

Sonderausgabe Nr. 1

SIRIUS



Publikationen der Starkenburg Stern-

warte

Komet

Abe, 1970.g.

Versuch einer
Analyse des Lichtwechsels
an einem Kometen.

Inhalt:

Vorwort 2

A) Eigenbeobachtungen..... 3

B) Weitere Beobachtungen 4

C) Die Helligkeitsentwicklung des Kometen ...7

D) Theorie des Lichtwechsels an Himmelskörpern...11

E) Erklärungsversuch der Helligkeitsfluktuationen ...14

F) Kritische Betrachtung 20

(mit 18 Abbildungen und einer Photographie)

Diese Sondernummern sind für Abonenten des SIRIUS eine kostenlose Beilage. Der Preis für Nichtabonenten beträgt 4.-DM.

Weitere Sonderausgaben sind in Vorbereitung:

Staubstürme auf dem Mars, Jupiterbeobachtung, Ein Experiment des astronomischen Arbeitskreises der Volkshochschule Heppenheim am "Kannrefraktor " der Sternwarte Heidelberg, Selbstbau eines einfachen Fotometers; Sonnenbeobachtungen usw.

Die Sonderausgaben erscheinen in unregelmäßiger Folge.

Verfasser dieser Ausgabe: Otto Guthier, 6148 Heppenheim am Steinkop

Druck: Neuer Arbeiter Verlag, Mainz.

Vorwort

Hiermit legen wir die erste Sonderausgabe des Sirius vor. Gestaltet wurde sie von Otto Guthier. Soweit Beobachtungsergebnisse von anderen Beobachtern verwendet wurden, ist dies im Text angegeben. Ein nicht unbedeutender Teil stammt jedoch vom Verfasser. Auch alle Erklärungsversuche und Schlußfolgerungen wurden von O. Guthier erarbeitet.

Der Leser wird erkennen, daß hier sehr viel Arbeit notwendig war. Vor allem die Leser, die sich in der Materie der Kometen auskennen, wissen von der Mühe die eine solche Arbeit erfordert, soll sie auch nur in etwa ein Ergebnis bringen.

Wir wollen hoffen, daß es auch gelungen ist dieses Thema selbst den in Sachen Kometen weniger bewanderten Leser des SIRIUS, verständlich zu machen. Denn sie machen wohl noch den Großteil der Bezieher aus. Dennoch wollen wir gerade denen, die nicht Kometenspezialisten sind, diese Arbeit als 'Lektüre' empfehlen. So rätselhaft auch noch vieles an Kometen, diesen "Vagabunden des Weltalls" ist, sie gehören zu den spannendsten Beobachtungsobjekten für den Amateur Astronomen.

Jeder Leser des Sirius und Mitglied des Astronomischen Arbeitskreises der Volkshochschule Heppenheim kann eine Sonderausgabe gestalten. Diese Sonderausgaben sollten möglichst ein einziges astronomisches Thema abhandeln. Zum Beispiel möchte ich einige Themen nur in Stichworten (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) vorschlagen:
vor allem natürlich Beobachtungsergebnisse, Entwicklung von Fernrohren und Zusatzgeräten, astronomisch - historische Abhandlungen, der Bau der Sternwarte, Spiegelschleiferei usw.
Über die Bedingungen geben wir gern Auskunft.

Alfred Sturm

Die Schwierigkeiten der Kometenbeobachtung rühren neben der teils großen täglichen Bewegungen besonders von den relativ geringen Helligkeiten dieser Himmelsobjekte her. Kometen - oft auch 'Außenseiter' und Unglücksbringer genannt (was natürlich glatter Unsinn ist) - erregten schon im Altertum großes Aufsehen, tauchten sie doch plötzlich aus den 'Tiefen des Universums' auf, entwickelten riesige Schweife, um dann in der Unendlichkeit des Alls zu verschwinden.

Seit Copernikus und Kepler wissen wir jedoch, daß die Kometen wie die Planeten unserem Sonnensystem angehören und sich auf stark exzentrischen Ellipse bewegen. Und doch sind die Kometen die eigentümlichsten Erscheinungen am Himmel!

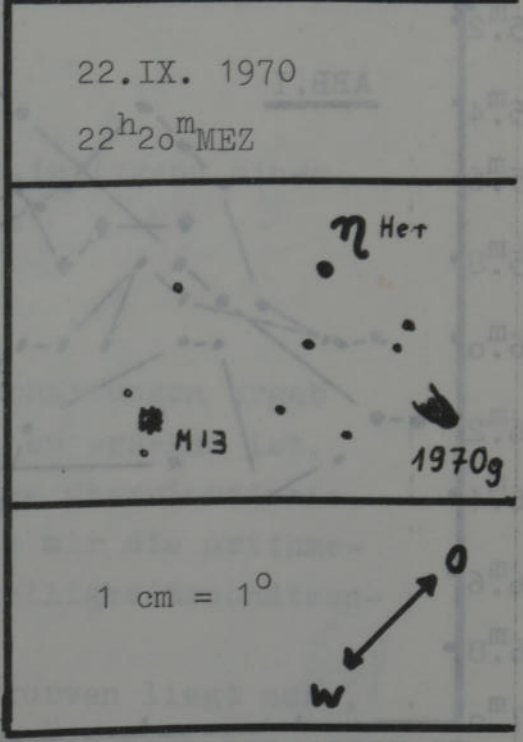
Regere Beobachtungstätigkeit durfte sich der relativ helle Komet ABE (1970 g) in den Sommer-, Herbst- und Wintermonaten des vergangenen Jahres erfreuen.

Der Astronomische Arbeitskreis wird in einer Sondernummer über die Helligkeitsentwicklung (umfassend ca. 300 Beobachtungen) dieses Himmelskörpers berichten.

In der folgenden Betrachtung ist der Versuch gemacht worden, den seltsamen Helligkeitsverlauf näher zu untersuchen und abschließend einer Deutung zu unterziehen.

a) Eigenbeobachtungen

Als Instrument diente mir neben einem 10x50 Feldstecher der 116/1650 Zeiss-Refraktor des Arbeitskreises. Aus den 19 Einzelbeobachtungen am Kometen ließ sich eine Helligkeitskurve ableiten, deren Werte sich bis zum 7.IX., von einzelnen geringfügigen Schwankungen um den 24.VIII. abgesehen, denen der 'SAG'-Publikationen im wesentlichen glichen. In der darauffolgenden Zeit stellte sich ein abrupter Helligkeitssturz ein (Amplitude $0^m.4$), der nach einem Minimum am 11.IX. in ein Maximum am 22.9. mündete. (Die Helligkeitsdifferenz betrug $1^m.3$!) Auf den 22.IX. folgte eine fast lineare Abnahme der scheinbaren Helligkeit. Erwähnt sei hier noch, daß ein Schweifansatz zuerst am 24.VIII. beobachtet wurde, zusammen mit einer deutlich sichtbaren Comadeformation.



Für die Parameter m_0 und n erhielt ich folgende Werte:

