

Lichtelektrische Photometrie auf der Remeis-Sternwarte Bamberg

Von W. Strohmeier und E. Geyer

1. Vorteile der lichtelektrischen Methode: Die Remeis-Sternwarte widmet sich seit ihrem Bestehen dem Studium der veränderlichen Sterne. Die dazu erforderlichen Beobachtungen erfolgten zunächst mit dem Auge, ab Mitte der zwanziger Jahre mit Hilfe der photographischen Platte und ab 1954 auch mittels der lichtelektrischen Zelle. Der Wunsch nach größerer Genauigkeit und die Notwendigkeit, die Helligkeitsänderungen der Sterne innerhalb kürzester Zeitspannen zu erfassen, führten zur Anwendung hochfrequenztechnischer Meßmethoden für astronomische Zwecke. Die Genauigkeit dieser neuen Methode läßt sich über das 10fache gegenüber der Photographie steigern und ihre Helligkeitsangaben sind jeweils für den Augenblick der Messung geltende; dagegen sind die der photographischen Photometrie als Integrale über die volle Dauer der Belichtungszeit — die in der Astronomie in der Größenordnung von Stunden liegt — aufzufassen. Was also während der Belichtung an kurzen Helligkeitsänderungen passiert, geht bei der photographischen Speicherung der Lichteinwirkung als Einzeleffekt verloren — sehr zum Schaden für das Studium der besonders interessanten kurzperiodischen Veränderlichen. Die lichtelektrische Photometrie bucht als weitere Vorteile für sich eine etwa 50fach höhere Empfindlichkeit (größere Quantenausbeute) und eine geringere Reduktionsarbeit; nachteilig wirkt zwar die stärkere Beeinflussung der Messung durch geringe Extinktionsschwankungen innerhalb der Erdatmosphäre sowie die Beschränkung auf Einzelobjekte und auf Nächte besonders guter Durchsicht. Bei der Abwägung der Vor- und Nachteile der beiden Verfahren wird deutlich, daß sie eigentlich gar nicht miteinander konkurrieren, sondern daß die astronomische Beobachtungspraxis, bei dem Streben nach sinnvoller Ausschöpfung aller Möglichkeiten, sich beider Verfahren bedienen wird müssen.

Die Einführung der lichtelektrischen Photometrie an der Remeis-Sternwarte Bamberg war auch naheliegend in Anbetracht des vorhandenen

60-cm-Spiegels, der für photographische Photometrie eine nicht ausreichende optische Zeichnung aufweist; die optischen Anforderungen sind aber bei der lichtelektrischen Photometrie nicht so extrem hohe, so daß der 60-cm-Parabolspiegel somit die bestmögliche Verwendung findet. Die Grenzgröße bei einer Photometriergenauigkeit von 3—5% liegt bei der 14. Größenklasse.

2. Lichtelektrische Meßmethoden: In modernen, höchst empfindlichen lichtelektrischen Sternphotometern werden ausschließlich Sekundärelektronenvervielfacher-Photozellen (SEV) verwendet. Diese Photozellen machen von der Tatsache Gebrauch, daß die vom auffallenden Licht aus der Photokathode freigesetzten Elektronen weitere Elektronen aus Metalloberflächen (Dynoden), auf die sie stoßen, freimachen. Die Anzahl der Sekundär-Elektronen, die dabei erzeugt werden, hängt ab von der Geschwindigkeit dieser primären Teilchen. Diese kann erhöht werden, wenn man die Spannungsdifferenz zwischen Photokathode und Dynode vergrößert; setzt man nun mehrere solcher Dynoden hintereinander, die untereinander Spannungsdifferenzen aufweisen, so kann man die Verstärkung beträchtlich steigern. Die genaue Arbeitsweise und Eigenschaft der SEV sind von KRON (1) und ENGSTROM (2) ausführlich beschrieben worden. Werden pro Dynode von einem auffallenden Elektron v weitere Teilchen herausgeschlagen, so beträgt die Gesamtverstärkung V nach n Dynodenstufen $V = v^n$; die Anzahl v kann bis zu 15 Elektronen betragen. Bei dem heute sehr viel gebrauchten SEV RCA 1P21 mit 9 Stufen erreicht man bei einer Spannungsdifferenz von 100 V pro Dynodenstufe eine Gesamt-Verstärkung von etwa 10^6 bis 10^8 . Diese Elektronenwolke wird an der Anode des Vervielfachers aufgefangen und ergibt den zu messenden Photostrom. Trotz der enormen Verstärkung durch den SEV ist der an der Anode auftretende Photostrom noch sehr klein. Zu seiner Messung werden 3 verschiedene Methoden (3) angewandt.

