Die veränderlichen Sterne.

Von Dr. Eduard Heise.

In einer kleinen Abhandlung möchte ich einige Betrachtungen aus einem Gebiet der Himmelskunde bringen, das besonders geeignet erscheint, das Interesse der Mitglieder der Bamberger Naturforschenden Gesellschaft zu finden, da einer ihrer verdienstvollsten Mitglieder und ihr langjähriger Vorsitzender, der † Geheimrat Professor Dr. Ernst Hartwig, sich besonders dieses Zweiges der Sternenkunde annahm. Ich möchte gleich erwähnen, daß es nicht der wesentliche Zweck meines kleinen Aufsatzes ist, ihn nur für einen kleinen Prozentsatz unserer Mitglieder zu schreiben, sondern ich möchte nach Möglichkeit allen einen Einblick in dieses reizvolle Gebiet der veränderlichen Sterne bieten. Durch eine kleine eigene Untersuchung über Vereinigung instantaner Elementensysteme hoffe ich aber, das allgemeine Interesse zu heben.

Wenn man bedenkt, daß der Anblick des gestirnten Himmels schon in den ältesten Zeiten die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich gelenkt hat, so muß es uns Wunder nehmen, daß erst Ende des 16. Jahrhunderts zum ersten Male ein Veränderlicher entdeckt wurde. Am 13. August 1596 sah der ostfriesische Pfarrer David Fabricius am Halse des Walfisches einen Stern 3. Größe, den er früher weder bemerkt hatte noch in einem Sternkataloge auffinden konnte. Einige Wochen konnte Fabricius den Stern beobachten, aber schon im Oktober des gleichen Jahres waren seine Bemühungen, den Stern wiederzufinden, vergeblich. Der Glaube, daß eine Änderung des Lichtes eines Fixsterns etwas Unmögliches darstelle, scheint verursacht zu haben, daß Fabricius dieser auffallenden Erscheinung so wenig Beachtung schenkte. Nur so kann man es verstehen, daß sein erneutes Beobachten des Sterns im Anfang des Jahres 1609 ihn nicht zu genaueren Untersuchungen veranlaßte. Das Verdienst, die Veränderlichkeit des Lichts des Sterns, den Fabricius gesehen hatte, erkannt zu haben, gebührt Holwarda, Professor der Universität in Franecker, der den fraglichen Stern neu Ende 1638 auffand und die Abnahme seines Lichtes im darauffolgenden Jahre beobachten konnte. Es wurde festgestellt, daß der Stern des Fabricius schon in den Karten von Bayer als Stern 4. Größe verzeichnet und mit dem Buchstaben o versehen war. Die Änderung des Lichtes dieses Sterns, der den Namen der „Wunderbare im Walfisch" (Mira Ceti) erhielt, fand in etwa einem Jahre aber in recht ungleichmäßiger Art statt, seine größte Helligkeit war die eines Sternes 2. Größe, aber oft erreichte er nicht dieses Maximum des Lichtes, auch die Zwischenzeiten zwischen den einzelnen Maxima waren verschieden. Diese Tatsachen, die einige Beobachter des Sterns feststellten, verursachten doch nicht, daß man besonders sorgfältige und ununterbrochene Beobachtungsreihen des Sterns durchführte.

Auch die Entdeckung weiterer Veränderlicher, wie die Feststellung der Änderung des Lichtes von ß Persei (Algol durch Montanari (1667), die des Sterns χ Cygni durch Gottfried Kirch (1686) und des Sterns 30 Herkulis-Hydrae (jetzt R Hydrae bezeichnet) von Maraldi, ließen kein besonderes Interesse für weitere eingehende Beobachtungen erwecken. Etwa Ende des 18. Jahrhunderts bemühten sich einige Forscher eifriger, die Lichtänderungen von Sternen zu verfolgen.

Erst mit dem Jahre 1840 trat eine entscheidende Besserung in der Sorgfalt der Beobachtungen der Veränderlichen ein. Hier beginnen die eingehenden Untersuchungen von F. W. A. Argelander, den man mit Recht als Begründer der Geschichte der Veränderlichen ansehen kann. Mit größter Liebe widmete sich Argelander Jahrzehnte lang den Beobachtungen veränderlicher Sterne und ihrer Bearbeitung. Seine Stufenschätzungsmethode, die auch heute noch Anwendung findet, und auf die ich später eingehen werde, hat er mit äußerster Sorgfalt ausgearbeitet. Von Argelanders Schülern, die sich diesem neuen Arbeitsgebiet der Himmelskunde widmeten, möchte ich insbesondere Schönfeld und Winnecke erwähnen.

Das Anwachsen der Zahl der aufgefundenen Veränderlichen ist am besten aus einigen Daten ersichtlich. Das Verzeichnis von Argelander vom Jahre 1850 enthält 24 Veränderliche, das von Schönfeld vom Jahre 1875 schon 143 Veränderliche oder Variable. Eine Reihe von Jahren hat Hartwig in der Vierteljahresschrift der Astronomischen Gesellschaft einen sorgfältigen Katalog veröffentlicht, der auch Ephemeriden (Vorausberechnungen von Maxima und Minima) enthält. Das letzte Verzeichnis, das jetzt von der Kommission für die veränderlichen Sterne herausgegeben wird und für das Jahr 1926 vorliegt, enthält bereits 2671 veränderliche Sterne. Hierzu kommen noch viele Veränderliche, die in kugelförmigen Sternhaufen und in Nebeflecken festgestellt wurden, im Katalog aber keine Aufnahme fanden. Besonders die Photographie hat dazu beigetragen, große Erfolge auf diesem Gebiete der Himmelskunde zu erzielen. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß jetzt wohl in allen zivilisierten Ländern diesem interessanten Zweige der Sternenkunde die größte Aufmerksamkeit gewidmet wird. Ich habe mich möglichst kurz gefaßt, für diejenigen, die sich etwas eingehender mit der Geschichte und wohl auch mit dem Studium der Veränderlichen befassen wollen, sei auf das Werk von Müller und Hartwig „Geschichte und Literatur der bis Ende 1915 als sicher veränderlich erkannten Sterne nebst einem Katalog ihres Lichtwechsels", auf das große Werk Hagens „Die veränderlichen Sterne", zur Einführung auf die Astronomischen Beobachtungen auf der Sternwarte Bonn, Band 7, und Veröffentlichungen der Sternwarte Heidelberg, Band 1 (Argelanders und Schönfelds Beobachtungen veränderlicher Sterne, als Muster für die Beobachtung bzw. Bearbeitung veränderlicher Sterne) und auf Karl Schillers „Einführung in das Studium der veränderlichen Sterne" hingewiesen.

Als älteste Beobachtungsmethode, die uns die ersten sicheren Ergebnisse bietet, ist die Argelandersche Stufenschätzungsmethode anzusehen. Es wird deshalb für uns von besonderem Interesse sein, sie

kennenzulernen, da sie uns am besten ein leicht verständliches Bild gibt, in welcher Form man Beobachtungen veränderlicher Sterne anstellen kann. Haben wir den Veränderlichen am Himmel aufgesucht, so werden wir, da wir die Veränderlichkeit seines Lichtes beobachten wollen, zum Vergleich des Veränderlichen mit anderen Sternen uns passende sogenannte Vergleichsterne aussuchen. Am günstigsten wird unsere Wahl so eingerichtet werden, daß zur Zeit der Beobachtung der eine Vergleichstern etwas heller, der andere etwas schwächer als der Veränderliche ist. Bis zur 4. oder 5. Größe der Sterne wird das normalsichtige oder weitsichtige Auge keines Fernrohres bedürfen. Bei schwächeren Sternen ist dagegen der Gebrauch des Fernrohres erforderlich, selbst wenn die Sterne mit dem unbewaffneten Auge zwar noch zu sehen, aber nicht deutlich genug ausgeprägt sind. Bei den Fernrohrbeobachtungen ist zu beachten, daß man nicht in der Nähe des Randes des Gesichtsfeldes beobachtet, dies geschieht, um die Randverzerrungen zu vermeiden. Man wird also am besten der Lehre Argelanders entsprechend es so einrichten, daß man alle vergleichenden Sterne möglichst rasch hintereinander in die Mitte des Gesichtsfeldes bringt. Im Gedächtnis sucht man die Lichteindrücke zu bewahren und danach seine Schätzungen vorzunehmen. Sind die vergleichenden Sterne sehr nahe gelegen und somit genügend weit vom Rande des Gesichtsfeldes entfernt, so daß sie bei ruhiger Luft schön punktförmig erscheinen, so wird ein Verschieben des Fernrohres zum In-die-Mitte-bringen der Sterne nicht erforderlich sein. Die erstere Vorschrift ist die Argelanders, die für seine folgende Erläuterung der Stufenzahlen maßgebend ist. Argelander schreibt: „Erscheinen mir beide Sterne, deren Helligkeitsdifferenz ermittelt werden soll, immer gleich hell, oder möchte ich bald den einen, bald den anderen ein wenig heller schätzen, so nenne ich sie gleich hell, und bezeichne dies dadurch, daß ich ihre Zeichen unmittelbar nebeneinander setze, wobei es gleichgültig ist, welches Zeichen voransteht. Sind also die beiden Sterne a und b verglichen, so schreibe ich entweder ab oder ba. (Wir werden hierfür a = b schreiben.)

Kommen mir auf den ersten Anblick zwar beide Sterne gleich hell vor, erkenne ich aber bei aufmerksamer Betrachtung und wiederholtem Übergange von a zu b und b zu a entweder immer, oder doch nur mit seltenen Ausnahmen a als eben erkennbar heller, so nenne ich a eine Stufe heller als b, und bezeichne dies durch a1b, ist hingegen b der hellere, durch b1a, so daß immer der hellere vor, der schwächere hinter der Zahl steht.

Erscheint der eine Stern stets und unzweifelhaft heller als der andere, so wird dieser Unterschied für 2 Stufen angenommen, und durch a2b bezeichnet, wenn a, hingegen mit b2a, wenn b der hellere ist.

Eine auf den ersten Blick ins Auge fallende Verschiedenheit gilt für 3 Stufen und wird mit a3b bzw. b3a bezeichnet.

Endlich bedeutet a4b eine noch auffallendere Verschiedenheit zugunsten von a."

Größere Stufenunterschiede sucht man durch passende Wahl der Vergleichsterne nach Möglichkeit zu vermeiden.

