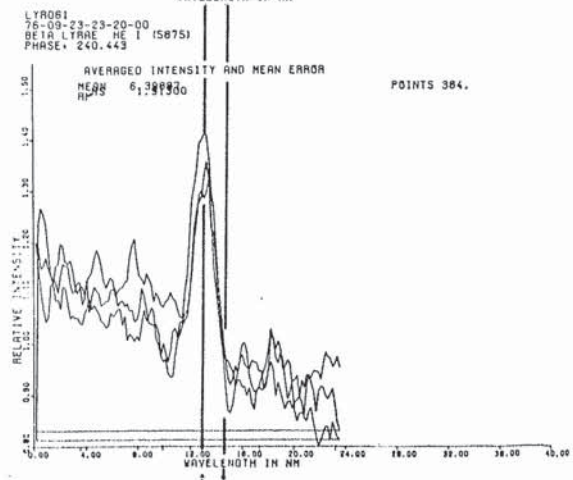

LYR027
76-07-06-23-25-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE= 234.335
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 166.61359
RMS 17.70255
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

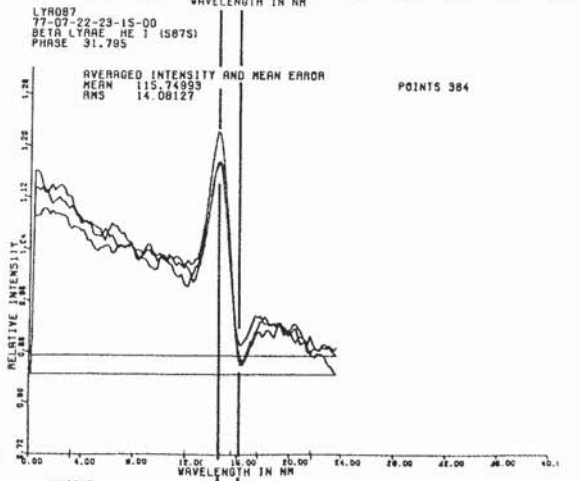

LYR047
76-09-07-22-45-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE= 239.204
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 126.01184
RMS 14.21279
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
HeI
HeI + 1.6 NM

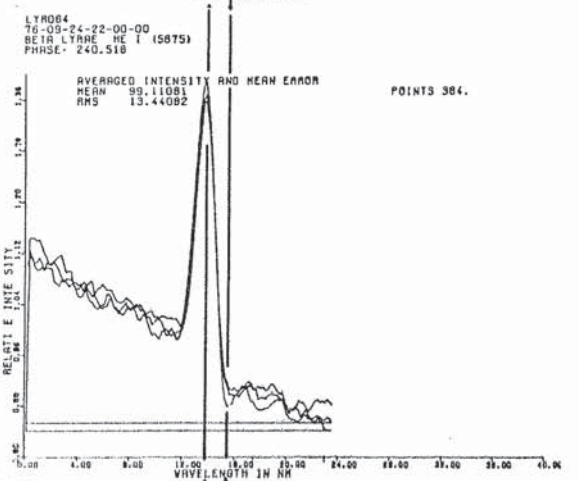

LYR030
76-07-07-01-50-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE= 234.343
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 147.04015
RMS 18.88478
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
HeI
HeI + 1.6 NM

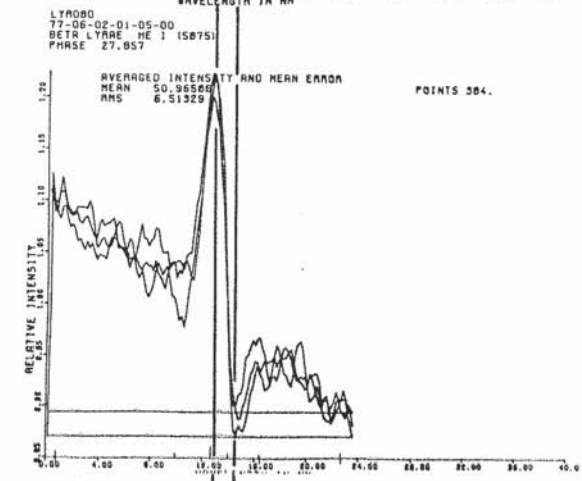

HeI
He I+ 1.6 NM
LYR056
76-09-22-23-30-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE= 240.368
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 101.70017
RMS 12.95949
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

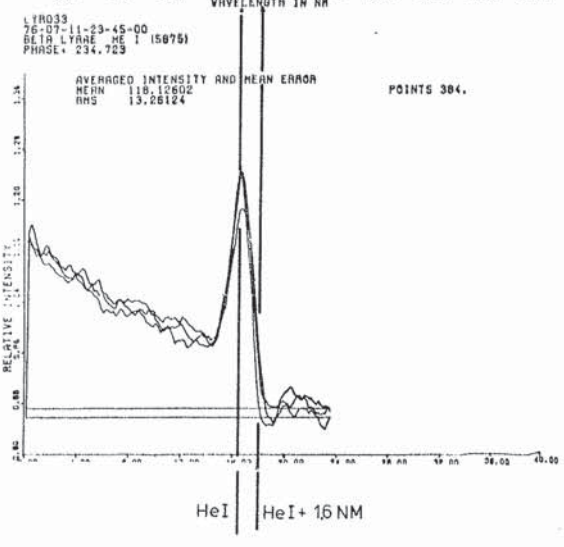

HeI
HeI+1.6 NM
LYR036
76-07-12-01-50-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE= 234.729
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 107.90982
RMS 13.19957
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

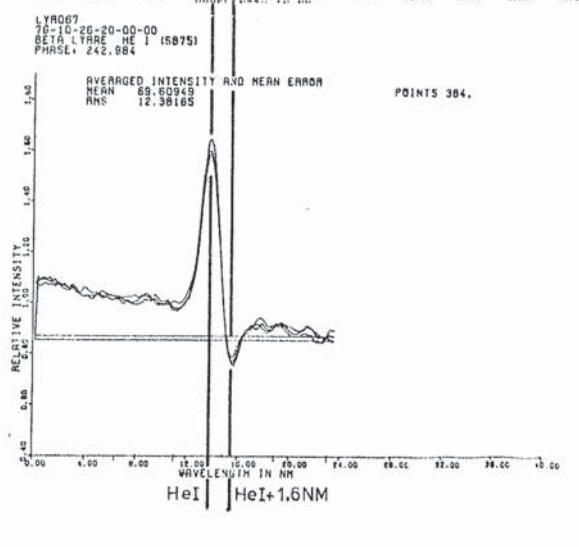

LYR061
76-09-23-23-20-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE= 240.443
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM

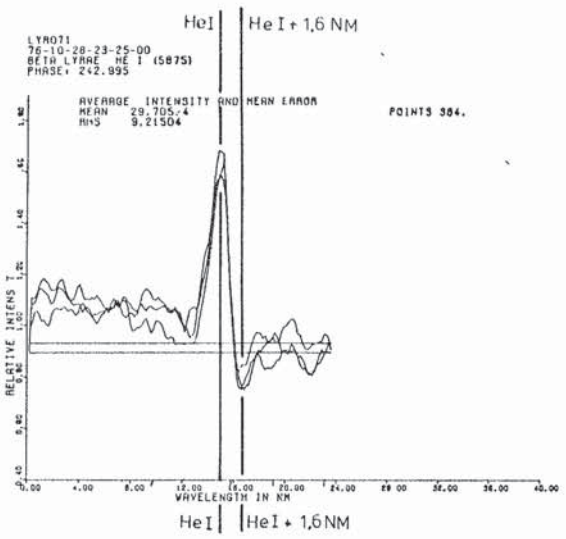

LYR087
77-07-22-23-15-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE 31.795
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 115.74993
RMS 14.08127
POINTS 384
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM


LYR084
76-09-24-22-00-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE= 240.518
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 99.11081
RMS 13.44082
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM


LYR080
77-06-02-01-05-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE 27.857
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 50.96568
RMS 6.51329
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM


LYR033
76-07-11-23-45-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE= 234.729
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 118.12602
RMS 13.26124
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
HeI
HeI+ 1.6 NM


LYR067
76-10-26-20-00-00
BETA LYRAE HE I (5875)
PHASE= 242.984
AVERAGED INTENSITY AND MEAN ERROR
MEAN 69.60949
RMS 12.38165
POINTS 384.
RELATIVE INTENSITY
WAVELENGTH IN NM
HeI
HeI+1.6NM



Um die von vielen Autoren gestellte Frage, ob die Variationen der Äquivalentbreiten nur durch die Schwankungen der Intensität des Kontinuums im Spektrum während der Periode vorgetäuscht werden zu beantworten, wurden aus der Lichtkurve (Abb. 22 Seite 41) und den gemessenen Äquivalentbreiten (Abb. 21 Seite 39) "absolute" Äquivalentbreiten für Hα, Hβ und He I abgeleitet (Abb. 21a). Diese sind wegen der Ungenauigkeit der Lichtkurve nicht wirklich absolut, aber man kann auch so eine deutliche Phasenabhängigkeit feststellen, aus der zu schliessen ist, dass die Variationen in den gemessenen Äquivalentbreiten wirklich vorhanden sind.

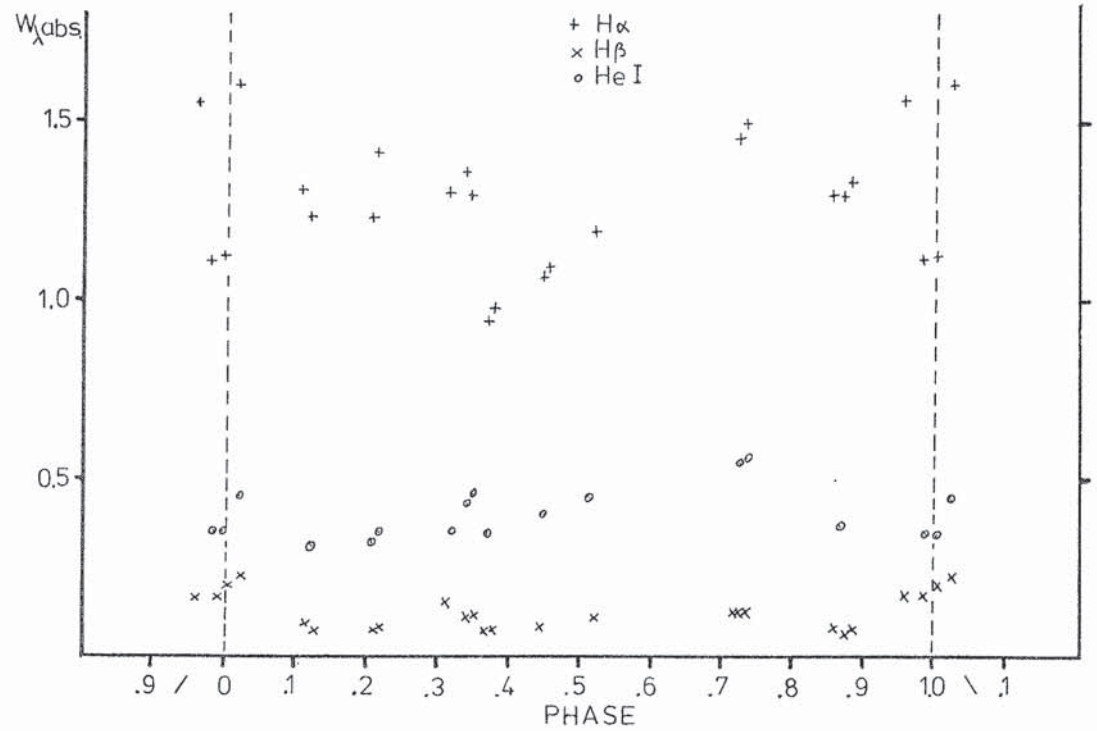


Abb. 21a
("Absolute" Äquivalentbreiten Hα, Hβ, He I)

3.3.5 Kurzzeitvariationen

Da mit einem Scanner die zu messende Linie in kurzer Zeit (8 Sekunden) registriert wird, ist es möglich, durch Zusammenfassen der Äquivalentbreiten von nur wenigen Scans zu einem Messpunkt, das Verhalten einer Linie in sehr kurzen Zeiträumen zu untersuchen.
Um die von verschiedenen Autoren (vgl. dazu [15]) berichteten, in kurzer Zeit (Minuten) erfolgenden Änderungen zu erfassen, wurden die bei einer Messung von Hα, Hβ oder He I innerhalb von 15 Minuten erhaltenen Äquivalentbreiten in drei Gruppen zusammengefasst und über diese Zeit gemittelt. Bei besonders interessanten Phasen, wie sie z.B. in [15] angegeben sind, wurden zusätzlich die während 15 Minuten erhaltenen Äquivalentbreiten in bis zu 5o Gruppen unterteilt. Dabei stellte sich heraus, dass es in keinem Fall sinnvoll war, die Gruppenzahl auf mehr als drei zu erhöhen, da das Verhältnis der Fehler der Einzelmessung zu der Streuung der Messpunkte immer ungünstiger wurde.
Für Nächte, in denen nur je eine Messung vorlag, konnte wegen der geringen Anzahl der Messpunkte (3) keine Aussage über eine Kurzzeitvariation getroffen werden.
Von den 1o Doppelbeobachtungen einer Linie in einer Nacht (Hα, Hβ und He I), zeigte sich in drei Fällen ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Messungen (Tabelle 9).

Tabelle 9

Kurzzeitvariation Hα, Hβ bei Beta Lyrae

Kennzeichen	Epochen	Δt	ΔHα	ΔHβ
LYRo38 / LYRo42	o3.1o6 / o3.117	2o5	- 5 %	- 5 %
LYRo46 / LYRo49	o7.2o2 / o7.2o9	125	+13 %	-
LYRo12 / LYRo14	o1.258 / o1.262	7o	- 4 %	-

Δt : Zeitunterschied der Messungen in Minuten
ΔHα, ΔHβ : Unterschied in den Äquivalentbreiten

Bei He I waren keine Unterschiede zwischen aufeinanderfolgenden Messungen in einer Nacht erkennbar, die grösser als der Fehler der Einzelmessung waren.

Zusammenfassend lässt sich feststellen:
Die von A. Sanyal in [15] festgestellten Variationen der Äquivalentbreiten von Hα konnten, da diese Messungen bei anderen Phasen als die hier vorliegenden erfolgten, nicht bestätigt werden.
Die in Tabelle 9 aufgeführten Änderungen sind aber gesichert. Kann man die Abnahme der Äquivalentbreiten bei den Phasen .1o6/.117 und .258/.262 noch mit dem "normalen" Rückgang der Äquivalentbreiten erklären, so ist der Anstieg bei der Phase .2o2/.2o9 dadurch nicht erklärbar.
Dies lässt den Schluss zu, dass auch die von A. Sanyal gemessenen Variationen vorhanden sind.

3.3.6 Hα, Hβ Äquivalentbreiten - Variation über verschiedene Perioden

Im Februar und März 1975 wurden von Chr. Spannagl mit der selben Instrumentierung vier Äquivalentbreitenbestimmungen von Hα und Hβ vorgenommen. (Um Differenzen bei den Auswertemethoden auszuschliessen, wurden die auf Lochstreifen vorhandenen Messresultate nochmals mit den für die übrigen Messungen verwendeten Methoden ausgewertet.)
Schliesst man diese Beobachtungen mit in die Betrachtung ein, so erfolgten insgesamt 34 Beta Lyrae Äquivalentbreitenbestimmungen von Hα und Hβ , mit einem maximalen Periodenunterschied von 68 Perioden (~2.3 Jahre). Dabei wurden vier Messungen bei nahezu gleicher Phase, aber in verschiedenen Perioden durchgeführt. Tabelle 1o gibt einen Vergleich der Messresultate.

Tabelle 1o

Veränderungen der Äquivalentbreiten von Hα und Hβ zwischen verschiedenen Perioden bei Beta Lyrae

	Kennz.	Julianisches Datum	Epoche	W_λ (Hα) [nm]	W_λ (Hβ) [nm]
a)	LYRoo2	2442939.5o3	oo.252	-1.4565±o.o151	-
	LYRo12	2442952.514	o1.258	-1.4565±o.o179	-o.o999±o.oo37
b)	LYRoo4	2442944.51o	oo.643	-1.8213±o.o233	-
	LYRo16	2442957.521	o1.645	-1.6321±o.o393	-o.1634±o.o143
c)	LYRoo6	2442947.458	oo.867	-1.6675±o.o377	-o.135o±o.o215
	LYRo2o	244296o.4o3	o1.868	-1.5363±o.o242	-o.o881±o.oo77
	LYRoo7	2442947.487	oo.869	-1.7o87±o.oo89	-o.1468±o.oo98
d)	LYRo7o	2443o78.424	1o.994	-3.5259±o.1859	-o.6377±o.o422
	SPAoo1	244247o.654	-37.999	-3.4375±o.1485	-o.531o±o.o562

Im Fall a), bei dem leider zum Vergleich nur Hα - Messungen vorliegen, ist zwischen den Perioden o und 1 keine Veränderung in den Äquivalentbreiten feststellbar.
Im Fall b) (ebenfalls nur Hα) ist die während der Periode 1 gemessene Äquivalentbreite um etwa 1o% geringer als bei Periode o. Die Fehlergrenzen der Messungen sind jeweils nur 1.3% bzw. 2.4%!
Im Fall c), bei dem eine Messung der Periode 1 von zwei Messungen der Periode o eingeschlossen ist, ist ebenfalls ein Absinken der Äquivalentbreite bei der Periode 1 um 9% bei Hα und um 4o% bei Hβ feststellbar. Auch hier liegt dies weit über den Fehlergrenzen der einzelnen Messwerte (Hα: 2.3%/1.6%/o.5%; Hβ: 15.9%/8.7%/6.7%).
Im Fall d), bei dem die grösste Differenz von 47 Perioden vorliegt, ist die Abweichung der für Hα und Hβ gemessenen Werte noch gut innerhalb der Fehlerbereiche beider Messungen.

Ergebnis:
Von den vier untersuchten Fällen der Mehrfachbeobachtung der gleichen Phase in verschiedenen Perioden, sprechen zwei für und zwei gegen eine Variation der Äquivalentbreite zwischen den verschiedenen Perioden. Die Abweichungen in den Fällen b) und c) bei den Phasen .643/ .645 und .867/ .868/ .869 sind nicht

durch stark unterschiedliche Beobachtungsbedingungen zu erklären (vgl. Tabelle 1 Seite 9 ff.). Die Unveränderlichkeit der Äquivalentbreite bei den Fällen a) und d) tritt sowohl im Maximum der Lichtkurve, wie auch im Minimum auf, was gleichzeitig minimale und maximale Äquivalentbreite bedeutet.
Die Beobachtungsergebnisse legen nahe, dass eine Variation der Äquivalentbreite in den Fällen b) und c) sicherlich vorhanden, aber anscheinend an bestimmte Phasen gebunden ist.
Auch in der Literatur werden wiederholt Veränderungen zwischen verschiedenen Perioden beschrieben. O. Struve [2o,21] berichtet über verschiedene Radialgeschwindigkeiten bei aufeinanderfolgenden Perioden, wobei anscheinend auch eine Phasenabhängigkeit auftritt. D. Wood und M. Walker [24] stellen eine Veränderung der Breite des Hauptminimums der Lichtkurve bei aufeinanderfolgenden Perioden fest. Schon 1933 unterscheidet A.C. Maury [12] bei einer Untersuchung der Hα - Emission zwischen "starken", "normalen" und "schwachen" Perioden. A.H. Batten und J. Sahade [3] schliesslich berichten über Schwankungen der "Stärke" der Hα - Emission in den verschiedenen Perioden. In vielen weiteren Arbeiten werden Änderungen zwischen verschiedenen Perioden angedeutet oder vermutet.
Abschliessend lässt sich sagen, dass ergänzt durch die Literatur der Schluss gezogen werden kann, dass (abhängig von der Phase) zwischen verschiedenen Perioden Änderungen auch in den Äquivalentbreiten von Hα und Hβ auftreten.

4. MODELLE DES SYSTEMS BETA LYRAE

In diesem Abschnitt werden die neueren in der Literatur zu findenden Modelle des Systems Beta Lyrae im Hinblick auf die in dieser Arbeit behandelten Beobachtungen beschrieben.

Modell I :

PASP (= Publications of the Astronomical Society of the Pacific) 7o, 5-4o, 1958 O. Struve "The Problem of Beta Lyrae"

Das System Beta Lyrae besteht aus zwei Sternen (Spektraltyp B8 und F), die sich in sehr geringem Abstand umkreisen und dabei gegenseitig bedecken. Die Summe der Radien ist o.97 des Abstandes der Sternzentren. Das Radiusverhältnis R_1/R_2 beträgt 1.7 . Der B8-Stern ist vermutlich der grössere mit einem Radius zwischen 23 $R_\odot$ und 94 $R_\odot$. Aus dem Helligkeitsverhältnis der Oberflächen von 1:5, ergibt sich ein Temperaturverhältnis von 8ooo K zu 15ooo K (F/B8). Wenn die Sterne die Roche-Grenze ausfüllen, haben sie im Lagrange-Punkt L_1 Kontakt, sodass Massenaustausch stattfindet. Der F-Stern ist der Stern mit der grösseren Masse (2o $M_\odot$), aber unnormal leuchtschwach (underluminous), dessen Spektrum keine starken sichtbaren Absorptionslinien enthält, sondern nur Emissionslinien. Seine Bahngeschwindigkeit beträgt 1oo km/s. Der B8-Stern hat geringere Masse (1o $M_\odot$) und trägt hauptsächlich zu dem Absorptionsspektrum bei. Seine Bahngeschwindigkeit beträgt 187 km/s.
Möglicherweise füllt in dem System nur der B8-Stern seine Roche-Grenze aus. Dies könnte die Folge einer Entwicklung sein, die von einem Doppelstern der Population I ausging und dessen massenreichere Komponente (F) sich schneller entwickelt hat. Sie ist nun zu einem leuchtkraftschwachen, heissen Stern unterhalb der Hauptreihe geworden. Die ursprünglich massenärmere Komponente (anfangs 22 $M_\odot$) befindet sich jetzt im Riesenstadium (jetzt 5o $M_\odot$). Die Masse der Hülle des B8-Sternes beträgt $4 \times 1o^{23}$kg, die Expansionsgeschwindigkeit 1oo km/s und die Dicke der Hülle $1o^{11}$m. Der Massenverlust pro Sekunde von $4 \times 1o^{17}$kg ($M_{B8} = 1o^{32}$kg) bewirkt eine Verlängerung der Periode um ΔP = 19 s/a. Die von dem B8-Stern überfliessende Materie bildet um den F-Stern und das System eine sich in der Bahnebene konzentrierende Scheibe.
An spektroskopischen Details kann man erkennen: durch einen Gasstrom durch L_2 ergibt sich eine Variabilität der H - Absorption bei P = o.5 - o.6 (Phase); durch das Überströmen von Materie durch L_1 sowohl von dem F-Stern als auch von dem B8-Stern ergeben sich in den Phasen o.92 bis o.98 rote und bei den Phasen o.oo1 bis o.o6 blaue Satellitenlinien bei den Absorptionslinien. Der Ort des Überströmens des Gases, das die roten Satellitenlinien (rotverschobene Linien) verursacht, ist näher an der Verbindungslinie der Sternzentren, als der Ort des Überströmens der Materie, die die blauen Satellitenlinien erzeugt. Die Linien sind sowohl in der Stärke, als auch in ihrer Lage nicht konstant. Grosse Geschwindigkeit in den blauen Linien kurz nach dem Auftauchen, grosse Geschwindigkeit in den roten Linien kurz vor dem Verschwinden. Die Geschwindigkeiten betragen 14o - 2oo km/s (rot) und 8o - 36o km/s (blau).
Das Verhalten der H und He I - Emissionslinien ist in Phase mit dem F-Stern. Der Entstehungsort der Emissionslinien liegt

näher am F-Stern.

Die folgende Abbildung 25 gibt die Abbildung 9 der oben zitierten Arbeit von O. Struve modifiziert wieder.

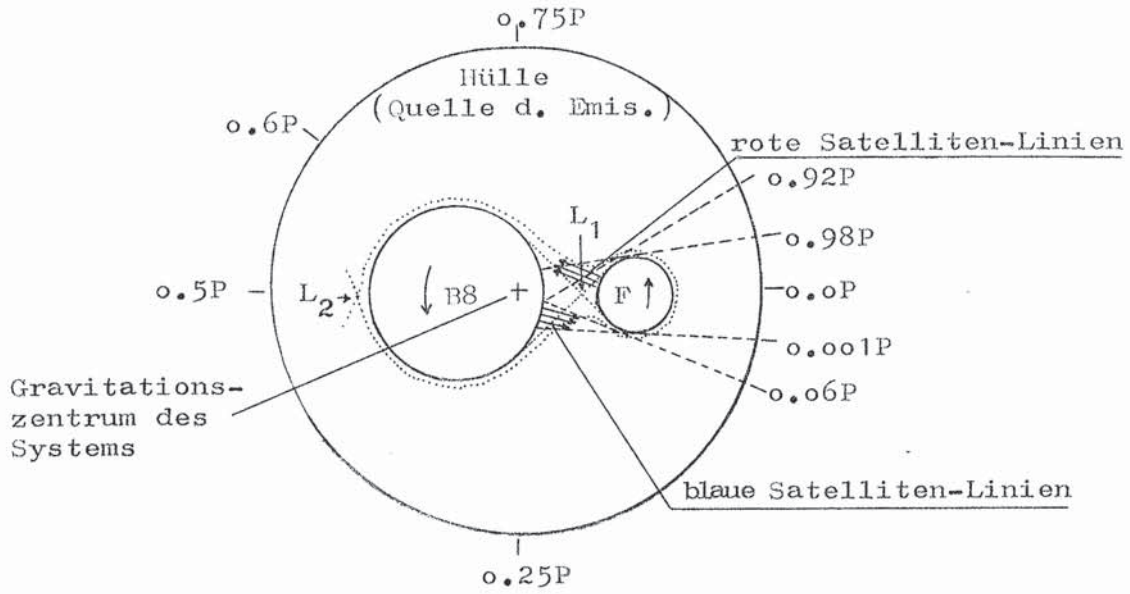


Abb. 25
(Modell I)

Modell II :
APJ (= The Astrophysical Journal)
138, 342-349, 1963 Su-Shu Huang
"An Interpretation of Beta Lyrae (I)"
208, 78o-788, 1976 Su-Shu Huang; D.A. Brown
"An Interpretation of Beta Lyrae II.
Disk Luminosity, Mass Ratio, and Nature of
the Secondary Component."

