

Astro 121 – Einführung in die Astronomie

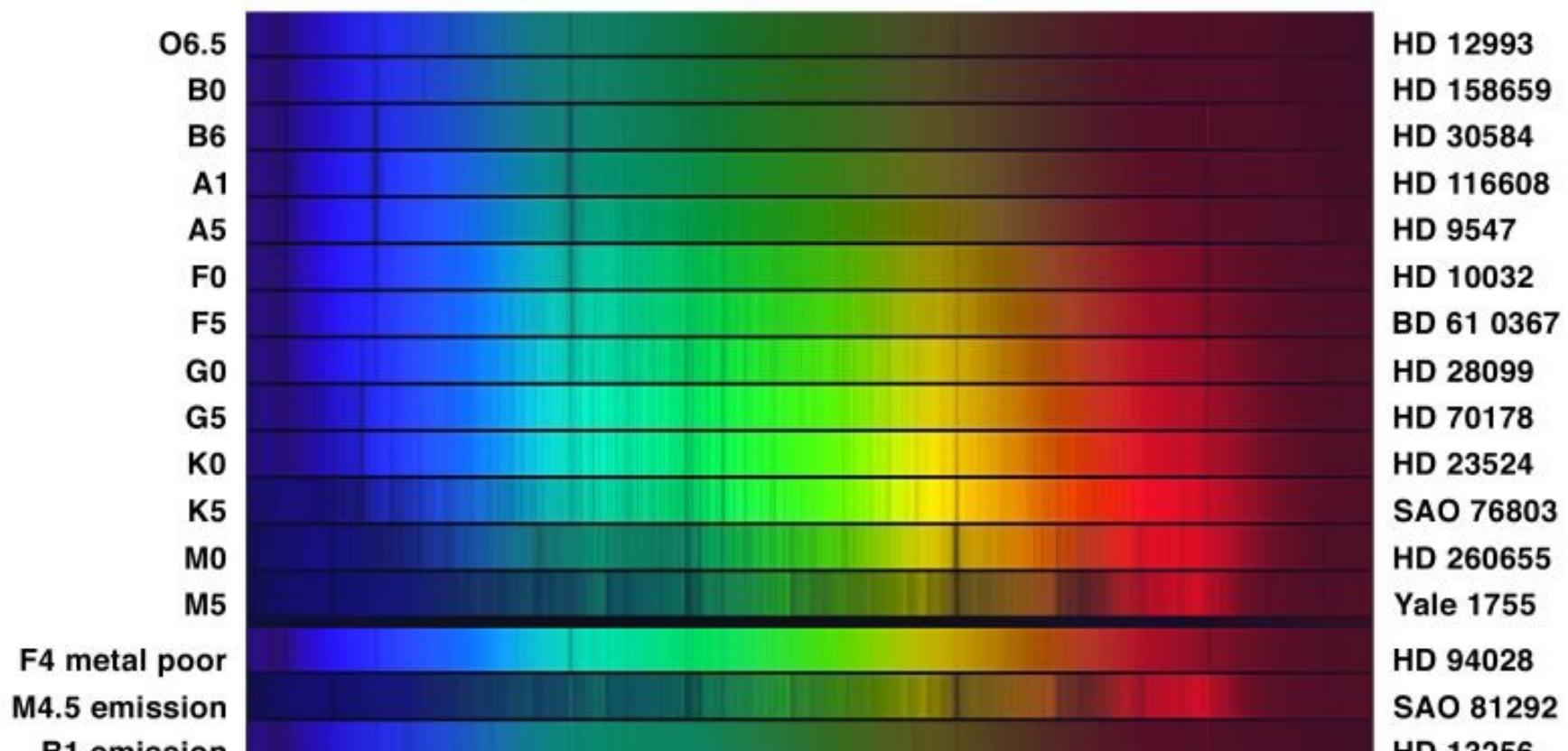
Schwarzer Körper – Magnituden – Beugung - optische Teleskope

Dr. Gunther Witzel

Max-Planck-Institut für Radioastronomie

(Folien ausgearbeitet von P.D. Dr. Jürgen Kerp)

Elektromagnetische Strahlung: Sterne



<http://apod.nasa.gov>

Auge als Beobachtungsinstrument

- Im Vergleich zum Auge lässt sich die Empfindlichkeitszuwachs durch die Nutzung eines Teleskops beschreiben über:
- Dies bedeutet, dass mit einem Fernglas mit 20 mm Öffnung die 8te Größenklasse, mit einem 200 mm Teleskop die 13 mag und mit dem *Hubble-Space Telescope* (HST) die 19 Größenklasse sehen könnte. CCD-Detektoren sind weitaus empfindlicher und ermöglichen die Beobachtung der 31 mag mit dem HST.

$$m_{instr} = 6 \text{ mag} + 2 \cdot 2.5 \lg \left(\frac{D[\text{mm}]}{7\text{mm}} \right)$$
$$m_{instr} = 1.8 \text{ mag} + 5 \cdot \lg(D[\text{mm}])$$

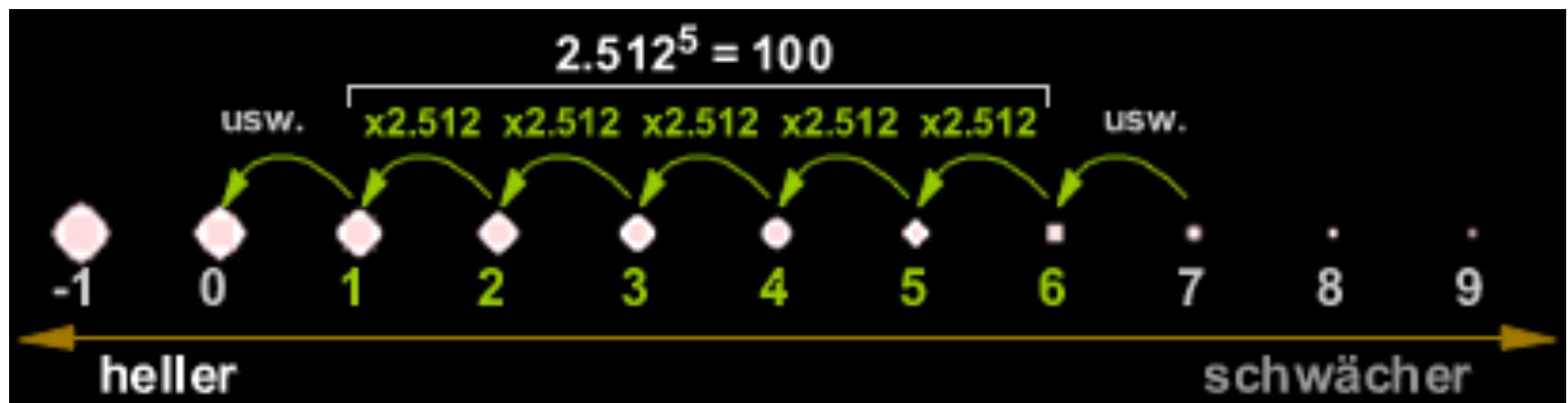


<http://de.wikipedia.org>

Auge als Beobachtungsinstrument

- Die Helligkeitsunterschied zwischen zwei Sternen der Größenklasse m_1 und m_2 beträgt demnach

$$m_1 - m_2 = -2.5 \cdot \lg \frac{F_1}{F_2}$$



<http://www.parallax.at>

Auge als Beobachtungsinstrument

- Zwischen der Helligkeit der Sonne und des Lichts des schwächsten mit dem Auge sichtbaren Sterns liegen 12 Größenordnungen!
- Gemäß dem Weber-Fechner Gesetz lässt sich der wahrnehmbare Helligkeitsunterschied zwischen zwei Lichtquellen beschreiben über:
- Die Maßeinheit ist die **Magnitude**
- Nutzen wir Flussdichten F z.B. Watt/m² dann folgt

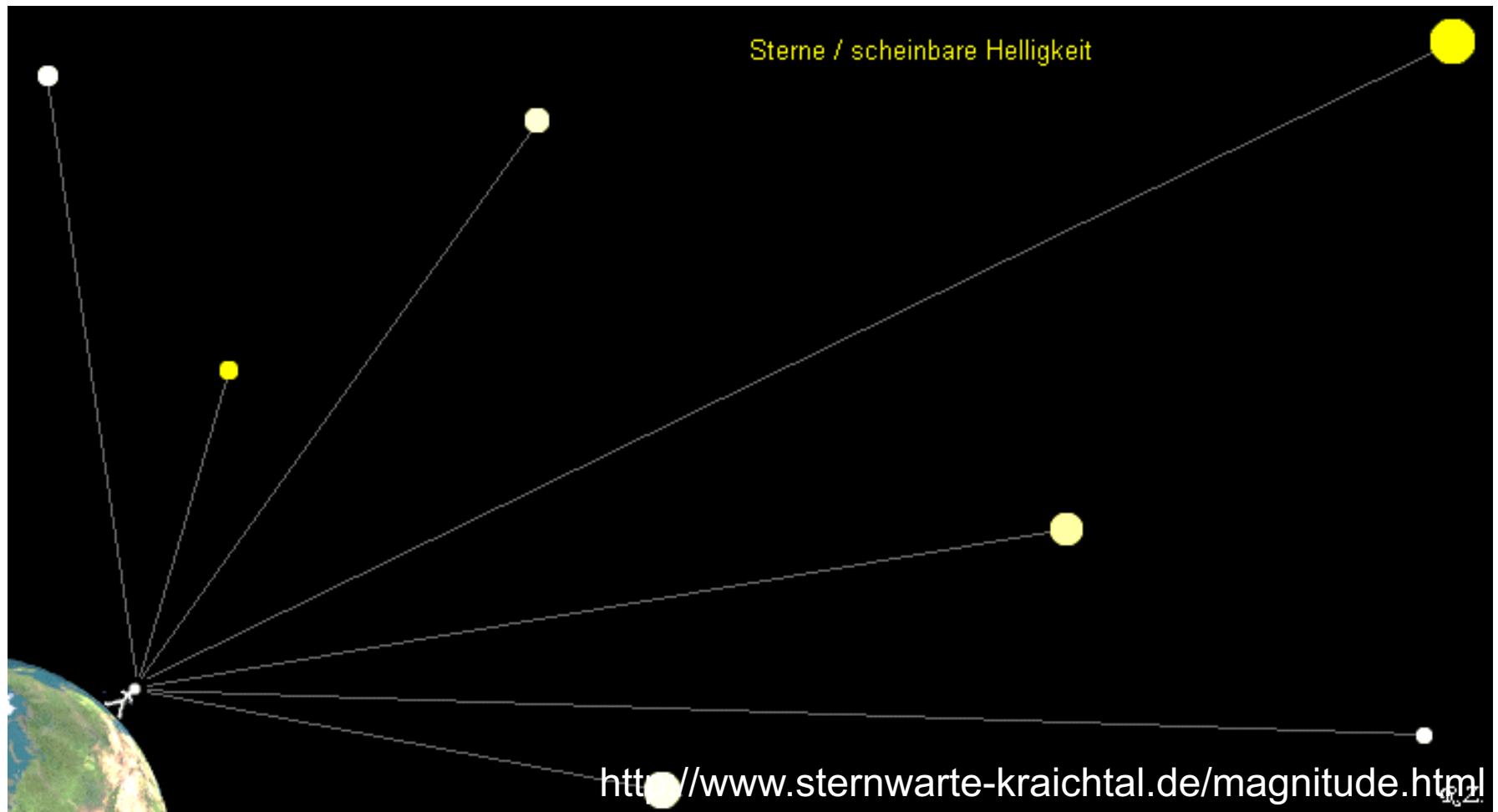
$$\frac{m}{m+1} = 100^{\frac{1}{5}} = 2.5119$$

$$m = -2.512 \cdot \lg \left(\frac{F}{F_0} \right)$$

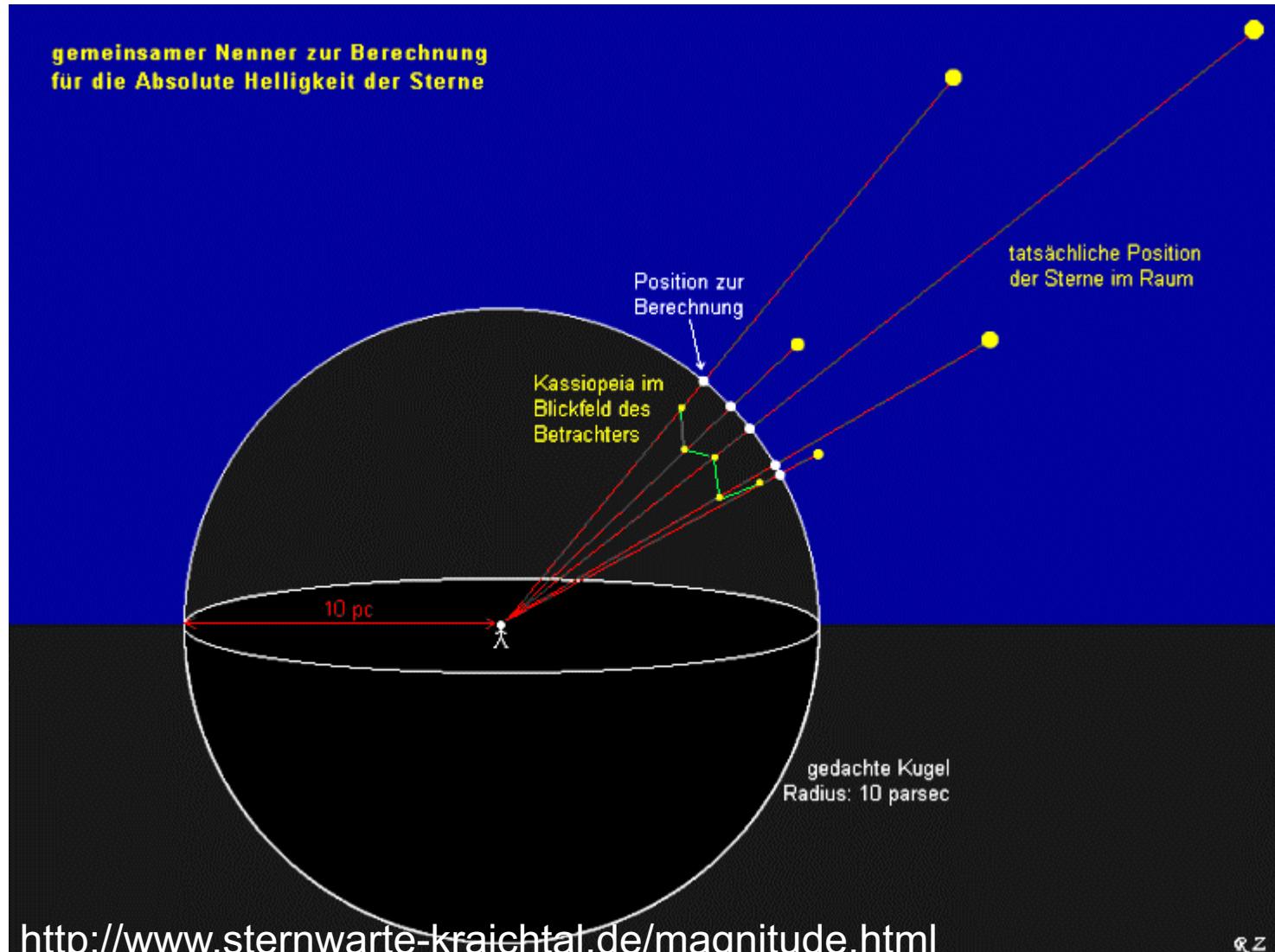
Auge als Beobachtungsinstrument

Sonne	-26.8 mag
Mond	-12.5 mag
Venus	-4.7 mag
Sirius	-1.4 mag
Wega	0.0 mag
Polarstern	2.0 mag
Pluto	14.0 mag

Scheinbare Helligkeiten



Absolute Helligkeiten



<http://www.sternwarte-kraichtal.de/magnitude.html>

RZ

Absolute Helligkeiten

- Die scheinbare Helligkeit hängt mit r^2 von der Entfernung des Himmelsobjektes vom Beobachter ab. Um ein vergleichbares Maß für die Helligkeit zu schaffen wurde definiert, dass als **Normentfernung 10pc** gewählt wird. Die Helligkeit die ein Himmelsobjekt in einer Entfernung von 10pc besitzt wird als die **absolute Helligkeit** bezeichnet.
- $m-M$ wird als **Entfernungsmodul** bezeichnet.

$$\frac{r}{10 \text{ pc}} = 10^{\frac{1}{5}(m - M)}$$

Absolute Helligkeit: Entfernungsmodul

- Ist die absolute und die scheinbare Helligkeit bekannt, dann lässt sich die Entfernung berechnen.
- Nutzen wir die gemessene **Parallaxe**, dann können wir das **Entfernungsmodul** bestimmen.

$$m - M = -5 + 5 \log r$$

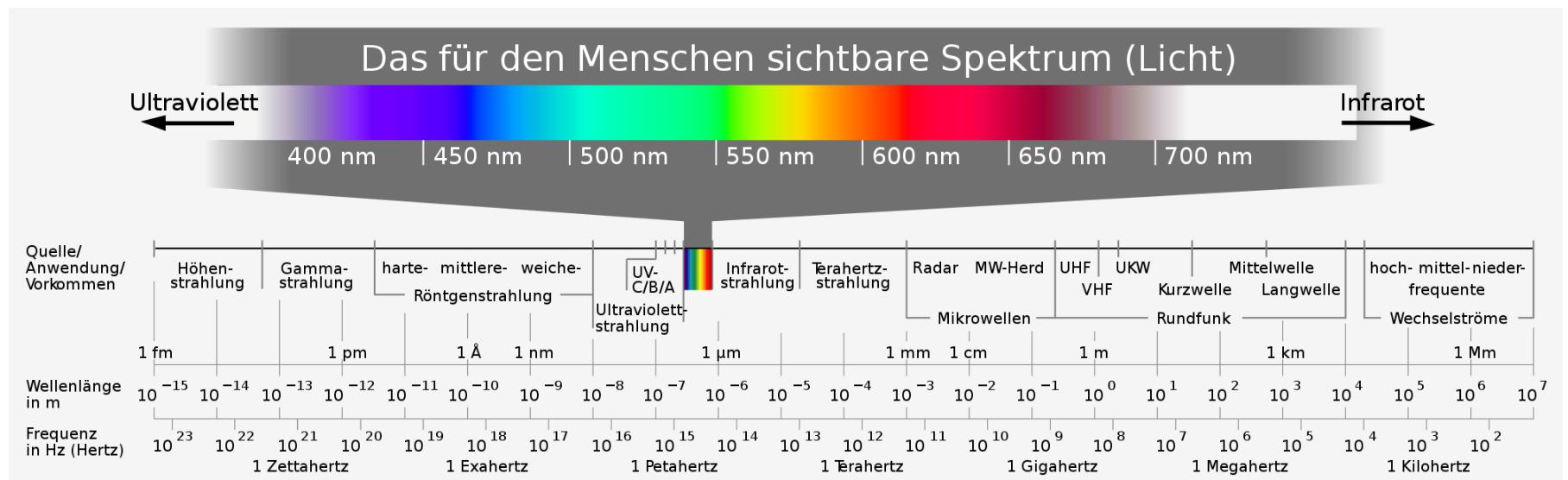
$$m - M = -5 + 5 \log \left(\frac{1}{\pi} \right) = -5 - 5 \log(\pi)$$

Instrumente

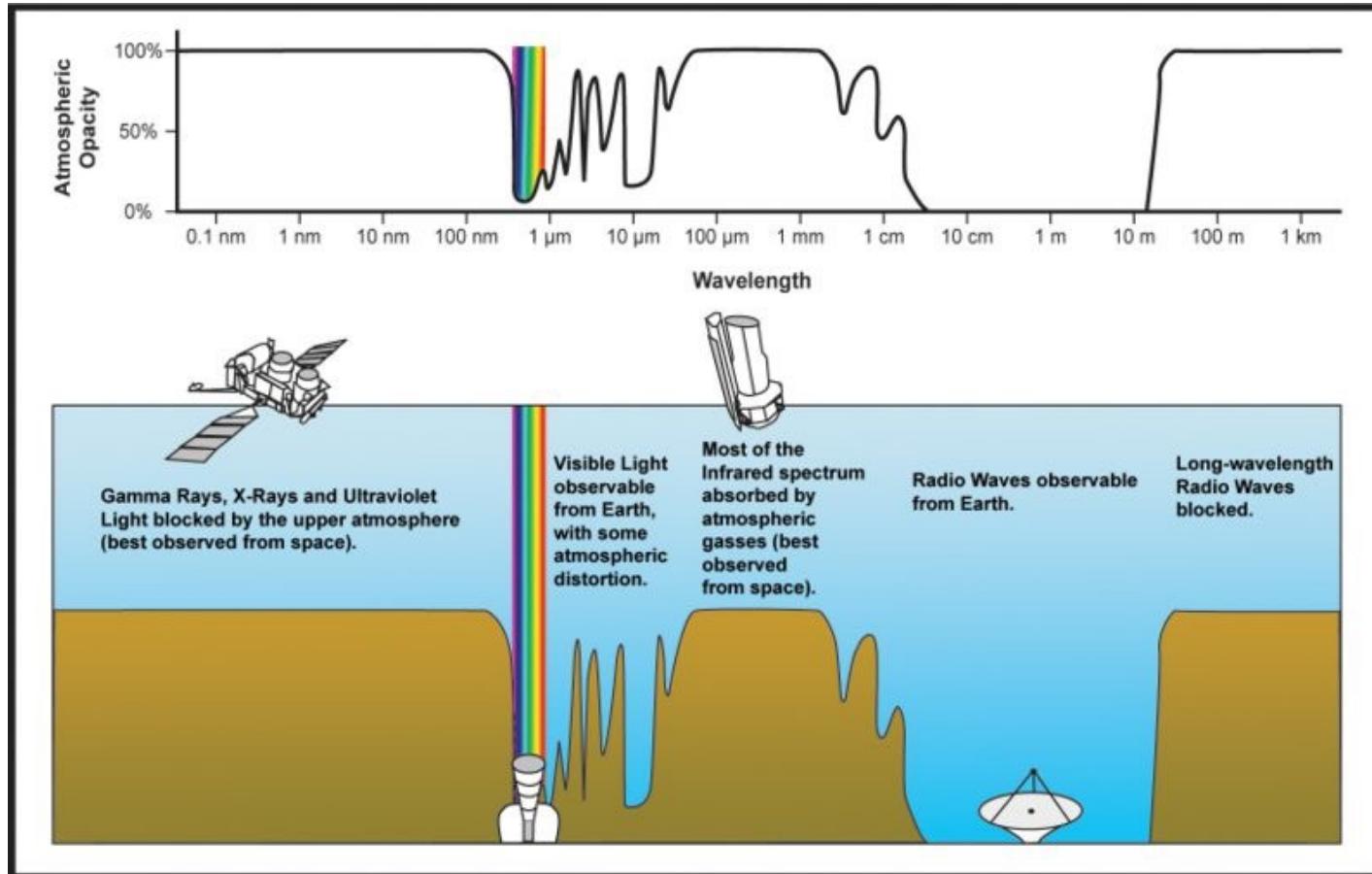
Grundsätzliche Aspekte

- Instrumente dienen der Veränderung der Wahrnehmung
 - Vergrößern der Auflösung
 - Verstärkung der Intensität
 - Verlängerung der Beobachtungsdauer
 - Veränderung/Erweiterung des Wellenlängenbereiches
 - Beobachtung in unzugänglicher Umgebung

