

# Einfuehrung in die Astron. & Astrophysik I

Wintersemester 2013/2014: Henrik Beuther & Christian Fendt

*17.10 Einfuehrung: Ueberblick und Geschichte (H.B.)*

*24.10 Koordinatensys., Sternpositionen, Erde/Mond (C.F.)*

## **31.10 Teleskope und Instrumentierung (H.B.)**

07.11 Strahlung, Strahlungstransport (C.F.)

14.11 Planetensystem(e) und Keplergesetze (H.B.)

21.11 Sonne & Sterne, Typen, Klassifikationen, HR-Diagramm (C.F.)

28.11 Interstellare Materie: Chemie und Materiekreislauf (H.B.)

05.12 Sternentstehung, Akkretionsscheiben und Jets (H.B.)

12.12 Sternaufbau und Sternentwicklung: Hauptreihe (C.F.)

19.12 Sternaufbau und Sternentwicklung: Endstadien (C.F.)

*26.12 und 02.01 –*

09.01 Mehrfachsysteme und Sternhaufen, Dynamik (C.F.)

14.01 Exoplaneten und Astrobiologie (H.B.)

16.01 Die Milchstrasse (H.B.)

23.01 Zusammenfassung (C.F. & H.B.)

06.02 Pruefung (C.F. & H.B.)

[http://www.mpia.de/homes/beuther/lecture\\_ws1314.html](http://www.mpia.de/homes/beuther/lecture_ws1314.html), [beuther@mpia.de](mailto:beuther@mpia.de)

[http://www.mpia.de/homes/fendt/Lehre/Lecture\\_IAA2013/letcure\\_ws1314.html](http://www.mpia.de/homes/fendt/Lehre/Lecture_IAA2013/letcure_ws1314.html), [fendt@mpia.de](mailto:fendt@mpia.de)

# Themen heute

## 3.1 Optische Astronomie

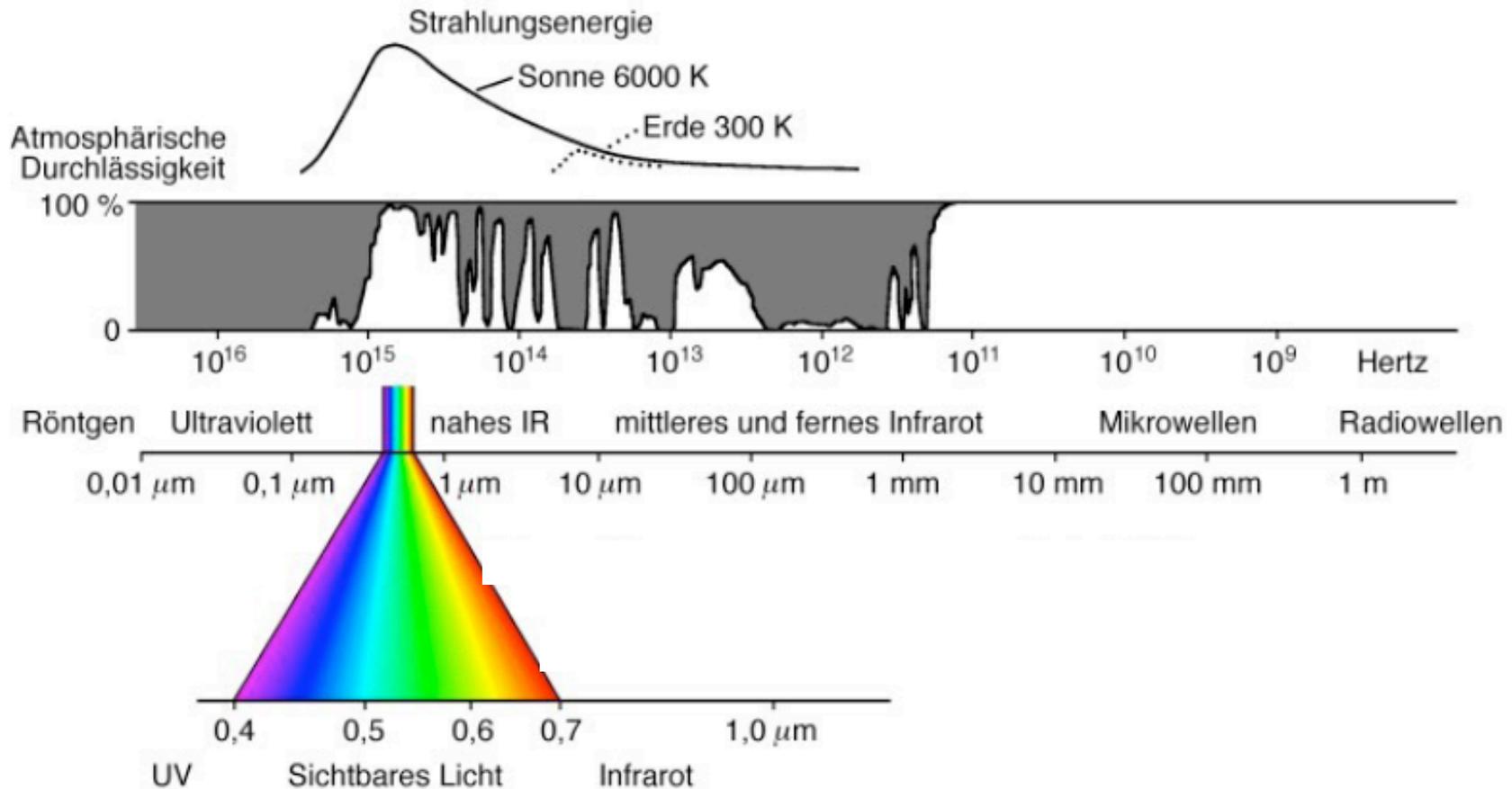
## 3.2 Radioastronomie

## 3.3 Weitere Observatorien Satelliten und Hochenergieastronomie

Was wird heute nicht besprochen:

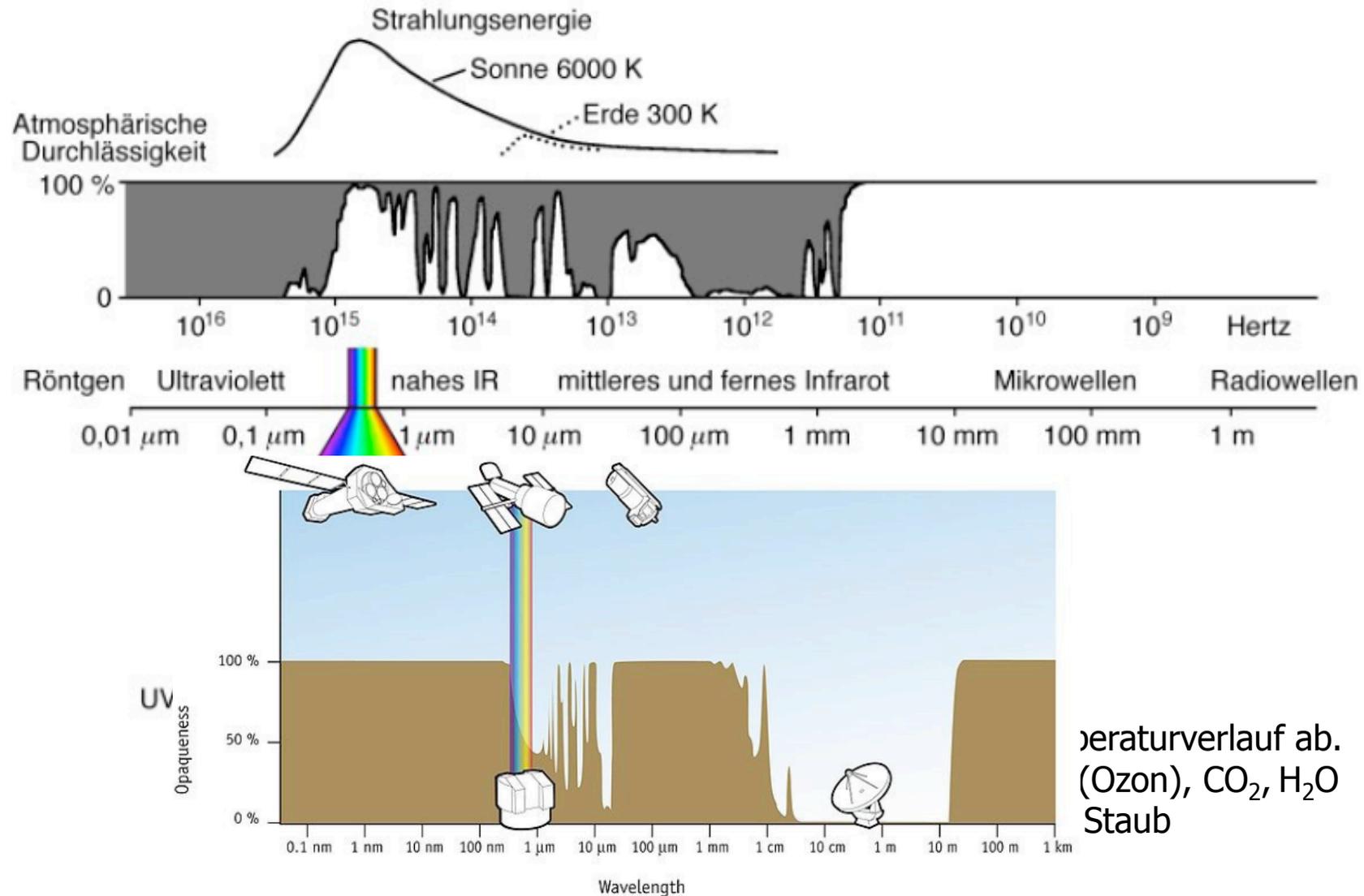
- Neutrino-Astronomie
- Eine genauere Behandlung der Empfänger und Spektrometer

# Transparenz der Erdatmosphäre I



- Haengt von Dichte und Temperaturverlauf ab.
- Absorption durch  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$  (Ozon),  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$
- Streuung und Absorption an Staub

# Transparenz der Erdatmosphäre I

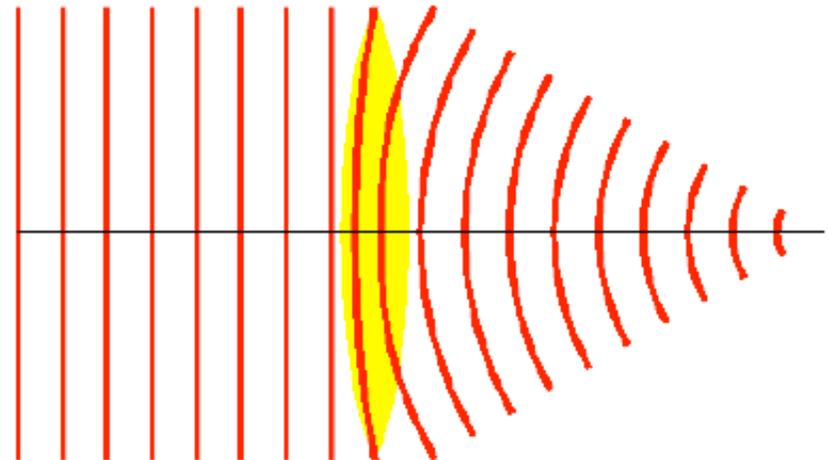


# Optische Grundlagen - Teleskope

Anforderungen an astronomische Teleskope:

- **Grosses Lichtsammelvermögen**, bestimmt durch die **Fläche der freien Öffnung**.
- **Hohes Auflösungsvermögen**.
  - Definiert durch der Winkelabstand zweier gerade noch trennbarer Objekte (z.B. Doppelstern).
  - Im Wellenbild entsteht Abbildung durch die Interferenz der auf den Brennpunkt zulaufenden Wellen.

- Nur für unendlich große Öffnung ist die konstruktive Interferenz auf einen Punkt begrenzt.
- Interferenzmuster analog Einzelspalt.



# Auflösung eines Teleskops

$$r_{\text{Airy}} = m * z\lambda / (2a) \\ = m * f\lambda / D$$

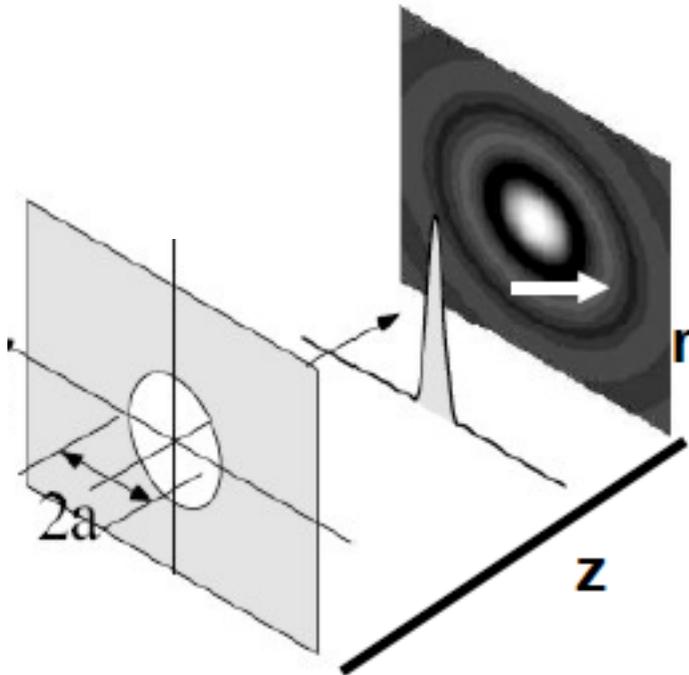
f: Fokusaenge

D: Teleskopdurchmesser

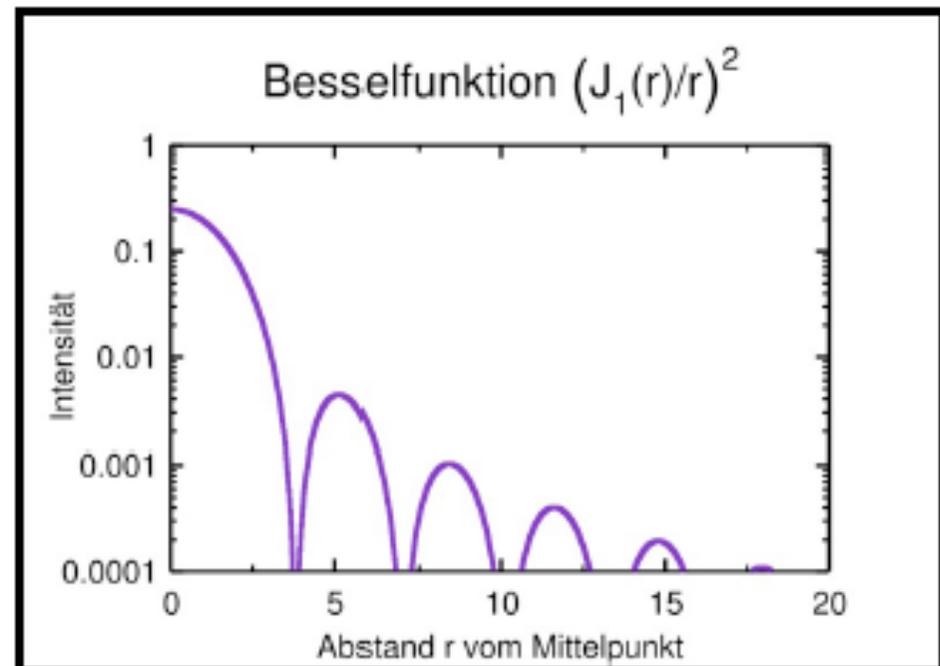
$\phi$ : Auflöesung

→ Im Fokus:  $\phi = m * \lambda / D$

Mit  $m=1.22$  im 1. Minimum  
 $m=1.64$  im 2. Maximum



Beugung an Kreisoeffnung:  
Airy-Scheibe (1835)



# Auflösung eines Teleskops

$$r_{\text{Airy}} = m * z\lambda / (2a) \\ = m * f\lambda / D$$

f: Fokusaenge

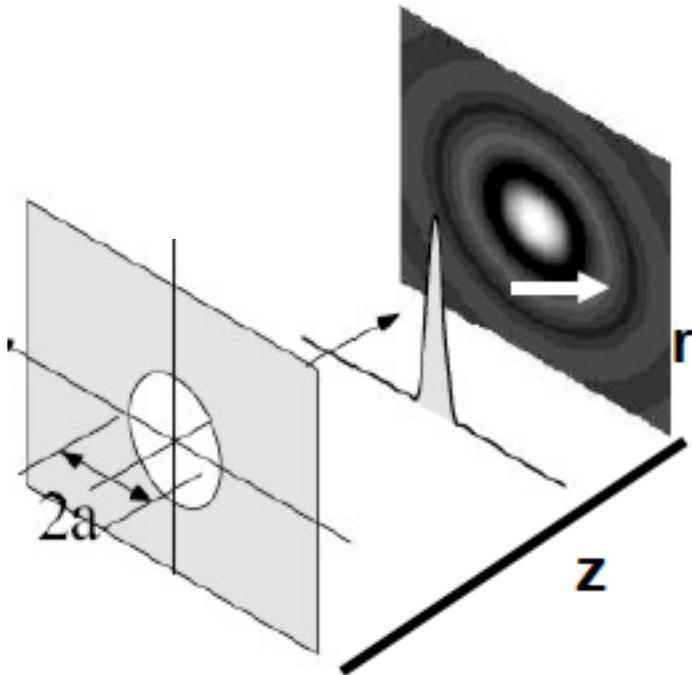
D: Teleskopdurchmesser

$\phi$ : Auflöesung

→ Im Fokus:  $\phi = m * \lambda / D$

Mit  $m=1.22$  im 1. Minimum

$m=1.64$  im 2. Maximum



Beugung an Kreisöffnung:  
Airy-Scheibe (1835)



