

Kapitel 4

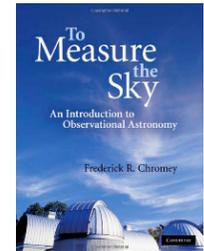
Astronomische
Beobachtung

Cornelis Dullemond
Ralf Klessen

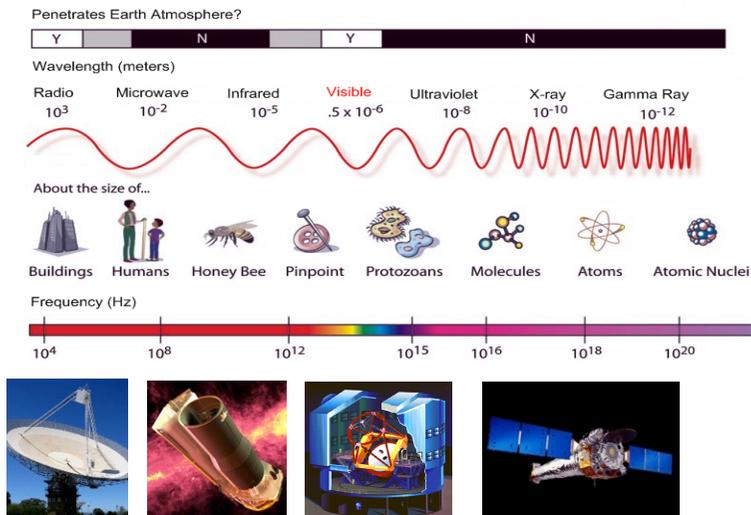
- C.R. Kitchin „Astrophysical Techniques“, Fifth Edition, CRC Press, ISBN: 978-1420082432



- F.R. Chromey „To Measure the Sky: An Introduction to Observational Astronomy“, Cambridge University Press, ISBN: 978-0521747684



Elektromagnetische Strahlung



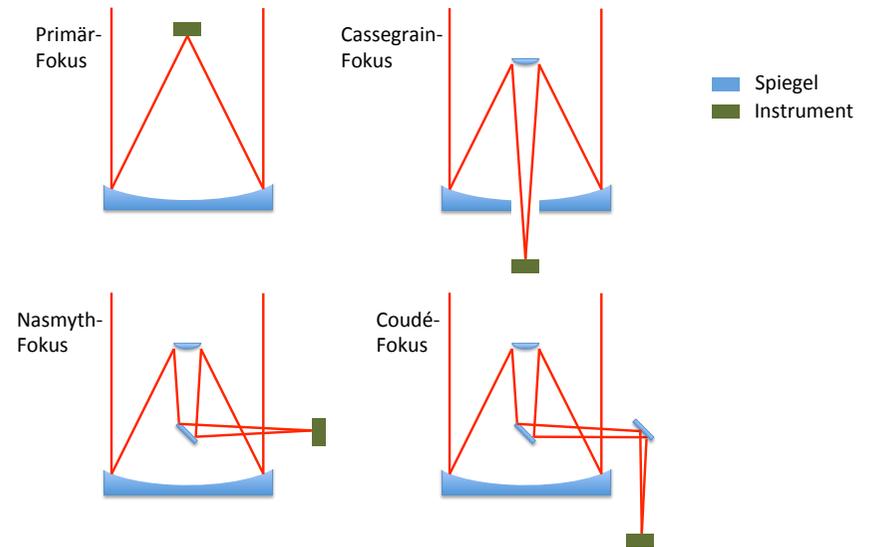
Quelle Hauptillustration: <http://www.cern.ch/index.php/2010/09/quick-explanation-of-the-electromagnetic-spectrum/>

Moderne Teleskope

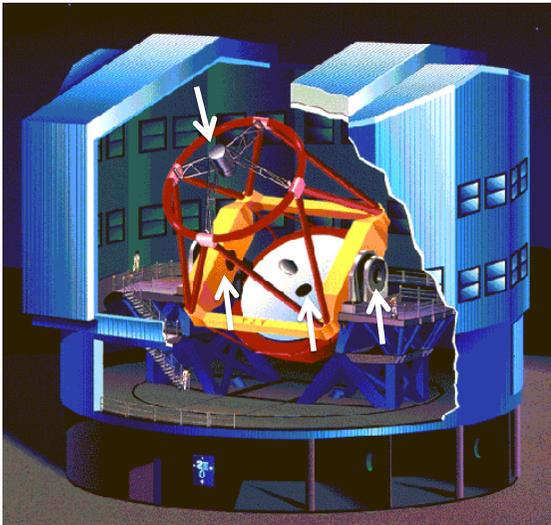
Moderne Teleskope

- Für die unterschiedlichen Wellenlängenbereiche gibt es unterschiedliche Teleskop-Konstruktionen.
- Grundsätzlich gibt es aber:
 - Ein Hauptspiegel (Primärspiegel)
 - Etliche Sekundärspiegel um das Signal umzulenken
 - Ein Instrument dass die Messung macht

Moderne Teleskope



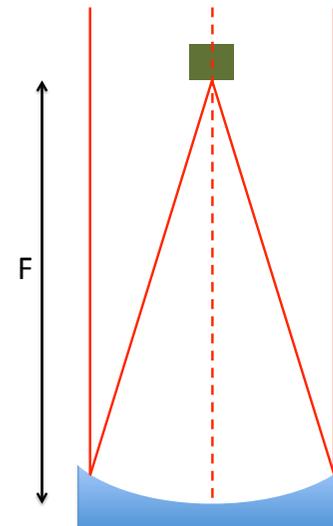
Moderne Teleskope



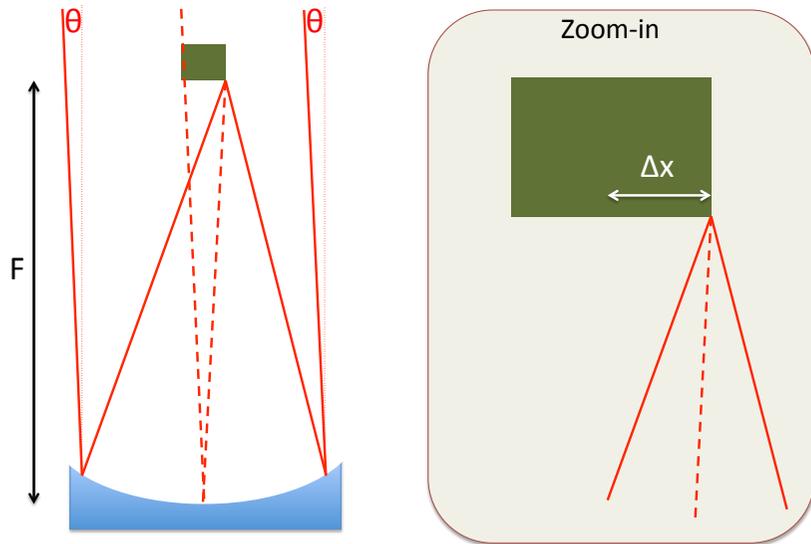
Große Teleskope haben mehrere Foki. Mit bewegbaren Spiegeln kann man zwischen den Foki wählen, und somit das Instrument auswählen, das man benutzen möchte.

Hier: Einer der 4 ESO Teleskopen des Very Large Telescope (VLT) in Chile.

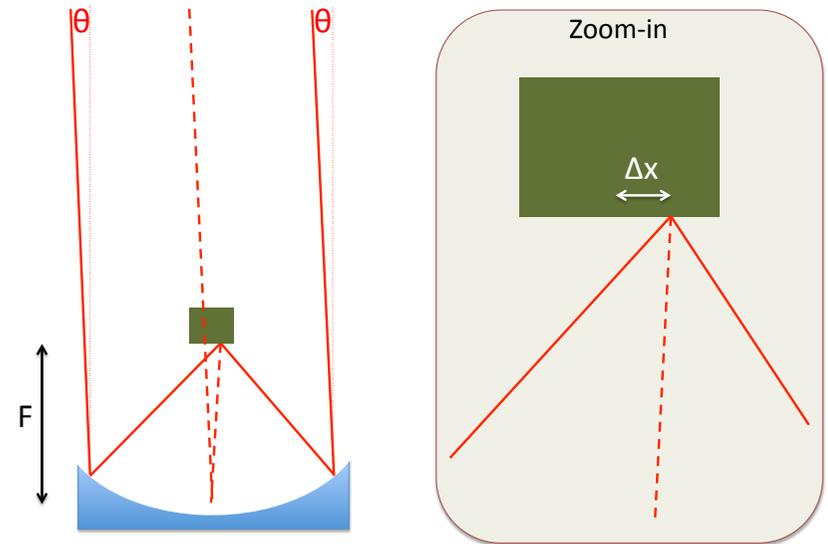
Brennweite & Räumliche Auflösung



Brennweite & Räumliche Auflösung



Brennweite & Räumliche Auflösung



Brennweite & Gesichtsfeld

Ein Winkelabstand θ projiziert sich auf die fokale Ebene als ein Abstand Δx gegeben durch:

$$\Delta x = F \tan \theta \xrightarrow{\theta \ll 1} \Delta x \cong F \theta$$

Wenn die Pixel der Kamera Größe Δx_{pixel} haben, so ist die räumliche Auflösung:

$$\theta_{\text{pixel}} = \frac{\Delta x_{\text{pixel}}}{F}$$

Da Δx_{pixel} meistens technisch limitiert ist, sollte man F so groß wie möglich machen um die höchste Auflösung zu erhalten.

Hinweis: Es gibt noch andere Beschränkungen an der räumlichen Auflösung (siehe später).

Brennweite & Gesichtsfeld

Aber große F bedeutet auch, dass man ein kleineres Feld am Himmel sieht: Gesichtsfeld, oder „Field of View“ (FOV):

$$\theta_{\text{FOV}} = \frac{\Delta x_{\text{FOV}}}{F}$$

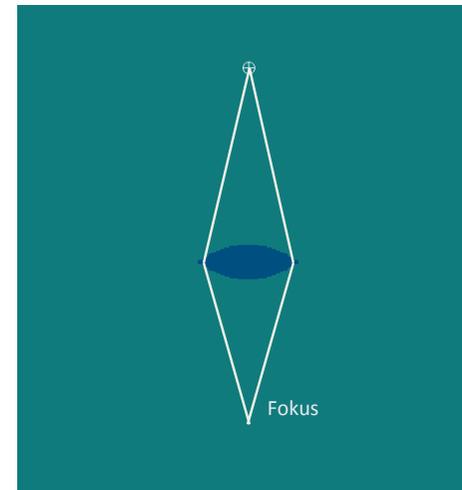
Wenn man sowohl eine große Auflösung als auch ein großes FOV haben möchte, braucht man eine Kamera mit vielen Pixeln:

$$N_{\text{pixel},x} = \frac{\theta_{\text{FOV}}}{\theta_{\text{pixel}}}$$

$$N_{\text{pixel}} = N_{\text{pixel},x} N_{\text{pixel},y}$$

Die Grenzen der Beobachtung

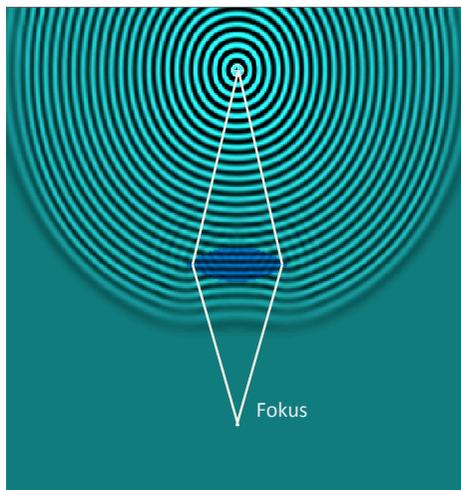
Grenze der räumlichen Auflösung



Beugungslimit (Diffraction)

Versuchen Sie es selbst: <http://www.falstad.com/ripple/>

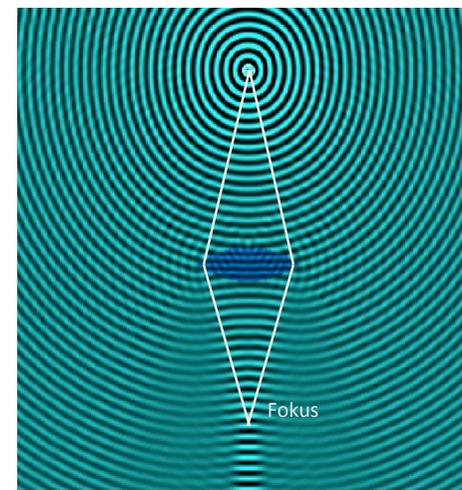
Grenze der räumlichen Auflösung



Beugungslimit (Diffraction)

