

Die Perioden-Helligkeits-Beziehung der langperiodischen Veränderlichen

Von GERHARD MICZAIKA

Aus der Badischen Landessternwarte auf dem Königstuhl bei Heidelberg

(Z. Naturforschg. 1, 421—425 [1946]; eingegangen am 17. April 1946)

Die langperiodischen veränderlichen Sterne der großen Wolke im Cygnus zeigen eine um so kleinere Helligkeit, je länger die Periode ihres Lichtwechsels ist. Der Zusammenhang beruht im wesentlichen auf dem mit der Lichtwechselperiode steigenden Einfluß der Titanoxyd Absorption im Spektrum der Veränderlichen. Eliminiert man ihn, so zeigt sich, daß die Helligkeit der langperiodischen Veränderlichen keine Abhängigkeit von der Periode mehr aufweist. Messungen der Infrarothelligkeit dieser Sterne (Hetzler) beweisen ebenfalls, daß die Perioden-Helligkeits-Beziehung bei diesen Sternen nur eine Folge verschieden starker Molekülbildungen (verschieden starke Bandenabsorption) in den Atmosphären ist.

Über die Perioden-Helligkeits-Beziehung der langperiodischen Veränderlichen ist bisher wenig bekannt. Da in den außergalaktischen Nebeln und Kugelhaufen keine Langperiodischen (ausgenommen 3 Objekte in 47 Tucanae) gefunden worden sind, hat man keine Gruppen von gleich weit entfernten Sternen zur Verfügung, aus denen die Perioden-Helligkeits-Beziehung ähnlich wie bei den Cepheiden abgeleitet werden kann. Die systematische Absuchung einiger Nebel und Haufen nach Langperiodischen ergibt jedenfalls, daß sie z. B. in der kleinen Magellanschen Wolke absolut schwächer als $-0^m.5$ photographisch* im Maximum sein müssen.

Shapley¹ schließt, daß die absolute photographische Helligkeit der 3 Sterne in 47 Tucanae nicht kleiner als $-2^m.0$ sein kann, allerdings ist die Parallaxe von 47 Tucanae nicht sehr zuverlässig bekannt, und so ist das Resultat recht unsicher. Einen ähnlichen Wert findet Shapley für die Langperiodischen und Clusterveränderlichen, die Miss Swope² im Milky Way Field 185 in der Nähe des galaktischen Zentrums entdeckt hat, unter der Annahme, daß sie gemeinsame Mitglie-

der einer Wolke sind. Ihre photographische absolute Helligkeit soll dann im Maximum etwa $-1^m.0$ betragen. Die mittlere Periode der Sterne in 47 Tucanae beträgt 202^d gegenüber 250^d der Sterne im MWF 185, wie sich aus den dortigen Angaben ermitteln läßt. Shapley findet jedoch keinen Zusammenhang zwischen Periode und absoluter Helligkeit; er vermutet, daß mehrere Gruppen von langperiodischen Veränderlichen existieren, die sich überlagern und den Effekt verwischen.

Merrill und Strömberg³ finden als mittlere visuelle absolute Maximumshelligkeit für Me-Sterne aus Parallaxen und Eigenbewegungen $+0^m.1$. Die Sterne kürzerer Periode scheinen heller zu sein als die längerer.

Oort⁴ findet bei der Untersuchung der galaktischen Rotation aus Eigenbewegungen eine absolute visuelle Helligkeit von $-2^m.0$. Er benutzte bei der Ableitung im wesentlichen die gleichen Eigenbewegungen wie Merrill und Strömberg, schloß aber solche mit wahrscheinlichen Fehlern $> 0''.010$ aus.

gekennzeichnet. Je heller ein Stern, um so kleiner m und M . Die bolometrische Helligkeit charakterisiert die Gesamtstrahlung unabhängig von der Empfindlichkeitsfunktion der Empfangsapparatur.

¹ Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 14, 958 (Harvard Observatory Reprint 53) [1928].

² Harvard Observatory Bull. 857 u. 862.

³ Astrophysic. J. 59, 97 (Mt. Wilson Contribution 267) [1924].

⁴ Bull. Astronom. Inst. Netherlands 4, 83 [1927].