a) Die Gleichstrom-Methode: Bei ihr wird der gesamte an der Anode des SEV auftretende Strom mit Hilfe eines Galvanometers, Elektrometers oder Gleichstromverstärkers entweder direkt gemessen oder auch die Instrumente als Nullinstrumente in einer Kompensationsschaltung verwandt. Diese Art der Messung ist recht empfindlich gegen Spannungsänderungen. Jede Änderung des Dunkelstromes, z. B. durch Temperaturschwankungen, geht in das Meßergebnis voll ein — wie auch Isolationsänderungen, die z. B. durch Feuchtigkeitsbeschläge hervorgerufen werden können.

b) Das Wechsellichtverfahren: Dabei wird das auf die Photokathode fallende Licht durch Unterbrechung mit Zahnrad, rotierendem Sektor oder rotierendem Polaroid moduliert. Der dadurch an der Anode auftretende Wechselstrom wird dann mit einem Wechselstromverstärker weiter verstärkt und nach Gleichrichtung mit einem Galvanometer gemessen. Der hauptsächlichste Vorteil dieser Methode besteht darin, daß die Nullströme nicht verstärkt werden und somit die Helligkeitsmessung unbeeinflusst lassen.

Die Unterbrechung des Lichtes bedingt natürlich entsprechende Hellig-

keitsverluste, außerdem ist dieses Verfahren ebenfalls anfällig gegenüber Spannungsänderungen am SEV.

c) Die Methode der Impulszählung: Dieses Verfahren ist in einer Abwandlung beim Bamberger lichtelektrischen Photometer in Anwendung gekommen. Durch die Wirkungsweise der neun Dyoden der 1P21 kommt durchschnittlich eine Elektronenwolke von etwa 10^6 Elektronen für jedes an der Photokathode freigesetzte Elektron an die Anode. Die Eingangskapazität C zum Impulsverstärker besteht aus den Streukapazitäten gegenüber Erde der Anode, dem Röhrengitter und den verbindenden Leitungsdrähten. Die Anode wird durch die Elektronenwolke zum maximalen Wert in einer Zeit aufgeladen, die der Laufzeit der Elektronen von der neunten Dynode zur Anode entspricht (10^{-9} sec). Daraus ersieht man, daß die Kapazität C sehr schnell aufgeladen wird, sich jedoch über den Arbeitswiderstand R ($1M\Omega$) mit der Zeitkonstante RC entlädt. Diese an dem Arbeitswiderstand hervorgerufenen Spannungsschöße sind nun für die Meßapparatur unterscheidbar, wenn ihre Anzahl kleiner ist als der reziproke Wert der Zeitkonstante. Nimmt man die Kapazität C zu 10^{-11} F an, so beträgt die Zeitkonstante $t = 10^{-5}$ sec. Dies bedeutet also, daß nach 10^{-5} sec der nächste Impuls zur Meßanlage kommen darf, wenn sich diese nicht „verzählen“ und somit linear arbeiten soll. Für den Bamberger 60-cm-Spiegel arbeitet daher ein impulszählendes Photometer erst von der Helligkeitsgröße 10^{m5} bis zu schwächeren Sternen im linearen Bereich.

