

# Optische Effekte in der Astronomie

## „Wieviele Megapixel hat das Auge?“ (Auflösungsvermögen des Auges)

Gleich zum Anfang: Diese Frage lässt sich nicht vom Digitalsensor auf das Auge übertragen.. Wesentliche Bestandteile des menschlichen Auges sind eine verformbare Linse und die Netzhaut als Sensor. Die Augenlinse (mit verstellbarer Brennweite!) projiziert ein Bild auf die Netzhaut. In der Netzhaut sitzen die Sensoren, lichtempfindliche Zellen, die Zapfen- und die Stäbchenzellen, deren Signale von den Nervenzellen der Netzhaut empfangen und über den Sehnerv ans Sehzentrum im Gehirn weitergeleitet werden.

Das Auflösungsvermögen („Pixel-Anzahl“ bei der Digitalkamera) des Auges ist begrenzt. Man misst das aber nicht in Pixeln, sondern wie nahe zwei Objekte beisammen liegen dürfen, damit wir sie noch als getrennte Punkte wahrnehmen. Das ist natürlich proportional zum Abstand, also ist das Auflösungsvermögen eigentlich ein Winkel.

Dieses Auflösungsvermögen liegt je nach Lichtverhältnissen, Kontrast usw. Bei 0,5 bis 2 Bogenminuten ( $2'$ ), durchschnittlich ungefähr bei  $1'$  (**einer Bogenminute = 1/60 eines Winkelgrads**).

Am dichtesten stehen die Zapfen, die für das Scharfsehen verantwortlichen lichtempfindlichen Zellen, in der Netzhautgrube, der Stelle grösster Bildschärfe.

Natürlich wird die Bildinformation vom System Auge-Gehirn viel komplizierter verarbeitet als beim CCD-Chip. Unter günstigsten Bedingungen beträgt das Auflösungsvermögen der fovea centralis laut "Taschenatlas der Physiologie" etwa 1 Bogenminute. Dieser zentrale Bereich auf der Netzhaut umfasst einen Winkel von etwa 15 Grad = 900 Bogenminuten. Mit diesem Kreisfleckdurchmesser von 900 Einheiten kann man auf die Fläche, als Anzahl Flächen-Einheiten schliessen ( $A=\pi*r^2$ ). Das würde etwa  $\pi*450^2 = 650000$  **Pixeln** im zentralen Sehbereich entsprechen. Die Stäbchendichte in den äußeren Bereichen der Netzhaut (+90 bis -90 Grad) nimmt auf etwa ein Drittel der Stäbchendichte im Zentrum ab. Auf diese Weise kommt man grob abgeschätzt auf etwa 20 Mio. Pixel. Trotzdem sehen wir "in den Augenwinkeln" wesentlich schlechter, weil von hier offenbar weniger Information an das Gehirn weitergeleitet bzw. dort weniger detailliert verarbeitet wird.

## Optische Geräte:

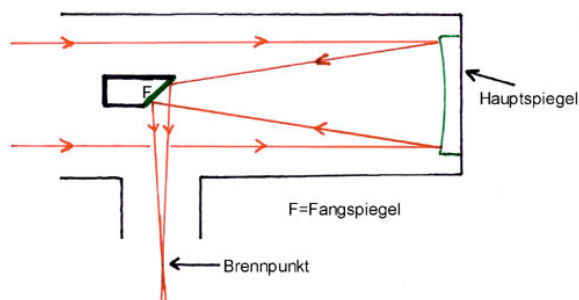
Optische Geräte dienen der Sichtbarmachung und Beobachtung kleiner, weit entfernter oder schwach leuchtender Objekte von der Erde oder vom Weltraum aus. Die Wirkungsweise optischer Instrumente ist, dass sie ein grösseres Bild eines Gegenstandes auf der Netzhaut erzeugen, als der Gegenstand selbst erzeugen kann. Dazu wird mit Linsen und Spiegeln ein virtuelles Bild erzeugt, das weiter vom Auge entfernt ist und deshalb ohne Anstrengung scharf und grösser gesehen werden kann.