Versuchen Sie es selbst: <http://www.falstad.com/ripple/>

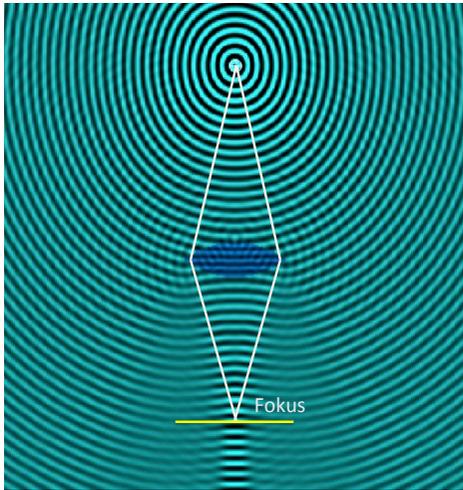
Grenze der räumlichen Auflösung



Beugungslimit (Diffraction)

Versuchen Sie es selbst: <http://www.falstad.com/ripple/>

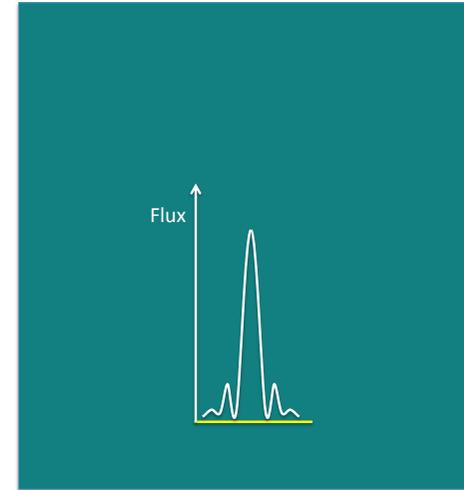
Grenze der räumlichen Auflösung



Beugungslimit (Diffraktion)

Versuchen Sie es selbst: <http://www.falstad.com/ripple/>

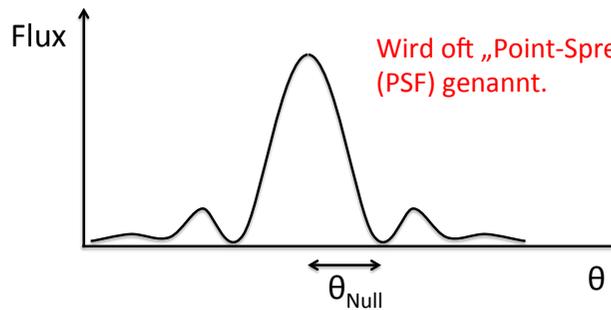
Grenze der räumlichen Auflösung



Beugungslimit (Diffraktion)

Grenze der räumlichen Auflösung

Airy Muster



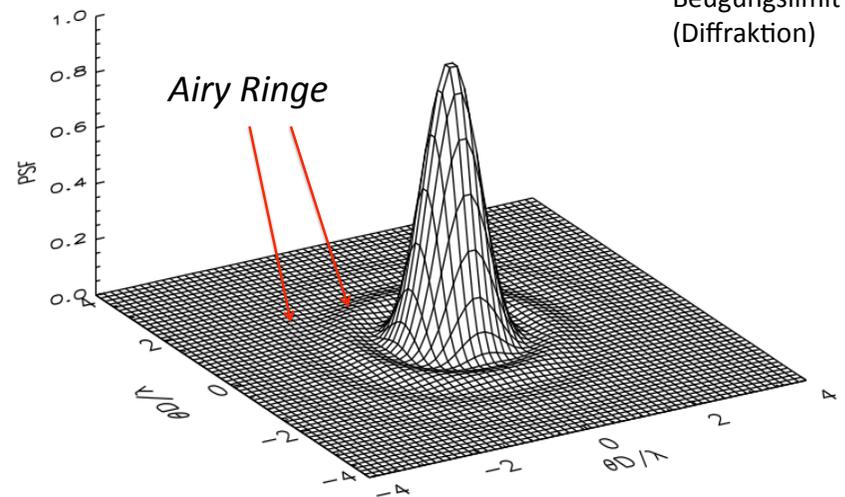
Wird oft „Point-Spread Function“ (PSF) genannt.

Beugungslimit (Diffraktion)

$$\theta_{\text{Null}} \equiv \theta_{\text{Auflösung}} = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

θ = Winkel am Himmel (in Radian)
 λ = Wellenlänge (in cm)
 D = Teleskop-Diameter (in cm)

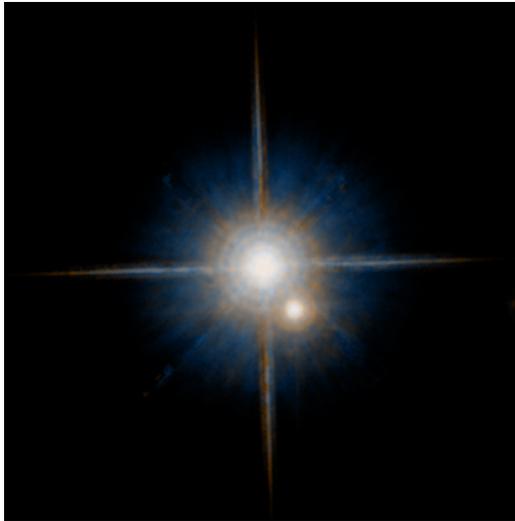
Grenze der räumlichen Auflösung



Beugungslimit (Diffraktion)

Grenze der räumlichen Auflösung

Airy Ringe

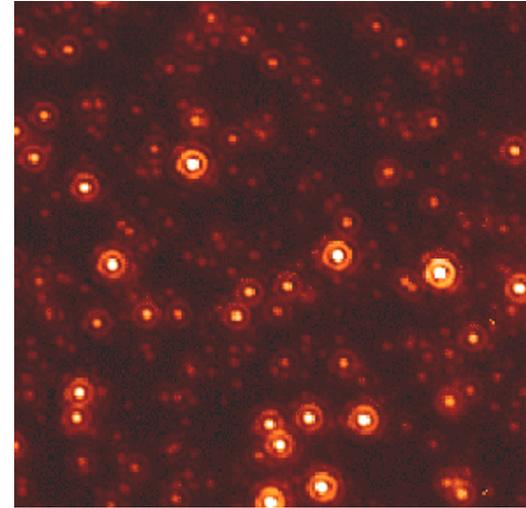


Hubble Space Telescope

<http://asterisk.apod.com/viewtopic.php?f=29&t=21753>

Grenze der räumlichen Auflösung

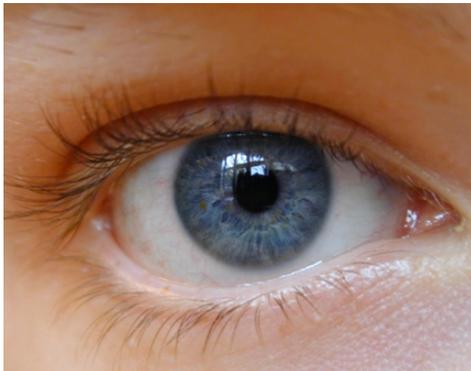
Airy Ringe



Gemini Teleskop

<http://www.gemini.edu/?q=node/11726>

Grenze der räumlichen Auflösung

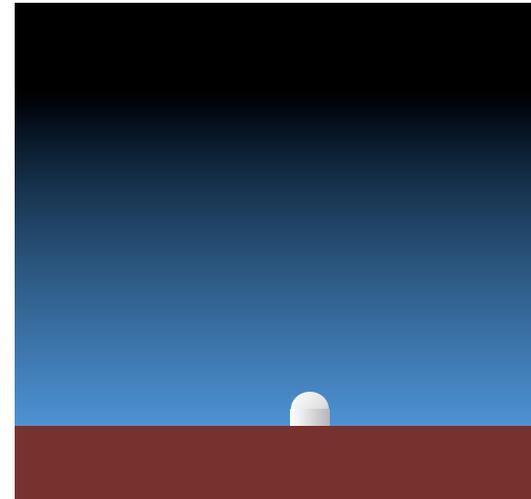


$$\theta_{\text{Auflösung}} = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

$$\lambda \approx 0.5 \times 10^{-4} \text{ cm}$$
$$D \approx 0.2 \text{ cm}$$

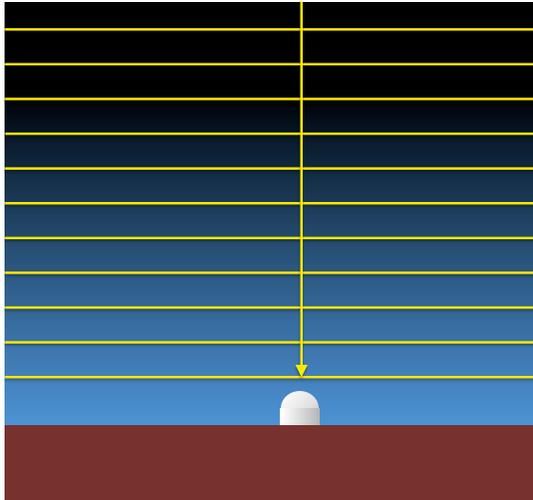
$$\theta_{\text{Auflösung}} \approx 3 \times 10^{-4} \text{ rad}$$
$$\approx 1'$$

Atmosphärische Störungen: Seeing



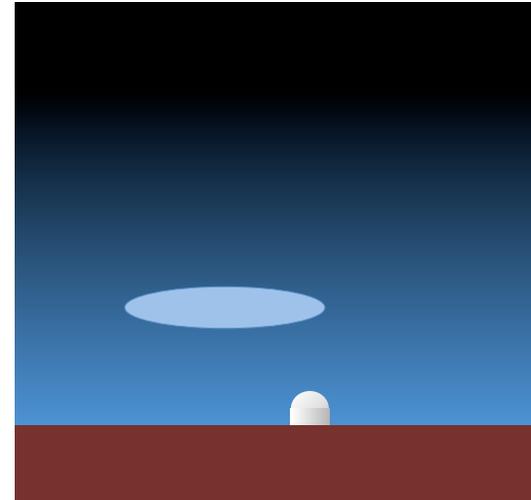
Eine nicht-turbulente Atmosphäre: kein „Seeing“.

Atmosphärische Störungen: Seeing



Eine nicht-turbulente Atmosphäre: kein „Seeing“.

Atmosphärische Störungen: Seeing



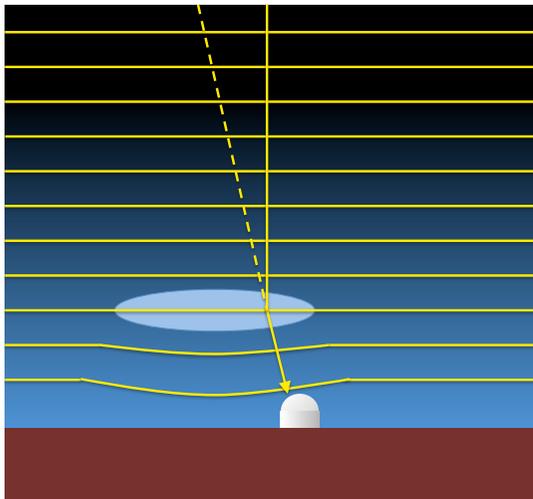
Eine Atmosphäre mit einer Blase mit wärmerer Luft.

Druckgleichgewicht bedeutet: niedrigerer Dichte.

Deshalb: niedrigere Brechungsindex n .

Wirkt wie eine konkave Linse.

Atmosphärische Störungen: Seeing



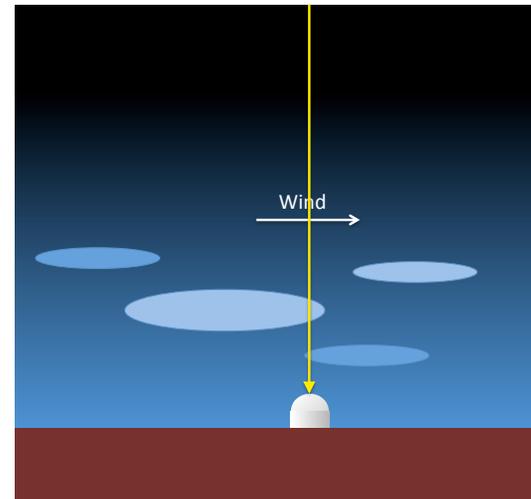
Eine Atmosphäre mit einer Blase mit wärmerer Luft.

