

Monte-Carlo Simulationen zur Interaktion von Kosmischer Strahlung mit Röntgendetektoren im Orbit

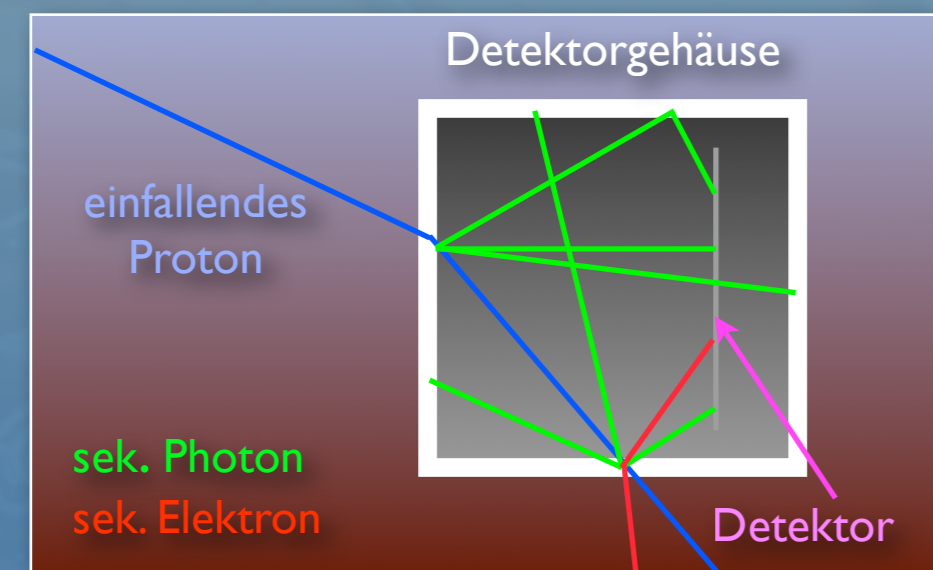
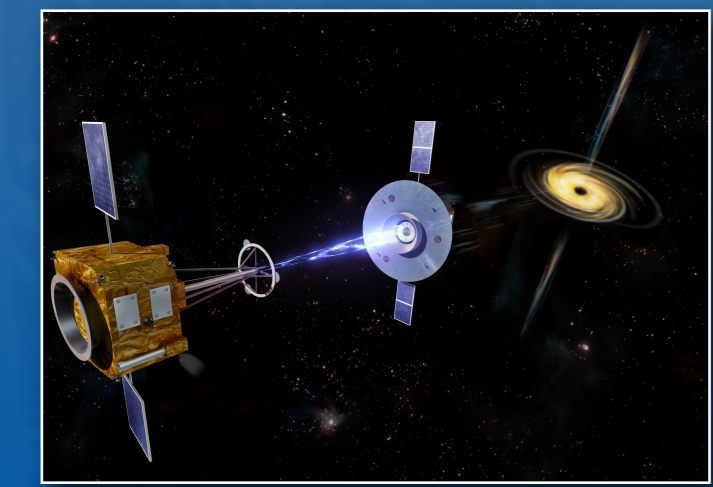
Motivation

Die Beobachtung vieler astronomischer Objekte im Röntgenbereich ist dadurch erschwert, dass die Detektion der wenigen Quellphotonen in Gegenwart eines die Messungen dominierenden Detektorhintergrundes stattfindet. Dieser Hintergrund entsteht u.a. durch die Wechselwirkung von hochenergetischer kosmischer Strahlung mit dem Detektor und die dadurch hervorgerufene Sekundärstrahlung.

