



Durchmusterungen

Silke Britzen

Max-Planck-Institut für Radioastronomie Bonn



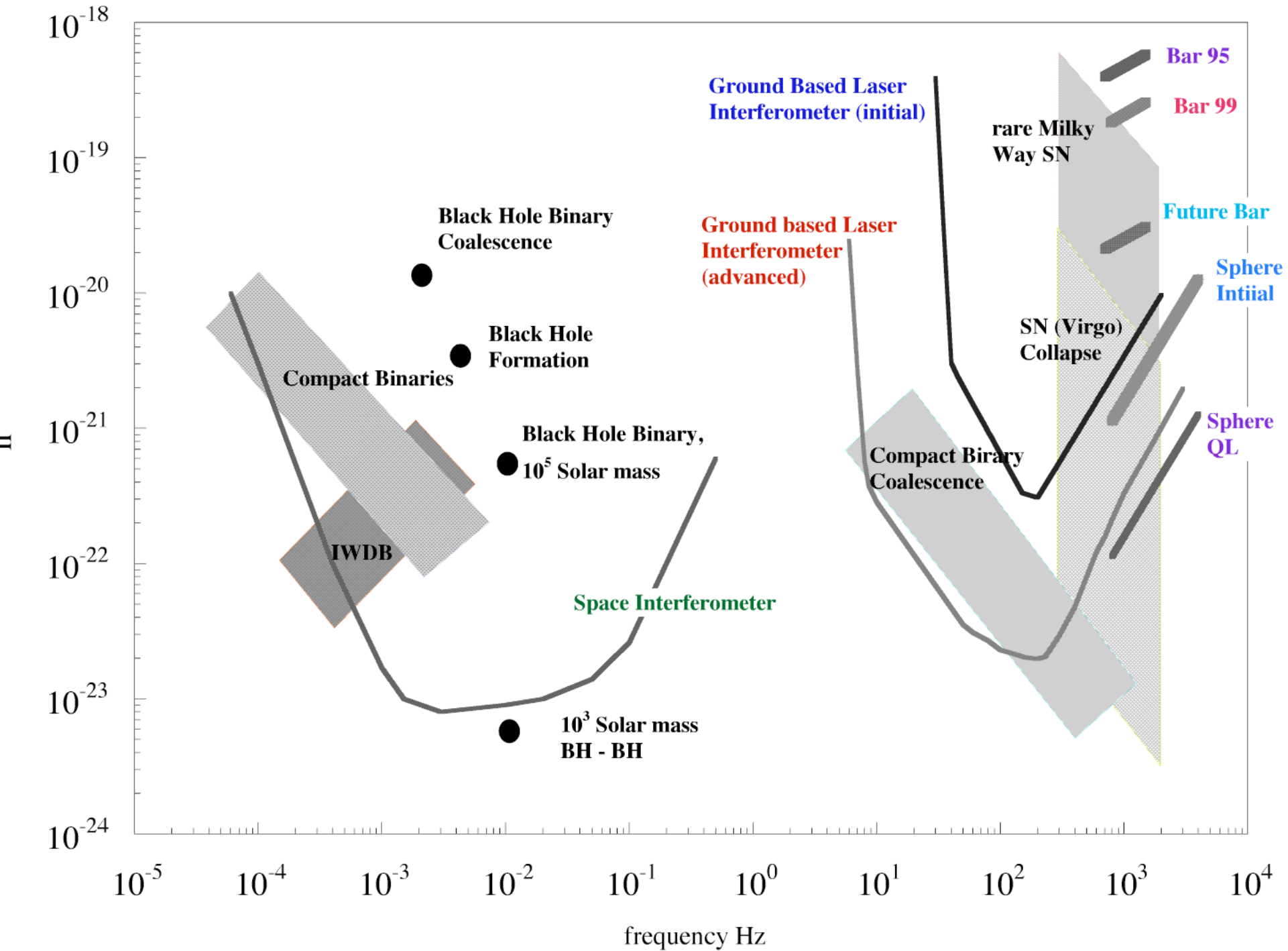
Themen & Daten

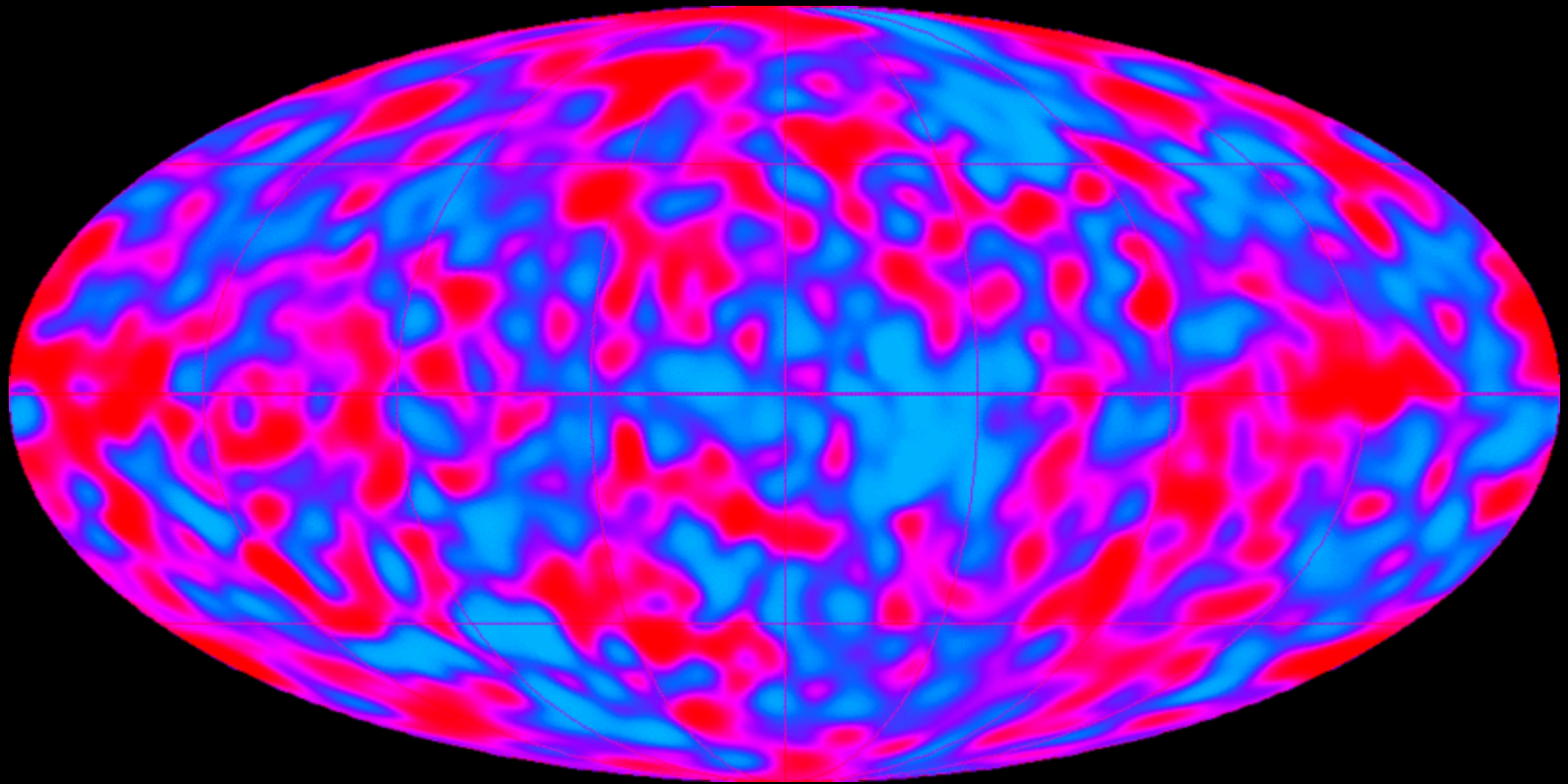
e-mail: sbritzen@mpifr-bonn.mpg.de

<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/staff/sbritzen/>

Tel.: 0228 525 280

- 11.04.: Aktuelles/Übersicht
- 25.04.: Mikrowellenhintergrund (WMAP)
- 09.05.: Reionisation & LOFAR
- 23.05.: Schwarze Löcher - NEUES
- 06.06.: MOND – Dunkle Materie Alternative
- 20.06.: Neue Groß-Teleskope
- 04.07.: GLAST, Planck, Herschel

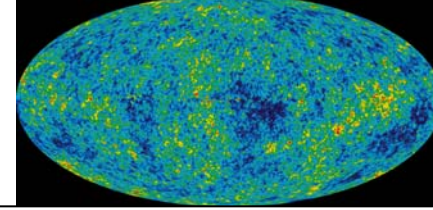
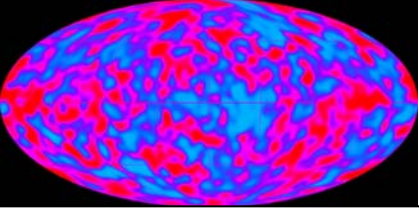




25.04.:

**Mikrowellenhintergrund
& Reionisation (WMAP)**

Die Urknalltheorie



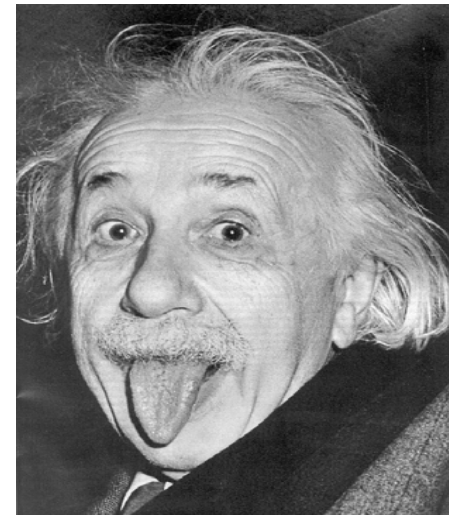
heute allgemein anerkannte Theorie über die Evolution unseres Universums

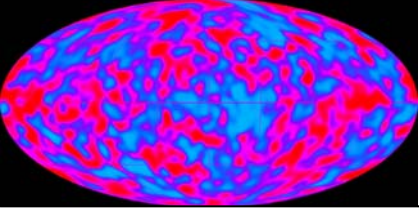
mit folgenden **Postulaten**:

- vor 12-14 Milliarden Jahren war das gesamte Universum auf wenige Millimeter konzentriert
- seitdem hat es sich bis von diesem Zustand extrem hoher Dichte und Temperatur bis zum heutigen Erscheinungsbild ausgebreitet

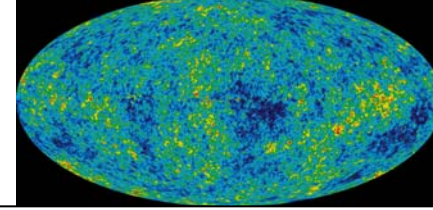
Grundlage der Theorie bilden:

- allgemeine Relativitätstheorie
- kosmologische Prinzip
- Olbersche Paradoxon



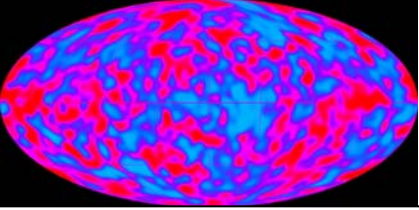


Olberssches Paradoxon

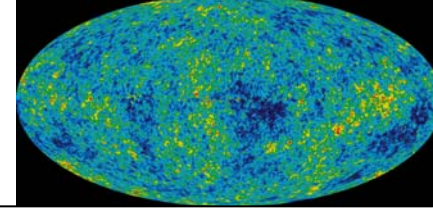


- Das **Olberssche Paradoxon** geht auf den deutschen Astronomen [Heinrich Wilhelm Olbers](#) zurück, der dieses Problem im Jahre 1826 formulierte, nachdem es bereits von anderen Wissenschaftlern erkannt worden war. Es geht von der Frage aus, warum der [Nachthimmel](#) dunkel ist, obwohl man doch erwarten könnte, in *jeder* Richtung einen Stern zu sehen, wenn das Weltall [unendlich](#) und im Mittel nach dem [Kopernikanischen Prinzip](#) gleichförmig wäre. Der Nachthimmel müsste also strahlend hell sein.

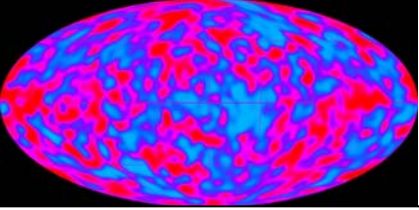
Unterstellt man, dass das [Universum](#) eine unendlich große Zahl an gleichmäßig verteilten räumlich ausgedehnten [Sternen](#) hat, dann gilt: Die Gesamthelligkeit eines Sternes ist unabhängig von der Entfernung eines Beobachters (d. h., das Licht zerstreut sich zwar, erlischt allerdings nicht). Ist das Universum unendlich, ist auf jeder möglichen Sichtlinie irgendwann ein Licht ausstrahlender Himmelskörper, sofern er nicht punktförmig ist. Daraus folgt: Jeder Punkt am Himmel sollte dieselbe Helligkeit wie die Oberfläche eines Sternes besitzen. Das widerspricht aber deutlich den Beobachtungen. Die Voraussetzungen, die zu dieser Zeit weitgehend akzeptiert wurden, konnten also nicht stimmen. Kepler, der bereits ähnliche Überlegungen hatte, sah dies als ein Argument für ein endliches Universum oder zumindest eine endliche Zahl von Sternen.



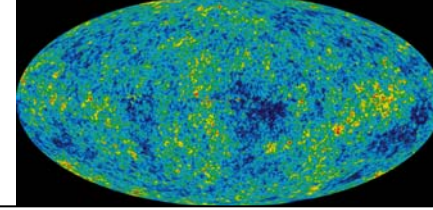
Olberssches Paradoxon



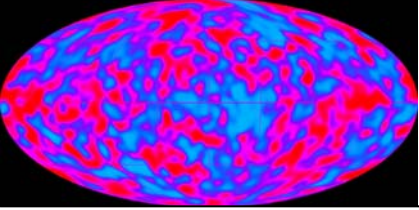
- **Heutige Erklärungen des dunklen Nachthimmels**
- Die heute (üblichste) Vorstellung zur Erklärung des dunklen Nachthimmels ist, dass das endliche Alter des Universums und Wirkungen der allgemeinen Relativitätstheorie auf unsere Ansicht des Urknalls in der Tat ein räumlich begrenztes Universum voraussetzen. Die wahre Ursache für den dunklen Sternenhimmel habe aber mit der Rotverschiebung zu tun.



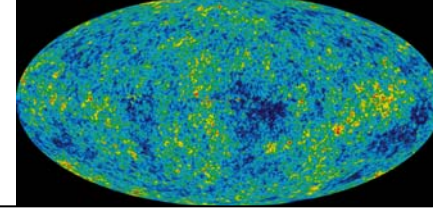
Kosmologisches Prinzip



- Unter **Kosmologisches Prinzip** sind zwei Grundannahmen in der naturwissenschaftlichen Kosmologie zusammengefasst, die deren Modellen vom Weltall als Ganzes zu Grunde liegen. Es ist eng verknüpft mit dem Kopernikanischen Prinzip. Das Kosmologische Prinzip wurde 1933 von dem Astrophysiker Edward A. Milne eingeführt.
- **Das Weltall ist homogen**, d.h. es stellt sich einem Beobachter unabhängig von dem Punkt des Raumes, indem er sich befindet, immer gleich dar (Prinzip der Homogenität, auch Kopernikanisches Prinzip genannt).
- **Das Weltall ist isotrop**, d.h. es stellt sich dem Beobachter unabhängig von der Beobachtungsrichtung im Raum immer gleich dar (Prinzip der Isotropie).



Die 3K-Hintergrundstrahlung



erste experimentelle Hinweise für die Urknalltheorie in den 20er Jahren durch den amerikanischen Astronom Edwin Hubble:

- durch **Spektromessungen von Galaxien** und Vergleich mit auf der Erde gemessenen Spektren fand er eine Fluchtbewegung der Galaxien (Spektren **rotverschoben**, je weiter weg desto stärker)

-Hubble Gesetz: $\lambda_b = \lambda_e(1+z)$

$$c z = v = H_0 d$$

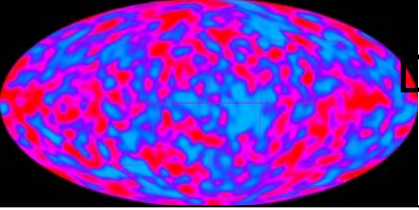


Edwin Powell Hubble

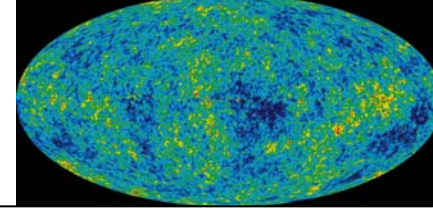


George Gamov

Aus diesen Erkenntnissen folgerten Gamov, Alpher und Herman in den 40er Jahren, dass noch ein **Nachrauschen des Urknalls** bei einer Temperatur von ungefähr **5-K** vorhanden sein müsste.



Die Entdeckung der 3K-Hintergrundstrahlung

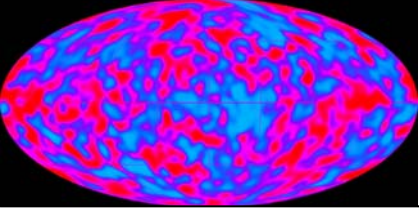


1964 entdeckten die beiden Radio Ingenieure **Arno Penzias** und **Robert Wilson** bei der Eichung einer Antenne **ein Strahlungssignal im Mikrowellenlängenbereich** ($\lambda = 7,15 \text{ cm}$)

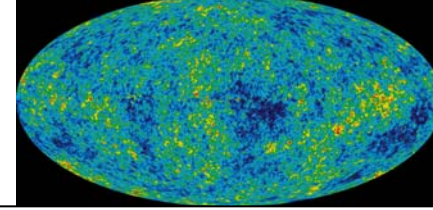
Da dieses Signal keine periodischen Schwankungen zeigte und aus allen Richtungen in gleicher Stärke kam, schien es **kosmischen Ursprungs** zu sein.



(beide erhielten 1978 den Nobelpreis für ihre Entdeckung)



Planck'sches Strahlungsgesetz:

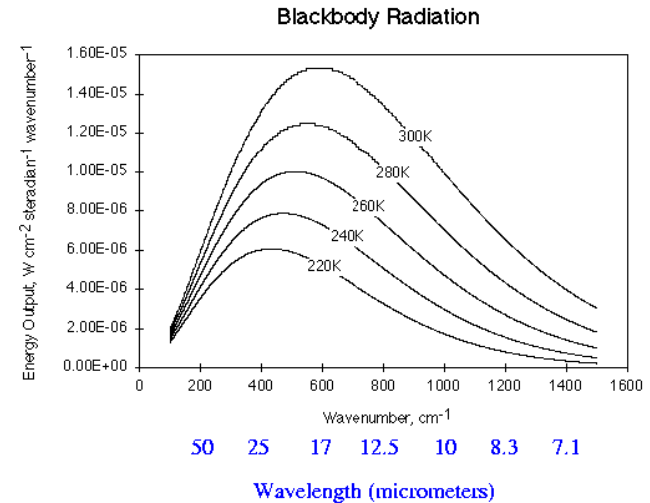


Während der strahlungsdominierten Ära befanden sich Strahlung und Materie im thermodynamischen Gleichgewicht. Durch die Thomsonstreuung an freien Elektronen war das Universum für die Photonen undurchsichtig.

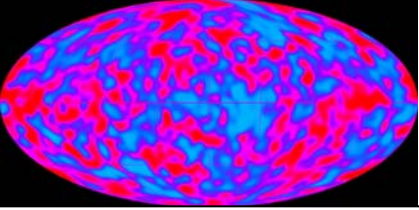
Das Abkühlen ermöglicht Rekombinationen, die mittlere freie Weglänge der Photonen nimmt zu, sie entkoppeln von der Materie.

Da sie sich im thermodynamischen Gleichgewicht befanden sollte ihre Intensitätsverteilung dem eines Schwarzen Strahlers entsprechen, welches in homogenen Friedmann-Universen erhalten bleibt.

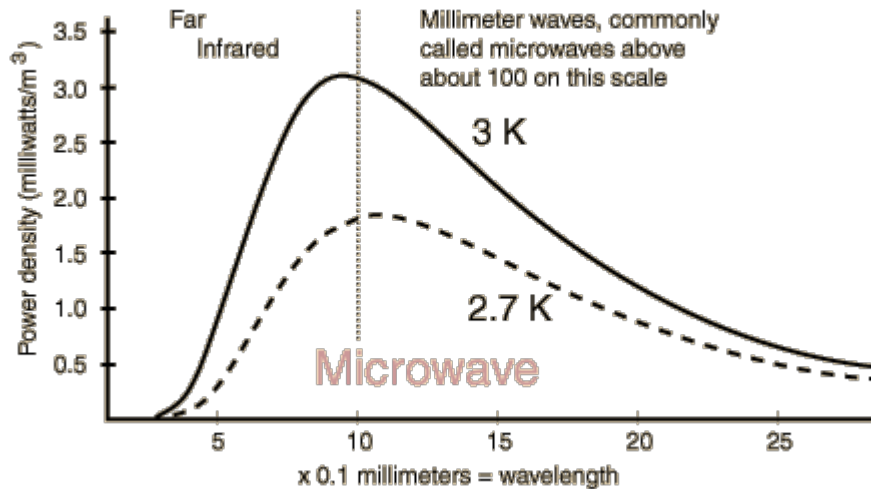
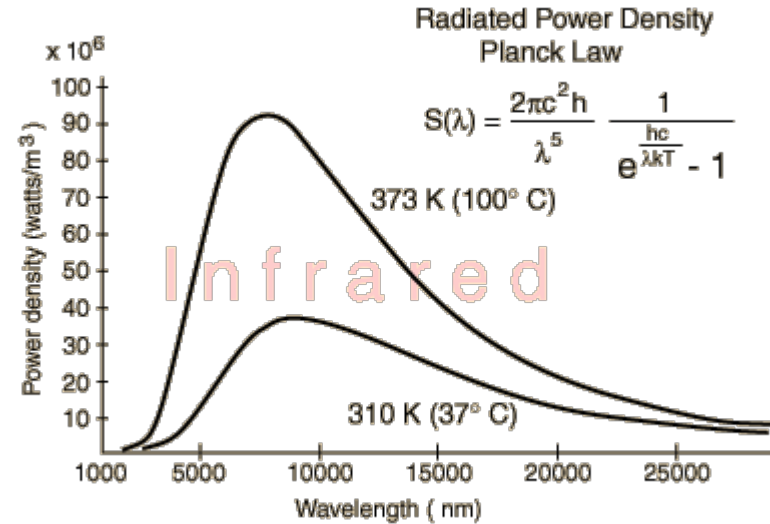
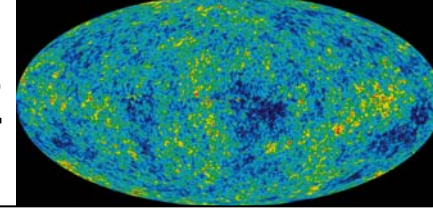
$$I(\nu)d\nu = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} d\nu$$



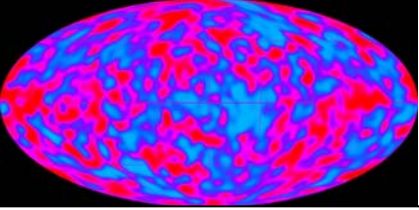
Tatsächlich konnten Penzias und Wilson bei 7,35cm eine isotrope Strahlung von $3,5 \pm 1$ K nachweisen. Dies entspricht einer Photonendichte von etwa $412 \pm 2 \text{ cm}^{-3}$



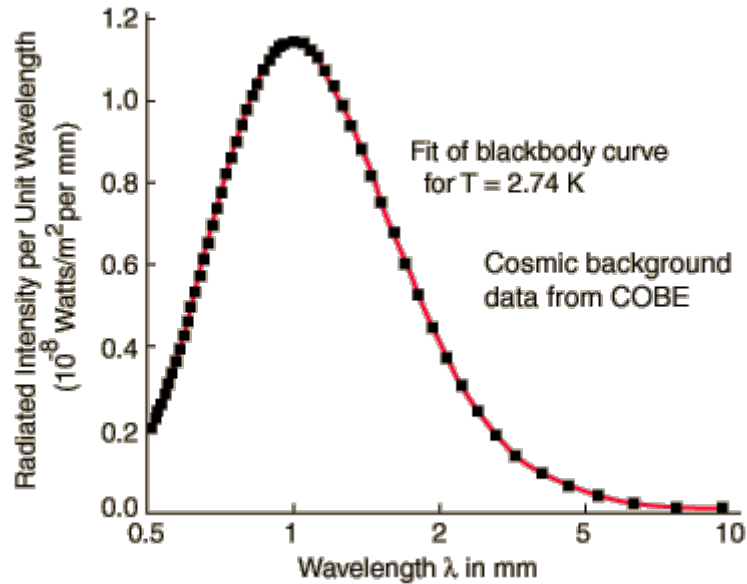
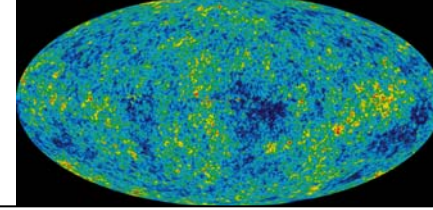
Planck'sches Strahlungsgesetz



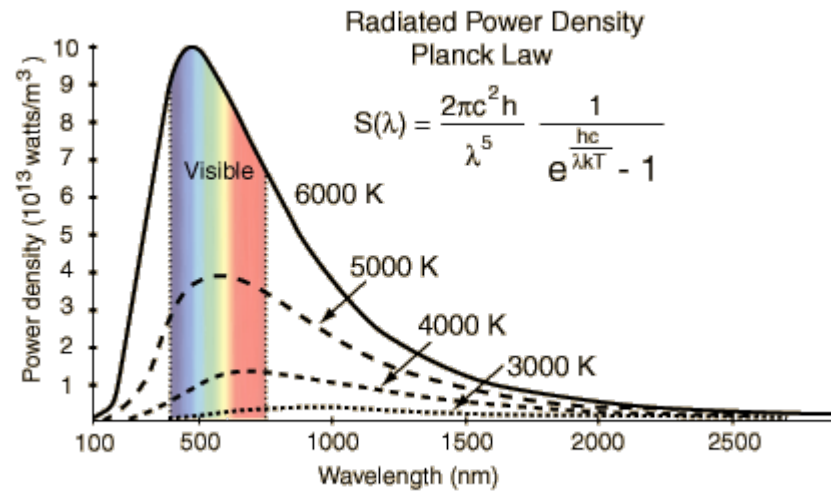
Nahezu die gesamte Strahlung eines menschlichen Körpers findet im Infrarot-Bereich statt



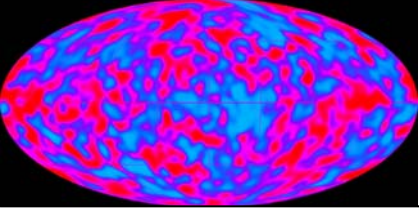
Hintergrundstrahlung ist Schwarz-Körper-Strahlung



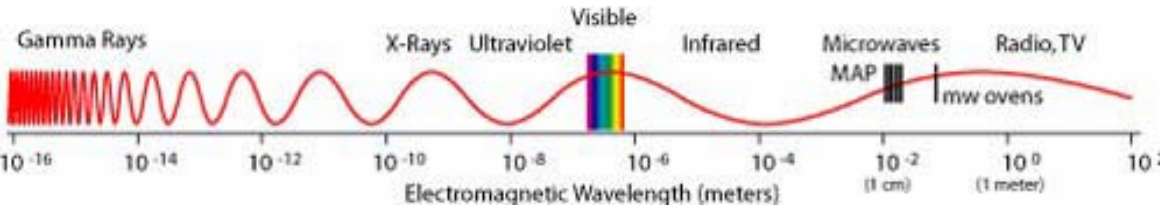
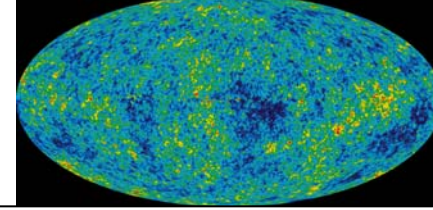
- COBE-Daten über der theoretischen Schwarz-Körper-Strahlung: extrem gute Übereinstimmung und Bestätigung des Big-Bang Modells



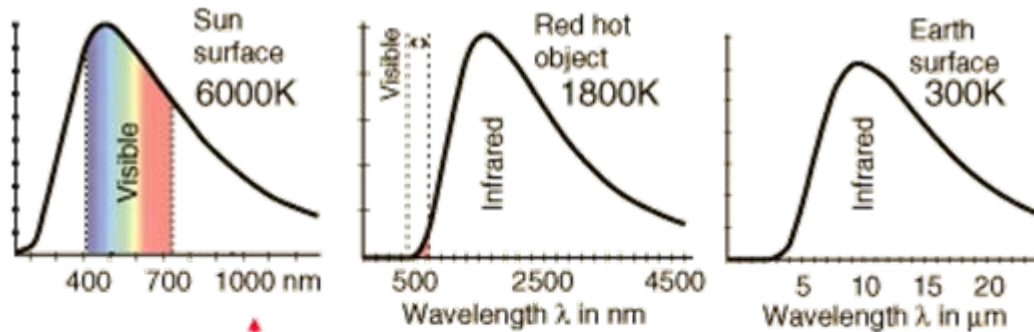
Strahlungskurve der Sonne



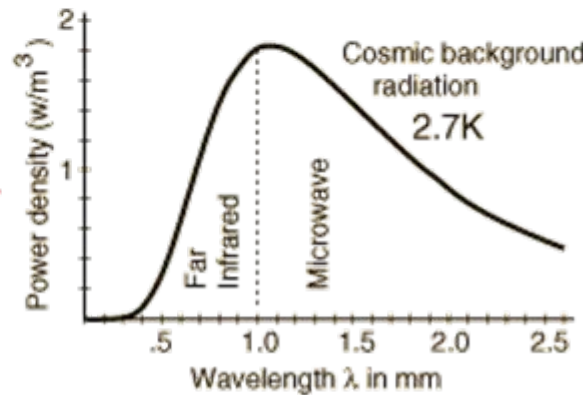
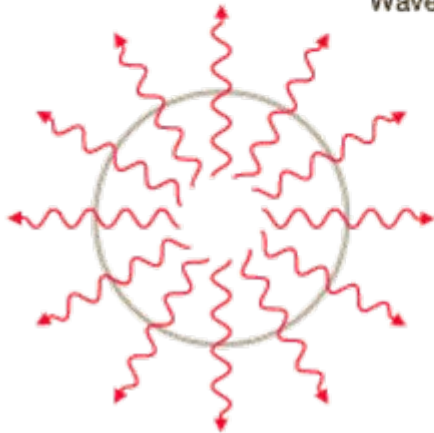
Effektive Temperatur