Schon die anfangs erwähnte Auswahl der Vergleichsterne sagt uns, daß wir stets den Variabeln mit 2 Vergleichsternen schätzen sollen. Wir haben z. B. für eine Reihe von Beobachtungen folgende Ergebnisse gefunden, wenn wir die Vergleichsterne mit a und b und den Variabeln mit V bezeichnen:

1926 Januar 1	a2V, V2b, was wir kürzer a2V2b schreiben.
4	a3V2b
6	a4V1b
10	a4V1b
11	a4V = b

Da der vorangehende Stern stets der hellere sein soll, so erkennen wir schon aus den wenigen Daten, daß der Veränderliche in Abnahme begriffen ist. Der Veränderliche hat bereits den schwächeren Vergleichstern b an Helle erreicht. Wir werden somit einen schwächeren Stern c suchen müssen, um die Beobachtungen im angegebenen Sinne fortsetzen zu können. Wir erhalten etwa:

Januar 15	b1V4c
17	b2V3c
19	b3V3c
20	b3V2c
24	b4V = c.

In diesem Sinne sind die Beobachtungen fortzusetzen. Wir erkennen, daß zwischen den Vergleichsternen a und b 4 bzw. 5, 5, 5, 4 Stufen, also im Mittel 4,6 Stufen vorhanden sind, zwischen b und c im Mittel 5,0 Stufen. Sind für die benutzten Vergleichsterne photometrische Größenangaben vorhanden, wie wir sie dem Generalkatalog zur Potsdamer photometrischen Durchmusterung, Publ. des astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam, Band 17 und der Revised Harvard Photometrie, Harvard-Annalen, Band 50 entnehmen können, so können wir nach einem genauen rechnerischen Verfahren für die Helligkeiten unserer Vergleichsterne und des Veränderlichen Angaben in Größenklassen des jeweils benutzten Systems berechnen.

Haben wir viele Beobachtungen des Veränderlichen — wir setzen stillschweigend langsame Änderung des Lichts des Variabeln voraus — und zwar für einen längeren Zeitraum und ersehen, daß etwa zweimal der Veränderliche deutlich sein größtes Licht (Maximum) erreicht haben muß, so gibt uns die Zeit, die von einem Maximum zum anderen verstrichen ist, die Periode oder die Zeit der Dauer des Lichtwechsels an. Da uns die Beobachtungen direkt kaum die Zeiten des größten Lichtes erkennen lassen, so wird man am praktischsten so verfahren, daß man die Zeit auf eine passende Linie (Abscisse) eines Millimeterpapiers aufträgt, etwa 1 cm gleich 10 Tage, da man dann bequem für jeden Tag einen Raum von einem Millimeter Breite zur Verfügung hat. Auf einer zur Zeitlinie senkrechten Linie (Ordinate) kann man die Helligkeiten in Stufenangaben oder in umgerechneten Größenklassendaten eintragen. Die Helligkeitspunkte werden wir durch einen Linienzug (die graphische Kurve) zu verbinden suchen, dann werden der höchsten Erhebung der Linie das Maximum, der tiefsten Stelle das

Minimum des Lichts des Veränderlichen entsprechen. Für diese beiden Werte werden wir mit ziemlicher Sicherheit die Tage ablesen können. Sind viele Maxima der Zeit nach bekannt, so können wir vorläufig eines der am besten bestimmbaren als Ausgangsepoche E_0 auswählen und anfangs das Mittel aller Perioden (gerechnet von Maximum zu Maximum) als einstweilige Periode P annehmen. Wir bekommen dann als sogenannte Elemente:
Maximum $M = E + P \times E$, wo E die Epochenzahlen 0, 1, 2, 3, 4 usw. darstellen. Wie die Ausgangsepoche und die Perioden genauer bestimmt werden, würde hier zu weit führen. Als besonders empfehlenswerte kleinere Schrift möchte ich das Sonderheft des „Sirius", die „Veränderlichen Sterne", Anleitung zur Beobachtung und Berechnung ihres Lichtwechsels von P. Guthnik, nennen. Das obige Verfahren wird man auch auf die Minima anwenden können, so daß aus beiden Angaben die Unterschiede M-m berechenbar sind.

Da wir die Helligkeiten des Veränderlichen im größten und kleinsten Lichte ablesen können, so erhalten wir als Unterschied der beiden den Lichtumfang — die Amplitude des Lichtes — in Stufen oder Größenklassen. Das angegebene Verfahren wird im allgemeinen nur für langsam sich ändernde Sterne zulässig sein. Wir werden später sehen, daß häufig rasche Änderungen des Lichtes eintreten können, für solche Sterne wird ein etwas abweichendes Ermittelungsverfahren der Elemente und sonstigen Angaben erforderlich sein. Bei diesen raschen Helligkeitsänderungen von z. B. Perioden gleich oder kleiner einem Tage sind noch die Lichtzeiten zu berücksichtigen, da der Beobachter oder besser die Erde bekanntlich die Stellung im Weltraume ändert, indem die Erde eine elliptische Bahn, deren große Halbachse 150 Millionen km — mittlerer Entfernung Erde von der Sonne — ist, beschreibt.

Ich möchte hier gleich erwähnen, daß die berechneten Elemente die Daten der beobachteten Maxima nur mit mehr oder weniger größerer Sicherheit angeben können, daß also fast stets Reste, die man im Sinne Beobachtung minus Rechnung angeben wird, übrigbleiben. Z. B. von einem gewissen Zeitpunkt ab ergebe die Beobachtung für ein bestimmtes Maximum einen Zeitraum von 1000 Tagen, die Elementenrechnung ergebe 995 Tage, dann ist der Rest: Beobachtung — Rechnung = 5 Tage. Dieser Rest kann, wie leicht zu verstehen ist, positiv oder negativ sein, je nachdem die Elemente kleinere oder größere Daten als die Angaben der Beobachtung ergeben. Damit man einen festen Ausgangspunkt hat, benutzt man mit Vorteil die Julianischen Tage. Für 1926 Januar 0 gilt die Zahl 2424516, für 1925 Januar 0 ist die Zahl um die Tage des Jahres kleiner, also 2424151. Februar 0 ist dasselbe wie Januar 31 des gleichen Jahres. Sind die übrigbleibenden Reste wieder im Sinne Beobachtung — Rechnung eine Zeitlang positiv, dann eine Zeitlang negativ, so wird man, falls der Übergang der positiven in die negativen Werte in einem gewissen Gleichmaß erfolgt, mit Vorteil noch ein Sinus-Glied den bisherigen Elementen hinzufügen, so daß die übrigbleibenden Reste noch kleiner werden. Die Form der Elemente ist dann etwa: Marimum $M = E_0 + P \times E + k \cdot \sin (M_0 + EM)$, wobei k eine konstante Zahl z. B. 5 (Tage) bedeutet, M_0 ist eine Winkelgröße z. B.

17, 4°, M ist der Zuwachs des Winkels für eine Epoche z. B. 6°, E ist wieder die Epochenzahl 0, 1, 2, 3, 4, 5 usw. Man wird nun für einen gegebenen Zeitraum beobachteter Maxima im allgemeinen mit der zuletzt angegebenen Form der Elemente die Reste zu recht kleinen Beträgen herabbringen können, vor allem wenn man noch weitere geeignete Zusatzglieder (das obige Sinus-Glied wollen wir als Zusatzglied betrachten) hinzufügt. Man hat aber auf diese Weise wenig Vorteil erzielt, schon nach einigen weiteren Epochen, die sich neu hinzukommenden Maxima anschmiegen sollen, werden die Elemente versagen, d. h. trotz unserer Zusatzglieder werden die Reste wieder größer und größer werden. Man hat sich deshalb in letzter Zeit so geholfen, daß man die Zusatzglieder bei den langperiodischen Sternen beseitigte und lieber für einen gewissen Zeitraum gültige Elemente der ersten Form einführte und dann wieder, wenn die Reste zu groß werden sollten, diese durch neue auch wieder für einen beschränkten Zeitraum passende Elemente ersetzte. Auch dies ist nur ein Hilfsverfahren. Benutzen wir z. B. die jetzt gebräuchlichen Elemente für RT Herculis, einen Veränderlichen, dessen Rektaszension $17^h 4^m 59^s$ und dessen Deklination $+ 27^0 14,'9$ (beide Werte für 1855 gültig) sind: Maximum M = 2424523 + 292,7 E, so finden wir, daß für das 24 Perioden vorher liegende Maximum 2417427 (den errechneten Wert zu 2417498,2) die Abweichung B-R = — 71 Tage beträgt, also ein großer Betrag von fast einem Viertel der Periode. Man kann hier natürlich nicht den Elementen den Vorwurf der Unsicherheit machen, denn es liegt in der Natur der Sache der instantanen Elemente, nur einem gewissen Zeitraum gerecht zu werden. In dem Beobachtungszirkular der Astronomischen Nachrichten Nr. 11 des Jahres 1924 gab ich die neuen Elemente, die sich den Beobachtungen gut anschmiegen, an. Sie sind:

Maximum:

$$M = 2413496{,}000 + 304^d \cdot E - 0^d{,}33333 \cdot {}^1/_2 E\,(E - 1) \cdot \sin\,(24^0 + 2^0 E).$$

Als Ausgangsepoche ist (E=0) 1895 Okt. 29 angenommen worden, die erste Zahl der gegebenen Elemente ist die entsprechende Angabe in julianischen Tagen. Die 10 beobachteten Maxima gebe ich gleich in julianischen Tagen an, sie sind: 2413490, 4105 (Parkhurst, Yendell), 4417, 5315 (Parkhurst, Hartwig), 5619, 7427, 2422478, 2762, 3066, 3348. Diese Maxima werden durch die obigen Elemente wie folgt dargestellt:

B-R in Tagen:

$$-6^d{.}0,\ +1.2,\ +9.5,\ -2.1,\ -0.7,\ -1.1,\ +6.2,\ -3.4,\ +7.2,\ -4.0.$$

Nur das Maximum 2415952 wurde nicht berücksichtigt, da der Beobachter Townly dieses Maximum selbst als wenig sicher angibt, und da Esch schon einige Tage vorher den Stern in abnehmendem Lichte fand.

Die vorläufige langsame Abnahme der Periode, auf die schon die Beobachtungen von L. Campbell hinweisen, hat sich bestätigt, sie ist durch das periodische Glied zum Ausdruck gebracht. Die Periode hat von 304 Tagen bei E = 0 abgenommen bis zu dem Betrage von 293,0 Tagen bei E = 35, wie auch die Beobachtungen bestätigen. Daß die Abnahme der Periode jetzt eine sehr geringe ist, zeigen die Periodenwerte für E = 31, E = 32, E = 33. Die entsprechenden Periodenwerte

sind: $P_i = 293{,}6$; 293,4; 293,2. Soweit meine damaligen Angaben. Inzwischen sind mir 2 weitere Beobachtungsergebnisse bekannt geworden, nämlich die beiden Maxima: 2423644 und 2423933. Wir wollen sehen, wie weit die Daten der Elemente von diesen Maxima abweichen. Für beide Maxima muß ich die Periodenwerte für E = 34 und E = 35 bestimmen. Wir finden für E = 34:

$$241\,3496.000 + 304 \times 34 - 0.33333 \frac{34(34-1)}{1.2} \sin(24^0 + 2^0 \times 34) = 3645.1$$

(Beob. 3644)

und für E = 35 haben wir:

$$241\,3496.000 + 304 \times 35 - 0.33333 \frac{35(35-1)}{1.2} \sin(24^0 + 2^0 \times 35) = 3938.2$$

(Beob. 3933)

Die Reste oder Angaben Beobachtung — Rechnung sind — $1^d{,}1$ bzw. — $5^d{,}2$. Also haben wir eine recht gute Übereinstimmung, wie schon daraus ersichtlich ist, daß in der Geschichte und Literatur der veränderlichen Sterne Band 2 Seite 82 vermerkt ist: „Immerhin ist die durchschnittliche Abweichung eines Maximums ± 12 Tage, was aber nicht auffällig ist gegenüber der manchmal 2 Monate langen Dauer des größten Lichtes."

