

# BEITRAG AUS DER REIHE:

Karl-Heinz Lotze, Werner B. Schneider (Hrsg.)

## Wege in der Physikdidaktik Band 5 Naturphänomene und Astronomie

ISBN 3 - 7896 - 0666 - 9

Verlag Palm & Enke, Erlangen und Jena 2002

### Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.  
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle  
genutzt werden. Auf der Homepage

[www.solstice.de](http://www.solstice.de)

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Olaf Fischer und Christian Angeli

## Beobachtungen der Sonnenfinsternis im August 99

Totale Sonnenfinsternisse gehören seit jeher zu den faszinierendsten Naturschauspielen, deren Eindrücke unvergesslich bleiben. Am 11. August 1999 war es nach langer Zeit (nach 112 Jahren) wieder einmal soweit, dass in Teilen Deutschlands eine totale Sonnenfinsternis beobachtet werden konnte. Zählt man alle Sonnenfinsternistypen weltweit, so kommt man auf die beachtliche Zahl von ca. 220 bis 250 derartiger Ereignisse pro Jahrhundert. Im folgenden sollen Möglichkeiten der Sonnenbeobachtung samt einigen Ergebnissen als Anregungen zur Nachahmung vorgestellt werden. Wichtige theoretische Zusammenhänge und praktische Tipps werden dabei für die Schule nachvollziehbar aufgezeigt.

### 1 Finsternisbrillen: begehrt und preiswert

Schon der bloße Blick in die gleißend helle Sonne kann im Auge nach einigen Sekunden zu langanhaltenden Schäden durch fotochemische Reaktionen führen. Die „wahre Sonnenbeobachtungsbrille“ bedarf einer Filterwirkung, die auch in den nicht sichtbaren, aber doch augenschädigenden Spektralbereichen (Infrarot, Ultraviolett), Schutz bietet. Speziell zum Zwecke der Sonnenbeobachtung wurde von der Firma Baader Planetarium GmbH (Zur Sternwarte, D-82291 Mammendorf) Filterfolie entwickelt, die diesen hohen Ansprüchen genügt und im Vergleich zu starren Filtern äußerst preiswert ist. Die nur 0,012 mm dicke, mehrfach verspiegelte Spezialfolie wird für Augenbeobachtungen mit einer optischen Dichte von  $D=5$  angeboten, was einer Transmission  $T$  (Anteil der durchgelassenen Strahlung) von  $T=0,001\%$  entspricht. Der Wert der Solarkonstante reduziert sich durch die Filterfolie auf  $0,01395\text{ W/m}^2$ . Eine vergleichbare, auf  $1\text{ m}^2$  fallende Strahlungsleistung erhält man von einer  $100\text{ W}$  Glühlampe in einem Abstand von ca.  $24\text{ m}$ . Im Vorfeld der Sonnenfinsternis bestand eine der beliebten Vorbereitungen in der Anfertigung von Finsternisbrillen. Mit etwas Pappe, Klebestreifen und passend zugeschnittene Filterfolie konnte schnell das begehrte „Beobachtungsgerät“ hergestellt werden. Die Finsternisbrillen können auch für „alltägliche“ Sonnenbeobachtungen Verwendung finden. Allein schon die Betrachtung des scharf abgegrenzt erscheinenden Sonnenrandes ist den Blick durch die Brille wert. Auch große Sonnenflecke, wie sie in den nächsten Jahren zu erwarten sind, könnten bereits für das Auge ersichtlich sein.

### 2 Die Sonne im Schulfernrohr - eine Bildsequenz der Finsternis

Die fotografische Dokumentation einer Sonnenfinsternis „verewigt“ die Finsterniseindrücke und liefert die Grundlage weitergehender Betrachtungen der Finsterniserscheinungen (Protuberanzen, Korona, Diamantring- und Perlschnurphä-



Abb. 1: Teilnehmer des Astronomiekurses der Schülerakademie Gaesdonck 1999 beim Test der selbstgefertigten Finsternisbrillen.

