

63 (1987) 6, S. 358–363. – [6] Mosch, J.: Grundlagen für die Auswertung von Kometenbeobachtungen. AuR 15 (1977) 2, S. 39–47. – [7] Skyweek 50 – 52/1987 und 1 – 6/1988.

HARTMUT BRETSCHNEIDER

## Probleme/Lösungen

### Eine rechnerische Fokussierhilfe

WOLFRAM FISCHER

Um befriedigende astrofotografische Resultate zu erhalten, ist es u. a. erforderlich, die Filmfläche exakt (in Lage und Ort) mit der optischen Bildfläche zu koordinieren. Gewöhnlich spricht man hier vom Scharfstellen (Fokussieren) oder Justieren (betrifft das Beheben von Bildfeldverkippen). Dies gelingt leicht bei handelsüblichen Teleobjektiven und Plattenkameras. Bildfeldverkippen sind vom Hersteller auszuschließen und andernfalls meist nicht selbst abstellbar. Das Scharfstellen ist in der Regel eine einmalige Angelegenheit. Problematisch wird es dagegen beim Einsatz von Eigenbau-Plattenkameras, Spiegelteleskopen, Schmidt-Kameras etc. Hier gilt es Bildfeldverkippen zu beheben, dem Temperaturgang des Fokus zu folgen und verlängerte Bildweiten, beim Einsatz von Filtern im Strahlengang, zu berücksichtigen. Dies ist der Grund, weshalb die gewohnte Arbeit an der Schmidt-Kamera des Verfassers meist mit Fokustestaufnahmen beginnt. Dieser Umstand gab den Anstoß zur Entwicklung einer einfachen, zeitsparenden Methode. Seit mehreren Jahren mit Erfolg angewendet, ermöglicht sie es, den Abstand der Filmfläche zum Tiefenschärfenbereich schnell zu bestimmen. Das Verfahren ist im folgenden beschrieben.

### Das Prinzip

Die Methode basiert auf der Durchmesserbestimmung fotografierter unscharfer Sternscheibchen. Aus diesem Durchmesserwert läßt sich, mittels einer simplen geometrischen Beziehung, ausreichend genau der Abstand der Filmfläche zum Tiefenschärfenbereich berechnen. Zugrunde liegt die Annahme eines optischen Strahlenkegels. Die Strahlen laufen in einem Winkel zusammen, der für ein bestimmtes Öffnungsverhältnis stets konstant ist. Ohne den Winkel berechnen zu müssen, lassen sich die Verhältnisse in einer Gleichung ausdrücken:

$$\frac{a}{ds} = \frac{f}{d}$$

Danach haben die Durchmesser defokussierter Sterne ( $ds$ ) und ihr Abstand zum Brennpunkt ( $a$ ) stets das gleiche Größenverhältnis wie der Durchmesser des Objektivs ( $d$ ) zur Brennweite ( $f$ ), also der Zahl des Öffnungsverhältnisses. Nach dieser Beziehung wird jedoch der Sterndurchmesser im Fokus = 0. Dies ist nicht zutreffend. Um einen merklichen Fehler in Brennpunktnähe zu vermeiden, erhält der angenommene Strahlengang im Tiefenschärfenbereich (bzw. Fokus) den Durchmesser optimal scharfer fotografischer Sternabbildungen. In der Rechnung geschieht dies durch Subtraktion dieses Optimaldurchmessers vom Durchmesserwert des unscharfen Sterns.

### Zur theoretischen Problematik

Um Einwänden theoretisch versierter Leser und Mißverständnissen vorzubeugen, sollen die recht komplizierten Zusammenhänge angesprochen werden, die dieses praktisch einfache Verfahren tangiert.

Das Grundproblem beruht darin, daß die fotografische Wiedergabe scharfer oder unscharfer Sterne mit dem Durchmesser des Strahlengangs nicht völlig identisch ist. Woraus resultieren fotografische Sternabbildungen?

Im Objektiv kommand, erfahren die Strahlen im Brennpunkt ihre größte Bündelung. Aus beugungstheoretischer Sicht erscheint diese größte Bündelung als ein zentrales Beugungsscheibchen (dessen Durchmesser abhängig ist von Wellenlänge und Öffnungsverhältnis), umgeben von nach außen schwächer werdenden Beugungsringen. Damit ist der Strahlengang nach außen niemals scharf begrenzt. Seine Intensität nimmt allmählich ab. Jedoch ist der größte Teil der Intensität im zentralen Beugungsscheibchen oder Zerstreuungskreis konzentriert. Deshalb führt die Schwärzung der Sterne, im Bereich der fotografischen Grenzgröße, doch wesentlich von diesem Zentralteil her. Auch ist der Strahlenverlauf streng genommen nicht kegelförmig, bzw. kegeltumpfförmig. Am ehesten könnte man als „Hüllkurven“ für die Strahlenbüschel Hyperbeln annehmen.

