

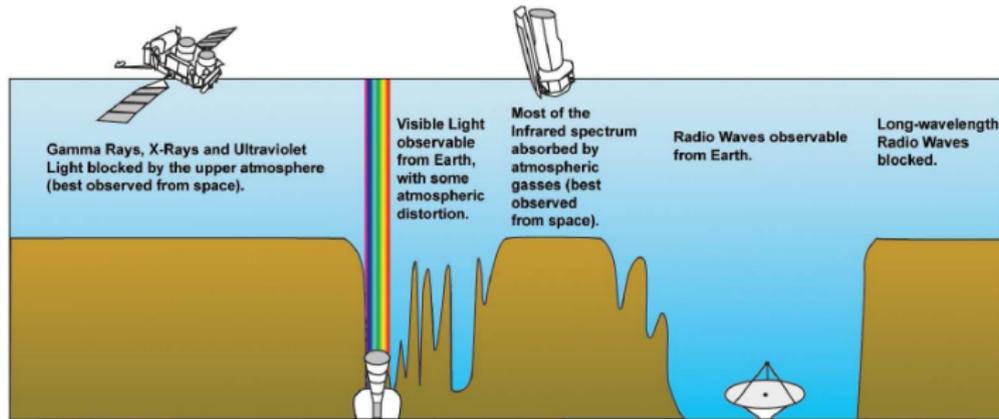
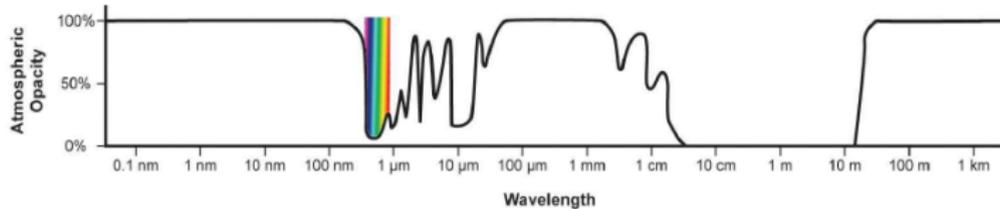
Röntgen- und Gammasatelliten

Seminar zur Teilchen- und Astrophysik

Susanne Raab

10. Juni 2010

Motivation



Durchlässigkeit der Atmosphäre [Wil08]

Gliederung

- 1 Allgemeines zu Satelliten
 - Planung und Bau eines Satelliten
 - Start des Satelliten
 - Satellit im All

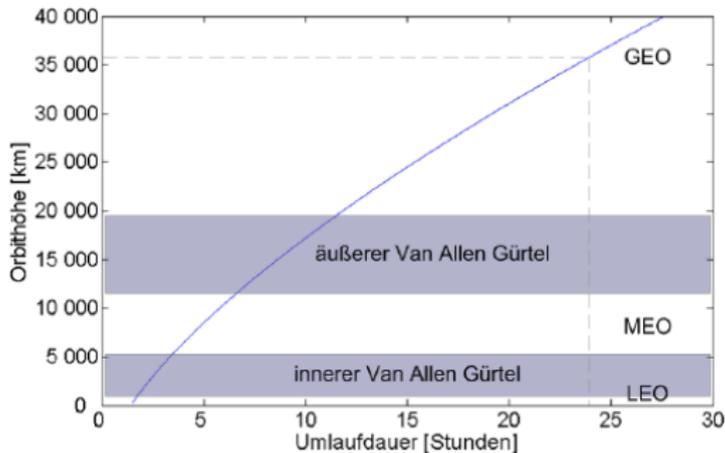
- 2 Beobachtungsinstrumente
 - Röntgenteleskop
 - Coded Mask
 - Detektoren

- 3 Beispiele für Röntgen- und Gammasatelliten
 - Röntgensatelliten
 - Gammasatelliten
 - Geplante Projekte

Gliederung

- 1 Allgemeines zu Satelliten
 - Planung und Bau eines Satelliten
 - Start des Satelliten
 - Satellit im All
- 2 Beobachtungsinstrumente
 - Röntgenteleskop
 - Coded Mask
 - Detektoren
- 3 Beispiele für Röntgen- und Gammasatelliten
 - Röntgensatelliten
 - Gammasatelliten
 - Geplante Projekte

Besondere Anforderungen an einen Satelliten I

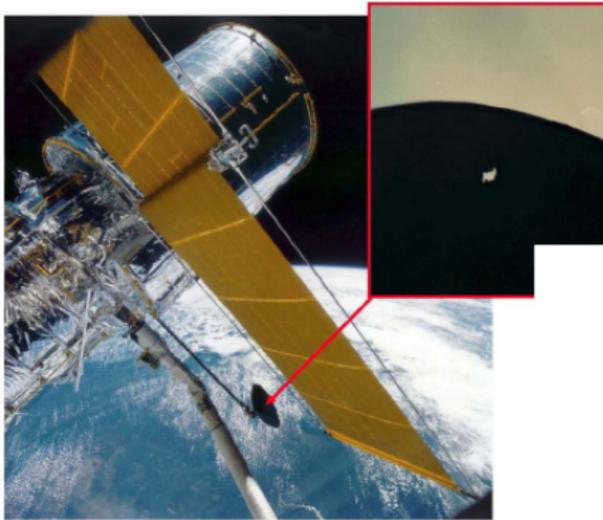


Van-Allen-Gürtel [Ger10]