Das System Beta Lyrae besteht aus einem Hauptstern (B8), der gerade seine Äquipotentialfläche ausfüllt und einem Begleiter der massenreicher (~5mal), aber kleiner als der Hauptstern ist. Der Begleiter ist von einer am Rand mit 2oo - 3oo km/s rotierenden Scheibe aus Gas umgeben, die dicht und undurchsichtig ist und einen beträchtlichen Teil der Strahlung des Begleiters verschluckt. Die Neigung der Bahnebene und damit auch der Scheibe, beträgt nicht genau 9o Grad, sodass die auf den Himmelshintergrund projizierte Scheibe eine merkliche Fläche darstellt, die im Hauptminimum den Hauptstern zum Teil verdeckt. Da der Radius des Begleiters, wie er aus der Lichtkurve abgeleitet wird, zum grossen Teil von der Scheibe eingenommen wird, ist das Berühren der Sterne nur vorgetäuscht. Die Grösse des Begleiters ist o.1 des Abstandes der Sternzentren. Die Grösse des Hauptsternes ergibt sich aus der Grösse der Roche-Grenze. Die Helligkeit der Scheibe trägt zur Gesamthelligkeit des Systems 3o - 4o % bei. Trotzdem konnte noch kein Spektrum der

Scheibe erhalten werden. Dies hat seine Ursache in der im Verhältnis zu dem Spektrum des Hauptsternes relativ schwachen Sichtbarkeit der Linien der Scheibe (nur etwa 3 % Beitrag der Scheiben-Absorptionslinien in den Linien des Hauptsternes, was nicht messbar ist). Die Exzentrizität der Bahnen im System ist Null. Der Spektraltyp des Begleiters muss aus Energiebilanzgründen B oder O sein. Die Scheibe ist im LTE und hat eine Temperatur ähnlich der des Hauptsternes. Die von dem Hauptstern auf die Scheibe fallende Strahlung trägt zur Aufhellung des sekundären Minimums bei.
Von dem Hauptstern geht ein Gasstrom zu der Scheibe um den Begleiter. Die rotierende Scheibe kann wahrscheinlich die über einen Zeitraum von einigen Jahren beobachteten Veränderungen in der Tiefe der Minima der Lichtkurve verursachen. Kleine Veränderungen können sich am Rand der Scheibe von Periode zu Periode ereignen. Die blau-verschobenen Linien unmittelbar nach dem Hauptminimum werden durch den Materiestrom von dem Hauptstern verursacht. Durch die Neigung der Bahnebene gegen die Sichtlinie ist dies sichtbar. Die rot-verschobenen Linien unmittelbar vor dem Hauptminimum können nicht durch einen Materiefluss vom Begleiter zum Hauptstern verursacht werden, da dieser seine Roche-Grenze nicht ausfüllt. Dieses System von Absorptionslinien ist mit der rotierenden Scheibe verknüpft, wobei es entweder durch die Scheibe selbst, oder durch einen entweichenden Gasstrom aus der Scheibe hervorgerufen wird. Betrachtet man die Beobachtungen zu Modell I, so kann man den Unterschied in der Streuung der Geschwindigkeiten der blau- und rot-verschobenen Linien leicht erklären. Das Überströmen von Gas ist mit einer grösseren Geschwindigkeitsstreuung behaftet, als die Rotation der Scheibe.
Die Gasdichte nimmt senkrecht zur Scheibe rasch ab, aber das Gas erstreckt sich noch in ein grosses Volumen, in dem die Emissionslinien erzeugt werden. Wenn die Gasatome sich von der Scheibe entfernen, haben sie noch einen niedrigen Anregungszustand, der durch die Temperatur der Scheibe bedingt ist. Weiter ausserhalb der Bahnebene werden sie dann von der Strahlung der beiden Sterne stärker angeregt und emittieren beim Rückfall auf die zweite Komponente die Emissionslinien. Dass der Begleiter sehr viel kleiner und massereicher ist als der Hauptstern, folgt auch aus der Existenz der Emissionen. Jede Emission kann ihre eigene lokale Entstehungsursache haben; z.B. kann die Hα - Emission in dem äusseren Rand der Scheibe entstehen. Auch die das gesamte System einhüllende Korona ist eine Quelle der Emissionslinien.
Es wird ein Entwicklungsmodell für Beta Lyrae vorgeschlagen, in dem der Hauptstern zuerst der massenreichere Stern ist, der sich schneller entwickelt und nach Überschreiten der Roche-Grenze so viel Masse abgibt, bis der jetzige Zustand erreicht ist. Der Begleiter kann sowohl noch ein Hauptreihenstern, als auch schon ein kollabiertes Objekt sein.

Die Abbildung 26 Seite 63 gibt dieses Modell II in einer modifizierten Abbildung 1 der oben zitierten Arbeit von Huang wieder.

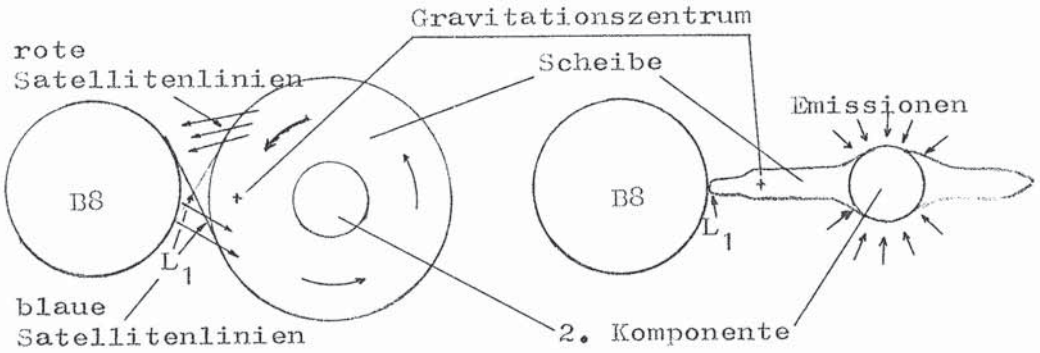


Abb. 26
(Modell II)

Modell III :

Astronomy And Astrophysics Supplement Series
Vol. 19, 57-89, 1975 U. Flora; M. Hack
"Spectrographic Observations of Beta Lyrae
During the International Campaign 1971"

APJ 198, 453-465, 1975
Hack, Hutchings, Kondo, McCluskey, Plavec, Poldian
"The Ultraviolet Spectra of Beta Lyrae"

Astronomy And Astrophysics 50, 335-342, 1976
Hack, Heuvel, Hoekstra, de Jager, Sahade
"An Investigation of the Ultraviolet Spectra of
Beta Lyrae With the TD-1A Satellite"

Beta Lyrae besteht aus einem B9 II Hauptstern, der seine Rochegrenze ausfüllt und aus einem kleinen Begleiter grosser Masse (Massenfunktion 5 $M_\odot$; keine definitiven Massen angebbar), der von einer flachen, zirkumstellaren Scheibe aus Gas umgeben ist. Die Scheibe um den unsichtbaren Begleiter, auf dessen Spektrum es keinen Hinweis gibt, ist so flach, dass das Spektrum des Hauptsternes auch bei der gegenseitigen Bedeckung stets sichtbar bleibt. Die beobachteten Daten lassen sich durch die Annahme erklären, dass der Begleiter ein "Schwarzes Loch" ist. Aber auch ein Hauptreihenstern, der durch die umgebende Hülle bzw. Scheibe stark verfälscht ist, kann die Beobachtungen an Beta Lyrae erklären. Das gesamte System wird von einer äusseren Hülle umgeben, in der die starken Emissionslinien entstehen. Diese Hülle expandiert mit einer Geschwindigkeit von ~170 km/s. Die beobachteten spektroskopischen Veränderungen mit der Phase lassen sich auf zwei Arten erklären:

a) In der Hülle, die geschichtet ist, ist die Materie unsymmetrisch verteilt. Zwischen den beiden Sternen befindet sich eine Stelle hoher Dichte, die durch einen Massenfluss vom B9 II - Stern durch den Lagrange-Punkt L_1 verursacht wird und zwischen den Phasen 0.92 und 0.19 sichtbar ist. Dieser Gasstrom durch L_1 teilt sich in einen Teil der sich in Ro-

tationsrichtung der Scheibe bewegt und in einen Teil, der sich gegen die Rotationsrichtung der Scheibe bewegt und besonders während der Phasen o.8 bis o.93 sichtbar ist. Weiter ist ein Gasstrom durch L_2 feststellbar, der bei den Phasen o.5 bis o.75 sichtbar wird. (Vgl. Abbildung 27a.)

b) Es existiert ein Gasstrom vom B9 II - Stern zur Hülle des Begleiters durch L_1. Die beobachteten Satellitenlinien (vgl. Modell I) entstehen durch das Durchscheinen des B9 II - Sternes durch die Scheibe des Begleiters, die mit 300 km/s am Rand rotiert und zum Zentrum hin dichter wird. (Vgl. Abbildung 27b.)

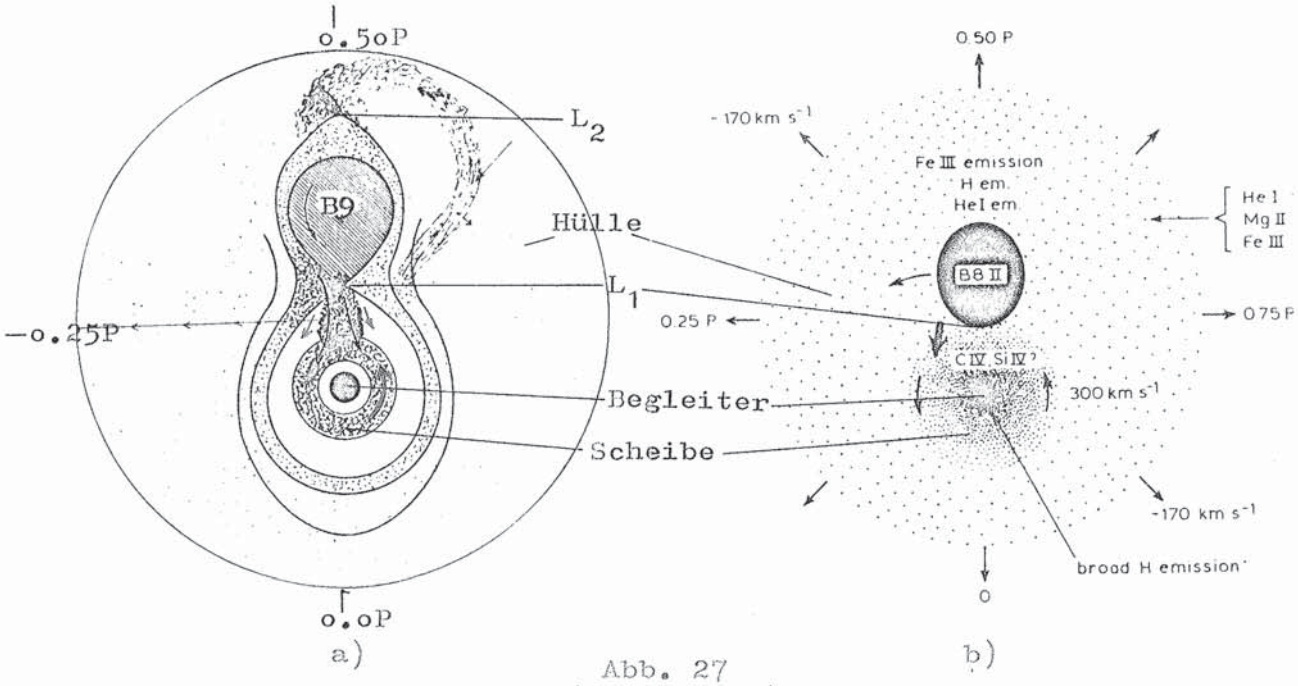


Abb. 27
(Modell III)
(Aus der oben zitierten Arbeit, etwas verändert)

Modell IV :

APJ 189, 319-329, 1974 R.E. Wilson
"The Secondary Component of Beta Lyrae"

Der Hauptstern des Systems Beta Lyrae ist ein B8.5 II - Stern der seine Roche-Grenze ausfüllt und gebunden rotiert. Die zweite Komponente besteht aus einem Hauptreihenstern, der den Massenfluss von der ersten Komponente in einer dicken Scheibe (Achsenverhältnis 1:3) aufsammelt. Die Scheibe rotiert differentiell. Die Masse der Scheibe beträgt einige $M_\odot$, die des Begleiters etwa 13 $M_\odot$. Die Leuchtkraft des Begleiters ist gleich oder grösser als die Leuchtkraft des Hauptsternes. Die Strahlung wird durch die dicke Scheibe in Richtung der Bahnebene stark geschwächt und die meisste Strahlung tritt an den Polregionen aus, die nur streifend gesehen werden. Diese Strahlung regt das B2-B5 Hüllenspektrum, das beobachtet wird, an. Die Strahlungstemperatur an den Polen beträgt 11250 K. Es gibt keinen Grund einen kollabierten Stern im Zentrum der Scheibe anzu-

nehmen. Das Massenverhältnis beträgt $M_2/M_1 = 4.2$. Die Geometrie des Systems wird durch die Lichtkurve bestätigt. Wegen der Nähe des Hauptsterns, muss die Scheibe symmetrisch zur Bahnebene sein. Das Spektrum der Scheibe ist zusammengesetzt, da die Temperatur über die Scheibe nicht gleich ist und deshalb nur schwer zu identifizieren.

Modell V :
APJ 141, 155-160, 1965 N.J. Woolf
"The Problem of Beta Lyrae"

Der Hauptstern von Beta Lyrae füllt mit seiner Photosphäre sein kritisches Potential aus, das etwas weniger ausgedehnt ist als die Roche-Grenze. Die Massen der Komponenten sind 20 $M_\odot$ und 11.7 $M_\odot$. Der Begleiter ist eine Scheibe mit einer zentralen Verdichtung. Die Leuchtkraftschwäche des Begleiters ist erklärbar durch die Scheibe, die etwa die Hälfte der Masse des Begleiters enthält. Die Scheibe stammt aus einem Massenfluss vom Hauptstern.

Modell VI :
APJ 204, 512-515, 1976 J. Ziolkowski
"An Evolutionary Model of Beta Lyrae"

Der heutige Zustand eines Doppelsternsystems wie Beta Lyrae wird durch die Entwicklung eines Doppelsternes mit den Anfangsdaten $M_1 = 10\ M_\odot$, $M_2 = 3.7\ M_\odot$, $P = 3^d.44$ erreicht. Nachdem der Hauptstern (1) seine Roche-Grenze nach dem Wasserstoffbrennen überschritten hat, entsteht im Laufe von etwa 63500 Jahren durch Massenaustausch ein System wie es in Modell II oder V beschrieben ist. (B8.5 II Hauptstern und ein von einer Scheibe eingehüllter Begleiter). Es sind keine exotischen Erklärungen wie "Schwarzes Loch" o.ä. notwendig.

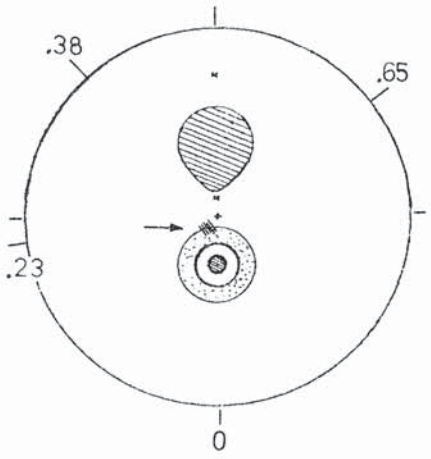
Vergleicht man die hier kurz skizzierten sechs Modelle, so stellt man an entscheidenden Unterschieden fest:
Modell II nimmt im Gegensatz zu Modell I eine zirkumstellare Gasscheibe um den Begleiter an. Ist bei Mod. I noch die beide Sterne umgebende Gashülle die alleinige Quelle der Emissionen, so entstehen bei Mod. II auch Emissionen in der Scheibe.
Modell III gibt als Entstehungsort der Emissionslinien wieder eine das gesamte System einhüllende Gaswolke an, jedoch wird auch hier der nun sehr kleine und massereiche Begleiter von einer Scheibe umgeben. Ein kollabiertes Objekt im Zentrum der Scheibe wird nicht ausgeschlossen wie in Modell IV. In diesem Modell wird die Scheibe um den Begleiter genauer beschrieben, wobei als Ursache für die Emissionen die Strahlung des Begleiters, der ein B2 bis B5 - Stern ist, angenommen wird.
Die Modelle V und VI runden das Bild, das von den vorangegangenen Modellen aufgestellt wurde, durch genauere Massenangaben und ein Entwicklungsmodell ab.

5. INTERPRETATION DER MESSRESULTATE

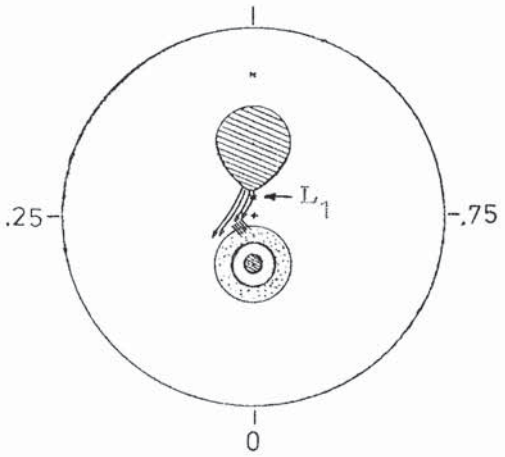
Die zu Erläuterungen der Vorgänge abgebildeten Skizzen des Systems Beta Lyrae, sind vereinfacht nach Modell III gefertigt (vgl. Seite 63 ff.). In diesen Zeichnungen werden fortlaufend die zur Erklärung notwendigen Details eingetragen.

Temperatur:
Vergleicht man die mittlere Farbtemperaturen von Beta Lyrae (Seite 32) mit der Temperaturkurve in [22], so stellt man eine recht gute Übereinstimmung der blauen Temperaturkurve mit der veröffentlichten fest. Die von L. Terkán beobachteten Temperaturen scheinen gegen die in Abbildung 17 Seite 32 dargestellten nur etwas zu höheren Phasen verschoben zu sein. Berücksichtigt man, dass L. Terkán die Temperatur aus der Farbe des Sternes bestimmte, so muss man in Abbildung 17 beide Temperaturkurven zusammen betrachten, und in diesem Fall ergibt sich fast der identische Verlauf der Temperaturkurven während einer Periode.
Ein Unterschied besteht allerdings in der Grösse der gemessenen Temperaturen. Während L. Terkán als Mittelwert über eine Periode etwa 11ooo K angibt, liegt der Mittelwert der hier vorliegenden Temperaturen bei etwa 23ooo K. Dies liegt an der Tatsache, dass L. Terkán die Farbtemperaturen aus den unkorrigierten Farbindizes berechnete, während in dieser Arbeit sowohl die interstellare Absorption berücksichtigt wurde, als auch kleinere Bereiche im Spektrum zu Temperaturbestimmung herangezogen wurden, sodass die angegebenen Farbtemperaturen für die einzelnen Bereiche gelten und nicht aus dem gesamten sichtbaren Spektrum abgeleitet sind.
Durch die Aufteilung des beobachteten Spektrumausschnittes in mehrere Bereiche, in denen jeweils die Farbtemperatur bestimmt wurde, ergab sich andeutungsweise ein verschiedener Verlauf der Farbtemperaturkurve mit der Phase für den blauen und den roten Wellenlängenbereich (vgl. Abbildung 17 Seite 32). Die hauptsächlichen Unterschiede liegen in einer höheren Temperatur im blauen Spektralbereich (T_F(blau) ≈ 25ooo K, T_F(rot) ≈ 19ooo K) und in einem besonders während der Phasen Null und .5 unterschiedlichen Verhalten.
Auch das auf Seite 4o beschriebene Verhalten der im Anhang abgebildeten Gesamtspektren mit einer Variation des Verhältnisses von rotem zu blauen Spektralbereich deutet auf eine Temperaturveränderung hin, wie sie oben beschrieben ist.
Für eine weitergehende Interpretation (z.B. Temperatur der Komponenten von Beta Lyrae), ist die Genauigkeit der Farbtemperaturbestimmung wie sie hier angewandt wurde nicht ausreichend genug.

Der Verlauf der Temperaturkurve mit Maxima bei o.23 (Hauptmaximum) und o.65 der Periode und mit Minima bei o.o und o.38 der Periode, deuten auf eine Stelle hoher Temperatur zwischen den beiden Komponenten von Beta Lyrae hin. (Bild s. Seite 67 oben.)

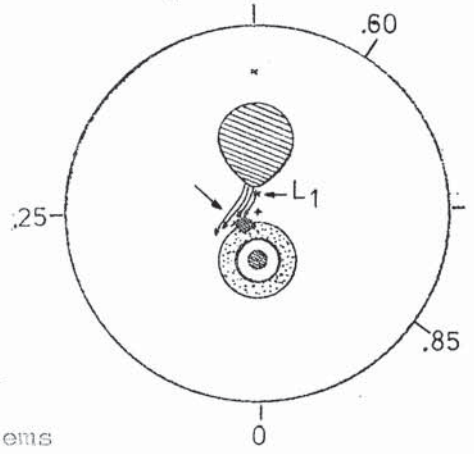


Lichtkurve:
Aus den Intensitäten der Gesamtspektren wurde eine Lichtkurve (Abb. 22 Seite 41) errechnet, die den veröffentlichten Lichtkurven gleicht, wobei besonders zu beachten ist, dass auch hier wie in einigen der anderen Arbeiten das zweite Maximum bei Phase o.75 etwas höher ist, als das erste bei Phase o.25 . Dies kann so interpretiert werden, dass ein Gasstrom vom Hauptstern zum Begleiter durch den Punkt L_1, der ja besonders während der Phasen um o.25 sichtbar ist, einen Teil des Lichtes der beiden Sterne abdeckt und so das erste Maximum abschwächt.



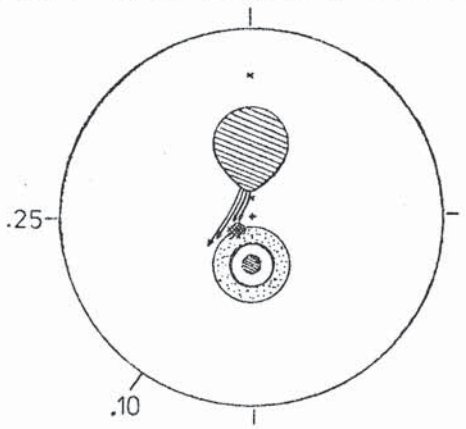
Äquivalentbreiten:
Da der Verlauf der Äquivalentbreiten (W_λ) der Emissionslinien Hα, Hβ und He I während allen Phasen gleich war (vgl. Abb. 21 Seite 39), liegt die Vermutung nahe, dass der Entstehungsort der Linien der gleiche ist. Ein paralleler Verlauf der Äquivalentbreiten könnte ausserdem durch die von einigen Autoren herausgestellte Vermutung hervorgerufen werden, dass die Variationen der W_λ nur durch den Wechsel in der Intensität des Kontinuums während einer Periode (=Lichtkurve) vorgetäuscht ~~wird~~ werden. Diese Vermutung konnte aber durch die Untersuchung der "absoluten" Äquivalentbreiten, d.h. der Äquivalentbreiten bezogen auf ein konstantes Kontinuum, entkräftet werden (vgl. Abb. 21a Seite 56). Lediglich bei dem Hauptmaximum der W_λ bei Phase o.o ist eine verstärkende Wirkung durch den Rückgang des Kontinuums deutlich zu sehen. Auch der im Gegensatz zur Lichtkurve stark unsymmetrische Verlauf der Äquivalentbreiten-Kurve, spricht gegen die obige Annahme.
Die Unsymmetrie im Verlauf der Äquivalentbreiten während der Periode, wird vor allem durch das unsymmetrisch bei Phase o.6

liegende Nebenmaximum verdeutlicht, während das Hauptmaximum der Äquivalentbreiten genau bei Phase o.o liegt. Die beiden Minima, von denen das zweite etwas tiefer ist, liegen bei den Phasen o.25 und o.85, also ebenfalls unsymmetrisch. (Fast die gleichen Kurven sind in [12] für Hβ wiedergegeben.)
Zur Erklärung soll folgender Modellvorschlag dienen:
Nahe am Lagrange - Punkt L_1 befindet sich an der Scheibe um den Begleiter ein Auftreffpunkt eines Teils des Gasstromes vom Hauptstern. Dort wird durch das Auftreffen des Gases ein "heisser Fleck" erzeugt, in dem teilweise die Emissionslinien entstehen. Bei Phase o.25 wird der Fleck von dem Gasstrom, der sich weiter aussen bewegt, verdeckt. Bei Phase o.6 wird der Fleck nach der Bedeckung durch den Hauptstern wieder sichtbar (Nebenmaximum). Durch die weitere Drehung des Systems verschwindet allmählich der Fleck, bis er bei Phase o.85 ganz von der Scheibe abgedeckt ist.



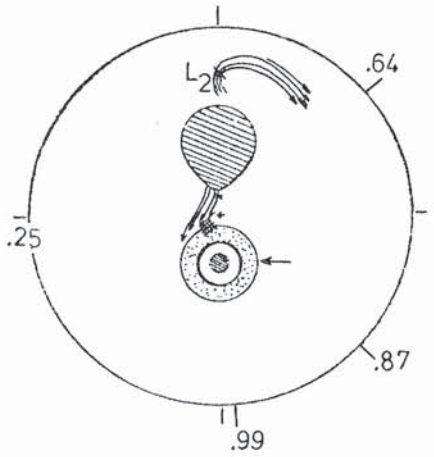
Das starke Ansteigen der Äquivalentbreiten bei Phase o.o ist nur dadurch zu erklären, dass die Intensität des Kontinuums in diesem Fall so stark abnimmt, dass hier - wie auch die "absoluten" Äquivalentbreiten nahelegen - ein Ansteigen der W_λ in dem beobachteten Masse nur vorgetäuscht wird.

Kurzzeitvariationen in den Äquivalentbreiten:
Die von A. Sanyal [15] berichteten Veränderungen der Äquivalentbreiten im Minuten- und Stundenbereich, konnten wegen zu geringer Dichte des Beobachtungsmaterials nur in drei Fällen festgestellt werden. Alle drei Beobachtungen liegen zwischen den Phasen o.1 bis o.26 und Veränderungen sind nur bei Hα (einmal Hβ) festzustellen. (Die Beobachtungen von A. Sanyal liegen bei anderen Phasen.)
Die kurzzeitigen Änderungen in den Äquivalentbreiten treten also dann auf, wenn der Gasstrom, der vom Hauptstern zum Begleiter fliesst, am deutlichsten sichtbar ist und vor dem "heissen Fleck" vorüber zieht. Dies ist eine gute Bestätigung der bisherigen Vorstellungen. Auch eine Emission in dem Gasstrom selbst ist möglich, denn auch dabei kann es durch die Bewegung des Stromes zu Kurzzeitvariationen kommen.



Dass in den übrigen Phasen keine Variationen festgestellt werden konnten, ist durch das Beobachtungsmaterial bedingt.

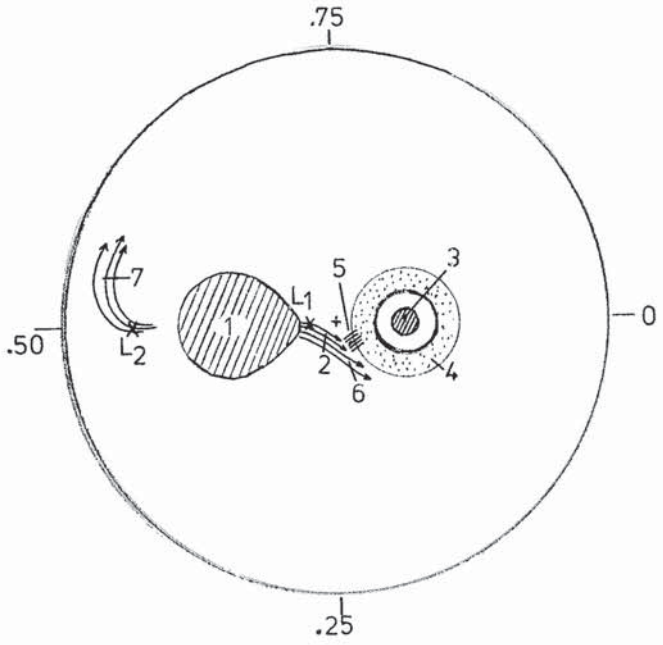
Periodenvariabilität der Äquivalentbreiten:
Die von vielen Autoren (vgl. Seite 59) festgestellte Veränderlichkeit konnte in zwei Fällen bestätigt werden. Sowohl in Hα als auch in Hβ wurde zwischen zwei aufeinander folgenden Perioden (o und 1) eine Abweichung der gemessenen Äquivalentbreiten bei den Phasen o.64 und o.87 festgestellt. Die Abweichungen liegen nicht mehr innerhalb der Fehlergrenzen. Bei den zwei weiteren untersuchten Messungen konnte keine Veränderung zwischen den Perioden festgestellt werden.
Dies ist besonders im Fall der Bedeckung bei Phase o.99 interessant, da hier der maximale Periodenunterschied von 48 Perioden (~1.7 Jahre) vorliegt. Im anderen Fall bei Phase o.25 liegt nur eine Periode zwischen den Beobachtungen.



