

Die Veränderlichkeit der Flußdepression bei 5200 Å des Ap-Sternes HD 111133

M. Buchholz¹ and H. M. Maitzen^{1,2}

¹ Astronomisches Institut der Ruhr-Universität, D-4630 Bochum, Federal Republic of Germany

² Institut für Astronomie der Universität Wien, Türkenschanzstr. 17, A-1180 Wien, Austria

Received July 6, 1978

Variability of the λ 5200-flux Depression of the Ap star HD 111133

Summary. The recently discussed λ 5200 depression feature of Ap stars which seems to be nearly constant in a number of Ap spectrum variables is shown to vary in HD 111133 with the rotational period of 16.31 d. Its depth derived from spectrum scanner observations varies in phase with the photoelectric light curves, the color curves ($b-y$) and m_1 and with the Sr, Fe, and Cr line strengths. The variability region extends from about λ 5000 to 5500 Å, and maximum amplitude of the depression variation appears between 5100 and 5400 Å.

The dominant spectral line variation of this star occurs in Sr II and points to this element as being possibly responsible for the λ 5200 feature although our present knowledge of the Sr spectra would not indicate this. The recent explanation by Si II auto-ionisation features from λ 5200 to 5400 Å is shown to be unsatisfactory as they cover only part of the whole depression.

Key words: peculiar A-stars – λ 5200 flux depression – HD 111133

Einführung

In jüngster Zeit erschienen einige Beiträge zum Problem der breitbandigen Depression bei λ 5200 im Spektrum der Ap-Sterne (Adelman, 1977; Maitzen, 1976a, b; Hauck, 1976). Diese Depression, die nur bei Ap-Sternen im engeren Sinne, nicht aber bei Hg-Mn- und Am-Sternen auftritt, ist bis jetzt noch ungeklärt, obwohl diesbezügliche Versuche bereits unternommen wurden, und zwar von: Adelman et al. (1976) mit Gebunden-Frei-Diskontinuitäten, Maitzen (1976a) mit Linienabsorption und Jamar et al. (1978) mit Autoionisationsübergängen von Silizium. Spektrumscannerbeobachtungen von Hardorp (1976) an HD 125248 ergaben, daß die λ 5200 Å-Depression praktisch konstant bleibt, während sich die Einsenkung bei λ 4100 Å und mit ihr Eu II während der Rotationsperiode drastisch ändert. Ein ähnliches Verhalten wurde für γ Ari von Maitzen et al. (1978) festgestellt. Dies läßt darauf schließen, daß Eu keinen nennenswerten Beitrag zum Zustandekommen der λ 5200-Depression liefern kann.

Ebenso wurde von Maitzen (1976a) darauf hingewiesen, daß in HD 111133, HD 49976 und HD 203006 die Tiefe der λ 5200-Depression (photometrisch erfaßt durch Filterphotometrie) pa-

rallel zur Sr-Linienstärke variiert. Da die bezügliche Amplitude dieser Variation bei HD 111133 am größten ist, war es naheliegend, diesen Stern mit einer besseren Wellenlängenauflösung zu studieren, was durch Messungen mit dem Bochumer Spektrum Scanner dann auch geschah.

Die Beobachtungen

Lichtelektrische Filterphotometrie zur Bestimmung von ($b-y$), m_1 und dem von Maitzen (1976a) definierten Pekuliaritätsindex Δa für eine größere Anzahl von Ap-Sternen hatte auch HD 111133 im Herbst 1974 zum Gegenstand. Sie wurde am 60-cm-Teleskop der Bochumer Außenstation auf La Silla (Chile) mit dem dortigen automatisierten Standardphotometer durchgeführt, unter Verwendung einer trockenisgekühlten EMI 9502-Zelle. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Beobachtungen mit dem Bochumer Einkanal-Spektrumscanner (beschrieben von Haupt et al., 1976) wurden im Mai 1976 auf La Silla von einem der Autoren (MB) durchgeführt. Es gelang dabei, den ganzen Phasenbereich der 16-Tage-Variation durch fast allnächtlüche Registrierungen zu überdecken (nur an 2 Nächten war eine zufriedenstellende Qualität nicht zu erreichen). Tabelle 2 gibt die Parameter der Beobachtungen wieder. Die Dauer einer Scannermessung lag zwischen 60 und 90 min. Es wurde der Bereich λ 4800–5600 in erster Ordnung und einer Schrittweite von 2 Å registriert. Jeweils fünf solcher Schritte wurden zu einem Kanal zusammengefaßt. Da aber ein Austrittsspalt entsprechend 10 Å verwendet wurde, ergibt sich ein Instrumentalprofil in Form eines Dreiecks (wenn man von der „Stufigkeit“ wegen der 2 Å-Schritte absieht), mit der Grundseite 20 Å und der Halbwertsbreite 10 Å. Das bedeutet, daß jeweils der übernächste Kanal völlig unabhängig von der jeweils aktuellen Kanalmessung ist.

