

## 3. Die Missionen

### 3.1 ABRIXAS

Die drei Institute AIP, MPE und IAAT arbeiten bei der Entwicklung des Kleinsatelliten **ABRIXAS** zusammen. Ziel der ABRIXAS-Mission ist die erste vollständige Himmels-

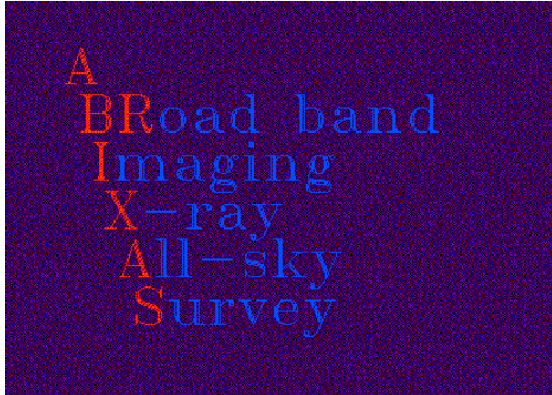


Abbildung 3-1: ABRIXAS-Logo

durchmusterung mit einem abbildenden Röntgenteleskop im harten Röntgenbereich von 0,5 – 10 keV. Die wissenschaftliche Nutzlast besteht aus sieben Teleskopen mit jeweils 27 ineinander geschachtelten Wolter-I-Spiegelmodulen. Die sieben Spiegelsysteme teilen sich in der Fokalebene ein  $60 \times 60 \text{ mm}^2$  großes pn-CCD (siehe 4.3), das vom MPE entwickelt wurde.

Die Brennweite des Teleskops liegt bei 1600 mm, jeder Spiegel hat einen Außendurchmesser von 160 mm. Das Gesichtsfeld eines Spiegelsystems liegt bei 40 Bogenminuten, die Sichtlinien der sieben Systeme liegen jeweils  $7^\circ$  auseinander. ABRIXAS wird vom DLR (Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt) finanziert. Aufgrund der Nutzung des Detektorsystems von XMM (vgl. 3.2) und seiner mit 3 m Länge und 450 kg Masse sehr kleinen Dimensionen kann ABRIXAS in einem finanziellen Rahmen von nur einigen  $10^7$  DM realisiert werden. Geplant ist ein kreisförmiger Orbit unterhalb der van-Allen-Gürtel mit einer Höhe von 580 km und einer Inklination von  $53^\circ$ , auf den ABRIXAS von einer russischen Kosmos-Rakete voraussichtlich im Frühjahr 1999 von Kapustin-Yar, Rußland aus gebracht werden soll.

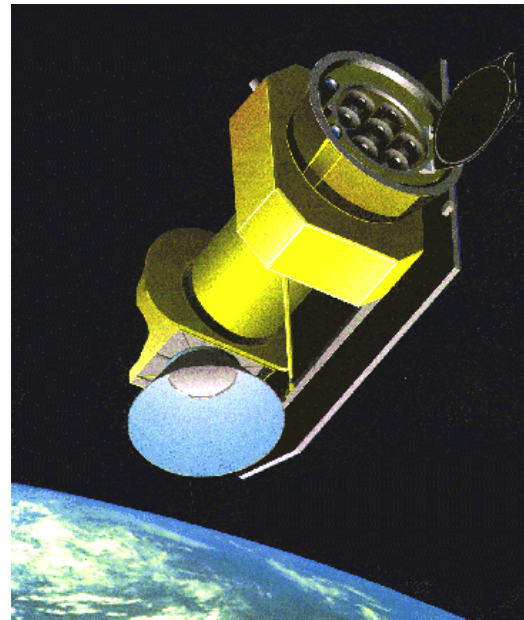


Abbildung 3-2: Zeichnung von ABRIXAS

## 3.2 XMM

Im Rahmen des „Horizont 2000“-Programms startet die ESA vier sogenannte Cornerstone-Missionen. Einen dieser sogenannten „Eckpfeiler“ bildet der Satellit XMM (X-Ray Multi Mirror Mission). Im Gegensatz zu ABRIXAS ist XMM für pointierte Beobachtungen von schwachen bis mittelstarken Röntgenquellen im Energiebereich von 100 eV - 15 keV ausgelegt. Alle wissenschaftlichen Instrumente auf XMM wurden von multinationalen Teams mit Wissenschaftlern aus Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, den Niederlanden und den USA entwickelt. Für den 3,8 t schweren und ca. 10 m hohen Satelliten, der im August 1999 mit einer Ariane-5-Rakete vom Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guayana gestartet werden soll, ist ein hoch-exzentrischer Orbit mit einem Perigäum von 700 km und einem Apogäum von 114.000 km bei einer Inklination von  $40^\circ$  vorgesehen. So wird sich XMM bei seinen 48-stündigen Erdumrundungen lange Zeit außerhalb der van-Allen-Gürtel aufhalten, was ununterbrochene Beobachtungen und die Untersuchung von Zeitvariabilität erlaubt.