$$m_0 = 4.08 \pm 0.2 \quad n = 3.93 \pm 0.1$$

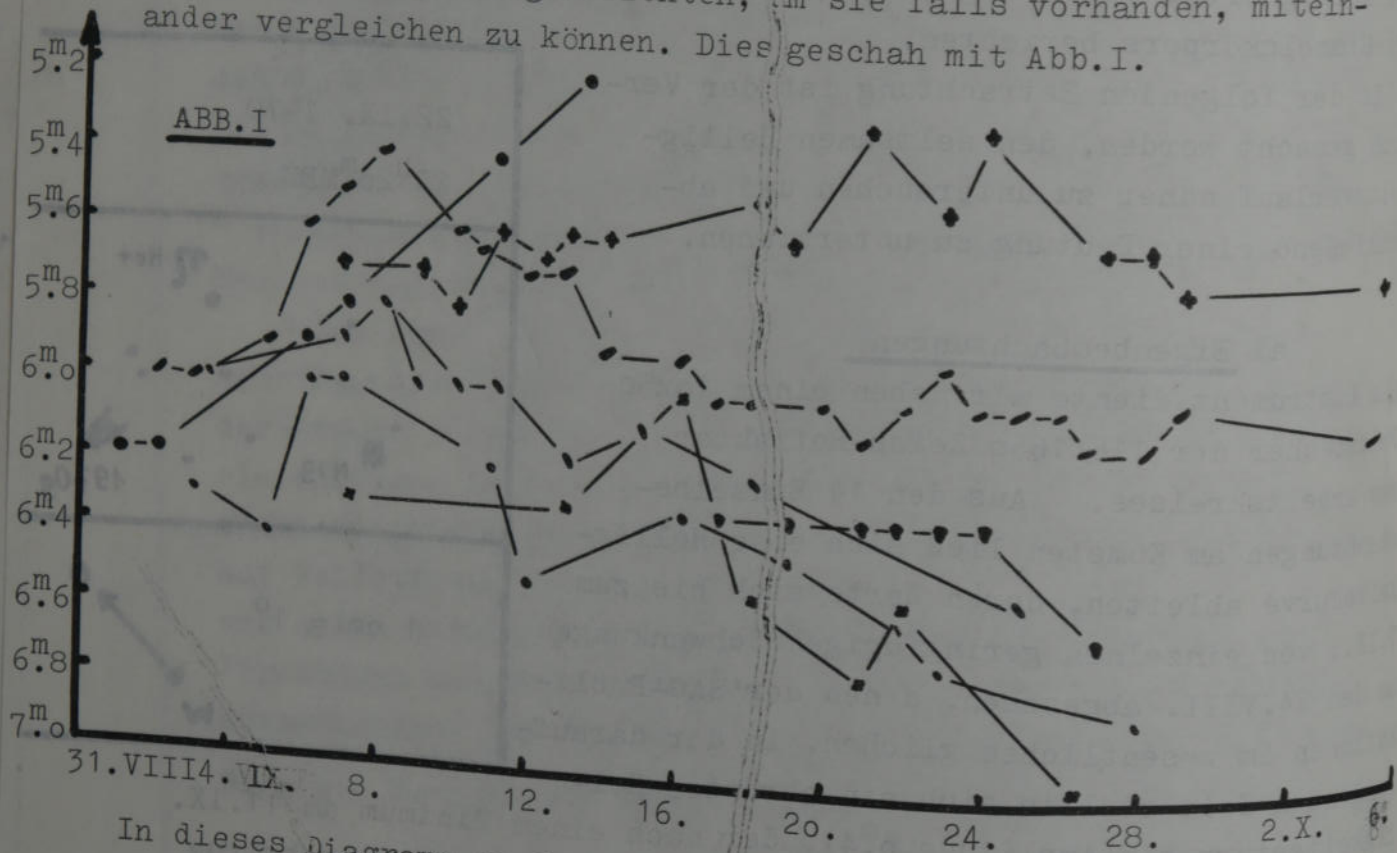
b) Weitere Beobachtungen

Um diese Erscheinung näher analysieren zu können, war es notwendig geworden, andere Beobachtungen heranzuziehen.

Zur genauen Analyse lagen mir etwa 290 Beobachtungen von insgesamt 20 Beobachtern vor, deren Namen alle zu nennen den Rahmen dieser Betrachtung sicherlich sprengen würde. Einige Namen, auf die ein erheblicher Teil der Beobachtungen entfallen und auf deren Helligkeitsschätzungen die Auswertung vorgenommen wurde, seien hier genannt.

Thomas Kleine, (Stade, 31 Schätzungen) Volker Kasten, (Harenberg, 25) Klaus Klebert, (Stuttgart, 25) Volkssternwarte Recklingshausen (16) Harald Marx, (Stuttgart, 11) E. Leitmeier, (München, 15) H.A. Scholtes, (Hülzweiler, 10) Otto Guthier (19).

Zunächst suchte ich allgemeine Helligkeitsfluktuationen in den einzelnen Beobachtungsberichten, um sie falls vorhanden, miteinander vergleichen zu können. Dies geschah mit Abb. I.



In dieses Diagramm wurden nur die Beobachtungen mit einbezogen, die 1. in relativ kurzen Zeitabständen durchgeführt wurden und 2. sollten von ein und demselben Beobachter mindestens 10 Beobachtungen vorliegen. Durch diese willkürliche Wahl fanden also nur relativ sichere und damit zuverlässige Beobachtungen für die weitere Auswertung Verwendung.

Aus dem Verlauf der Kurve sind die Helligkeitsänderungen in den oben genannten Zeiträumen zu entnehmen, die zwar noch starken Schwankungen unterliegen, doch zeichnen sich deutlich schon verschiedenen Maxima und Minima ab, die sich dem allgemeinen Anstieg und Abfall überlagern. Eine derartige Erscheinung war durchaus vorherzusehen, da schon seit längerer Zeit vermutet wird, daß die Aktivität der Kometenkerne stark von der Sonnentätigkeit beeinflußt werden. Aus diesem Grunde war es notwendig geworden, eine einheitliche Helligkeitskurve zu schaffen, (Abb. II₁) die dann mit den Sonnenfleckenrelativzahlen (II₃) verglichen werden konnte.

Doch dieser Verlauf der Helligkeitskurve entspricht allerdings noch nicht der wahren Helligkeit des Kometen. In einem weiteren Diagramm bestimmte ich dann die Parameter m_0 (reduzierte Helligkeit eines Kometen, der sowohl von der Erde als auch von der Sonne(r) den Abstand 1 AE besitzt) und n (durch diesen Parameter versucht man den Einfluß der Sonne auf den Kometen zu erklären) in einem graphischen Verfahren nach vorausgegangener Berechnung des Ordinatenwertes $m_{vis} - 5 \lg A$ und des Abszissenwertes $2.5 \lg r$ m_0 und n zu :

$$m_0 = 5^m.01 \pm 0^m.2 \quad n = 3.96 \pm 0.2$$

Als wahrscheinlichsten Wert für ABE's Helligkeit in irgend einem Punkt seiner Bahn um die Sonne erhielt ich somit:

$$m = 5^m.02 + 5 \lg A + 9.9 \lg r$$

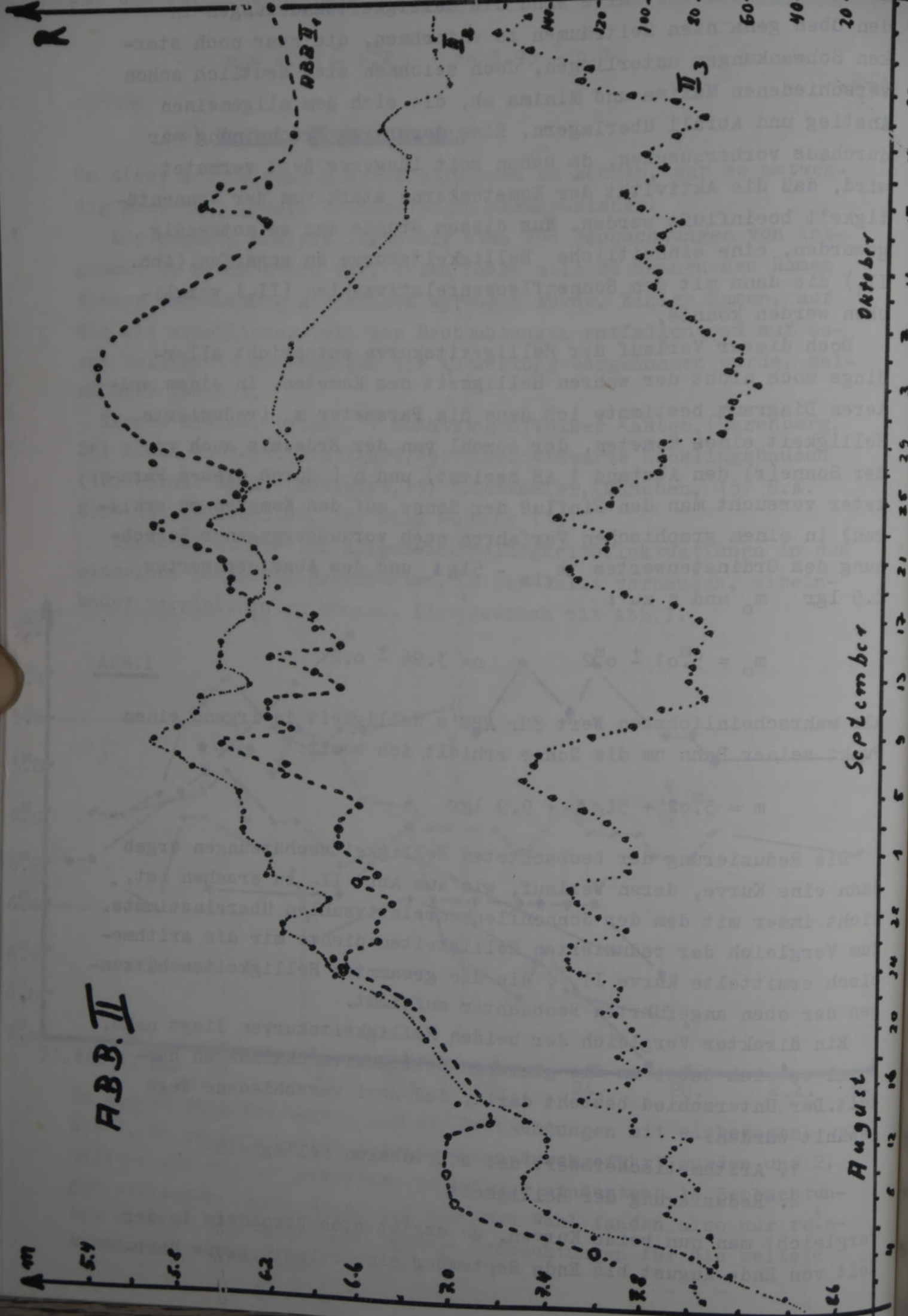
Die Reduzierung der beobachteten Helligkeitsschätzungen ergab dann eine Kurve, deren Verlauf, wie aus Abb. II₂ zu ersehen ist, nicht immer mit dem der Sonnenfleckenrelativzahlen übereinstimmte. Zum Vergleich der reduzierten Helligkeiten diente mir die arithmetisch ermittelte Kurve II₁, die die gesamten Helligkeitsschätzungen der oben angeführten Beobachter aufnimmt.