Die beim Scanvorgang erzeugten Hin- und Rücklaufspektren wurden überlagert, wobei eine Verschiebung von einem Kanal berücksichtigt werden mußte. Da die von der mechanischen Eigenschaften des Scanners herrührende Verschiebung aber nicht genau einem soft-ware-Kanal entspricht, sondern nur ca. 7 Å, ergibt diese Überlagerung neben der Verbesserung der Statistik aber auch noch eine kleine Reduzierung der Auflösung. Diese ist aber wegen des ohnehin im Ausmaß von ± 3 Å variablen Wellenlängennullpunkts (von Nacht zu Nacht) nicht von großer Bedeutung. Generell kann gesagt werden, daß wegen der eben erwähnten Umstände es mit diesen Messungen schlecht möglich ist, schmalbandige (einige Å) spektrale Erscheinungen auf ihre Variabilität zu überprüfen, da sie jeweils verschieden stark in einem oder im Nachbarkanal auftreten können. Da wir aber primär das Studium

Send offprint requests to: H. M. Maitzen

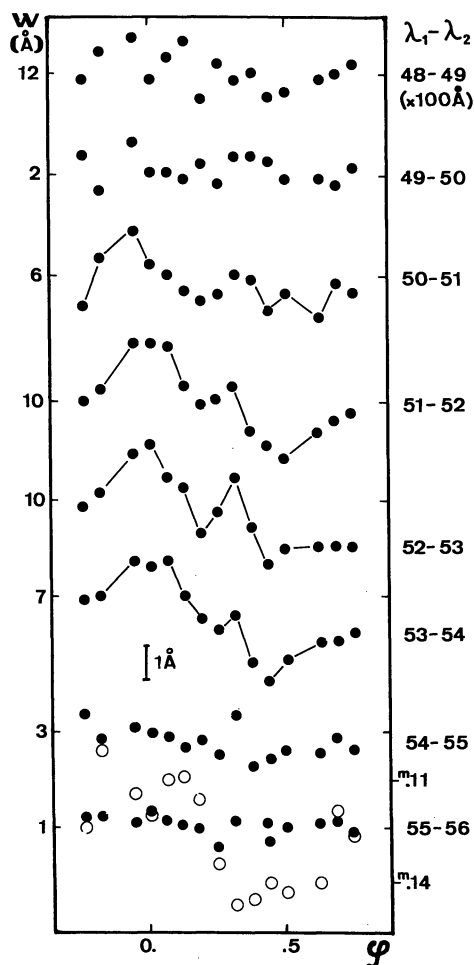


Abb. 1. Variation des Blanketing im Bereich 4800–5600 Å, ausgedrückt als Äquivalentbreite in Angström der jeweils 100 Å breiten Intervalle. Unten befindet sich (offene Kreise) die gleichfalls aus den Spektromscans ermittelte Variation der Größenklassendifferenz $m(4950) - m(5550)$. Die zugehörige Skala am rechten Rand enthält auch den Instrumentalnullpunkt. Es wurden die neuen Elemente des Lichtwechsels für die Phasenberechnung verwendet

