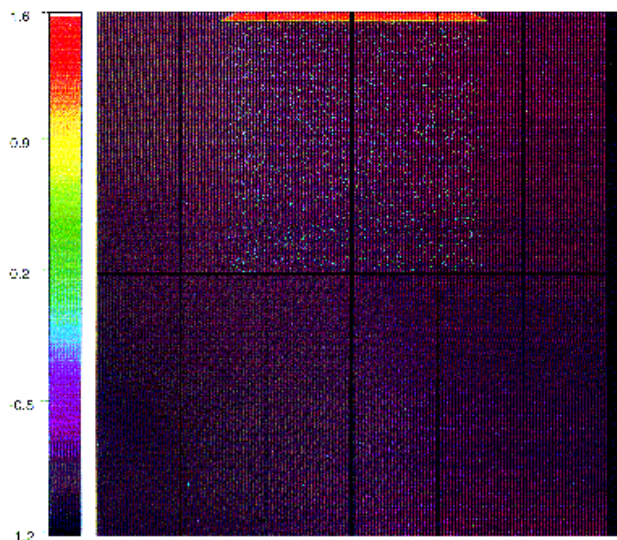


## 6. Methoden zur Eichung des pn-CCDs

### 6.1 Gain und Amplification - Die Schlitzmethode

Um die in 4.6.1 besprochenen Gain-Faktoren und die Amplification unabhängig von der CTE zu bestimmen, geht man folgendermaßen vor:



**Abbildung 6-1: Schlitzmessung im Full Frame Mode, visualisiert mit "on"**

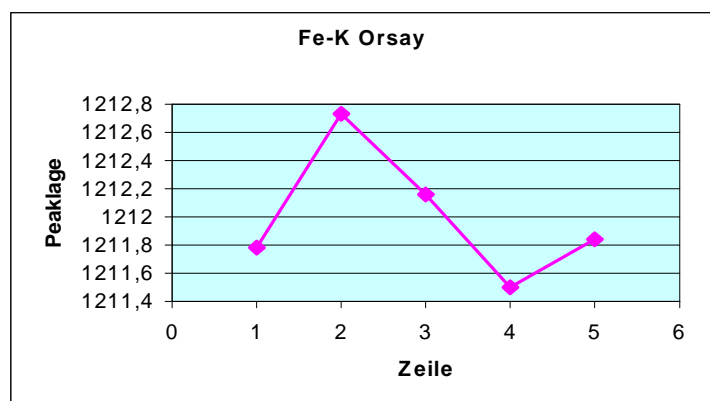
Man bestrahlt im Full Frame Mode nur die ersten fünf Zeilen des pn-CCDs. Dazu benutzt man eine Blende, die Photonen nur durch einen Schlitz durchläßt. Abbildung 6-1 zeigt die Hardcopy der online-Beobachtung einer solchen Messung. Wenn es aus Justage-Gründen nicht möglich ist, genau fünf Zeilen zu bestrahlen, sondern sich der Schlitz auf mehr als fünf Zeilen erstreckt, kann dies in der Auswertung korrigiert werden, indem die überflüssig bestrahlten Zeilen von „flag“ durch ein gesetztes Fenster ignoriert werden und so nicht in die Auswertung eingehen.

Da die generierte Ladung nur mindestens einmal und höchstens fünfmal geschoben wird, geht man davon aus, daß der Ladungsverlust, der durch diesen gering-

fügigen Schiebeprozess hervorgerufen wird, zu vernachlässigen ist. Um dies zu verifizieren, wurde die detektierte Energie in jeder der fünf Zeilen separat betrachtet, ohne eine CTE-Korrektur dafür durchzuführen.

Wie man in Abbildung 6-2 sieht, ist die Peaklage der eingestrahnten Energie in den ersten fünf Zeilen nur um 0,1% unterschiedlich und weder monoton fallend noch wachsend mit der Zeile. Deshalb wird für die Bestimmung der Gain und Amplification in einer ersten Auswertung auf eine CTE-Korrektur verzichtet.

Nun kann die Peaklage der eingestrahnten Photonen in jeder Spalte bestimmt und daraus die Amplification berechnet werden.