Bei allen lichtelektrischen Photometern ist der Dunkelstrom von besonderer Bedeutung. Zu dessen Auftreten tragen prinzipiell in handelsüblichen Photozellen 5 Ursachen bei: 1. Die thermische Emission von Elektronen aus der Photokathode; 2. thermische Emission von den Dynoden — beide Effekte lassen sich weitgehend durch Kühlung der Zellen mit flüssiger Luft (-180° C) unterdrücken; 3. Feldemission durch die am SEV liegenden hohen Spannungen. Diese spielt bei modernen Vervielfachern jedoch kaum eine Rolle, da die Betriebsspannungen aus technischen Gründen niedrig gehalten werden müssen; 4. Ionisation in Folge von Restgasen innerhalb der Zelle; 5. Austritt über äußere und innere Oberflächen (Isolationstrom, Rauschen des Arbeitswiderstandes usw.).

Die thermische Emission von der Kathode ist bei weitem die bedeutendste Störquelle in allen gewöhnlichen Anwendungen. Der Austritt aus den Dynoden und der Oberflächenverlust trägt zum Dunkelstrom nur unwesentlich bei. Feldemission und Ionisation sind in guten SEV bei niederen Betriebsspannungen ebenfalls ohne Bedeutung. Dabei muß bedacht werden, daß thermische Emission Impulse erzeugt, die von den Impulsen der Photoelektronen nicht zu unterscheiden sind. Jedoch läßt sich bei der Impulszählung erreichen, die thermischen Impulse durch Diskriminierung gegenüber den Photoimpulsen weitgehend zu unterdrücken, so daß man auf Zellenkühlung verzichten kann. Da nun die elektronische Zählordnung genormte Impulse benötigt, so ist es nicht nur wünschenswert, sondern sogar notwendig, eine Diskriminatoranlage für die Impulsamplituden vorzusehen. Die Empfindlichkeit der Methode der Impulszählung gegen Spannungsänderungen ist wesentlich geringer, da es ja vor allem auf die Anzahl und erst in zweiter Linie auf die Größe der

Impulse ankommt. Isolationsschwankungen sind überhaupt bedeutungslos. Um die Impulse nun zu zählen, bedarf es eines mit vielen Unterstufungen arbeitenden Zählwerkes, wodurch jedoch der elektronische Aufwand und auch die Störanfälligkeit recht hoch wird; beim Bau des Bamberger Photometers war man daher bestrebt, dieses Zählwerk in einfacher Weise zu ersetzen — durch Normierung der Impulse nach Höhe und Zeitdauer. Es entspricht dann jedem Impuls eine ganz bestimmte Ladung; die Messung dieser Ladung macht nach Anwendung einer selbständigen Mittelwertbildung nur mehr eine Strommessung notwendig.

3. Aufbau des Bamberger Photometers: Das Photometer besteht aus dem Fernrohransatz, der neben den optischen Teilen die Photozelle RCA 1P21, dem dreistufigen Impulsverstärker und die Diskriminatoranlage enthält, und dem Netz- und Meßteil. Die ganze Anlage wurde von M. Sauer (3) in der Werkstatt der Universitätssternwarte München gebaut und stellt eine wesentliche Verbesserung des lichtelektrischen Photometers der Sternwarte München dar.