Druckgleichgewicht bedeutet: niedrigerer Dichte.

Deshalb: niedrigere Brechungsindex n .

Wirkt wie eine konkave Linse.

Atmosphärische Störungen: Seeing



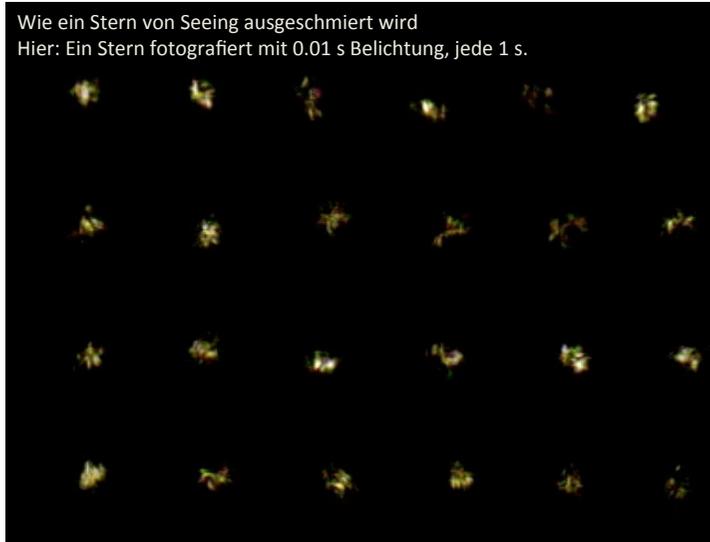
Turbulenz kombiniert mit Konvektion produziert eine Luft mit vielen Dichte-Schwankungen.

Der Wind sorgt dafür, dass wir ständig durch andere Blasen schauen. Dies liefert „Seeing“:



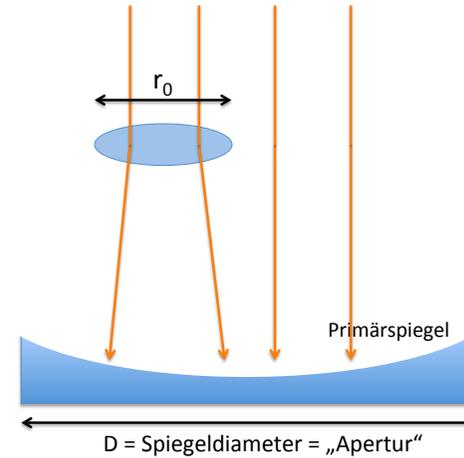
Quelle des Films: Wikipedia

Seeing: Speckles



Quelle: <http://www.astr.ua.edu/keel/techniques/mountings.html>

Seeing: Speckles



r_0 = kleinste relevante Blase
 = „Fried Parameter“
 (für optisch/NIR: typische Wert an einem guten Beobachtungsort ist: $r_0 \sim 10 \text{ cm}$)

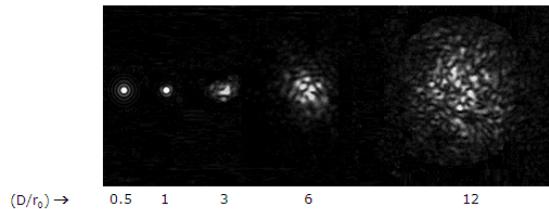
Wenn $D \ll r_0$: „Diffraction limited“

Wenn $D \gg r_0$: „Seeing limited“

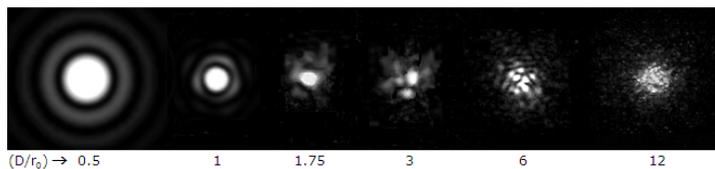
Seeing: Speckles

ANGULAR DIFFRACTION PATTERN AS A FUNCTION OF D/r_0 FOR FIXED APERTURE D (TOP) AND r_0 (BOTTOM)

Gleiches Teleskop, immer stärkeres „seeing“

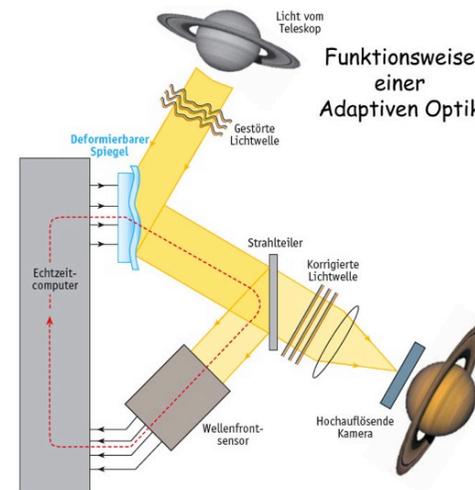


Gleiches „seeing“, immer größeres Teleskop



Quelle des Bildes: http://www.telescope-optics.net/seeing_and_aperture.htm

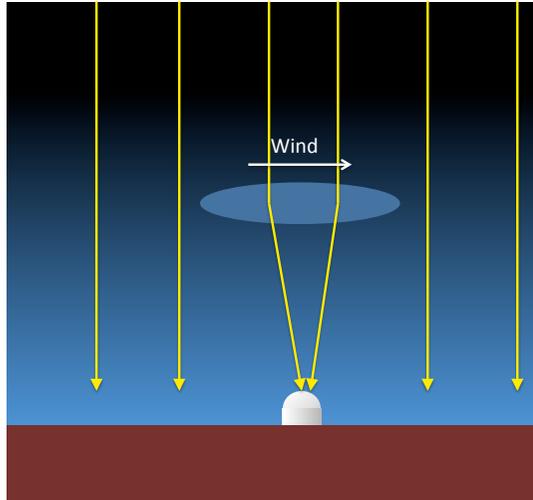
Adaptive Optik (AO)



Mit adaptiver Optik kann man die Seeing-Störungen und die Speckles zum Teil aufheben, und damit Bilder produzieren, die beugungsbegrenzt sind anstatt seeing-limitiert. Da 8m-Teleskope viel größer sind als das Hubble Space Telescope (HST), kann man hiermit theoretisch bessere Bilder als das HST machen. Allerdings ist diese Technik nicht perfekt. Die Qualität wird vom „Strehl ratio“ quantifiziert.

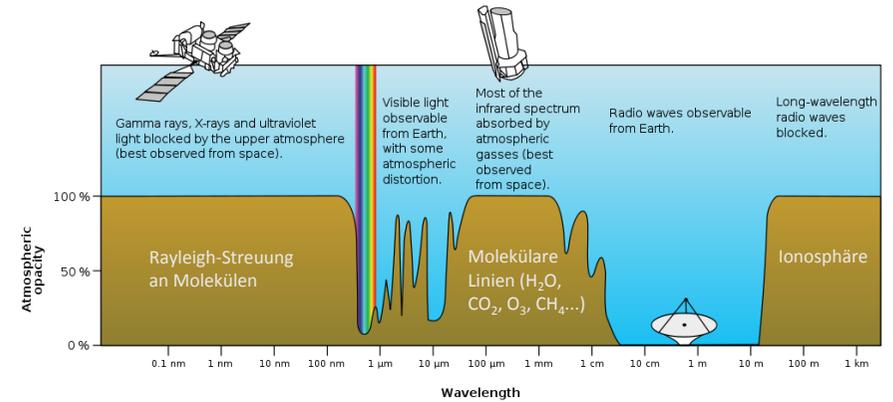
Urheber: Stefan Hippler
 Quelle: http://www.mpia.de/homes/hippler/AOonline/C02/AO_Funktionsweise.jpg

Atmosphärische Störungen: Scintillation



Wenn die Blasen hoch genug in der Atmosphäre sind (d.h. weit genug vom Teleskop weg), dann kann die Beugung den Fluss erhöhen oder unterdrücken. Dies führt zum Funkeln der Sterne („Scintillation“).

Absorption der Erdatmosphäre

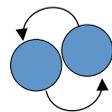


Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Earth

Molekulare Linien

Quantenzustände von Molekülen in der Erdatmosphäre sind leicht von Licht anregbar. Sie blockieren deshalb unsere Beobachtungen in vielen Wellenlängenbereichen.

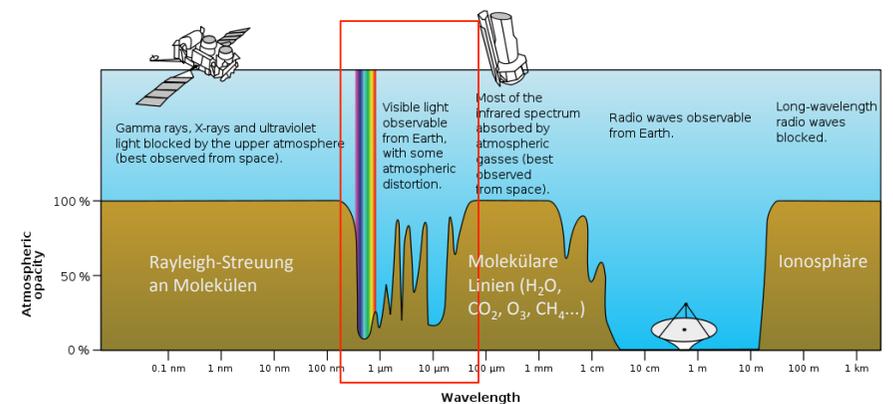
Rotationszustände:



Vibrationszustände:

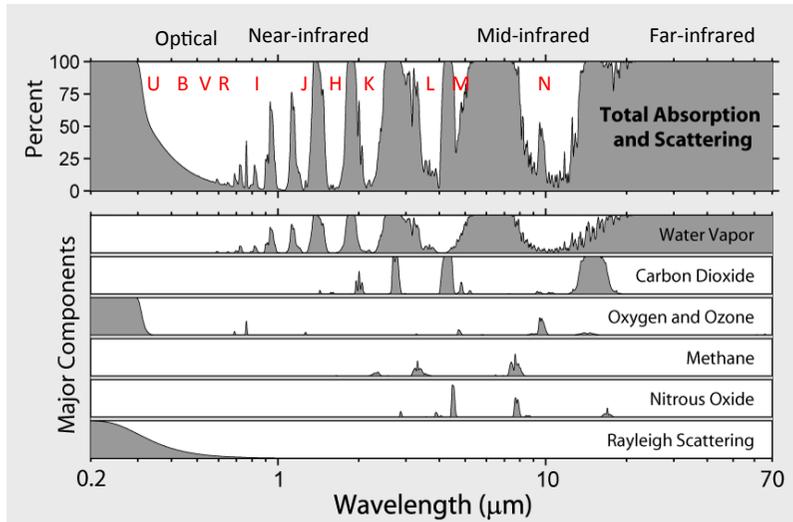


Absorption der Erdatmosphäre



Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Earth

Absorption der Erdatmosphäre

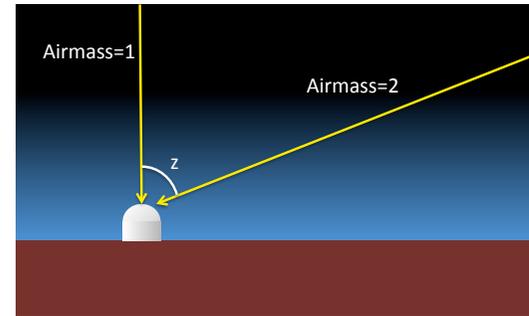


Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Atmospheric_Transmission.png

Universelle Himmelskoordinaten

(Zwar an der Erde orientiert, aber auch gültig für z.B. Raumteleskope)

„Airmass“

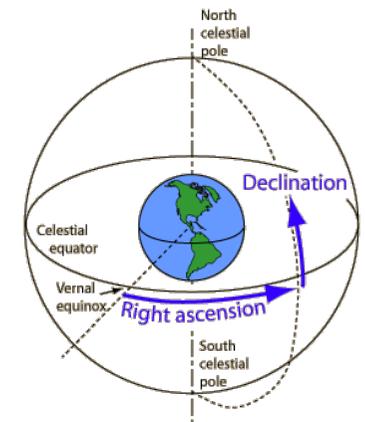


$$\text{Airmass} = \frac{1}{\cos z}$$

Je höher der „Airmass“ desto mehr Absorption durch die Atmosphäre muss man erwarten.