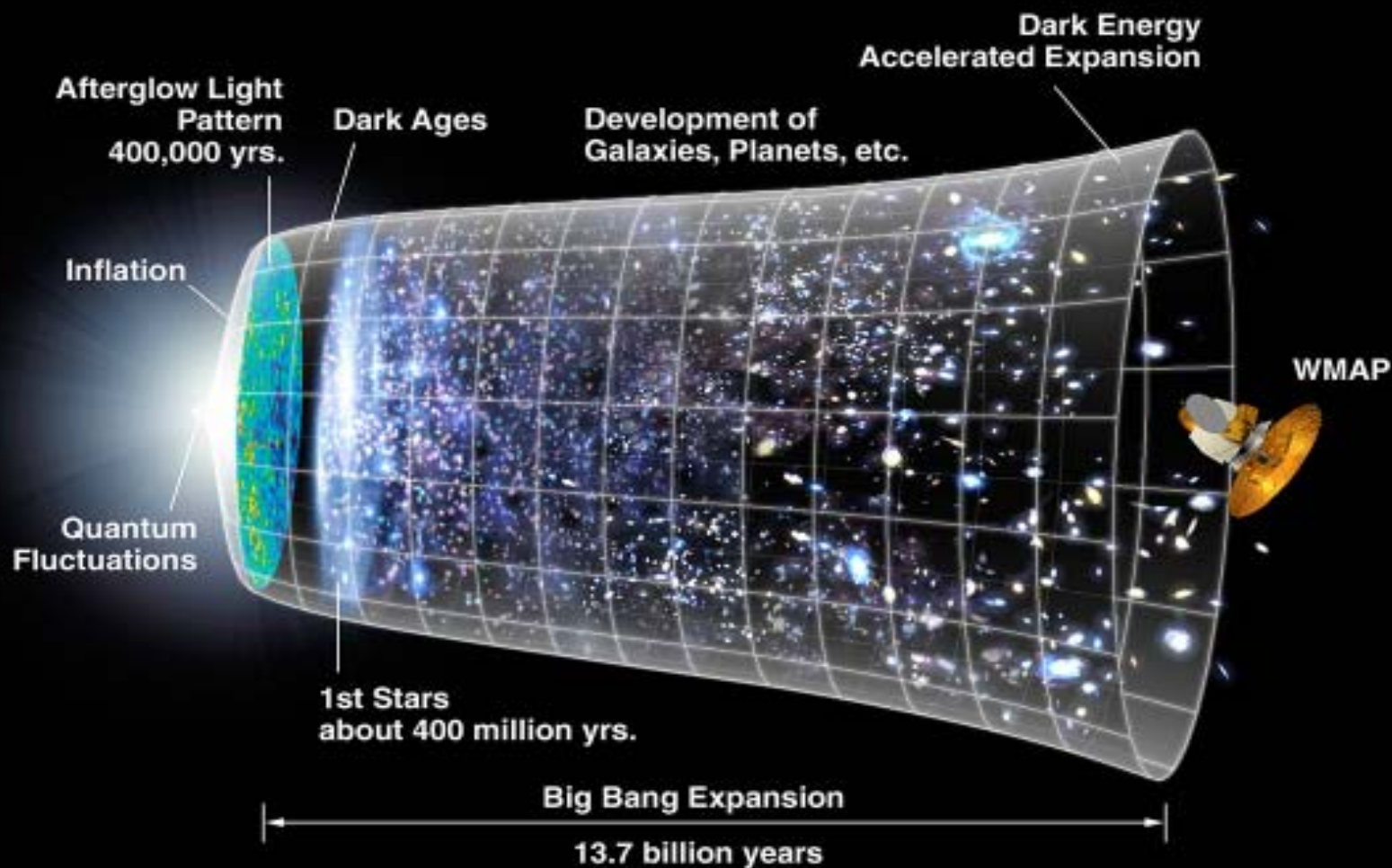


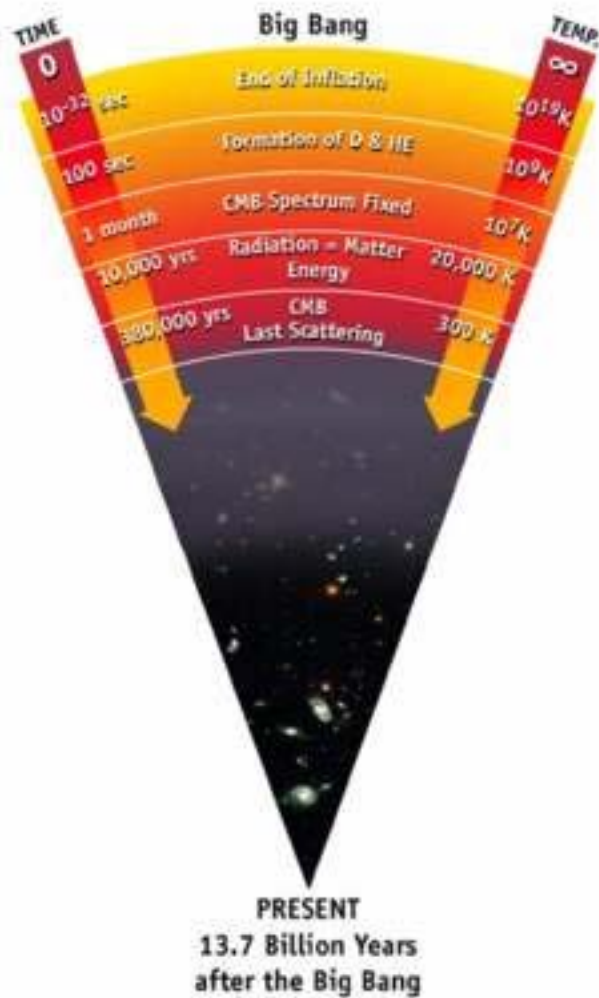
- Mikrowellenregion: 1.6-30 GHz



- Schwarzkörper-Strahlung ist Rest des Transparenz-Punktes an dem die Temperatur des expandierenden Universums unter 3000 K fällt: Strahlung kann entweichen

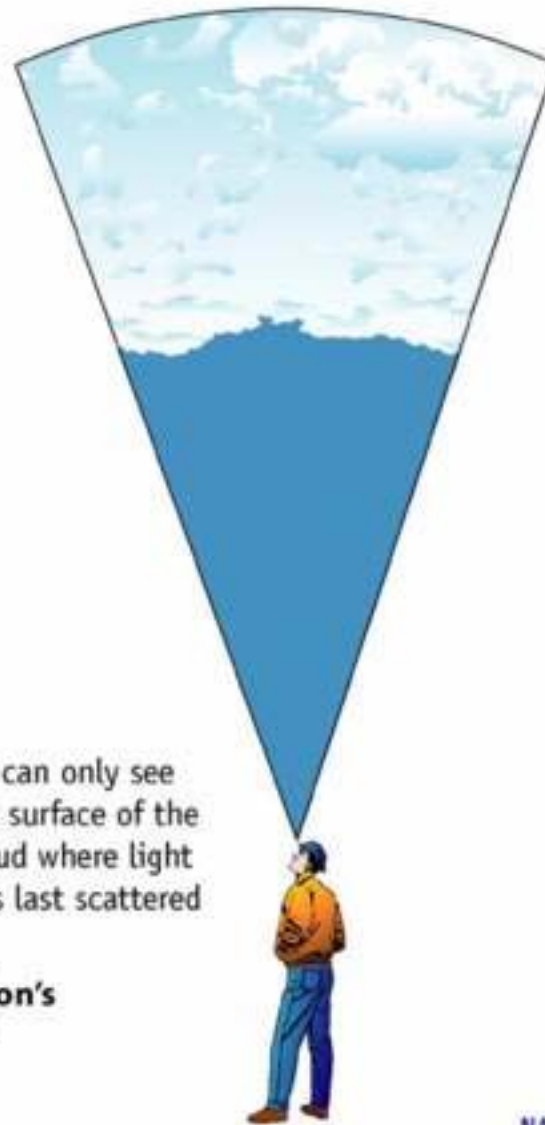






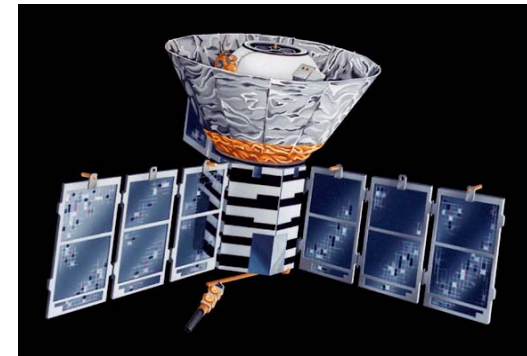
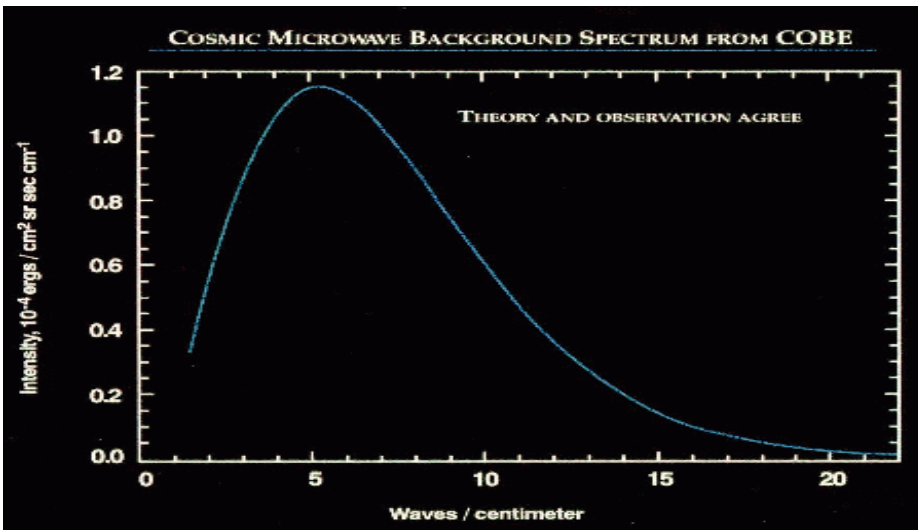
The cosmic microwave background Radiation's "surface of last scatter" is analogous to the light coming through the clouds to our eye on a cloudy day.

We can only see the surface of the cloud where light was last scattered



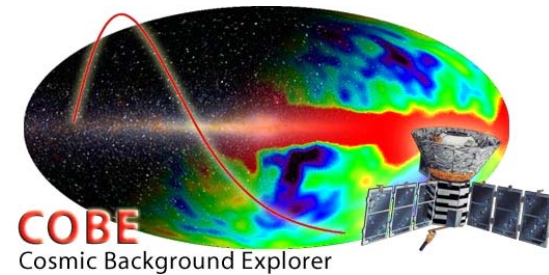
Die weitere Erforschung:

- Suborbitale Erforschung:
 - Bodengebunden: Antennen
 - Atmosphärisch: Wetterballons, Raketen
- Satellitenmissionen:
 - Cobe (1989-1992) $T=2,728\pm 0,002$ K
 - WMAP (ab 2002)
 - Planck (Start 2007)

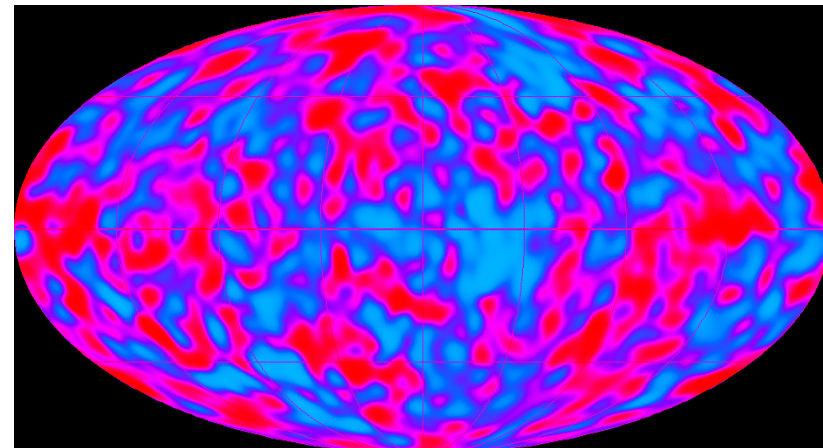


Die Missionen

- COBE (Cosmic Background Explorer):
 - 1989-1993
 - Bestimmung der Schwarzkörper-Temperatur des CMB:
 $T=2,728\pm 0,002$ K
 - Entdeckung von Anisotropien



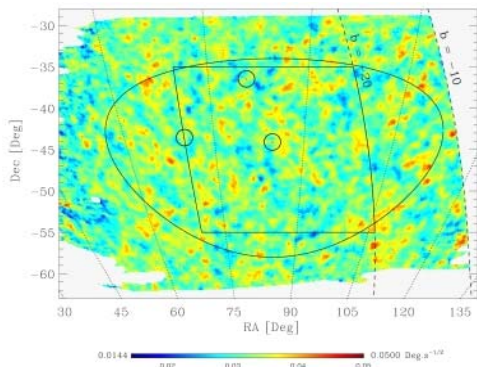
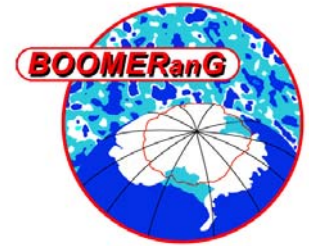
2006 erhielt George Smoot als wissenschaftlicher Leiter dieses Programms zusammen mit John C. Mather, ebenfalls Mitarbeiter an diesem Projekt, den Nobelpreis für Physik.

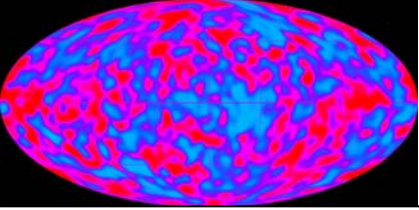


BOOMERANG

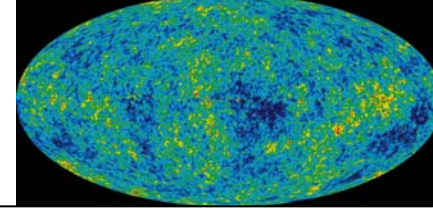
BALLOON OBSERVATIONS OF MILLIMETRIC EXTRAGALACTIC RADIATION AND GEOPHYSICS

- BOOMERanG (balloon observations of millimetric extragalactic radiation and geophysics):
 - zwei Fahrten über der Antarktis 1998 und 2003
 - Dauer: 10.5 Tage
 - Messungen in 37km Höhe, oberhalb der Atmosphäre
 - Messung von Temperaturanisotropien und Polarisierung
 - Messungen bei vier Frequenzen
 - Abdeckung von 3% der Himmelskugel





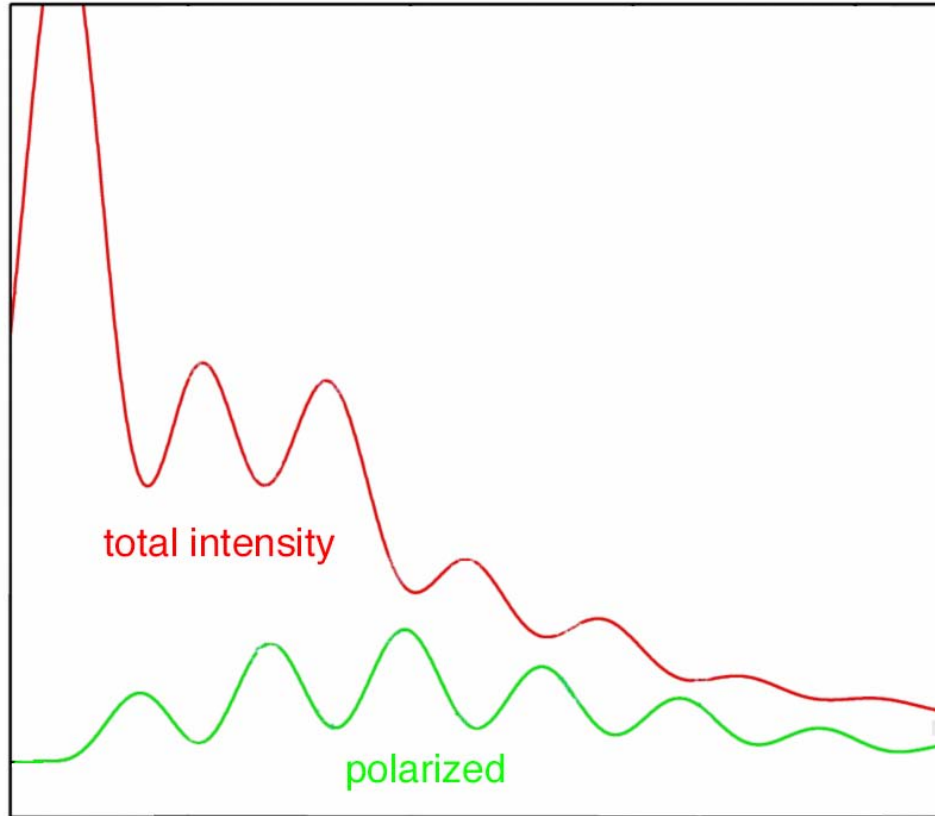
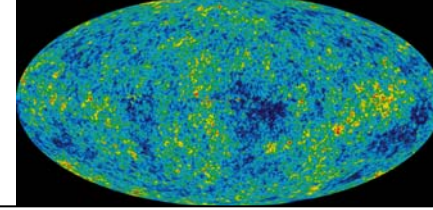
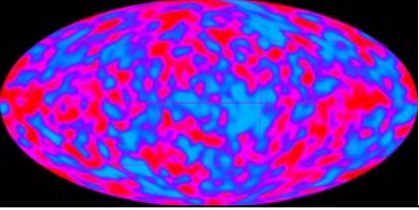
Die Missionen



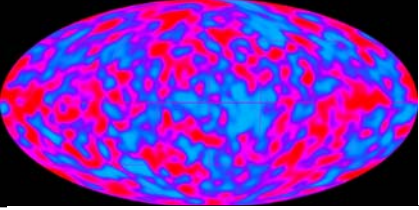
- CBI (Cosmic Background Imager):
 - Standort: Chilenische Anden
 - seit 1999 in Betrieb
 - Radiointerferometer, bestehend aus 13 Antennen
 - misst in zehn Frequenzbändern zwischen 26 und 36 GHz
 - Multipolmessungen $l = 300 - 3500$



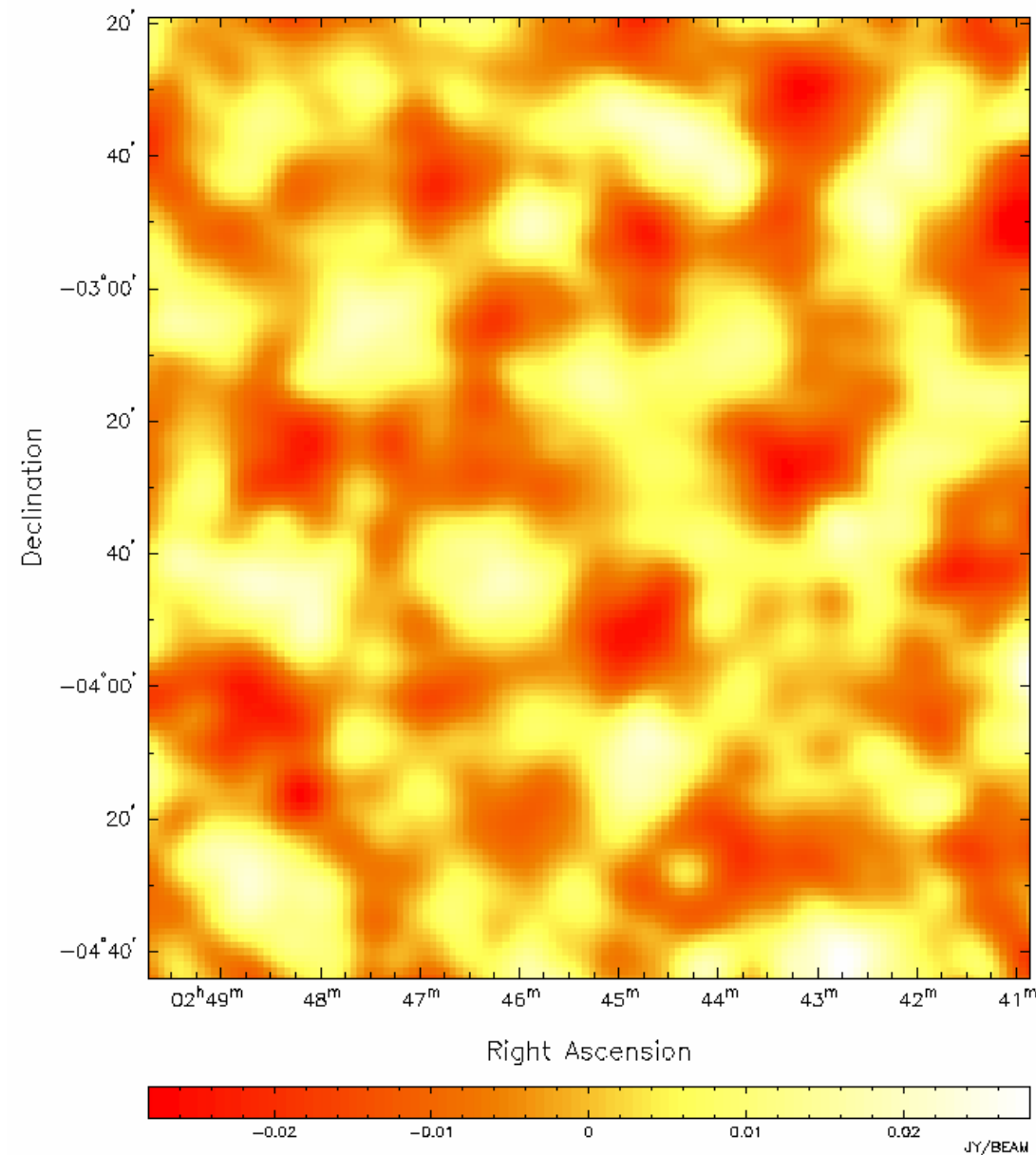
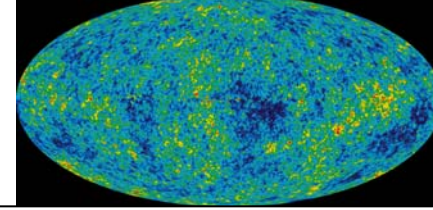
CBI



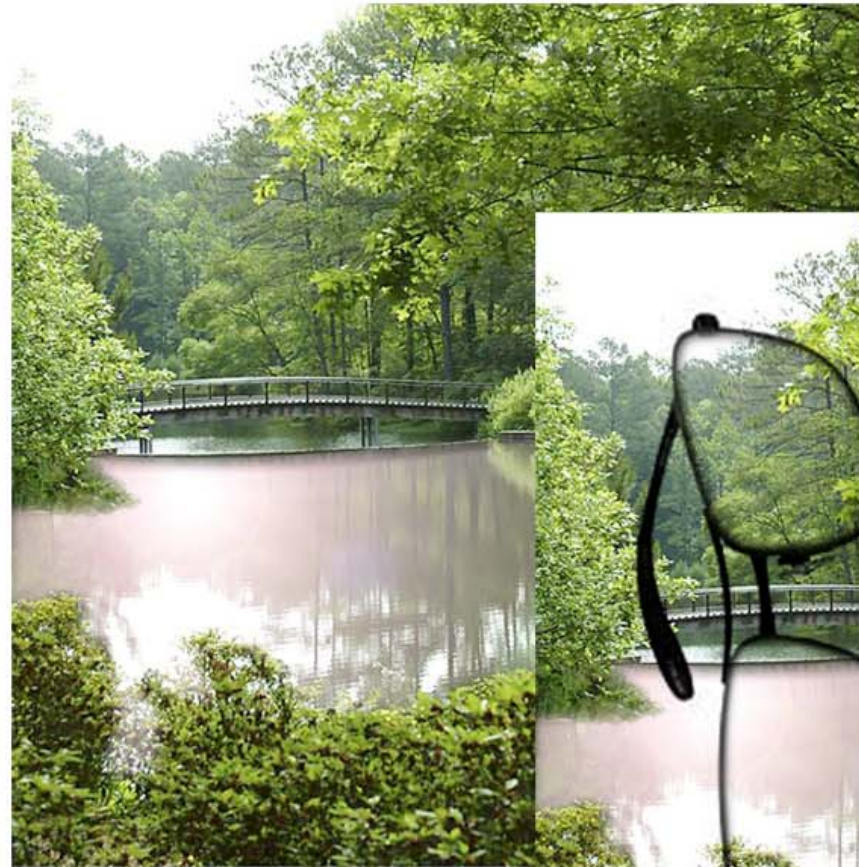
- Kann die Fluktuationen auf kleinen Skalen messen
- Hat Fluktuationen im polarisierten Licht gefunden
- 1/10 der Auflösung von COBE (7 Grad)
- Fluktuationen auf kleinen Skalen sind schwächer als auf großen Skalen
- QUIET wird Polarisation messen, ab 2008

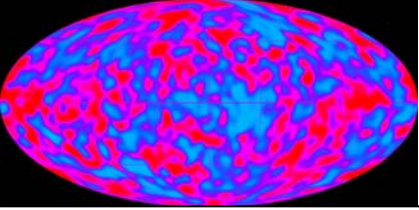


CBI

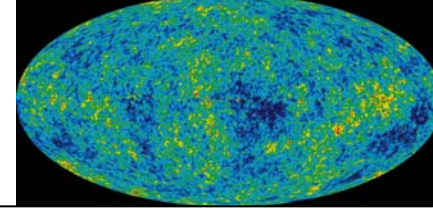


- Die Ursprünge von Galaxienhaufen
- Dichte=Temperaturunterschiede im Mikrowellenhintergrund
- Wichtig: Entfernung von Vordergrundquellen
- Effelsberg-Beobachtungen
- Variabilitätsstudien
- Populationsuntersuchungen

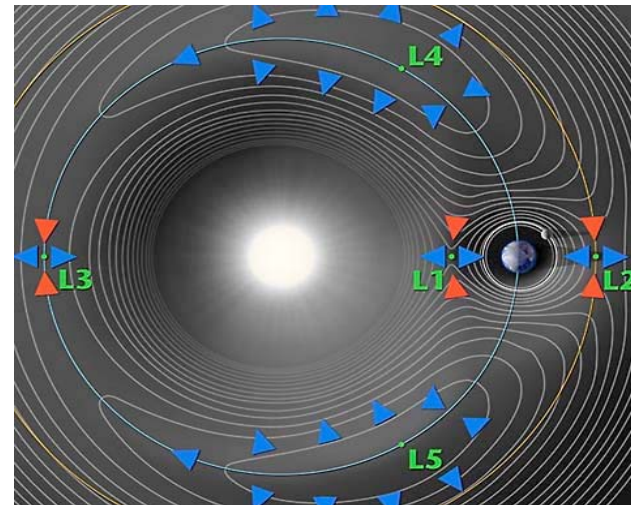
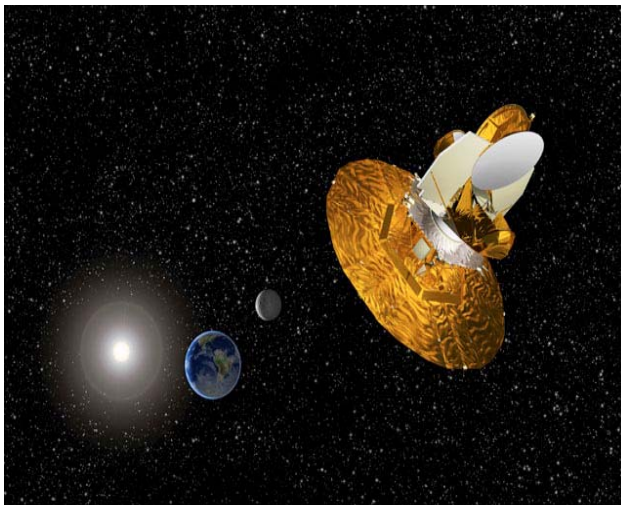
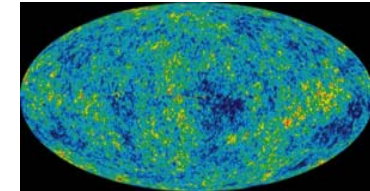
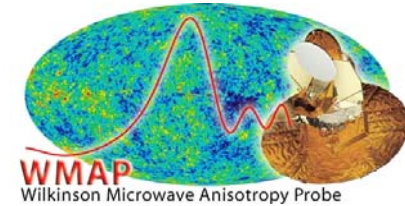




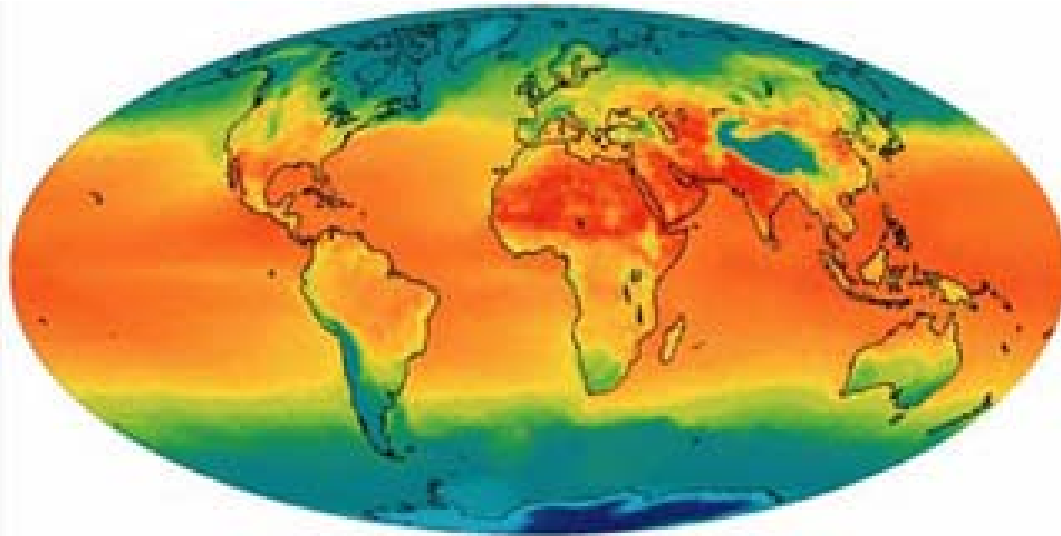
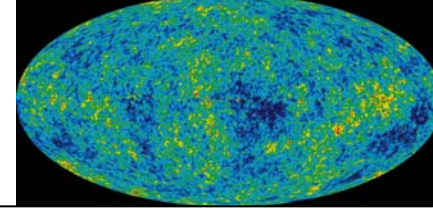
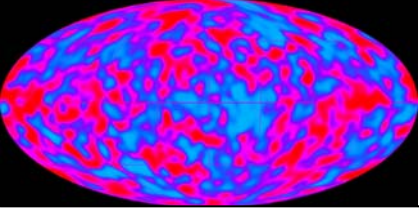
Die Missionen



- WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe):
 - 2001-2007
 - feste Position gegenüber Sonne und Erde (Lagrange-Punkt L2)
 - Radius der Umlaufbahn: vierfacher Abstand Erde-Mond
 - Beobachtung der gesamten Himmelskugel: 6 Monate
 - Auflösung: 13 arcmin
 - genaue Vermessung der Anisotropien
 - erste Polarisationsmessungen

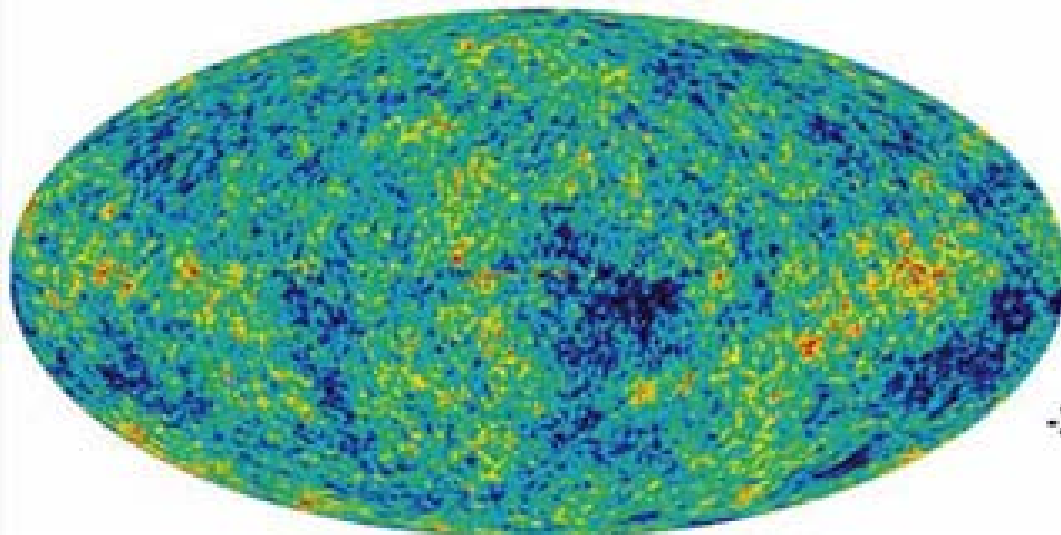


Vergleich der Temperaturverteilung



Earth
Temperatures

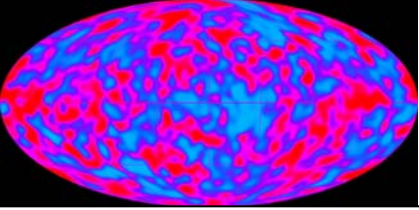
100 Grad!!



