

Kalibration der pn-Kamera für XMM

- ▣ Missionen
- ▣ pn-CCD
- ▣ Eichung
- ▣ Ergebnisse
- ▣ Ausblick





1. Ein Instrument- Zwei Missionen



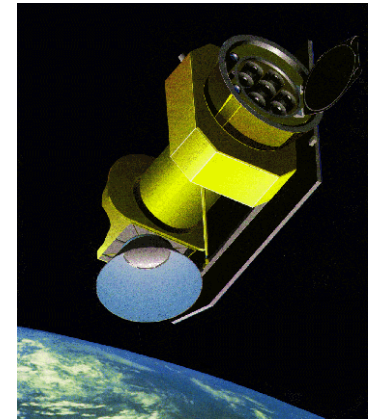
XMM

- 3 Spiegel
- Detektoren:
 - EPIC (pn-CCD, MOS-CCD)
 - RGS
 - OM (mit eigenem Teleskop)
- Ziel: Pointierte Beobachtungen von 100 eV - 15 keV



ABRIXAS

- 7 Spiegel
- Detektor:
 - pn-CCD
- Ziel: All Sky Survey von 0,5 - 10 keV

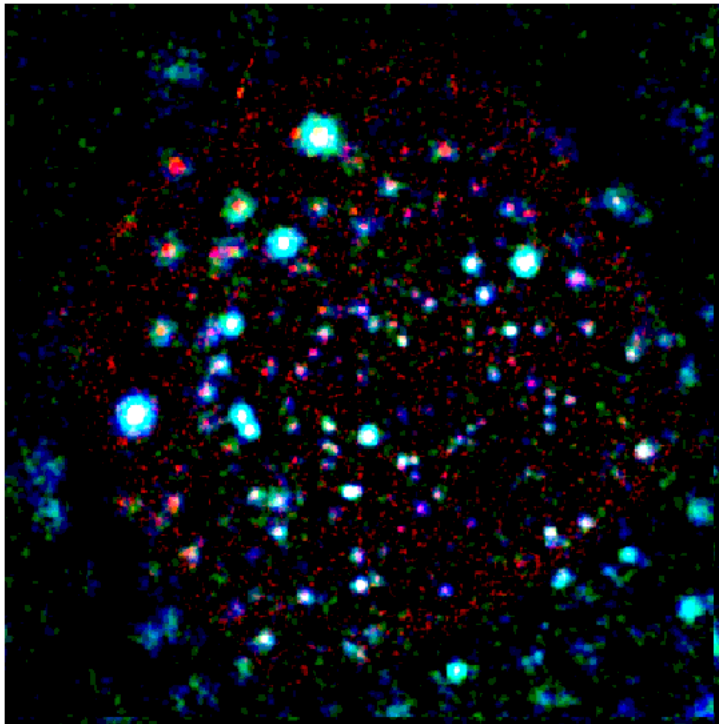




1.1 Wissenschaftliche Zielsetzung

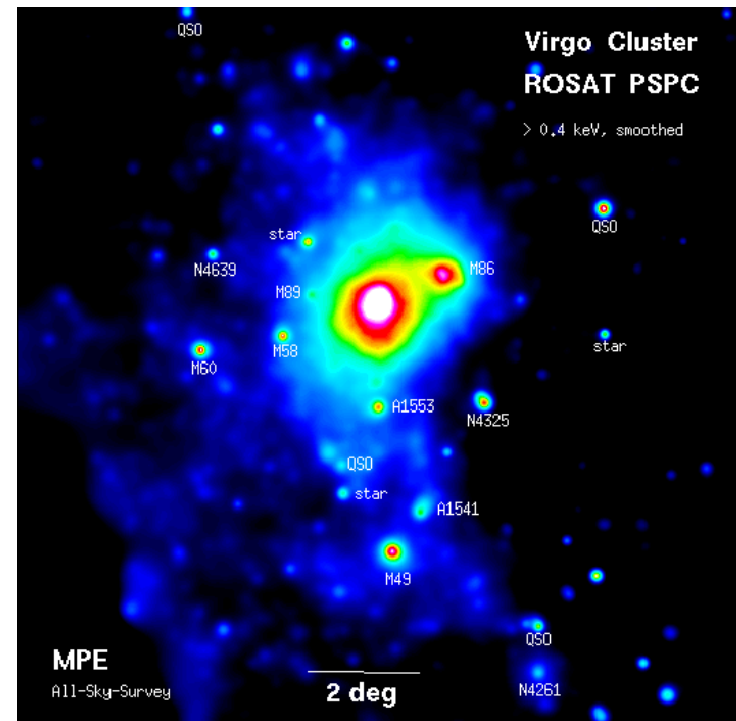


- Kosmische Röntgen-hintergrundstrahlung



Deep Field Pointing (ROSAT)

- Cluster und Galaxien

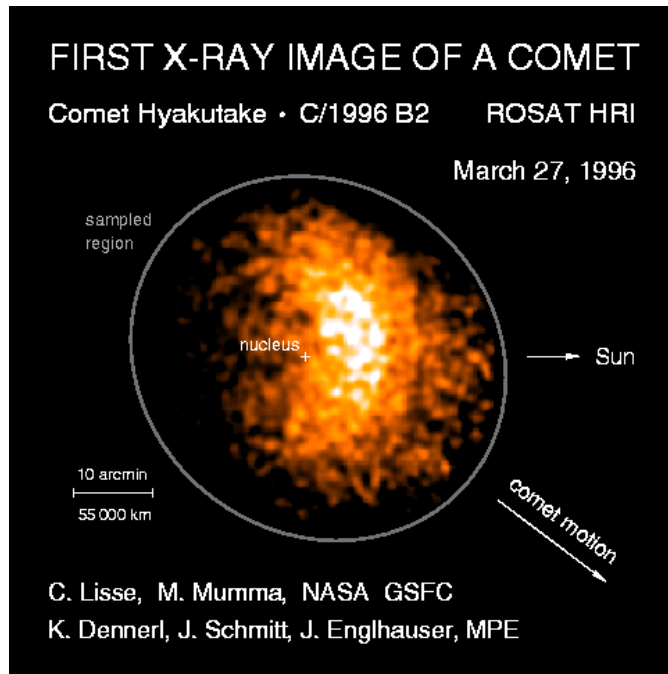


Virgo Cluster

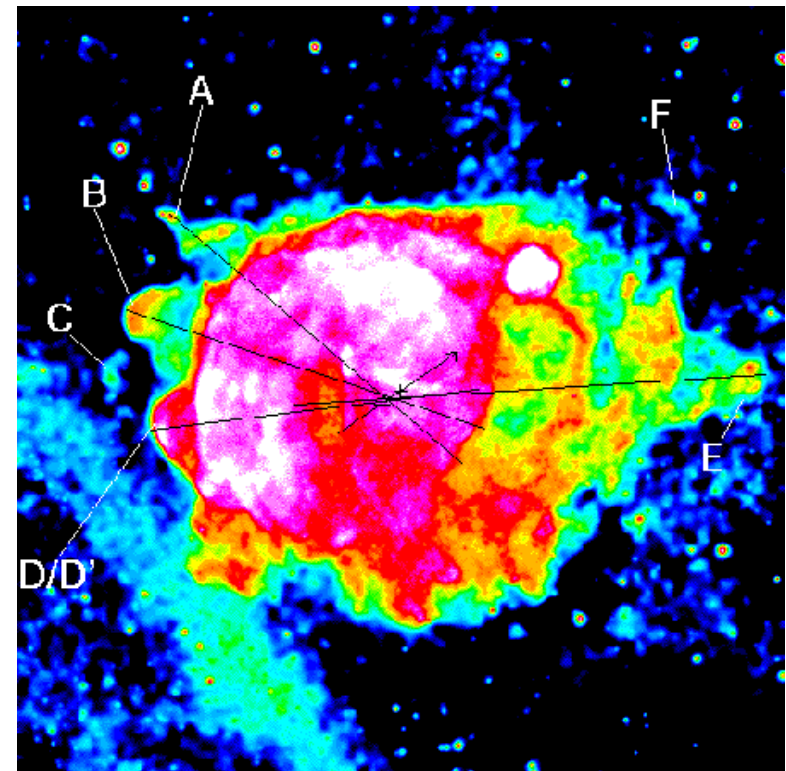
1.1 Wissenschaftliche Zielsetzung



- AGN, QSO
- BH, Neutronensterne, Pulsare, Doppelsternsysteme
- Supernova-Überreste
- Kometen
- ...