Abbildung 3-3: Zeichnung von XMM

Auf XMM werden drei Wolterteleskope mit jeweils 58 ineinander geschachtelten Spiegelschalen zum Einsatz kommen. Jedes Teleskop hat eine Brennweite von 7,5 m und ein Gesichtsfeld von 30 Bogenminuten, das entspricht ungefähr dem Winkeldurchmesser der Sonne oder des Mondes am Himmel. Die Punktbildfunktion (Point Spread Function) der Teleskope ergibt eine Winkelauflösung mit einer Half Energy Width (HEW) von etwa 16 Bogensekunden und einer Full Width Half Maximum (FWHM) von ca. 7 Bogensekunden. Die Teleskope zeichnen sich ebenfalls durch ihre sehr große Sammelfläche aus. Für Photonen mit einer Energie von 8 keV beträgt sie  $1740 \text{ cm}^2$ , für Photonen mit 1,5 keV sogar  $4425 \text{ cm}^2$ .

In Abbildung 3.3 sind deutlich am linken Ende des Satelliten die Eintrittsöffnungen der drei Wolterteleskope zu sehen sowie die Verschußdeckel, die die Teleskope beim Start schützen. Diese Verschußdeckel werden erst geöffnet, wenn sich der Satellit auf seinem Orbit befindet.

Die minimale Lebensdauer von XMM wird auf zwei Jahre angesetzt; man hofft jedoch, den Satelliten für rund 10 Jahre nutzen zu können.

## 3.3 Wissenschaftliche Zielsetzung <sup>6</sup>

XMM und ABRIXAS sollen neue Quellen im Röntgenbereich entdecken und untersuchen. Dabei wird ABRIXAS mit seinem All-Sky-Survey eher katalogisierende Funktion haben und XMM für pointierte Beobachtung von Einzelobjekten eingesetzt werden.

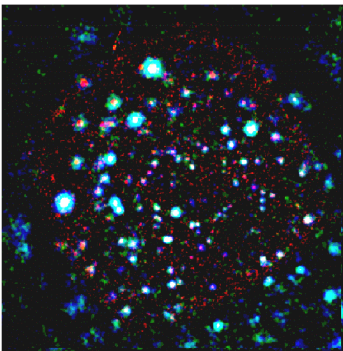
XMM, Nachfolger des ersten Europäischen Röntgensatelliten EXOSAT, wird als extrem leistungsfähiges Observatorium einen großen Schritt nach vorne in der Hochenergie-Astrophysik ermöglichen

So wird XMM z. B. in der Lage sein, akkretierende Doppelsternsysteme in nahen Galaxien oder selbst außerhalb der lokalen Gruppe mit abbildenden, spektroskopischen und photometrischen Techniken zu untersuchen und innerhalb von kurzen Beobachtungen viele Informationen über die grundlegenden dynamischen und physikalischen Charakteristika dieser Systeme zu sammeln. Darüber hinaus wird er es möglich machen, tief ins Universum zu blicken und Objekte zu untersuchen, die entstanden sind, als das Universum noch sehr jung war.

Es folgt nun ein kurzer Überblick der wichtigsten zu beobachtenden Objektklassen.

### 3.3.1 Kosmische Röntgenhintergrundstrahlung

Im Röntgenfenster beobachtet man seit langem eine diffuse Hintergrundstrahlung. Ob diese Strahlung nun von diskreten Quellen verursacht wird oder ob sie wirklich diffus entsteht, ist



**Abbildung 3-4:**

**Deep Field Pointing (ROSAT)**

der Kernpunkt einer jahrelangen Diskussion. Man geht heute davon aus, daß die Röntgenhintergrundstrahlung durch eine Überlagerung von vielen schwachen Röntgenquellen entsteht. Um diese Theorie zu festigen, ist es wichtig, extrem empfindliche Beobachtungen von Bereichen des Himmels mit wenigen Röntgenquellen vorzunehmen. Man spricht hier von „Empty Field Pointings“ oder „Deep Field Pointings“. XMM kann auf diesem Gebiet die ROSAT-Beobachtungen wesentlich verbessern, da er bis zu einem minimalen Strahlungsfluß von  $10^{-16}$  erg/(scm<sup>2</sup>) Quellen detektieren kann – um einen Faktor 10 besser als ROSAT. Zweitens ist er in der Lage, bei viel höheren Energien zu beobachten als ROSAT und kann folglich Beobachtungslücken schließen.

