

Entwicklung eines schnellen Mehrzeilen-Detektors für die industrielle Computertomographie

Frank NACHTRAB^{1*}, Markus FIRSCHING¹, Thomas HOFMANN¹,
Harald NEUBAUER², Arne NOWAK², Norman UHLMANN¹

¹ Fraunhofer Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT, Flugplatzstraße 75, 90768 Fürth

² Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Am Wolfsmantel 33, 91058 Erlangen

* Email: frank.nachtrab@iis.fraunhofer.de

Kurzfassung

In diesem Beitrag präsentieren wir die Entwicklung eines schnellen Mehrzeilendetektors der für die industrielle Computertomographie optimiert ist. Mit einer hohen Bildrate, hoher Ortsauflösung und der Einsatzfähigkeit bis 450 kVp ist er besonders geeignet für Anwendungen wie die schnelle Aufnahme großer Objekte, Inline-CT oder zeitaufgelöste „4D-CT“.

In der industriellen Röntgenbildgebung sind Flachbilddetektoren („flat panel“) und Einzeilendetektoren Stand der Technik. Flat Panel sind bis zu einer Größe von 40 x 40 cm² erhältlich und haben den Vorteil, dass sich mit ihnen vielfältige Objekte vollständig abbilden lassen und so kurze Messzeiten möglich sind. Nachteile dieser Detektoren sind u.a. die Empfindlichkeit gegenüber Streustrahlung und das begrenzte Messfeld. Kommerziell erhältliche Zeilendetektoren sind in Längen bis mehreren Metern erhältlich und besitzen allesamt nur eine aktive Zeile. Auf Grund der starken Kollimierung der Röntgenstrahlung auf das schmale Detektorfenster ist der Einfluss von Streustrahlung geringer und die Bildqualität gegenüber Flat Panels höher. Da jedoch nur eine einzige aktive Zeile vorhanden ist, muss zur Erzeugung eines 2D-Bildes das Objekt abgerastert werden. Da für eine Computertomographie eines kompletten Objekts hunderte bis tausende 2D-Bilder notwendig sind, dauert eine CT mit einem Zeilendetektor wesentlich länger und wird deshalb trotz besserer Bildqualität nur in Ausnahmefällen angewendet.

Ein Mehrzeilendetektor stellt einen sehr guten Kompromiss zwischen Bildqualität und Aufnahmegeschwindigkeit dar. Der Hauptvorteil ist, dass die Aufnahmegeschwindigkeit gegenüber einem Einzeilendetektor direkt um den Faktor der Zeilenzahl erhöht wird, der Einfluss der Streustrahlung dabei aber gegenüber einem Flächendetektor weiterhin gering ist.

Die Spezifikation des finalen Detektors beinhaltet innovative Elemente wie eine variabel anpassbare Krümmung des Detektors und automatische In-Pixel-Gain-Umschaltung. Aus den Detektormodulen (je 10 cm mit 512 x 256 Pixeln, 200 µm pitch) lassen sich beliebige Detektorbreiten aufbauen. Bei voller Auflösung beträgt die maximale Bildrate 300 fps, sie kann durch Binning bis auf 1200 fps gesteigert werden. Mit zwei

Demonstrator-Modulen wurden bereits erste Charakterisierungen der Bildqualität durchgeführt.