Ich werde noch die Periodenwerte für E = 36, 37, 38 angeben, damit wir die weitere Abnahme der Periode ersehen und sie mit dem jetzigen Periodenwert 292,7 der instantanen Elemente vergleichen können. Das obige Rechnungsverfahren ergibt:

für E = 36 242 4231.2, für E = 37 242 4524.2, für E = 38 242 4817.2.

Die Periode ist bei dem Betrag 293,0 Tage für die Epochenzahlen 36, 37 38 stehengeblieben. Bei den instantanen Elementen hatten wir als Periodenwert 292,7 Tage. Die hiermit vorausberechneten Maxima für 1926 finden nach dem Katalog und den Ephemeriden der veränderlichen Sterne am 7. Januar und 27. Oktober statt. Meine Elemente, die dem ganzen Beobachtungszeitraum sich anpassen, liefern uns hierfür die Angaben: 1926 Januar 8 und Oktober 28. Das Zusatzglied mit dem Faktor $-0{,}^d33333$ besitzt als weiteren Faktor noch das Sinusglied sin $(24^0 + 2^0.E)$. Ich habe das sin-Glied beigefügt, weil ich mir nicht denken kann, daß die vorläufige Abnahme der Periode sich ad infinitum fortsetzt. Dies würde bewirken, daß die Maxima schließlich zeitlich nicht mehr getrennt sind, dann würde der Stern eine Zeitlang unveränderlich sein. Durch den von mir dem Zusatzglied beigefügten sin-Faktor ist angedeutet, daß die Periode 304 Tage bis zu einem gewissen Betrage abnehmen kann, dann aber wieder ansteigt und sogar ihren jetzigen Ausgangswert 304 Tage übersteigt. Gleichzeitig stellt das sin-Glied das Korrektionsglied dar, da die Änderung der Konstanten des sin-Gliedes über die Dauer der Abnahme bzw. Zunahme der Periode entscheidet.

Wir wollen nun sehen, daß die Wahl des Hauptfaktors —0,33333 Tage nicht willkürlich ist oder durch Zufall gefunden wird. Das tatsächliche Beispiel des Veränderlichen RT Herculis ist für unsere folgende Betrachtung nun zu schwierig und weitläufig. Wir werden deshalb ein leichtes Beispiel der Vereinigung zweier fingierter instantaner Elementensysteme bringen.

Für einen ersten Zeitraum sollen die Elemente: Maximum $M_1 = 2415020 + 120$ E die Beobachtungen gut darstellen. Einige Zeit fehlen Beobachtungen, dann sollen für einen zweiten Zeitraum die Elemente: $M_2 = 2423420 + 100$ E gelten. Wir sehen, daß die Periode um 20 Tage abgenommen hat.

Wie macht sich überhaupt eine Abnahme der Periode rechnerisch bemerkbar? Diese Frage werden wir zuerst beantworten müssen, bevor wir das spezielle Beispiel behandeln.

Haben wir z. B. einen Ausgangspunkt 1000 Tage und fügen als beständig um einen Tag abnehmende Periode den Wert:

$P_i = 100 - a \cdot 1$ (Tage) hinzu, wobei i und a die Zahlen 0, 1, 2, 3, 4, 5 usw. durchlaufen, so sind die ersten 10 Werte:

1.	Wert	=	1000	+	100	= 1100
2.		=	1100	+	99	= 1199
3.		=	1199	+	98	= 1297
4.		=	1297	+	97	= 1394
5.		=	1394	+	96	= 1490
6.		=	1490	+	95	= 1585
7.		=	1585	+	94	= 1679
8.		=	1679	+	93	= 1772
9.		=	1772	+	92	= 1864
10.		=	1864	+	91	= 1955

Die Summe der Periodenwerte $P_i = n \cdot P_0 - \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2} k$, wobei k die ständige Abnahme der Periode, also hier 1 Tag bedeutet; n ist bei unserem Beispiel 10, $P_0 = 100$ Tage, somit finden wir:

$10 \times 100 - \frac{10 \times 9}{1 \times 2} = 1000 - 45 = 955$, fügen wir diese Zahl zum Ausgangswert 1000 hinzu, so erhalten wir bei der direkten Rechnung denselben Wert 1955 Tage. Wir kommen nun zu unserem Beispiel der fingierten Beobachtungen zurück und müssen hier die ständige Abnahme der Periode für jede einzelne Periode zu finden trachten. Wir bilden den Unterschied beider Ausgangsepochen und finden:

$2423420 - 2415020 = 8400$ Tage. Von der Periode unseres 1. Systems brauchen wir 70 Werte, da $120 \times 70 = 8400$ ist. Für die Periode des 2. Systems benötigen wir 84 Werte. Somit werden wir im ganzen unter der Voraussetzung der gleichmäßigen Abnahme der Periode $\frac{84 + 70}{2} = 77$ Werte benötigen, um die Elemente des ersten Systems als natürlichen Ausgangspunkt benutzen zu können. Wenn 77 Werte der Periode erforderlich sind, so erhalten wir bei Benutzung der Periode 120 Tage für die Ausgangsepoche des 2. Systems einen Wert, der um den Überschuß an Perioden also um $7 \times 120 = 840$ Tage zu groß ist. Wir fanden vorher die Formel $\frac{n(n-1)}{2} k$. Dieser Wert entspricht gerade dem Überschuß. $n = 77$ ist uns als Zahl der Periodenwerte bekannt, daher ist k, die konstante Abnahme der Periode,

leicht zu berechnen. Wir haben als Berechnungsgleichung: $840 = \frac{1}{2} k\, 77.$ (77—1), k ist somit —0,28709 Tage, die tatsächliche Abnahme der Periode für jede einzelne weitere Periode. Ich hatte erwähnt, daß k (die Abnahme) keine Konstanz haben muß. Wir brauchen nur einen sin-Faktor hinzuzufügen, so daß wir auch besonderes Verhalten des Periodenwertes mathemathisch darstellen können, z. B. Zunahme, zeitweise Konstanz und Abnahme einer Periode. Wir wollen uns wieder dem Beobachtungsverfahren zuwenden. Zuerst lernten wir die Argelandersche Stufenschätzungsmethode kennen, die vor allem Hartwig gepflegt hat, und die auch noch jetzt wertvolle Dienste leistet. Es wird uns aber interessieren zu erfahren, wie man noch weiterhin in der Lage ist, Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen.

Bei der visuellen Photometrie (Lichtmeßkunst) haben wir 2 Hauptmeßapparate, das Polarisations- und das Keil-Photometer. Das erstere ist am bekanntesten unter dem Namen seines Erfinders Zöllner, zuletzt Professor der Astrophysik in Leipzig. Sein Photometer beruht im wesentlichen darauf, 2 leuchtende Objekte, einen künstlichen Lichtstern und den zu messenden wirklichen Stern in nahezu gleicher Helligkeit und in meßbarem Zustande erscheinen zu lassen. Durch zweckmäßige optische Einrichtung gelang es Zöllner, daß beide zu vergleichende Lichtpünktchen auf dem gleichen Hintergrunde erkennbar werden. Die Abschwächung des künstlichen Lichtes ist an einer Kreisteilung feststellbar und kann in 4 Stellungen eines drehbaren Prismas abgelesen werden, was den Vorteil bietet, bei dem Messen den natürlichen Stern im Kreis um den künstlichen herumzuführen, so daß man ihn am zweckmäßigsten an den 4 Ecken eines gedachten Kreuzes, wobei der Kreuzpunkt das künstliche Lichtpünktchen ist, beobachtet. Diese Anordnung vermeidet auch noch entstehende Fehlerquellen.

Es kann noch ein weiteres drehbares Prisma nebst einer Bergkristallplatte eingesetzt werden, wodurch man dem künstlichen Stern die Farben des natürlichen Sterns bis zu einem gewissen Grade geben kann. Gewöhnlich ist dann ein besonderer Kolorimeter- (Farben) Kreis vorhanden, dessen Ablesung die direkte Farbe des natürlichen Sterns angibt. Die Verwendung zur Bestimmung der Farben der Sterne wird aber wegen der Zusammensetzung des künstlichen Farbenlichtes wenig in Frage kommen. Den Nachteil, daß der künstliche Stern dem wirklichen Stern im Aussehen nicht gleicht, hat Pickering zu beheben gesucht. Das von ihm erfundene Photometer läßt uns 2 natürliche Sterne gleichzeitig beobachten und durch geeignete Drehung eines Prismas kann man bewirken, daß das Licht der beiden an Helligkeit verschiedenen Sterne gleich wird, indem das Licht des helleren Sterns geschwächt wird, während gleichzeitig das des dunkleren Sterns verstärkt wird. Die ablesbare Drehung gibt dann den Helligkeitsunterschied der beiden Sterne an.

Eine andere Art, die Helligkeiten von Sternen zu messen, beruht darauf, daß man einen Keil aus Rauchglas, das sich als am zweckmäßigsten erwiesen hat, vor dem Lichtpünktchen des Sterns so lange bewegt, bis die Dicke des Keils an der betreffenden Stelle so groß wird, daß eben das Lichtpünktchen verschwindet. Die Verschiebung des

Keils oder die Dicke der benötigten absorbierenden Glasschicht ist leicht feststellbar. Mißt man hiermit zuerst das Verschwinden des Sterns A bei der Stellung a, dann des unbekannten Sterns B bei der Stellung b, so gibt a—b ihren Helligkeitsunterschied in Teilen der Keilverschiebung an. Da der Glaskeil aber alle Farben der Sterne nicht gleichmäßig absorbiert und auch verschiedene Beleuchtung des Himmelsgrundes z. B. Mondschein, also hellerer Grund, Sterne rascher verschwinden läßt, so ist dieser bequeme Meßapparat nur zweckmäßig unter Beachtung dieser Umstände zu benutzen. Da das Auslöschen des Sterns Schwierigkeiten bietet, so hat man bei dem Keilphotometer durch die Einführung eines künstlichen Sterns wesentliche Verbesserungen in der Sicherheit des Verfahrens erzielt. Der Keil wird nur dazu verwendet, das Licht des wirklichen Sterns bis zum Grad der Helligkeit des künstlichen Sterns herabzubringen. Es sei noch erwähnt, daß man es bequem erreichen kann, daß die Lichtquelle einen künstlichen Stern erzeugt, dies wird durch Vorbringen eines Diaphragmas bewirkt oder durch eine kleine glänzende Kugel, die das Licht der Lichtquelle reflektiert. Ein neues Photometer von H. Schering läßt statt der Vergleichung der punktförmigen Lichtobjekte kleine runde Flächen entstehen, die das Licht von den beiden Vergleichsobjekten derart bekommen läßt, daß die vom wirklichen Stern beleuchtete Kreisfläche von einem Kreisring, der durch die künstliche Lichtquelle beleuchtet wird, gerade umgeben wird, so daß man direkt die Flächenhelligkeiten vergleichen kann.