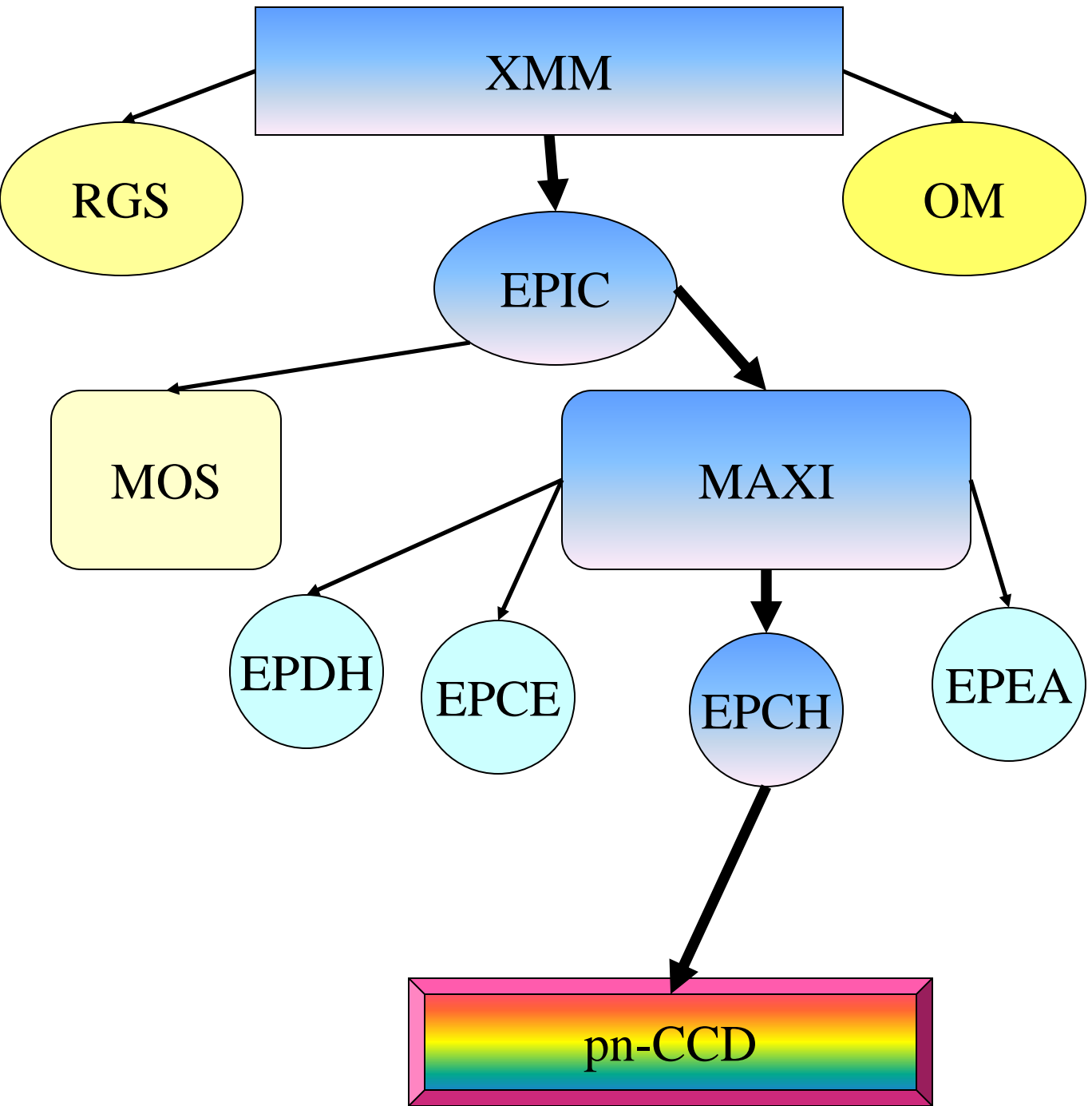
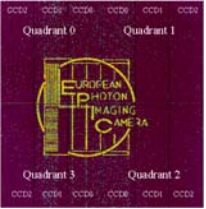


Komet Hyakutake



Vela Supernova

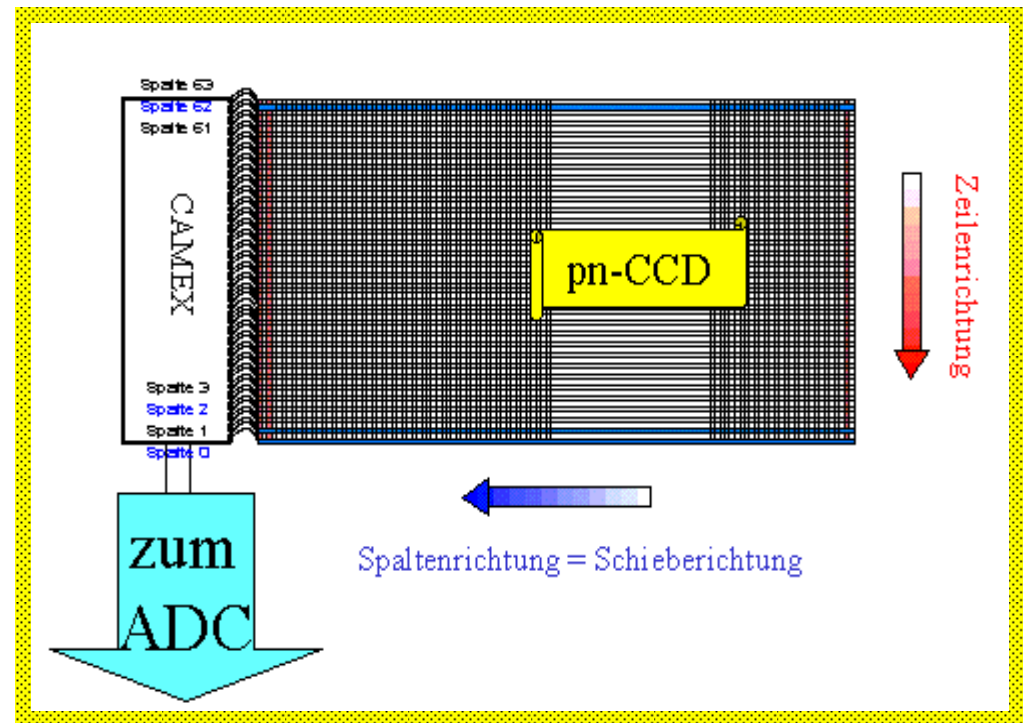
1.2 Integration des pn-CCDs





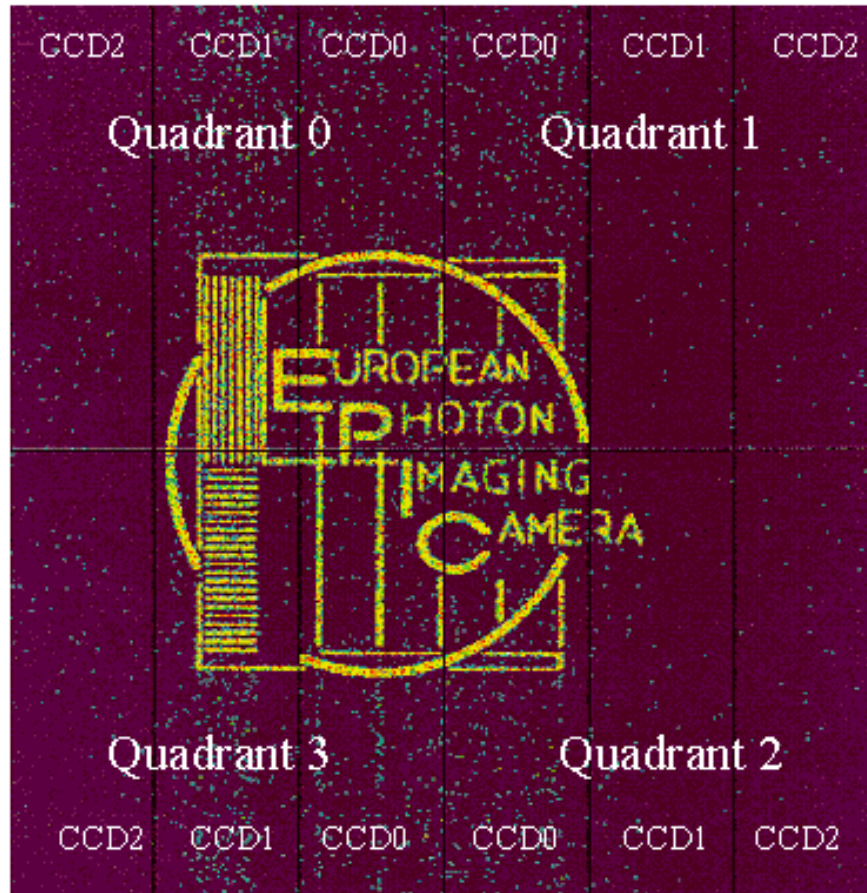
2. Das pn-CCD

- 280 μm Silizium voll depletiert
- 200 Zeilen
- 64 Spalten
- 12 800 Pixel
- Energieauflösung: FWHM 130 eV bei 6 keV
- Zeitauflösung: μsec