Elektromagnetisches Spektrum



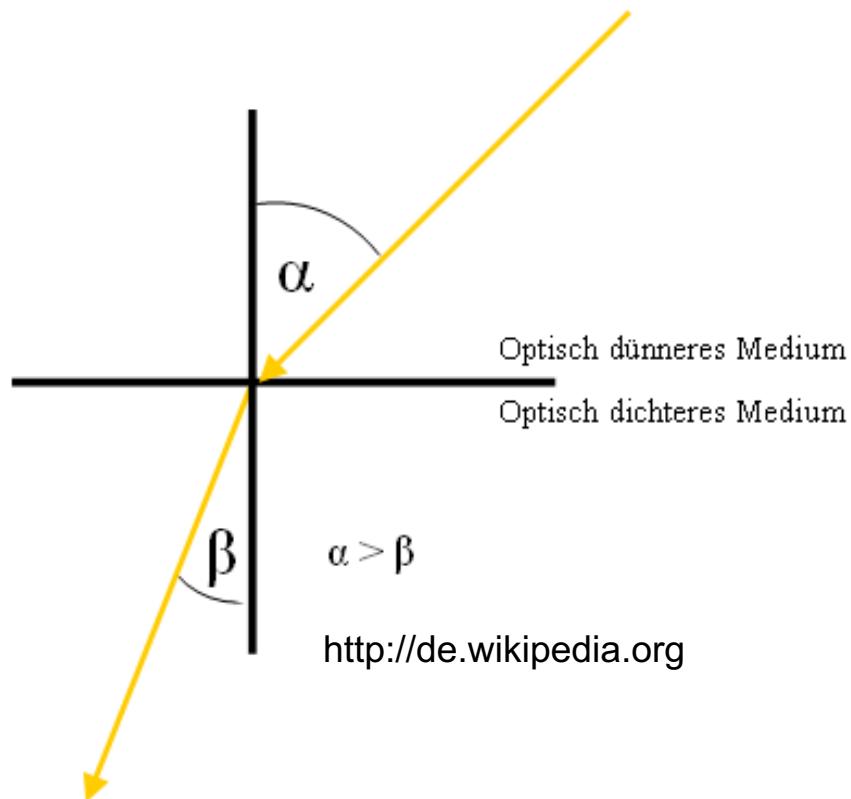
Astronomische Fenster



<http://en.wikipedia.org>

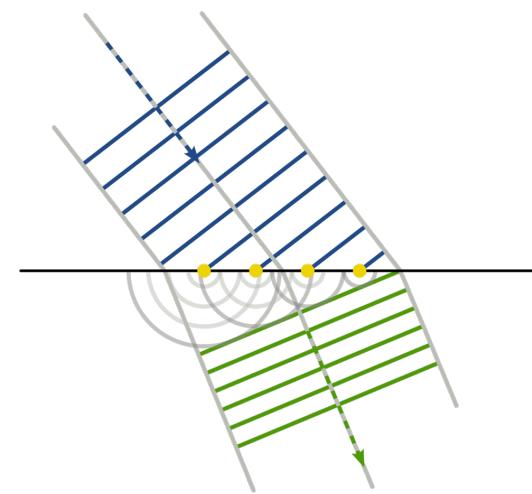
Optische Teleskope

Optische Teleskope : Refraktoren

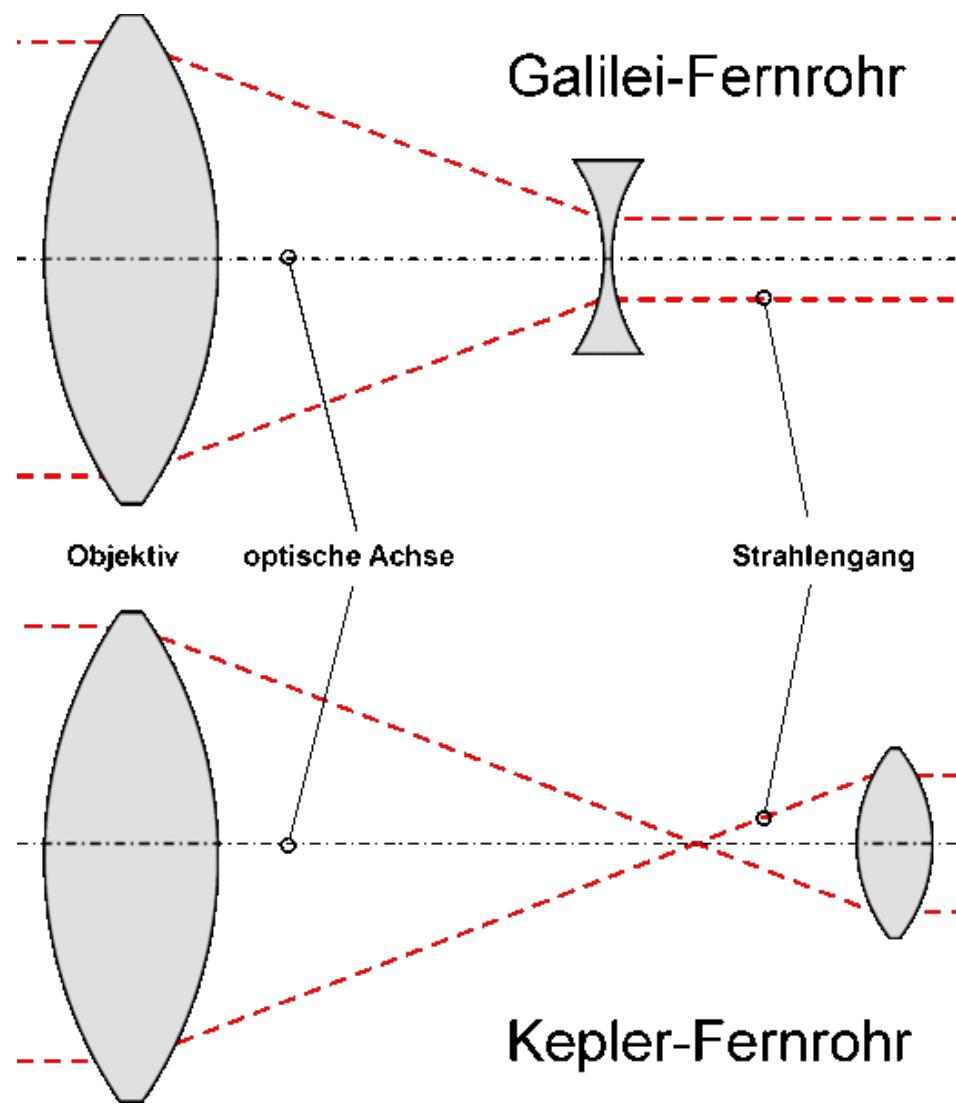


$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1 \cdot t}{c_2 \cdot t} = \frac{n_2}{n_1}$$

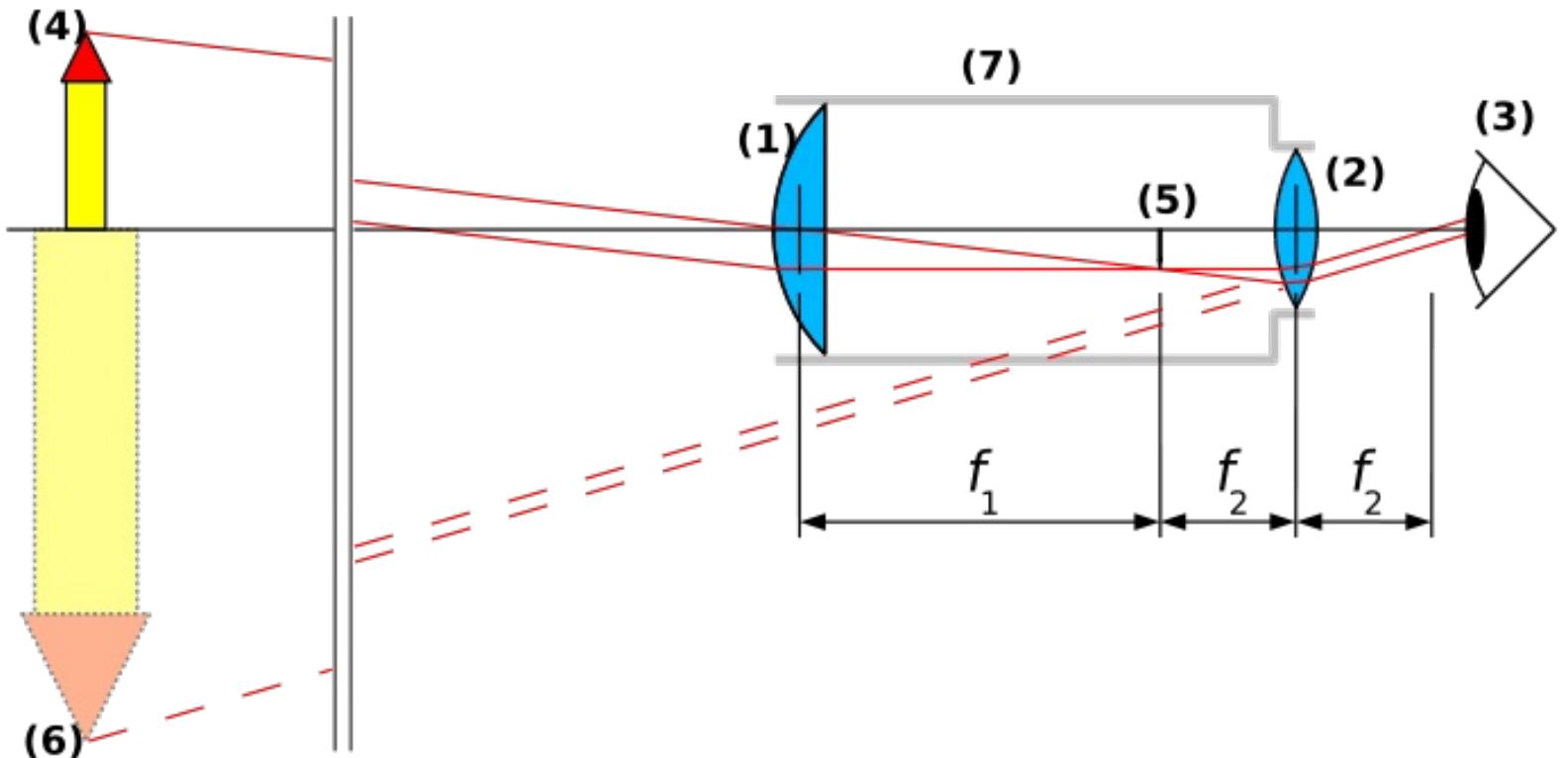
$$n = \frac{c_1}{c_2}$$



Optische Teleskope : Refraktoren



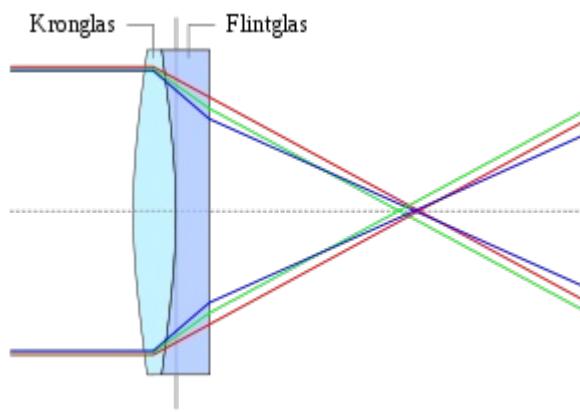
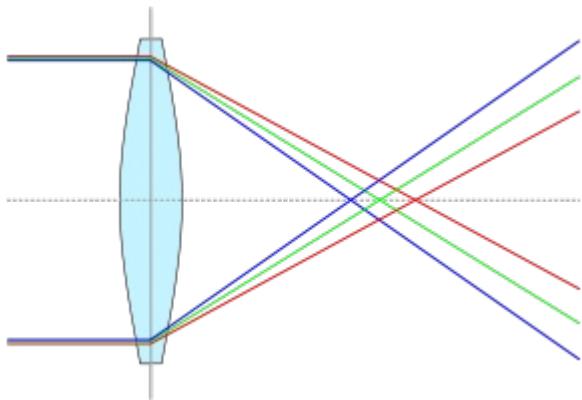
Optische Teleskope: Refraktoren



<http://de.wikipedia.org>

$$\text{Vergrößerung} = \frac{f_1}{f_2}$$

Optische Teleskope: Refraktoren



<http://de.wikipedia.org>

Refraktoren die nur aus einer Linse bestehen erzeugen “Farbfehler”. Diese entstehen dadurch, dass Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge nicht im gleichen Brennpunkt vereinigt werden. Dieser Effekt wird als **chromatische Aberration** bezeichnet.

Durch die Verwendung zweier Linsen, mit unterschiedlichen Brechungsindizes, wird der Abbildungsfehler reduziert.

Optische Teleskope: Refraktoren



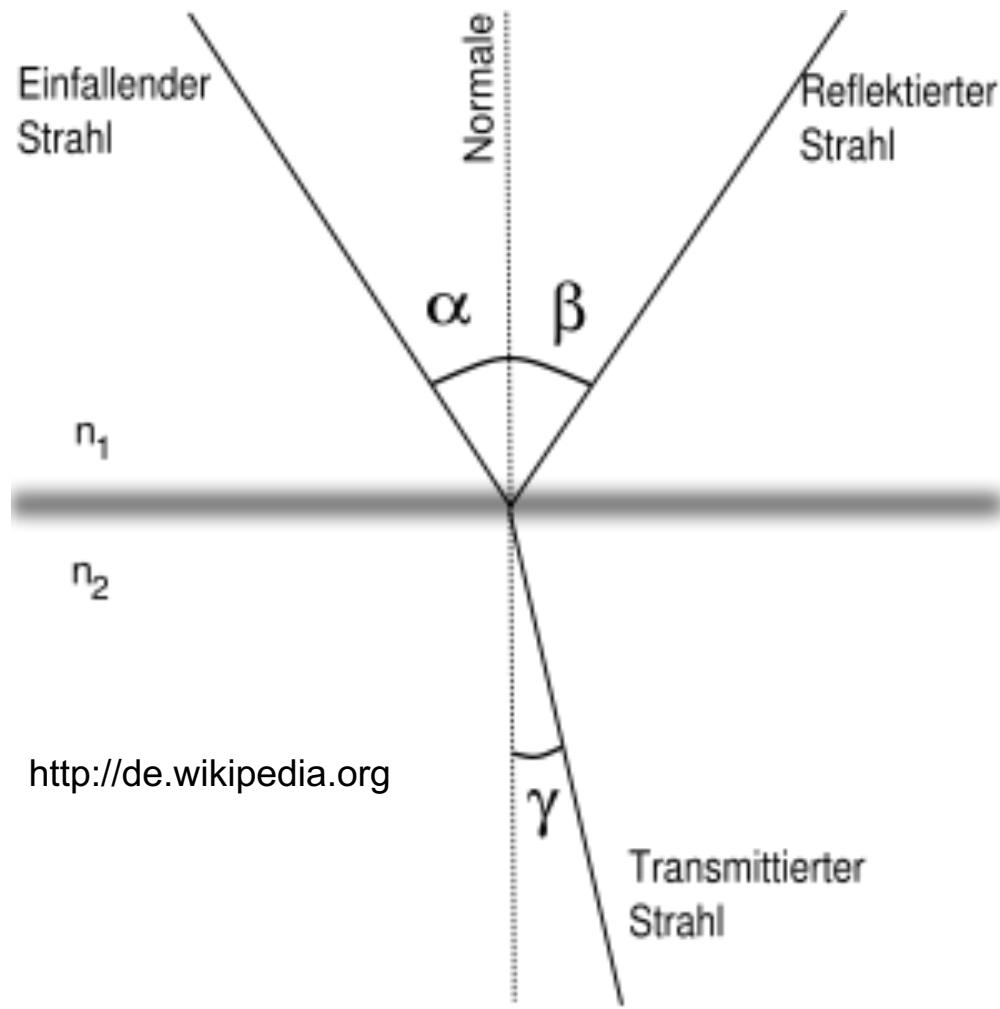
<http://de.wikipedia.org>

Yerkes Observatory

Die größten Refraktoren wurden zu Beginn des 20ten Jahrhundert erbaut. Mit Linsendurchmessern von nahezu 1m erreichten sie dabei technischen Grenzen, da Glas stets eine plastisch formbare Masse bleibt. Die Brennweiten der Instrumente betrug mehrere Meter und stellten daher große Ansprüche an die Montierung und die Kuppel.

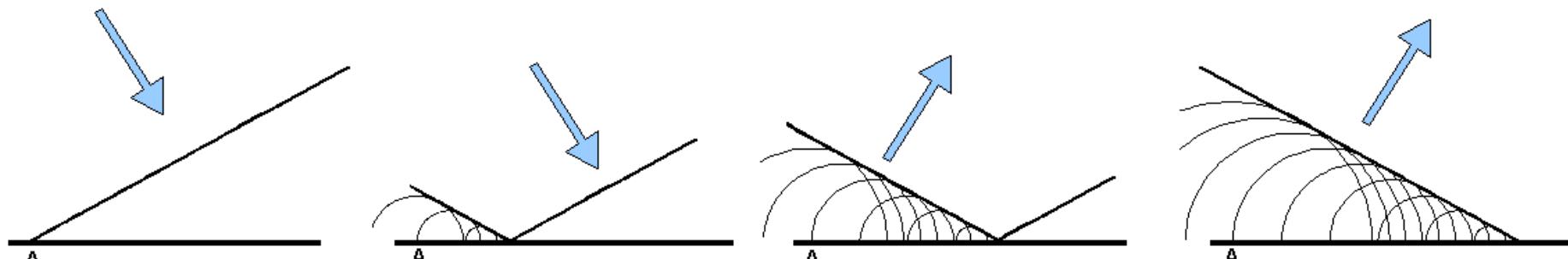
Aufgrund der langen Brennweiten ist das effektiv nutzbare Gesichtsfeld der Refraktoren klein, es beträgt wenige Bogenminuten.

Optische Teleskope: Reflektoren



<http://de.wikipedia.org>

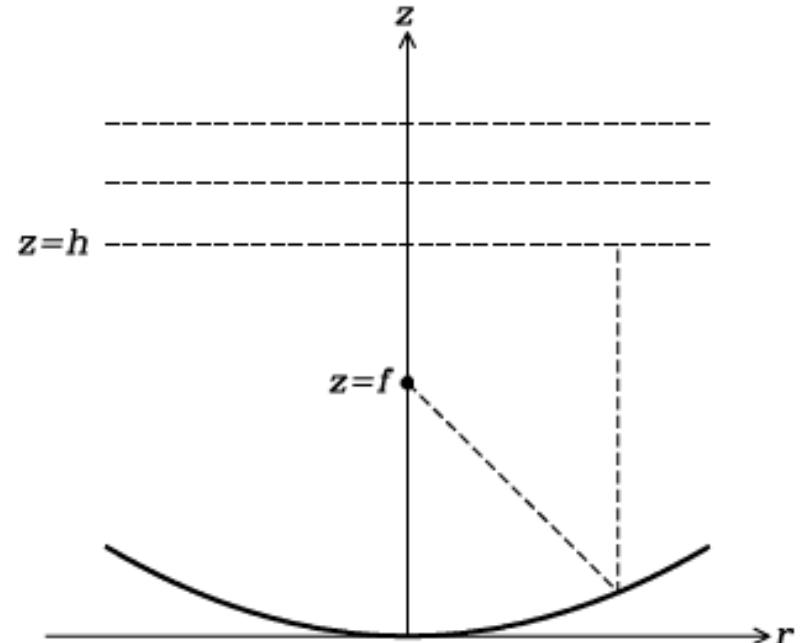
Reflexion



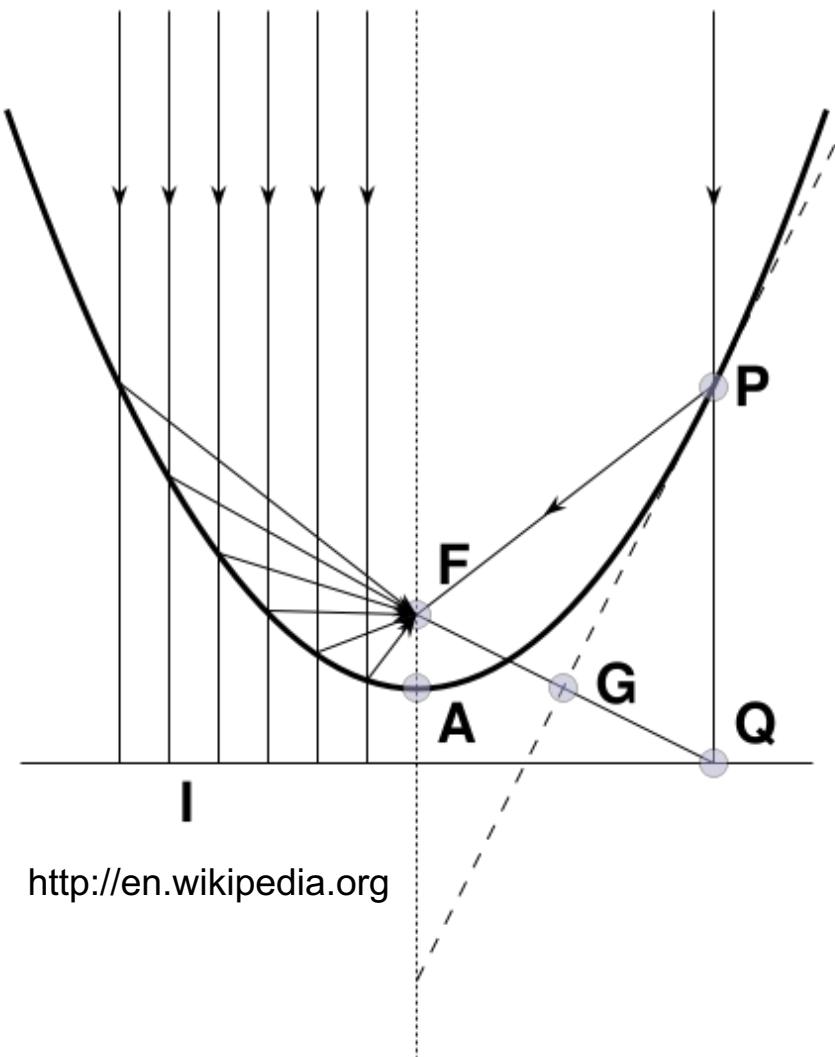
- Wikipedia: Herbert Weidner

Teleskop

- Nach dem **Huygens-Fresnelschen Prinzip** fallen die ebenen Wellenzüge auf die Oberfläche des Teleskops.
- Die Oberfläche besitzt eine **parabelförmige Form** um alle Wellenzüge in einem Fokus zu konzentrieren.
- Die **Brennweite f** beschreibt den radialen Abstand zw. dem Hauptspiegel und dem Brennpunkt.
- Die Oberfläche hat eine Genauigkeit von circa $1/10$ der kürzesten Wellenlänge die beobachtet werden soll.