Fotooptik, auch Schmidt-Kameras, weisen jedoch keine beugungsbegrenzte Abbildungsgüte auf. Sie bilden Sterne über ein großes Bildfeld in Form optimierter Zerstreuungskreise ab, die sich aus der berechneten Korrektur der Optik und herstellungsbedingt ergeben. Die reale Größe eines Strahlenbündels im Brennpunkt wird, neben der optischen Qualität (über die wir in der Praxis kaum etwas wissen), ganz entscheidend durch ihre Zentrierung und Justierung geprägt. Hier müssen, gerade bei Eigenbaugeräten, immer unkalkulierbare Restfehler vermutet werden.

Neben diesen optischen Erscheinungen verkomplizieren fotografische Effekte den Sachverhalt. Die fotografische Abbildungsgröße schwächster Sterne (bevor durch die Belichtung das Bildwachstum den Durchmesser verfälscht) hängt einerseits von emulsionsgebundenen Eigenschaften ab. Dies sind z. B. die Körnigkeit und die Fähigkeit zum Energieaustausch zu benachbarten Körnern (Diffusion). Zum anderen haben Entwicklungseffekte einen merklichen Einfluß. Der Strahlengang kann im Fokus wesentlich feiner sein, als der Durchmesser schwächster Sterne (Tiefenschärfe). Bei einer fotografischen Auflösung nahe 1" hat das „seeing“ einen bedeutenden Einfluß auf die Abbildungsgröße der Sterne. Durch Nachführfehler kann ebenfalls eine Sterngröße vorgetäuscht werden, die nichts mit dem Strahlengang zu tun hat. (In beiden zuletzt genannten Fällen führt die hier beschriebene Fokussierhilfe allerdings zu merklichen Fehlern.)

Insgesamt wird hiermit verständlich, daß die wahre Natur des Strahlenverlaufs an Hand fotografischer Sternabbildungen nicht exakt ablesbar ist. Der Strahlengang, zusammen mit dem Durchmesser kleinster Sternabbildungen, resultiert aus einer Vielzahl von Erscheinungen, die wir lediglich zum Zwecke einer genauen Scharfstellung niemals ermitteln können und auch nicht brauchen. Für die rechnerische Fokussierhilfe ist keine Analyse der Faktoren erforderlich, da deren Endphänomen, der fotografische Sterndurchmesser, nicht gesucht, sondern durch Messung gegeben ist. Es erscheint durchaus vernünftig – wenn schwächste Sternabbildungen auf einer Aufnahme zu groß ausfallen – davon auszugehen, daß hierfür das auseinanderlaufende Strahlenbündel verantwortlich ist; wenn nicht gerade eine grobkörnigere Emulsion benutzt oder schlechter entwickelt und nachgeföhrt wurde. Letztlich ist auch die Durchmesserbestimmung mit deutlicher Unsicherheit behaftet, da die Sternscheibchen am Rand eine gestreu-

te Schwärzung aufweisen. Im Rahmen dieser Unsicherheit des Ausgangswertes und durch die Tiefenschärfe werden die Fehler, die sich aus der einfachen Rechenmethode ergeben, gegenstandslos.

Die Größe der optischen Tiefenschärfe ist ohne Belang, da innerhalb ihres Bereiches keine Unschärfe feststellbar ist. Wir registrieren den Abstand zum Tiefenschärfenbereich.

## Die praktische Anwendung

Zunächst erfolgt die Messung des Durchmessers schwächster scharfer Sterne. (Bei Bildfeldverkipfung an verschiedenen Bildstellen.) Der Verfasser benutzt dazu ein „Kleinkroskop C“ mit einem stellbaren Okular (12,5 x) und einem Meßplättchen (100 Teilstriche) aus Jena. Der Okulartubus muß, unter Verwendung des schwach vergrößernden Objektivs, 63,5 mm herausgezogen werden, damit die 100 Teilstriche = 1 mm entsprechen. Weiter benötigen wir für die Rechnung den Durchmesser optimal scharfer, schwächster Sterne. Wenn dieser Wert nicht bekannt oder ermittelbar ist, muß sein voraussichtlicher Betrag erst einmal angenommen werden. Bei der Schmidt-Kamera des Verfassers beträgt dieser 0,02 mm Durchmesser. Instrumentelle Unterschiede sind zu berücksichtigen. Besonders bei kurzbrennweitigen Kameras mit großem Öffnungsverhältnis (extrem geringe Tiefenschärfe), hängt die Richtigkeit des errechneten Abstandes zum Tiefenschärfenbereich spürbar vom Realismus des vorausgesetzten Optimaldurchmessers ab. Hier kann ein Fokusabstand von nur 0,025 mm eine erkennbare Unschärfe erzeugen. Die Zahl des Öffnungsverhältnisses ist in der Regel bekannt (zu berechnen aus  $f/d$ ). Da es auf den Winkel des Strahlenkegels ankommt, benutzen wir nicht das effektive Öffnungsverhältnis.