nomen). Eine in der Astronomie oft genutzte Form der Bildgewinnung ist die Fokalaufnahme (siehe z. B. [Paech, 1993] oder [Schwinge, 1983]). Das Fernrohr (ohne Okular) dient dabei als besonders langbrennweitiges Teleobjektiv. Je größer die Objektivbrennweite  $f_{\text{ob}}$  ist, desto größer wird auch der Abbildungsmaßstab  $\zeta$ . Dieser gibt für astronomische Objekte das Verhältnis der Winkelausdehnung  $\omega$  des Himmelsobjektes zur linearen Ausdehnung  $B$  des Bildes in der Filmebene an ( $\zeta = \omega / B$ ).  $\zeta$  berechnet sich für astronomische Objekte (Bild in der Brennebene) ausgehend von der Beziehung  $\tan \omega = B / f_{\text{ob}}$  und der für kleine Winkel ( $\omega < 8^\circ$ ) gültigen Näherung  $\tan \omega = \omega$  ( $\omega$  im Bogenmaß) zu  $\zeta = 1/f_{\text{ob}}$ . Drückt man  $\omega$  wie üblich in Winkelminuten ( $'$ ) aus, so hat man mit dem Faktor  $(360 \times 60') / 2\pi = 3438'$  zu multiplizieren. Damit ist  $\zeta = 3438' / f_{\text{ob}}$ . Das Ergebnis zeigt, dass die Objektivbrennweite die entscheidende Größe ist.

Die optimale Konfiguration zur Fotografie sollte so beschaffen sein, dass die Sonne mit ihrer Korona (scheinbarer Durchmesser ca. 1 bis  $2^\circ$ ) gerade formatfüllend auf dem Negativ erscheint. Bei Nutzung des Kleinbildformats (24 mm x 36 mm) wäre also ein Abbildungsmaßstab im Bereich von 2,5 bis  $5'/\text{mm}$  und folglich eine Objektivbrennweite von 1375 bis 687 mm wünschenswert. Das Schulfernrohr „Telemotor“ bietet mit  $f_{\text{ob}} = 840$  mm gute Voraussetzungen für Fokalaufnahmen der verfinsterten Sonne ( $\omega = 2^\circ$ ,  $B \approx 29$  mm, siehe Abb. 2).

Auch für die Fotografie der Sonne bewährte sich die Filterfolie der Firma Baader in der Ausführung für fotografische Zwecke ( $D=3,5$ , d. h. eine Transmission von

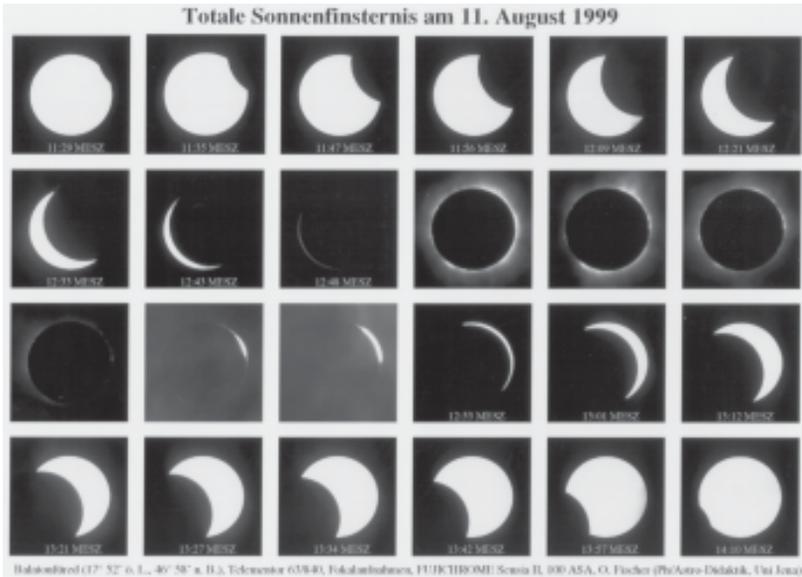


Abb. 2: Sequenz von Bildern der totalen Sonnenfinsternis. Die Bilder zeigen Ausschnitte aus den 24 mm x 36 mm-Dias, die mit einer Praktika MTL5 gewonnen wurden. Die Aufnahmen der partiell verfinsterten Sonne wurden mit dem Folienfilter gewonnen. Trotz Innenlichtmessung sind sie leider überbelichtet. Im Zeitraum der Totalität wurde ohne Filter mit Belichtungszeiten von 1/15 bis 1s gearbeitet. Eine schwache Bewölkung verhinderte die Beobachtung der äußeren Korona.

ca. 0,03 %). Einer mitgelieferten Anleitung folgend wurde die Folie dazu über einen Ring aus Pappe gespannt, der straff auf den Fernrohr tubus vor das Objektiv passte.