Ein direkter Vergleich der beiden Helligkeitskurven liegt nahe, zumal es sich dabei um die gleichen Helligkeitsschätzungen handelt. Der Unterschied besteht darin, daß zwei verschiedene Wege gewählt wurden:

1. Arithmetischer Wert der scheinbaren Helligkeit
2. Reduzierung der Helligkeit

Vergleicht man nun beide Kurven, so ergibt sich besonders in der Zeit von Ende August bis Ende September eine relativ große Über-

ABB. II



September

Oktober

August

R A

A m

23 23 27
19 18 7 3 29 21 17 13 9 5 1 24 20 16 12 8 4
23.
21
sich
ein
para
für
kann,
Fest

20
einstimmung. Aus diesem Zeitraum entfallen rund 75% der Beobachtungen.

Die nicht ausgefüllten Punkte in Abb. 2 bilden Werte eines Beobachters, die in die Kurve mit aufgenommen wurden, da die Bildung eines Mittelwertes für diese Tage nicht möglich war. Durch diese zwangsläufige Aufnahme und die Tatsache, daß im August und October wenige Beobachtungen vorlagen, verliert die Gesamtkurve zwar an Aussagekraft, doch sind die charakteristischen Züge zu erkennen, die für die Interpretation der Kurve von entscheidender Bedeutung sind.

c) Die Helligkeitsentwicklung am Kometen

A) Allgemeine Betrachtung

Wie schon angedeutet, überraschen Helligkeitsfluktuationen an Kometen die Astronomen heute nicht mehr so sehr wie in früheren Jahrzehnten. Heute weiß man, daß die Sonne für Richtung, Entwicklung und Struktur der Kometenschweife, besonders des Typ I Jonschweifes und für die Vorgänge in der Coma (Repulsionskraft, Sonnenwind) verantwortlich ist. Auch auf den Typ II Materieschweif übt die Sonne durch den solaren Strahlungsdruck eine erhebliche Kraft aus.

Aus diesen Gründen konnte der Einfluß der Sonne bei der Betrachtung nicht unberücksichtigt bleiben. Da aber bekanntlich Sonnenflecken nur in heliographischen Breiten von $\pm 7^\circ$ und $\pm 40^\circ$ auftreten, ist der solare Einfluß auf den Kometen stark von der Breitenbewegung des Kometen abhängig.

Zum anderen darf aber die Kometenmaterie an sich auch nicht außer acht gelassen werden. Es handelt sich dabei in erster Linie um die Prozesse, die

sich an der Oberfläche des Kometenkerns abspielen. "Nähert sich ein Kometenkern der Sonne, so nimmt zwangsläufig auch die Temperatur an der Oberfläche zu. Inwieweit diese Temperaturerhöhung für die Entgasung der Kometenkerne verantwortlich gemacht werden kann, konnte bisher noch nicht ganz geklärt werden.¹⁾"

Fest steht, daß die Sonnenstrahlung eine photochemische Disso-

1) K. Wurm, die Kometen S. 130

ziation und eine Ionisation der in den Kometenköpfen vorhandenen Materie bewirkt.

Will man eine Interpretation des Helligkeitsverlaufes vornehmen, so muß man dabei zwei bedeutende Faktoren berücksichtigen.

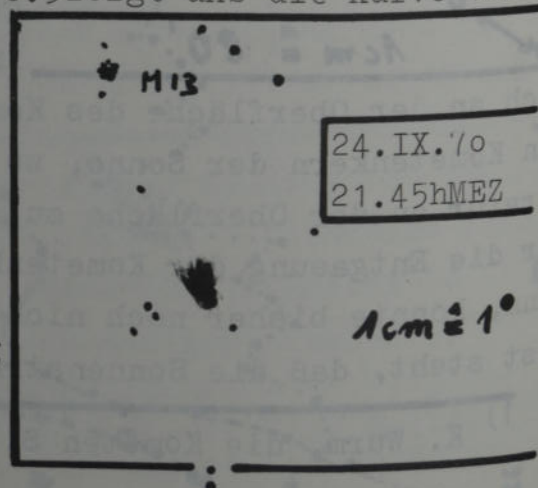
1. Der Einfluß der Sonnenstrahlung
2. Die chemische und physikalische Konstitution der Kernmaterie

Einen Wert für den Einfluß der Sonnenstrahlung bilden die täglichen Sonnenfleckenrelativzahlen, die allerdings keine quantitative Aussage über den wahren Verlauf der Sonnenstrahlung (UV-Strahlung, Sonnenwind etc.) gestatten. Doch ist eine Zunahme der Fleckentätigkeit oft mit einem Anstieg der UV-Strahlung und des Sonnenwindes verbunden. Die Sonnenfleckenrelativzahlen können wir - mit Vorsicht- als Maß für die solare Tätigkeit ansehen.

Über den zweiten, ebenfalls bedeutenden Faktor lassen sich auch in anderer Hinsicht, wie wir später noch sehen werden, keine Angaben machen.

B. Die Helligkeitsentwicklung des Kometen Abe

Befassen wir uns also zunächst mit dem Verlauf der scheinbaren Helligkeitskurve (II_1). Sie zeigt einen Abfall der Helligkeit zwischen August 7 und 13 um 0.3 Größenklassen, wobei der darauffolgende Anstieg ($0^m.58$) ein wenig überrascht, was sicherlich nicht mit der Sonnenfleckenrelativzahl jenes Tages in Verbindung gebracht werden kann. Die weitere Entwicklung (August 23-September 5) verlief relativ ruhig und in guter Übereinstimmung mit den Sonnenfleckenrelativzahlen. Ab September 5 folgt bis September 8 ein sprunghafter Helligkeitsanstieg ($0^m.57$), der wieder nicht mit dem Verlauf der Fleckenkurve zu harmonisieren scheint. Schwankungen mit einer Amplitude von $0^m.3$ zeigt uns die Kurve von September 8 bis September 20. Darauf stellt sich wieder ein sekundäres Maximum (September 23) mit einem Anstieg der Helligkeit von 0.5 Größenklassen ein. Ein Helligkeitssturz (September 25, $0^m.4$) mündet nach fast stetigem Helligkeitsanstieg in ein Maximum (October 6, $0^m.65$)-Sonnenfleckenminimum. Weitere Ma-



xima sind
in der Ze
gang ein
wesentlich

Aus Ta
stellt si
2 die Sch
Werte in
te Werte
mittelten
Spalte 6
Abstand d
des Komet
In diese
keitsdiffe

1
August, 6
7
9
11
12
13
22
23
25
28
Sept., 1
2
5
8
9
12
13
14
15
17
18
19
20
21
23
25
27
29
30

xima sind aus dem Material nur schwer zu erkennen, doch könnte in der Zeit um October 23, also 2 Tage nach dem Periheldurchgang ein Maximum erreicht worden ist. Kurve II₂ zeigt im wesentlichen eine Übereinstimmung mit II₁ bis Ende September.