**Abbildung 6-2: Peaklage von Fe-K in den ersten Zeilen von CCD 0 Quadrant 0**

Es gilt:

$$\text{Amplification} = \frac{\text{Peaklage in ADC}}{\text{eingestrahlte Photonenenergie in eV}} \quad \text{Gleichung 6-1}$$

Da bei der Bestrahlung von nur einer Zeile die Anzahl der auftreffenden Photonen eine befriedigende Statistik nicht gewährleisten würde, bestrahlt man fünf Zeilen.

Die gleiche Messung kann nun für verschiedene Energien, Raten und Temperaturen durchgeführt werden. Dabei wird jedoch immer nur ein Parameter gleichzeitig verändert, um die Abhängigkeit der einzelnen Effekte trennen zu können. Außerdem kann man die Amplification in verschiedenen Modes auf diese Weise vergleichen. Dabei ist zu beachten, daß im Burst Mode Messungen am CAMEX sinnlos sind, da dieser Mode nur für Abbildungen in den letzten 20 Zeilen ausgelegt ist (siehe 4.4.4).

Mit Hilfe der Schlitzmessung kann man auch den Einfluß der Partial Events auf die Verschiebung der Peaklage zu kleineren Energien und die somit scheinbar schwächere Amplification in diesem Energiebereich studieren.

## 6.2 Diskussion verschiedener Kalibrationsmethoden der CTE für Timing und Burst Mode

In Timing und Burst Mode ist es aufgrund der verlorengegangenen Ortsinformation in Schieberichtung nicht mehr möglich, die CTE zu bestimmen, indem man nach einer monoenergetischen Flat-Field-Bestrahlung die in den einzelnen Zeilen deponierte Energie als Funktion der Zeile aufträgt und dann aus der Steigung dieses Plots die CTE berechnet. In Timing und Burst Mode kann man nicht mehr sagen, aus welcher Zeile eine bestimmte Information kommt. Es gibt nun verschiedene Methoden, die CTE auch in diesen Modes zu bestimmen. Die Vor- und Nachteile dieser Methoden sollen im folgenden erörtert werden. Bei allen Methoden wird das CTE-Modell aus Kapitel 4 verwendet. Gleichung 4-1 wird umgeformt nach:

$$CTE = Zeile \sqrt{\frac{E}{E_0}} \quad \text{Gleichung 6-2}$$

wobei  $E$  = gemessene Energie

$E_0$  = Energie, die ohne Ladungsverlust detektiert werden würde.

$Zeile$  gibt an, wie oft die generierte Ladung bis zur Ausleseanode geschoben wurde.

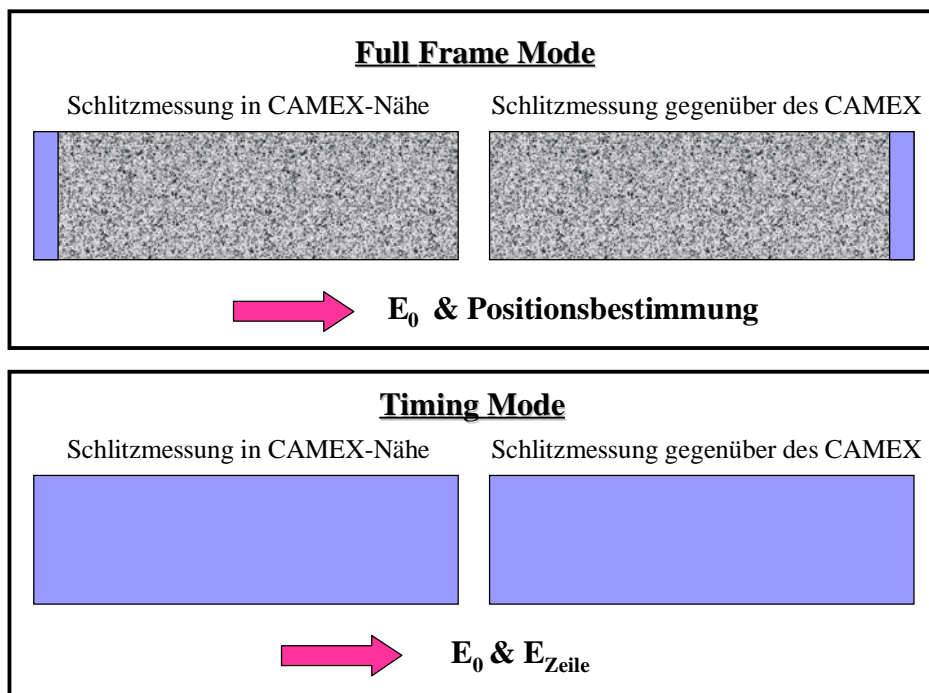
Die nun folgenden Methoden verlangen jeweils leichte Modifizierungen obiger Gleichung.

