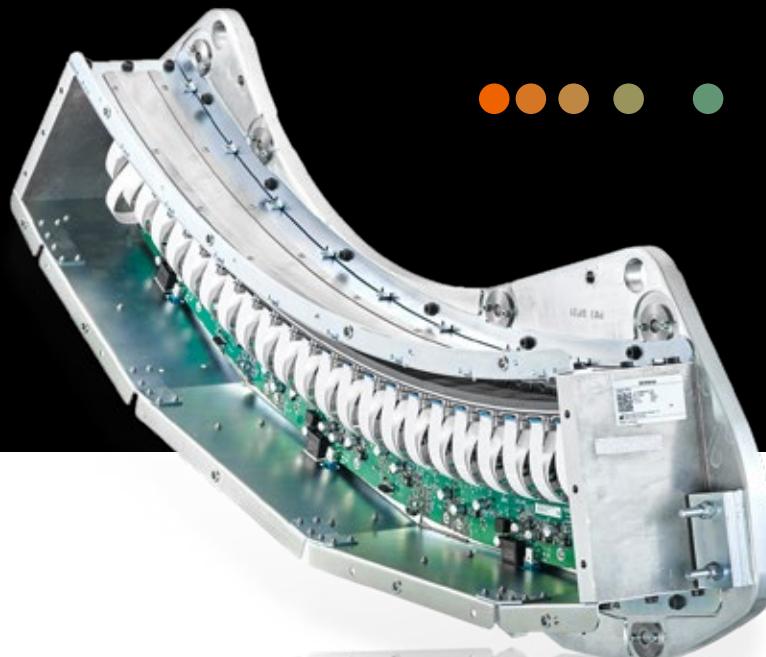


# Computed Tomography Detectors & Crystals

Cutting-edge technologies for  
Siemens Healthineers CT detectors

[siemens-healthineers.com/ufc](http://siemens-healthineers.com/ufc)



**SIEMENS**  
Healthineers



## Contents

Welcome to Detectors & Crystals	4
Origins of Computed Tomography	6
State-of-the-art detectors since 1996	8
Locations	12
The detector: Core component of every CT system	15
Operating principle: Energy-integrating detectors (EID)	16
CT scintillator material	18
Operating principle: Photon-counting Computed Tomography (PCCT)	21
From sensor to detector	24
Highly innovative front-end electronics	26
Detector resolution and z-coverage	28
Quality characteristics	30
Overview: Producing UFC and photon-counting detectors	34
OEM business for UFC	58
Sustainability and environmental protection	60

# Welcome to Detectors & Crystals

Pioneering CT technology since 1996

At Detectors & Crystals, we develop and manufacture ultra-modern X-ray detectors for computed tomography scanners.

Since we began in Forchheim in 1996, our detectors have been at the heart of all Computed Tomography scanners from Siemens Healthineers. Our CT scanners are reliable and very precise high-tech systems in use in medical facilities all over the world.

At Detectors & Crystals, an interdisciplinary team of experts in research and development, production process development, and process management is constantly working on cutting-edge technology. Innovation is part of our DNA as well as our daily mission.

As the first company to offer photon-counting detectors that deliver high image quality with surprisingly small radiation doses, we've revolutionized the field of CT scanning. Our ultra-fast scintillation ceramics are also used in our successful fleet of energy-integrating CT scanners.

We engage our creativity and passion to develop these technologies on a daily basis. With the construction of our new factory in Forchheim, we're making an investment in the future of healthcare technology.

But we're not just active in Forchheim: Learn more about our other locations in this brochure!

The manufacturing depth at our Detectors & Crystals Center is exceptionally high. We're intensively involved in developing the new production processes required for our highly precise and innovative manufacturing techniques.

From the raw material of scintillator ceramics (a high-purity powder made from rare earth elements) to the front-end sensors and the finished CT detector, the entire manufacturing chain is represented here at our Forchheim location.

In our new factory, we'll produce photon-counting sensors made of cadmium telluride, structure and connect them with highly integrated circuits, and install them in our ultra-modern CT detectors.

After intensive testing, the detectors are delivered to the CT manufacturing line, which you can visit here at the Forchheim site.

We cordially invite you to learn more about our unique competence center for detectors on the following pages. It's the only one of its kind in Europe!

Bei Detectors & Crystals entwickeln und produzieren wir hochmoderne Röntgendetektoren für Computertomographen.

Seit unserem Start 1996 in Forchheim bilden unsere Detektoren das Herz aller Computertomographen von Siemens Healthineers – High-Tech-Systeme, die medizinischen Einrichtungen weltweit zuverlässig und mit sehr hoher Präzision klinische Bildgebung ermöglichen.

Hier arbeitet ein interdisziplinäres Expertenteam auf den Gebieten Forschung und Entwicklung, Produktionsprozessentwicklung und Prozessmanagement kontinuierlich an Spitzentechnologie am Rande des technisch Machbaren. Innovation ist Teil unserer DNA und unser täglicher Antrieb. Wir revolutionieren die Computertomographie als erster Anbieter von quantenzählenden Detektoren mit hoher Bildqualität bei bislang unerreicht niedriger Strahlungsdosis. Gleichzeitig findet sich unsere sehr schnelle Szintillationskeramik in der erfolgreichsten Flotte von energieintegrierenden Computertomographen.

Wir entwickeln diese Technologien voller Kreativität und Leidenschaft tagtäglich weiter und investieren mit dem Bau unserer neuen Fabrik am Standort Forchheim in die Zukunft der Medizintechnik in Deutschland.

Wir sind jedoch nicht nur in Forchheim aktiv – erfahren Sie in unserer Broschüre auch mehr über unsere anderen Standorte!

Die Fertigungstiefe in unserem Detektorzentrum ist außergewöhnlich groß und erfordert hochgenaue und innovative Fertigungstechniken, für die wir uns intensiv mit der Entwicklung neuer Produktionsprozesse befassen.

Vom Ausgangsmaterial der Szintillatorkeramik (einem hochreinen Pulver der seltenen Erden) über die Frontend-Sensoren bis hin zum fertigen CT-Detektor ist die komplette Fertigungskette hier bei uns in Forchheim vertreten.

In unserer neuen Fabrik werden wir quantenzählende Sensoren aus Cadmiumtellurid herstellen, strukturieren und mit höchstintegrierten Schaltungen verbinden, um daraus unsere hochmodernen CT-Detektoren aufzubauen.



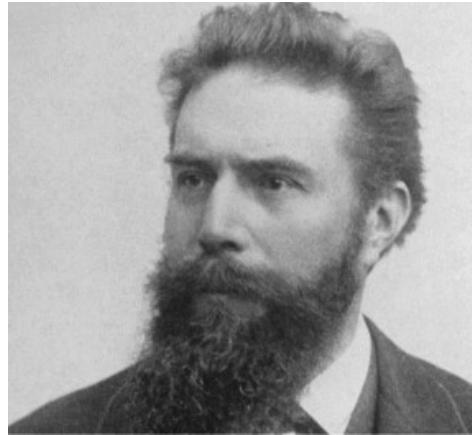
**Uwe Rückl**

VP SHS DI Computed Tomography  
Head of Detectors & Crystals

Nachdem die Detektoren bei uns auf Herz und Nieren geprüft wurden, gehen sie in die eigentliche CT-Fertigung, die Sie ebenfalls hier am Standort Forchheim besuchen können.

Wir laden Sie herzlich ein, unser europaweit einzigartiges Kompetenzzentrum für Detektoren auf den folgenden Seiten näher kennenzulernen!

# Origins of Computed Tomography



1895

On November 8, 1895, German physicist Wilhelm Conrad Röntgen made an important discovery in his lab at Würzburg: X-rays. For this breakthrough, he was awarded the first Nobel Prize in Physics in 1901.

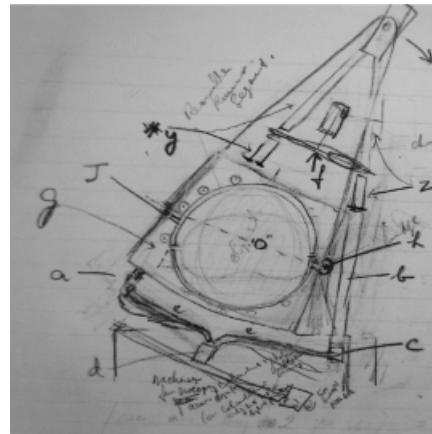
Am 8. November 1895 machte der deutsche Physiker Wilhelm Conrad Röntgen eine wichtige Entdeckung in seinem Würzburger Labor: die Röntgenstrahlung. Dafür erhielt er 1901 den allerersten Nobelpreis in Physik.



1895

With X-rays, it became possible for the first time in history to see inside a person's body without having to cut it open. However, anatomical structures often overlapped, and soft tissue couldn't be differentiated.

Mit der Röntgenstrahlung wurde es erstmals in der Geschichte möglich, die Anatomie eines Körpers zu betrachten, ohne ihn aufzuschneiden. Allerdings überlappten sich anatomische Strukturen häufig und Weichteilgewebe konnten oft nicht voneinander unterschieden werden.



1972

In 1972, English electrical engineer Godfrey Hounsfield and radiologist Jamie Ambrose introduced the first CT image from an experimental prototype. Hounsfield was awarded the Nobel Prize in Medicine in 1979.

1972 präsentierten der englische Elektroingenieur Godfrey Hounsfield und der Radiologe Jamie Ambrose das erste CT-Bild auf einem experimentellen Prototyp. Hounsfield wurde 1979 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet.



1975

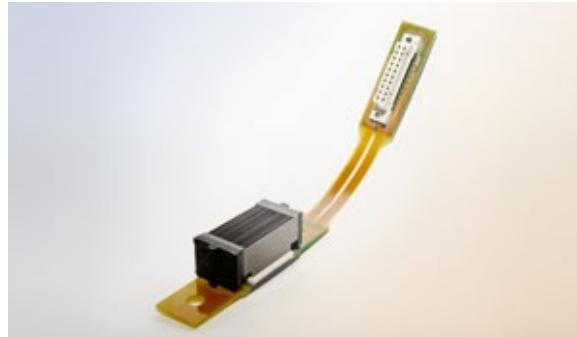
The first Computed Tomography scanner from Siemens was the SIRETOM, a head scanner that went into serial production in 1975. This marked the beginning of a wonderful success story. In 2025, we can proudly look back on a 50-year history packed with innovation and technology leadership.

Der erste Computertomograph von Siemens war das SIRETOM, ein Kopfscanner, der 1975 in Serienproduktion ging und den Beginn einer wunderbaren Erfolgsgeschichte markierte. Wir blicken in 2025 also stolz auf eine 50-jährige Geschichte voller Innovationen und Technologieführerschaft zurück.

# State-of-the-art detectors since 1996



1996 – Opening of the CT Detector Center



1997 – First UFC solid-state detector in SOMATOM Plus4



2003 – Development of multislice technology

## 1997

First UFC solid-state detector with special material for converting X-rays premieres in the SOMATOM Plus 4.

Erster UFC-Festkörperdetektor mit Spezialmaterial zur Umwandlung von Röntgenstrahlen erstmals im SOMATOM Plus 4.

## 1998

First multislice detector "Volume Zoom" with four slices reduces scan time and increases z-coverage.

Erster Mehrzeilendetektor „Volume Zoom“ mit vier Schichten reduziert Scanzeiten und erhöht z-Abdeckung.

