

Messungen von Helligkeit und Farbenindex des Kleinen Planeten Vesta

Von H. FISCHER, Innsbruck

Eingegangen 1942 Juni 18

Aus 76 gleichzeitig im blauen und roten Wellenlängengebiet erhaltenen Aufnahmen von Vesta werden die Phasenkoeffizienten in beiden Bereichen abgeleitet. Es wird gezeigt, daß während der Beobachtungszeit ein periodischer Wechsel von Helligkeit oder Farbe mit einer auf photographischem Wege noch sicher nachweisbaren Amplitude nicht vorhanden war.

Vesta ist — neben Eros — eingehender photometrisch verfolgt worden als alle anderen Kleinen Planeten. Die große Helligkeit und der schon seit langer Zeit bestehende Verdacht auf einen Rotationslichtwechsel waren dafür die Gründe.

Wegen des notwendigen Wechsels der Vergleichsterne setzt die Verwendung aller vorhandener Messungen eines Kleinen Planeten eine einheitliche Reduktion auf ein bestimmtes Helligkeitssystem voraus, die im allgemeinen auch dann schwierig und unsicher ist, wenn von den Beobachtern neben den Einzelmessungen auch die benützten Vergleichsterne bekanntgegeben worden sind. Bei Vesta ist eine solche einheitliche Bearbeitung noch nicht versucht worden. Jeder Beobachter muß daher gewissermaßen wieder von Anfang an beginnen und einer Meßreihe kommt nur dann eine Bedeutung zu, wenn sie so umfassend ist, daß irgendein Ergebnis aus ihr allein abgeleitet werden kann.

In erster Linie wird diese Bedingung von den 54 Messungen erfüllt, die G. Müller¹⁾ in seiner grundlegenden Arbeit über den Phasenlichtwechsel der Planeten veröffentlicht hat. Als wahrscheinlicher Fehler einer Messung gegen einen mit dem Phasenwinkel linearen Verlauf der Helligkeit wurde dabei der Wert $\pm 0^m 060$ gefunden, so daß ein periodischer Lichtwechsel mit einer nennenswerten Amplitude als ausgeschlossen betrachtet werden konnte. Andere Beobachter, am entschiedensten wohl W. K. Green²⁾ glaubten einen kurzperiodischen Lichtwechsel nachgewiesen zu haben. Lichtelektrischen Messungen kommt wegen ihrer hohen Genauigkeit ein besonderes Gewicht zu. Die einzige Meßreihe dieser Art stammt von W. A. Calder³⁾. Ihr Ergebnis spricht wieder gegen einen Rotationslichtwechsel. Die Lage bleibt also vorerst ungeklärt. Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß auch im Falle von Vesta (wie bei Eros) die Amplitude des Lichtwechsels von der Stellung der Erde zur Rotationsachse abhängt und damit bei verschiedenen Oppositionen verschiedene Werte annehmen kann.

Eine zweite Unstimmigkeit ist neuerdings bei den erhaltenen Phasenkoeffizienten entstanden. Während G. Müller und H. M. Parkhurst⁴⁾ (in nicht eben guter Übereinstimmung) visuell aus 54 bzw. 100 Messungen über ein in beiden Fällen hinreichend großes Intervall des Phasenwinkels für den Phasenkoeffizienten die Werte $0^m 027$ bzw. $0^m 018$ erhielten und W. K. Green²⁾ photographisch den Wert $0^m 018$, leitete A. N. Deutsch⁵⁾ aus photographischen Messungen an 13 Abenden den stark abweichenden Phasenkoeffizienten $0^m 051$ ab.

Vollends widerspruchsvoll schließlich werden die Ergebnisse hinsichtlich der spektralen Energieverteilung und der Farbe des an Vesta reflektierten Sonnenlichtes. Hier stehen den spektralphotometrischen Messungen von N. T. Bobrovnikoff⁶⁾ und von W. A. Johnson⁷⁾ die Farb-

¹⁾ G. Müller: Helligkeitsbestimmungen der großen Planeten und einiger Asteroiden. Publ. Astrophys. Obs. Potsdam. Nr. 30, S. 355 (1893).

²⁾ W. K. Green: Asteroid photometry at the Amherst College Observatory and the variability of Vesta in 1933 and 1934. Publ. Amer. Astron. Soc. 8.113 (1935).

³⁾ W. A. Calder: Photoelectric photometry of Asteroids. Bull. Harvard Coll. Obs. Nr. 904, S. 11 (1936).

⁴⁾ G. Müller: Die Photometrie der Gestirne. Leipzig 1897. S. 378.

⁵⁾ A. N. Deutsch: Photographic photometry of some Minor Planets. Pulkovo Obs. Circ. Nr. 25, S. 32 (1939).

⁶⁾ N. T. Bobrovnikoff: The spectra of Minor Planets. Lick Obs. Bull. 14.18 (Nr. 407) (1929).