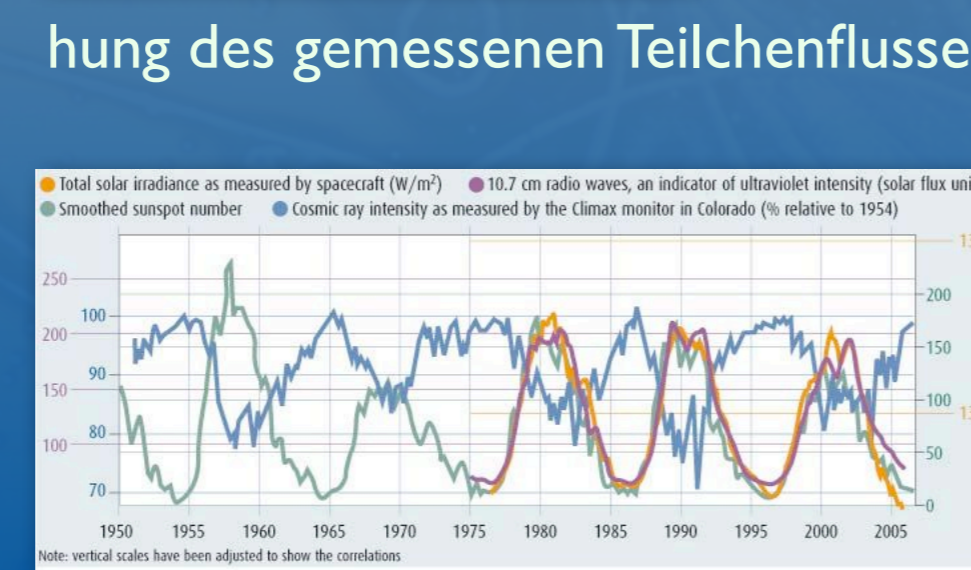
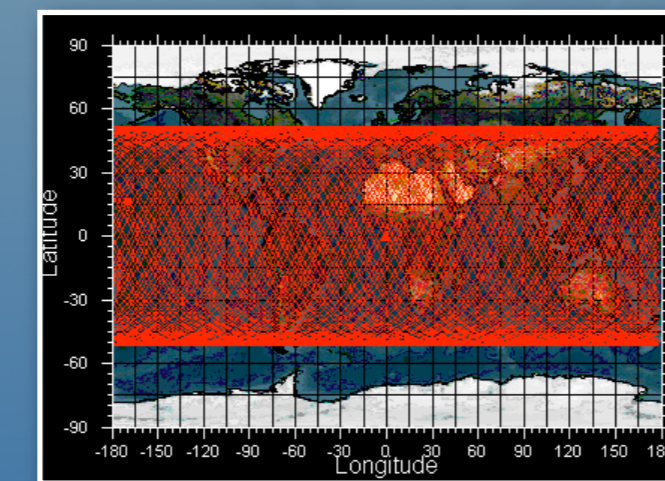
Neben den jeweiligen Charakteristika des verwendeten Detektortyps hat vor allem der Detektorhintergrund entscheidenden Einfluss auf die letztendlich erreichbare Empfindlichkeit des Instrumentes:

Quellen, die Photonenflüsse unterhalb eines aus dieser zentralen Größe ableitbaren, für das Experiment limitierenden, minimalen noch detektierbaren Flusses aufweisen, können nicht entdeckt bzw. beobachtet werden.

Um die Sensitivität eines Experimentes also zu optimieren, werden bei der Konzeption zukünftiger Instrumente große Anstrengungen unternommen, den Detektorhintergrund möglichst gering zu halten. Auch die Analyse des Hintergrundes bereits im Orbit befindlicher Detektoren trägt viel zum Verständnis der jeweiligen Ursachen bei.

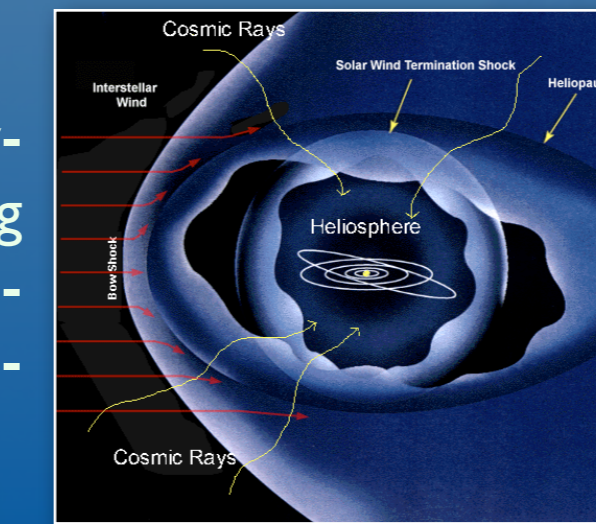
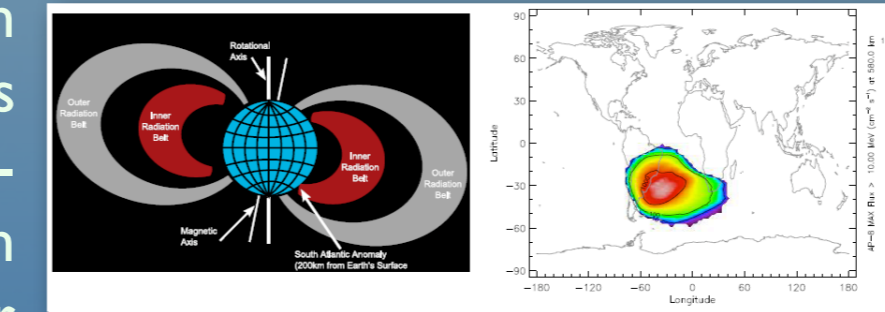


