

## Leistungsfähigkeit von Refraktor und Reflektor

(Auflösung, Kontrast und Lichtsammelvermögen von Refraktor und Reflektor)

Im folgenden sollen Refraktor und Reflektor hinsichtlich ihres Leistungsvermögens (Auflösung, Kontrast, Lichtsammelvermögen) näher betrachtet werden. Gelegentlich kommt die Frage, inwieweit sich Refraktor und Reflektor voneinander unterscheiden. Manchmal wurde gemeint, daß sie sich nicht miteinander vergleichen ließen. Erstaunlich ist, daß häufig unterschiedliche Antworten zu diesem Thema kommen. Daher versuche ich, eine Antwort auf diese Frage zu finden.

# Astrowissen, *Hans-Ulrich Keller* [1]

(Zitat S. 12ff.):

"Zu den Zwischengliedern [...] eines Teleskopes zählen Fang- und Umlenkspiegel, Umkehr- und Nachvergrößerungslinsen, Filter etc. Sie sind notwendig, um den Strahlengang umzulenken beziehungsweise für den Empfänger aufzubereiten. Sie führen durch Absorption und Deformation der Wellenfront stets zu einem Informationsverlust, weshalb man die Zahl der Zwischenglieder möglichst klein zu halten versucht. Beim klassischen Refraktor fehlen Zwischenglieder völlig."

Danach folgt eine meiner Meinung nach wichtige Aussage:

"Die Leistung eines Teleskopes wird von seinem Objektivdurchmesser bestimmt. Die Auflösung (Trennschärfe) steigt linear mit dem Durchmesser, die lichtsammelnde Wirkung hingegen mit dem Quadrat des Durchmessers. Doppelter Durchmesser erbringt doppelt so hohe Auflösung und vierfachen Lichtgewinn."

Etwas weiter unten:

"Das Auflösungsvermögen (A) eines Objektivs läßt sich aus der Dawes-Formel schnell ermitteln. Sie lautet:

$$p = k \cdot \lambda / D$$

Dabei ist  $p = 1/A$  die Trennschärfe, der reziproke Wert der Auflösung. Die Trennschärfe ist abhängig von der Wellenlänge ( $\lambda$ ) des Lichtes und dem Objektivdurchmesser  $D$ . Wählt man sichtbares Licht (gelber Farbbereich  $\lambda = 550\text{nm}$ ), so kann man als Konstante  $k \cdot \lambda = 13$  einsetzen. Dann ergibt sich die Dawes-Formel zu:

$$p = 13/D$$

Dabei bedeutet  $p$  die Winkeldistanz zweier Punkte (Sterne) in Bogensekunden, die gerade noch getrennt zu sehen sind mit einem Fernrohr, das den Objektivdurchmesser  $D$  cm hat. Das bloße, normalsichtige Auge hat ein Auflösungsvermögen von etwa einer Bogenminute ( $=60''$ ),

ein Fernrohr mit 10cm freier Öffnung hingegen von 1.3". Die Konstante  $k$  ist etwas vom Fernrohrtyp abhängig. Bei Refraktoren ist  $k=11.7$ , da sie im Prinzip eine bessere Auflösung erreichen als Reflektoren gleicher Öffnung. Die Dawes-Formel gibt die Auflösung bzw. Trennschärfe unter besten Bedingungen an. Die Trennschärfe ist abhängig von der Qualität der Optik, der Stabilität der Montierung, der Luftruhe und der Helligkeitsdifferenz der einzelnen Komponenten eines Doppelsternes.

Bei bodengebundenen Teleskopen wird die erreichbare Auflösung durch die Turbulenz der irdischen Atmosphäre begrenzt. Selten kann man 0.2" unterschreiten. Bei Teleskopen über 50cm Öffnung zählt nur noch der Lichtgewinn, die Auflösung wird bei größerem Objektivdurchmesser nicht mehr verbessert."

*Hans-Ulrich Keller* legt die Betonung auch immer wieder auf den freien Objektivdurchmesser. Also möchte ich dem Einfluß von Fangspiegel und Fangspiegelspinne (-halterung) auf das Auflösungsvermögen weiter nachgehen.