## 2003

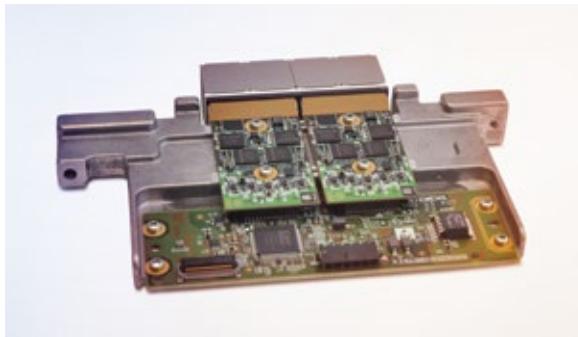
Multislice technology becomes the foundation for detectors with 6, 16, and 64 slices and large z-coverage.

Mehrzeilentechnologie ermöglicht Detektoren mit 6, 16 und 64 Schichten und großer z-Abdeckung.

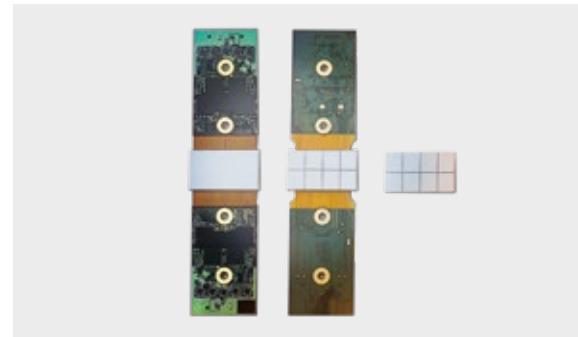
## 2005

World's first Dual Source scanner with two X-ray tubes and two detectors supports cardiac scanning without beta blockers.

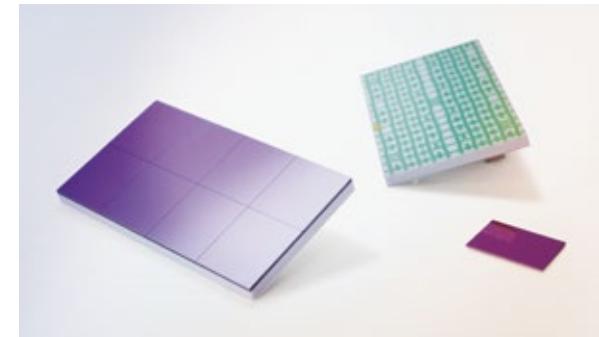
Erster Dual-Source-Scanner der Welt mit zwei Röntgenstrahlern und zwei Detektoren ermöglicht Kardio-bildgebung ohne Betablocker-Gabe.



2008 – Matrix detector module



2011 – Sillian tile technology for Stellar detector



2013 – Sillian tile technology

## 2008

First detector platform to provide tileable detector elements: Matrix technology enables 2 and 4 cm detectors (64 and 128 slices) for Single and Dual Source scanners. It establishes Dual Source technology for everyday use in the SOMATOM Definition Flash.

Erste Detektorplattform mit anreihbaren Detektorkomponenten: Matrix-Technologie ermöglicht 2- und 4-cm-Detektoren (64 und 128 Schichten) für Single- und Dual-Source-Scanner. Etabliert Dual-Source-Technologie für den Alltag mit dem SOMATOM Definition Flash.

## 2011

Sillian tile technology combines the photo diode and AD converter, resulting in reduced electronic noise and X-ray dose. The Stellar detector is the first fully integrated detector at Siemens Healthineers with this technology.

Die Einführung der Kacheltechnologie vereint Photodiode und AD-Konverter und führt zu geringerem elektronischen Rauschen und geringerer Strahlendosis. Der Stellar-Detektor ist der erste vollintegrierte Detektor bei Siemens Healthineers mit dieser Technologie.

## 2011

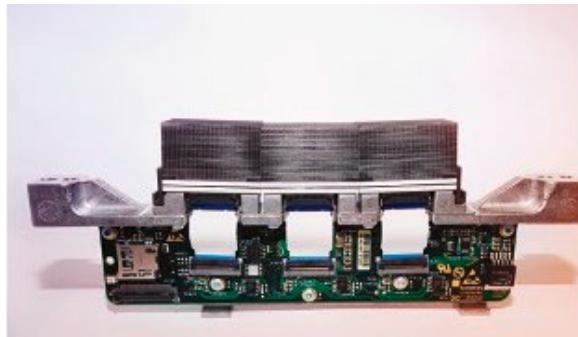
Japanese company Acrorad joins the Siemens Healthineers family. Located in Okinawa, Acrorad specializes in the development and production of CdTe-based X-ray detectors. This lays the foundation for the later introduction of photon-counting CT detectors.

Die japanische Firma Acrorad wird Teil der Siemens Healthineers Familie. Die Firma aus Okinawa ist auf die Entwicklung und Produktion von CdTe-basierten Röntgendetektoren spezialisiert. Dies bildet die Grundlage für die spätere Einführung quantenzählender Detektoren zur Anwendung in der CT.

## 2013

New developments in the evolution of Sillian tile technology increase the manufacturing depth and lead to more reliable production processes and products without fragile Flex PCBs.

Evolution der Kacheltechnologie: Neue Entwicklungen steigern die Fertigungstiefe und führen zu einem verlässlicheren Produktionsprozess und Produkten ohne brüchige Flex-PCBs.



2014 – Stellar module



2014 – In-house production of PDFFEE board



2017 – Introduction of the new UFC detector platform

#### 2014

Thanks to its higher resolution, our SOMATOM Force detector facilitates the development of Stellar Infinity Technology (192 slices). It's the first Siemens Healthineers detector with a 3D anti-scatter grid.

Dank höherer Auflösung ermöglicht unser SOMATOM-Force-Detektor die Stellar-Infinity-Technologie (mit 192 Schichten) und ist der erste Siemens Healthineers Detektor mit 3D-Kollimator.

#### 2014

Even better manufacturing depth: The new production process for flip-chip handling enables in-house production of PDFFEE boards for Stellar detectors.

Noch bessere Fertigungstiefe: Produktionsprozess für Flip-Chip-Verfahren ermöglicht die Eigenfertigung von PDFFEE-Boards für die Stellar-Detektoren.

#### 2017

Introduction of the UFC detector platform, the foundation of the new SOMATOM go. platform, using standardized components for 1, 2, and 4 cm Single Source scanners.

Einführung des UFC-Detektor-Baukastens, der neuen SOMATOM.go Platform mit standardisierten Komponenten für 1-, 2- und 4-cm-Single-Source-Scanner.

#### 2019

SOMATOM X.cite is the first product for the new SOMATOM X. platform. The combination of our modular detectors with the Vectron tube results in high image quality in Single Source systems.

Das SOMATOM X.cite ist das erste Produkt der neuen Platform SOMATOM.go. Die Kombination von Baukasten-Detektoren mit der Vectron-Tube ermöglicht hohe Bildqualität in Single-Source-Systemen.



2021 – Photon-counting sensors



2021 – Photon-counting detector module



2023 – Start of construction of the new photon-counting Sensor Fab

**2021**

NAEOTOM Alpha: The world's first medical CT system with a photon-counting detector. The Quantum Technology used in this system brings clinical advantages at low radiation doses.

Weltweit erster quantenzählender Detektor im medizinischen Computertomographie-System NAEOTOM Alpha. Die verwendete Quantum-Technologie ermöglicht klinische Vorteile bei niedriger Strahlendosis.

**2023**

SOMATOM Pro.Pulse is designed to make Dual Source technology more accessible to a broader range of clinical institutions.

SOMATOM Pro.Pulse wurde entwickelt, um die Dual-Source-Technologie einem breiteren Spektrum klinischer Einrichtungen zugänglich zu machen.

**2023**

Construction starts on the new crystal growing factory at Forchheim, which will expand the photon-counting capacities in addition to those at Acrorad.

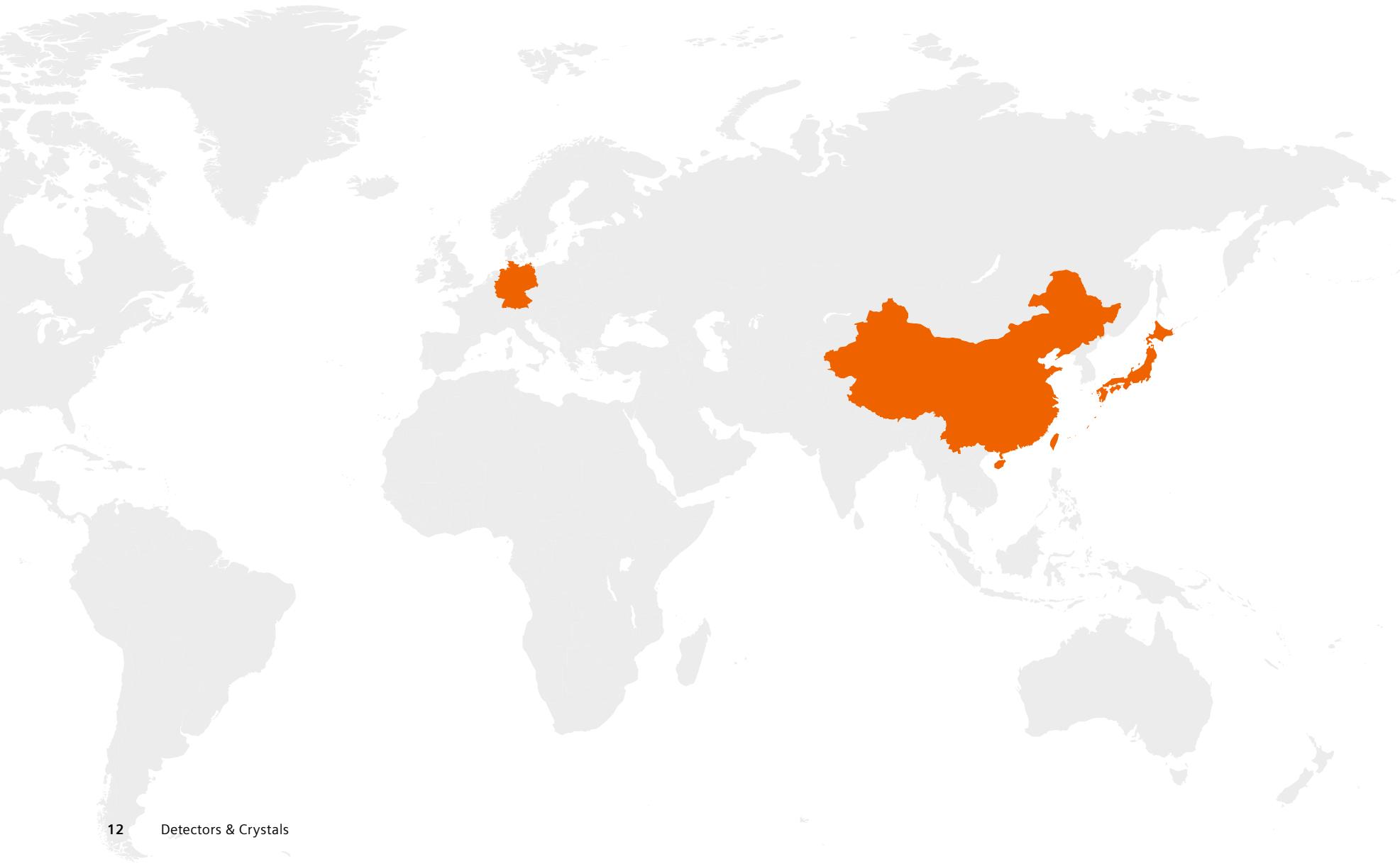
Baubeginn für die neue Photon-counting CT Sensor Fab in Forchheim, die in Ergänzung zu Acrorad die Kapazitäten für die Fertigung von quantenzählenden Detektoren erhöht.