Strahlungsumgebung im Orbit



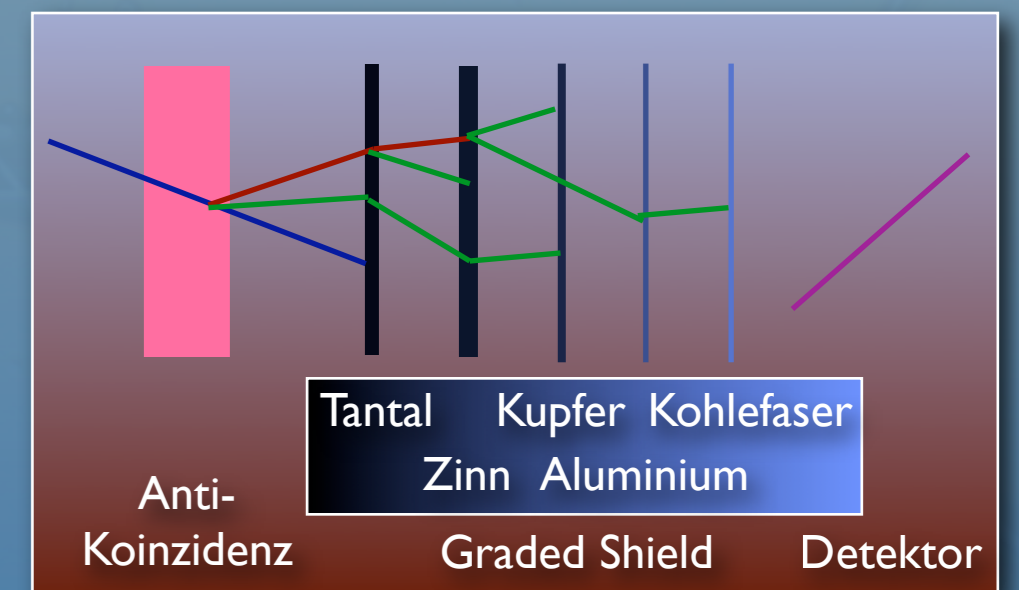
Die Anzahl, Art und Intensität der Wechselwirkungen zwischen kosmischen Teilchen und Detektor ist stark von den Parametern des gewählten Orbits und dem Missionszeitraum abhängig. Durch die Neigung und leichte Exzentrizität der magnetischen Achse der Erde gegenüber der geometrischen kommen die Van-Allen Strahlungsgürtel in der 'Südatlantik-Anomalie' der Erdoberfläche sehr nahe. Auf einem niedrigeren Orbit wie dem der Internationalen Raumstation ISS (links oben, mehrere Orbits sind überlagert), kommt es beim Durchflug der Strahlungsgürtel zu einer vielfachen Überhöhung des gemessenen Teilchenflusses (Abbildung rechts).

Während eine erhöhte Sonnenaktivität im Laufe des elfjährigen Sonnenzyklus zu einem intensiveren solaren Teilchenwind führt, nimmt gleichzeitig die Abschirmwirkung gegenüber der kosmischen Strahlung durch die ebenfalls erhöhte magnetische Aktivität der Sonne zu. Der Fluss an höherenergetischen Teilchen nimmt insgesamt dadurch ab.



Abschirmung & Antikoinzidenz

Um den Detektorhintergrund zu reduzieren, wird beim Design des Instrumentes darauf geachtet, dass die Innenseiten des Detektorgehäuses sowie alle Flächen, von denen Teilchen oder Strahlung auf den Detektor reflektiert werden könnten, mit so genanntem Graded-Z-Shield ausgekleidet werden. Dabei handelt es sich um eine etwa 5 mm dicke Sandwichverbindung aus Materialien, die von außen nach innen eine geringere Kernladungszahl Z und eine geringere Dichte aufweisen. Erzeugte Sekundärteilchen werden in den äußeren Lagen früh gestoppt und dadurch eventuell ausgelöste Fluoreszenzphotonen dann in den darauf folgenden Schichten. Dabei ist die Abfolge der Materialien so gewählt, dass die Photonen der vorigen Schichten in der nächsten zu 95% gestoppt werden und die Photonen der innersten Schicht bereits unterhalb des Arbeitsbereiches des Detektors liegen.