### 6.2.1 Schlitz-Schlitz-Methode

Man bestimmt (wie in 6.1) die Energie jeder Spalte in den ersten Zeilen in der Nähe des CAMEX. Daraus erhält man die  $E_0$ -Energie aus Gleichung 6-1.

Danach bestrahlt man weiter weg vom CAMEX wenige Zeilen und bestimmt ebenfalls die Energie aller Spalten dieser Zeilen. In Timing und Burst Mode kann man aufgrund der verlorengegangenen Ortsinformation in einer Dimension nicht mehr auflösen, in welche Zeilen Photonen eingestrahlt wurden. Daher ist es nötig, zu Beginn eine Full Frame Mode- oder Window Mode-Messung der Schlitzbestrahlung gegenüber des CAMEX zu machen, um so die bestrahlten Zeilen zu lokalisieren. Abbildung 6-1 veranschaulicht die Methode.

Jedes Photon, das im Bereich des Schlitzes auf das CCD fällt, wird in Timing und Burst Mode nun näherungsweise gleich weit geschoben; d. h. es erleidet auch die gleichen Ladungsverluste beim Schieben. Mit Hilfe der gemessenen Energie aus der Schlitzmessung gegenüber des CAMEX, der  $E_0$ -Energie aus der Schlitzmessung in direkter CAMEX-Nähe und der aus der Full Frame-Messung gewonnenen Kenntnis, in welche Zeilen gegenüber des CAMEX eingestrahlt wurde, kann nun die CTE jeder Spalte aus Gleichung 6-1 bestimmt werden. Dieses Verfahren kann wiederum für verschiedene Raten, Energien und Temperaturen durchgeführt werden.



**Abbildung 6-3: Die Schlitz-Schlitz-Methode**

Im Timing Mode geht die Ortsauflösung verloren und der Schlitz „verschmiert“ sich auf das gesamte CCD.

Bei der Schlitz-Schlitz-Methode muß ohne Spiegel gearbeitet werden, um die schlitzförmige Bestrahlung zu erreichen. Diese Methode hat den Vorteil, daß pro Messung die Rate über alle Spalten gleich ist und man so mit mehreren Messungen bei verschiedenen Raten die Ratenabhängigkeit jeder einzelnen Spalte erhalten kann. Der Nachteil ist allerdings, daß in einem

Bestrahlungsspalt über 5 Zeilen und 64 Spalten die erreichbare Rate sehr klein ist (im Vergleich zu den Raten, die in Timing und Burst Mode zu beobachtende Objekte wohl haben werden).

### 6.2.2 Schlitz-Out-Of-Fokus-Methode

Um die  $E_0$ -Energie zu erhalten, geht man bei der Schlitz-Out-Of-Fokus-Methode genauso vor wie in 6.2.1. Dann aber bestrahlt man gegenüber des CAMEX nicht in einem Spalt. Statt dessen bildet man eine Quelle mit Hilfe des Spiegels ab. Dabei positioniert man den Detektor nicht genau im Fokus des Spiegels, sondern etwas außerhalb dieses Bereichs, um eine scheibenförmige Abbildung und nicht eine Punktabbildung zu erhalten. Dies wird zuerst im Full Frame Mode zur Ortsbestimmung der Quellenabbildung durchgeführt und dann in Timing und Burst Mode bei verschiedenen Energien und Temperaturen wiederholt. Im Innern dieser Scheibe hat man eine hohe Strahlungsintensität, die nach außen hin abnimmt. Wiederholt man die Messung nun bei gleicher Zeilenposition des Fokus für mehrere Spaltenpositionen, so erreicht man eine unterschiedliche Intensitätsverteilung über die Spalten bei jeder der Messungen. Man kann die Position der Bestrahlung derart wählen, daß einzelne Spalten bei Messungen in verschiedenen Spaltenpositionen von unterschiedlichen Raten bestrahlt werden. So kann man durch Vergleich dieser Messungen eine Ratenabhängigkeit der CTE einzelner Spalten erhalten.