Am wichtigsten ist das astronomische Fernrohr oder Teleskop.

Das Kepler-Fernrohr haben wir schon kurz betrachtet (Bildquelle <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/954> )

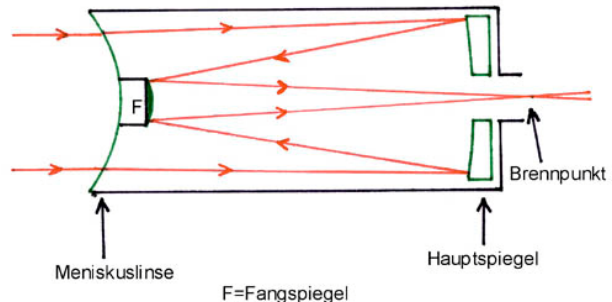
Es gibt auch noch andere Bauweisen, z.B.:

Nach Newton:



Bildquelle: <http://lexikon.astronomie.info/teleskope/>

Nach Maksutov-Cassegrains

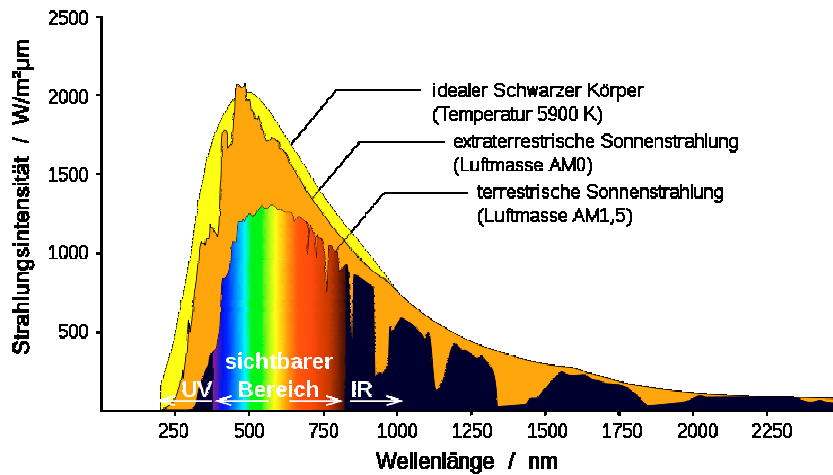


## Temperatur und Beschaffenheit von Himmelskörpern

Wie kann man von der Erde aus Angaben machen über die Temperatur und die Beschaffenheit von Himmelskörpern?

### Farbtemperatur von Sternen:

Im Abschnitt über Beleuchtungswissen haben wir die "Farbtemperatur" erwähnt. Mit der Farbtemperatur charakterisieren wir Lichtquellen ("kaltes" Licht, "warmes" Licht). Die abgestrahlte Gesamtenergie des Sterns entspricht jener eines sog. schwarzen Körpers mit dieser Temperatur. Die Wellenlänge (Farbe) des Strahlungsmaximums ist proportional zur Oberflächentemperatur (der sogenannten Photo-Sphäre).



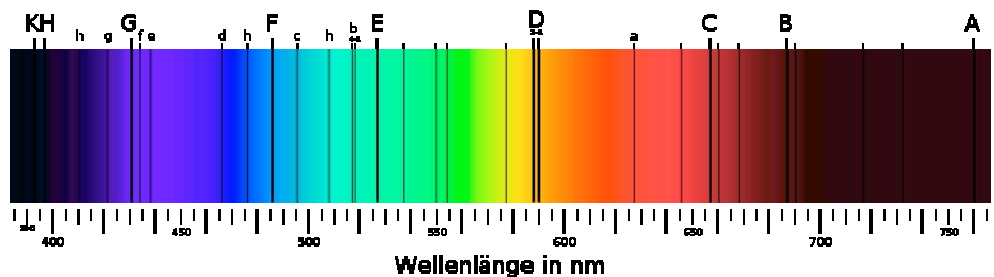
Durch Vergleich des fast kontinuierlichen **Sonnenspektrums** mit dem Spektrum des idealen schwarzen Körpers kann man auf die Oberflächentemperatur der Sonne schliessen: Sie liegt somit ungefähr bei 6000 Kelvin.

