

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 42 (1984)
Heft: 202

Artikel: Eine optoelektronische Nachführung für die Langzeitastronomie
Autor: Blikisdorf, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-899283>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 19.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Nun geht man zum Rand, oder gegebenenfalls in eine Ecke der Bilder. Durch Drehen derselben bringt man sie auch hier zur Deckung. Vielleicht muss man in einem zweiten Durchgang das Ganze nochmals durchspielen.

Dann aber macht das Absuchen Spass. Neben vielen Staubkörnchen und Emulsionsfehlern erkennt man sehr leicht Veränderliche und Planetoiden. Flugzeug- und Satellitenspuren, eventuelle hochfliegende Wetterballone sind mit Vorsicht zu geniessen. Sehr schön und eindrucklich sind Paare von Farbdias, weil das zweiäugige Sehen die Anschaulich-

keit steigert. Ein Höhepunkt ist das Betrachten zweier kurz hintereinander geschossenen Kometenaufnahmen. Federleicht schwebt der Komet mit seinem Schweif im Raum vor den Hintergrundsternen. Für ernsthafte Überwachungsarbeiten sind dann aber noch viele Literaturunterlagen nötig, wie Atlanten und Kataloge oder Schnellnachrichten von Neuentdeckungen. Aber das ist dann ein anderes Kapitel.

Adresse des Autors:

Gerhart Klaus, Waldegstr. 10, 2540 Grenchen.

Eine optoelektronische Nachführung für die Langzeitastrafotografie

H. BLIKISDORF

Eine optoelektronische Nachführeinrichtung ist ein Zusatzgerät für die Astrofotografie, welche das Teleskop oder die Astrokamera automatisch einem Leitstern nachführt¹⁾. Wie beim visuellen Nachführen wird ein Leitrohr benötigt, bei dem aber ein «elektronisches Auge» den Platz des Fadenkreuzokulares einnimmt. Für die Astrofotografie bietet eine solche Einrichtung folgende Vorteile:

- Das «elektronische Auge» ermüdet nicht und greift bei einem aufkommenden Nachführfehler sofort ein. Stundenlanges Fotografieren mit hoher Präzision ist möglich.

- Die Entlastung von der Nachführaufgabe schafft Zeit für andere Tätigkeiten wie Beobachten des Himmels, Aufnahmen entwickeln, ausruhen.
- Kein Frieren mehr in kalten Winternächten! Der Astrofotograf kann sich in der Zwischenzeit an die Wärme zurückziehen.

Fehler im Stundenantrieb und in der Poljustierung werden durch die elektronische Einrichtung schnell erkannt und mittels elektrischer Korrektursignale zur Rektaszensions- und Deklinationsverstellung der Fernrohrmontierung korrigiert. Dies verlangt eine elektrische Verstellbarkeit der Drehzahl beim Stundenantrieb (der Frequenz beim Synchronmotor oder der Spannung beim DC-Motor) und eine feinfühlig elektrische Verstellbarkeit der Deklinationsachse mittels DC-Getriebemotor.

Als hochempfindlicher lichtelektrischer Wandler stand lange Zeit die Fotomultiplier-Röhre (Sekundärelektronenvervielfacher) im Vordergrund. Die Fortschritte der Halbleiterelektronik haben aber auch bei den optoelektronischen Sensoren empfindlichere Komponenten hervorgebracht. Seit einigen Jahren sind hochsensible Halbleiterfotodioden erhältlich, deren Grenzepfindlichkeit (Verhältnis von Nutzsignal zu Rauschsignal) fast an jene von Fotomultiplier-Röhren herankommen. Für Nachführzwecke eignen sie sich daher ausgezeichnet. Abgesehen vom wesentlich günstigeren Preis und vereinfachten Schaltungsaufbau ist auch das Volumen der Fotodiode um den Faktor 10^3 kleiner, weshalb konstruktiv einfachere und kompaktere Lösungen möglich sind.

Vor 2 Jahren baute ich eine solche Nachführeinrichtung mittels Fotodiode. Seither werden meine Astroatfnahmen alle mit diesem Gerät nachgeführt. Als Leitrohr dient mein 15 cm-Newtonteleskop, welches die Nachführung mit Leitsternen bis zur Grössenklasse 7.5 m gestattet. Interessant ist für transportable, batteriebetriebene Instrumente auch der bescheidene Stromverbrauch dieser Nachführeinrichtung von 80 mA bei 12 V – gleich viel wie für die Hellfeldbeleuchtung des Fadenkreuzokulares beim visuellen Nachführen!