⁷⁾ W. A. Johnson: Spectrophotometric study of three Asteroids. Bull. Harvard Coll. Obs. Nr. 911, S. 13 (1939).

messungen von L. Gialanella¹⁾ gegenüber. Die beiden erwähnten spektralphotometrischen Arbeiten sind nicht sehr überzeugend, worauf der Verfasser²⁾ schon einmal hingewiesen hat. Die Ergebnisse von Bobrovnikoff beruhen nicht eigentlich auf einem photometrischen Verfahren und man entschließt sich schwer, aus den Ergebnissen einer solchen Reduktion mehr als bestenfalls qualitative Schlüsse zu ziehen. Auch die Art, wie Bobrovnikoff aus nur 3 Minima im violetten Teil seiner Spektren die Periode von 0^d2465 ableitet, erscheint zu unbekümmert, um überzeugend zu wirken. Die zweite von Johnson stammende Meßreihe gibt für 7 (nicht angegebene) Zeitpunkte die relative Helligkeitsverteilung an 8 bis 12 Stellen im Spektrum von Vesta. Die erhaltenen Helligkeiten an den Meßpunkten ändern sich in einigen Fällen so stark und so unregelmäßig mit der Wellenlänge, daß es vollkommen unmöglich ist, durch diese graphisch aufgetragenen Punkte eine glatte Kurve zu legen. Johnson leitet aus seinen Messungen auch Farbenindizes ab. Diese schwanken in dem unwahrscheinlich großen Bereich zwischen +0^m25 und +1^m66. Aus nicht veröffentlichten visuellen Helligkeitsbestimmungen findet Johnson einen Zusammenhang des Farbwechsels mit Helligkeitsschwankungen.

Im Gegensatz zu diesen beiden Arbeiten findet Gialanella aus visuellen Farbmessungen mit einem violetten und einem gelben Lichtfilter an 11 Abenden eine bemerkenswerte Konstanz der Farbe von Vesta. Die mittlere Streuung eines Abendwertes des Farbenindex ist mit $\pm 0^m 04$ nicht größer als der bei Messungen dieser Art zu erwartende Meßfehler, so daß für einen reellen Farbwechsel kein Raum mehr bleibt. Die mitgeteilten Abendwerte der Farbe sind wohl als Mittel aus einer größeren Zahl von Einzelmessungen anzusehen, von denen nicht bekannt ist, über einen wie großen Zeitraum sie sich jeweils erstreckt haben. Wenn es auch unwahrscheinlich ist, daß durch diese Mittelbildung ein Farbwechsel kurzer Periode verdeckt worden ist, so muß man immerhin mit dieser Möglichkeit rechnen.

Es ist also festzustellen, daß alle bisherigen Messungen an Vesta hinsichtlich:

1. des Vorhandenseins eines Rotationslichtwechsels
 2. des Vorhandenseins eines Farbwechsels
 3. des Wertes des Phasenkoeffizienten im photographischen Bereich
- zu befriedigenden und widerspruchsfreien Ergebnissen noch nicht geführt haben. Neue Messungen, die geeignet sind, hier eine Klärung zu schaffen, sind daher wünschenswert.

Die vorliegende Arbeit verfolgte das Ziel, mit einer photographischen Meßreihe zu einer solchen Klärung gleichzeitig aller dieser 3 Punkte beizutragen. Dazu waren folgende Bedingungen zu erfüllen:

1. Die Aufnahmen mußten gleichzeitig in zwei verschiedenen effektiven Wellenlängen erfolgen.
2. Die Aufnahmen mußten einen so großen Bereich des Phasenwinkels überdecken, daß die Phasenkoeffizienten in beiden Wellenlängenbereichen mit hinreichender Sicherheit zu erhalten waren.
3. Um Fehler durch den Wechsel der Vergleichsterne zu vermeiden, konnte als photometrisches Verfahren nur der relative Anschluß an ein einziges, der Oppositionsgegend nahe stehendes Vergleichsternfeld benutzt werden.

Die Aufnahmen wurden mit den beiden am Zeiss-Refraktor der Universitätssternwarte Posen montierten photographischen Kameras in folgender Art erhalten: Die Kamera mit einem Petzvalobjektiv 120/600 von C. Zeiss lieferte auf Platten der Sorte Agfa Spektral Blau Hart (ohne Verwendung eines Lichtfilters) die Blauaufnahmen im photographischen Spektralgebiet, die Kamera mit einem Fünflinser 120/540 von C. Zeiss lieferte auf Platten der Sorte Agfa Isopan ISS die Aufnahmen im roten Spektralgebiet, wobei ein Rotfilter Schott RG 1 von 2 mm Dicke dicht vor der Platte in den Strahlengang geschaltet war. In beiden Fällen erfolgten die Aufnahmen fokal. Plattenformat war einheitlich 9 cm \times 12 cm. Entwickelt wurde 6 Minuten lang in Rodinal 1 : 15 mit geringem Bromkalizusatz. Um von einem Stern des Spektraltyps G bei gleicher Belichtungszeit in beiden Fällen ungefähr gleiche Bildstärken zu erhalten, wurde das Petzvalobjektiv bei einer Abblendung auf 90 mm benützt. Die Belichtungszeit betrug während der ganzen Aufnahmereihe einheitlich 90 Sekunden. Die Betätigung der Belichtungsklappen beider Kameras erfolgte gleichzeitig durch einen einzigen Seilzug, so daß Fehler in den Belichtungszeiten die Blau- und Rotaufnahmen in gleicher Weise beeinflussen mußten und die erhaltenen Farbenindizes daher von diesen Fehlern freiblieben.