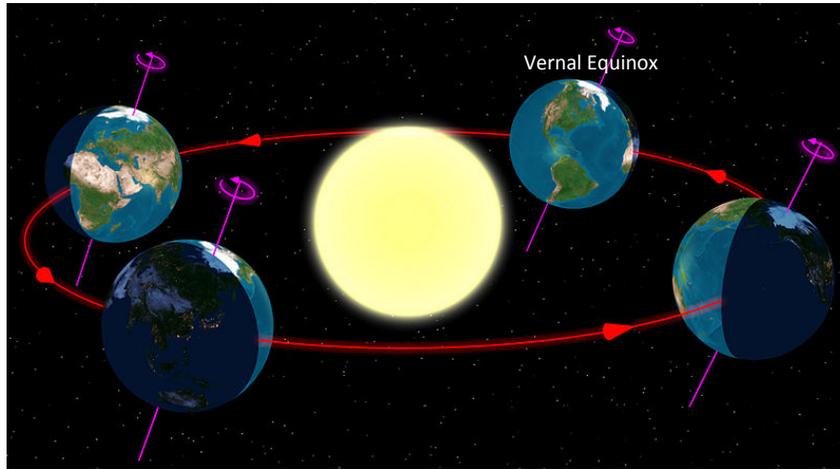
Koordinaten

- Das Koordinatensystem des Sternhimmels ist an unserer Erde orientiert.
- Deklination wird in Grad (degrees) gemessen, mit Unterstufen Bogenminuten (') und Bogensekunden (").
- Rektaszension wird in Stunden gemessen (360°=24hr), mit Unterstufen Minuten (m) und Sekunden (s).



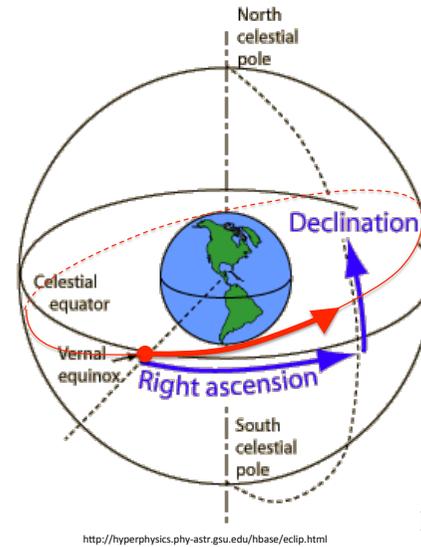
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/eclip.html>

Jahreszeiten



Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/File:North_season.jpg

Koordinaten, Sonnenposition



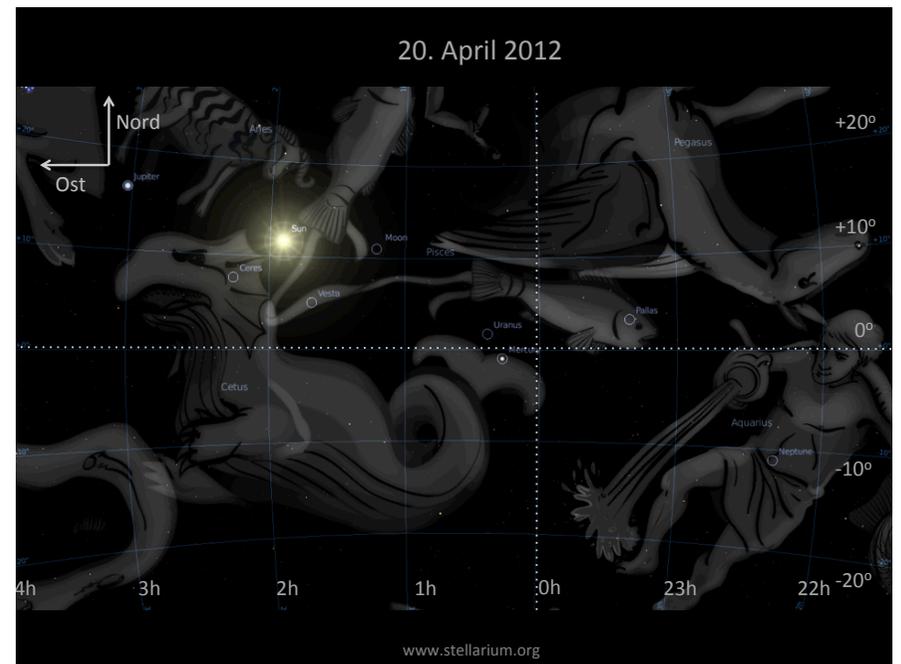
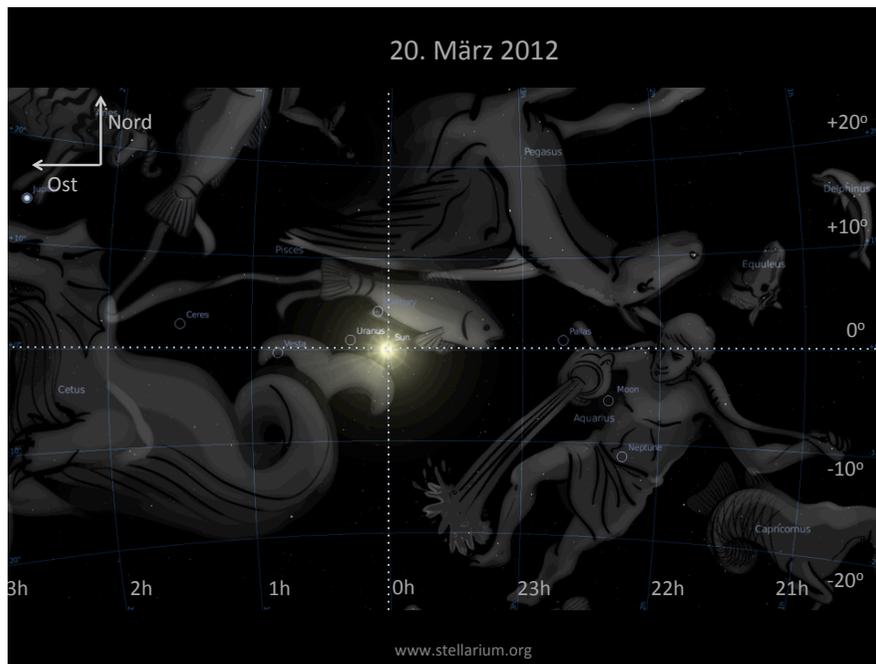
„Vernal Equinox“ ist die Position der Sonne am Himmel am 20. März, und zeigt immer in Richtung des Sternbildes „Pisces“

Die Rektaszension wird von dort aus gemessen.

- Position der Sonne im Laufe des Jahres
- Position der Sonne am Vernal Equinox (Anfang der Frühling) = 20. März.

Ungefähre RA der Sonne im Laufe des Jahres:

$$RA_{\text{Sonne}} \approx \frac{\text{Tage nach 20. März}}{365.25} \times 24$$

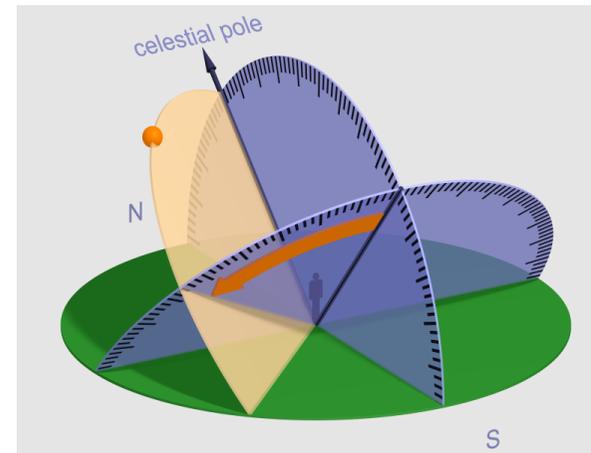


Lokale Himmelsorientierung

(wenn man an einem bestimmten *Ort*,
zur bestimmten *Zeit* nach oben schaut)

Stundenwinkel (hour angle)

Am einfachsten benutzt man Stundenwinkel & Deklination



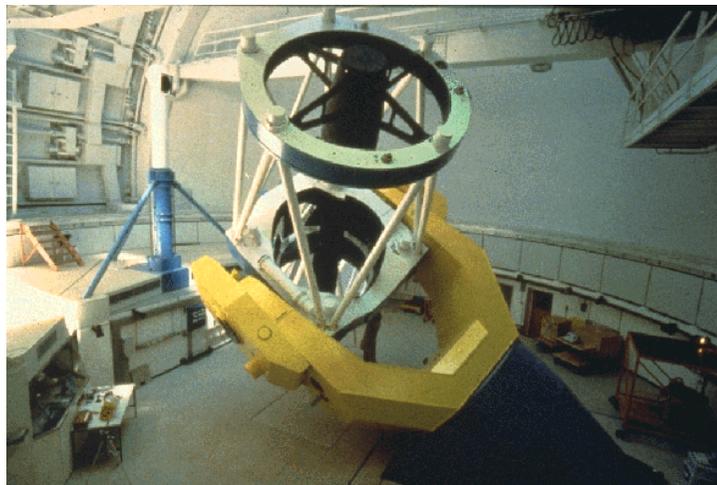
Der Stundenwinkel HA kann man aus der RA und der lokalen Sternzeit (local siderial time LST) berechnen:

$$HA = LST - RA$$

Ganz praktisch! Man muss nur eine „local siderial time clock“ haben (dafür gibt es Computerprogramme) und schon kann man schnell HA berechnen und das Object finden.

Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e2/HourAngle_Observer_en.png

Äquatoriale Montierung



Calar Alto 2.2m Teleskop

Zeitrechnung

Astronomische Zeitrechnung ist etwas kompliziert...

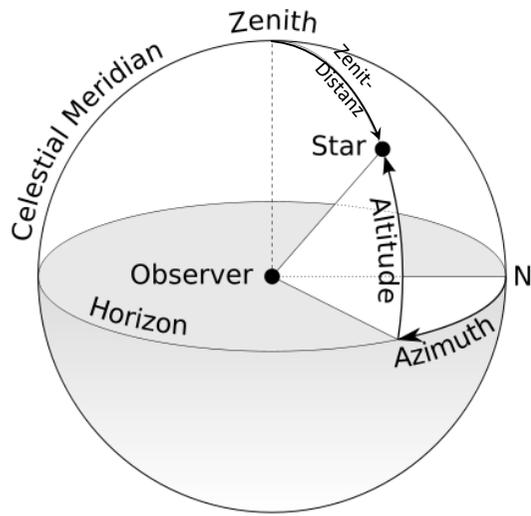
Universal Time (UT): Zeit am 0-Meridian (Greenwich). Es gibt verschiedene Versionen von UT: UTC, UT1, UT2, GMT... Unsere (Heidelberg) Winterzeit ist UT+1

Julianisches Datum (JD): Zeit in Tage seit Mittag am 1. Januar, 4713 BC. Beispiel: Heute (22. November) ist 2456254, und heute um 16:30 Heidelberg-Zeit (=15:30 UT) ist es genau 2456254.14583. Es gibt Converter, z.B.: <http://www.aavso.org/jd-calculator>.

Local Siderial Time (LST): Auch hierfür gibt es ein Calculator: <http://www.jgiesen.de/astro/astroJS/siderealClock/>

Achtung: Eine Sekunde Fehler in der Zeitrechnung → 15 arcsec falsche Ausrichtung!

Lokale Altitude-Azimuth-Koordinaten



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Azimuth-Altitude_schematic.svg

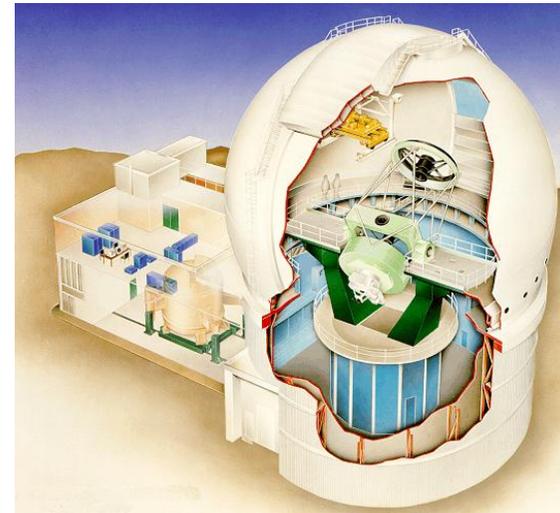
Alt = Altitude (in Grad)
 Az = Azimuth (in Grad)
 z = Zenitdistanz (in Grad)

$$z = 90 - \text{Alt}$$

Die Umrechnung von Alt-Az Koordinaten in RA-DEC oder h-DEC Koordinaten erfordert etwas Trigonometrie. Es gibt aber auch hierfür Computerprogramme.