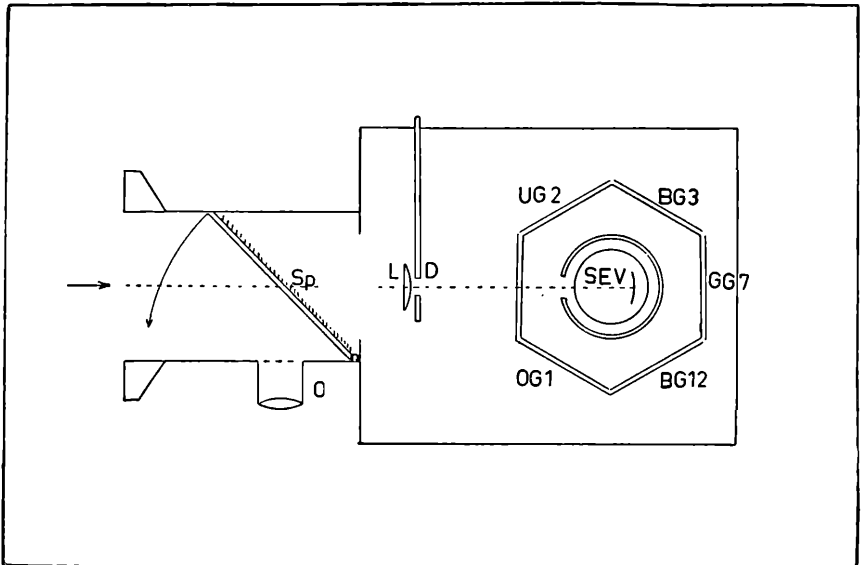


Abb. 1
Schematischer Aufbau des Fernrohransatzes.

Abb. 1 zeigt schematisch den optischen Aufbau des Fernrohransatzes. In der Brennebene der Fernrohroptik liegt exzentrisch gelagert eine geränderte Lochscheibe, die eine Spaltblende und 5 Diaphragmen (D) vom Durchmesser 4 mm, 2 mm, 1 mm und 0,5 mm in den Brennpunkt des Strahlengangs einzuschalten gestattet, in deren Mitte das zu messende Sternbild gebracht wird. Die Einstellung des Sterns auf das Diaphragma

erfolgt mit einem Klappspiegel Sp, der unter 45° in den Strahlengang geneigt werden kann und das Sternlicht auf das Fadenkreuz des Beobachtungsookulars O wirft. Unmittelbar vor dem Diaphragma sitzt eine dünne Feldlinse L (Fabry-Linse), die das Primärobjektiv auf die lichtempfindliche Schicht der Photokathode abbildet. Dadurch erreicht man, daß stets die gleiche Fläche der Photokathode beleuchtet wird. Der SEV ist zur Abschirmung magnetischer Felder mit einem Weicheisenmantel umgeben. Durch eine sechseckige, den SEV umgebende Trommel können wahlweise 5 Farbfilter (Schott: UG2/1 mm, BG3/1 mm, GG7/2 mm, BG12/1 mm + GG13/2 mm, GG11/1 mm) in den Strahlengang gebracht werden. Die ganze Anlage ist in einem lichtdichten Aluminiumgehäuse untergebracht, das — geerdet — zur elektrischen Abschirmung dient. Unmittelbar daran schließt sich, thermisch isoliert, das Gehäuse für den Impulsverstärker und die Diskriminatorstufen an. Die Verbindung mit dem Netz- und Meßteil stellt ein 8poliges gut abgeschirmtes Kabel dar.

Der Netzteil: Die Speisung des SEV, des Verstärkers und der Beleuchtungseinrichtung erfolgt über drei Transformatoren, die primärseitig durch 2 Eisenwasserstoffröhren geregelt sind. Die prinzipielle Schaltung der gesamten elektrischen Anlage ist aus Abb. 2 ersichtlich. Am SEV liegt pro Dynodenstufe eine Spannung von 60 V. Gegen Feuchtigkeit ist der Vervielfacher samt den Widerständen mit Ceresin vergossen; durch einen herausragenden Stutzen kann er gekühlt werden.

