

ASCORIS-Photometers [5] ausgemessen werden können, nachdem das am Photometer vorhandene Wechselobjektiv durch Verschiebung der Vergrößerung angepaßt ist.

Die Bildbeispiele zeigen einige Möglichkeiten und nicht die Grenzen der Bearbeitung astrophysikalischer Fragestellungen mit einem Mehrkanalprojektor.

Literatur

[1] JOHNSON, H. L.: A Photometric System. *Ann. d'Astrophysique* **18** (1955) S. 292–316.

[2] JOHNSON, H. L., R. DE F. NEVILLE,

B. IRIARTE: A Method of Increasing the Photographic Limiting Magnitude of an Astronomical Telescope. *Lowell Obs. Bulletin* **4** (1958) S. 83–86.

[3] KROITZSCH, V.: Multispektralfotografie. *Bild und Ton* **30** (1977) S. 165–173.

[4] McC ORD, TH. B.: Multispectral Mapping of Solar System Objects. *IEEE Trans. on Geoscience Electronics* **GE – 14** (1976) S. 135–140.

[5] SCHIELICKE, R.: ASCORIS – eine Kombination zweier bewährter Meßprinzipie. *Jenaer Rundschau* **24** (1979) S. 38–41;

Mitteilungen der Universitäts-Sternwarte Jena Nr. 137.

[6] TZSCHOPPE, W.: Der Multispektralprojektor MSP-4, ein Farbsynthesegerät zur Auswertung von Multispektralaufnahmen. *Jenaer Rundschau* **22** (1977) S. 266–269.

[7] VAN DEN BERGH, S., R. J. DUFOUR: Farbbeobachtungen von NGC 5128 = Centaurus A. *Sterne u. Weltraum* **17** (1978).

[8] WALBORN, N. R., T. E. INGERSON: Structure in the Carina Nebula and Eta Carinae. *Sky and Telescope* **54** (1977) S. 22–24.



Irisblendenphotometer ASCORIS - eine Kombination zweier bewährter Meßprinzipie

Reinhard Schielicke

(Mitteilungen der Universitäts-Sternwarte zu Jena Nr. 137)

Das in den letzten Jahren vom VEB Carl Zeiss JENA entwickelte ASCORIS-Photometer vereinigt zwei Geräte, die vielfach bewährte Meßverfahren realisieren. Dabei handelt es sich einerseits um das Koordinatenmeßgerät ASCORECORD 3 DP, über dessen Vervollkommenung insbesondere im Hinblick auf die automatische Meßwertausgabe G. FEHLKAMM [3], H. G. BECK [1] und H. G. BECK und R. TIETSCH [2] berichtet haben, sowie andererseits um das Prinzip der Messung von „effektiven Durchmessern“ von Schwärzungsscheibchen auf Photoplaten mit dem Irisblendenphotometer, das H. SIEDENTOPF [8] im Jahr 1934 angegeben hat. Damit steht der astronomischen Auswerttechnik eine Anlage zur Verfügung, die die Möglichkeit bietet, den hohen Informationsgehalt von Photoplaten noch effektiver auszuschöpfen.

Da das ASCORIS-Gerät nicht vollautomatisiert ist, und das Aufsuchen und Zentrieren der Objekte durch den Beobachter vorgenommen wird, bietet es

den Vorteil der unkomplizierten Selektion der Meßobjekte verbunden mit der Möglichkeit, Fehler eindeutig und sofort zu erkennen. Der das Gesamtgerät steuernde Rechner kann neben seiner eigentlichen Funktion dazu benutzt werden, während oder unmittelbar im Anschluß an die Messungen die Reduktion der Meßwerte durchzuführen. Bemerkenswert ist die für die Leistungsfähigkeit der Anlage relativ kleine optimale Stellfläche von 9 m².

1. Aufbau und Wirkungsweise

Die technischen Daten des Koordinatenmeßgeräts sollen in dieser Arbeit nicht weiter diskutiert werden. Es sei lediglich erwähnt, daß durch die Anwendung des ABBEschen Komparatorprinzips Messungen der rechtwinkligen Koordinaten von Punkten innerhalb einer Fläche von 300 mm mal 300 mm mit einer Auflösung von 0,0001 mm durchgeführt werden können, wobei für scharf begrenzte Objekte ein mittlerer Fehler der Einzelmessung von $\pm 0,4 \mu\text{m}$ angegeben wird. Wegen weiterer Details sei auf die

oben genannte Literatur sowie auf die Arbeiten von J. MEURERS [5] und K. SZANGOLIES [9] verwiesen.