Optische Teleskope: Reflektoren



<http://en.wikipedia.org>

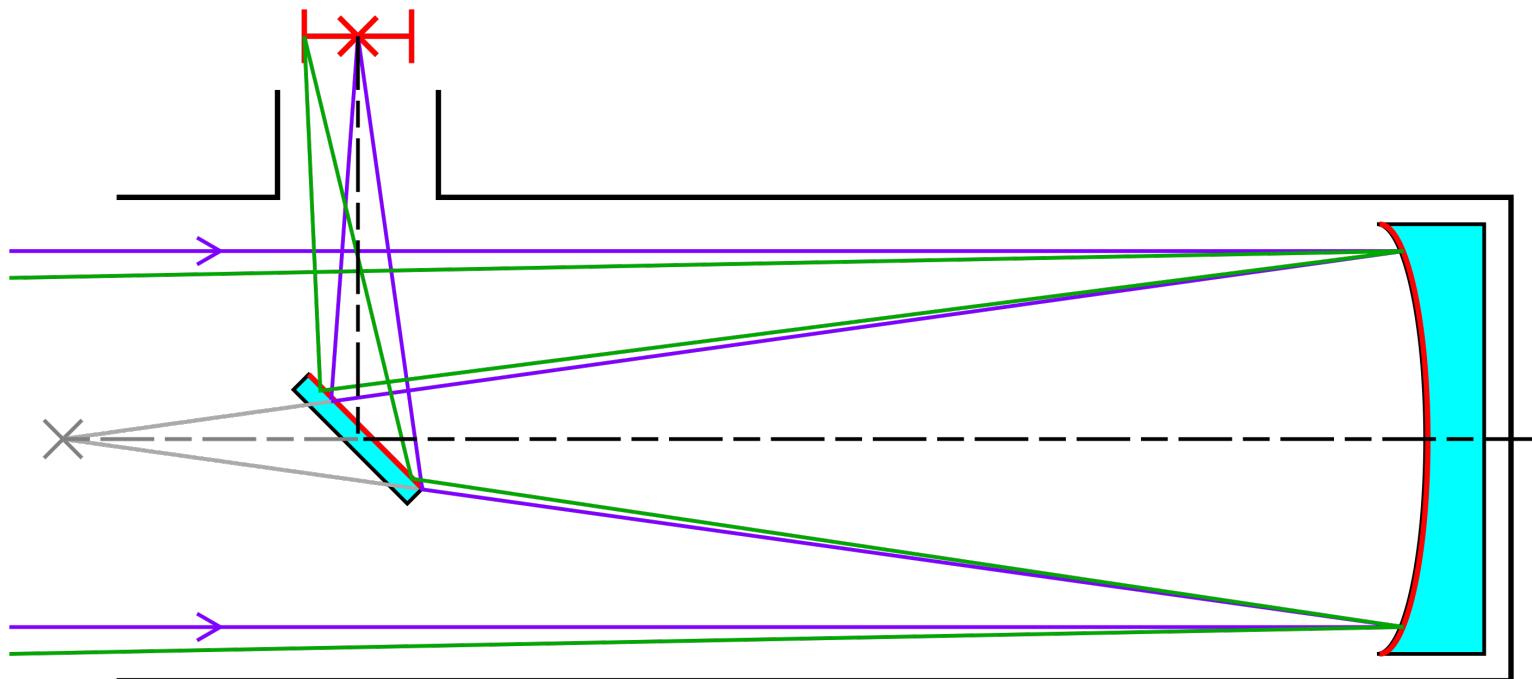
Ein Spiegel in Form einer Parabel fokussiert alle parallel zur optischen Achse einfallenden Wellenzüge in einem Brennpunkt. Dieser Brennpunkt ist für alle Wellenlängen gleich, daher besitzt ein Spiegelteleskop keine Farbfehler.

Optische Teleskope: Reflektoren



<http://de.wikipedia.org>

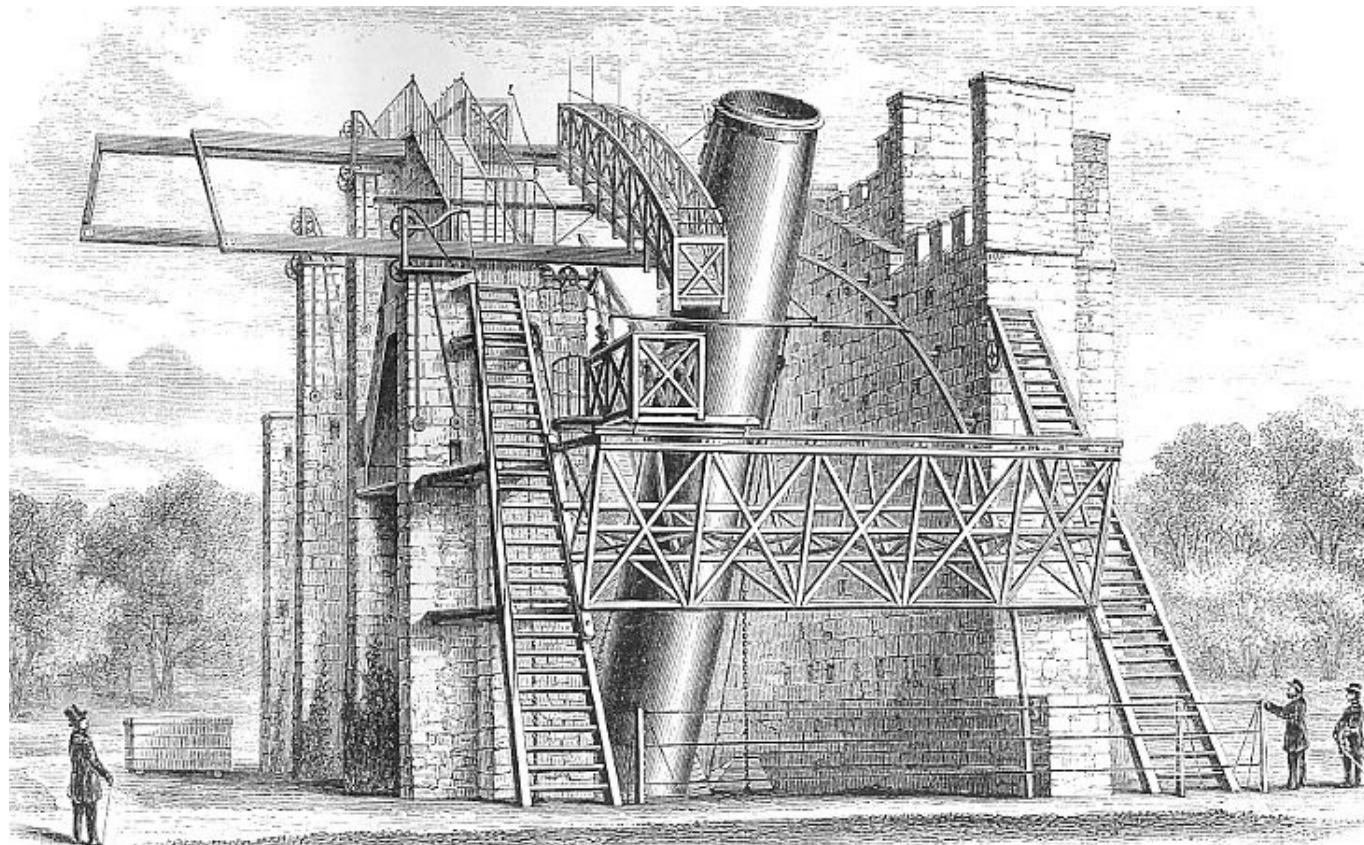
Optische Teleskope: Reflektoren



<http://de.wikipedia.org>

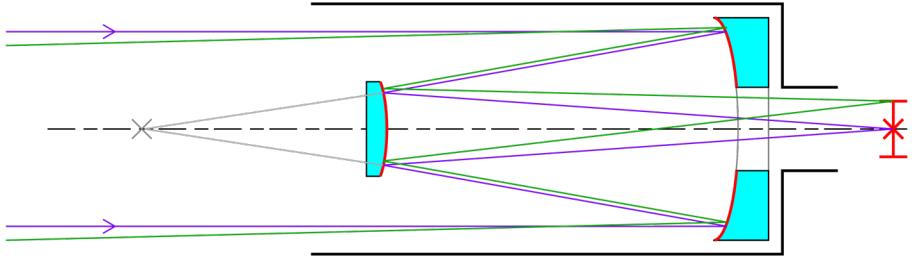
- Im Fall des Newton Spiegelteleskops fokussiert ein Parabolspiegel die Strahlung in einem Brennpunkt der über einen Planspiegel außerhalb des Teleskopstabes gelenkt wird. Durch den Fangspiegel wird die Abbildungsqualität des Teleskops im Vergleich deutlich gegenüber einem Refraktor verschlechtert.

Optische Teleskope: Reflektoren

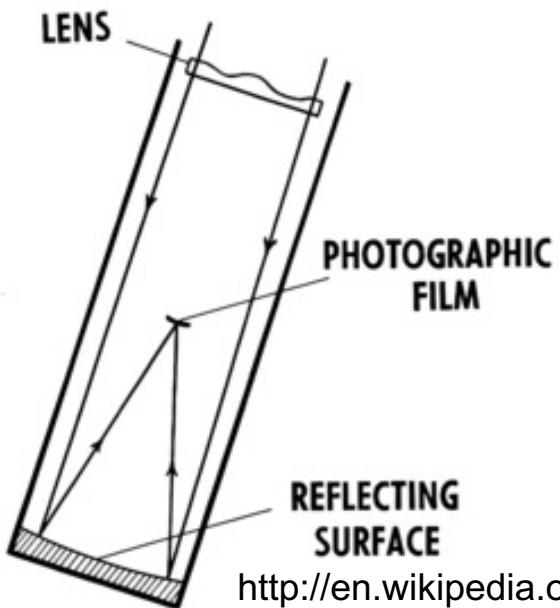


<http://de.wikipedia.org>

Optische Teleskope: Reflektoren



<http://de.wikipedia.org>

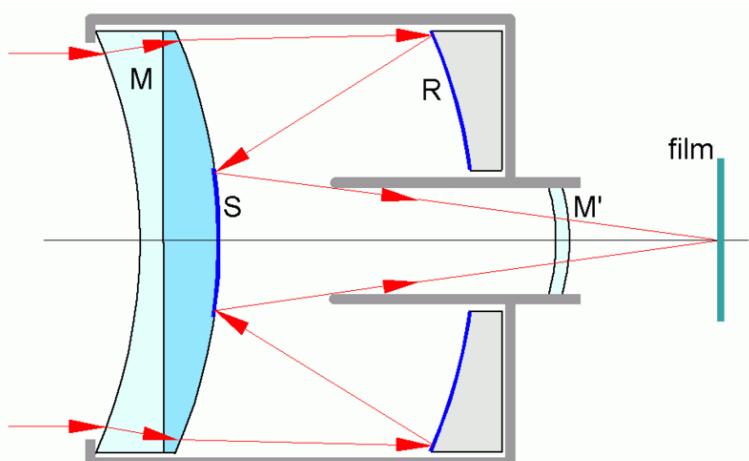


<http://en.wikipedia.org>

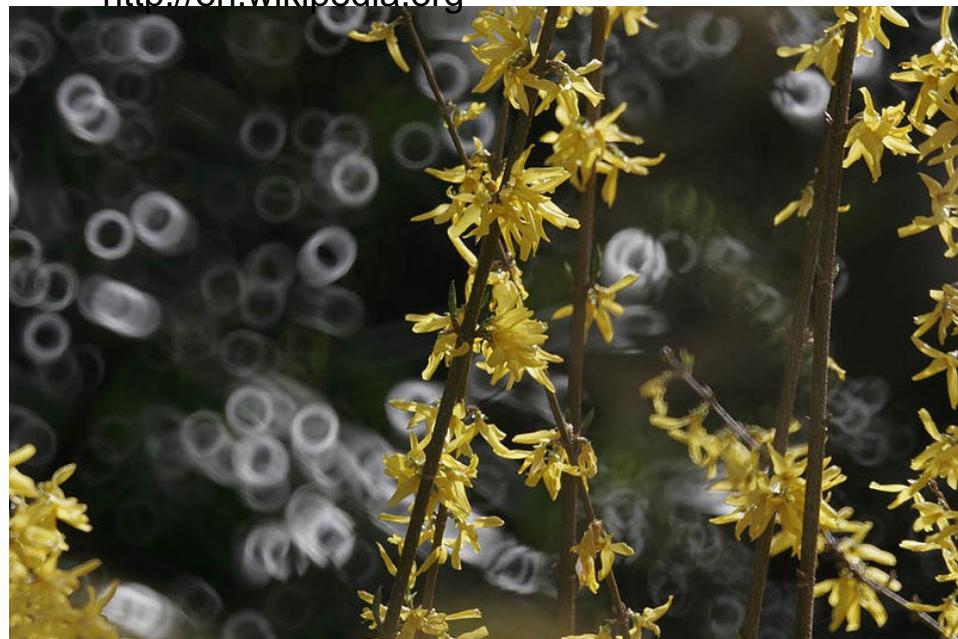
Andere Bauformen von Spiegelteleskopen umfassen so genannte **katadioptrische Instrumente**, die Linsen und Spiegel gemeinsam zur Abbildung nutzen. Hierbei werden Abbildungsfehler durch Linsen korrigiert. All diesen Bauformen gemeinsam sind lange Brennweiten. Diese sind direkt mit kleinen "Gesichtsfeldern" verbunden. Um große Gebiete am Himmel zu beobachten müssen Optiken mit kurzen Brennweiten konstruiert werden.

Das **Schmidt-Teleskop** ist ein solches Teleskop mit einer "schnellen" Optik, das mehrere Grad am Himmel abbilden kann. Der Detektor ist im Brennpunkt der Spiegels montiert.

Optische Teleskope: Reflektoren



<http://en.wikipedia.org>



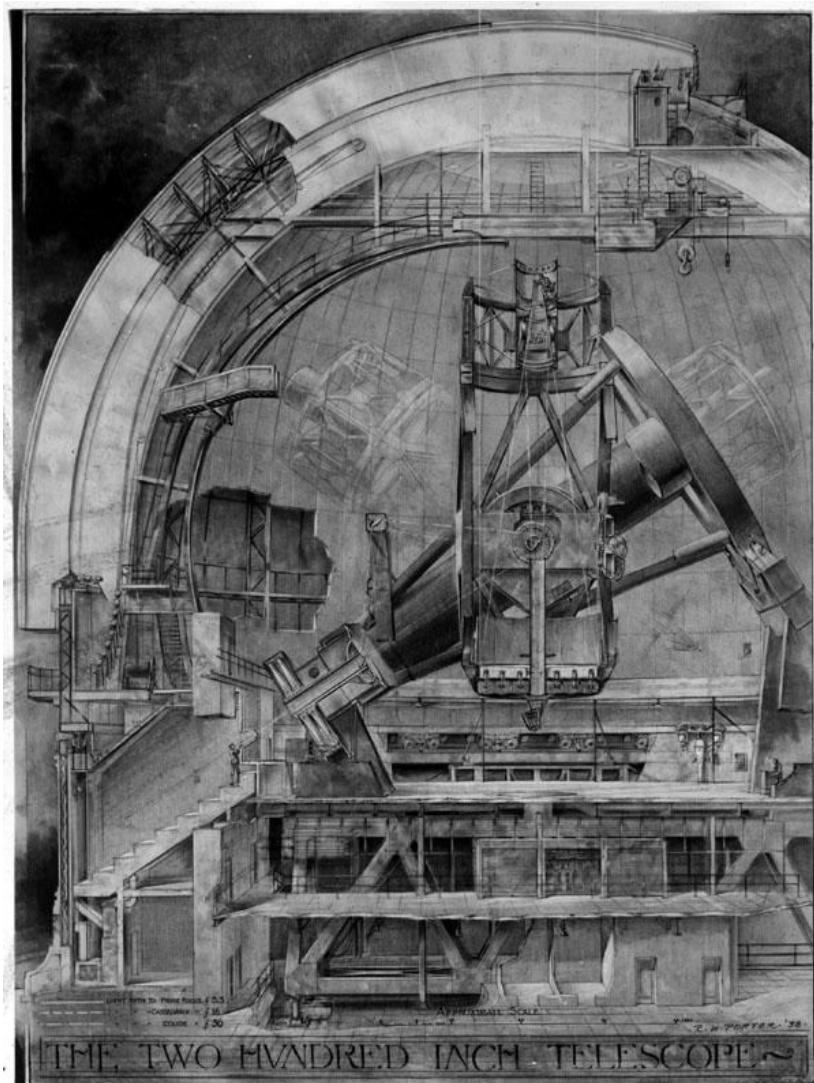
Die Abbildungseigenschaften eines Spiegelteleskops werden durch den Spiegel bzw. den Empfänger im Strahlengang negativ beeinflusst. Die Winkelauflösung entspricht dem theoretischen Wert jedoch wird der Kontrast zwischen dem Hauptmaximum und den Beugungsringen reduziert. Dies hat zu Folge, dass effektiv die Schärfe der Abbildung leidet.

Optische Teleskope: Reflektoren



Das größte Schmidt-Teleskop der Welt ist in Deutschland aufgebaut worden. Die Thüringer Landessternwarte besitzt mit dem 2-m großen Alfred-Jensch Teleskop dieses einzigartige Instrument. Die große lichtsammelnde Oberfläche und die sehr guten optischen Eigenschaften erlaubten im Jahr 2005 die Entdeckung eines extrasolaren Planeten um den Stern HD 13289

Optische Teleskope: Reflektoren



<http://www.wertmann.com>

Einer der größten Reflektoren ist das 5-m Hale Teleskop der **Mount Palomar Observatoriums.**

Mit 14.5 to Gewicht ist der Spiegel vergleichsweise leicht gegenüber der Montierung die 530 to wiegt.

Das Hale-Teleskop zeigte die technologischen Grenzen dieses klassischen Teleskopaufbaus auf. Die Kosten skalierten sich mit der Spiegeldurchmesser zu dritten Potenz. Damit ist klar, dass die Spiegelgröße nicht einfach vergrößert werden konnte.

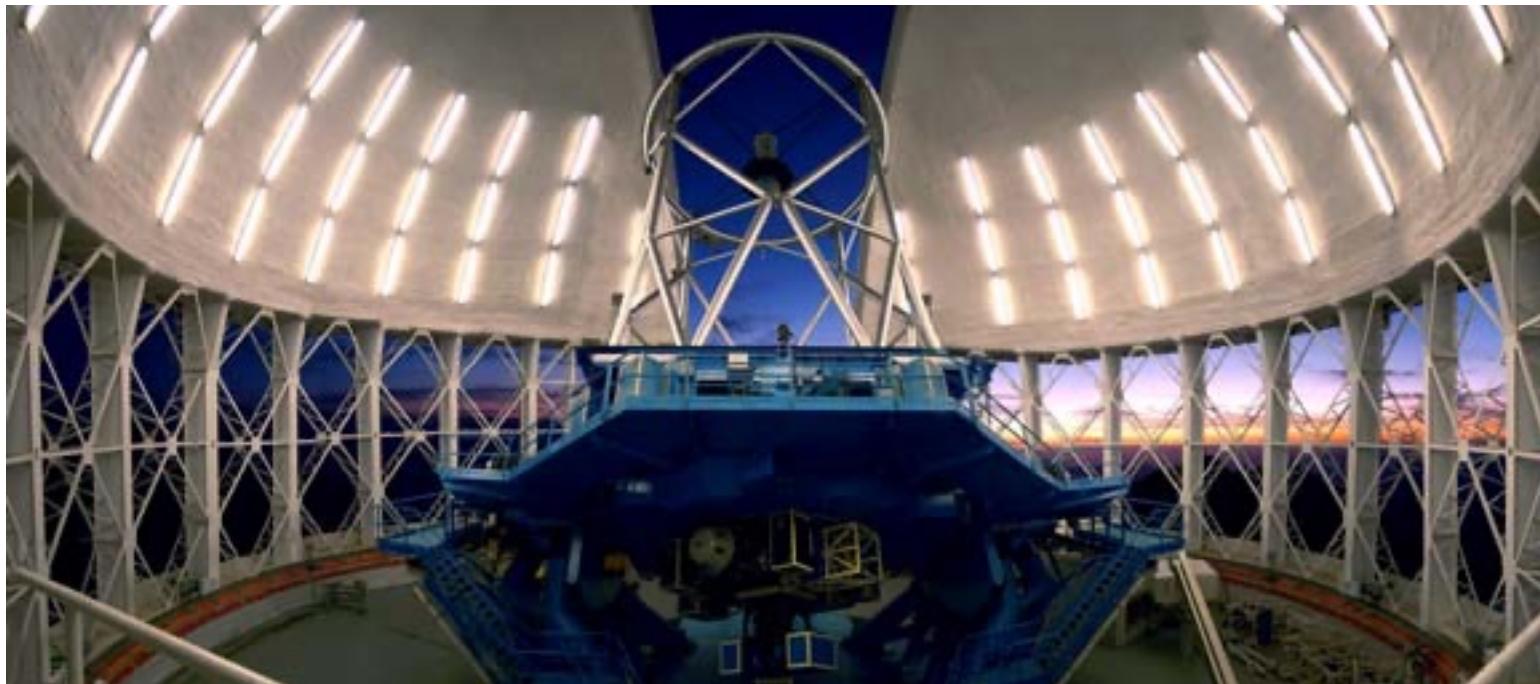
Optische Teleskope: Reflektoren



<http://www.photonics.com>

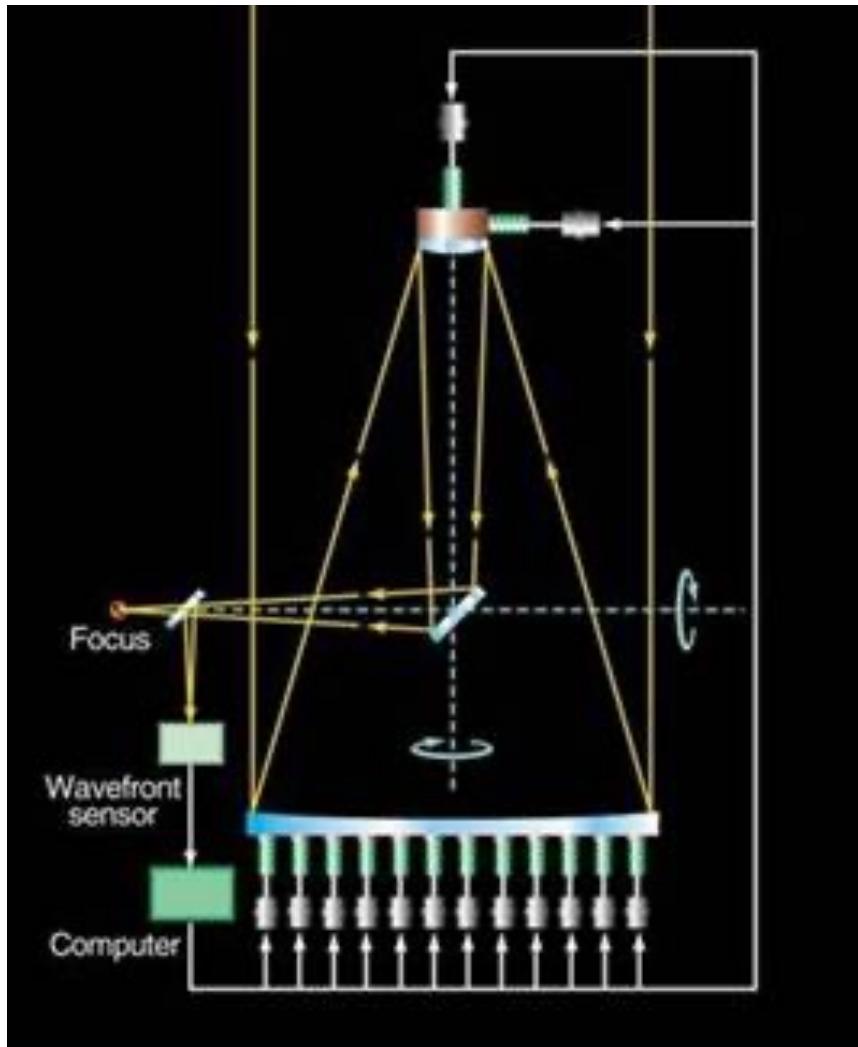
Um eine parabelförmige Oberfläche zu erzielen mussten 5 to Glas abgeschliffen werden. Der verbleibende Spiegel hat eine beträchtliche Dicke, damit seine Form auch bei großen Neigungen erhalten bleibt. Dies bedingt jedoch, dass seine thermische Zeitkonstante (Anpassung an die Umgebungstemperatur) circa 1. Woche beträgt.