**2024**

Introduction of the NAEOTOM Alpha class based on photon-counting Quantum technology with 4- and 6 cm-wide Dual Source and 6 cm-wide Single Source detectors.

Einführung der NAEOTOM Alpha class, basierend auf quantenzählender Technologie mit 4 und 6 cm breiten Dual-Source- und 6 cm breiten Single-Source-Detektoren.

# Locations





Detector development and production



Production modules and detectors



Photon-counting crystal growth and semiconductor manufacturing starting in 2026

## Detectors & Crystals Forchheim

### Development and manufacturing

The Detectors & Crystals Center has been located in Forchheim since 1996. The detector is the heart of a computer tomograph, and they're developed right here in Forchheim.

The Forchheim location also manages the production of UFC, arrays, and modules and the assembly and testing of both UFC-based detectors and photon-counting detectors.

Beginning in 2026, the sensors required for photon-counting detectors will also be produced in Forchheim. The production process will comprise crystal growth and dicing as well as metallization and lithography processes.

### Entwicklung & Herstellung

Seit 1996 besteht das Detectors & Crystals Center am Standort Forchheim. Der Detektor bildet das Herzstück eines Computertomographen und wird hier entwickelt.

Am Standort Forchheim erfolgen die Herstellung der UFC und die Array-Produktion sowie die Modulherstellung, Montage und Prüfung der Detektoren sowohl für UFC-basierte als auch für quantenzählende Detektoren.

Ab 2026 werden in Forchheim Sensoren für quantenzählende Detektoren hergestellt. Der Herstellungsprozess umfasst dabei sowohl Kristallzucht und Vereinzelung als auch Metallisierungs- und Lithographieprozesse.



## SSME Shanghai

### Module and DMS production

Module manufacturing and the assembly and testing of detectors take place at the Shanghai location.

### Modul- und DMS-Herstellung

Am Standort Shanghai erfolgen ebenfalls Modulherstellung, Montage und Prüfung der Detektoren.



## Acrorad Okinawa

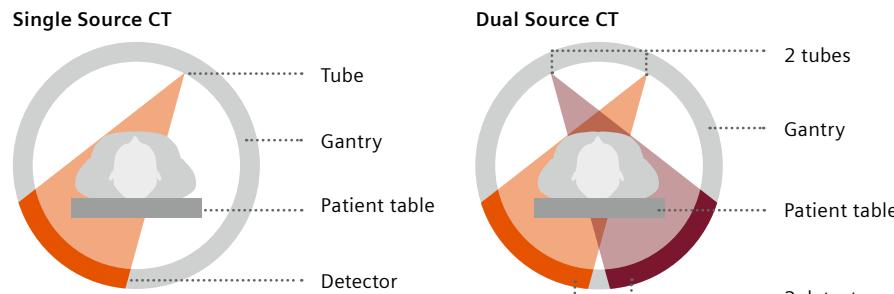
### Developing and producing materials for photon-counting detectors

Acrorad has a complete semiconductor production line. Starting with raw cadmium and tellurium, they grow high-purity crystals that are made into wafers. Surface-treated and pixel structures are created using photolithography. Finally, the sensors are diced, inspected, and sent to Germany.

Entwicklung und Produktion von Material für quantenzählende Detektoren

Acrorad verfügt über eine vollständige Halbleiter-Produktionslinie. Ausgehend von rohem Cadmium und Tellur, züchtet man dort hocheine Kristalle. Diese werden zu Wafern verarbeitet und oberflächenbehandelt; mithilfe der Photolithographie werden Pixelstrukturen erzeugt. Schließlich werden die Sensoren geschnitten, inspiziert und nach Deutschland geschickt.

# The detector: Core component of every CT system



In a Computed Tomography (CT) scanner, an X-ray tube and an X-ray detector rotate around a patient lying on a table in the classic configuration (Single Source). At Siemens Healthineers, we also use a configuration with two X-ray tubes and two detectors (Dual Source) to increase the temporal resolution of the CT system. This makes it better suited for cardiac and other precision imaging.

The main task of the detector is to register the X-rays attenuated by passing through the patient in one projection. Several thousand projections with a resolution in the range of microseconds are typically recorded in each rotation around the patient. Because the detector has anywhere from several hundred thousand to over one million pixels, the CT scan generates large amounts of data that are pre-processed on the detector and transferred to the stationary part of the CT. They're then further processed into reconstructed sectional images ("tomograms") – 3D reconstructions of the patient – and analyzed using specialized post-processing tools, depending on the clinical question, and finally read by the radiologist.

In einem Computertomographen (CT) rotieren in der klassischen Konfiguration (Single Source) eine Röntgenröhre und ein Röntgendetektor um einen Patienten, der auf einer Liege liegt. Bei Siemens Healthineers gibt es daneben eine Konfiguration mit zwei versetzten Röntgenröhren und zwei Detektoren (Dual Source) zur Erhöhung der zeitlichen Auflösung (und damit der besseren Anwendbarkeit in der Herzbildgebung).

Die Hauptaufgabe des Detektors ist es, die durch den Patienten geschwächte Röntgenstrahlung während einer Projektion zu registrieren, wobei pro Rotation um den Patienten üblicherweise mehrere Tausend Projektionen mit einer Auflösung im Bereich von Mikrosekunden zu erfassen sind. Da der Detektor mit mehreren Hunderttausend bis zu mehr als einer Million Pixel strukturiert ist, entstehen dabei sehr hohe Datenmengen, die auf dem Detektor vorverarbeitet und an den stationären Teil des CTs übertragen werden, wo sie dann zu Schnittbildern („Tomogrammen“) rekonstruiert, zu 3D-Rekonstruktionen des Patienten weiterverarbeitet werden und je nach klinischer Fragestellung mit spezialisierten Nachverarbeitungswerkzeugen analysiert und letztlich durch den Radiologen ausgewertet werden.

# Operating principle: Energy-integrating detectors (EID)

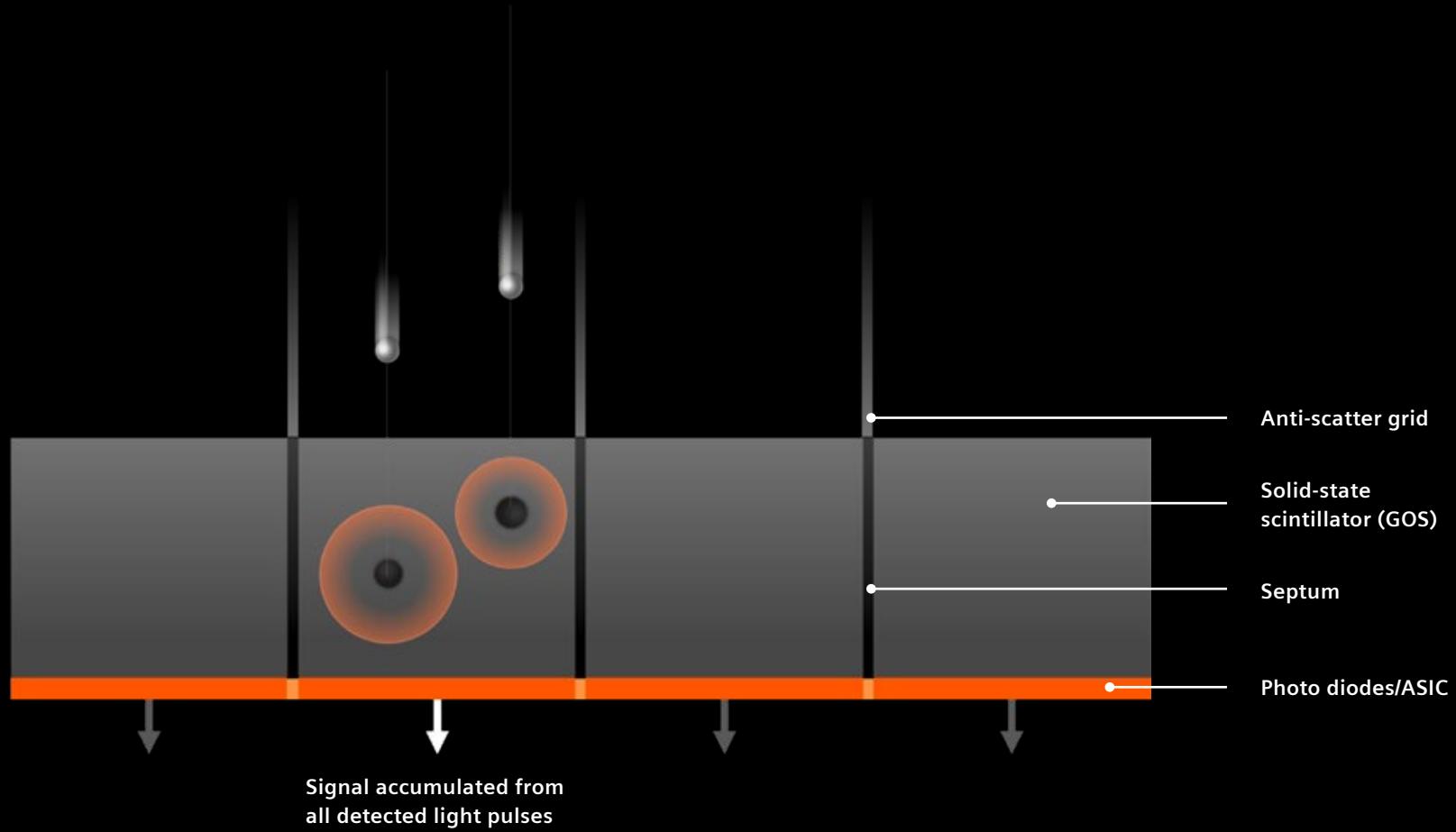
Before 2021, all CT detectors were designed based on the energy-integrating principle. Today they still represent the majority of detectors produced at our Detectors & Crystals Center. In the future, photon-counting technology – which was first introduced to the market by Siemens Healthineers – will take over a larger and larger share of the worldwide CT market.

Energy-integrating detectors use scintillator materials that convert the X-ray signal attenuated by the patient in two steps. First, scintillation in the detector material generates (visible) light proportional to the energy of the X-rays. At Siemens Healthineers, we call our scintillator material UFC (ultra-fast ceramics). In the second

step, this light is converted into an electrical signal by photo diodes that register all light within a defined time window. This means that energy information is lost in the process as the signals are combined in each projection, and the resulting signal is an energy-weighted cumulative signal that's further processed by front-end ASICs and other electronics.

Bis zum Jahr 2021 folgten alle CT-Detektoren dem energieintegrierenden Prinzip und stellen auch heute noch den Großteil der im SHS-CT-Detektorzentrum produzierten Detektoren. In Zukunft wird die von Siemens Healthineers zur Marktreife gebrachte quantenzählende Technologie kontinuierlich immer größere Teile des weltweiten CT-Marktes übernehmen. Energieintegrierende Detektoren verwenden Szintillatormaterialien, die das vom Patienten abgeschwächte Röntgensignal in zwei Schritten umwandeln. Zunächst erzeugt die Szintillation im Detektormaterial (sichtbares) Licht proportional zur Energie der Röntgenstrahlen. Bei Siemens Healthineers nennen wir

unser Szintillatormaterial UFC (ultra-fast ceramics). Im zweiten Schritt wird dieses Licht von Photodioden, die das gesamte Licht in einem bestimmten Zeitfenster (gemäß einer Projektion) registrieren, in ein elektrisches Signal umgewandelt. Dabei geht Energieinformation verloren, da die Signale in jeder Projektion kombiniert werden und das resultierende Signal ein energiegekennzeichnetes kumuliertes Signal ist, das in Frontend-ASICs und weiteren Elektronikkomponenten weiterverarbeitet wird.