* Sämtliche Helligkeitsangaben sind in den astronomisch üblichen „Größenklassen“ gemacht. Scheinbare Helligkeit ist die Helligkeit, die ein Stern unmittelbar dem Beobachter zeigt, im Gegensatz zur absoluten Helligkeit, die der Stern in einer Einheitsentfernung haben würde. Es besteht im allgemeinen ein Unterschied zwischen der photographischen und visuellen Helligkeit, weil die Platte im Kurzwelligen empfindlicher ist als das Auge. Scheinbare Helligkeiten sind durch m_{vis} und m_{phg} , absolute durch M_{vis} und M_{phg}



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

Gyllenberg⁵ erhält aus 101 Eigenbewegungen nachstehende Werte für die absoluten visuellen Helligkeiten M :

P	M_{vis}
$90^d - 250^d$	$-3^m.5$
$251 - 340$	-1.4
> 340	$+0.1$

Tab. 1.

Schließlich bestimmt Gerasimovič⁶ aus Eigenbewegungen (EB) und Radialgeschwindigkeiten (RG) folgende visuelle absolute Helligkeiten M :

P	M_{vis}	\bar{P}
$100^d - 250^d$	$-2^m.3$	197^d
$251 - 340$	-1.1	299
> 340	$+0.3$	401

Tab. 2.

Die \bar{P} sind nach Gyllenberg⁵ gegeben.

Gyllenberg und Gerasimovič finden also zum erstenmal eine zahlenmäßig festgelegte Perioden-Helligkeits-Beziehung. Sie verläuft jedoch entgegengesetzt zu der der Cepheiden. Die Sterne langer Periode haben die kleineren absoluten Helligkeiten.

Ganz abgesehen davon, daß sich die Perioden-Helligkeits-Beziehung der Cepheiden rein zahlenmäßig nicht zu der der Langperiodischen fortführen läßt, dürfte sie auch physikalisch eine andere Ursache haben als diese, worüber später noch einiges gesagt werden wird**.

Baade⁷ benutzt die Perioden-Helligkeits-Beziehung von Gerasimovič, um die Entfernung der Cygnus-Wolke abzuleiten. Er bestimmt in einem Gebiet von 50' Durchmesser um 22 Cygni das Entfernungsmodul*** $m-M$ für 14 Bedeckungsveränderliche, 10 Langperiodische und die O - und B -Sterne der Wolke, alle drei Werte sind in guter Übereinstimmung. Dabei zeigte es sich, daß die langperiodischen Sterne bis auf einen in der Wolke liegen und eine Abhängigkeit der scheinbaren photographischen Helligkeit von der Periode aufweisen.

** Der Mechanismus der Veränderlichkeit der Langperiodischen ist wohl sicher ein anderer als der der kurzperiodischen Cepheiden.

*** Der Unterschied ($m-M$) zwischen der scheinbaren Helligkeit und der absoluten ist ein Maß für die Entfernung des Sterns.

Zur Zeit sind 23 langperiodische Veränderliche vom Spektraltypus M und N in Richtung auf die Cygnus-Wolke bekannt. Sie sind in Tab. 3 aufgeführt.

Stern	m_{phg}	P	Sp
WX Cygni	$12^m.9$	410^d	N 3 e
FZ Cygni	12.5	195	—
GN Cygni	11.5	156	N
KO Cygni	13.0	353	—
KS Cygni	13.8	312	—
NT Cygni	14.5	390	—
NW Cygni	14.2	388	—
PP Cygni	13.2	297	—
PT Cygni	16.3	160	—
PX Cygni	14.0	309	M 5 e
V 338 Cygni	13.1	321	M 5 e
V 341 Cygni	14.0	351	M 5 e
V 342 Cygni	14.4	447	—
V 419 Cygni	13.0	223	—
V 421 Cygni	13.0	400	—
V 422 Cygni	14.1	262	—
V 427 Cygni	10.9	143	—
V 430 Cygni	12.4	258	—
V 433 Cygni	15.1	417	—
V 434 Cygni	14.3	278	—
V 436 Cygni	13.0	317	—
V 439 Cygni	12.6	260	—
—	16.0	407	—

Tab. 3.

P	\bar{P}	m_{phg}	r
$100^d - 200^d$	164^d	$11^m.6$	3
$200 - 300$	263	13.3	6
$300 - 400$	338	13.7	9
$400 - 500$	420	14.6	4

Tab. 4.