Un montage optoélectronique de guidage pour l'astrophotographie

L'article suivant traite du guidage automatique du télescope. Il décrit un montage de guidage réalisé au moyen de diodes photographiques qui utilisent du courant alternatif. Selon cette méthode, à la focale de la lunette de guidage est placé un diaphragme rotatif de 180°. Si la lumière de l'étoile-repaire tombe sur le diaphragme, elle est modulée par sa rotation et crée dans le diode placé derrière un signal en courant alternatif.

Les irrégularités du courant continu dans le préamplificateur du diode sont sans effet sur la mise en valeur du signal ce qui se répercute favorablement sur la limite accessible de grandeur de l'étoile-repaire.

A partir de la position des phases et de l'amplitude du signal sont obtenus les signaux de correction de l'ascension droite et de la déclinaison.

L'article décrit en outre la construction de diaphragmes rotatifs, de préamplificateur de diode photographique, la mise en valeur des signaux et aborde également les aspects techniques du réglage.

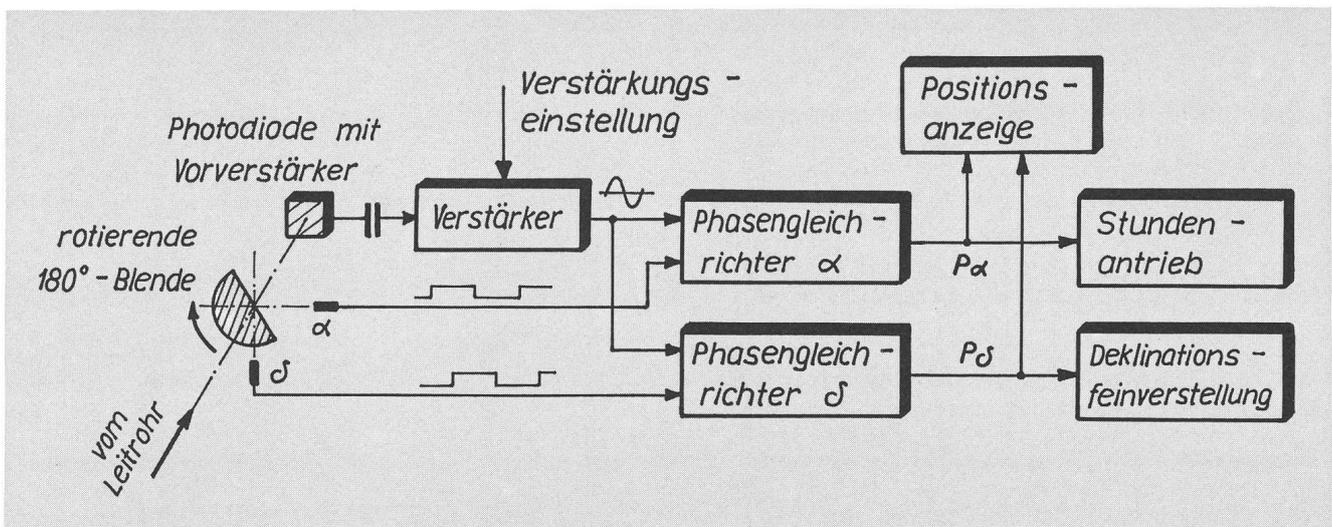


Abb. 1: Blockschaltbild Wechselstrommethode.

Die nachfolgenden Ausführungen befassen sich mit der Wirkungsweise und dem Bau des Gerätes. Ich muss aber auch gleich vorwegnehmen, dass der Selbstbau Kenntnisse der Elektronik und Mechanik voraussetzt und nur dem Fachmann oder versierten Bastler zu empfehlen ist.

Wirkungsweise

Das Gerät arbeitet nach der sogenannten Wechselstrommethode²⁾. Abb. 1 zeigt das Blockschaltbild. Im Fokus des Leitrohres rotiert eine 180°-Blende, deren Kante durch die Rotationsachse geht. Unmittelbar hinter der Blende ist die Fotodiode angebracht. Eine Verschiebung des Leitsternes aus der Blendenachse lässt in der Fotodiode wegen der Modulation des Sternlichtes durch die Blende ein Wechselstromsignal entstehen. Da nur dieses Wechselstromsignal als Informationsträger weiterverarbeitet wird, ist die Methode schon vom Prinzip her völlig unempfindlich auf Drifterscheinungen im Vorverstärker, was sich günstig auf die erreichbare Grenzgröße des Leitsternes auswirkt. Bei geringer Leitsternabweichung verhält sich die Wechselstromamplitude proportional zur Abweichung. Die Abweichrichtung bestimmt die Phasenlage des Wechselstromsignals. Um die Richtungskomponenten in Rektaszension α und Deklination δ bestimmen zu können, tasten zwei um 90° versetzt angeordnete Reflexlichtschranken die Blendenstellung ab. Diese beiden Abtastsignale α und δ steuern zwei Phasengleichrichter, welche aus dem verstärkten Wechselstromsignal die beiden Richtungskomponenten gewinnen, eben die Positionssignale P_α und P_δ . Je ein Tiefpassfilter mit 1s Zeitkonstante bildet den Mittelwert aus diesen phasenbewerteten Signalen. P_α gelangt direkt als Korrektursignal zum Stundenantrieb und P_δ zur Deklinationsfeinverstellung, womit die Regelkreise in Rektaszension und Deklination geschlossen sind.