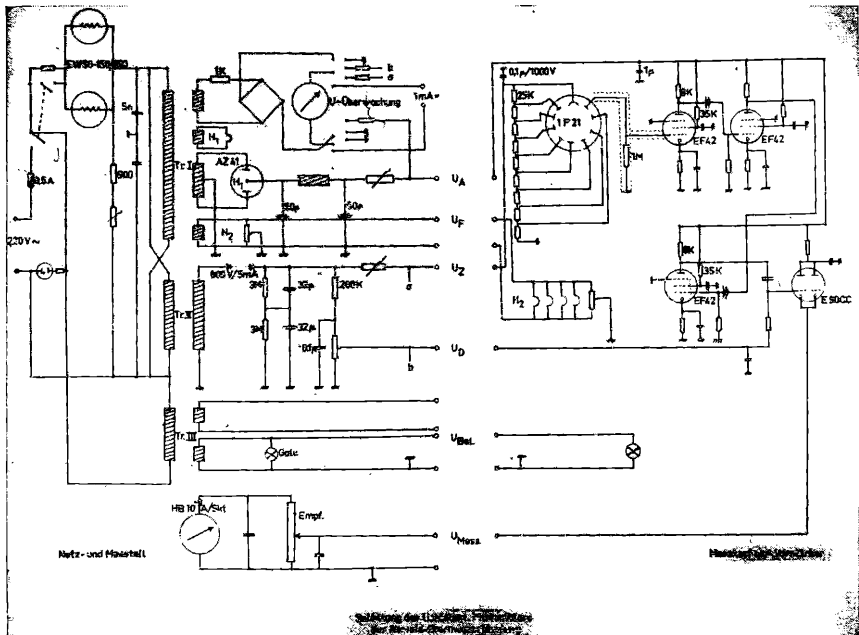


Abb. 2

Schaltung der elektrischen Anordnung des Bamberger lichtelektrischen Photometers

Der dreistufige Impulsverstärker ist RC-gekoppelt und liefert eine über 10^5 -fache Verstärkung. Gegenüber dem Münchner Photometer sind im Verstärker moderne Röhren mit großer Steilheit und damit kleinen Zeitkonstanten verwendet. Die Verbindung zwischen Zelle und Eingangsstufe ist so kurz wie möglich gehalten, so daß die Eingangskapazität nicht mehr als 10^{-11} F beträgt. Die Diskriminatorstufe dient, wie bereits erwähnt, zur Normierung der Impulsamplituden und zum Abschneiden der Mehrzahl der Rausch- und Dunkelstöße; dazu fand die Doppeltriode E90CC mit scharf einsetzender Kennlinie Verwendung, die gute Diskrimination gewährleistet. Die Gittervorspannung der Diskriminatorröhre wird an einem zur Zellenspannung parallelliegenden Potentiometer abgegriffen. Zwischen Anode der E90CC und Masse liegt ein Kondensator, der die Wechselspannung aufnimmt — wie bei einem Röhrenvoltmeter.

Die Messung des entstehenden Gleichstroms erfolgt mit einem entsprechend gedämpften Bändchengalvanometer von Hartmann & Braun mit Lichtzeigerablesung. Die Dämpfung wird durch einen Kondensator und Parallelwiderstand erreicht. Der Abgriff des Parallelwiderstandes regelt die Empfindlichkeit (5 Empfindlichkeitsstufen), ohne aber die Dämpfung zu ändern. Die Ablesegenauigkeit beträgt $\pm 0,2$ Skalenteile.

4. Linearität des Photometers: Wie unter 2 c erwähnt, gehen bei der Impulszählung durch die endliche Auflösezeit der gesamten Anlage Impulse verloren — was N i c h t linearität bei der Messung hellerer Lichtquellen bedeutet. Da der Ablauf des „Zählvorganges“ eine endliche Zeit t erfordert, wird die ganze Zählordnung beim Eintreffen des Impulses für die Zeit t für weitere Impulse gesperrt; infolgedessen werden zu w e n i g Impulse gezählt bzw. vom Galvanometer des Bamberger Photometers angezeigt, falls die Impulsfolge nicht wesentlich kleiner ist als das Auflösungsvermögen $1/t$. Für die ausgelassenen Impulse müssen zwei Grenzfälle unterschieden werden: a) Ein während der Blockierung eintreffender Impuls kann die Impulsregistrierung wieder von Anfang an beginnen lassen, so daß die Sperrzeit verlängert wird; b) der bereits eingeleitete Zählvorgang bleibt unbeeinflusst von den während der Blockierung eintreffenden Impulsen. Es werden also alle Impulse, die im Zeitintervall t auf einen registrierten Impuls folgen — das sind $N_0 \cdot N \cdot t$ — ausgelassen, wenn in der Zeiteinheit N_0 statistisch verteilte Impulse eintreffen und N die beobachtete Impulszahl bzw. den äquivalenten Galvanometerausschlag bedeutet.