Optische Teleskope: Reflektoren

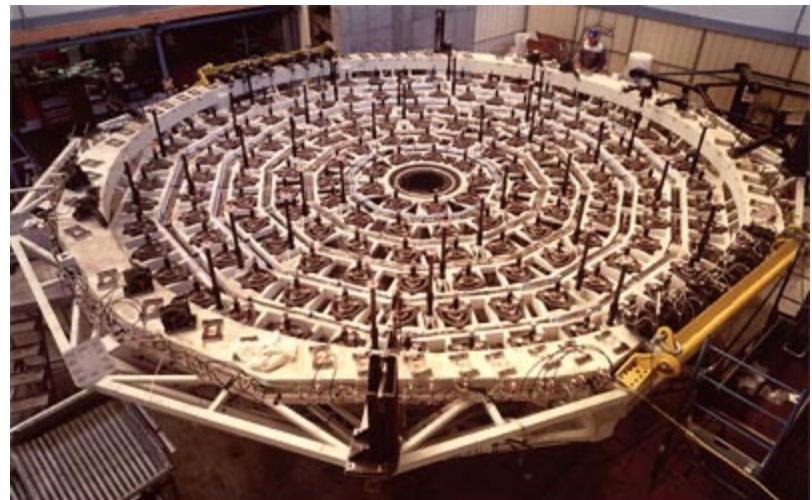


<http://www.gemini.edu>

Optische Teleskope: Reflektoren



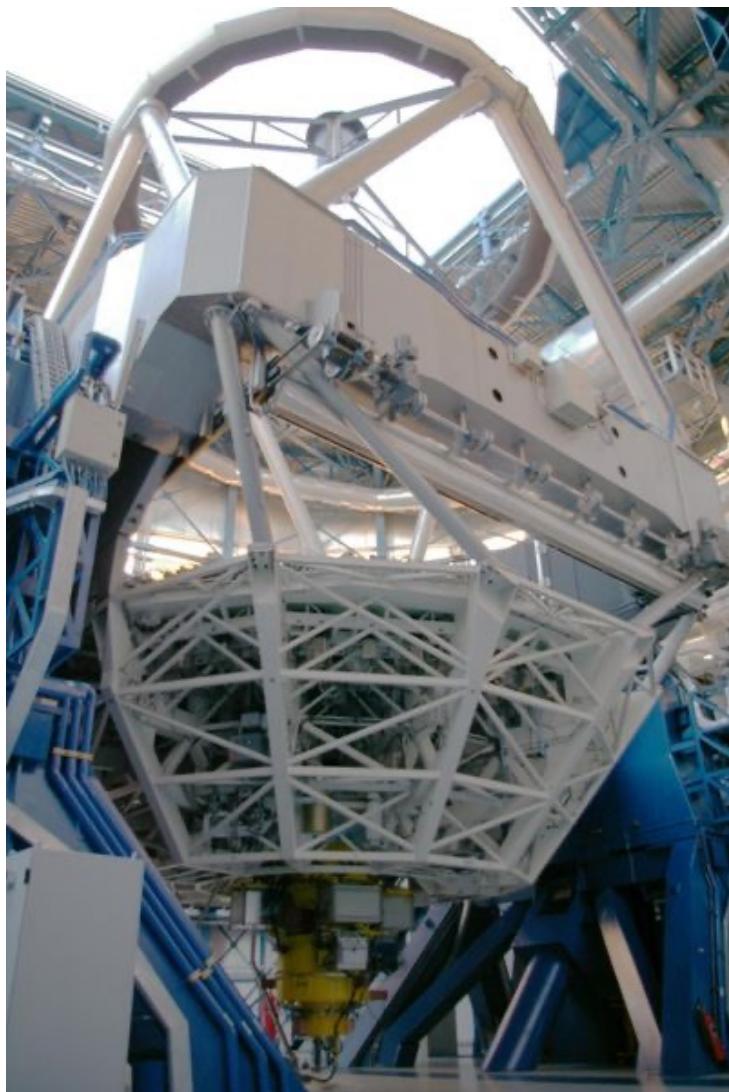
Heute werden Reflektoren bis zu einem Spiegeldurchmesser von circa 10m aufgebaut. Die Spiegel sind extrem dünn (~ 10 cm) und auf so genannten Aktuatoren gelagert. Diese deformieren den Spiegel in der Form, dass er stets die gewünschte Form eine Paraboloiden hat.



Active Mirror Support

ESO PR Photo 34a/99 (13 August 1999)

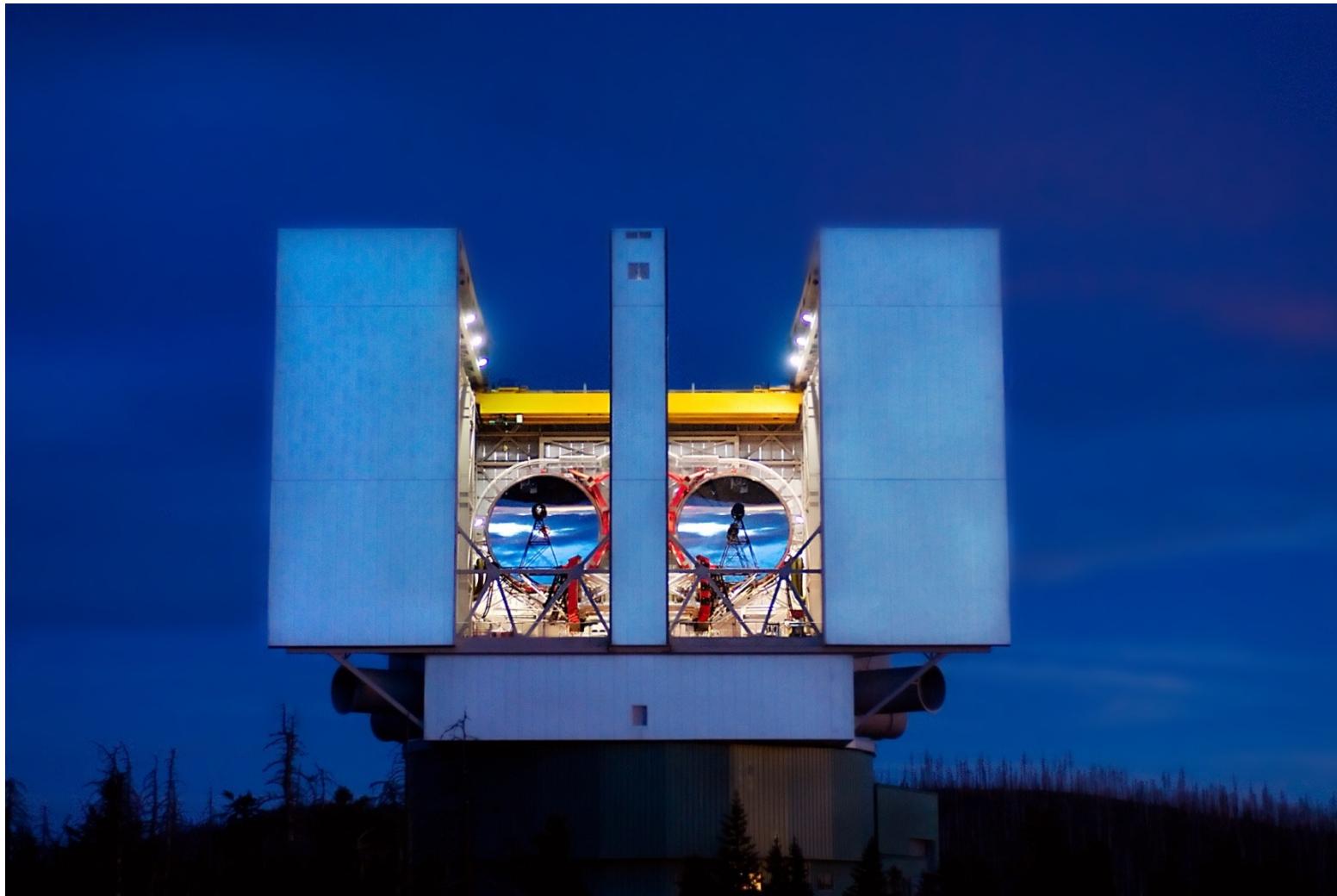
Optische Teleskope: Reflektoren



Auf dem Berg Paranal in der chilenischen Anden befindet sich derzeit das größte optischen Observatorium der Welt mit vier 8.2 m Spiegeln.



Optische Teleskope: Reflektoren



<http://www.mpg.de>

Optische Teleskope: Reflektoren



<http://www.ifa.hawaii.edu>

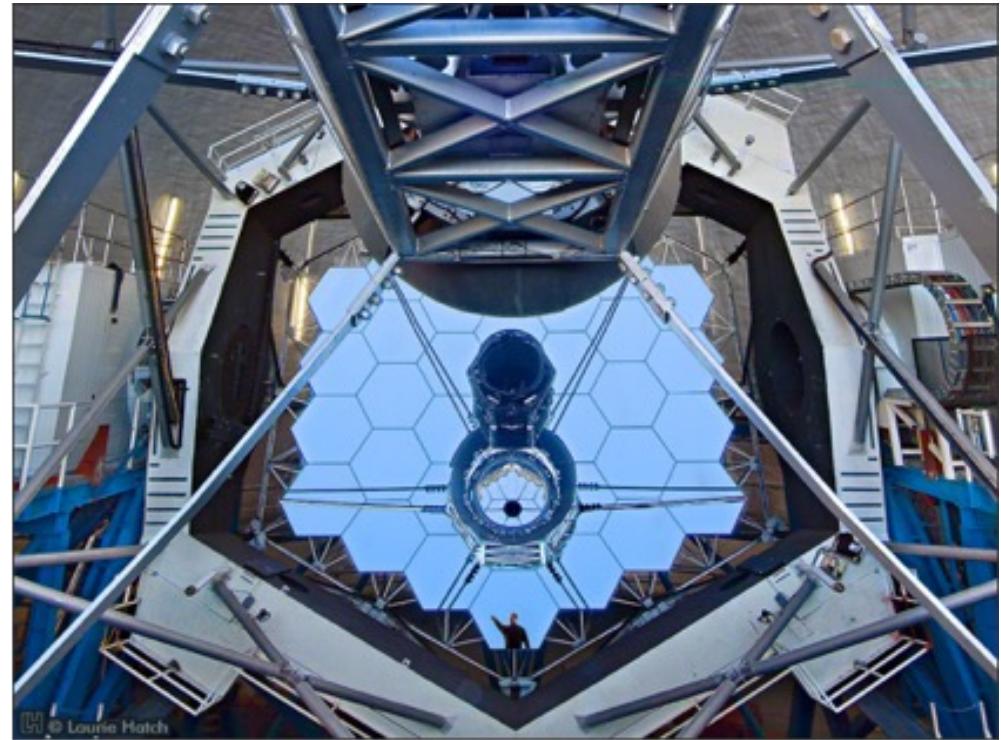
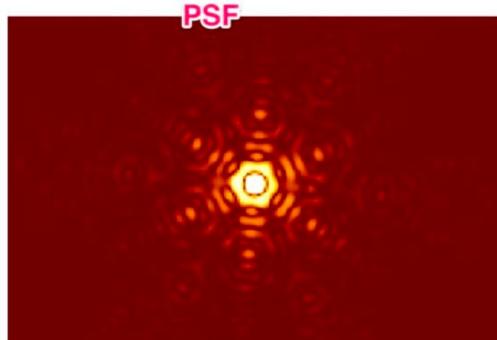
UNIVERSITÄT **BONN**

Optische Teleskope: Reflektoren



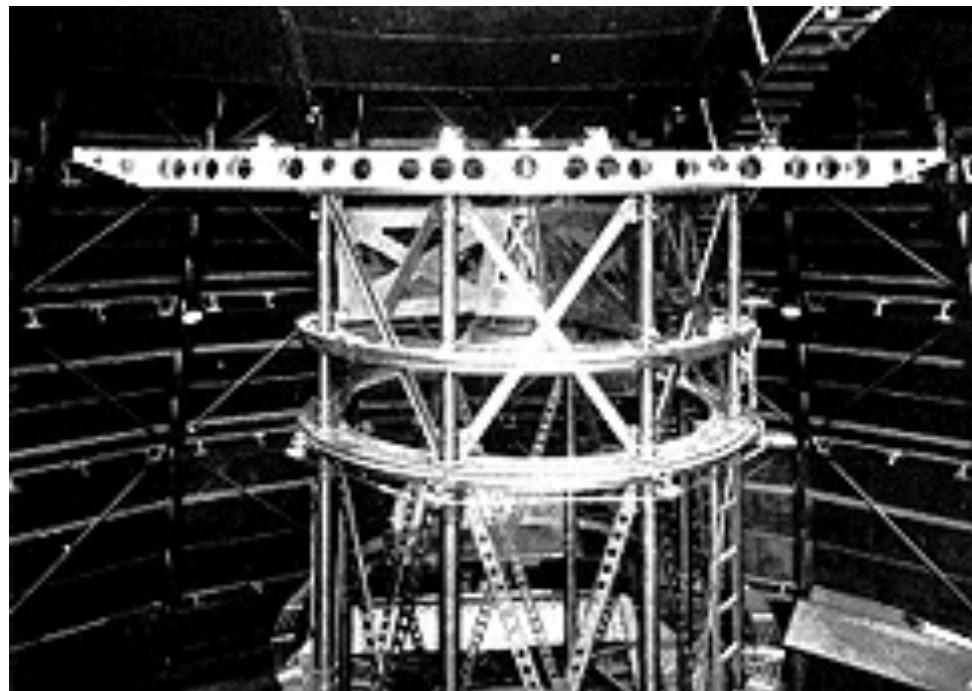
<http://www.ifa.hawaii.edu>

KECK NIRC2 PSF

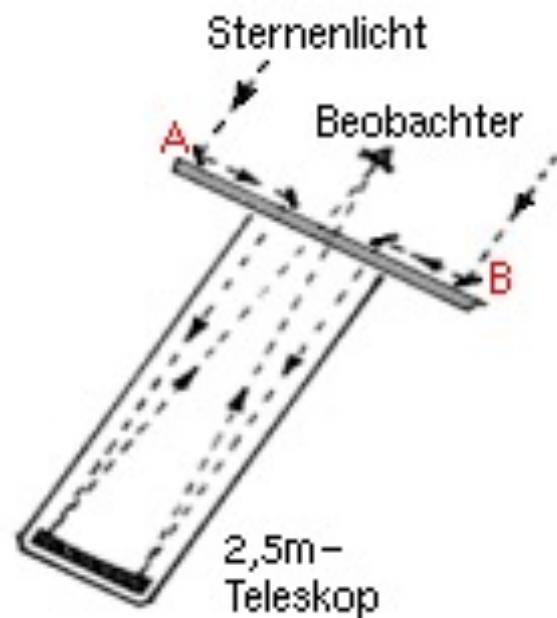


Credit: LAURIE
HATCH

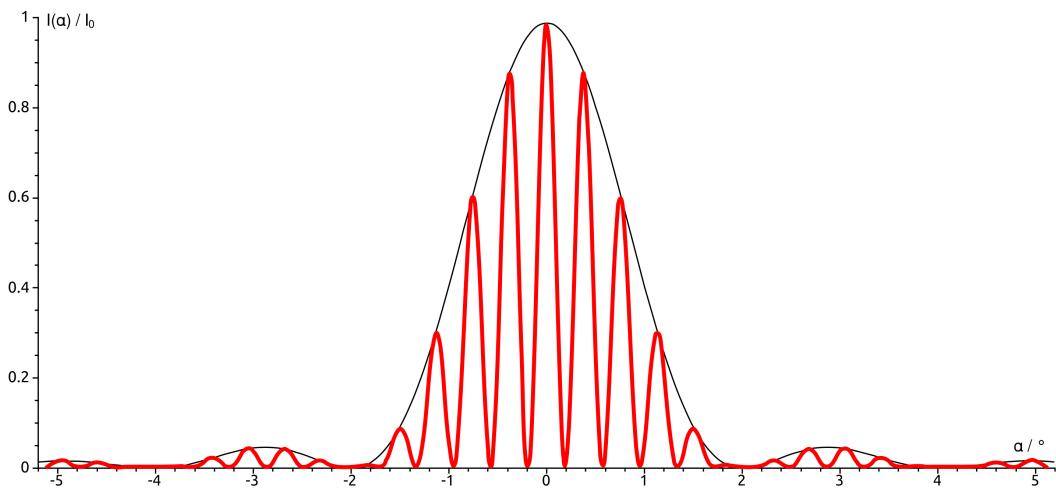
Optische Teleskope: Interferometer



<http://www.avgoe.de>



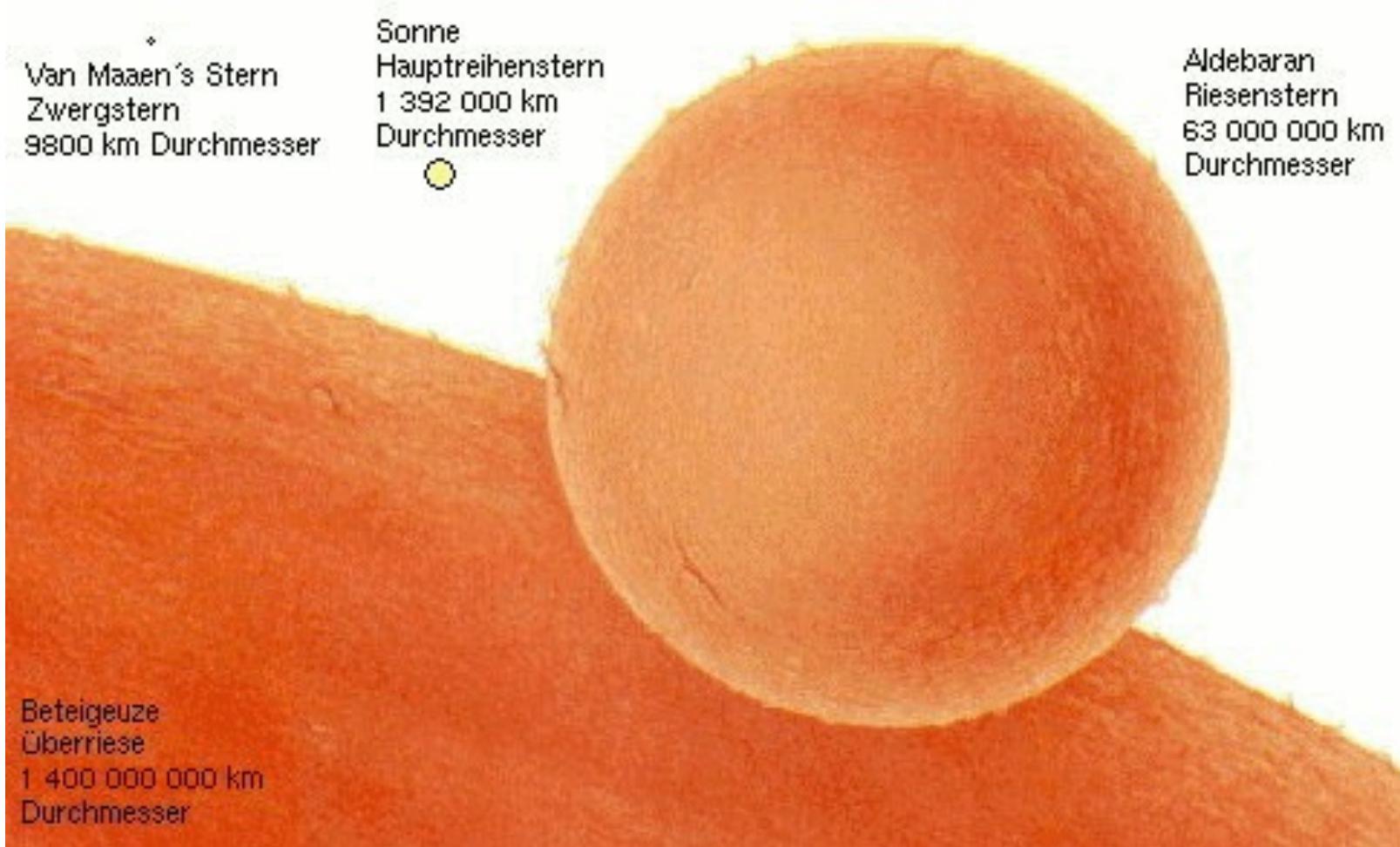
Optische Teleskope: Interferometer



Solange der Stern noch nicht vom Teleskop aufgelöst wird, ist ein Interferenzmuster erkennbar. Löst jedoch das Teleskop den Stern auf, so verschwindet das Muster. Aus dem Abstand der beiden Spiegel und der Wellenlänge lässt sich die Winkelauflösung errechnen. Mittels des Abstands der Sterns ist damit sein Durchmesser bestimmt.