Der aktive Positionsbereich, innerhalb dem sich das Positionssignal proportional zur Leitsternabweichung verhält, ist eng um die Blendenachse begrenzt und weist einen Radius von nur 30 μm auf, exakte Fokussierung des Leitsternes auf die Blende und geringe Luftunruhe vorausgesetzt. An den Aktivbereich grenzt der Fangbereich, der mit der Fotodiodenfläche identisch ist. Für die verwendete Fotodiode beträgt diese 1 mm^2 . Siehe Abb. 2.

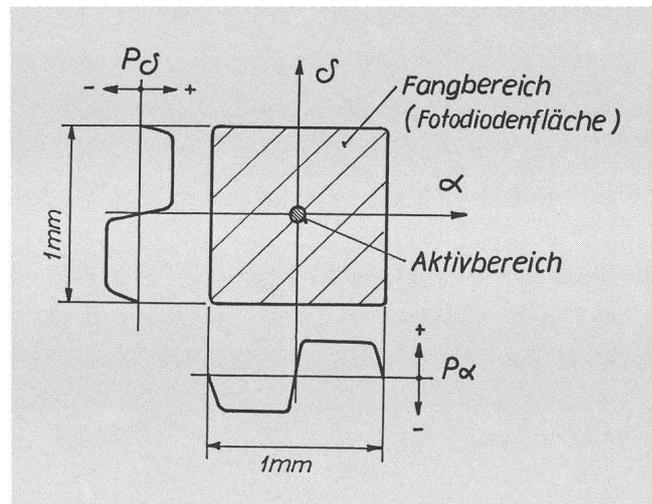


Abb. 2: Positionsebene.

Die Positionsanzeige überwacht die Positionssignale und gibt mittels Leuchtdioden die Stellung des Leitsternes in beiden Achsen der Positionsebene an. Rote Leuchtdiode bedeutet: Leitstern am Rand des Aktivbereiches oder im Fangbereich. Grüne Leuchtdiode bedeutet: Leitstern zentriert. Damit die Empfindlichkeit des Gerätes in einem Bereich von 7 Größenklassen an unterschiedlich helle Leitsterne angepasst werden kann, ist die Gesamtverstärkung von Vorverstärker und Verstärker im Verhältnis von 1:1000 einstellbar. Die Einstellung erfolgt derart, dass am Verstärkerausgang bei dezentriertem Leitstern ein definierter Signalpegel auftritt; denn dieser bestimmt die Verstärkung in den Regelkreisen direkt mit. Die roten Leuchtdioden der Positionsanzeige funktionieren bei der Einstellung als Schwellwertanzeiger.

Nachführkopf

Der Nachführkopf ist jener Teil des Nachführgerätes, der am Okularauszug des Leitrohres befestigt wird. Er enthält das Einstellokular, die rotierende Blende mit Reflexlichtschran-

ken und die Fotodiode mit Vorverstärker. Der Aufbau ist aus Abb. 3 und Abb. 4 ersichtlich.

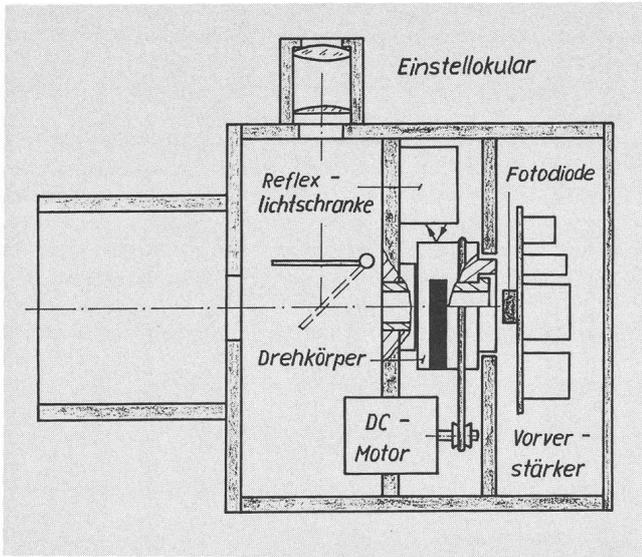


Abb. 3: Nachführkopf.