Die Veränderungen von W_λ bei Phase o.64 können auf eine Veränderung des Gasstromes durch L_2 hindeuten, der in Modell III (Seite 64 f.) und I (Seite 6o f.) beschrieben wird.
Die beobachtete Variation bei Phase o.87 deutet auf eine Veränderung in der Scheibe um den Begleiter hin, da ja gerade in dieser Phase der "heisse Fleck" von der Scheibe verdeckt wird.
Die Konstanz der Messresultate im Fall der Phase o.o liegt vermutlich daran, dass durch das starke Absinken der Gesamtintensität des Kontinuums ein so grosser Anstieg der Äquivalentbreite vorgetäuscht wird, dass geringe Veränderungen in den absoluten W_λ nicht beobachtbar sind. Die Unveränderlichkeit bei Phase o.25, einen Bereich mit ansonsten starken Störungen, kann zufällig sein.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Durch eine Bestimmung der Farbtemperatur von Beta Lyrae in verschiedenen kleinen Bereichen des Spektrums, ergab sich ein Unterschied in der Variation der Farbtemperatur mit der Phase zwischen dem blauen und dem roten Spektralbereich. Ebenso war ein Unterschied zwischen den mittleren Farbtemperaturen der beiden Bereiche angedeutet ($T_{F(blau)} \approx 25000$ K, $T_{F(rot)} \approx 19000$ K).
Der Verlauf der Farbtemperaturen mit der Phase, die aus den Gesamtintensitäten der Spektren abgeleitete grobe Lichtkurve und das beobachtete Verhalten der Äquivalentbreiten der Linien Hα, Hβ und He I mit der Phase, werden durch das folgende Modell von Beta Lyrae erklärt.
Der Hauptstern (1) füllt seine Roche-Grenze aus, und es fliesst ein Gasstrom (2) durch den Lagrange-Punkt L_1 zum Begleiter (3), der von einer Scheibe (4) aus Gas umgeben ist. Ein Teil des Gasstromes trifft die Scheibe in der Nähe von L_1 und erzeugt dort einen "heissen Fleck" (5), in dem teilweise die Emissionlinien von Hα, Hβ und He I entstehen. Der andere Teil des Gasstromes (6) fliesst in Bewegungsrichtung des Systems um den Begleiter und verdeckt so bei Phase o.25 teilweise den Entstehungsort der Emissionen, was zu kurzzeitigen Veränderungen in der Stärke der Äquivalentbreiten führt. Das sehr starke Ansteigen der Äquivalentbreiten bei Phase o.o ist nur ein Effekt, der durch das Absinken der Intensität des Kontinuums im Gesamtspektrum vorgetäuscht wird. Durch Ableiten von "absoluten" Äquivalentbreiten konnte aber auch nachgewiesen werden, dass eindeutig auch eine Variabilität der "absoluten" Äquivalentbreiten vorhanden ist. Die Periodenvariabilität deutet auf einen Gasstrom durch L_2 (7), der in Bewegungsrichtung zurückbleibt.



Dieses Modell entspricht etwa dem Modell III (Seite 63 f.), mit dem Unterschied, dass zusätzlich noch ein "heisser Fleck" angenommen wurde, der die Temperatur- und die Lichtkurve erklärt und teilweise auch für die Emissionen verantwortlich ist.

7. LITERATUR

Die in der Arbeit zitierten Literaturstellen sind hier alphabetisch geordnet aufgeführt. Ein zusätzliches Literaturverzeichnis mit Arbeiten über Beta Lyrae befindet sich im Anhang A2.

1 : Abt, A. et al.
"The Visual Multiple System Containing Beta Lyrae"
APJ, 135, 429-438, 1976

2 : Babst, U.
"Entwicklung und Erprobung einer photoelektrischen Teleskopnachführung für Sternbeobachtungen."
Diplomarbeit, München 1975

3 : Batten, A. H.; Sahade, J.
"The Emission Profile of Hα in the Spectrum of Beta Lyrae"
PASP, 85, 599, 1973

4 : Flora, U.; Hack, M.
"Spectrographic Observations of Beta Lyrae During the International Campaign of 1971"
Astr. & Astrophys., Suppl. Ser. Vol. 19, 57-89, 1975

5 : Kopal, Z.
"On the Nature of the System of Beta Lyrae"
APJ, 93, 92-1o3, 1941

: Struve, O.
"The Spectrum of Beta Lyrae"
APJ, 93, 1o4-117, 1941

: Gill, J. R.
"Some Line Intensities in Beta Lyrae"
APJ, 93, 118-127, 1941

: Greenstein, J. L.; Page, T. L.
"The Spectrum of Beta Lyrae in the Visual Region"
APJ, 93, 128-132, 1941

: Kuiper, G. P.
"On the Interpretation of Beta Lyrae and Other Close Binaries"
APJ, 93, 133-177, 1941

6 : Hack, M. et al.
"The Ultraviolet Spectrum of Beta Lyrae"
APJ, 198, 453-465, 1975

7 : Hack, M. et al.
"An Investigation of the Ultraviolet Spectra of Beta Lyrae With the TD-1A Satellite"
Astr. & Astrophys., 5o, 335-342, 1976

8 : Huang, Su-Shu
"An Interpretation of Beta Lyrae" (I)
APJ, 138, 342-349, 1963

9 : Huang, Su-Shu; Brown, D. A.
"An Interpretation of Beta Lyrae II. Disc Luminosity, Mass Ratio, and Nature of the Secondary Component"
APJ, 2o8, 78o-788, 1976

1o: Johnson, H. L.; Borgmann, J.
"The Law of Interstellar Extinktion"
B.A.N., 17, No. 2, 115-126, 1963

11: Larsson-Leander, G.
"Photometric Results from the 1959 International Campaign on Beta Lyrae"
Arkiv för Astronomi, 5, 253-295, 1969
12: Maury, A. C.
"The Spectral Changes of Beta Lyrae"
Annais of Harvard College Observatory, 84, No. 8, 2o7, 1933
13: Oke, J. B.; Schild, R. E.
"The Absolute Spectral Energy Distribution of Alpha Lyrae"
APJ, 161, 1o15-1o23, 197o
14: Rocznik,
Astronomiczay Obserwatorium Krakowskiego 1976
International Supplement Nr. 47, 1975
15: Sanyal, A.
"High Time-Resolution Spectroscopy of Beta Lyrae at Hα "
APJ, 21o, 853-861, 1976
16: Scheffler, H.; Elsässer, H.
"Physik der Sterne und der Sonne"
Bibliographisches Institut AG, Zürich 1974
17: Schoembs, R.
"Photometrische Untersuchungen an sehr schnell variablen Objekten"
Dissertation, Universität München, 1971
18: Spannagl, Chr.
"Spektralphotometrische Extinktionsmessungen"
Diplomarbeit, München 1973
19: Struve, O.
"The Problem of Beta Lyrae"
PASP, 7o, 5-4o, 1958
2o: Struve, O.
"The Rotational Disturbance of the Velocity Curve of Beta Lyrae"
PASP, 7o, 585, 1958
21: Struve, O.
"Spectroscopic and Photometric Anomalies in Beta Lyrae"
PASP, 71, 441-444, 1959
22: Terkán, L.
"Über die periodischen Temperaturveränderungen von Beta Lyrae, deren Verlauf nahe das Spiegelbild der Lichtkurve ist."
Astr. Nachr. Bd. 226, Nr. 5422, 345-358, 1926
23: Wilson, R. E.
"The Secondary Component of Beta Lyrae"
APJ, 189, 319-329, 1974
24: Wood, D.; Walker, M. F.
"Photoelectric Observations of Beta Lyrae"
APJ, 131, 363, 196o
25: Woolf, N. J.
"The Problem of Beta Lyrae. 2.The masses and the Shapes"
APJ, 141, 155-16o, 1965
26: Ziolkowski, J.
"An Evolutionary Model of Beta Lyrae"
APJ, 2o4, 512, 1976
27: Soviet Astr. Jour. Bd. 36, 1959
28: Catalogue of Bright Stars
Yale University Obsaevatory 1964

ANHANG

A1 Auswerteformulare zur Temperaturbestimmung mit den dazugehörigen Spektren

A1-1 bis A1-25

A2 Auswahl von Literatur über Beta Lyrae

Verzeichnis der abgebildeten Spektren

	Phase	Kennzeichen
A1- 1	31.o18	LYRo81
A1- 2	31.o23	LYRo84
A1- 3	3.1o4	LYRo37
A1- 4	3.115	LYRo41
A1- 5	7.2o7	LYRo48
A1- 6	3.264	LYRo44
A1- 7	27.3o8	LYRo75
A1- 8	2.331	LYRo25
A1- 9	2.339	LYRo28
A1-1o	8.357	LYRo51
A1-11	8.363	LYRo54
A1-12	8.37o	LYRo57
A1-13	8.439	LYRo59
A1-14	8.513	LYRo62
A1-15	2.719	LYRo31
A1-16	2.726	LYRo34
A1-17	31.791	LYRo85
A1-18	1.866	LYR A / LYRo19
A1-19	1.876	LYR A / LYRo21
A1-2o	1.952	LYR C / LYRo23
A1-21	1o.981	LYRo65
A1-22	1o.992	LYRo69

Kennzeichen	Phase
LYR A / LYRo19	1.866
LYR A / LYRo21	1.876
LYR C / LYRo23	1.952
LYRo25	2.331
LYRo28	2.339
LYRo31	2.719
LYRo34	2.726
LYRo37	3.1o4
LYRo41	3.115
LYRo44	3.264
LYRo48	7.2o7
LYRo51	8.357
LYRo54	8.363
LYRo57	8.37o
LYRo59	8.439
LYRo62	8.513
LYRo65	1o.981
LYRo69	1o.992
LYRo75	27.3o8
LYRo81	31.o18
LYRo84	31.o23
LYRo85	31.791

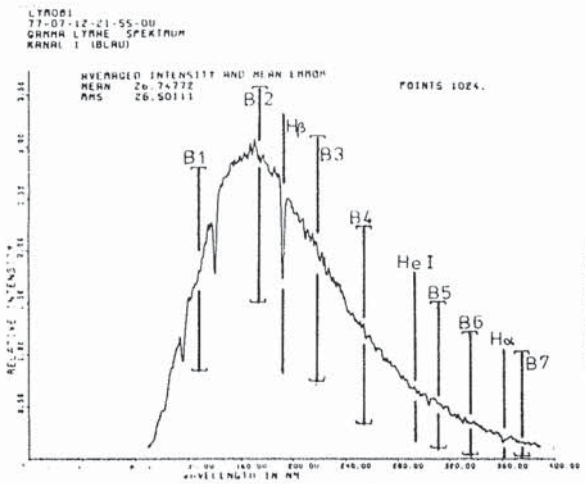
==========

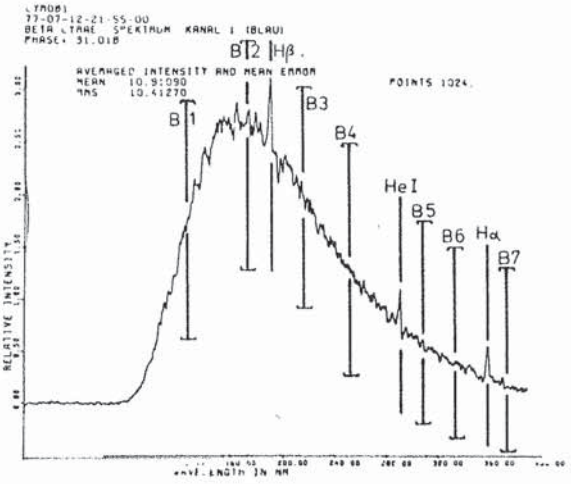
A1-23 LYRo4o / LYRo41
A1-24 LYRo68
A1-25 LYRo72 / LYRo73

==========

Bei den Abbildungen der Spektren ist zu beachten, dass der Nullpunkt der Wellenlängenskala willkürlich ist, der Massstab jedoch richtig ist; der Massstab der Intensitätsskala ist bei den Abbildungen oft verschieden!

==========





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	368	502	—	948
λ [nm]	(434.0)	486.1	587.5	656.3
Punkte	(364?)	496	762	942

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	294.4	295.6	———	296.6
λ [nm]	(295.9)	297.9	298.4	298.9

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	295.6
λ [nm]	298.4

Lage der Bereiche

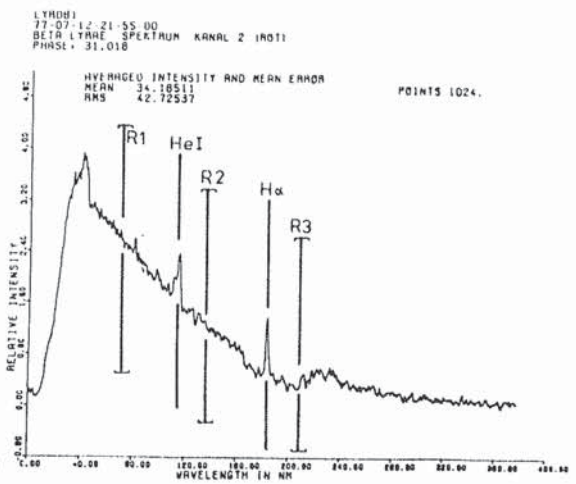
B1: 420 nm	313	329	343
B2: 465 nm	431	446	461
B3: 510 nm	550	565	580
B4: 550 nm	656	671	686
B5: 605 nm	800	815	830
B6: 630 nm	856	881	896
B7: 670 nm	982	988	1002

B1: 420 nm	306	321	336
B2: 465 nm	424	439	454
B3: 510 nm	543	558	573
B4: 550 nm	648	663	678
B5: 605 nm	793	808	823
B6: 630 nm	859	874	889
B7: 670 nm	964	979	994

Mittelwerte der Bereiche

B1	1.7022	1.6171
B2	2.4429	2.7378
B3	2.0752	2.0503
B4	1.2062	1.2576
B5	0.5391	0.5793
B6	0.3505	0.3887
B7	0.1538	0.1822

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(β Lyr)	Bereichkomb.	T(Lyr)	T(β Lyr)
B1/B2	..... K	41850 K	B3/B4	..... K	20570 K
B1/B3	..... K	31250 K	B3/B5	..... K	42000 K
B1/B4	..... K	31170 K	B3/B6	..... K	31450 K
B1/B5	..... K	39400 K	B3/B7	..... K	21170 K
B1/B6	..... K	34610 K	B4/B5	..... K	——— K
B1/B7	..... K	27700 K	B4/B6	..... K	43500 K
B2/B3	..... K	22030 K	B4/B7	..... K	20650 K
B2/B4	..... K	21590 K	B5/B6	..... K	13250 K
B2/B5	..... K	31100 K	B5/B7	..... K	11000 K
B2/B6	..... K	27690 K	B6/B7	..... K	9660 K
B2/B7	..... K	14810 K			



Lage der Linien

Hβ	HeI	Hα		Hβ	HeI	Hα
486.1	587.5	656.3	λ [nm]	486.1	587.5	656.3
•••	•••	•••	Punkte	•••	313?	499?

Nullpunkte der Spektren

•••••	•••••	•••••	λ [nm]	•••••	472.5	473.8

Mittelwerte der Nullpunkte

•••••	λ [nm]	473.7

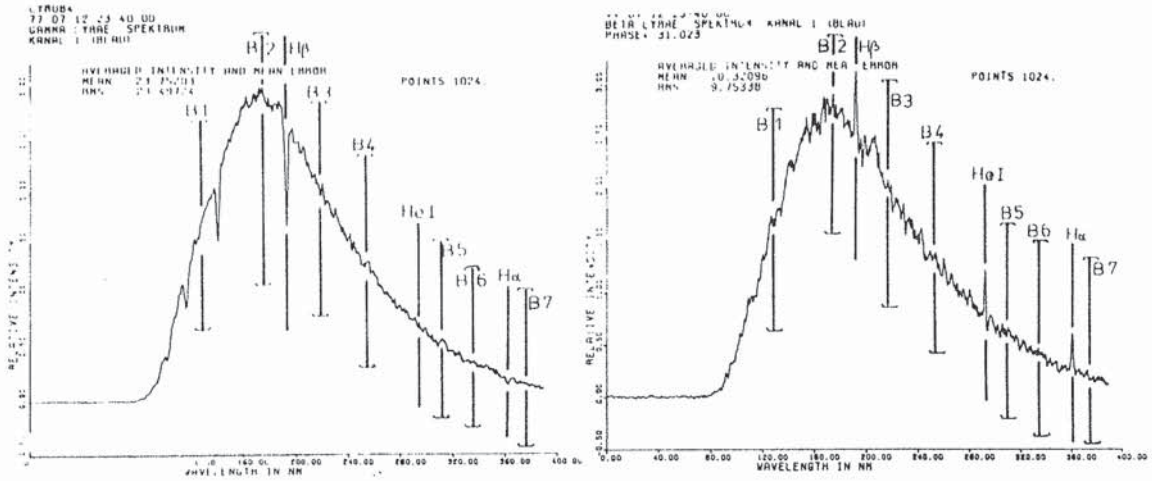
Lage der Bereiche

••• - ••• - •••	R1: 545 nm	182 - 197 - 212	
••• - ••• - •••	R2: 610 nm	359 - 374 - 389	
••• - ••• - •••	R3: 680 nm	549 - 564 - 579	

Mittelwerte der Bereiche

•••••	R1	2.5387
•••••	R2	1.2253
•••••	R3	0.3595

Bereichkombination	T(Lyr)	T(Lyr)
R1/R2	••••• K	••••• K
R1/R3	••••• K	••••• K
R2/R3	••••• K	••••• K



Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	372	508	———	953
	———	503	768	949

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	292.9	293.4	———	294.7	———	295.3	296.1	296.2

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	293.7	295.9

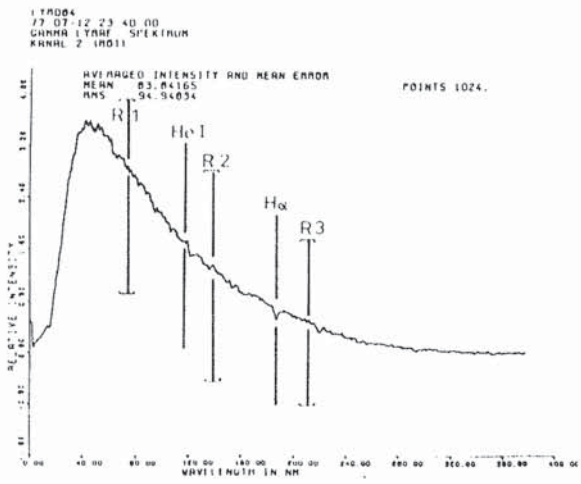
Lage der Bereiche

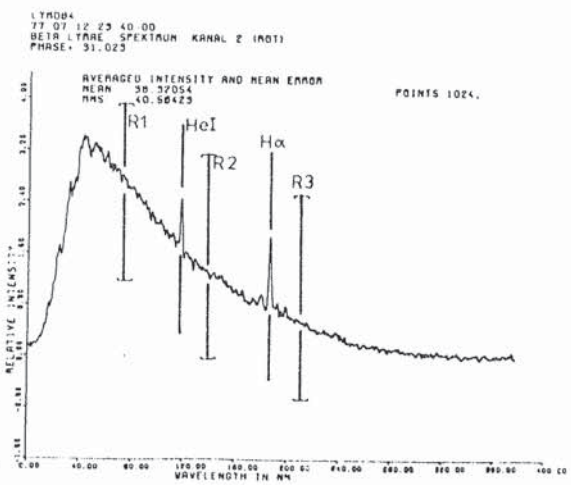
B1: 420 nm	318	–	333	–	348	312	–	327	–	343
B2: 465 nm	437	–	458	–	469	431	–	446	–	461
B3: 510 nm	555	–	570	–	585	549	–	564	–	579
B4: 550 nm	661	–	676	–	691	655	–	670	–	685
B5: 605 nm	806	–	821	–	836	800	–	815	–	830
B6: 630 nm	871	–	886	–	901	866	–	881	–	896
B7: 670 nm	977	–	992	–	1007	971	–	986	–	1001

Mittelwerte der Bereiche

B1	1.6272	1.5295
B2	2.9391	2.7665
B3	2.0936	2.0776
B4	1.2718	1.3001
B5	0.5486	0.6163
B6	0.3626	0.4154
B7	0.1685	0.1884

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(β Lyr)	Bereichkomb.	T(Lyr)	T(β Lyr)
B1/B2	..... K	29870 K	B3/B4	..... K	32310 K
B1/B3	..... K	27950 K	B3/B5	..... K	25940 K
B1/B4	..... K	32230 K	B3/B6	..... K	25140 K
B1/B5	..... K	29570 K	B3/B7	..... K	30130 K
B1/B6	..... K	28780 K	B4/B5	..... K	21990 K
B1/B7	..... K	32880 K	B4/B6	..... K	21880 K
B2/B3	..... K	23990 K	B4/B7	..... K	24670 K
B2/B4	..... K	27190 K	B5/B6	..... K	21020 K
B2/B5	..... K	25380 K	B5/B7	..... K	24680 K
B2/B6	..... K	25020 K	B6/B7	..... K	——— K
B2/B7	..... K	16190 K			





Lage der Linien

Hβ	HeI	Hα		Hβ	HeI	Hα
486.1	587.5	656.3	λ [nm]	486.1	587.5	656.3
•••	•••	585	Punkte	•••	319	506

Nullpunkte der Spektren

•••••	•••••	470.8	λ [nm]	•••••	470.3	470.4

Mittelwerte der Nullpunkte

470.8	λ [nm]	470.3

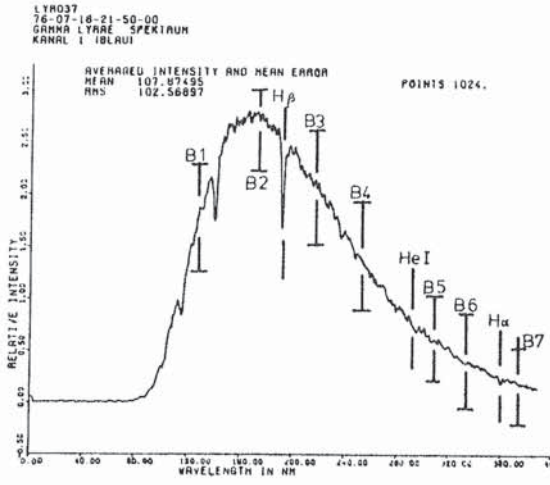
Lage der Bereiche

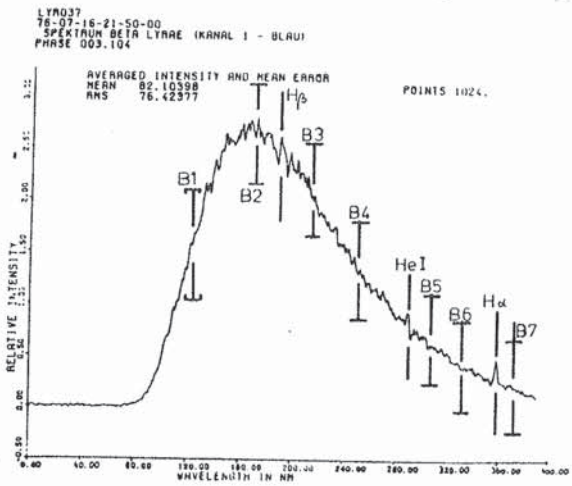
187	202	217	R1: 545 nm	188	203	218
364	379	394	R2: 610 nm	365	380	395
554	569	584	R3: 680 nm	555	570	585

Mittelwerte der Bereiche

2.86667	R1	2.69913
1.28834	R2	1.28987
0.18779	R3	0.55467

Bereichkombination	T(Lyr)	T(βLyr)
R1/R2	••••• K	70000 K
R1/R3	••••• K	16629 K
R2/R3	••••• K	12630 K





Lage der Linien

Hγ	Hβ	HeI	Hα		Hγ	Hβ	HeI	Hα
434.0	486.1	587.5	656.3	λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
367	503	...	949	Punkte	(365)	496	758	942

Nullpunkte der Spektren

474.8	295.3	—	296.2	λ [nm]	—	297.9	299.9	298.9

Mittelwerte der Nullpunkte

	295.4			λ [nm]			298.9	

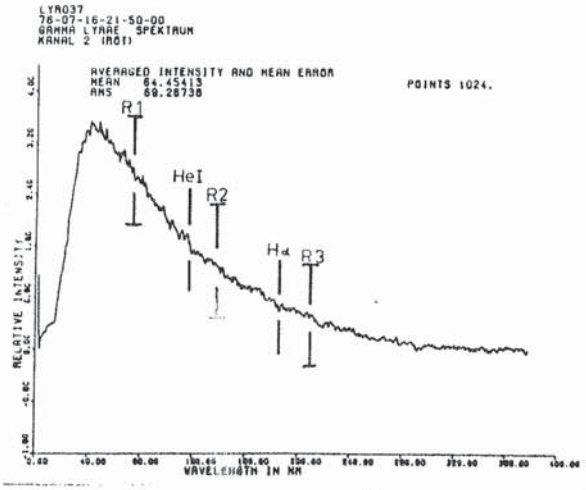
Lage der Bereiche

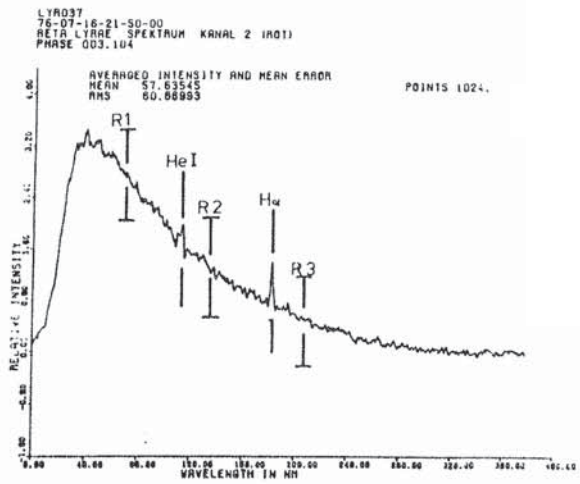
313	–	328	–	343	B1: 420 nm	304	–	319	–	334
422	–	447	–	462	B2: 465 nm	423	–	438	–	453
551	–	566	–	581	B3: 510 nm	541	–	556	–	571
656	–	671	–	686	B4: 550 nm	647	–	662	–	677
801	–	816	–	831	B5: 605 nm	792	–	807	–	822
867	–	882	–	897	B6: 630 nm	858	–	873	–	888
972	–	987	–	1002	B7: 670 nm	963	–	978	–	993

Mittelwerte der Bereiche

B1	1.6363	1.5236
B2	2.7638	2.6865
B3	2.1192	2.1118
B4	1.3212	1.3069
B5	0.8004	0.6271
B6	0.5880	0.4182
B7	0.1936	0.2197

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(βLyr)	Bereichkomb.	T(Lyr)	T(βLyr)
B1/B2	..... K	19280 K	B3/B4	..... K	..... K
B1/B3	..... K	25680 K	B3/B5	..... K	104400 K
B1/B4	..... K	38710 K	B3/B6	..... K	48670 K
B1/B5	..... K	41340 K	B3/B7	..... K	27940 K
B1/B6	..... K	36850 K	B4/B5	..... K	54700 K
B1/B7	..... K	29970 K	B4/B6	..... K	28740 K
B2/B3	..... K	38580 K	B4/B7	..... K	16360 K
B2/B4	..... K	67400 K	B5/B6	..... K	13800 K
B2/B5	..... K	63750 K	B5/B7	..... K	12110 K
B2/B6	..... K	45720 K	B6/B7	..... K	..... K
B2/B7	..... K	16860 K			