2.1 pn-CCD Focal Plane Array

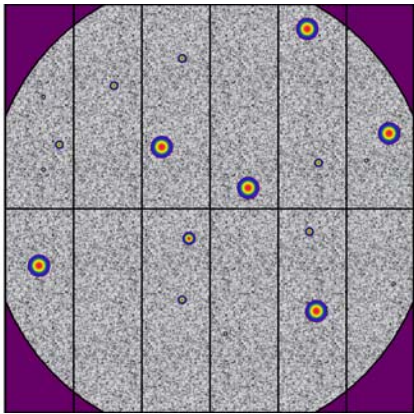




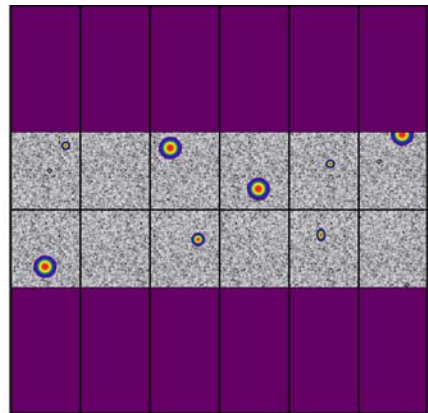
2.2 Modes



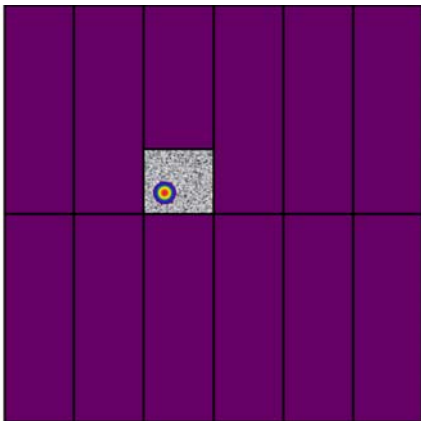
a) langsame Auslese-Modes



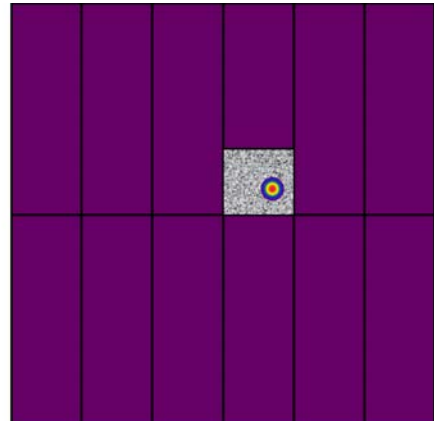
Full Frame & Extended Full Frame



Large Window



Small Window in Quadrant 0



Small Window in Quadrant 1

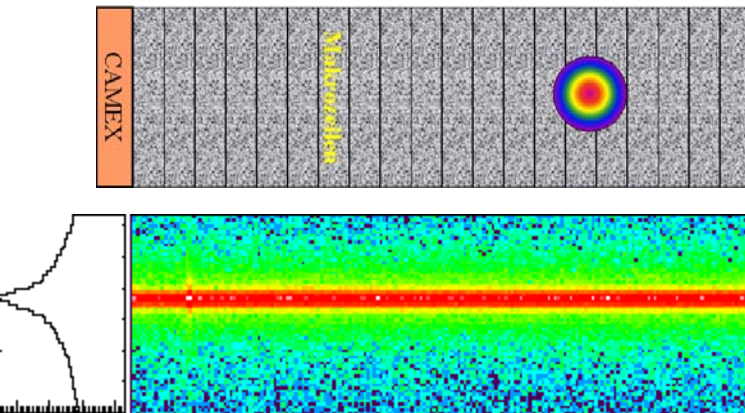


2.2 Modes



b) schnelle Auslese-Modes

Timing Mode

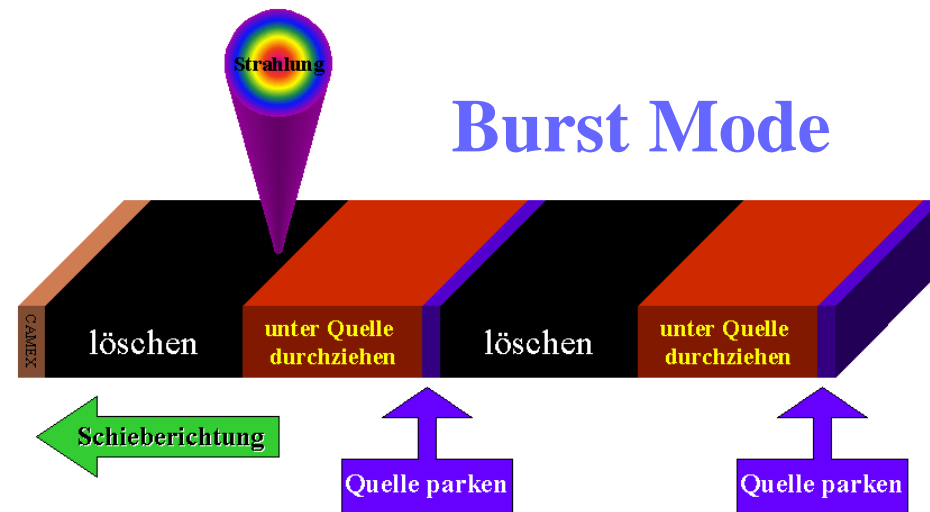


10 Zeilen schnell auf Anode schieben, dann auslesen

⤵ Zeitgewinn

aber : Verlust der Ortsinformation einer Dimension

Burst Mode

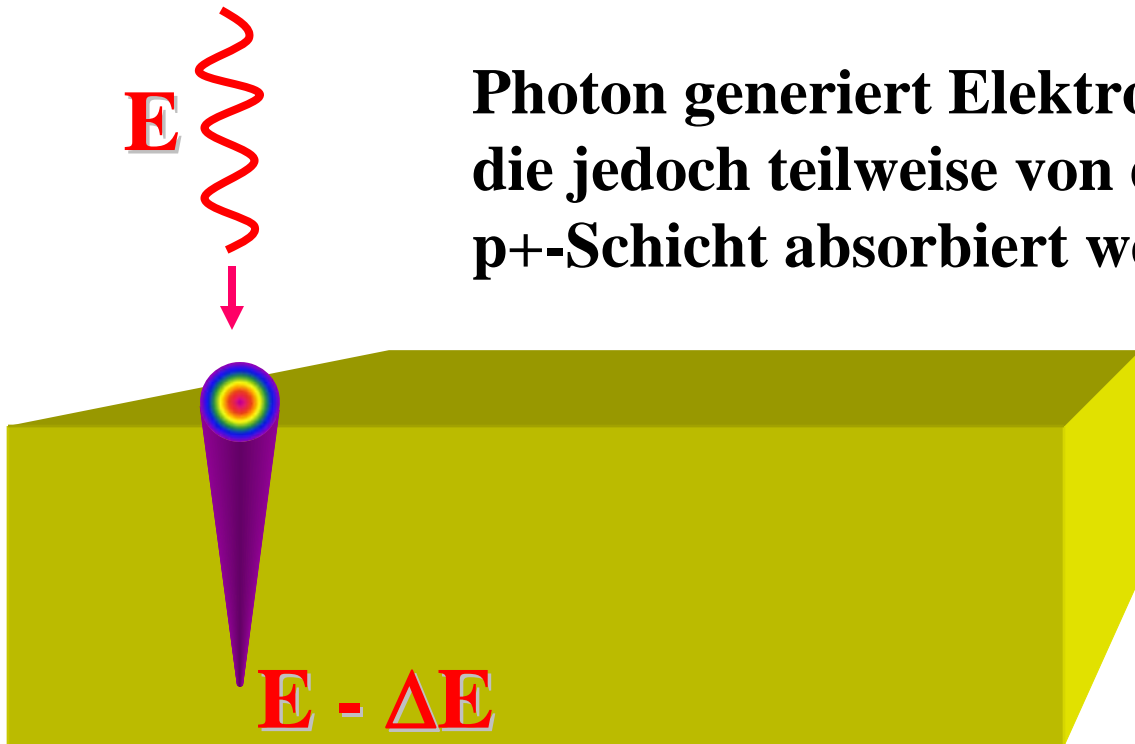


- 200mal schnell schieben & löschen
- 180mal auslesen

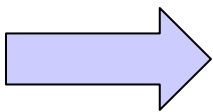
2.3 Relevante CCD-Effekte



a) Partial Events



Photon generiert Elektronen, die jedoch teilweise von der p+-Schicht absorbiert werden.