ENTWICKLUNG EINES SCHNELLEN MEHRZEILEN-DETEKTORS FÜR DIE INDUSTRIELLE COMPUTERTOMOGRAPHIE



F. Nachtrab, M. Firsching, T. Hofmann, H. Neubauer, A. Nowak, N. Uhlmann
Kontakt: frank.nachtrab@iis.fraunhofer.de

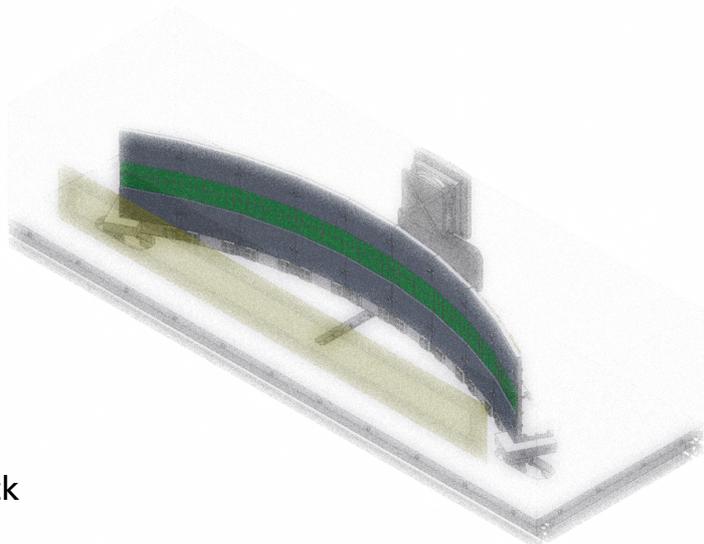
© Fraunhofer

Überblick

- Motivation
 - Einleitung, Motivation und Aufgabenstellung

- Projektvorstellung
 - Überblick
 - Konzept
 - Ergebnisse

- Zusammenfassung & Ausblick

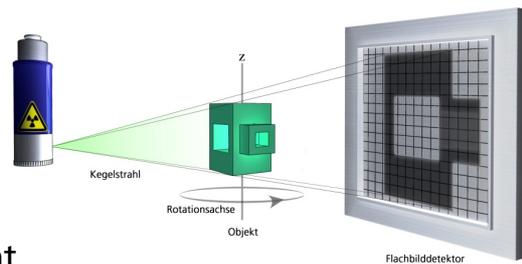
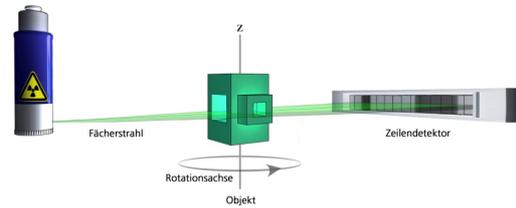


© Fraunhofer

Motivation

Einleitung

- Stetig steigender Bedarf an Lösungen der zerstörungsfreien Prüfung:
 - Inline-Prüfung sicherheitsrelevanter Bauelemente
 - 100%-Prüfung
 - Prüfung großer Objekte
- Besonders interessant hier: Computer-Tomographie (CT)
 - Zeilendetektor: Objekt wird gedreht und zeilenweise abgescannt
 - Flächendetektor: Objekt wird gedreht und dabei flächig geröntgt



Motivation

Motivation, Aufgabenstellung

- Zeilendetektoren:
 - + Gute Bildqualität
 - + Meist skalierbar → beliebig große Messobjekte untersuchbar
 - - Lange Aufnahmedauer für 3D
 - Flächendetektoren:
 - + Kürzere Messzeiten für 3D
 - - Bildqualität schlechter als bei Zeilendetektoren
 - - Nicht skalierbar → Objektgröße auf Detektorgröße beschränkt
- Momentan am Markt verfügbare Lösungen haben mehrere Nachteile
- Idee »Hybrid«: Mehrzeiliger CMOS-Röntgendetektor

Motivation

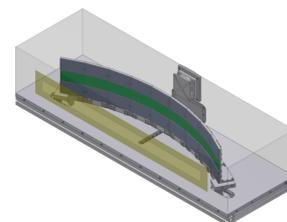
Geplante Einsatzgebiete

- Bisher keine vergleichbaren Detektoren erhältlich
- Mögliche Anwendungen für den geplanten Detektor:
 - CT großer Objekte (z.B. Fässer) bei geringer Messzeit
 - Ablösung von Einzeildetektoren in CT-Anwendungen
 - Ablösung von Flächendetektoren in CT-Anwendungen
 - Echtzeit-CT schmaler Objekte bzw. Objektschichten wie z.B. Erstarrungsprozesse von Metalllegierungen, Reißen von Zugproben
 - Einsatz im Bereich der Sicherheitstechnik zur schnellen Untersuchung von Gepäck und Frachtstücken bei geringer Dosisapplikation

Projektvorstellung

Projekt MuLiX

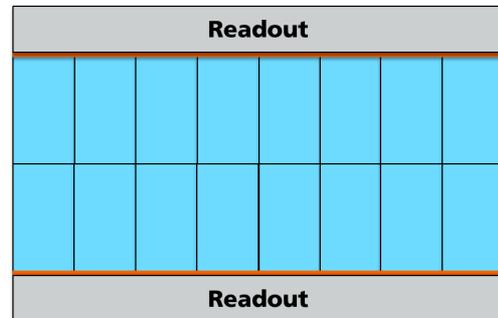
- Fraunhofer IIS internes Entwicklungsprojekt
- Aufbau von zwei Detektordemonstratoren
 - Fertigung der Sensoren auf MPW (24x22 Pixel)
 - Aufbau der Readout-/Systemelektronik
 - Volle Integration in System-Software
 - Charakterisierung Bildqualität
- Aufbau eines Mechanikdemonstrators
 - innovative Mechanik, ohne bildgebende Sensorik
 - Interaktivität für Präsentationen