Das Prinzip des in das ASCORECORD integrierten Irisblendenphotometers ist in Bild 1 (Seite 40) dargestellt. Das Licht der Photometerlampe L1 (Halogenlampe 20 W) wird durch eine halbdurchlässige Platte P1 in Meßlicht und Vergleichslicht geteilt. Das Meßlicht beleuchtet die Irisblende B, die über ein Wechselobjektiv O auf der Photoplate P abgebildet wird. Von dort wird es durch eine Modulatorscheibe S im Wechsel mit dem durch Lichtleitkabel und einen meßbar verstellbaren Graukeil K geführten Vergleichslicht dem Photoempfänger E1 zugeführt. Als Meßwert wird die von einem inkrementalen Geber erzeugte Anzahl von Impulsen benutzt, die den Verstellweg der Iris von der maximalen Öffnung bis zur Abgleichstellung repräsentiert. Die Iris wird dabei bis kurz vor den Abgleichpunkt im Eilgang und dann bis zum Abgleich im Schleichgang geschlossen. Der Keil im Vergleichslichtweg

gestattet die Einstellung der mittleren Steilheit der Kalibrierungskurve und die Wahl des Meßbereichs.

Zum visuellen Einstellen und Zentrieren des Meßobjekts wird ein Bildfeld von etwa 6 mm Durchmesser, das durch ein binokulares Mikroskop betrachtet werden kann, von der Lampe L2 über den Klappspiegel KS beleuchtet. Der Photoempfänger E2 dient in Verbindung mit der Lampe L3 und entsprechenden Ausschnitten in der Modulatorscheibe S zur Ableitung von Synchron- und Taktimpulsen.

Dem Benutzer steht als software außer den drei Meßprogrammen für ausschließliche Koordinatenmessung (Grobmeßprogramm [0,01 mm], Feinmeßprogramm 1 [0,0001 mm] und Feinmeßprogramm 2 [0,0001 mm mit Anbringung der Korrekturwerte der Gerätekonstanten]) ein Programm zur Steuerung, Meßwertaufzeichnung und -ausgabe des Irisblendenphotometers zur Verfügung. Nach dem Start dieses Programms müssen innerhalb eines Dialogteils Punktnummer, Koordinatenvorwahl, Verkleinerung der Iris auf der Platte und Keilstellung eingegeben werden. Nach manuellem Identifizieren und Zentrieren des Meßobjekts und Druck auf die Auslösetaste gibt der Rechner eine laufende Nummer, x- und y-Koordinate auf 0,01 mm genau sowie den Photometermeßwert in Klartext und/oder auf Lochstreifen aus.

Außer diesen Programmen stehen dem Anwender noch alle Serviceroutinen, Programmierhilfen (Editor, Assembler, interpretierender Compiler INKA, FORTRAN-System), Testprogramme und mathematische Standardprogramme zur Verfügung.

2. Meßgenauigkeit

Der Verfasser hatte im vergangenen Jahr Gelegenheit, an einem dieser neuentwickelten Photometer zu arbeiten, das in der Universitäts-Sternwarte in Jena aufgestellt ist. Außerdem konnte während eines dreiwöchigen

Seminars in Baku im Oktober 1977 ein weiteres Gerät dieser Bauart getestet werden. Zum Vergleich werden Messungen mit dem in [7] beschriebenen halbautomatisierten Sartorius-Photometer, dem Irisphotometer des Karl-Schwarzschild-Observatoriums Tautenburg (entwickelt an der Technischen Hochschule Ilmenau), und einem modifizierten Beckerschen Irisphotometer des Lehrstuhls für Astronomie der R.-Eötvös-Universität Budapest herangezogen.

Meßobjekte waren in jedem Fall Schwärzungsscheibchen von Mitgliedern des Sternhaufens NGC 188 auf der Platte 1673 des Observatoriums Tautenburg, deren Reichweite bei 20^m5 liegt.

2.1. Mittlere Fehler der Einzelmessung

Um Aussagen über die Meßgenauigkeit eines Photometers treffen zu können, sind zwei verschiedene Methoden möglich.