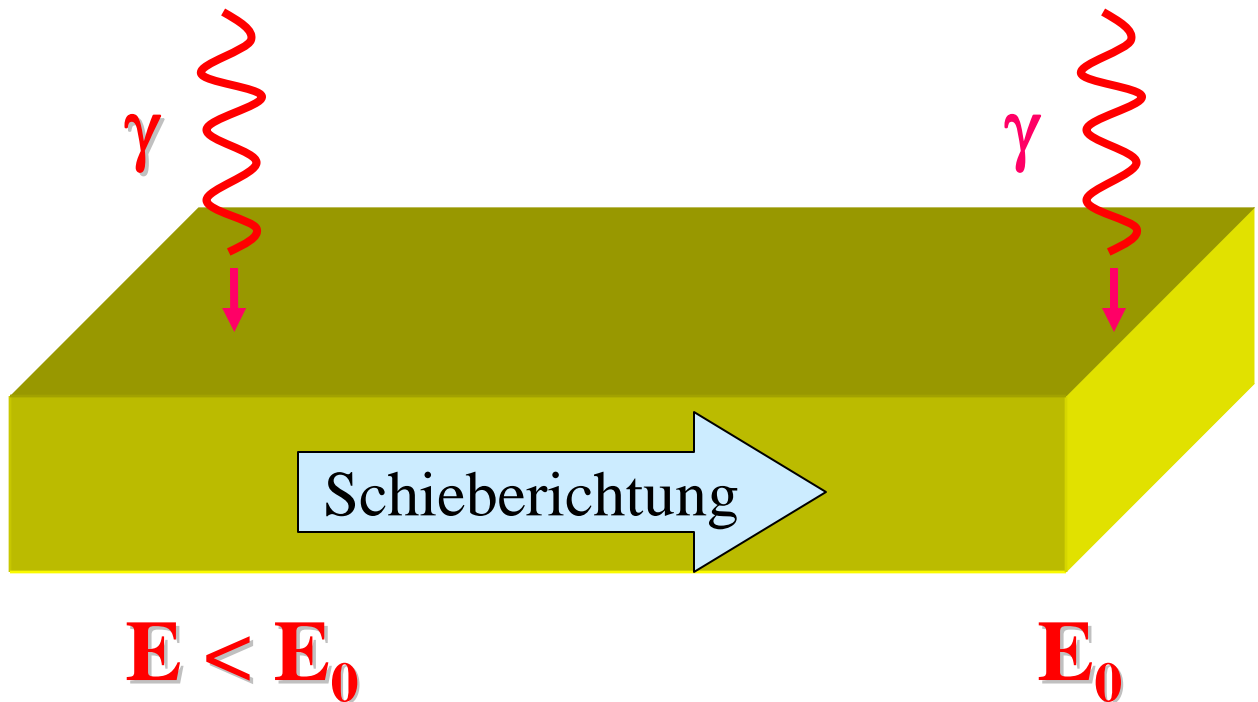


Für $E < 1,8 \text{ keV}$ verschiebt sich die Peaklage eines einfallenden Photons nichtlinear zu kleineren Energien.

2.3 Relevante CCD-Effekte



b) Charge Transfer Efficiency



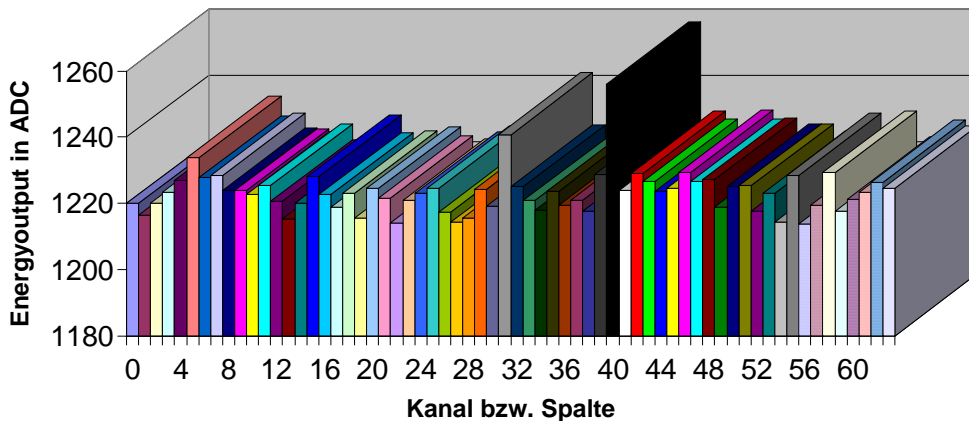
$$E = E_0 \cdot CTE^{\text{Zeile}}$$

2.3 Relevante CCD-Effekte

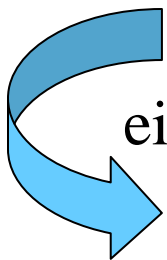


c) Unterschiedliche Verstärkung

Unterschiedliche Verstärkung der einzelnen Kanäle von CCD 0 bei Bestrahlung mit Fe-K



Grund: CAMEX-Kanäle besitzen eine bis zu 1% unterschiedliche Verstärkung



einfach korrigierbar via Gain-Korrektur

$$\text{Amplification} = \frac{\text{Peaklage in ADC}}{\text{eingstr. Photonenenergie in eV}}$$



2.4 Faktoren für die Eichung



- **Amplification**
 - **CTE**
- Temperatur** des CCDs
Energie der eingestrahnten Photonen
Rate der eingestrahnten Photonen
Partial-Event-Effekt
- **Untersuchung der Energie- und Zeitauflösung**
in den schnellen Modes



3. Die Eichung



PANTER-Neuried



- **Vakuumentank: Länge 12 m**
 $\varnothing = 3,5 \text{ m} \rightarrow 166 \text{ m}^3$
- **Quelle in 130 m Entfernung**

LURE/IAS-Orsay

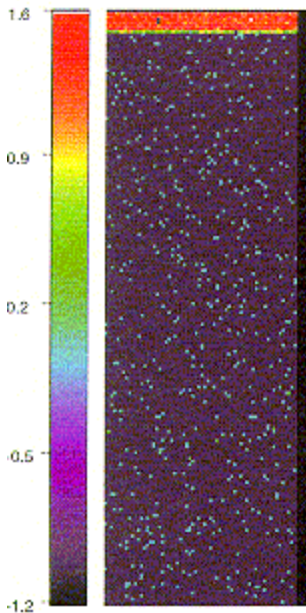


- **Vakuumentank: 23 m³**
- **2 Synchrotronquellen (DCI und SACO)**
- **1 Röntgenquelle**

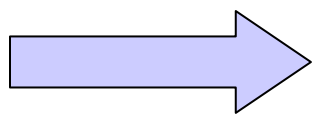
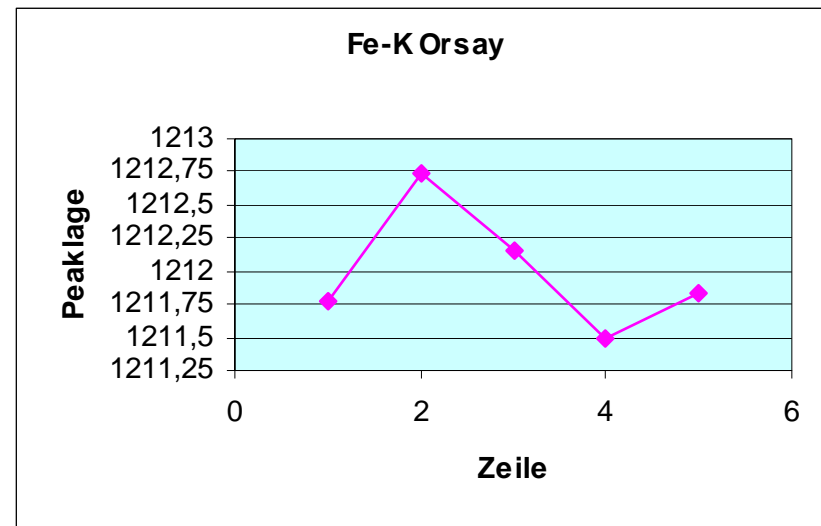