Ein weiteres Verfahren zur Bestimmung der Helligkeiten von Sternen bietet uns die Photographie. Betrachten wir eine photographische Platte, so finden wir, daß die Sterne als kleine Scheibchen — Sternbilder — auftreten und zwar mit dem Unterschied, daß die Scheibchen der helleren Sterne größere Flächen bilden. Diese Tatsache hat schon 1857 Bond zu photographischen Helligkeitsmessungen benutzt, indem er den Durchmesser der Sternscheibchen bestimmte. Man wird am praktischsten zwei senkrechte Durchmesser bei den Sternbildern messen, um die Genauigkeit zu erhöhen. Da die Lichtgesetze für photographische Platten nicht bekannt sind, wie z. B. die Größe der Sternscheibchen bezw. ihr Durchmesser von der Dauer der Belichtung und der Lichtwirkung des Gestirns abhängt, so begnügt man sich am einfachsten damit, den Durchmesser photometrisch bekannter Sterne als Grundlage einer Tabelle zu benutzen. Man mißt den Durchmesser am leichtesten mit einem nicht zu stark vergrößernden Mikroskopapparat, bei dem man die Bewegung eines Fadens, der von einem Rande des Sternbildchens bis zum andern auf dem zumessenden Durchmesser gleitend gesehen wird, in Teilen einer Mikrometerschraube abliest. Seien z. B. für die bekannten Sterne A und B die Durchmesser in Teilen der Mikrometerschraube ak + 10k und ak, die photometrischen Helligkeiten der Sterne seien $6,^{m}0$ und $7,^{m}0$, so wird für den zu untersuchenden Stern C, wenn sein Durchmesser ak +5k ist, seine Helligkeit $6,^{m}5$ sein. Diese Methode ist recht bequem, bietet aber Nachteile, wenn die Sternscheibchen nicht sehr gut ausgeprägt sind, auch wird ihre Anwendung unsicher, wenn man Helligkeiten schwächerer

Sterne als die photometrisch bekannten Sterne bestimmen will, da man dann kein zuverlässiges Maß besitzt, ob die Abnahme der Durchmesser in Mikrometerteilen der Abnahme der Sternhelligkeiten entspricht. Auch noch auf eine andere Weise kann man bei photographichen Sternaufnahmen die Helligkeit von Sternen bestimmen. Betrachten wir uns die Sternbilder genauer, so werden wir sehen, daß bei den helleren Sternen die Schwärzung stärker ausgeprägt ist als bei den schwächeren. Auf dieses Verfahren, die Helligkeit der Sterne aus dem Grade der Schwärzung abzuleiten, hat zuerst Schwarzschild hingewiesen. Nun sind aber die Bilder der Sterne auf den Platten, falls sie in der Brennebene des Fernrohrs hergestellt sind, für eine Messung mit dem für die Durchmesserbestimmung besonders verfertigten Mikrometer wegen ihrer Kleinheit ungeeignet. Man hat sich deshalb dadurch geholfen, daß man die Aufnahmen, wie Schwarzschild vorschlug, außerhalb der Brennebene macht, wodurch man größere Sternscheibchen = Flächen erhält, deren Schwärzung leichter zu messen ist. Besonders wirksam hat sich erwiesen, daß man den Stern durch geeignete Bewegung der Platten eine schraffierte Fläche erzeugen läßt. Störend macht sich hierbei bemerkbar, daß die photographische Platte, wie bekannt, gegen rotes Licht wenig empfänglich ist, wir bekommen also von einem unserem Auge heller erscheinenden roten Stern ein schwächeres photographisches Bild, als von einem weißlichen Stern, der direkt gesehen schwächer erscheint. Das bei den photographischen Belichtungstabellen erfahrungsweise festgestellte Gesetz, daß die Schwärzung einer Platte einen festen Wert hat, wenn das Produkt aus Belichtungsdauer und Lichtwirkung dasselbe ist, muß also eine gewisse Umwandlung erfahren. Zur Bestimmung der Schwärzung hat sich das Hartmannsche Mikrophotometer als am geeignetsten erwiesen, da man mittels der Apparatur eines Lummer-Brodhunschen Würfels — 2 rechtwinklige Prismen, die an der Hypotenusenfläche zusammengekittet sind, und bei denen ein kleines Teilchen in der Mitte total reflektierend wirkt — Teile einer photographischen Platte mit einem Schwärzungskeil vergleichen kann. Die Übereinstimmung der Stelle der Skala mit der untersuchten Stelle der Platte gibt das Maß der Helligkeit an. Auch Drahtgitter, die vor dem Objektiv der Fernrohre angebracht werden, verwendet man, um die Helligkeitsgesetze festzustellen, indem man gleich dauernde Aufnahmen mit und ohne Gitter vornimmt und die Abschwächung durch das Gitter berücksichtigt. Die durch das Gitter verursachte Abschwächung wird zweckmäßigst vor der Verwendung für die Sternaufnahmen bestimmt werden. Ein anderes Verfahren benutzt Halbgitter, so daß für die Hälfte des Objektivs durch das Gitter die Lichtwirkung der Sterne abgeschwächt ist. Solche Drahtgitter und zwar in Sektorenform sind auch bei dem Bamberger Heliometer vorhanden, um bei Messungen der Entfernungen zweier Sterne, bei denen der eine bedeutend heller als der andere ist, nicht durch Überstrahlung der helleren Sterne gestört zu werden. Auch hier ist die abschwächende Wirkung der 3 Gittersektoren genau feststellbar.

Durch das Bestreben sich bei der Beurteilung von Lichteindrücken durch das menschliche Auge frei zu machen, wie wir es bereits in

nicht sehr vollkommener Weise bei der Durchmessermethode erreicht haben, ist es gegeben, daß man auch photoelektrische Methoden benutzt, um die Helligkeiten von Sternen zu bestimmen und zu vergleichen: Am bekanntesten dürfte die Lichtempfindlichkeit des Selens sein, das seine Widerstandsfähigkeit gegen Durchfließen des elektrischen Stromes bei Bestrahlung meßbar ändert. Hierauf beruhen die Untersuchungen Stebbins mit einer Selenzelle, deren Widerstandsänderung bei Bestrahlung durch helle Sterne er mit einem äußerst empfindlichen Ampèremeter bestimmte. Da aber das Anwendungsbereich der Selenzelle nur auf hellere Sterne beschränkt ist und bei der eigenartigen Trägheit des Selens Schwierigkeiten bietet, so ist diese Methode durch die Benutzung photoelektrischer Zellen verdrängt. Besonders P. Guthnick und H. Rosenberg haben auf diesem Gebiete bahnbrechend gewirkt. Ich übergehe wieder die Beschreibung des komplizierten Apparates. Seine Wirkungsweise beruht auf dem eigentümlichen Verhalten, dem sogen. Photoeffekt von Kalimetallen, nämlich bei Lichteindrücken Elektronen abzuspalten, die ein empfindliches Elektrometer, Einfadeninstrument, meßbar aufladen. Rosenberg hat durch Benutzung von durch Verwendung bei dem Rundfunk bekannten Verstärkerröhren die schwachen photoelektrischen Ströme zu verstärken getrachtet. Die Genauigkeit der photoelektrischen Helligkeitsschätzungsmethode ist außerordentlich groß, die Unsicherheit oder besser der mittlere Fehler dürfte nur $\pm 0,^{m}01$ betragen, während bei den anderen Verfahren dieser Betrag einen ca. fünffachen und noch größere Werte annimmt.

Bei den Betrachtungen der Sterne wird man auf eine Eigenschaft unserer Erdatmosphäre hingewiesen, die in einer Absorption des Lichtes besteht und als Extinktion bezeichnet wird. In der Nähe des Horizont ist die Extinktion am größten; sie bewirkt, daß das Licht eines Sterns 1. und 2. Größe so vermindert wird, daß es dem Licht von bedeutend schwächeren Sternen in größerer Höhe gleichkommt. Da die Luftsäule für den Betrag der Extinktion maßgebend ist, so muß man die jeweilige Höhenlage des Beobachtungsortes berücksichtigen, ebenfalls ist die Verschiedenheit der Extinktion bei den Sternfarben zu beachten.

Bevor ich über das Wesen der veränderlichen Sterne berichte, möchte ich noch oft gebrauchte Begriffe hier genauer erklären. Ich meine, wie Hagen angibt, die 5 Elemente der Lichtänderung: Amplitude, Epoche, Periode, Lichtkurve und Farbe. Die Periode, nach Argelander die Grundlage unserer Erkenntnis, wurde gleich anfangs als Zeitintervall von Maximum zu Maximum oder von Minimum zu Minimum aufgefaßt. Diese Definition stammt von Westphal und ist nur bei einförmigem Lichtwechsel streng gültig. Es gibt aber auch zusammengesetzte Perioden, bei denen sich wiederholende Wellen in der Periode, die einfachen Beziehungen unterworfen sind, auftreten. Z. B. würde ein Veränderlicher, der vom Minimum m abgerechnet das Nebenmaximum NM nach 10 Monaten, das Hauptmaximum HM nach 15 Monaten erreicht, ein Veränderlicher mit der Periode = 15 Monate sein. Wir haben dann nämlich einen Veränderlichen mit den in der Periode auftretenden Wellen von 10 und 5 Monaten Dauer. Ist bei einem Veränderlichen keine Gesetzmäßigkeit bei den Wellen vorhanden, z. B. sind

Wellen vorhanden, die sich nicht nach einem Zyklus wiederholen, etwa 15 Wochen, dann 10, 5, 8, 9, 14, 15, 4, 7, 19, 8 usw., so können wir bei diesen Unregelmäßigkeiten in den Lichtschwankungen eine mehrfache Periode vermuten, wieviel, ob zwei oder mehrere Zyklen vorhanden sind, läßt sich nicht erkennen, vielleicht bietet der sehr unregelmäßige U-Geminorum-Stern SS Cygni ein Beispiel für einen Veränderlichen mit mehrfacher Periode. Ein Nachweis einer mehrfachen Periode ist bis jetzt noch nicht erbracht worden.