Beispiele:

Optisch:  $\lambda=550\text{nm}$ ,  $D=8\text{m} \rightarrow \phi=0.02''$

Mit infrarot:  $\lambda=12\mu\text{m}$ ,  $D=8\text{m} \rightarrow \phi=0.38''$

Radio:  $\lambda=1.2\text{cm}$ ,  $D=100\text{m} \rightarrow \phi=38''$

Radio Interferometer:

$\lambda=1.2\text{cm}$ ,  $D=10\text{km} \rightarrow \phi=0.3''$

# Szintillation und Seeing

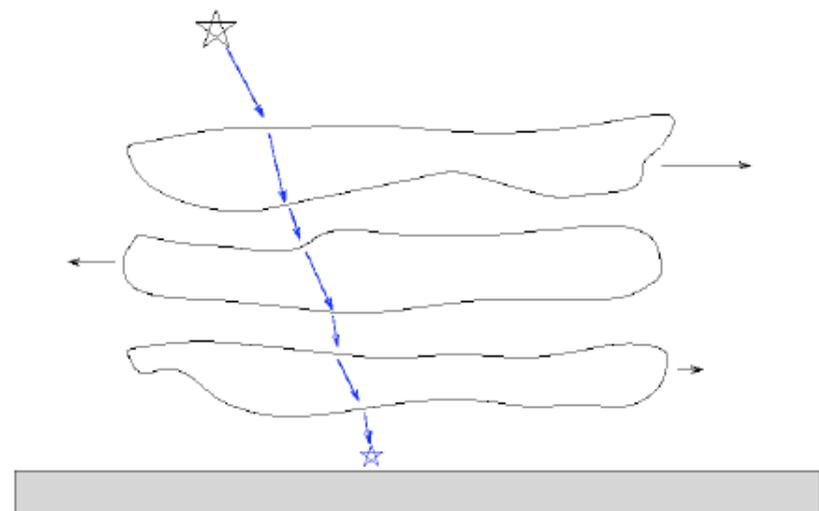
- Aufsteigende Blasen, sich verschiebende Schichten der Atmosphäre koennen schnelle Bewegungen und Helligkeitsaenderungen bewirken

→ Das Seeing ist definiert durch die Halbwertsbreite des Bildes einer Punktquelle

Oftmals Seeing im Optischen 1-2". Beste Standorte Hawaii, Chile mit Seeing von ca. 0.5" ueber 50% der Zeit. Optimal ca. 0.25".

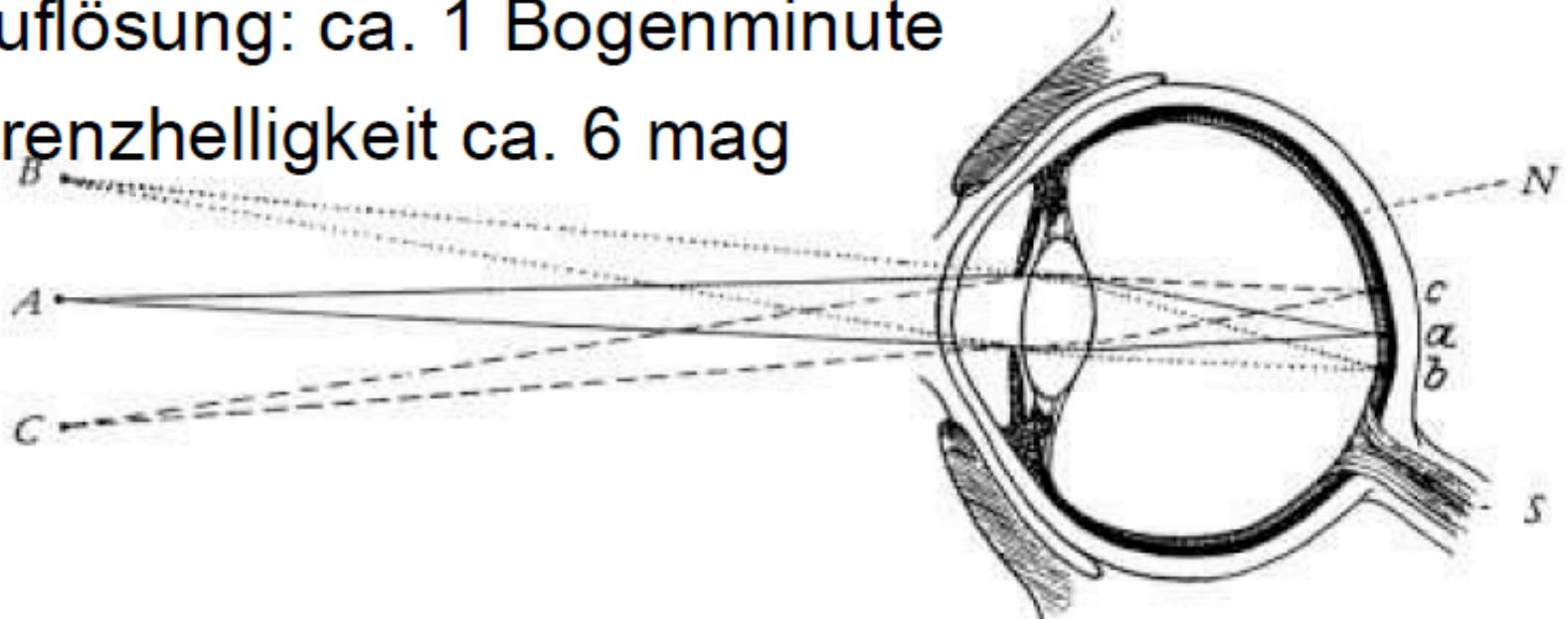


→ Zeit



# Optische Teleskope

- Historisch und bis heute wichtigster Wellenlängenbereich.
- **Auge:**
  - Wellenlängenbereich: 400 - 800 nm
  - Öffnung: bis 7 mm
  - Auflösung: ca. 1 Bogenminute
  - Grenzhelligkeit ca. 6 mag



# Helligkeiten oder Magnituden

- Geht auf Hipparcos zurueck (2. Jahrhundert vor Chr.), 6 Sterngrößenklassen, 1 am staerksten 6 am schwachsten.
- Weber & Fechner im 19. Jahrhundert: Gehirn verarbeitet quantitative Eindruecke des Auges logarithmisch.
- Stellare Helligkeiten werden ueblicherweise in Magnituden gemessen: *Die Strahlungsstroeme  $s_1$  und  $s_2$  zweier Sterne haben eine Differenz scheinbarer Helligkeiten:*

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log(s_1/s_2) \text{ [mag]}$$

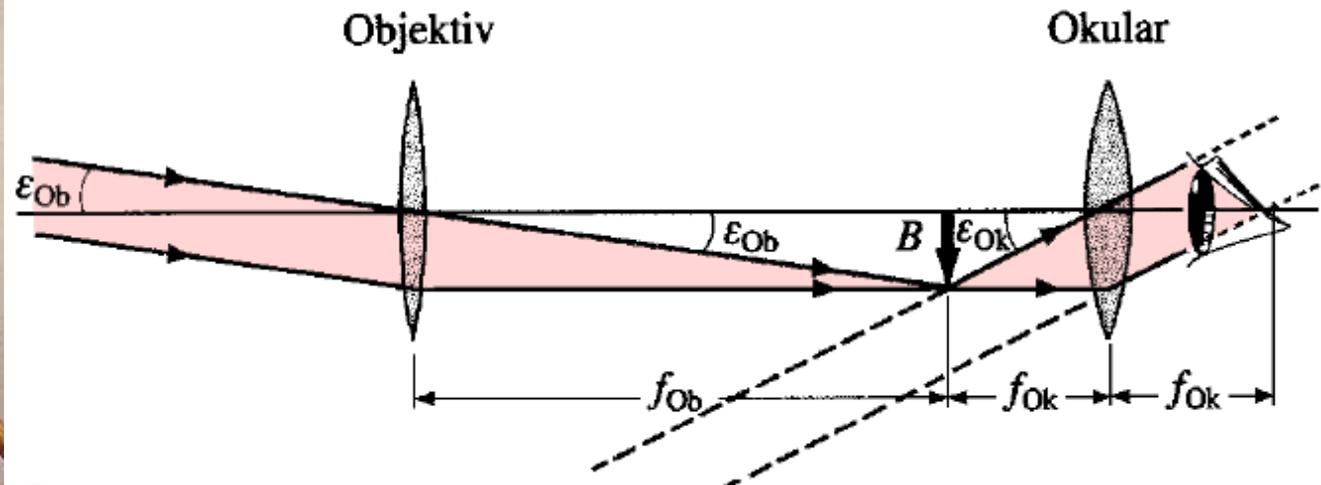
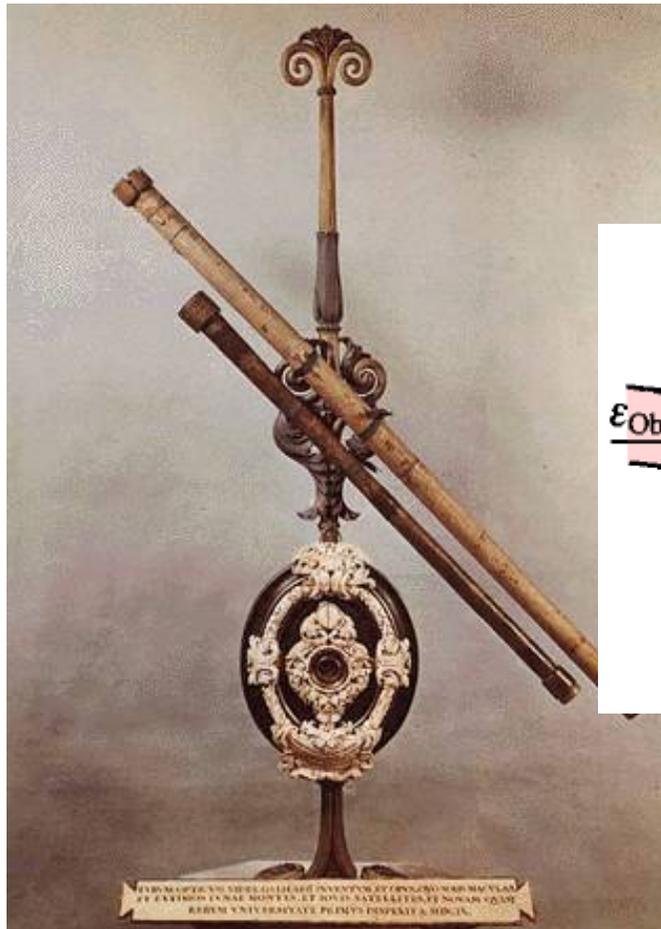
## Beispiele: Visuelle Helligkeiten

Magnitude Differenz	Helligkeits Differenz
1	2,5 mal
2	6,3
3	16
4	40
<b>5</b>	<b>100</b>
6	250
<b>10</b>	<b>10.000 = 10<sup>4</sup></b>
15	1.000.000 = 10 <sup>6</sup>

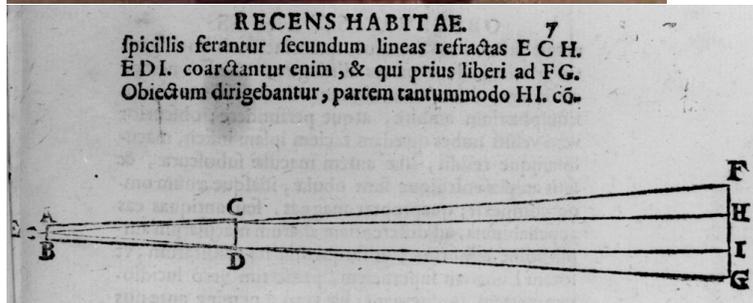
• Vega	<b>m = 0</b>
• Mond	<b>m = -12,5</b>
• Sonne	<b>m = -26,81</b>
• Venus nahe max. Helligkeit:	<b>m = -4</b>
• Sirius	<b>m = -1,5</b>
• Limit nacktes Auge:	<b>m = 6</b>
• Amateurteleskop (visuell):	<b>m = 13</b>
• Grenzgröße Hubble Deep Field:	<b>m = 29</b>

# Optische Teleskope

- Erstes Teleskope 1608 von Lipershey
- Erste astronomische Anwendung Galileo 1609
- Heutige Linsenfernrohre oder Refraktoren beruhen auf Keplerfernrohr (1611)



- Rotiertes Bild
- Vergrößerung  $V = f_{ob}/f_{ok}$
- Öffnungsverhältnis  $f = f_{ob}/D$  wichtig fuer  
Größe des Gesichtsfeldes:  $FOV = 1/f = D/f_{ob}$   
(D: Objektivgröße oder Teleskopspiegeldurchmesser)
- Theoretisches FOV am Calar Alto 3.5m  
0.1rad ~ 5.7 Grad. In Praxis wegen optischer Fehler  
sehr viel kleiner, ca. 1 Grad



# Linsen versus Spiegelteleskope

- Linsenteleskope haben verschiedene Probleme:
  - Kleiner Durchmesser (max. 1m) → Begrenztes Auflösungsvermögen
  - Grosse Vergrößerungen  $V$  erfordern grosse Fokallaengen  $f_{ob}$ , damit sind die Gesichtsfelder begrenzt.
- Chromatische Aberration: ein Farbfehler, da Strahlung unterschiedlicher Wellenlaenge unterschiedliche Brechung erfahrt.
- Sphaerische Aberration: Strahlung am Linsenrand wird staerker gebrochen als im Linsenzentrum.
- Koma: Gegen die optische Achse geneigte Strahlung wird nicht in dem selben Punkt vereinigt. Punktquellen erscheinen verschmiert.