So kann man auch kleine, "schwache" Sterne genau ausmessen.

**"Farb"analyse von Sternen:**

Jedes Atom, jedes chemische Element, kann Strahlungen von einer oder mehreren bestimmten Wellenlängen aufnehmen oder abgeben. Abgegeben wird die Lichtfarbe, wenn Energie frei wird. Aufgenommen, absorbiert (verschluckt) wird die Lichtfarbe, wenn das Atom von aussen angeregt wird und Energie aufnimmt.

Bei sehr hellen Sternen wie der Sonne wird viel Energie und sehr breitbandig abgestrahlt, hier kann man **nicht** aus der Abstrahlung auf die Beschaffenheit schliessen. Hingegen werden die von allen Atomen der Sonne abgegebenen Strahlen von einzelnen Atomarten stärker "verschluckt", was zu "dunkleren" Stellen im Spektrum bei bestimmten Wellenlängen führt.



Zu Wasserstoff (H) gehören C,F,G, zu Helium gehört D.

Diese Effekte gehören zu den Methoden der Astro-Spektroskopie. Damit lassen sich viele weitere wichtige Eigenschaften ermitteln (siehe <http://de.wikipedia.org/wiki/Astrospektroskopie>), z.B.:

- Druck, Gravitationsbeschleunigung, Dichte
- Rotationsgeschwindigkeit (Tangentialgeschwindigkeit mittels Dopplereffekt)
- Bahngeschwindigkeit bei Doppelsternen
- Magnetfeld
- Ausdehnung von Galaxien und des Weltalls

**Entfernung von Himmelskörpern** (Wikipedia: Entfernungsmessung).

Seit der ersten Mondlandung 1969 kann der **Abstand Erde – Mond** sehr genau gemessen werden. Damals wurden Reflektoren dortgelassen. Dan wird von der Erdoberfläche ein Laserimpuls ausgesandt, der genau auf den Reflektor gerichtet ist. Der Reflektor schickt den Laserstrahl wieder zum Sender zurück. Aus dem Zeitunterschied zwischen Senden und Empfangen kann die Entfernung des Mondes auf wenige Zentimeter genau bestimmt werden. Dies kann auch in der Sternwarte Zimmerwald auf dem Längenberg gemacht werden. Der Mond entfernt sich übrigens um etwa 3,8 cm pro Jahr von der Erde weg.

**Planeten** unseres Sonnensystems können mit Radarmessungen bestimmt werden (Reflexion und Laufzeit von Radarwellen, ähnlich wie der Radar zur Geschwindigkeitskontrolle).

Planeten.

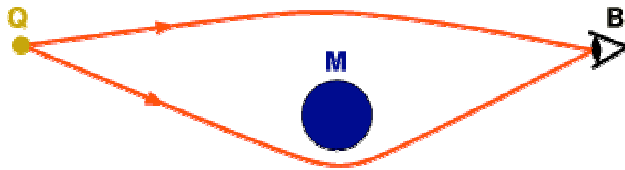
**Für Objekte ausserhalb des Sonnensystem** benutzt man die Triangulation wie bei der Landvermessung: Vereinfacht: Verschiedene Standorte auf der Erde ergeben verschiedene Sichtwinkel, woraus sich die Entfernungen berechnen lassen (Sinus-Satz, Cosinus-Satz).

Auch für **Entfernungen über 100'000 Lichtjahre** gibt es Messmethoden, die jedoch sehr komplex sind. Man braucht dazu Bezugsobjekte mit einer bekannten Helligkeit.

# Der Blick hinter Sterne, Galaxien und schwarze Löcher: Gravitationslinsen

<http://www.einstein-online.info/vertiefung/GravLinsenGeschichte/>

Albert Einstein sagte aufgrund seiner Relativitätstheorie voraus, dass Licht durch starke Gravitationsfelder abgelenkt werden müsste. Bereits **1912** sagte er, es müsse deswegen eine Art Linse im Weltall möglich sein, welche das Licht (oder andere Strahlung) um ein sehr schweres Objekt herum "bricht" bzw. umlenkt.