Projektvorstellung

Detektorkonzept

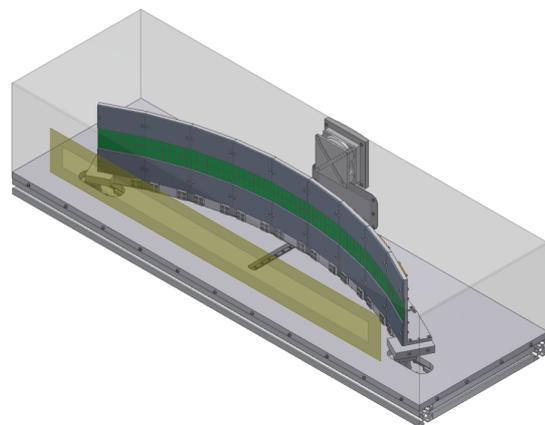
- Modularer Aufbau
 - Modul: 512 x 256 Pixel, 10 x 5 cm² aktive Fläche
 - Detektormodul aufgebaut aus 2 x 8 Einzelsensoren
 - Module aneinander reihbar
- ➔ Skalierbarer Detektor, große Länge machbar
- ➔ Anwendungsspezifischer Detektor möglich



Projektvorstellung

Krümmungskonzept

- Mechanischer Aufbau
 - Verschlechterung der Auflösung durch Schrägdurchstrahlung des Szintillators bei langen Detektoren
 - Lösung: gekrümmter Detektor
 - Problem: Krümmungsradius legt Fokus-Detektor-Abstand fest
- ➔ Völlig neuartiges Detektordesign zur flexiblen Einstellung des Krümmungsradius



Projektvorstellung

Variabler Radius



Mechanikdemonstrator
mit Detektor Mock-up

Gerade

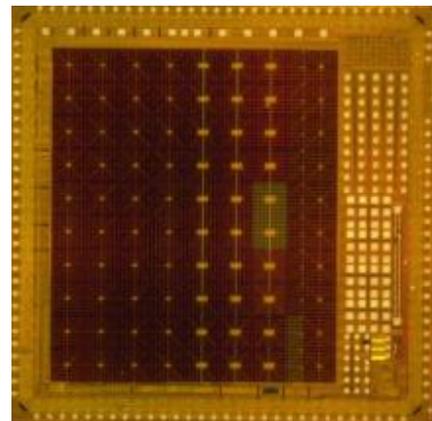


Gekrümmt

Projektvorstellung

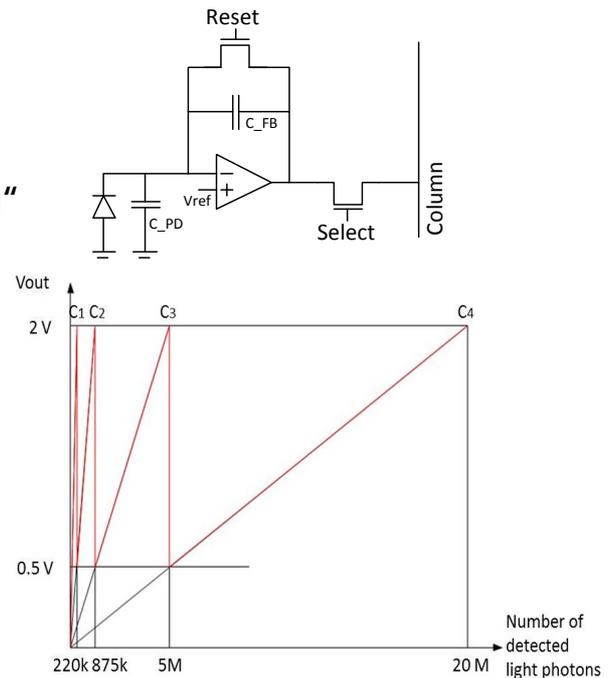
Pixel-Technologieauswahl

- Bestrahlung mit Röntgen verursacht Schäden an IC's
→ strahlungstolerante Technologie nötig
- geringe Lichtausbeute aus Szintillator
→ hohe Empfindlichkeit nötig
- Technologiescreening mit Testchip
- Auswahl der besten Technologie
- Evaluierung der bildgebenden Eigenschaften
(nur) dieser Technologie mit weiterem
Testchip