### 3 Formatfüllende Astrofotografie für jedermann

Ein Fotoapparat bildet mit einem Normalobjektiv ( $f_{\text{Kob}} = 50 \text{ mm}$ ) in einem Abbildungsmaßstab von  $\zeta = 3438' / f_{\text{Kob}} = 69' / \text{mm}$  ab. Die Sonne (scheinbarer Durchmesser  $\omega = 30'$ ) erscheint also auf dem Negativ nur in einer Größe  $B = 0,44 \text{ mm}$ . Im Folgenden wird eine einfache Anordnung zur formatfüllenderen Fotografie der Sonne vorgestellt, die neben einem Fotoapparat auf einem in vielen Haushalten verfügbaren Fernglas beruht. Das Fernglas dient dabei als Projektionsoptik, die entweder fokal direkt auf die Filmebene abbildet oder afokal ins Unendliche projiziert, von wo aus  $B$  durch das Kameraobjektiv abgebildet wird (siehe Abb. 3). Das zuvor Gesagte basiert auf der Tatsache, dass sich der Abbildungsmaßstab für ein gegebenes Objektiv durch Einschaltung weiterer optischer Elemente, die

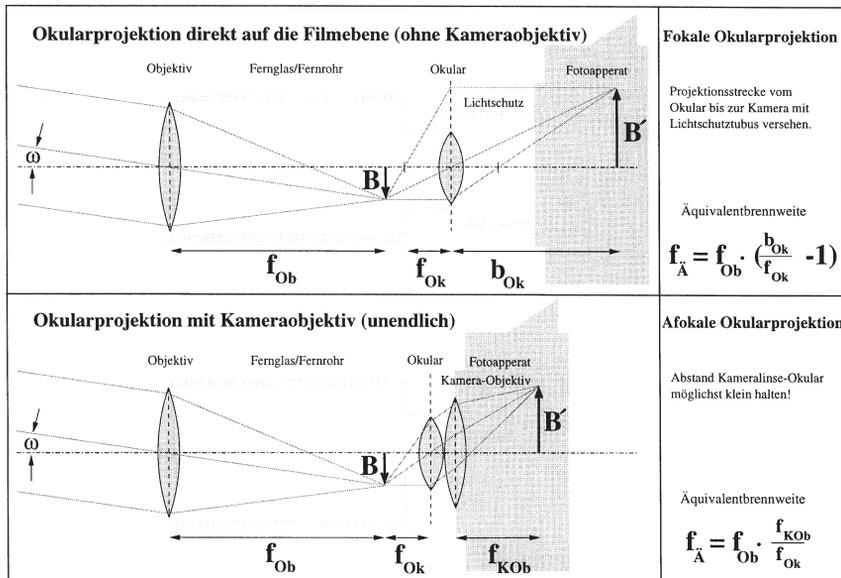


Abb. 3: Prinzipien der Astrofotografie in Okularprojektion (siehe auch [Brandt]).

die Brennweite beeinflussen, verändern lässt. Die veränderte Objektivbrennweite nennt man auch Äquivalentbrennweite  $f_A$ . Bei Nutzung der in Abb. 3 unten

gezeigten Anordnung erhält man eine Äquivalentbrennweite von

$$f_A = f_{Ob} \times f_{KOb} / f_{Ok} = f_{KOb} \times f_{Ob} / f_{Ok} = f_{KOb} \times V,$$