3.1 Kalibrationsmethoden

a) Amplification und Gain: **Schlitzmethode**



- Bestrahlung der ersten 5 Zeilen
- quasi kein Ladungsverlust



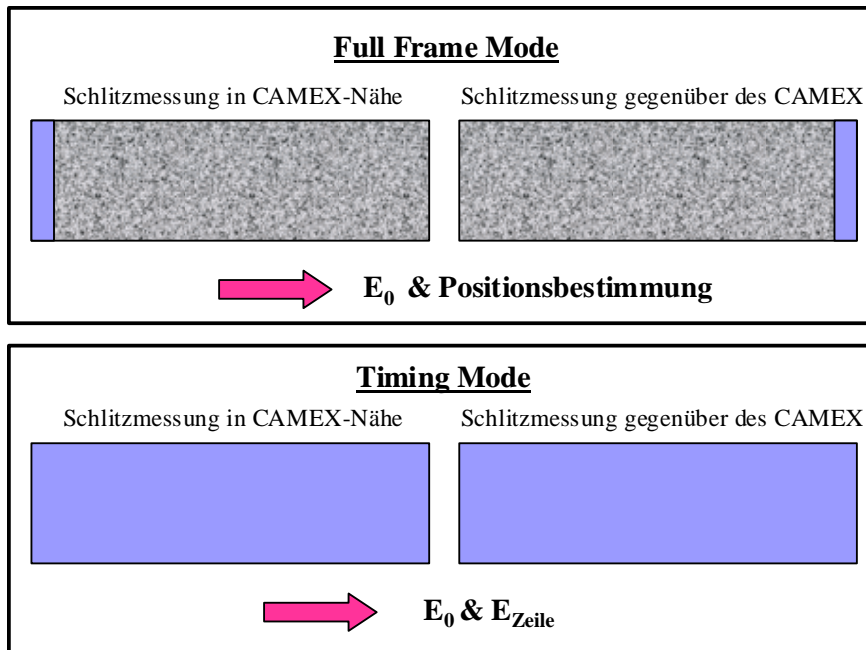
Amplification kann *unabhängig* von CTE bestimmt werden!



3.1 Kalibrationsmethoden



b) CTE: Schlitz-Schlitz-Methode



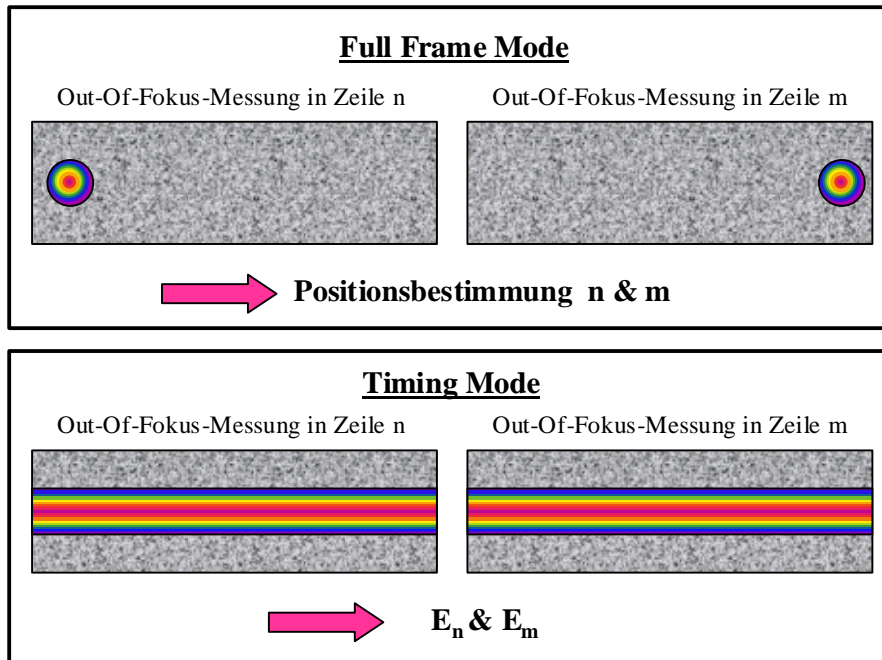
- **Vorteil:** Rate ist über alle Spalten gleich.
- **Nachteil:** Da ohne Spiegel gearbeitet wird, sind die erreichbaren Raten gering.

$$CTE = Zeile \sqrt{\frac{E}{E_0}}$$



3.1 Kalibrationsmethoden

c) CTE: Doppelte Out-Of-Fokus-Methode



$$E_n = E_0 \cdot CTE^n \quad \text{Energie aus } n \text{ - ter Zeile}$$

$$E_m = E_0 \cdot CTE^m \quad \text{Energie aus } m \text{ - ter Zeile}$$

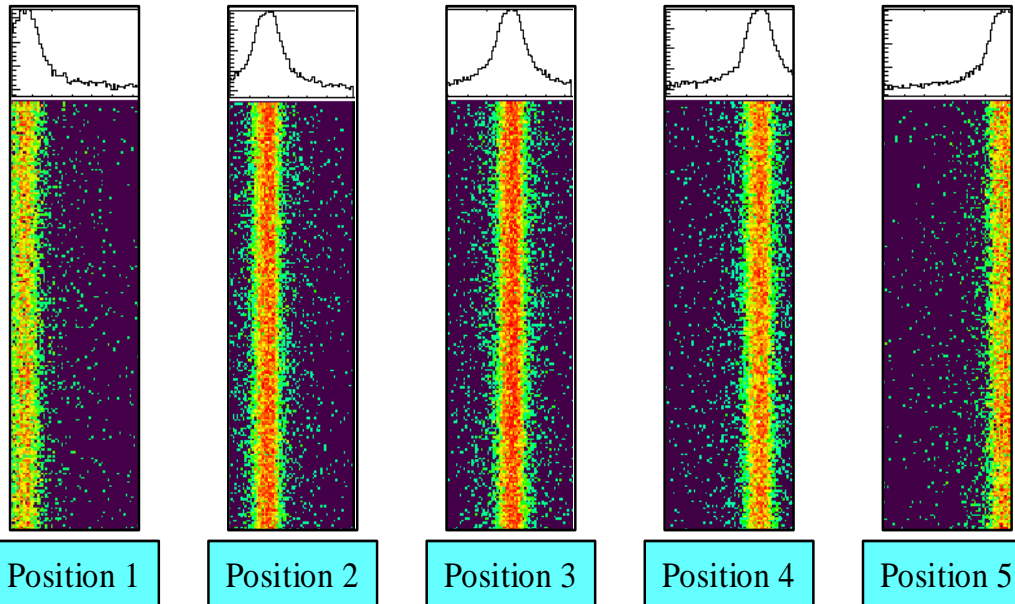
$$\frac{E_n}{E_m} = CTE^{n-m}$$

$$CTE = \sqrt[n-m]{\frac{E_n}{E_m}}$$

- **Vorteil:** hohe Rate möglich



3.1 Kalibrationsmethoden

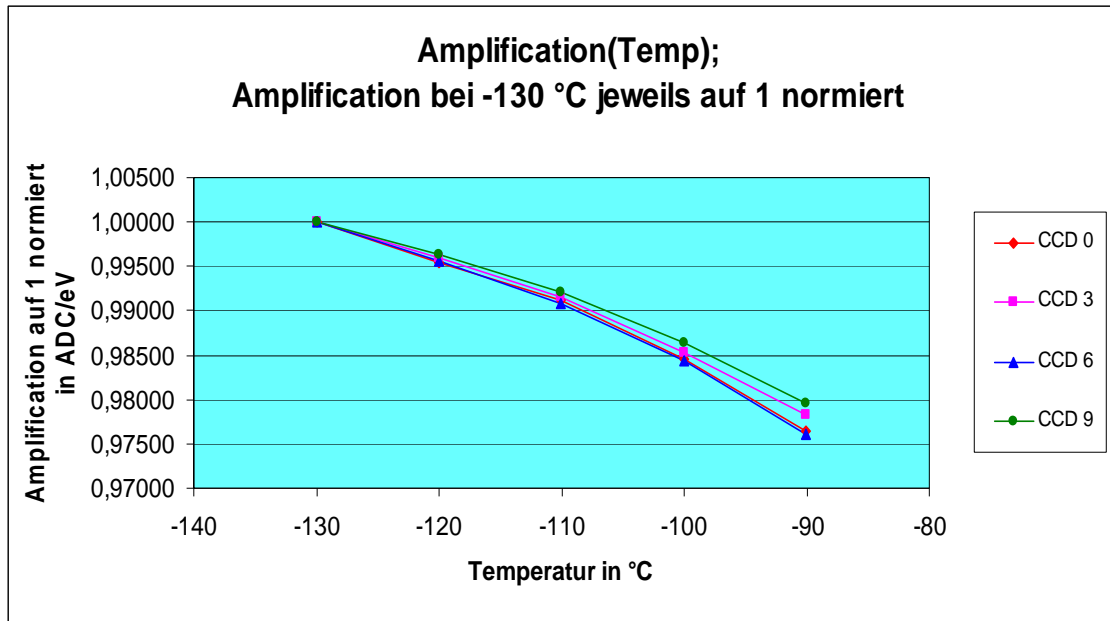


- **Nachteil:** Es können nicht beliebig viele Spaltenpositionen gemessen werden.
→ pro Spalte nur wenige verschieden Raten