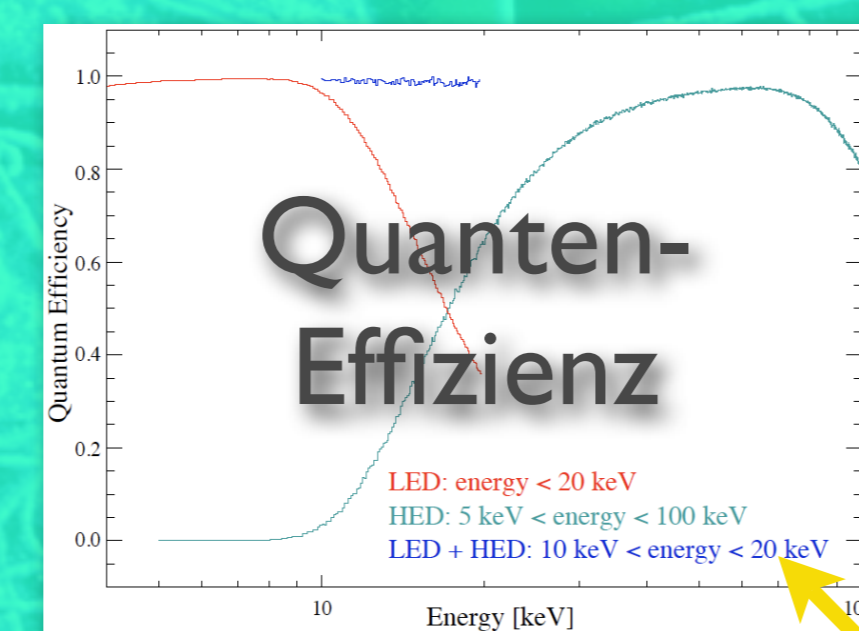
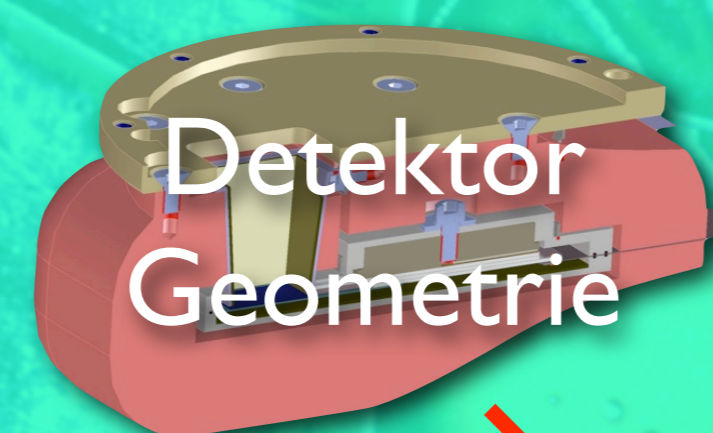
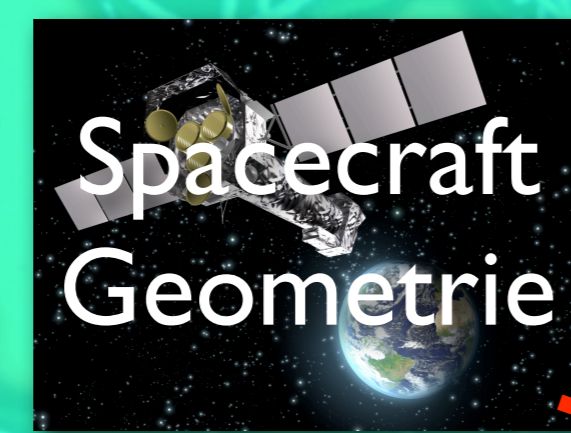


Um das Detektorgehäuse herum wird meist eine Antikoinzidenz-Detektion (AC) aufgebaut. Nur das gewünschte Gesichtsfeld des Detektors bleibt offen. Tritt gleichzeitig ein Ereignis im Detektor und in der AC auf, so kann das Detektorereignis dem Strahlungshintergrund zugeordnet und verworfen werden. Die AC besteht z.B. aus Plastik-Szintillatoren, in denen ein Lichtblitz erzeugt wird, wenn sie von hochenergetischen Teilchen durchquert wird.

Monte-Carlo Simulationen & Geant4

Monte-Carlo Simulationen physikalischer Prozesse haben in den letzten zehn Jahren enorm an Bedeutung gewonnen, nicht zuletzt durch die den Anwendern heute zur Verfügung stehende Rechenkapazität. Dabei wird die zu simulierende Physik jeder modellierten Wechselwirkung in Form einer Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung repräsentiert, die die möglichen Ausgänge des Vorganges wiedergibt. Ein Zufallszahlengenerator entscheidet dann im konkreten Fall über das Ergebnis. Mit zahlreichen Durchläufen lässt sich so die kombinierte Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung aller beteiligten Vorgänge, z.B. die des Ergebnisses einer Messung 'errechnen'.

Der im Moment umfassendste derartige Monte-Carlo Simulations-'Toolkit' für physikalische Vorgänge trägt den Namen Geant4 und wird in Zusammenarbeit mit dem japanischen Beschleunigerkonsortium KEK am europäischen Kernforschungszentrum CERN seit den 70er Jahren entwickelt. Geant4 umfasst den derzeit aktuellsten Stand der Kern- und Teilchenphysik und wird vor allem im Hochenergiebereich der Beschleunigerphysik ständigen Vergleichen mit Experimentdaten und theoretischen Vorhersagen unterzogen. Seit dem Jahr 2000 existiert auch eine kontinuierlich erweiterte Funktionsbibliothek für Wechselwirkungen bei niedrigeren Energien, bis hin zu wenigen eV. Damit sind nun auch Anwendungen in der Astrophysik sowie in der Medizin möglich.