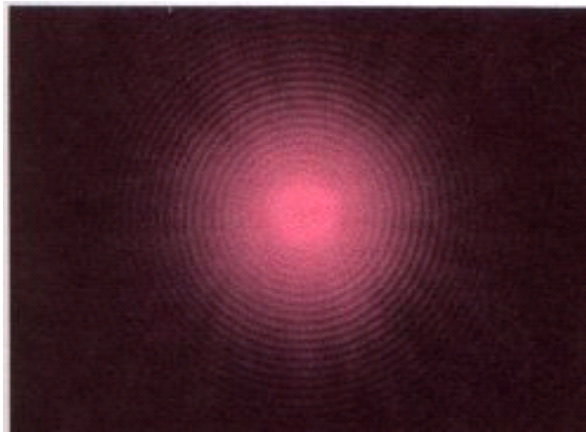


Abb. 1: Beugungsringe [5]

Dazu folgt ein Zitat aus *Paul Ahnerts* "Kleine praktische Astronomie". Dieses Zitat stellt teilweise die Grundlagen für das Zitat aus Astrooptik etwas weiter unten bereit.

# Kleine praktische Astronomie, Paul Ahnert [2]:

(Zitat Seite 19):

"Die Definition - Schärfe des Bildes - hängt im wesentlichen nur von der Öffnung des Objektivs ab. Wegen der Wellennatur erfährt das Licht an der Begrenzung [Objektivfassung] eine Beugung. Dadurch wird ein punktförmiger Fixstern in der Brennebene nicht als Punkt, sondern als Scheibchen, abgebildet. Dieses Beugungsscheibchen [siehe Abbildung 1] ist von mehreren Beugungsringen umgeben, von denen nur der erste, der innere, noch eine merkliche Intensität besitzt. Seine Maximalintensität beträgt für ein Refraktorobjektiv nur 1.7% der Mittenintensität des Beugungsscheibchens. Für den Beobachter ist der Durchmesser des Beugungsscheibchens in Bogensekunden von Bedeutung. Er kennzeichnet die Minimaldistanz, bis zu der zwei an Helligkeit wenig verschiedene Doppelsternkomponenten noch getrennt werden können."

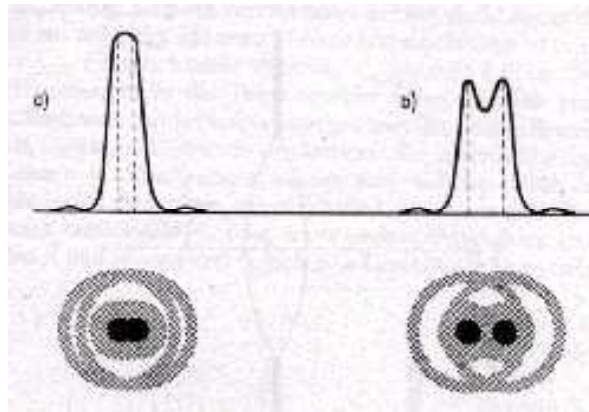


Abb. 2: Auflösung zweier Beugungsmaxima [6][8]

"Auf Planetenoberflächen und auf dem Mond kann von Objekten, die kleiner als das Beugungsscheibchen sind, bei genügend starkem Helligkeitskontrast zwar noch ihr Vorhandensein, aber nicht mehr ihre wahre Gestalt wahrgenommen werden [Beispiel: Cassini-Teilung im Saturnring]. Scharfe Grenzlinien (Mondbergschatten) verlieren bei starker Vergrößerung etwas an Schärfe, weil von der hellen Umgebung Licht in die dunklen Partien abgebeugt wird. Der optisch wirksame Durchmesser des Beugungsscheibchens beträgt für ein fehlerfreies Refraktorobjektiv von 100mm Öffnung für die Wellenlänge 560nm (für visuelle Beobachtungen)  $\sigma(\text{null})=1.16''$ , der Durchmesser des 1. Beugungsringes  $\rho(\text{null})=1.84''$ . Beide Werte sind umgekehrt proportional der Öffnung. Für andere Öffnungen folgt daher  $\sigma=\sigma(\text{null})\cdot 100/D$ ;  $\rho=\rho(\text{null})\cdot 100/D$ .

Bei den konventionellen Spiegelteleskopen nach Newton und Cassegrain bildet der Hilfsspiegel [Fangspiegel] eine Zentralblende. Die Öffnung ist daher keine Kreisfläche, sondern ein Kreisring mit zwei Begrenzungen. Dadurch wird die Beugungsfigur in dem Sinne geändert, daß die Intensität des zentralen Scheibchens sinkt und die Helligkeit der Beugungsringe zunimmt. Das führt praktisch zu einer Vergrößerung der optisch wirksamen Beugungsfigur und damit zu einer Verminderung der Definition."