In Abb. 1 sind die scheinbaren mittleren Maximalhelligkeiten m_{phg} gegen die Perioden aufgetragen. Die Existenz einer Perioden-Helligkeits-

⁵ Medd. Lunds Astronom. Observat. (2) Nr. 53 [1930].

⁶ Proc. Nat. Acad. Sci. USA. **14**, 963 (Harvard Observatory Reprint 54) [1928].

⁷ Astrophysic. J. **79**, 475 (Mt. Wilson Contribution 493) [1934].

Beziehung ist unverkennbar. Die in Tab. 4 gegebenen Mittelwerte sind in Abb. 2 dargestellt.

Aus dem allgemeinen Zusammenhang heraus fällt nur PT Cygni, von dem bereits Baade annahm, daß er sich hinter der Cygnus-Wolke befindet, wo auch noch eine Reihe von anderen Veränderlichen (Cepheiden) anzutreffen sind.

Der Nullpunkt der Skala im absoluten Helligkeitssystem kann leider nicht ohne Abhängigkeit von anderen Bestimmungen der absoluten Hellig-

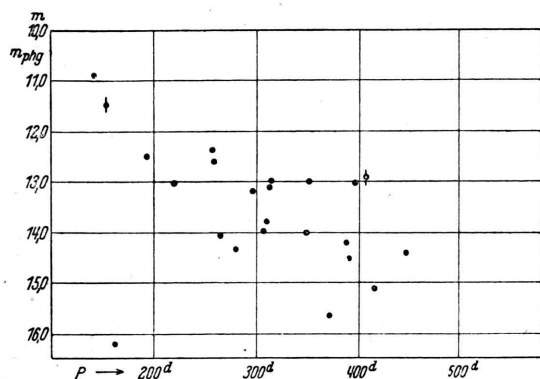


Abb. 1. Scheinbare photographische Helligkeit und Periode der Langperiodischen der Cygnus-Wolke
† Stern mit N-Spektrum

keiten der langperiodischen Veränderlichen bestimmt werden. Für Sterne mit $P \approx 300^d$ liegen die in Tab. 5 zusammengestellten Angaben über die mittlere absolute Helligkeit vor.

Ahnert	$-0^m.2$	aus Milchstraßenfeldern
Gerasimovič	$+0.3$	aus EB und RG
Gyllenberg	-0.3	aus EB
Lundmark	0.0	o Ceti und R Leonis
Oort	-0.6	aus EB und RG
Mittel	-0.2	

Tab. 5.

Zum Teil sind diese Werte aus den Angaben der Autoren von mir abgeleitet worden. Soweit sie in der visuellen Skala lagen, wurden sie mit dem von Gerasimovič und Shapley⁸ gegebenem Farbenindex der M-Sterne von $+1^m.35$, der unabhängig von Periode und spektraler Unterklasse ist und den Baade⁷ an Hand unveröffentlichten

⁸ Harvard Observatory Bull. 872 [1930].

⁹ Astronom. Nachr. 269, 248 [1939].

Materials bestätigt, auf die photographische Skala umgerechnet. Der mit „Lundmark“ bezeichnete Wert betrifft o Ceti und R Leonis und ist von Ahnert⁹ aus den Angaben des Catalogue of stars brighter than $5^m.0$ von Lundmark¹⁰ bestimmt worden (visuell $-1^m.39$).

Ahnert¹¹ selbst hat die mittlere absolute Helligkeit der Langperiodischen aus einer Betrachtung von 198 Mirasternen und 25 Raschwechselnden in einer Wolke östlich G Scorpii und 50 Mirasternen und 4 langperiodischen Cepheiden des

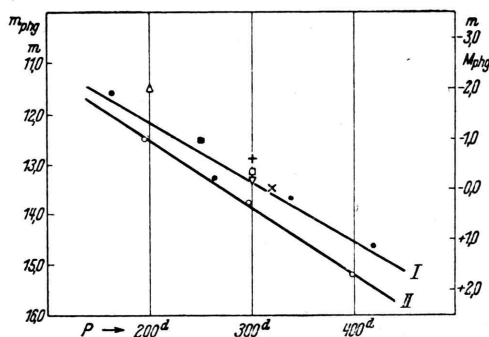


Abb. 2. m_{phg} , M_{phg} und P

- Langperiodische der Cygnus-Wolke (Kurve I)
- Langperiodische nach Gerasimovič (Kurve II)
- ▽ Mittelwert von Ahnert
- „ „ Gyllenberg
- × „ „ Lundmark
- + „ „ Oort
- △ „ „ Shapley (47 Tucanae)
- „ „ Shapley (MWF 185)

Sonneberger Feldes bei 67 Ophiuchi zu $-1^m.60$ visuell abgeleitet.