**Two-step conversion: X-rays → light → electric current**

# CT scintillator material

Thanks to its fast decay behavior and low afterglow, our UFC scintillator material is ideal for CT systems with high rotational speeds and short integration periods.

The decay behavior of a scintillator is determined by the decay constant, which is 3  $\mu$ s for our UFC. This means that UFC is ideally suited for measurement intervals (integration periods) down to 100  $\mu$ s.

In contrast, the afterglow describes the signal behavior of a scintillator material over numerous integration periods and is therefore a decisive parameter for image quality. Our UFC shows an afterglow of 0.0005 percent after 40 ms, making it the ideal detector material for most CT applications on the market.

One of the definitive parameters for optimal dose utilization is the efficiency with which a scintillator

material absorbs X-ray radiation. Compared to other materials of the same thickness, our UFC scintillator material has greater X-ray absorption efficiency over a wide energy range. For example, a LuTAG detector needs to be 50 percent thicker in order to be capable of absorbing the same number of X-ray quanta as a UFC detector. Due to their greater thickness and the associated higher aspect ratio, the LuTAG detector's luminous efficiency is decreased.

What impact do these differences have on image quality? Even with short integration periods, our CT scanners don't require an artificial modification of the image quality via correction algorithms. Our fast and efficient scintillator material also enables a short scan time and consistently high image quality. Both of these factors mean a lower radiation dose for the patient.

Unser UFC-Szintillatormaterial eignet sich durch sein schnelles Abklingverhalten und sein geringes Nachleuchten für CT-Systeme mit hoher Rotationsgeschwindigkeit und kurzer Integrationszeit.

Das Abklingverhalten eines Szintillatormaterials ist gegeben durch die Abklingkonstante, die für unser UFC 3  $\mu$ s beträgt. Damit ist UFC für Messintervalle (Integrationszeiten) bis hinunter zu 100  $\mu$ s bestens geeignet.

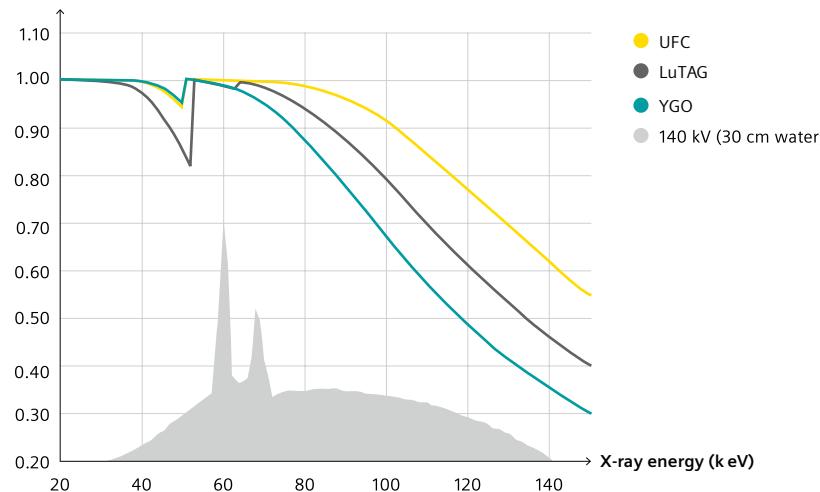
Das Nachleuchten beschreibt dagegen das Signalverhalten des Szintillatormaterials über viele Integrationszeiten und ist damit ein ausschlaggebender Parameter für die Bildqualität. Unser UFC zeigt ein Nachleuchten von 0,0005 % nach 40 ms und ist damit als Detektormaterial wie geschaffen für CT-Applikationen auf dem Markt.

Ein entscheidender Parameter für gute Dosisnutzung ist die Effizienz, mit der ein Szintillatormaterial die Röntgenstrahlung absorbiert. Unser

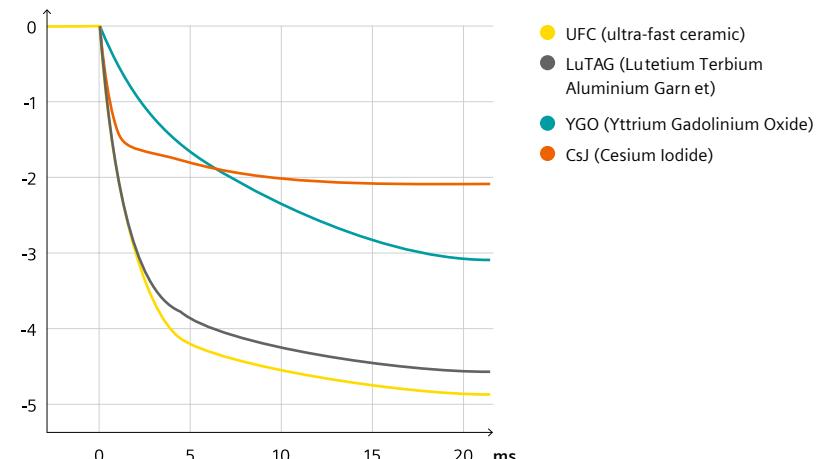
UFC-Szintillatormaterial besitzt im Vergleich zu anderen Materialien bei gleicher Dicke über einen weiten Energiebereich hinweg eine deutlich höhere Röntgenabsorptionseffizienz. So müsste beispielsweise ein LuTAG-Detektor um 50 % dicker ausgelegt werden, um die gleiche Anzahl an Röntgenquanten wie ein UFC-Detektor absorbieren zu können. Durch die größere Dicke und das damit verbundene höhere Aspektverhältnis verringert sich die Lichtausbeute bei LuTAG-Szintillatoren.

Wie wirken sich diese Unterschiede in der Bildqualität aus? Unsere Computertomographen benötigen auch bei kurzen Integrationszeiten keine künstliche Anpassung der Bildqualität durch Korrekturalgorithmen. Außerdem ermöglicht der Einsatz unseres schnellen und effizienten Szintillatormaterials kurze Scanzeiten bei gleichbleibend hoher Bildqualität. Beides führt zu einer geringeren Dosisbelastung für den Patienten.

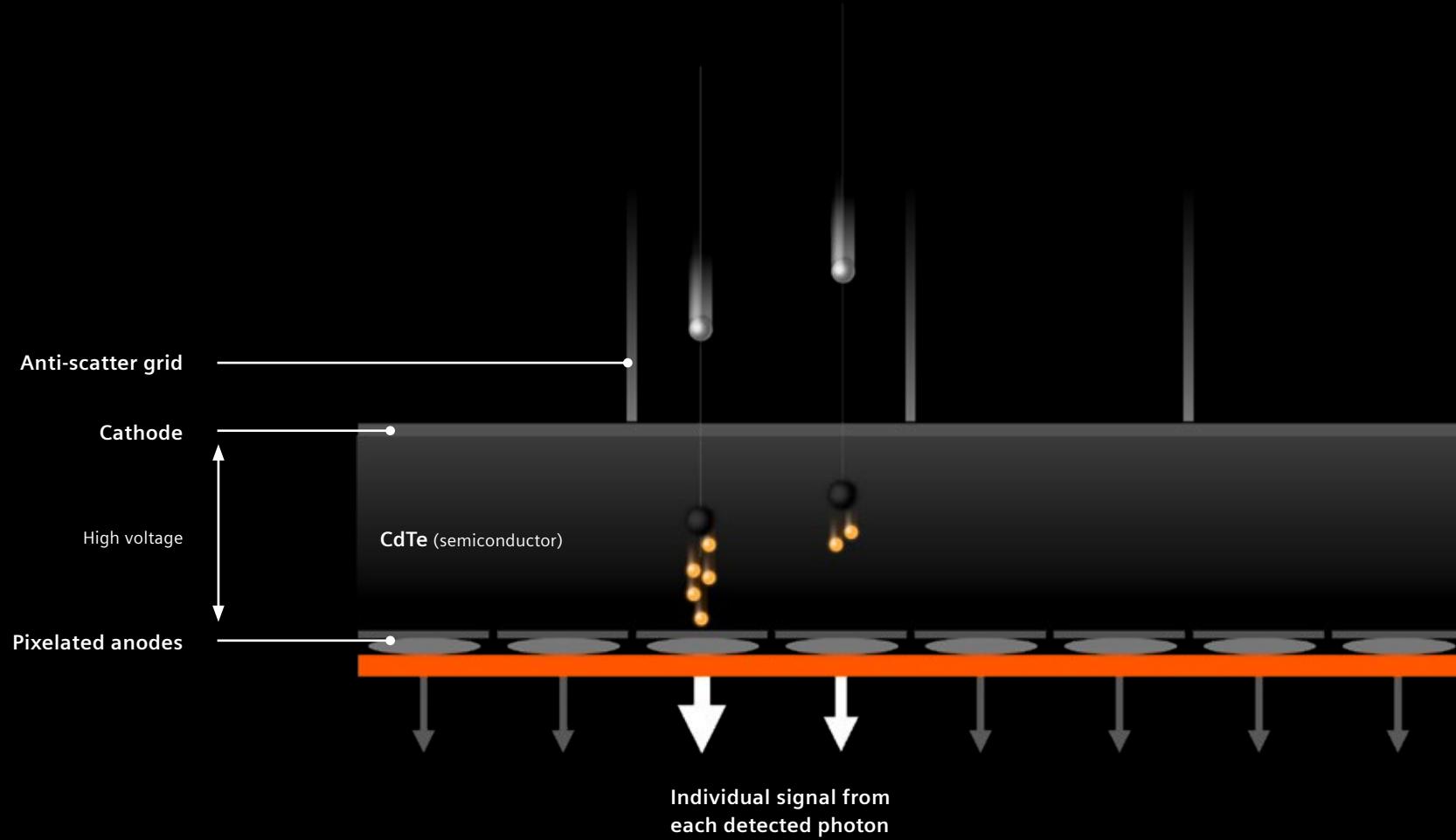
X-ray absorption efficiency  
for 1.4 mm detector material



Afterglow behavior  
 $\log I/I_0$



CT detectors



**Single-step direct conversion: X-rays → electric current**

# Operating principle: Photon-counting Computed Tomography (PCCT)

Unlike energy-integrating detectors, the new photon-counting CT (PCCT) detectors directly convert the incoming X-ray quanta into an electric signal. This is realized by using a direct X-ray converter material. At Siemens Healthineers, we've found that CdTe, a semiconductor crystal made of cadmium and tellurium, exhibits optimal properties for application in ultra-modern CT systems.

The incoming X-ray photons produce a charge that's proportional to the X-ray energy. By applying a defined voltage over the semiconductor, these charges can be measured in a read-out ASIC.

This is how individual photons are measured, and this makes it possible to measure the energy information relative to a defined threshold in the ASIC. With the introduction of multiple threshold values, dual or more energy measurements at the detector have become a reality.

In a PCCT detector, the pixels no longer need to be sawed individually. The structure is defined by the electrical field and the read-out ASIC. This allows for smaller pixels and therefore a higher detector resolution.