¹⁾ L. Gialanella: Indice di colore dei pianeti Urano, Nettuno, Vesta. *Astron. Nachr.* 271.284 (1941).

²⁾ H. Fischer: Farbmessungen an Kleinen Planeten. *Astron. Nachr.* 272.127 (1942) = *Mitt. Univ.-Sternw. Innsbruck* Nr. 13.

Der Anschluß an das Eichfeld erfolgte symmetrisch in der Art, daß zunächst das Eichfeld ein- oder zweimal aufgenommen wurde, dann mehrmals hintereinander der Planet und schließlich am Ende der Meßreihe wieder ein- oder zweimal das Eichfeld. Die Vestabilder wurden dabei in einer Reihe quer durch die Plattenmitte mit einem gegenseitigen Abstand von 0.3 bis 0.4 mm angeordnet. Bei n Aufnahmen wurde dabei die Reihenfolge auf der Platte in der Form

$$1, n, 2, n-1, 3, n-2, \dots$$

getroffen. Das Eichfeld wurde ebenfalls in der Plattenmitte aufgenommen, die einzelnen Aufnahmen wurden dabei aber in der zur Reihe der Vestabilder senkrechten Richtung nebeneinandergesetzt. Eine Verwechslung von Sternen des Eichfeldes mit Hintergrundsternen der Vestagegend konnte dadurch mit Sicherheit vermieden werden.

Aus 3 Gründen wurde als Eichfeld die Praesepe gewählt. Erstens liegen für sie die in Göttingen von H. Haffner und O. Heckmann¹⁾ gemessenen Blau- und Rothelligkeiten vor, zweitens machte die starke Konzentration der Sterne dieses Sternhaufens in seiner Mitte die Anbringung einer Bildfeldkorrektur überflüssig, wie noch gezeigt werden wird, und drittens lag die Gegend der Opposition 1941 von Vesta der Praesepe so nahe, daß die Differenz der Zenitdistanzen zwischen Praesepe und Vesta im Mittel aller Aufnahmen nur $4^{\circ}3'$ war mit einem Maximum von 9° . Fehlerhafte Extinktionswerte konnten daher nur einen geringen Einfluß auf die Ergebnisse haben. Nachteilig war bei der großen Helligkeit von Vesta die geringe Zahl von hinreichend hellen roten Sternen der Praesepe. Die erhaltenen Rothelligkeiten von Vesta beruhen daher im wesentlichen nur auf den Rothelligkeiten zweier Praesepesterne (V1 958 und V1 1009 im Katalog von Haffner und Heckmann). In der Nähe der Opposition war Vesta im Roten um etwa 0^m.1 heller als diese beiden hellsten Vergleichsterne. Die hier notwendig gewesene geringe Extrapolation kann man aber als unbedenklich ansehen, da die Schwärzungskurven an dieser Stelle gut linear verliefen.

Die Messung der Platten erfolgte mit einem Mikrophotometer nach Schilt, bei dem das Thermoelement durch eine Sperrschichtphotozelle und das Spiegelgalvanometer durch ein Lichtmarkengalvanometer nach Lange ersetzt war. Durch diese geringe Änderung des Photometers gegen seinen ursprünglichen Zustand konnte die Meßgeschwindigkeit erhöht und die Reproduzierbarkeit der Messungen merklich verbessert werden.

Die Bildfeldkorrekturen wurden für die Blau- und Rotaufnahmen in je einer besonderen Meßreihe bestimmt. Bei den Blauaufnahmen mit dem Petzvalobjektiv konnte die Bildfeldkorrektur durch passende Fokussierung, bei der die Platte die Fläche der besten Bilddefinition in einem Kreis von ungefähr 12 mm Radius schnitt, für $r < 15$ mm und für alle Bildstärken vollkommen zum Verschwinden gebracht werden. Bei den Rotaufnahmen mit dem Fünflinser ergab sich die Bildfeldkorrektur in der Form

$$s - s_0 = a \frac{r^2}{s}.$$

Da kein Vergleichstern der Praesepe weiter als 4 mm von der Plattenmitte entfernt war und auch die Reihe der Vestabilder diese Grenze niemals überschritt, konnte auch in diesem Falle von der Anbringung einer Bildfeldkorrektur abgesehen werden. Sie hätte im äußersten Fall noch nicht den Betrag von 0^m.01 erreicht.