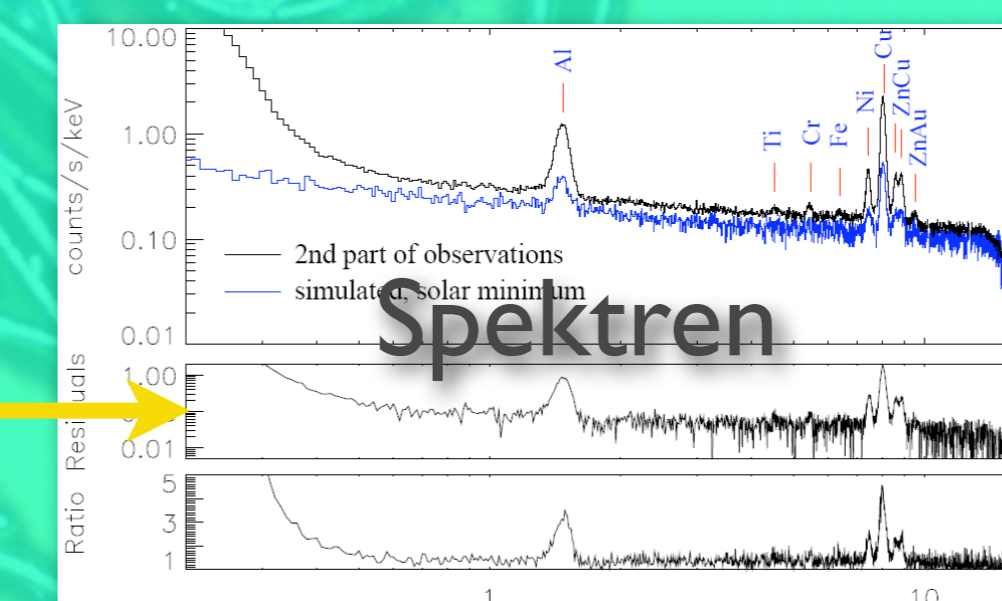


Geant4 toolkit



Events List

Time	Energy	Type
1.234	10.5	LED
1.235	5.2	HED
1.236	15.1	LED
1.237	8.7	HED

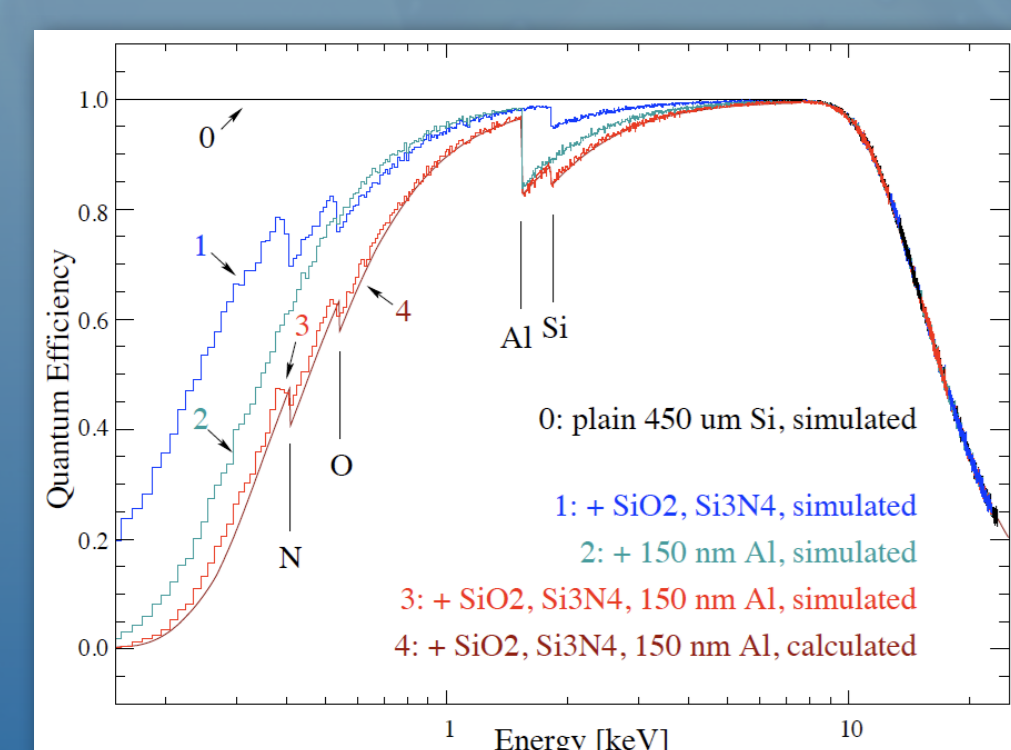


Überblick

- Bei der Planung zukünftiger Röntgenobservatorien wird ein möglichst geringer Detektorhintergrund angestrebt.
- Am IAAT verwenden wir Monte-Carlo Simulationen zur Abschätzung und Optimierung des Detektorhintergrundes.
- Die Simulation physikalischer Prozesse und Wechselwirkungen wird dabei vom Geant4-toolkit übernommen.
- Geant4 ist eine umfangreiche Funktionsbibliothek (objektorientiertes C++) zur Simulation der Bewegung einzelner Teilchen durch Materialien und elektromagnetische Felder.
- Seit etwa 10 Jahren wird Geant4 vermehrt auch bei Anwendungen in der Astrophysik und in der Medizin eingesetzt.