Der Mittelwert $M_{phg} = -0^m.2$, $P = 300^d$ entspricht einer mittleren scheinbaren Maximumshelligkeit von $13^m.3$ phg. für die Langperiodischen der Cygnus-Wolke, $m - M$ beträgt also $13^m.5$.

In der Abb. 2 sind außerdem eine Reihe von Bestimmungen der absoluten Helligkeit eingetragen, die zum großen Teil schon genannt wurden. Soweit sie photographisch gegeben sind, wurden sie mit dem Farbenindex $+1^m.35$ in die visuelle Skala umgerechnet. Die meisten Mittelwerte habe ich aus den Angaben der einzelnen Autoren bestimmt. Sie sind alle in guter Übereinstimmung mit der hier abgeleiteten Beziehung. Eingetragen ist ferner die von Gerasimovič abgeleitete Perioden-Helligkeitsbeziehung, die im Mittel $0^m.5$ tiefer liegt als die hier aufgestellte.

¹⁰ Handb. d. Astrophysik 5, 1077 [1933].

¹¹ Astronom. Nachr. 269, 241 [1939].

P	M_{phg}	M_{vis}	P	M_{phg}	M_{vis}
150 ^d	-1 ^m 9	-3 ^m 3	350 ^d	+0 ^m 4	-1 ^m 0
200	-1 ^m 3	-2 ^m 7	400	+1 ^m 0	-0 ^m 4
250	-0 ^m 7	-2 ^m 1	450	+1 ^m 6	+0 ^m 2
300	-0 ^m 2	-1 ^m 6			

Tab. 6.

Als endgültige Perioden-Helligkeits-Funktion wurden aus der Abb. 2 die in der Tab. 6 enthaltenen Werte entnommen.

Eine Beziehung zwischen Periode und absoluter Helligkeit hat auch Ahnert¹¹ auf einem Umweg abgeleitet. Er bestimmt für die Ludendorffschen Kurventypen* α , β und γ die mittleren scheinbaren Maximumsgrößen, wandelt sie in mittlere absolute Größen um, wobei er zur Nullpunktsbestimmung seine bereits oben genannte Untersuchung der Felder bei G Scorpii und 67 Ophiuchii neben anderen Ableitungen benutzt, und findet über die Beziehung zwischen Kurventypus und mittlerer Periodenlänge eine Perioden-Helligkeits-Beziehung, die für die mittleren und längeren Perioden praktisch dieselben Werte wie hier ergibt, bei $P = 200^d$ aber etwas tiefer liegt (etwa 1^m). Dazu ist zu sagen, daß diese Punkte der Kurve von Ahnert eine Folge der α_1 , α_2 , α_3 , β_1 ... sind, wobei die Klasse γ ganz herausfällt.

Allen bisher durchgeführten Untersuchungen haftet der Nachteil an, daß auf den mittleren Fehler der scheinbaren Maximumshelligkeiten sowie auf die Streuung der absoluten Helligkeiten keine Rücksicht genommen worden ist. Mittlerer Fehler und Streuung zusammen bewirken einen systematischen Fehler in den abgeleiteten mittleren absoluten Helligkeiten, die sich als zu groß ergeben. Da bei den langperiodischen Veränderlichen der Fehler der scheinbaren Maximumshelligkeiten infolge von Unregelmäßigkeiten des Lichtwechsels ziemlich groß sein dürfte, ist es ohne weiteres möglich, daß aus dem genannten Grund die absoluten Helligkeiten um 0^m5 bis 1^m0 zu groß sind.