Die Extinktionswerte $2.5 \log p$ wurden für die effektiven Wellenlängen 420 m μ bzw. 645 m μ den Untersuchungen von Wempe²⁾ und v. Hoff³⁾ entnommen. Da alle Aufnahmen bei besonders guter Sicht vor sich gegangen waren (S_1 in einer fünfstufigen Skala) wurden die Extinktionswerte 0^m.32 bzw. 0^m.18 gewählt, die in den beiden Arbeiten den besten Luftzuständen entsprechen. Die Extinktionskorrekturen überschritten wegen der nur geringen Differenzen in den Zenitdistanzen zwischen Vesta und Eichfeld in keinem Fall 0^m.04 im Blauen bzw. 0^m.03 im Roten.

Die Farbgleichungen der erhaltenen Rot- und Blauhelligkeiten gegen das Göttinger System wurden aus den Abweichungen der roten Riesen der Praesepe gegen die mit blauen Sternen der

¹⁾ H. Haffner und O. Heckmann: Das Farbenhelligkeitsdiagramm der Praesepe auf Grund neuer Beobachtungen. Veröff. Univ.-Sternw. Göttingen Nr. 55 (1937).

²⁾ J. Wempe: Beiträge zur photographischen Spektralphotometrie. Z. Astrophys. 5.154 (1932) = Veröff. Univ.-Sternw. Göttingen Nr. 28.

³⁾ H. v. Hoff: Die relative Energieverteilung im infraroten Spektrum von 18 Fundamentalsternen. Z. Astrophys. 18.157 (1939) = Veröff. Univ.-Sternw. Göttingen Nr. 62.

Hauptreihe erhaltenen Schwärzungskurven bestimmt. Dabei wurde für das Helligkeitsintervall von 7^m0 bis 7^m6 im Blauen bzw. von 6^m0 bis 6^m6 im Roten als Ergebnis erhalten:

$$(m_G - m_P)_{pg} = -0.053 FI_G \pm 0.012 \quad (\text{m. F. des Mittels})$$

$$(m_G - m_P)_r = -0.004 FI_G \pm 0.005 \quad (\text{m. F. des Mittels})$$

Daraus errechnet man die effektive Wellenlänge der Blaufaufnahmen mit den vom Verfasser in einer früheren Arbeit¹⁾ gegebenen Unterlagen zu 420 m μ (gegen 427 m μ der Göttinger Blaugrößen). Im Roten kann eine Farbgleichung als nicht verbürgt betrachtet werden, die effektive Wellenlänge der Posener Rotaufnahmen stimmt also mit dem Göttinger Wert 645 m μ überein. Die Göttinger Blauhelligkeiten stehen für Sterne heller als 8^m nach Ramberg²⁾ genügend sicher im System der internationalen Polsequenz, so daß die erhaltene Farbgleichung von $-0.053 FI$ gleichzeitig auch die Reduktion der Posener Blauhelligkeiten auf das internationale photographische