Die Korrektionskurven zur Linearisierung des Bamberger Photometers wurden nach einem Vorschlag von A. B e h r folgendermaßen bestimmt: Über eine planparallele Glasplatte fällt auf die lichtelektrische Zelle einerseits die Strahlung einer veränderlichen Lichtquelle der Intensität I_v und andererseits die einer konstanten Lichtquelle I_c . Der Strahlungsintensität I_v entspricht der Galvanometerausschlag A , der Intensität $I_v + I_c$ der Ausschlag $A + \Delta A$. Wenn das Photometer im l i n e a r e n Bereich arbeitet, ist ΔA stets eine konstante Größe, während eine Änderung von ΔA mit I_v ein Maß für die Nichtlinearität darstellt. Abb. 3 zeigt ΔA als Funktion von A für zwei verschiedene Empfindlichkeitsstufen des Photometers; die beiden Kurven werden nach Integration zur Reduktion auf Linearität benutzt.

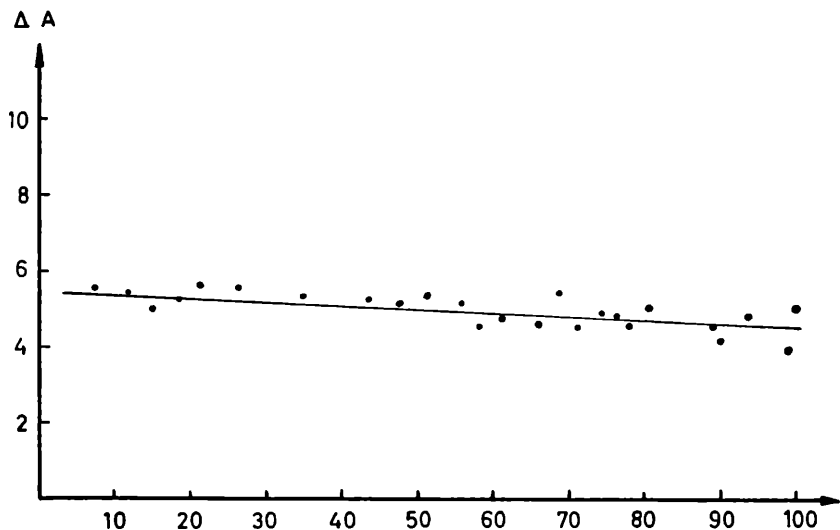
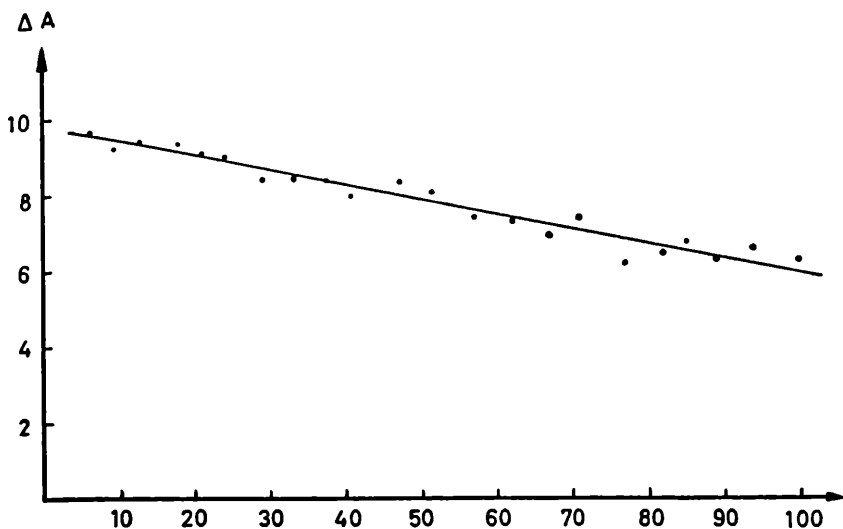