### 3.3.2 Elliptische Galaxien und Cluster

Die Verteilung von gravitativ erhitztem heißen Gas in Elliptischen Galaxien und Clustern (unter der Annahme, daß sich das Gas im Hydrostatischen Gleichgewicht befindet) spiegelt die Massenverteilung und somit die Gestalt des Gravitationspotentials dieser Systeme wider. Die Gastemperatur ist ein Maß für die Tiefe des Potentials. Das heiße Gas sendet Röntgenphotonen aus mit einer typischen Energie von 1 - 2 keV für einzelne elliptische Galaxien und von 2 - 10 keV für Cluster. Diese Energie entspricht Temperaturen von 10 - 20 Millionen Kelvin bzw. 20 - 100 Millionen Kelvin für Cluster. Typische Röntgenleuchtkräfte reichen von  $10^{41}$  erg/s für die Elliptischen Galaxien bis hin zu  $10^{45}$  erg/s für schwere Cluster. Diese schweren Cluster gehören zu den leuchtkräftigsten Objekten im Universum.



### 3.3.4 Aktive Galaxien (AGN) und Quasi Stellar Objects (QSO)

Aktive Galaxien werden im Englischen als Active Galactic Nuclei (AGN) bezeichnet, da ihre Eigenschaften hauptsächlich aus ihrem Kern resultieren. Der Begriff AGN steht somit als „pars pro toto“.

Wie in vielen anderen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums sind die AGN und QSO (Quasi Stellar Objects) auch im Röntgenbereich sehr hell. Im „Unified Model“ von AGN geht man davon aus, daß im Zentrum solcher Galaxien ein Schwarzes Loch existiert. Die vom Kern ausgehende Röntgenstrahlung entsteht durch Akkretion von Materie aus der umgebenden Galaxie in das Schwarze Loch. Diese harte Strahlung stellt die einzige Information aus dem Zentralbereich solcher Galaxien dar. Die verschiedenen aktiven Galaxientypen unterscheiden sich dann nur durch den Winkel, unter dem sie beobachtet werden. Folglich kann z. B. die weiche Röntgenstrahlung von Seyfert-1-Galaxien, die ihren Ursprung im Kern der Galaxie hat, nur detektiert werden, wenn man von oben ins Zentrum der Galaxie blickt. Von der Seite aus gesehen würde sie als Seyfert-2-Galaxie erscheinen, da ihr Gas- und Staubbtorus die weiche Strahlung aus dem Kern absorbieren würde. Mit Hilfe der von XMM gewonnenen Röntgenspektren werden Rückschlüsse über die Materieakkretion gezogen werden können. XMM könnte so zur Durchleuchtung des „Unified Model“ beitragen, das noch einige Schwachstellen aufweist, da manche Aktive Galaxien nicht in dieses Modell passen.

### 3.3.5 Schwarze Löcher, Neutronen-Sterne, Pulsare, Doppelsternsysteme

Akkretierende Systeme sind potentielle helle Röntgenquellen. Dies beschränkt sich nicht nur auf massive Schwarze Löcher im Zentrum von Galaxien, sondern auch auf stellare akkretierende Systeme wie z. B. Röntgendoppelsterne. Bei Röntgendoppelsternen wird das akkretierende Objekt, auf das Materie von einem Begleitstern überfließt, von einem Schwarzen Loch, einem Neutronenstern oder einem Weißen Zwerg repräsentiert. Das überfließende Material erreicht kurz vor dem Auftreffen Geschwindigkeiten in Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit.

Beim Röntgendoppelstern HER X-1 z. B. akkretiert ein Neutronenstern, der ein Magnetfeld besitzt und einen Radius von ca. 10 km hat, Material von seinem Begleitstern. Die Materie findet ihren Weg parallel zu den Magnetfeldlinien des Neutronensterns und stürzt an den magnetischen Polen des Neutronensterns mit einer Geschwindigkeit von ca. 130.000 km/s (das entspricht 40% der Lichtgeschwindigkeit) auf Gebiete mit einem Durchmesser von 1 km. Dabei entstehen in diesen Gebieten Temperaturen im Bereich von 200 Millionen Grad. Die Massenakkretion beträgt ungefähr 100 Milliarden Tonnen pro Sekunde – das sind ca.  $10^{-9}$  Sonnenmassen pro Jahr, bzw. die halbe Masse unserer Erde pro tausend Jahre. Aufgrund der Temperatur des Materials entsteht eine Röntgenstrahlung mit einer Leuchtkraft ( $> 2$  keV) von  $3 \times 10^{37}$  erg/s ( $3 \times 10^{30}$  Watt).

Ein anderer interessanter Aufgabenbereich von XMM liegt in der Beobachtung von periodisch zeitlich veränderlichen Röntgensternen, sogenannten Pulsaren. Die Pulsperioden dieser Objekte reichen von Millisekunden bis hin zu etwa 15 Minuten. Die MAXI-Kamera auf XMM (siehe 3.5) bietet eine sehr gute Zeitauflösung für die Beobachtung solcher Phänomene und verspricht einige neue Entdeckungen auf dem Gebiet der Zeitreihenanalyse.