<http://en.wikipedia.org>

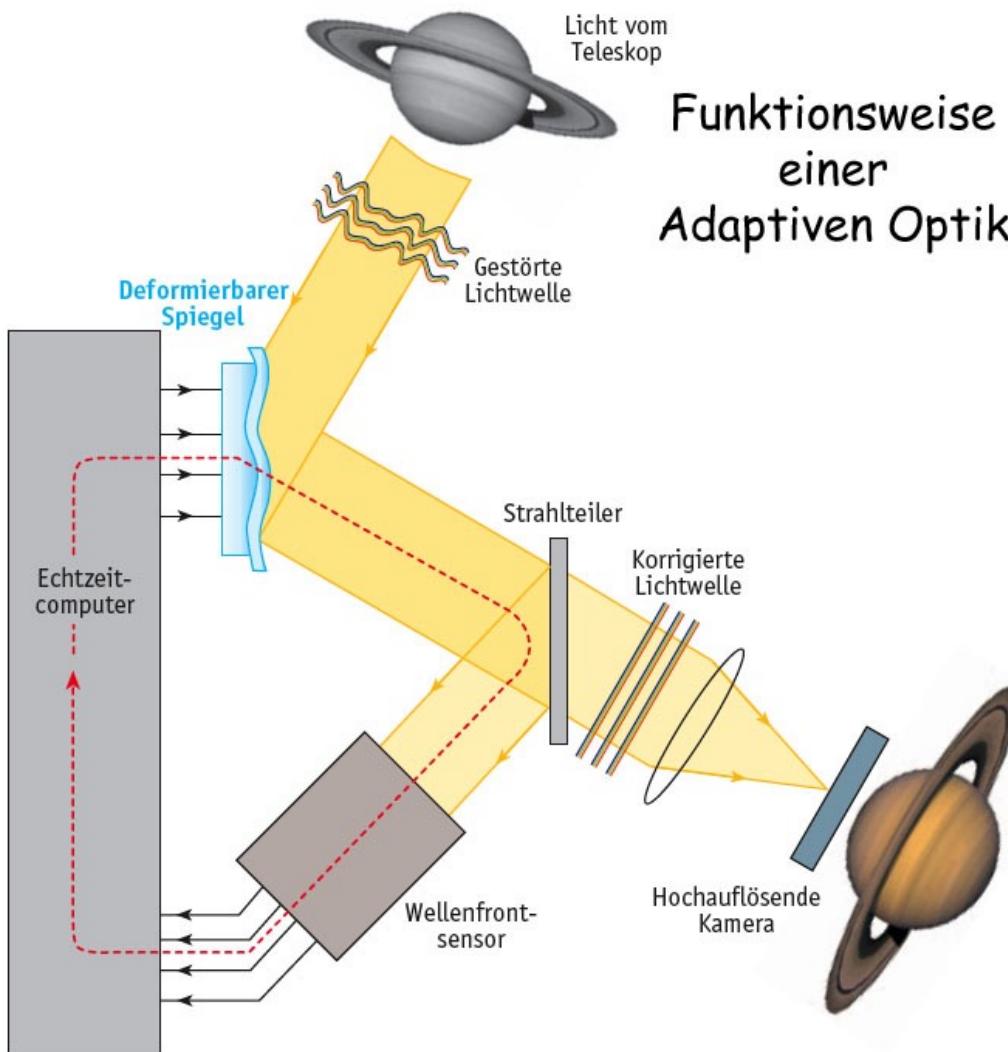
Optische Teleskope: Interferometer



<http://www.avgoe.de>

Adaptive Optik

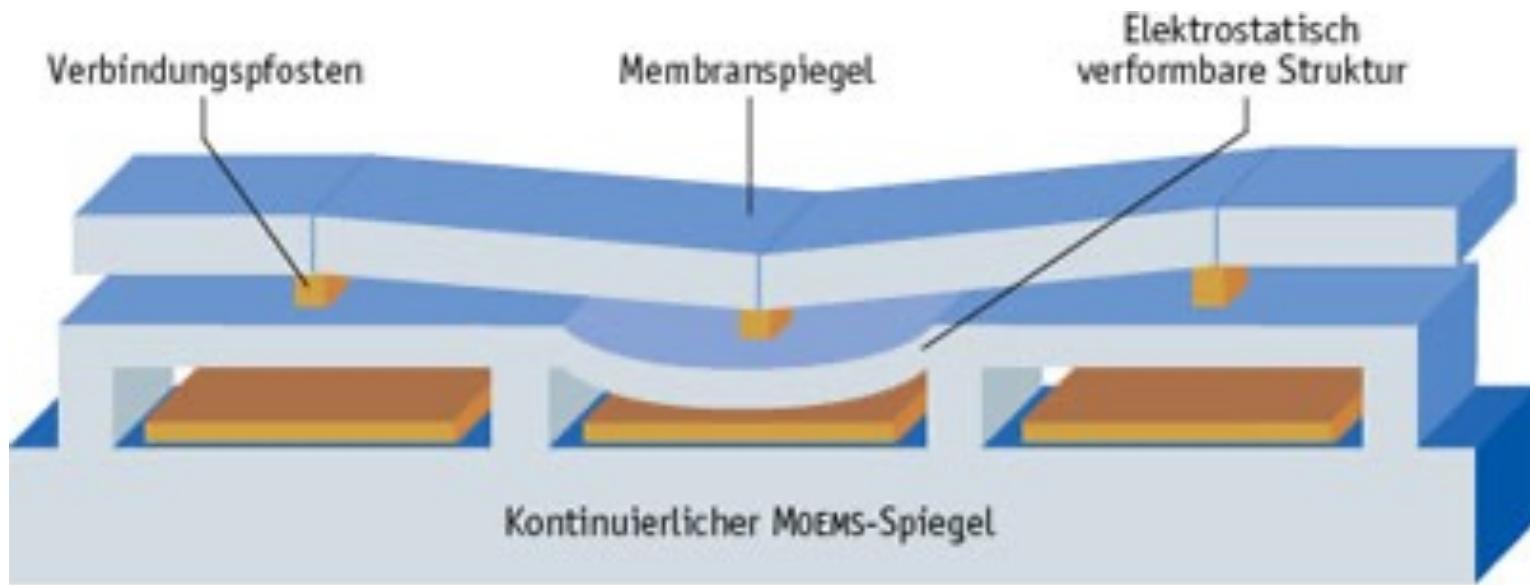
Adaptive Optik



<http://www.mpia.mpg.de/homes/hippler/AOonline>

Die adaptive Optik korrigiert die Deformation der ebenen Wellenfront durch die turbulente Atmosphäre. Die Turbulenz verändert sich aus Zeitskalen von Bruchteilen einer Sekunde im optischen Wellenlängenbereich. Im infraroten Bereich ist die Zeitskala länger. Ein deformierbarer Spiegel kann die Wellenfront korrigieren. Hierbei dienen kleinste Aktuatoren für die Korrektur.

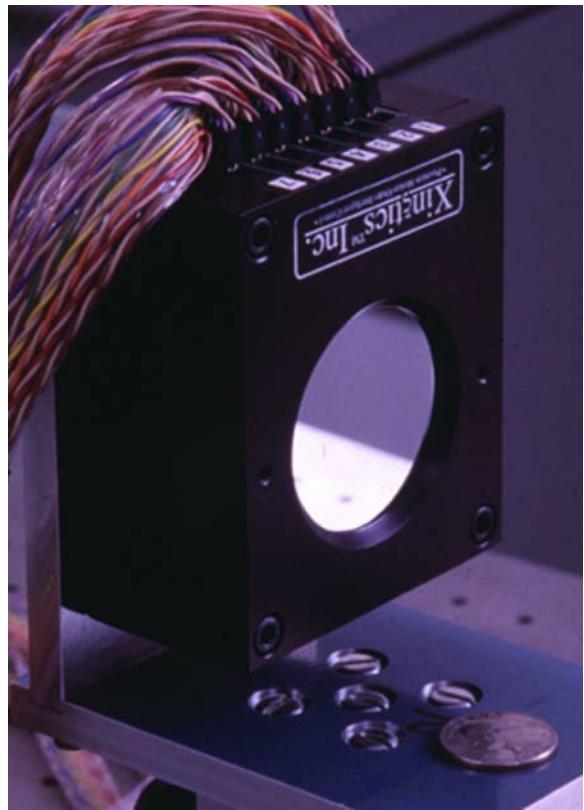
Adaptive Optik



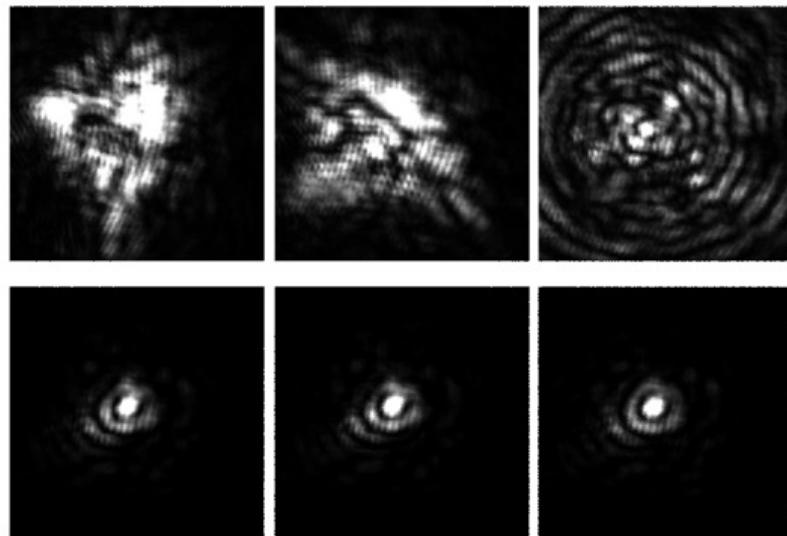
<http://www.mpi.a.mpg.de>

Aktuatoren können z. B. über den **piezoelektrischen Effekt** erzeugt werden. Eine Veränderung der Spannung ruft eine Längenveränderung der Kristallstruktur hervor. Dieser Effekt wird auch bei "Hochtönern" für den Bau von Lautsprecherboxen genutzt, dies zeigt daher die Schnelligkeit der Längenvariation an.

Adaptive Optik

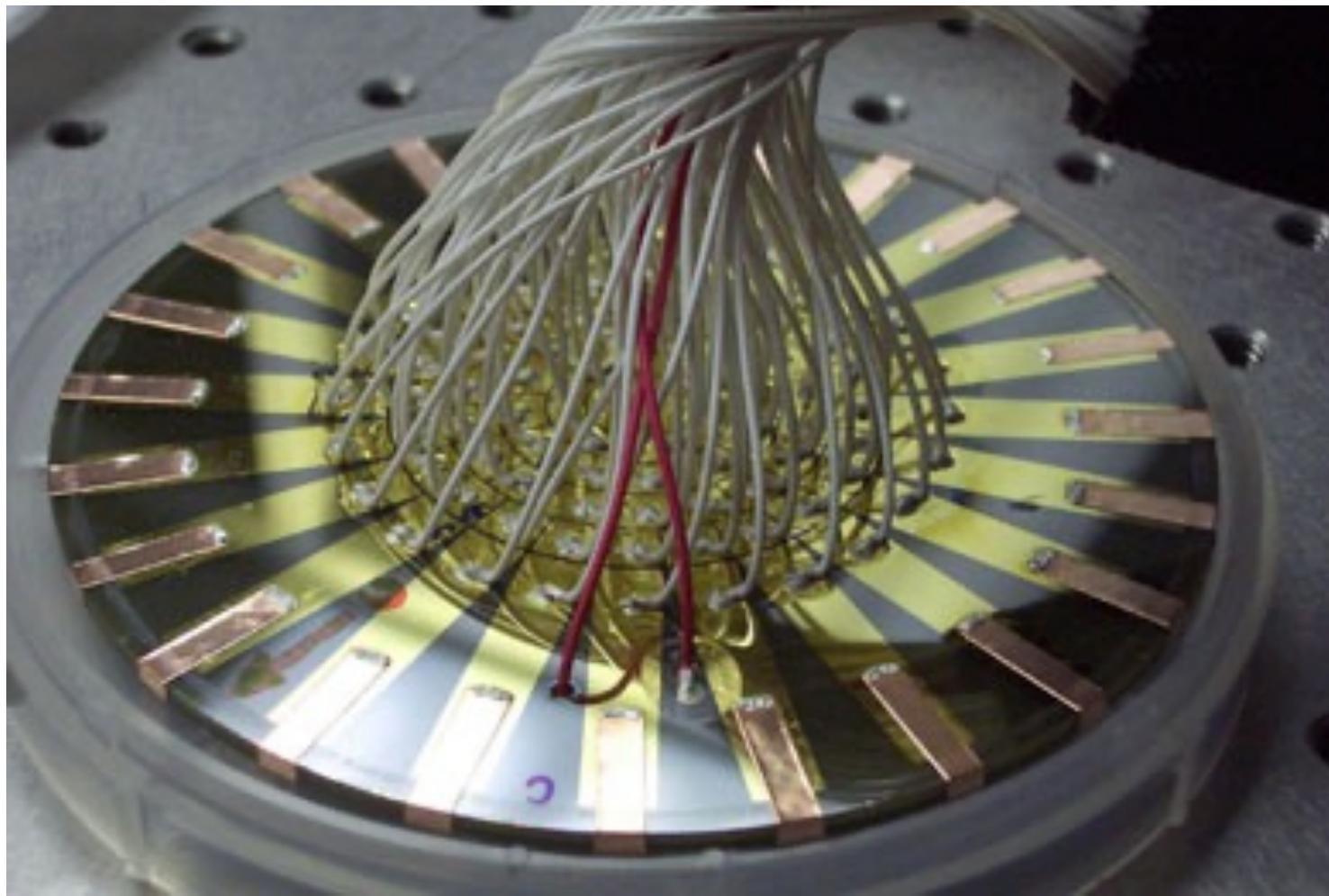


www.cvs.rochester.edu



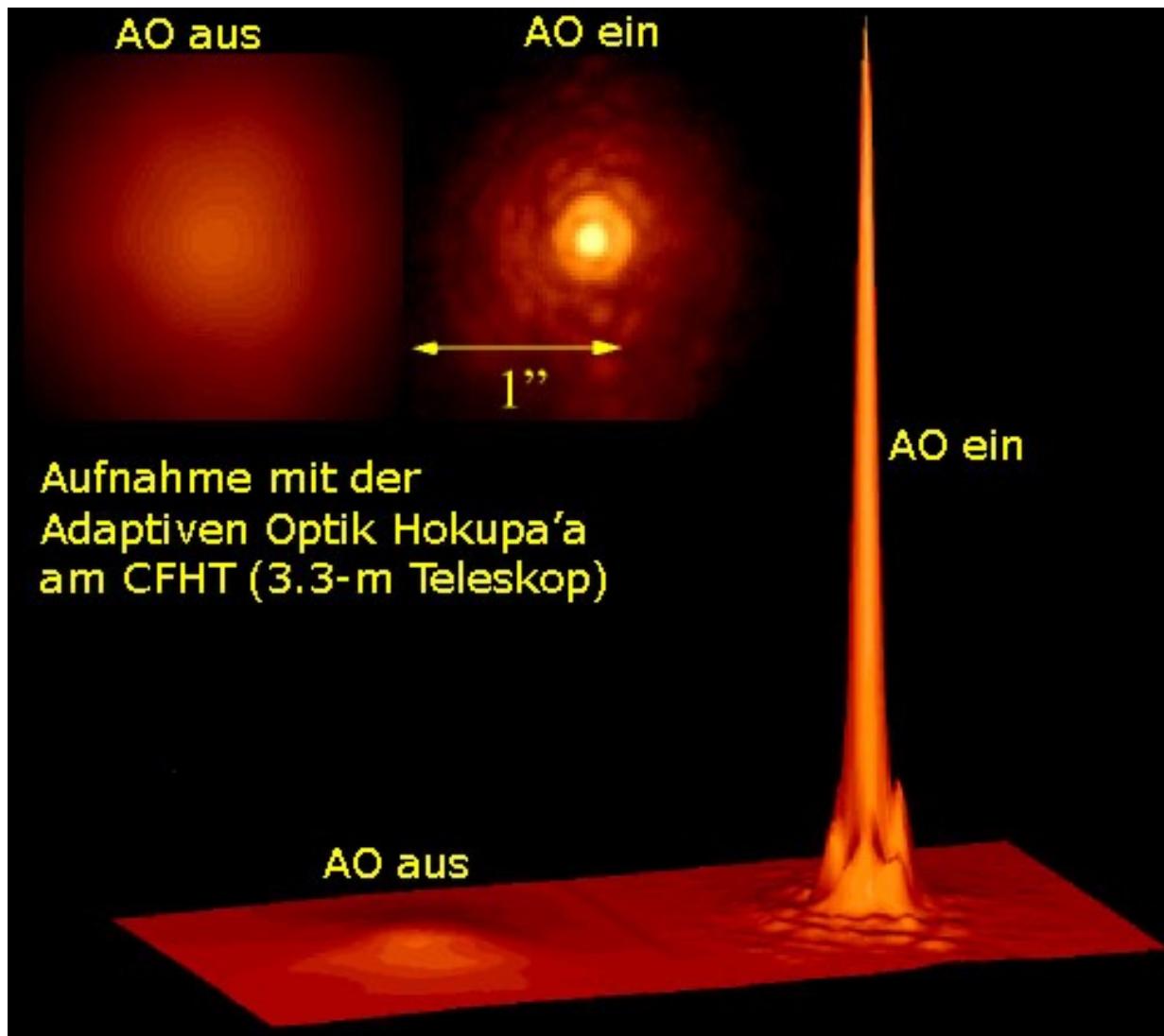
www.nso.edu

Adaptive Optik



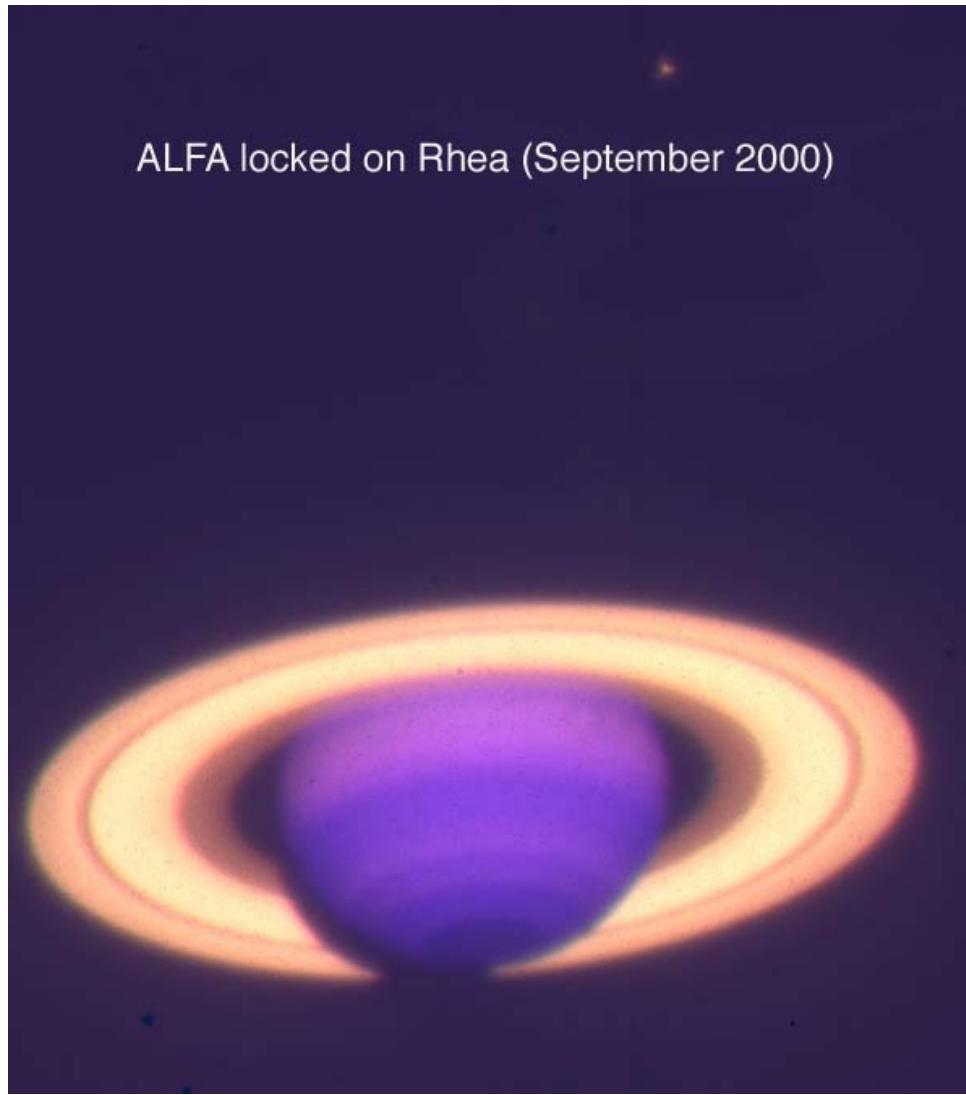
<http://www.mpia.mpg.de>

Adaptive Optik



<http://www.mpia.mpg.de>

Adaptive Optik



Die Störung der Wellenfront kann durch die stetige Beobachtung der Verformung einer nicht aufgelösten Quellen überwacht werden. Hier, am Beispiel des Saturns, wurde der Saturnmond Rhea genutzt um die adaptive Optik optimal für die Beobachtung anzupassen.