wobei  $V$  die Vergrößerung des Fernglases darstellt. Für Ferngläser werden üblicherweise nur der Objektivdurchmesser  $D$  und die Vergrößerung  $V$  (8 x 30 bedeutet z.B.  $V=8$  fach und  $D=30$  mm) angegeben. Fotografiert man nun die Sonne in afokaler Projektion (siehe Abb. 3 unten) mit dem oben genannten Kameraobjektiv durch ein Fernglas 8 x 30, so vergrößert sich das Bild der Sonne auf dem Negativ auf  $B' = V \times B = 8 \times 0,44 \text{ mm} = 3,5 \text{ mm}$ . Dieser Wert kann durch den Einsatz längerbrennweitiger Kamera-Objektive z. B. mit  $f_{KOb} = 80 \text{ mm}$  auf ca.  $B' = 5,6 \text{ mm}$  gesteigert werden. Eine derartige Konfiguration zur Astrofotografie wird in Abb. 4 gezeigt. Zur Fotografie der partiell verfinsterten Sonne musste der Folienfilter eingesetzt werden. Dieser wurde wieder über eine selbst gefertigte Papphülse gespannt, die straff über das Fernglasgehäuse vor die Objektivlinse passte (siehe Abb. 4). Die Welligkeit der nicht ideal gespannten Folie hatte dabei keinen merklichen Einfluss auf die Bildqualität. Anschließend sollen einige Aufnahmen, die mittels dieser Konfiguration gewonnenen wurden, beispielhaft vorgestellt werden. Ein kurzer Erlebnisbericht gibt einen Eindruck von der Dramatik der Finsternisfotografie.



Abb. 4: Anordnung zur Astrofotografie in afokaler Projektion durch ein Fernglas (Foto: K.-H. Lotze).

#### 4 Erlebnisbericht

Die Erwartungen für den 11. August 1999 waren groß. Tags zuvor wurden sie jedoch durch Schlechtwettervorhersagen getrübt. Als der lang ersehnte Tag anbrach, schien auch der letzte Funken Hoffnung im niederprasselnden Regen zu ertrinken. Gegen 10 Uhr tauchte am Horizont eine Wolkenlücke auf, die jedoch unsere Stimmung zu diesem Zeitpunkt nicht aufzuhellen vermochte. Da schien es fast wie ein Wunder, als sich knapp eine halbe Stunde vor Beginn der Finsternis ein riesiges Wolkenloch auftat. Doch dann kam er, der lang ersehnte Augenblick des ersten Kontakts, das erste Betätigen des Kameraauslösers und das damit verbundene Bangen, ob denn die Aufnahme auch gelungen ist. Die darauffolgenden Aufnahmen hatten dann schon einen Anstrich von Routine. Das änderte sich jedoch mit Einsetzen der Totalität schlagartig, ebenso schnell wie sich der Himmel von einem Augenblick auf den anderen verfinsterte. Die Hände wurden zitterig und im Bauch breitete sich so ein flaves Gefühl aus. Für einen Moment waren wir versucht, dieses Naturschauspiel in seiner ganzen Pracht einfach nur zu genießen und auf Fotos zu verzichten. Letztlich entschieden wir uns aber für die Fotos und bereuten diese Entscheidung keine Sekunde. Leider war es uns nicht vergönnt, das Ende der Finsternis zu erleben, denn ungefähr eine Viertelstunde nach der Totalität waren am Himmel nur noch Wolken zu sehen.

#### 5 Phänomenologie einiger beobachteter Finsterniserscheinungen

Abschließend sollen die Finsterniserscheinungen, die mit den zuvor aufgeführten Hilfsmitteln beobachtbar und in den gewonnenen Aufnahmen (Abb. 2 und 5) sichtbar sind, kurz beschrieben werden.

Der längste Zeitraum einer totalen Sonnenfinsternis wird durch die partielle Verfinsterung gekennzeichnet. Aus Sicht des irdischen Beobachters wird dabei die leuchtende Sonnenscheibe, die man sich aus vielen Punktquellen zusammenge-