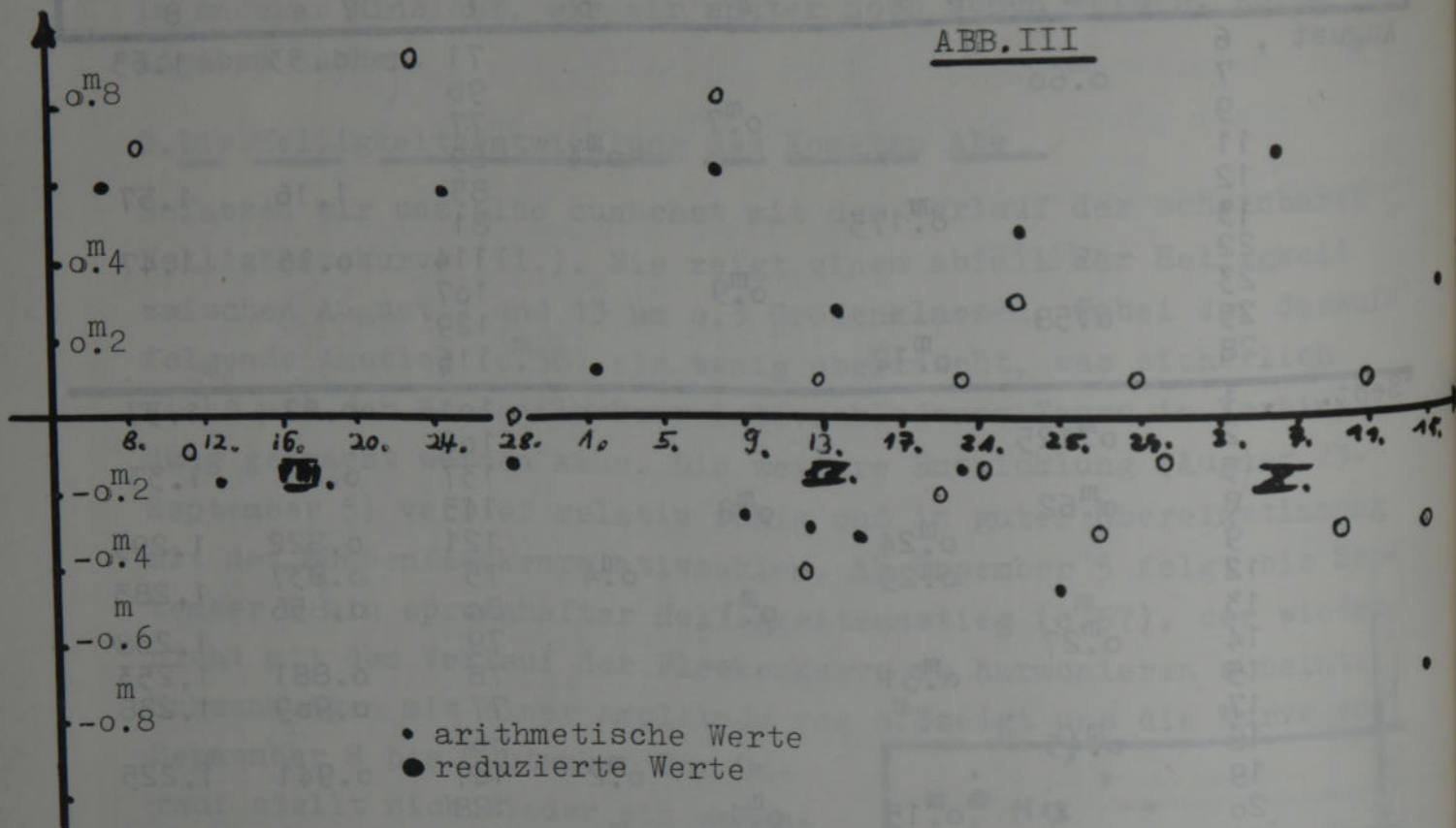
Aus Tabelle I, in der die gewonnenen Ergebnisse zusammengestellt sind, können wir in Spalte 1 die Beobachtungstage, Spalte 2 die Schwankungen aller 'Maxima' der arithmetisch gemittelten Werte in astro. Größenklassen, Spalte 4 die 'Maxima' der reduzierten Werte in astro.GK, Spalte 3 die 'Minima' der arithmetisch gemittelten Werte, Spalte 5 die 'Minima' der reduzierten Werte, Spalte 6 die Werte der Sonnenfleckenrelativzahlen, Spalte 7 der Abstand des Kometen von der Erde (AE), Spalte 8 der Abstand des Kometen von der Sonne (r AE) ablesen. In diese Tabelle wurden nur die Werte aufgenommen, deren Helligkeitsdifferenzen gleich oder größer als 0.1 waren.

Tabelle I

1	2	3	4	5	6	7	8
August , 6					71	1.33	1.63
7	0. ^m 60				90		
9			0. ^m 7		77		
11				0. ^m 1	89		
12					85	1.16	1.57
13		0. ^m 175			81		
22					114	0.95	1.47
23			0. ^m 9		107		
25	0. ^m 58				129		
28		0. ^m 12			116		
Sept. , 1					101	0.82	1.37
2	0. ^m 125				108		
5					137	0.83	1.33
8	0. ^m 62		0. ^m 8		145		
9		0. ^m 24			121	0.822	1.299
12		0. ^m 29		0. ^m 4	75	0.837	1.283
13			0. ^m 1		80	0.856	
14	0. ^m 27				79		1.268
15		0. ^m 31			78	0.881	1.253
17					77	0.909	1.238
18	0. ^m 45				86		
19				0. ^m 2	107	0.941	1.225
20		0. ^m 15	0. ^m 1		128		
21				0. ^m 1	131	0.976	1.212
23	0. ^m 51		0. ^m 25		117		
25		0. ^m 4			117		
27				0. ^m 3	93		
29			0. ^m 1		89		
30				0. ^m 1	68		

Oktober, 5				63		
6	o. ^m .64			63		
10			o. ^m .1	95		
11				92	1.406	1.124
15		o. ^m .67		85		
16	o. ^m .34			102		
19				98		
21		o. ^m .43	o. ^m .1	75	1.622	1.112
23				107		
24				131		
26			o. ^m .1	146		

Mit Abb. III versuchte ich diese Schwankungen bildlich darzustellen. Die Positive Ordinate wurde als ein 'Fortschritt' und die negative Ordinate als ein 'Rückschritt' in der Helligkeitsentwicklung gedeutet. Darunter darf man allerdings nicht eine Amplitude verstehen, denn die jeweiligen Zahlenwerte beziehen sich auf die entsprechenden Tage, d.h. sie geben nur Zwischenmaxima- bzw. minima an.



Einige Werte dürften zweifellos zu groß ausgefallen sein, da die Streuung der scheinbaren Helligkeiten (Abb. I) doch recht beträchtlich ist, was sich natürlich auch auf die arithmetischen und reduzierten Werte negativ auswirkt. Und trotzdem zeigen beide Kurven eine relativ gute Übereinstimmung, zumindest bis Ende Sep-

temper. Im Oktober weichen die Werte voneinander stark ab, was vielleicht auf zwei Gründe zurückzuführen ist:

1. Auf den Oktober entfielen von den Beobachtungen nur 21
2. lassen sich sichere Beobachtungswerte in niedrigen
Horizonthöhen nur schwer erzielen.