Extreme Bedingungen

- Startbelastungen
- keine Reparaturen möglich
- Starke Temperaturschwankungen
- Kosmische Strahlung
- Limitierte Energieversorgung
- Meteoriten und Weltraumschrott

Besondere Anforderungen an einen Satelliten II



1,7 cm x 1,9 cm Loch in der Parabolantenne des HST [NASA]

Extreme Bedingungen

- Startbelastungen
- keine Reparaturen möglich
- Starke Temperaturschwankungen
- Kosmische Strahlung
- Limitierte Energieversorgung
- Meteoriten und Weltraumschrott

Satellitenbau I



Bilder vom Bau [Integral]

Satellitenbau II

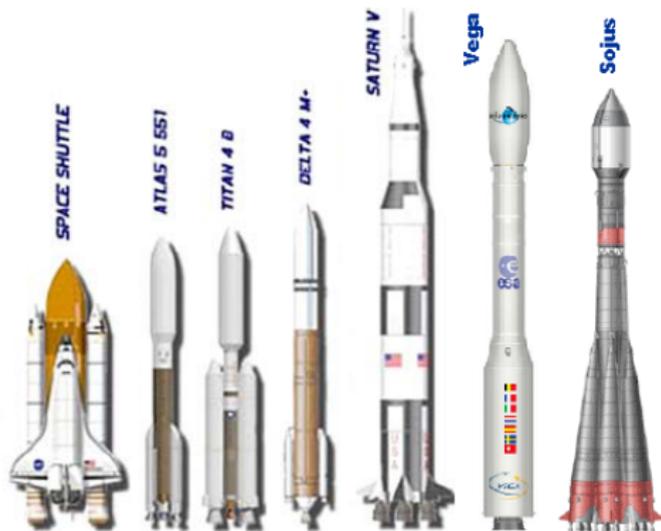
Zusammenbau von [XMM]

Satellitentests



Space Simulation Test & Vibration Test [IABG]

Trägerraketen



verschiedene Raketen (nicht
maßstabsgetreu) [Ger10]

wichtige Trägerraketen

Europa:	Ariane Vega (Bau)
USA:	Atlas Delta Titan
Russland:	Proton Sojus Cosmos
China:	Long March
Japan:	Mu-Serie

Startplätze



Start der Pegasus-Rakete
[NuSTAR]

Rotationsgeschwindigkeit der Erde

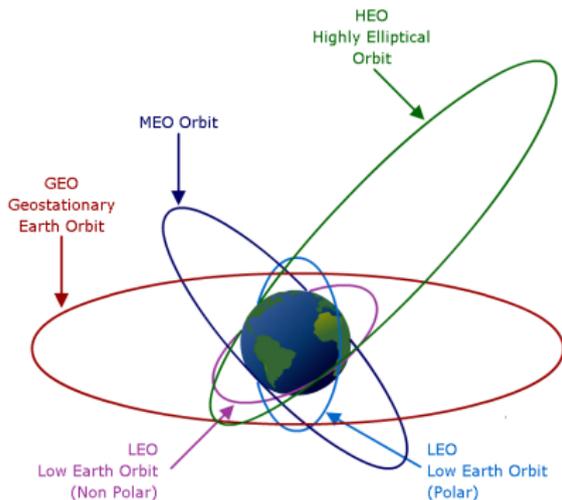
Startplatz	Breite	Rotation
Äquator	0°	465 m/s
Kourou	5,23°	463 m/s
Cape Canaveral	28,5°	409 m/s
Baikonur	45,6°	325 m/s

⇒ Höhere Anfangsgeschwindigkeit bringt bei Start in Kourou (Französisch-Guyana) ca. 14% Energieeinsparung gegenüber Cape Canaveral (Florida)

Satellitenstart

Start von [XMM]-Newton 10. Dez. 1999 mit Ariane 5G von Kourou

Umlaufbahn I



Umlaufbahnen [Ger10]

Einteilung nach Inklination:

$i = 0^\circ$: äquatorial

$i = 40^\circ - 80^\circ$: inkliniert

$i \approx 90^\circ$: polar

Einteilung nach Höhe:

LEO/PEO: 200 - 1500 km

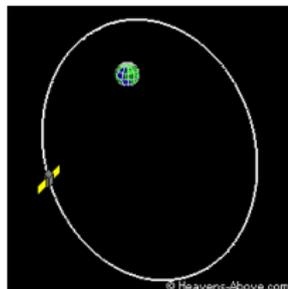
MEO: 5000 - 12000 km

GEO: 35786 km

HEO (Peri.): 200 - 15000 km

(Apo.): 40000 - 400000 km

Umlaufbahn II



Vorteile

- meistens über dem Van-Allen-Gürtel
- für Beobachter nahezu stationäre Position

Nachteile

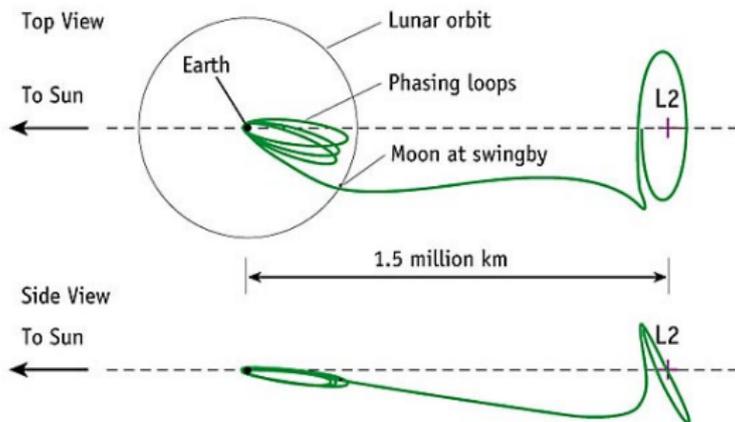
- z.T. lange Signallaufzeit
- zweimalige Passage des Van-Allen-Gürtels



HEO-Bahn von
XMM-Newton

Positionierung

Die meisten Satelliten werden vom Trägersystem nicht bis auf ihre endgültige Bahn gebracht, sondern zunächst in einen Transferorbit.



Endpositionierung:

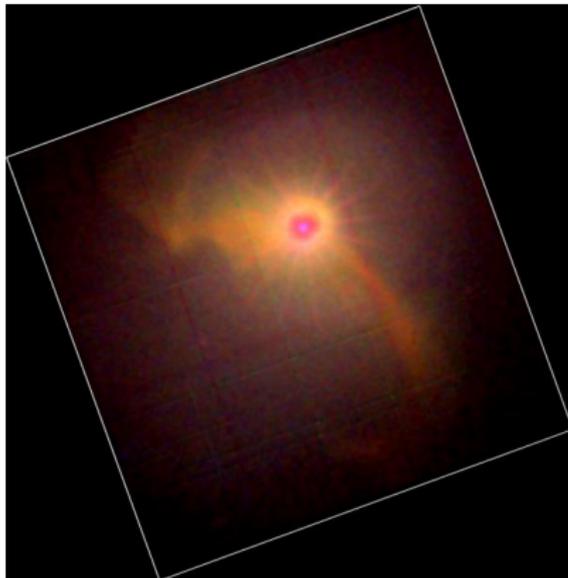
- mittels starken Apogäumsmotors
- mehrfache Änderung der Bahn

Transfer zum Lagrange-Punkt [NASA]

Gliederung

- 1 Allgemeines zu Satelliten
 - Planung und Bau eines Satelliten
 - Start des Satelliten
 - Satellit im All
- 2 Beobachtungsinstrumente
 - Röntgenteleskop
 - Coded Mask
 - Detektoren
- 3 Beispiele für Röntgen- und Gammasatelliten
 - Röntgensatelliten
 - Gammasatelliten
 - Geplante Projekte

Motivation



Röntgenaufnahmen von M87 (links [XMM]; rechts [Chandra])

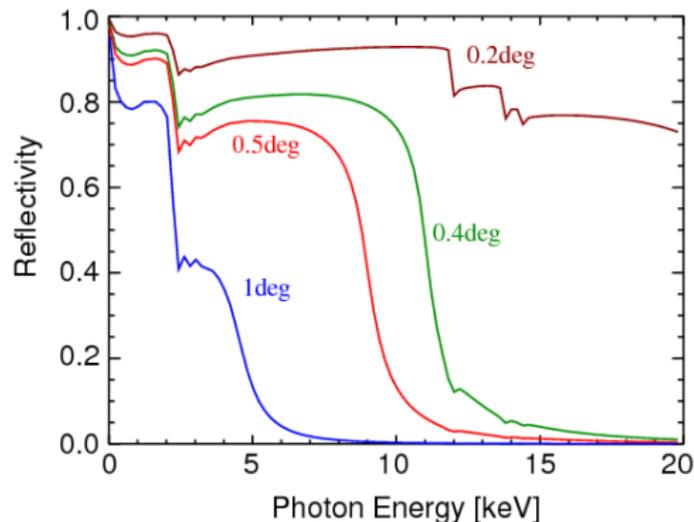
Fokussierung von Röntgenstrahlen

Reflexion

$$\cos \theta_c = n ; \quad n = \sqrt{\epsilon \mu}$$

$$\theta_c = 5,6' \sqrt{\frac{\rho}{1 \text{ gcm}^{-3}}} \frac{\lambda}{1 \text{ nm}}$$