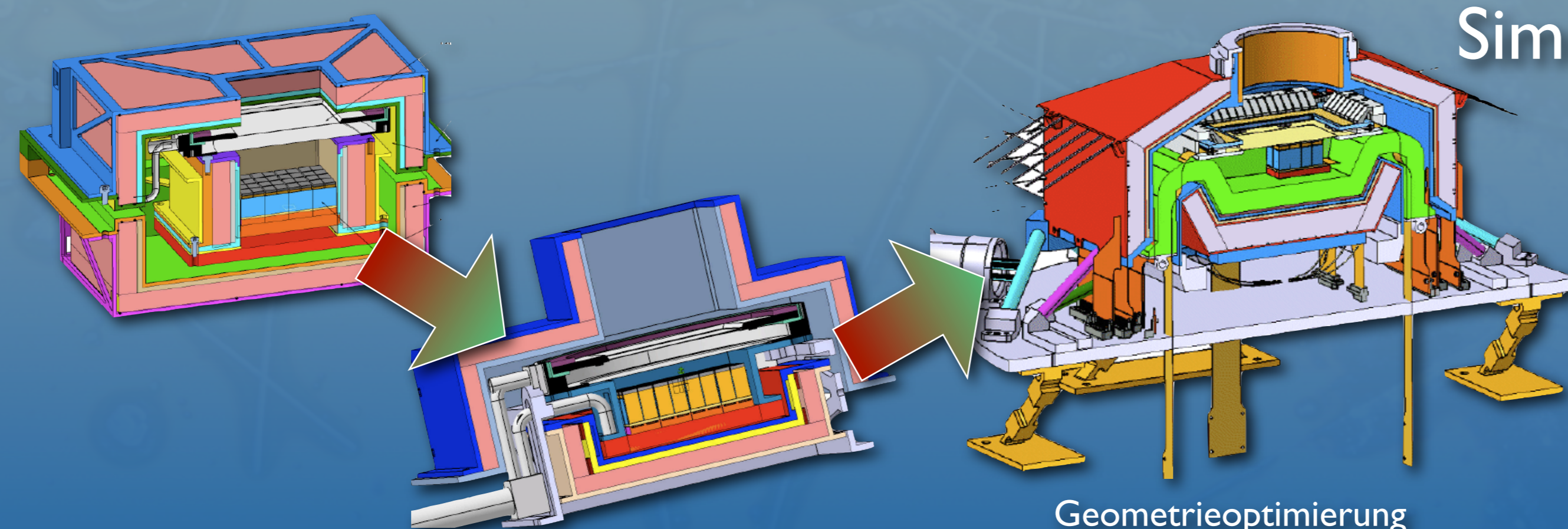
Kontakt: Gabi Warth, Chris Tenzer
email: warth@astro.uni-tuebingen.de, tenzer@astro.uni-tuebingen.de