Auffallend scheint eine Periodizität in der Helligkeitsschwankung, betrachtet man die höchsten Werte. Eine Zusammenstellung ist mit Tabelle II gegeben.

TABELLE II (Spalte 1bis4 wie in Tabelle I)

	1	2	3	4
August ,	7. (16)	13. (15)	8-9. (15)	13. (15)
	23. (16)	28. (14)	23. (16)	28. (15)
September ,	8. (15)	9-12. (14)	8. (15)	12. (15)
	23. (15)	25. (14)	23. (15)	27. (15)
Oktober ,	6. (13)	15. (20?)		

Die Periode ist mit den in Klammern gesetzten Zahlen angegeben.

d) Theorie des Lichtwechsels an Himmelskörpern

A. Zusammenfassung der Beobachtungsergebnisse:

1. Der Komet zeigte starke Helligkeitsschwankungen
2. Die Gründe der Fluktuationen sind nicht nur solarer Natur
3. Die Periodizität der Schwankungen lassen den Schluß zu, daß es sich dabei um einen Lichtwechsel mit einer bestimmten Amplitude und Periode handelt

B. Es handelt sich nicht um eine ständige Ab- und Zunahme der scheinbaren Helligkeit mit der wechselnden Distanz des Kometen von der Sonne (r) und der Erde (Δ), Tabelle I, Spalte 7 und 8) auch ein eventuell in Betracht kommender Phaseneffekt konnte nicht der Grund dieser Schwankungen sein. Da, wie wir gesehen haben, weder der Sonneneinfluß auf den Kometen eine Periodizität erklären würde, noch die Kometenmaterie sich in ihrem chemischen und physikalischen Aufbau in der Zeit wesentlich veränderte, bleibt uns nichts anderes übrig als die Ursache der Schwankungen in einem Rotationslichtwechsel des Kometenkerns zu suchen.

B. Rotationslichtwechsel

Die Vorstellung eines Rotationslichtwechsels ist in der Tat

nicht neu.

Von einem geringen Teil der Planetoiden weiß man, daß die beobachteten Lichtwechsel nur als Rotationslichtwechsel mit Amplituden bis zu 1.5^m (433 Eros) und Perioden bis zu 0.5^d zu deuten sind.

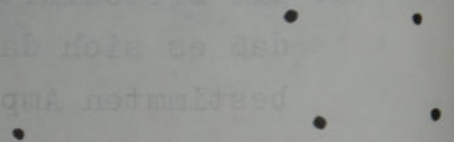
" Bei diesen Planetoiden handelt es sich offenbar um nicht kugelige, sondern unregelmäßig geformte Körper, die rotieren, so daß ihre Querschnittsfläche sich ständig ändert. Die Theorie bestätigt, daß bei diesen kleinen Körpern die Eigenschwere zu gering ist, um sich gegenüber der Starrheit der Materie durchzusetzen und den Körper- wie bei Sternen und größeren Planeten- in eine Gleichgewichtsfigur zu bringen, also in eine Kugel oder ein Drehellipsoid."²⁾

Während der Lichtwechsel an einem Kleinplaneten somit leicht zu erklären ist - hier handelt es sich um eine Reflexion des Sonnenlichtes an der sich ständig, durch die Rotation bedingte Veränderung der Oberfläche- spielen sich im Kometenkern Prozesse ab, die für Schweifbildung, Aufbau und Struktur der Coma sehr Wichtig sind und die Deutung abermals erschweren.

" Es liegt nahe, die Helligkeitsschwankungen auf eine wechselnde Intensität der Entgasung zurückzuführen, die den durch die allgemeine unregelmäßige Konstitution des Kernes und die einseitige Bestrahlung bedingt sein mag."³⁾

Wir sehen also, daß neben dem reflektierten Licht (wie bei den Planetoiden) auch noch ein angeregtes Leuchten seitens der Sonne zu beachten ist, welches bei Kometen mit geringem r -Werte von großer Bedeutung sein dürfte, da die Schweifbildung auf eine Abströmung der sich in der Coma befindlichen Materie zurückzuführen ist. (Vermutlich wird durch die Stoßprozesse der Moleküle mit den Protonen der solaren Korpuskularstrahlung, sowie Magnetfeldern die Schweifbildung hervorgerufen.)

24.IX.70 21.30h MEZ 0
V=80x, 1cm=1



2) „Die Welt der Planeten“, Prof. W. Heintz. Seite

3) K. Wurm, „Die Kometen“, a. a. O.

Wir müssen dabei nun auch noch neben dem sich daraus ergebenden Materieverlust des Kometen eine möglicherweise existierende 2te Amplitude (Reflexionslichtwechsel des Kerns) berücksichtigen.

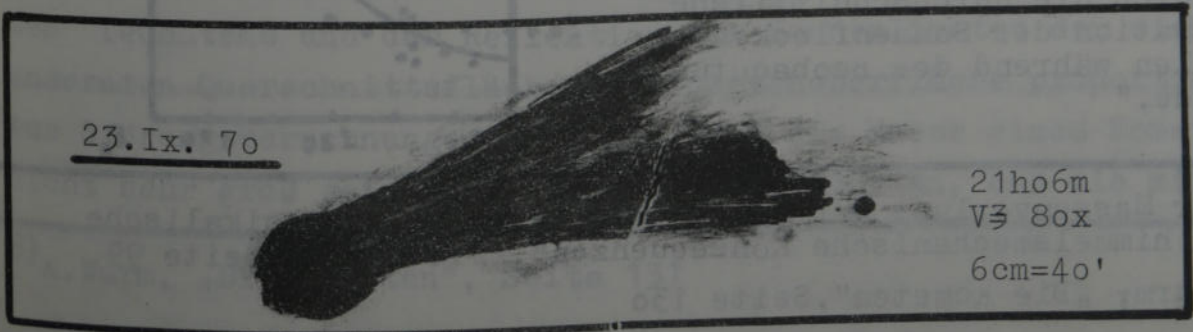
Da und die Beobachtung des Kerns versagt bleibt (zu kleiner Durchmesser), sind alle Schlüsse, die wir bezüglich der Kernbeschaffenheit ziehen, indirekt. Da aber nur der Kometenkern in der Lage ist uns einen Aufschluß über eine mögliche Rotation zu vermitteln, müssen wir für den Kometenkern eine Modellvorstellung entwickeln, die möglichst viele beobachtete Phänomene erklärt und darüberhinaus auf plausiblen Annahmen beruht:

1. Der Komet verliert an Masse
2. Die Gezeitenkräfte der Koma bleiben gering
3. Kontraktion des Kometenkopfes

Folgende Beziehung gilt für die Rotationsenergie:

$$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} J \omega^2 \quad \text{für } J = \int_0^m r^2 (m) dm$$

Verliert nun der Kern an Masse (Entgasungsprozeß), so wird J zwangsläufig kleiner. Nimmt nun auch noch r ab (Kontraktion) wird J nochmals kleiner. Da aber E_{rot} konstant ist (Gesetz von der Erhaltung der Energie; abgeschlossenes System - die Gezeitenkräfte seien hier vernachlässigt), muß sich ω (Winkelgeschwindigkeit) zwangsläufig in der zweiten Potenz erhöhen. Das bedeutet, daß die Rotationsgeschwindigkeit eines Kometen bei Annäherung an die Sonne unter den oben gemachten Annahmen zunimmt, d. h. die Periode verkürzt sich. Die Zunahme ließe sich nun auch quantitativ berechnen, wäre mir Form und Durchmesser des Kometenkerns bekannt. Da diese Frage aus diesem Material heraus nicht zu beantworten ist, sind wir nun auf Vermutungen angewiesen. Für einen kugelförmigen Kern läßt sich J zu $\frac{2}{5} m r^2$ bestimmen. („Nimmt man an, daß der Kern einen Durchmesser von 10 km und eine Dichte von 5 g/cm^3 (mittlere Dichte der Erde) besitzt, so beträgt seine Masse $2.5 \cdot 10^{18} \text{ g}$, also etwa $4 \cdot 10^{-8}$ der Erdmasse.“⁴⁾)



zusammenfassung:

Der Rotationslichtwechsel geht wie wir gesehen haben, von der Vorstellung aus, daß es sich um einen nicht kugeligen, sondern unregelmäßig geformten Körper handelt, der um seine eigene Achse rotiert. Während bei den kleinplaneten dieser Lichtwechsel auf die Reflektion des Sonnenlichtes zurückzuführen ist, tritt bei dem Kometen neben dem reflektierten Licht noch ein angeregtes Leuchten seitens der Sonne in Erscheinung. Der Faktor des angeregten Leuchtens ist von dem Sonneneinfluß stärker abhängig; ein Vergleich der 'Fleckenkurve' mit der 'Lichtkurve' ist daher sinnvoll. (Siehe auch c)

Die Theorie verlangt weiter eine Zunahme der Rotationsgeschwindigkeit zum Perihel hin, die sich nur schwer errechnen läßt, da Angaben über die Oberflächenform des Kometen fehlen. Diskontinuitäten sind besonders im Minimum zu erwarten, da zu dieser Zeit der Sonneneinfluß eine größere Rolle spielt als zur Zeit des Maximum. (Abknicken der Kurve)

e) Erklärungsversuch der Helligkeitsfluktuationen

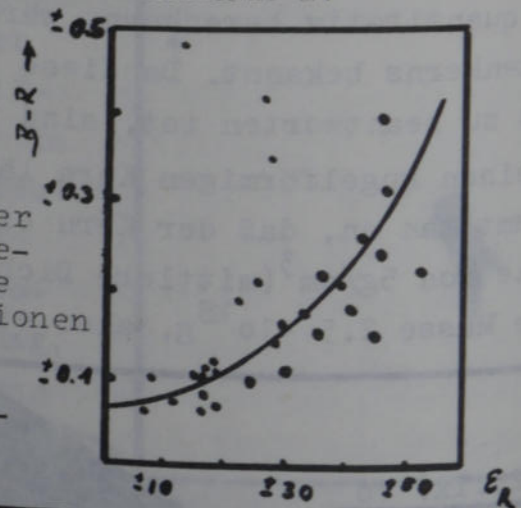
A) Allgemeine Betrachtung

Eine Einzelbetrachtung der unter c und d erzielten Ergebnisse soll im Folgenden nun zu einem Erklärungsversuch der Helligkeitsschwankungen führen. Dabei gebe ich die relativ geringen theoretischen Kenntnisse meinerseits zu bedenken.

Wie wir gesehen haben, korrelieren Helligkeitsfluktuationen an Kometen mit den Fluktuationen der Sonnenfleckenhäufigkeit. Eine Untersuchung von M. Beyer (Hamburg-Bergedorf) führte zur Aufstellung Diagramm IV.⁵⁾

"Die Stärke der Fluktuationen der Kometenhelligkeiten (Ordinate) ist der Stärke der Fluktuationen der Sonnenflecken-Anzahlen (Abszisse) korreliert. Jedem Kreis in der Abbildung entspricht ein bestimmter Komet. Die Lage im Diagramm ist bestimmt durch die durchschnittliche Stärke seiner Helligkeitsfluktuationen und durch die durchschnittliche Fluktuation der Sonnenflecken-Anzahlen während der Beobachtungsperiode."

DIAGRAMM IV



4) "Der Massenverlust der Kometen und seine astrophysikalische und himmelsmechanische Konsequenzen", P. Stumpff. Seite 99

5) K. Warm, "Die Kometen", Seite 130

Die durchschnittliche Fluktuation der Sonnenflecken-Anzahl für die Monate August, September und Oktober beträgt ± 24.1 . (August : ± 20.2 ; September: ± 24.2 ; Oktober : ± 27.9)

Nach Diagramm IV erhalten wir eine mittlere Fluktuation der Kometenhelligkeit von ± 0.12 . Betrachten wir nun jedoch Tabelle I, Abb. II bzw. III so sehen wir, daß selbst bei den reduzierten Helligkeiten Schwankungen größer als 0.12 auftreten; die Amplituden müssen also größer als dieser Wert sein.

Bevor wir uns jedoch der Bestimmung der Amplitude zuwenden, müssen noch einige Dinge geklärt werden. Zunächst sollte die Breitenbewegung des Kometen bezüglich der Sonne berücksichtigt werden.

Eine Untersuchung M. Beyer's führte zu folgendem Diagramm:

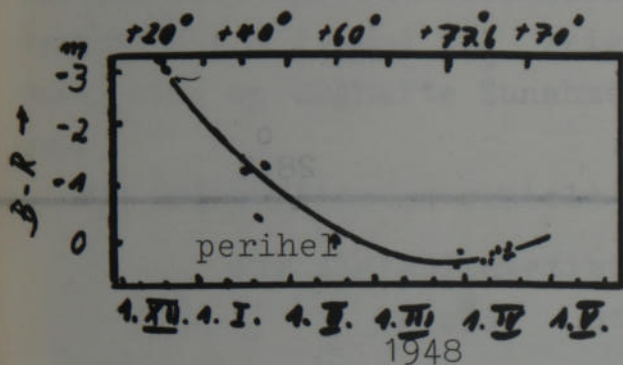


ABB: V

" Der Komet 1948a zeigte von Dezember 1947 bis Februar 1948 eine Helligkeitsabnahme um nahezu drei astronomische Größenklassen, obwohl er näher an die Sonne herankam. In dieser Zeit wuchs seine heliographische Breite von 20° auf 60° an. (Nach M. Beyer)" 6)

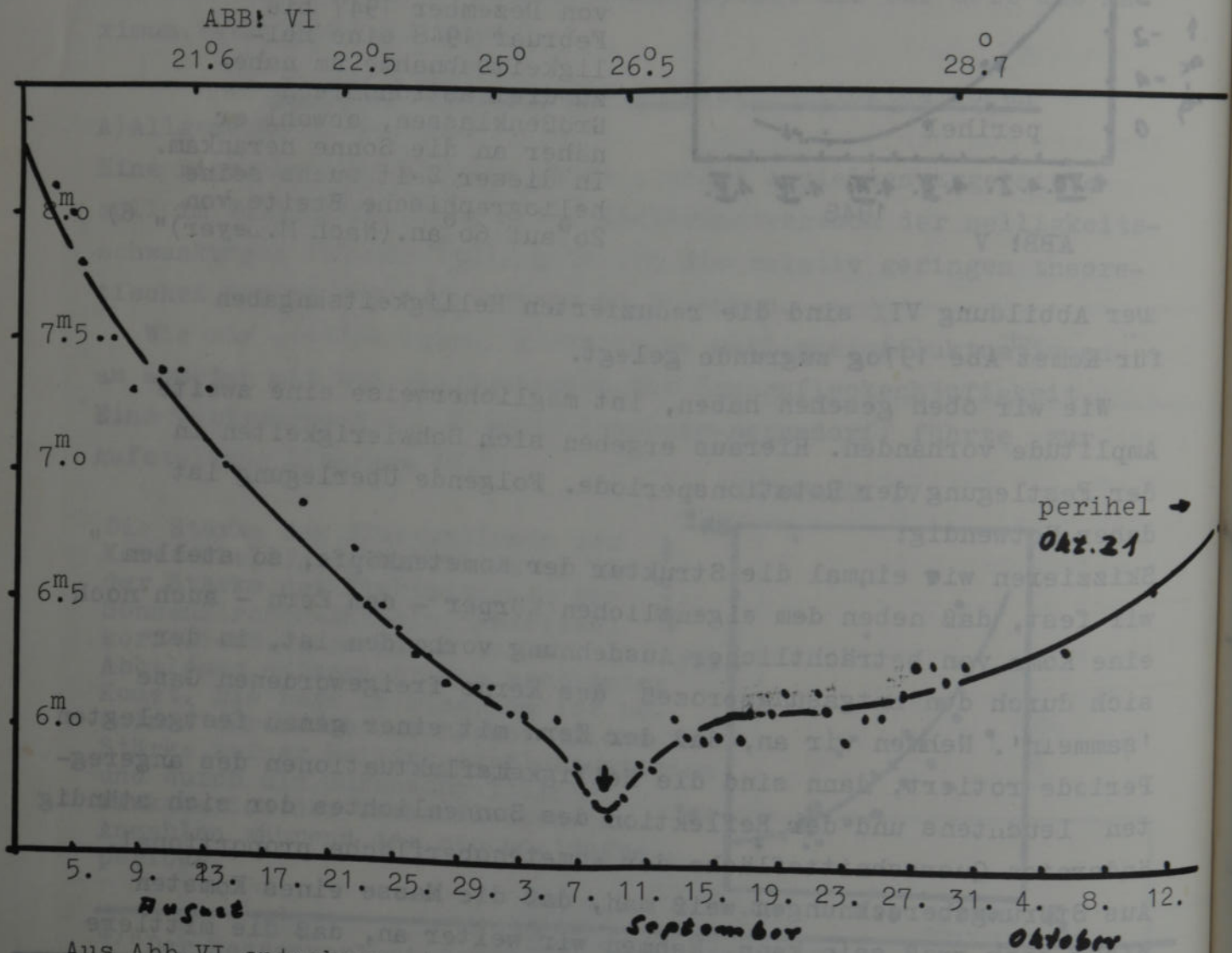
Der Abbildung VI sind die reduzierten Helligkeitsangaben für Komet Abe 1970g zugrunde gelegt.