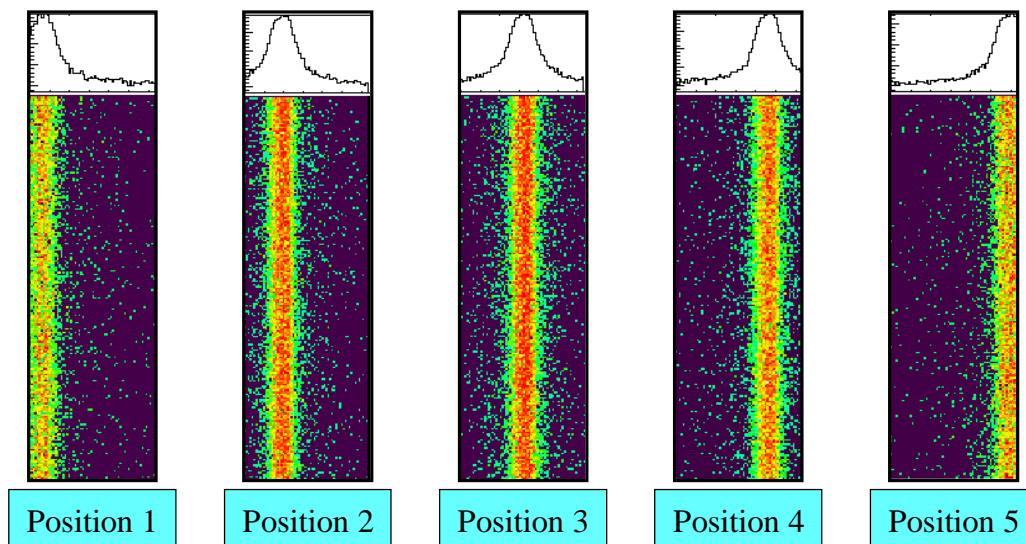


Abbildung 6-4: Die fünf verschiedenen Spaltenpositionen bei der Out-Of-Fokus-Messung

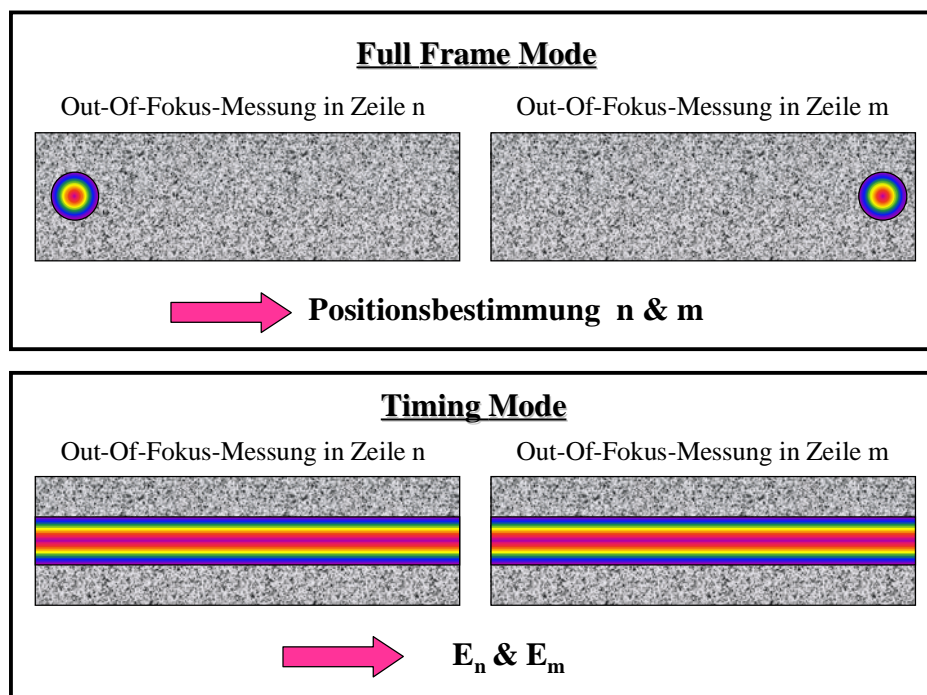
Der Vorteil dieser Methode ist: Mit Hilfe der Fokussierung der Quelle durch den Spiegel auf einen kleinen Bereich des CCDs können sehr hohe Raten erreicht werden.