Tabelle 1
Das Ergebnis der Messungen

Pl.	n	1941 WZ	m_{pg}^P	m_{pg}	m_r	FI	Pl.	n	1941 WZ	m_{pg}^P	m_{pg}	m_r	FI
P 9 F 494	1	Jan 29.991	7 ^m 18	7 ^m 12	6 ^m 01	+1 ^m 11		7	Feb 17.957	7 ^m 03	6 ^m 97	5 ^m 96	+1 ^m 01
	2	29.994	7.12	7.06	5.96	+1.10		8	17.959	7.00	6.94	5.92	+1.02
	3	29.997	7.13	7.07	6.00	+1.07		9	17.961	6.98	6.92	5.88	+1.04
	4	29.999	7.13	7.07	5.95	+1.12		10	17.964	7.04	6.98	5.88	+1.10
	5	30.002	7.16	7.10	5.96	+1.14		11	17.968	6.99	6.93	5.95	+0.98
	6	30.005	7.17	7.11	6.01	+1.10		M	Feb 17.954		6.965	5.929	+1.036
	7	30.008	7.21	7.15	6.02	+1.13	P 19	1	Mrz 17.847	7.41	7.36	6.48	+0.88
	8	30.010	7.21	7.15	6.05	+1.10	F 507	2	17.848	7.46	7.41	6.37	+1.04
	9	30.013	7.20	7.14	6.09	+1.05		3	17.851	7.48	7.43	6.44	+0.99
	10	30.016	7.24	7.18	6.00	+1.18		4	17.853	7.40	7.35	6.37	+0.98
	11	30.022	7.20	7.14	6.06	+1.08		5	17.855	7.41	7.36	6.37	+0.99
	M	Jan 30.006		7.117	6.010	+1.107		6	17.858	7.41	7.36	6.41	+0.95
P 13 F 499	1	Jan 30.988	7.07	7.01	5.94	+1.07		7	17.860	7.43	7.38	6.39	+0.99
	2	30.990	7.05	6.99	5.92	+1.07		8	17.862	7.46	7.41	6.39	+1.02
	3	30.992	7.11	7.05	5.92	+1.13		M	Mrz 17.854		7.384	6.404	+0.980
	4	30.994	7.02	6.96	5.93	+1.03	P 20	1	Mrz 19.838	7.53	7.48	6.48	+1.00
	5	30.996	7.03	6.97	5.94	+1.03	F 509	2	19.840	7.52	7.47	6.46	+1.01
	6	30.998	7.13	7.07	5.96	+1.11		3	19.841	7.45	7.40	6.40	+1.00
	7	31.000	7.09	7.03	5.91	+1.12		4	19.843	7.49	7.44	6.44	+1.00
	8	31.002	7.18	7.12	5.97	+1.15		5	19.844	7.49	7.44	6.47	+0.97
	9	31.004	7.13	7.07	5.94	+1.13		6	19.846	7.54	7.49	6.47	+1.02
	10	31.006	7.11	7.05	5.97	+1.08		7	19.848	7.48	7.43	6.45	+0.98
	11	31.008	7.05	6.99	5.93	+1.06		8	19.849	7.44	7.39	6.47	+0.92
	12	31.010	7.14	7.08	5.95	+1.13		9	19.851	7.56	7.51	6.47	+1.04
	M	Jan 30.999		7.032	5.940	+1.092		M	Mrz 19.844		7.450	6.457	+0.993
P 14 F 502	1	Jan 31.964	7.22	7.16	5.96	+1.20	P 21	1	Mrz 19.875	7.51	7.46	6.50	+0.96
	2	31.966	7.21	7.15	6.03	+1.12	F 510	2	19.876	7.54	7.49	6.53	+0.96
	3	31.968	7.25	7.19	5.99	+1.20		3	19.878	7.54	7.49	6.48	+1.01
	4	31.970	7.28	7.22	6.01	+1.21		4	19.879	7.56	7.51	6.51	+1.00
	5	31.972	7.27	7.21	6.04	+1.17		5	19.881	7.59	7.54	6.45	+1.09
	6	31.974	7.21	7.15	6.01	+1.14		6	19.883	7.54	7.49	6.56	+0.93
	7	31.978	7.22	7.16	6.10	+1.06		7	19.884	7.54	7.49	6.53	+0.96
	8	31.980	7.24	7.18	6.07	+1.11		8	19.885	7.58	7.53	6.55	+0.98
	9	31.984	7.20	7.14	6.11	+1.03		M	Mrz 19.880		7.500	6.514	+0.986
	10	31.988	7.22	7.16	6.17	+0.99	P 22	1	Mrz 23.854	7.58	7.53	6.59	+0.94
	M	Jan 31.974		7.172	6.049	+1.123	F 511	2	23.858	7.50	7.45	6.57	+0.88
P 16 F 504	1	Feb 17.940	7.08	7.02	5.96	+1.06		3	23.863	7.48	7.43	6.52	+0.91
	2	17.941	7.00	6.94	5.93	+1.01		4	23.865	7.54	7.49	6.60	+0.89
	3	17.943	7.01	6.95	5.95	+1.00		5	23.867	7.51	7.46	6.52	+0.94
	4	17.953	7.08	7.02	5.96	+1.06		6	23.869	7.54	7.49	6.59	+0.90
	5	17.955	7.06	7.00	5.89	+1.11		7	23.870	7.52	7.47	6.56	+0.91
	6	17.956	7.00	6.94	5.94	+1.00		M	Mrz 23.864		7.474	6.564	+0.910

¹⁾ loc. cit. Fußnote 2, S. 125.

²⁾ J. M. Ramberg: A spectrophotometric study of the central parts of the regions of the Hyades and Praesepe. Stockholm Obs. Ann. 13, Nr. 9 (1941).

System darstellt. Nach Anbringung dieser Korrektur an die gemessenen Blauhelligkeiten stehen die daraus abgeleiteten Farbenindizes im Göttinger System, dessen Beziehung zum internationalen vom Verfasser¹⁾ früher in der Form

$$FI_i = 0.638 FI_G + 0^m007$$

erhalten worden ist.