Wie wir oben gesehen haben, ist möglicherweise eine zweite Amplitude vorhanden. Hieraus ergeben sich Schwierigkeiten in der Festlegung der Rotationsperiode. Folgende Überlegung ist daher notwendig:

Skizzieren wir einmal die Struktur der Kometenköpfe, so stellen wir fest, daß neben dem eigentlichen Körper - dem Kern - auch noch eine Koma von beträchtlicher Ausdehnung vorhanden ist, in der sich durch den Entgasungsprozeß des Kerns freigewordenen Gase 'sammeln'. Nehmen wir an, daß der Kern mit einer genau festgelegten Periode rotiert, dann sind die Helligkeitsfluktuationen des angeregten Leuchtens und der Reflektion des Sonnenlichtes über sich ständig ändernden Querschnittsfläche der Kometenoberfläche proportional. Aus Störungsberechnungen weiß man, daß die Masse eines Kometen nicht sehr groß sein kann. Nehmen wir weiter an, daß die mittlere

6) K. Wurm, „Die Kometen“, Seite 131

Dichte des Kometenkerns nicht sehr niedrig ist, so folgt daraus eine relativ geringer Durchmesser des Kerns. (Für den periodischen Kometen Encke errechnete man bei einer mittleren Dichte von 2.6g/cm^3 einen Durchmesser von 3km) Berücksichtigt man nun noch die konglomeratische Beschaffenheit der Kometenmaterie - Staub und gefrorene Gase - so dürfte sich für den Kern eines Kometen ein relativ geringer Albedowert ergeben. Die Koma selbst dürfte das reflektierte Sonnenlicht des Kerns weitgehendst absorbieren, so daß man von einer Reflektion - vergleichsweise den Planetoiden- nicht sprechen kann. (Ein Körper mit dem Durchmesser von 100 km und einer Erddistanz von 0.3 AE erscheint unter einem Winkel von nur 0.5 Bogensekunden!!) Dagegen setzt sich die Koma (das Sonnenlicht reflektierende) aus Staubteilchen und aus (von der Sonnenstrahlung zum Leuchten angeregten) Gasmolekülen zusammen.



Aus Abb. VI entnehmen wir einen Anstieg der Helligkeit von 2^m in dem Zeitraum vom 1.8. bis 8.9. Obwohl sich der Komet noch ständig der Sonne näherte, sank die Helligkeit bis zum Perihel jedoch um 1^m . (Die Angaben der heliographischen Breite wurden von Bernd Flach errechnet)

Wir brauchen die 'zweite' Amplitude also nicht zu berücksichtigen. unser Interesse richtet sich nun auf den Lichtwechsel.

Wie wir unter d gesehen haben, lassen sich Helligkeitsfluktuationen auf eine wechselnde Intensität der Entgasung zurückführen, welche durch die Schwankung der Sonnenaktivität oder durch eine Rotation des Kerns hervorgerufen werden kann.

Abb. II₁ und Tabelle II bilden die Hilfsquellen zur Bestimmung der Amplitude. Besonders problematisch war eine Amplitudenbestimmung aus Kurve II₂, da die Kurve im Zeitraum vom 11.8.-8.9. sprunghafte Anstiege aufwies, die auf Schwierigkeiten bei der Ermittlung der reduzierten Helligkeiten aus dem stark streuenden Beobachtungsmaterial zurückzuführen sind. So kann der Helligkeitsanstieg um fast eine Größenklasse (0^m.9 - 12.8.-20.8.) nicht allein auf die Periodizität zurückzuführen sein, denn wie uns ein Vergleich von II₂ und II₃ zeigt, ist der Helligkeitsanstieg durch eine sprunghafte Zunahme der Sonnenflecken-Anzahl zu erklären.

Für die Amplituden erhielt ich dann folgende Werte:

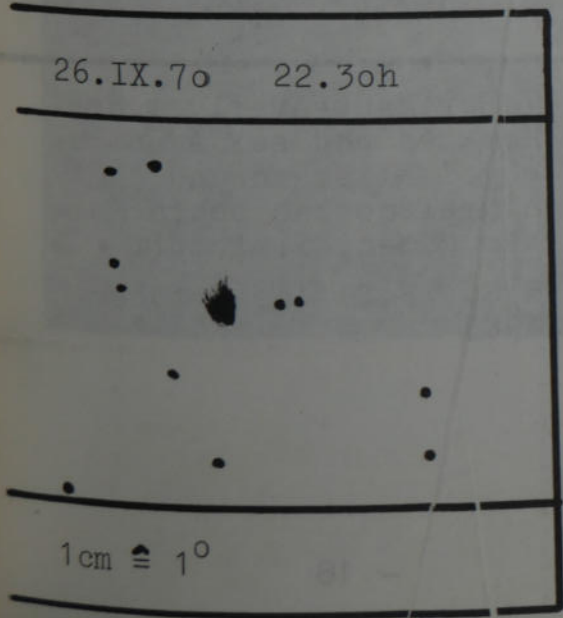
für die 'arithmetische Helligkeitskurve'

+ 0^m.37 Streuwert 0^m.06

für die 'reduzierte Helligkeitskurve'

+ 0^m.24 Streuwert 0^m.04

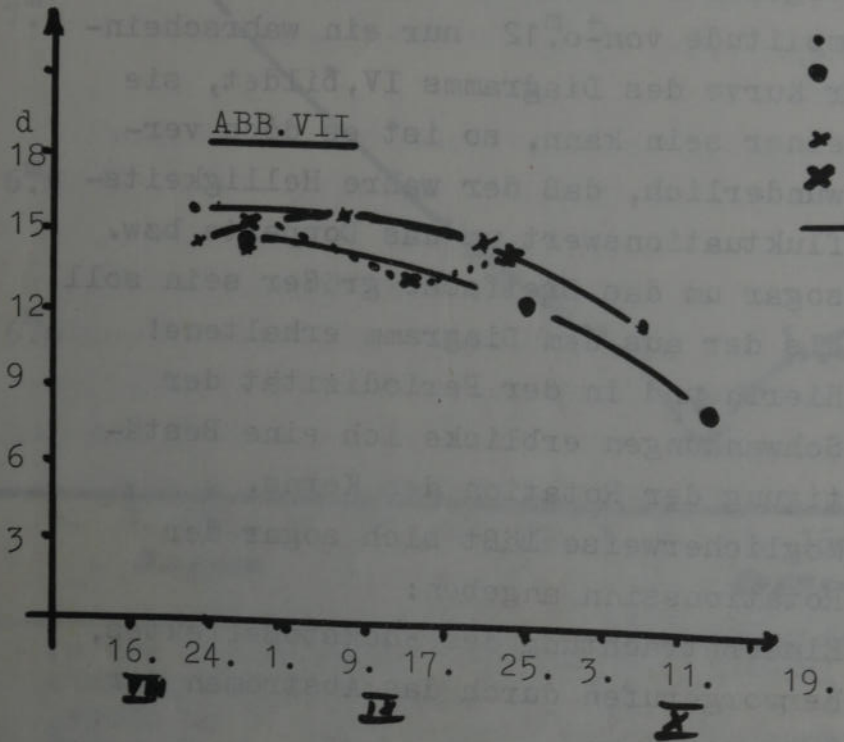
Ein Vergleich der beiden Amplituden mit dem Helligkeitsfluktuationenswert von +0^m.12 zeigt uns, daß die Schwankungen nicht nur durch den Sonneneinfluß hervorgerufen werden können. Auch wenn man davon ausgeht, daß die Amplitude von +0^m.12 nur ein wahrscheinlicher Wert, erhalten aus der Kurve des Diagramms IV, bildet, sie also durchaus größer oder kleiner sein kann, so ist es doch ver-