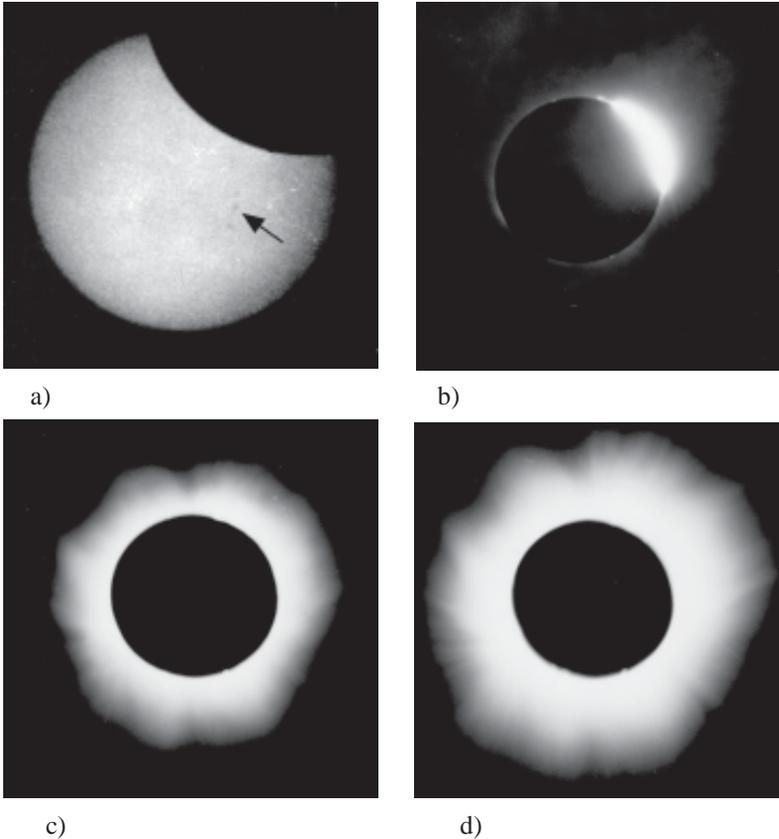


Abb. 5: Sonnenfinsternis-Aufnahmen in afokaler Okularprojektion mit einem Fernglas. a) partielle Verfinsterung vor der Totalität; Belichtungszeit:  $1/750s$  (mit Filterfolie  $D=5$ ) Sonnenflecken sind schwach sichtbar (Pfeil); b) kurz nach dem 3. Kontakt, Belichtungszeit  $1/1000s$  (ohne Filterfolie); c) Totalität, bei der relativ kurzen Belichtungszeit von  $1/2s$  (ohne Filterfolie) wird nur die innere Korona sichtbar; d) Totalität, die Korona wird durch die lange Belichtungszeit von  $2s$  (ohne Filterfolie) im stark strukturierten Außenbereich sichtbar; Aufnahmeort: Fischbach (ca 15km südwestlich von Augsburg), Fernglas 8x30 von Carl Zeiss, Canon EOS 300 ( $f = 80mm$ ); Okularprojektion, Fujicolor Superia 100 (Fotos: Angeli)

setzt denken kann, durch den Mond mehr oder weniger abgedeckt. Die mit dem Halbschattenphänomen verbundene Helligkeitsänderung wird in vielen schematischen Darstellungen der Schattenkonstellation nicht bzw. falsch gezeigt. In Abbildung 6 wird versucht, die für den Finsternishalbschatten charakteristische Eigenschaft der räumlichen (zeitlichen) Verfinsterung/Aufhellung zu demonstrier-

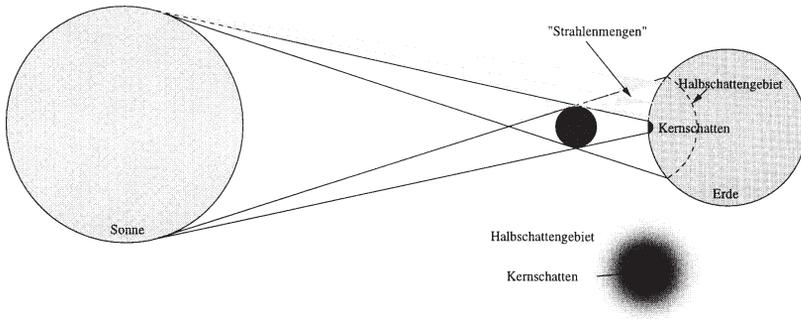


Abb. 6: Schematische Darstellung der Konstellation für eine totale Sonnenfinsternis (Schnitt entlang der Verbindungslinie Sonne-Mond-Erde). Im Gegensatz zum homogenen Kernschatten zeichnet sich das Halbschattengebiet durch einen Helligkeitsgradienten aus. Unten ist der Anblick des Mondschattens, wie er z. B. vom Mond aus beobachtbar wäre, dargestellt. Beobachter an drei verschiedenen Positionen im Halbschattengebiet erhalten entsprechend der jeweils sichtbaren Menge an gedachten Punktquellen der Sonnenscheibe unterschiedliche „Strahlenmengen“ (andere strahlungsverdünnende Effekte werden nicht berücksichtigt).

ren.