Lage der Linien

Hβ	HeI	Hα		Hβ	HeI	Hα
486.1	587.5	656.3	λ [nm]	486.1	587.5	656.3
...	...	503	Punkte	...	307	494

Nullpunkte der Spektren

.....	.....	471.5	λ [nm]	.....	474.7	474.8

Mittelwerte der Nullpunkte

471.5	λ [nm]	474.8

Lage der Bereiche

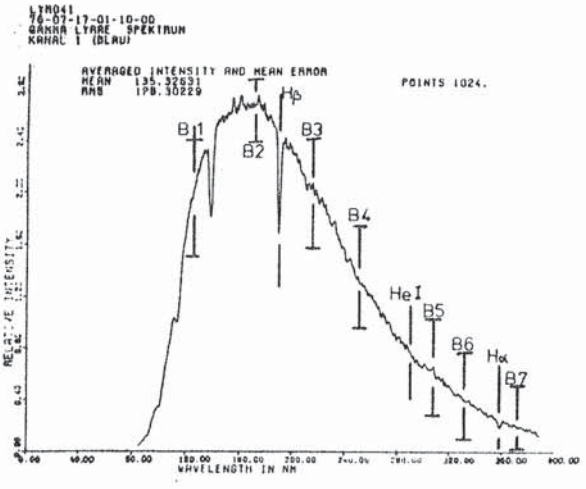
185	-	200	-	215	176	-	191	-	206
362	-	377	-	392	353	-	368	-	383
553	-	568	-	583	544	-	559	-	574

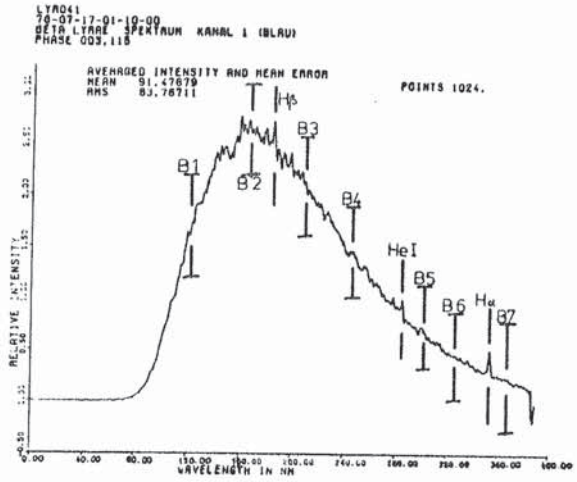
R1: 545 nm
R2: 610 nm
R3: 680 nm

Mittelwerte der Bereiche

2.7148	R1	2.6953
1.2694	R2	1.2854
0.5172	R3	0.5245

Bereichkombination	T(Lyr)	T(β Lyr)
R1/R2	..... K	..... K
R1/R3	..... K	47730 K
R2/R3	..... K	..... K





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	361	497	—	944
	(377)	493	750	931

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	297.0	297.5	—	298.1
	(291.0)	299.1	303.0	303.1

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm] 297.6 — 301.7

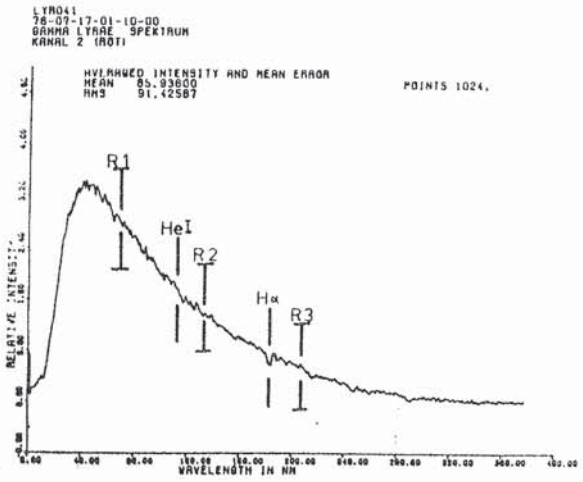
Lage der Bereiche

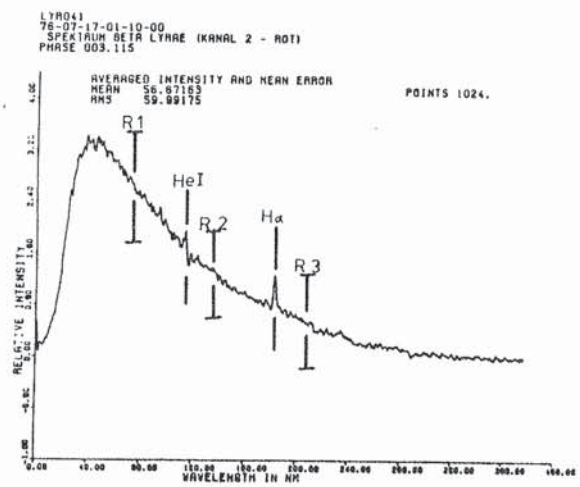
B1: 420 nm	308 – 323 – 338		297 – 312 – 327
B2: 465 nm	426 – 441 – 456		415 – 430 – 447
B3: 510 nm	545 – 560 – 575		534 – 549 – 564
B4: 550 nm	656 – 665 – 680		639 – 654 – 669
B5: 605 nm	795 – 810 – 835		784 – 799 – 814
B6: 630 nm	861 – 876 – 891		850 – 865 – 880
B7: 670 nm	982 – 982 – 997		956 – 971 – 986

Mittelwerte der Bereiche

B1	1.9194	1.5335
B2	2.6873	2.4546
B3	2.0471	2.1100
B4	1.2824	1.3822
B5	0.6098	0.6300
B6	0.3849	0.4427
B7	0.1709	0.2283

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(β Lyr)	Bereichkomb.	T(Lyr)	T(β Lyr)
B1/B2	..... K	8950 K	B3/B4	..... K	23730 K
B1/B3	..... K	12660 K	B3/B5	..... K	——— K
B1/B4	..... K	14140 K	B3/B6	..... K	33270 K
B1/B5	..... K	22300 K	B3/B7	..... K	31500 K
B1/B6	..... K	18030 K	B4/B5	..... K	——— K
B1/B7	..... K	19000 K	B4/B6	..... K	40480 K
B2/B3	..... K	27780 K	B4/B7	..... K	34560 K
B2/B4	..... K	26190 K	B5/B6	..... K	60840 K
B2/B5	..... K	109800 K	B5/B7	..... K	10280 K
B2/B6	..... K	31610 K	B6/B7	..... K	24000 K
B2/B7	..... K	16830 K			





Lage der Linien

Hβ	HeI	Hα		Hβ	HeI	Hα
486.1	587.5	656.3	λ [nm]	486.1	587.5	656.3
...	...	427	Punkte	...	810	427

Nullpunkte der Spektren

.....	.....	473.7	λ [nm]	.....	473.6	473.7

Mittelwerte der Nullpunkte

473.7	λ [nm]	473.7

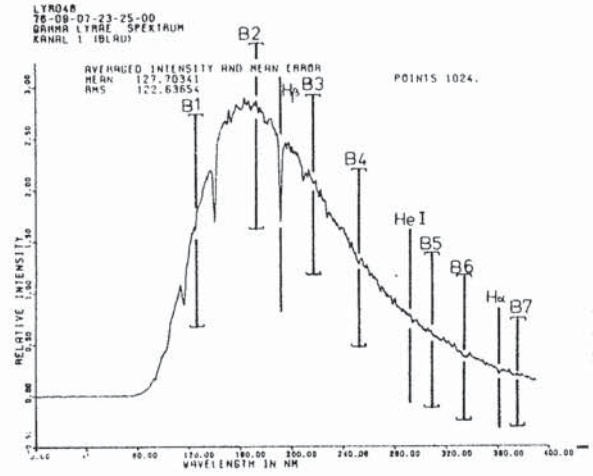
Lage der Bereiche

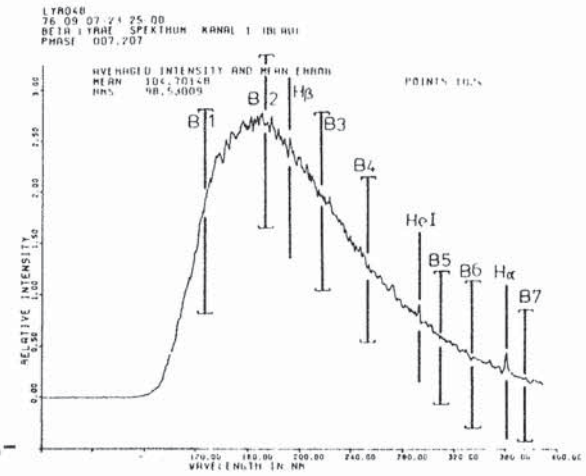
179	194	209	R1: 545 nm	179	194	209
356	371	386	R2: 610 nm	356	371	386
547	562	577	R3: 680 nm	547	562	577

Mittelwerte der Bereiche

2.7441	R1	2.6800
1.3084	R2	1.3036
0.5343	R3	0.5513

Bereichkombination	T(Lyr)	T(βLyr)
R1/R2	..... K	..... K
R1/R3	..... K	31610 K
R2/R3	..... K	24770 K





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	368	504	[illegible]	950
	(374)	504	769	950

Nullpunkte der Spektren

Hγ	Hβ	HeI	Hα	λ [nm]	Hγ	Hβ	HeI	Hα
294.4	294.9	[illegible]	295.9		(292.1)	294.9	295.7	295.9

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	295.5

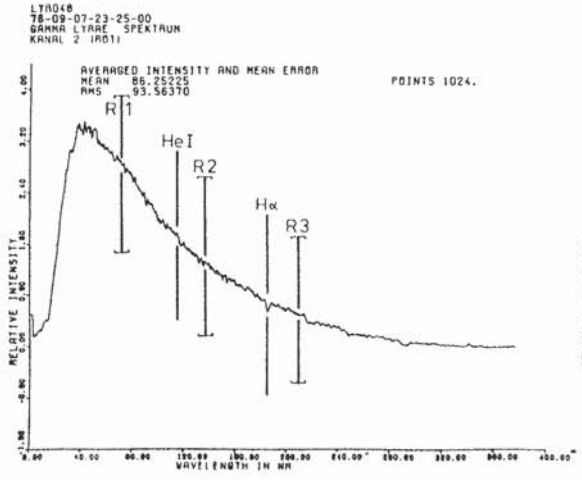
Lage der Bereiche

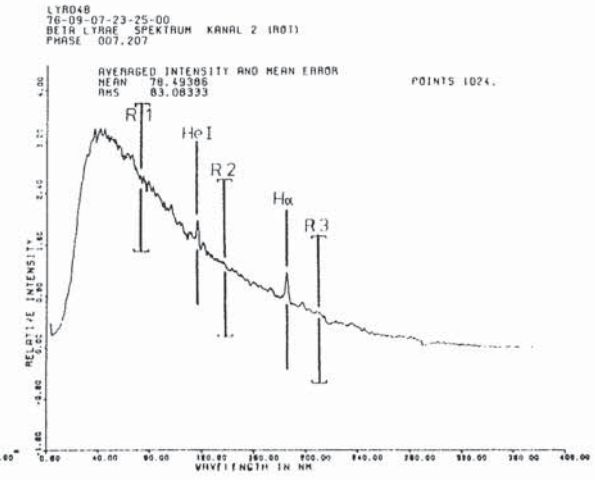
B1: 420 nm	314	–	329	–	344	313	–	328	–	343
B2: 465 nm	433	–	448	–	463	432	–	447	–	462
B3: 510 nm	551	–	566	–	581	550	–	565	–	580
B4: 550 nm	657	–	672	–	687	656	–	671	–	686
B5: 605 nm	802	–	817	–	832	801	–	816	–	831
B6: 630 nm	868	–	883	–	898	867	–	882	–	897
B7: 670 nm	973	–	988	–	1003	972	–	987	–	1002

Mittelwerte der Bereiche

B1	1.67888	1.81111
B2	2.18169	2.16856
B3	2.09778	1.99957
B4	1.26640	1.23506
B5	0.57756	0.58865
B6	0.37888	0.39714
B7	0.18339	0.17753

Bereichkomb.	T(β Lyr)	Bereichkomb.	T(β Lyr)
B1/B2	[illegible] K	B3/B4	26010 K
B1/B3	[illegible] K	B3/B5	54000 K
B1/B4	[illegible] K	B3/B6	45900 K
B1/B5	[illegible] K	B3/B7	[illegible] K
B1/B6	[illegible] K	B4/B5	[illegible] K
B1/B7	[illegible] K	B4/B6	34780 K
B2/B3	109400 K	B4/B7	[illegible] K
B2/B4	45840 K	B5/B6	22000 K
B2/B5	68630 K	B5/B7	[illegible] K
B2/B6	58630 K	B6/B7	[illegible] K
B2/B7	27920 K		





Lage der Linien

Hβ	HeI	Hα		Hβ	HeI	Hα
486.1	587.5	656.3	λ [nm]	486.1	587.5	656.3
•••	•••	503	Punkte	•••	317	503

Nullpunkte der Spektren

•••••	•••••	471.5	λ [nm]	•••••	471.0	471.5

Mittelwerte der Nullpunkte

471.5	λ [nm]	471.3

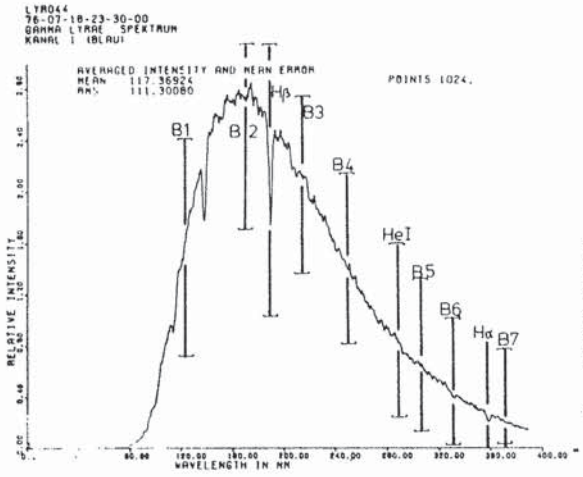
Lage der Bereiche

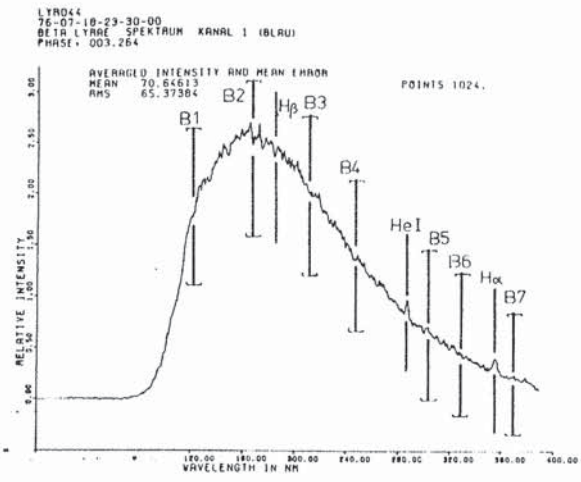
185	200	215	R1: 545 nm	186	201	216
362	377	392	R2: 610 nm	363	378	393
553	568	583	R3: 680 nm	553	568	583

Mittelwerte der Bereiche

2.7697	R1	2.6251
1.3698	R2	1.3579
0.5131	R3	0.5295

Bereichkombination	T(βLyr)
R1/R2	66570 K
R1/R3	22830 K
R2/R3	22800 K





Lage der Linien

Hγ	Hβ	HeI	Hα		Hγ	Hβ	HeI	Hα
434.0	486.1	587.5	656.3	λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
562	497	———	943	Punkte	———	(501)	754	935

Nullpunkte der Spektren

296.7	304.4	———	298.5	λ [nm]	———	(296.0)	301.4	301.6

Mittelwerte der Nullpunkte

299.9	λ [nm]
	301.5

Lage der Bereiche

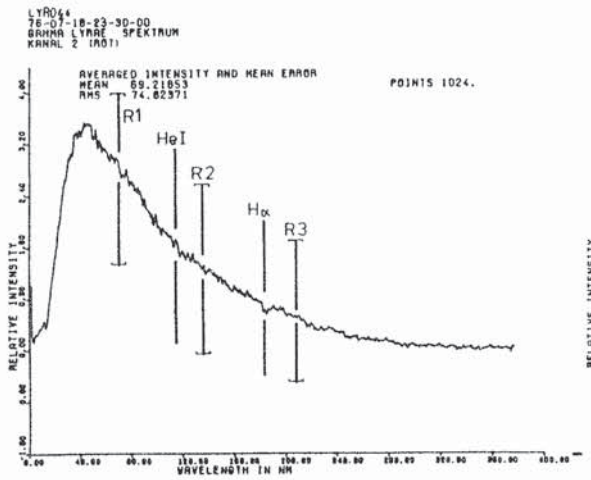
302	–	317	–	332	297	–	312	–	327
420	–	435	–	450	416	–	431	–	446
539	–	554	–	569	525	–	550	–	565
644	–	659	–	674	640	–	655	–	670
789	–	804	–	819	785	–	800	–	815
855	–	870	–	885	821	–	866	–	881
960	–	975	–	990	926	–	941	–	956

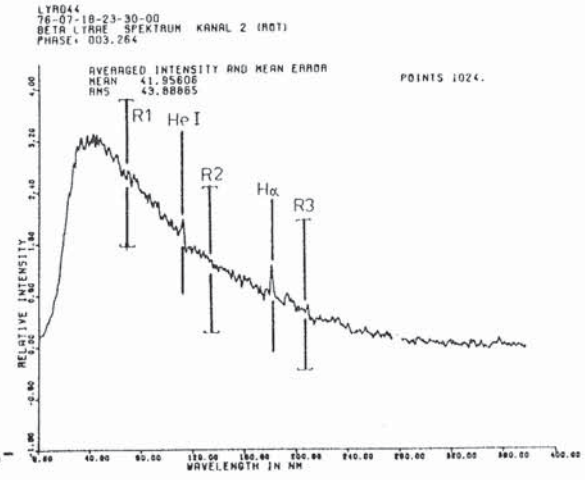
B1: 420 nm
B2: 465 nm
B3: 510 nm
B4: 550 nm
B5: 605 nm
B6: 630 nm
B7: 670 nm

Mittelwerte der Bereiche

1.4750	B1	1.7077 !
2.7326	B2	2.6870
2.1471	B3	2.0612
1.3836	B4	1.3508
0.6335	B5	0.6522
0.4215	B6	0.4459
0.2084	B7	0.2175

Bereichkomb.	T(βLyr)	Bereichkomb.	T(βLyr)
B1/B2	——— K !	B3/B4	48500 K
B1/B3	——— K !	B3/B5	51480 K
B1/B4	——— K !	B3/B6	38080 K
B1/B5	——— K !	B3/B7	40540 K
B1/B6	——— K !	B4/B5	52240 K
B1/B7	——— K !	B4/B6	30850 K
B2/B3	51300 K	B4/B7	35070 K
B2/B4	51530 K	B5/B6	15610 K
B2/B5	52510 K	B5/B7	25370 K
B2/B6	42640 K	B6/B7	46660 K
B2/B7	19630 K		





Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte		505	491
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte		505	491

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	472.2	475.4	475.9

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	472.2	475.7

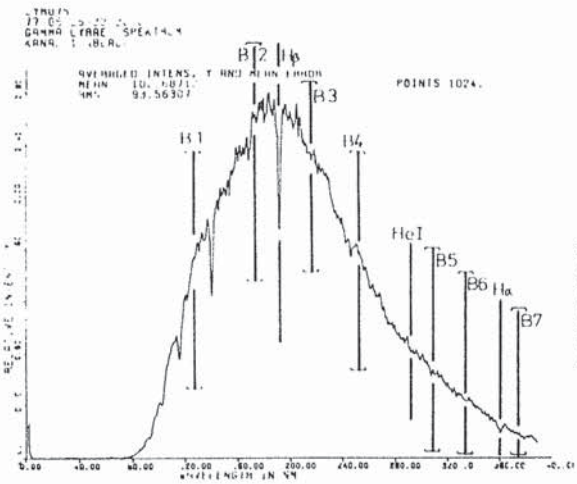
Lage der Bereiche

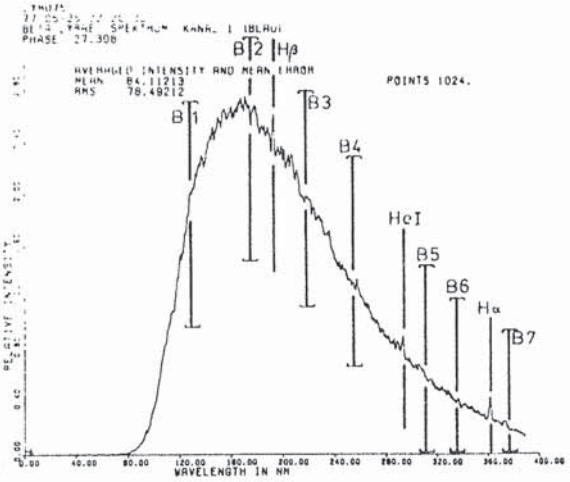
R1: 545 nm	183	198	213	174	189	204
R2: 610 nm	260	275	310	251	266	281
R3: 680 nm	551	566	581	541	556	571

Mittelwerte der Bereiche

R1	2.7572	2.6550
R2	1.2451	1.3038
R3	0.5129	0.5455

Bereichkombination	T(βLyr)
R1/R2	31050 K
R1/R3	18290 K
R2/R3	19800 K





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	367	502.5	———	648

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	———	506	771	751

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	294.8	295.5	———	296.6

λ [nm]	———	294.1	295.0	295.5

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	295.6

λ [nm]	294.9

Lage der Bereiche

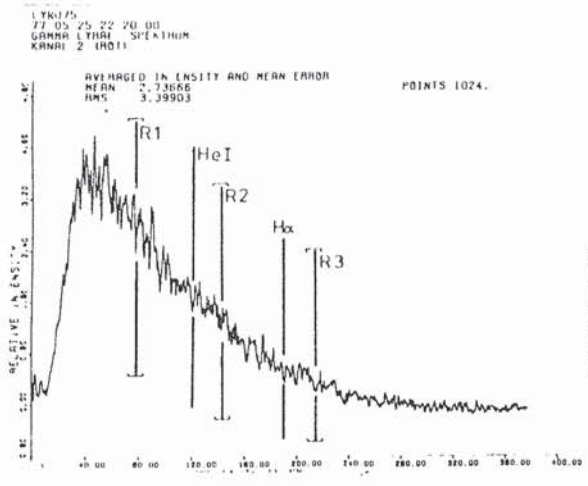
B1: 420 nm	313 – 328 – 343	315 – 330 – 345
B2: 465 nm	431 – 446 – 461	433 – 448 – 463
B3: 510 nm	550 – 565 – 580	552 – 567 – 582
B4: 550 nm	656 – 671 – 686	657 – 672 – 687
B5: 605 nm	805 – 815 – 830	802 – 817 – 832
B6: 630 nm	866 – 891 – 896	868 – 883 – 898
B7: 670 nm	972 – 987 – 1002	974 – 989 – 1004

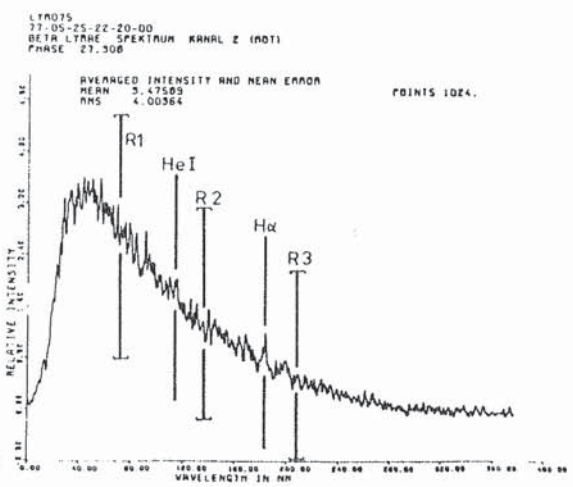
Mittelwerte der Bereiche

B1	1.44003	1.77886
B2	2.49883	2.67227
B3	2.33557	2.02133
B4	1.46651	1.29662
B5	0.65629	0.60070
B6	0.44355	0.40019
B7	0.17488	0.28979

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(βLyr)
B1/B2	····· K	····· K
B1/B3	····· K	····· K
B1/B4	····· K	····· K
B1/B5	····· K	····· K
B1/B6	····· K	····· K
B1/B7	····· K	····· K
B2/B3	····· K	····· K
B2/B4	····· K	····· K
B2/B5	····· K	····· K
B2/B6	····· K	····· K
B2/B7	····· K	····· K

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(βLyr)
B3/B4	····· K	35130 K
B3/B5	····· K	51900 K
B3/B6	····· K	89750 K
B3/B7	····· K	13240 K
B4/B5	····· K	36860 K
B4/B6	····· K	····· K
B4/B7	····· K	10440 K
B5/B6	····· K	····· K
B5/B7	····· K	.6008 K
B6/B7	····· K	.3788 K





Lage der Linien

Hβ	HeI	Hα		Hβ	HeI	Hα
486.1	587.5	656.3	λ [nm]	486.1	587.5	656.3
•••	•••	503?	Punkte	•••	308	498

Nullpunkte der Spektren

•••••	•••••	471.5	λ [nm]	•••••	474.3	473.3

Mittelwerte der Nullpunkte

471.5	λ [nm]	473.8

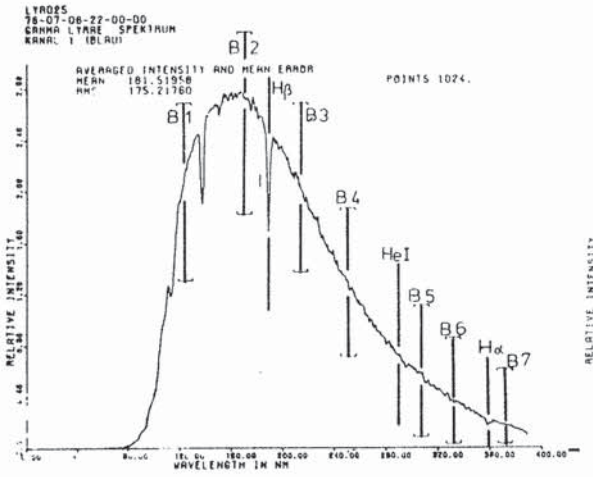
Lage der Bereiche

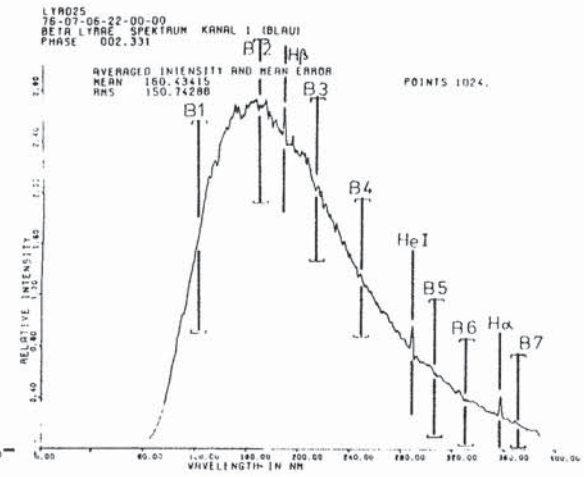
185	- 200	- 215	R1: 545 nm	179	- 194	- 209
363	- 377	- 394	R2: 610 nm	356	- 371	- 386
553	- 568	- 583	R3: 680 nm	546	- 561	- 576