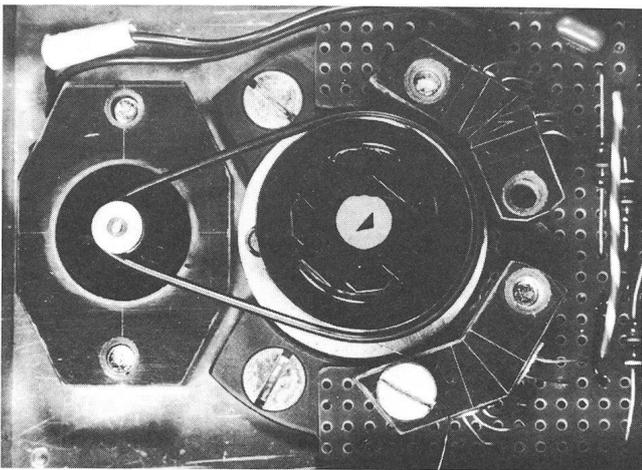


Abb. 4: Drehblende mit Reflexlichtschranken und Antriebsmotor.

Der Drehkörper, welcher die 180°-Blende trägt, wurde mit grosser Sorgfalt angefertigt, wird doch die Genauigkeit der Nachführeinrichtung von diesem Teil direkt mitbestimmt. Die Schwierigkeit bestand darin, einen Drehkörper zu realisieren, der auf einer hohlen Achse (Lichtdurchtritt!) sowohl radial wie achsial spielfrei gelagert ist und trotzdem leicht läuft. Der Drehkörper besteht aus Antikorodal-Alu und läuft direkt auf einer polierten Stahlachse, deren Laufflächen zur Verbesserung der Gleiteigenschaften mit Öl benetzt sind. Die Drehzahl beträgt 10 U/Sek. Der Antrieb geschieht mittels Mikro-Gleichstrommotor und Gummiband. Um den Drehkörper herum sind die beiden um 90° versetzten Infrarotreflexlichtschranken angebracht. Da Aluminium im Infraroten sehr gute Reflexeigenschaften besitzt, musste zur Erzeugung des 180°-Abtastsignals lediglich der Umfang des Drehkörpers auf der halben Länge mit schwarzer Farbe abgedeckt werden. Damit kein Infrarotlicht zur Fotodiode gelangen

kann, ragt der Drehkörper auf der Stirnseite abgesetzt durch die Öffnung der Trennwand zur Fotodiode. Dieser Bereich ist mit mattschwarzer Farbe ausgelegt. Die 180°-Blende selber ist ein Stück Alufolie mit scharfer Kante, welches auf der Stirnseite des abgesetzten Drehkörpers angebracht ist. Der exakte Schnittpunkt der Kante mit der Drehachse wurde beim Befestigen der Folie durch Drehen des Drehkörpers unter einem Mikroskop kontrolliert und eingestellt.

Direkt hinter der Drehblende ist die Fotodiode angebracht. Damit die Nachthimmelhelligkeit kein störendes Wechselstromsignal erzeugen kann, geht die Drehachse durch die Flächenmitte der quadratischen Fotodiode. Wegen der hohen elektrischen Empfindlichkeit gegenüber Störeinstreuung sind Fotodiode und Vorverstärker zu einer kompakten Einheit zusammengebaut und ringsum metallisch abgeschirmt. Abb. 5 zeigt die Schaltung des Fotodioden-Vorverstärkers³⁾.

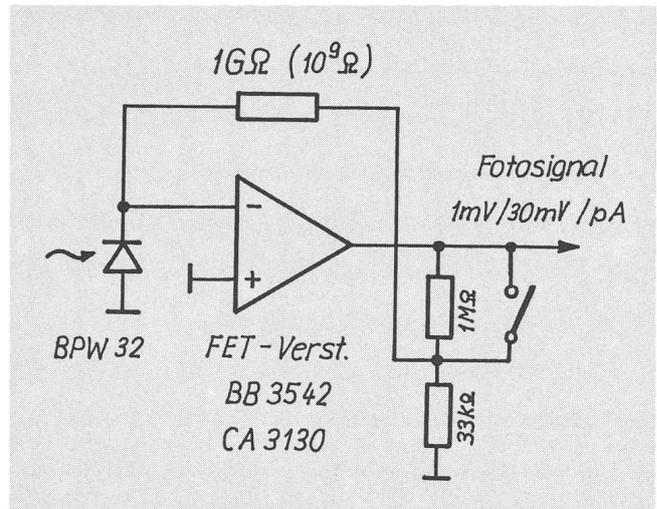


Abb. 5: Schaltung Fotodioden - Vorverstärker.