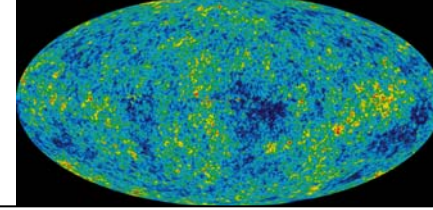
Microwave Sky
Temperatures

0.0004 Grad!!



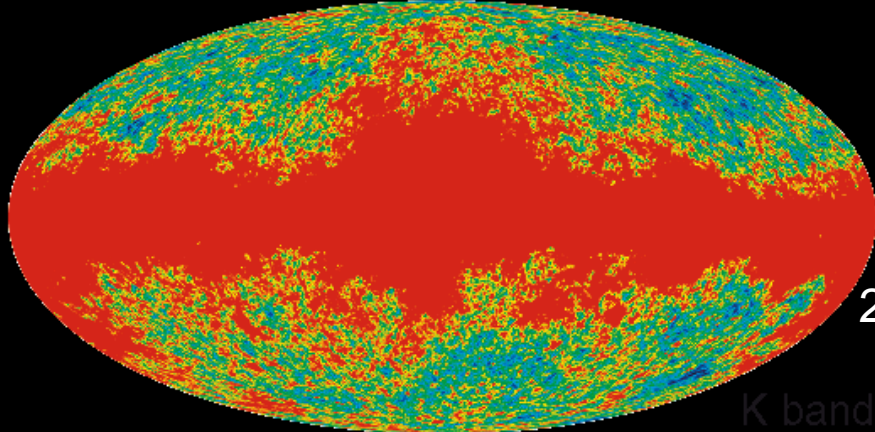


WMAP nach 5 Jahren



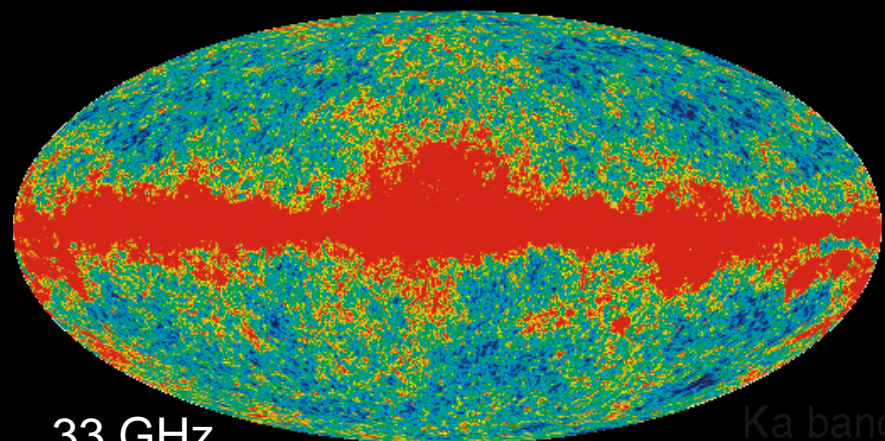
- Neue Temperatur- und Polarisations-Karten in 5 Frequenzbändern zw. 23 und 94 GHz (um das CMB-Signal von der Vordergrund-Emission durch die Milchstraße und extragalaktischen Quellen zu trennen)
- Konsistent mit vorherigen Karten aber empfindlicher (Rauschen um Faktor $\sqrt{5}$ reduziert)
- Verbesserungen in der Datenanalyse, Kalibration (Jupiter), Tests, etc.
- Resultat: Flaches Universum dominiert durch kosmologische Konstante mit nahezu skalen-invarianten gaußförmigen Fluktuationen; Dichte der Dunklen Materie-Dichte genau zu 6%; Neutrino-Hintergrund
- Quellenkatalog: 390 Objekte, Variabilität
- Wichtigste Änderungen: 3. Peak, Polarisations-Spektren
- Bisher:
 - Dunkle Materie muß nicht-baryonisch sein und wechselwirkt schwach mit Atomen und Strahlung
 - Dichte der Atome im Universum
 - Akustische Skala bei einer Rotverschiebung von $z=1090$. In Kombination mit anderen Messungen: flaches Universum dominiert durch Dunkle Energie (konsistent mit kosmologischer Konstante)
 - Eigenschaften der primordialen Fluktuationen
 - Universum war reionisiert lange vor der Epoche der ältesten bekannten Quasare

5 Jahres-Temperatur
Daten in galaktischen
Koordinaten



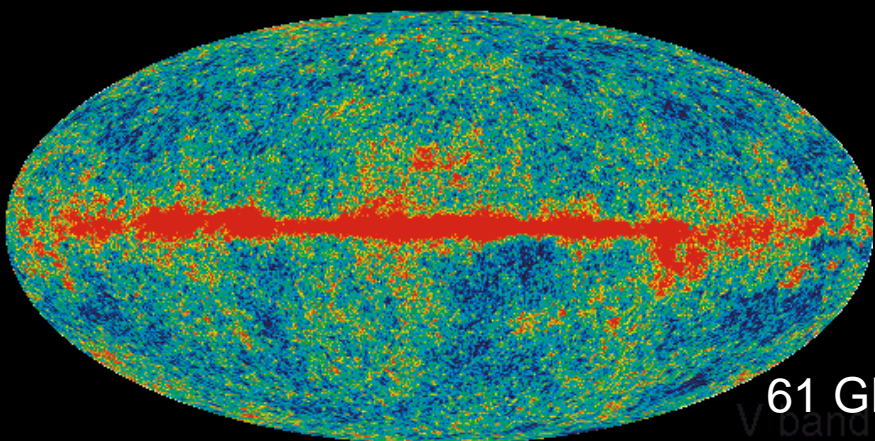
23 GHz

K band



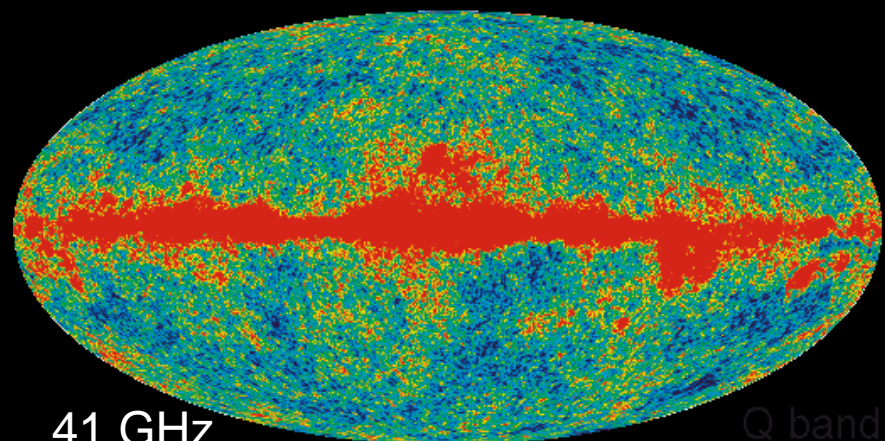
33 GHz

Ka band



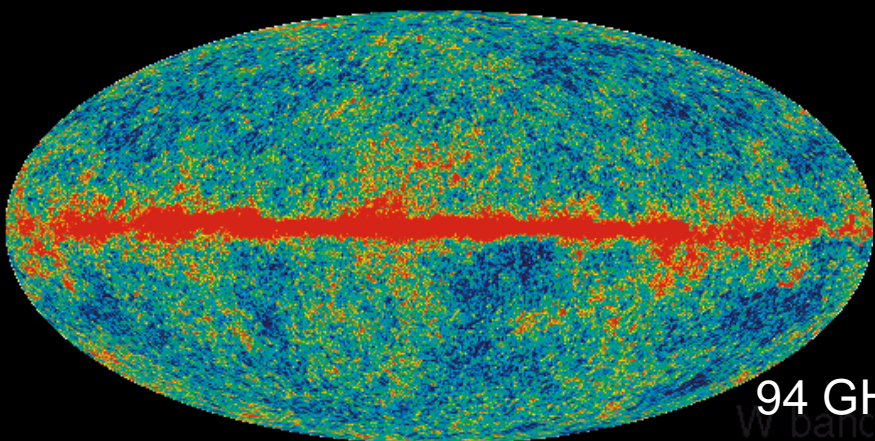
61 GHz

V band



41 GHz

Q band



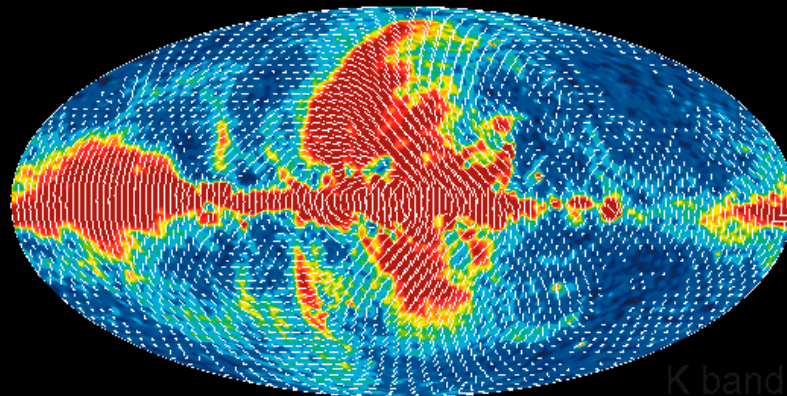
94 GHz

W band

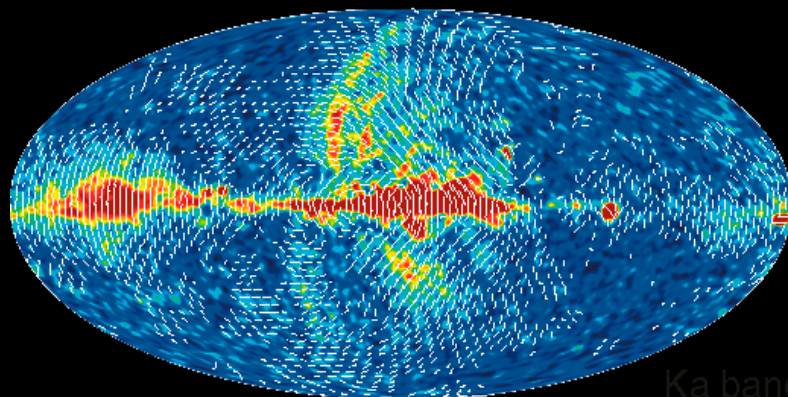
Hinshaw et al.



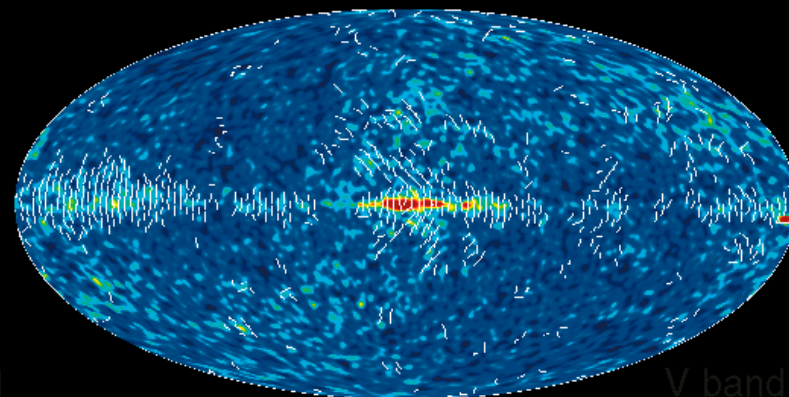
Polarisation



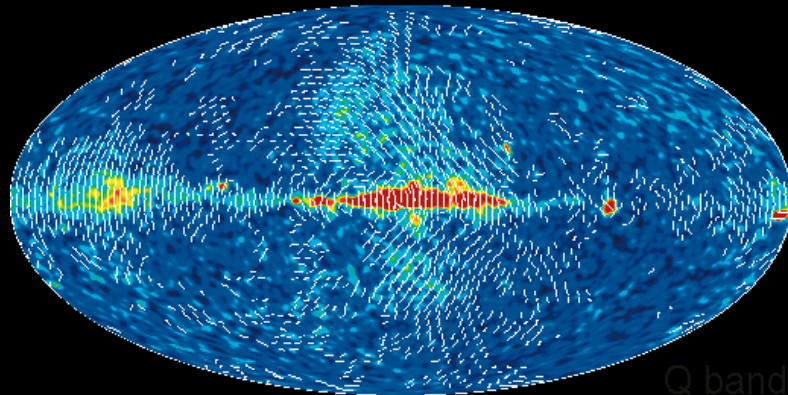
K band



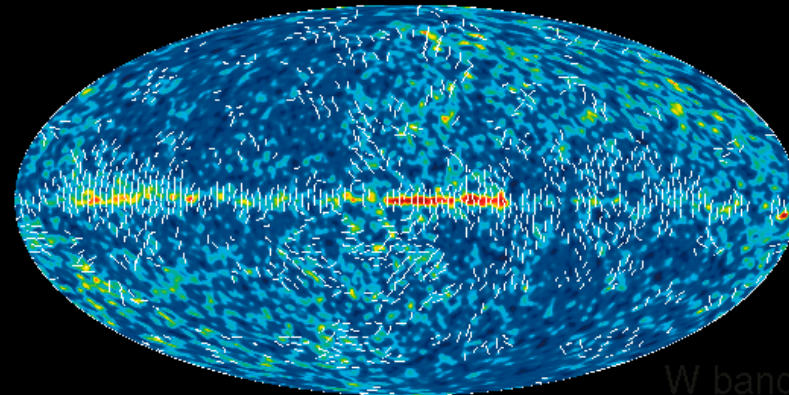
Ka band



V band



Q band

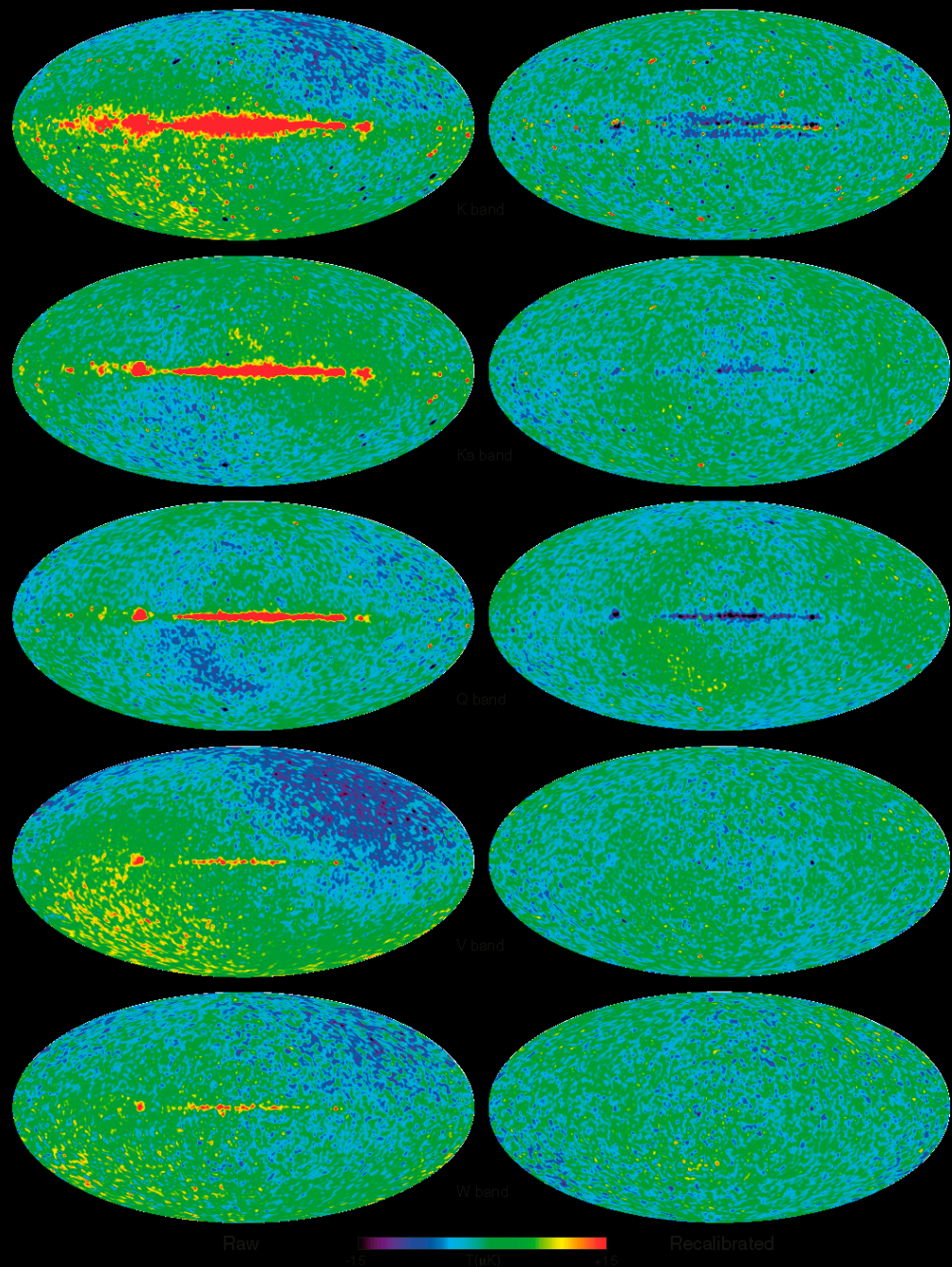


W band

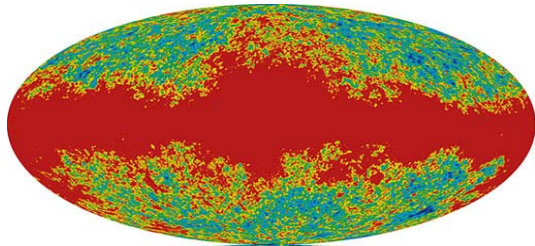


Hinshaw et al.

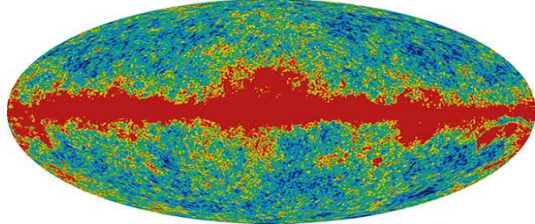
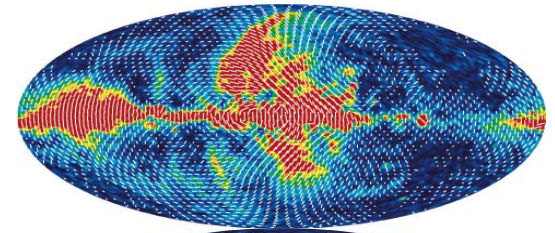
Differenz zwischen
Den 5-Jahresdaten und den
3 Jahresdaten
Rechts: 3 Jahresdaten korrigiert
um Skalierungsfaktor
Hauptunterschied vor der Rekalibration
dominiert durch Emission der
Galaktischen Ebene und Dipolelement



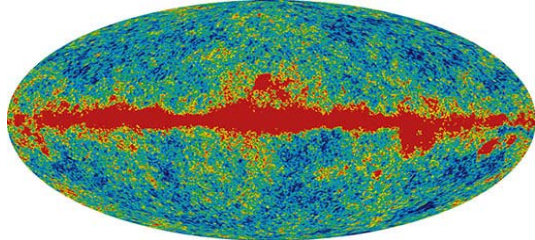
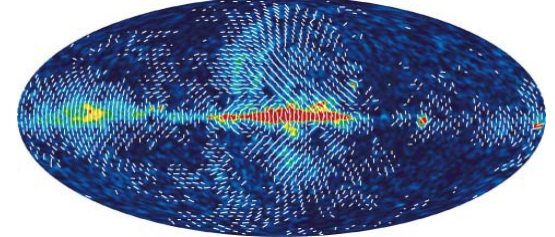
Temperatur und Polarisationsmessungen



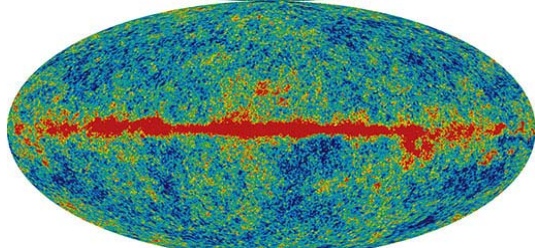
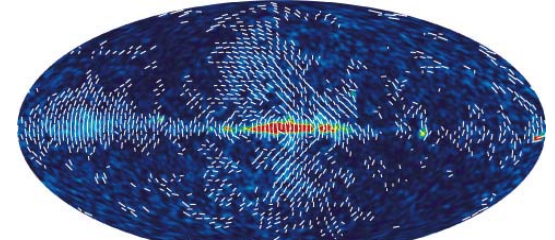
K-Band Map 23 GHz



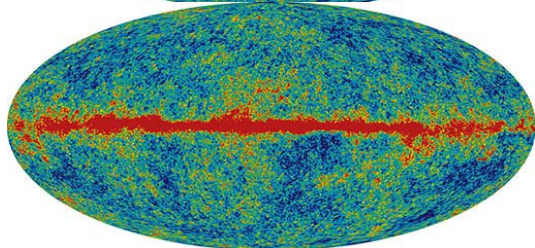
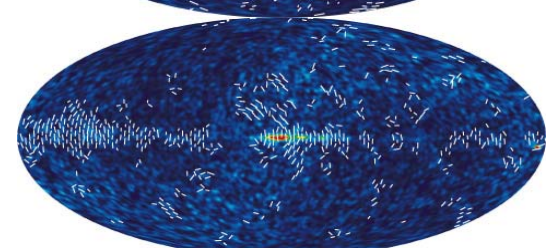
Ka-Band Map 33 GHz



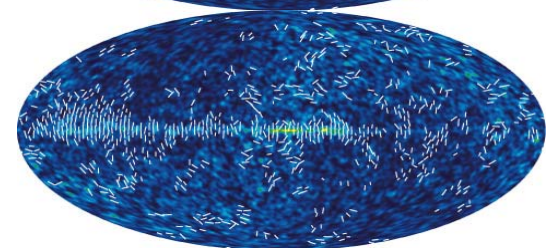
Q-Band Map 41 GHz

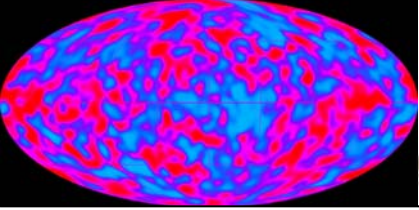


V-Band Map 61 GHz

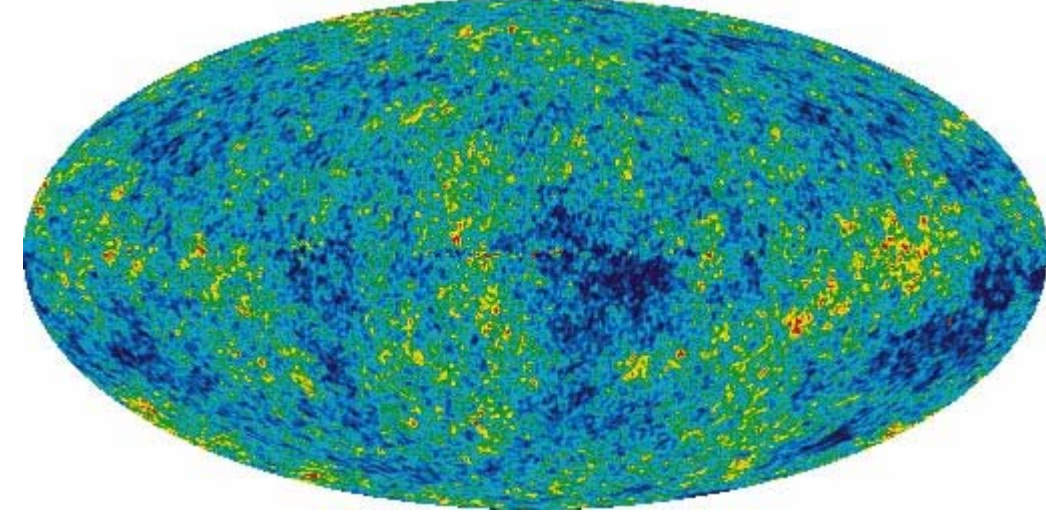
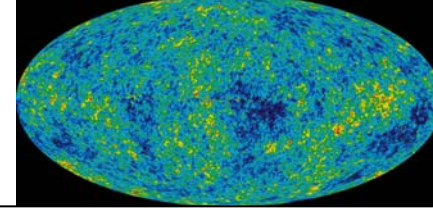