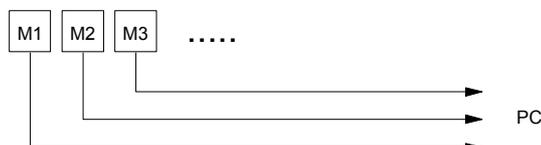
Projektvorstellung Bildsensor

- Optimierter CMOS Sensor
 - Strahlungstolerant (durch Design)
 - „automatic in pixel gain switching“
- Pixel pitch: $(200 \mu\text{m})^2$
mit Binning: $(400 \mu\text{m})^2$
- Bildrate: bis 300 fps
mit Binning: bis 1200 fps
- Dynamik: 14 Bit ADC
+ 2 Bit Pixel-Gain-Level



Projektvorstellung Datenauslese- und Datenübertragungskonzept

- Größe des Detektors ist skalierbar
 - Anzahl der Detektormodule ist variabel
 - Zu übertragende Datenmenge variabel
 - Datenrate pro Modul: bis zu 600 MBit/s
- Modulares, skalierbares Konzept für Auslesen und Übertragen der Daten
 - Sternförmiges Konzept
 - Jedes Modul ist über eigene Gigabit-Ethernet-Verbindung mit dem PC verbunden



Projektvorstellung

Demonstratoren

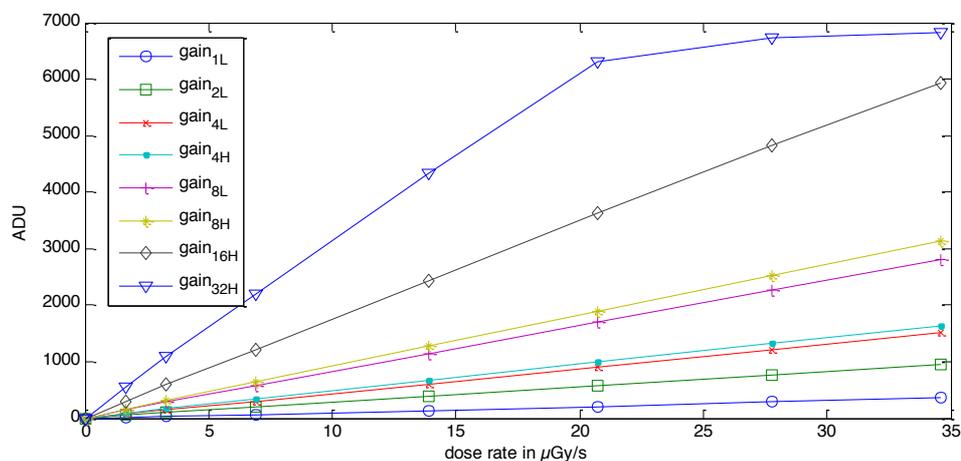
- Zwei funktionsfähige Detektordemonstratoren:
 - je 16 ASICs (ca. 5 x 5 mm²)
 - 384 x 22 Pixel (ca. 75 x 4,4 mm)
 - 0,3 mm GOS-Folie und 1,4 mm UFC strukturierter Szintillator
- Erfolgreiche Inbetriebnahme
- Gain-Setting momentan manuell
- Charakterisierung durchgeführt



Projektvorstellung

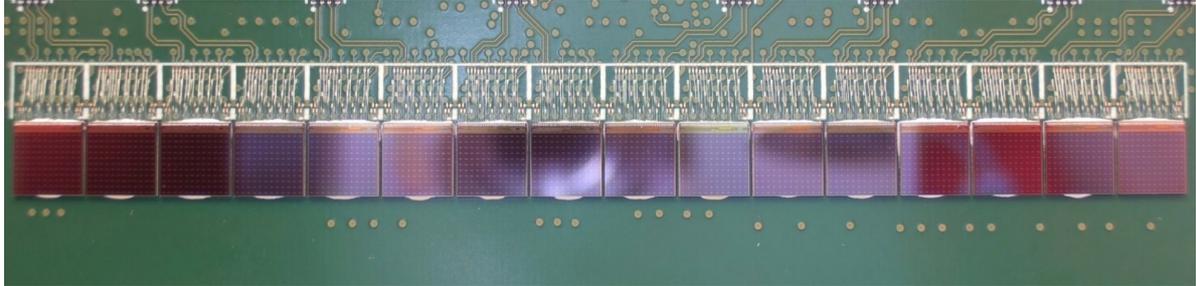
Linearität / Empfindlichkeit

- Test verschiedener Verstärkungsstufen
- Sehr hohe Empfindlichkeit, sehr gute Linearität
- Große Verstärkungsbreite (bis um den Faktor 32)