Er hielt es aber für unwahrscheinlich, dass man dies jemals beobachten könne, weil sehr selten die Erde, ein massereiches Objekt und ein beobachtbarer Stern genau auf einer Linie stehen würden.

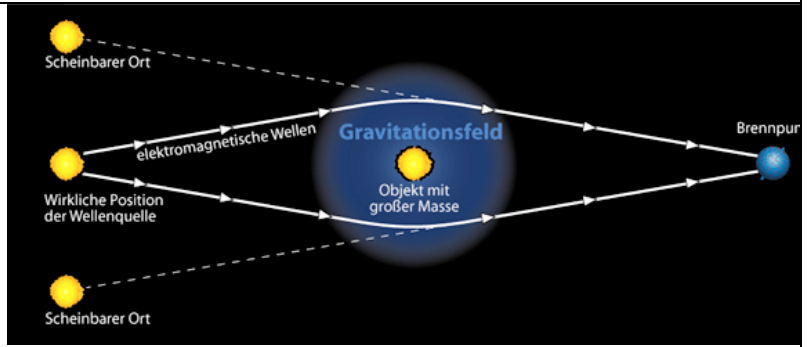
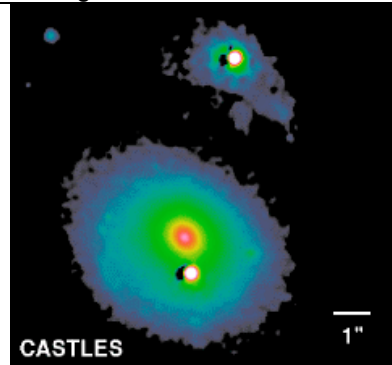
Erst **1936** veröffentlichte er auf Drängen eines

Kollegen einen Artikel mit Formeln und dem möglichen "Vergrößerungsfaktor" solcher Linsen. Die Idee wurde dann von vielen Theoretikern aufgenommen und weiterverfolgt.

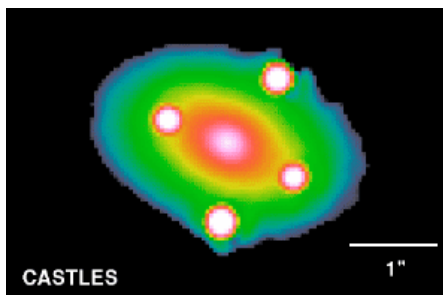
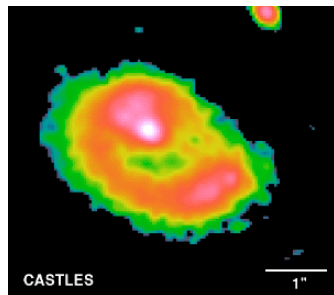
Die erste Gravitationslinse wurde dann erst **1979** "entdeckt". Sie konnten ein bisheriges Bild eines Doppelquasars (strahlender Kern einer Galaxie) als Doppelbild von nur einem Hintergrundquasar identifizieren, das durch eine solche Gravitationslinse erzeugt wird.

Einstein hatte sein Modell noch sehr einfach gemacht:

- eine punktförmige Lichtquelle
- ein gleichmässiges Gravitationsfeld
- Der Beobachter genau auf der Linie mit den andern Objekten



Durch die Verschiedenheit der Objekte gab es auch unterschiedlichste Bilder, Nach der Entdeckung konnten viele weitere Bilder den Gravitationslinsen zugeordnet werden, z.B. "Einsteinringe", Einsteinkreuze:



## Fragen

Wo muss ein Observatorium stehen?

Wozu dient ein Radioteleskop und warum sind diese so gross?

Berechnen Sie, wieviele km ein Lichtjahr sind

Wie lange ist der Laserimpuls unterwegs, mit dem die Distanz Erde-Mond gemessen wird?

Wie lange hat das Licht von der Sonne zur Erde?

thomas.schneeberger@gibb.ch