W-Band Map 94 GHz

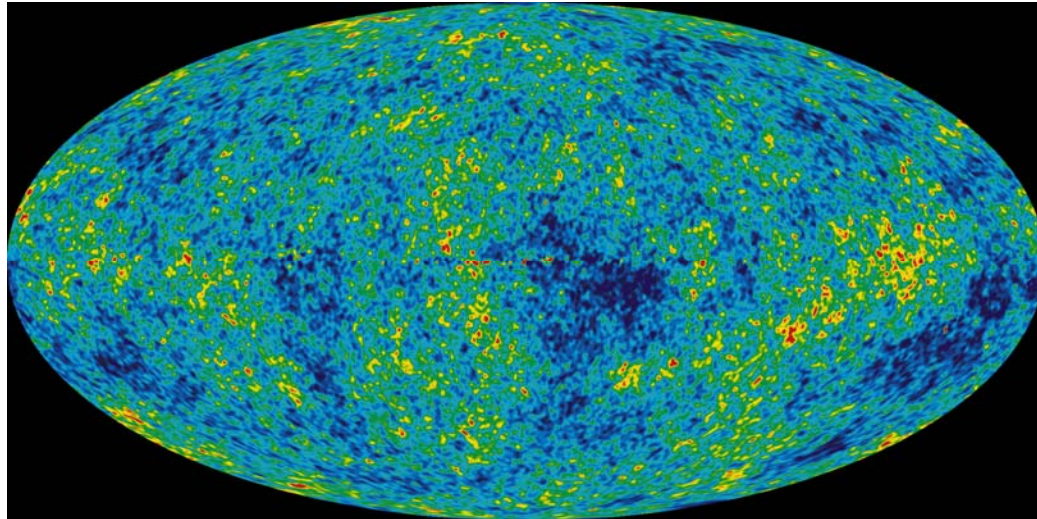




WMAP: Neue Daten

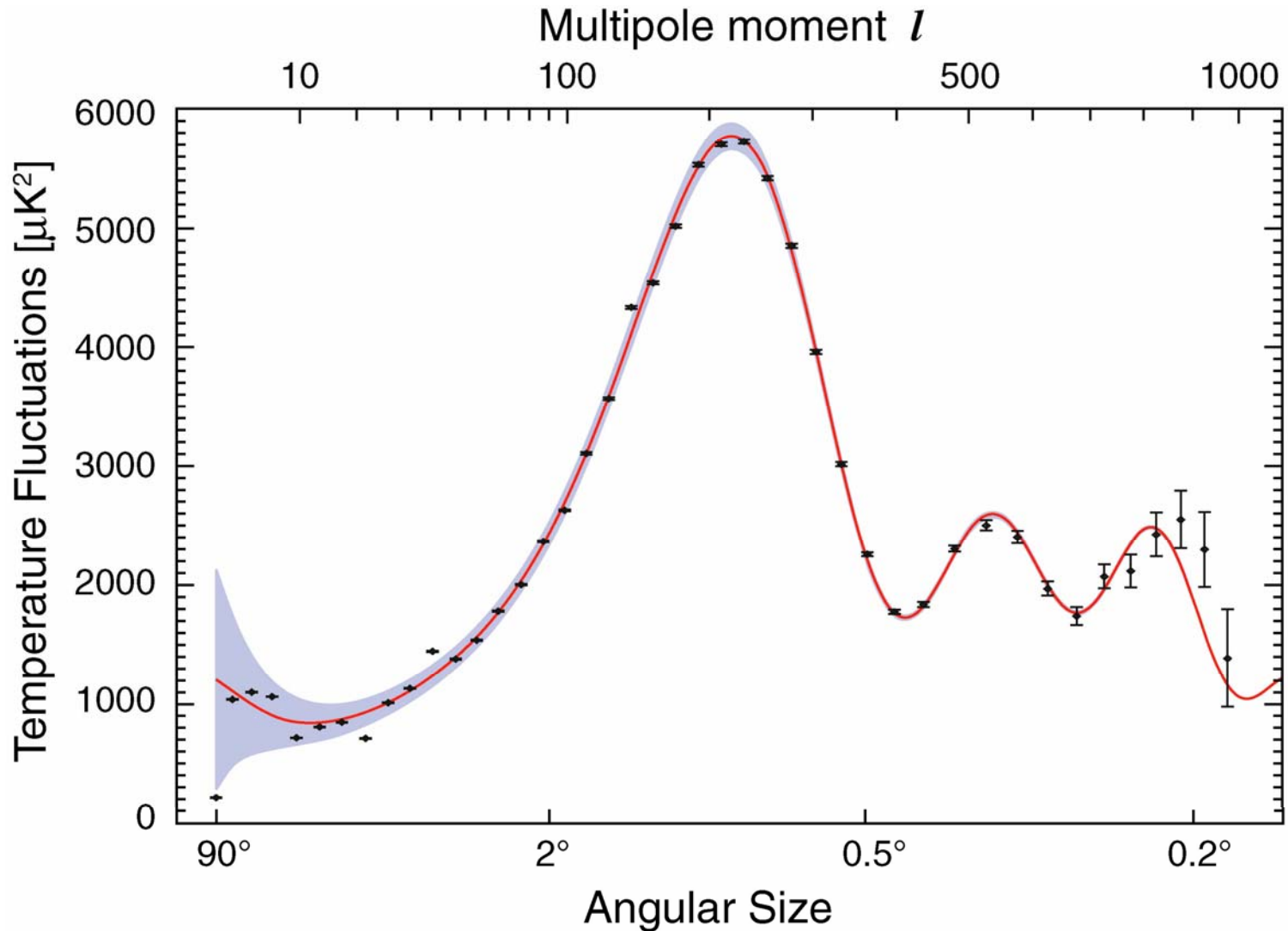


- 3 Jahre Daten

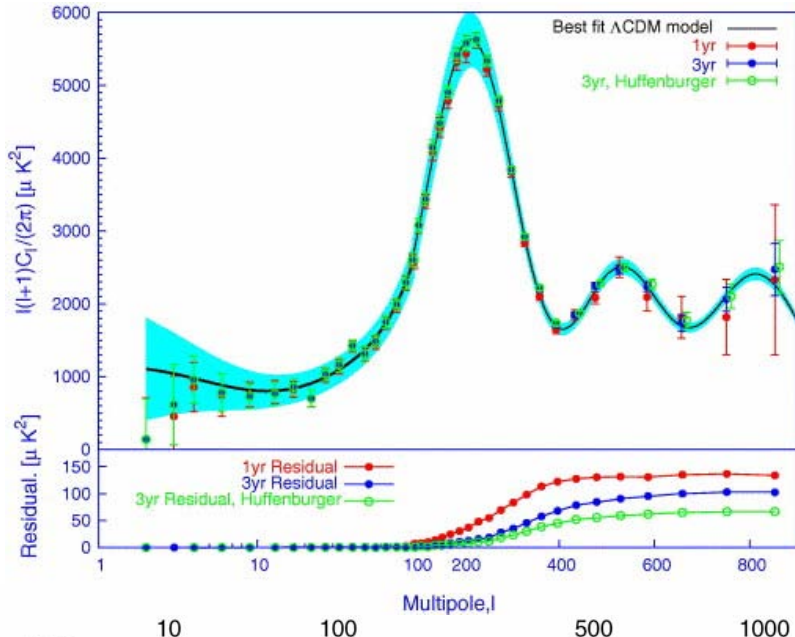


- 5 Jahre Daten

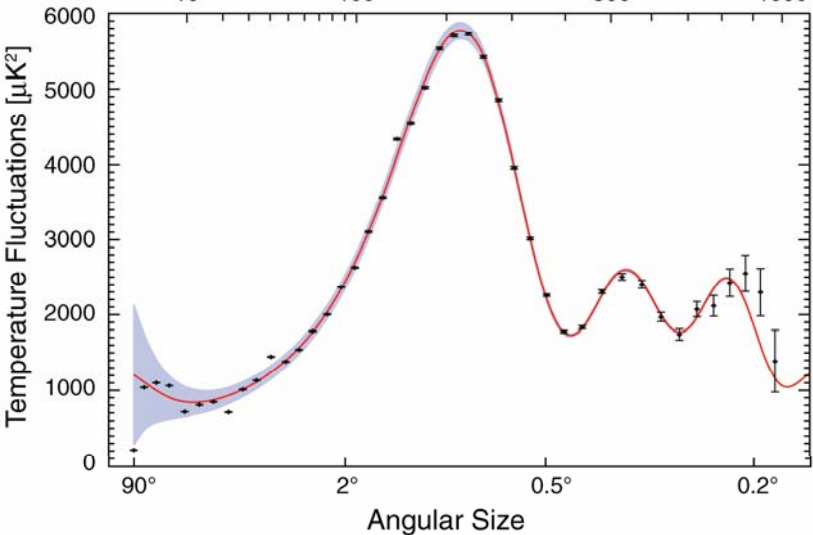
WMAP: Neue Daten



WMAP: Neue Daten

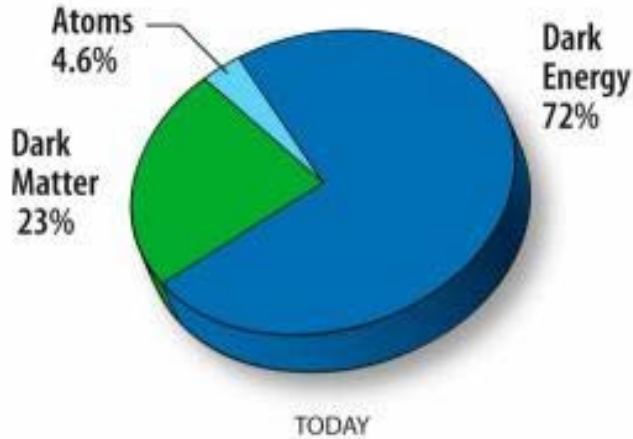


- WMAP-3Jahre

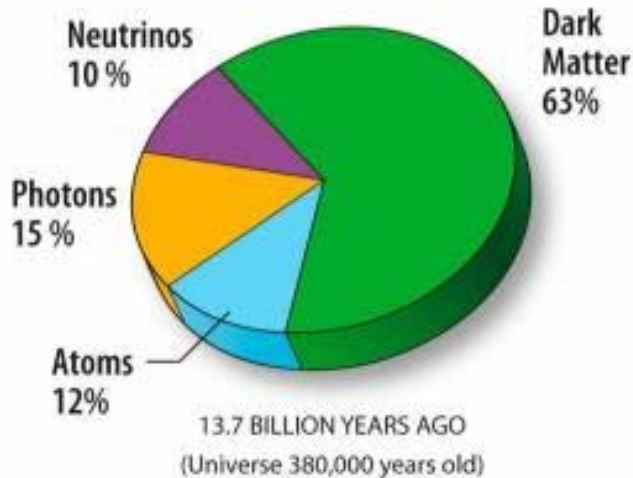


- Temperaturfluktuationen als Funktion der Winkelausdehnung – links: große Winkel
- 3. Maximum gibt Auskunft über die Neutrinos in den Frühphasen des Universums

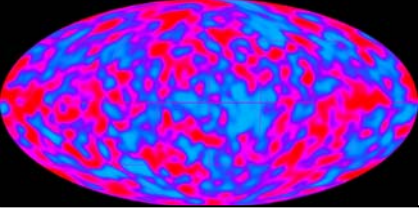
Neutrinos



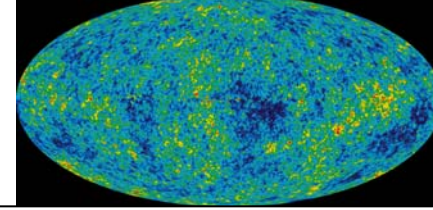
- Die Zusammensetzung des Universums heute



- Vor 13.7 Milliarden Jahren, das Universum im Alter von 380 000 Jahren

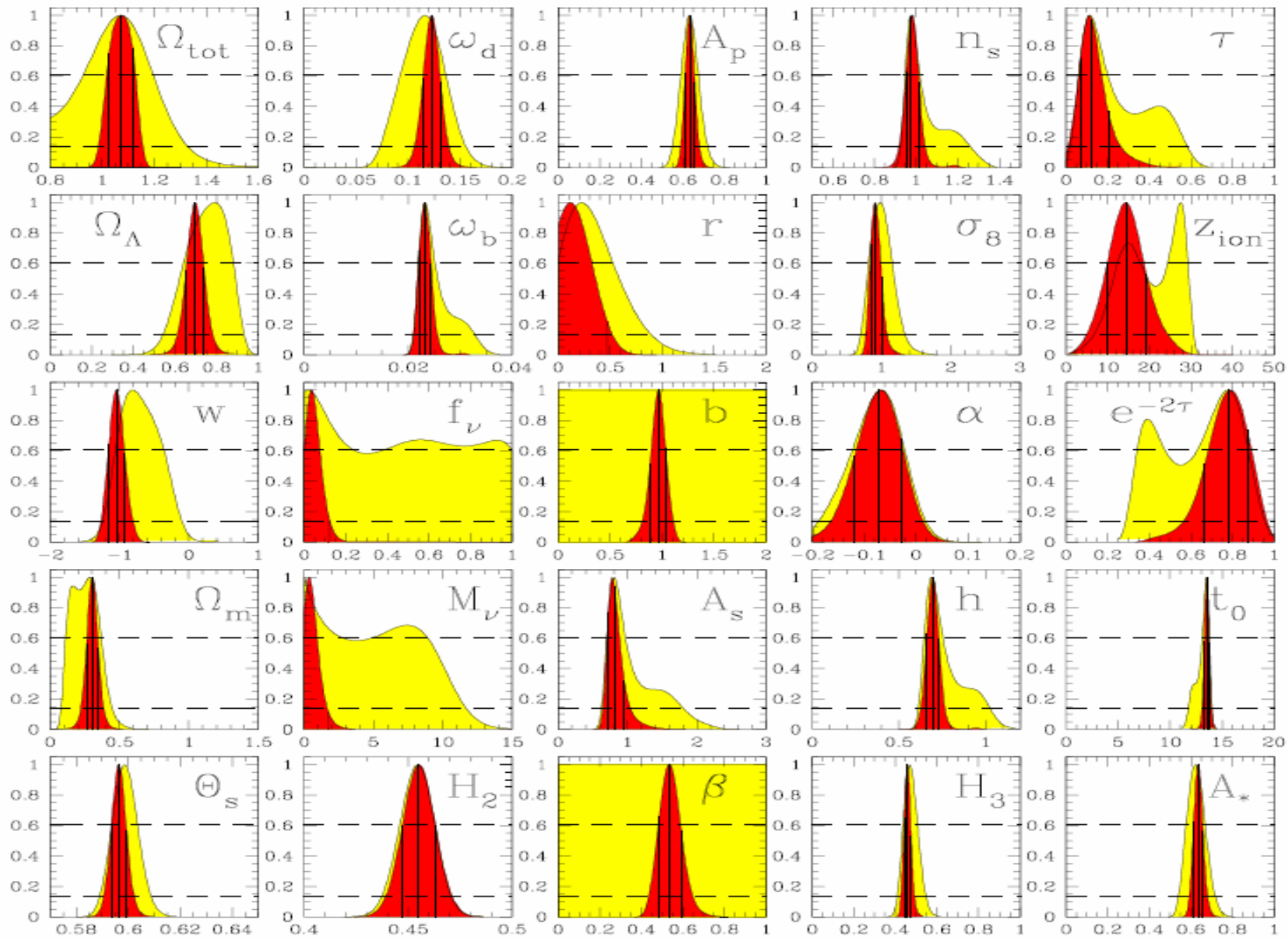


WMAP nach 5 Jahren



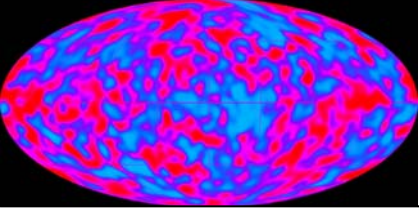
- Bessere Bestimmung des 3. akustischen Peaks!!
- E-Mode Polarisation jetzt detektiert: Aussagen über die Reionisation
- Grenze für die Neutrino-Masse: <0.61 eV aus Kombination von WMAP, Supernovae und BAO-Messungen
- etc.

Parameter	Meaning	Status	Use	Definition
τ	Reionization optical depth	Not optional		
ω_b	Baryon density	Not optional	MCMC	$\omega_b = \Omega_b h^2 = \rho_b / (1.88 \times 10^{-26} \text{kg/m}^3)$
ω_d	Dark matter density	Not optional	MCMC	$\omega_d = \Omega_d h^2 = \rho_d / (1.88 \times 10^{-26} \text{kg/m}^3)$
f_ν	Dark matter neutrino fraction	Well motivated	MCMC	$f_\nu = \rho_\nu / \rho_d$
Ω_Λ	Dark energy density	Not optional	MCMC	
w	Dark energy equation of state	Worth testing	MCMC	p_Λ / ρ_Λ (approximated as constant)
Ω_k	Spatial curvature	Worth testing		
A_s	Scalar fluctuation amplitude	Not optional		Primordial scalar power at $k = 0.05/\text{Mpc}$
n_s	Scalar spectral index	Well motivated	MCMC	Primordial spectral index at $k = 0.05/\text{Mpc}$
α	Running of spectral index	Worth testing	MCMC	$\alpha = d \ln n_s / d \ln k$ (approximated as constant)
r	Tensor-to-scalar ratio	Well motivated	MCMC	Tensor-to-scalar power ratio at $k = 0.05/\text{Mpc}$
n_t	Tensor spectral index	Well motivated	MCMC	
b	Galaxy bias factor	Not optional	MCMC	$b = [P_{\text{galaxy}}(k)/P(k)]^{1/2}$ (assumed constant for $k < 0.2h/\text{Mpc}$)
z_{ion}	Reionization redshift (abrupt)			$z_{\text{ion}} \approx 92(0.03h\tau/\omega_b)^{2/3}\Omega_m^{1/3}$ (assuming abrupt reionization; [37])
ω_m	Physical matter density		Fits	$\omega_m = \omega_b + \omega_d = \Omega_m h^2$
Ω_m	Matter density/critical density			$\Omega_m = 1 - \Omega_\Lambda - \Omega_k$
Ω_{tot}	Total density/critical density			$\Omega_{\text{tot}} = \Omega_m + \Omega_\Lambda = 1 - \Omega_k$
A_t	Tensor fluctuation amplitude			$A_t = rA_s$
M_ν	Sum of neutrino masses			$M_\nu \approx (94.4 \text{ eV}) \times \omega_d f_\nu$ [38]
h	Hubble parameter			$h = \sqrt{(\omega_d + \omega_b)/(1 - \Omega_k - \Omega_\Lambda)}$
β	Redshift distortion parameter			$\beta \approx [\Omega_m^{4/7} + (1 + \Omega_m/2)(\Omega_\Lambda/70)]/b$ [39, 40]
t_0	Age of Universe			$t_0 \approx (9.785 \text{ Gyr}) \times h^{-1} \int_0^1 [(\Omega_\Lambda a^{-(1+3w)} + \Omega_k + \Omega_m/a)]^{-1/2} da$ [38]
σ_8	Galaxy fluctuation amplitude			$\sigma_8 = \{4\pi \int_0^\infty [\frac{3}{x^3}(\sin x - x \cos x)]^2 P(k) \frac{k^2 dk}{(2\pi)^3}\}^{1/2}$, $x \equiv k \times 8h^{-1}\text{Mpc}$
Z	CMB peak suppression factor		MCMC	$Z = e^{-2\tau}$
A_p	Amplitude on CMB peak scales		MCMC	$A_p = A_s e^{-2\tau}$
Θ_s	Acoustic peak scale (degrees)		MCMC	$\Theta_s(\Omega_k, \Omega_\Lambda, w, \omega_d, \omega_b)$ given by [25]
H_2	2nd to 1st CMB peak ratio		Fits	$H_2 = (0.925\omega_m^{0.18} 2.4^{n_s-1})/[1 + (\omega_b/0.0164)^{12\omega_m^{0.52}}]^{0.2}$ [25]
H_3	3rd to 1st CMB peak ratio		Fits	$H_3 = 2.17[1 + (\omega_b/0.044)^2]^{-1}\omega_m^{0.59} 3.6^{n_s-1}/[1 + 1.63(1 - \omega_b/0.071)\omega_m]$
A_*	Amplitude at pivot point		Fits	$A_* = 0.82^{n_s-1} A_p$

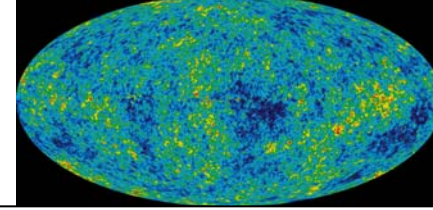


Sloan Digital Sky Survey:Rot

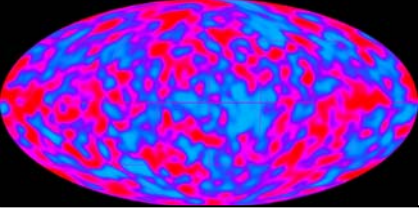
WMAP:Gelb



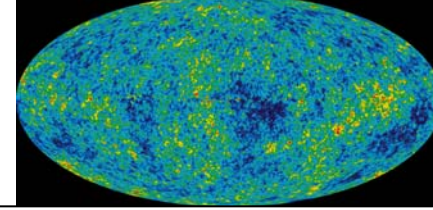
Probleme mit der Kosmologie



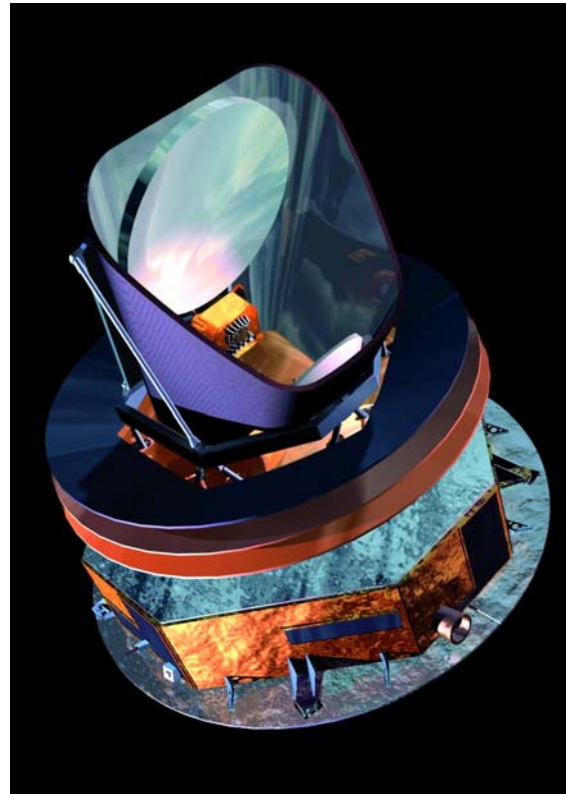
- **Antimaterie-Problem:** Warum so viel mehr Materie als Antimaterie? Nachdem das Universum eine Millisekunde alt war, war die Balance zw. Materie und Antimaterie für immer festgelegt
- **Galaxien-Entstehungs-Problem:** zufällige Ungleichheiten nicht ausreichend um die Entstehung von Galaxien zu erklären (wiederum: auf einer Zeitskala vor 1 Millisekunde um die Existenz zu erklären)
- **Horizont-Problem:** Hintergrundstrahlung von entgegengesetzten Himmelsregionen haben dieselbe Temperatur (innerhalb von 0.01%). Aber die Regionen aus denen sie emittiert wurden waren damals (500 000 Jahren) viel zu weit voneinander entfernt um „kommunizieren“ zu können (Lösung: Inflations-Modell)
- **Universum ist flach:** Inflation hilft!



Die Missionen



- Planck:
 - ESA-Satellit
 - geplanter Start: 2008, Oktober
 - Messung der Anisotropien für Winkel größer 5-10 arcmin, mit einer Genauigkeit von 2×10^{-6}

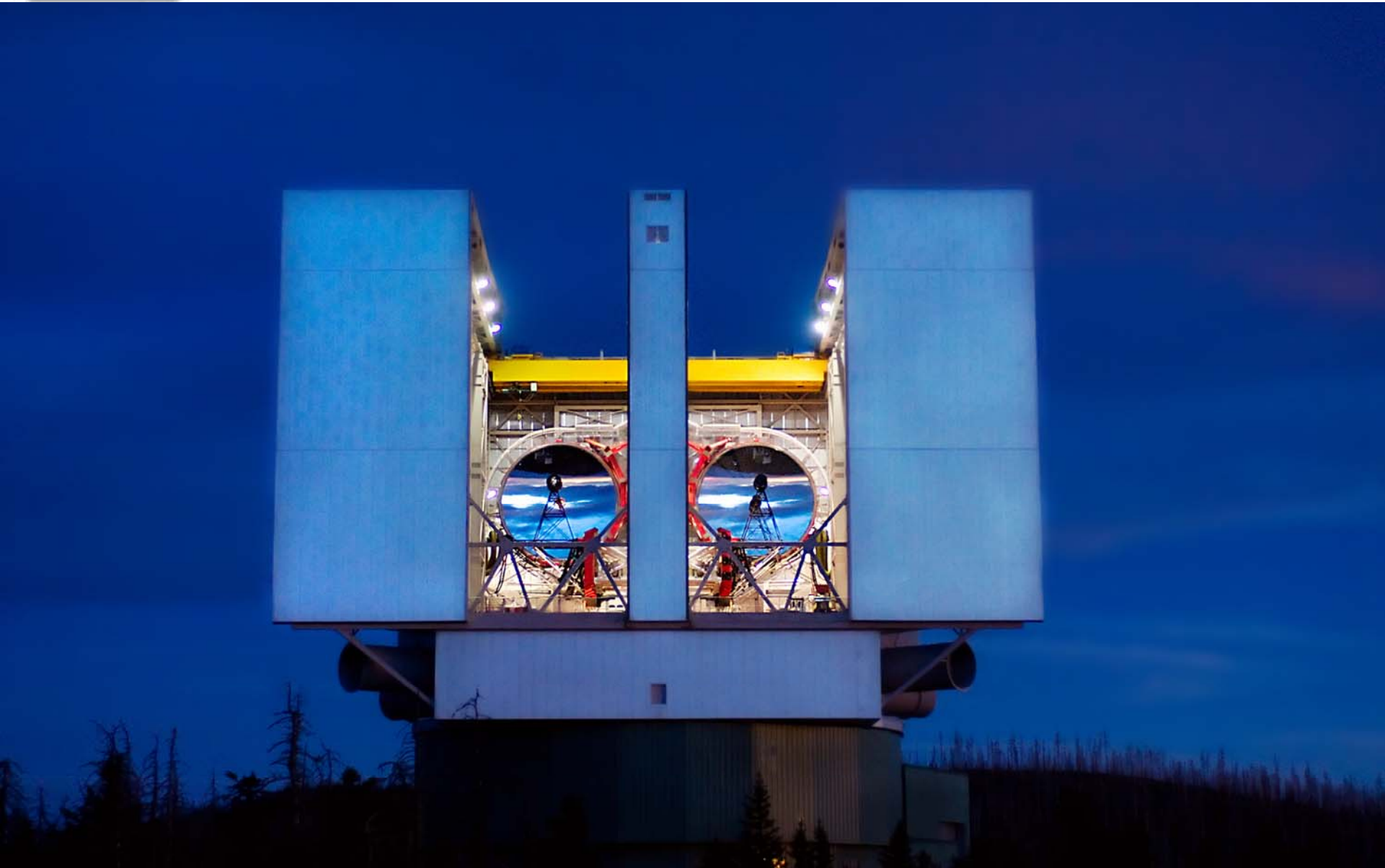




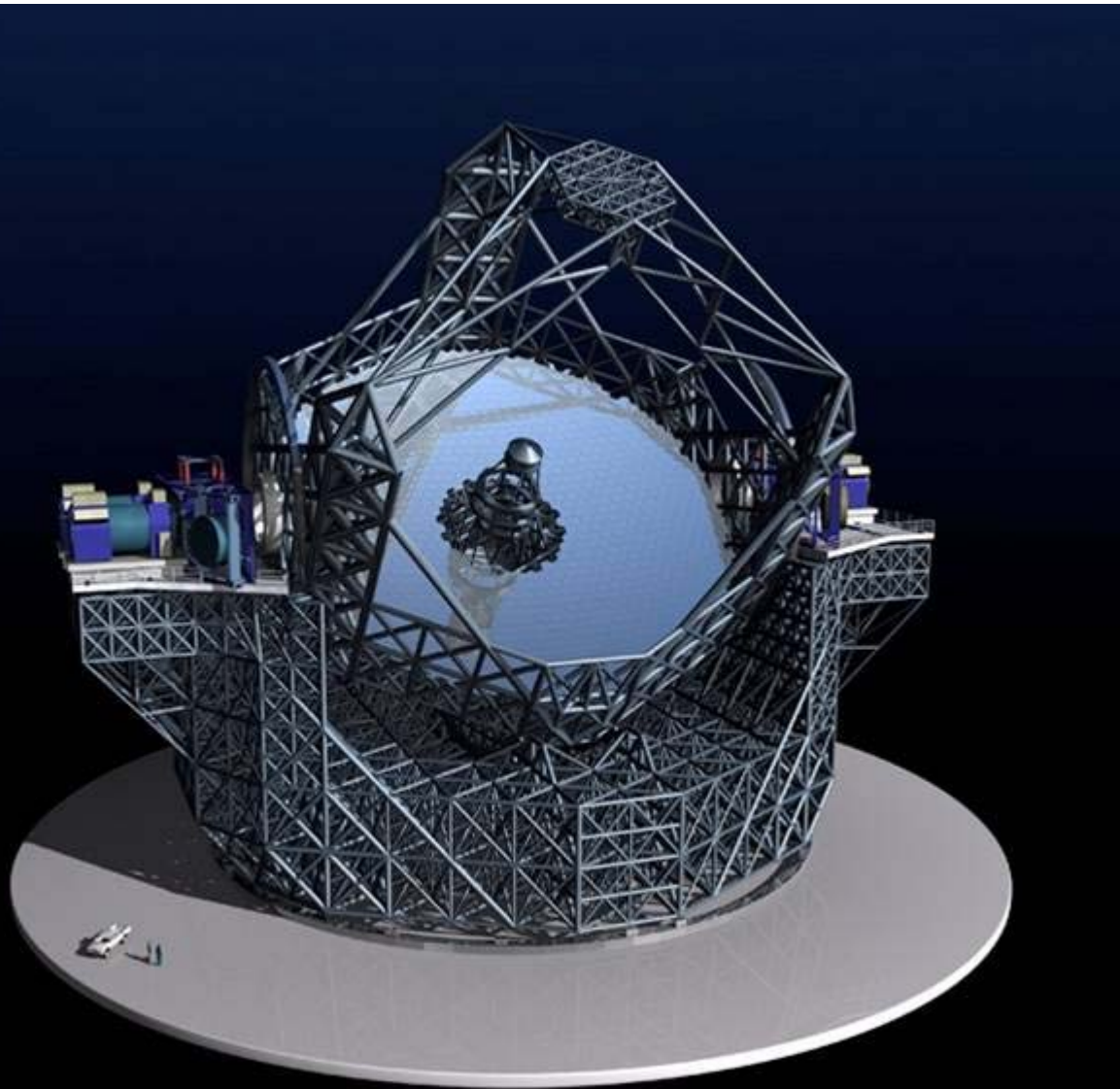
EXTREMELY LARGE TELESCOPES:

The next step in mankind's quest for the Universe

L *LARGE BINOCULAR TELESCOPE OBSERVATORY*

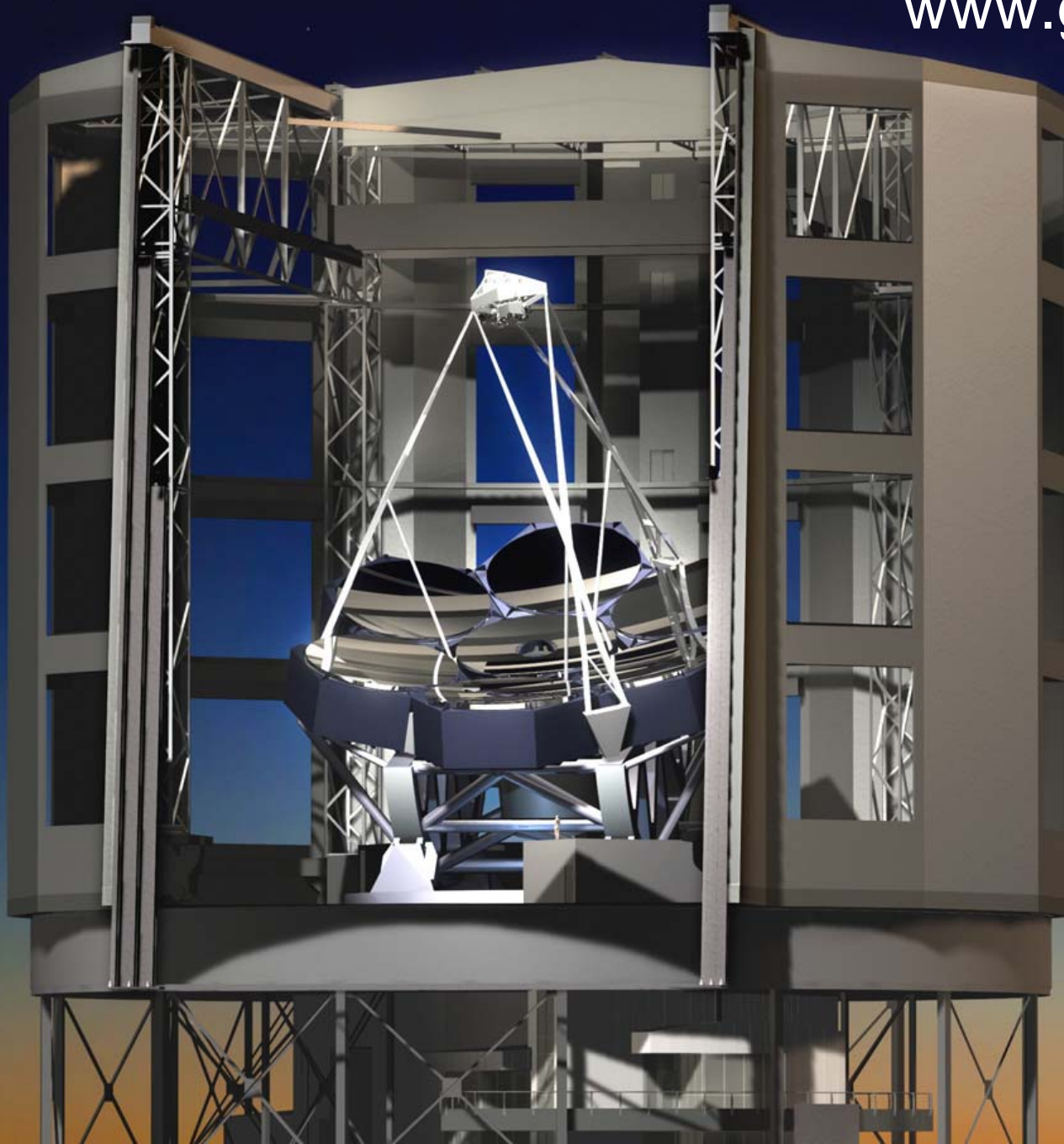


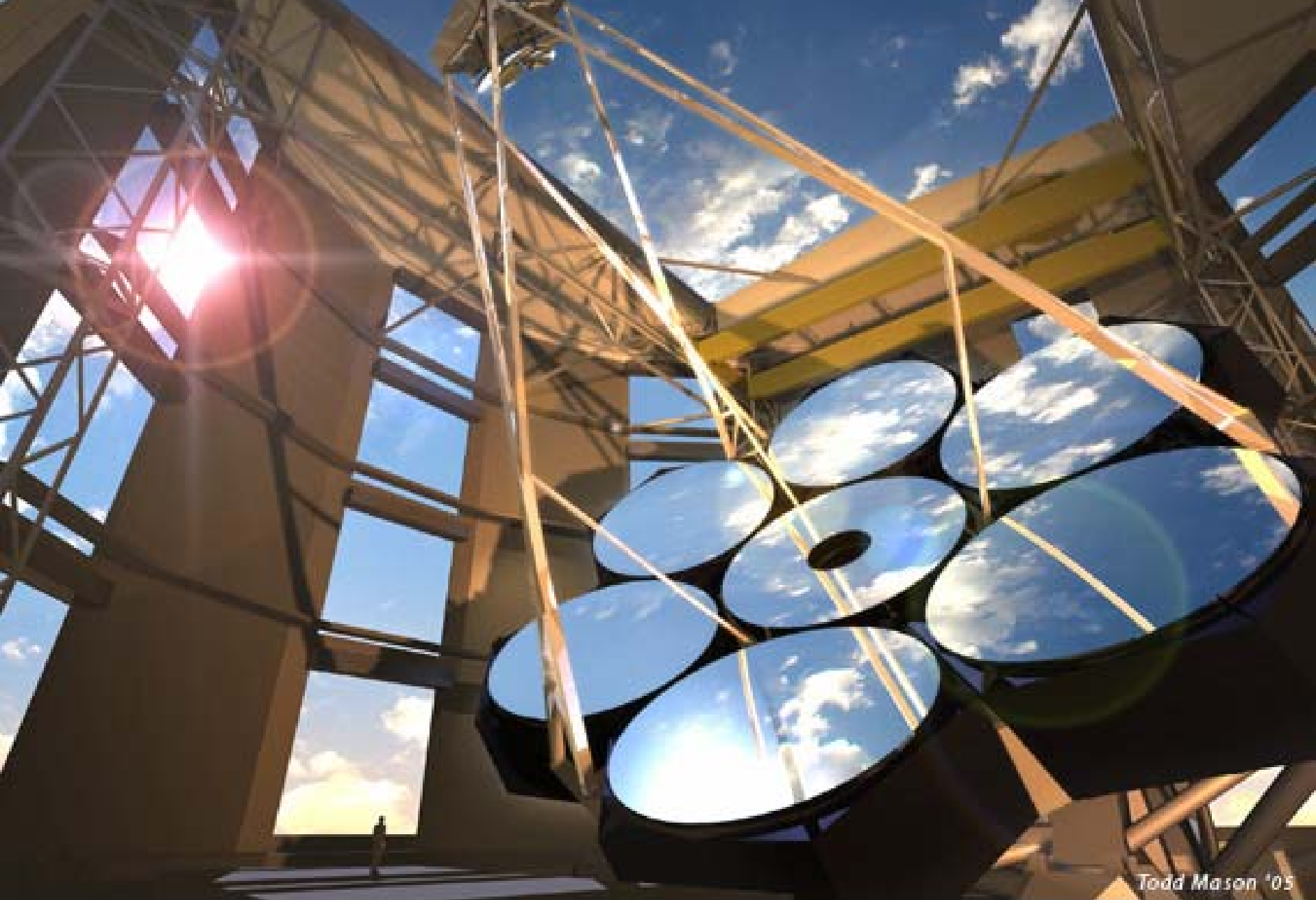
E-ELT



Extremely Large Telescope (ELT) Studies

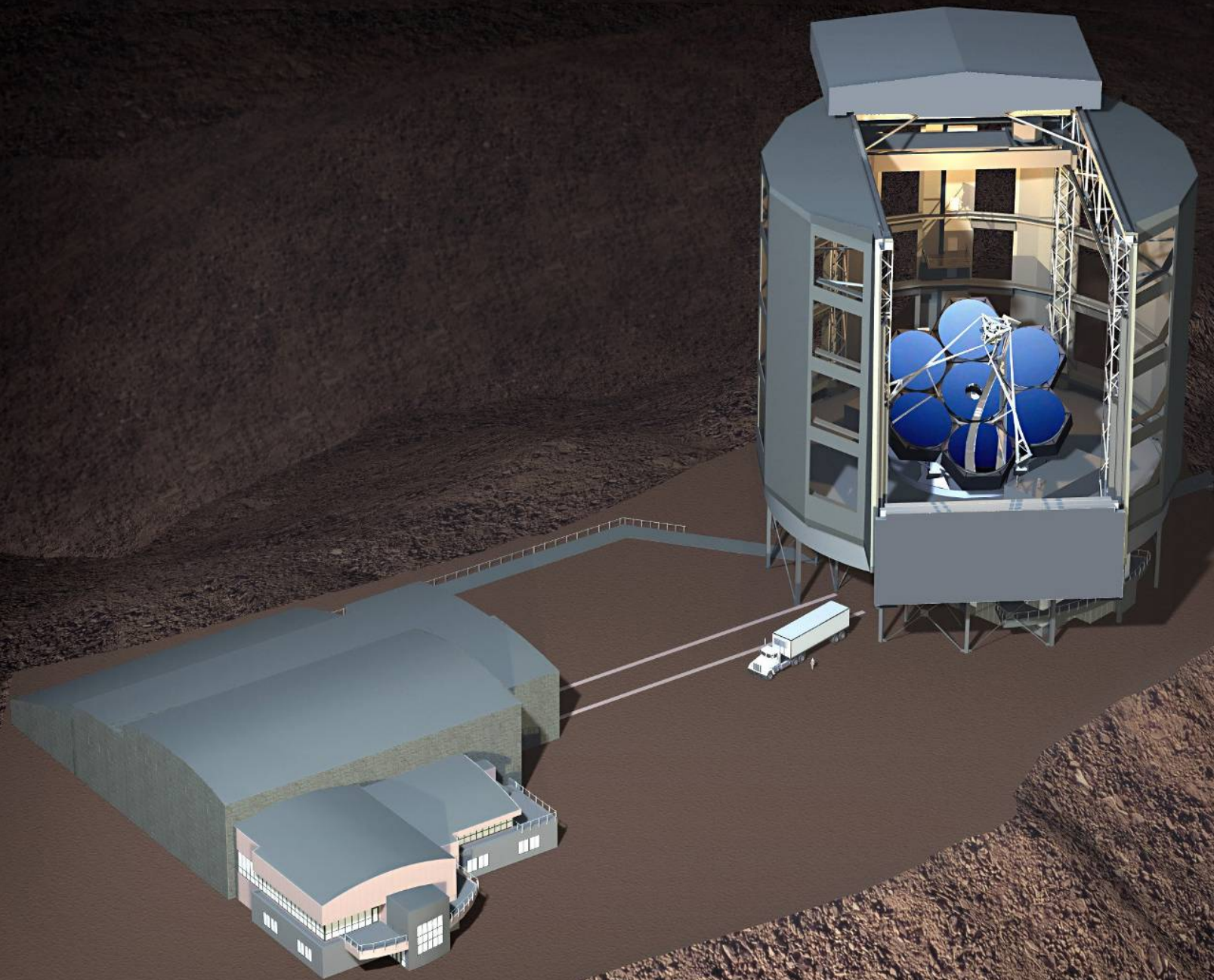
- In 2002, 5 major studies were underway around the world
 - ~20 meter Giant Magellan Telescope (GMT) – Carnegie/Arizona – array of cast 8 meter mirrors
 - 20 meter Canadian Very Large Optical Telescope (VLOT) – ACURA - segmented mirror
 - 30 meter California Extremely Large Telescope (CELT) – Caltech and UC - segmented mirror
 - 30 meter Giant Segmented Mirror Telescope (GSMT) – NOAO/AURA - segmented mirror
 - 50 meter Euro 50 – segmented mirror
 - 100 meter Overwhelmingly Large telescope (OWL) – ESO – segmented mirror
- In 2006, 3 major studies are underway
 - GMT – array of cast 8 meter mirrors
 - TMT (merger of VLOT, CELT, GSMT) - segmented
 - EELT (30 – 60 meter ESO revised study) – segmented (?)





Todd Mason '05

Giant Magellan Telescope Organization

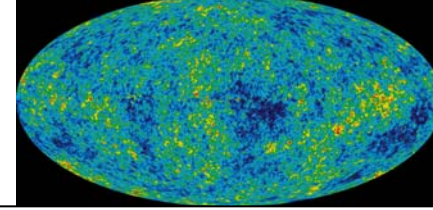
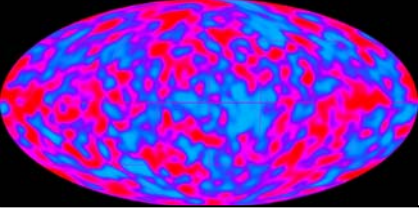


Kosmologie & das entfernte Universum

Wissenschaft mit dem *Giant Magellan Telescope*



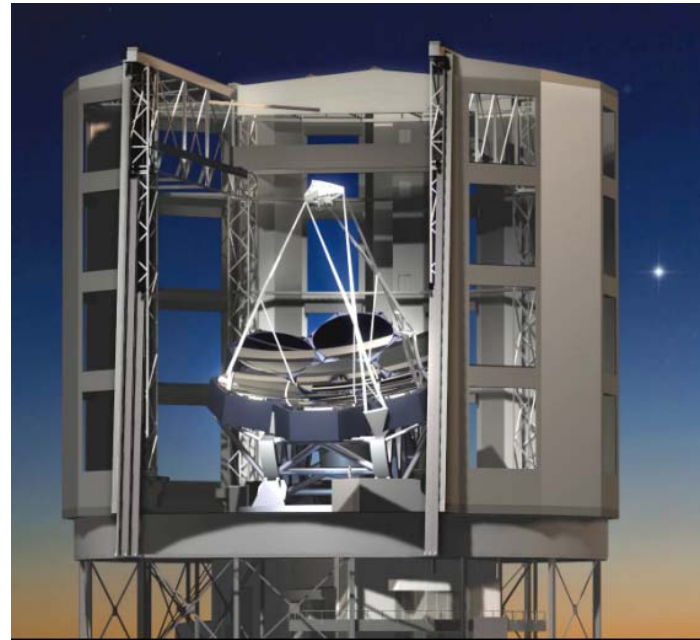
GMT Partner



Astronomy Australia Limited
Australian National University
Carnegie Institution of Washington
Harvard University
Smithsonian Institution
Texas A&M University
U. of Arizona
U. of Texas at Austin

Und:

Korea Astronomy & Space Science
Institute



GMT Wissenschaft

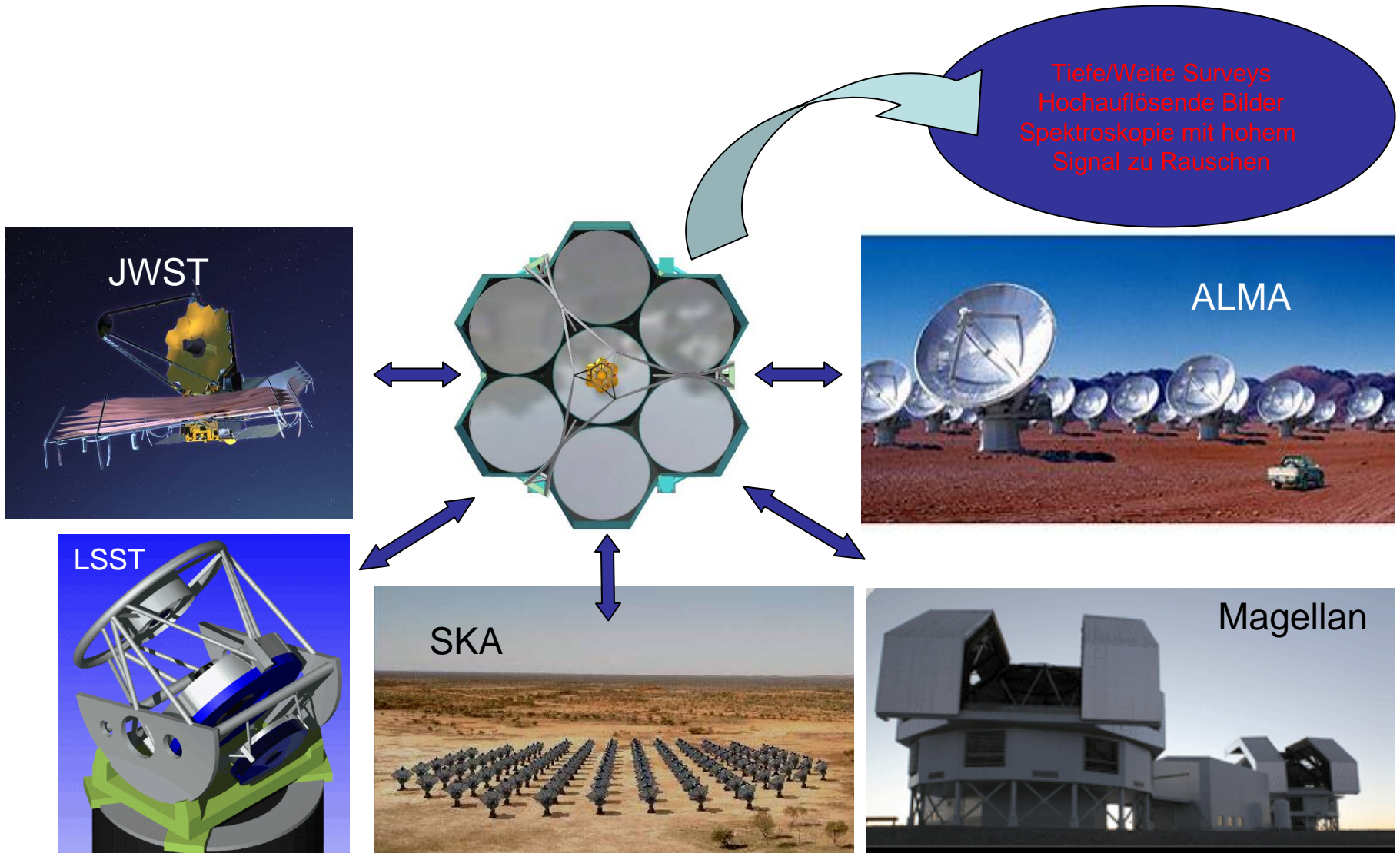
- *Planeten und ihre Entstehung*
- *Stellare Populationen und die Chemische Entwicklung*
- *Galaxienbildung*
- *Schwarze Löcher im Universum*
- *Das beschleunigende Universum*
- *Das erste Licht und die Reionisation*

Science case: www.gmto.org



GMT

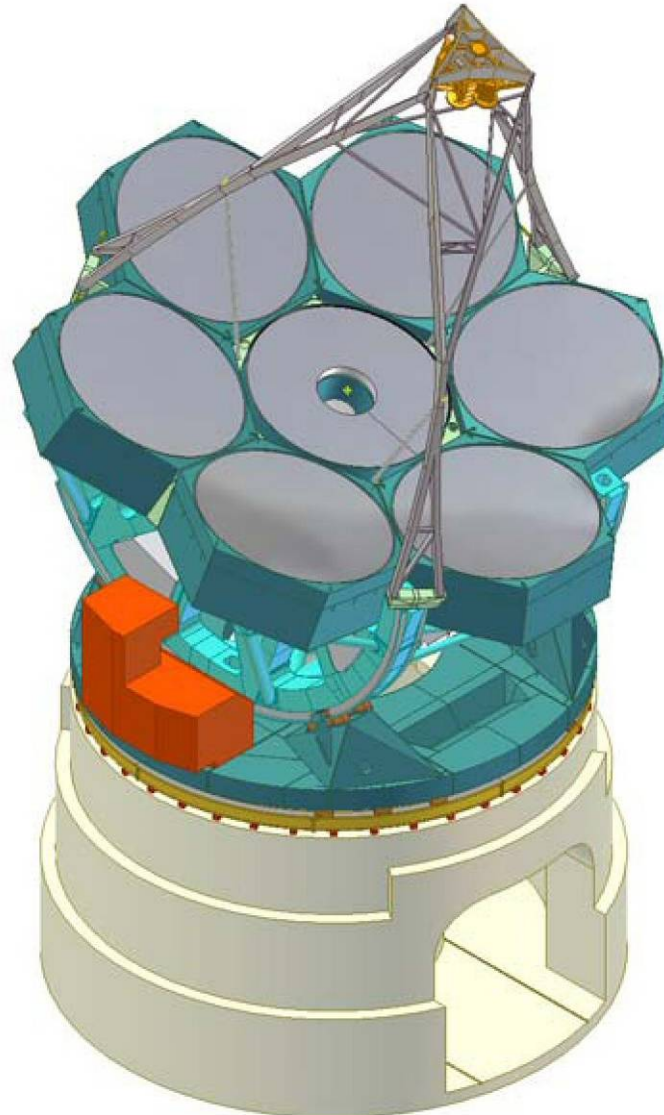
GMT Wissenschaft: CONTEXT & SYNERGIE



Telescope Concept

Alt-az mount

Seven x 1.1m
segmented secondary
mirror (3.2 m Φ)



Laser housing

Seven x 8.4 m segmented
borosilicate primary mirror

Pier

Telescope stats

Height: 38.7 meters

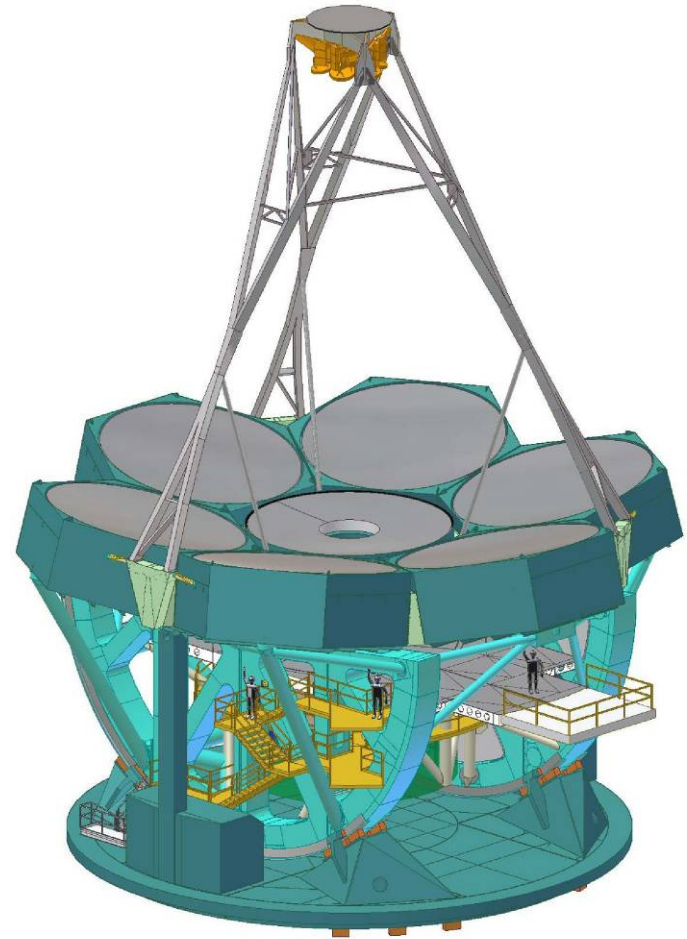
1,125 metric tons

Lowest Mode: 4.5 Hz

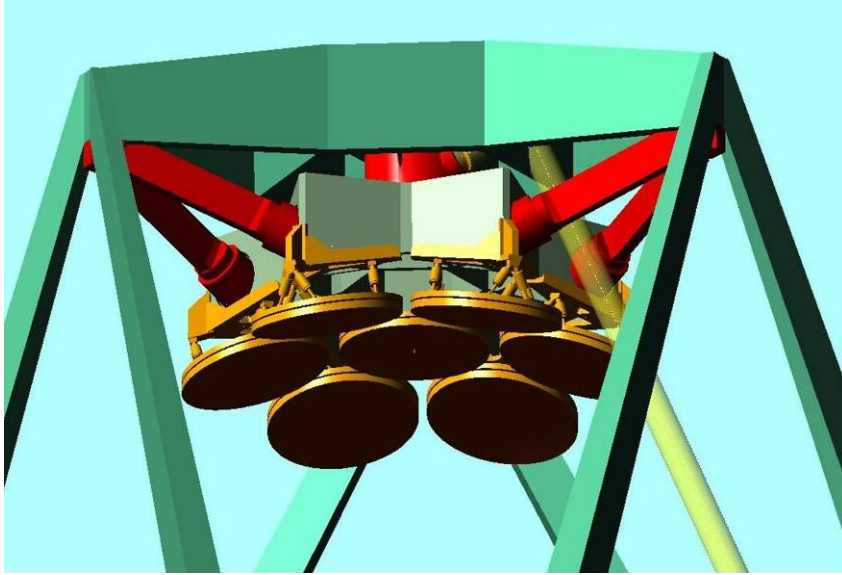
(4.3 Hz with pier)

Operating modes

- **Natural seeing operation**
 - 20' "Wide-Field" mode
- **Multiple AO modes**
 - Laser Tomography AO (LTAO)
 - Ground layer AO (GLAO)
 - High contrast AO (ExAO)
 - Future MCAO, MOAO



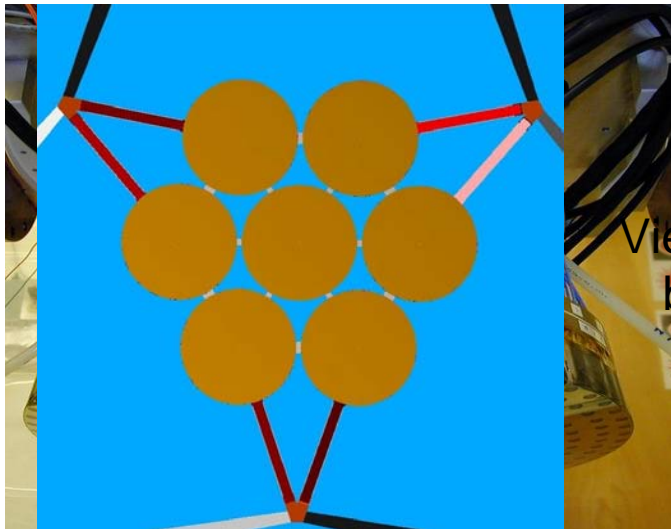
Segmented Gregorian Secondary Mirrors



Fast-steering secondary (FSM):

Seven 1.06 m segments aligned with primary mirror segments

Tip-tilt & translation actuators



View from 64 cm
below ASM

Adaptive secondary (ASM):

Technology developed for MMT & LBT

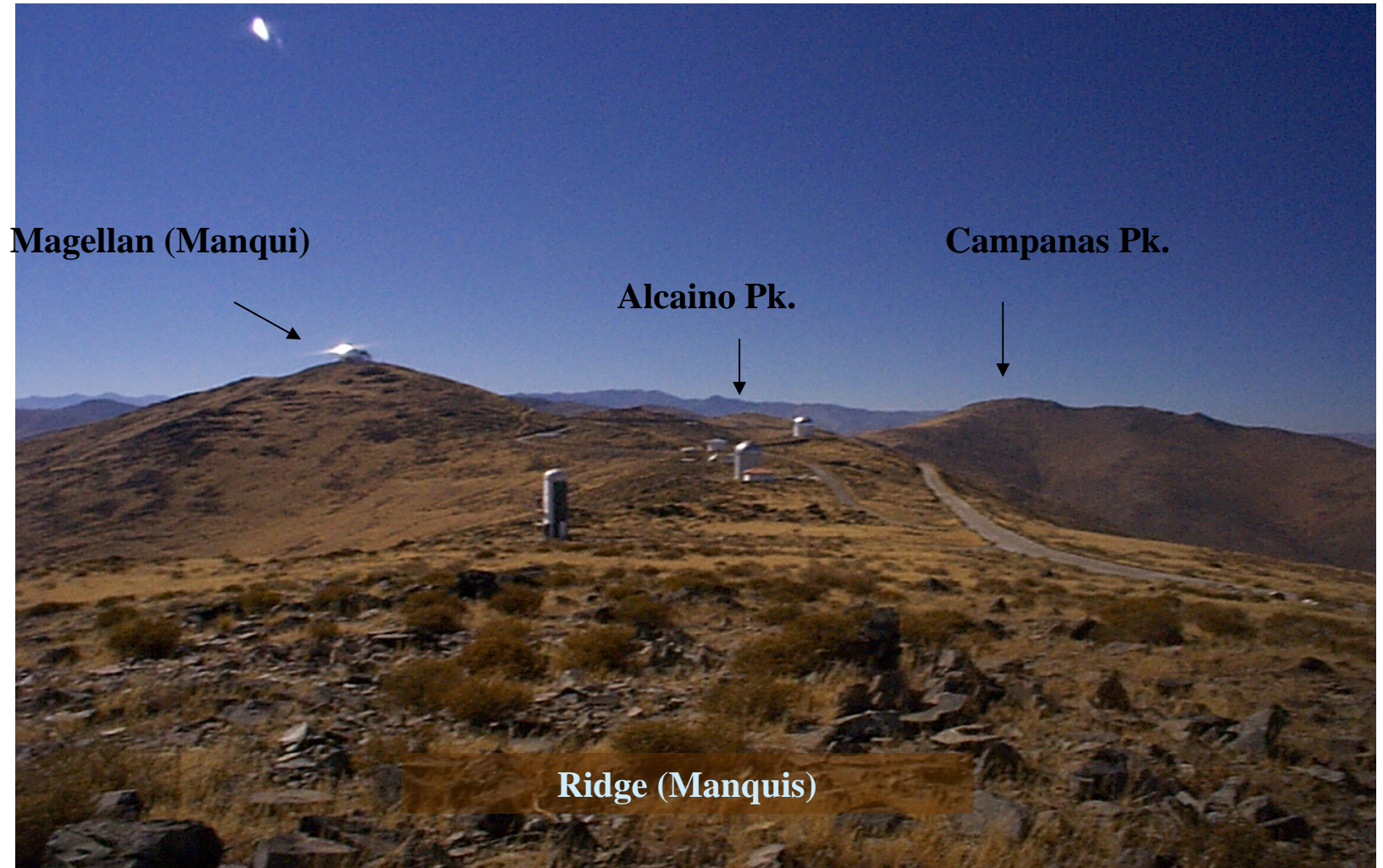
~672 actuators per segment

~4700 actuators total

Capacitive position sensors.