Dieser arbeitet als Strom/Spannungswandler. Weil wegen der AC-Kopplung des Fotosignales die DC-Komponente nicht stört, genügen als FET-Verstärker preisgünstige, nicht driftarme Typen mit Eingangsströmen kleiner als etwa $20 \cdot 10^{-12}A$ bei Raumtemperatur. Ebenso erübrigt sich ein Offset-Abgleich. Mit dem Schalter am Ausgang des Vorverstärkers ist die Empfindlichkeit um den Faktor 30 umschaltbar. Damit erfolgt die erste grobe Anpassung an stark unterschiedlich helle Leitsterne. Der Rauschbeitrag des hochohmigen Rückführwiderstandes beträgt bei Raumtemperatur und 1kHz Bandbreite $0,1 \cdot 10^{-12}A$. In dieser Grösse bewegt sich auch die Nachweisgrenze für Leitsterne. Die Fotodiode hat eine Empfindlichkeit von $10^{-8} A/lx$. Für einen Stern der 0-ten Grössenklasse (Beleuchtungsstärke $B = 2 \cdot 10^{-6} lx$) und ein Leitrohr mit 150 mm Spiegeldurchmesser beträgt der Fotostrom I:

$$I = 10^{-8} \frac{A}{lx \text{ mm}^2} \cdot 2 \cdot 10^{-6} lx \cdot 150^2 \cdot 0,78 \text{ mm}^2 = 350 \cdot 10^{-12} A$$

Für jede schwächere Grössenklasse nimmt der Fotostrom um den Faktor 2,512 ab. Für einen Stern der Grössenklasse 8.5 m beträgt der Fotostrom theoretisch noch $0,1 \cdot 10^{-12} A$.

Die Fotodiode hat ihr spektrales Empfindlichkeitsmaximum im nahen Infrarot bei $\lambda = 850 \text{ nm}$. Für grünes Licht λ

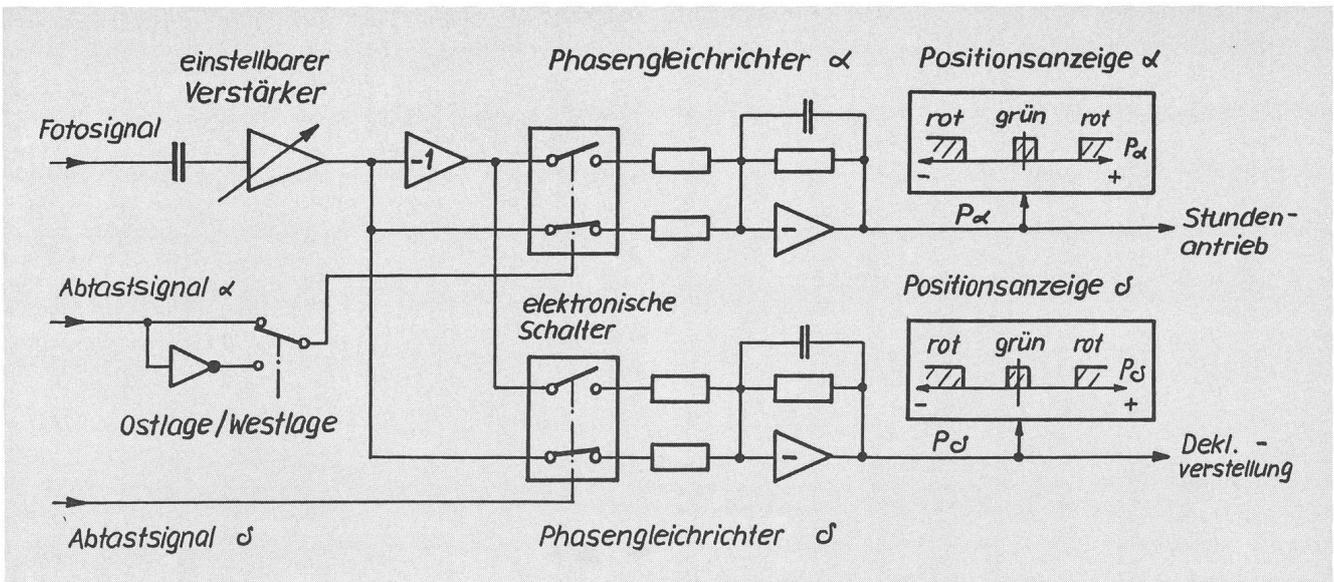


Abb. 6: Schaltungsprinzip, Auswertegerät.