Der Begriff der Amplitude bei der Angabe für die Größe der Lichtschwankung sei uns hier gegeben als Schwankung des Lichtes von der kleinsten Helle (also etwa einem Minimum) bis zur größten Helligkeit (etwa einem Maximum). Da z. B. in dem Katalog der Vierteljahresschrift der Astronomischen Gesellschaft stets die überhaupt erreichte größte Helligkeit und ebenfalls das je eintretende kleinste Licht des Veränderlichen angegeben werden, so haben wir es mit absoluten Lichtamplituden zu tun. Nun wissen wir aber aus Erfahrung, daß ein Veränderlicher z. B. bei irgendeinem Maximum nicht den Grenzwert seiner größten Helligkeit zu erreichen braucht. Wollen wir nur seine jeweilige Lichtamplitude von einem Maximum zum nächsten Minimum angeben, so haben wir die relative Amplitude. Bei diesen Lichtschwankungen wird man noch zwischen visuellen, photographischen und lichtelektrischen Lichtschwankungen unterscheiden müssen.

Da man einen Ausgangspunkt für die Elementensysteme haben muß, so haben wir schon anfangs hierfür den Begriff der Epoche kennen gelernt. Die Hauptepoche E_0 wird man wohl am einfachsten auf die Zeitpunkte der Maxima und Minima legen. Da die Bestimmung einer solchen Hauptphase (Maximum oder Minimum) zu ungenau wäre, so wird man sich nach verschiedenen Verfahren aus der Lichtkurve eine Hauptphase berechnen. Von einigen Beobachtern wird auch als Hauptphase die Stelle angegeben, bei der der Variable einen Wert der Lichtgröße der Lichtkurve durchläuft, der dem Mittelwert aus Max. und Min. entspricht, dieser Mittelwert MW ist somit zahlenmäßig $= \frac{1}{2}(M + m)$. Beachtenswert sind noch die Wendepunkte, die die Trennungspunkte der Maxima und Minima darstellen, in ihnen wird die Änderung des Lichts am raschesten vor sich gehen, während bei den Maxima und Minima die Lichtänderung verzögert wird, um schließlich einen Stillstand, der sich auch zeitlich ausdrücken kann, zu erleiden, um dann im entgegengesetzten Sinne weiterzuwirken. Also z. B. bei regelmäßigem Verlauf der Lichtänderung haben wir vom Wendepunkt aus rasche Zunahme des Lichts bis zum Maximum, dann abklingenden Zustand, die Zunahme des Lichts wird immer kleiner werden, schließlich Stillstand, fast sofortige oder auch später eintretende Änderung durch Abnahme des Lichts, die, wie schon der Name sagt, bis zum Minimum anhält.

Die Lichtkurve selbst werden wir am besten graphisch darstellen, da wir dann ihre Form am sichersten und bequemsten verfolgen können. Wir erkennen leicht die Hauptphasen der Maxima und Minima, die Wendepunkte, eventuelle Nebenphasen und Stillstand und sehen vor allem den mehr oder weniger symmetrischen Verlauf der Lichtkurve

zu den beiden Koordinatenachsen, bei denen wir wieder die eine als Zeitachse, die andere als Helligkeitsachse wählen.

Es bleibt uns noch übrig, die Farbe zu betrachten. Nach Hagen werden wir sie durch den sichtbaren Teil des Spektrums definieren. I. G. Hagen schreibt in seinem großen Werke über die veränderlichen Sterne im ersten Bande Seite 530 „Ist von der Farbe eines Veränderlichen die Rede, so hat man nicht an Kunstfarben zu denken, auch nicht an die Farben des Sonnenspektrums, noch weniger an subjektive Farbenempfindungen; mit diesen Theorien, die oben Seite 292 von der Theorie der Sternfarben ausgeschieden worden, stehen die veränderlichen Sterne nur indirekt in Berührung, es handelt sich vielmehr um den Seite 302 beschriebenen Abkühlungsprozeß, der bei den Veränderlichen Anwendung findet". Mit der Farbe ist bei den Veränderlichen stets das Spektrum verbunden, weil zwischen beiden ein inniger Zusammenhang besteht. Die Vertiefung der Farben findet in der Reihenfolge der Spektralklassen statt. Nach Osthoff finden wir (Astronomische Nachrichten Band 153 Seite 171): „Meine Erfahrungen lassen sich dahin zusammenfassen, daß es keinen seine Farbe periodisch wechselnden Stern gibt, es sei denn, er wechselt zugleich seine Helligkeit".

Auch ist ein Zusammenhang der Farbe und der Periode vorhanden, auf den wir später noch zurückkommen werden.

Wenden wir uns nun den verschiedenen Anschauungen über das Wesen der Veränderlichen zu. Es gibt wohl kein Gebiet der Himmelskunde, das eine so große Mannigfaltigkeit an Beobachtungsmaterial bietet. Überall sehen wir Verschiedenheiten, die aber doch fast alle eine Überbrückung durch Übergänge aufweisen. Es gibt Veränderliche mit Periodendauer von etwa 3 Stunden bis viele Jahre und von geringster Lichtänderung von etwa einem Zehntel einer bis ca. 9 Größenklassen. Wenn wir die Veränderlichen einteilen wollen, so würde eine einfache natürliche Einteilung, wie sie etwa G. Müller gab, uns folgendes Ergebnis bringen: 1. Langperiodische Veränderliche wie Mira Ceti mit gewisser Gleichmäßigkeit der Periode, 2. Unregelmäßige Veränderliche, bei denen keine Gesetzmäßigkeit im Lichtwechsel nachweisbar ist, wir können hierzu die Novae oder neuen Sterne zählen, 3a. Kurzperiodische Veränderliche und 3b. Algolsterne, die längere Zeit ihrer Periode wie Algol unverändert sind. Bei Algol selbst ist die Dauer der Periode in Tagen: 2, 86731, die Dauer der Verfinsterung nur 9,3 Stunden, ein Stillstand im kleinsten Lichte findet nicht statt, im Maximum erreicht Algol 2,3, im Minimum 3,5 Größenklassen. Auch jetzt ist man in den Klassifizierungsversuchen nicht viel weiter gelangt, immer noch ist eine Einteilung nach auffallenden Kennzeichen in den Lichtänderungen erforderlich, bei der, wie schon erwähnt, es Schwierigkeiten bietet — bei den oft geringen Unterschieden zwischen dem Verhalten der den Grenzen der einzelnen Klassen entsprechenden Arten der Variabeln — hier eine sichere Zuweisung zu einer bestimmten Klasse vorzunehmen. Das beste wäre eine Einteilung nach physikalischen Eigenschaften, dies ist aber bisher nicht möglich, da uns die Ursache des Lichtwechsels nur in einigen Spezialfällen bekannt ist.

Bevor ich die jetzt gebräuchliche Klassifizierung bringe, möchte ich

auf eine Einteilung hinweisen, die nur 2 Hauptgruppen unterscheidet: 1. Hauptgruppe enthält Veränderliche mit Perioden von 7 bis 13 Monaten Dauer, 2. Hauptgruppe mit Perioden von weniger als 1½ Wochen. Bei den Variabeln der ersten Gruppe finden wir hauptsächlich Sterne von rötlicher Tönung; wir können leicht bemerken, daß je länger die Periode ist, desto stärker und somit auffallender sich die Rotfärbung bemerkbar macht. Die Unregelmäßigen sind meistens noch intensiver rot gefärbt, wir können sie deshalb als Variable mit sehr langer Periode mit vielen Wellen ansehen. Wenn wir ihre Lage am Himmel feststellen, so finden wir, daß bei den Veränderlichen mit langer Periode im allgemeinen keine Bevorzugung der Milchstraßengegenden vorhanden ist. Anders ist dies bei der 2. Hauptgruppe, hier ist eine Lagerung der Veränderlichen in der Nähe der Milchstraße deutlich erkennbar. Wir haben bei diesen Veränderlichen mit kurzer Periode es hauptsächlich mit Sternen weißlicher Färbung zu tun.

Bei der jetzt gebräuchlichsten Klassifizierung werden wir auf einige Namen der Veränderlichen stoßen. Die verschiedenen Bezeichnungsweisen werde ich nicht anführen, sondern mich auf die von Argelander herrührende Kennzeichnungsart beschränken, was wohl berechtigt ist, da sie immer noch die bevorzugteste und praktischste ist. Argelander verwandte zur Bezeichnung die großen lateinischen Buchstaben des Alphabets und zwar von R anfangend. Da bei der großen Zahl der Veränderlichen die einfachen Buchstaben nicht ausreichten, wurden von der Astronomischen Gesellschaft Doppelbuchstaben eingeführt, so daß z. B. eine Bezeichnung von Veränderlichen im Sternbild des Schwanes (Cygnus) mit R Cygni beginnt, dann folgen die Buchstaben S bis Z, darauf RR bis RZ, SS bis SZ, schließlich ZZ, worauf noch die Zusammenstellungen AA — AZ usw. bis QZ benutzt werden können, so daß also bei einem Sternbild 334 Namen den Veränderlichen gegeben werden können. Die Sterne, die schon eine Bezeichnung hatten, wie o Ceti und ß Persei usw. behielten nach Argelander ihren Namen bei.

Da Farbe und Spektrum bei den Veränderlichen eine so große Rolle spielen, so wird es angebracht sein, die Spektren in der jetzt gebräuchlichsten Reihenfolge anzuführen. Nach Scheiner-Graffs Astrophysik finden wir auf Seite 320:

„O. Farbe weiß bis gelb. Hauptklasse der Sterne mit hellen Linien oder Bändern, (ζ Puppis).

B. Weiße Sterne. Die Wasserstofflinien erscheinen noch nicht so kräftig wie beim folgenden Typus, daneben treten die Heliumlinien als charakteristisches Merkmal hervor (Orionsterne).

A. Weiße Sterne. Im Spektrum herrscht die Wasserstoffserie in Gestalt von sehr kräftigen verwaschenen Linien vor. Die Heliumlinien fehlen, die Sonnenlinien, insbesondere H und K, sind noch sehr schwach (Sirius, Wega).

F. Gelbliche Sterne. Die Wasserstoffserie tritt zurück, dafür werden die Kalziumlinien H und K als auffälligstes Kennzeichen der Klasse sichtbar (δ Aquilae).

G. Gelbe Sterne. Zu den bisherigen treten noch zahlreiche andere Metall-Linien hinzu. Die Fraunhoferschen Linien G, H, und K werden besonders auffallend (Sonne, Capella).