Mittelwerte der Bereiche

2.9641	R1	2.7329
1.4495	R2	1.2681
0.4289	R3	0.4679

Bereichkombination	T(Lyr)	T(βLyr)
R1/R2	••••• K	••••• K
R1/R3	••••• K	15040 K
R2/R3	••••• K	7000 K





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	361	496	———	943
	———	495	759	941

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	297.0	297.1	———	298.5
	———	298.3	299.5	299.3

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	297.8
	299.0

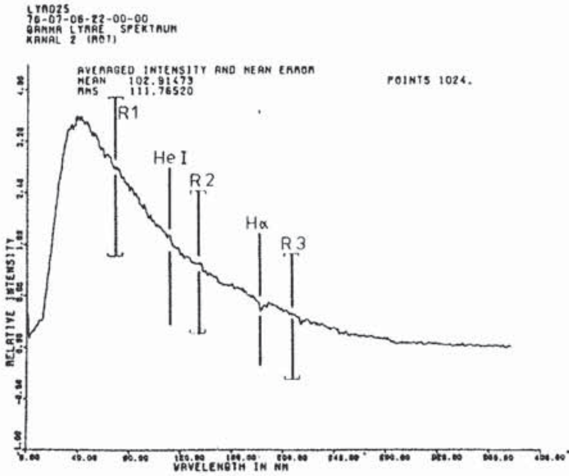
Lage der Bereiche

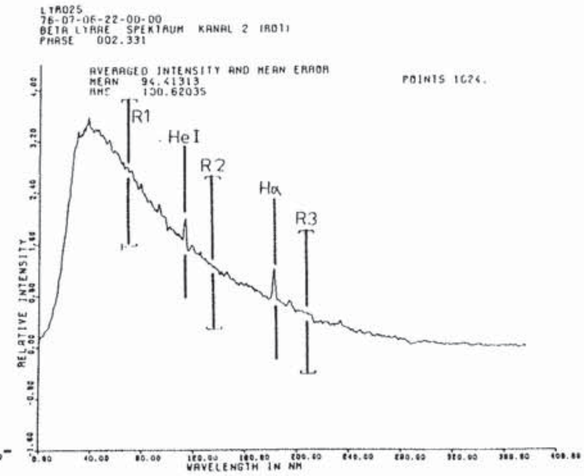
B1: 420 nm	307 – 328 – 337		304 – 319 – 324
B2: 465 nm	426 – 441 – 456		423 – 438 – 453
B3: 510 nm	544 – 559 – 574		541 – 556 – 571
B4: 550 nm	650 – 665 – 680		647 – 662 – 677
B5: 605 nm	795 – 810 – 825		792 – 807 – 822
B6: 630 nm	861 – 876 – 891		857 – 872 – 887
B7: 670 nm	966 – 981 – 996		963 – 978 – 993

Mittelwerte der Bereiche

B1	2.0559	1.6586
B2	2.7412	2.6668
B3	2.0960	2.0832
B4	1.2428	1.2792
B5	0.5535	0.4822
B6	0.3596	0.3749
B7	0.1739	0.1144

Bereichkomb.	T(βLyr)	Bereichkomb.	T(βLyr)
B1/B2	19450 K	B3/B4	62380 K
B1/B3	13420 K	B3/B5	56880 K
B1/B4	17220 K	B3/B6	55780 K
B1/B5	19850 K	B3/B7	36960 K
B1/B6	20790 K	B4/B5	59100 K
B1/B7	23810 K	B4/B6	45550 K
B2/B3	24770 K	B4/B7	29620 K
B2/B4	38660 K	B5/B6	33840 K
B2/B5	42370 K	B5/B7	72560 K
B2/B6	43650 K	B6/B7	——— K
B2/B7	17870 K		





Lage der Linien

Hβ	HeI	Hα		Hβ	HeI	Hα
486.1	587.5	656.3	λ [nm]	486.1	587.5	656.3
...	...	496	Punkte	...	387	494

Nullpunkte der Spektren

.....	.....	474.1	λ [nm]	.....	474.7	474.8

Mittelwerte der Nullpunkte

474.1	λ [nm]	474.8

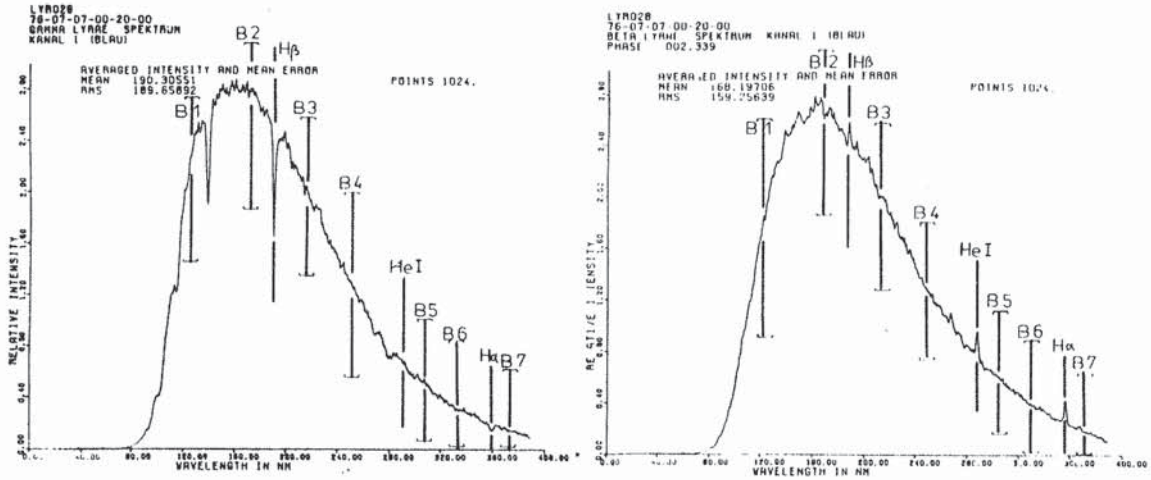
Lage der Bereiche

178 - 193 - 208	R1: 545 nm	176 - 191 - 206
355 - 370 - 385	R2: 61o nm	353 - 368 - 383
545 - 560 - 575	R3: 68o nm	544 - 559 - 574

Mittelwerte der Bereiche

2.7138	R1	2.7078
1.2437	R2	1.2387
0.5182	R3	0.5285

Bereichkombination	T(βLyr)
R1/R2	..... K
R1/R3	47240 K
R2/R3	26670 K



Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	364	509	...	947

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	...	492	757	938

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	295.9	296.4	.....	297.0	.....	299.4	300.3	300.4

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	296.4
	300.1

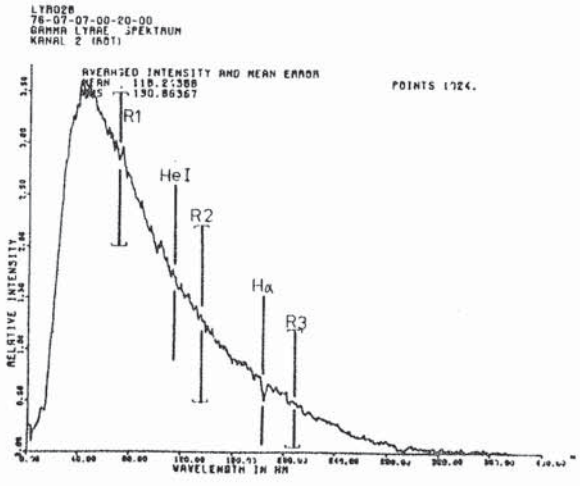
Lage der Bereiche

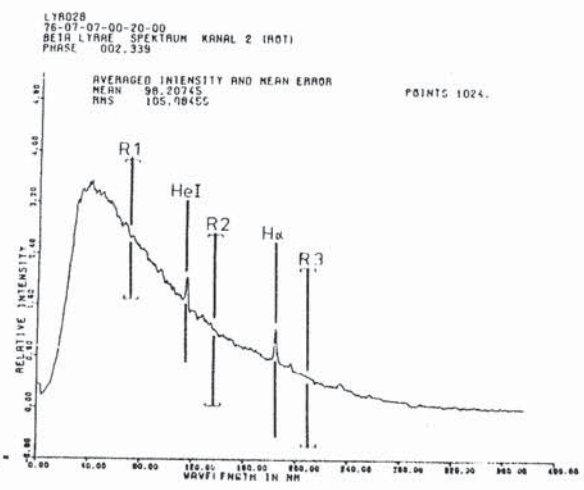
B1: 420 nm	311	326	341		301	316	331
B2: 465 nm	429	444	459		428	435	450
B3: 510 nm	548	563	578		538	553	568
B4: 550 nm	653	668	683		644	659	674
B5: 605 nm	798	813	828		789	804	819
B6: 630 nm	864	879	894		855	870	885
B7: 670 nm	970	985	1000		960	975	990

Mittelwerte der Bereiche

B1	2.1889	1.7379
B2	2.7913	2.7041
B3	2.0371	2.0585
B4	1.2177	1.3528
B5	0.5996	0.5878
B6	0.3132	0.3838
B7	0.1479	0.1927

Bereichkomb.	T(βLyr)	Bereichkomb.	T(βLyr)
B1/B2	9420 K	B3/B4	39448 K
B1/B3	13230 K	B3/B5	21640 K
B1/B4	16640 K	B3/B6	18820 K
B1/B5	16200 K	B3/B7	16040 K
B1/B6	15840 K	B4/B5	14780 K
B1/B7	15260 K	B4/B6	13740 K
B2/B3	27880 K	B4/B7	12510 K
B2/B4	33780 K	B5/B6	11500 K
B2/B5	23470 K	B5/B7	10670 K
B2/B6	21330 K	B6/B7	10060 K
B2/B7	13710 K		





Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
	486.1	587.5	656.3
	•••	•••	588

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	313	588

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	•••••	•••••	472.6

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	•••••	472.5	472.6

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	472.6

λ [nm]	472.6

Lage der Bereiche

R1: 545 nm	182	197	212
R2: 610 nm	359	374	389
R3: 680 nm	550	565	580

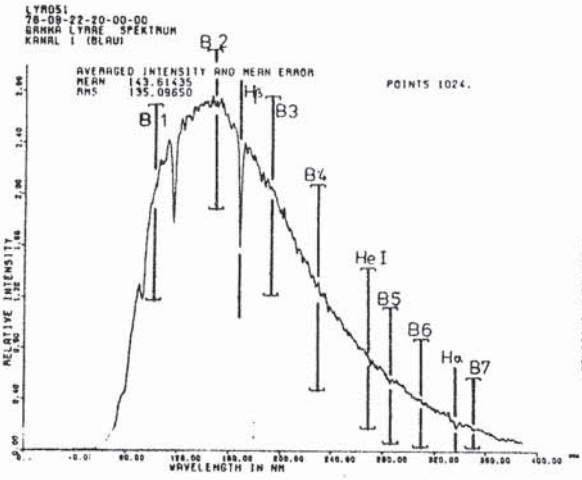
R1: 545 nm	182	197	212
R2: 610 nm	359	374	389
R3: 680 nm	550	565	580

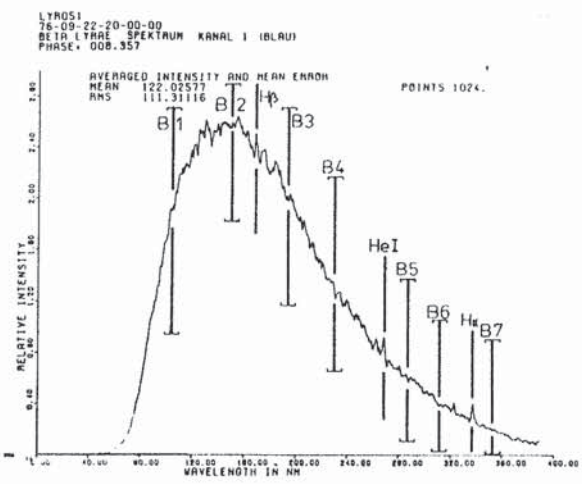
Mittelwerte der Bereiche

R1	2.82298
R2	1.24332
R3	0.47591

R1	2.66616
R2	1.21966
R3	0.52644

Bereichkombination	T(β Lyr)
R1/R2	••••• K
R1/R3	16189 K
R2/R3	16639 K





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	306	441	———	887
	———	442	787	889

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	317.9	318.8	———	319.8	———
	———	318.4	319.3	319.0	

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	318.8
	318.9

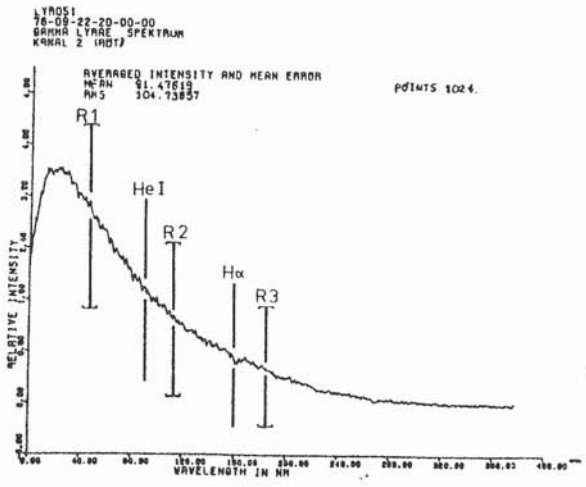
Lage der Bereiche

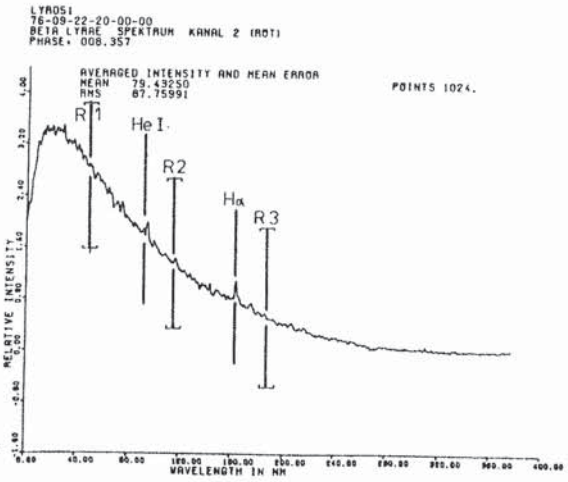
B1: 42o nm	254 – 269 – 284		251 – 266 – 281
B2: 465 nm	372 – 387 – 402		370 – 385 – 400
B3: 51o nm	491 – 506 – 521		489 – 504 – 519
B4: 55o nm	596 – 611 – 626		594 – 609 – 624
B5: 6o5 nm	741 – 756 – 771		739 – 754 – 769
B6: 63o nm	807 – 822 – 837		805 – 820 – 835
B7: 67o nm	913 – 928 – 943		910 – 925 – 940

Mittelwerte der Bereiche

B1	2,0668	1,7648
B2	2,7066	2,5683
B3	2,0190	2,0501
B4	1,2245	1,3724
B5	0,5537	0,6100
B6	0,3755	0,4076
B7	0,1771	0,2047

Bereichkomb.	T(βLyr)	Bereichkomb.	T(βLyr)
B1/B2	13280 K	B3/B4	38320 K
B1/B3	16000 K	B3/B5	42680 K
B1/B4	19850 K	B3/B6	51880 K
B1/B5	22450 K	B3/B7	58060 K
B1/B6	24850 K	B4/B5	45866 K
B1/B7	21980 K	B4/B6	74000 K
B2/B3	20330 K	B4/B7	24820 K
B2/B4	25410 K	B5/B6	——— K
B2/B5	29780 K	B5/B7	16130 K
B2/B6	35510 K	B6/B7	9970 K
B2/B7	15320 K		





Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	•••	448

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	254	448

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	•••••	•••••	494.6

λ [nm]	494.2	493.9

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	494.6

λ [nm]	494.0

Lage der Bereiche

R1: 545 nm	122 - 137 - 152	299 - 314 - 329
R2: 61o nm	490 - 505 - 520	

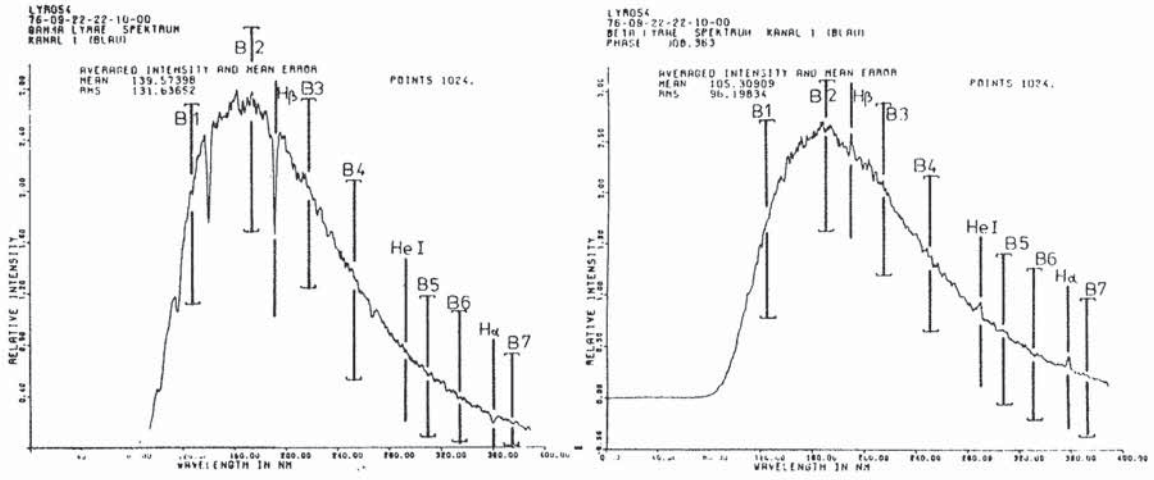
R1: 545 nm	124 - 139 - 154	301 - 316 - 331
R2: 61o nm	491 - 506 - 521	

Mittelwerte der Bereiche

R1	2.18640
R2	1.12762
R3	0.52556

R1	2.76110
R2	1.13331
R3	0.53358

Bereichkombination	T(βLyr)
R1/R2	23128 K
R1/R3	31330 K
R2/R3	••••• K



Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	366	501	---	948
	---	496	761	943

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	295.1	296.0	-----	296.6	
	-----	297.9	298.8	298.5	

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]: 295.9 | 298.4

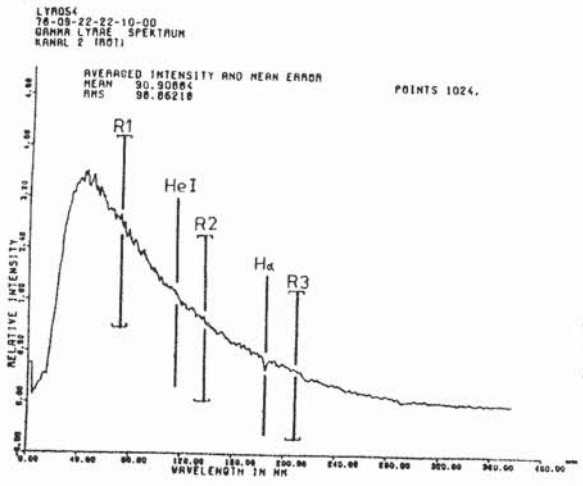
Lage der Bereiche

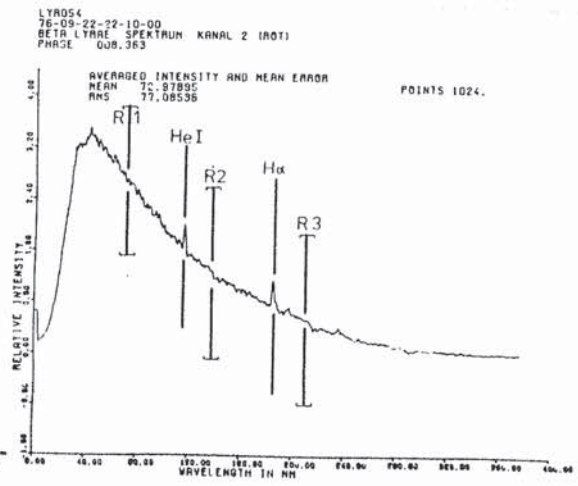
B1: 420 nm	312	327	343	306	321	336
B2: 465 nm	431	446	461	424	439	454
B3: 510 nm	549	564	579	543	558	573
B4: 550 nm	665	670	685	648	663	678
B5: 605 nm	800	815	830	793	808	823
B6: 630 nm	866	881	896	859	874	889
B7: 670 nm	971	986	1001	964	979	994

Mittelwerte der Bereiche

B1	1.9062	1.6325
B2	2.6784	2.6360
B3	2.0588	2.0864
B4	1.2837	1.3429
B5	0.5814	0.6458
B6	0.3889	0.4345
B7	0.1968	0.2216

Bereichkomb.	T(βLyr)	Bereichkomb.	T(βLyr)
B1/B2	11418 K	B3/B4	30588 K
B1/B3	16270 K	B3/B5	36720 K
B1/B4	19590 K	B3/B6	37890 K
B1/B5	22100 K	B3/B7	33390 K
B1/B6	22980 K	B4/B5	43698 K
B1/B7	23680 K	B4/B6	39930 K
B2/B3	34970 K	B4/B7	32560 K
B2/B4	33470 K	B5/B6	31000 K
B2/B5	36520 K	B5/B7	24920 K
B2/B6	37510 K	B6/B7	21500 K
B2/B7	17738 K		





Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	•••	502

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	316	502

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	•••••	•••••	471.9	•••••	471.4	471.9

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	471.9	471.6

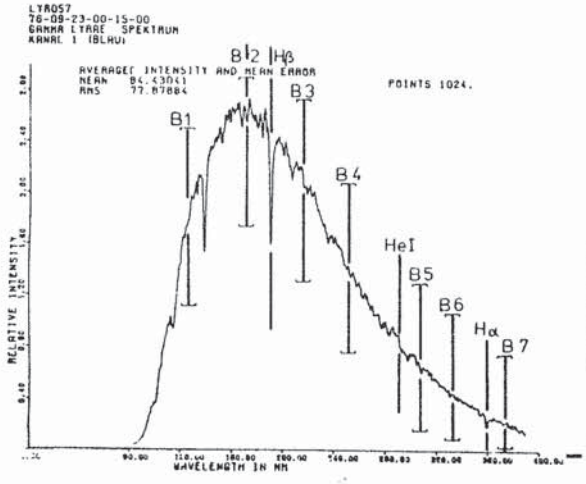
Lage der Bereiche

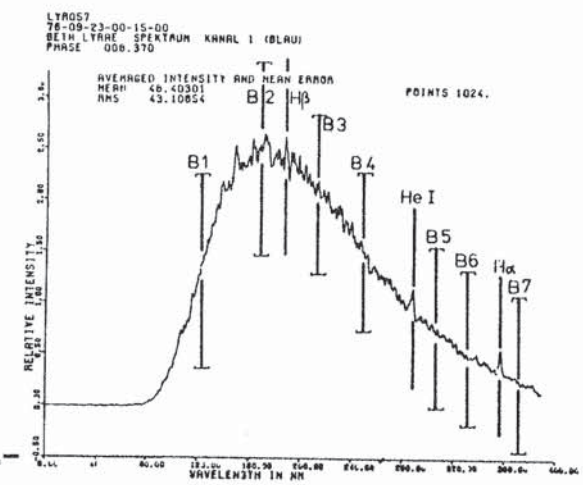
R1: 545 nm	184	–	199	–	214	185	–	200	–	215
R2: 610 nm	361	–	376	–	391	362	–	377	–	392
R3: 680 nm	551	–	566	–	581	553	–	567	–	582

Mittelwerte der Bereiche

R1	2.7311	2.6324
R2	1.2543	1.2287
R3	0.5181	0.5380

Bereichkombination	T(β Lyr)
R1/R2	••••• K
R1/R3	26850 K
R2/R3	18340 K





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	362	498	---	944

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	---	493	758	939

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	296.7	297.2	-----	298.1

λ [nm]	-----	299.1	299.9	300.0

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	297.3

λ [nm]	299.7

Lage der Bereiche

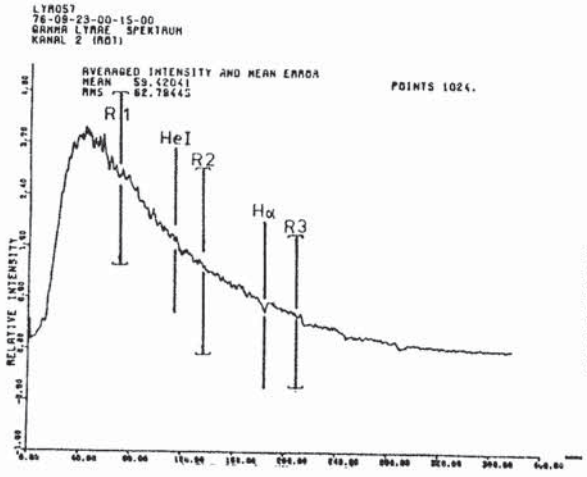
B1: 420 nm	308	323	338
B2: 465 nm	427	442	457
B3: 510 nm	546	561	576
B4: 550 nm	651	666	681
B5: 605 nm	796	811	826
B6: 630 nm	862	877	892
B7: 670 nm	967	982	997

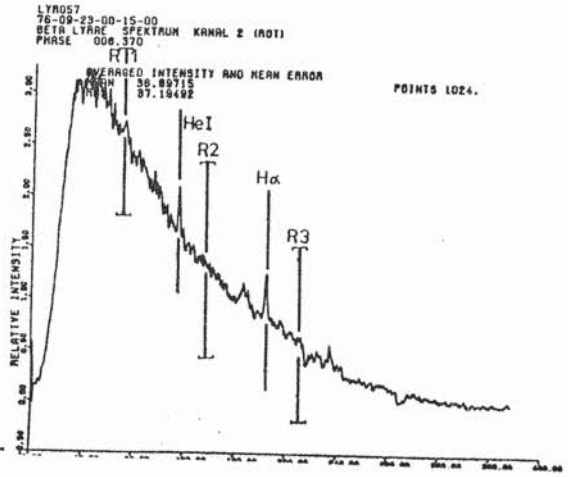
B1: 420 nm	302	317	332
B2: 465 nm	421	436	451
B3: 510 nm	539	554	569
B4: 550 nm	645	660	675
B5: 605 nm	790	805	820
B6: 630 nm	856	871	886
B7: 670 nm	961	976	991

Mittelwerte der Bereiche

B1	1.6914	1.2672
B2	2.6359	2.4815
B3	2.1327	2.1366
B4	1.3561	1.4604
B5	0.6488	0.7457
B6	0.4388	0.5054
B7	0.3195	0.3657

Bereichkomb.	T(β Lyr)	Bereichkomb.	T(β Lyr)
B1/B2	8570 K	B3/B4	16410 K
B1/B3	11640 K	B3/B5	22980 K
B1/B4	13050 K	B3/B6	22180 K
B1/B5	14960 K	B3/B7	20470 K
B1/B6	15220 K	B4/B5	36610 K
B1/B7	15540 K	B4/B6	27120 K
B2/B3	21530 K	B4/B7	22210 K
B2/B4	19140 K	B5/B6	16430 K
B2/B5	22580 K	B5/B7	15740 K
B2/B6	22198 K	B6/B7	15040 K
B2/B7	13760 K		





Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	•••	588
	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	311	499

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	•••••	•••••	472.6	•••••	473.2	473.0