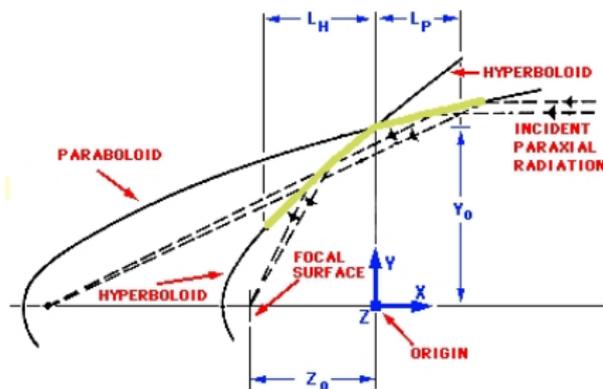
Bei einer typischen Wellenlänge von $\lambda \approx 1 \text{ nm}$ beträgt der kritische Winkel nur $\theta_c \approx 1^\circ$



Reflektivität bei Gold [Wil08]

Wolter-Teleskop I

Kombination aus Hyper- und Parabolspiegel



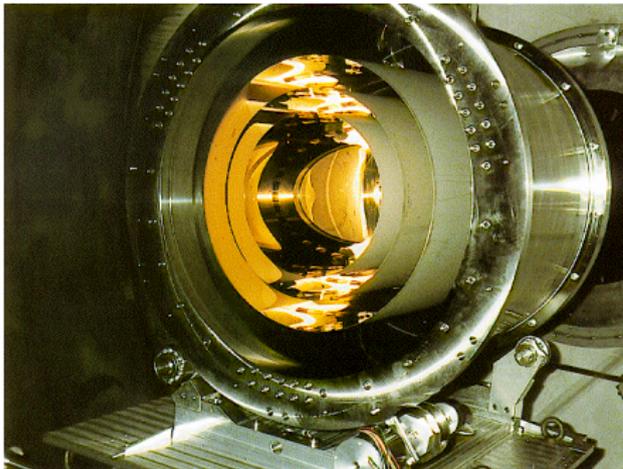
Schema eines Wolterteleskops
[XMM]

Daten von XMM-Newton

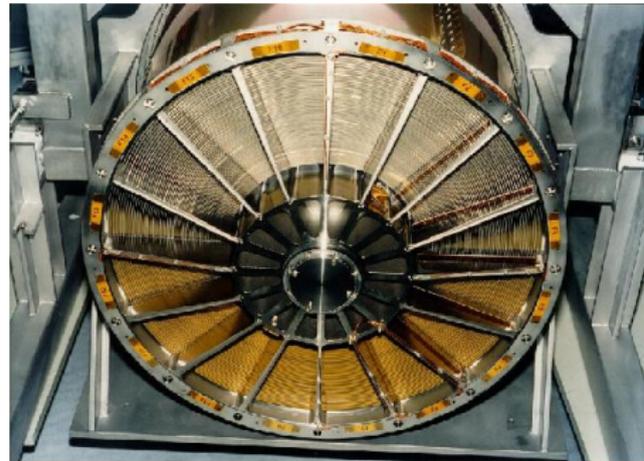
Fokuslänge:	7500 mm
# Spiegel:	58
Radius:	153 - 350 mm
Länge:	600 mm
Dicke:	0.47 - 1.07 mm
min. Abstand:	1 mm
Trägermaterial:	Nickel
Beschichtung:	Gold

Wolter-Teleskop II

Durch Ineinanderschachtelung vieler Spiegelschalen kann die Sammelfläche erhöht werden

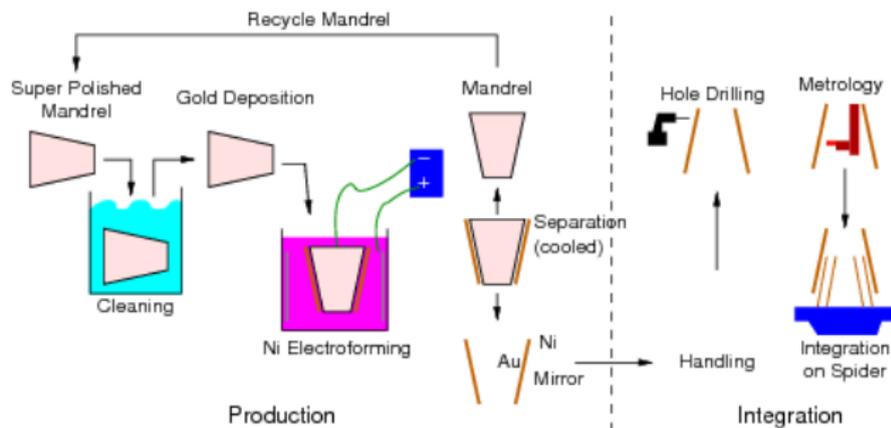


Demonstrationsmodell [MPE]