K. Tiefgelbe Sterne. Die Linien G, H und K erscheinen noch kräftiger als beim vorangehenden Typus. Wasserstofflinien wieder schwach, das violette Ende des Spektrums auffallend lichtarm (Arkturus).

M. Gelbrote Sterne. Die charakteristischen Eigenschaften der Klasse K treten besonders kräftig auf, daneben erscheinen die Absorptionsbänder des Titanoxyds besonders kräftig (Beteigeuze).

N. Gelbrote Sterne (19 Piscium)."

Nach dieser Angabe der Spektren kann ich jetzt, ohne auf die besonderen Kennzeichen der Spektren immer eingehen zu müssen, die allgemein gültige Einteilung der Veränderlichen bringen, die sich im wesentlichen der Pickerings anschließt:

1. Die neuen Sterne, bekannt durch die berühmte Nova Tycho Brahes (1572 in der Cassiopeja), die anfangs sogar heller als die Venus erschien und erst nach vielen Monaten sich den Blicken entzog.

2. Die langperiodischen Veränderlichen oder Mira Ceti-Sterne.

3. Die unregelmäßigen Veränderlichen.

4. Kurzperiodische Sterne mit großer Regelmäßigkeit im Verlauf der Lichtkurve, δ Cephei.

5. Die Bedeckungsveränderlichen oder Verfinsterungsvariabeln wie Algol, bei denen ähnliche Vorgänge wie bei Sonnenfinsternissen auftreten, also auch hier Bedeckung durch Begleiter.

Die Bezeichnung „Neue Sterne" ist nicht einwandfrei, da wir es nicht mit tatsächlich neuen Sternen zu tun haben, denn jedesmal werden wir an der Stelle des sogenannten neuen Sterns einen Stern auffinden, so daß durch Aufflammen dieses vorhandenen Sternchens die Erscheinung des neuen oder besser temporären Sterns verursacht wird. Bei den Novae können wir Helligkeitsänderungen von 1 bis 10 und mehr Größenklassen beobachten. Eine starke Bevorzugung der Milchstraßengegend tritt auffallend zutage. In den Spektren dieser Sterne machen sich nun gewaltige Linienverschiebungen bemerkbar, überhaupt sind die Eigenheiten des Spektrums so kennzeichnend, daß wir durch ihre Betrachtung allein auf die Natur solcher Veränderlicher schließen können. Die Bezeichnung Veränderliche können wir beibehalten, da ein Lichtwechsel, wenn auch ein sehr rascher und plötzlicher stattfindet, der in der Lebensdauer des Sterns aber nur eine kurze Spanne Zeit bedeuten wird. Die Farbenänderung wird wie bei der Erhitzung eines Eisenstückes auf Weißglut in gelb und dann in rot abklingen, um schließlich eine der 3 Farbenarten wieder als Endzustand anzunehmen. Bei der Heftigkeit der Lichtänderungen wird gleich wie bei Bränden Abschwächung und erneute Verstärkung der Erscheinung stattfinden, wir haben als Lichtkurve etwa die Kurve gedämpfter Schwingungen vor uns. Das Aussehen der Novae bei Abklingen der Erscheinung ist wie etwa bei der Nova Cygni etwas unscharf, vielleicht wie ein Stern, den eine Dunstschicht umgibt, aussehend. Im Spektrum sollen bei sinkender Helligkeit Nebellinien auftreten, was dem Vorhergesagten entsprechen würde. Gerade in der letzten Zeit hat Hartmann, Direktor der Sternwarte La Plata, eine Erklärung der Entstehung der Novae gegeben, die am besten den Beobachtungstatsachen gerecht zu werden scheint. Nach seinem Telegramm

lautet seine Erklärung in wenigen Worten: „Stern bläht sich auf, zerplatzt". Hartmann meint also, daß der Stern von innen heraus eine Veränderung, sei sie nun chemischer oder radioaktiver Natur, erleidet, die sich schließlich bis zur Oberfläche fortpflanzt. Hierdurch wird Vergrößerung des Körpers bedingt, das Aufblähen. In den Astronomischen Nachrichten 5413 teilt Hartmann ausführlicher mit: „Besonders interessant war bei der 1925 aufgefundenen Nova Pictoris der 14 Tage lang beobachtete Anstieg zur größten Helligkeit, der fast mit derselben Geschwindigkeit erfolgte wie die nachherige Lichtabnahme, so daß das Helligkeitsmaximum fast symmetrische Form hat."

„Die Novae bilden somit eine einheitliche Erscheinung, in der das Moment des Helligkeitsmaximums mit seiner plötzlichen Umwandlung des Spektrums den eigentlichen Kern bildet, was uns eine Nova lehrt, das gilt auch für die anderen."

Hartmann findet seine Vermutungen über die Entstehung der Novae durch die Beobachtungen voll bestätigt. Er schließt für die Nova Pictoris auf eine ungeheure Zunahme des Halbmessers vom 27. Mai 1925 bis zum Maximum am 9. Juni, die Zahlenwerte, die er vorläufig angibt, sind: „am 27. Mai 141 000 000 km, am 9. Juni 298 000 000 km, die ganze Lichtzunahme muß durch die Aufblähung — Expansion und Explosion — erklärt werden."

Während der Lichtzunahme haben wir bei der Nova Pictoris keine Änderung des Spektrums vom A-Typus. Mit dem Maximum kommt der Verwandlungsprozeß zu einem gewissen Abschluß. Wir haben sofortiges Abklingen der Erscheinung, mit der Lichtabnahme Abkühlung und damit Zurückgehen des aufgeblähten Zustandes, also Zusammenziehung, es treten hierbei sofort in dem Spektrum Veränderungen auf, die das sogenannte Novaspektrum in seinen verschiedenen Stadien erscheinen lassen.

Hartmanns Angaben ergeben eine befriedigende Lösung des Novaproblems, während die früheren Theorien über Zusammenstoß zweier Weltkörper oder Einsturz von Planeten, auch die Theorie des Eindringens eines Himmelskörpers in eine kosmische Wolke mehr oder weniger Unstimmigkeiten aufkommen ließen. Besonders die bei der Nova Pictoris eintretende erst langsame Lichtzunahme ohne Änderung des Spektrums dürfte sich durch die älteren Lösungsversuche schwer erklären lassen. Auch hier bei der Nova Pictoris wie bei den Novae überhaupt wurden die gedämpften Schwingungen in der Lichtkurve festgestellt, so daß wir also bei dem Lichtverlauf vorübergehenden Anstieg des Lichtes, sogenannte Nebenmaxima, hatten. Ähnliche Schwankungen in der Helligkeit werden sogar in weniger starkem Maße beim Anstieg bemerkt.

Wir verlassen das Gebiet der neuen Sterne und wenden uns der 2. Klasse unserer Einteilung, den langperiodischen oder Mira-Sternen zu. Zu den Mira-Sternen wollen wir Veränderliche rechnen, bei denen die Lichtänderungen periodisch mehrere Monate mit mehr oder weniger größerer Regelmäßigkeit auftreten. Die Dauer der Periode kann zu 3 Monaten bis zu 21 Monaten festgesetzt werden. T Centauri dürfte die kleinste Periode bei dieser Gruppe von Veränderlichen besitzen. Wir finden für ihn eine Periode von 90, 7 Tagen, die Lichtänderung beträgt

bei ihm 3,4 Größenklassen, da sein Maximum zu $5^m,6$ sein Minimum zu $9^m,0$ angesetzt wurden. Teilen wir die langperiodischen Sterne nach der Dauer ihrer Periode ein, so finden wir fast ¾ aller langperiodischen mit einer Periode von 200 bis 400 Tagen. Wir haben schon bei der Betrachtung von RT Herculis, für den ich eine Formel für die Abnahme der Periode gab, gesehen, daß man nicht immer eine Konstanz der Perioden voraussetzen darf, sondern, daß diese selbst Schwankungen unterworfen sind, die auch wieder periodisch auftreten können. Ein viel eklatanteres Beispiel für eine Periodenabnahme zeigt uns R Hydrae, wie ich aus dem interessanten Buche von Newcomb-Engelmann entnehme, „danach hat bei R Hydrae seit 1784 bis zur Gegenwart die Periode von ca. 500 Tagen auf ca. 400 Tage abgenommen". Daß eine solche Änderung in den Perioden auch eine Änderung in der Gestalt der Lichtkurven, in der mehr oder weniger ausgeprägten Erreichung der Grenzwerte der Helligkeiten der Maxima und der Minima vermuten läßt, hat sich an den meisten Beispielen bestätigt. Besonders auffallend erweist sich hier der Hauptvertreter dieser Art von Veränderlichen, Mira Ceti, bei dem wir beträchtliche Schwankungen in seiner durchschnittlich ca. 11 Monate dauernden Periode bis zum Betrage von fast 2 Monaten wahrnehmen können.

Wir hatten bereits erfahren, daß die Veränderlichen mit größerer Periode eine Vertiefung ihrer Farbe nach intensiverer Rotfärbung erleiden. Die Erfahrung lehrt uns noch, daß wir bei den Sternen je nach der Farbe ihr Alter annehmen können und die roten Sterne zu den ältesten Sternen zählen, somit zu denen gehören, bei denen die Abkühlung am weitesten vorgeschritten ist. Da wir die langperiodischen Sterne im allgemeinen als einfache Sterne ansehen dürfen, so wird dem Maximum des Lichts auch ein Maximum eines Verbrennungsprozesses entsprechen, wir dürfen also im Maximum mit höheren Temperaturen als im Minimum rechnen. Diese Vermutungen werden von Adams und Joy bestätigt, da sie im Spektrum der langperiodischen Sterne Linien bemerkten, die, wenn der Stern sich dem Minimum nähert, an Stärke zunehmen; es sollen ähnliche Linien sein, die auch bei irdischen Versuchen bei sinkender Temperatur das gleiche Verhalten aufweisen.

Schon hierdurch werden wir auf das Spektrum der Mirasterne hingewiesen, es ist dieser Klasse von Veränderlichen als so charakteristisches Merkmal gegeben, daß das bloße Vorhandensein eines derartigen Spektrums schon die Veränderlichkeit eines Sterns vermuten läßt. Wir haben im allgemeinen ein Absorptionsspektrum der Klasse M mit deutlich hervortretenden hellen Linien (diese besondere Art der Klasse M wurde Md bezeichnet), bei denen wir eine Verschiebung der hellen Linien nach den dunkleren nach dem violetten Ende des Spektrums zu wahrnehmen können. Bei den Linien sind außer der Verschiebung noch Änderungen in der Form, Vermehrung und Stärke festzustellen, letztere Änderung soll sogar in gewissem direkten Zusammenhang mit der Zunahme der Periode stehen.