Alt-Az Montierung

(Standard für alle moderne Großteleskopen)



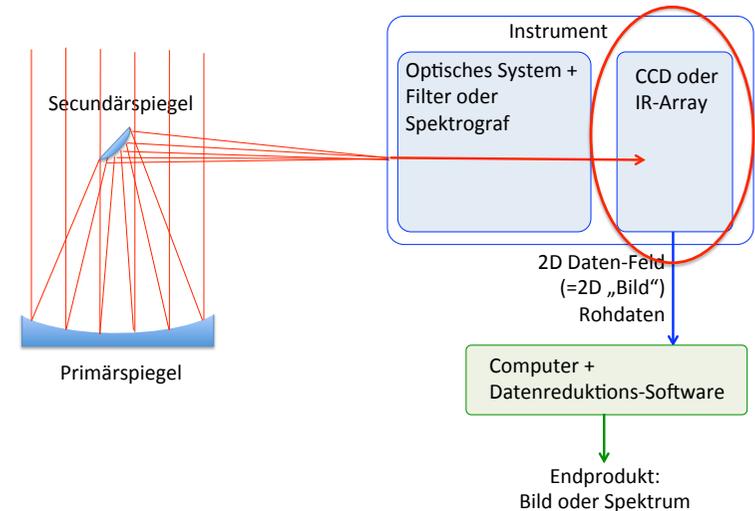
<http://www.ing.iac.es/Astronomy/telescopes/wh/>

Da die Steuerung von Teleskopen heute von Computern gemacht wird, ist die äquatoriale Montierung nicht mehr notwendig. Da die Alt-Azimuth Montierung stabiler mit weniger Material ist, wird dies heutzutage für große Teleskope immer benutzt.

Hier: das William Herschel Teleskop auf La Palma

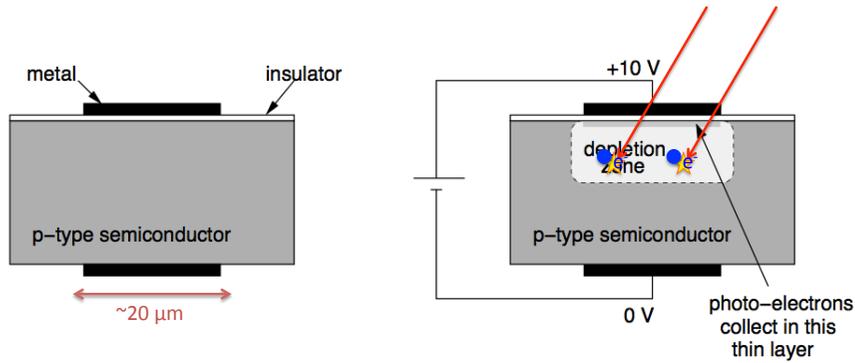
Instrumente für ultraviolette, optische und infrarote Wellenlängen

Opt/IR Teleskop, Instrument, CCD



Charge-Coupled Device (CCD)

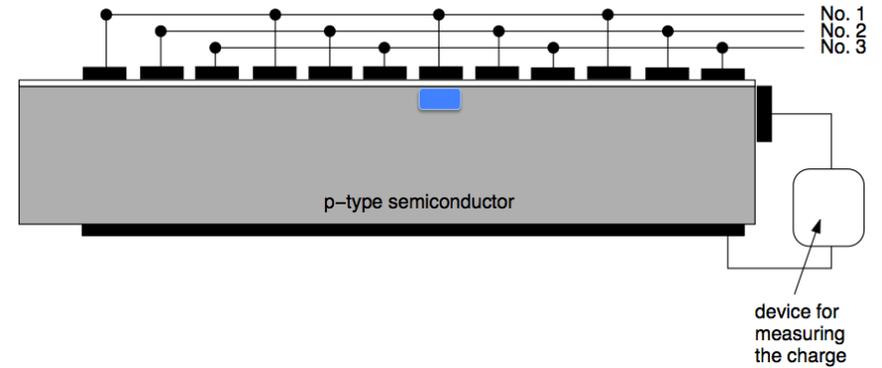
Phase 1: Sammeln von Photonen auf einem Pixel



Quelle: http://www.ita.uni-heidelberg.de/~dullemond/lectures/obsastro_2010/index.shtml

Charge-Coupled Device (CCD)

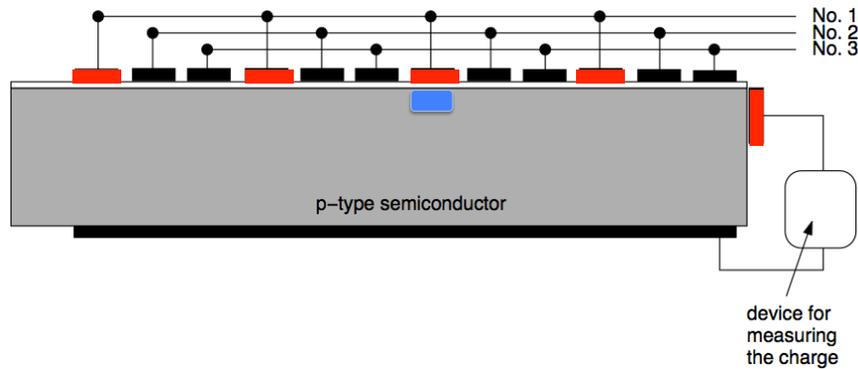
Phase 2: Auslesen von einem Array von Pixeln



Quelle: http://www.ita.uni-heidelberg.de/~dullemond/lectures/obsastro_2010/index.shtml

Charge-Coupled Device (CCD)

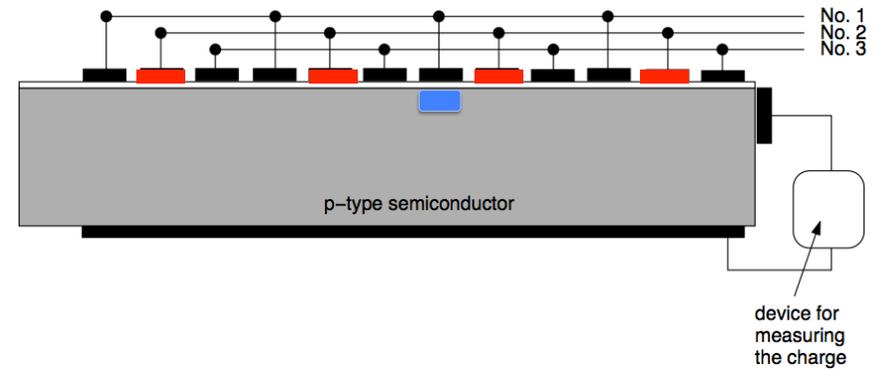
Phase 2: Auslesen von einem Array von Pixeln



Quelle: http://www.ita.uni-heidelberg.de/~dullemond/lectures/obsastro_2010/index.shtml

Charge-Coupled Device (CCD)

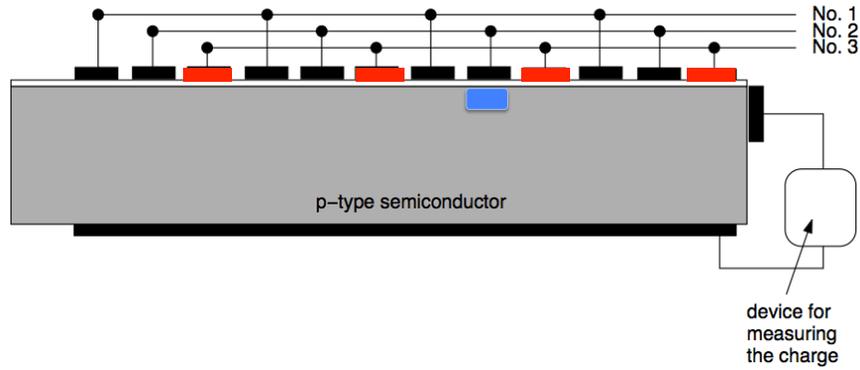
Phase 2: Auslesen von einem Array von Pixeln



Quelle: http://www.ita.uni-heidelberg.de/~dullemond/lectures/obsastro_2010/index.shtml

Charge-Coupled Device (CCD)

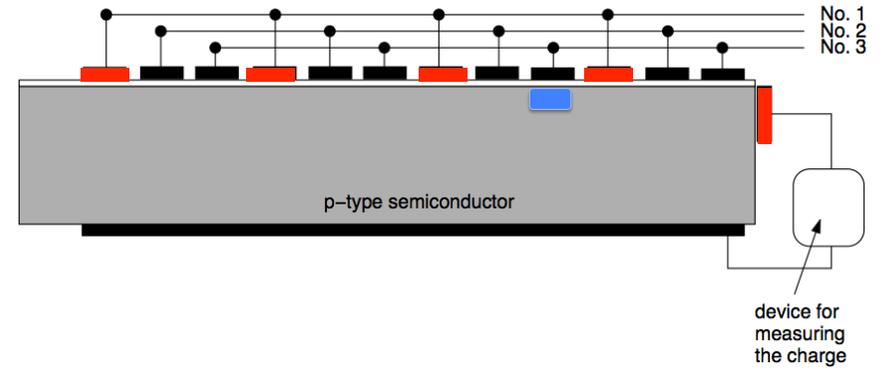
Phase 2: Auslesen von einem Array von Pixeln



Quelle: http://www.ita.uni-heidelberg.de/~dullemond/lectures/obsastro_2010/index.shtml

Charge-Coupled Device (CCD)

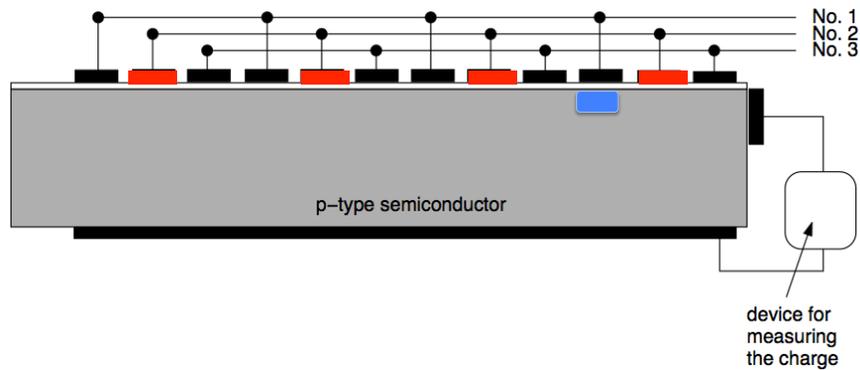
Phase 2: Auslesen von einem Array von Pixeln



Quelle: http://www.ita.uni-heidelberg.de/~dullemond/lectures/obsastro_2010/index.shtml

Charge-Coupled Device (CCD)

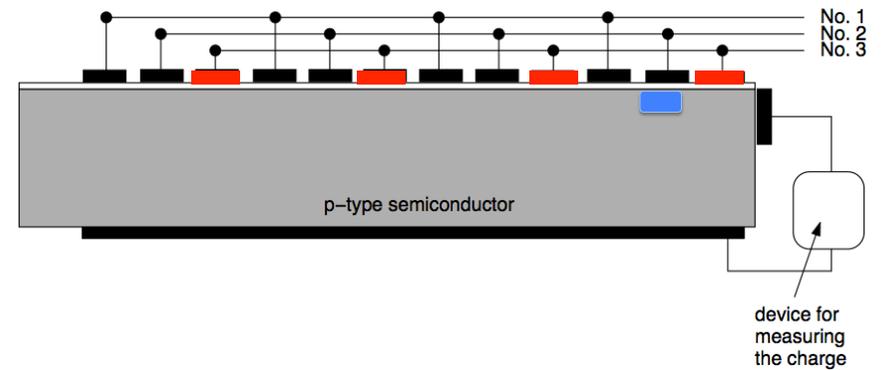
Phase 2: Auslesen von einem Array von Pixeln