Spiegelmodul [MPE]

Wolter-Teleskop III



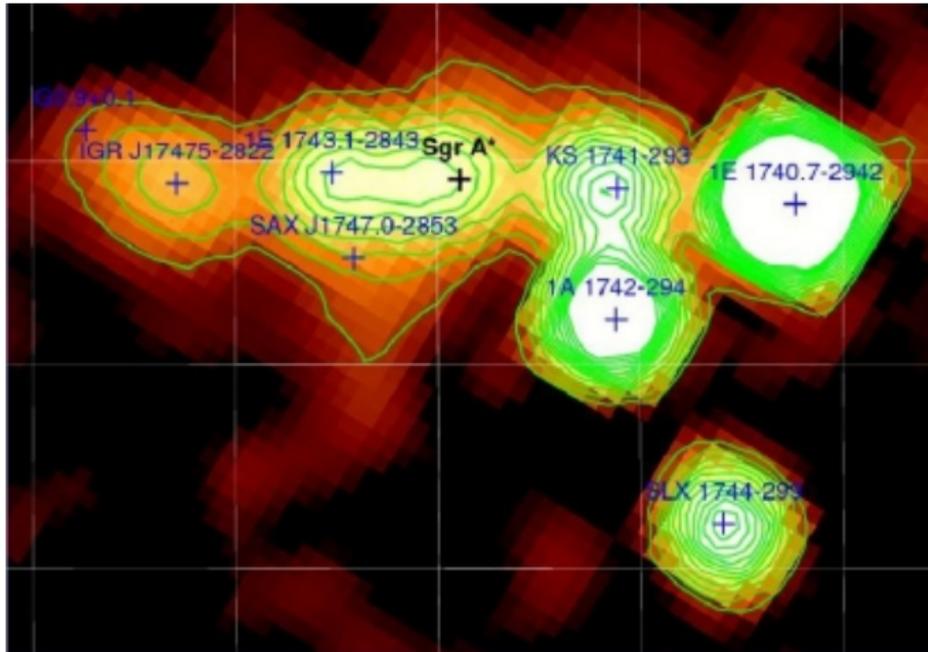
Fertigung der Spiegel [Wil08]

1. Negativform aus Al ($\pm 0,4$ nm)
2. Beschichten mit Au (250 nm)
3. Beschichten mit Ni (1 mm)
4. Abkühlen löst Au von Form

Wolter-Teleskop IV

Spiegelfertigung (Beispiel [XMM])

Motivation

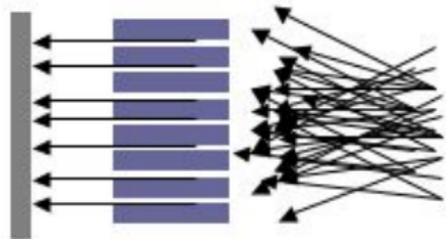


IBIS-Aufnahme des galaktischen Zentrums [Integral]

Coded Mask I

Problem

Bei Energien über ≈ 10 keV
Spiegelsysteme noch nicht im
All

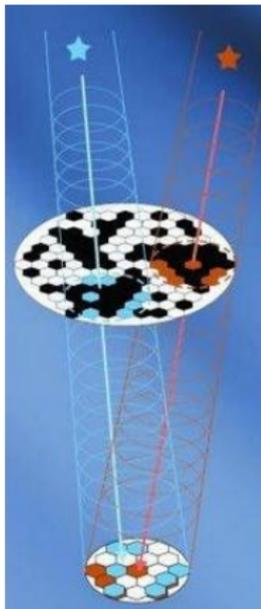


Kollimator ($\text{Bildfeld} \propto d/h$)



Prinzip der Coded Mask [Integral]

Coded Mask II



Coded Mask [Integral]

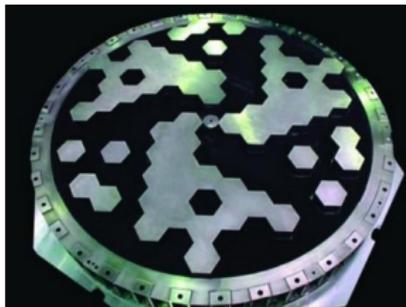
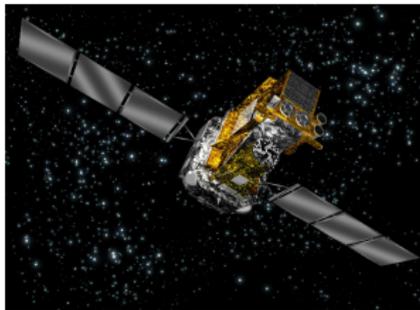
Rekonstruktionsmethoden