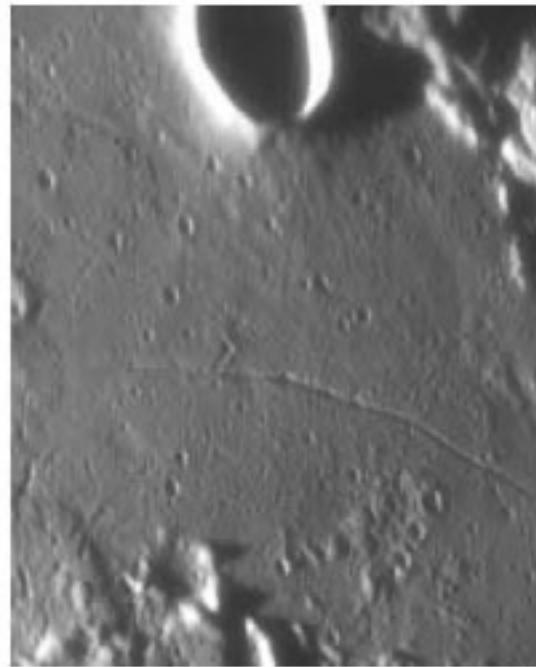
Wichtig ist, dass Eichquelle und Objekt sich im gleichen **isoplanaren Feld** befinden.

Ansonsten werden die Wellenfronten von statistisch unterschiedlichen Turbulenzen deformiert und sind nicht korrigierbar.

Adaptive Optik



<http://www.mpia.mpg.de>



$26'' = 45 \text{ km}$

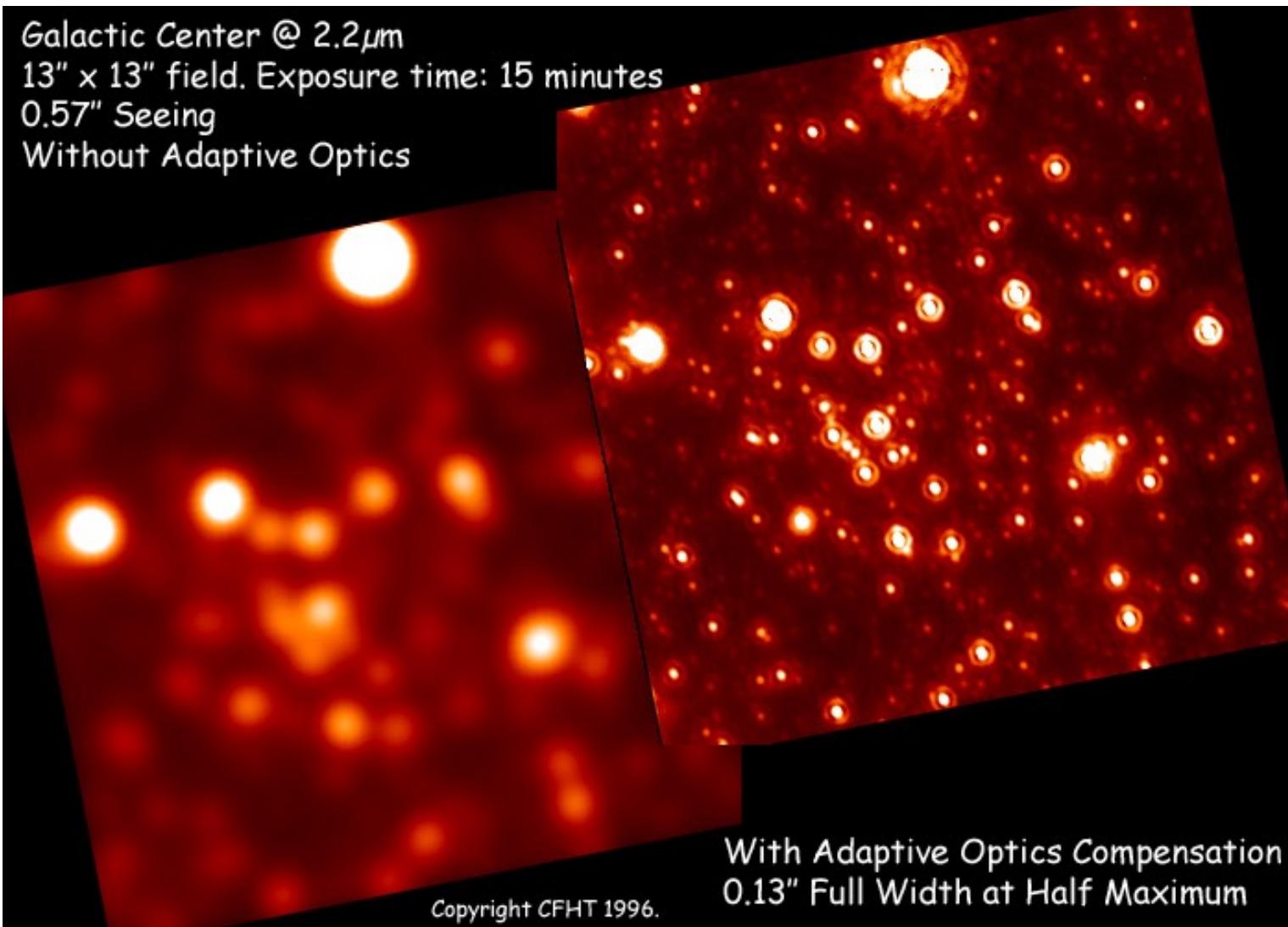
Adaptive Optik

Galactic Center @ $2.2\mu\text{m}$

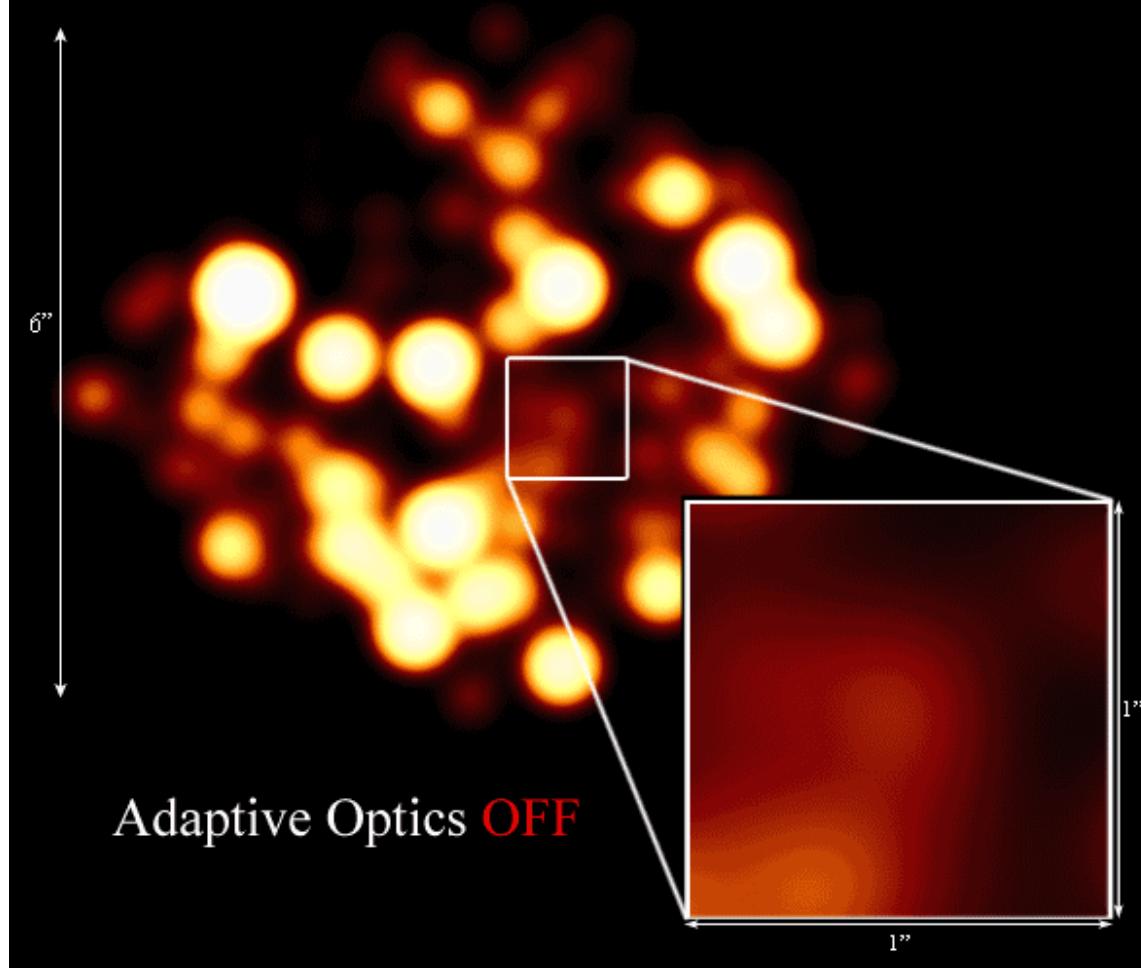
13" x 13" field. Exposure time: 15 minutes

0.57" Seeing

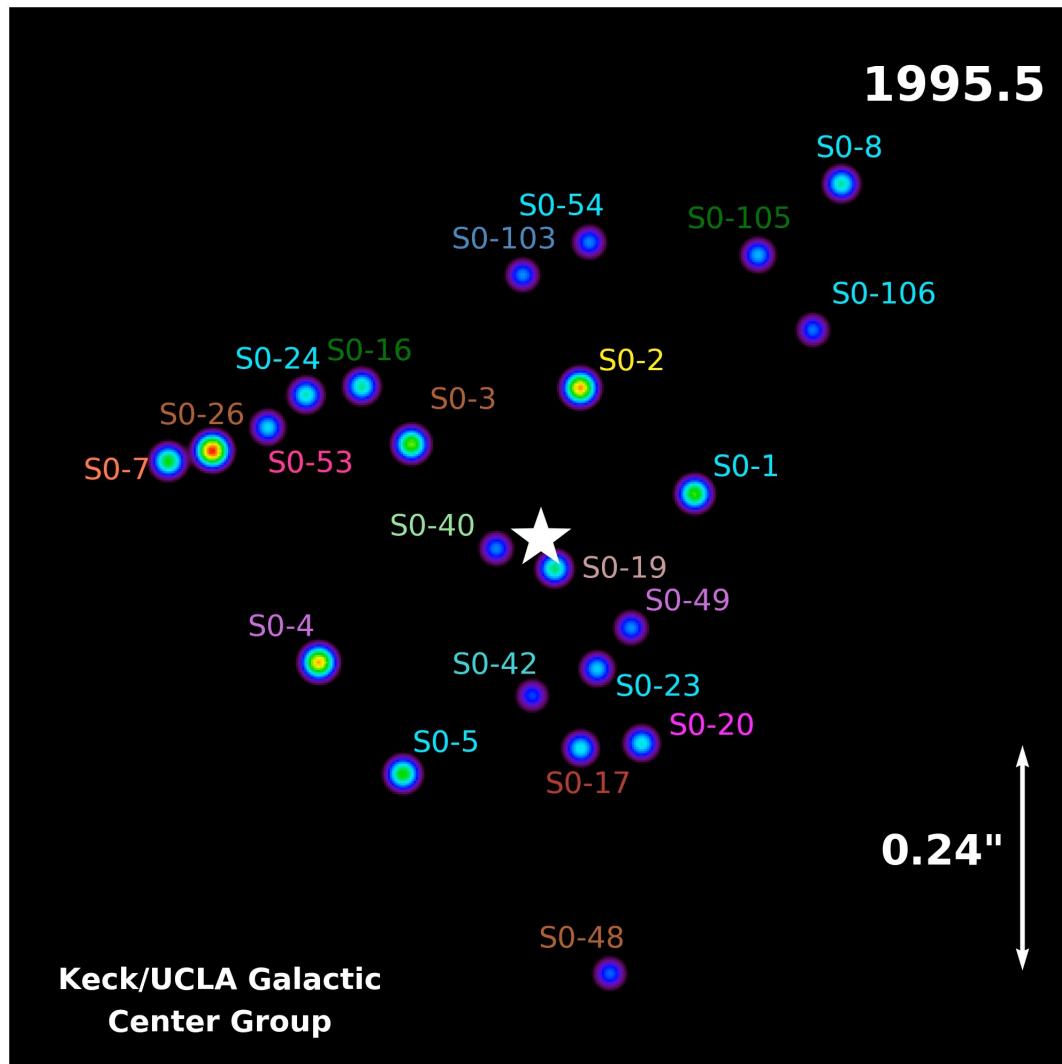
Without Adaptive Optics



The Galactic Center at 2.2 microns

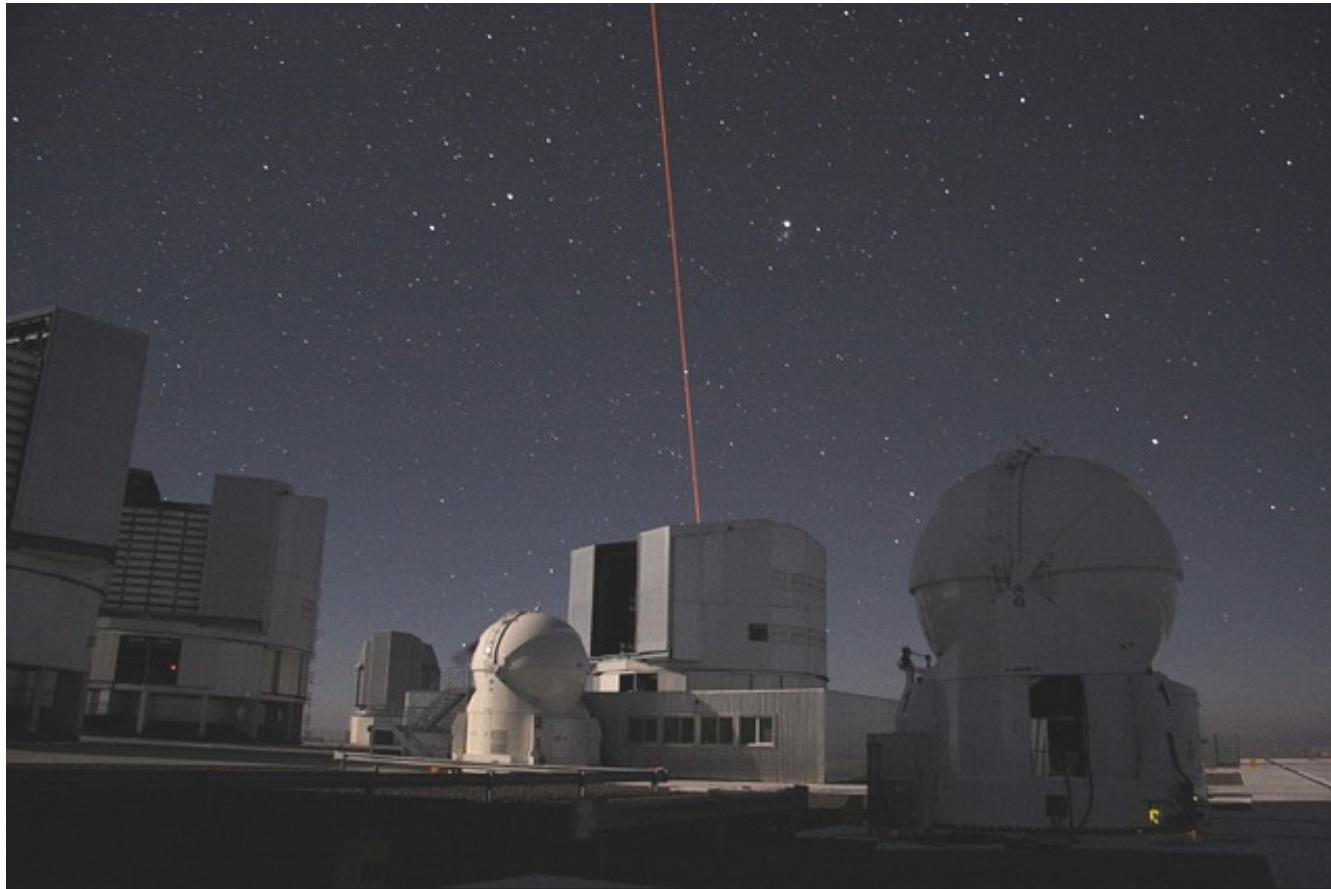


<https://galacticcenter.astro.ucla.edu/>



<https://galacticcenter.astro.ucla.edu/>

Adaptive Optik



An Artificial Star Above Paranal

ESO PR Photo 07b/06 (23 February 2006)

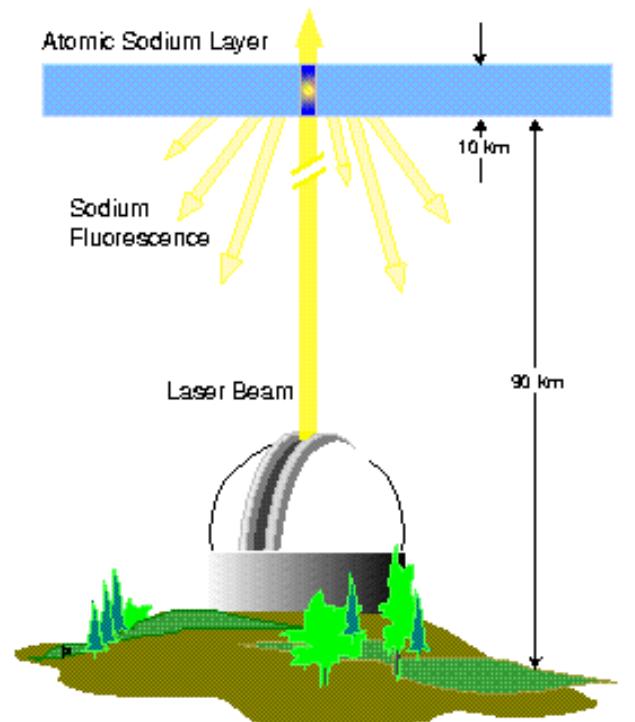
© ESO



Adaptive Optik

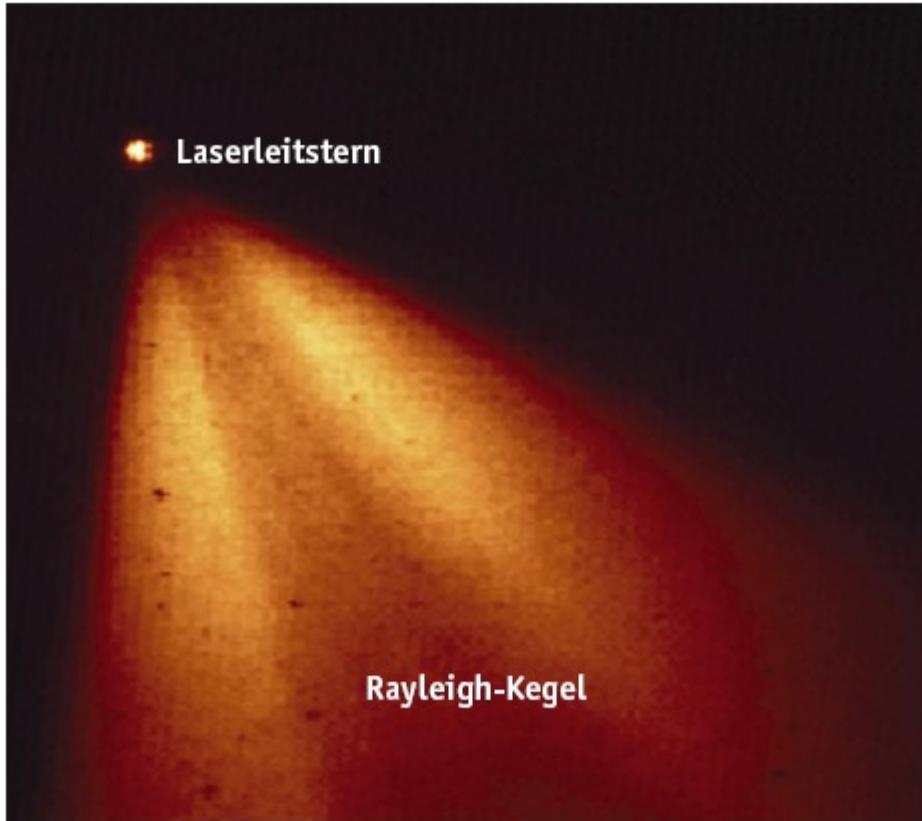


www.blueox.uoregon.edu

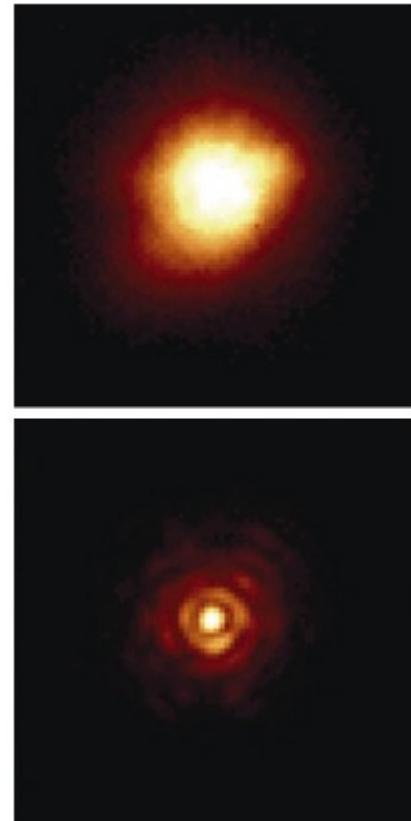


www.t4.lanl.gov

Adaptive Optik



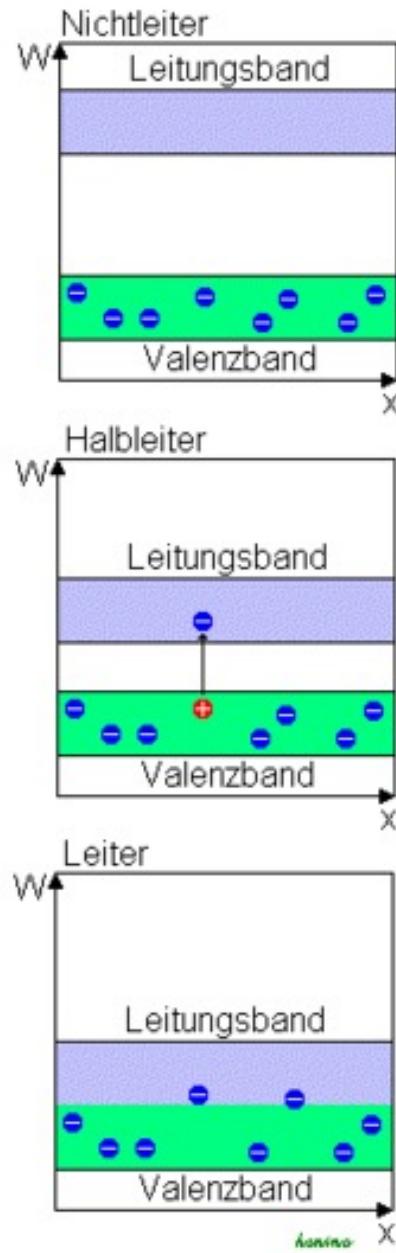
<http://www.mpia.mpg.de>



Detektoren

Charge Coupled Device (CCD)

CCDs



In der Physik unterscheiden wir Isolatoren, Leiter und **Halbleiter**.