Tabelle 1. Lichtelektrische Filterphotometrie von HD 111133

Datum	J. D.	Phase	$b-y$	Δa	m_1
740323	2442130.63	0.415	-0.038	0.046	0.214
4	1.75	0.484	-0.050	0.043	0.218
5	2.69	0.541	-0.049	0.045	0.195
7	4.73	0.667	-0.042	0.053	0.211
8	5.71	0.727	-0.059	0.054	0.232
9	6.65	0.784	-0.065	0.056	0.231
31	8.74	0.913	-0.061	0.068	0.250
0401	9.76	0.975	-0.071	0.073	0.253
740402	2442140.76	0.036	-0.074	0.069	0.268

Tabelle 2. Spectrumscanner-Beobachtungen von HD 111133

Datum	J. D.	Phase	max. Zählr.	Dunkelstr.	$t^\circ \text{C}$	Nullpunkt ($\Delta \text{Å}$) ^a
760503	2442902.64	0.765	7600	110	14	2.8
4	3.59	0.823	7300	65	14	1.2
6	5.67	0.951	10050	20	10	-0.7
7	6.61	0.008	10300	40	10	-1.1
8	7.61	0.070	8950	40	9	-1.0
9	8.61	0.131	10600	85	13	-3.5
10	9.60	0.192	10300	85	14	-3.5
11	10.64	0.255	9300	110	14	2.0
12	11.65	0.317	10200	130	15	0.0
13	12.65	0.379	10300	140	15	2.0
14	13.60	0.437	10500	100	13	2.3
15	14.54	0.494	9100	85	13	-2.3
17	16.62	0.622	10100	50	10	-2.0
18	17.54	0.678	10250	100	12	3.4
19	18.61	0.744	10300	50	9	0.9

a Dies sind die Verschiebungen des Wellenlängennullpunktes, bestimmt aus der Lage der Scannerkanäle auf dem Profil von H_β

der breitbandigen Depressionsstruktur im Auge haben, ist dieser Nachteil von sekundärer Wichtigkeit.

Es ist außerdem noch anzumerken, daß wegen der relativ großen Scanstrecke von 800 Å – entsprechend rund 1,2 s für eine Scanrichtung wegen der Schrittfrequenz von 3 ms – von einem „rapid scanning“ eigentlich nicht mehr die Rede sein kann. Inhomogenitäten in der Atmosphäre können dabei den angestrebten Poisson-Fehler von 1% (entsprechend ca. 10000 counts) noch merkbar hinaufsetzen, und dies von Nacht zu Nacht verschieden stark. Im allgemeinen wird der Fehler pro Kanal zwischen 2 und 3% liegen.

Reduktion und Diskussion

Nachdem verifiziert war, daß zwischen den Spektren beider Scanrichtungen kein systematischer Unterschied besteht, wurden sie mit der erwähnten Verschiebung von einem Kanal gegeneinander

überlagert. Sodann wurde zur besseren Darstellung der λ 5200-Einsenkung der (als annähernd linear angenommene) Intensitätsanstieg mit der Wellenlänge in Abzug gebracht. Dies geschah durch Mitteilung der fünf höchsten Kanalwerte in den Bereichen 4800–5000 und 5500–5600 Å. Diese beiden Mittelwerte wurden zur Definition des 100%-Niveaus benützt. Da auch in diesen Randbereichen die gemessenen Flüsse nicht das von Absorption völlig ungestörte Kontinuum repräsentieren, schien die Benützung der fünf höchsten Kanäle als annehmbarer Kompromiß zur Definition eines Pseudokontinuums, das nur einen Teil des Blanketing enthält. Der Intensitätsanstieg enthält neben der instrumentellen Empfindlichkeitsfunktion von Scanner und Teleskop und der atmosphärischen Extinktion (welche aber wegen des Ozon-Buckels in diesem Wellenlängenbereich praktisch konstant bleibt) natürlich auch den Temperaturgradienten des Sterns. Dieser sollte sich fast ähnlich dem ($b-y$)-Index verhalten, da dessen Basis nur ca. 10% länger ist. Dies ist in der Tat der Fall, wenn man seine Variation in Abb. 1 unten (offene Kreise) mit jener der licht-