Im Gegensatz zu energieintegrierenden Detektoren wandeln die neuen quanzenzählenden Detektoren (PCCT) die einfallenden Röntgenquanten direkt in ein elektrisches Signal um. Dies wird durch die Verwendung eines direkten Röntgenkonvertermaterials ermöglicht. Wir bei Siemens Healthineers haben festgestellt, dass CdTe, ein Halbleiterkristall, der aus Cadmium und Tellur besteht, optimale Eigenschaften für die Anwendung in einem hypermodernen CT-System aufweist.

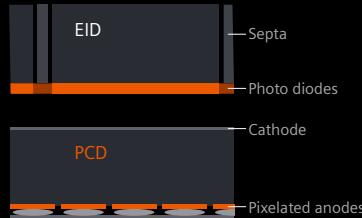
Die einfallenden Röntgenphotonen erzeugen eine Ladung, die proportional zur Röntgenenergie ist. Durch Anlegen einer definierten Spannung über den Halbleiter können diese Ladungen in einem Auslese-ASIC gemessen werden.

So werden einzelne Photonen erfasst, was die Messung der Energieinformationen durch den Vergleich mit einem definierten Schwellenwert im ASIC ermöglicht. Mit der Einführung mehrerer Schwellenwerte sind Dual- oder Energiemessungen am Detektor Realität geworden.

In einem PCCT-Detektor müssen die Pixel nicht mehr einzeln gesägt werden – die Struktur wird durch das elektrische Feld und den Auslese-ASIC definiert. Dies ermöglicht deutlich kleinere Pixel und somit eine höhere Detektorauflösung.

## Benefits of photon-counting CT

### Smaller detector pixel



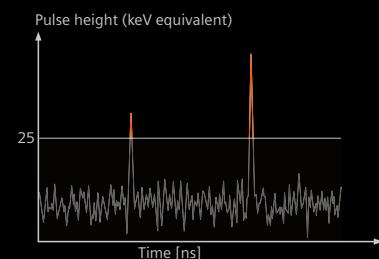
### Smaller detector pixel

Because there's no need for reflecting septa or comb filters, PCCT can deliver ultra high-resolution imaging with no dose penalty

### Kleinere Detektorpixel

Da keine reflektierenden Septen oder Kammfilter erforderlich sind, ermöglicht die quantenzählende Detektortechnologie (PCD) eine ultrahochauflösende Bildgebung, ohne die Strahlendosis zu erhöhen.

### Eliminate electronic noise



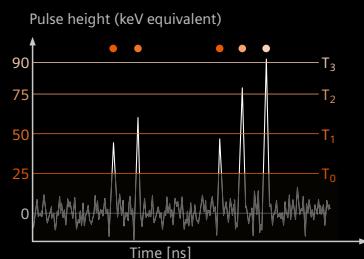
### Elimination of electronic noise

Advanced image quality in obese patients and low-dose scans. Stable, reproducible CT numbers (i.e., HU) for quantitative CT at a low dose.

### Eliminierung von elektronischem Rauschen

Verbesserte Bildqualität bei adipösen Patienten und Niedrigdosisscans. Stabile und reproduzierbare CT-Werte (HU) für eine quantitative CT-Messung bei niedriger Strahlendosis.

### Intrinsic spectral sensitivity



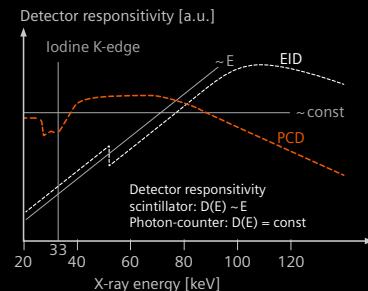
### Intrinsic spectral sensitivity

Established Dual Energy applications available for any scan. Multiple thresholds support research applications (for example, separation of different contrast penalty).

### Intrinsische spektrale Sensitivität

Etablierte Dual-Energy-Anwendungen in jedem Scan verfügbar. Mehrere Energieschwellen ermöglichen Forschungsanwendungen, z. B. die Differenzierung verschiedener Kontrastmittel.

### Equal energy quanta weighting



### Equal energy contribution

Contrast-rich images, increased iodine CNR. Increased iodine CNR translates into a potential dose reduction.

### Ausgewogene Energieverteilung

Kontrastreiche Bildgebung mit verbessertem Signal-zu-Rausch-Verhältnis (CNR) für Jod. Ein höheres Jod-CNR kann zu einer potenziellen Dosisreduktion beitragen.

## Photon-counting CT direct conversion material

Thanks to its material properties, our cadmium telluride (CdTe) detector material offers a number of technical advantages in an X-ray detector, especially for photon-counting CT (PCCT).

Due to the high atomic number and high density of this material, CdTe can effectively absorb X-rays and gamma rays with energies of more than 10 keV.

CdTe is a direct semiconductor with a band gap of approximately 1.5 eV, which enables efficient absorption of X-rays.

In addition, CdTe can be operated at room temperature thanks to its wide band gap (low leakage currents, less cooling).

Electrical parameters like charge carrier mobility and electrical conductivity can be deliberately altered by intentionally adding foreign atoms (doping).

CdTe is highly resistant to radiation, which makes it appropriate for applications in medical imaging.

### What effect do these differences have on image quality?

Photon-counting is the latest generation of CT detectors. Depending on the clinical question, PCCT enables a higher resolution and/or a lower dose, reduce image noise, and simplify spectral imaging.

Unser Detektormaterial Cadmium tellurid (CdTe) bietet aufgrund seiner Materialeigenschaften mehrere technische Vorteile als Röntgendetektor, insbesondere für Photon-counting CT (PCCT).

Aufgrund der hohen Atomzahl und der hohen Dichte dieses Materials kann CdTe Röntgen- und Gammastrahlen mit Energien von mehr als 10 keV effektiv absorbieren.

CdTe ist ein direkter Halbleiter mit einem Bandabstand von ca. 1,5 eV, was eine effiziente Absorption von Röntgenstrahlen ermöglicht.

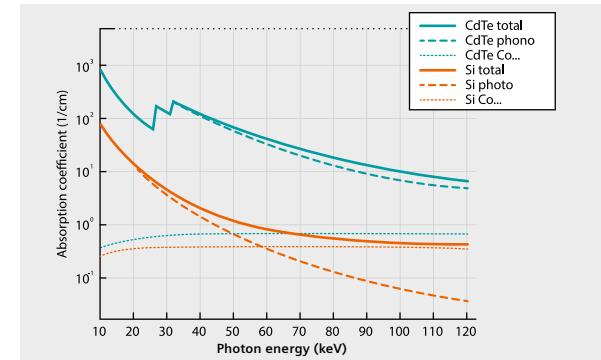
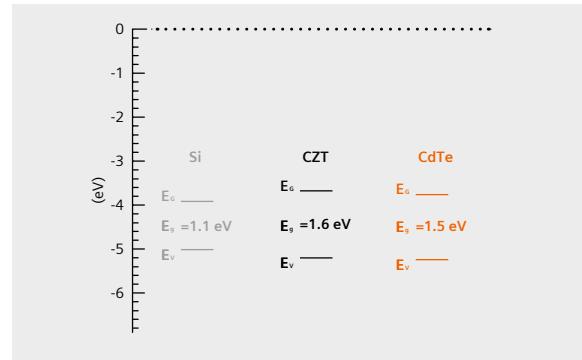
Zudem kann CdTe dank des breiten Bandabstands bei Raumtemperatur betrieben werden (niedrige Leckströme, weniger Kühlung).

Elektrische Parameter wie die Ladungsträgerbeweglichkeit und die elektrische Leitfähigkeit können durch gezielte Zugabe von Fremdatomen (Dotierung) bewusst verändert werden.

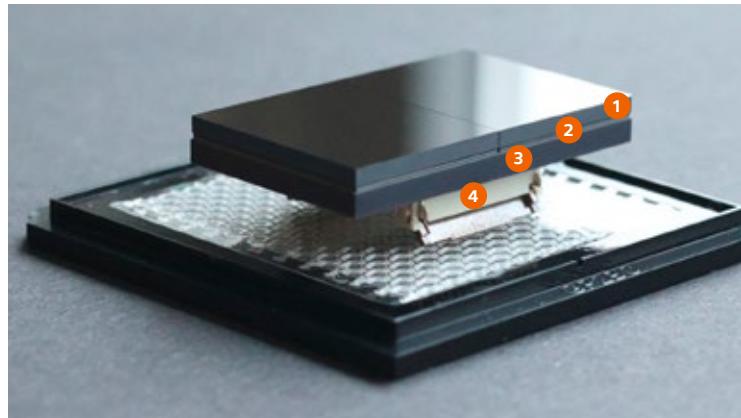
CdTe zeigt eine hohe Beständigkeit gegen Strahlung, was es für Anwendungen in der medizinischen Bildgebung geeignet macht.

### Wie wirken sich diese Unterschiede in der Bildqualität aus?

Photon-counting CT ist die neueste Generation von CT-Detektoren, die je nach klinischer Fragestellung eine höhere Auflösung, ein geringeres Bildrauschen und/oder eine geringere Dosis ermöglichen sowie die spektrale Bildgebung vereinfachen.



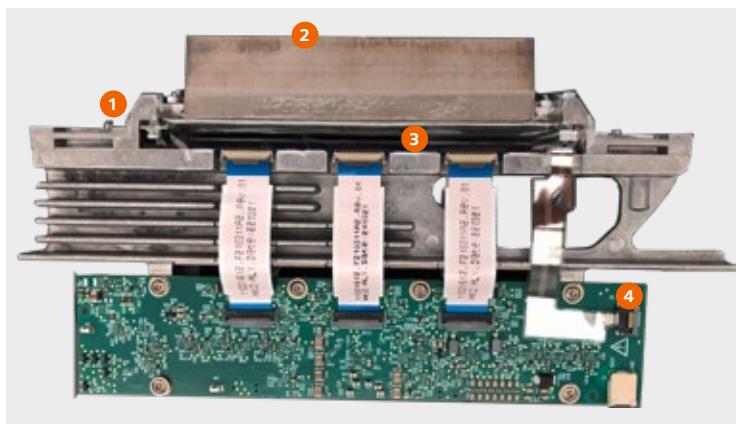
# From sensor to detector



- 1 Sensor material
- 2 Read-out ASIC
- 3 Ceramics
- 4 Read-out interface

The detector (also referred to as "DMS" or "data measurement system") consists of many identical detector modules, each of which contains multiple sensors. Structured scintillator ceramics or directly converted semiconductor materials are connected with a photo diode (EID) and highly precise read-out electronics (ASIC) and positioned on a substrate (for example, ceramics).