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	472.6	473.1

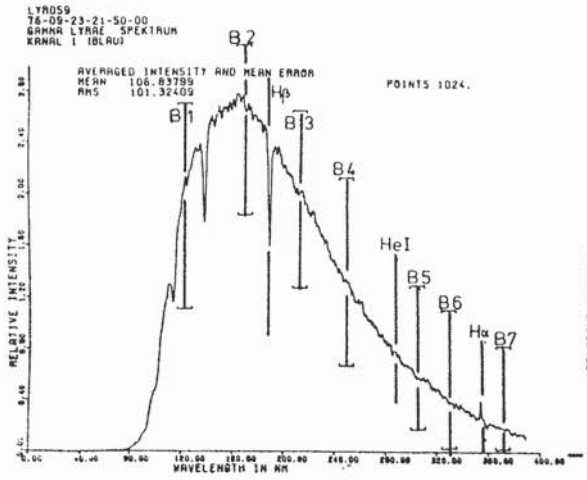
Lage der Bereiche

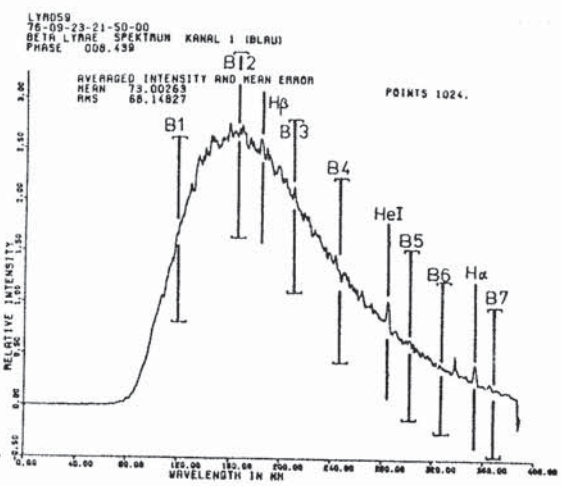
R1: 545 nm	182	197	212	R1: 545 nm	181	196	211
R2: 610 nm	359	374	389	R2: 610 nm	358	373	388
R3: 680 nm	550	565	580	R3: 680 nm	548	563	578

Mittelwerte der Bereiche

R1	2.6854	2.5445
R2	1.3971	1.3310
R3	0.3706	0.6299

Bereichkombination	T(β Lyr)
R1/R2	25990 K
R1/R3	.6370 K
R2/R3	.3940 K





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	362	497	...	944
	...	482	748	938

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	296.7	297.5	.....	298.1	.....	303.2	303.7	303.5

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	297.4	303.5

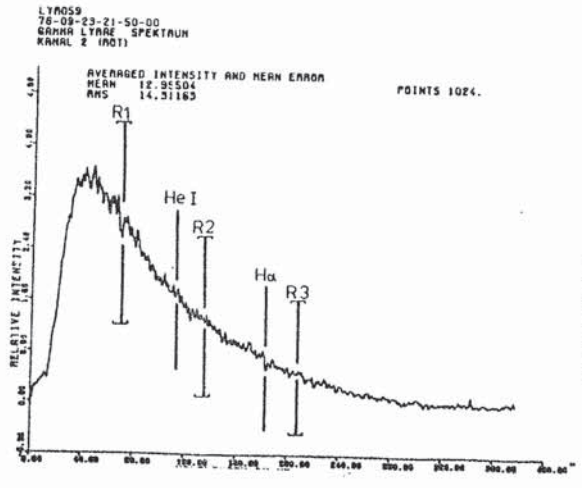
Lage der Bereiche

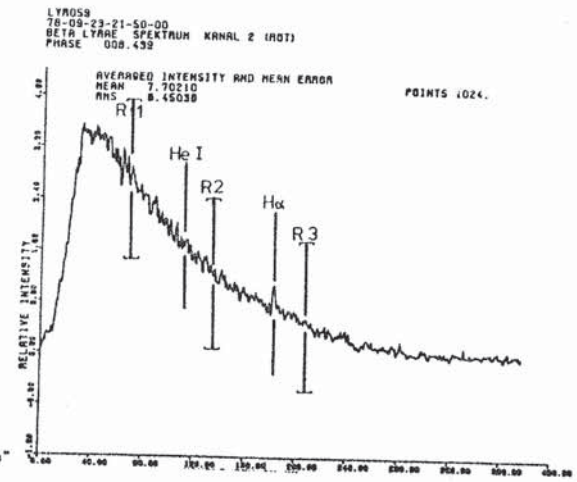
B1: 420 nm	308	323	338		292	307	322
B2: 465 nm	427	442	457		411	426	441
B3: 510 nm	545	560	575		529	544	559
B4: 550 nm	651	666	681		635	650	665
B5: 605 nm	796	811	826		780	795	810
B6: 630 nm	862	877	892		846	861	876
B7: 670 nm	967	982	997		951	966	981

Mittelwerte der Bereiche

B1	2.0539	1.5374
B2	2.7149	2.4614
B3	2.0121	2.1119
B4	1.2436	1.3365
B5	0.5663	0.6283
B6	0.3712	0.4083
B7	0.1767	0.2055

Bereichkomb.	T(βLyr)	Bereichkomb.	T(βLyr)
B1/B2	.7700 K	B3/B4	37360 K
B1/B3	10530 K	B3/B5	75000 K
B1/B4	13078 K	B3/B6	98700 K
B1/B5	16018 K	B3/B7	34080 K
B1/B6	17278 K	B4/B5	..... K
B1/B7	16580 K	B4/B6	..... K
B2/B3	20030 K	B4/B7	30722 K
B2/B4	25050 K	B5/B6	..... K
B2/B5	35588 K	B5/B7	16280 K
B2/B6	48910 K	B6/B7	10600 K
B2/B7	16210 K		





Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	•••	497

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	307	494

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	•••••	•••••	473.7

•••••	474.7	474.8

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]: 473.7

474.8

Lage der Bereiche

R1: 545 nm	179	194	209
R2: 610 nm	356	371	386
R3: 680 nm	547	562	577

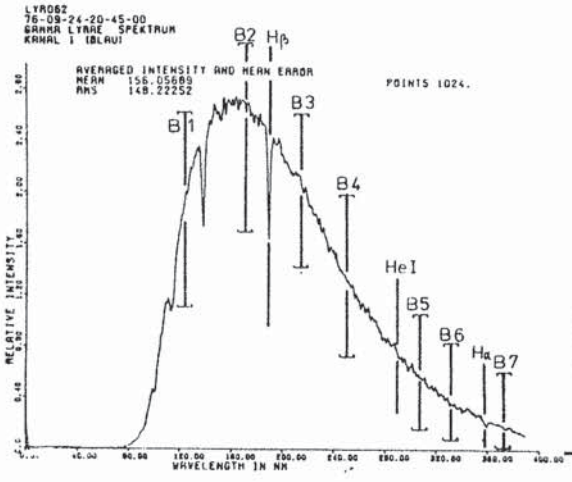
176	191	206
353	368	383
544	559	574

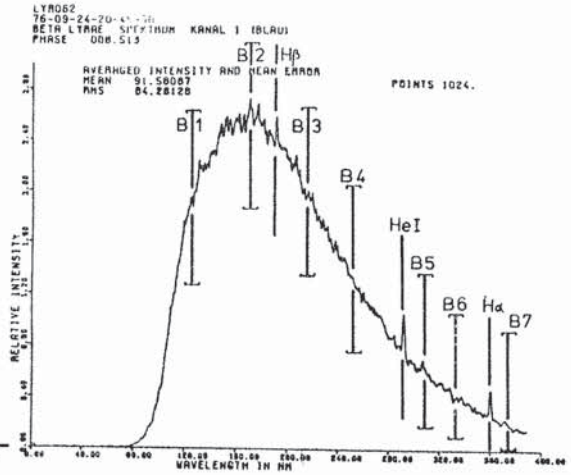
Mittelwerte der Bereiche

R1	2.75622
R2	1.27735
R3	0.48333

R1	2.7037
R2	1.2444
R3	0.5289

Bereichkombination	T(βLyr)
R1/R2	••••• K
R1/R3	21838 K
R2/R3	11748 K





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	363	498	---	946
Punkte	---	502	767	948

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	296.3	297.2	-----	297.4	
	296.9				
λ [nm]	-----	295.6	296.5	296.6	
	296.3				

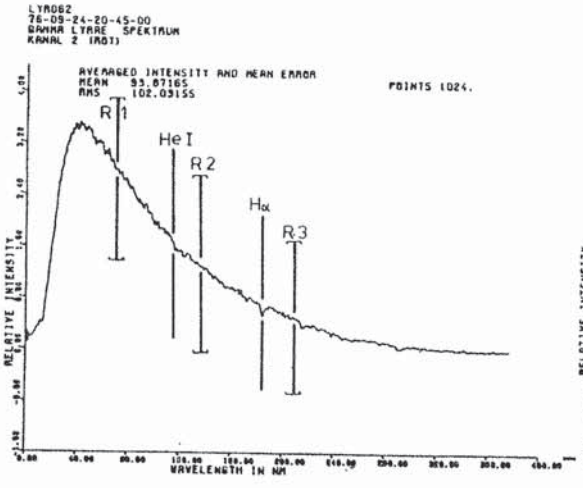
Lage der Bereiche

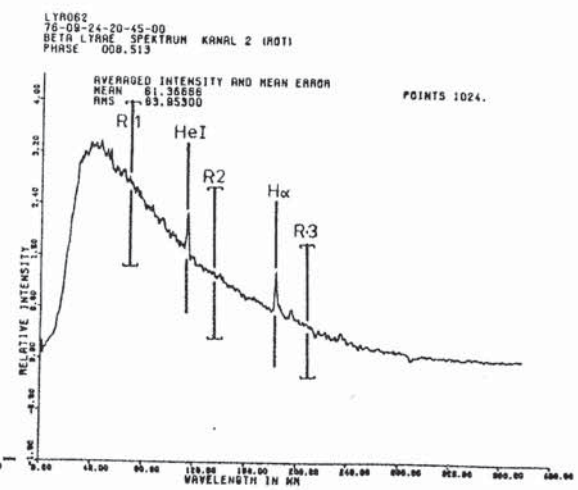
B1: 420 nm	309	324	339	311	326	341
B2: 465 nm	428	443	458	430	445	460
B3: 510 nm	547	562	577	548	563	578
B4: 550 nm	652	667	682	654	669	684
B5: 605 nm	797	812	827	799	814	829
B6: 630 nm	863	878	893	865	880	895
B7: 670 nm	968	983	998	970	985	1000

Mittelwerte der Bereiche

B1	1.8982	1.8846
B2	2.6960	2.5842
B3	2.0946	2.0126
B4	1.2698	1.2739
B5	0.5614	0.6153
B6	0.3580	0.4112
B7	0.1830	0.2626

Bereichkomb.	T(β Lyr)	Bereichkomb.	T(β Lyr)
B1/B2	58668 K	B3/B4	24888 K
B1/B3	79190 K	B3/B5	24260 K
B1/B4	63670 K	B3/B6	20250 K
B1/B5	45850 K	B3/B7	11080 K
B1/B6	36170 K	B4/B5	24110 K
B1/B7	18980 K	B4/B6	17700 K
B2/B3	82000 K	B4/B7	8990 K
B2/B4	40068 K	B5/B6	8688 K
B2/B5	33038 K	B5/B7	5320 K
B2/B6	26978 K	B6/B7	4360 K
B2/B7	10810 K		





Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	•••	500

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	312	499

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	•••••	•••••	472.6

λ [nm]	472.9	473.0

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	472.6

λ [nm]	472.9

Lage der Bereiche

R1: 545 nm	183	197	212
R2: 610 nm	359	374	389
R3: 680 nm	550	565	580

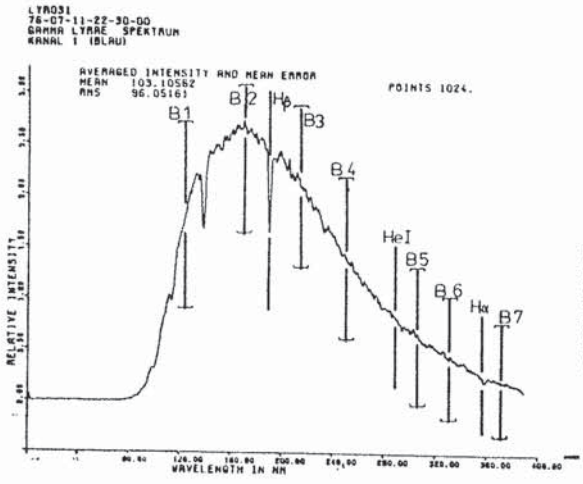
R1: 545 nm	181	196	211
R2: 610 nm	358	373	388
R3: 680 nm	549	564	579

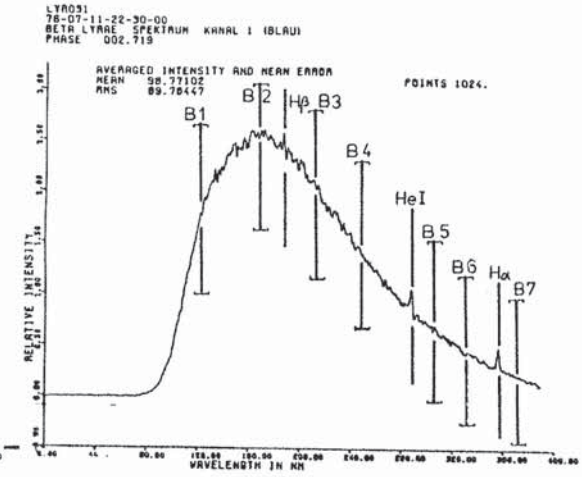
Mittelwerte der Bereiche

R1	2.72121
R2	1.27791
R3	0.50401

R1	2.65781
R2	1.30311
R3	0.53681

Bereichkombination	T(βLyr)
R1/R2	••••• K
R1/R3	24340 K
R2/R3	21720 K





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	260	415	---	842
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	---	418	756	937

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	207.4	218.3	-----	228.9	-----	300.2	300.7	300.8

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	218.2	300.6

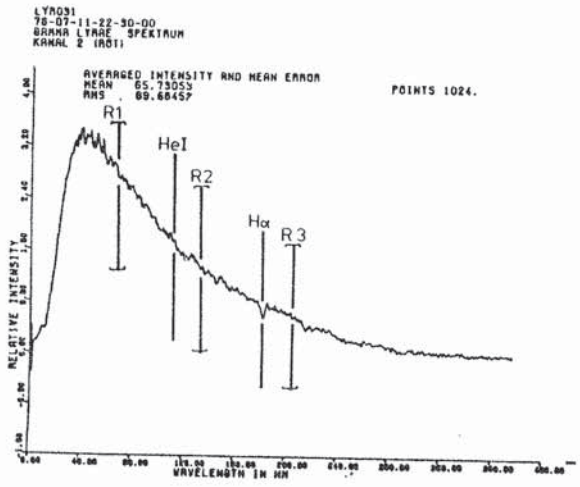
Lage der Bereiche

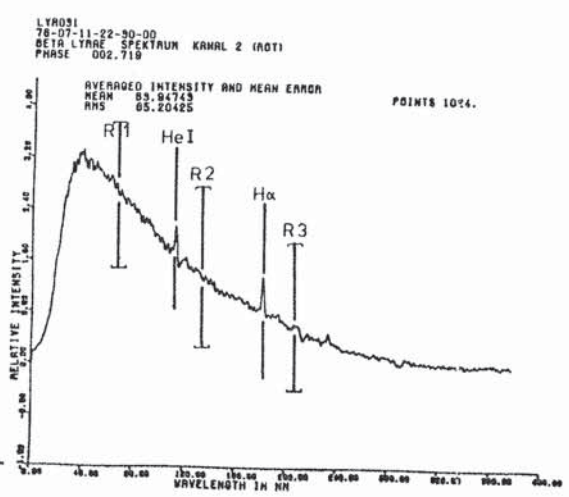
B1: 420 nm	304	-	321	-	336	399	-	315	-	330
B2: 465 nm	425	-	448	-	465	418	-	433	-	448
B3: 510 nm	518	-	538	-	553	537	-	552	-	567
B4: 550 nm	649	-	664	-	679	642	-	657	-	672
B5: 605 nm	794	-	809	-	824	787	-	802	-	817
B6: 630 nm	860	-	875	-	890	853	-	868	-	883
B7: 670 nm	165	-	180	-	195	959	-	974	-	981

Mittelwerte der Bereiche

B1	1.7816	1.6585
B2	2.1666	2.5595
B3	2.1246	2.0840
B4	1.3461	1.3853
B5	0.6394	0.6722
B6	0.4264	0.4572
B7	0.2071	0.2248

Bereichkomb.	T(βLyr)		Bereichkomb.	T(βLyr)	
B1/B2	21310	K	B3/B4	21590	K
B1/B3	28830	K	B3/B5	40410	K
B1/B4	29100	K	B3/B6	43350	K
B1/B5	36500	K	B3/B7	34940	K
B1/B6	37900	K	B4/B5	26760	K
B1/B7	36410	K	B4/B6	19530	K
B2/B3	44010	K	B4/B7	45100	K
B2/B4	30640	K	B5/B6	48000	K
B2/B5	42440	K	B5/B7	34440	K
B2/B6	44620	K	B6/B7	19080	K
B2/B7	18480	K			





Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	•••	495

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	306	493

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	•••••	•••••	474.4	•••••	475.1	475.2

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	474.4
λ [nm]	475.1

Lage der Bereiche

R1: 545 nm	177	193	207
R2: 610 nm	354	369	384
R3: 680 nm	543	560	575

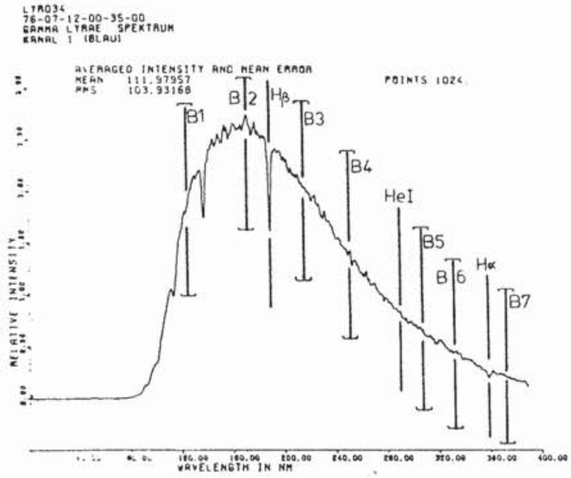
R1: 545 nm	175	190	205
R2: 610 nm	352	367	382
R3: 680 nm	543	558	573

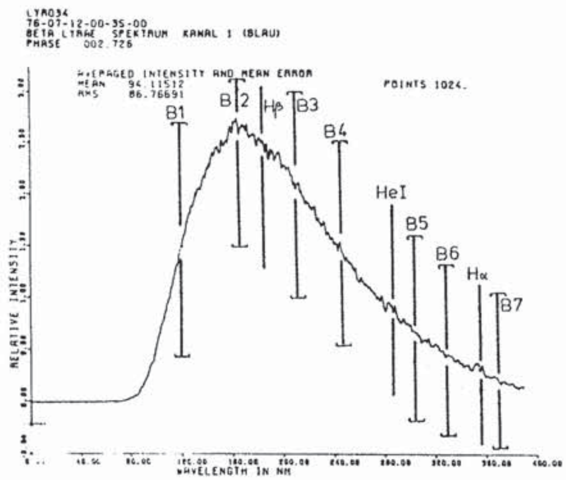
Mittelwerte der Bereiche

R1	2.1080
R2	1.2949
R3	0.5760

R1	2.6268
R2	1.3554
R3	0.5933

Bereichkombination	T(βLyr)
R1/R2	36888 K
R1/R3	26040 K
R2/R3	57620 K





Lage der Linien

Hγ	Hβ	HeI	Hα		Hγ	Hβ	HeI	Hα
434.0	486.1	587.5	656.3	λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
361	497	...	944	Punkte	...	...	756	936

Nullpunkte der Spektren

297.0	297.5	.....	298.1	λ [nm]	.....	.....	300.7	301.2

Mittelwerte der Nullpunkte

297.6	λ [nm]	300.9

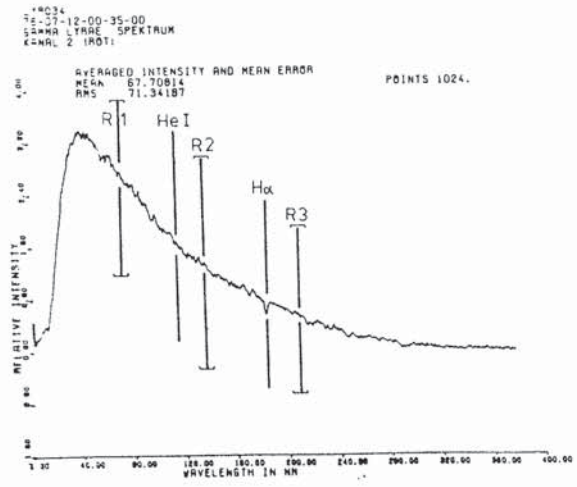
Lage der Bereiche

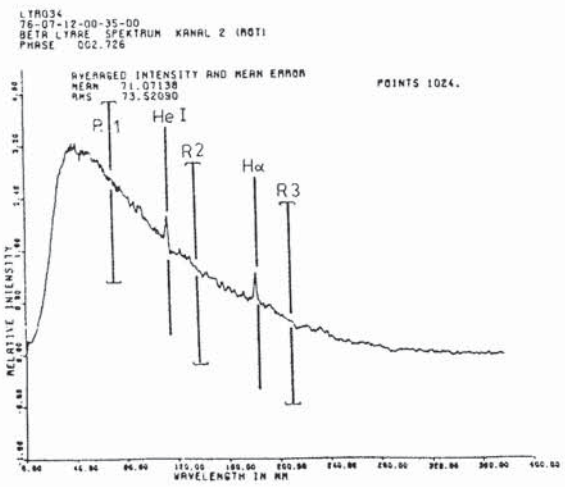
308 - 323 - 338	B1: 420 nm	299 - 314 - 329
426 - 441 - 456	B2: 465 nm	418 - 433 - 448
545 - 560 - 575	B3: 510 nm	536 - 551 - 566
650 - 665 - 680	B4: 550 nm	642 - 657 - 672
795 - 810 - 825	B5: 605 nm	787 - 802 - 817
861 - 876 - 891	B6: 630 nm	852 - 867 - 882
967 - 982 - 997	B7: 670 nm	958 - 973 - 988

Mittelwerte der Bereiche

1.8022	B1	1.3999
2.6428	B2	2.6622
[illegible]	B3	3.1594
1.3453	B4	1.4087
0.6379	B5	0.6800
0.4327	B6	0.4585
0.3063	B7	0.3276

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(βLyr)	Bereichkomb.	T(Lyr)	T(βLyr)
B1/B2	..... K	7870 K	B3/B4	..... K	65800 K
B1/B3	..... K	11670 K	B3/B5	..... K	..... K
B1/B4	..... K	14950 K	B3/B6	..... K	913300 K
B1/B5	..... K	18950 K	B3/B7	..... K	53000 K
B1/B6	..... K	20370 K	B4/B5	..... K	..... K
B1/B7	..... K	19660 K	B4/B6	..... K	..... K
B2/B3	..... K	35040 K	B4/B7	..... K	..... K
B2/B4	..... K	44560 K	B5/B6	..... K	93310 K
B2/B5	..... K	82330 K	B5/B7	..... K	18660 K
B2/B6	..... K	94940 K	B6/B7	..... K	13510 K
B2/B7	..... K	..... K			





Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	...	...	497

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	...	385	493

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	.....	.....	473.7	475.4	475.2

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	473.7
	475.3

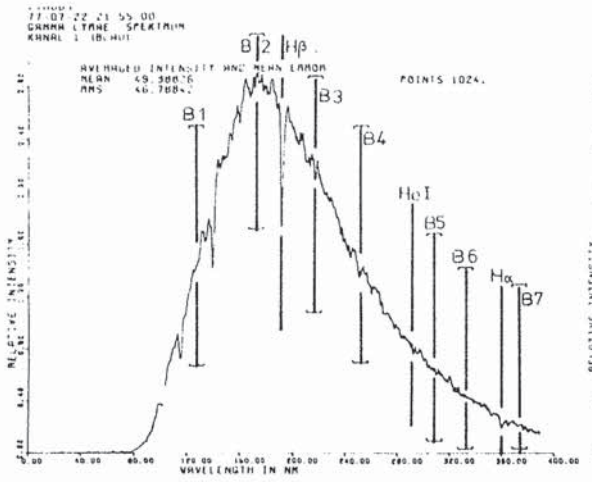
Lage der Bereiche

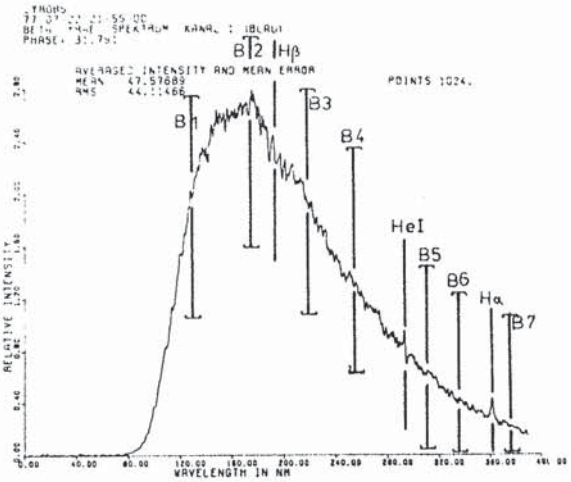
R1: 545 nm	189 - 194 - 209	175 - 190 - 205
R2: 610 nm	336 - 341 - 366	358 - 367 - 382
R3: 680 nm	547 - 562 - 577	542 - 557 - 572

Mittelwerte der Bereiche

R1	2.6927	2.6194
R2	1.3052	1.3419
R3	0.5563	0.5476

Bereichkombination	T(Lyr)	T(β Lyr)
R1/R2	..... K	128458 K
R1/R3	..... K	10770 K
R2/R3	..... K	..... K





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	366	502	—	944
	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	(369?)	504	770	952

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	295.1	295.6	———	297.0	(297.4)	294.9	295.4	295.1

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	295.9	295.1

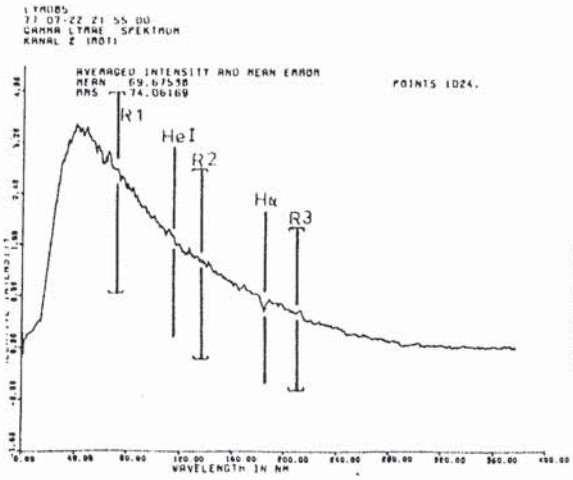
Lage der Bereiche

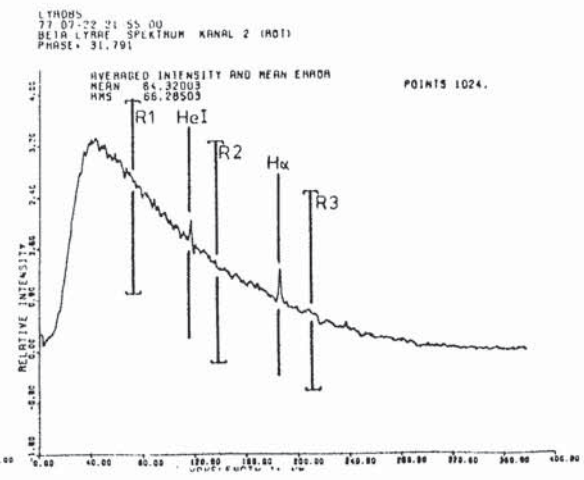
B1: 420 nm	312	324	348		314	329	344	
B2: 465 nm	421	446	461		433	448	463	
B3: 510 nm	494	564	579		551	566	581	
B4: 550 nm	655	670	685		657	672	687	
B5: 605 nm	800	815	830		802	817	832	
B6: 630 nm	866	881	896		868	883	898	
B7: 670 nm	971	986	1001		973	988	1003	