Beschrieben wird deren Aufbau durch die Anordnung des so genannten

Leitungsbandes und des **Valenzbandes**.

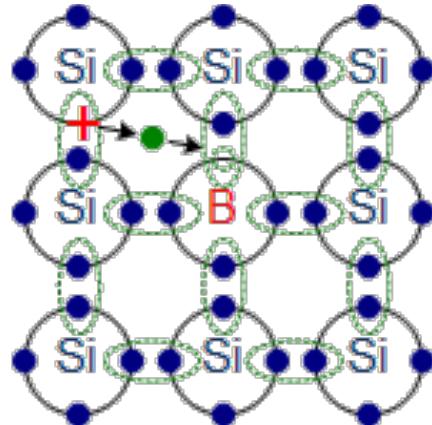
Sind beide Bänder weit voneinander getrennt so haben wir einen Isolator vor uns, sind beiden vereint, so haben wir einen Leiter vor uns.

Im Fall eines Halbleiters sind die beiden Bänder getrennt, jedoch ist der energetische Unterschied (ΔW) gering, so dass ein Elektron durch die Absorption von Photonen durch den Halbleiter vom Valenz in das Leitungsband angehoben werden kann.

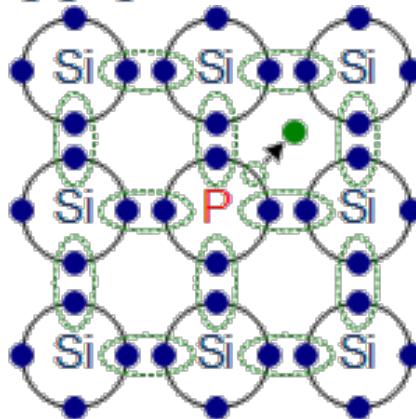
Die Anzahl der Elektronen im Leitungsband ist damit ein Maß für die Energie der detektierten Photonen.

Akzeptoren und Donatoren

www.halbleiter.org

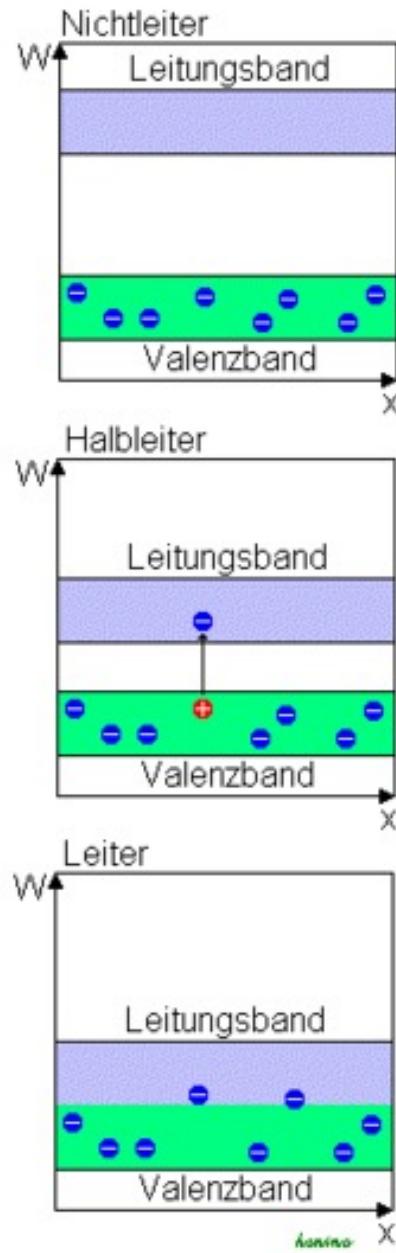


Die freie Stelle am Bor-Atom wird von anderen Elektronen aufgefüllt.
Dabei entstehen an anderer Stelle neue Löcher. Diese Leerstellen
wandern scheinbar entgegengesetzt zum Elektronenfluss



Das Phosphor-Atom gibt sein 5. Elektron ab, das keine
Bindung eingehen kann. Es dient als freier Ladungsträger.

CCDs



In der Physik unterscheiden wir Isolatoren, Leiter und **Halbleiter**.

Beschrieben wird deren Aufbau durch die Anordnung des so genannten

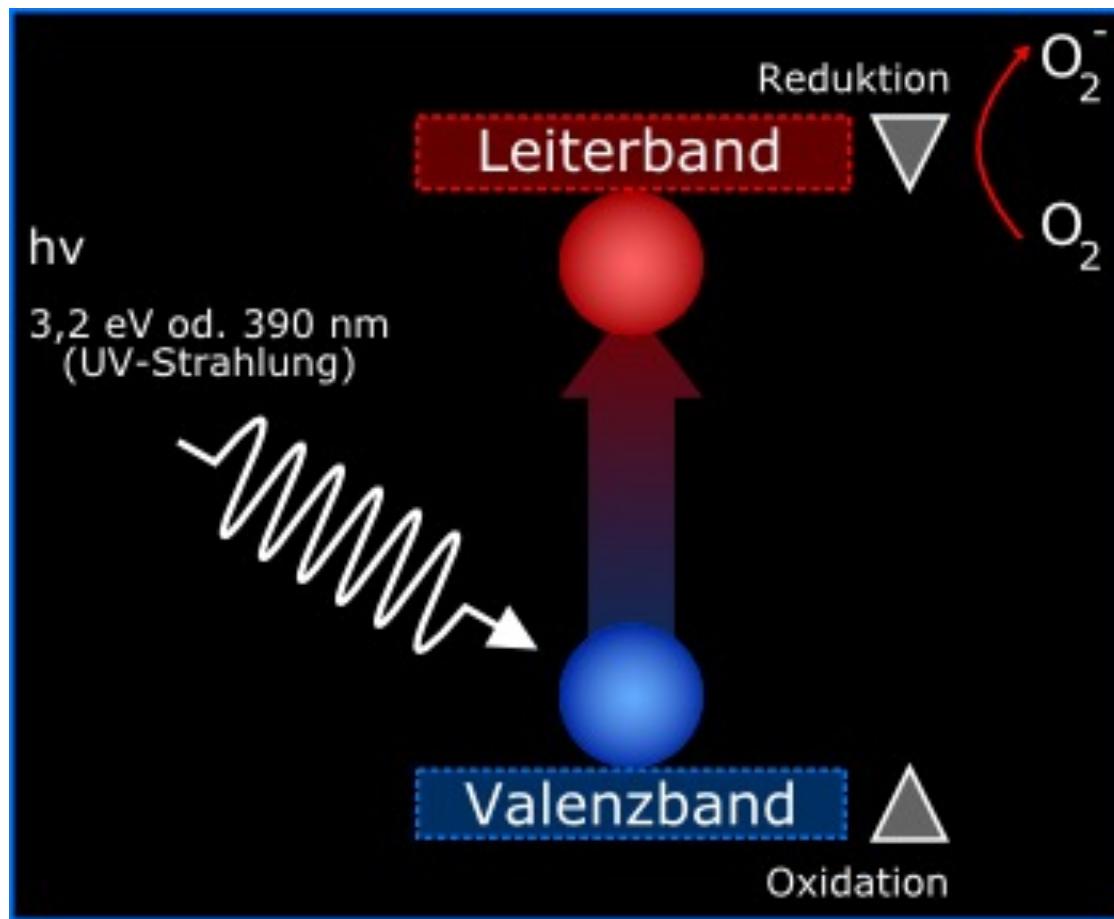
Leitungsbandes und des **Valenzbandes**.

Sind beide Bänder weit voneinander getrennt so haben wir einen Isolator vor uns, sind beiden vereint, so haben wir einen Leiter vor uns.

Im Fall eines Halbleiters sind die beiden Bänder getrennt, jedoch ist der energetische Unterschied (ΔW) gering, so dass ein Elektron durch die Absorption von Photonen durch den Halbleiter vom Valenz in das Leitungsband angehoben werden kann.

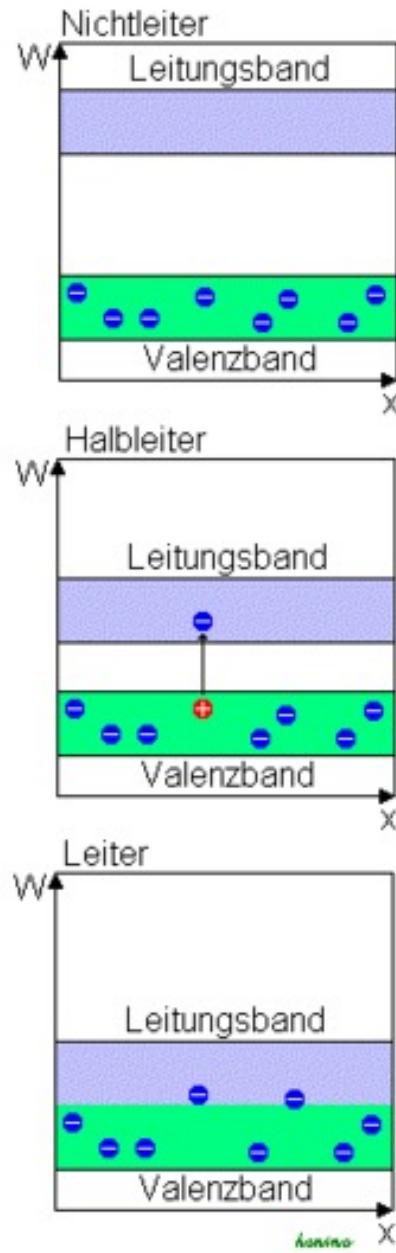
Die Anzahl der Elektronen im Leitungsband ist damit ein Maß für die Energie der detektierten Photonen.

CCDs



<http://de.wikipedia.org>

CCDs



In der Physik unterscheiden wir Isolatoren, Leiter und **Halbleiter**.

Beschrieben wird deren Aufbau durch die Anordnung des so genannten

Leitungsbandes und des **Valenzbandes**.

Sind beide Bänder weit voneinander getrennt so haben wir einen Isolator vor uns, sind beiden vereint, so haben wir einen Leiter vor uns.

Im Fall eines Halbleiters sind die beiden Bänder getrennt, jedoch ist der energetische Unterschied (ΔW) gering, so dass ein Elektron durch die Absorption von Photonen durch den Halbleiter vom Valenz in das Leitungsband angehoben werden kann.

Die Anzahl der Elektronen im Leitungsband ist damit ein Maß für die Energie der detektierten Photonen.

Anatomy of a Charge Coupled Device (CCD)

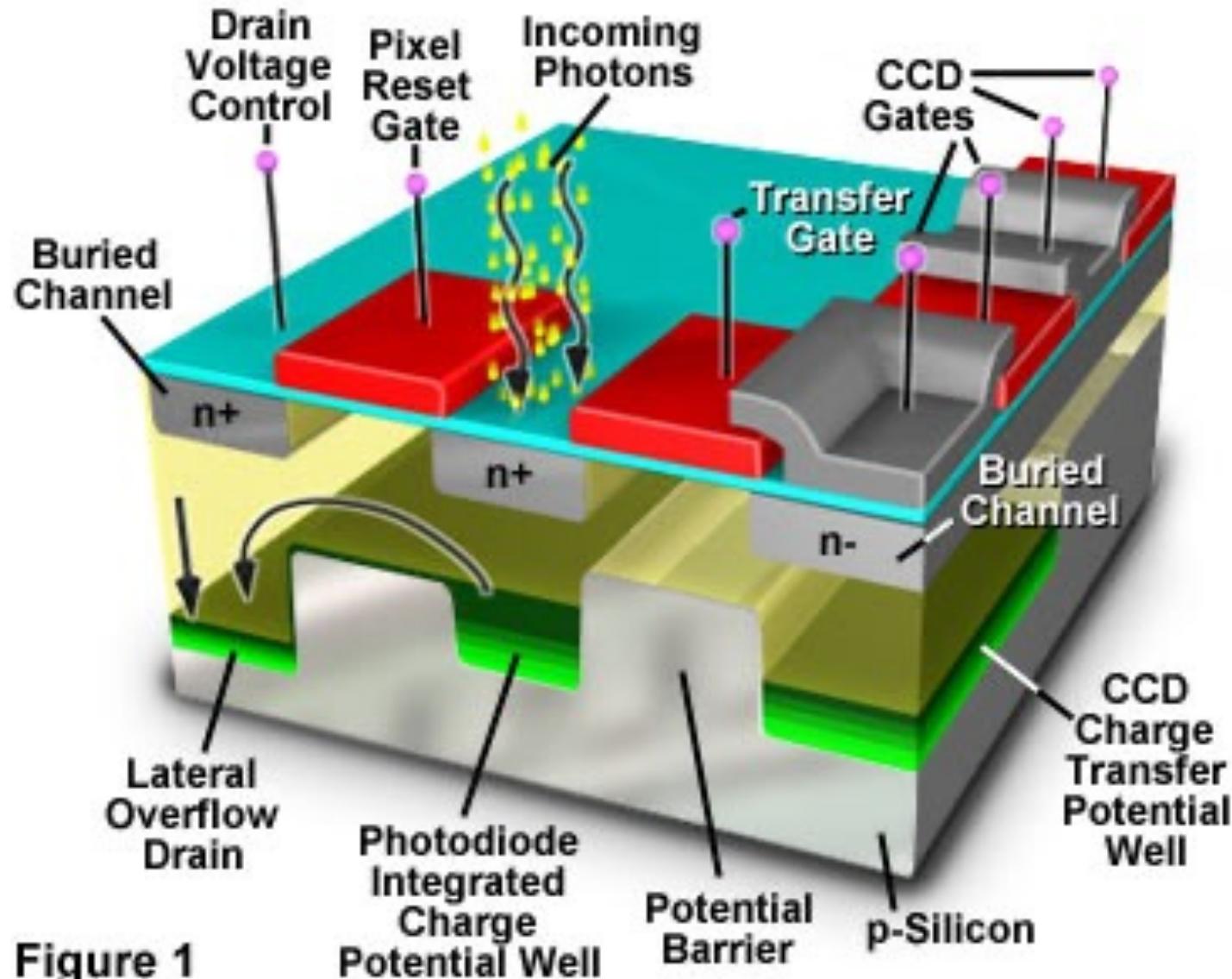
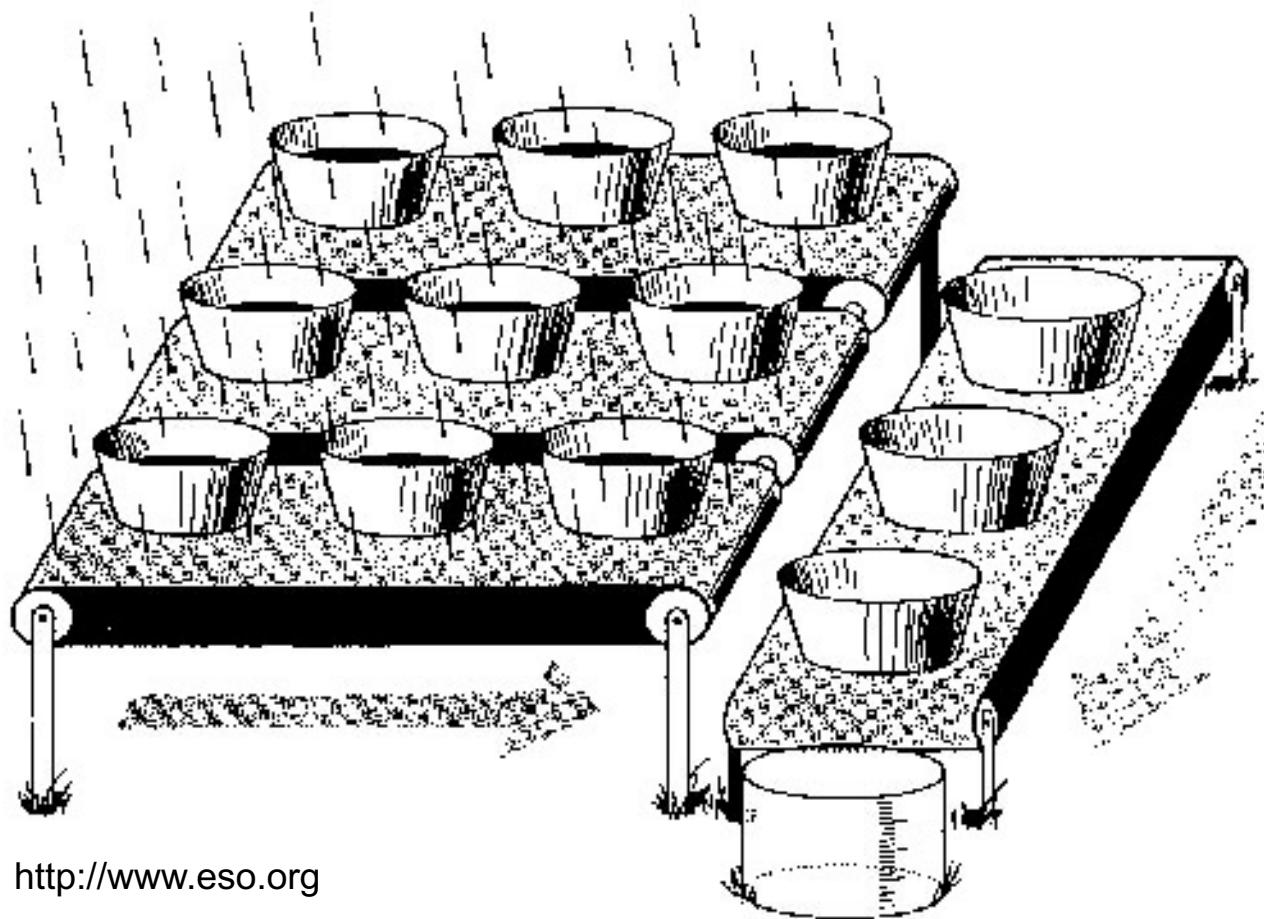