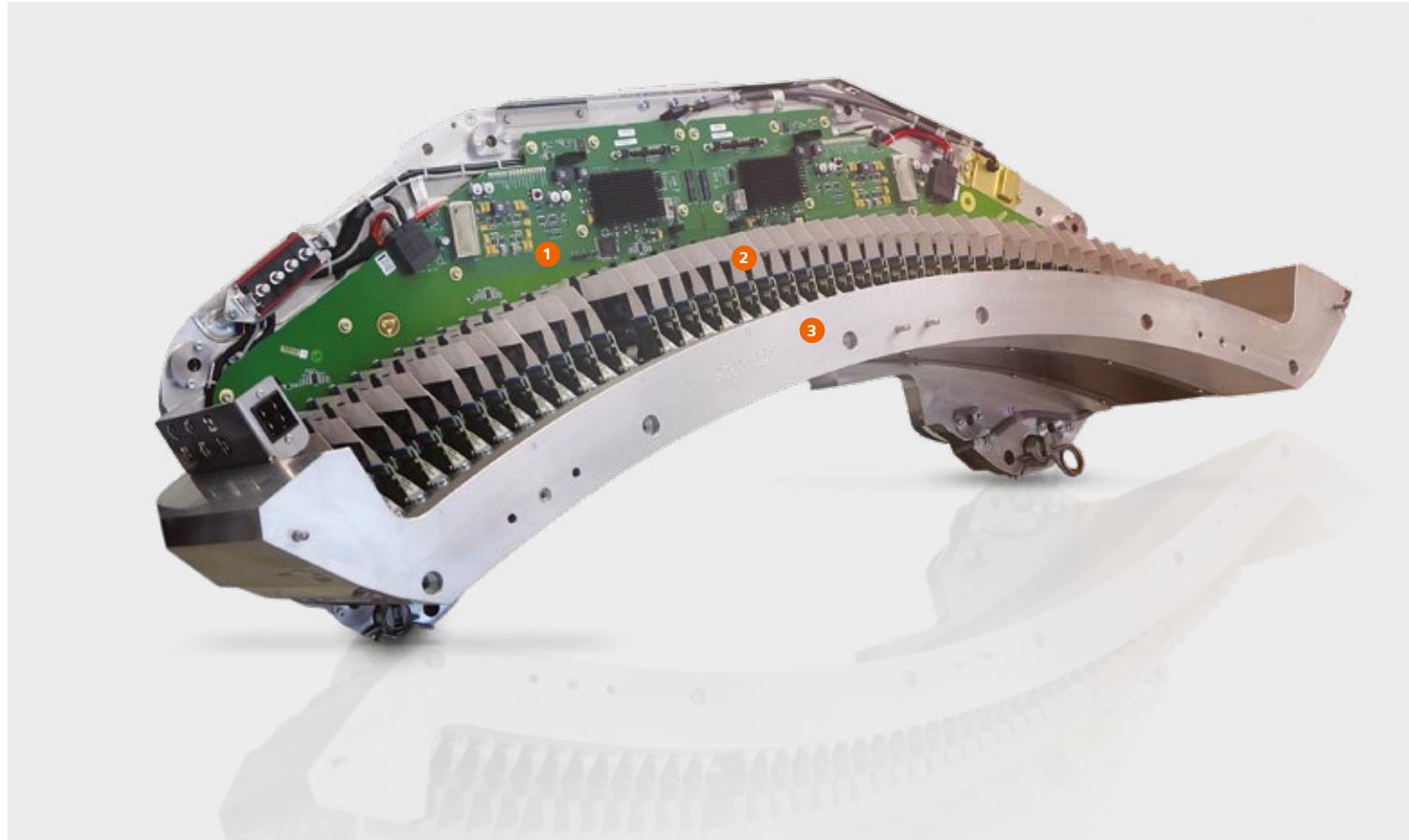
These sensors are assembled to form modules using module carrier mechanics, a module backplane PCB, and an anti-scatter grid that eliminates scattered radiation to improve the detected signals. The assembled detector integrates these modules with more read-out and control electronics, power supply sources, and a carrier structure.



- 1 Module carrier
- 2 Anti-scatter grid
- 3 Sensor
- 4 Module backplane

Der Detektor (auch als „DMS“ oder „Datenerfassungssystem“ bezeichnet) besteht aus vielen identischen Detektormodulen, die wiederum mehrere Sensoren enthalten. Strukturierte Szintillatorkeramiken oder direkt umwandelnde Halbleitermaterialien sind mit einer Photodiode (bei EID) und einer hochpräzisen Ausleseelektronik (ASIC) verbunden und auf einem Substrat (z. B. einer Keramik) positioniert.

Diese Sensoren werden mithilfe von Modulträgermechaniken, einer Modulrückwandplatine und einem Streustrahlraster, das Streustrahlung eliminiert, um die detektierten Signale zu verbessern, zu einem Modul zusammengebaut. Der gesamte Detektor integriert diese Module mit weiterer Auslese- und Steuerelektronik, Stromversorgungen und einer Trägerstruktur.



External power supplies  
1 Backplanes (power, data)  
2 Modules  
3 Carrier

# Highly innovative front-end electronics

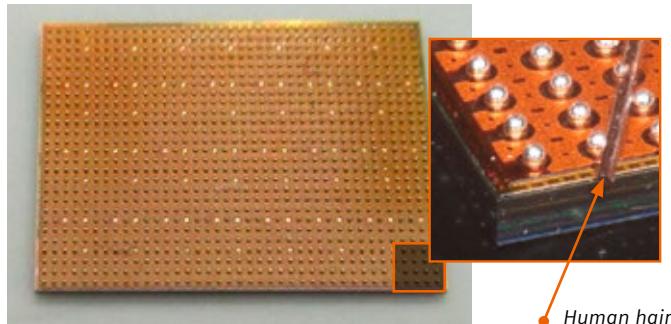
There are extremely stringent requirements for high resolution and precision in the development of detector electronics. Because our CT units are optimized for low radiation exposure for patients and therefore use the lowest possible X-ray dose, the detector signals are in the picoampere range. The detector electronics need to measure and process these signals with very high accuracy in order to generate a high-quality, artifact-free CT image for clinical diagnosis.

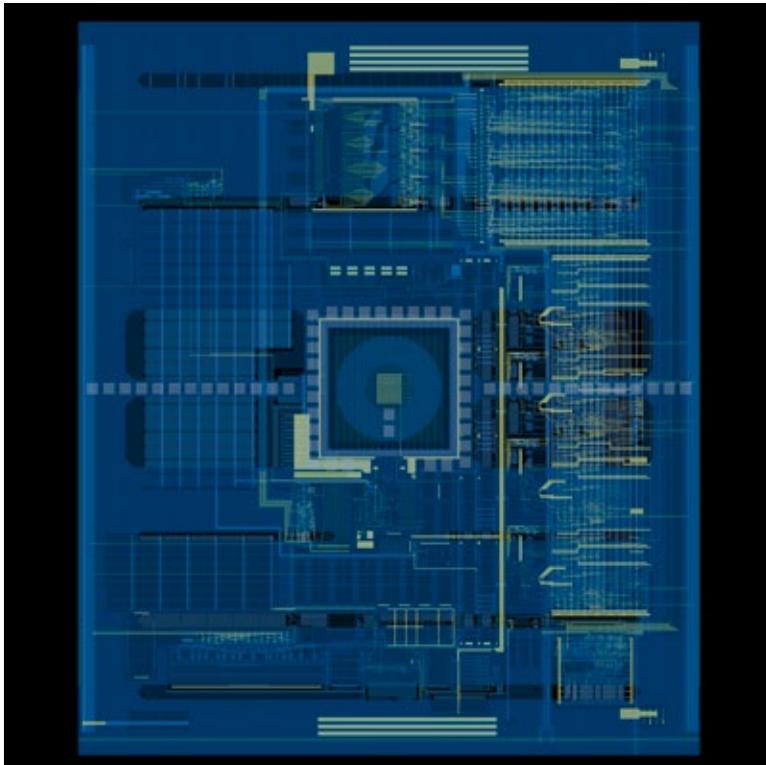
The extremely large number of measurement channels – which must work quickly and in parallel with high precision and dynamic range – requires mixed-signal ICs that are specifically developed for this purpose. Only a few chip makers worldwide are able to produce such chips.

Siemens Healthineers has worked with these partners to optimize the technology so that the distance between the photo diode and the AD converter is less than 0.5 mm in energy-integrating detectors. This is a crucial requirement for low noise and disturbances. Siemens Healthineers and their partners have set the standard for photon-counting detectors; they introduced the world's first photon-counting ASIC in a medical CT product that features high spectral accuracy and optimal high-flux capabilities.

The digital measurement data from this large number of sensor pixels is further processed in special logic modules (FPGAs) and transmitted to the image processor on the stationary part of the CT system. A modern CT detector generates a data stream of up to 40 Gbit/s.

ASIC





Bei der Entwicklung von Detektor- elektronik müssen Auflösung und Präzision ebenfalls äußerst strengen Anforderungen genügen. Da unsere CT-Einheiten für eine geringe Strahlenbelastung der Patienten optimiert sind und daher mit geringer Röntgendiffusionsdosis arbeiten, liegen die Detektor- signale im Picoampere-Bereich. Die Detektorelektronik muss diese Signale mit sehr hoher Genauigkeit messen und verarbeiten, um ein hochwertiges, artefaktfreies CT-Bild für die klinische Diagnose zu erzeugen.

Die extrem große Anzahl von Messkanälen, die mit hoher Präzision und großem Dynamikbereich schnell und parallel arbeiten müssen, erfordert gemischte Signal-ICs, die speziell für diesen Zweck entwickelt wurden. Nur wenige Chiphersteller weltweit sind in der Lage, solche Chips zu produzieren.

Siemens Healthineers hat mit seinen Partnern diese Technologie so optimiert, dass der Abstand zwischen der Photodiode und dem AD-Wandler bei energieintegrierenden Detektoren unter 0,5 mm liegt. Dies ist eine entscheidende Voraussetzung für geringe Störgeräusche und sehr geringe Störungen und hebt die CTs von Siemens Healthineers heraus. Auf der Seite der quantenzählenden Detektoren haben Siemens Healthineers und seine Partner den Standard gesetzt und den weltweit ersten quantenzählenden ASIC in einem medizinischen CT-Produkt eingeführt, mit hoher spektraler Genauigkeit und optimalem Hochflussverhalten.

Die digitalen Messdaten dieser großen Anzahl von Sensorpixeln werden in speziellen Logikmodulen (FPGAs) weiterverarbeitet und an den Bildprozessor auf dem stationären Teil des CT-Systems übertragen. Ein moderner CT-Detektor erzeugt einen Datenstrom von bis zu 40 Gbit/s.

# Detector resolution and z-coverage

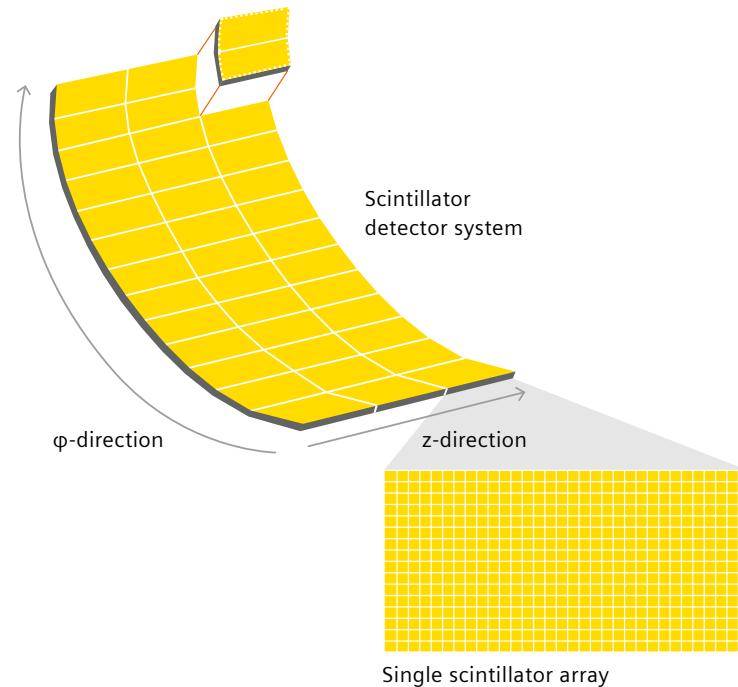
When working with modern high-performance CT scanners, radiologists expect maximum resolution and fast acquisition of the largest possible regions of the human body, with the physiologically predetermined periods taken into account (for example, resting phase of the heart, breath-hold phase, and contrast medium flow).