Es folgt eine Verdeutlichung der Verminderung der effektiven Öffnung anhand der Zeiss-Reflektoren. Es kommt nur noch der Hinweis, daß bei einem Newtonspiegel mit 11cm Öffnung, ein Fangspiegel mit 3cm Durchmesser (kl. Achse) genügen würde. Damit würde die Blende eines 25mm-Okulares noch voll ausgeleuchtet. Nun berechnet *Ahnerl* die Abschattung durch den Fangspiegel in Prozenten.

Wohlgemerkt, dabei zieht er die Durchmesser heran, nicht die Fläche.

Ähnlich äußert sich *Martin Birkmaier* [4]:

DK = DK = effektiver Kontrast-Durchmesser, d.h. der Durchmesser eines obstruktionsfreien  
 D - Teleskopes mit gleicher visueller Wahrnehmung eines 20%igen Kontrastes  
 DF D = Durchmesser Hauptspiegel (Öffnung)  
 DF = Durchmesser Fangspiegel (Obstruktion)

Weiterhin schreibt er, daß ein Newton mit 203 mm Öffnung und 33 mm Fangspiegel in der Kontrastleistung einem nichtobstruierten System (Refraktor, Schiefspiegler) mit 170mm Öffnung entspräche. In einem zweiten Beispiel setzt er einen 8" SC mit 43% Obstruktion einem Refraktor mit 116mm Öffnung gleich, es wurde ebenfalls die Kontrastleistung betrachtet. (Nachzulesen unter [http://www.intercon-spacetec.de/grundlagen/opt\\_qual.html#obstruktion](http://www.intercon-spacetec.de/grundlagen/opt_qual.html#obstruktion). Vielen Dank an *Diethard Rennoch* für die Seitenadresse.) *Martin Birkmaier* hat auch ein lesenswertes "Schlußwort" auf seiner Seite verfaßt [http://www.intercon-spacetec.de/grundlagen/opt\\_qual.html#wunsch](http://www.intercon-spacetec.de/grundlagen/opt_qual.html#wunsch).

#### # Astrooptik, *Uwe Laux* [3]:

(Zitat Seite 82):

"Bei allen rotationssymmetrischen Spiegelsystemen findet durch Gegen- bzw. Ablenkspiegel eine Zentralabschattung statt. Sie stellt einen Eingriff in die Wellenfront und auf das Beugungsbild dar. Das hat zur Folge, daß durch diese Zentralabschattung das Auflösungsvermögen (AV) verbessert wird (theoretisch), der Kontrast für mittlere Ortsfrequenzen geht aber zurück. Das Bild wird kontrastärmer als beim Refraktor und dies umso mehr, je größer die relative Zentralabschattung ist. Es findet eine Umverteilung der Intensitäten des Beugungsscheibchens statt."

Auf das Problem des Auflösungsvermögens geht *Uwe Laux* noch genauer ein.

(Zitat Seite 3):

"Zentralabschattung: Auch Obstruktion, ist besonders bei Spiegelsystemen relevant. Alle rotationssymmetrischen Spiegelsysteme [...] sind konstruktionsbedingt mit Zentralabschattung behaftet. Die Zentralabschattung erfolgt durch den Gegenspiegel GS und stellt einen Pupilleneingriff dar. Bei einigen Systemen ist der GS durch eine Schmidt-Platte oder Linse gehalten [...], hier ergibt sich eine runde bis ovale Pupillenfigur und damit auch ein symmetrisches Beugungsbild. Bei den Spiegelsystemen [...] kommt eine Streuung und Beugung am Haltekreuz hinzu. Da das Haltekreuz nicht in der Pupille liegt, gibt es oftmals asymmetrische Beugungs- und Streulichteffekte (z. Bsp. beim Schmidteleskop [...]). Diese wirken sich besonders bei astrometrischen Aufgabenstellungen sehr störend aus. Da Spiegelsysteme oftmals nicht die Beugungsgrenze erreichen (optische Güte und Seeing), verschmilzt das erste Maximum mit dem Bildkern. Somit verschlechtert sich in der Praxis das [Auflösungsvermögen] AV eines Spiegels erheblich, da die theoretische Verkleinerung des Punktbildes in den Spiegelfehlern und Seeing untergeht. Oftmals wird das diffuse Bild eines Spiegelsystems nur der Zentralabschattung zugerechnet, obwohl mitunter die Abbildungsfehler einen nicht zu unterschätzenden Anteil dazu beitragen. Somit fällt die oftmals zitierte Verbesserung der Auflösung durch die Zentralabschattung nur wenig ins Auge, die Energieumverteilung ins erste Beugungsmaximum ist umso deutlicher wahrnehmbar."