wunderlich, daß der wahre Helligkeitsfluktuationenswert um das Doppelte bzw. sogar um das Dreifache größer sein soll, als der aus dem Diagramm erhaltene! Hierin und in der Periodizität der Schwankungen erblicke ich eine Bestätigung der Rotation des Kerns. Möglicherweise läßt sich sogar der Rotationssinn angeben: Einer Betrachtung des Rückstoßeffectes, hervorgerufen durch das Abströmen der Gase vom Kern,

von P. Stumpff zufolge, bewirkt eine Zunahme der Winkelgeschwindigkeit (s. d/3) eine Bremsung des Kerns, dabei nimmt a (Große Bahnhalfachse) ab; der Körper rotiert retrograd (rückläufig).⁷⁾ Unter dieser Annahme besitzt Abe ein retrograde Bewegung.

Doch noch einmal zurück zum Helligkeitsfluktuationswert. Unter Zugrundelegung der Werte für $m_0 = 5^m.01$ und $n = 3.96$ erhielt ich Werte um $0^m.4$. Sie stimmen also größenordnungsmäßig überein. Abbildung II und III zeigen ab dem 11.9. Unregelmäßigkeiten, die oft diskontinuierlich vor einem erreichten Minimum einsetzen. Eine mögliche Erklärung ist bereits gegeben worden. Cornelis van Houten gibt dafür in einem Artikel, erscheinen in SuW⁸⁾, eine weitere, mögliche Erklärung an; allerdings für Kleinplaneten. „Eine mögliche Erklärung wäre die, daß der Körper scharfe Kanten hat, die flache Teile der Oberfläche begrenzen...“ Eine derartig 'ideale' Form dürfte bei Kometen jedoch nicht vorhanden sein; doch sind, besonders wenn man die relativ langsame Rotation von ca. 16^d in Betracht zieht, Oberflächenverformungen durchaus denkbar. Diese Annahme erklärt jedoch nicht, warum im August keine Diskontinuitäten zu beobachten waren. Übertragen wir dieses Modell dennoch - lassen wir den kleinen Widerspruch außer acht - so würden die Helligkeitszunahmen noch plausibler erscheinen. Vergrößert sich nämlich die Querschnittsfläche (Verfrostung), so nimmt entsprechend auch der Sonneneinfluß zu, d.h. wir beobachten einen Helligkeitsanstieg. Die von der Theorie geforderte Abnahme der Rotationsperiode veranschaulicht Abb. VII.



- Maximum der arith. Werte
- Minimum der arith. Werte
- × Maximum der red. Werte
- × Minimum der red. Werte

7) Der Massenverlust der Kometen und seine astrophysikalischen und himmelsmechanischen Konsequenzen, P. Stumpff
 8) SuW Heft 10, Oktober 1963

Resümee:

1. Die Rotationsperiode nimmt zum Perihel ab, wobei Maxima und Minima in stetig abnehmenden Zeitspannen erreicht werden.
2. Die Periode verkürzt sich zu Beginn der Beobachtungszeit von 16^d auf etwa 13^d gegen Ende der Beobachtungszeit (sind die Werte reell, so nahm die Periode täglich um etwa 1.2 Stunden ab)
3. Das auf ein Maximum folgende Minimum wurde innerhalb 6 Tage (bei 16tätiger Rotationszeit), das Maximum etwas länger, etwa nach $9-10^d$ erreicht.
4. Diskontinuitäten ergaben sich nur im Minimum
5. Die Amplitude betrug für den ersten 'Auswertungsweg'
 ± 0.37 Streuwert 0.06
für den zweiten
 ± 0.24 Streuwert 0.04



→ Schweif
Typ I (Jonenschweif)

→ Kern } Kopf } Coma

F) Kritische Betrachtung

A. Bei einer ersten Durchsicht des Beobachtungsmaterials fiel mir besonders die Helligkeitsschwankung des Kometen auf. Der Befund der ersten Auswertung ließ den Verdacht aufkommen, es könne sich dabei um einen Lichtwechsel handeln. Eine zweite, intensivere Auswertung bestätigte im Wesentlichen die Ergebnisse der ersten. Nun erst suchte ich nach der Ursache der periodischen Schwankung. Ein Vergleich mit den Sonnenfleckenrelativzahlen zeigte, daß die solare Aktivität nicht allein für die Schwankung verantwortlich gemacht werden konnte, vielmehr mußte es einen Mechanismus geben, der die Fluktuation mit einer bestimmten Amplitude und Periode bewirkte.

Auf der Suche nach einem geeigneten Modell stieß ich auf die Rotationslichtwechselhypothese. Der häufig an Kleinplaneten beobachtete Lichtwechsel wird als Rotation des Körpers gedeutet. Bei Kometen wurden derartige Bewegungen bisher nur vermutet, ein Nachweis glückte noch nicht.

B. Die Idee eines Rotationslichtwechsels an Kometen schien mir geradezu fantastisch! Als Thomas Kleine, Stade, der sich auch mit dem Beobachtungsmaterial befaßte, -nach einem Hinweis, aber unabhängig von meiner Auswertung- mir ebenfalls von einer periodischen Schwankung berichtete, arbeitete ich das bereits beiseite gelegte Material noch einmal durch.

Das Beobachtungsmaterial:

Wie wir in Abb. I und II gesehen haben, streuen die Helligkeitsschätzungen beträchtlich. Eine Trennung von brauchbarem und unbrauchbarem Material schien unumgänglich, wollte man zuverlässige Ergebnisse erzielen. Etwas problematisch erscheint auch der weitere Weg der gegangen wurde. Die Wissenschaftler sind bezüglich des Sonneninflusses auf Kometen geteilter Meinung. Ein erheblicher Teil spricht von einem sehr starken Einfluß unseres Zentralgestirns auf die 'Außenseiter am Himmelszelt', gestärkt in ihrer Position durch die hervorragenden Ergebnisse der interplanetaren Satellitenmissionen. Jedoch besteht kein Zweifel darüber, daß die Sonne die Prozesse in der Koma und des Schweifes steuert, bzw. beschleunigt. Kometen beginnen ja erst in Sonnennähe zu leuchten. Heftig diskutiert wurde der Zusammenhang der Sonnenfleckenrelativzahl und der Helligkeitsschwankung, ebenso eine mögliche Reduzierung der Helligkeit, hervorgerufen durch die Breitenbewegung der Kometen. Ich stellte in der Auswertung diesen Sachverhalt kaum in Frage, sondern versuchte darauf eine mögliche

Antwort zu geben. Ich bin mir darüber im Klaren, an dieser Stelle der gezielten Auswertung den Vorrang gegeben zu haben, was meiner Meinung nach sinnvoller ist - ob Verifikation oder Falsifikation-, als sich mit einer oberflächlichen Analyse zu begnügen.

Leider fehlt bei der Betrachtung die Berücksichtigung der Phase, so daß die gefundenen Werte abermals, wenn auch nur geringfügig zu reduzieren wären.

Weiter gebe ich meine relativ spärlichen Kenntnisse zu bedenken. Der Aufsatz erhebt daher nicht den Anspruch auf höchste Genauigkeit und vollkommen richtige Deutung des Materials. Er versteht sich als bescheidener Beitrag zur Kometenforschung und sollte daher nicht mißverstanden werden.

Eine sich sicherlich lohnende Aufgabe wäre die Berechnung des Massenverlustes unter den oben gemachten Annahmen. Vielleicht könnten dadurch Argumente für oder gegen die Betrachtung erschlossen werden.

An dieser Stelle möchte ich besonders Thomas Kleine und Bernd Flach für ihre Mitarbeit danken.

Aufnahme des Kometen; auf HP-4 27° DIN entwickelt in Microphen
29° DIN