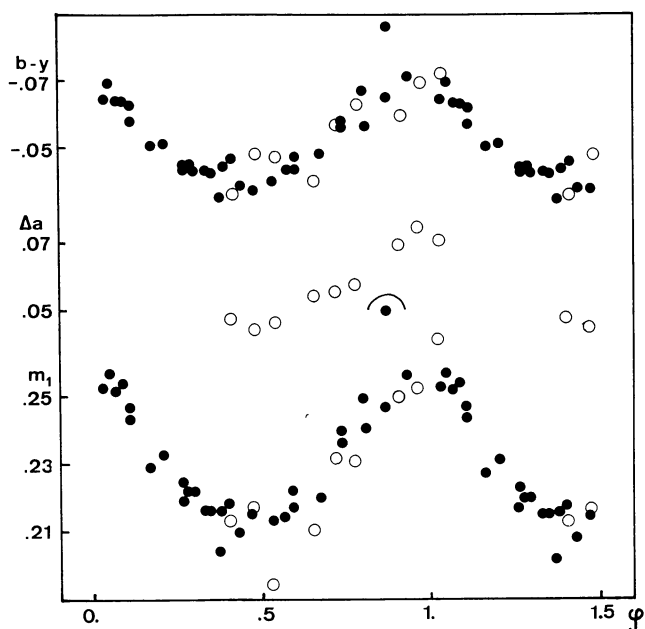


Abb. 2. Lichtelektrische Filterphotometrie der Indizes ($b-y$), Δa und m_1 . Punkte: Messungen von Wolff und Wolff (1972), offene Kreise: unsere Messungen. Phasenberechnung mit den neuen Elementen

elektrischen ($b-y$)-Kurve aus Abb. 2 vergleicht. Amplituden (0^m03) und Phasen sind für beide gleich.

Die Voraussetzung für diese Feststellung war aber die genaue Bestimmung der photometrischen Periode, welche von Wolff und Wolff (1972) mit $16,31 (\pm 0,03)$ Tagen festgelegt worden war (Epoche $2440640,2 \pm 0,8$ J. D.).

Dazu eignen sich die lichtelektrischen Messungen, die von einem von uns (HMM) im Oktober 1974 erhalten wurden. Da dies nur eine Absolutphotometrie der Indizes ($b-y$), m_1 und Δa war, ist es nur der deutlichen Variabilität in diesen und dem exzellenten Beobachtungsklima von La Silla zu verdanken, daß die sich ergebenden Kurven so gut definiert waren, daß eine Periodenverbesserung möglich war. Dies läßt sich aus Abb. 2, wo für ($b-y$) und m_1 die Daten der Wolff's und unsere graphisch dargestellt sind, leicht ersehen.

Der von Wolff und Wolff (1972) angegebene Periodenfehler würde sich in den mittlerweile durchlaufenen 150 Zyklen auf 4 Tage, also nur ein Viertel der Periode akkumuliert haben. Wie man den Daten entnimmt, ist lediglich eine kleine Korrektur der Periode, entsprechend einer Phasenverschiebung von 0,05 durchzuführen und wir erhalten:

$$JD(\text{Lichtmax.}) = 2440640,20 (\pm 0,41) + 16,304 (\pm 0,003) E$$

Damit ist der Phasenzusammenhang zwischen den lichtelektrischen Messungen und unseren Scannerbeobachtungen eindeutig bestimmt. Maximale Tiefe der Depression entspricht dem Maximum der Lichtvariation und jenem von Cr und Fe (Sr wurde von den Wolff's nicht betrachtet), sowie dem Maximum des negativen effektiven Magnetfeldes.