4. Ergebnisse und Deutung

4.1 Temperaturabhängigkeit der Amplification

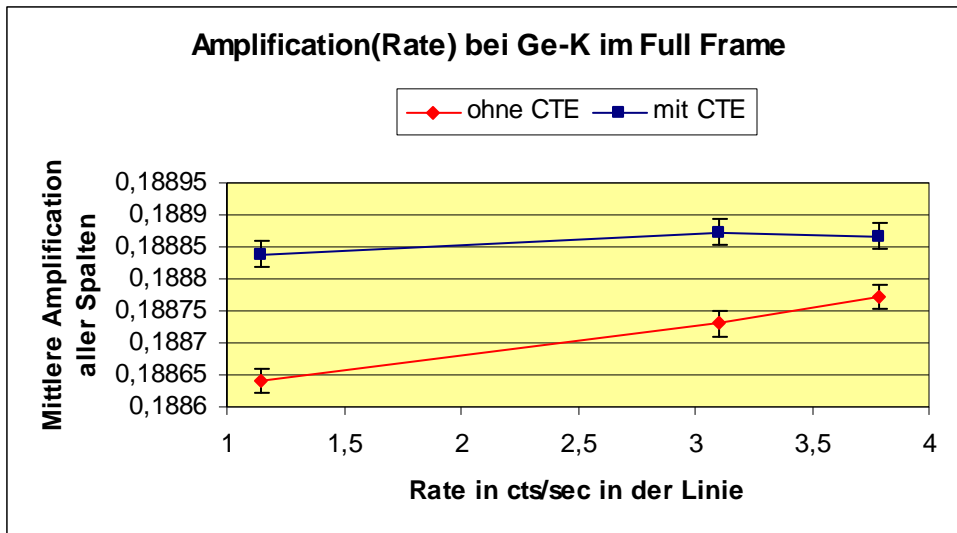


- **höhere Verstärkung mit fallender Temperatur**
- **Ursache: Temperaturabhängigkeit der CAMEX- und/oder On-Chip-Verstärkung**

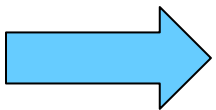


4. Ergebnisse und Deutung

4.2.1 Ratenabhängigkeit der Amplification im Full Frame Mode



- Erhöhung der Rate um Faktor 3,3 \Rightarrow Vergrößerung der Verstärkung um 0,7 Promille
- Nach CTE-Korrektur verschwindet dieser Effekt. \Rightarrow Beim Schieben geht bei kleiner Rate selbst in den ersten 5 Zeilen noch viel Ladung verloren.

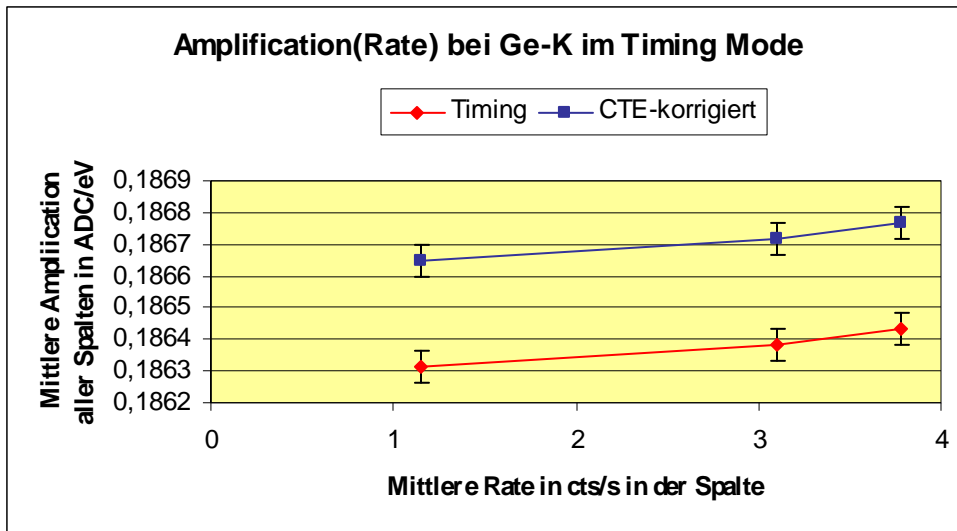


Im Full Frame Mode lineare Verstärkung



4. Ergebnisse und Deutung

4.2.2 Ratenabhängigkeit der Amplification im Timing Mode



- Erhöhung der Rate um Faktor 3,3
⇒ Vergrößerung der Verstärkung um 0,7 Promille.
- Nach CTE-Korrektur verschwindet Effekt nicht ⇒ Erklärung: CTE-Korrektur wirkt sich nicht mehr so stark aus, da im Timing Mode durch ständiges Schieben die Störstellen stärker abgesättigt sind.



Im Timing Mode ist die Verstärkung ratenabhängig.

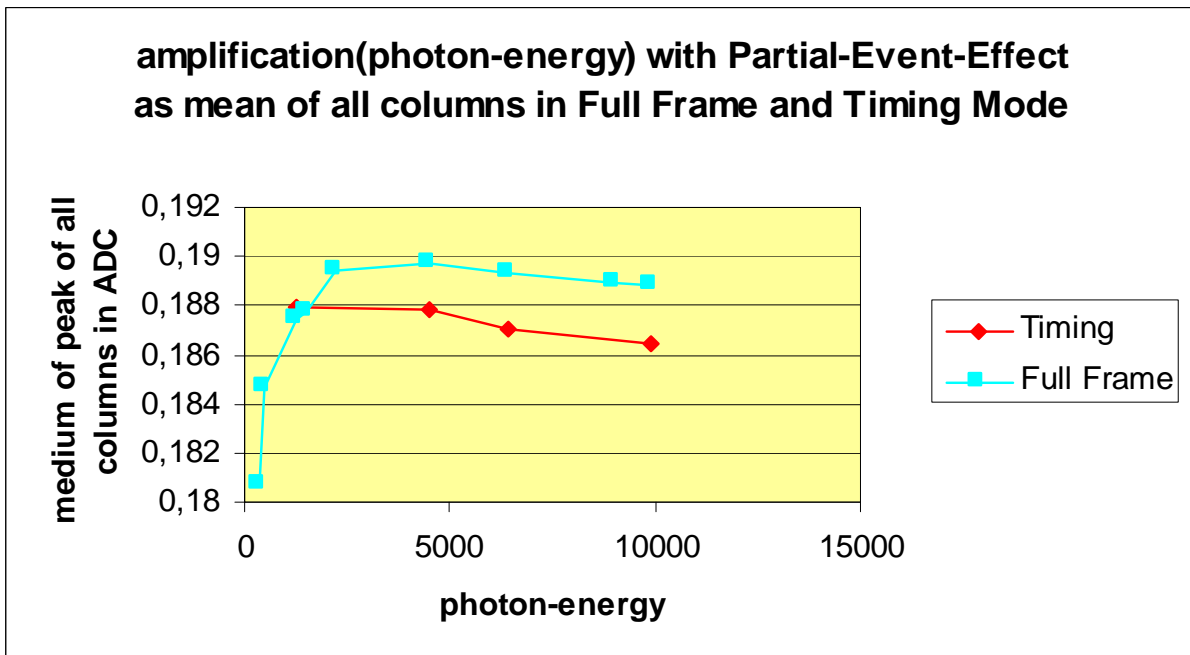
Mögliche Erklärung: Arbeitspunkt des CAMEX verschiebt sich aufgrund der durch die höhere Rate vergrößerten Ladungsmenge.



EPIC-pn-CCD



energy-dependence of the amplification in Timing Mode



- same behavior tendenziell gleiches Verhalten wie im Full Frame Mode
- jedoch: Differenz !!!