Abb. 3

*Änderung von ΔA mit zunehmender Helligkeit, A (Skalen-Einheiten).
Oberer Teil: Empfindlichkeitsstufe 4; unterer Teil: Empfindlichkeitsstufe 5.*

5. Die Genauigkeit lichtelektrischer Messungen mit dem Bamberger Photometer: Als Beispiel für die lichtelektrische Meßgenauigkeit ist ein Teil der Lichtkurve des Bedeckungsveränderlichen BD +55^o 1317 in Abb. 4 wiedergegeben. Sie zeigt seine Maximalhelligkeit und sein Hauptminimum. Der mittlere Fehler einer Einzelmessung liegt hier sogar unter 1%.

Δm

0,10 BD + 54° 1278 — BD + 55° 1317

0,18

0,26

0,34

0,42

0,50

0,58

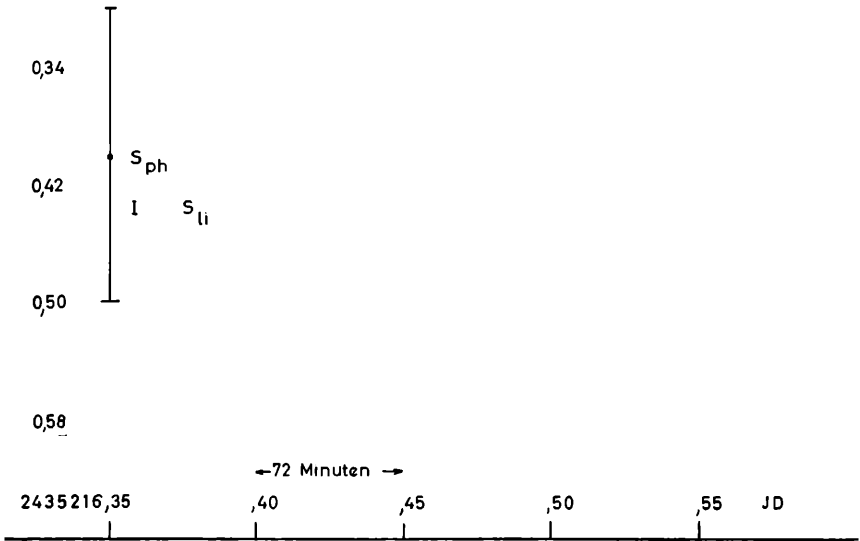


Abb. 4

Teil der Lichtkurve des Bedeckungsveränderlichen BD + 55° 1317, gemessen mit GG7-Filter. Vergleichssterne = BD + 54° 1278.

Zum anschaulichen Vergleich ist die Streuung von Helligkeits s c h ä t z u n g e n (S_{ph}) auf photographischen Platten, wie sie bisher in Bamberg nur möglich waren, der Streuung dieser lichtelektrischen Messungen (S_{li}) gegenübergestellt; das Verhältnis ist 20:1. BD + 55° 1317 hat eine photographische Helligkeit von 10,^m5 und ist vom Spektraltyp G5; die Helligkeitsbeobachtungen wurden durch ein GG7-Filter gemacht, das einen Lichtverlust von etwa 1 Größenklasse bewirkt.

- Literatur: (1) Kron, G. E.: *Astroph. Jour.* Bd. **103**, 324 (1946),
(2) Engstrom, R. W.: *J. Opt. Soc. Am.* Bd. **37**, 420 (1947),
(3) Sauer, M.: *Astr. Nachr.* Bd. **282**, 171 (1953).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Bericht der naturforschenden Gesellschaft Bamberg](#)

Jahr/Year: 1956

Band/Volume: [35](#)

Autor(en)/Author(s): Strohmeier W., Geyer E.

Artikel/Article: [Lichtelektrische Photometrie auf der Remeis-Sternwarte Bamberg 1-8](#)