2.1.1. Mehrfachmessungen von Einzelsternen

Der Gesamtfehler einer Messung entsteht durch das Zusammenwirken von Zentrier-, Abgleich- und Anzeigefehlern. Abgleich- und Anzeigefehler können durch Meßreihen, die man von einem Stern ohne Veränderung der Zentrierung erhält, ermittelt werden. Den Gesamtfehler erhält man aus Meßreihen eines Sterns mit Zentrierung vor jedem Meßvorgang. Mit dem quadratischen Fehlerfortpflanzungsgesetz erhält man aus Gesamt- sowie Abgleich- und Anzeigefehlern den Zentrierfehler. In Tabelle 1 sind die so von vier Sternen unterschiedlicher Helligkeit erhaltenen Werte zusammengefaßt.

Es fällt auf, daß die Zentrierfehler den wesentlichen Anteil am Gesamtfehler haben, wenn man von dem Budapest Photometer absieht. Der Einfluß der Dezentrierung des Schwärzungsscheibchens zur Blende auf die ermittelte Sternhelligkeit für das ASCORIS-Photometer ist in Bild 2 dargestellt. Besonders bei schwachen Sternen führen bereits kleine Ablagen vom Zentrum schon

zu großen Fehlern. Die mittleren Fehler der Zentrierung können für die benutzte Platte aus Bild 3 entnommen werden, wobei nicht die Meßfehler in den beiden Koordinaten als Ordinate aufgetragen sind, sondern die Fehler in der Entfernung vom Schwerpunkt der Messungen. Die aus den Bildern 3 und 2 (Seite 40) ableitbaren Zentrierfehler bestätigen bis auf die Angaben für den hellsten Stern in guter Näherung die aus mittelbaren Messungen abgeleiteten Werte der Tabelle 1.

In Bild 4 (Seite 40) sind die mittleren Fehler der Einzelmessungen in Abhängigkeit von der Sternhelligkeit für die verschiedenen Photometer zusammengefaßt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die innere Genauigkeit der Photoplatte zu Fehlern von etwa $\pm 0,06$ mag führt, so daß die Meßfehler des ASCORIS-Photometers sowie die des Sartorius-Gerätes und die mindestens für die helleren Sterne beim Tautenburger Photometer ermittelten Fehler die Forderung erfüllen, die Helligkeitsinformation mit einem Meßvorgang zu erfassen.

2.1.2. Bestimmung der mittleren Fehler durch Einzelmessungen an vielen Sternen

Analog zu den sich aus astrophysikalischen Problemstellungen ergebenden Meßaufgaben am Irisblendenphotometer wurden Messungen von Bildern von 123 Mitgliedern des Sternhaufens NGC 188 zur Fehlerbestimmung benutzt. Aus den gegen die von A. SANDAGE [6] angegebenen Standardhelligkeiten aufgetragenen Meßwerten wurde nach der in Abschnitt 3 beschriebenen Methode eine Kalibrierungsfunktion abgeleitet, mit der aus den Meßwerten Helligkeiten berechnet wurden. Dann wurden alle Sterne nach ihren Helligkeiten in 8 Klassen eingeteilt, wobei keine Klasse weniger als 8 Mitglieder enthielt. Aus den Differenzen zwischen den durch die Messung gewonnenen Helligkeitswerten und den Standardhelligkeiten wurden für jede Klasse mittlere Fehler

Tabelle 1

Helligkeit	m	ASCORIS-Photometer				Sartorius-Photometer				Tautenburger Photometer				Budapester Photometer			
		10	14	16.5	18.2	10	14	16.5	18.2	10	14	16.5	18.2	10	14	16.5	18.2
Anstieg der Kalibrier-Kurve	Skt/mag	240	160	130	70	1165	930	695	460	200	160	110	50	6.0	2.5	0.5	
Abgleich- u. Anzeigefehler	mag	0.002	0.002	0.008	0.008	0.002	0.002	0.003	0.006	0.005	0.005	0.008	0.022	0.010	0.027	0.212	
Zentrierfehler	mag	0.023	0.012	0.010	0.024	0.003	0.005	0.005	0.010	0.009	0.009	0.019	0.047	0.034	0.033	0.078	
Gesamtfehler	mag	0.023	0.012	0.013	0.025	0.004	0.005	0.006	0.012	0.010	0.008	0.021	0.052	0.036	0.043	0.226	

Bild 1: Prinzipskizze des ASCORIS-Photometers. L1 Photometerlampe; P1 halbdurchlässige Platte; B Irisblende; O Wechselobjektiv; KS Klappspiegel; P Photoplatte; S Sektorenscheibe; K Keil im Vergleichlichtweg; E1 Lichtelektrischer Wandler; L2 Lampe zur Feldbeleuchtung; A zum Betrachtungsmikroskop;

L3, E2 Lampe und Empfänger für Takt- und Synchronimpulse.