Ich hatte erwähnt, daß wir die Mirasterne als einzelne Sterne ansehen wollen, was auch der Konstanz der Radialgeschwindigkeiten bei

diesen Sternen entsprechen würde. Hieraus folgt schon, daß wir die Entstehung der Veränderlichkeit dieser Sterne durch eigene Veränderungen auf den Sternen selbst annehmen müssen. Uns allen ist die ca. 11jährige Periode der Sonnenflecken bekannt, etwas ähnliches dürfen wir bei den langperiodischen Veränderlichen vermuten. Bei unserer Sonne ist dann aber die Fleckentätigkeit im Vergleich zu der der Mirasterne als verschwindend klein anzusehen. Bei den Veränderlichen kann zu dem periodischen Auftreten der Flecke eine ungleichmäßige Verteilung und eine Rotation der Sterne hinzukommen, die den Lichtwechsel erklären lassen. Da bei der Sonne Fackeln, Flocken und Protuberanzen bemerkt werden, so dürften diese ebenfalls bei den betrachteten Veränderlichen vorhanden sein, ihre Gegenwart kann sich durch Sichtbarwerden der besonderen Spektrallinien bemerkbar machen.

Eine befriedigende Lösung für die Entstehung des Lichtwechsels ist jedoch nicht gegeben, denn im Widerspruch steht unter anderem die auch bei anderen astronomischen Untersuchungen vermutete Eigenschaft dieser Sterne Riesensterne von geringer Dichte zu sein. Daß Übergänge zu den einzelnen Gruppen auftreten, sei hier nochmals erwähnt.

Die 3. Gruppe enthält die unregelmäßigen Veränderlichen. Schon ihr Name zeigt uns, daß wir bei ihnen einen Verlauf der Helligkeitsänderungen annehmen können, der sich keinem Gesetze anpaßt. Unvermutet kann eine Änderung im Lichte dieser Sterne auftreten. Auch diese Änderungen werden sich nicht im Laufe der Zeit im gleichen Maße wiederholen, wir werden oft ein ganz unerwartetes Verhalten im Lichtwechsel dieser Sterne vorfinden. Eine Lichtänderung kann sich z. B. in wenigen Wochen, dann wieder erst in Jahren vollziehen. Im allgemeinen wird die Lichtschwankung oder der Unterschied der Helligkeiten der Extreme Maxima und Minima sich in nicht zu weiten Grenzen bewegen, durchschnittlich wird sie kaum mehr als 2 Größenklassen betragen, aber auch hier treten bei einigen Sternen dieser Gattung Lichtänderungen von mehr als doppeltem Betrage auf. Die Spektren der Klassen M, N, K, F und G sind vertreten. Hier wieder haben wir einzelne Riesensterne, bei denen Flecken auftreten oder äußere Einwirkungen vorhanden sind, z. B. Durchgang der Sterne durch kosmische Staubwolken, die den Lichtwechsel verursachen sollen.

Im wesentlichen kann man 4 Arten unterscheiden:

a) Die Veränderlichen vom RW Tauri-Charakter. Bei diesen Sternen haben wir bei einem Lichtwechsel außer dem Auftreten zweier tiefer Minima noch manchmal ein flacheres sogenanntes Nebenminimum ausgeprägt.

b) Die 2. Art bringt uns die U-Geminorum-Sterne, die besonders auf der Bamberger Sternwarte jahrzehntelang mit größter Sorgfalt beobachtet wurden. Ihr den Namen gebender Vertreter U-Geminorum, der längere Zeit in sogenanntem schwachen oder gewöhnlichen Lichte sich befindet ($13^m,8$), kommt plötzlich zum Aufflammen, d. h. seine Helligkeit nimmt oft in mehr oder weniger kurzer Zeit (einige Tage) bis zum Betrage von $8^m,8$ zu, um dann wieder bald rascher, bald langsamer in

seinen gewöhnlichen Lichtzustand zurückzukehren. Einige sich ähnlich verhaltende Sterne dieses Typus wie SS Cygni, RU Persei, SS Aurigae, X Leonis und TW Virginis sind seit ihrer Entdeckung in Bamberg durch Beobachtungen ständig unter Kontrolle gehalten worden. Die Entstehung dieses sonderbaren Lichtwechsels ist nicht bekannt. Die Erscheinung erinnert etwas an das plötzliche Aufleuchten und Verschwinden einer irdischen Lichtquelle bei starkem Nebel. Auch hier, wie man z. B. von der Bamberger Sternwarte beobachten konnte, sieht man die Lichter der tiefer liegenden Stadt ganz durch den Nebel verdeckt, dann plötzlich lichtet sich der Nebel an einigen Stellen und sofort oder auch erst in einigen Minuten sieht man ein oder mehrere Lichter der Stadt aufblitzen, die sich aber bei Zusammenziehen der Nebelschwaden rasch wieder unseren Blicken entziehen.

c) Die 3. Art umfaßt die Sterne vom R Coronae Borealis-Typus. Bisweilen haben diese Veränderlichen viele Monate, manchmal jahrelang ihr ziemlich gleichmäßiges Licht. Dann tritt ohne jede erklärbare Ursache eine Abnahme des Lichtes, also umgekehrt wie bei den U-Geminorumsternen, ein. Diese Abnahme erfolgt ganz unregelmäßig, nach gewisser Zeit kann eine Unterbrechung in dieser Art der Lichtänderung durch Stillstand im Licht oder sogar durch zeitweise Zunahme auftreten. Der Verlauf der absteigenden Lichtkurve erinnert sehr an den der Novae-Sterne, im Spektrum sind Ähnlichkeiten mit diesen festzustellen, ebenfalls ist eine besondere Bevorzugung der Milchstraße, die aber R Coronae selbst nicht teilt, auffallend. Ludendorff vermutet, daß die Bewegung dieser Sterne zeitweise durch absorbierende kosmische Nebel oder Staubmassen stattfindet, die durch die unregelmäßige Beschaffenheit ihrer Schicht den eigentümlichen Lichtwechsel dieser Sterne bedingen.

d) Anschließend an diese 3. Art ergibt sich der 4. Typus der novaähnlichen Sterne, bei denen, wie schon ihr Name sagt, der vermutete Übergang zu den neuen Sternen, Novae der betrachteten 1. Gruppe, noch deutlicher zutage tritt, wenn auch die charakteristischen Merkmale der Novae nicht in so schroffer Weise wie bei diesen hervortreten.

Wir verlassen die mutmaßlichen einzelnen Sterne und kommen nun zu den Doppelstern- oder mehrfachen Sternsystemen, den Veränderlichen der Gruppen 4 und 5. Bei den zuerst zu betrachtenden Veränderlichen der Gruppe 4 möchte ich anfangs gleich erwähnen, daß es eine Hypothese gibt, die bei diesen Sternen die Einzelnatur voraussetzt. Diese Anschauung vertritt die Pulsationstheorie von Eddington. Nach seiner Lehre, die die Veränderlichen als einfache Gasbälle voraussetzt, haben wir uns die Änderungen der Helligkeit, die nach Ludendorff in Beziehungen zu den Änderungen der Radialgeschwindigkeiten stehen sollen, dadurch hervorgebracht zu denken, daß die Gasbälle sich in den dem Lichtwechsel entsprechenden Perioden ausdehnen und wieder zusammenziehen; wodurch aber diese Schwingungen (Pulsationen) ihren Antrieb haben, wissen wir nicht.

Im folgenden wollen wir immer an der Doppelsternnatur dieser Veränderlichen, die auch von Hagen vorausgesetzt wird, festhalten, da mannigfache Umstände wie die beobachteten periodischen Linienver-

schiebungen im Spektrum und die Änderungen der Radialgeschwindigkeiten auf die Natur spektroskopischer Doppelsterne hinweisen, bei denen die eine Komponente wesentlich schwächer oder dunkler als die andere Komponente, wie das Spektrum es erfordert, sein muß. Besonders interessant sind auch die Änderungen im Spektrum bei Erreichung der Extremwerte des Lichts (der Maxima und Minima), bei denen wir auch Verschiebungen des Intensitätsmaximums im kontinuierlichen Spektrum nach blau bzw. nach rot wahrnehmen können. Will man zu dieser Gruppe die Variabeln der Sternhaufen, die ähnliches Verhalten aufweisen, hinzunehmen, so dürfte das Bereich des Spektrums sich von A bis G erstrecken.

Bei diesen langperiodischen Veränderlichen haben wir im allgemeinen große Regelmäßigkeit in den Lichtkurven zu erwarten. Nach Zählung des Herrn cand. astr. Schneller weist der neue Katalog der Variabeln für 1926 240 kurzperiodische Variable mit Perioden von weniger als 1 Tage bis zu 45 Tagen auf.

Er findet 95	Veränderliche, bei denen die Periode < 1 Tag ist.		
33	Veränderliche mit Perioden von	1 bis	5 Tagen
53		5	10
38		10	20
12		20	30
9		30	45

Bei fast zwei Drittel ist die Größe der Lichtänderung unter oder gleich einer Größenklasse, bei den anderen bis auf wenige kleiner 2^m Nach Untersuchungen von Shapley dürfen wir bei den helleren Sternen die größere Periode vermuten. Auch nach der Periodenlänge hat man eine Einteilung vorgeschlagen und zwar in 2 Hauptgruppen, von denen die erstere die Veränderlichen mit Perioden $< 1^d$, die zweite die Variabeln mit Perioden $> 1^d$ enthält. Wie berechtigt eine solche Gruppierung ist, ist daraus ersichtlich, daß die Variabeln der 1. Gruppe am Himmel verstreut vorkommen, während bei denen der 2. Gruppe eine deutliche Bevorzugung der Milchstraßengegenden erkennbar ist.

Eine weitere gebräuchliche Art nach den charakteristischen Merkmalen des Lichtwechsels die Veränderlichen einzuteilen, ist folgende:

a) δ-Cephei-Typus, b) ζ-Geminorum-Typus und c) Antalgolsterne. Bei den Veränderlichen vom δ-Cephei-Typus haben wir bei dem Aufstieg gleichmäßigen Verlauf der Lichtkurve, während das Abklingen des Lichts bedeutend langsamer und mit Unregelmäßigkeiten — bei δ-Cephei z. B. ein vorübergehender Stillstand — erfolgt.

Die Art der Lichtkurve der ζ-Geminorum-Sterne wird am besten durch die Form der Sinuskurve erklärt, wir haben fast gleichmäßiges Auf- und Abschweben der Lichtstärke. Bei den beiden besprochenen Typen ist fast ständige Änderung der Lichthelligkeit die Regel, während der 3. Typus, dem Hartwig den Namen Antalgol-Typus gab, als charakteristisches Merkmal das zeitweilige Verweilen der Sterne im konstanten schwachen Licht bedingt, das in mehr oder weniger regelmäßigen Folgen durch Anwachsen zu einem Maximum mit sofortigem Wiederabklingen des Lichtes bis zum Ruhestadium des konstanten schwachen Lichtes unterbrochen wird.