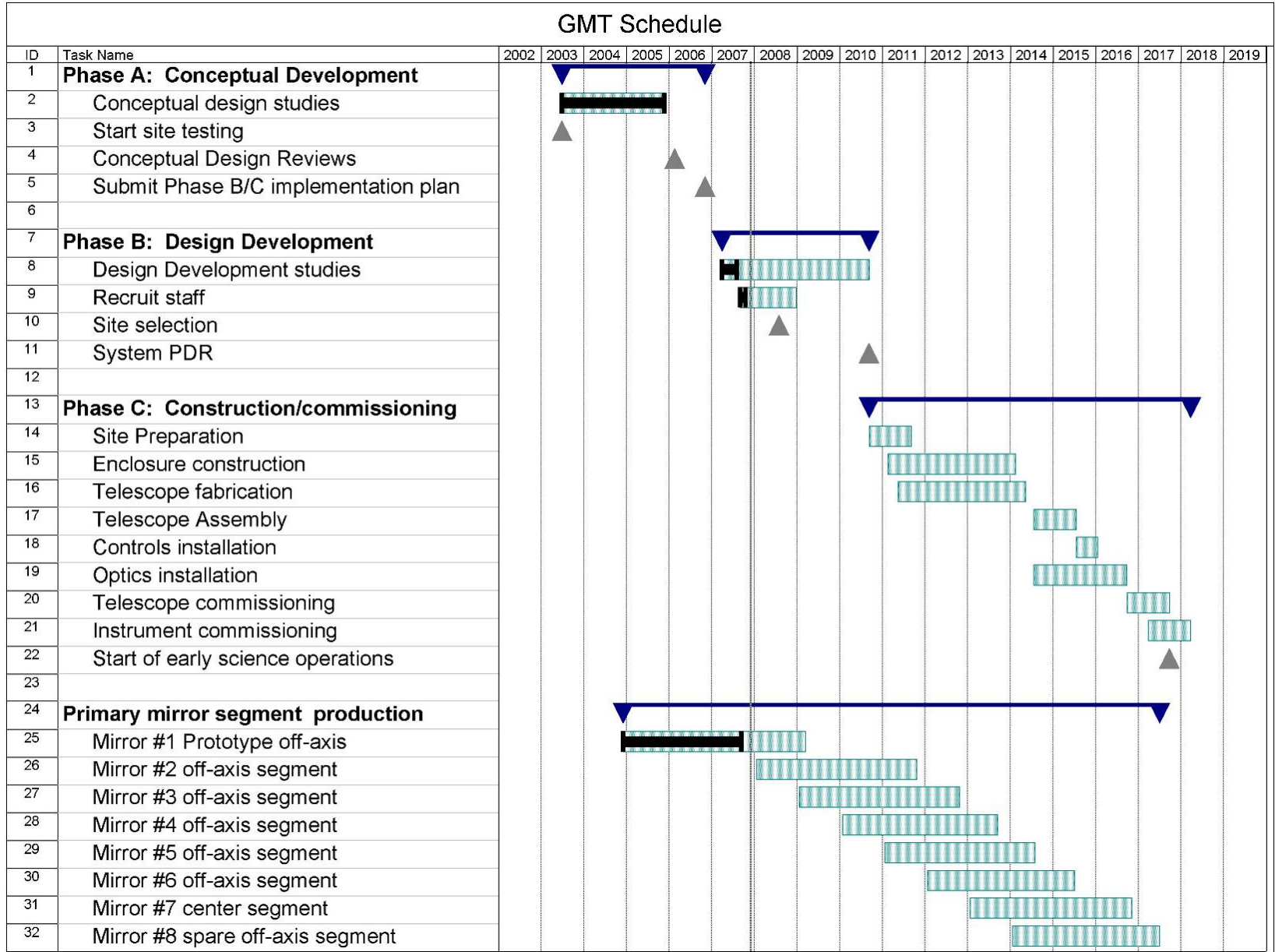
In-telescope calibration source.

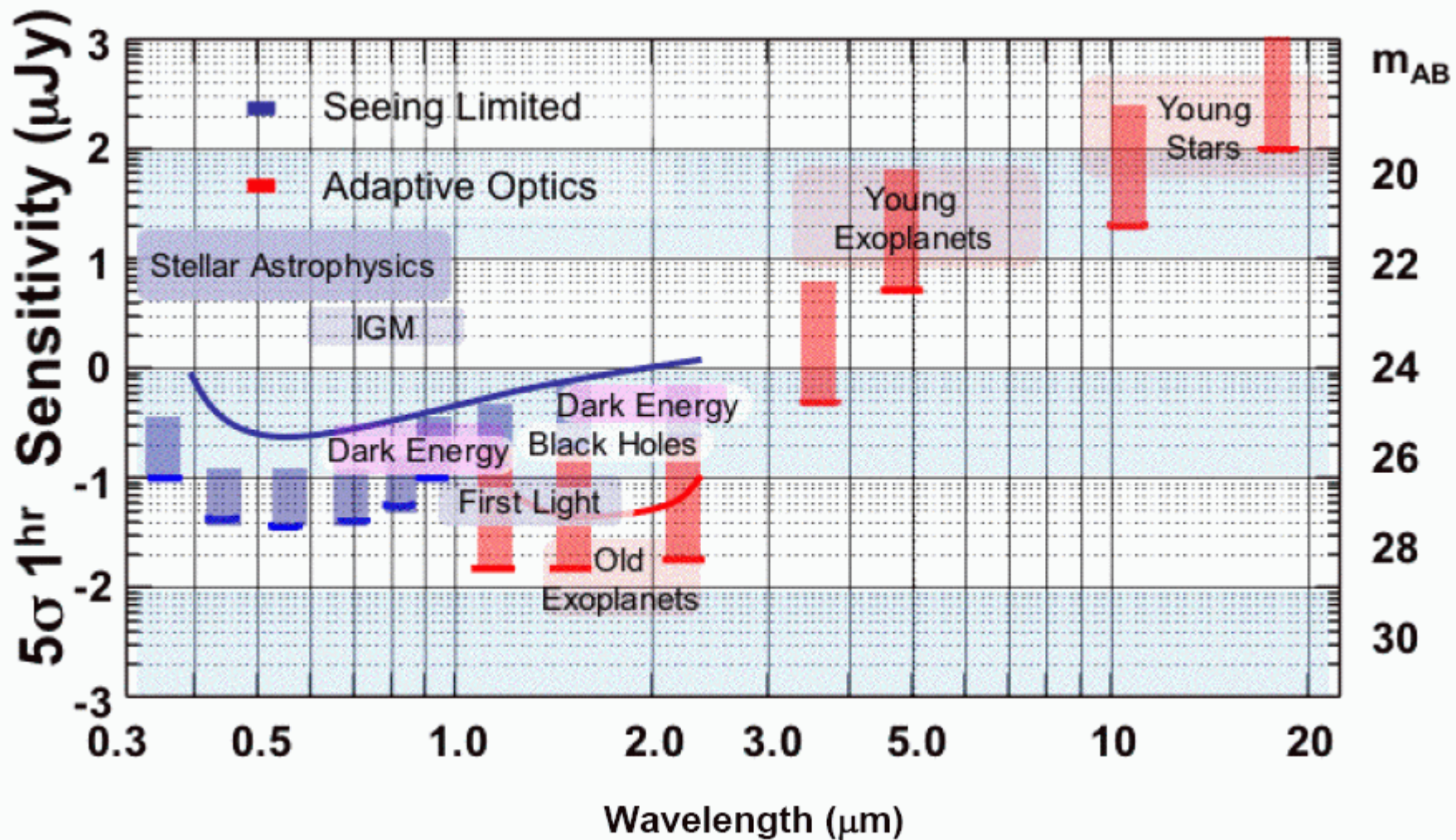
Las Campanas Observatory (Nord-Chile)



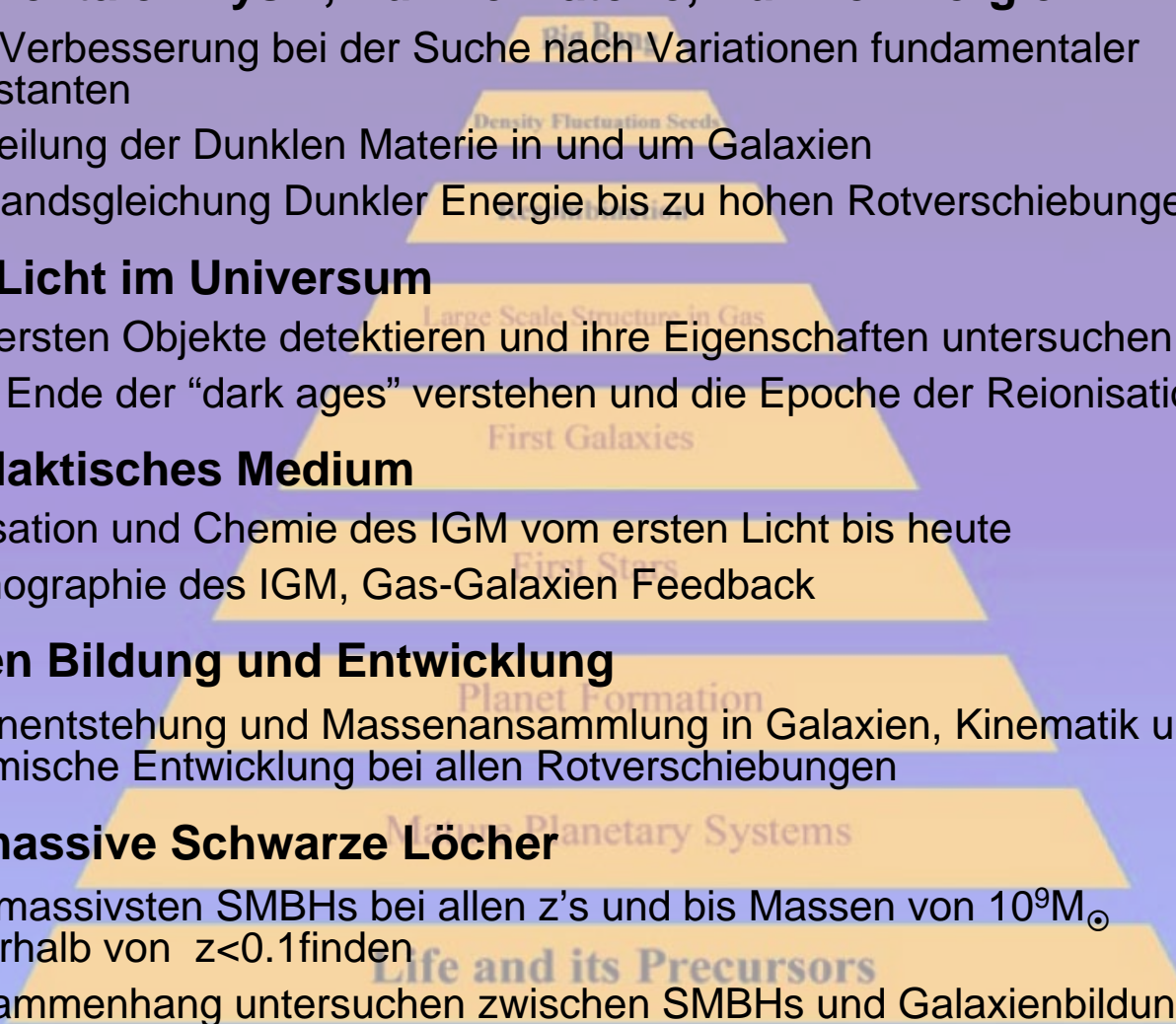
Sites







Key science with GMT

- 
- ✦ **Fundamentale Physik, Dunkle Materie, Dunkle Energie**
 - ✦ 10x Verbesserung bei der Suche nach Variationen fundamentaler Konstanten
 - ✦ Verteilung der Dunklen Materie in und um Galaxien
 - ✦ Zustandsgleichung Dunkler Energie bis zu hohen Rotverschiebungen
 - ✦ **Erstes Licht im Universum**
 - ✦ Die ersten Objekte detektieren und ihre Eigenschaften untersuchen
 - ✦ Das Ende der “dark ages” verstehen und die Epoche der Reionisation
 - ✦ **Intergalaktisches Medium**
 - ✦ Ionisation und Chemie des IGM vom ersten Licht bis heute
 - ✦ Tomographie des IGM, Gas-Galaxien Feedback
 - ✦ **Galaxien Bildung und Entwicklung**
 - ✦ Sternentstehung und Massenansammlung in Galaxien, Kinematik und chemische Entwicklung bei allen Rotverschiebungen
 - ✦ **Supermassive Schwarze Löcher**
 - ✦ Die massivsten SMBHs bei allen z's und bis Massen von $10^9 M_{\odot}$ innerhalb von $z < 0.1$ finden
 - ✦ Zusammenhang untersuchen zwischen SMBHs und Galaxienbildung

SERENDIPITY!

Beobachtungs Kontext in 2018

- ◆ Jetzige 8m-class optische Teleskope voll entwickelt
 - ◆ Wenigstens 16 6m-10m Teleskope mit optimierter Instrumentierung
 - ◆ AO → λ/D performance, Instrumente der 3. Generation
 - ◆ Riesen- surveys und andere Langzeit-Programme auf großen räumlichen Skalen

- ◆ Tiefe, Kartierungen des ganzen Himmels bei vielen Wellenlängen und Epochen
- ◆ Interferometrie: erwachsen!! VLT-I, Keck, etc.
- ◆ Infrarot: "Schwache Objekte" Bereich (K~20), Astrometrie (μas)
- ◆ mm-submm: ALMA bietet äquivalente optische Möglichkeiten
- ◆ Radio: E-VLA, VLBI, LOFAR, ASKAP, MWA...
- ◆ Space telescopes: JWST, XEUS, GAIA, Planck, LISA...

VLT

Gemini

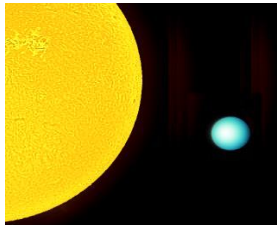
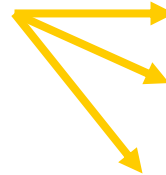
Subaru

Keck

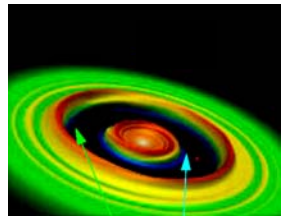
Wissenschaftliche Ziele und Teleskop-Design und Instrumente



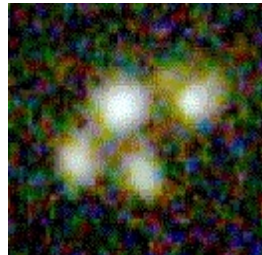
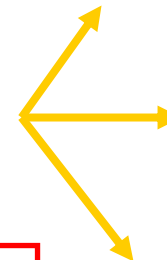
Stellare Populationen
in Galaxien



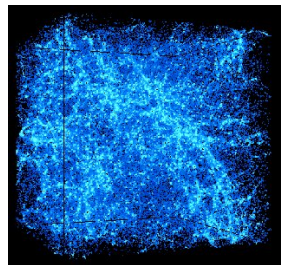
Exoplaneten



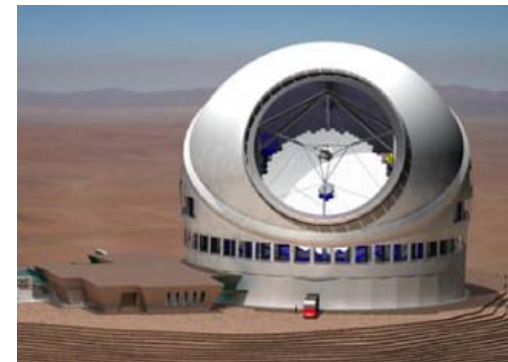
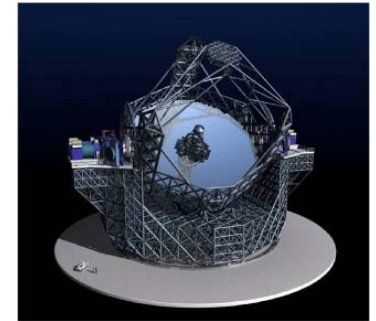
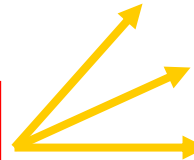
Geburt des Planetensystems



Geburt der Galaxien

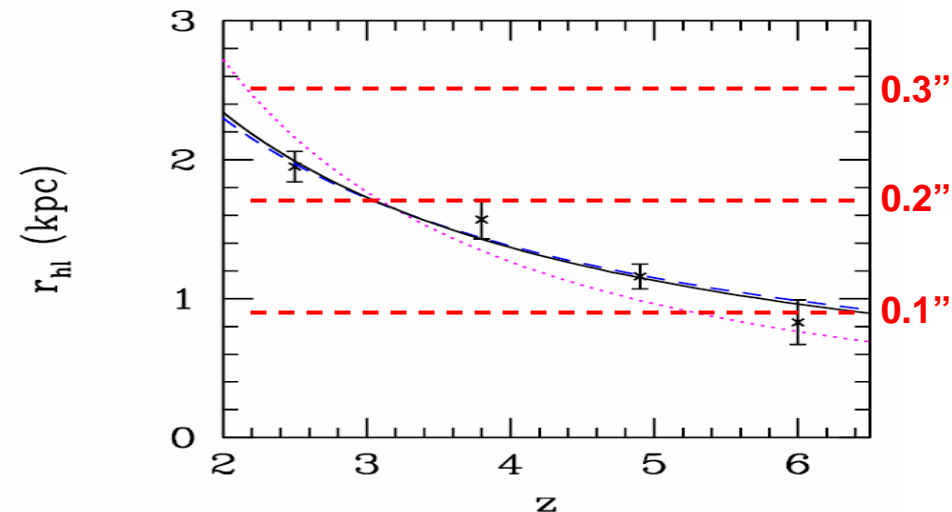
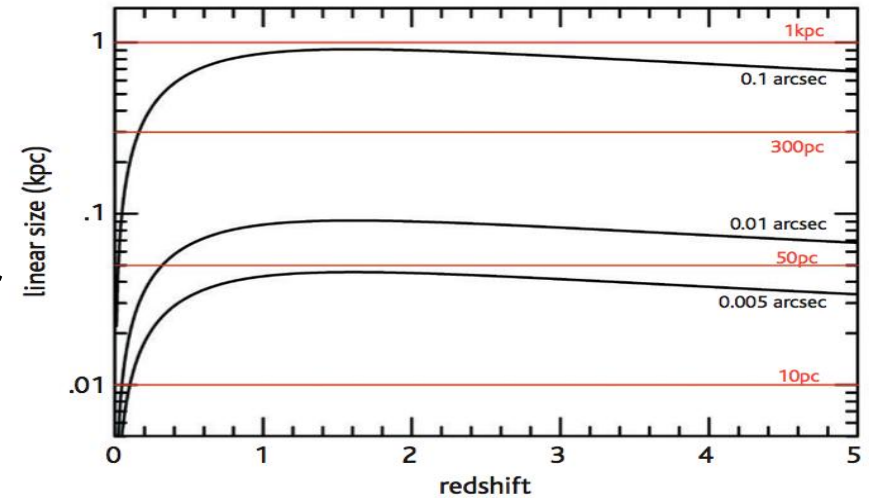


Geburt der großen
Strukturen



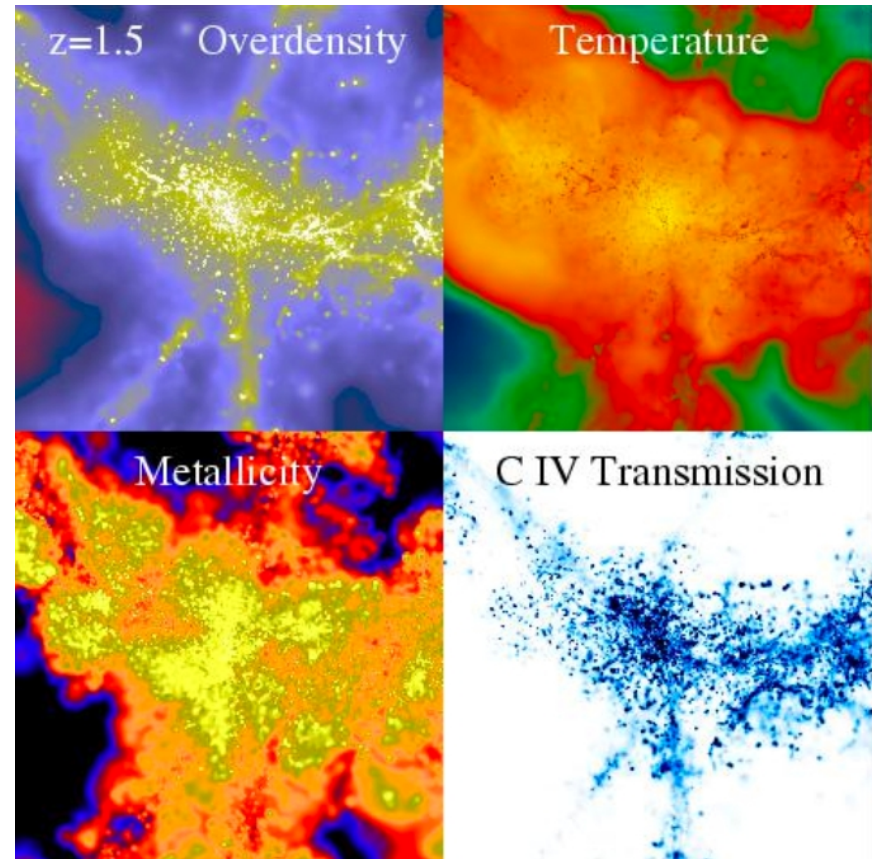
Galaxien Größe und Rotverschiebung

- ✦ Für $z > 0.5$, Größe ist unabhängig von der Entfernung, aber entwickelt sich, wenn Galaxien assemble
- ✦ Ob Galaxien aufgelöst sind oder nicht, abhängig von AO
- ✦ Werden die ersten Protogalaxien aufgelöst werden können?
- ✦ Interessante Strukturen auf allen Skalen (innerhalb von Galaxien)
- ✦ Hohe Oberflächendichte der Galaxien bis zu Entstehungs Rotverschiebungen ($z > 5$)



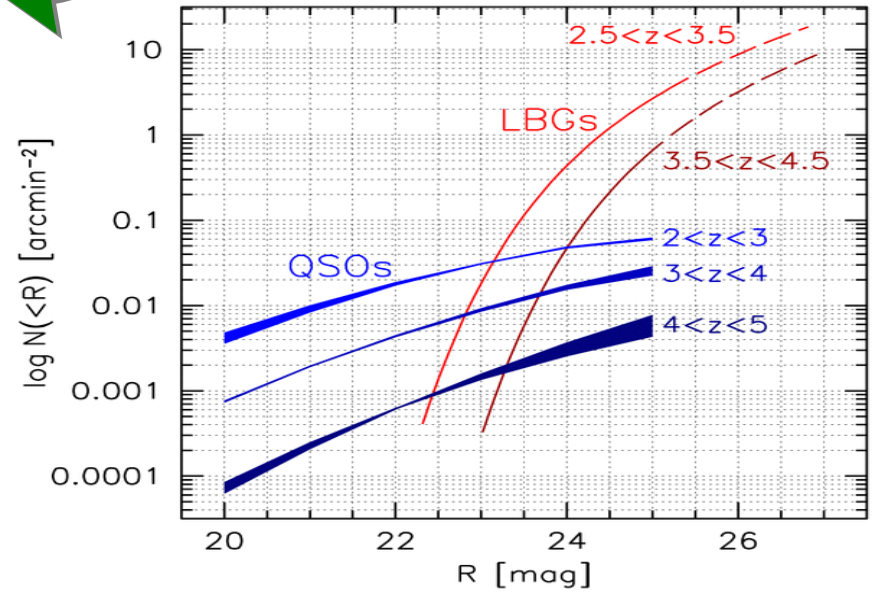
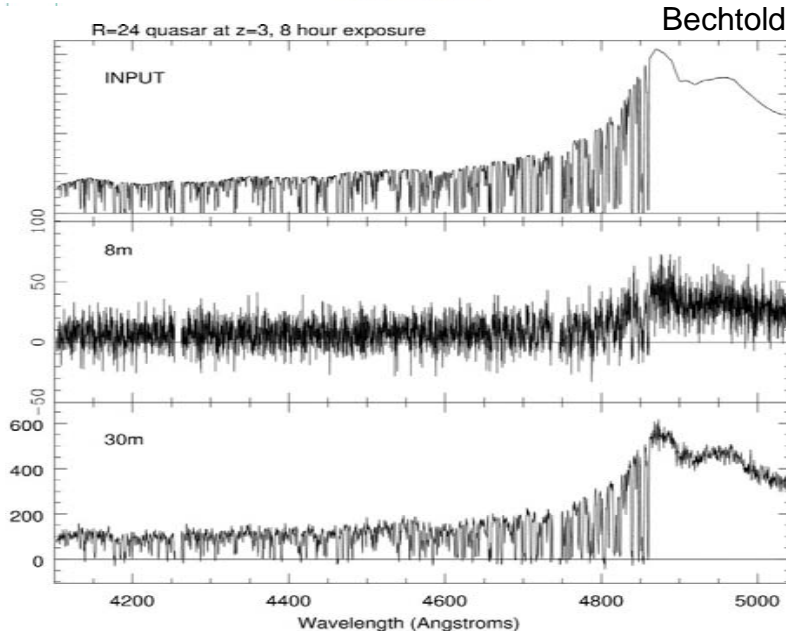
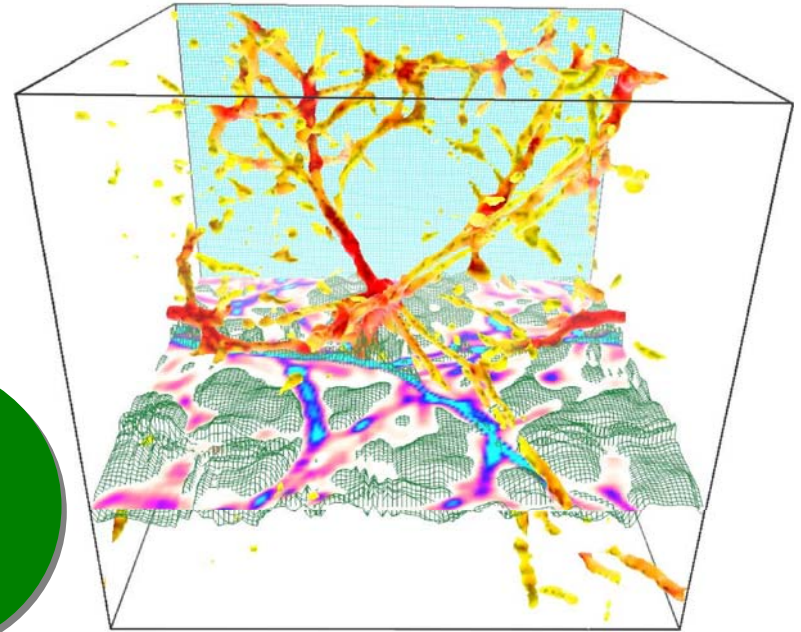
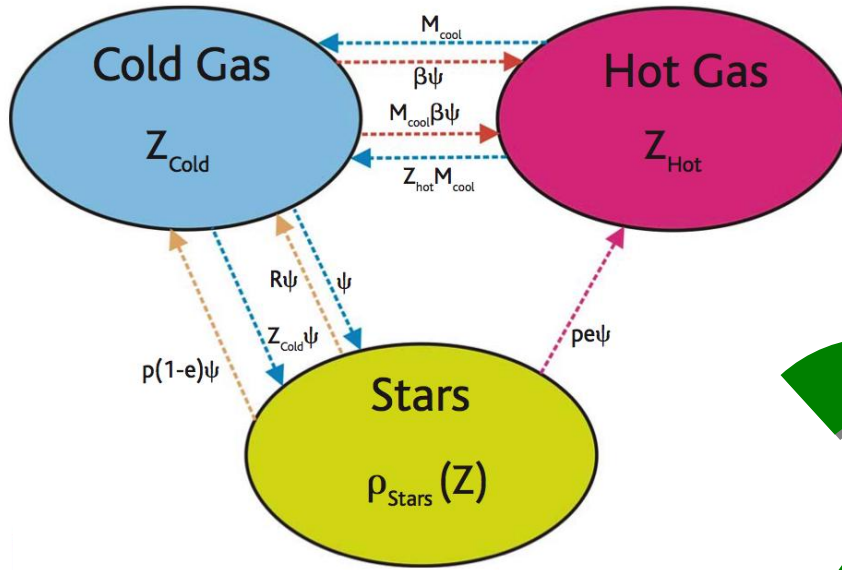
Feedback verstehen

- ★ feedback Zyklus zwischen Akkretion und outflows ..
 - ★ $R \sim 3-5000$ Spektroskopie um die Sternentstehungsgeschichte für große Anzahlen von hochrotverschobenen Galaxien zu erhalten
 - ★ $R \sim 10^4-10^5$ Spektroskopie um die Gasdynamik und die IGM Häufigkeiten zu bestimmen
- ★ Neue Informationen durch Studium der Entstehung von Metallen in hochrotverschobenen Galaxien und dem IGM