Diskussion der Meßergebnisse

Die Veränderlichkeit der λ 5200-Einsenkung und ihre Struktur sind den Abb. 1, 3 und 4 zu entnehmen. Abb. 1 zeigt die Variation des Blanketing in jeweils 100 Å breiten Intervallen, Abb. 3 die Scans

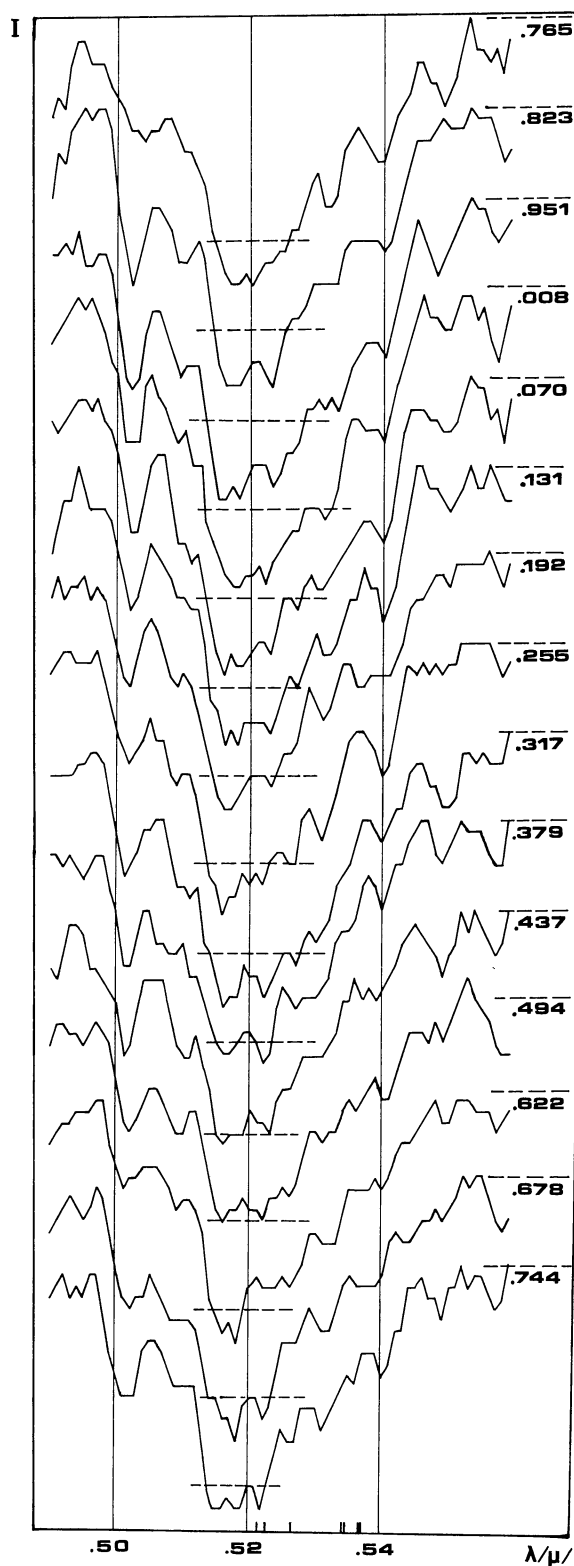


Abb. 3. Variation des Intensitätsverlaufs der Scannermessungen zwischen 4900 und 5600 Å. Über den jeweils rechts angegebenen Phasen ist gestrichelt das 100%-Niveau (=Pseudokontinuum, siehe Text) und an der tiefsten Stelle der Einsenkungen das 90%-Niveau eingezeichnet. Am unteren Bildrand sind die von Jamar et al. (1978) angegebenen Wellenlängen der Si II-Autoionisationsübergänge eingetragen