Der Nachteil ist aber, daß aus Zeitgründen nicht beliebig viele Spaltenpositionen gemessen werden können und so für eine Spalte oft nur zwei verschiedene Raten zur Verfügung stehen. Abbildung 6-4 zeigt eine Zusammenstellung von fünf „Fokussmessungen“. Man erkennt, daß die Überlappungsbereiche, d.h. die Bereiche, in denen eine Spalte bei verschiedenen Raten untersucht werden kann, sehr klein sind.

Zudem kann man die Schlitzmessung nahe am CAMEX nicht für die vielen unterschiedlichen Raten, die die Intensitätsverteilung der Quellenabbildung mit sich bringt, durchführen. Man müßte also voraussetzen, daß die  $E_0$ -Energie ratenunabhängig ist, was allerdings mit einigen Schlitzmessungen bei verschiedener Rate in unmittelbarer CAMEX-Nähe gezeigt werden müßte.

### 6.2.3 Doppelte Out-Of-Fokus-Methode

Bei dieser Methode führt man eine Quellenabbildung bei Zeile n in CAMEX-Nähe und eine bei Zeile m gegenüber des CAMEX bei gleicher Rate durch. Beide Positionen werden durch Full Frame-Messungen bestimmt. Die Positionen müssen in der gleichen Spalte sein. Abbildung 6-5 verdeutlicht dieses Prinzip anhand einer schematischen Darstellung.



**Abbildung 6-5: Die doppelte Out-Of-Fokus-Methode**

Die im Full Frame Mode scheibenförmige Abbildung der Punktquelle „verschmiert“ im Timing Mode zu einem Streifen.

Für die detektierte Energie einer Spalte mit Fokus in Zeile n bzw. Zeile m gilt nach Gleichung 4-1:

$$E_n = E_0 \cdot CTE^n \quad \text{Gleichung 6-3}$$

$$E_m = E_0 \cdot CTE^m \quad \text{Gleichung 6-4}$$

wobei  $E_n$  = gemessene Energie aus Zeile n  
 $E_m$  = gemessene Energie aus Zeile m  
 $E_0$  = Energie, die ohne Ladungsverlust detektiert werden würde

Durch Division von 6-2 durch 6-3 und triviale Umformung erhält man:

$$CTE = \sqrt[n-m]{\frac{E_n}{E_m}} \quad \text{Gleichung 6-5}$$

Führt man danach die Messung der beiden Positionen für verschiedene Spalten durch, so erhält man die gleichen Intensitätsverteilungen wie in 6.2.3.

Diese Methode hat den Vorteil, daß die detektierten  $E_n$ - und  $E_m$ -Energien mit der gleichen Rate eingestrahlt werden und so unmittelbar miteinander verglichen werden können. Des weiteren können beide Abbildungen aufgrund der Fokussierung des Spiegels mit einer sehr hohen, Timing und Burst Mode angepaßten Rate einhergehen.

Ein Problem bleibt jedoch weiterhin, daß nicht beliebig viele Spaltenpositionen gemessen werden können und so pro Spalte nur wenige verschiedene Raten zustande kommen. Außerdem sind Messungen nach dieser Methode sehr aufwendig und zeitintensiv.

Grundsätzlich bestimmen alle drei Methoden die CTE unabhängig von der Amplification für einzelne Spalten. Somit ist es möglich, das Verhalten der CTE in Abhängigkeit verschiedener Parameter unabhängig von Gain und Amplification zu untersuchen. Sobald allerdings Aussagen über eine gemeinsame CTE eines gesamten CCD gemacht werden sollen, ist es nicht mehr möglich, die CTE von Gain und Amplification zu trennen.