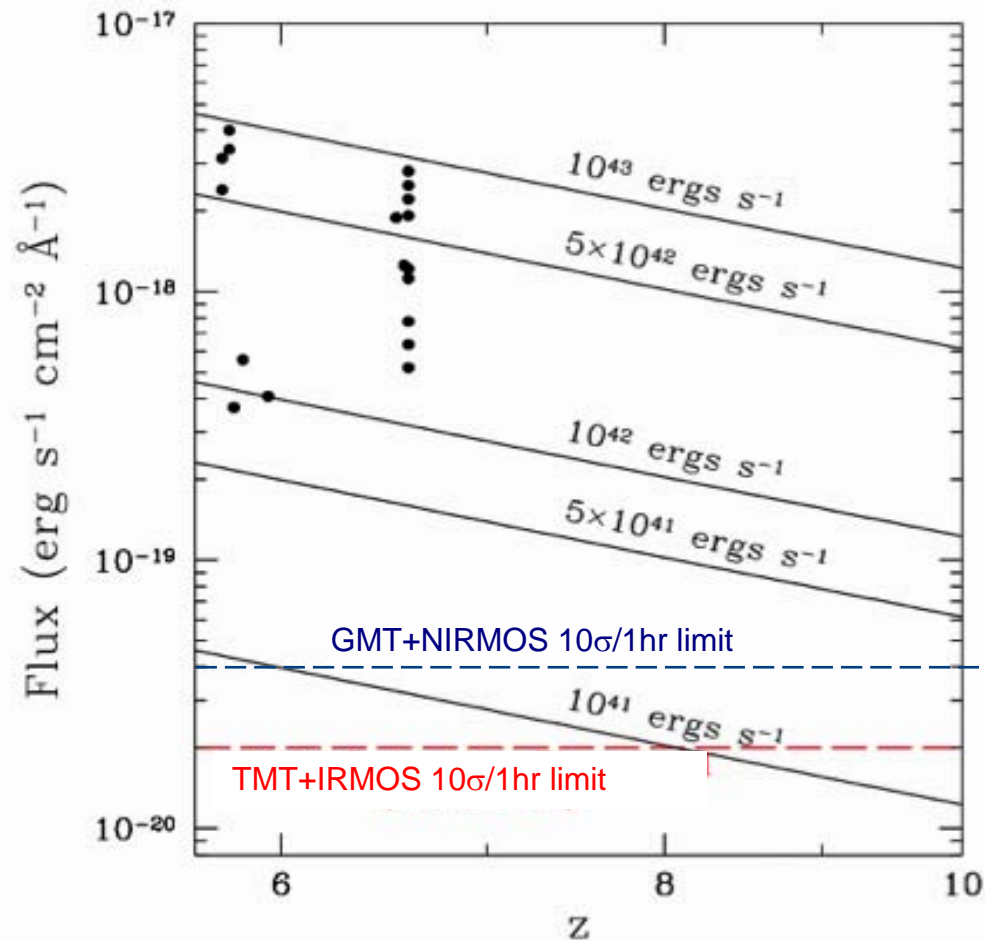
Davé et al. 2007

Baryonen Tomographie



$z \sim 10$ Galaxien detektieren

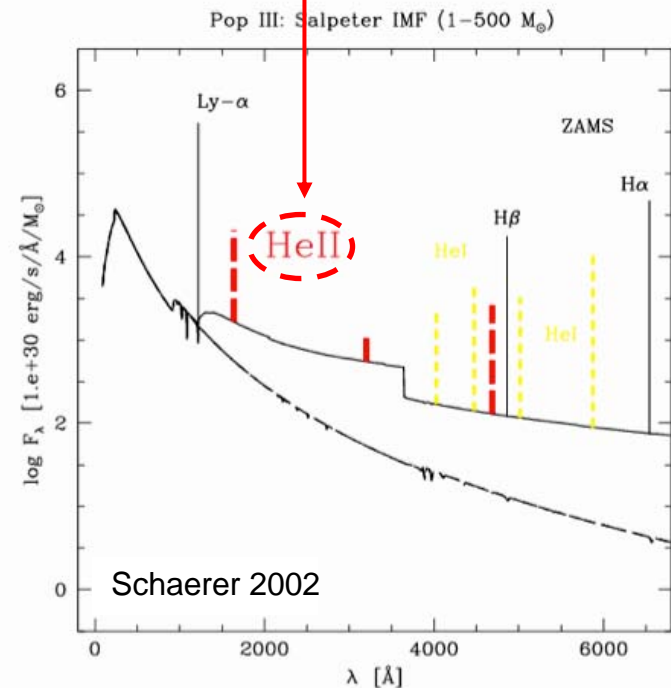
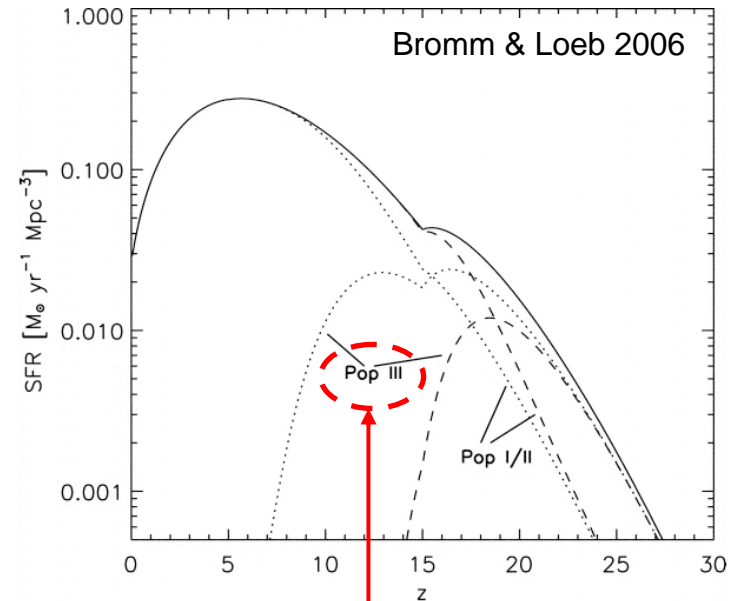
- ★ GMT+NIRMOS:
 - ★ Lyman α wird detektierbar sein bis $z \sim 10$
 - ★ $z \gg 10$ könnte möglich sein durch den Linseneffekt von starken Linsensystemen
 - ★ Hochgradig verbessertes AO kritisch für diese kleinen Objekte



TMT IRMOS-UFHIA team

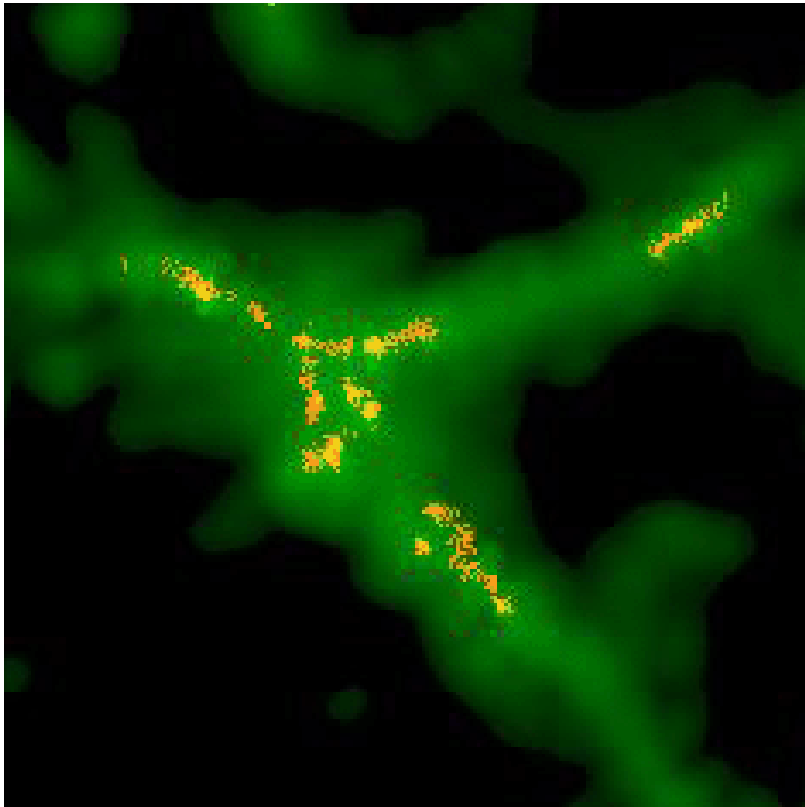
Die ersten Sterne

- ★ GMT kann die ersten leuchtkräftigen Objekte, gefunden durch (oder assoziiert mit Gas/Staub detektiert durch ALMA) aufspüren
- ★ Entdeckung der He II 1640Å Linie impliziert Null-Metall Pop III Sterne
- ★ IR Spectroskopie und Kartierung kann genutzt werden, um die Fluß-Verteilung der Quellen, die Größe und Topologie der ionisierten Regionen zu untersuchen.

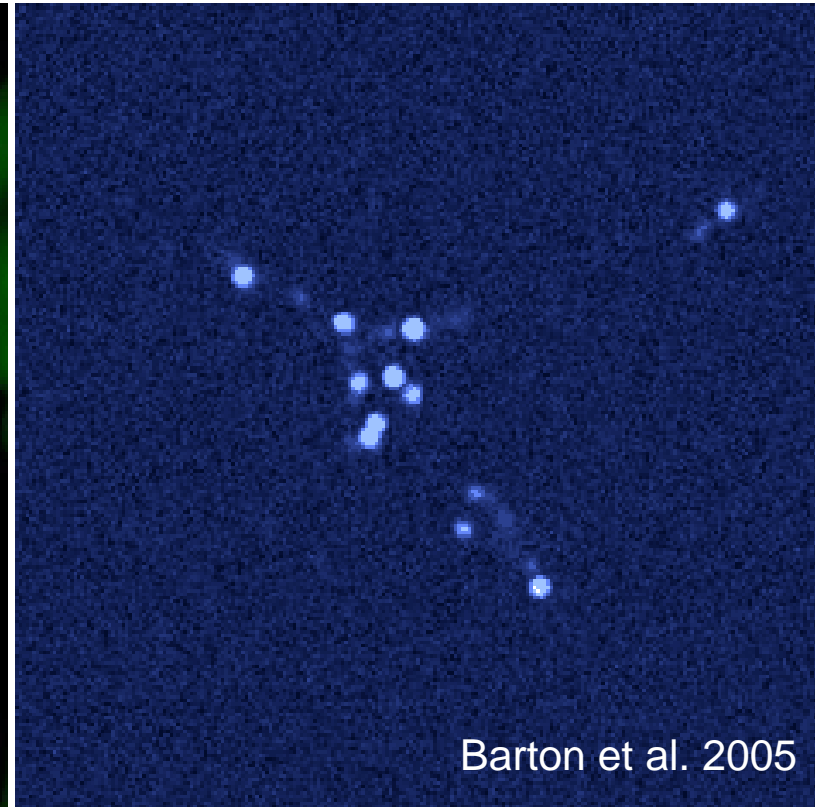


Sternbildende Objekte bei $z \sim 10$

- ★ Sternentstehung in der ersten Milliarde Jahre
- ★ Galaxien, wie sie sich aus Masse und schweren Elementen bilden
- ★ Wechselwirkung zwischen Galaxien und dem

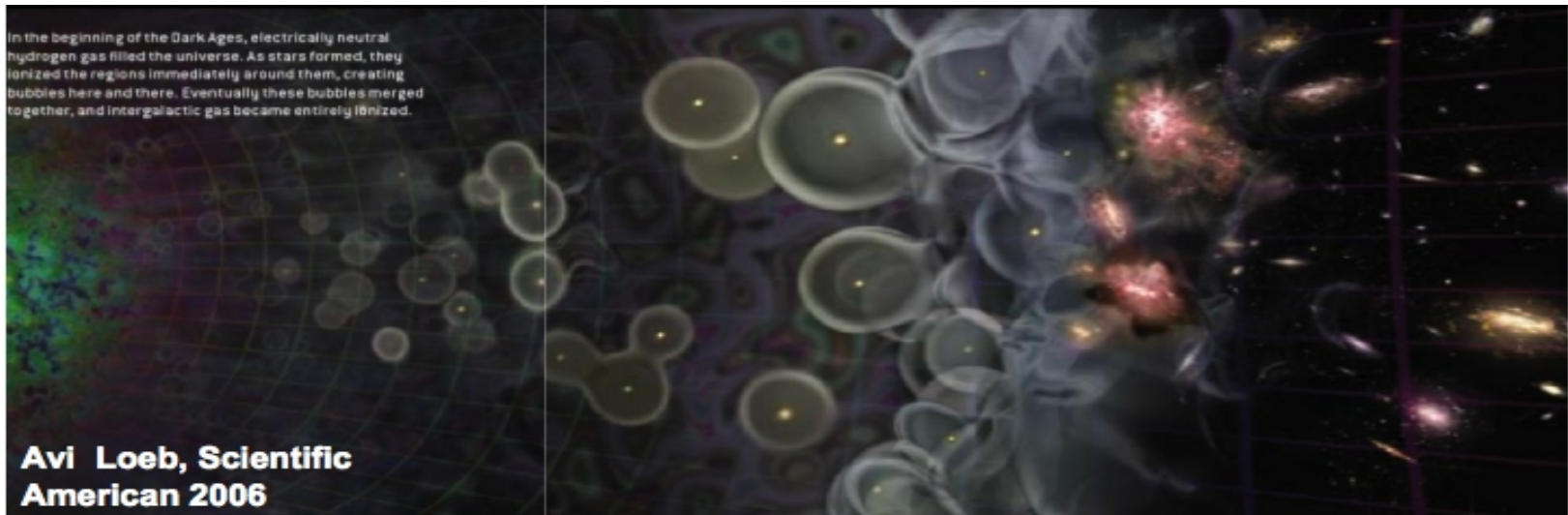


Sternentstehung in einer Simulation
bei $z=10$

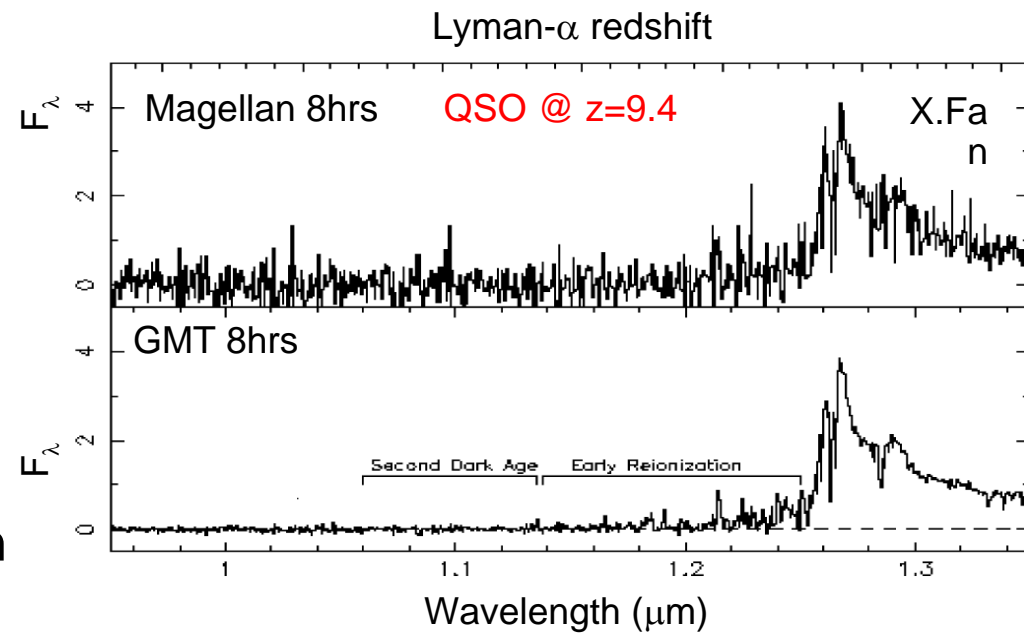


GMT beobachtet He II 1640Å im H
Band

Erstes Licht & Reionisation des IGM

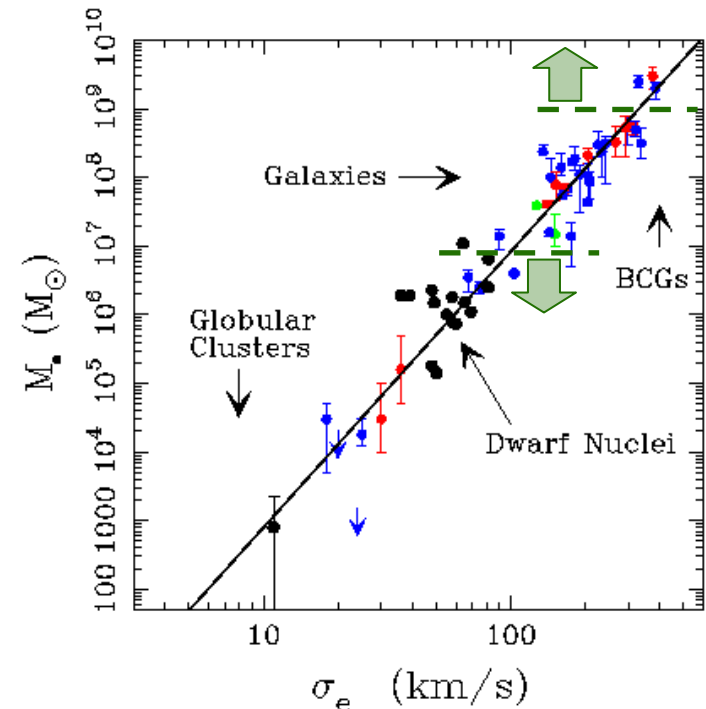
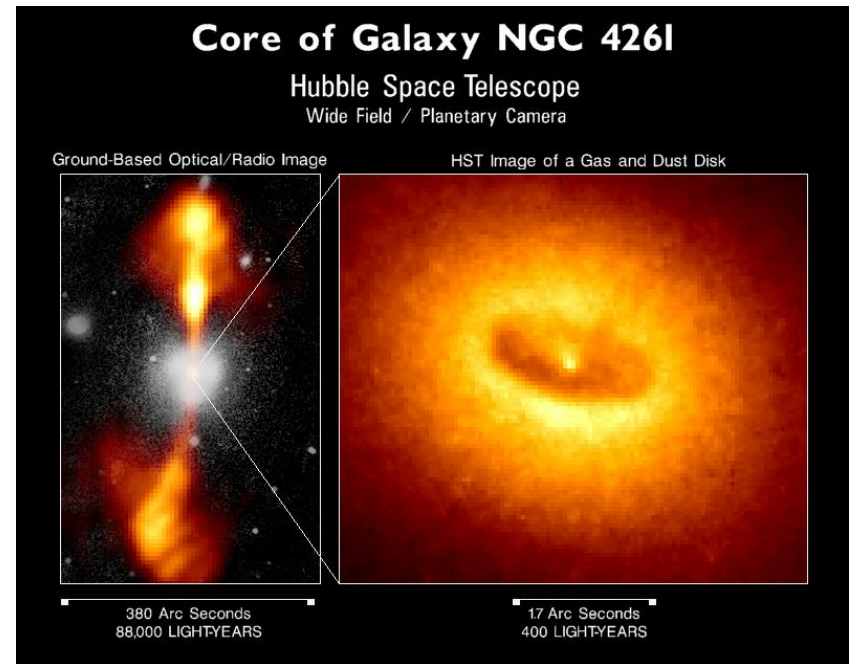


- ◆ Hauptziel des GMT ist die Detektion des “ersten Lichts” und die detaillierte Untersuchung der Reionisation des Universum:
 - ◆ ...die globale Evolution der Reionisationsepoche
 - ◆ ...Struktur & Topologie der Reionisations-Blasen

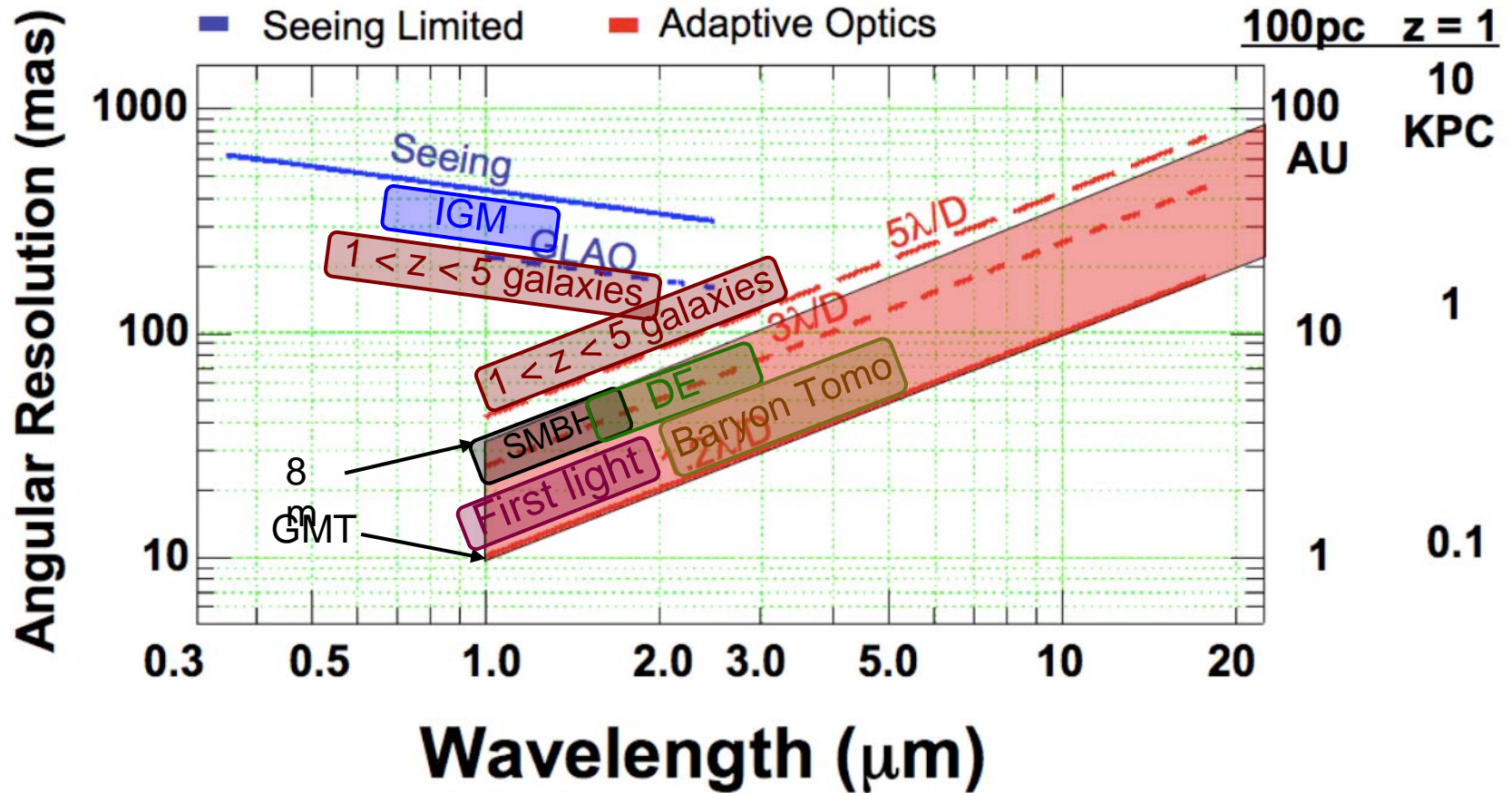


Supermassive Schwarze Löcher

- ★ Wann haben sie sich gebildet?
- ★ Wie hängen die Eigenschaften und die Wachstumsrate von der Umgebung ab? Wie werden sie gefüttert?
- ★ Warum die Korrelation zw. SMBH Masse & Galaxien Bulge Masse?
- ★ Wie entwickeln sich Schwarze Löcher dynamisch?
- ★ Wieviele SMBHs gibt es mit $M > 10^9 M_{\odot}$ und $M < 10^7 M_{\odot}$?



Winkelauflösungs Entdeckungsraum

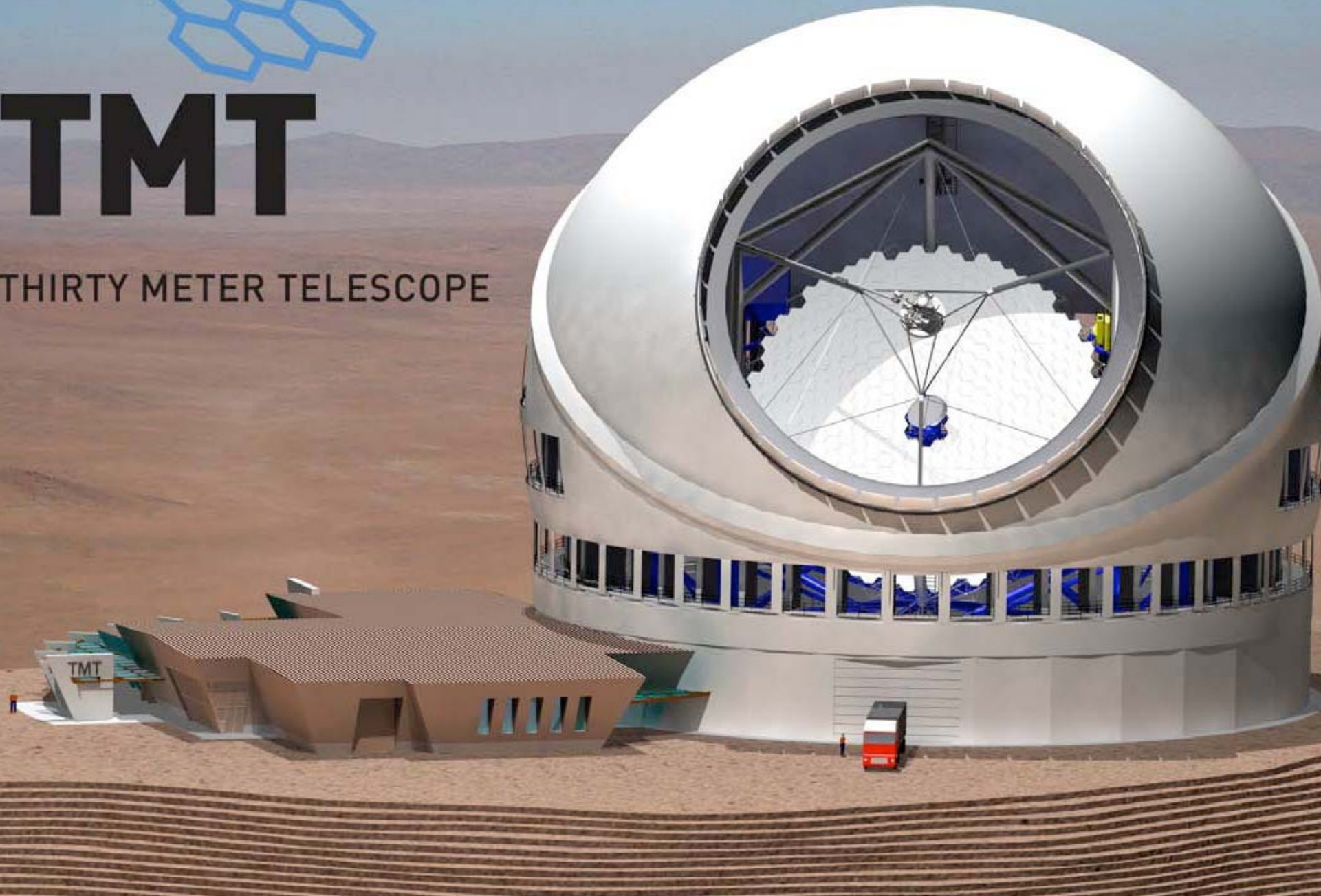




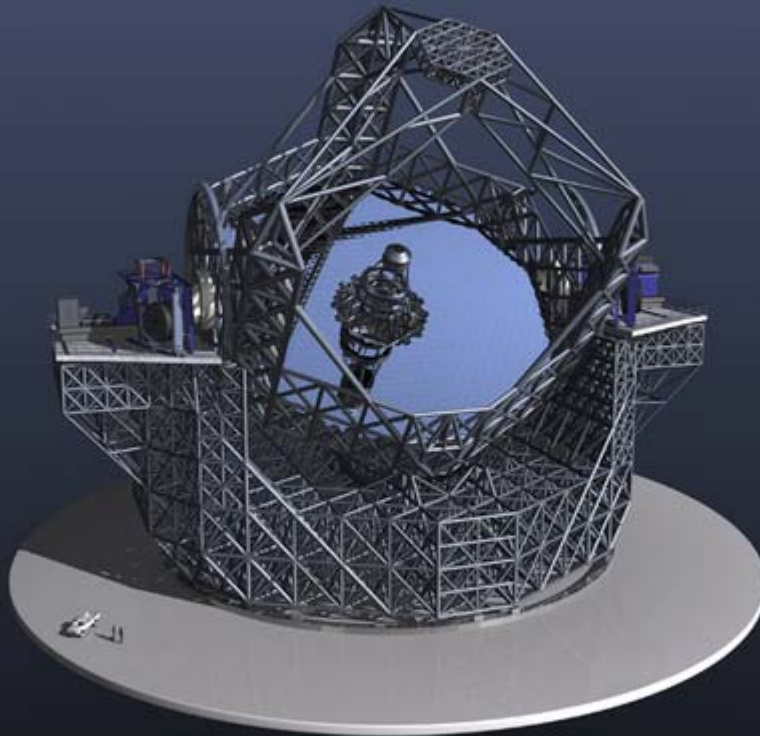


TMT

THIRTY METER TELESCOPE



Konkurrenzprojekt zu



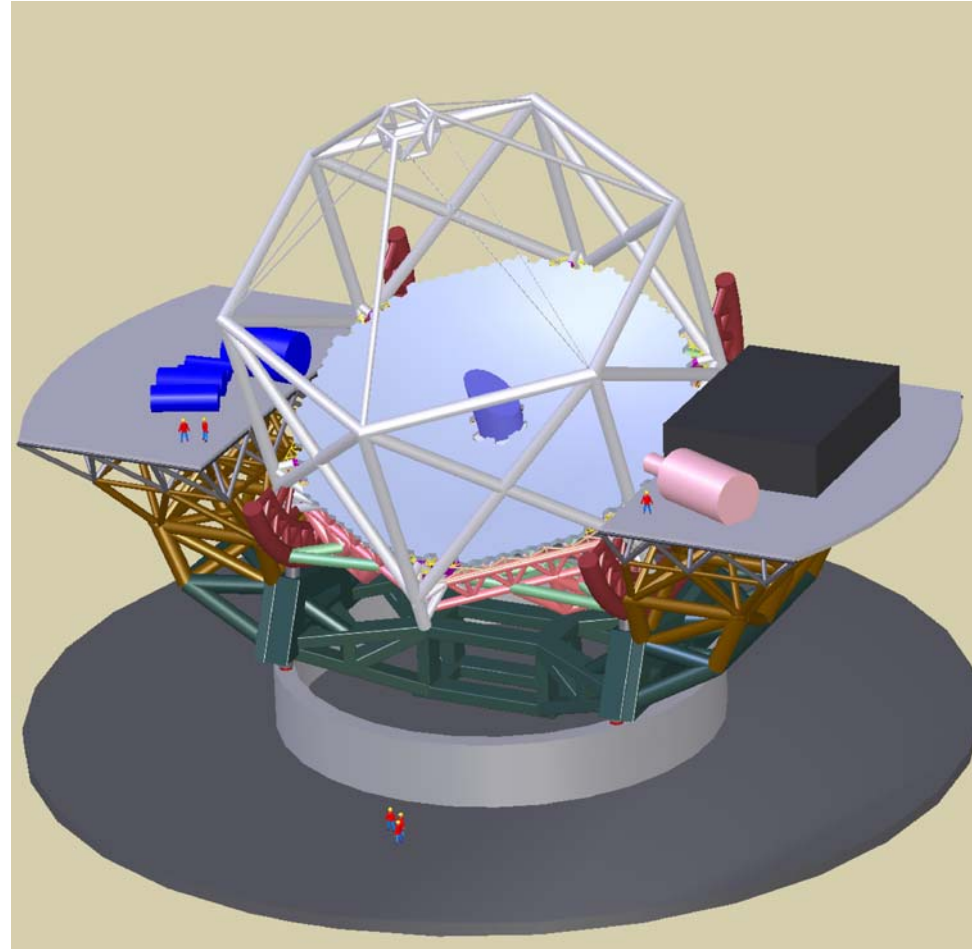
The European Extremely Large Telescope
(Artist's Impression)