Bild 2: Durch Dezentrierung hervorgerufene Fehler in den Sternhelligkeiten bei unterschiedlich hellen Sternen.

Bild 3: Zentrierfehler in Abhängigkeit von der Sternhelligkeit.

Bild 4: Mittlere Fehler der Einzelmessung in Abhängigkeit von der Sternhelligkeit. 1 ASCORIS-Photometer, 2 modifiziertes SARTORIUS-Photometer, 3 Tautenburger Photometer, 4 Budapester Photometer.

σ_m bestimmt. Die Ergebnisse sind in Bild 5 (Seite 41) dargestellt.

Die auf diese Weise ermittelten Fehler enthalten die durch die innere Genauigkeit der Photoplatte gegebenen Fehler und sind abhängig von Unterschieden der isophoten Wellenlängen der Standardhelligkeiten und der Sternaufnahme und von den Fehlern der Standardhelligkeiten selbst. Außerdem gehen für die verschiedenen Photometer Größen mit ein, die von den in 2.1.1. ermittelten Fehlern unabhängig sind, z. B. Empfindlichkeit gegenüber Fremd- und Streulicht in Verbindung mit Abhängigkeiten von der Kornstatistik und zeitliche Konstanz der Meßwerte gleicher Objekte.

2.2. Einbrennverhalten, Langzeitkonstanz, Meßgeschwindigkeit und -komfort, Zuverlässigkeit

Unter anderem durch den Einsatz einer Silizium-Photodiode als lichtelektrischer

Wandler an Stelle des sonst üblichen Sekundärelektronenvervielfachers konnte die Dauer der Einbrennzeit gegenüber der bei anderen Photometern drastisch verkürzt werden. Nach weniger als 15 Minuten bleiben die Meßwerte mit den oben angegebenen mittleren Fehlern konstant.

Besonders bemerkenswert ist die Konstanz über große Zeitspannen. So ergaben sich bei 8 Meßreihen, die zwischen dem 13. September 1977 und dem 31. März 1978 gewonnen wurden, mittlere Abweichungen der Meßergebnisse von nur $\pm 0,054$ mag. Dabei wurden aber zwischen den Meßreihen die Photometerparameter entsprechend den jeweiligen aktuellen Meßaufgaben verändert und ohne besonders korrekte Einstellung jeweils vor den benutzten 8 Meßreihen wieder auf die festgelegten Werte gebracht, da an eine Auswertung im Hinblick auf Konstanz über längere Zeit zunächst nicht

gedacht war. Eine sprunghafte Änderung ergab sich allerdings nach einem Wechsel der Photometerlampe, was durch eine etwas geänderte Ausleuchtung des Lichtleitkabels für den Vergleichlichtweg erklärt werden kann.

Die Meßgeschwindigkeit hängt wie bei allen Photometern mit manueller Einstellung wesentlich von der Verteilung der Meßpunkte und von der Übung des Messenden ab. Außerdem geht die Abgleichzeit, die bei schwachen Sternen bis zu 6 s beträgt, in die Meßgeschwindigkeit ein. Die maximale Geschwindigkeit liegt bei 180 Sternen pro Stunde, wobei optimale Bedingungen, etwa Messungen in einem bereits mehrfach ausgewerteten offenen Sternhaufen und ein eingearbeiteter Beobachter, vorausgesetzt werden.

Der Meßkomfort ist durch das ASCO-RECORD-Grundgerät gegeben, wenn auch die Bedienung ausschließlich durch die