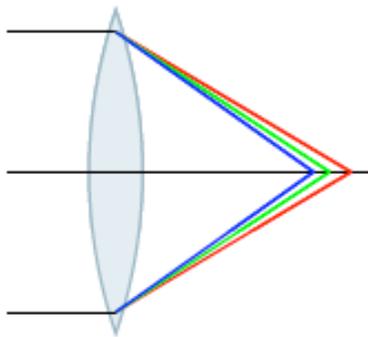


Abbildung 1: Chromatische Aberration

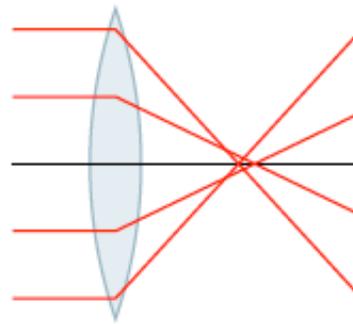


Abbildung 2: Sphärische Aberration

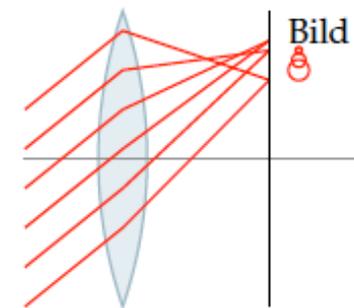
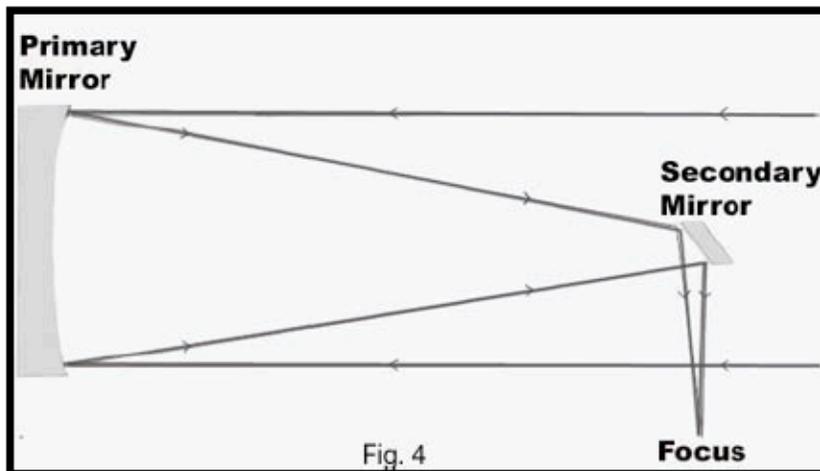


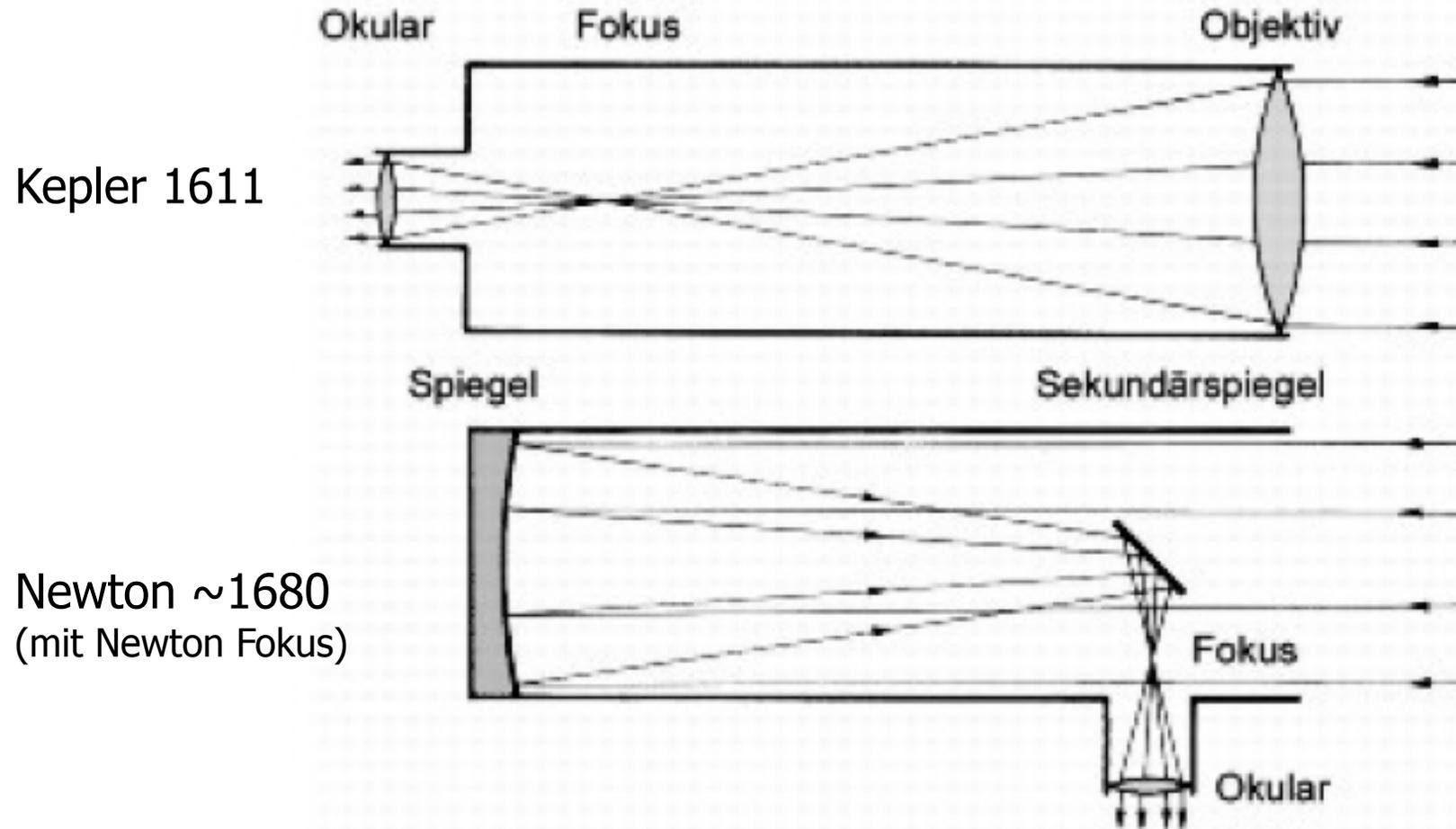
Abbildung 3: Koma

# Optische Spiegelteleskope

- Erstes Spiegelteleskop Newton 1668
- Vorteile gegenüber Linsenteleskop
  - Nur eine grosse optische Fläche zu schleifen
  - Geringere Anforderungen an Glasqualität
  - Kompaktere Bauweise möglich
  - Bessere optische Eigenschaften
  - Höhere Flexibilität an Instrumentierung (unterschiedliche Foki).
- Heutzutage sind Grossteleskope ausschliesslich Spiegelteleskope.

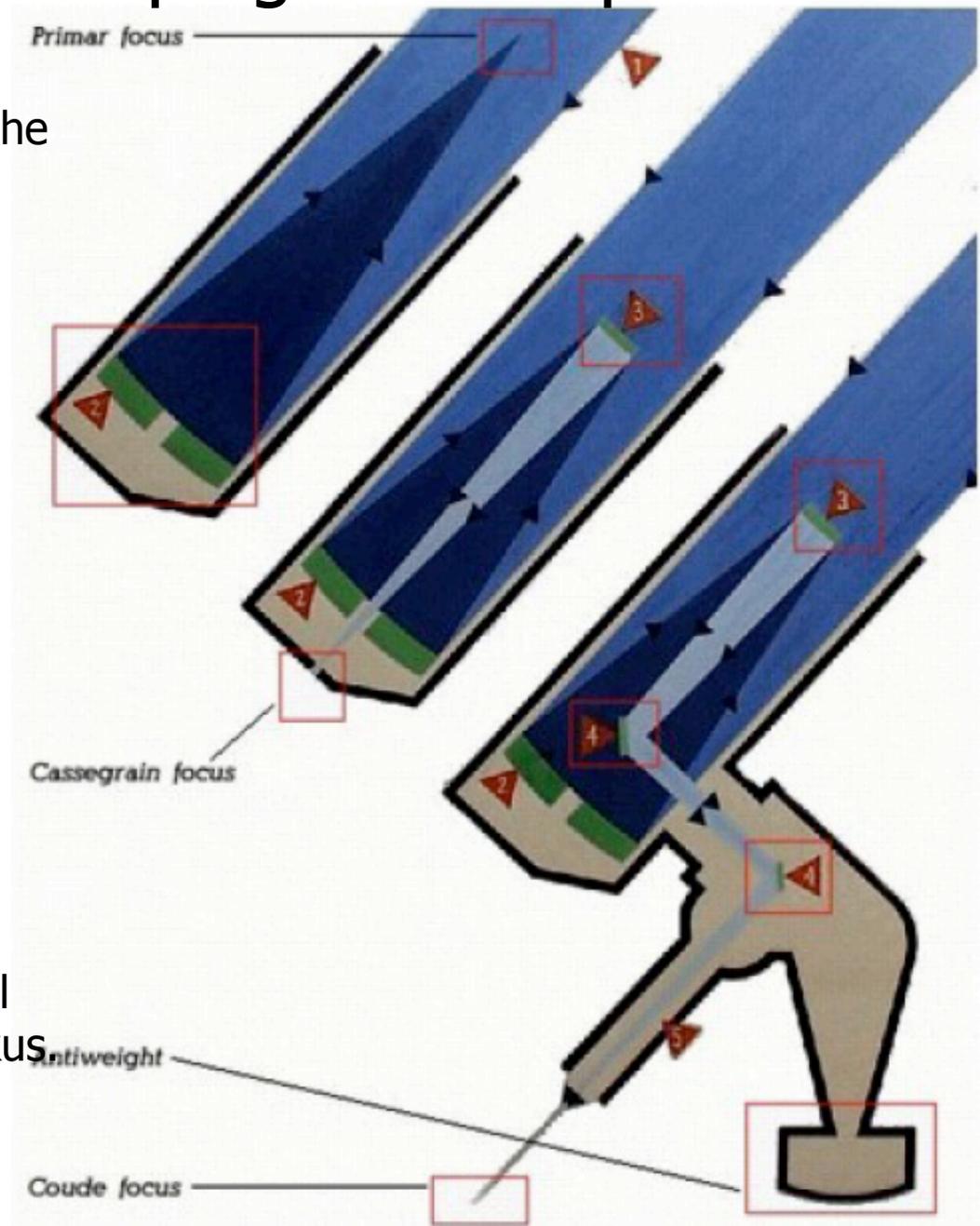


# Strahlengang Refraktor versus Spiegel

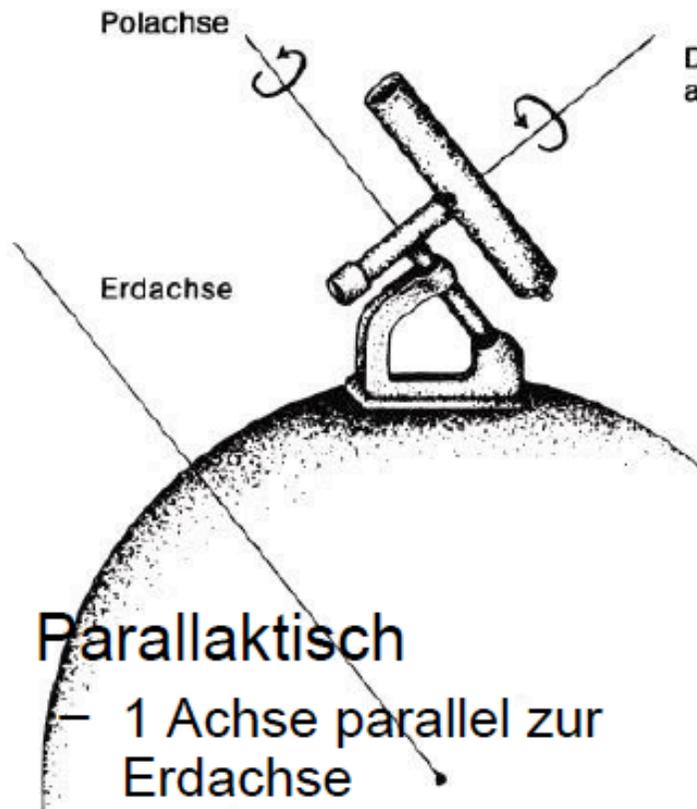


# Fokalsysteme fuer Spiegelteleskope

- Primaerfokus: Kurze Fokuslaenge erlaubt prinzipiell grosse Sichtfelder. Hohe Sensitivitaet durch geringe Verluste. Aber hoechst unflexibel, Grosse und Gewicht stellen Probleme dar.
- Cassegrain-Fokus: Der vor dem Brennpunkt angebrachte Sekundaerspiegel erlaubt kuerzere Teleskope.
- Ritchey-Chretien mit hyperbolischen Spiegeln erreichen noch groessere Gesichtsfelder und komafreie Abbildungen. Die meisten modernen 8m Teleskope sind so gebaut.
- Coude-Fokus: Mehrere Umlenkspiegel buendeln Strahlung in ortsfestem Fokus. Gut fuer sehr grosse und schwere Instrumente wie Spektrographen (eine Variante des Newton-Fokus)

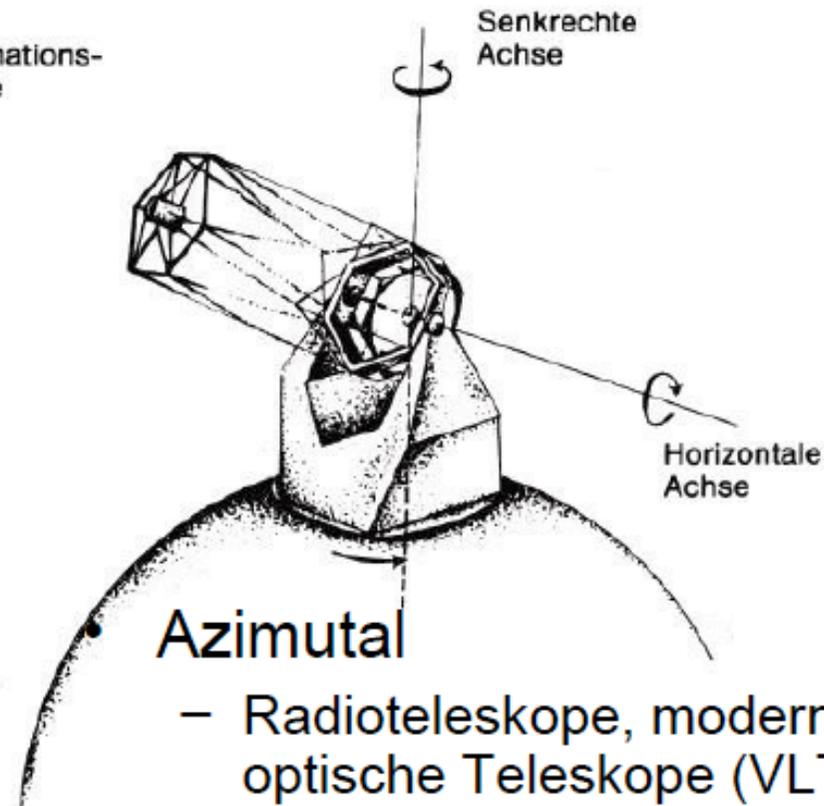


# Teleskopmontierungen



- **Parallaktisch**

- 1 Achse parallel zur Erdachse
- Normalfall bei bisherigen optischen Teleskopen
- Einfache Nachführung entlang einer Achse
- asymmetrische mechanische Belastungen



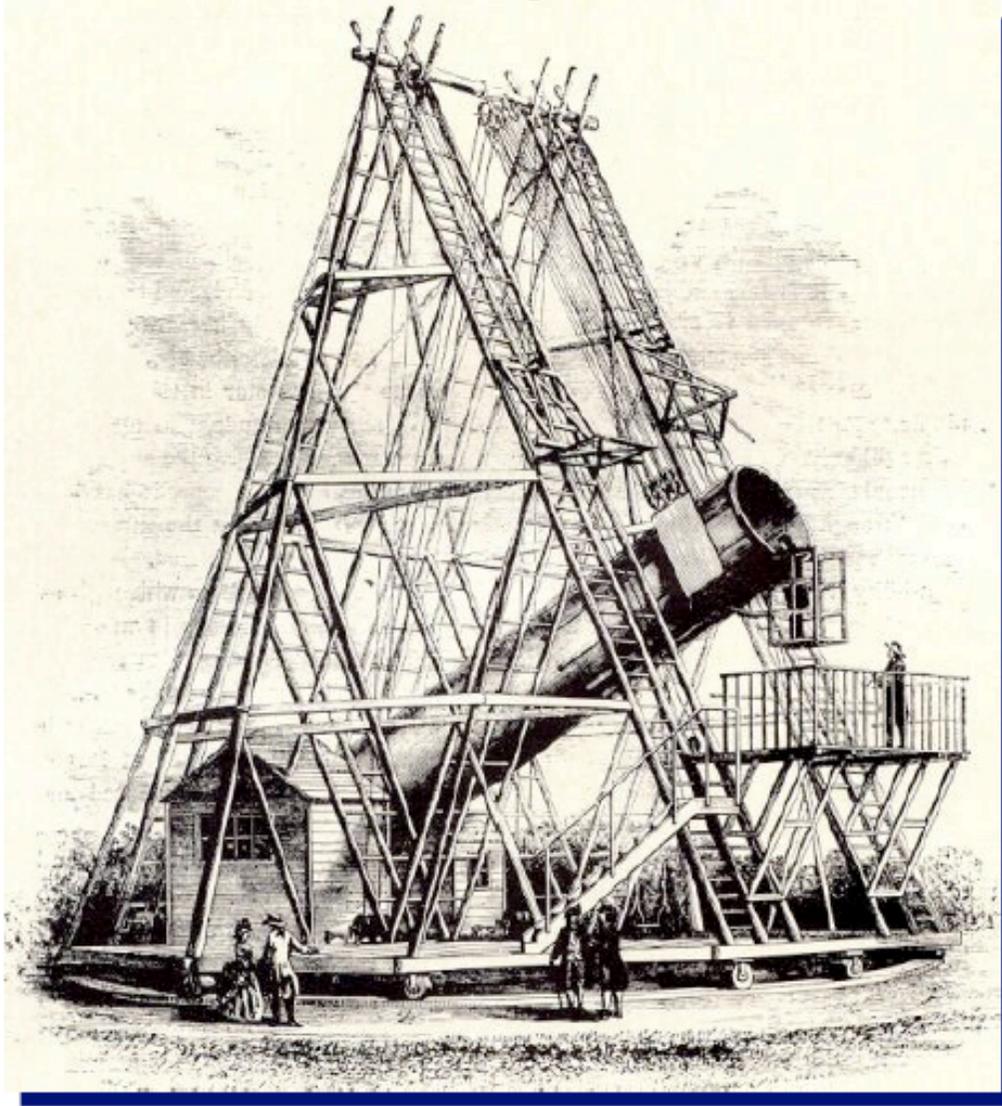
- **Azimutal**

- Radioteleskope, moderne optische Teleskope (VLT)
- ungleichmäßige Nachführungsbewegung in beiden Achsen
- Bildfelddrehung
- Kein prinzipielles Problem mehr bei Computersteuerung