Simulationsergebnisse



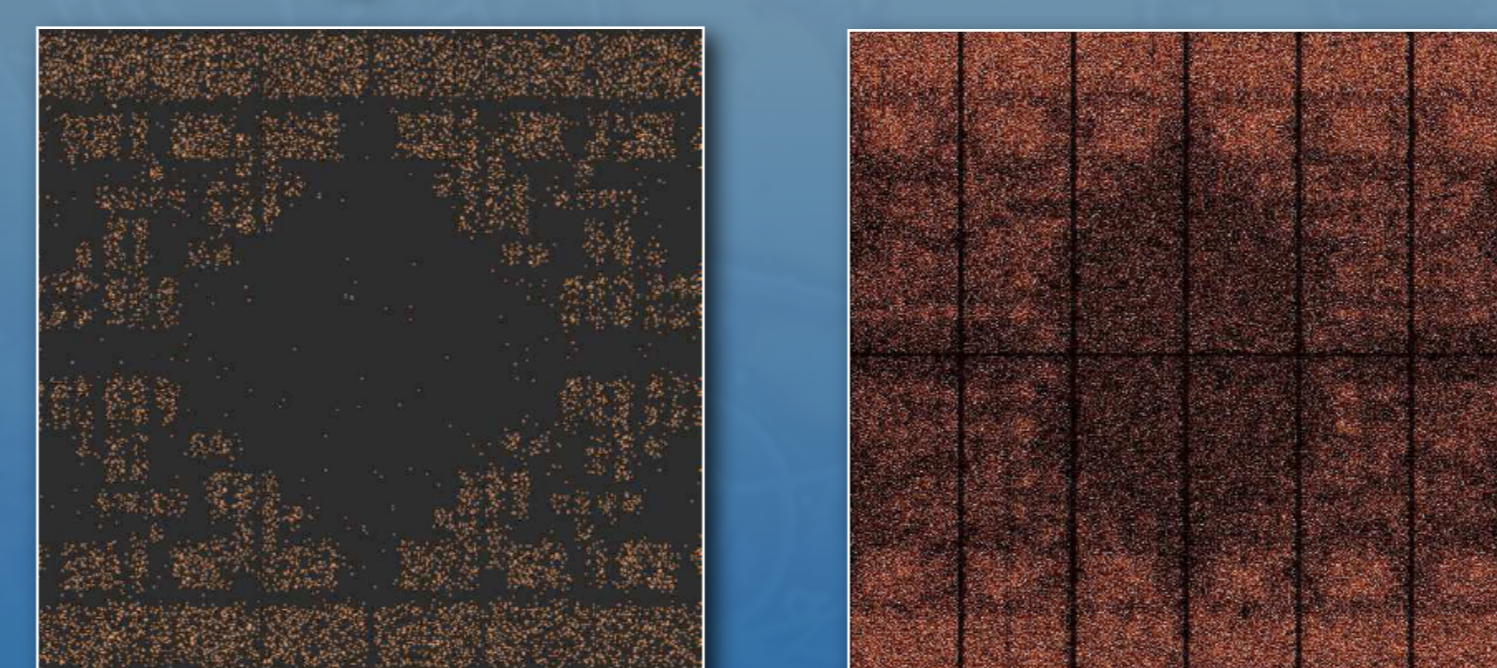
Quanteneffizienz

Die Quanteneffizienz gibt die Lichtausbeute des Detektors bei verschiedenen Photonenenergien an. Sie hängt hauptsächlich vom verwendeten Detektormaterial und dessen Dicke ab. Gezeigt ist die simulierte Quanteneffizienz für einen Silizium-Detektor, auf den verschiedene Filter aufgebracht werden, um Strahlung im UV-Bereich (links) herauszufiltern.



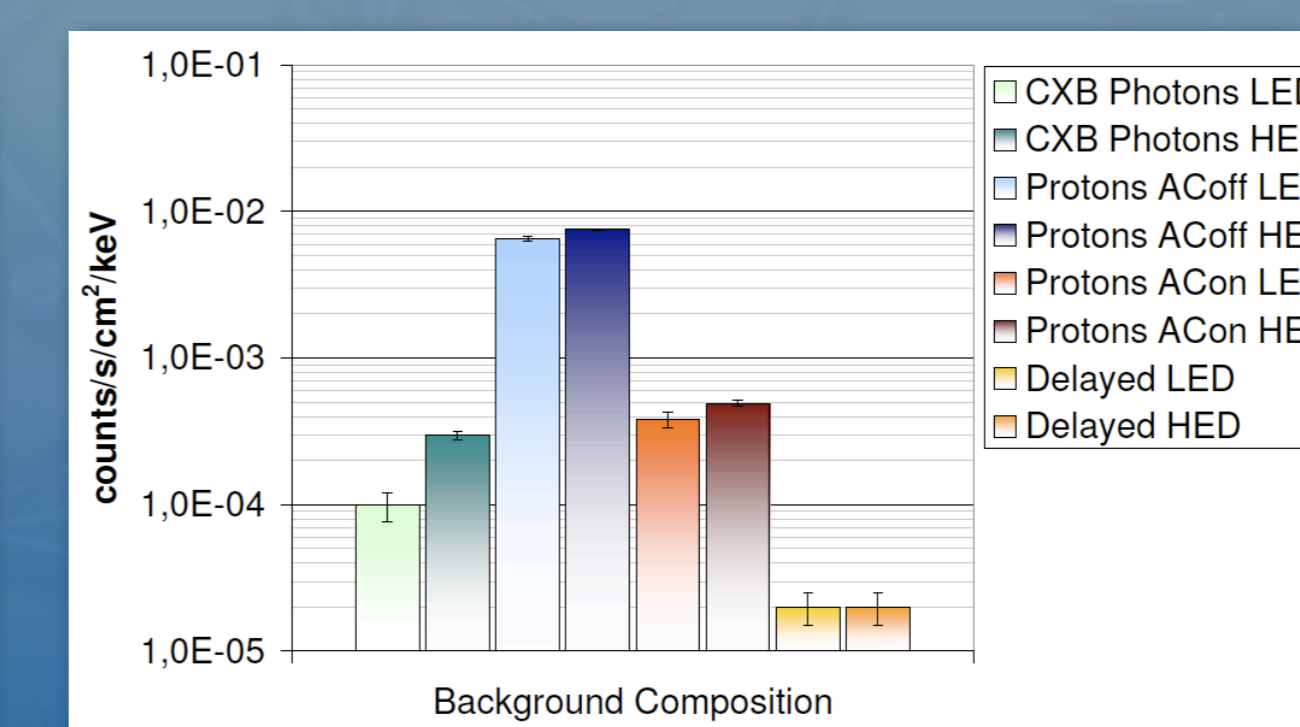
Geometrieoptimierung

Die Entwicklung einer optimalen Detektorgeometrie ist ein iterativer Prozess. Performance-Simulationen und Designänderungen wechseln sich ständig ab, bis ein möglichst niedriger Detektorhintergrund erreicht ist.