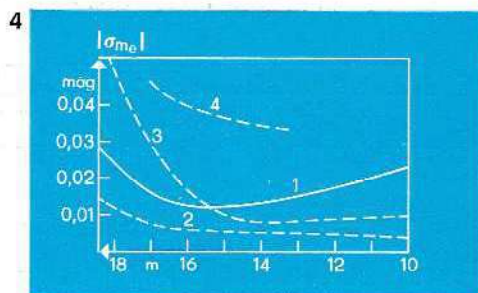
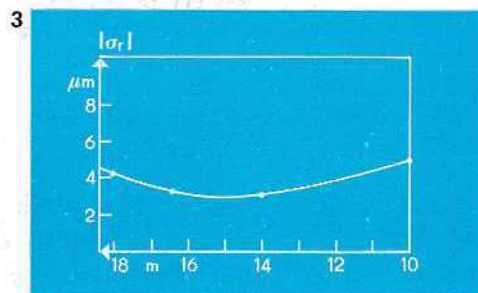
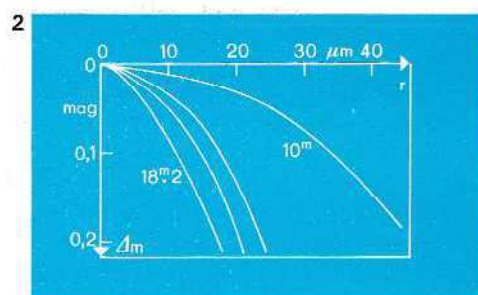
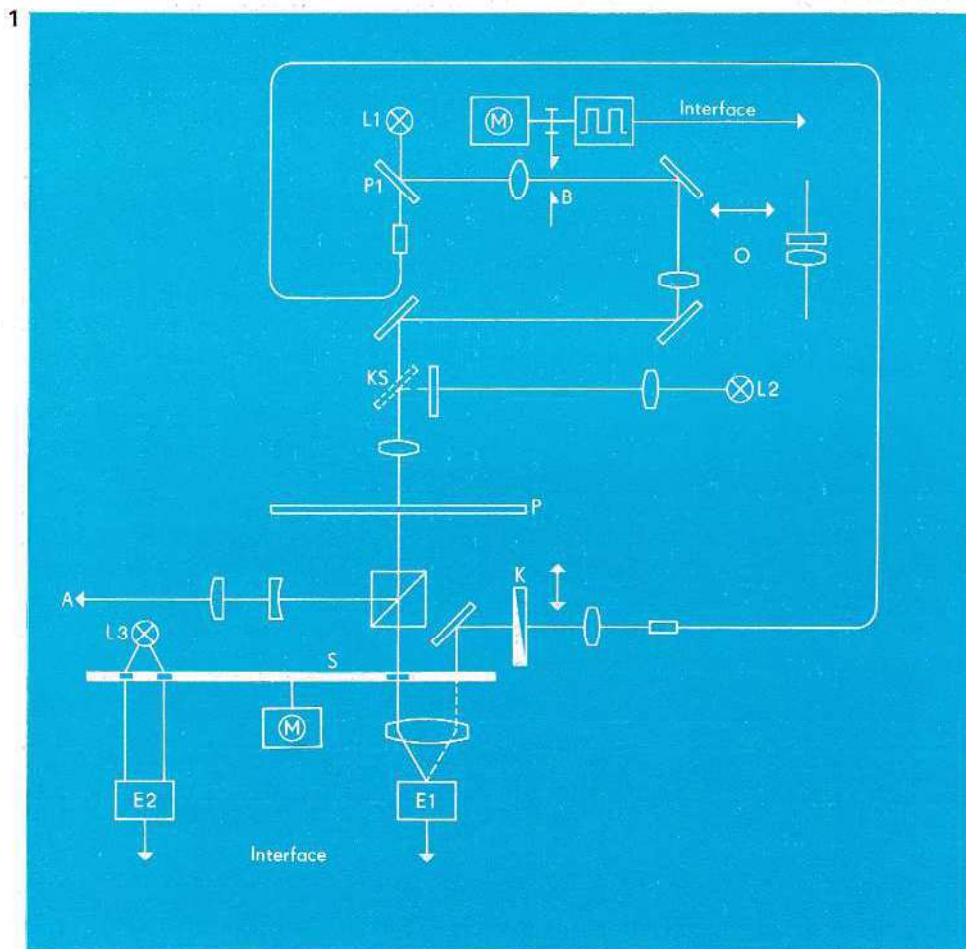
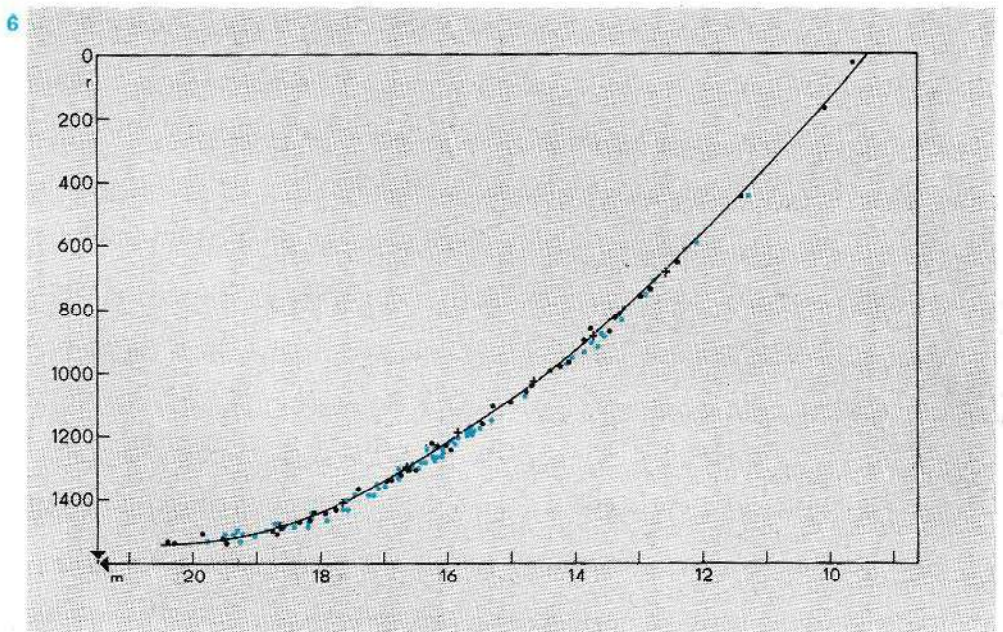
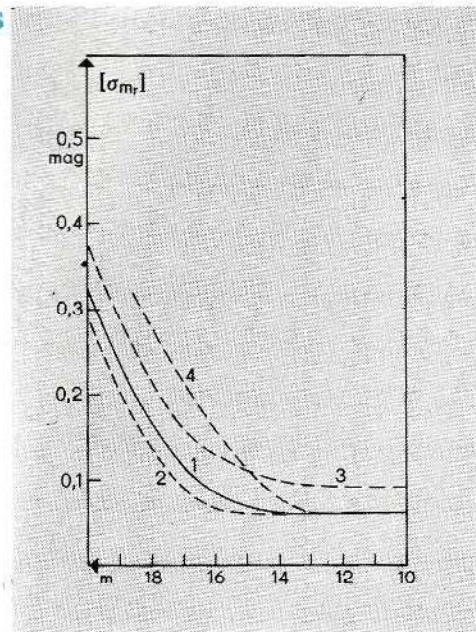