Die Unterschiede zwischen diesen 3 Gruppen werden durch mannigfache Übergangsstufen gemildert.

Den Eddingtonschen Erklärungsversuch der verwickelten Natur dieser Veränderlichen habe ich gleich anfangs gestreift. Jetzt möchte ich aber eine Theorie bringen, die der wahrscheinlichen Doppelsternnatur dieser Veränderlichen entspricht.

Duncan hat eine sehr interessante Atmosphärenhypothese gegeben. Er geht davon aus, daß die hellere Komponente des Doppelsterns mit einer dichten Atmosphäre umgeben ist, die Licht stark absorbieren kann. Die zweite, unsichtbare Komponente läßt er ebenfalls mit einer Atmosphäre umgeben sein, die bedeutend dünner ist, dafür aber so ausgedehnt sein soll, daß sie die helle Komponente nebst ihrer umgebenden Schicht umschließt. Duncan berücksichtigt nun den wesentlichen Unterschied der Sterne der behandelten Gruppe 4 im Vergleich zu den Veränderlichen der Gruppe 5, den Bedeckungsveränderlichen, der darin besteht, daß wir augenscheinlich keinen Bedeckungsvorgang als Ursache des Lichtwechsels bei diesen Sternen annehmen dürfen, sondern uns die Helligkeitsänderungen durch Änderungen in der Geschwindigkeit, die beim Maximum auf uns zu, beim Minimum von uns weg gerichtet ist, verursacht denken. Bei Vorwärtsbewegung des Sterns vermutet Duncan nun einen sich bemerkbar machenden Widerstand der das ganze System erfüllenden dünnen Atmosphäre der dunkleren Komponente, der so groß sein soll, daß nach der Seite der dunkleren Komponente hin ein Abdrängen der dichteren Atmosphäre der helleren Komponente bedingt wird. Da nun weniger Licht absorbiert wird, so haben wir hierdurch die Erscheinung des Maximums, die den Beobachtungstatsachen entsprechend eingetreten ist, als der Stern sich auf uns zu bewegte. Bei der vorauszusetzenden geringen Masse der dunkleren Komponente ist jedoch die Annahme einer so riesigen, das ganze System umschließenden Atmosphäre kaum annehmbar, ich möchte deshalb eine kleine Modifikation der Duncanschen Hypothese anschließen, die vielleicht Möglichkeit besitzt. Wie Duncan möchte ich Doppelsternnatur für diese Veränderlichen voraussetzen. Die hellere Komponente sei wieder mit der stark absorbierenden dichten Atmosphäre umgeben, die dunklere Komponente wollen wir aber ohne umschließende Atmosphäre voraussetzen. Die Bestandteile der umgebenden Schicht der helleren Komponente seien nun so beschaffen, daß bei der Bewegung auf uns zu unter der gleichzeitigen Voraussetzung einer Näherung der beiden Komponenten auf einander zu eine Art Repulsionskraft ausgelöst wird, die ähnlich wie bei den Kometen Abdrängen der Teilchen (hier der absorbierenden Atmosphäre) verursacht, wodurch wiederum das Maximum entstehen könnte. Bei der Bewegung von uns fort und dem gleichzeitigen Entfernen der beiden Komponenten sollen die Teilchen eine uns zugekehrte dickere Schicht der absorbierenden Atmosphäre einnehmen. Daß eine Hypothese immer mehr oder weniger Mängel aufweist, bin ich mir natürlich bewußt. Da aber keine der Theorien einen sicheren Aufschluß über das Wesen dieser Gruppe der Veränderlichen gibt, so darf vielleicht ein solcher Erklärungsversuch nicht unstatthaft sein.

Guthnick gibt als Erklärung der Natur dieser Variabeln eine Art

induktive Methode an, indem er durch den kleinen Begleiter eine ungleichförmige Anordnung der Helligkeit auf der helleren Komponente verursachen läßt.

Wir betrachten als letzte 5. Gruppe die Bedeckungsveränderlichen oder Verfinsterungsvariabeln.

Wie schon der Name sagt, wird bei diesen Variabeln der Lichtwechsel durch Verfinsterungserscheinungen verursacht. Wir können gleich zwei Gruppen festlegen, die Algol- und die β-Lyrae-Sterne. Bei den ersteren, von denen nach Katalog 1926 212 Sterne vorhanden sind, wird die Lichtänderung im wesentlichen einen Bruchteil der Periode ausmachen — die Lichtkurve wird meistens ein langdauerndes konstantes Maximum aufweisen, das periodisch kurzzeitig durch Minima unterbrochen wird. Bei den β-Lyrae-Sternen werden sich dagegen beständige Helligkeitsänderungen bemerkbar machen; bei β Lyrae selbst haben wir 2 gleich tiefe Minima, die durch ein kleineres weniger tiefes Minimum getrennt sind. Für beide Arten von Bedeckungsveränderlichen seien wieder die statistischen Daten Herrn Schnellers angeführt:

Algolsterne:

P < 1^d	bei 19	Veränderlichen;
1 — 5	137	
5 — 10	38	
10 — 15	10	
15 — 20	2	
20 — 25	1	
25 — 35	3	
> 35^d	2	

Summe: 212 Algolsterne.

β-Lyraesterne:

P < 1^d	bei 18	Veränderlichen;
1 — 5	10	
5 — 10	2	
10 — 15	1	
15 — 20	0	
20 — 25	1	
25 — 25	1	
> 35	2	

Summe: 35 β-Lyraesterne.

Wir erkennen, daß kurze Perioden das Gegebene sind. ¾ der Algolsterne weisen Helligkeitsamplituden von einem Betrage, der < 2 Größenklassen ist, auf. Das Maximum der Amplitude wird bei AW Carinae mit $4^m,1$ erreicht. Bei den β-Lyrae-Sternen ist die Lichtänderung noch geringer. $^6/_7$ aller dieser Sterne haben nur Amplituden bis höchstens 1^m, die größte ist $2^m,0$ bei TT Aurigae. Bei den Algolsternen ist Nähe der Milchstraßengegenden feststellbar. Für beide Arten der Bedeckungsveränderlichen haben wir Spektren der Klassen B und A überwiegend zu erwarten, während Spektren der Klassen F und G weniger, der Klasse K kaum auftreten.

Bei beiden Arten der Veränderlichen werden die Helligkeitsänderungen also durch Bedeckungen verursacht.

Nehmen wir, wie es am häufigsten der Fall sein wird, die Komponenten verschieden an, so wird wohl die dunklere Komponente eine gewisse Grenze der Kleinheit nicht überschreiten dürfen, eher dürfte sie größer als die hellere Komponente sein, da eine zu kleine dunklere Komponente kaum eine merkliche Lichtänderung des Sterns verursachen dürfte. Bei diesen Bedeckungen werden wir als wesentlichstes Kennzeichen nur ein Minimum während einer Periode erhalten. Wir unterscheiden erstens zentrale Bedeckung, bei der Konstanz im Minimum eintritt, wenn die kleine Komponente gerade vor oder hinter der größeren sich befindet, und zweitens partielle Finster-

nisse, bei denen größere Neigung der Bahnebene gegen den Visionsradius vorhanden sein wird, hier tritt keine Konstanz im Minimum auf, da stets nur Verfinsterung eines Teils einer Komponente stattfindet. Bei diesen partiellen Finsternissen darf die Entfernung der beiden Komponenten nicht zu groß sein, da dann das Eintreten einer Verfinsterung zu unwahrscheinlich wird. Hierdurch wird schon eine besondere Kleinheit der Periode — wenige Tage — bedingt, denn eine größere Periode könnte nur bei entsprechend größerer Entfernung der Komponenten auftreten.

Sind beide Komponenten hell, so müssen wir noch die Art ihrer Bewegung unterscheiden. Bei kreisförmiger Bewegung wird die Periode in 2 gleiche Teile geteilt werden. Hier wird uns die spektroskopische Untersuchung erst zeigen, daß das Stück der Lichtkurve vom 1. Minimum bis zum 2. Minimum, da beide sich nicht unterscheiden, in diesem Falle der halben Periode entspricht. Bei elliptischer Bewegung folgen die Minima in ungleichförmigen Intervallen, also Zwischenzeit vom 1. Minimum bis zum 2. von der Zwischenzeit vom 2. bis zum 1. Minimum verschieden.

Für die Bedeckungsveränderlichen sind von Adams, Joy und Russel interessante Untersuchungen angestellt worden. Die kontinuierlichen Lichtänderungen können durch Gestaltsänderungen (3-achsige Ellipsoide werden vermutet) verursacht werden. Außerdem sollen noch andere Gleichgewichtsformen, dazu induktive Erwärmung auf den sich zukehrenden Seiten der Komponenten, ungleichförmige Verteilung der Helligkeit — geringste Helligkeit an den Rändern — selbst mehrfache Systeme (3. Komponente) vorhanden sein.

Alle diese Untersuchungen der Lichtkurve haben zu wertvollen Forschungsergebnissen über die Natur der Bedeckungsveränderlichen beigetragen. So hat man unter anderen Untersuchungen über die Bahnen dieser Veränderlichen, die Größenverhältnisse der Komponenten, ihre gegenseitige Beziehung, über Helligkeiten, Masse, Dichte und die photographischen und visuellen Helligkeitsamplituden angestellt.

Die schwächere rötliche Komponente nimmt man als die größere an, wodurch auch bei der beinahe gleichen Lichtwirkung der helleren Komponente in bezug auf photographische und visuelle Betrachtungsweise ein Übergewicht der photographischen Amplitude gegenüber der visuellen sich bemerkbar machen muß, da bei der Verfinsterung durch die bedeckende rote Komponente bei der geringen photographischen Wirksamkeit des roten Lichtes ein schwächerer photographischer Lichtzustand gegenüber dem visuellen sich erweisen muß.

Wir ersehen, daß die Erkenntnis in die Natur der Veränderlichen bei dieser letzten Gruppe am weitesten fortgeschritten ist. Bei allen Veränderlichen werden immer wieder neue Beobachtungstatsachen, die erst die verfeinerten Verfahren erkennen lassen, neue wichtige Schlüsse über ihr Wesen ermöglichen. Nur schrittweise wird die Erkenntnis sich Bahn brechen, so daß sich vor allem im Hinblick auf dieses interessante Gebiet der Himmelskunde, das so vielgestaltig uns eine fast unübersehbare Fülle von Beobachtungstatsachen bietet, der lateinische Spruch bewahrheitet: per aspera ad astra — „auf steilen Pfaden zu den Sternen".

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Bericht der naturforschenden Gesellschaft Bamberg

Jahr/Year: 1926

Band/Volume: 24

Autor(en)/Author(s): Heise Eduard

Artikel/Article: Die veränderlichen Sterne 54-77