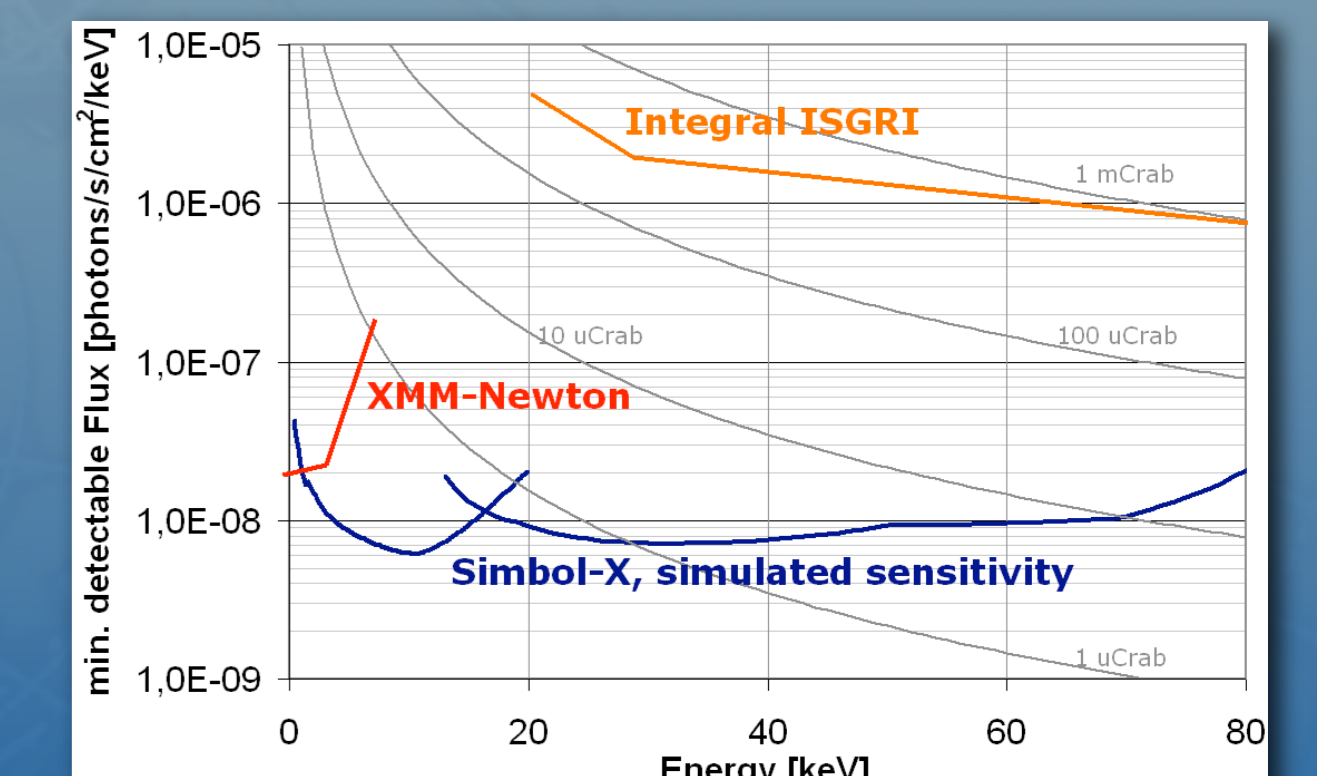
Räumliche Analyse des Hintergrundes

Verteilung der Hintergrundintensität auf dem Detektor am Beispiel von Fluoreszenzstrahlung nicht abgeschirmter Elektronikkomponenten der EPIC pn-camera an Bord von XMM-Newton (links: simuliert, rechts: beobachtet).



Zusammensetzung des Hintergrundes

Simulationen zeigen, welche Ursachen der verbleibende Detektorhintergrund hat. Dadurch können entsprechende Optimierungen an der Abschirmung vorgenommen werden.



Abschätzung der Performance

Ist der Detektorhintergrund aus Simulationen bekannt, so kann (unter Berücksichtigung weiterer Parameter) die letztendlich erreichbare Empfindlichkeit eines Experimentes abgeschätzt werden.