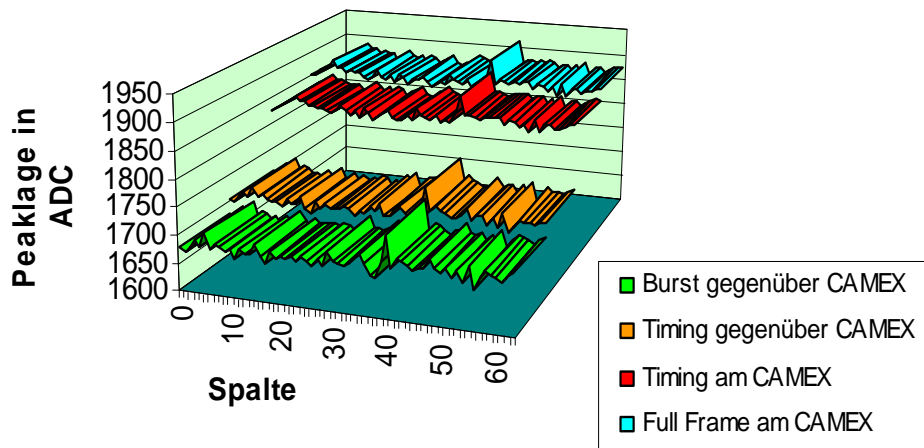


4. Ergebnisse und Deutung



4.4 Vergleich der Gain in verschiedenen Modes

Peaklage von Ge-K aller Spalten



$$\begin{aligned} \Delta E_{ges.} &= \Delta E_{\text{Schieben beim Auslesen}} \\ &+ \Delta E_{\text{schnelles Schieben}} \\ &+ \Delta E_{\text{Signalverarbeitung im Timing}} \\ &+ \Delta E_{\text{Phi-Pulse}} \end{aligned}$$

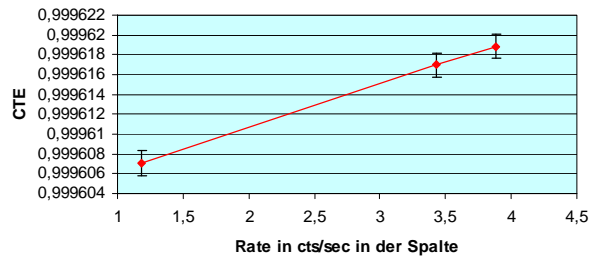


4. Ergebnisse und Deutung



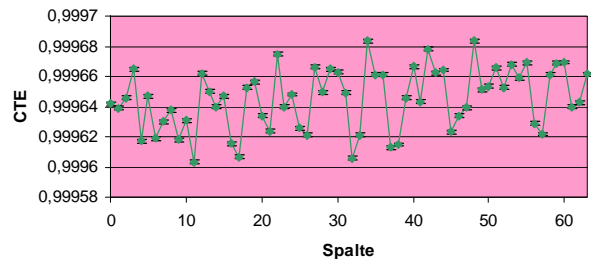
4.5 Ratenabhängigkeit der CTE im Timing Mode

CTE(Rate) von Spalte 7 bei Ge-K



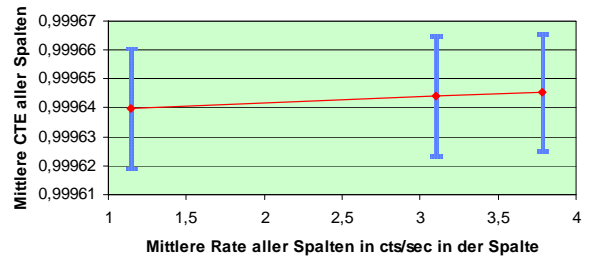
- Bei Ratenvergrößerung um Faktor 3,3 ändert sich die CTE um 0,01 Promille
Grund: Endlichkeit der Störstellen

CTE aller Spalten bei Ge-K im Timing Mode



- Jedoch: **CTE einzelner Spalten** bei gleicher Energie und Rate sehr **unterschiedlich**

Mittlere CTE(Rate) aller Spalten bei Ge-K



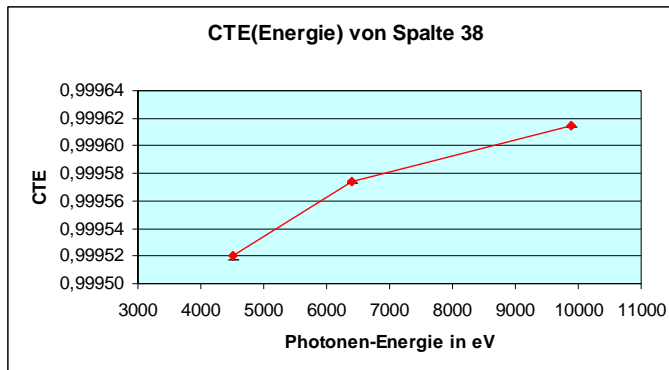
- Unterschied einzelner Spalten größer als CTE-Erhöpfung, verursacht durch Ratenvergrößerung



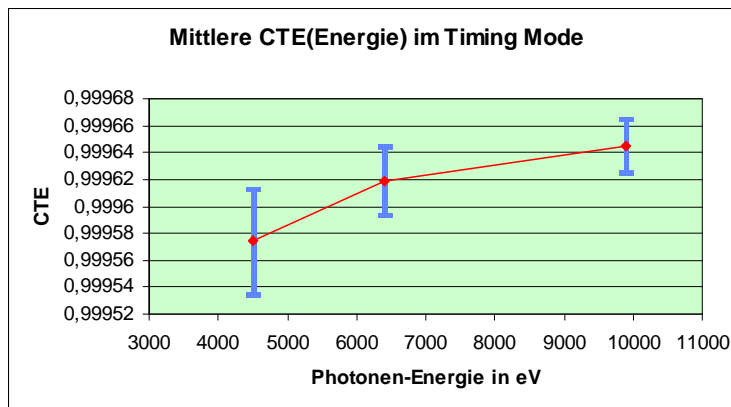
4. Ergebnisse und Deutung



4.5 Energieabhängigkeit der CTE im Timing Mode



- **Verbesserung der CTE bei höheren Energien.**
Grund: Störstellenabsättigung



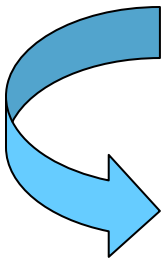
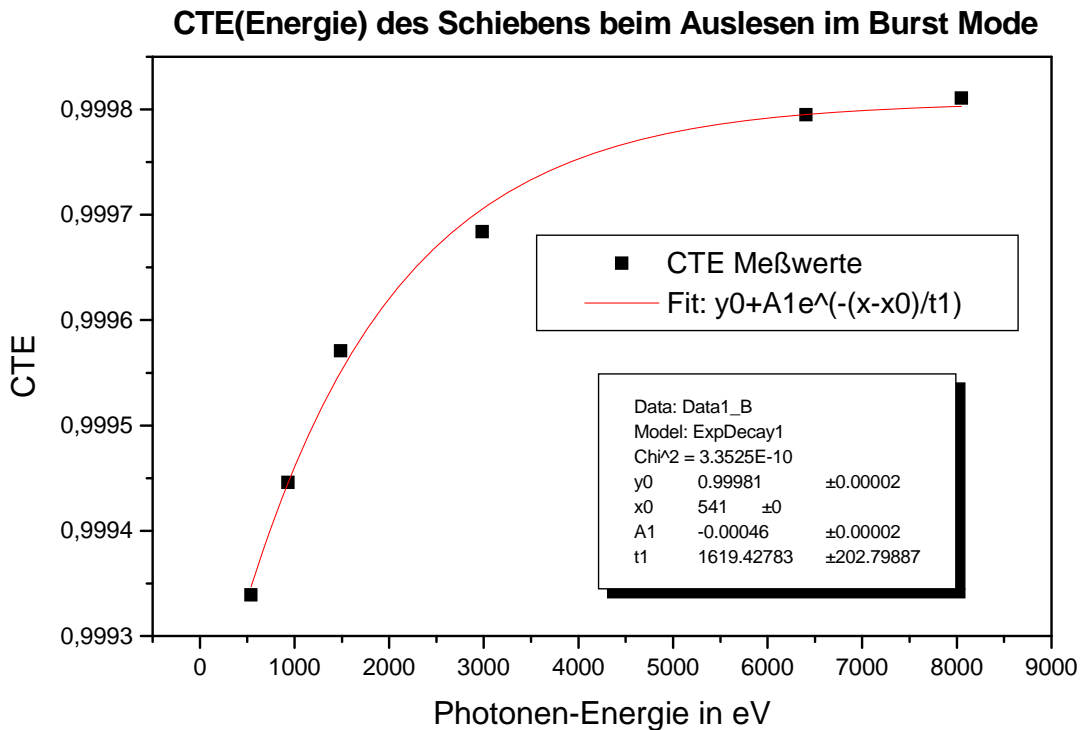
- **Verbesserung der CTE bei höheren Energien überträgt den Schwankungseffekt der Spalten**