# Moderne Observatorien

- Geschichte
  - 18. Jhdt: erstes Großteleskop (Herschel)
  - 19. Jhdt: Zeit der großen Linsenfernrohre
  - 1917: Mt Wilson 100 inch (2,5 m)
    - Nachweis des extragalaktischen Ursprungs der Spiralnebel (Hubble 1926)
    - Entdeckung der Expansion des Universums (Hubble 1929)
  - 1948: **Mt Palomar 200 inch (5m)**
  - 1976: Selentschuk im Kaukasus (6m)
    - Erster Spiegel: Fehlproduktion
    - Auch heute noch mechanische und thermische Probleme
  - 70er, 80er Jahre: mehrere 3,5 - 4m Teleskope
    - ähnliche Bauart wie Mt Palomar
    - z.B. Calar Alto 3,5m, ESO 3,6m, AAT 3,9m, Kitt Peak 4m

# Friedrich Wilhelm Herschel (1738-1822)

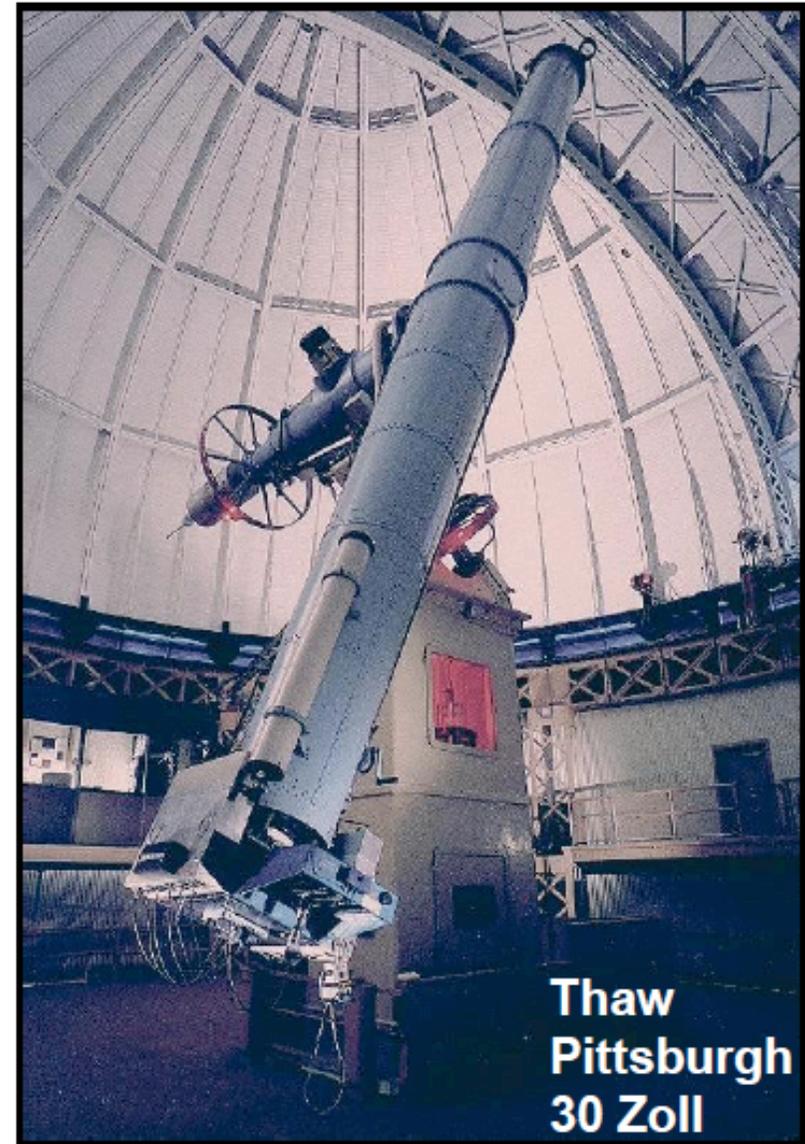


- Er entdeckte den siebten Planeten: Uranus
- „Erfinder“ des astronomischen Großteleskops

# Moderne Observatorien

- Geschichte
  - 18. Jhdt: erstes Großteleskop (Herschel)
  - 19. Jhdt: Zeit der großen Linsenfernrohre
  - 1917: Mt Wilson 100 inch (2,5 m)
    - Nachweis des extragalaktischen Ursprungs der Spiralnebel (Hubble 1926)
    - Entdeckung der Expansion des Universums (Hubble 1929)
  - 1948: **Mt Palomar 200 inch (5m)**
  - 1976: Selentschuk im Kaukasus (6m)
    - Erster Spiegel: Fehlproduktion
    - Auch heute noch mechanische und thermische Probleme
  - 70er, 80er Jahre: mehrere 3,5 - 4m Teleskope
    - ähnliche Bauart wie Mt Palomar
    - z.B. Calar Alto 3,5m, ESO 3,6m, AAT 3,9m, Kitt Peak 4m

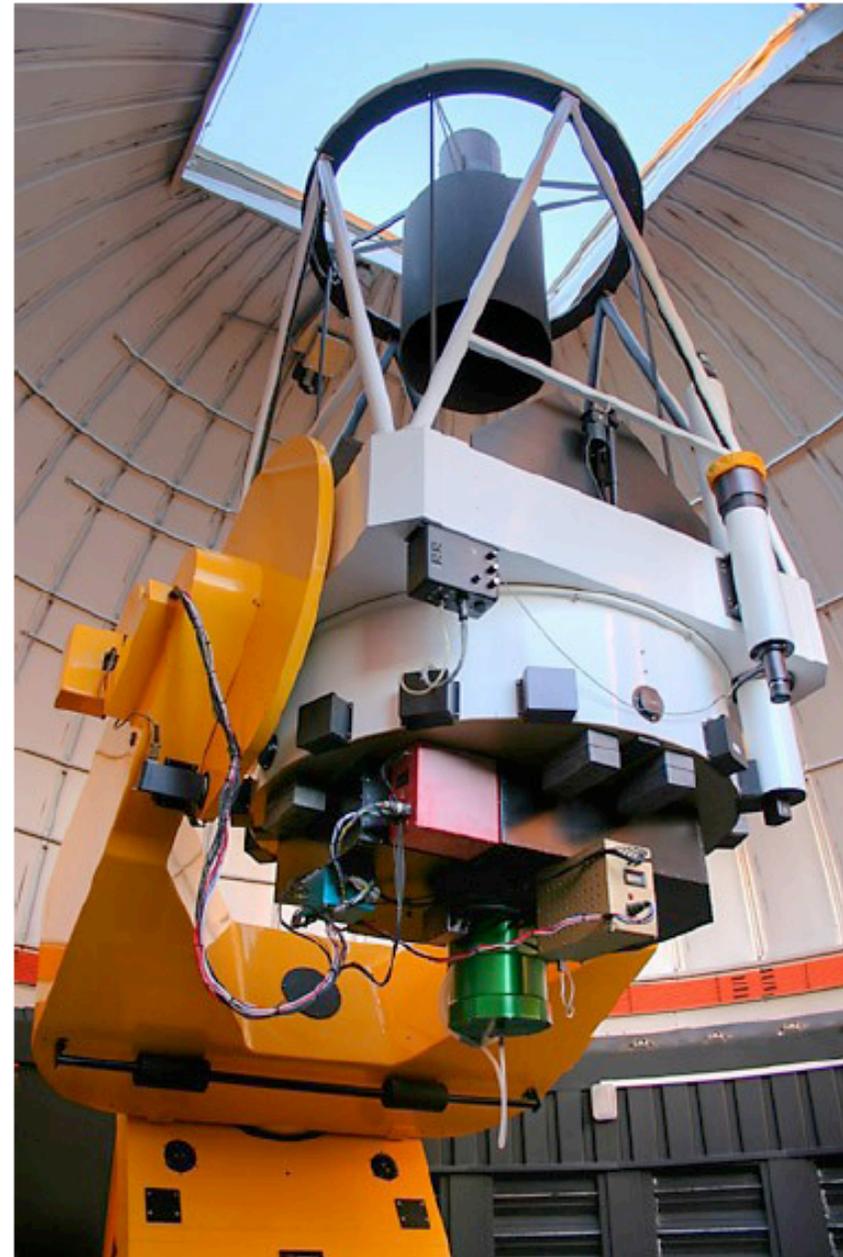
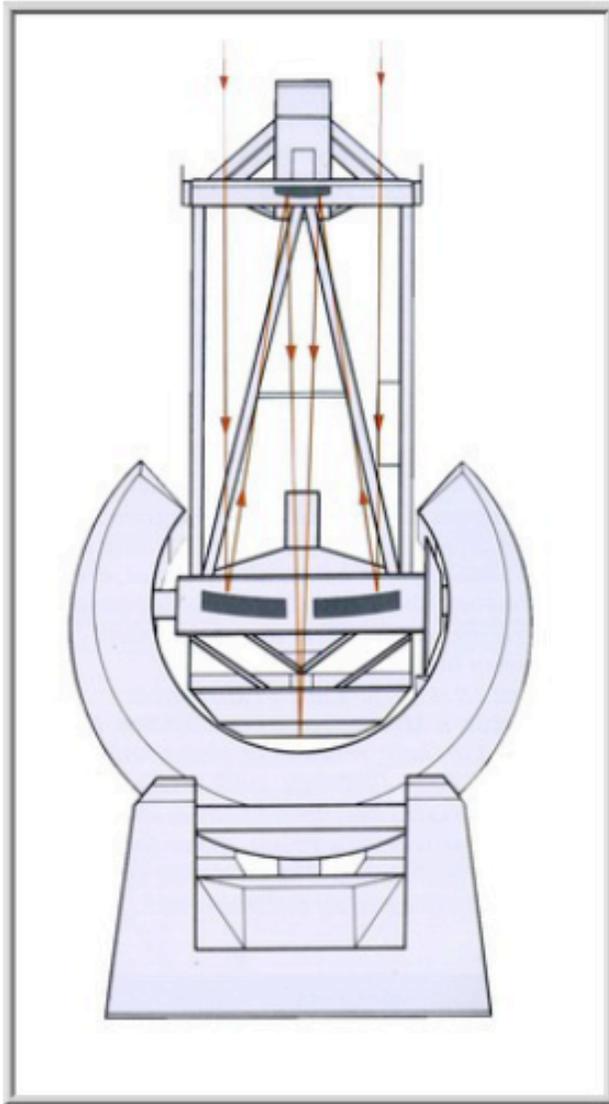
# Refraktoren - Linsenteleskope



# Moderne Observatorien

- Geschichte
  - 18. Jhdt: erstes Großteleskop (Herschel)
  - 19. Jhdt: Zeit der großen Linsenfernrohre
  - 1917: Mt Wilson 100 inch (2,5 m)
    - Nachweis des extragalaktischen Ursprungs der Spiralnebel (Hubble 1926)
    - Entdeckung der Expansion des Universums (Hubble 1929)
  - 1948: **Mt Palomar 200 inch (5m)**
  - 1976: Selentschuk im Kaukasus (6m)
    - Erster Spiegel: Fehlproduktion
    - Auch heute noch mechanische und thermische Probleme
  - 70er, 80er Jahre: mehrere 3,5 - 4m Teleskope
    - ähnliche Bauart wie Mt Palomar
    - z.B. Calar Alto 3,5m, ESO 3,6m, AAT 3,9m, Kitt Peak 4m

# Spiegelteleskope Cassegrain



# Probleme großer Spiegel

- Generelles Problem großer Spiegel im klassischen Design:
  - Glas ist eine Flüssigkeit
  - statische Stabilität: möglichst dicke Spiegel
  - **Schnelle thermische Adaption** (maximal ~1h):  
möglichst dünne Spiegel
  - **Geringe Verformung: teure Gläser (Zerodur)**
  - Schon bei ca. 50 cm sind bei klassischem Design beide Bedingungen nicht einzuhalten (→ Probleme beim 6m-Teleskop)
  - Beispiel: Palomar 5m: thermische Adaptionzeit: ca. 3 Wochen

⇒ seit ~1980: aktive Optiken

# Lösung: Aktive Optiken

- Grundidee:
  - Dünne, verformbare Spiegel.
  - Eine Vielzahl von Aktuatoren drückt den Spiegel in Form.
- **(i) Segmentierte Spiegel**
  - Keck (10m), Hobby-Eberly (11,4m)
  - Gut für Spektroskopie, suboptimale Abbildungseigenschaften
- **(ii) Dünne monolithische Spiegel**
  - VLT (8,2m), LBT (8,4m)
  - Herstellung deutlich anspruchsvoller

# VLT @ Mount Paranal





VLT UT4 Spiegel

# Mauna Kea





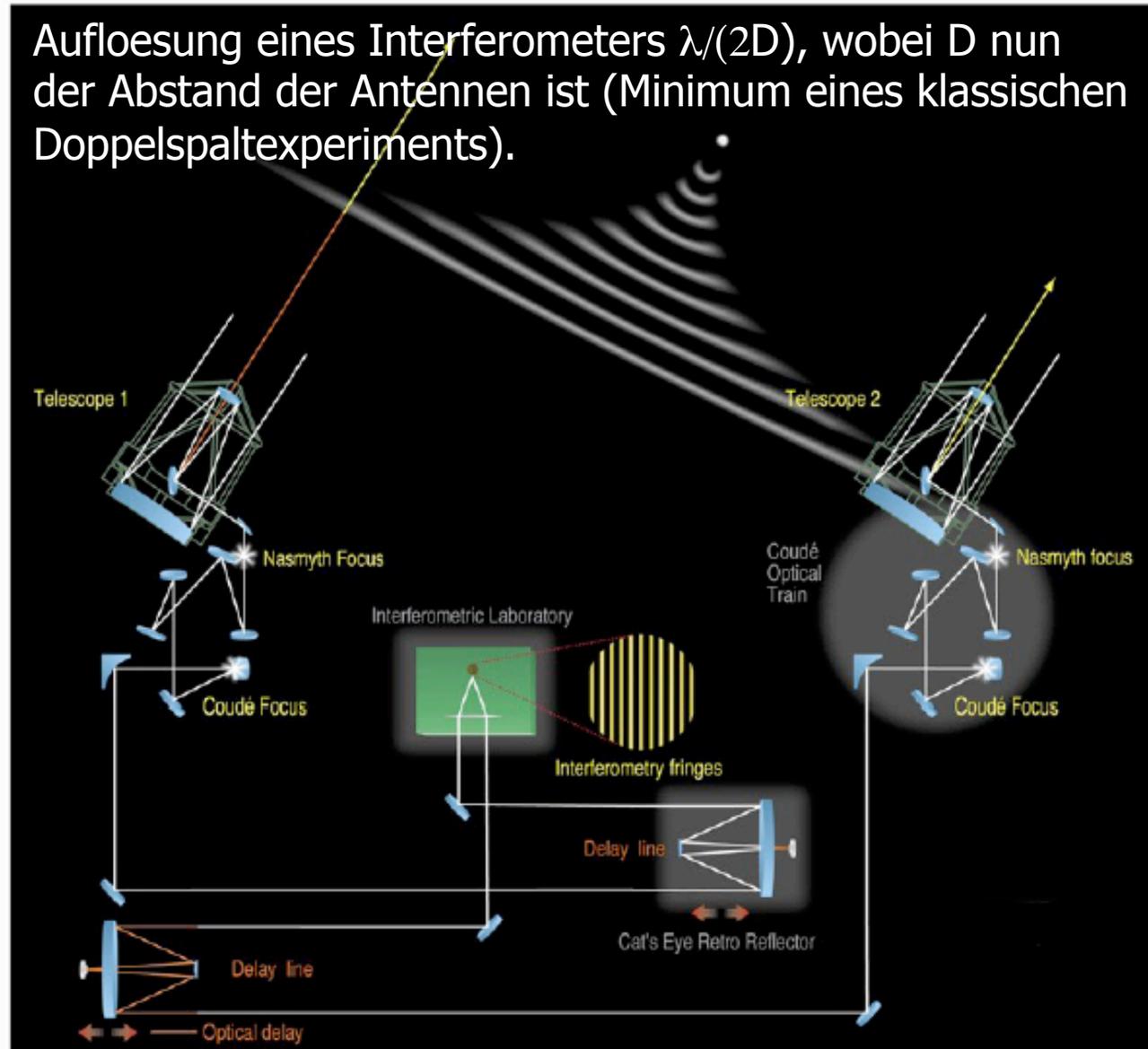
Mondaufgang im Schatten Mauna Keas

# Keck-Plattform Segmentierte Spiegel



# MIDI VLTI - Interfero- metrie mit 2 VLTs

Auflösung eines Interferometers  $\lambda/(2D)$ , wobei D nun der Abstand der Antennen ist (Minimum eines klassischen Doppelspaltexperiments).