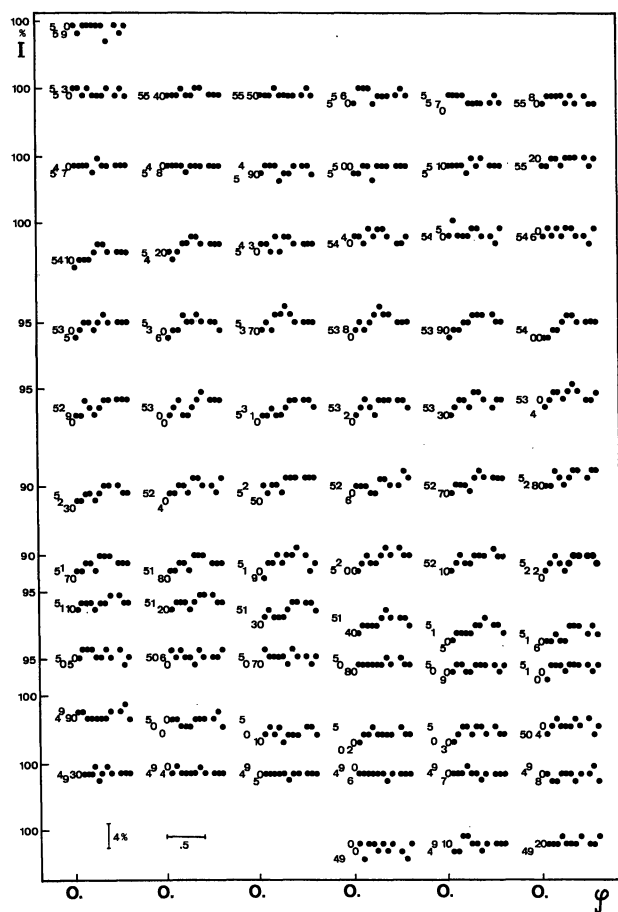


Abb. 4. Lichtkurven der 10-Å-Scannerkanäle zwischen 4900 und 5600 Å. Die zugehörigen Mittelwellenlängen sind so eingetragen, daß sie zugleich die ersten vier Punkte repräsentieren. Die links angezeigten Intensitätsniveaus sind Prozente des Pseudokontinuums und beziehen sich auf die jeweils nebenstehende „Zeile“ von Lichtkurven. Die Skalen von Abszissen und Ordinaten sind unten links angegeben

zu den verschiedenen Phasen der Periode von HD 111133 und Abb. 4 die Lichtkurven der jeweils um 10 Å versetzten Kanäle.

Aus diesem Beobachtungsmaterial ergibt sich, daß die größte Variationsamplitude zwischen 5100 und 5400 Å auftritt und dort nahezu gleichmäßig 3.5% des Kontinuumsflusses beträgt. Weiter fällt auf, daß der Übergang zur Nullvariation am langwelligen Ende abrupt erfolgt als am kurzwelligen. Dies alles deutet auf die Erstreckung der λ 5200-Depression von 5000–5500 Å hin, wenn man auch zusätzlich noch die Form der Depression aus der Abb. 3 berücksichtigt.

Die schwache, phasengleiche Variation im Bereich 4800–4900 (H β !) kann von der Variabilität der Balmerlinie im Sinne von Rakosch et al. (1974), also größerer Durchverbreiterung an den Magnetpolen und/oder auch dort variablem Blanketing (z. B. von Cr II) herrühren.

Bemerkenswert ist im Bereich von 5000–5400 Å die Existenz einer Doppelvariation, die am deutlichsten zwischen 5200 und 5300 Å ausgeprägt ist und ein Sekundärmaximum nahe bei der Phase 0,3 besitzt.

Obwohl die Amplitude der $\Delta\gamma$ -Lichtkurve bei Wolff und Wolff (1972) nur knapp 2% beträgt, läßt sich (ähnlich wie auch in der

$\Delta\gamma$ -Lichtkurve) bei Phase 0,3 ein Buckel erkennen, der ebenfalls auf eine Doppelvariation hinweist. Wie die Primärmaxima, so sind auch die Sekundärmaxima der Lichtkurven und des Blanketing miteinander in Phase.

Ein Vergleich zwischen dem Verlauf des „line blocking factor“ $\eta(\lambda)$ von Wolff (1967) für HD 111133 bei einer dort nicht näher bezeichneten Phase mit unseren Scans in Abb. 3 ergibt qualitative Übereinstimmung in der Form der Depression zwischen 4900 und 5150 und von 5250 bis 5600 Å. Lediglich bei der Sohle der Depression scheint im $\eta(\lambda)$ -Verlauf etwas an Absorption zu fehlen.

Aus dem $\eta(\lambda)$ -Verlauf von HD 111133 resultiert auch, daß das 100%-Niveau unserer Scannerbeobachtungen lediglich einem Pseudokontinuum entspricht, das bei 92% des aus photographischen Spektren hoher Dispersion ermittelten absorptionsfreien Kontinuums liegt. Der maximale line blocking Wert von 20% entspricht also 12% Einsenkung bei unseren Scannermessungen, in guter Übereinstimmung mit dem Mittelwert der maximalen Depression bei 5200 Å.