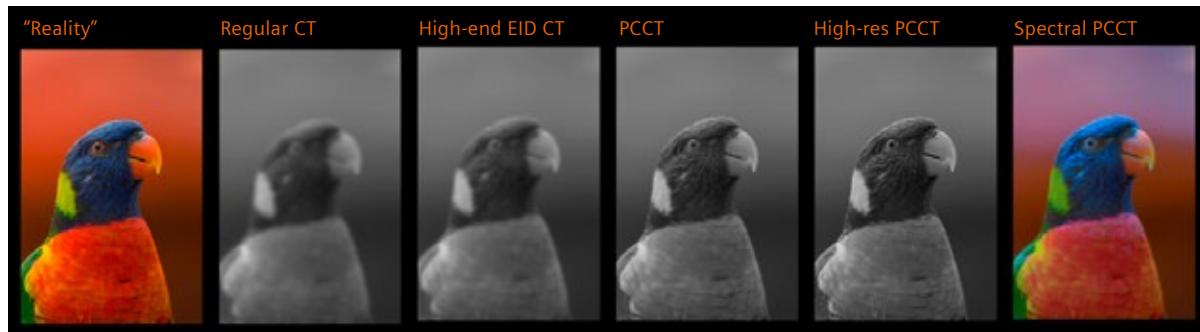
The spatial resolution of the detector system is defined by the number of channels and pixels. To ensure high detector efficiency, it's essential that the dead zones separating the pixels be minimized.

Our many years of experience with high-precision manufacturing technologies for structuring detector ceramics allow us to ensure this for our energy-integrating detectors.

The resolution is higher in our photon-counting detectors: The number of pixels in a high-end PCCT detector is about nine times higher than in an EID detector. This is even bigger than the step from HD to UHD/4K TV resolution.

In addition, the seamless placement of the individual detector elements (arrays) in two directions enables the assembly of very large detector areas with high z-coverage, so that large volumes can be covered in a short scan time. This requires modern techniques for tiling the sensors and the corresponding read-out electronics on all sides using innovative packaging solutions and highly precise assembly methods.





Bei der Arbeit mit modernen Hochleistungs-CT-Scannern erwarten Radiologen eine maximale Auflösung und eine schnelle Erfassung der größtmöglichen Bereiche des menschlichen Körpers, wobei die physiologisch vorgegebenen Zeiten (z. B. Ruhephase des Herzens, Atemanhaltephase oder Kontrastmittelfluss) berücksichtigt werden.

Die räumliche Auflösung des Detektor-systems wird durch die hohe Anzahl von Kanälen und Pixeln definiert. Um eine hohe Detektoreffizienz zu gewährleisten, dürfen die Pixel nur durch minimale Totzonen voneinander getrennt sein.

Unsere langjährige Erfahrung mit hochpräzisen Fertigungstechnologien im Bereich der Strukturierung von Detektorkeramiken ermöglicht es uns, dies für unsere energieintegrierenden Detektoren sicherzustellen.

Bei unseren quantenzählenden Detektoren wird die Auflösung sogar noch deutlich höher. Die Anzahl der Pixel in einem High-End-PCCT-Detektor im Vergleich zu EID ist etwa 9-mal höher – das ist sogar mehr als der Schritt von der HD- zur UHD/4K-TV-Auflösung.

Darüber hinaus ermöglicht eine nahtlose Platzierung der einzelnen Detektorelemente (Arrays) in zwei Richtungen die Montage sehr großer Detektorflächen mit hoher z-Abdeckung, sodass große Volumen in kurzen Scanzeiten erfasst werden können. Dafür benötigt man Techniken zum Kacheln der Sensoren und der entsprechenden Ausleseelektronik auf allen Seiten, was innovative Packaging-Lösungen und eine hochpräzise Montage erfordert.

# Quality characteristics

## High detector efficiency and low dose

The materials in the detector elements absorb the X-ray quanta and convert them into an electrical signal. The better this works, the higher the efficiency of the detector and the lower the required radiation dose.

## Short afterglow (in EID)

When the radiation is converted into light, the UFC scintillator ceramic itself starts to glow. The sooner it becomes "dark" again, the sooner it will be ready to detect new X-ray information and convert it into light.

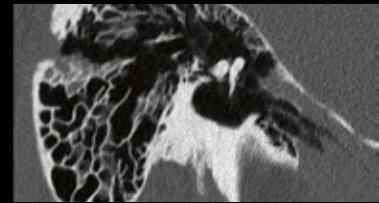
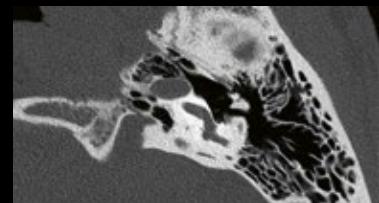
PCCT detectors eliminate the intermediate step to visible light and are therefore free of afterglow effects.

## High image resolution

The higher the resolution of the CT images, the more details of the human body can be detected and the more reliable the diagnosis. In a CT detector, just like in a digital camera, the number of pixels per unit of area plays a decisive role, and this is determined by the number of detector channels and rows. High-precision production processes are required to achieve structuring of the detector on a sub-millimeter scale.

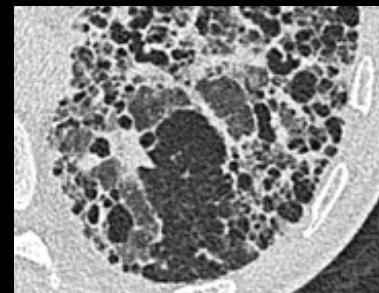
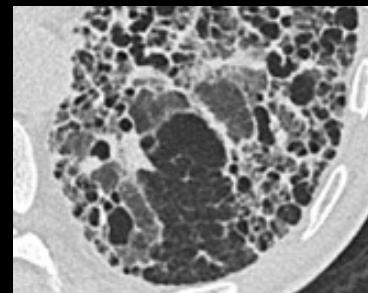
## Spectral separation (in PCCT)

Today more and more CT applications require not only a gray-scale (density-based) reconstruction of patient attenuation; they also need information about the specific material penetrated by the X-rays. This can be realized using different techniques (source-based or detector-based) – including the new photon-counting technology – to enable functional imaging (for example, separation of different materials inside the body).



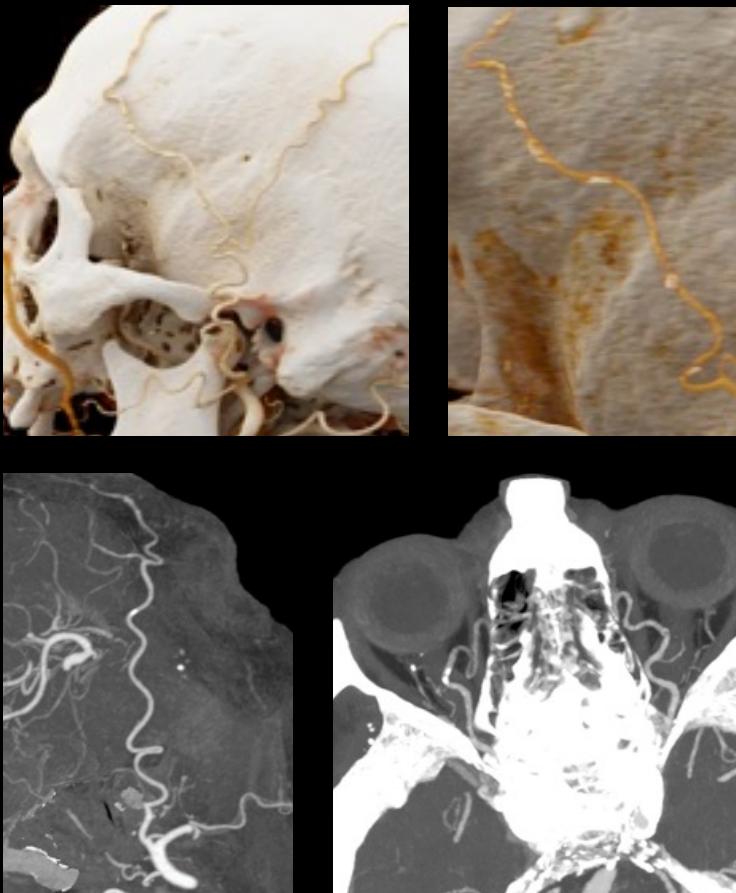
Mid- and inner-ear ultra high-resolution acquisition of 0.4 mm slices with a UFC-based system (SOMATOM Force)

Courtesy of Erasmus MC, University Medical Center Rotterdam, The Netherlands



Lung fibrosis assessment with NAEOTOM Alpha, reconstructed 1 mm and 0.2 mm slices

Courtesy of Hospital ICP, Lille, France



A whole-body CT angiography acquired with TwinBeam Dual Energy shows an infra-renal abdominal aortic aneurysm (AAA) 3D rendering and slice images

Courtesy of University of Erlangen-Nuremberg, Germany

### Hohe Detektoreffizienz und niedrige Dosis

Das Material in den Detektorelementen absorbiert die Röntgenquanten und wandelt sie in ein elektrisches Signal um. Je effizienter dies funktioniert, desto leistungsstärker ist der Detektor und desto geringer ist die benötigte Strahlendosis.

### Kurzes Nachleuchten (für EID)

Beim Umwandeln der Strahlung in Licht beginnt die UFC-Szintillatorkeramik selbst zu leuchten. Je besser ihr Abklingverhalten – je schneller sie also wieder „dunkel“ wird –, desto schneller kann sie neue Strahleninformationen aufnehmen und in Licht umwandeln.

PCCT-Detektoren vermeiden den Zwischenschritt zu sichtbarem Licht und sind daher frei von Nachleuchteffekten.

### Hohe Bildauflösung

Je höher die Auflösung der CT-Bilder ist, desto mehr Details des menschlichen Körpers lassen sich für eine zuverlässige Diagnose erkennen. Wie bei einer Digitalkamera spielt auch bei einem CT-Detektor die Anzahl der Pixel pro Fläche eine wesentliche Rolle. Diese ergibt sich aus der Anzahl der Detektorkanäle und -zeilen. Hochpräzise Fertigungsverfahren sind erforderlich, um eine Strukturierung des Detektors im Submillimeter-Maßstab zu realisieren.

### Spektrale Trennung (für PCCT)

Immer mehr CT-Anwendungen erfordern heute nicht nur eine Graustufenrekonstruktion (auf der Grundlage der Dichte) der Patientendämpfung, sondern auch Informationen über das konkrete Material, das von den Röntgenstrahlen durchdrungen wird. Dies kann durch verschiedene Techniken (quellen- oder detektorbasiert) realisiert werden, einschließlich der neuen Photonenzähltechnologie, um eine funktionelle Bildgebung zu ermöglichen (z. B. zur Unterscheidung verschiedener Materialien im Körper).

# Quality characteristics

## Image quality

In addition to the quality of the X-ray tube, the detector system is a major factor that determines the image quality and efficiency of a CT system. It takes maximum-efficiency detector material and precise data processing to produce high-quality CT scans with a low radiation dose for the patient.