### 3.3.6 Supernova-Überreste

Zu den prominentesten Röntgenquellen zählen die Supernovaüberreste (engl.: Super Nova Remnants SNR). Es handelt sich hier um das Endstadium eines massereichen Sterns, der am Ende seiner Sternentwicklung explodiert, dabei eruptiv seine Leuchtkraft über bis zu 20 Größenklassen steigern kann und als äußerst spektakuläres Objekt am Himmel erscheint. XMM soll die von ROSAT beobachteten Phänomene in diesem Bereich genauer untersuchen. Man erhofft sich von XMM – gerade wegen seiner guten Energieauflösung und Empfindlichkeit – einen signifikanten Fortschritt der bis jetzt im Röntgenbereich immer noch spärlichen Observationen.

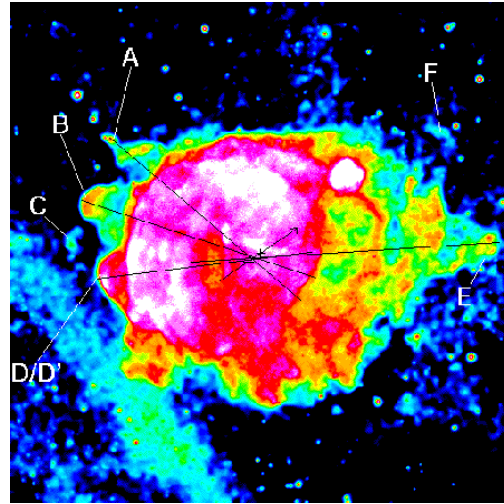


Abbildung 3-7: Vela Supernova

### 3.3.7 Heißes Gas in Galaxien

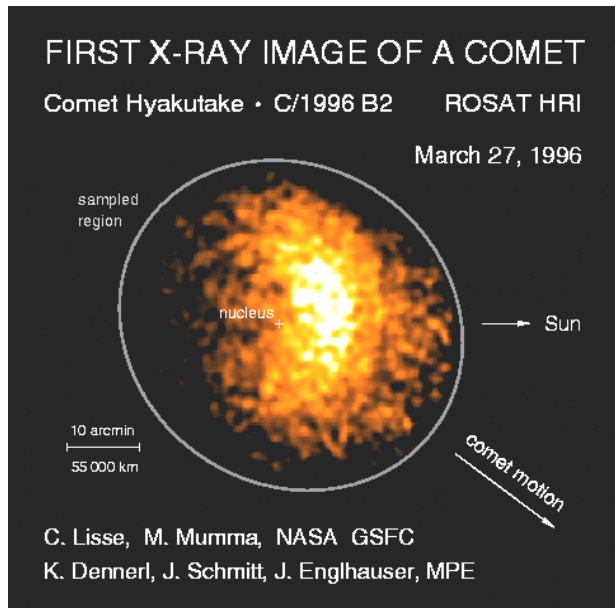
ROSAT schaffte es zum ersten Mal, ein detailliertes Bild des Galaktischen Röntgen-Halos aufzunehmen. Trotzdem blieben viele Fragen offen. Mit XMM wird man besonders interessante Objekte dieser Art genauer beobachten können. Von diesen Daten erhofft man sich neue Einblicke in die Zusammensetzung der interstellaren Materie sowie in ihre Energiebilanz. Die Metallizität und Energiebilanz des heißen Gases im Galaktischen Halo sind hierbei die Schlüsselparameter in der Erforschung der chemischen Evolution unserer Galaxie. Die Metallanreicherung der galaktischen interstellaren Materie durch stellare Winde und Supernovae spielt in dieser Evolution eine wichtige Rolle.

### 3.3.8 Stellare Coronae

Seit längerer Zeit schon ist bekannt, daß massive Sterne, allen voran solche vom Spektraltyp O und B, auch Röntgenstrahlung emittieren. Hingegen wurde erst bei kürzlich erfolgten Satellitenmissionen ersichtlich, daß von fast allen Spektraltypen ebenfalls Röntgenstrahlung ausgeht. Man nimmt an, daß ein Großteil dieser Strahlung von den Millionen Grad heißen Coronae der Sterne stammt, bei denen es sich um ein dünnes Plasma in annäherndem Kollisionsgleichgewicht handelt. Die Röntgenleuchtkräfte solcher Objekte sind jedoch so niedrig, daß man sie im Röntgenbereich nur innerhalb unserer eigenen Galaxie beobachten kann. XMM wird es nun ermöglichen, erheblich mehr Sterne (wahrscheinlich mehrere tausend) auf diesen Gesichtspunkt hin zu untersuchen. Bei diesen Observationen sollen z. B. Fragen nach dem Heizmechanismus der Coronae, der noch immer unbekannt ist, beantwortet werden. Auch will man verschiedene Aspekte der Interaktion von heißem coronalem Plasma mit dem stellaren Magnetfeld untersuchen.