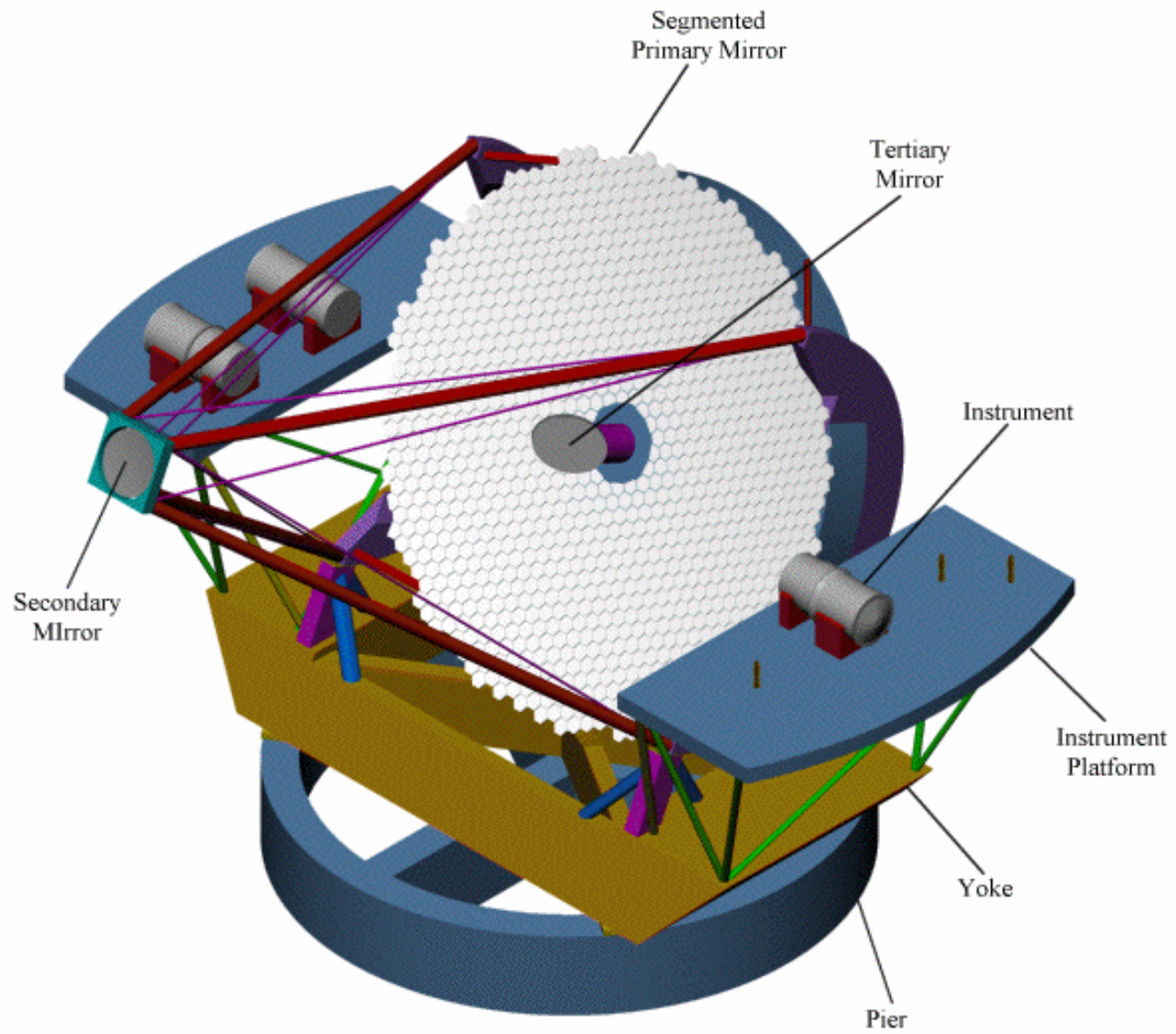
Decadal Survey Vision

- TMT **responds to** the NAS Decadal Survey recommendation that a public-private partnership is the best way to build and operate a US-led 30-m telescope, the 1st priority large ground-based project
- TMT has the goal of a 50-50 public-private partnership
- Current partners are
 - **UC**
 - **Caltech**
 - **ACURA (Canada)**
 - **AURA (NSF) - This brings in all NSF funded astronomers as ultimately eligible to observe at TMT**

Single TMT Reference Design

- ◆ 30m filled aperture, highly segmented
- ◆ Aplanatic Gregorian (AG) two mirror telescope
- ◆ f/1 primary
- ◆ f/15 final focus
- ◆ Field of view 20 arcmin
- ◆ Elevation axis in front of the primary
- ◆ Wavelength coverage 0.31 – 28 μm
- ◆ Operational zenith angle range 1° thru 65°
- ◆ Conventional and adaptive secondary mirrors to be interchangeable
- ◆ AO system requirements and architecture defined
- ◆ First generation instrument requirements defined





Recent Past

Project partnership between ACURA, Caltech and UC formed	June 2003
Moore Foundation awards \$35 million for design work in two awards to Caltech/UC	October and December 2003
Project Office established in Pasadena	April 2004
Science Requirements Document adopted by project	June 2004
Telescope Reference Design established	October 2004
Adaptive Optics and Instrument Reference Design established	November 2004
Call for astronomy community proposals for TMT instruments	February 2005
ACURA awarded \$10 million Canadian for design of TMT	February 2005
Instrument proposals reviewed	March 2006
Conceptual Design Review passed	May 2006
Cost Review passed	September 2006
Construction/Preconstruction Phase Proposal Review	June 2007
Site Testing Review	July 2007

Future

Preliminary Design Review	June 2008
Planned Start of Construction	April 2009
TMT First Light With Full Primary Mirror	October 2016
First science	December 2016

Site Selection Campaign

- ◆ Satellite studies identify a small number of candidate sites
- ◆ Sites in Chile, Mexico and Hawaii under study
 - Mauna Kea
 - San Pedro Martir, Baja Mexico
 - 4 sites in Chile
- ◆ Selection to be made in 2007 – 2008 by an open site competition of “qualified” sites
 - Scientific site quality
 - Programmatic factors (costs, labor, geotechnical, environmental)
- ◆ Currently collecting data on 5 sites in Chile, Mexico, Hawaii

Quimal – 4280m



San Pedro Martir – 2830m



11 8 2005

- ◆ What is the nature of dark matter and dark energy?
- ◆ What were the first luminous objects in the Universe and when did they appear?
- ◆ When and how did the the intergalactic medium become ionized?
- ◆ When and how did the most massive compact objects form?
- ◆ How did the galaxies form and how do they evolve?
- ◆ When and where were the heavy elements produced?
- ◆ How do stars and planetary systems form?
- ◆ What are the physical properties of exoplanets?
- ◆ Does life exist elsewhere in the Universe?

TMT Key Science Areas

- ◆ Cosmology and fundamental physics
- ◆ The early universe and first light
- ◆ Intergalactic medium beyond $z = 7$

- ◆ Galaxy formation and evolution
- ◆ Black holes and active galactic nuclei

- ◆ Stellar populations and star-formation histories in the local Universe
- ◆ Evolution of star clusters and the IMF

- ◆ Physics of star and planet formation
- ◆ Characterization of extrasolar planets
- ◆ Solar System studies

TMT Aperture Advantage

- ◆ For seeing-limited observations and observations of resolved sources

$$\textit{Sensitivity} \propto \eta D^2$$

- ◆ For background-limited observations of unresolved sources in the IR

$$\textit{Sensitivity} \propto \eta S^2 D^4$$

- ◆ For high-contrast observations of unresolved sources

$$\textit{Sensitivity} \propto \eta \frac{S^2}{1-S} D^4$$

- ◆ For ExAO high-contrast observations of unresolved sources

$$\textit{Sensitivity} \propto \eta S^2 D^7$$

$\textit{Sensitivity} = 1 / \text{time required to reach a given s/n ratio}$

$\eta =$ throughput

$S =$ Strehl ratio

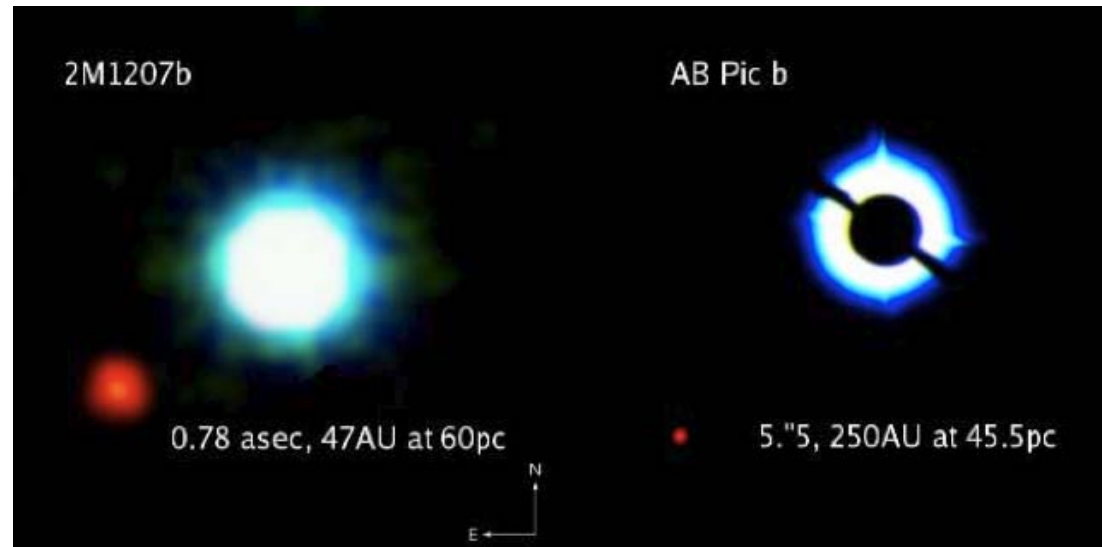
$D =$ aperture diameter

Characterization of Extrasolar Planets - Direct detection

- ◆ *TMT will directly image young planets near low-mass stars using high-order adaptive optics (ExAO)*
 - Arguably the most technically challenging (and rewarding) of all the TMT technologies

4 M_J planet orbiting a brown dwarf

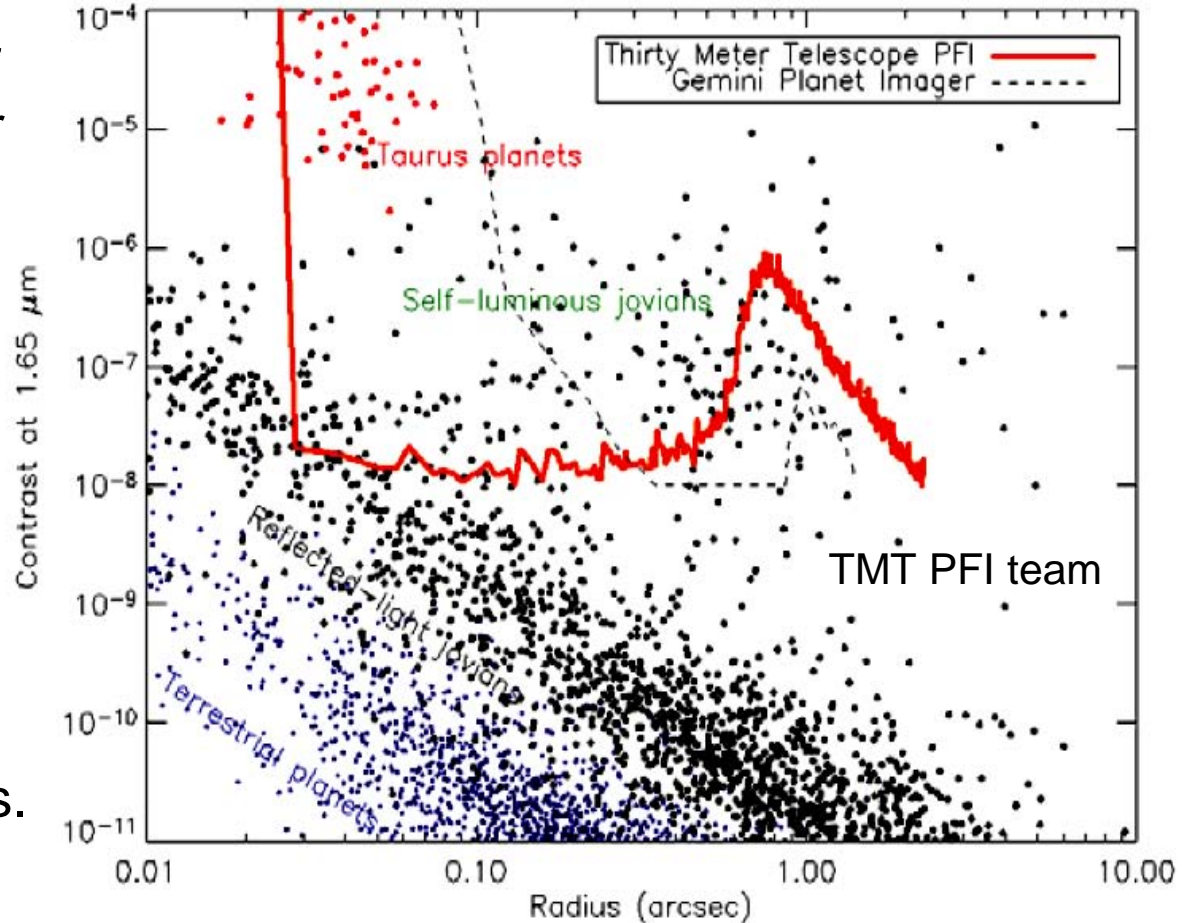
~80 M_J planet orbiting an old K star



Characterizing Extrasolar Planets

- Extreme adaptive optics

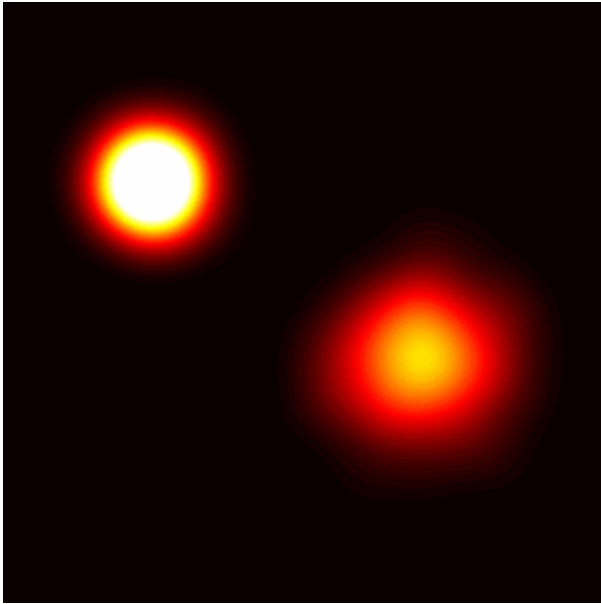
- ◆ *TMT's large aperture will allow detection of planets closer to their host stars:*
 - Detection of planets by reflected light.
 - Probe scales comparable to inner Solar System.
 - Detect planets forming in circumstellar disks.



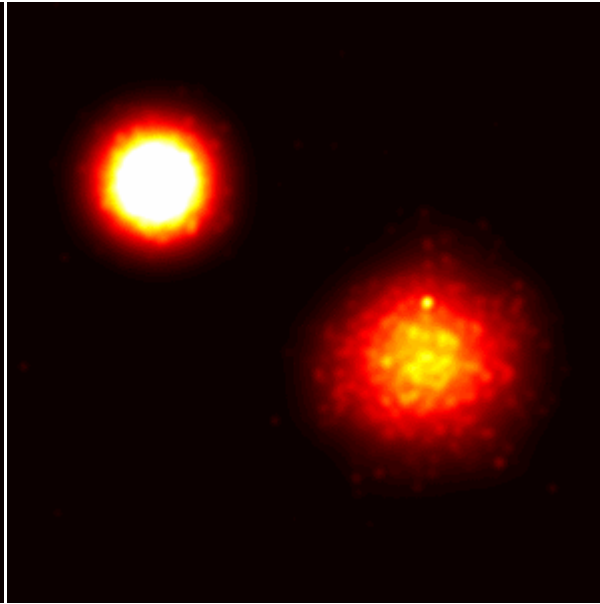
Euro50



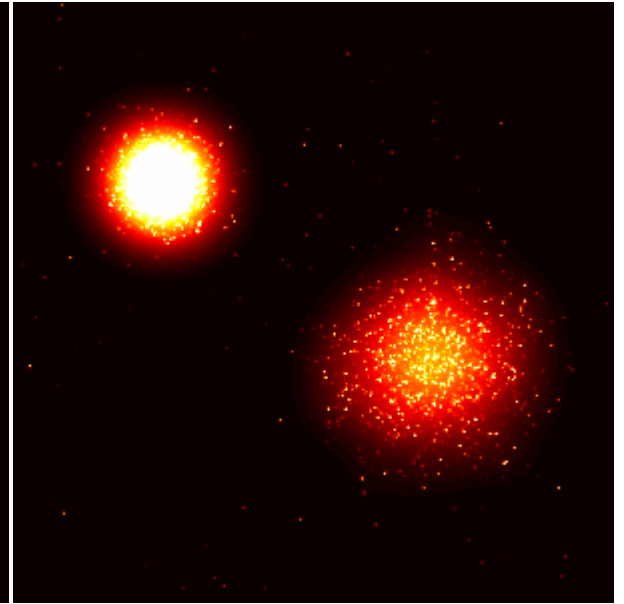
Euro50



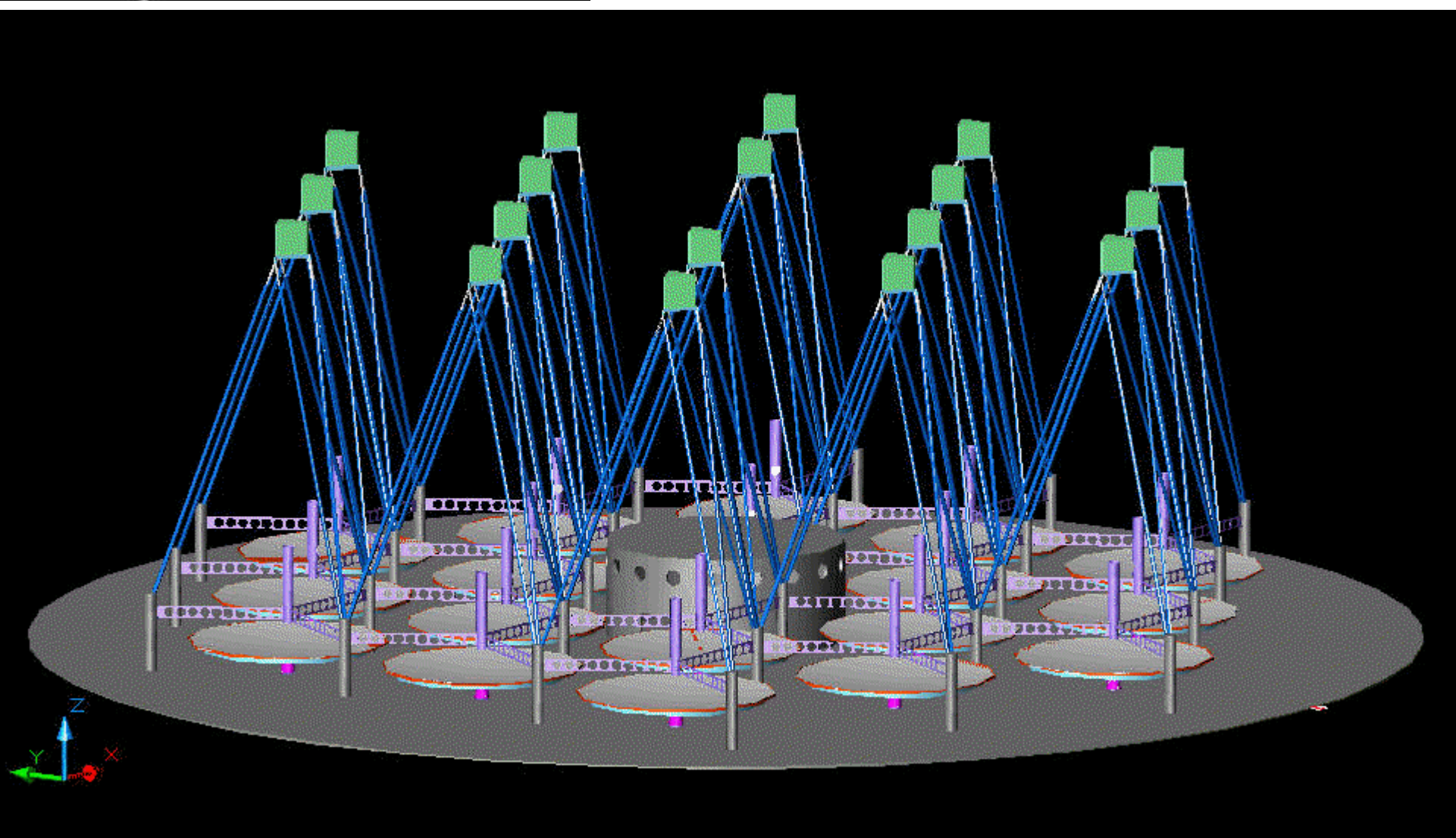
Clusters as imaged by a conventional, seeing limited telescope.



Same clusters viewed by a 10 m telescope with adaptive optics



Clusters as imaged by the Euro50. Actually, the specification is 0.4, so the Euro50 would do an even better job in imaging these clusters



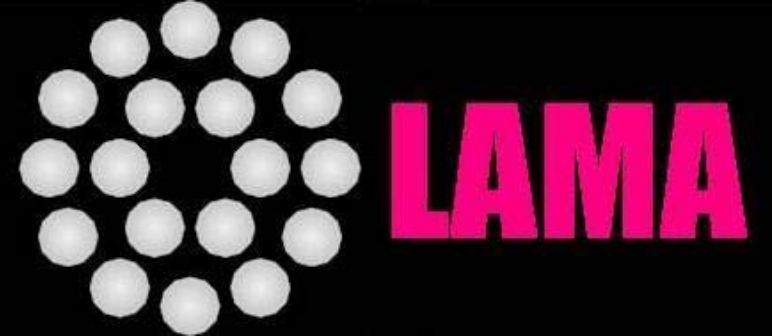


- **Observing Program**

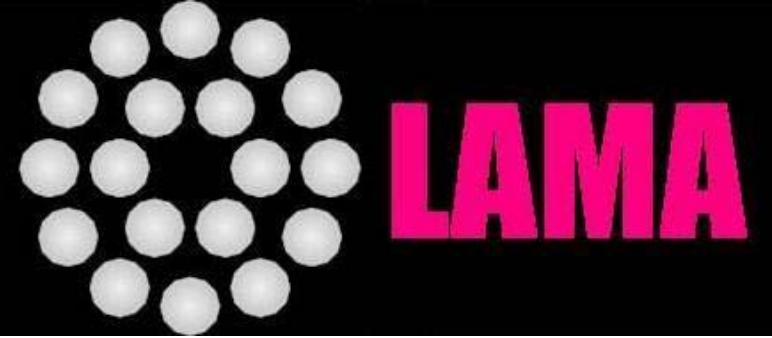
- A main observation program of LAMA will be a high-resolution multicolor imaging survey of selected regions of sky. The array will image a 30" x 30" patch of sky every few minutes. Several survey modes are being considered. These differ in the length of exposure time, area of sky, frequency of observation and science programs.

- **LAMA Deep Survey**

- Over the course of a year, 360 30" x 30" fields could be observed about 150 times each. This would provide a total exposure time of about 40,000 sec. The total area of sky covered by such a survey would be approximately 90 square arcmin. The 2-um detection limits for these fields is estimated to be approximately 480 pJy (pico-Janskys), equivalent to an AB magnitude of 33.2, for galaxies (0.1" source size) and 120 pJy ($K_{AB} = 36.2$) for point sources.



- **Supernova Survey**
- Distant supernova can be used as "standard candles" with which to measure the cosmological parameters. Type II supernova, which result from explosions of massive stars, are also valuable as tracers of the star formation rate. LAMA will be able to detect Type II supernovae to redshifts $z \sim 6$ in just **300 seconds** of exposure time. It should be possible to detect as many as **100 such supernovae** each year.
- **Distant Galaxies**
- LAMA will detect galaxies as faint as **100 pJy**. The number of such galaxies is not presently known, but some idea of the expected counts can be obtained from observations with HST and from model predictions. A rough estimate of the expected number of various kinds of objects, per square arcminute of sky, is given in the table below. Even at a 1 nJy flux limit, the number of high-redshift galaxies is substantial. The number of detectable **galaxies having redshift greater than 10 in the LAMA deep field could be as large as 10,000**.
- **Estimated number of objects per square arcminute**



The following scientific goals have been identified as a priority for the LAMA project:

Study the process of galaxy formation and evolution from redshift $z \sim 20$ to the present

Detect and study the first luminous systems

Determine the star formation history of the Universe

Determine the cosmological parameters and the nature of the dark energy

Resolve the innermost regions of AGN and QSOs

Detect and study the oldest and faintest stars

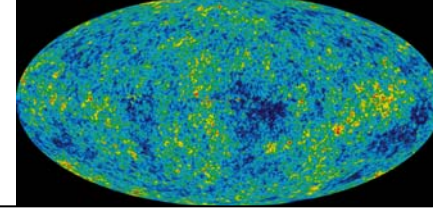
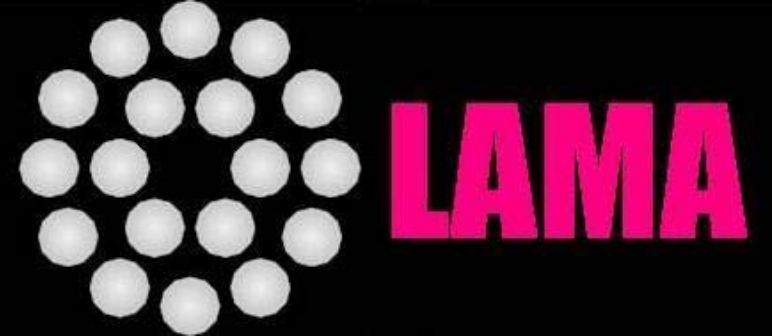


QSO Spectroscopic Survey

Over the course of a year, LAMA would be able to obtain very high quality spectra for about **100 high-redshift quasars**.

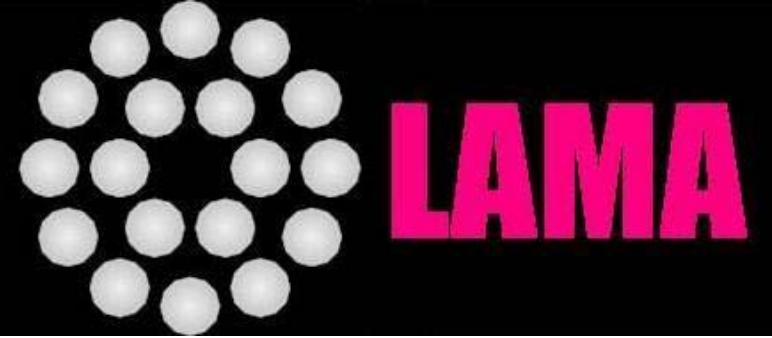
By repeating this program over several years, secular variations in the absorption line systems could be detected. This would allow a **direct measurement of the cosmic deceleration and would ultimately constrain the equation of state of the dark energy**.

Transverse velocities could also be measured for the absorbing systems giving new insights into their nature. Such data would also provide unprecedented accuracy for studies of possible variations in fundamental physical constants.



Extrasolar planets

In coherent mode, it would be possible to adjust the phases of light from the various apertures to cancel light from a star, in order to **directly detect light from a planet in orbit around that star**. This would allow direct spectroscopic studies of reflected light from extrasolar planets which could determine the composition of their atmospheres. In another technique, starlight passing through the atmosphere of a transiting planet would be imprinted with the absorption signature of elements in the atmosphere of the planet. The large aperture and sensitive high-resolution spectrograph would allow this very weak signal to be detected. The discovery of oxygen in the atmosphere of an extrasolar planet would be a strong indicator of the presence of life.



The American Museum of Natural
History

The University of British Columbia
Columbia University

The University of New South Wales

The Rochester Institute of
Technology

The State University of New York at
Stony Brook



Themen & Daten

e-mail: sbritzen@mpifr-bonn.mpg.de

<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/staff/sbritzen/>

Tel.: 0228 525 280

- 11.04.: Aktuelles/Übersicht
- 25.04.: Mikrowellenhintergrund (WMAP)
- **09.05.: Reionisation (& LOFAR)**
- 23.05.: Schwarze Löcher - NEUES
- 06.06.: MOND – Dunkle Materie Alternative
- 20.06.: Neue Groß-Teleskope
- 04.07.: GLAST, Planck, Herschel