Mittelwerte der Bereiche

B1	1.3610	1.7928
B2	2.8293	2.6713
B3	2.2088	2.0197
B4	1.2546	1.2950
B5	0.6283	0.6284
B6	0.4328	0.4122
B7	0.2975	0.2842

Bereichkomb.	T(Lyr)		T(β Lyr)		Bereichkomb.	T(Lyr)		T(β Lyr)	
B1/B2	.....	K	.....	K	B3/B4	.....	K	23710	K
B1/B3	.....	K	———	K	B3/B5	.....	K	37810	K
B1/B4	.....	K	———	K	B3/B6	.....	K	48780	K
B1/B5	.....	K	———	K	B3/B7	.....	K	23870	K
B1/B6	.....	K	———	K	B4/B5	.....	K	———	K
B1/B7	.....	K	———	K	B4/B6	.....	K	———	K
B2/B3	.....	K	———	K	B4/B7	.....	K	22870	K
B2/B4	.....	K	77000	K	B5/B6	.....	K	———	K
B2/B5	.....	K	80000	K	B5/B7	.....	K	13590	K
B2/B6	.....	K	———	K	B6/B7	.....	K	8710	K
B2/B7	.....	K	18160	K					





Lage der Linien

Hβ	HeI	Hα		Hβ	HeI	Hα
486.1	587.5	656.3	λ [nm]	486.1	587.5	656.3
•••	•••	508	Punkte	•••	315	502

Nullpunkte der Spektren

•••••	•••••	472.6	λ [nm]	•••••	471.8	471.9

Mittelwerte der Nullpunkte

472.6	λ [nm]	471.8

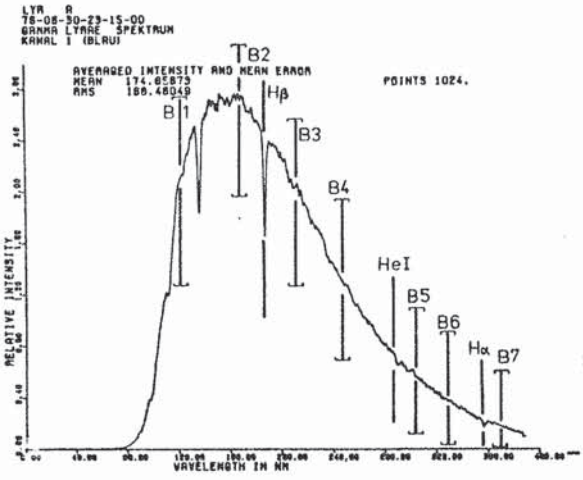
Lage der Bereiche

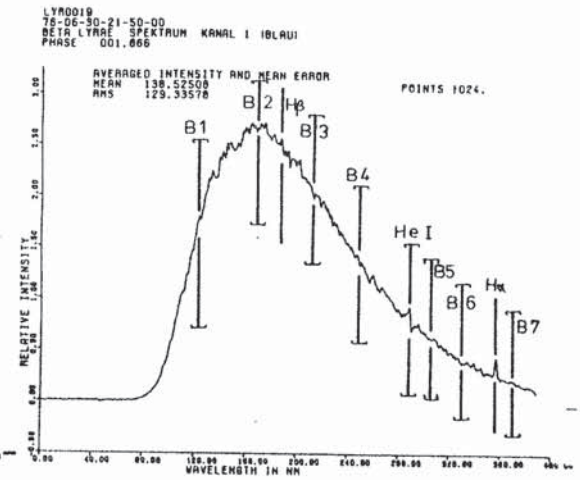
182	197	212	R1: 545 nm	184	199	214
359	374	389	R2: 610 nm	361	376	391
550	565	580	R3: 680 nm	553	567	582

Mittelwerte der Bereiche

2.7124	R1	2.5948
1.3317	R2	1.3002
0.5564	R3	0.5850

Bereichkombination	T(Lyr)	T(β Lyr)
R1/R2	••••• K	••••• K
R1/R3	••••• K	23090 K
R2/R3	••••• K	15710 K





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	357	492	...	938
	...	493	760	940

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	298.6	299.4	.....	300.4
	.....	299.1	299.2	299.7

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	299.5
	299.3

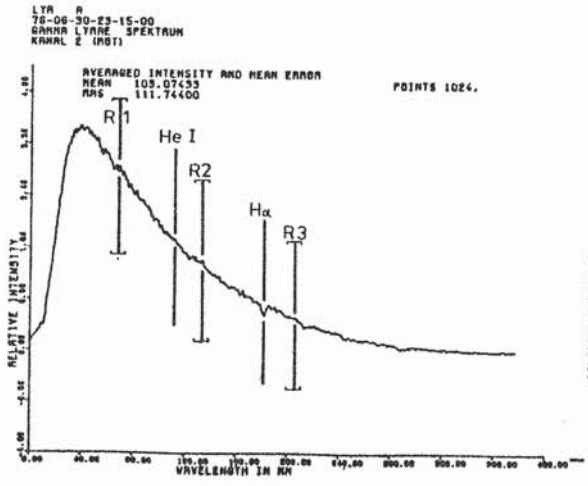
Lage der Bereiche

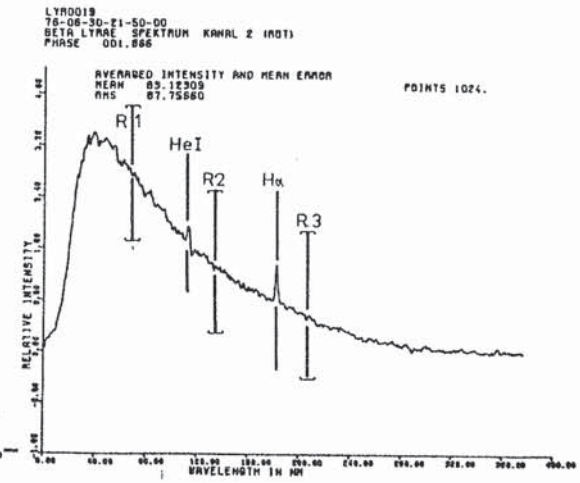
B1: 420 nm	303 – 318 – 333	303 – 318 – 333
B2: 465 nm	421 – 436 – 451	422 – 437 – 452
B3: 510 nm	540 – 555 – 570	540 – 555 – 570
B4: 550 nm	645 – 660 – 675	646 – 661 – 676
B5: 605 nm	790 – 805 – 820	791 – 806 – 821
B6: 630 nm	856 – 871 – 886	857 – 872 – 887
B7: 670 nm	962 – 977 – 992	962 – 977 – 992

Mittelwerte der Bereiche

B1	2.0793	1.6126
B2	2.7280	2.6651
B3	2.0344	2.0832
B4	1.2443	1.3313
B5	0.5566	0.6298
B6	0.3634	0.4062
B7	0.1734	0.2013

Bereichkomb.	T(βLyr)	Bereichkomb.	T(βLyr)
B1/B2	8588 K	B3/B4	23918 K
B1/B3	11980 K	B3/B5	33130 K
B1/B4	14200 K	B3/B6	41310 K
B1/B5	16530 K	B3/B7	47250 K
B1/B6	17870 K	B4/B5	50000 K
B1/B7	17540 K	B4/B6	66420 K
B2/B3	26000 K	B4/B7	28270 K
B2/B4	25390 K	B5/B6	265510 K
B2/B5	30230 K	B5/B7	19330 K
B2/B6	34770 K	B6/B7	12440 K
B2/B7	15970 K		





Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	•••	413

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	306	495

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	•••••	•••••	475.2
	•••••	•••••	475.1

λ [nm]	474.4

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	475.2
	474.8

Lage der Bereiche

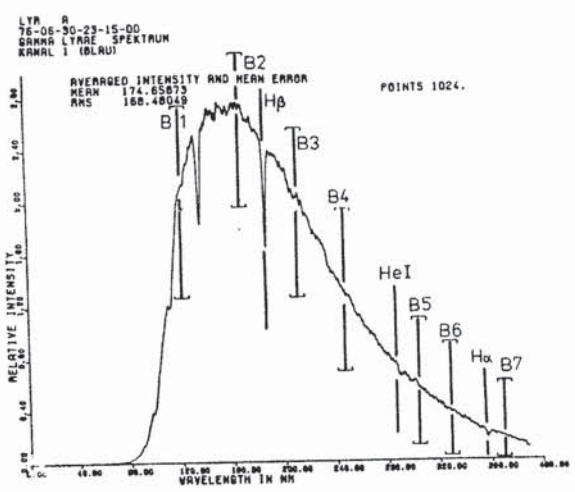
R1: 545 nm	175 - 190 - 205	176 - 191 - 206
R2: 610 nm	352 - 367 - 382	353 - 368 - 383
R3: 680 nm	542 - 557 - 572	544 - 559 - 574

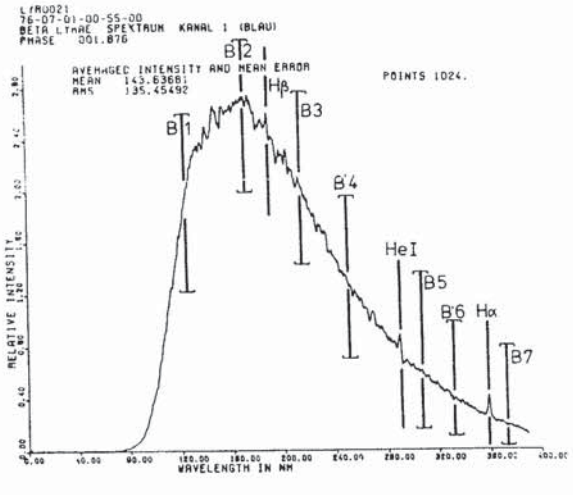
Mittelwerte der Bereiche

R1	2.75776
R2	1.38916
R3	0.58841

R1	2.70996
R2	1.22181
R3	0.55553

Bereichkombination	T(βLyr)
R1/R2	nicht berechenbar K
R1/R3	20430 K
R2/R3	12358 K





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	357	492	—	938
	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	(369?)	496	762	944

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	298.6	299.4	—	300.4
	(294.0)	297.9	298.4	298.1

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	299.5
	298.2

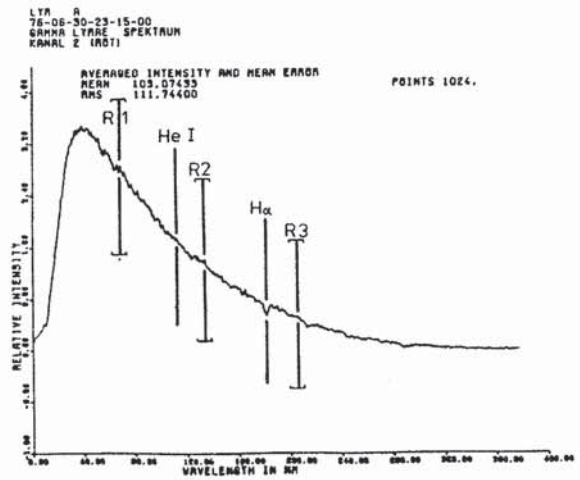
Lage der Bereiche

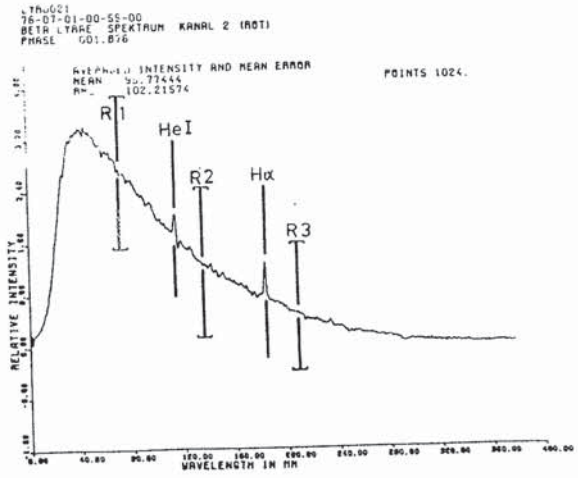
B1: 420 nm	363 –	318 –	333
B2: 465 nm	421 –	436 –	451
B3: 510 nm	543 –	555 –	570
B4: 550 nm	645 –	660 –	675
B5: 605 nm	790 –	805 –	820
B6: 630 nm	856 –	871 –	886
B7: 670 nm	962 –	977 –	992
	306 –	321 –	336
	422 –	440 –	455
	543 –	558 –	573
	649 –	664 –	679
	794 –	809 –	824
	860 –	875 –	890
	965 –	980 –	995

Mittelwerte der Bereiche

B1	2.0793	1.8456
B2	2.7280	2.6804
B3	2.8344	2.0421
B4	1.2443	1.2508
B5	0.5566	0.5858
B6	0.3624	0.3961
B7	0.1724	0.1892

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(β Lyr)
B1/B2	..... K	13510 K
B1/B3	..... K	19360 K
B1/B4	..... K	26390 K
B1/B5	..... K	30610 K
B1/B6	..... K	29120 K
B1/B7	..... K	28510 K
B2/B3	..... K	41620 K
B2/B4	..... K	51620 K
B2/B5	..... K	66110 K
B2/B6	..... K	50540 K
B2/B7	..... K	18910 K
B3/B4	..... K	128240 K
B3/B5	..... K	100527 K
B3/B6	..... K	54400 K
B3/B7	..... K	38390 K
B4/B5	..... K	79610 K
B4/B6	..... K	36520 K
B4/B7	..... K	28140 K
B5/B6	..... K	16250 K
B5/B7	..... K	17180 K
B6/B7	..... K	17600 K





Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	•••	493

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	310	498

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	•••••	•••••	475.2
	•••••	•••••	473.6

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	475.2
	473.5

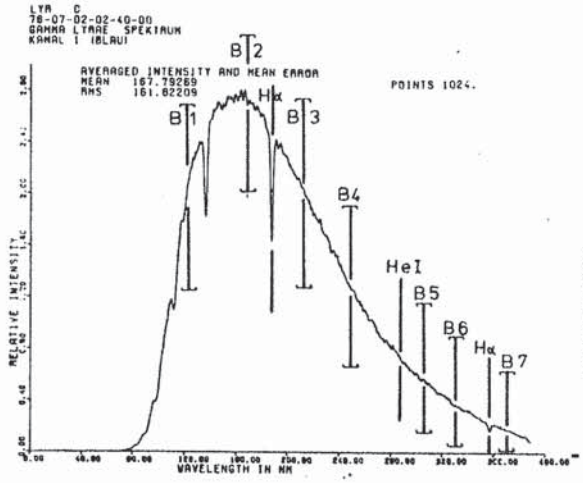
Lage der Bereiche

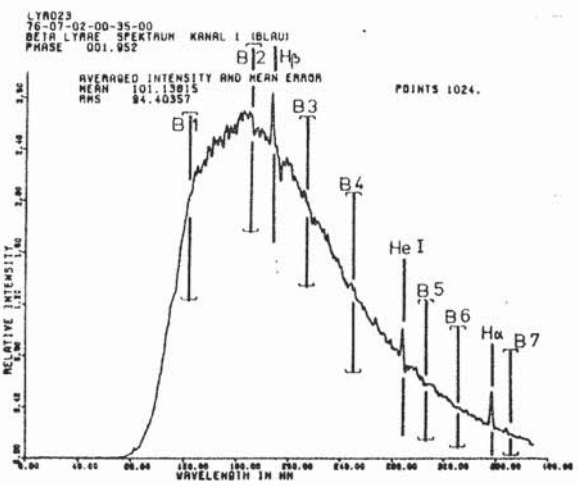
	R1	R2	R3
	545 nm	610 nm	680 nm
	175 – 190 – 205	352 – 367 – 382	542 – 557 – 572
	180 – 195 – 210	357 – 373 – 387	547 – 568 – 577

Mittelwerte der Bereiche

	R1	R2	R3
	2.7576	1.3096	0.5041
	2.7208	1.2618	0.4996

Bereichkombination	T(Lyr)	T(βLyr)
R1/R2	••••• K	••••• K
R1/R3	••••• K	65100 K
R2/R3	••••• K	27940 K





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.o	486.1	587.5	656.3
Punkte	358	493	—	940
	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.o	486.1	587.5	656.3
Punkte	372	491	756	938

Nullpunkte der Spektren

298.2	299.1	.....	299.7	λ [nm]
299.8				

299.9	299.8	300.7	300.4	λ [nm]
300.3				

Mittelwerte der Nullpunkte

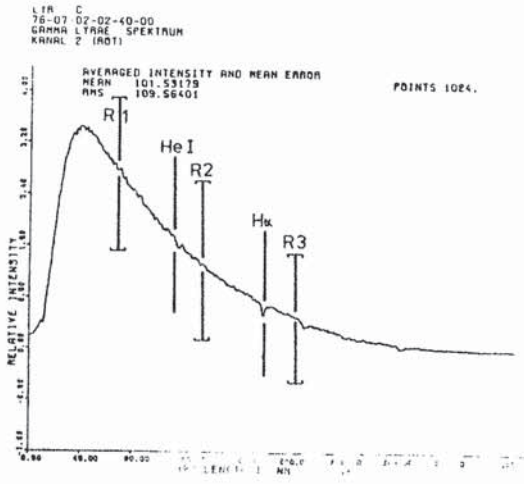
Lage der Bereiche

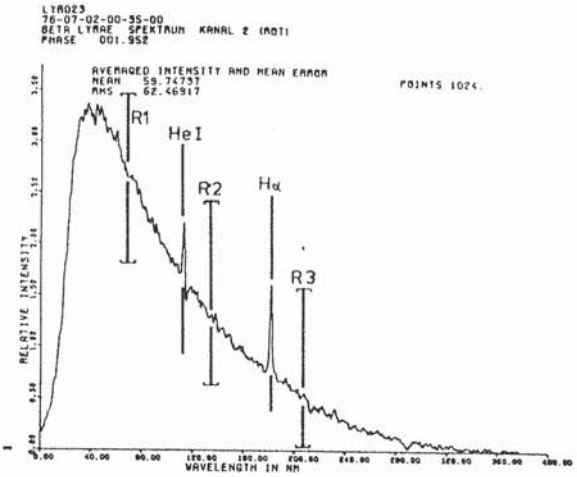
B1:	42o nm	304 – 319 – 334	300 – 315 – 330
B2:	465 nm	423 – 438 – 453	419 – 434 – 449
B3:	51o nm	541 – 556 – 571	538 – 553 – 568
B4:	55o nm	647 – 662 – 677	643 – 658 – 673
B5:	6o5 nm	792 – 807 – 822	788 – 803 – 818
B6:	63o nm	857 – 872 – 887	854 – 869 – 884
B7:	67o nm	963 – 978 – 993	959 – 974 – 989

Mittelwerte der Bereiche

B1	1.9912	1.8882
B2	2.7424	2.6521
B3	2.0517	2.0516
B4	1.2829	1.2938
B5	0.5452	0.5979
B6	0.3653	0.3995
B7	0.1746	0.1986

Bereichkomb.	T(βLyr)	Bereichkomb.	T(β Lyr)
B1/B2	16760 K	B3/B4	22330 K
B1/B3	21900 K	B3/B5	36450 K
B1/B4	24100 K	B3/B6	41750 K
B1/B5	28320 K	B3/B7	28770 K
B1/B6	30170 K	B4/B5	89710 K
B1/B7	27580 K	B4/B6	81810 K
B2/B3	32380 K	B4/B7	31200 K
B2/B4	27380 K	B5/B6	59236 K
B2/B5	35170 K	B5/B7	18850 K
B2/B6	38640 K	B6/B7	13160 K
B2/B7	16690 K		





Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	•••	493

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	304	491

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	•••••	•••••	475.2	•••••	475.8	475.9

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	475.2	475.9

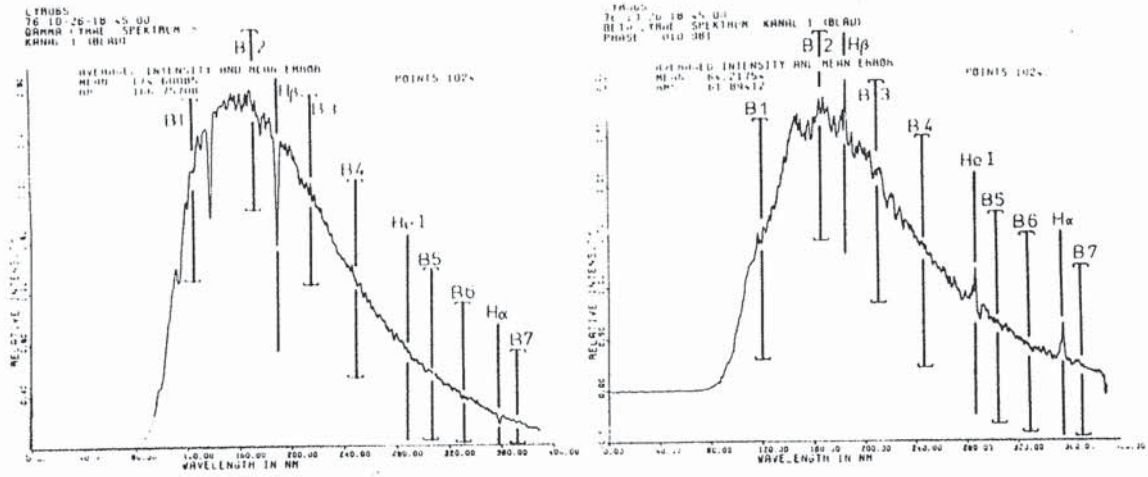
Lage der Bereiche

R1: 545 nm	175 – 190 – 205	173 – 188 – 203
R2: 61o nm	352 – 367 – 382	350 – 365 – 380
R3: 68o nm	542 – 557 – 572	541 – 556 – 571

Mittelwerte der Bereiche

R1	2.7353	2.6574
R2	1.2937	1.2814
R3	0.5270	0.5421

Bereichkombination	T(βLyr)
R1/R2	••••? K
R1/R3	••••? K
R2/R3	23850 K



Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	360	496	...	943
	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	...	488	754	935

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	297.4	297.9	.....	298.5	.....	301.0	301.4	301.6

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	298.0	301.3

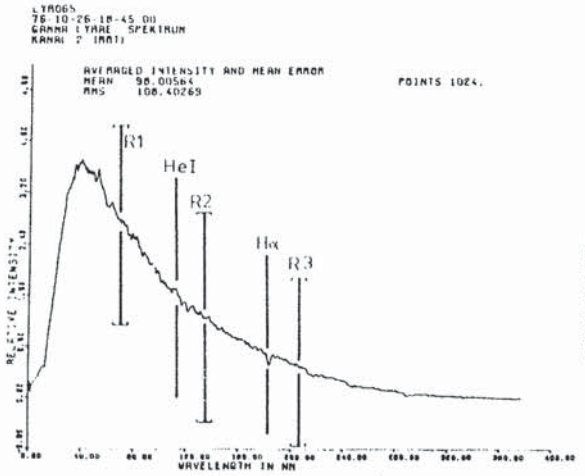
Lage der Bereiche

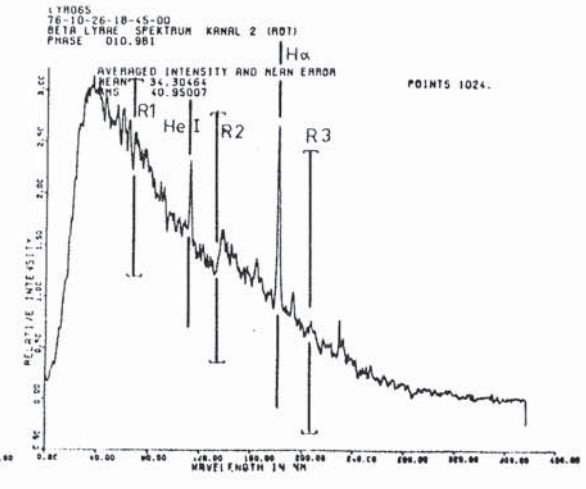
B1: 420 nm	307	322	337		298	313	328
B2: 465 nm	425	440	455		416	431	446
B3: 510 nm	544	559	574		535	550	565
B4: 550 nm	649	664	679		641	656	671
B5: 605 nm	794	809	824		785	800	815
B6: 630 nm	860	875	890		851	866	881
B7: 670 nm	965	980	995		957	972	987

Mittelwerte der Bereiche

B1	2.1046	1.4840
B2	2.6938	2.1682
B3	2.0078	2.1586
B4	1.2334	1.3334
B5	0.5546	0.6322
B6	0.3771	0.4071
B7	0.1760	0.1402

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(βLyr)	Bereichkomb.	T(Lyr)	T(βLyr)
B1/B2	..... K	6528 K	B3/B4	..... K	20750 K
B1/B3	..... K	9074 K	B3/B5	..... K	11960 K
B1/B4	..... K	11610 K	B3/B6	..... K	14230 K
B1/B5	..... K	13700 K	B3/B7	..... K	11960 K
B1/B6	..... K	15590 K	B4/B5	..... K	56800 K
B1/B7	..... K	13570 K	B4/B6	..... K	..... K
B2/B3	..... K	18710 K	B4/B7	..... K	18500 K
B2/B4	..... K	27180 K	B5/B6	..... K	8900 K
B2/B5	..... K	32650 K	B5/B7	..... K	6880 K
B2/B6	..... K	49880 K	B6/B7	..... K	6220 K
B2/B7	..... K	14360 K			





Lage der Linien

Hβ	HeI	Hα		Hβ	HeI	Hα
486.1	587.5	656.3	λ [nm]	486.1	587.5	656.3
•••	•••	497	Punkte	•••	304	488

Nullpunkte der Spektren

•••••	•••••	473.7	λ [nm]	•••••	475.8	476.3

Mittelwerte der Nullpunkte

473.7	λ [nm]	476.0

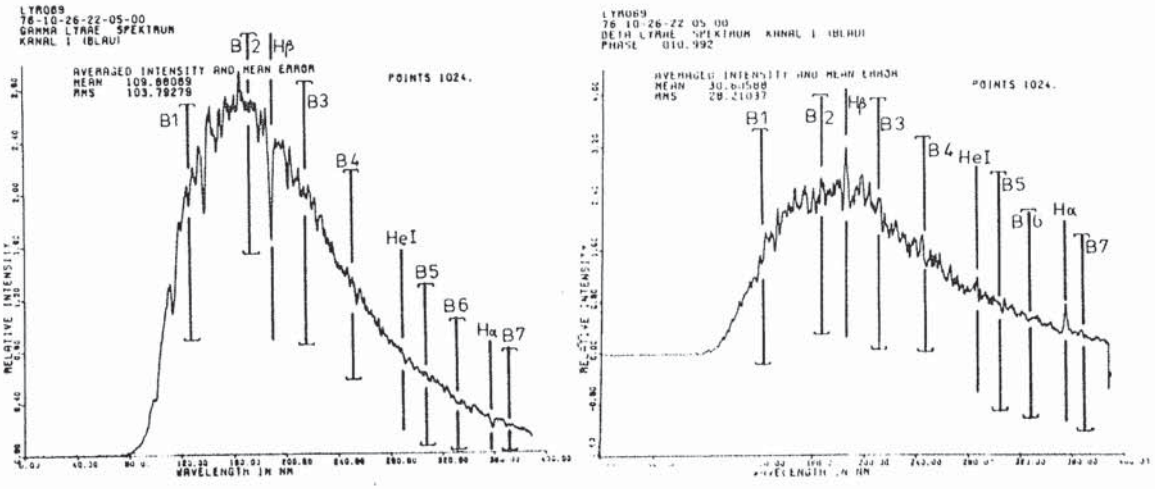
Lage der Bereiche

179	194	209	R1: 545 nm	173	188	203
356	371	386	R2: 610 nm	358	365	388
547	562	577	R3: 680 nm	548	555	570