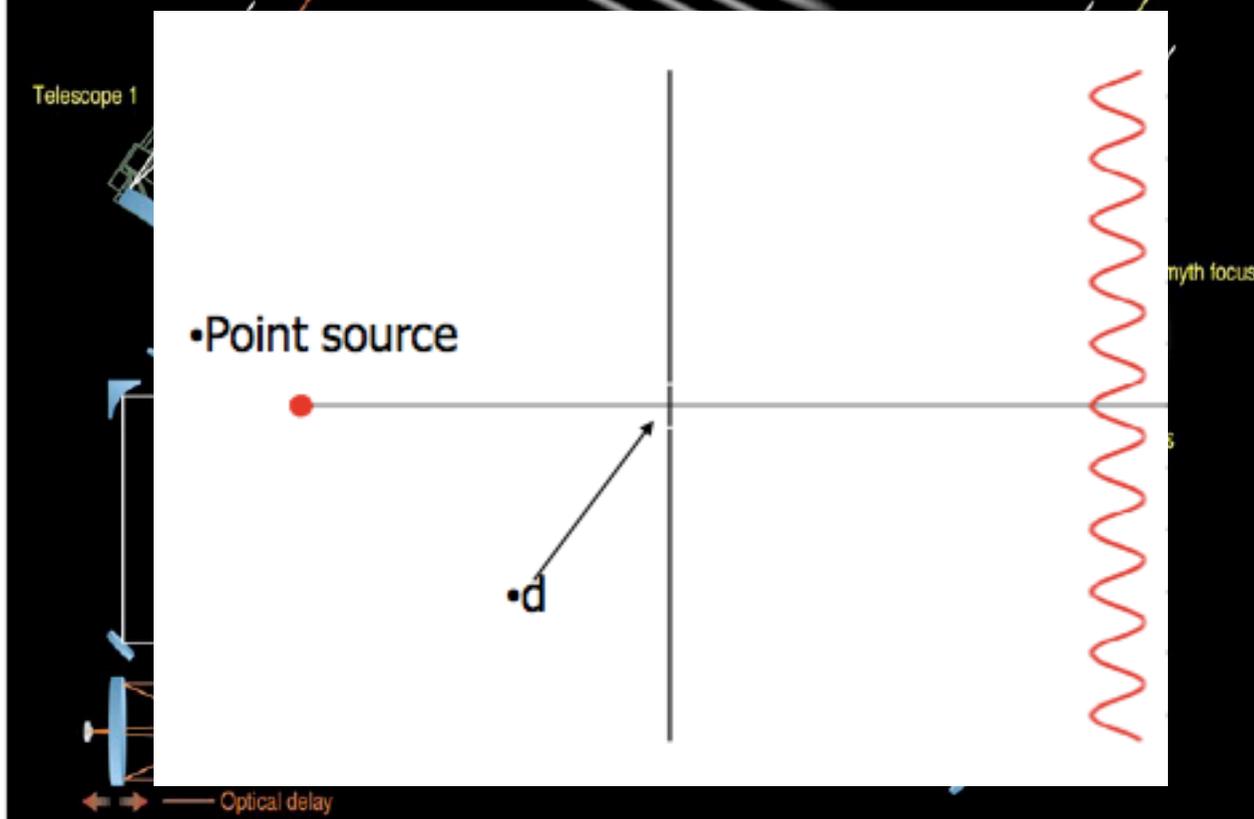


Overview of the VLT Interferometer

# MIDI VLTI

## - Interfero- metrie mit 2 VLTs

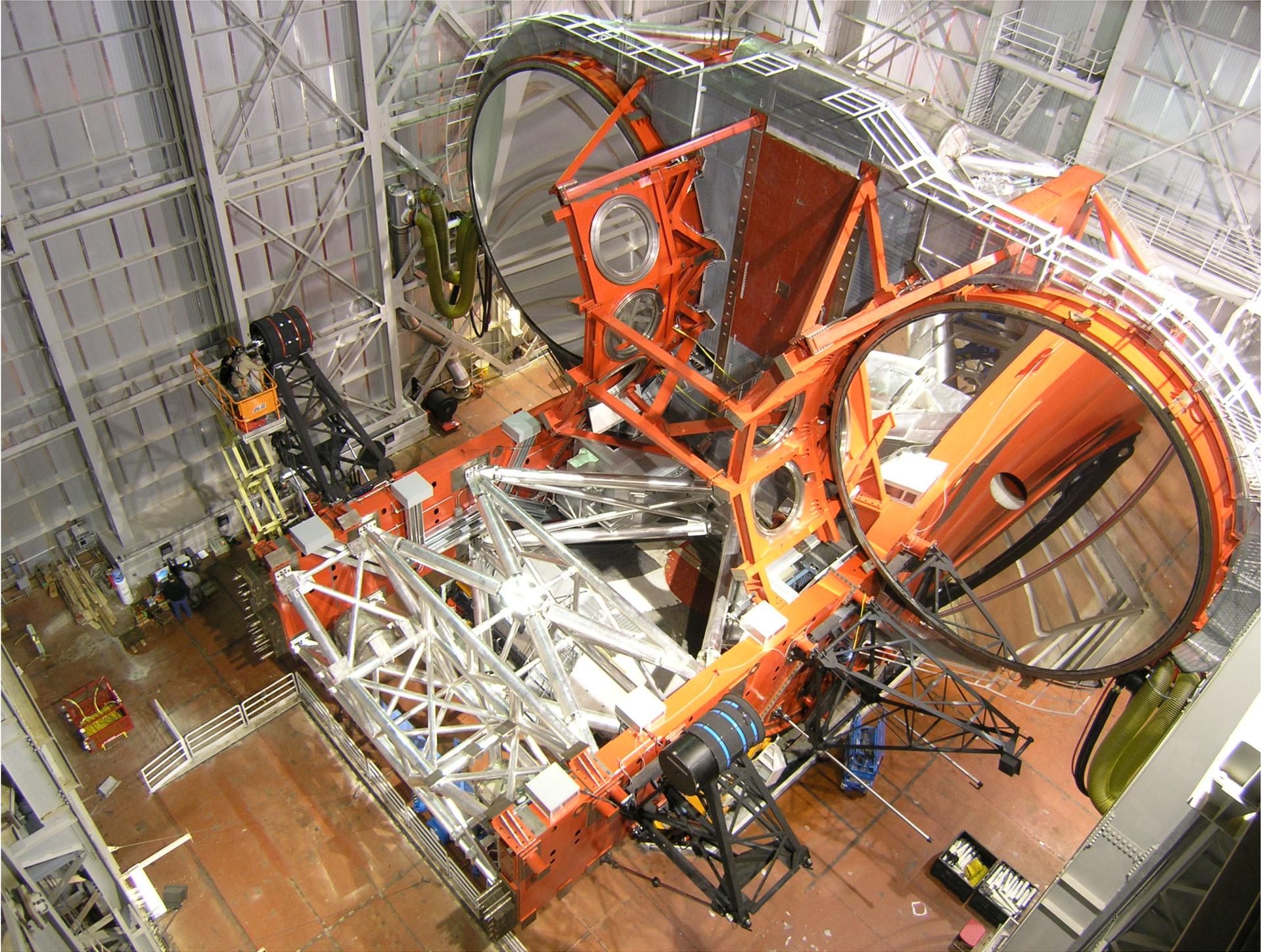
Auflösung eines Interferometers  $\lambda/(2D)$ , wobei D nun der Abstand der Antennen ist (Minimum eines klassischen Doppelspaltexperiments).



Overview of the VLT Interferometer

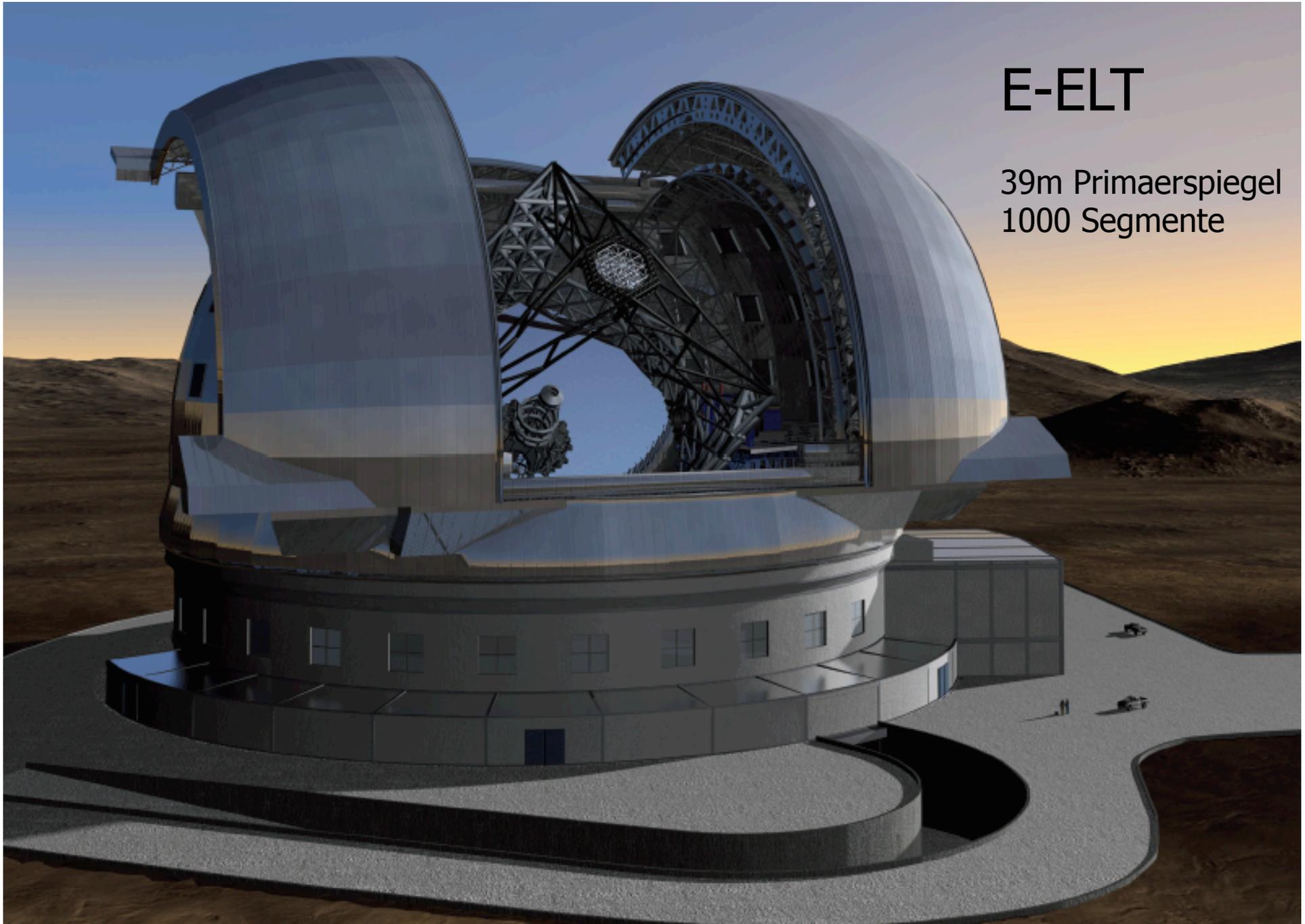
# Large Binocular Telescope (LBT)





# E-ELT

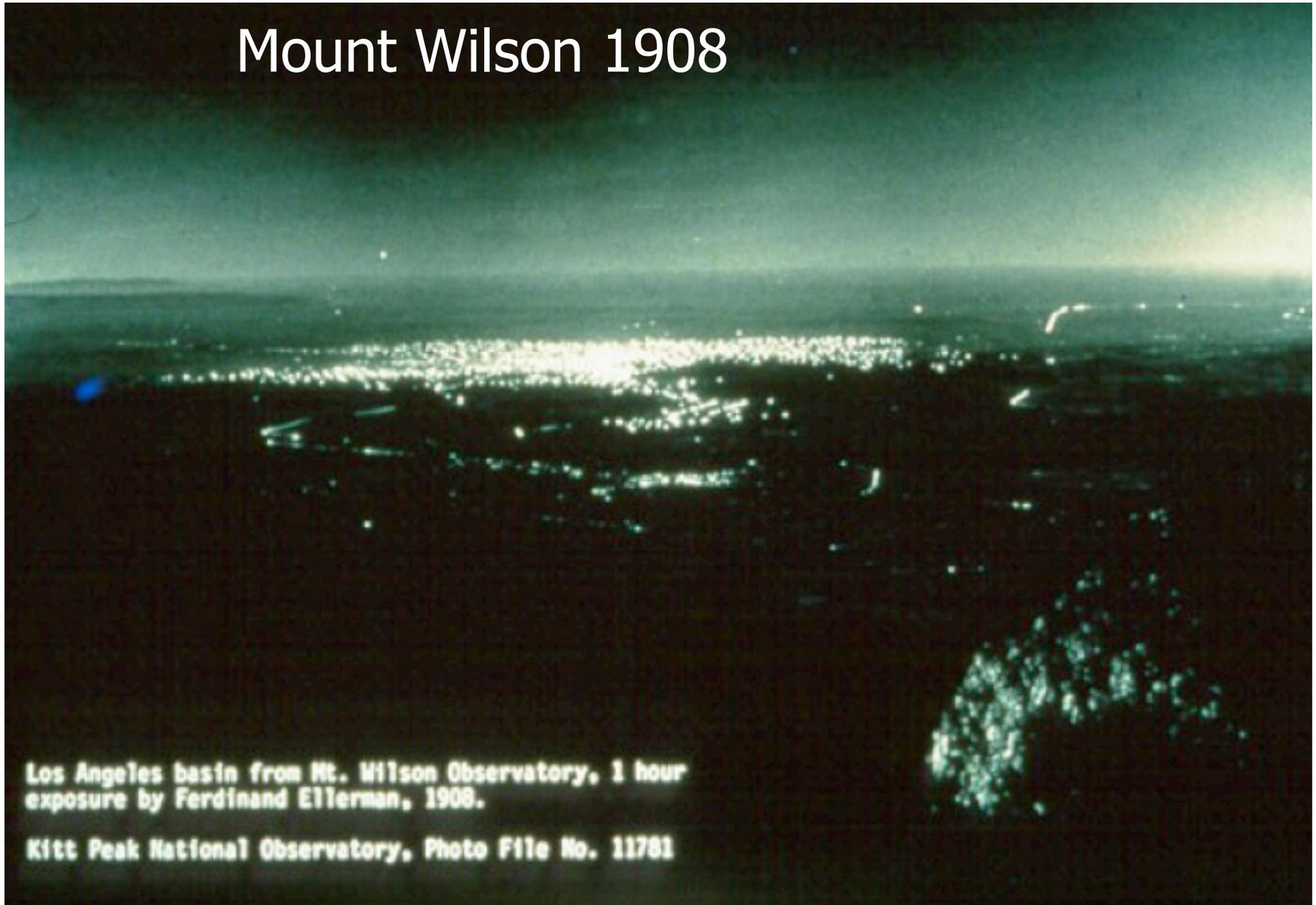
39m Primaerspiegel  
1000 Segmente



# Observatorien: Standortwahl

- Primäre Anforderungen
  - Gute klimatische Bedingungen
  - Gleichmäßige Thermik (Seeing)
  - Wenig Streulicht
  - Geringe Luftfeuchtigkeit (für sub-mm)
- Weitere Anforderungen
  - politische Stabilität
  - Logistik
- Allgemein: Wüsten, hohe Berglagen
  - Hawaii, Chile
  - Spanien, Südwesten der USA, Australien
  - Südpol