Inversion	Cross correlation
Photon tagging	Wiener filtering
Iterative Methoden	

Bsp: IROS (iterative removal of sources)

- 1 Kreuzkorrelation
- 2 stärkste Punktquelle finden und abziehen
- 3 ↻ oder Punktquellen in das letzte Bild wieder einfügen

Coded Mask III (Beispiel SPI)



Coded Mask von [Integral]

Coded Mask

1,7 m über Detektor
aus 3 cm dickem Wolfram
127 hexagonale Elemente
64 davon durchlässig

Detektor

Energie: 0,02 - 8 MeV
19 hexagonale Ge-Detektoren
16° Gesichtsfeld
2° Winkelauflösung
500 cm² Sammelfläche

Detektor von SPI



Ge-Detektoren von [Integral]

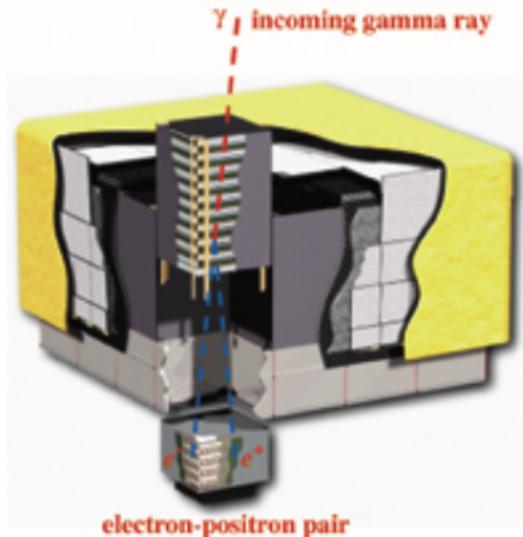
Coded Mask

1,7 m über Detektor
aus 3 cm dickem Wolfram
127 hexagonale Elemente
64 davon durchlässig

Detektor

Energie: 0,02 - 8 MeV
19 hexagonale Ge-Detektoren
16° Gesichtsfeld
2° Winkelauflösung
500 cm² Sammelfläche

LAT (Large Area Telescope)



LAT auf [Fermi]

Paar-Erzeugungs-Teleskop

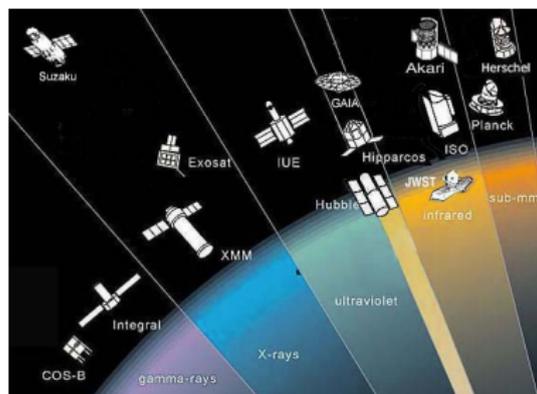
- 1 γ -Strahlung passiert den ACD (99,97 % der kosmischen Strahlung gefiltert)
- 2 Paarbildung in einer von 16 Wolframschichten
- 3 \rightarrow Kaskade
- 4 Registrieren der Wege, sowie der Energien von e^+ / e^-
- 5 Rekonstruktion der Photon-Energie

Gliederung

- ① Allgemeines zu Satelliten
 - Planung und Bau eines Satelliten
 - Start des Satelliten
 - Satellit im All

- ② Beobachtungsinstrumente
 - Röntgenteleskop
 - Coded Mask
 - Detektoren

- ③ Beispiele für Röntgen- und Gammasatelliten
 - Röntgensatelliten
 - Gammasatelliten
 - Geplante Projekte