Quelle: http://www.ita.uni-heidelberg.de/~dullemond/lectures/obsastro_2010/index.shtml

Charge-Coupled Device (CCD)

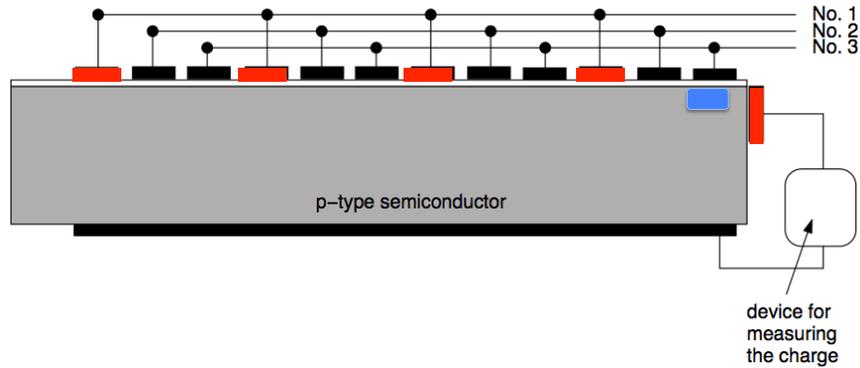
Phase 2: Auslesen von einem Array von Pixeln



Quelle: http://www.ita.uni-heidelberg.de/~dullemond/lectures/obsastro_2010/index.shtml

Charge-Coupled Device (CCD)

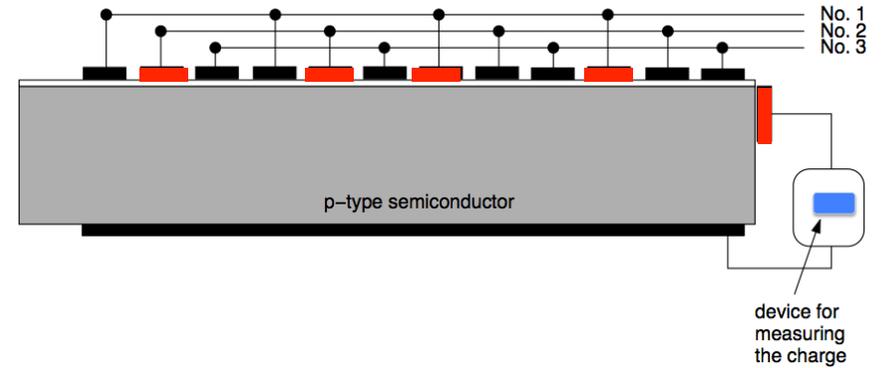
Phase 2: Auslesen von einem Array von Pixeln



Quelle: http://www.ita.uni-heidelberg.de/~dullemond/lectures/obsastro_2010/index.shtml

Charge-Coupled Device (CCD)

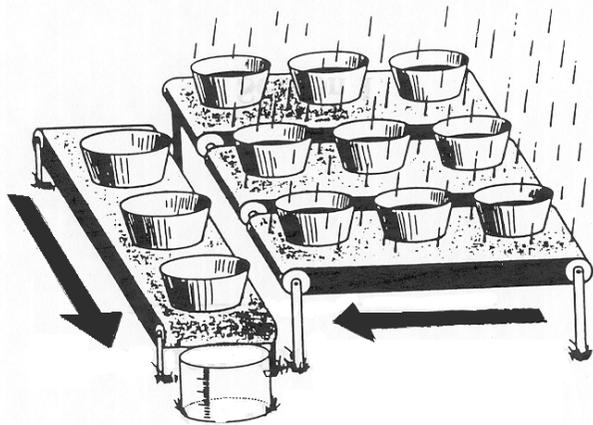
Phase 2: Auslesen von einem Array von Pixeln



Quelle: http://www.ita.uni-heidelberg.de/~dullemond/lectures/obsastro_2010/index.shtml

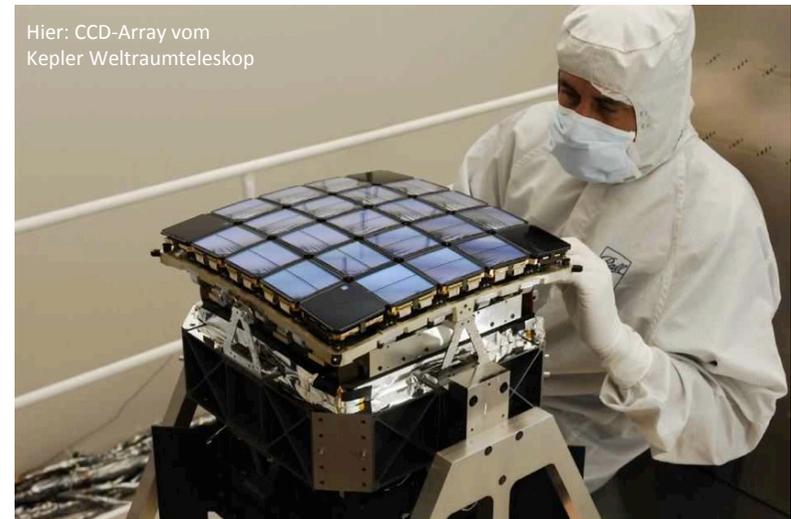
Charge-Coupled Device (CCD)

Phase 2: Auslesen von einem Array von Pixeln



Urheber: Unbekannt (wahrscheinlich: Jim Janesick)
Quelle: <http://solar.physics.montana.edu/nuggets/2000/001201/001201.html>

Charge-Coupled Device (CCD)

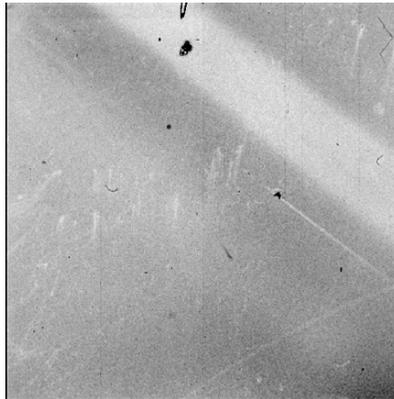


Hier: CCD-Array vom Kepler Weltraumteleskop

Quelle: http://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/multimedia/images/kepler-focal-plane-assembly.html

CCDs sind nicht perfekt

Flatfield = Bild, das aus dem CCD kommt, wenn man eine gleichmäßig weisse Fläche ablichtet. Perfekte CCD → gleichmäßiges Bild. Reale CCD → man sieht die Störungen.



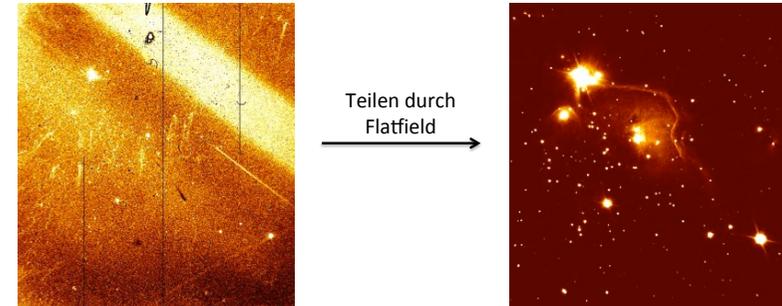
Flatfield von NOTCam, Nordic Optical Telescope.

(Hinweis: NOTCam ist eigentlich ein „Infrared Array“ und funktioniert etwas anders. Aber das Prinzip bleibt das gleiche.)

Quelle: <http://www.not.iac.es/instruments/notcam/eng-grade-arr.html>

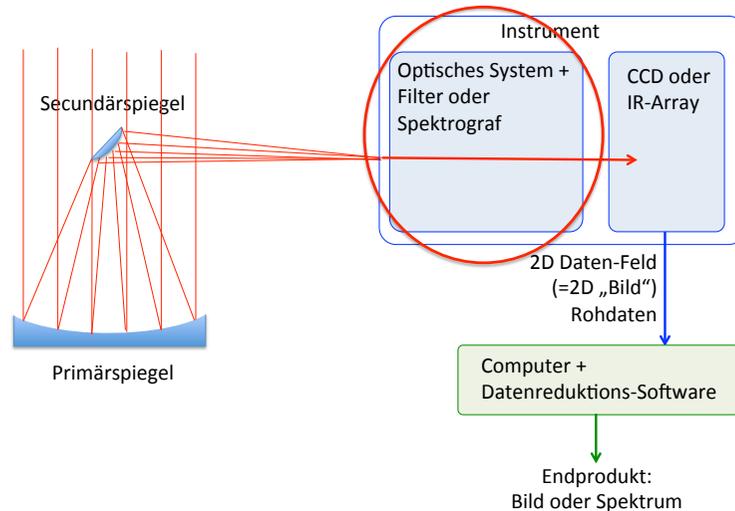
Prozedur zur Bildverbesserung

- 1) Man nimmt zuerst eine Flatfieldaufnahme auf
- 2) Dann macht man das erwünschte Bild
- 3) Dann teilt man die Pixelwerte durch die Flatfield-Pixelwerte

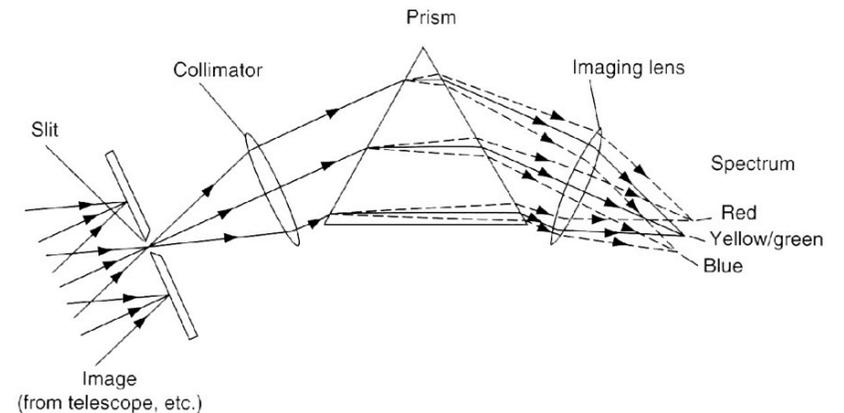


Quelle: <http://www.not.iac.es/instruments/notcam/eng-grade-arr.html>
Urheber: Anlaug Amanda Djupvik

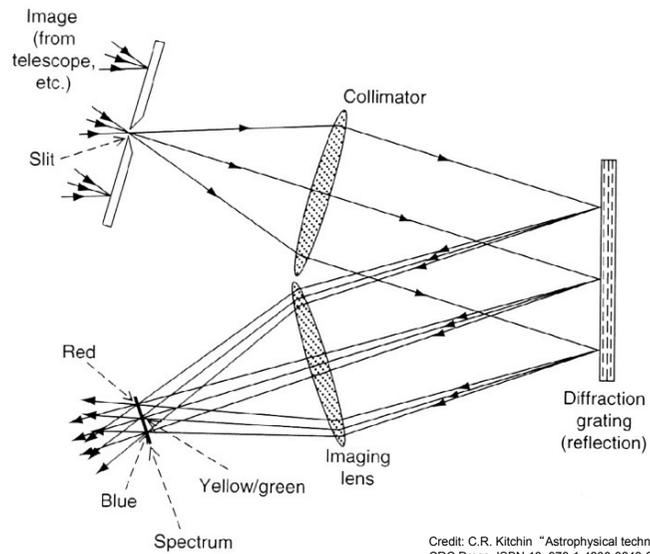
Opt/IR Teleskop, Instrument, CCD



Spektrograf mit Prisma



Spektrograf mit „Grating“



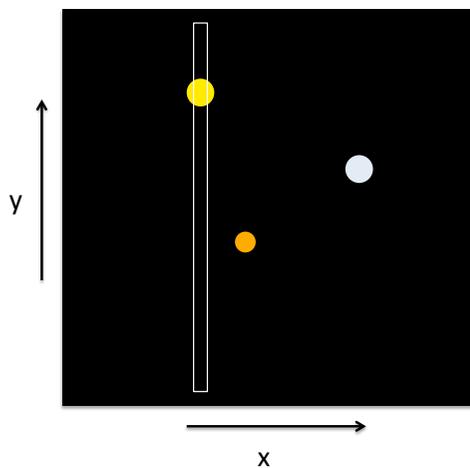
Credit: C.R. Kitchin "Astrophysical techniques"
CRC Press, ISBN 13: 978-1-4200-8243-2

Home-Experiment: CD als „Grating“



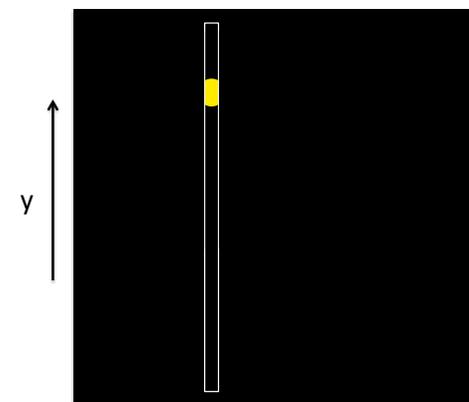
<http://communicatescience.com/zoonomian/2012/04/30/want-a-full-spectrum-love-life-watch-this-cd/>

„Longslit spectroscopy“



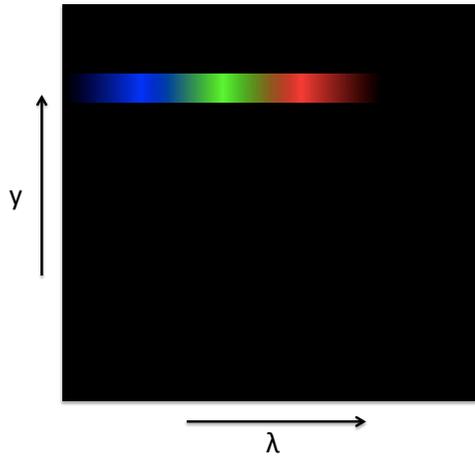
Man wählt die Position der Spalte so aus, dass es über der interessanten Quelle liegt.