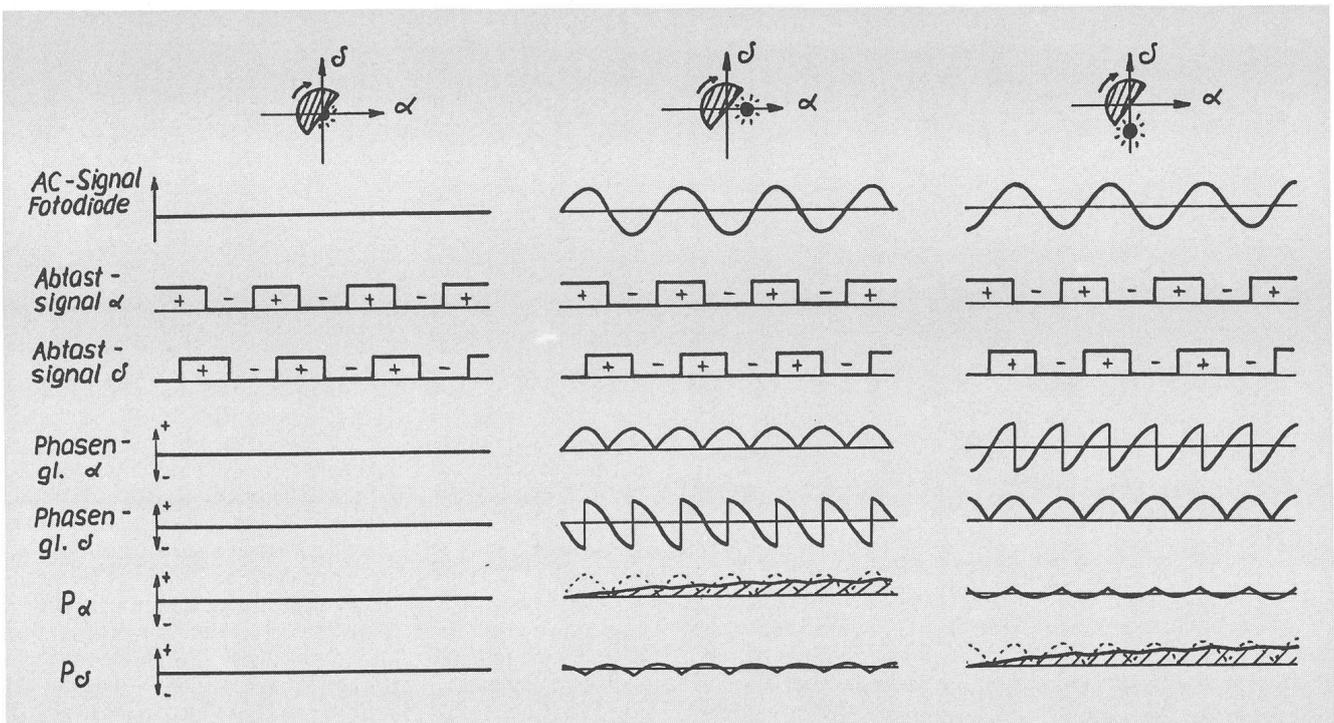


Abb. 7: Impulsdiagramm.

= 550 nm beträgt die relative Empfindlichkeit noch die Hälfte und für blaues Licht noch etwa 20%. Deshalb reagiert die Fotodiode besser auf rötliche als blaue Sterne.

Bei den ersten Versuchen wies der Vorverstärker ein starkes Störsignal auf, welches synchron zur Blendendrehzahl verlief. Es stellte sich heraus, dass der Drehkörper durch das Antriebsband statisch aufgeladen wurde. Die Störungen verschwanden aber vollständig, nachdem dieser mittels eines schleifenden Drahtes mit dem Gehäuse geerdet wurde.

Ein Fadenkreuzokular gestattet die Fokussierung und Einstellung des Leitsternes auf die Blendenmitte. Dazu wird wie bei einer Spiegelreflexkamera ein Klappspiegel in den Strahlengang gebracht. Nach erfolgter Einstellung wird der Klappspiegel wieder weggedreht.

Auswertegerät

Die übrigen Schaltungsteile für die Signalauswertung, nämlich der lineare Verstärker mit einstellbarer Verstärkung, die

beiden Phasengleichrichter und die Leitstern-Positionsanzeige bilden ein separates Gerät. Abb. 6 zeigt das Schaltungsprinzip.

Die Wechselstromkopplung des Fotosignales verhindert bei hoher Verstärkungseinstellung eine Übersteuerung des Verstärkers durch das Ruhesignal des Fotodioden-Vorverstärkers. Beim Umschlagen des Teleskopes von der Ostlage in die Westlage ändert der Wirkungssinn im Rektaszensionsregelkreis. Durch Invertieren des Abtastsignals α wird dieser wieder richtiggestellt. Aus dem Impulsdiagramm in Abb. 7 ist der Signalverlauf bei zentriertem und dezentriertem Stern ersichtlich. Maximales $P\alpha$ bewirkt im Stundenantrieb eine Drehzahländerung von 10% und maximales $P\delta$ eine Deklinationsverstellung von 2"/Sek.