Bild 5: Photometriergenauigkeit als Funktion von der Sternhelligkeit. 1 ASCORIS-Photometer, 2 modifiziertes SARTORIUS-Photometer, 3 Tautenburger Photometer, 4 Budapester Photometer.

meter, 4 Budapester Photometer.

Bild 6: Kalibrierungskurve. Schwarze Punkte: zur Ausgleichung benutzte Standardsterne, blaue Punkte: zur

Ausgleichung nicht benutzte Sterne bekannter Helligkeit, schwarze Kurve: ausgeglichene Kalibrierungskurve mit Anschlußpunkten.



rechte Hand und die Betrachtung der Platte durch ein binokulares Mikroskop zunächst eine Umstellung bedingen. Das große, frei zur Verfügung stehende Übersichtsfeld von 6 mm Durchmesser ermöglicht eine bequeme Identifikation der Meßobjekte.

In diesem Zusammenhang könnte man daran denken, das Mikroskop durch eine Fernsehkamera zu ersetzen und die Einstellung der Objekte über einen Monitor zu kontrollieren, zumal das auch für Demonstrationzwecke – z. B. im Lehrbetrieb – die gleichzeitige Beobachtung durch mehrere Personen ermöglichen würde. Außerdem werden sich sowohl der Komfort als auch die Meßgeschwindigkeit erhöhen, wenn als Orientierungshilfe nach einmal durchlaufenem Meßweg bei nachfolgenden Messungen die jeweils relativen Koordinaten des nächsten Meßpunktes angezeigt und durch Einstellen des Objekts auf Null gebracht werden.