Im ganzen wurden an 7 Abenden auf zweimal 8 Platten 76 Rot-Blau-Doppelaufnahmen erhalten. Die Einzelmessungen sind in Tab. 1 wiedergegeben. Deren Spalten enthalten nacheinander: die Plattennummern (P=Petzval, F=Fünflinser), die fortlaufenden Nummern einer Aufnahmereihe, die Aufnahmezeiten in Weltzeit (wegen Lichtzeit verbessert), die gemessenen Blauhelligkeiten m_{pg}^P von Vesta, die in der nächsten Spalte durch Anbringung der Farbgleichung in das internationale System umgerechnet sind, die gemessenen Rothelligkeiten m_r und schließlich die Farbenindizes (im Göttinger System) als Differenzen der beiden vorhergehenden Spalten. Die mit M bezeichnete jeweils letzte Zeile eines Feldes enthält die Mittel der darüber stehenden Werte der Zeiten, der Rot- und Blauhelligkeiten und der Farbenindizes.

Diese Meßwerte wurden nach den Beziehungen

$$g_u = m - 5 (\log r + \log \Delta)$$

und

$$g_o = g_u - fa$$

zunächst vom Einfluß der wechselnden Größen r und Δ im Dreieck Sonne—Erde—Vesta befreit und dann vom Einfluß des Phasenwinkels. Tab. 2 enthält dazu in den drei ersten und in der vorletzten Spalte die in den Zeilen M von Tab. 1 stehenden Mittelwerte und in der vierten Spalte die Werte $K = 5 (\log r + \log \Delta)$. Damit wurden die absoluten Helligkeiten g_u in den beiden folgenden Spalten berechnet. Die mit a überschriebene Spalte enthält die Phasenwinkel. Diese sind leider ungünstig in 2 Gruppen verteilt, so daß eine Abweichung des Phasengesetzes von einem linearen Verlauf nicht erkennbar werden konnte. Die Ausgleichung hatte daher nur in der oben angegebenen linearen Form einen Sinn mit g_o und f als zu bestimmenden Konstanten. Die Ausgleichung, bei der alle Plattenmittel das gleiche Gewicht erhielten, ergab:

$$\begin{aligned} g_{o, pg} &= 4^m286 \pm 0^m033 \text{ (m. F.)} & g_{o, r} &= 3^m180 \pm 0^m032 \text{ (m. F.)} \\ f_{pg} &= 0^m0178 \pm 0^m0027 \text{ „} & f_r &= 0^m0258 \pm 0^m0026 \text{ „} \\ \text{m. F. einer Gl.} &= \pm 0^m056 & \text{m. F. einer Gl.} &= \pm 0^m053 \end{aligned}$$

Tabelle 2
Reduktion der Plattenmittel der Helligkeiten und Farbenindizes

1941 WZ	m_{pg}	m_r	K	$g_{u, pg}$	$g_{u, r}$	a	$(B-R)_{pg}$	$(B-R)_r$	FI	$(B-R)_{FI}$
Jan 30.006	7 ^m 117	6 ^m 010	2 ^m 767	4 ^m 350	3 ^m 243	4.0	-0 ^m 007	-0 ^m 040	+1 ^m 107	+0 ^m 033
30.999	7.032	5.940	2.760	4.272	3.180	3.3	-0.073	-0.085	+1.092	+0.012
31.974	7.172	6.049	2.754	4.418	3.295	2.3	+0.091	+0.058	+1.123	+0.035
Feb 17.954	6.965	5.929	2.696	4.269	3.233	0.0	-0.017	+0.053	+1.036	-0.070
Mrz 17.854	7.384	6.404	2.842	4.542	3.562	16.0	-0.029	-0.031	+0.980	+0.002
19.844	7.450	6.457	2.860	4.590	3.597	16.8	+0.005	-0.016	+0.993	+0.021
19.880	7.500	6.514	2.860	4.640	3.654	16.8	+0.055	+0.041	+0.986	+0.014
23.864	7.474	6.564	2.899	4.575	3.665	18.0	-0.031	+0.021	+0.910	-0.052

Aus den mittleren Fehlern einer Gleichung in beiden Fällen und aus den in Tab. 2 wiedergegebenen bei den Ausgleichungen übrig bleibenden Resten $(B-R)_{pg}$ bzw. $(B-R)_r$, die in keinem Fall 0^m1 erreichen, erkennt man, daß die Beobachtungen durch das Phasengesetz sehr befriedigend dargestellt werden.