Mittelwerte der Bereiche

2.6899	R1	2.4339
1.2969	R2	1.4175
0.4942	R3	0.6839

Bereichkombination	T(Lyr)	T(β Lyr)
R1/R2	••••• K	.9420 K
R1/R3	••••• K	.8100 K
R2/R3	••••• K	.8300 K



Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	362	497	—	944

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	348	484	751	932

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	296.7	297.5	———	298.1

λ [nm]	302.0	302.5	302.6	302.7

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	297.4

λ [nm]	302.4

Lage der Bereiche

B1: 420 nm	308	– 323	– 338
B2: 465 nm	422	– 442	– 457
B3: 510 nm	545	– 560	– 575
B4: 550 nm	651	– 666	– 681
B5: 605 nm	796	– 811	– 826
B6: 630 nm	862	– 877	– 892
B7: 670 nm	967	– 982	– 997

B1: 420 nm	295	– 310	– 325
B2: 465 nm	414	– 429	– 444
B3: 510 nm	532	– 547	– 562
B4: 550 nm	638	– 653	– 668
B5: 605 nm	783	– 798	– 813
B6: 630 nm	848	– 863	– 878
B7: 670 nm	954	– 969	– 984

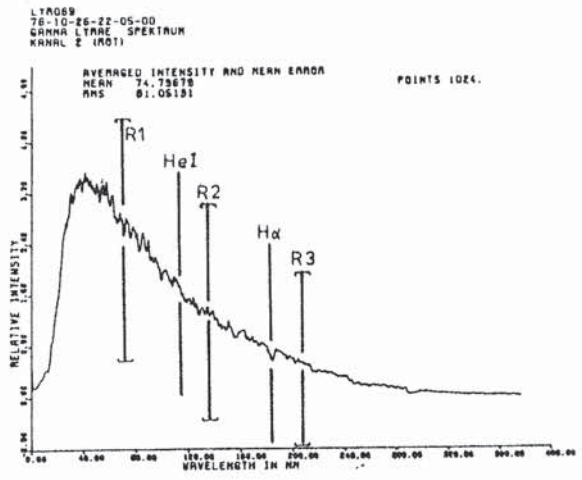
Mittelwerte der Bereiche

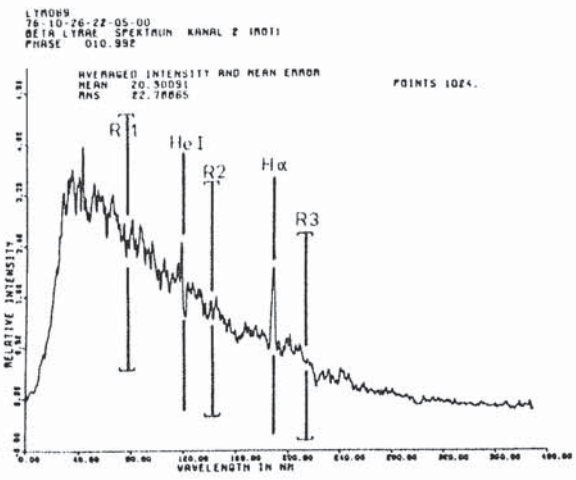
B1	1.9210	
B2	2.7203	
B3	2.0459	
B4	1.3637	
B5	0.5907	
B6	0.3839	
B7	0.1698	

B1	1.3252	
B2	2.4101	
B3	2.2443	
B4	1.4805	
B5	0.7329	
B6	0.5072	
B7	0.2493	

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(β Lyr)
B1/B2	..... K	8240 K
B1/B3	..... K	8580 K
B1/B4	..... K	10040 K
B1/B5	..... K	11840 K
B1/B6	..... K	11610 K
B1/B7	..... K	13360 K
B2/B3	..... K	8830 K
B2/B4	..... K	11050 K
B2/B5	..... K	14290 K
B2/B6	..... K	13510 K
B2/B7	..... K	11810 K

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(β Lyr)
B3/B4	..... K	17540 K
B3/B5	..... K	26090 K
B3/B6	..... K	21470 K
B3/B7	..... K	28210 K
B4/B5	..... K	48100 K
B4/B6	..... K	19960 K
B4/B7	..... K	37180 K
B5/B6	..... K	8860 K
B5/B7	..... K	28840 K
B6/B7	..... K	——— K





Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	...	...	499

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	...	383	496

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	.....	.....	473.8

λ [nm]	.....	476.2	474.1

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	473.8

λ [nm]	475.1

Lage der Bereiche

R1: 545 nm	181	196	211
R2: 61o nm	358	374	390
R3: 68o nm	548	563	578

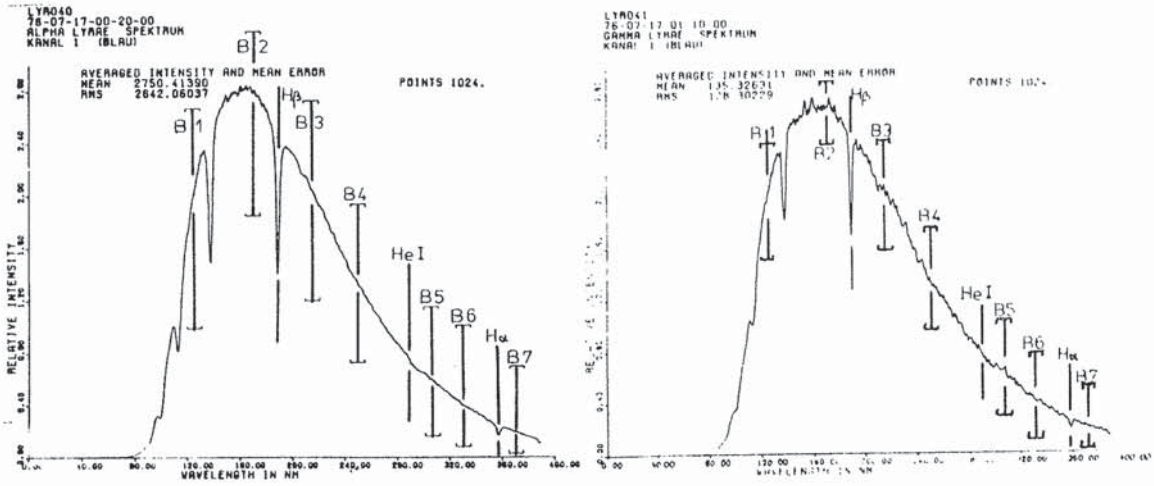
R1: 545 nm	175	190	205
R2: 61o nm	352	367	382
R3: 68o nm	543	558	573

Mittelwerte der Bereiche

R1	2.61514
R2	1.62899
R3	0.51466

R1	2.61409
R2	1.49233
R3	0.65554

Bereichkombination	T(Lyr)	T(β Lyr)
R1/R2	..... K	24740 K
R1/R3	..... K	12800 K
R2/R3	..... K	9600 K



Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	258	493	—	940
	(377)	493	750	931

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	298.9	299.1	—	299.7
	(291.0)	299.1	303.0	303.1

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	299.0
	301.7

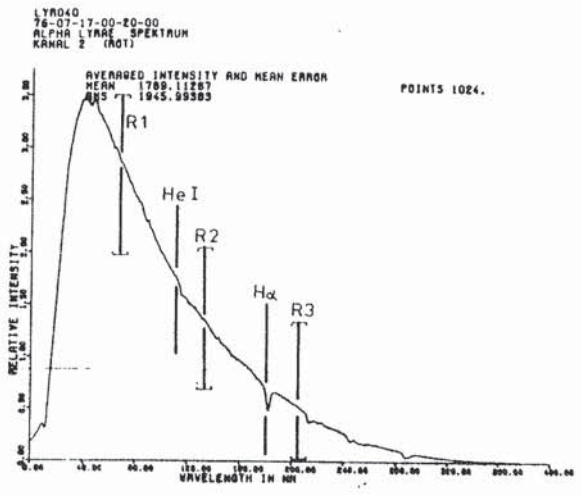
Lage der Bereiche

B1: 420 nm	304 – 319 – 334	297 – 312 – 327
B2: 465 nm	428 – 443 – 458	415 – 430 – 445
B3: 510 nm	541 – 556 – 571	527 – 542 – 557
B4: 550 nm	647 – 662 – 677	639 – 654 – 669
B5: 605 nm	784 – 799 – 814	780 – 799 – 814
B6: 630 nm	872 – 887 – 902	850 – 865 – 880
B7: 670 nm	958 – 973 – 988	956 – 971 – 986

Mittelwerte der Bereiche

B1	1.8764	1.5335
B2	2.8891	2.6546
B3	2.0893	2.1100
B4	1.2677	1.3822
B5	0.5897	0.6300
B6	0.3944	0.4427
B7	0.1884	0.2203

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(γ Lyr)	Bereichkomb.	T(Lyr)	T(γ Lyr)
B1/B2	..... K	11017 K	B3/B4	..... K	12186 K
B1/B3	..... K	10696 K	B3/B5	..... K	17533 K
B1/B4	..... K	11573 K	B3/B6	..... K	14780 K
B1/B5	..... K	12991 K	B3/B7	..... K	13617 K
B1/B6	..... K	12646 K	B4/B5	..... K	29110 K
B1/B7	..... K	12559 K	B4/B6	..... K	16710 K
B2/B3	..... K	11179 K	B4/B7	..... K	14333 K
B2/B4	..... K	11682 K	B5/B6	..... K	8842 K
B2/B5	..... K	14497 K	B5/B7	..... K	9822 K
B2/B6	..... K	13493 K	B6/B7	..... K	10768 K
B2/B7	..... K	13075 K			



Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	•••	•••

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	•••	210	497

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	•••••	•••••	474.8
λ [nm]	•••••	•••••	473.6
λ [nm]	•••••	•••••	473.4

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	474.8
λ [nm]	473.7

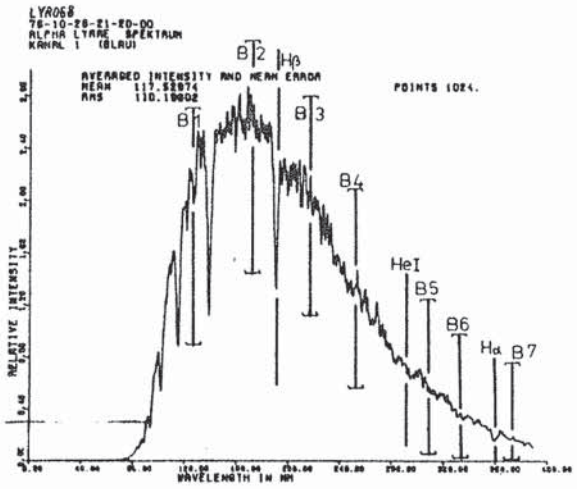
Lage der Bereiche

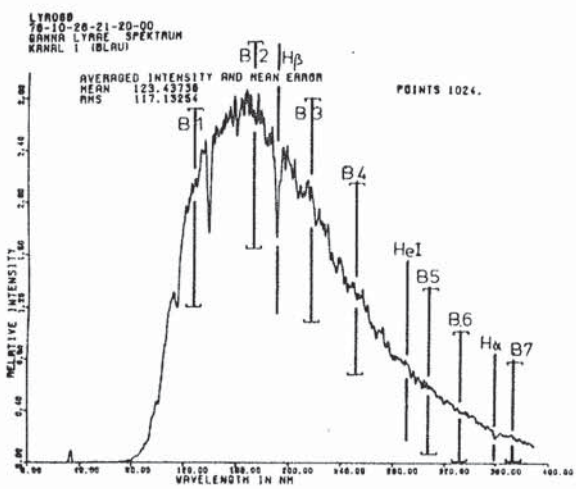
R1: 545 nm	176 – 191 – 206	179 – 194 – 206
R2: 61o nm	353 – 368 – 382	356 – 371 – 386
R3: 68o nm	544 – 559 – 574	547 – 562 – 577

Mittelwerte der Bereiche

R1	2.7910	2.6800
R2	1.3858	1.3036
R3	0.5115	0.5513

Bereichkombination	T(Lyr)	T(γ Lyr)
R1/R2	••••• K	14851 K
R1/R3	••••• K	10330 K
R2/R3	••••• K	11711 K





Lage der Linien

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	364	500	—	944

	Hγ	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
Punkte	364	499	—	946

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	295.9	296.4	———	298.1
λ [nm]	295.9	296.8	———	297.4

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	296.8
λ [nm]	296.7

Lage der Bereiche

B1:	420 nm	310 –	325 – 340
B2:	465 nm	429 –	443 – 458
B3:	510 nm	547 –	562 – 577
B4:	550 nm	653 –	667 – 682
B5:	605 nm	798 –	813 – 828
B6:	630 nm	863 –	878 – 893
B7:	670 nm	969 –	984 – 999

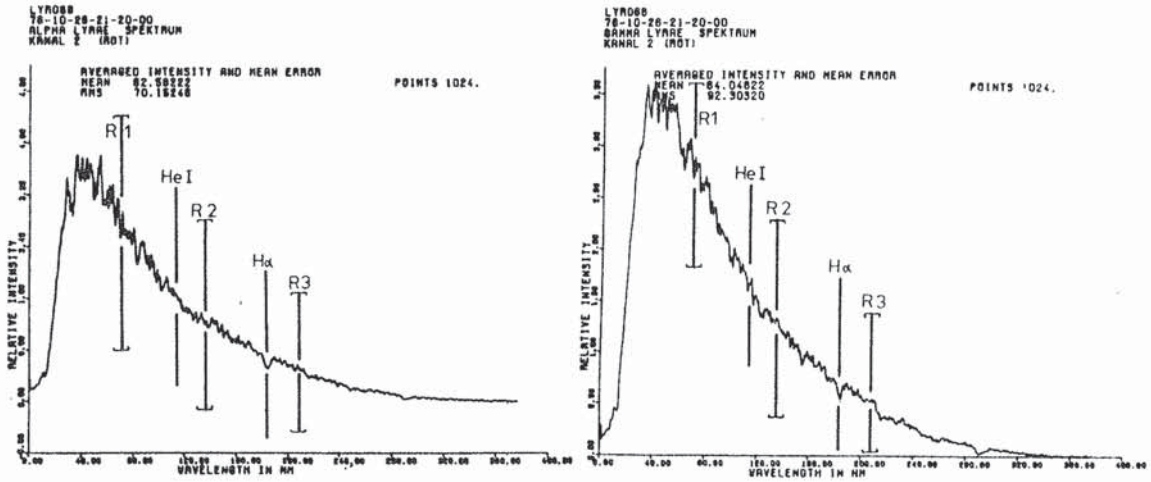
B1:	420 nm	310 –	325 – 340
B2:	465 nm	429 –	444 – 459
B3:	510 nm	547 –	562 – 577
B4:	550 nm	653 –	668 – 683
B5:	605 nm	798 –	813 – 828
B6:	630 nm	863 –	878 – 893
B7:	670 nm	969 –	984 – 999

Mittelwerte der Bereiche

B1	2.07991	2.02253
B2	2.76251	2.71699
B3	2.06605	2.05799
B4	1.32806	1.28803
B5	0.56711	0.57110
B6	0.35422	0.39099
B7	0.17201	0.19755

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(γ Lyr)
B1/B2	..... K	12996 K
B1/B3	..... K	17279 K
B1/B4	..... K	18389 K
B1/B5	..... K	18867 K
B1/B6	..... K	15986 K
B1/B7	..... K	15115 K
B2/B3	..... K	33154 K
B2/B4	..... K	38447 K
B2/B5	..... K	25367 K
B2/B6	..... K	17775 K
B2/B7	..... K	15827 K

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(γ Lyr)
B3/B4	..... K	27267 K
B3/B5	..... K	21534 K
B3/B6	..... K	14130 K
B3/B7	..... K	13771 K
B4/B5	..... K	17709 K
B4/B6	..... K	10910 K
B4/B7	..... K	10476 K
B5/B6	..... K	.5983 K
B5/B7	..... K	.7597 K
B6/B7	..... K	.9559 K



Lage der Linien

Hβ	HeI	Hα		Hβ	HeI	Hα
486.1	587.5	656.3	λ [nm]	486.1	587.5	656.3
•••	•••	588	Punkte	•••	•••	591

Nullpunkte der Spektren

•••••	•••••	472.6	λ [nm]	•••••	•••••	472.2

Mittelwerte der Nullpunkte

472.6	λ [nm]	472.2

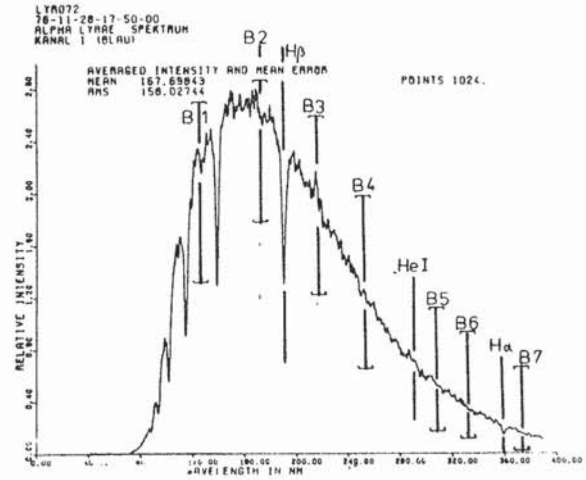
Lage der Bereiche

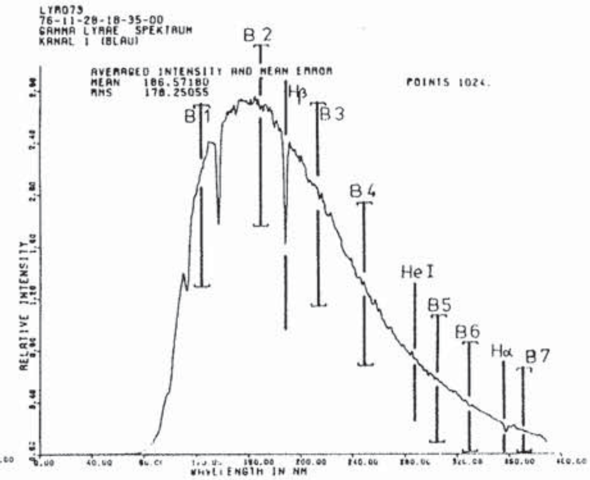
182	197	212	R1: 545 nm	183	198	213
359	374	389	R2: 610 nm	360	375	390
550	565	580	R3: 680 nm	551	566	581

Mittelwerte der Bereiche

2.70113	R1	2.75998
1.23344	R2	1.23376
0.49944	R3	0.50142

Bereichkombination	T(Lyr)	T(γLyr)
R1/R2	••••• K	28374 K
R1/R3	••••• K	19147 K
R2/R3	••••• K	14138 K





Lage der Linien

Hγ	Hβ	HeI	Hα		Hγ	Hβ	HeI	Hα
434.0	486.1	587.5	656.3	λ [nm]	434.0	486.1	587.5	656.3
363	499	...	945	Punkte	359	494	...	941

Nullpunkte der Spektren

296.3	296.6	.....	297.8	λ [nm]	297.8	298.7	.....	299.3

Mittelwerte der Nullpunkte

297.0	λ [nm]	298.6

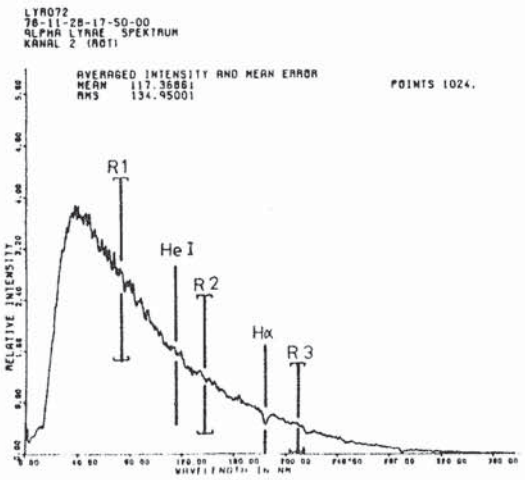
Lage der Bereiche

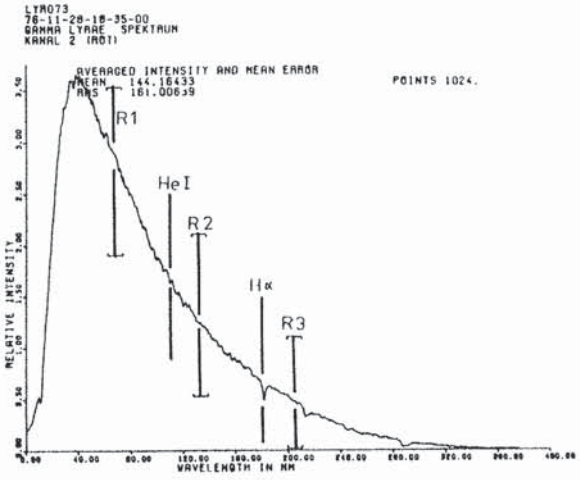
309 - 224 - 339	B1: 420 nm	305 - 320 - 335
428 - 443 - 458	B2: 465 nm	424 - 439 - 454
546 - 561 - 576	B3: 510 nm	542 - 557 - 572
652 - 667 - 682	B4: 550 nm	648 - 663 - 678
797 - 812 - 827	B5: 605 nm	793 - 808 - 823
863 - 878 - 893	B6: 630 nm	858 - 873 - 888
968 - 983 - 998	B7: 670 nm	964 - 979 - 994

Mittelwerte der Bereiche

2.2031	B1	2.0973
2.6661	B2	2.6945
2.0333	B3	2.0265
1.1968	B4	1.2250
0.5234	B5	0.5676
0.2219	B6	0.3645
0.1575	B7	0.1767

Bereichkomb.	T(Lyr)	T(γ Lyr)	Bereichkomb.	T(Lyr)	T(γ Lyr)
B1/B2	..... K	15554 K	B3/B4	..... K	20819 K
B1/B3	..... K	19536 K	B3/B5	..... K	18586 K
B1/B4	..... K	19143 K	B3/B6	..... K	18627 K
B1/B5	..... K	19227 K	B3/B7	..... K	20031 K
B1/B6	..... K	19681 K	B4/B5	..... K	16529 K
B1/B7	..... K	20847 K	B4/B6	..... K	16966 K
B2/B3	..... K	30634 K	B4/B7	..... K	19577 K
B2/B4	..... K	25486 K	B5/B6	..... K	19253 K
B2/B5	..... K	22226 K	B5/B7	..... K	25148 K
B2/B6	..... K	22121 K	B6/B7	..... K	33490 K
B2/B7	..... K	23352 K			





Lage der Linien

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	...	...	599

	Hβ	HeI	Hα
λ [nm]	486.1	587.5	656.3
Punkte	...	...	494

Nullpunkte der Spektren

λ [nm]	.....	.....	472.6

λ [nm]	.....	.....	474.8

Mittelwerte der Nullpunkte

λ [nm]	472.6

λ [nm]	474.8

Lage der Bereiche

R1: 545 nm	182 - 197 - 212	176 - 191 - 206
R2: 61o nm	354 - 366 - 379	353 - 362 - 383
R3: 68o nm	550 - 565 - 580	544 - 559 - 574

Mittelwerte der Bereiche

R1	2.7759	2.7657
R2	1.1850	1.2092
R3	0.4539	0.4703

Bereichkombination	T(Lyr)	T(γ Lyr)
R1/R2	..... K	24380 K
R1/R3	..... K	21974 K
R2/R3	..... K	19920 K

Auswahl von Literatur über Beta Lyrae

Publikationen zum Thema Beta Lyrae mit kurzer Inhaltskennzeichnung.

1.
APJ = The Astrophysical Journal

8o,	51, 1934	Spektrum
81,	173, 1935	Farbe
93,	92, 1941	fünf zusammenfassende Artikel
12o,	271, 1954	Spektrum
	274, 1954	Rotation des Hauptsterns
13o,	817, 1959	Absorptions - Spektrum
131,	111, 196o	Radialgeschwindigkeiten
	363, 196o	Photometrie
132,	162, 196o	Gasströme
133,	519, 1961	Spektrum
134,	161, 1961	Spektrum
135,	429, 1962	Mehrfachsystem
	424, 1962	Veränderungen im Spektrum (nichtperiodisch)
136,	9o3, 1962	Masse
138,	342, 1963	System
141,	145, 1965	Sechs Farben Photometrie
	155, 1965	Massen, Geometrie
	139o, 1965	Polarisation
161,	1o11, 197o	Massenaustausch
189,	319, 1974	2. Komponente
198,	453, 1975	UV - Spektrum
2o4,	151, 1976	Theorie der Lichtkurve
	512, 1976	Entwicklungsmodell
2o6,	777, 1976	UV - Spektrum
2o8,	468, 1976	UV- Emissionslinien
	78o, 1976	System
21o,	853, 1976	Spektroskopie mit hoher Zeitauflösung (Hα)
7,	1, 1898	Spektrum
149,	353, 1967	Polarisation

2.
PASP = Publications of the Astronomical Society of the Pacific

7o,	5, 1958	System
	2o9, 1958	Spektrum
	313, 1958	Spektrum (visuell, IR)
	585, 1958	Radialgeschwindigkeit
71,	441, 1959	Photometrische und spektroskopische Besonderheiten
72,	348, 196o	Mehrfachsystem
	4o3, 196o	Spektrum
82,	345, 197o	Photometrie
83,	357, 1971	Photometrie
85,	133, 1973	Photometrie
	599, 1973	Hα Emissionslinie

3.
Nature

233, 11o, 1971 Schwarzes Loch
234, 4o6, 1971 Schwarzes Loch
Phys. Sci., 155, 1971 Schwarzes Loch
235, 27o, 1972 Radiobeobachtungen
236, 218, 1972 2. Komponente
238, 5, 1972 Magnetfelder
245, Phys. Sci., 36, 1973 Schwarzes Loch
249, 534, 1974 UV - Beobachtungen

4.
Verschiedene Veröffentlichungen

Trans. Am. Phil. Soc., 49, Pt.1,4, 1959 Spektrum

Astron. Astrophys. Suppl., 19, 57, 1975 Spektrum

Zeitschr. f. Astrophysik, 39, 133, 1956 System
62, 2o3, 1965 Chemische Zus.

Ark. f. Astr., 5, 253, 1969 Photometrie

A. J. U.S.S.R., 36, 766, 1959 Chem. Zusammensetzung

Herrn Professor Wellmann bin ich für die Überlassung des sehr interessanten Themas zu Dank verpflichtet; ebenso Herrn Dr. Schoembs für die intensive Betreuung während der Arbeit. Bei Herrn Prof. Groth und Herrn Dr. Barwig bedanke ich mich für die Hilfe bei der Beschaffung der von M. Hack aufgenommenen Spektren.

Allen Institutsmitgliedern, besonders auch Herrn Gottwald, bin ich für die angenehme Arbeitsatmosphäre und so manche Anregung und Hilfe dankbar.

Schliesslich bedanke ich mich auch noch bei meiner Frau, die durch ihr Verständnis und ihre Hilfe den Abschluss des Studiums ermöglichte.

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

München, den

(Helmut Steinle)