Für die Signalauswertung ist die Blendendrehzahl und damit Signalfrequenz nicht von Bedeutung. Bei hoher Drehzahl werden die raschen Helligkeitsschwankungen des Leitsternes infolge atmosphärischer Scintillation allerdings schlechter

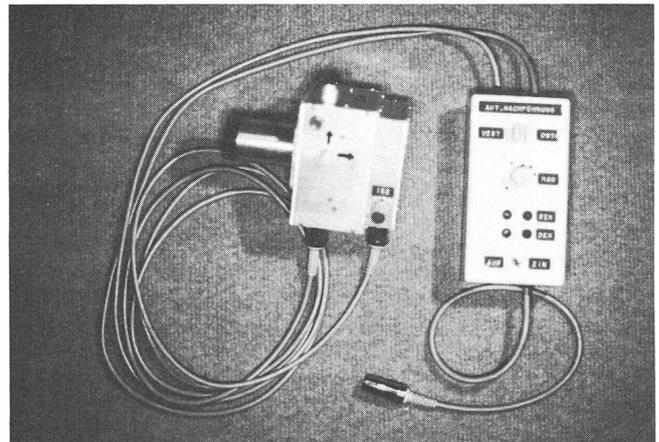


Abb. 8: Nachführkopf mit Auswertegerät.



Abb. 10: Galaxie M33 im Sternbild Dreieck, aufgenommen am 8. Aug. 1983 mit Maksutow-Kamera $f500/3,1$. 45 Min. belichtet auf TP 2415 H_2 -hypersensibilisiert. Ausschnittvergrößerung: $1^\circ \cong 109$ mm.

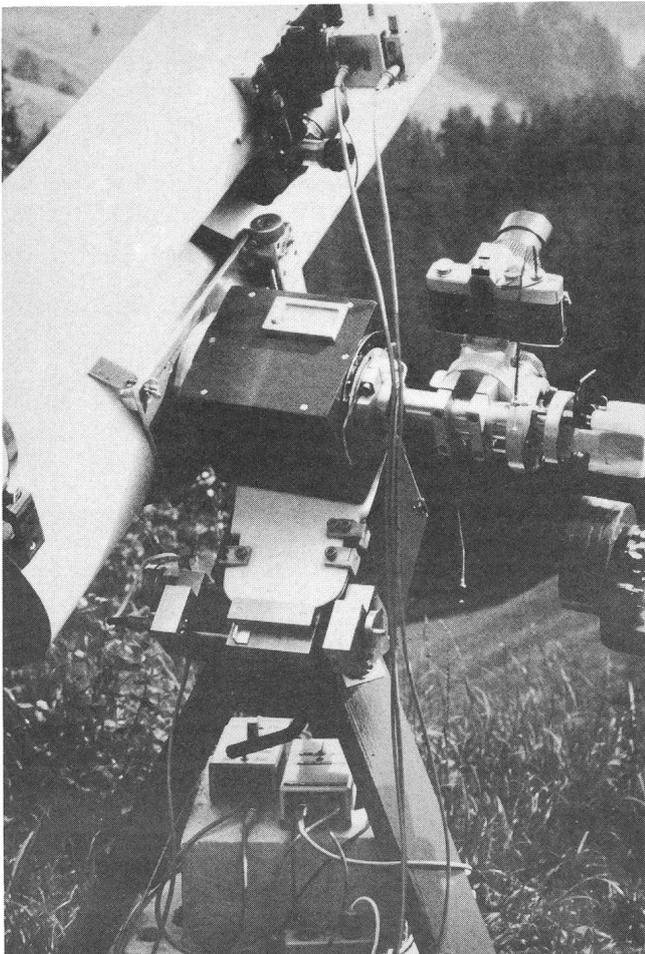


Abb. 9: Maksutow-Kamera mit 15 cm-Leitteleskop und beschriebener Nachführeinrichtung.

unterdrückt als bei tiefer Drehzahl, was Anlass zu unruhiger Regelung geben kann. Tiefe Drehzahl meidet diesen Nachteil, dafür wird die Regelung langsamer. Praktische Werte liegen bei 5–10 U/Sek.