„Longslit spectroscopy“



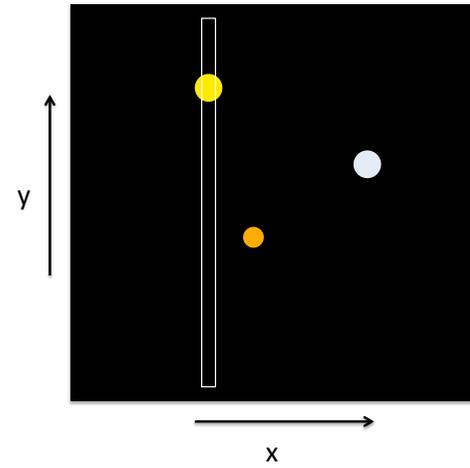
Nur das Licht, dass auf den Spalt fällt, geht durch. Der Rest wird absorbiert.

„Longslit spectroscopy“



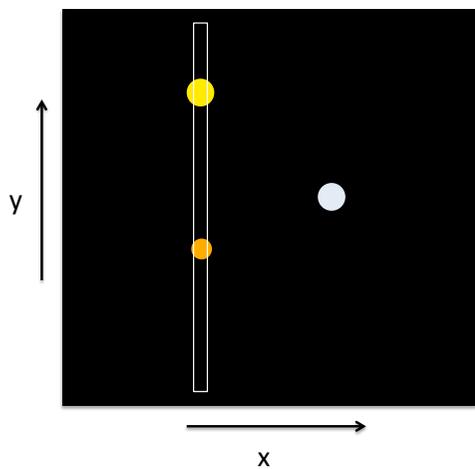
Wenn man dieses Licht auf den Spektrograf fallen lässt, so wird dies ein Spektrum.

„Longslit spectroscopy“



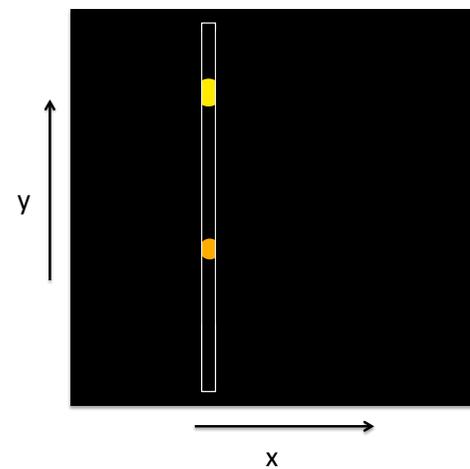
Man kann auch mehrere Objekte auf dem Spalt haben, zum Beispiel in diesem Fall, wenn man die Kamera dreht.

„Longslit spectroscopy“



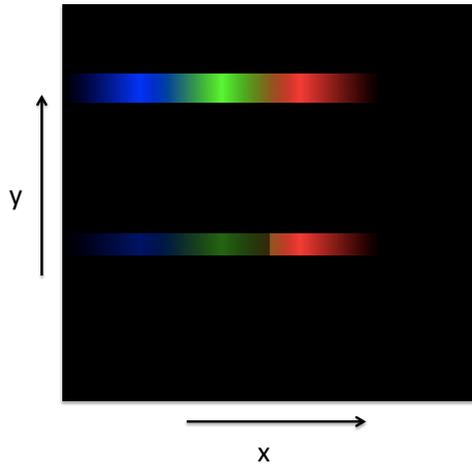
Man kann auch mehrere Objekte auf dem Spalt haben, zum Beispiel in diesem Fall, wenn man die Kamera dreht.

„Longslit spectroscopy“



Man kann auch mehrere Objekte auf dem Spalt haben, zum Beispiel in diesem Fall, wenn man die Kamera dreht.

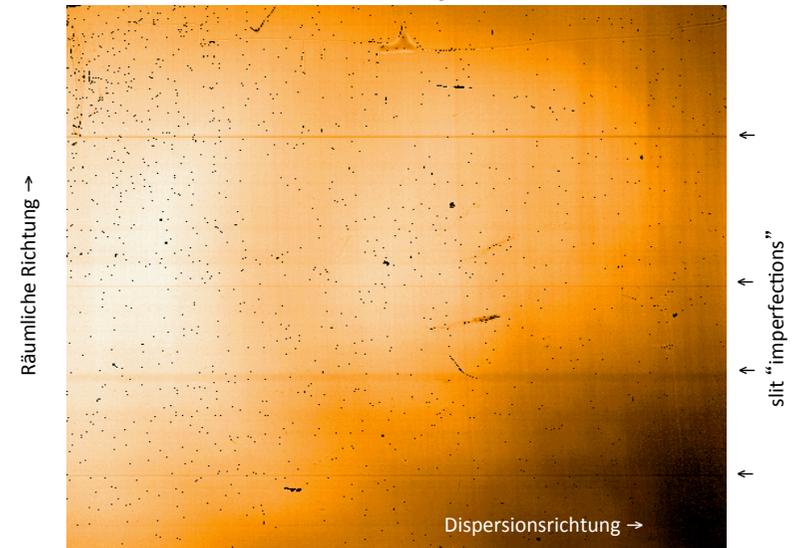
„Longslit spectroscopy“



Man kann auch mehrere Objekte auf dem Spalt haben, zum Beispiel in diesem Fall, wenn man die Kamera dreht.

Spektroskopisches Flatfield

(Dome flat or twilight flat)



Wellenlängenkalibration

- Wir messen die Intensität I als Funktion von Pixelposition auf der CCD

Teil des CCDs



...aber der CCD sieht keine Farbe.

Wellenlängenkalibration

- Wir messen die Intensität I als Funktion von Pixelposition auf der CCD
- Wie wissen wir, welcher Pixel zu welcher Wellenlänge gehört?

Teil des CCDs



...der CCD sieht dies

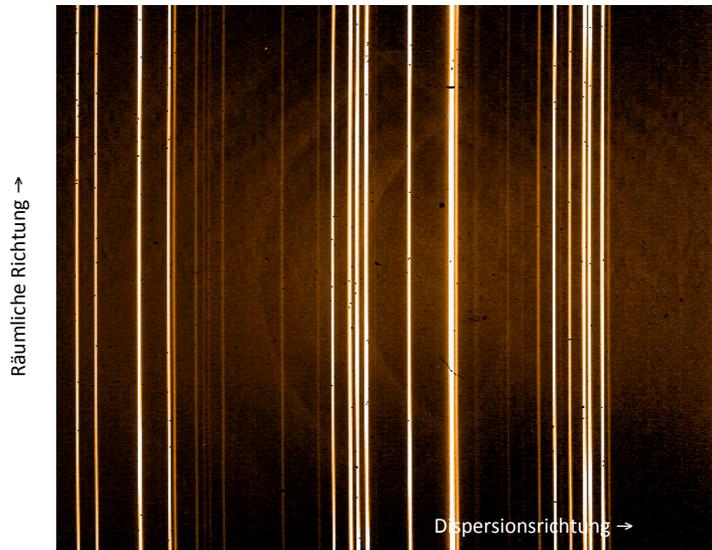
Teil des CCDs



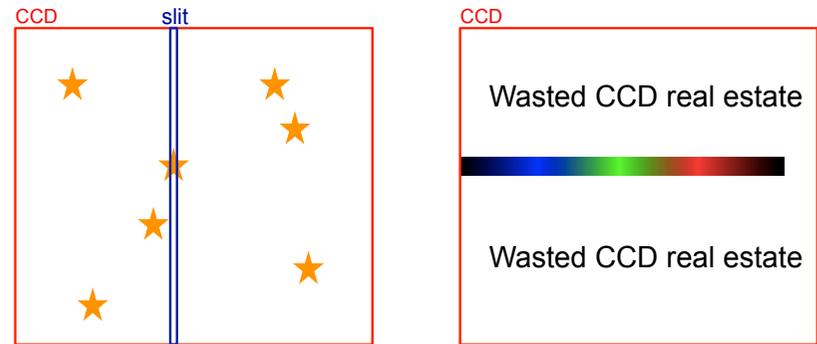
“arc”

Also nehmen wir vor und nach der Beobachtung eine Aufnahme von einer Lampe mit bekannten Linien.

Wellenlängenkalibration: "arc"

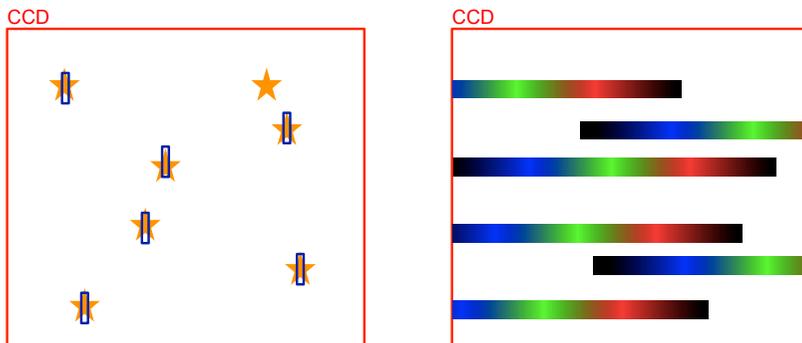


Multi-Objekt Spektroskopie mit Slitlets



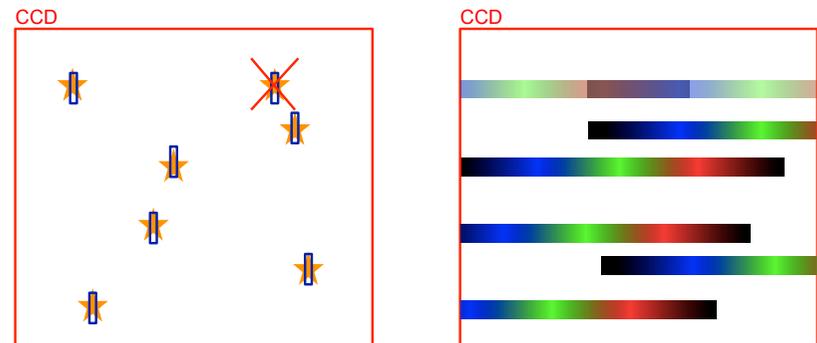
Longslit kann ineffizient sein, da man damit in der Regel nur von ein oder zwei Objekten ein Spektrum kriegt.