### 3.3.9 Kometen

Zum ersten Mal wurde von ROSAT erkannt, daß auch Kometen Quellen von Röntgenstrahlung darstellen. Zur Zeit versteht man jedoch noch nicht genau, welche Mechanismen den unerwartet hohen Fluß in den untersuchten Beobachtungen erzeugen. Mögliche Erklärungen wären der Sonnenwind oder Charge Exchange.



XMM soll helfen, Licht ins Dunkel der verschiedenen Theorien zu bringen und kann hier (bei dem derzeitigen Stand der Informationen in der Literatur) wohl wahre Pionierarbeit leisten. Man darf jedoch nicht vergessen, daß XMM nicht den schnellen Bewegungen der Kometen folgen können wird, wenn sie sich in geringer Entfernung befinden. Statt dessen wird man die Quelle durch das Gesichtsfeld ziehen lassen und sie auf diese Weise beobachten.

**Abbildung 3-8: Komet Hyakutake**

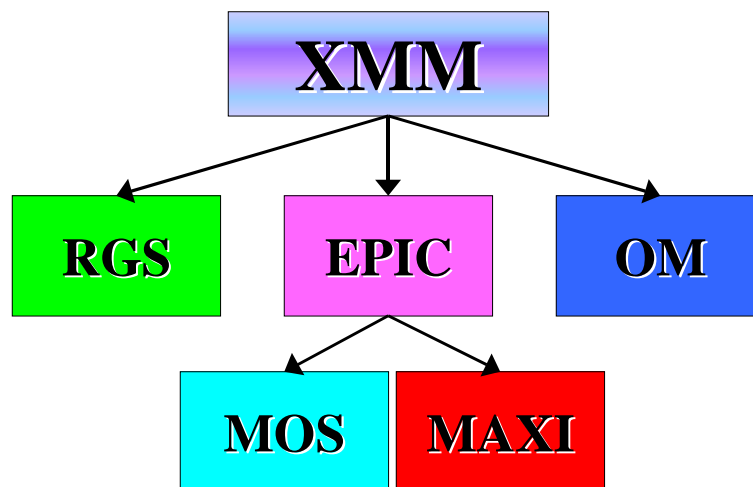
### 3.4 Übersicht der Instrumente auf XMM

An Bord von XMM befinden sich drei Instrumente:

Dies sind der **Optical Monitor OM** mit Principal Investigator Dr. K. Mason vom Mullard Space Science Laboratory Dorking in Surrey (Großbritannien), das **Reflection Grating Spectrometer RGS** mit Principal Investigator Dr. A. C. Brinkman vom SRON Laboratorium voor Ruimte Onderzoek in Utrecht (Niederlande) und schließlich die **European Photon Imaging Camera EPIC**, deren Principal Investigator bis 1997 Dr. G. F. Bignami vom Istituto di Fisica Cosmica e Tecnologie Relative del Consiglio Nazionale delle Ricerche in Milano (Italien) war. Principal Investigator ist nun Dr. M. Turner von der Leicester University.

Im weiteren wird hauptsächlich auf EPIC eingegangen, da die beiden anderen Instrumente keinen zentralen Charakter für diese Arbeit besitzen.

EPIC-Fokalinstrumente sind zwei MOS-CCDs (siehe 4.2), die aus Großbritannien stammen, und das vom MPE entwickelte pn-CCD (siehe 4.3). Abbildung 3-9 zeigt eine Übersicht der Instrumente.

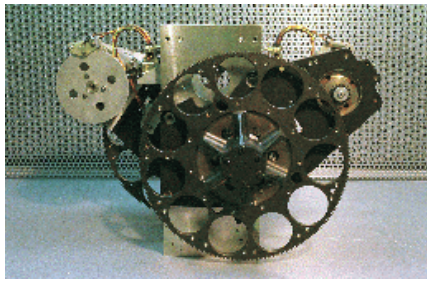


**Abbildung 3-9: Instrumente auf XMM**

Das RGS – wie die MOS-CCD-Kamera – ist doppelt vorhanden und teilt sich mit ihm jeweils einen Spiegel. Für den vom MPE und IAAAT entwickelten X-Ray Imager (MAXI) ist ein eigener Spiegel vorgesehen.