Zur Frage der Ursache der Depression um 5200 Å

Wenn man nach der Beziehung der Filterphotometrie und der Scannerbeobachtungen zur Spektrallinienvariation in HD 111133 fragt, stehen für die Untersuchung zwei Datenquellen zur Verfügung: Wolff und Wolff (1972) geben numerische Werte für die Cr I, Cr II, Fe I, und Fe II-Variation an. Diese Werte wurden aus jeweils einer größeren Zahl blendfreier Linien erhalten, sodaß die Genauigkeit größer ist als bei der Betrachtung der Variation der Äquivalentbreite von jeweils einer Linie. Obwohl die Phasenüberdeckung nicht ganz zufriedenstellend ist – zwischen Phase 0,7 und 0,1 sind nur zwei Werte vorhanden –, läßt sich in allen vier Variationen bei Phase 0,3 deutlich ein Sekundärmaximum erkennen, in ausgezeichneter Übereinstimmung mit unseren Scannerdaten. Bei den Cr-Kurven ist dieses Sekundärmaximum nur um einige Prozent der Variationsamplitude (welche 36% vom Maximum beträgt) kleiner als das allerdings mangelhaft belegte Primärmaximum, bei Fe ist es sogar um einige Prozent der betreffenden Amplitude (25%) größer! Wolff und Wolff bestimmten keine anderen Linienvariationen, weil dafür jeweils zu wenig blendfreie Linien im betrachteten Bereich vorlagen. So beschränkt sich der Vergleich mit den Resultaten der zweiten Quelle (Engin, 1974) auf Fe I, Fe II, und Cr II. Unmittelbar wird bei Betrachtung der Äquivalentbreitenvariationen dieser Arbeit deutlich, wie sinnvoll die erwähnte Beschränkung der Wolff's war, denn die Streuung ist bis zu einem Faktor 5 größer. Da außerdem nur 7 Phasenpunkte bedeckt sind und sich zwischen Phase 0,2 und 0,4 keine Werte befinden, kann aus den Engin'schen Werten keine Aussage über ein etwaiges Sekundärmaximum der Linienvariationen anderer Elemente gemacht werden.

Dennoch läßt sich entnehmen, daß die Amplituden für Fe I, Fe II, Cr II, und Si II ungefähr 30% betragen, während für Ti II, Mg II, und Ca II keine Variabilität festzustellen ist.

Die stärkste Variation besitzt aber Sr II mit über 40%. Dieser Befund unterstreicht folgendes Bild: die Einsenkung bei 5200 Å ist immer dann variabel, wenn auch Sr II variiert (siehe z. B. HD 203006 bei Maitzen et al., 1974 und HD 49976 bei Maitzen und Albrecht, 1975). Ist aber Sr II nicht variabel, so bleibt die Depression nahezu konstant (siehe z. B. HD 125248 bei Maitzen und Moffat, 1972 und HD 11503 bei Maitzen et al., 1978). Bei den letztgenannten Objekten zeigt die deutliche Variation von Cr und Eu, daß diese Elemente aber kaum am Zustandekommen der Einsenkung beteiligt sein können.

Dies ergibt rein phänomenologisch den Hinweis auf Sr im Hinblick auf das Zustandekommen der Depression um 5200 Å, obwohl andererseits unsere bisherige Kenntnis der Sr Spektren einen solchen Hinweis nicht liefert.

Eine andere Deutung für die Entstehung der λ 5200-Depression wurde unlängst von Jamar et al. (1978) gegeben. Sie schlugen vor, daß die Absorptionsstruktur bei 1400 Å bei Ap-Sternen von Si II-Autoionisationsübergängen herrühre. Dies wird u. a. auch damit begründet, daß die Stärke dieser Struktur mit jener der λ 5200-Depression korreliert und diese sieben Autoionisationsübergängen von Si II zwischen 5200 und 5400 Å zuzuschreiben sei.