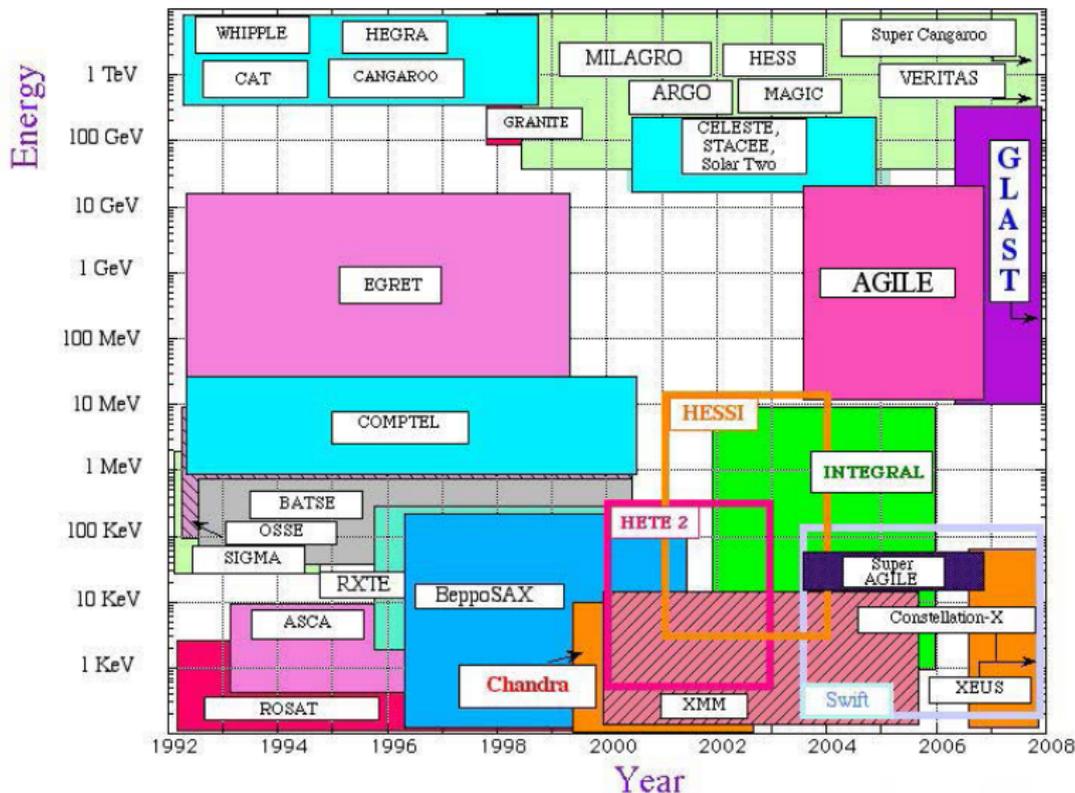


Gammasatelliten

- COS-B
- Fermi (=GLAST)
- GRO (EGRET)
- Integral
- Swift

Röntgensatelliten

- ASCA
- Beppo-SAX
- Chandra
- Einstein
- Exosat
- IXO
- RXTE
- ROSAT
- Suzaku
- XMM Newton



Verschiedene Satelliten und Teleskope [Gio04]

XMM-Newton I

Ansicht von [XMM]

XMM-Newton II



künstl. Darstellung von [XMM]

Start: 10.12.1999 mit Ariane 5G

Instrumente

- 3x EPIC (Photon Imaging Cameras)
- 2x RGS (Reflection Grating Spectrometers)
- Optical Monitor

Chandra

Start: 23.7.1999 mit Space Shuttle

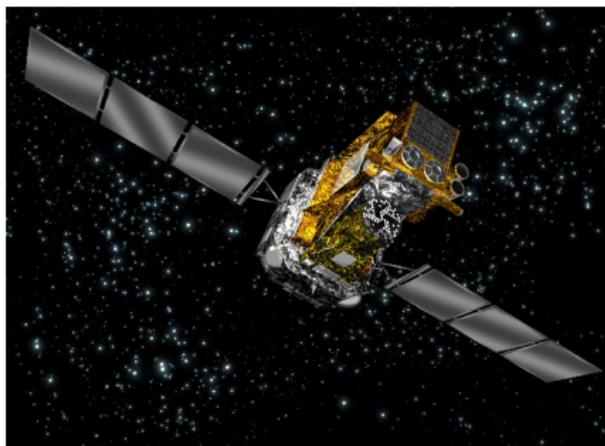
Instrumente

- LETGS (Low Energy Transmission Grating Spectrometer)
- HETGS (High Energy Transmission Grating Spectrometer)
- ACIS (Advanced CCD Imaging Spectrometer)
- HRC (High Resolution Camera)



künstl. Darstellung von
[Chandra]

Integral



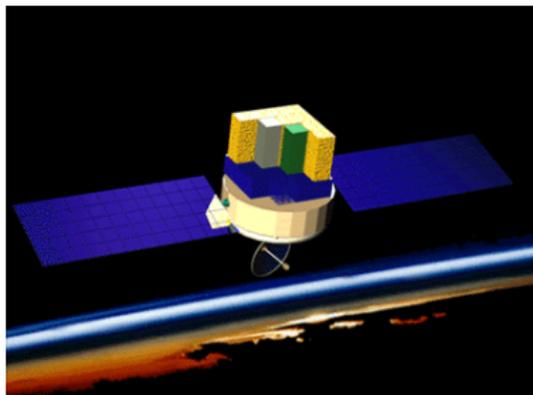
Darstellung von [Integral]

Start: 17.10.2002 mit Proton K

Instrumente

- IBIS (bildgebender Sensor)
- SPI (Spektrometer)
- JEM-X
(Röntgenstrahlenmonitor)
- OMC (optische Kamera)