Nicht außer Betracht sollte man die sogenannte **Tagblindheit** von Spiegelsystemen lassen. Das bedeutet, daß Licht direkt an der Optik vorbei in die Fokalebene gelangt. Dies läßt sich durch einen entsprechenden Durchmesser des Gegenspiegels oder durch Abschattungstuben vermeiden.

(Zitat S. 107)

"Die Vignette des Bildfeldes und die Größe der Zentralabschattung (Bildkontrastabfall) müssen mit dem Haupteinsatzgebiet des Teleskopes abgewogen werden. Der Helligkeits- und vor allem

Kontrastabfall (bei übermäßiger Vignette) verursacht oftmals mehr Einbußen. Eine Totalabschattung des Falschlichtes ist nur bei Tages- und Mondbeobachtungen nötig. [...] Besonders bei Planetenbeobachtungen sollte die Zentralabschattung auf ein Minimum reduziert werden."

# Handbuch für Sternfreunde, Günter D. Roth, H. Nicklas [7]:

Die Beugungsfigur erfährt durch eine zentrale Abschattung (Sekundärspiegel, Photokassette einer Schmidtkamera) eine Veränderung. (Zitat S. 58): "Zwar verringert sich der Radius des ersten Minimums  $1.22 \cdot \lambda / D$  auf bestenfalls  $0.73 \cdot \lambda / D$ , doch wird dafür umso mehr Licht gebeugt und es kommt zu einer deutlichen Aufhellung der Beugungsringe [...]. Diese Aufhellung führt zu einer Kontrastminderung, die sich speziell bei Planetenbeobachtungen bemerkbar macht, weshalb auf diesem Gebiet im allgemeinen Refraktoren der Vorzug gegeben wird."

# Zur Zusammenfassung möchte ich Frank Schäfer zu Wort kommen lassen:

1. "Die Obstruktion führt zu einer geringen Abnahme der Lichtsammelleistung, da die optisch wirksame Fläche eines obstruierten Spiegels abnimmt. Das ist mit einer geringen Abnahme der visuellen Grenzhelligkeit verbunden;
2. Die Obstruktion beeinflusst das Beugungsbild eines Sterns. Die Intensität des zentralen (nullten) Maximums nimmt ab, die Intensität der folgenden Maxima steigt leicht an. Das heißt, die Intensitätsverteilung über die einzelnen Maxima (oder anschaulich: die Helligkeit des Sternscheibchens und der Beugungsringe) wird verändert;
3. Die Obstruktion verändert die Kontrastleistung eines optischen Systems (und so letztendlich auch die Schärfleistung für hochauflösende Fotografie). Meist wird einfach behauptet, der Kontrast wird schlechter. Das ist aber zu kurz gegriffen. An dieser Stelle geht Th. Legault ins Detail. Die Kernaussage hierbei ist folgende: die Veränderung der Kontrastleistung eines Teleskops durch die Obstruktion ist abhängig vom Kontrast des zu beobachtenden Objekts. Es macht einen Unterschied, ob ich beispielsweise den Terminator bei Halbmond mit sehr hohen Kontrasten oder die Venus mit relativ geringem Kontrastumfang beobachte. Ähnliches gilt z.B. für Jupiter: der Kontrast zwischen einem Mondschaten auf Jupiter und der Planetenoberfläche ist höher als der Kontrast von Details innerhalb eines Bandes. Nun zeigt Th. Legault, daß die Obstruktion bei hohen Kontrasten im beobachteten Objekt kaum zu einer Kontrastabnahme im Bild des Teleskops führt. Dagegen verschlechtert die Obstruktion das Kontrastverhalten der Optik bei Objekten, welche von Haus aus einen geringen Kontrast aufweisen. Genau diese Zusammenhänge werden grafisch anschaulich durch die MTF (Modulations-Übertragungs-Funktion) beschrieben. Diese Kurven kennt übrigens jeder Fotograf aus diversen Testberichten von Objektiven in Fachzeitschriften. Hier wird nämlich die Kontrastübertragungsfunktion als quantitatives Hilfsmittel zur Bewertung von Fotoobjektiven herangezogen.