Multi-Objekt Spektroskopie mit Slitlets



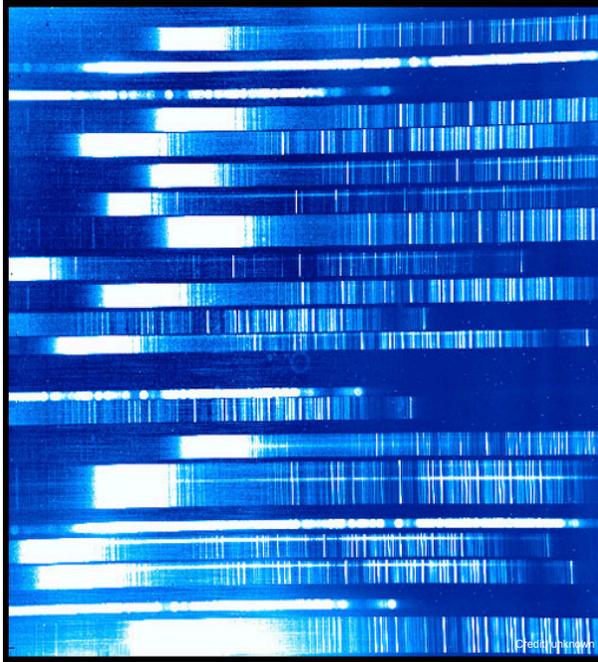
Man kann allerdings mehrere kleine „Slitlets“ machen. Das muss man in der Regel im Voraus konstruieren. Damit kann man allerdings in eine Belichtung mehrere Spektren integrieren.

Multi-Objekt Spektroskopie mit Slitlets

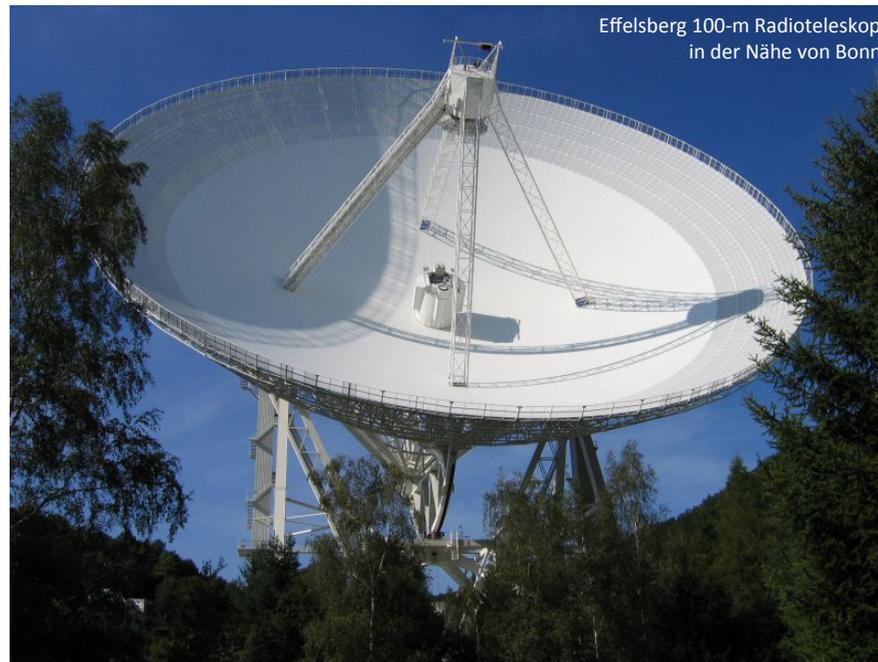


Man muss allerdings aufpassen, dass die Quellen nicht überlappende Spektren produzieren.

near infrared multiple-
object spectroscopy
with SUBARU/MOIRCS



Radio- und Mikrowellen- Teleskopen



Instrumentierung

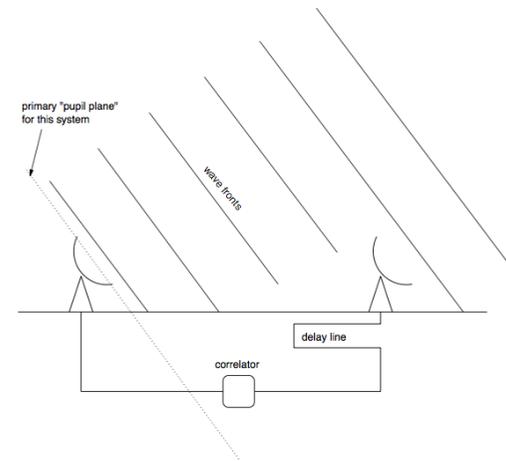
- Bei Mikrowellen- und Radioteleskopen ist das D/λ -Verhältnis in der Regel nicht so groß, dass es sich lohnt (oder überhaupt möglich ist) Empfänger mit mehreren Pixeln zu machen.
- Ein Empfänger in diesem Wellenlängenbereich ist also meist einfach 1 „Pixel“.
- Ein „Bild“ kann man dann also im „Scan mode“ machen: man tastet den Himmel ab.
- Aber das gibt nur sehr schlechte räumliche Auflösung. Gut genug für großskalige Himmelskarten, aber nicht gut für genauere Beobachtungen.

Interferometrie



<http://en.wikipedia.org/wiki/File:USA.NM.VeryLargeArray.02.jpg>

Interferometrie



Interferometrie bedeutet:
Das Beobachten von Objekten
mit mehreren Teleskopen
gleichzeitig, und zwar so, dass
die Signalen der Teleskopen
mit einander wechselwirken.

Damit kan man ein großes
Teleskop emulieren.

Die Technik ist jedoch nicht
leicht zu verstehen. In dem
Kurs MKEP5 (Beobachtende
Astronomie) wird tiefer
darauf eingegangen.

Auch im Infraroten Bereich!



Photo: Gerd Weigelt MPIfR Bonn

Auch im Infraroten Bereich!



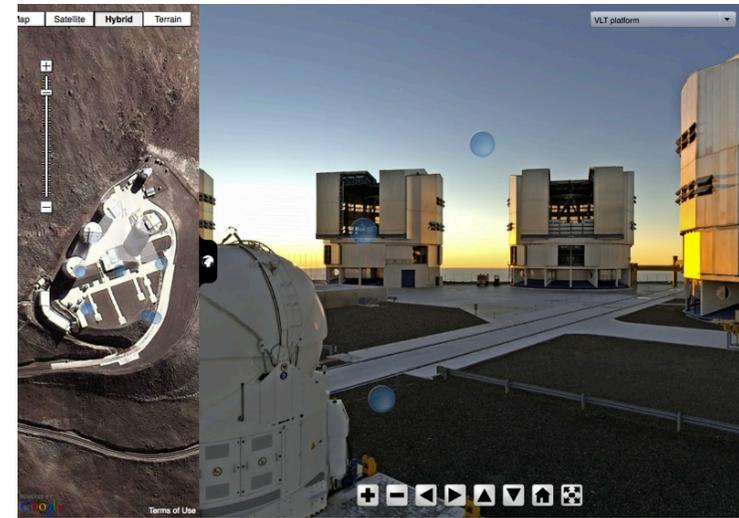
Quelle: <http://www.eso.org/public/archives/images/screen/eso0032a.jpg>

Auch im Infraroten Bereich!



Quelle: <http://www.eso.org/public/archives/videos/videoframe/eso0105b.jpg>

Virtual Tour of the Very Large Telescope

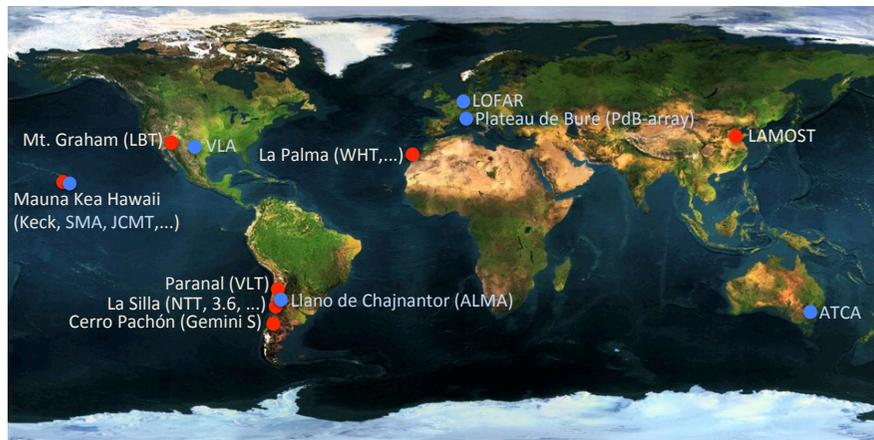


Images and videos credits: ESOS, Brunier, ESOH, Heyer and ESO/José Francisco Salgado (<http://www.josefrancisco.org>)

<http://www.eso.org/public/outreach/products/virtualtours/armazones.html>

Die großen Observatorien der Welt

- Optisch- und Infrarot-Teleskopen
- Radio- und Mikrowellen-Teleskop-Arrays



Weltkarte: <https://atmire.com>

Röntgenteleskope

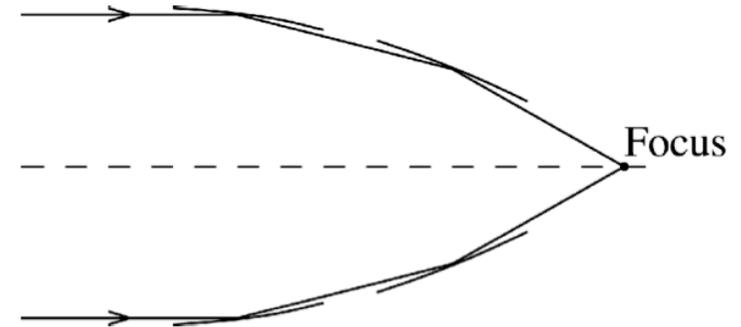
Fokussierung von Röntgenstrahlen

- Röntgenstrahlen gehen quer durch normales Material
- Nur bei ganz kleine Winkel reflektieren sie

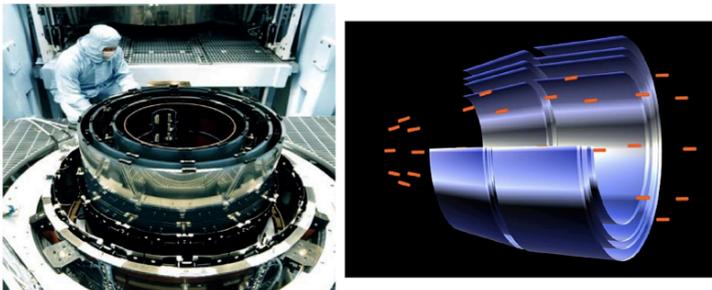


- Entwickelt von Hans Wolter (1911-1978)
 $\theta < 1^\circ$

Fokussierung von Röntgenstrahlen

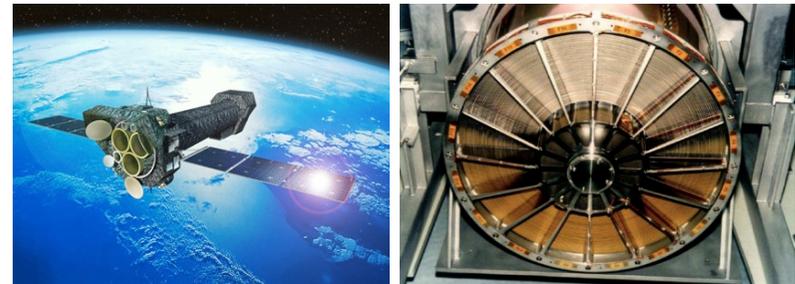


Röntgenteleskope: Chandra



- 4 Nested mirrors, 0.1 m² collecting area
- 0.5'' Spatial resolution
- CCD Camera **ACIS**:
 - 2 CCD arrays
 - Optional transmission grating

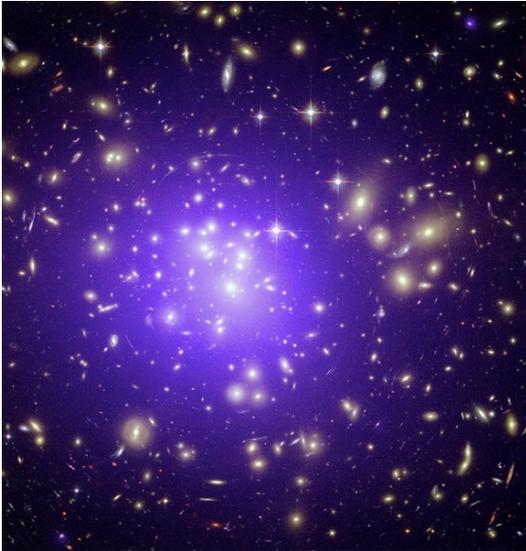
Röntgenteleskope: XMM-Newton



- 58 Nested mirrors, 0.4 m² collecting area
- 15'' Spatial resolution
- 3 CCD cameras, two with gratings

Heißes in Galaxiekluster

Abell 1689



Heißes Gas um ein Pulsar (+ surprise!)