# Mount Wilson 1908

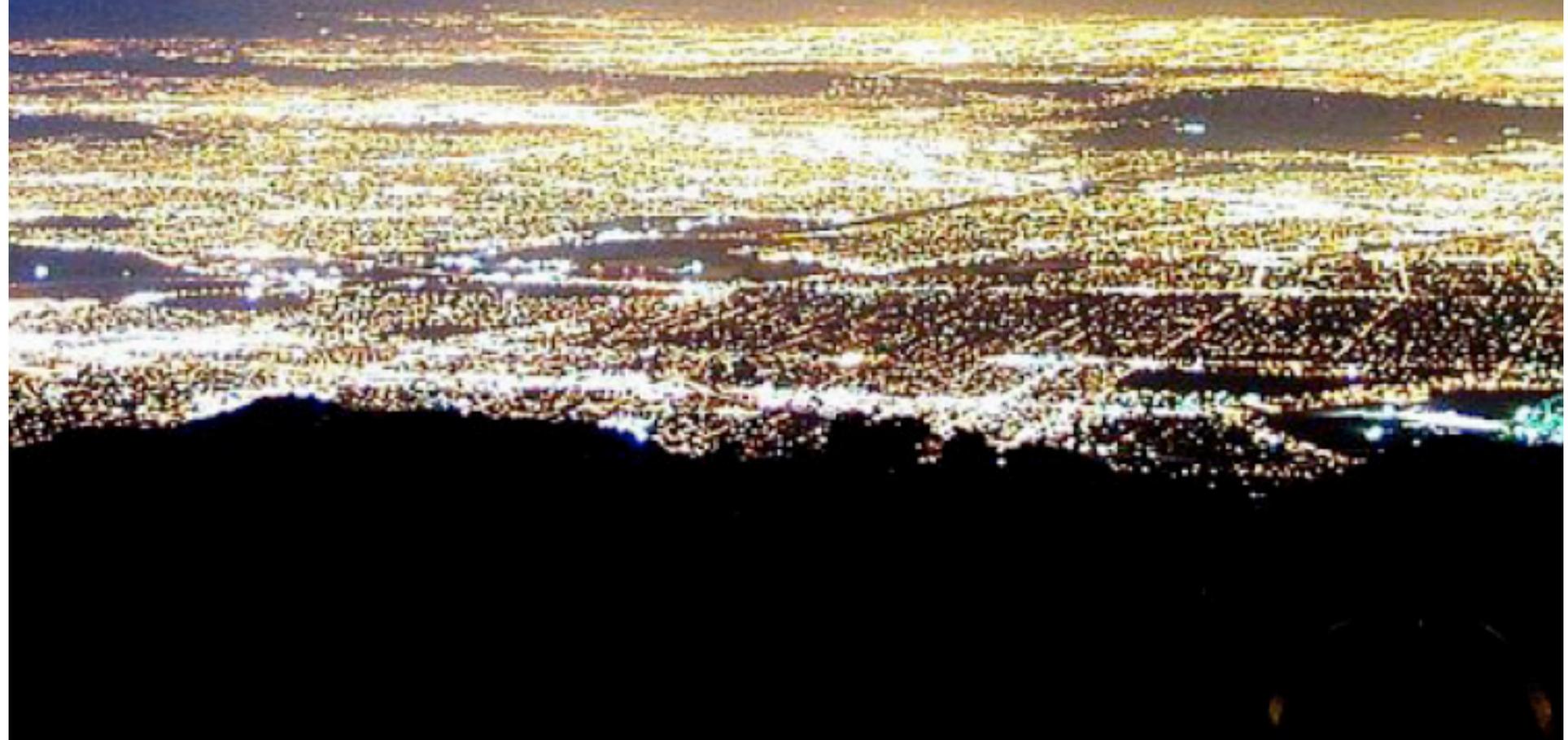


Los Angeles basin from Mt. Wilson Observatory, 1 hour exposure by Ferdinand Ellerman, 1908.

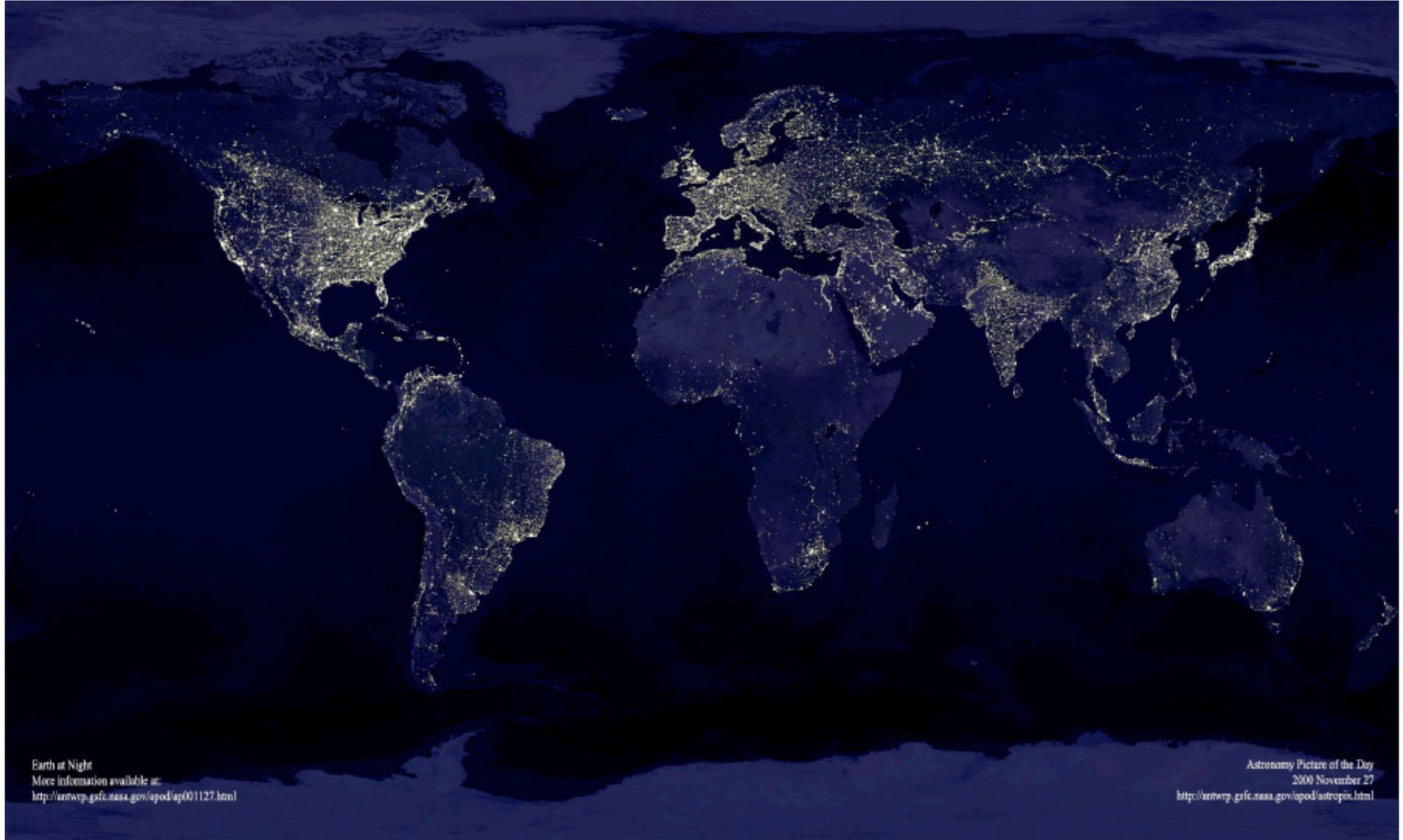
Kitt Peak National Observatory, Photo File No. 11781

UCLA Department of Astronomy

Jan 31 01 22:52:33



# Lichtverschmutzung



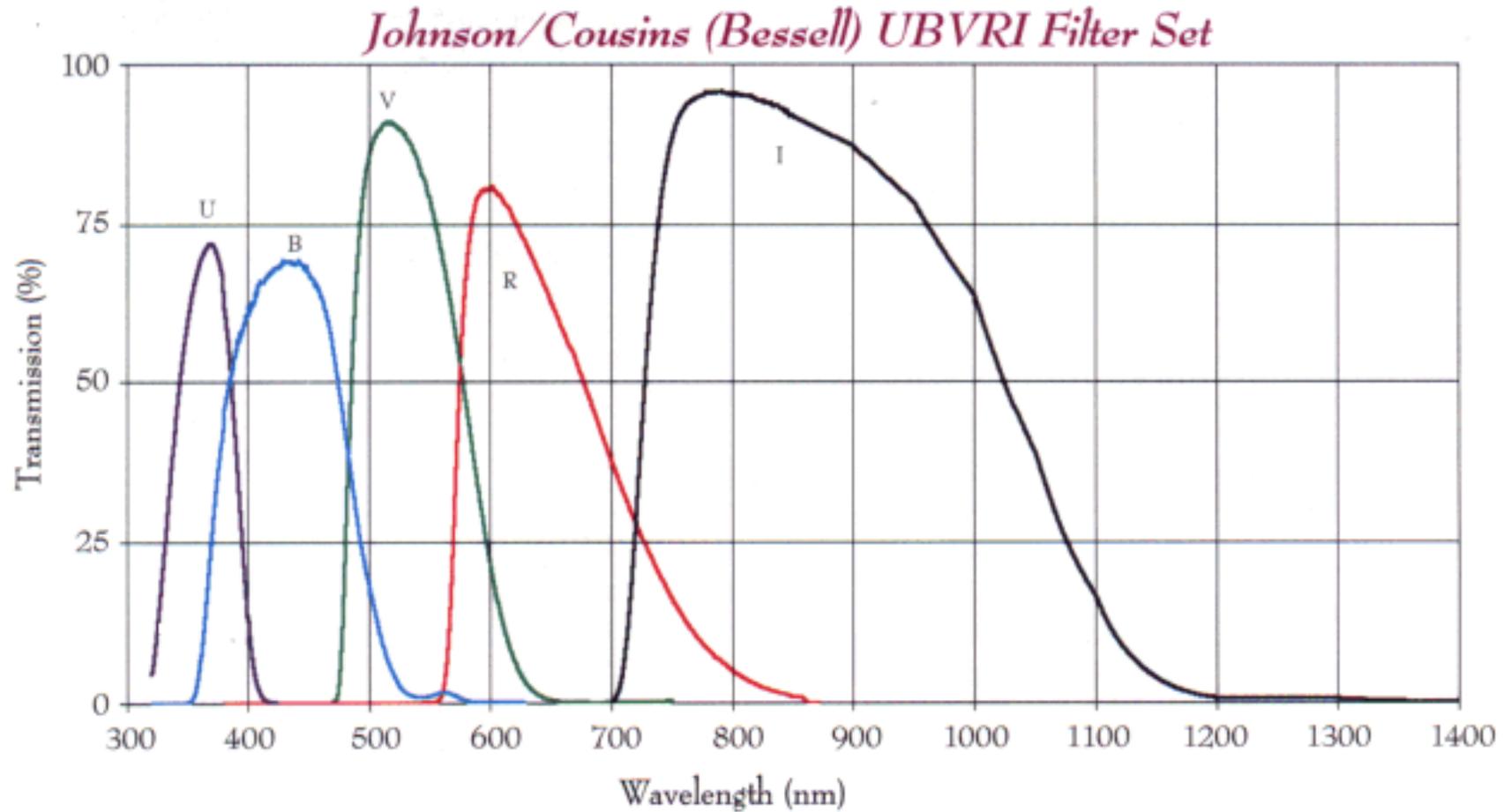
Earth at Night  
More information available at:  
<http://antwip.gsfc.nasa.gov/apod/ap001127.html>

Astronomy Picture of the Day  
2000 November 27  
<http://antwip.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>

# Einige Spiegelteleskope

Sternwarte	Öffnung	Fokus	Brennweite	Inbetrieb
Mt. Wilson (Hale)	2.54 m	New Cas Cou	12.9 m 41 m 76 m	1917
Mt. Palomar (Hale Obs.)	5.08 m	Pr Cas Cou	16.7 m 81 m 152 m	1948
Kitt Peak	4.0 m	Pr RC Cou	11.1 m 30.8 m 89.1 m	1973
La Silla (ESO) (Chile)	3.6 m	Pr RC Cou	10.9 m 28.6 m 114.6 m	1976
Zelenchuk	6.0 m	Pr Nasmyth	24.0 m 180 m	1976
MMT (Mt. Hopkins)	4.46 m	Cas	49.9 m	1979
Calar Alto (Spanien)	(6 x 1.82 m) 3.5 m	Cas Pr RC	57.7 m 12.2 m 35 m	1983
MPIA Heidelberg W. Herschel	4.2 m	Cou Pr RC	122.5 m 10.5 m 46.2 m	1987
Roque de los Muchachos NTT La Silla (ESO)	3.58 m (d=24 cm)	Pr RC	7.88 m 39.4 m	1989
Mauna Kea (Hawaii) Keck I	9.82 m	Pr RC IR	18.2 m 147.3 m 245.5 m	1991
Keck II VLT (ESO Cerro Paranal) 4 Einheiten: Yepun, ...	8.2 m	Cas Nasmyth Cou		1996 1998 2000
LBT (Mount Graham)	10.0 m			2002

# Breitbandbeobachtungen und Spektroskopie I



- Breitbandfilter ermöglichen hohe Sensitivität.
- Beobachtungen in unterschiedlichen Filtern erlaubt Farbanalyse.
- Es gibt auch Schmalbandfilter, die hauptsächlich einzelne Linien abdecken, z.B. Balmer Linien
- CCDs (charged coupled device) Standard fuer Detektoren.

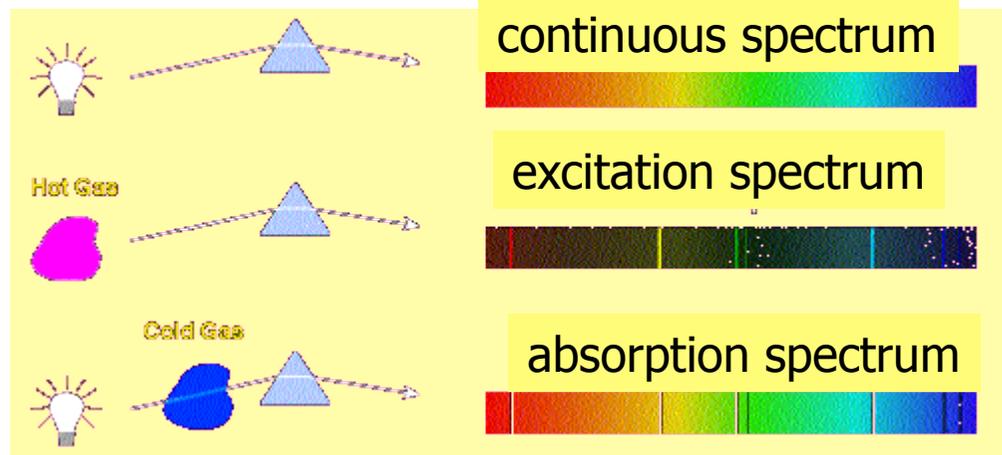
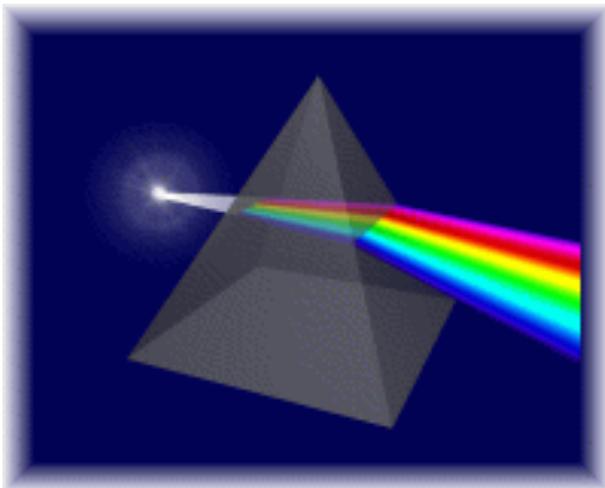
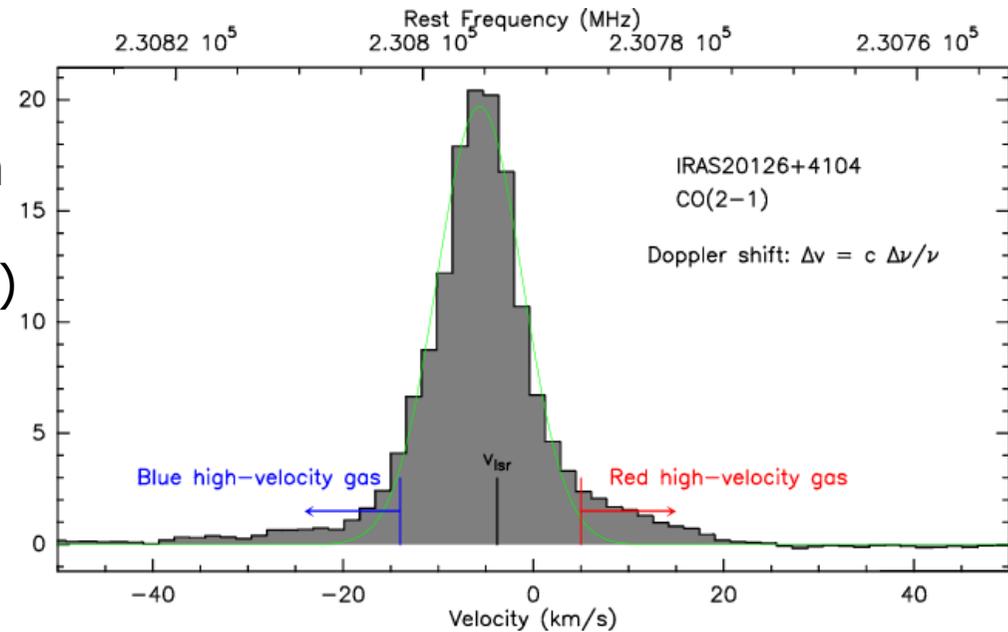
# Breitbandbeobachtungen und Spektroskopie II