### 3.4.1 Optical Monitor OM



Parallel zu den Wolterteleskopen arbeitet auf XMM ein optischer Monitor mit einem 30-cm-Ritchey-Chrétien-Teleskop, in dessen Fokus ein mit einer Vielkanalplatte verbundenes CCD sitzt. Der optische Monitor erlaubt Beobachtungen in einem Spektralbereich von 1600 - 5500 Å und verschafft so die Möglichkeit, Objekte gleichzeitig im optischen und im Röntgenbereich unter identischen experimentellen Bedingungen zu beobachten.

Abbildung 3-10: Optical Monitor

### 3.4.2 Reflection Grating Spectrometer RGS

Bei diesem Instrument werden zwei redundante Reflexionsgitterspektrometer zur Spektroskopie im Bereich von 0,35 keV - 2,4 keV benutzt, wobei die Gitter hierfür als einziges Bauteil nicht aus Europa, sondern aus den USA geliefert werden. Die beiden Spektrometer befinden sich hinter zwei der drei Wolterteleskope. Dabei beugen die Gitter jeweils die Hälfte der dort einfallenden Strahlung seitlich auf die aus CCDs aufgebauten Detektoren. Das RGS besitzt mit etwa 500 (E/ΔE) das beste Energieauflösungsvermögen aller Instrumente an Bord.

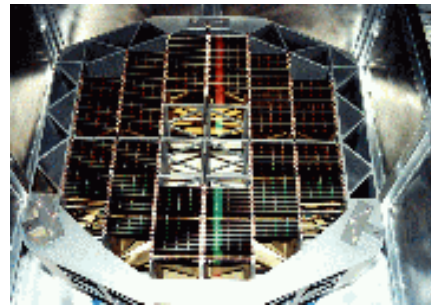


Abbildung 3-11: RGS-Testeinheit

### 3.4.3 European Photon Imaging Camera EPIC

Das zentrale Instrument auf XMM ist die abbildende EPIC-Kamera. Sie besteht aus drei CCD-Kameras (zwei MOS-CCDs und einem pn-CCD) sowie einem Strahlungsmonitor und wurde als Gemeinschaftsprojekt von Instituten in Deutschland, Frankreich, Großbritannien und Italien entwickelt. Jede Einzelkamera befindet sich hinter einem der drei Wolterteleskope. EPIC ist in der Lage, Röntgenquellen im Bereich von 100 eV - 15 keV gleichzeitig in Ort, Energie und Zeit aufgelöst zu detektieren. Die MOS-CCDs erreichen nur die halbe Intensität des jeweiligen Wolterteleskops, weil sie, wie oben erwähnt, den Strahlengang mit jeweils einem RGS teilen, während die Maxi-Kamera einen Spiegel allein nutzt. Die MOS-CCDs werden wie auch die dazugehörige Ausleseelektronik und die Signaldigitalisierung in Großbritannien entwickelt, in Frankreich befaßt man sich mit der weiteren Verarbeitungselektronik. Das MOS-CCD unterscheidet sich schon in seiner Intention vom pn-CCD: Beim MOS-CCD nutzt man modifizierte, hochentwickelte optische CCDs für die Röntgenastronomie und nimmt die Nachteile, die daraus entstehen, in Kauf. Das pn-CCD hingegen ist eine völlige Neuentwicklung des gemeinsam vom Max-Planck-Institut für Physik in München und vom MPE eigens dafür gegründeten Halbleiterlabors. Dieses CCD wurde speziell für röntgenastronomische Zwecke ausgelegt. Es wird darauf noch näher in 4.3 eingegangen. Der Strahlungsmonitor konzentriert sich auf den Fluß hochenergetischer Teilchenstrahlung und dient vor allem als Warngerät für die empfindlichen CCDs. Falls es zu unerwartet hohen Strahlungsintensitäten kommt, die die CCDs schädigen können, was zeitlich – z. B. bei solaren Flares – nicht genau vorherzusagen ist, kann ein Filterrad im Strahlengang des Teleskops in eine geschlossene Blendenposition gefahren werden.

### 3.5 MPE und IAAT X-Ray Imager MAXI

Die MAXI -Kamera als Untersystem von EPIC besteht aus den in Abbildung 3-12 gezeigten fünf Komponenten, die nun kurz erläutert werden.