Sehr kurzlebige Finsternisphänomene kurz vor und nach der Totalität sind der **Diamantringeffekt** und das **Perlschnurphänomen**. Das letzte Gleißeln der noch über den Mondrand ragenden Photosphäre und das bereits wahrnehmbare Licht der Chromosphäre und der inneren Korona, welches den übrigen Mondrand beinahe ringförmig einhüllt, erzeugen zusammen den Diamantringeffekt (siehe Abbildung 2). Der Eindruck eines funkelnden Edelsteins (man denke auch an das Funkeln der Sterne) entsteht durch Interferenzeffekte, die auftreten, wenn der Photosphärenrand (eine zumindest in einer Dimension sehr gering ausgedehnte Lichtquelle) durch die turbulente Erdatmosphäre (vergleichbar mit einem zeitlich und räumlich variablen Transmissionsgitter) beobachtet wird. Die Interferenzen sind auch für das Phänomen der fliegenden Schatten verantwortlich. Gelangt der Mondrand vor den Rand der Photosphäre, so wird deutlich, dass auch der Mond eine zerklüftete Oberfläche (Krater, Berge) hat. Die letzten intensiven Lichtstrahlen gelangen nur noch durch einige Mondtäler hindurch zum Beobachter und erwecken den Anschein einer Perlschnur.

Die vielleicht beeindruckendste Finsterniserscheinung ist die **Sonnenkorona**. Auch wenn sie so hell wie der Vollmond strahlt, so kann man sie doch nur während der Totalitätsphase einer Sonnenfinsternis sehen (siehe Abb. 5). Die Korona ist die äußerste Schicht der Sonnenatmosphäre. Ihre Struktur variiert mit dem Aktivitätszyklus der Sonne. Während die Maximumkorona (Aktivitätsmaximum,

siehe Abb. 5) die ganze Sonne umgibt, umrahmt die Minimumskorona weit ausladend vor allem den Sonnenäquator. Die faserige Struktur der Korona (Koronastrahlen) wird durch das Magnetfeld bedingt. Die in der bis zu  $10^6$  K heißen Korona vorhandenen freien Elektronen bewegen sich entlang von nahezu radial verlaufenden „Feldlinienbündeln“. Die Strahlung der Korona entsteht durch Streuung des aus der Photosphäre emittierten Lichts an den freien Elektronen.

Einen Farbtupfer im Finsternisgeschehen liefern die am Sonnenrand sichtbaren **Protuberanzen**, die im rötlichen Licht der Balmer-Linie  $H_{\alpha}$  (656,3 nm) leuchten (siehe Abb. 2). Diese stellen selbstleuchtende Bögen elektrisch geladenen Gases dar, die bis zu mehrere  $10^5$  km ausgehend von der Chromosphäre in die Korona hineinragen und dort durch entsprechend verlaufende Magnetfeldlinien wie durch Brücken gehalten werden (man spricht von Schleifen- und Bogenprotuberanzen, siehe auch [Lang]). Das Protuberanzgas kann selbst hell leuchten, weil es, durch das Magnetfeld vom Koronagas abgeschirmt, hundertfach dichter und kühler ist. Ein abschließender Blick auf ein Finsternisfoto (Abb. 2) zeigt, dass die Protuberanzen nur teilweise sichtbar über den Mondrand heraus schauen. Dies erinnert an die Vielgestaltigkeit einer Sonnenfinsternis, die auch vom jeweiligen Entfernungsverhältnis Sonne-Erde/Erde-Mond, welches die Größe der Abdeckung der Sonnenscheibe und damit die Kernschattengröße bestimmt, abhängt.

## 6 Literaturverzeichnis

- BRANDT, R., MÜLLER, B., SPLITTGERBER, E.: „Himmelsbeobachtungen mit dem Fernglas“, Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1983, S.267-272
- KOCH, B. (Hrg.): Handbuch der Astrofotografie, Springer-Verlag, Berlin u. a., 1995
- LANG, K. R.: „Die Sonne, Stern unserer Erde“, Springer-Verlag, Berlin u. a., 1996
- PAECH, W.: „Tips & Tricks zu astronomischen Instrumenten, Montierungen und Antrieben, optischem Zubehör und zur allgemeinen Beobachtungstechnik“, Baader Planetarium GmbH, 1993
- SCHWINGE, W.: „Fotografischer Mondatlas“, Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1983, S.8-20