Die Perioden-Helligkeits-Beziehung der langperiodischen Veränderlichen hat zweifellos andere physikalische Ursachen als die der Cepheiden. In

* Die Ludendorffschen Kurventypen charakterisieren den Verlauf der Lichtkurven der langperiodischen Veränderlichen.

¹² Harvard Observatory Bull. 862 [1928].

¹³ Publ. observat. astronom. Tartu 28, Nr. 5 [1936].

der Tab. 7 sind die zu den P gehörigen mittleren Spektraltypen nach der Untersuchung von Campbell und Miss Cannon¹² eingetragen.

Die Absorption der Titanoxydbanden beeinflusst die Helligkeit der M -Sterne erheblich. Gabovitš¹³ berechnet den Einfluß der Bandenabsorption auf die Helligkeit. Zieht man seine Korrektionsgröße ΔC_{TiO} , die in der Tab. 7 ebenfalls gegeben ist, von den absoluten visuellen Größen ab, so ergeben sich die absoluten Helligkeiten der Spalte M'_{vis} , die jetzt frei vom Einfluß der TiO-Absorption sein sollen. Überraschenderweise ist die Perioden-Helligkeits-Beziehung so gut wie verschwunden. Nur die Sterne mit $P < 200^d$ sind noch etwas heller als die anderen. Diese Werte sind aber vermutlich die unsichersten, da nur wenige Werte zu ihrer Ableitung zur Verfügung standen. Die Abb. 1 und 2 legen die Vermutung nahe, daß die wirklichen Werte etwas kleiner sind. Wenn man aus den Werten für die Sterne mit $P > 200^d$ auf sie schließt, ist es wahrscheinlich, daß sie etwa 0^m5 zu groß sind. Man kommt dann übrigens in die Nähe der Werte von Ahnert. Damit würden aber auch die korrigierten absoluten Helligkeiten der Sterne mit $P < 200^d$ etwas kleiner. Man kann also annehmen, daß die absolute visuelle Maximumshelligkeit der Langperiodischen nach Berücksichtigung der Titanoxydabsorption unabhängig von Periode und Spektraltypus ist und etwa -2^m6 beträgt.

Ähnlich liegen die Verhältnisse, wenn man die bolometrischen Helligkeiten betrachtet. Die Temperatur der M -Riesen nimmt von $M1$ bis $M8$ in der Skala von Kuiper¹⁴ von 3300° K auf 2600° K ab. Dem entspricht eine bolometrische Korrektur -1^m3 bzw. -2^m6 in der photovisuellen Skala von Hertzsprung¹⁵ oder von etwa -1^m7 bis schätzungsweise -5^m bis -6^m in der empirischen bolometrischen Größenskala von Kuiper, die man für tiefe Temperaturen wohl bevorzugen muß. Damit ergibt sich, daß die Langperiodischen kürzerer Periode etwa -5^m und die längerer Periode etwa -5^m bis -6^m in der bolometrischen Skala hell sind, und dies ist genau die gleiche Helligkeit, die sich aus den radiometrischen Messungen von Pettit und Nicholson¹⁶ für das Helligkeits-

¹⁴ Astrophysic. J. 88, 248 [1938].

¹⁵ Z. wiss. Photogr., Photophysik, Photochem. 30, 173 [1931].

¹⁶ Astrophysic. J. 68, 279 (Mt. Wilson Contribution 369) [1928]; 78, 320 (Mt. Wilson Contribution 478) [1933].

P	M_{vis}	Sp	C_{TiO}	M'_{vis}	T_e	ΔC_{8500}	M_{8500}
150 ^d	-3 ^m .3	M 1	+0 ^m .14	-3 ^m .4	3300 ⁰ K	-2 ^m .5	-5 ^m .8
200	-2.7	M 2	+0.28	-3.0	3200	-3.0	-5.7
250	-2.1	M 3	+0.48	-2.6	3065	-3.5	-5.6
300	-1.6	M 4.5	+0.98	-2.6	2895	-4.0	-5.6
350	-1.0	M 6	+1.65	-2.6	2750	-4.5	-5.5
400	-0.4	M 7	+2.2	-2.6	2670	-5.1	-5.5
450	+0.2	M 8	+2.8	-2.6	2590	-5.6	-5.4

Tab. 7.