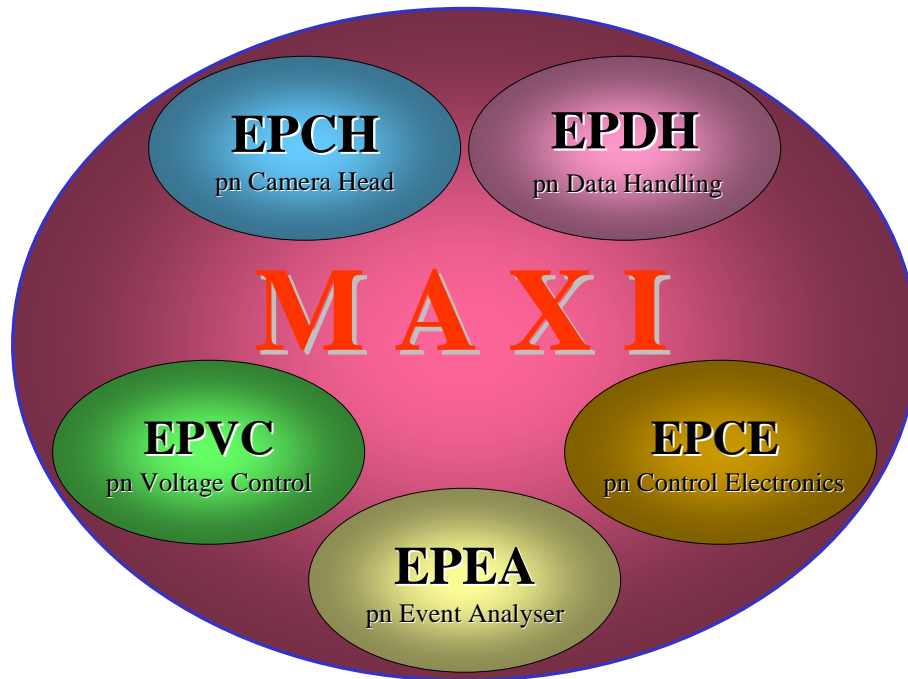


Abbildung 3-12: Die MAXI-Komponenten

#### 3.5.1 EPIC pn-CCD Camera Head EPCH

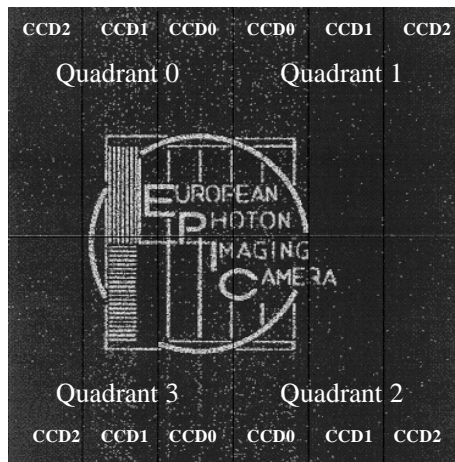


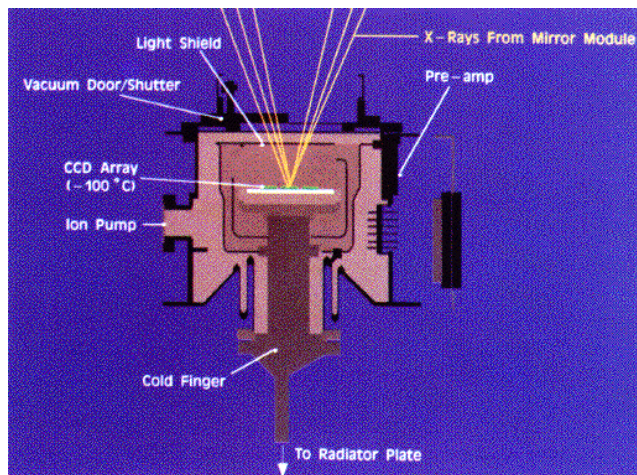
Abbildung 3-13: Die Fokal-Einheit

Die Fokal-Einheit, also des „Pudels Kern“, besteht aus einem Array von zwölf der am MPI-Halbleiterlabor hergestellten pn-CCDs. Diese zwölf pn-CCDs teilt man in vier Quadranten ein, so daß jedem Quadranten drei pn-CCDs zugeordnet werden. Aufgrund der Geometrie eines einzelnen pn-CCDs erreicht man so näherungsweise ein Quadrat. Jeder Quadrant verfügt aus Redundanzgründen über eine eigene Ausleseelektronik. Das Array aus den zwölf pn-CCDs stellt den eigentlichen Detektor dar. Er befindet sich im Zentrum des Kamerakopfes (Abbildung 3-13 und 3-14).

Zum Schutz vor hochenergetischen Protonen der kosmischen Strahlung ist der Kamerakopf von einem Schutzschild aus Aluminium umgeben. Die Ein-

trittsöffnung zum Kamerakopf wird von einer Vakuumschleuse verschlossen, mit deren Hilfe man schon vor und vor allem während des Starts ein geringes Vakuum erhalten kann. Dies schützt die hochempfindlichen Filter vor starken, von der Rakete beim Start erzeugten Schallwellen. Ebenso verhindert die Vakuumschleuse eine Kontamination der pn-CCDs während des Transports und der Startphase des Satelliten. Hinter der Eintrittsöffnung befindet sich ein schon in 3.2.1.3 angesprochenes Filterrad, das in sechs unterschiedliche Positionen gefahren werden kann. Vier der Positionen sind mit verschiedenen Filtern für optisches und UV-Licht belegt, um diese Strahlung herauszufiltern. Sie wird zwar auch vom Detektor nachgewiesen, ist aber bei röntgenoptischen Untersuchungen störend. Die beiden anderen Positionen sind von einer Aluminiumblende und zuletzt von einer freien Öffnung belegt. Die freie Öffnung ist wichtig, um den Kamerakopf vom Restdruck befreien zu können, wenn sich XMM im Orbit befindet, und natürlich, um absorptionsfrei beobachten zu können.