Nun die Rechnung an einem Beispiel.

*Gegeben:* Eine Kamera mit einem Öffnungsverhältnis 1 : 2,5  
Optimalschärfedurchmesser = 0,02 mm  
Durchmesser des unscharfen Sterns = 0,5 mm

*Rechenweg:* Der Strahlenkegel ist beim gemessenen Stern  $0,5 \cdot 0,02 = 0,48$  mm größer als im Tiefenschärfenbereich. 0,48 mm entsprechen bei einem Öffnungsverhältnis von 1 : 2,5 einem Abstand zum Tiefenschärfenbereich von  $0,48 \cdot 2,5 = 1,2$  mm.

*Ergebnis:* Die Filmfläche ist am Ort des gemessenen Sterns 1,2 mm vom Tiefenschärfenbereich entfernt.

Diese Rechnung läßt sich in Sekundenschnelle mit einem Taschenrechner durchführen. Die Ungenauigkeit dieser Methode liegt in erster Linie in der Durchmesserbestimmung der unscharfen Sterne. Mit der Größe der Zerstreungsscheibchen wächst die Unsicherheit. Bei bis zu 0,5 mm großen Sternscheibchen konnte auf Anhiel die optimale Scharfstellung ermittelt werden.

Ungewiß ist natürlich, in welche Richtung die axiale Verschiebung der Filmfläche erfolgen muß. Dies ist besonders unangenehm bei der Behebung von Bildfeldverkipfungen.

Die praktische Anwendung dieser Methode setzt die Einstellbarkeit des errechneten Betrages voraus. Die Kenntnis der Gewindesteigung der Fokussiereinrichtung ist erforderlich.

An der Schmidt-Kamera des Verfassers konnten winzige Bildfeldverkipfungen, durch ihre quantitative Bestimmung, mit vier oder fünf Testaufnahmen hochgradig behoben werden. Es galt dabei die Stelle auf der Stempelandruckfläche der Filmkassette zu finden, auf die kleine, vorher in der Dicke ausgemessene, Papierstücke aufgeklebt wurden. Die Auswertung der Testaufnahmen erfolgte in der Beobachtungsnacht, noch naß unter dem Mikroskop. Ein sorgfältiges Notieren der Justierschritte (und Ergebnisse) half die richtigen Maßnahmen zu finden.

Das hier beschriebene Verfahren liefert somit auch die Basis für die gezielte Lösung kompliziertester Aufgabenstellungen bei der Kamerajustierung. Endlose blinde Probeleien lassen sich so vermeiden.

Die Grenzen der Anwendbarkeit der Fokussierhilfe sind dort gegeben, wo merklich deformierte Sternfiguren (Koma, Astigmatismus) die Meßgrundlage des Verfahrens liefern sollen.



## Erhält „Giotto“ neuen Auftrag?

Die Kometensonde „Giotto“, die sich am 13./14. März 1986 bis auf 596 km dem Kometenkern von Halley näherte, bewegt sich wieder in Richtung Erde; am 2. Juli 1990 begegnet sie der Erde im Abstand von 22000 km. Deshalb erwägt man bei der ESO, die Sonde mit neuer Zielstellung zu „beauftragen“ und sie dafür umzuprogrammieren. Kontrollen nach der Begegnung mit Halley hatten ergeben, daß vier der zehn wissenschaftlichen Instrumente auf Giotto unversehrt weitere vier z. T. noch funktionsfähig blieben. Das ermutigte, Simulationen für neue Aufgabenstellungen durch das Europäische Kontrollzentrum der ESOC in Darmstadt mit Bodenstationen der NASA zu betreiben, die inzwischen erfolgreich waren. Nun muß die ESA entscheiden, ob Giotto zu erneuter Kometensondierung eingesetzt werden soll. Deshalb werden 1990 alle Systeme der Sonde aktiviert. Rechtfertigt die Prüfung während des Vorbeifluges an der Erde die Eingabe des neuen Forschungsprogrammes, könnte Giotto unter Ausnutzung des Erdschweifefeldes z. B. in Richtung des Kometen Grigg-Skjellerup gelenkt werden, der am 10. Juli 1992 von Giotto passiert werden könnte.

H. A.