maximum der Langperiodischen ergibt, wenn man als mittlere visuelle absolute Helligkeit $-1^m.5$ zugrunde legt. Die entsprechende Helligkeit im Minimum ist nur wenig kleiner als -5^m , so daß man als mittlere Helligkeit der Langperiodischen -5^m in der bolometrischen Skala annehmen darf. Die Bandenabsorption beeinflusst bei Strahlungsgleichgewicht die Gesamtstrahlung des Sterns nicht, da dann der in der Bande absorbierte Strahlungsanteil in die Photosphäre zurückgestrahlt, über alle Wellenlängen verteilt und remittiert wird. Mit einer mittleren absoluten bolometrischen Helligkeit von -5^m liegen die Langperiodischen immer noch erheblich unter dem aus einer Extrapolation der Perioden-Helligkeits-Beziehung der Cepheiden zu erwartenden Wert.

Für eine Anzahl Langperiodischer hat C. Hetzler¹⁷ infrarote Lichtkurven, effektive Wellenlänge bei 8500 Å, abgeleitet. Dieses Gebiet ist für strahlungsenergetische Untersuchungen besonders geeignet, da es durch Absorptionsbanden nicht oder nur sehr wenig gestört ist. Der Vergleich mit gleichzeitigen visuellen Beobachtungen erlaubt die Bestimmung des Helligkeitsunterschiedes $m_{vis} - m_{8500}$ für die verschiedenen Phasen des Lichtwechsels. Die infraroten Amplituden sind etwa nur halb so groß wie die visuellen. Trägt man die Werte $m_{vis} - m_{8500}$ für die Maxima gegen die Perioden auf, so ergibt sich der in Abb. 3 wiedergegebene Zusammenhang. Einige N-, R- und S-Sterne sind dort besonders markiert. Die Sterne längerer Periode sind also visuell viel schwächer als die kürzerer Periode. Der Unterschied beträgt zwischen $P = 450^d$ und $P = 150^d$ etwa 3^m . Die oben gefundenen absoluten visuellen Helligkeiten lassen sich mit den aus Abb. 3 und in Tab. 7 gegebenen Infrarotindices ΔC_{8500} leicht in infrarote verwandeln. Das Ergebnis enthält ebenfalls Tab. 7 in der letzten

Spalte M_{8500} . Der Nullpunkt ist sicher etwas zweifelhaft, aber das spielt für das Ergebnis, daß nämlich für die Infrarothelligkeiten bereits die Perioden-Helligkeits-Beziehung fast völlig verschwindet,

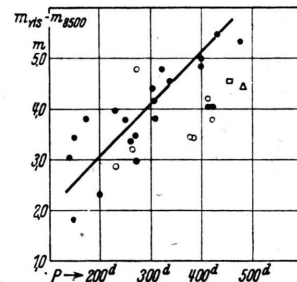


Abb. 3. Rot-Indices langperiodischer Veränderlicher.
• M-Sterne □ R-Sterne △ N-Sterne ○ S-Sterne

keine Rolle. Dieses Verschwinden ist ein weiterer Beweis dafür, daß ihre Existenz bei den visuellen und photographischen Helligkeiten nur eine Folge der TiO-Bandenabsorption bzw. Bandenabsorption allgemein infolge vermehrter Molekülbildung ist. Ein geringer verbleibender Rest ist hier vielleicht dem Umstand zuzuschreiben, daß bei Temperaturen unter 3000° K das Verhältnis von visueller zur Gesamtstrahlung rasch abnimmt, ohne daß sich dieses selbst allzusehr ändert.

Die S-Sterne, bei denen an die Stelle des Titans Zirkon tritt, verhalten sich ganz ähnlich wie die M-Sterne. Nach einer Untersuchung ihrer Eigenbewegungen findet Strashny¹⁸ eine mittlere visuelle Helligkeit von $-1^m.1$ für $\bar{P} = 346^d$ und dies ist genau derselbe Wert wie er sich für die M-Sterne oben ergeben hat. Photographisch sind sie etwa $0^m.5$ schwächer als die M-Sterne, möglicherweise deshalb, weil die Zirkonbanden etwas weiter nach dem kurzwelligen Ende des sichtbaren Spektrums reichen als die Titanbanden.

¹⁷ Astrophysic. J. 83, 372 [1936].

¹⁸ Astronom. Nachr. 242, 21 [1931].