- Strahlung wird aufgespalten durch Prisma, Gitter oder Schlitz

- Spektrale Auflösung  $A = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$

- im Optischen und Nahinfraroten ueblicherweise zwischen 100 und ein paar 1000 (max.  $10^5$ )
- im Radiobereich viel hoeher

- Geschwindigkeitsaufloesung:  
 $\Delta v = c * \Delta\lambda/\lambda = c * \Delta\nu/\nu$

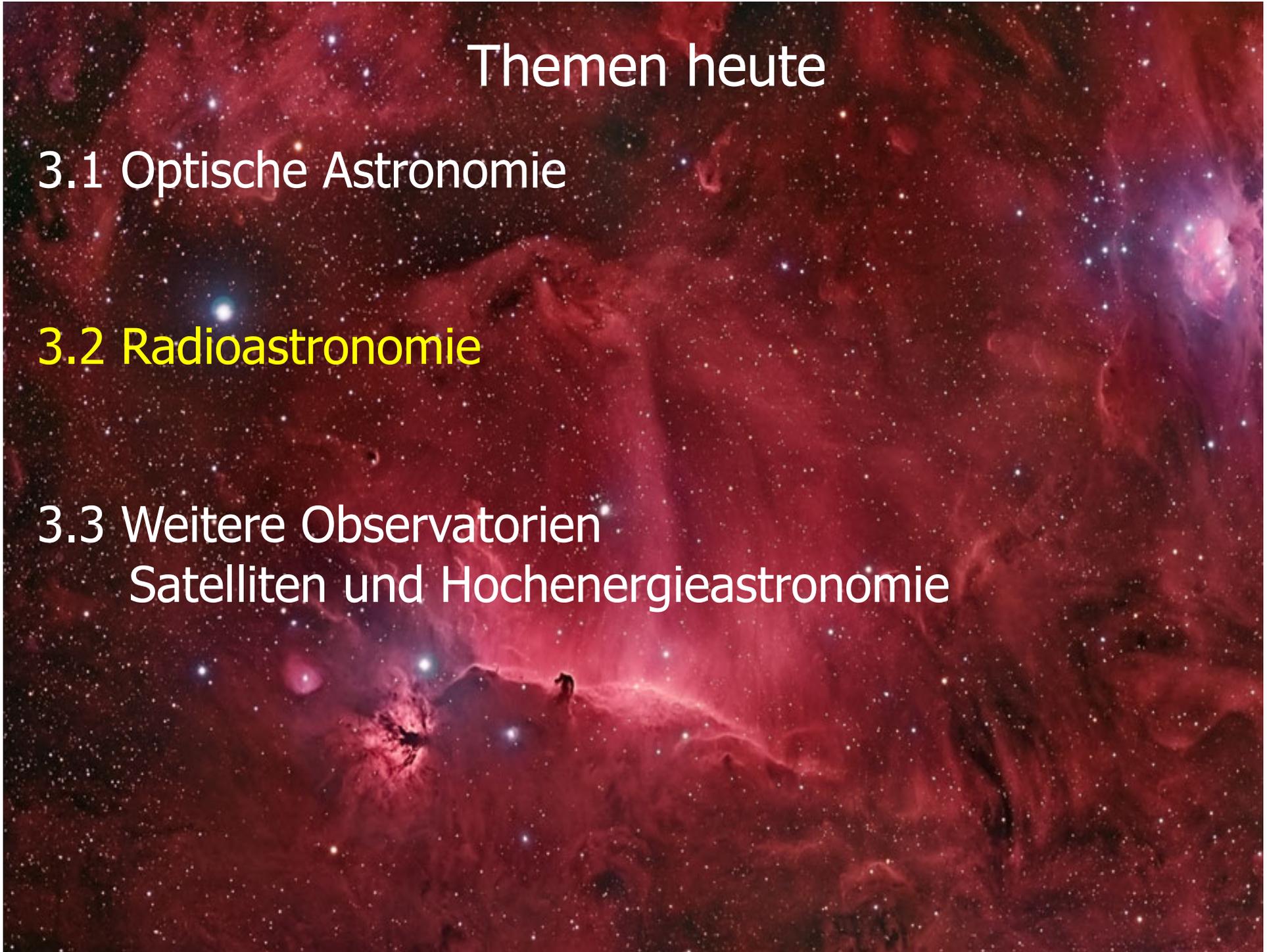


# Themen heute

3.1 Optische Astronomie

3.2 Radioastronomie

3.3 Weitere Observatorien  
Satelliten und Hochenergieastronomie



# Radioastronomie

- Ueberdeckt einen grossen Wellenlaengenbereich. Historisch cm Wellen, aber sowohl m-Wellen als auch submm-Wellenlaengen werden heute zu der Radioastronomie gezaehlt.
- Karl Guthe Jansky beobachtete 1931 die erste Radioquelle ausserhalb des Sonnensystems, das galaktische Zentrum.
- $1 \text{ Jy} = 1 \cdot 10^{-26} \text{ W}/(\text{m}^2\text{Hz})$
- Typische Prozesse:
  - Ionisiertes Gas bei cm-Wellenlaengen durch Frei-Frei Emission.
  - Synchrotron Emission bei cm-Wellenl.
  - Kalter Staub bei (sub)mm-Wellenlaengen
  - Sehr viele molekulare Linien ueber den ganzen Spektralbereich (hohe spektrale Aufloesung).
  - Atomarer Wasserstoff
- Wegen  $\lambda/D$  werden grosse Teleskope benoetigt. In der Radioastronomie ueblicherweise durch Interferometer realisiert.



# Vorteile der Radio Beobachtung

---

- Track physikalische Prozesse, die sonst nicht beobachtbar sind (21 cm H, Moleküle).
- Radio Wellen breiten sich auch im Staub aus (z.B. Galaktisches Zentrum).
- Information über Magnetfelder.
- Information über Geschwindigkeitsfelder.
- Kann auch tagsüber beobachten (cm).

# Grosse Radioteleskope

Effelsberg, Eifel, 100m



Green Bank, Virginia  
100x110m



64m



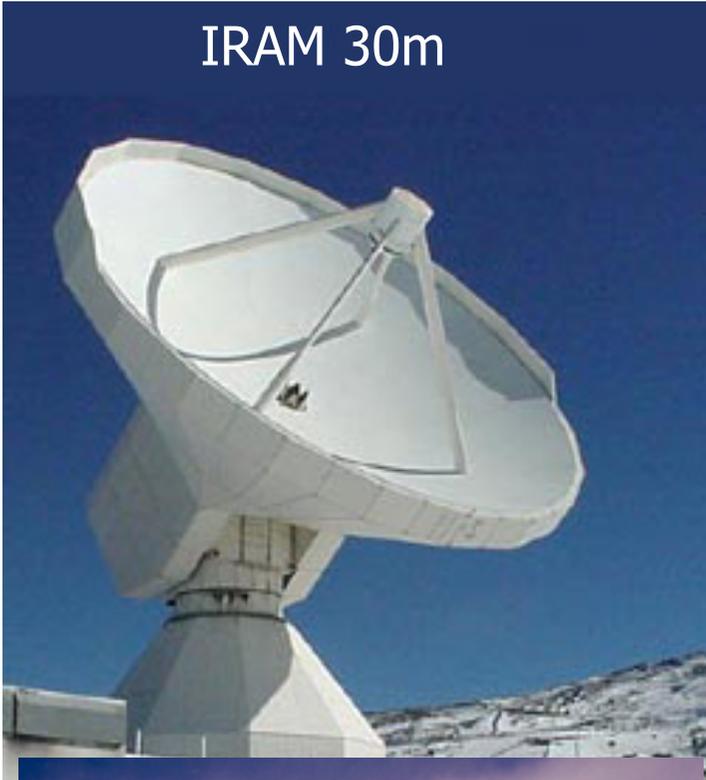
Parkes Telescope, Australien

# Arecibo, 305m



# (Sub)mm Teleskope

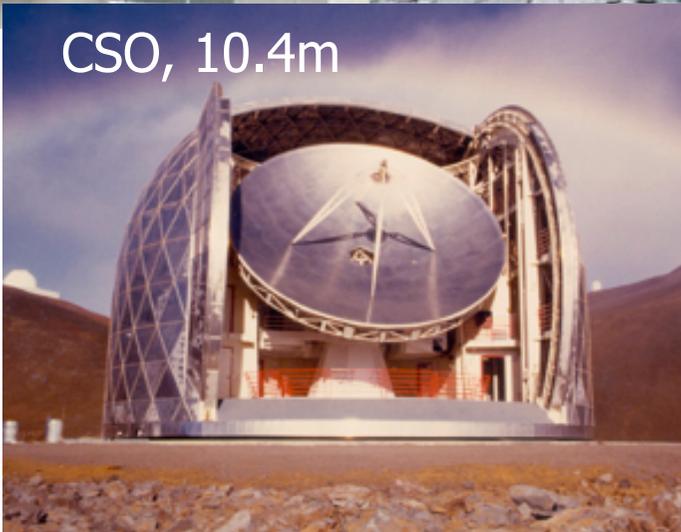
IRAM 30m



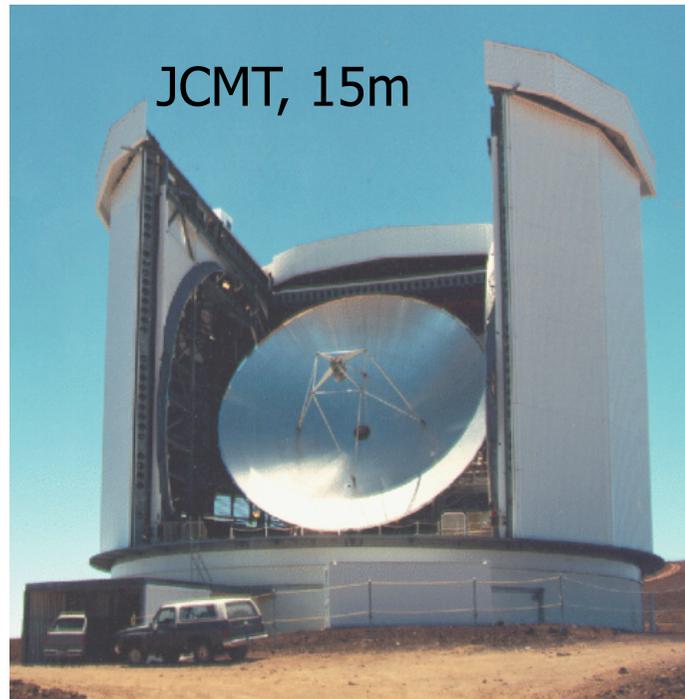
APEX, 12m



CSO, 10.4m



JCMT, 15m



(Sub)mm-Teleskope sind kleiner, beduerfen aber einer groesseren Oberflaechengenaugigkeit (Bruchteil der Wellenlaenge).



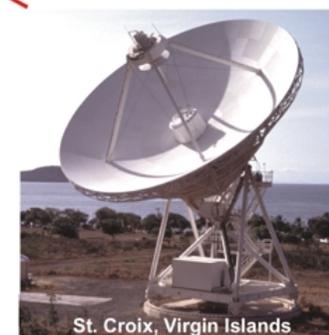
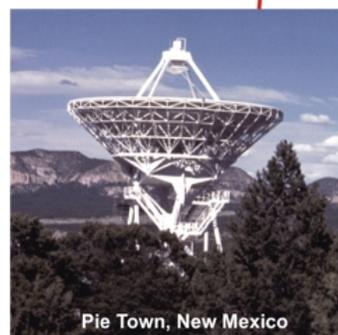
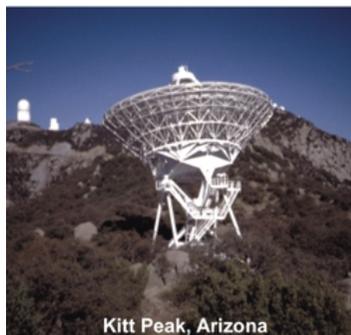
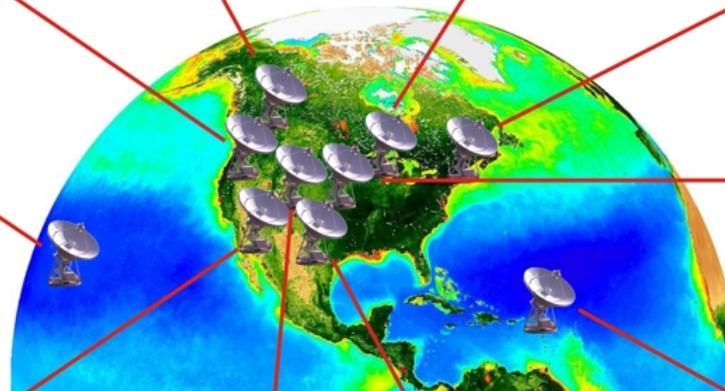
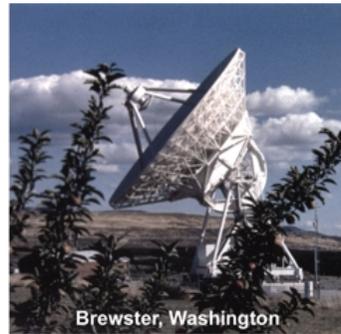
# The Very Large Array (VLA)

---

- 1980 Inbetrieb
- 27 x 25-m  
Antennen in  
verschiedenen  
Konfigurationen



# Very Large Baseline Interferometrie



- Inbetriebnahme 1993, operiert von Socorro aus.
- 10 x 25m Antennen verteilt ueber USA und Canada
- Basislinien groesser 8000km → Raeumliche Aufloesung Groessenordnung mas.

# The Atacama Large Millimeter Array (ALMA)

- 5000m ueber dem Meer in der Atacama Wueste
- Ueber 60 Antennen werden zusammengeschaltet
- Antennendurchmesser der meisten Antennen 12m
- Von 3mm bis 350 $\mu$ m Wellenlaenge



# Zusammenfassung heute

- Atmosphaerentransparenz, räumliches Auflösungsvermögen, Seeing
- Magnituden, FOV
- Linsen- und Spiegelteleskope aus dem 17. Jahrhundert bis heute
- Optische Fehler, Foki, Teleskopmontierungen, aktive Optik
- Standortwahl
- Kontinuumsbeobachtungen und Spektroskopie
- Unterschiede in der Radioastronomie
- (Weltraumobservatorien → APPENDIX)

# Einfuehrung in die Astron. & Astrophysik I

Wintersemester 2013/2014: Henrik Beuther & Christian Fendt

*17.10 Einfuehrung: Ueberblick und Geschichte (H.B.)*

*24.10 Koordinatensys., Sternpositionen, Erde/Mond (C.F.)*

*31.10 Teleskope und Instrumentierung (H.B.)*

**07.11 Strahlung, Strahlungstransport (C.F.)**

14.11 Planetensystem(e) und Keplergesetze (H.B.)

21.11 Sonne & Sterne, Typen, Klassifikationen, HR-Diagramm (C.F.)

28.11 Interstellare Materie: Chemie und Materiekreislauf (H.B.)

05.12 Sternentstehung, Akkretionsscheiben und Jets (H.B.)

12.12 Sternaufbau und Sternentwicklung: Hauptreihe (C.F.)

19.12 Sternaufbau und Sternentwicklung: Endstadien (C.F.)

*26.12 und 02.01 –*

09.01 Mehrfachsysteme und Sternhaufen, Dynamik (C.F.)

14.01 Exoplaneten und Astrobiologie (H.B.)

16.01 Die Milchstrasse (H.B.)

23.01 Zusammenfassung (C.F. & H.B.)

06.02 Pruefung (C.F. & H.B.)



Anhang

# ANHANG

3.1 Optische Astronomie

3.2 Radioastronomie

3.3 Weitere Observatorien  
Satelliten und Hochenergieastronomie



3.5m Durchmesser

*Exploring the  
Formation of  
Galaxies and Stars*

HERSCHEL

European Space Agency  
Agence spatiale européenne

Ferninfrarotsatellit wichtig, da er es erlaubt Peak der SED zu beobachten.