Projektvorstellung

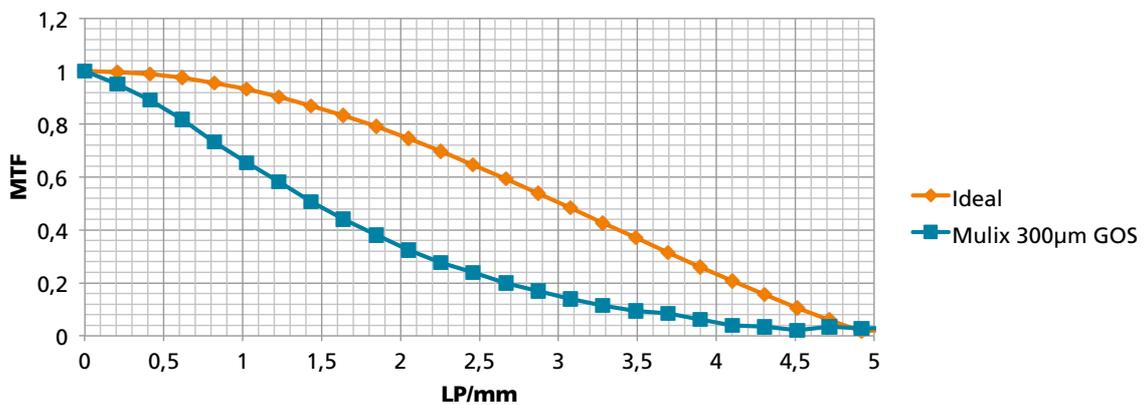
Messungen



Projektvorstellung

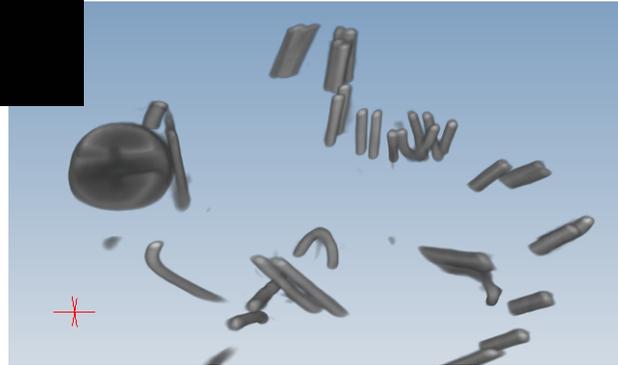
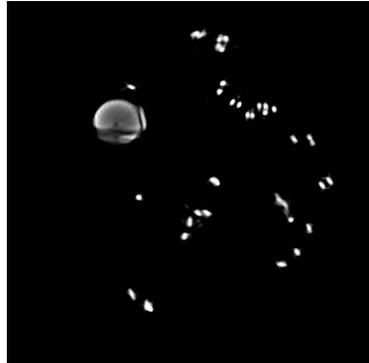
Messungen

MTF:



Projektvorstellung

CT-Messung



© Fraunhofer

 **Fraunhofer**
IIS

Zusammenfassung

Stärken des MuLiX Detektors:

- Geschwindigkeit (Einzelschicht & Volumen)
- Große Messobjekte, hohe Röntgenenergien
- Flexibilität (Routine- & Spezialanwendungen)

→ **Mögliche Anwendungen:**

- Echtzeit-CT (in-situ Beobachtung von Prozessen, wiss. Experimente)
- Schnelle CT großer Objekte (Messdienstleister allgemein; QS, Security, Bohrkernanalyse)
- CT-Anwendungen mit hohen Anforderungen an Bildqualität (z.B. Prüfung großer Metall-/Gußteile)

© Fraunhofer

 **Fraunhofer**
IIS

Ausblick

- Basistechnologie vorhanden
- Weiterentwicklung:
 - was ist Ihr konkreter Bedarf? Wunsch-Spezifikationen?
 - für konkrete Anwendungen spezifische Lösungen auf Projektbasis möglich
- für Weiterentwicklung Kooperationspartnern gesucht
 - Endanwender: Anwendungen, Spezifikationen, ...
 - Systemintegratoren: Markt, Erwartungen, ...
 - OEM-Partner, Vertriebspartner, Lizenznehmer, ...

Kontakt



Frank Nachtrab

frank.nachtrab@iis.fraunhofer.de

Telefon: +49 (0)911 58061 7564

Fraunhofer EZRT
Flugplatzstrasse 75
90768 Fürth