Über das gesagte hinaus spielt auch die Beobachtungsmethode (visuell, fotografisch oder CCD) eine große Rolle. Zum optischen Teil der Informationsübertragung kommt ja am Ende noch der Empfänger der Information. Ein CCD-Chip oder Film registriert Helligkeits- und Kontrastunterschiede anders als das menschliche Auge. [...] Aus diesen Erkenntnissen kommt auch die Ableitung des effektiven Kontrast-Durchmessers (wie z.B. bei Birkmaier beschrieben). Die Gleichsetzung der optischen Leistung eines Spiegelteleskops mit einem Refraktor kleineren Durchmessers entsprechend  $DK=D-DF$  gilt streng nur für Objekte mit

geringem Kontrast (linkes Ende der MTF-Kurven auf Th. Legaults Homepage). Für kontrastreiche Objekte ist DK eigentlich größer als nach der Formel berechnet. Die Näherungsformel gibt also eine untere Grenze wieder: der betrachtete Spiegel ist mindestens so gut wie ein Refraktor mit dem Durchmesser DK. Das heißt, bei geringen Kontrasten ist ein 200mm Spiegel mit 30mm Gegenspiegel annähernd so gut wie ein 170mm Refraktor. Am Mond mit hohen Kontrasten ist ein solcher Spiegel nicht mehr viel schlechter als ein gleich großer Refraktor. Das gilt natürlich nur für ein gut kollimiertes Spiegelteleskop mit ordentlicher Optik. Billigteleskope mit 200mm Durchmesser werden kaum die Leistung eines 170mm Refraktors erreichen."

[8] Erläuterung zur Abbildung aus *Recknagel* [6], Zitat S.206f.:

"Dort sind zwei Beugungsbilder gekennzeichnet, die zwei dicht nebeneinander stehende leuchtende Punkte, z. B. zwei Sterne, in der Brennebene der Linse geben. Die Summe der beiden Bestrahlungsstärken hat nur dann zwei deutlich getrennte Maxima, wenn die Figuren hinreichend weit auseinander liegen. Andernfalls entsteht ein einziger, leuchtender Fleck [...a)]. Zeichnet man zwei [...] Kurven mit verschiedenen Abständen der zentralen Maxima übereinander, dann sieht man: Wenn das zentrale Maximum der einen Beugungsfigur gerade in das erste Minimum der zweiten fällt, dann entsteht eine Lichtverteilung mit zwei deutlichen Gipfeln [...b)]."

In diesem Zusammenhang möchte ich auf die weiterführenden Seiten verweisen:

- Ein "Volks-Maksutov" im Mini-Test - Die "Russentonne" MTO 100/1000 von *Frank Schäfer*;
- Refraktor oder Spiegelteleskop? von *Reinhart Claus*;
- Auflösungsvermögen (*H. C. Greier* auf *Amateurastronomie.at* (*Harald Rottensteiner*));
- *Obstruktion* (*Thierry Legault*, Seite komplett auf englisch (+ französisch)). Homepageadresse: HIGH RESOLUTION CCD IMAGING;
- Auflösungsvermögen *H. C. Greier-Greiner*.

Literatur/Verweise/Bildnachweis:

- [1] Astrowissen, Hans-Ulrich Keller, vollständig aktualisiert und erweitert, (c) 2000 Franckh-Kosmos-Verlags-GmbH & Co., Stuttgart, ISBN 3-440-08074-9;
- [2] Kleine praktische Astronomie, Paul Ahnert, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, (c) 1983 by Johann Ambrosius Barth;
- [3] Astrooptik, Uwe Laux, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage, (c) 1999 Uwe Laux & Verlag Sterne und Weltraum, ISBN 3-87973-928-5;
- [4] Intercon-Spacetec, <http://www.intercon-spacetec.de>, Martin Birkmaier;
- [5] Physik, Dorn, Bader, Oberstufe Gesamtband 12/13, (c) 1986 Schroedel Schulbuchverlag GmbH, Hannover, ISBN 3-507-86205-0, Bild 245.1, S. 245;
- [6] Physik, Band Optik, Prof. Dr. Alfred Recknagel, (c) 1962 by VEB Verlag Technik, Berlin, 2. Auflage, S. 206f;
- [7] Handbuch für Sternfreunde, Günter D. Roth (Hrsg.), Band 1: Technik und Theorie, Sonderausgabe für Weltbild Verlag GmbH, Augsburg, © by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1989;



Download der Seite: [aufloesung.pdf](#)

Stand: 10. August 2003.

Erstellt: 03. Januar 2002.

© 2002 Udo Schirpke.