Wie man aus der Studie von Engin (1974) ersieht, ist Si II bei HD 111133 mäßig variabel, und zwar in Phase mit Sr II und den anderen Linienvariationen. Da aber noch keine quantitativen Ergebnisse über Stärke und Breite der Si II-Autoionisationsstrukturen bekannt sind, läßt sich keine Überprüfung der Beteiligung dieses Opazitätsmechanismus an den jetzt gemessenen Flußverteilungen um 5200 Å anstellen. Wir können lediglich die Lage der diesen Übergängen entsprechenden Wellenlängen im Vergleich zu unseren Scannerspektren betrachten. Deshalb haben wir diese in Abb. 3 am unteren Diagrammrand eingezeichnet. Es läßt sich unschwer erkennen, daß die Struktur nur zu einem Teil von den vorgeschlagenen Si II Autoionisationsübergängen herühren kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Frage der peculiaren Flußeinsenkung bei 5200 Å in Ap-Sternen nicht als gelöst angesehen werden kann. Es wäre an künftige Beobachter der Wunsch nach hochaufgelösten Spektren dieser Region zu richten. Vielleicht könnte eine Untersuchung der Kontinuumsfenster dazu beitragen, zu klären, ob tatsächlich breitbandige Strukturen (Autoionisation ergibt solche) existieren, oder ob Linienabsorption allein die erwähnte Depression erzeugt.

Gedankt sei Prof. Dr. Th. Schmidt-Kaler für die Ermöglichung der Beobachtungsaufenthalte auf La Silla, sowie Prof. Dr. J. Hardorp und einem ungenannten Referee für nützliche Hinweise.

Die Rechnungen wurden am Rechenzentrum der Universität Wien und jenem des Institutes für Astronomie durchgeführt. Unser Dank gilt dabei besonders Herrn Dr. Albrecht für die Hilfe bei der Datenverwaltung, sowie Herrn Dr. Jenkner als stets hilfsbereitem Leiter des institutseigenen Rechenzentrums in Wien.

Literaturangaben

- Adelman, S. J.: 1977, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **89**, 650
 Adelman, S. J., Shore, S. N., Wolken, P. R.: 1976, in *Physics of Ap-Stars IAU-Coll.* **32**, eds. W. W. Weiss, H. Jenkner, H. J. Wood, Wien, S. 189
 Engin, S.: 1974, *Astron. Astrophys.* **32**, 93
 Hardorp, J.: 1976, in: *Physics of Ap-Stars, IAU-Coll.* **32**, eds. W. W. Weiss, H. Jenkner, H. J. Wood, Wien, S. 627
 Hauck, B.: 1976, *Astron. Astrophys. Suppl.* **26**, 49
 Haupt, W., Desjardins, R., Maitzen, H. M., Rudolph, R., Schlosser, W., Schmidt-Kaler, Th., Tüg, H.: 1976, *Astron. Astrophys.* **50**, 85
 Jamar, C., Macau-Hercot, D., Praderie, F.: 1978, *Astron. Astrophys.* **63**, 155
 Maitzen, H. M.: 1976a, *Astron. Astrophys.* **51**, 223
 Maitzen, H. M.: 1976b, in *Phys. of Ap-Stars, IAU-Coll.* **32**, eds. W. W. Weiss, H. Jenkner, H. J. Wood, Wien, S. 233
 Maitzen, H. M., Albrecht, R.: 1976, *Astron. Astrophys.* **44**, 405
 Maitzen, H. M., Breysacher, J., Garnier, R., Sterken, C., Vogt, N.: 1974, *Astron. Astrophys.* **32**, 21
 Maitzen, H. M., Moffat, A. F. J.: 1972, *Astron. Astrophys.* **16**, 285
 Maitzen, H. M., Weiss, W. W., Jenkner, H., Kluge, J.: 1978, *Astron. Astrophys.* **69**, 103
 Rakosch, K. D., Sexl, R., Weiss, W. W.: 1974, *Astron. Astrophys.* **31**, 441
 Wolff, S. C.: 1967, *Astrophys. J. Suppl.* **15**, No. 134
 Wolff, S. C., Wolff, R. J.: 1972, *Astrophys. J.* **176**, 433