Ausserdem viele wichtige spektrale Linien, z.B. C<sup>+</sup>

March 2009  
Courtesy Markus Nielbock





3.5m Durchmesser

*Exploring the  
Formation of  
Galaxies and Stars*

HERSCHEL

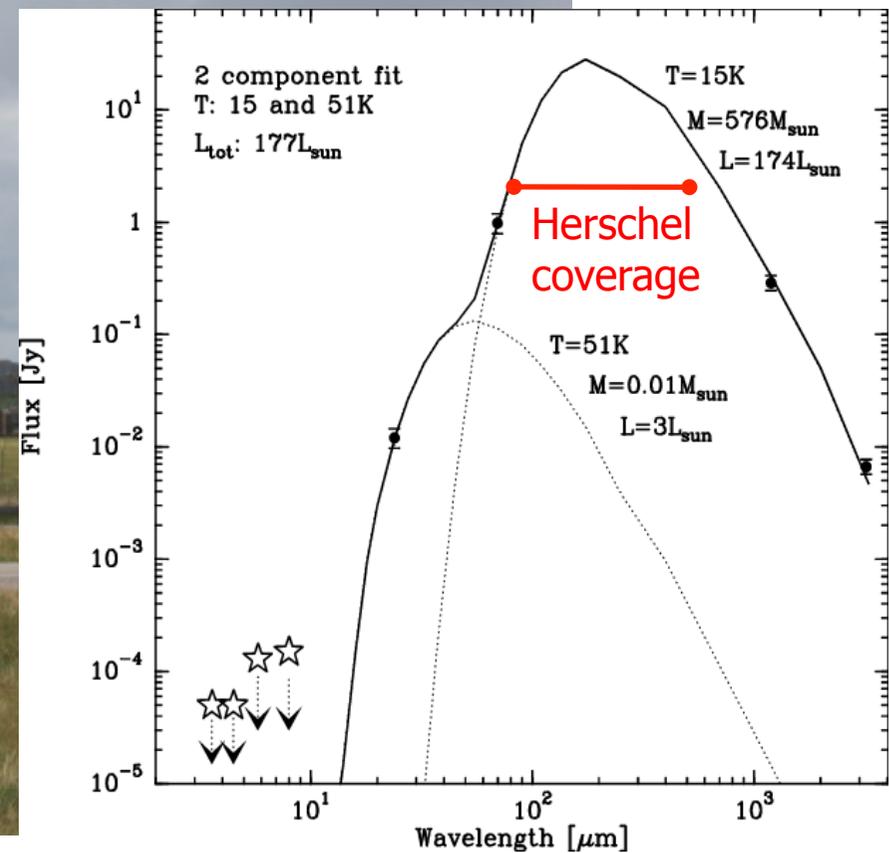
European Space Agency  
Agence spatiale européenne

Ferninfrarotsatellit wichtig, da er es erlaubt Peak der SED zu beobachten.

Ausserdem viele wichtige spektrale Linien, z.B. C<sup>+</sup>

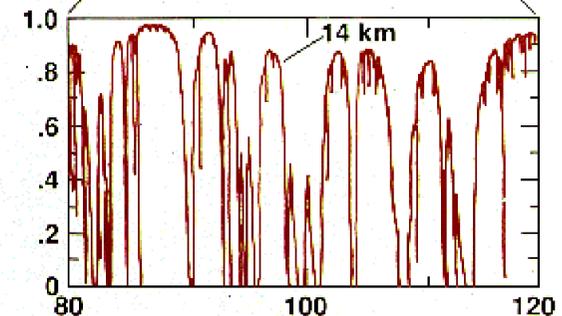
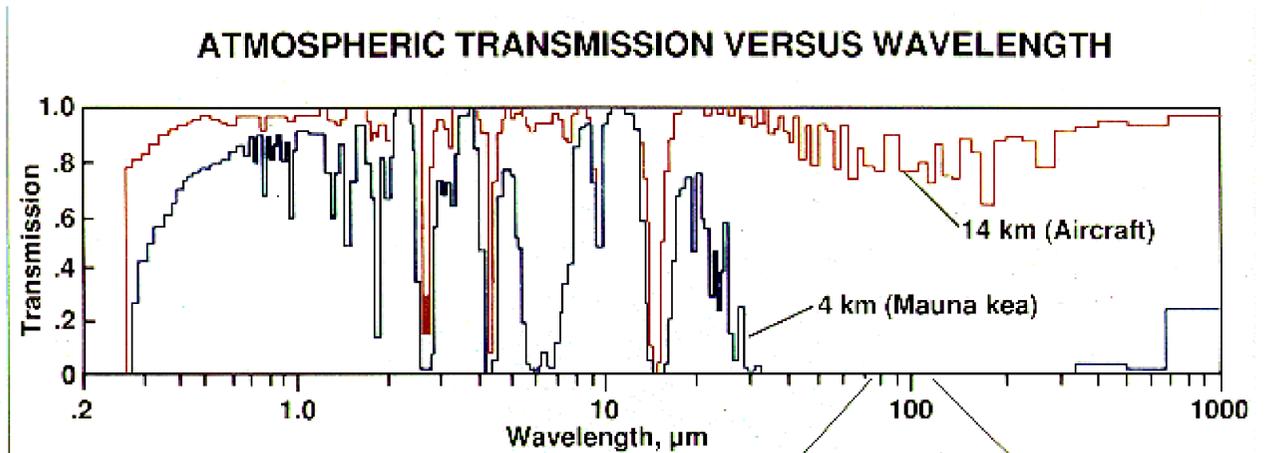
March 2009

Courtesy Markus Nielbock



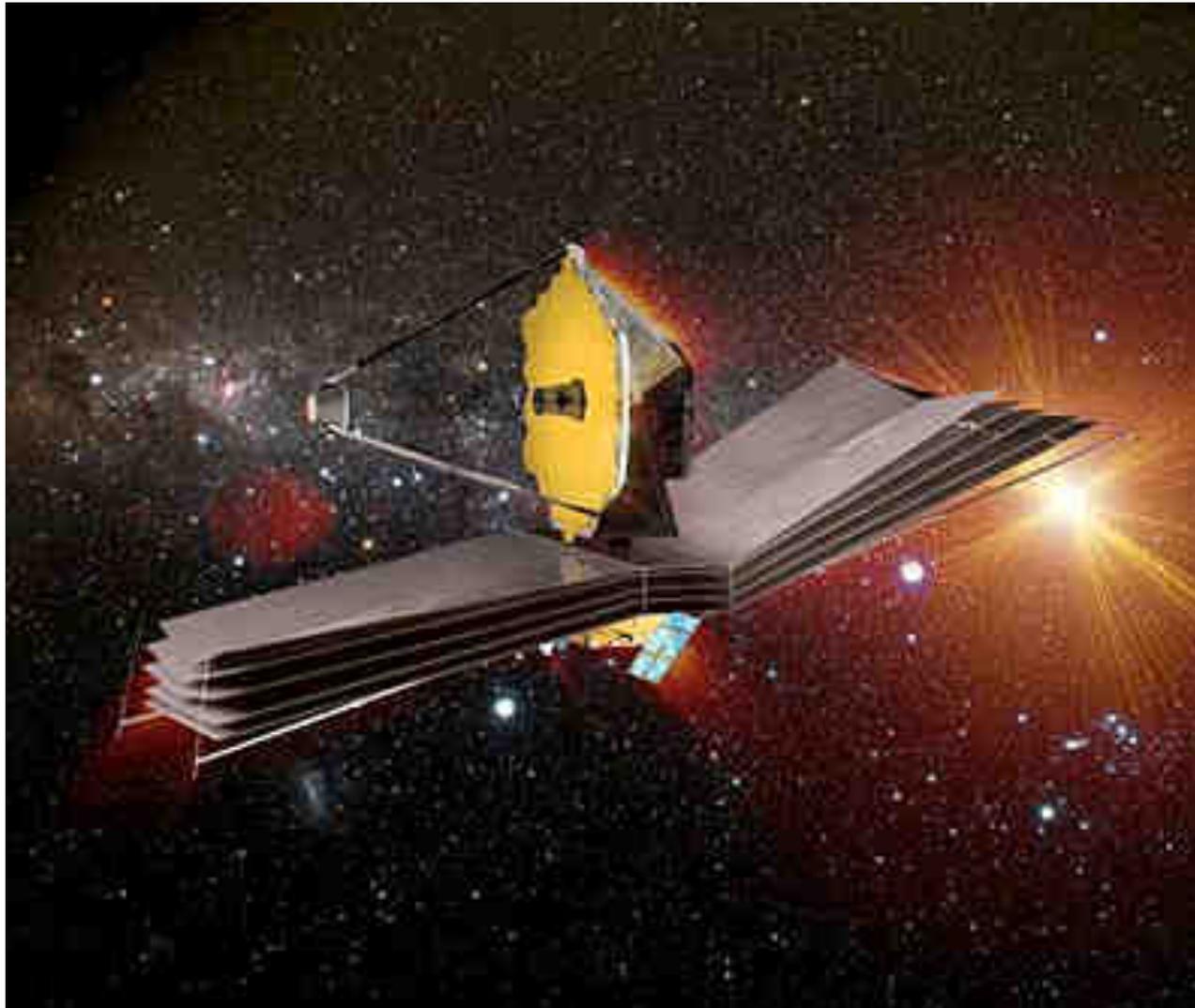
# Stratospheric Observatory for FIR Astronomy (SOFIA)

- First light 2010
- 2.5m Durchmesser
- Alte 747
- Im Prinzip Satelliten besser, allerdings Flugzeug sehr viel flexibeler.



# James Webb Space Telescope (JWST)

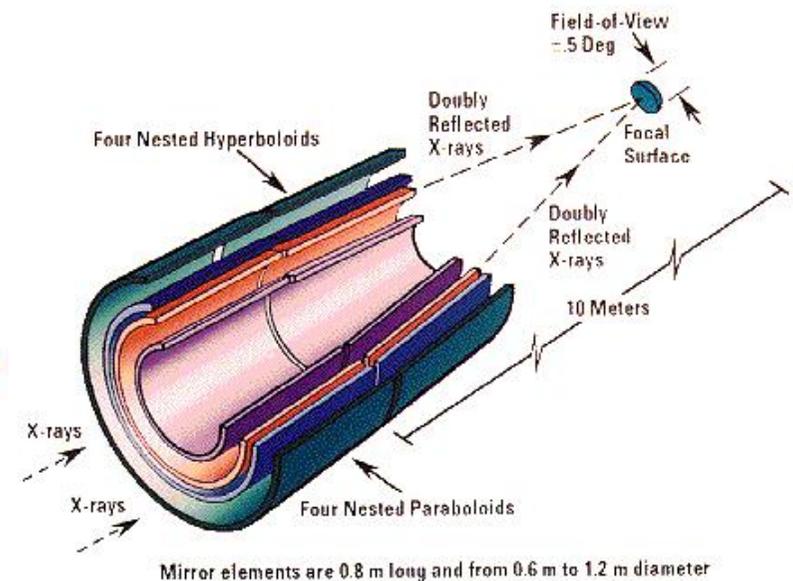
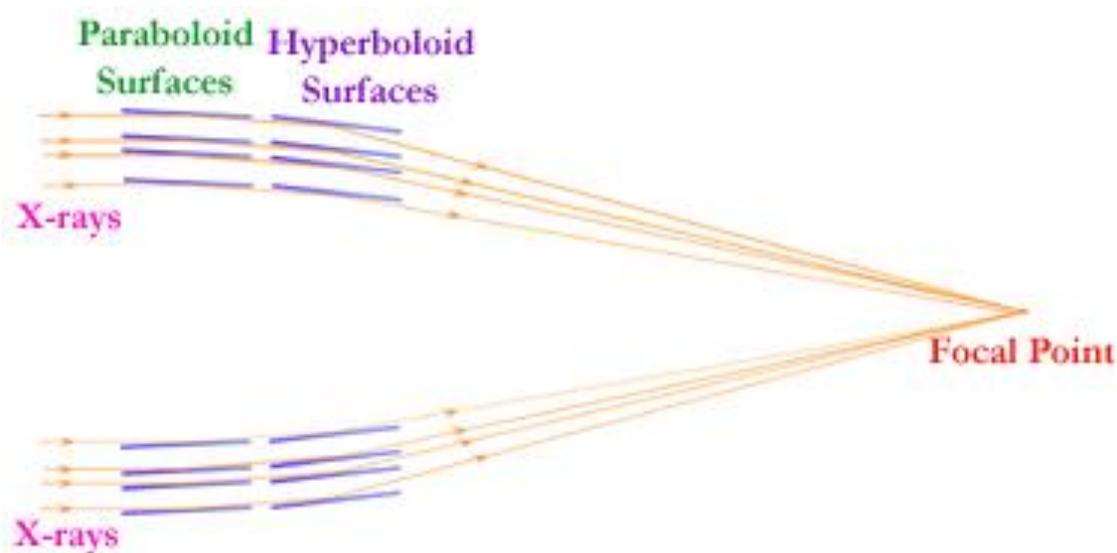
- Im All zu entfalten, 6.5m Spiegeldurchmesser
- Nahinfrarot optimiert.
- Wird an räumlicher Auflösung und Sensitivität bisherige Instrumente um Größenordnungen verbessern.



# Roentgen Teleskope

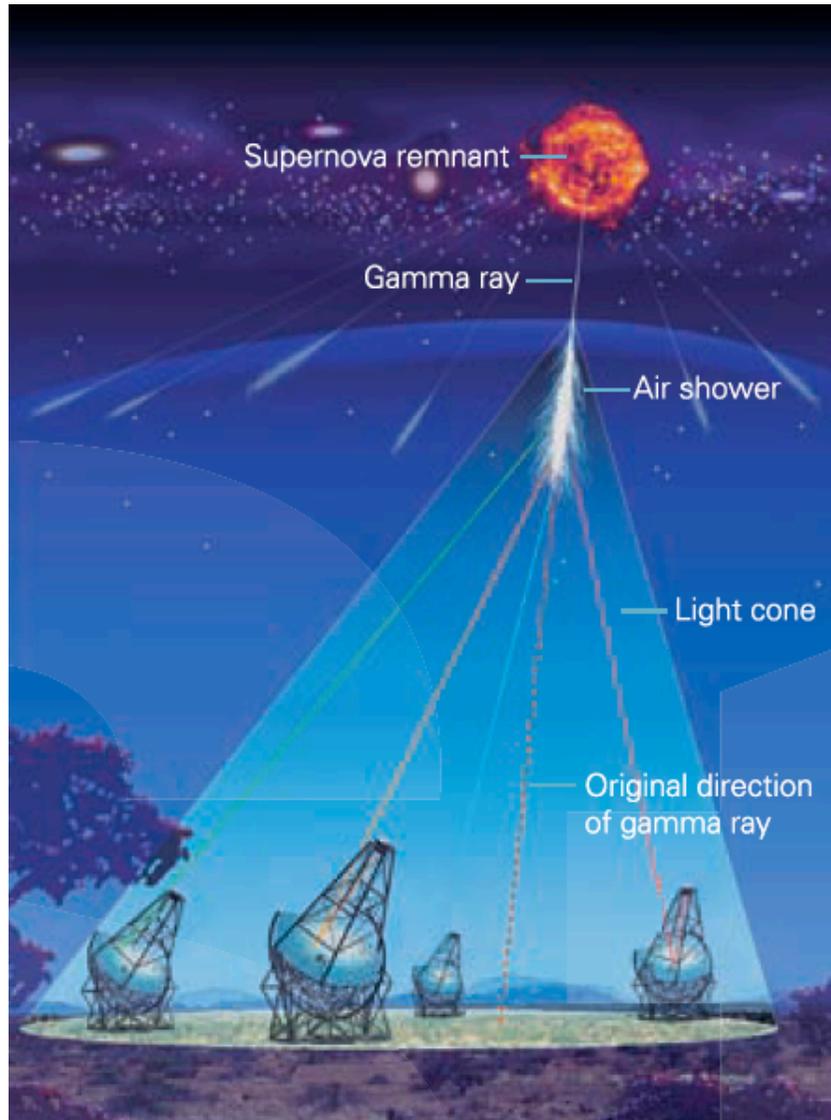
Wenn die Wellenlaenge kuerzer als der Abstand der Atome  
→ Wolter Teleskop

- Streifender Einfall mit Einfallswinkel  $\leq 1$  Grad
- Raeumliche Aufloesung bis zu 1"
- Energien ueblicherweise zwischen 0.2 und 10keV
- Sammelflaeche kann durch "geschichtete Teleskope" erhoeht werden.



# Gamma-Strahlen-Astronomie

HESS Tscherenkow Teleskop  
Namibia → MPIK & LSW



- Gammastrahlung verursacht in oberer Atmosphäre eine Kaskade von Sekundärteilchen (bestehend aus Elektronen, Positronen, Myonen, Neutrinos und Photonen), welche einen bläulichen Lichtblitz erzeugen.
- Die resultierende ausgeleuchtete Region ist nur ca. 250m gross.
- Mit mehreren Teleskopen lässt sich so der Ursprung recht gut bestimmen.

HESS: Vier 12m Spiegel

- Sensitiv fuer Strahlung  $> 40\text{GeV}$ .
- Aufloesung ca.  $0.1\text{Grad}$

- Victor Hess 1936 Nobelpreis fuer Entdeckung der kosmischen Strahlung.

# Teleskope heute und morgen