Die Möglichkeit der sofortigen Auswertung der Messungen über den frei programmierbaren Kleinrechner ist darüber hinaus ein wesentlicher Bestandteil des Gerätekomforts.

Die Zuverlässigkeit des ASCORIS-Photometers erwies sich als außerordentlich hoch. Im Verlaufe von 10 Monaten mußten lediglich die Glühlampen erneuert werden. Sowohl am Grundgerät als auch am Rechner traten seit der Inbetriebnahme keinerlei gerätebedingte Störungen auf. Softwaremäßig

werden betriebsbedingte Unterbrechungen, wie zu helles oder zu dunkles Vergleichslicht, Netzausfall u. ä., über die Fernschreibmaschine gemeldet.

3. Kalibrierung der Photometermeßwerte

Durch die Eigenschaften der photographischen Schicht und die Irischarakteristik (Irisöffnung in Abhängigkeit vom Drehwinkel) entsteht allgemein eine durch Messungen von Sternen bekannter Helligkeit bestimmte nichtlineare Kalibrierungskurve. Bei der Datenreduktion müssen weiterhin gegebenenfalls Einflüsse unterschiedlichen Plattenschleiers, Zonenfehler auf der Platte, Abhängigkeiten von der Farbe der Sterne, Drift des Irisphotometers während der Meßzeit, Extinktionsunterschiede über die Platte sowie grobe Meßfehler, Fehlidentifikationen und nicht meßbare Objekte berücksichtigt werden. Die Notwendigkeit der Beachtung dieser Fehlerquellen ist abhängig vom benutzten Teleskop, vom Beobachtungszeitpunkt und -objekt, von der photographischen Verarbeitung und vom eingesetzten Irisphotometer und wird von Fall zu Fall gesondert diskutiert werden müssen. Erforderlich ist aber in jedem Fall die analytische Formulierung der Beziehung zwischen den Meßwerten r und den Standardhelligkeiten m_{st} . Angeregt von der Möglichkeit des direkten Zugriffs zum Rechner wurde eine große

Anzahl verschiedener Interpolations- und Ausgleichsverfahren getestet mit dem Ziel, eine möglichst universelle, einfach handhabbare und zu minimalen systematischen Fehlern führende Methode zu ermitteln. Das Ergebnis ist eine Ausgleichung von Funktionen der Form

$$m = a_2 r^2 + a_1 r + a_0$$

für mehrere sich überlappende Helligkeitsintervalle. Dabei wird mit Ausnahme der Parabel für die schwächsten Sterne die Nebenbedingung erfüllt, daß die folgende Parabel einen durch die vorhergehende vorgegebenen Anschlußpunkt enthalten muß. Es hat sich gezeigt, daß bei einem Meßbereich von mehr als 10 Größenklassen 4 bis 8 Parabelstücke zu minimalen Fehlern führen. In Bild 6 ist eine solche Kalibrierungskurve dargestellt.

Der Verfasser dankt Herrn R. TIETSCH vom Herstellerwerk, Herrn Dr. W. PFAU von der Universitäts-Sternwarte Jena und Herrn Prof. Dr. B. BALÁZS von der Sternwarte Budapest für Diskussionen sowie Frau B. BUSSE, Frau A. KÄSTNER und Herrn E. SEELIGER für die Durchführung und Auswertung von Messungen.

Literatur

- [1] BECK, H. G.: Feingerätetechnik **18** (1969) 447–448.

(Fortsetzung Seite 45!)

(Fortsetzung von Seite 41)

[2] Beck, H. G., und R. TIETSCH: Jenaer Rundschau **17** (1972) 349–353.

[3] FEHLKAMM, G.: Jenaer Rundschau **12** (1967) 327–333.

[4] KÖNIG, A.: Astron. Nachrichten

264 (1932) 237–252.

[5] MEURERS, J.: Jenaer Rundschau **6** (1961) 3–7. – Zeitschr. f. Instrumentenkunde **68** (1960) H. 6.

[6] SANDAGE, A.: Astrophys. Journal **135** (1962) 333–348.

[7] SCHIELICKE, R.: Astron. Nachrichten

297 (1976) 91–98. – Mitt. Univ. Sternwarte Jena Nr. 126.

[8] SIEDENTOPF, H.: Astron. Nachrichten **254** (1934) 33–38. Mitt. Univ. Sternwarte Jena, Nr. 6.1.

[9] SZANGOLIES, K.: Jenaer Rundschau **6** (1961) 199–201.