Die Genauigkeit der Nachführregelung ist von verschiedenen Faktoren abhängig wie der Brennweite des Leitrohres, der Leitsternfokussierung auf die Blende, der Regelkreisverstärkung und natürlich vom mechanischen Gang des Stundenantriebes. Bewirkt zum Beispiel eine Leitsternabweichung von 2" eine Drehzahländerung des Stundenantriebes von 5%, so wird umgekehrt ein durch mechanische Unregelmässigkeiten hervorgerufener Bewegungsfehler derselben Grösse zur Bildung des Korrektursignales eben auch eine Leitsternauslenkung von 2" bedingen. In einem Proportionalregelkreis steht der resultierende Nachführfehler (Regelabweichung) in einem festen Verhältnis zum verursachenden mechanischen Bewegungsfehler. Eine Erhöhung der Regelkreisverstärkung verringert zwar den Nachführfehler, lässt sich aber nicht beliebig weit treiben, weil sonst die Nachführregelung zu schwingen beginnt. Bei einem Amateurteleskop mit gutem Stundenantrieb kann mit einem maximalen Nachführfehler von 1..2" gerechnet werden.

Anmerkungen

- 1) PIERRE CAMPICHE: un système de guidage automatique pour l'astrophotographie, ORION 163, 1977.
- 2) PETER HÖBEL: Photoelektronische Nachführsysteme, S + W 1973/7/8.
- 3) Bauelemente Fotodioden-Vorverstärker: Fotodiode BPW 32: Siemens-Albis Zürich. FET-Verstärker CA3130 (RCA): Distrelec Zürich. Rückführwiderstand 1GΩ: Distrelec Zürich.

Adresse des Autors:

Hugo Blikisdorf, Alte Poststrasse 8, CH-5417 Untersiggenthal.

Buchbesprechung

WOLPERT, ROBERT C. und GENET, RUSSEL M., *Advances in Photoelectric Photometry, Volume 1*. Verlag Fairborn Observatory, 1247 Folk Road, Fairborn, Ohio 45324 USA. 13,6 x 21,6 cm, broschiert. 102 Figuren und 19 Tabellen, 237 Seiten. Erhältlich durch Belmont Observatory, 144 Neptune Avenue, North Babylon, New York 11704 USA. US \$ 23.95.

Immer mehr Amateure gehen dazu über, Helligkeitsmessungen mit photoelektrischer Ausrüstung vorzunehmen. Das Arbeitsgebiet ist so gross, dass die Fachastronomen nicht mehr alles bewältigen können. Die Zeitzuteilung bei den wenigen grossen Instrumenten ist recht knapp geworden, während Amateure ihre Instrumente voll und jederzeit zur Verfügung haben. Amateurinstrumente von bis zu 40 cm Durchmesser sind zudem heute keine Seltenheit mehr.

Das vorliegende Buch wendet sich an den seriösen Amateur, der nützliche Arbeit leisten will. Es ist in drei Hauptabschnitte unterteilt. Der erste beschreibt die Entwicklung der photoelektrischen Photometrie und zeigt, auf welchen Gebieten am wirkungsvollsten gearbeitet werden kann: Bedeckungsveränderliche, RS CVn und mikrovariable Sterne, Be-Sterne, Epsilon Aurigae-Sterne, Bedeckungen etc. Ein besonders wertvolles Kapitel zeigt auch, dass die Sternwarte des Amateurs nicht unbedingt auf dem Gipfel eines hohen Berges mit maximal guten Beobachtungsbedingungen aufgestellt sein muss, sondern dass auch «unterprivilegierte Sternwarten» in niedriger

Meereshöhe, grossem Dunst und Streulicht von Städten durchaus wertvolle Beobachtungen machen können.

Der zweite Abschnitt beschreibt die Entwicklung der Ausrüstung, die in den letzten Jahren durch die rasante Verbilligung der Mikroelektronik und die immer mehr eingesetzten Mikrocomputer immer rascher voranschreitet. Immer mehr automatisieren die Amateure ihre Instrumente, nicht nur um bequemer arbeiten zu können, sondern auch um bei Vergleichsmessungen den zeitlichen Abstand der Messungen des Objekts und des Vergleichsterns so klein wie möglich zu halten und so den Einfluss von Änderungen der Extinktion durch von Auge nicht bemerkbare Wolkenschwaden zu verringern, das heisst um die Messungen genauer zu machen.

Der dritte Abschnitt behandelt einige bestimmte Sternwarten, deren meist selbst hergestellte Ausrüstung wie Photometerköpfe und elektronische Ausrüstung, die Beobachtungsprogramme und einige Resultate.

Jedes Kapitel endet mit einem wertvollen, zum Teil recht umfangreichen Literaturhinweis. Etwas erschwert wird die Lektüre allerdings durch den ziemlich kleinen Druck. Das Buch ist sehr nützlich für den ernsthaften Amateur, der sich in das Gebiet der photoelektrischen Helligkeitsmessung einarbeiten will und enthält viele praktische Hinweise. Wir können es bestens empfehlen.

ANDREAS TARNUTZER