4. Ergebnisse und Deutung



4.6 Energieabhängigkeit der CTE beim langsamen Schieben im Burst Mode



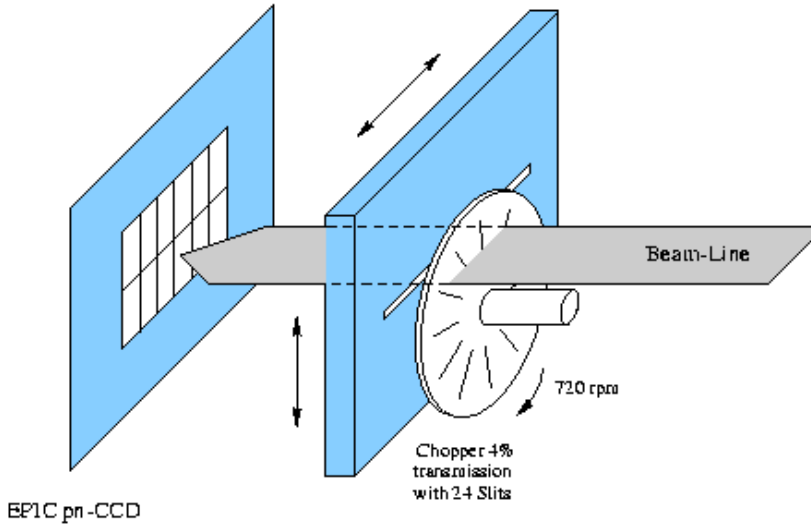
Wiederum Verbesserung der CTE aufgrund der Störstellenabsättigung bei höheren Energien



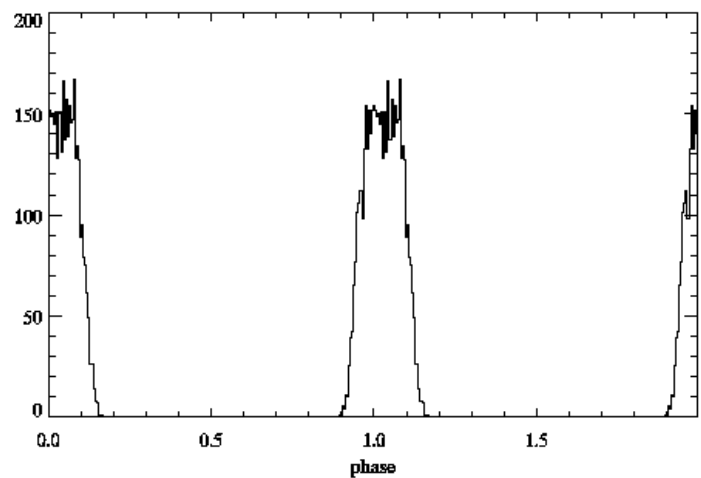
4. Ergebnisse und Deutung



4.7 Verifizierung der Zeitauflösung



**Pulsprofil
der Spalte 0
bei einer
Periode
von
3,4717 ms**

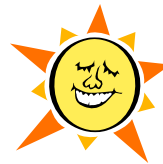
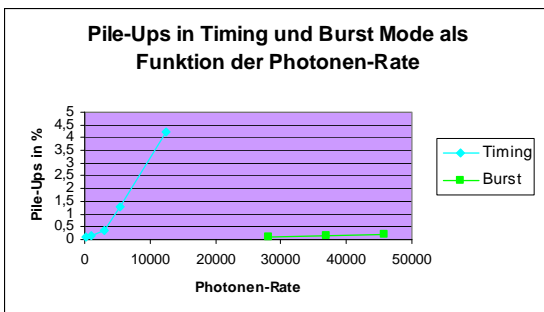
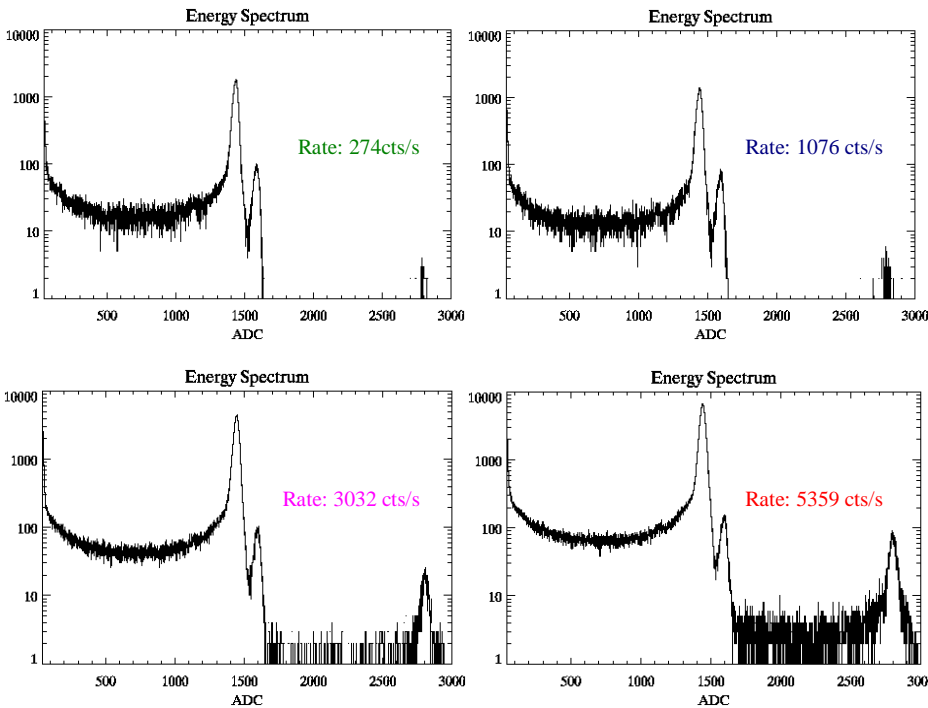




4. Ergebnisse und Deutung



4.8 Pile-Up-Verhalten für Punktquellen

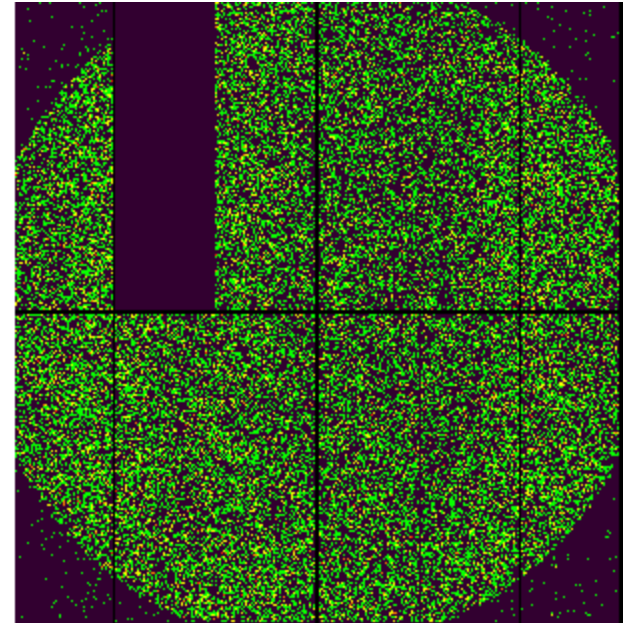
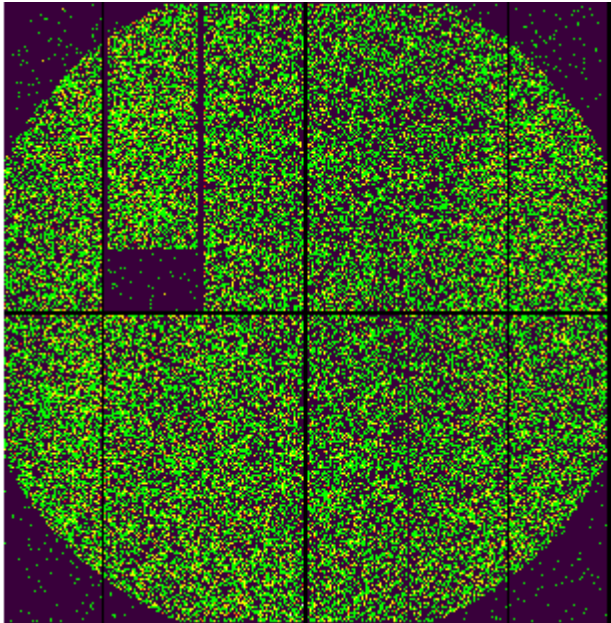


MAXI kann extrem helle Punktquellen beobachten!



5. Ausblick

5.1 Störfall an der FM-Kamera



Kurzschluß in Quadrant 0, aufgetreten nach Termal-Vakuum-Test

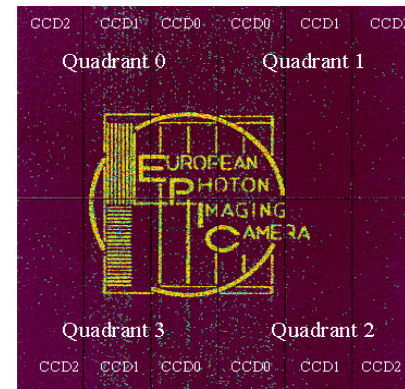


5. Ausblick



5.2 Flight Spare Modell

- Inzwischen wurde die Flight Spare-Kamera ebenfalls in Orsay kalibriert.
- 6. November: Abgabe der besser funktionierenden FS-Kamera an die ESA



Start von XMM: 21. Januar 2000