Die beiden Phasenkoeffizienten stellen eines der angestrebten Ergebnisse dar. Es zeigt sich, daß der photographische Phasenkoeffizient f_{pg} genau mit dem von Parkhurst visuell und von Green photographisch gemessenen Wert 0^m018 übereinstimmt und der rote f_r mit dem visuellen Wert 0^m027 von Müller. Die Abweichung der beiden Werte f_{pg} und f_r voneinander kann im Hinblick auf die mittleren Fehler als nicht sicher verbürgt angesehen werden. Außerdem ist bei f_r die Möglichkeit einer systematischen Verfälschung gegeben, da die Rothelligkeiten, wie schon erwähnt worden

¹⁾ loc. cit. Fußnote 2, S. 125.

ist, im wesentlichen auf den Helligkeiten nur zweier Praesepesterne beruhen und somit mit deren zufälligen und systematischen Fehlern voll behaftet sind. Eine Korrektur von nur $+0^m12$ dieser beiden Helligkeiten würde die beiden Phasenkoeffizienten zusammenfallen lassen. Da die beiden Sterne ganz am Rande des von der Göttinger Praesepephotometrie erfaßten Helligkeitsbereiches liegen, muß man wohl mit der Möglichkeit von Fehlern in dieser Größenordnung rechnen. Es ist hier bemerkenswert, daß auch bei Eros der langwellige Phasenkoeffizient von Hartwig¹⁾ um 0^m005 größer erhalten worden ist als der photographische, so daß zu dem in dieser Arbeit bei Vesta gefundenen Ergebnis gute Übereinstimmung besteht.

Der von Deutsch mitgeteilte, gegen den hier gefundenen rund dreimal so große Wert 0^m051 des photographischen Phasenkoeffizienten kann mit Sicherheit als ausgeschlossen betrachtet werden. Man wird den Grund für dieses gegen alle anderen Messungen abweichende Ergebnis wohl in einem Skalenfehler der von Deutsch benützten Vergleichsterne suchen müssen. Für die von Deutsch ins Auge gefaßte Möglichkeit einer Änderung des Phasenkoeffizienten von einer Opposition zur anderen fehlt noch jede physikalische Begründung.

Auch bei Iris hat Deutsch²⁾ einen photographischen Phasenkoeffizienten gefunden, der im selben Sinn wie bei Vesta von den visuellen Werten von Müller und Parkhurst abweicht. Eine unabhängige Nachprüfung dieses letzten widersprechenden Ergebnisses wäre wünschenswert.

Die Größe $f_{FI} = f_{pg} - f_r$ stellt die Änderung des Farbenindex von Vesta mit dem Phasenwinkel dar. Unabhängig von der Frage, ob dieser Wert reell oder nur durch die Fehler der roten Vergleichsterne vorgetäuscht ist, erscheint hier eine Fehlerbetrachtung aufschlußreich. Errechnet man nämlich den Wert f_{FI} unmittelbar aus den Beobachtungen durch eine lineare Ausgleichung in der Form

$$FI_0 = FI_\alpha - f_{FI}\alpha,$$

so erhält man:

$$\begin{aligned} FI_0 &= +1^m106 \pm 0^m022 \text{ (m. F.)} \\ f_{FI} &= -0^m0080 \pm 0^m0019 \text{ ,,} \\ \text{m. F. einer Gl.} &= \pm 0^m039. \end{aligned}$$

Die letzte Spalte der Tab. 2 enthält die nach dieser Ausgleichung übrig bleibenden Reste $(B-R)_{FI}$. Wären nun die Fehler der Blau- und Rotmessungen voneinander unabhängig, so hätte man bei dieser Ausgleichung für den mittleren Fehler einer Gleichung statt $\pm 0^m039$ den Wert $\pm \sqrt{0.056^2 + 0.053^2} = \pm 0^m077$ erhalten müssen. Die Abhängigkeit der Fehler im roten und im blauen Wellenlängengebiet voneinander wird auch direkt bestätigt durch die hohe positive Korrelation $r = +0.71 \pm 0.18$ (m. F.) der Größen $(B-R)_{pg}$ und $(B-R)_r$. Es zeigt sich also, daß die (zum größten Teil wohl atmosphärischen und somit durch eine Verbesserung des Beobachtungsverfahrens nur schwer vermeidbaren) Fehlerquellen bei einem Eichfeldanschluß in beiden Spektralgebieten im wesentlichen im selben Sinn gewirkt haben und der Vorteil von gleichzeitigen Aufnahmen in beiden Gebieten zur Erlangung von Farbenindizes wird dadurch offenbar.

Es bleibt nun noch die Frage zu entscheiden, ob aus den Beobachtungen auf einen periodischen Wechsel der Helligkeit von Vesta in einem oder auch in beiden Wellenlängengebieten geschlossen werden kann. Die Einzelmessungen einer Platte sind dazu wenig geeignet, da sie sich jeweils über ein nur kurzes Zeitintervall erstrecken. Diese Verwendung war auch von Anfang an nicht beabsichtigt. Vielmehr sollten durch die Vereinigung mehrerer dieser Einzelmessungen zu den Plattenmitteln M von m_{pg} , m_r und FI die zufälligen Meßfehler nach Möglichkeit ausgeschaltet werden. Dieses Ziel ist auch erreicht worden, wie man aus den mittleren Fehlern der Einzelmessungen gegen die Plattenmittel erkennt. Man erhält dafür im Mittel:

$$\begin{aligned} \text{bei den Blauhelligkeiten } m_{pg}: \quad \bar{\epsilon}_{pg} &= \pm 0^m037 \\ \text{bei den Rothelligkeiten } m_r: \quad \bar{\epsilon}_r &= \pm 0.039 \\ \text{bei den Farbenindizes } FI: \quad \bar{\epsilon}_{FI} &= \pm 0.044 \end{aligned}$$