Das pn-CCD-Array ist thermisch leitend mit einem Radiator verbunden, der den Detektor passiv kühlen wird, indem er die ihm vom Detektor zugeführte Wärme in den kalten Welt- raum abstrahlt. Dabei muß während des Fluges darauf geachtet werden, daß der Radiator nicht von der Sonne bestrahlt wird. Das pn-CCD-Array kann im Orbit bei Temperaturen



**Abbildung 3-14: Kamerakopf**

zwischen  $-90\text{ °C}$  und  $-130\text{ °C}$  betrieben werden, muß aber unabhängig von der jeweiligen Temperatur aus Meßstabilitätsgründen auf ein halbes Grad konstant gehalten werden. Deshalb stellt man die Temperatur über eine elektronisch gesteuerte Gegenheizung ein, die die pn-CCDs über Heizfolien erwärmen kann. Es wird also dem durch Strahlungstransport erlittenen Temperaturverlust, der die pn-CCDs abkühlt, permanent so gegengeheizt, daß sich die gewünschte Temperatur einstellt. Über eine auf dem pn-CCD angebrachte temperaturabhängige Diode kann die aktuelle Temperatur direkt bestimmt werden.

In der Anfangsphase des Fluges wird der Detektor bei höheren Temperaturen betrieben werden, da der Satellit während dieser Zeit noch stark ausgasen wird. Dabei können sich Kohlenwasserstoffe und Wasser als Eis auf der Detektoroberfläche niederschlagen. Das Wassereis kann relativ einfach durch stärkere Heizung verdampft werden, die Kohlenwasserstoffe können sich jedoch aufgrund der im Orbit erhöhten UV-Strahlung mit dem Halbleitermaterial verbinden. Wenn nun einige Photonen in der angefrorenen Gasschicht absorbiert werden, sinkt die Quanteneffizienz der pn-CCDs. Um unter anderem diesen Effekt quantifizieren zu können, ist an dem obengenannten Filterrad zusätzlich eine radioaktive Quelle ( $^{55}\text{Fe}$ ) bekannter Energie und Intensität angebracht, mit deren Hilfe zu jeder Zeit der Mission die Nachweisempfindlichkeit und Energieauflösung der pn-CCDs getestet werden kann.

### **3.5.2 EPIC pn-CCD Event Analyser EPEA**

Der am IAAT entwickelte Event Analyser sorgt für die zum korrekten Arbeiten und Auslesen des CCDs notwendigen Pulse. Des weiteren digitalisiert er die vom pn-CCD kommenden Analogsignale, korrigiert, filtert und formatiert sie. Der EPEA wird in einem eigenen Gehäuse bei 20 °C in direkter Nähe des EPCH betrieben.

### **3.5.3 EPIC pn-CCD Low Voltage Control Unit EPVC und - Control Electronics EPCE**

Voltage Control und Control Electronics werden am MPE entwickelt. Die EPVC liefert eine digitale Gleichspannung von + 5 V an die EPCE, den EPCH und den EPEA und eine Analogspannung von  $\pm 6$  V an den EPCH und den EPEA. Außerdem wird der Kamerakopf noch mit  $\pm 40$  V und der Rückkontaktspannung von -180 V für die pn-CCDs versorgt.

Alle diese Spannungen werden von der EPCE kontrolliert. Zusätzlich steuert die EPCE über einen eigenen Prozessor die Temperaturregelung des Kamerakopfes und die Filterradbewegungen. Auch fordert sie wissenschaftliche Daten und Housekeepingdaten von der EPEA an. Die EPCE stellt folglich ein Bindeglied im Datenstrom zwischen EPEA und EPDH dar.

### **3.5.4 EPIC pn-CCD Data Handling System EPDH**

Die Datenmanagement-Einheit EPDH bildet die letzte Einheit von MAXI und wird von der Firma Laben in Mailand entwickelt. Sie fungiert als Verbindung zum Satellitenbus. Ihre Aufgabe besteht darin, Steuerkommandos, die von der Bodenstation an den Satelliten geschickt werden, zu empfangen, zu dekodieren und dann an die EPCE weiterzuleiten. In umgekehrter Richtung überträgt sie sämtliche Daten von MAXI an den Satellitenbus.