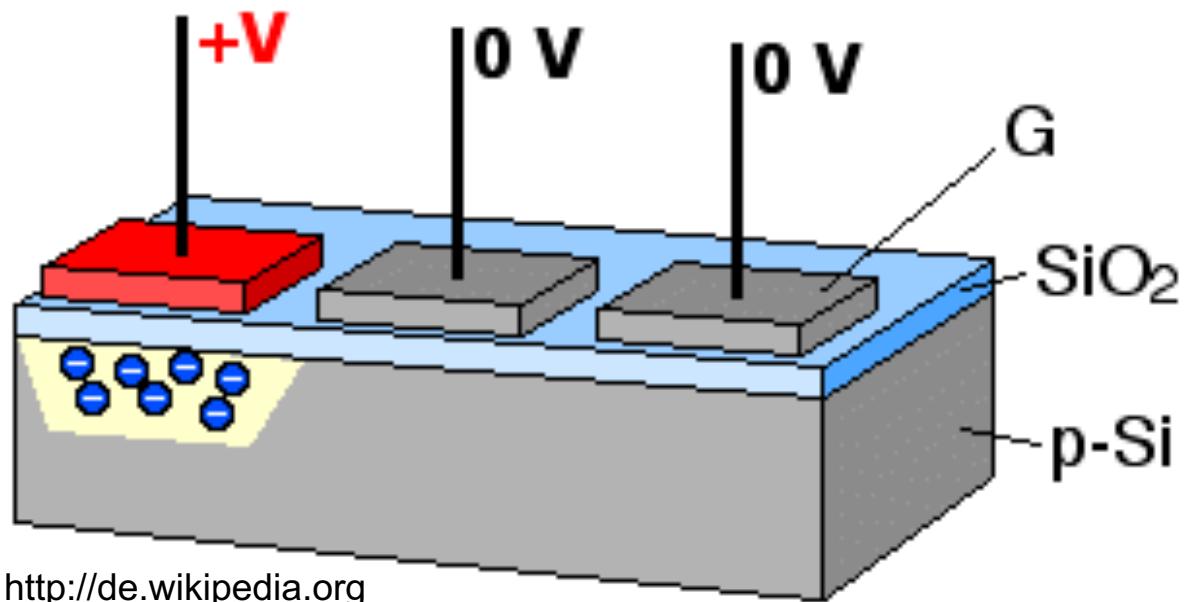
Figure 1

CCDs



<http://www.eso.org>

CCDs



<http://de.wikipedia.org>

Vertical Overflow Drain Structure

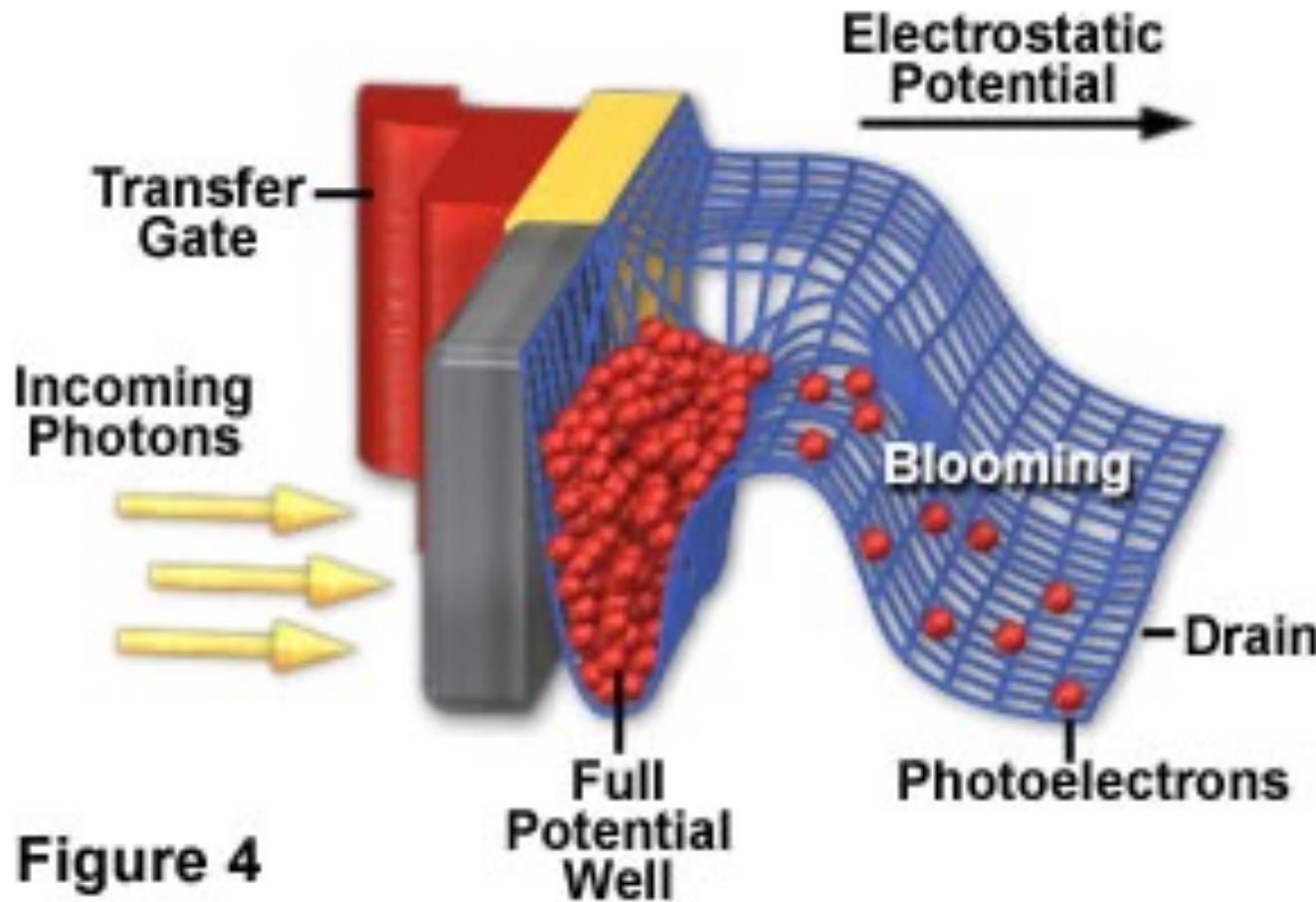
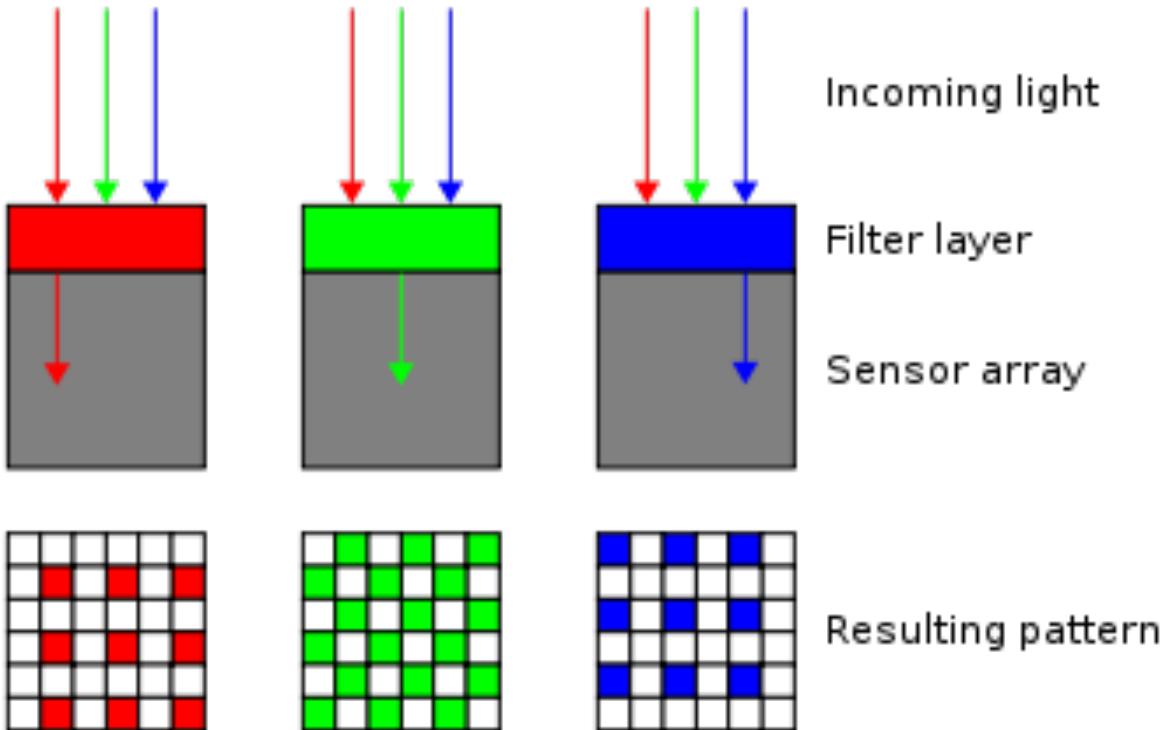


Figure 4

Fehler in digitalen Bildern (blooming)



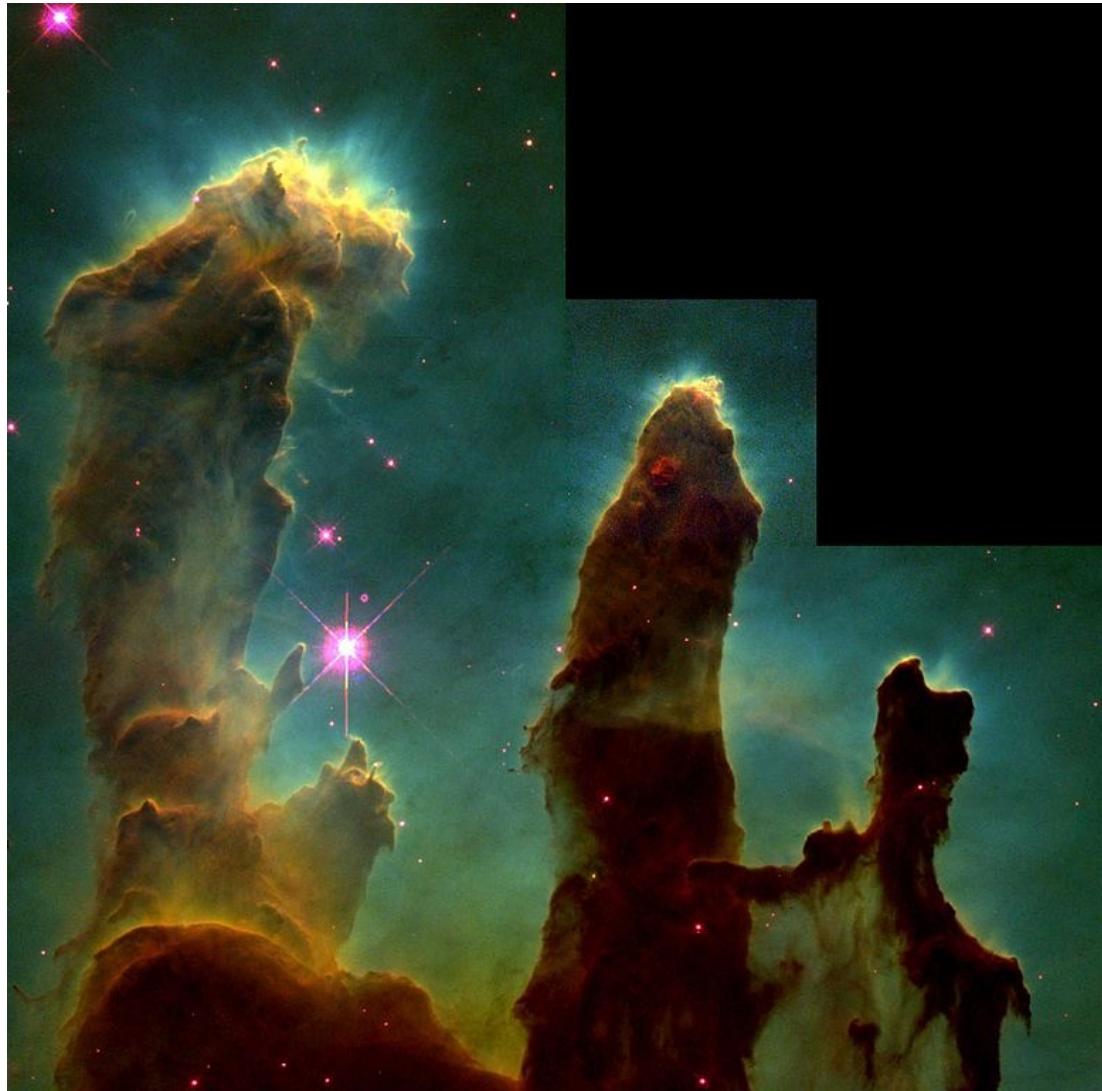
Bayer Maske



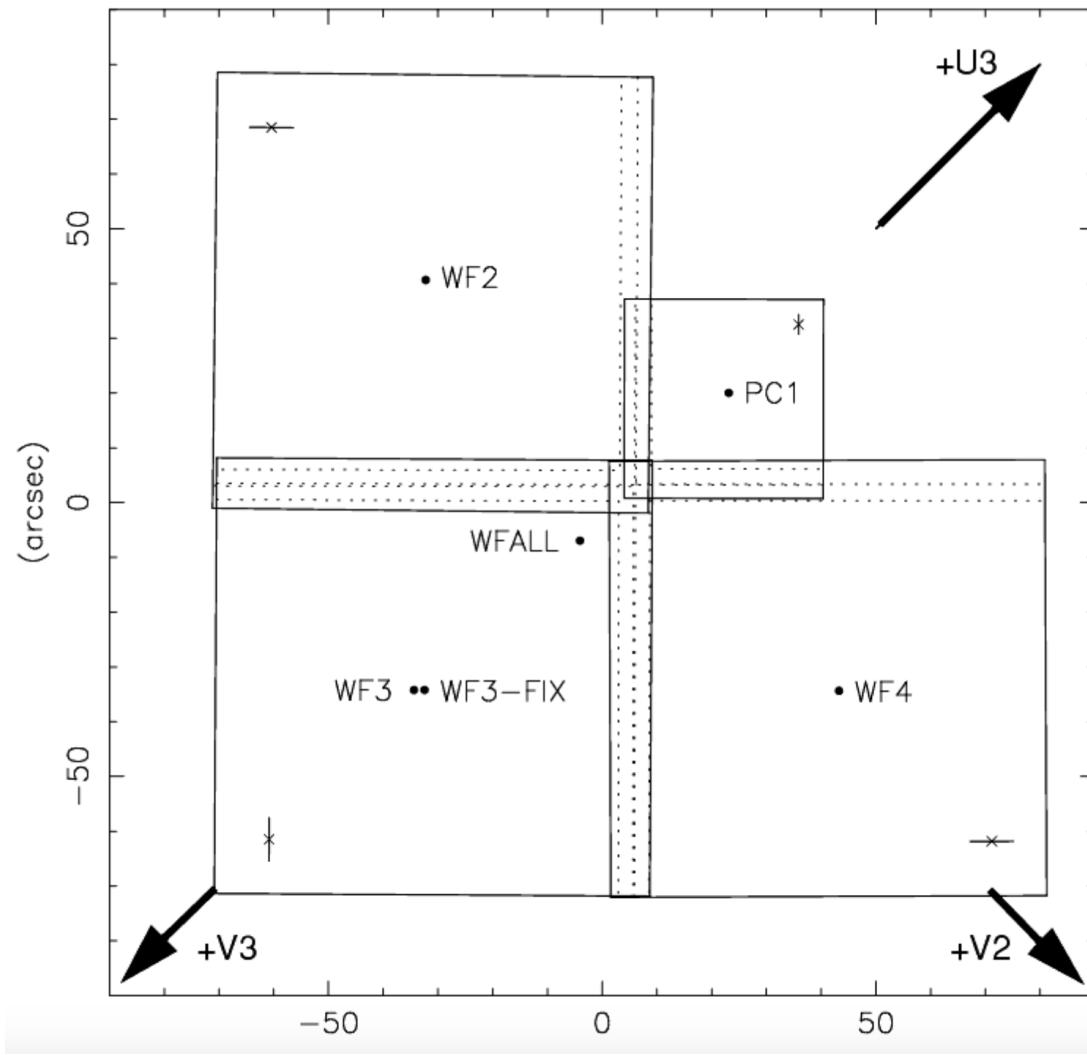
Astronomische Bildverarbeitung

<https://scilogs.spektrum.de/relativ-einfach/saeulen-der-schoepfung-von-den-daten-zum-bild/>

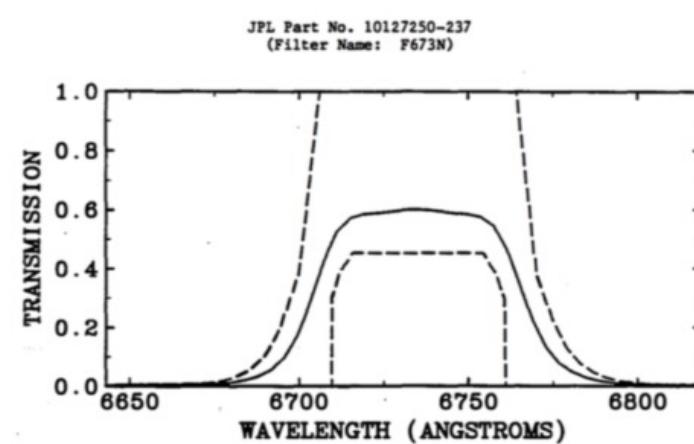
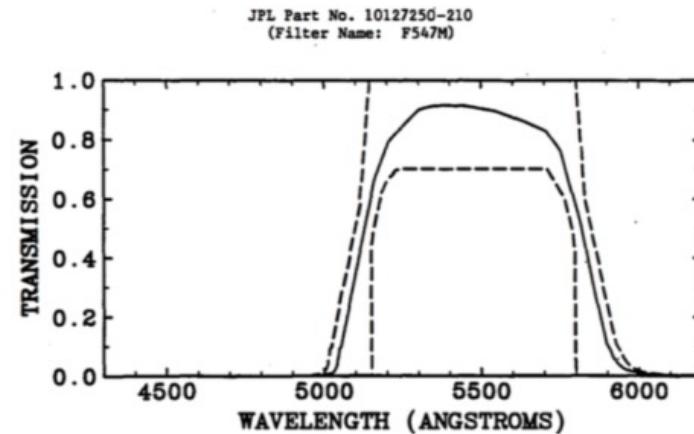
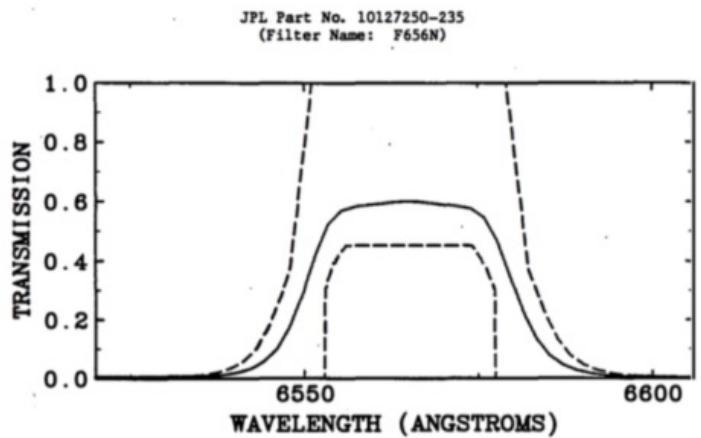
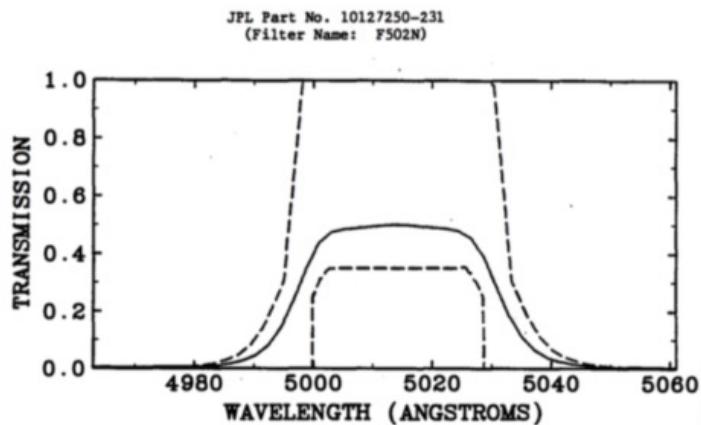
Bildverarbeitung



Hubbles Wide-Field and Planetary Camera



Farbfilter von WFPC

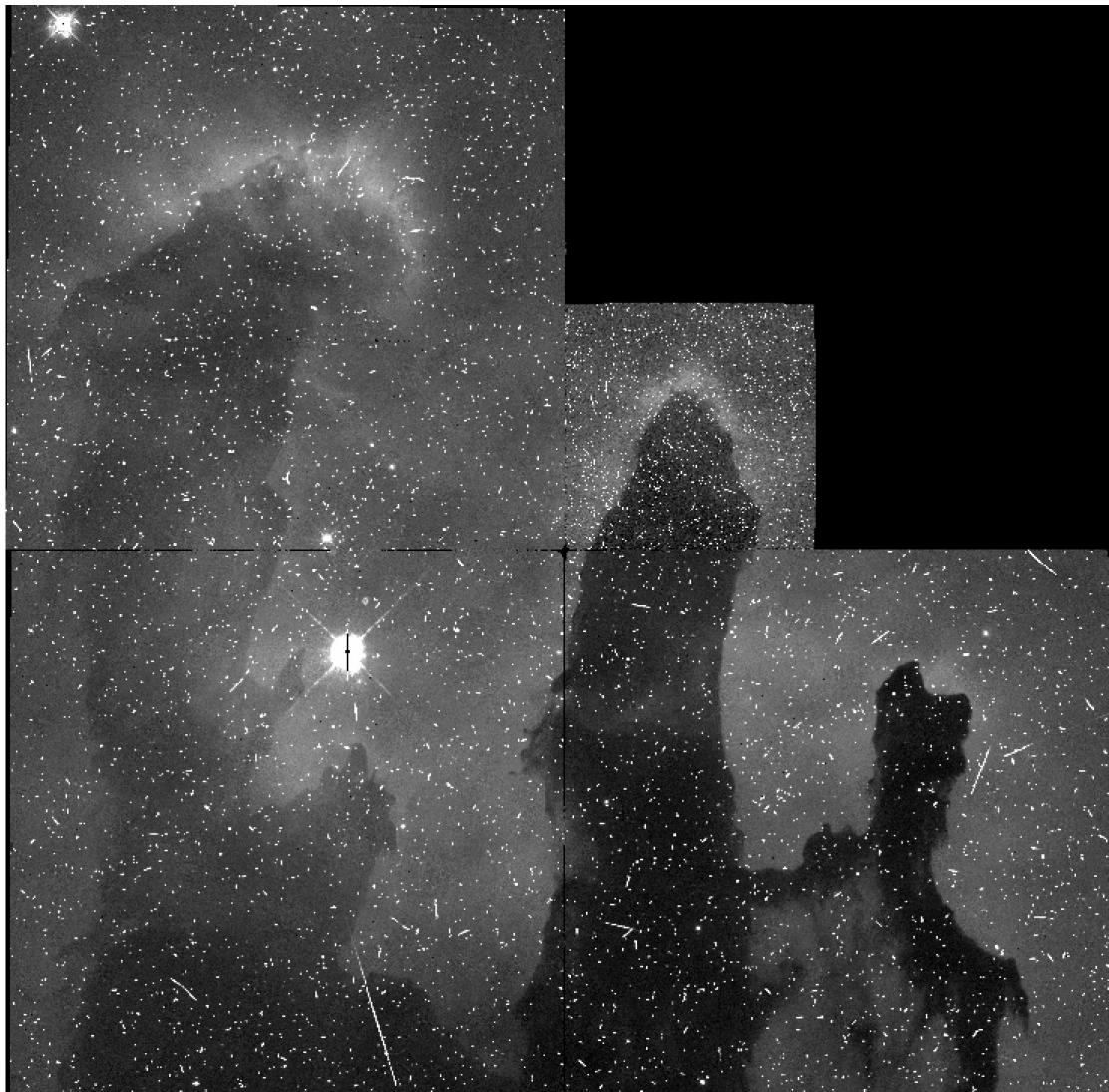


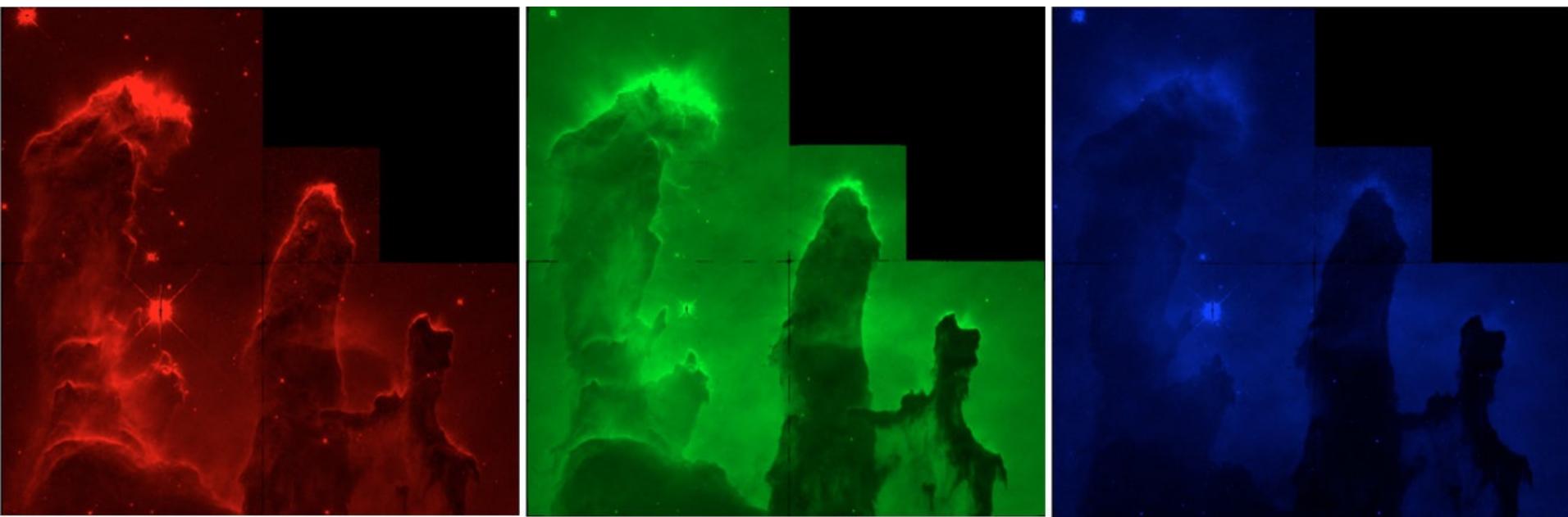
Rohbild



Rohbild Intensitätsskaliert







Rohes Farbbild