Fermi



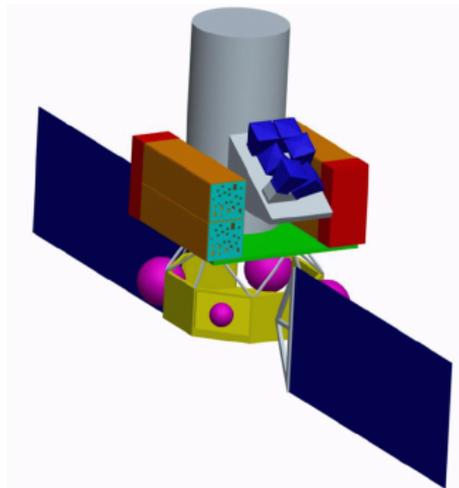
Darstellung von [Fermi]

Start: 11.6.2008 mit Delta II
Umbenennung: 26.8.2008 in „Fermi“
Energie: 10 MeV - 100 GeV

Instrumente

- LAT (Large Area Telescope)
- GBM (GLAST Burst Monitor)

eROSITA



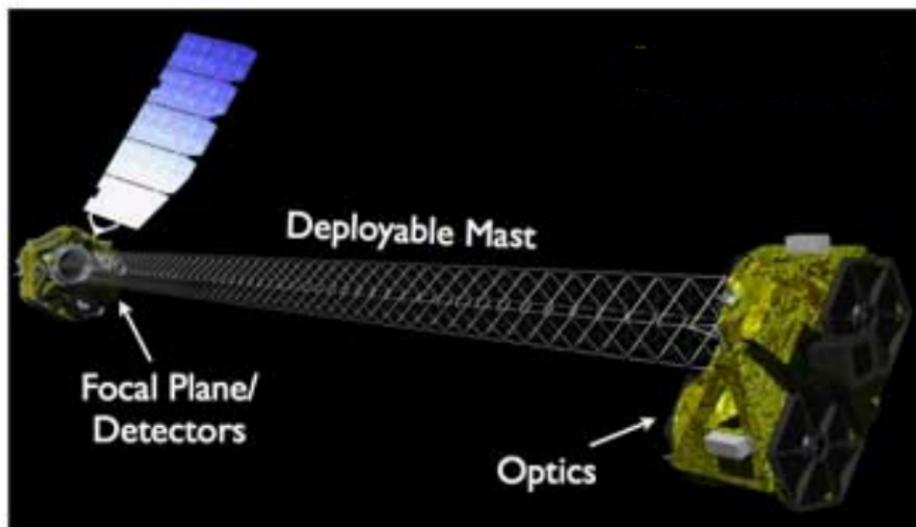
Skizze zu eROSITA [MPE]

- Start: 2012/13? mit Soyuz 2
- wahrscheinlich mit ART (Hochenergie-Röntgenteleskop) auf dem russischen Satelliten „Spectrum-X-Gamma“
- Durchmusterung bis 10 keV
- 7 Wolter Spiegelmodulen
- je 54 Spiegelschalen
- Pixel-CCD

NuSTAR

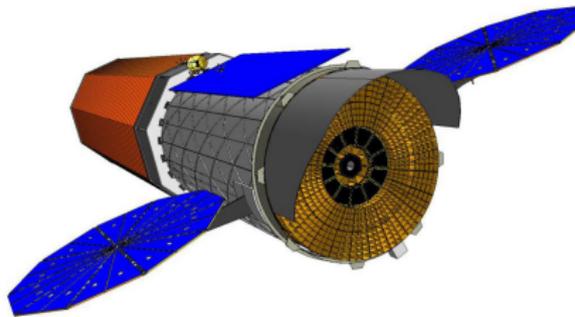
Energiebereich: 5 - 80 keV

Start: August 2011 mit Pegasus



Skizze zu [NuSTAR]

International X-ray Observatory (IXO)



Skizze zu [IXO]

- Studie zur Nachfolge von XMM-Newton und Chandra
- Gemeinschaftsprojekt von ESA, NASA und JAXA
- Start: 2021?
- ein einziger Spiegel, mit 3 m² Sammelfläche und 5" Winkelauflösung
- Instrumente wie „wide field imaging detector“, „grating spectrometer“ und „polarimeter“

References I



Chandra



Fermi



IABG (Satellitenbau)



Integral



International X-ray Observatory



Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik



NuSTAR



XMM-Newton, Bastelbogen zu XMM-Newton



Links zu weiteren Bastelbögen

References II

-  *Charles, P. A. & Seward, F. D., 1995*
Exploring the X-ray universe
-  *Gerhäuser, H., 2010*
Vorlesung “Satellitenkommunikation”
-  *Giovannelli, F. & Sabau-Graziati, L., 2004*
The impact of space experiments on our knowledge of the physics of the universe
-  *Predehl, P., 2010*
Vortrag “eRosita - auf der Jagd nach der Dunklen Energie”
-  *Wilms, J. & Kadler, M., 2008-10*
Vorlesungen “Aktive Galaxien”, “Galaxien und Kosmologie”,
“Multiwellenlängenastronomie”, “Röntgenastronomie II”