Von dieser Größenordnung hat man bei photographischen Messungen die zufälligen Fehler immer zu erwarten, so daß für reelle Änderungen der Helligkeiten und der Farbenindizes während der durch die einzelnen Aufnahmereihen überdeckten Zeiten kein Raum mehr bleibt. In einigen Fällen

¹⁾ G. Hartwig: Photographisch-Photometrische Beobachtungen des Kleinen Planeten 433 Eros. Astron. Nachr. 269,92 (1939).

²⁾ A. N. Deutsch: Photographic photometry of some Minor Planets. Poulkovo Obs. Circ. Nr. 12, S. 14 (1934).

zeigen die Einzelmessungen wohl Andeutungen eines systematischen Verlaufes mit der Zeit, es ist aber nicht möglich, daraus irgendwelche Schlüsse zu ziehen, etwa auf die Zeiten von Extremwerten. Deutet man also die $\bar{\epsilon}$ allein als zufällige Meßfehler, so wird, da im Mittel 9.5 Messungen zu einem Plattenmittel vereinigt worden sind, der mittlere zufällige Fehler dieser Plattenmittel auf etwa $\pm 0^m01$ herabgedrückt.

Am sichersten vermag man einen Wechsel von Helligkeit und Farbe aus den bei den Ausgleichungen wegen Phaseneinfluß übrigbleibenden Resten der Plattenmittel $(B-R)_{pg}$, $(B-R)_r$ und $(B-R)_{FI}$ der Tab. 2 abzuleiten. Die Streuung dieser Größen, gekennzeichnet durch die schon mitgeteilten mittleren Fehler einer Gleichung von $\pm 0^m056$, $\pm 0^m053$ bzw. $\pm 0^m039$ ist bemerkenswert gering. Erfahrungsgemäß liegen nun die Fehler einer Eichfeldübertragung nur selten unter $\pm 0^m05$. Man kann daher schließen, daß die erhaltenen Streuungen zum größten Teil diesen Anschlußfehlern zur Last fallen und ein Licht- oder Farbwechsel mit einer Amplitude von mehr als 0^m1 muß als sehr unwahrscheinlich bezeichnet werden. Der sichere Nachweis eines Lichtwechsels mit einer Amplitude kleiner als 0^m1 auf photographischem Wege ist ziemlich hoffnungslos, wenn, wie es bei Kleinen Planeten stets der Fall ist, eine Häufung der Beobachtungen über lange Zeiten unmöglich ist.

Eine Darstellung der Reste $(B-R)$ mit den Perioden 0^d2465 von Bobrovnikoff bzw. 0^d31304 von Green versagte vollkommen, ein Wechsel von Helligkeit oder Farbe mit einer dieser Perioden war also während der Beobachtungszeit mit Sicherheit nicht vorhanden. Trotz vieler Versuche ließ sich aber auch kein anderer Periodenwert finden, der die Reste befriedigend dargestellt hätte.

Noch unwahrscheinlicher als ein periodischer Helligkeitswechsel muß ein Farbwechsel bezeichnet werden, wie man aus den mittleren Fehlern einer Gleichung in den drei Fällen schließt. Im Widerspruch zu den Ergebnissen von Bobrovnikoff und Johnson wird also die von Gialanella gefundene große Konstanz des Farbenindex von Vesta voll bestätigt.

Hinsichtlich der drei Punkte, deren Klärung eingangs als wünschenswert bezeichnet worden ist, kann das Ergebnis der während der Opposition 1941 von Vesta erhaltenen Messungen in folgender Form zusammengefaßt werden:

1. Ein Rotationslichtwechsel mit einer Amplitude über 0^m1 muß in jedem der beiden Wellenlängengebiete als unwahrscheinlich bezeichnet werden.
2. Ein Wechsel des Farbenindex im Göttinger System ist, wenn überhaupt vorhanden, nur so geringfügig, daß er photographisch nicht mehr nachweisbar ist.
3. Für den Phasenkoeffizienten wurde im photographischen Bereich der Wert 0^m018 und im roten Bereich der Wert 0^m026 gefunden. Die Abweichung der beiden Werte voneinander kann aber nicht als sicher verbürgt angesehen werden.

Schließlich sei noch erwähnt, daß der für Vesta erhaltene Wert $+1^m11$ des Farbenindex im Göttinger System sich sehr gut in die vom Verfasser¹⁾ gefundene Beziehung der Farbenindizes zu den halben großen Bahnachsen einfügt.

¹⁾ loc. cit. Fußnote 2, S. 125.