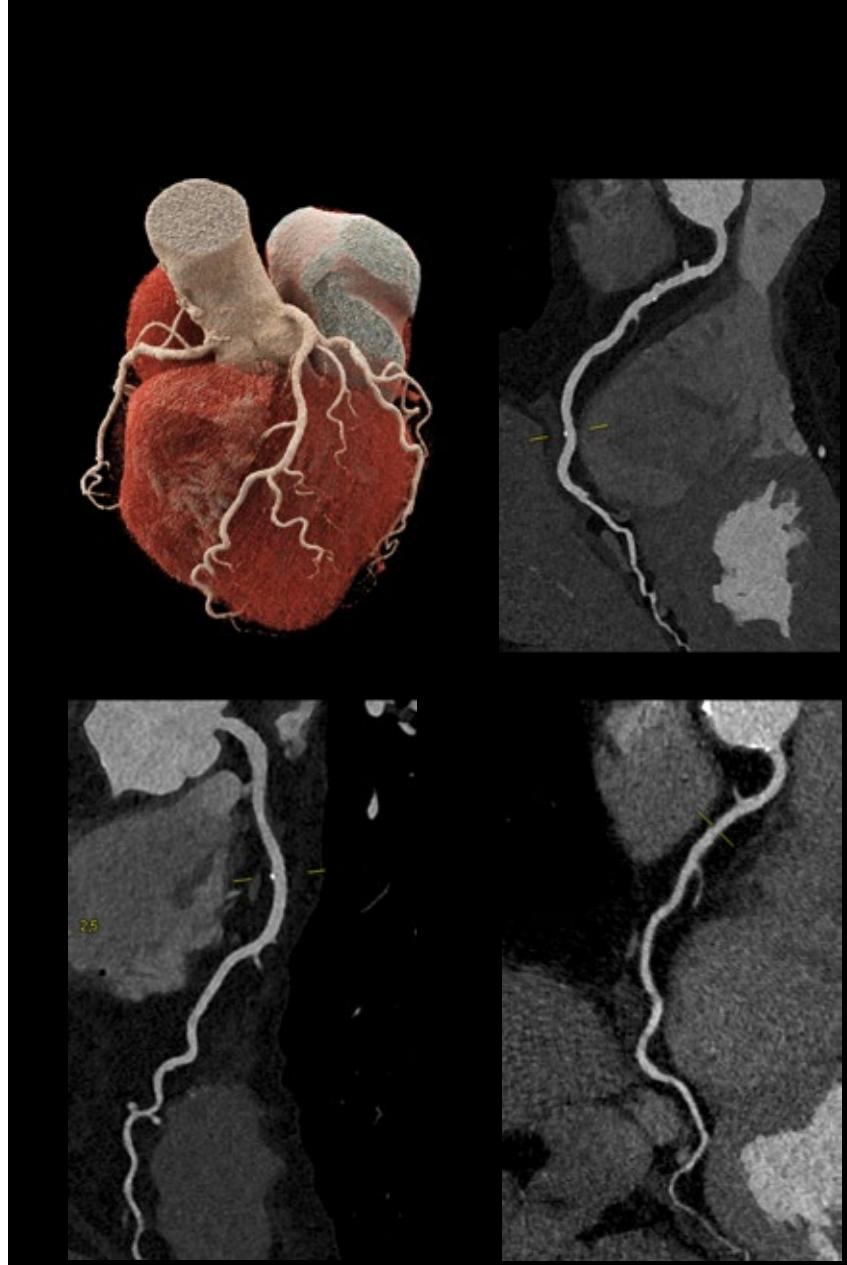
## Rotation time

Up to 5,000 measurement values per detector element are captured during a single rotation of the CT system. Therefore, extremely fast-reacting detector materials need to be used to enable the separation of the individual measurement values from each other.

## Multislice CT and other technologies

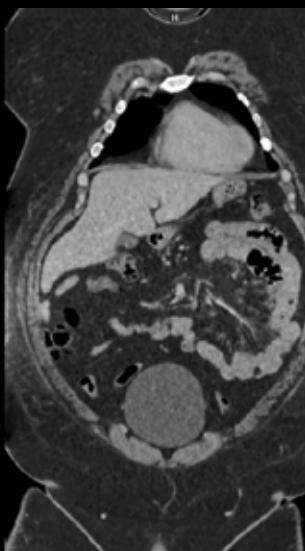
High-precision manufacturing technologies and processes as well as integrated high-speed detector electronics make it possible to drastically increase the number of measurement channels so that a large number of layers can be scanned simultaneously with every rotation. Modern multislice CT systems can cover large volumes in a very short scan time and produce very precise images. In Dual Source CTs, the scan speed and the temporal resolution can be doubled, which allows hearts with high and irregular heart rates to be scanned. The introduction of photon-counting detectors that emit even lower radiation doses has created entirely new clinical fields, thanks to their high resolution and functional imaging.

Our modern EID and PCCT detector technologies have the potential to help physicians make their diagnosis at an earlier stage of disease. It's our goal to deliver consistently high image quality at a high resolution while also minimizing the radiation dose, so the patient's radiation exposure can be kept to an absolute minimum.



Coronary CT angiography for the evaluation of coronary artery disease demonstrating NAEOTOM Alpha.Prime's high-resolution imaging at a low radiation dose.

*Courtesy of Diagnostikum Graz, Austria*



Chest-abdomen-pelvis imaging acquired with NAEOTOM Alpha.Prime makes it possible to examine even large patients (190 kg in this case) with high image quality and an extended field of view.

Courtesy of Semmelweis University, Budapest, Hungary

### Bildqualität

Neben der Qualität des Röntgenstrahlers trägt das Detektorsystem maßgeblich zur Bildqualität und zur Effizienz eines CT-Systems bei. Nur ein Detektormaterial mit maximalem Wirkungsgrad und eine präzise Weiterverarbeitung der Daten ermöglichen CT-Aufnahmen mit niedriger Strahlendosis für den Patienten bei gleichzeitig hervorragender Bildqualität.

### Rotationszeit

Während einer Umdrehung des CT-Systems werden bis zu 5.000 Messwerte pro Detektorelement erfasst. Daher ist es notwendig, extrem schnell reagierendes Detektormaterial einzusetzen, um die einzelnen Messwerte klar voneinander trennen zu können.

### Mehrzeilen-CT und andere Technologien

Hochpräzise Fertigungstechnologien und -prozesse sowie eine integrierte Hochgeschwindigkeits-Detektorelektronik ermöglichen es, die Anzahl der Messkanäle drastisch zu steigern und so mit jeder Umdrehung eine große Anzahl von Schichten

gleichzeitig zu erfassen. Moderne Mehrzeilen-Computertomographen können in kurzer Scanzeit große Volumen abdecken und mit hoher Genauigkeit abbilden. In Dual-Source-CTs können die Aufnahmegerätschaft sowie die zeitliche Auflösung verdoppelt werden. Damit werden Herzuntersuchungen bei hoher oder unregelmäßiger Herzfrequenz möglich. Die Einführung quantenzählender Detektoren erschließt nun durch die höhere Auflösung und funktionale Bildgebung völlig neue klinische Felder bei weiter sinkender Dosis.

Mit unserer modernen Detektortechnologie bei EID und PCCT geben wir dem Arzt die Möglichkeit, die Diagnose möglicherweise bereits in einem frühen Krankheitsstadium zu stellen. Daher ist es unser Ziel, eine konstant hohe Bildqualität mit hoher Auflösung bei gleichzeitiger Minimierung der Strahlendosis zu ermöglichen, um die Strahlungsbelaustung für den Patienten auf das absolut notwendige Minimum zu reduzieren.

# Overview: Producing UFC and photon-counting detectors

## UFC

### Production

- Producing the powder
- Sintering and sawing the ceramic
- Testing the wafer

### Array production

- Structuring, filling, and testing the arrays

## Photon-counting

### Ingot production

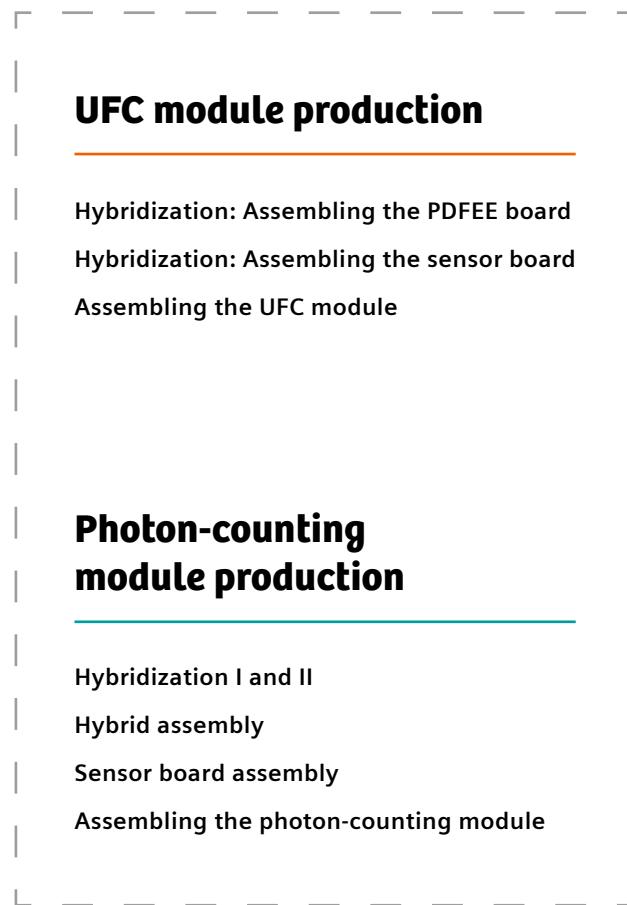
- Raw material and ampoule preparation
- Syntheses of pre-products (including polycrystalline feed and solvent)
- THM single crystal growth and quality inspection

### Wafer production

- Wafer slicing with multiwire saw
- Multi-step polishing
- Final chemical/mechanical polishing (CMP)

### Sensor production

- Chemical and physical metal deposition
- Pixel structuring using the lift-off process
- Sensor separation using the dicing process
- Optical inspection



## **UFC module production**

- Hybridization: Assembling the PDFEE board
- Hybridization: Assembling the sensor board
- Assembling the UFC module

## **Module testing**

- Testing the module

## **DMS production**

- Assembling and testing the DMS

## **Photon-counting module production**

- Hybridization I and II
- Hybrid assembly
- Sensor board assembly
- Assembling the photon-counting module

# Production

## Producing the powder

The initial process step is performed in a synthesis plant. In the first step, the ceramic raw materials from the family of rare earth elements are dissolved in water. In the next step, heat is applied, causing microscopically small crystallites to grow from the oversaturated solution. After the water has been filtered out and the residue dried, a powder-like intermediate product is obtained. In the subsequent oven process, the powder is reduced at high temperatures in a gaseous atmosphere to the actual fluorescing material used in the detector. The powder now consists of our special UFC chemical formula.

Der erste Prozessschritt findet in einer Synthese anlage statt: Die keramischen Rohstoffe aus der Familie der seltenen Erden werden zunächst in Wasser gelöst. Im nächsten Schritt wachsen unter Wärmezufuhr mikroskopisch kleine Kristallite aus der übersättigten Lösung. Nach der Abfiltrierung des Wassers und einer anschließenden Trocknung liegt nun ein pulverförmiges Zwischenprodukt vor. Im anschließenden Ofenprozess wird das Pulver unter Gasatmosphäre bei hohen Temperaturen zum eigentlichen Leuchstoff reduziert. Dieses Pulver entspricht in chemischer Hinsicht bereits unserer UFC-Keramik.



Figure 1 Synthesis  
Figure 2 Reduction furnace  
Figure 3 Rotating evaporator



## Sintering and sawing the ceramic

The UFC properties required for CT detectors emerge only after the powder is sintered to create a completely homogeneous ceramic material. This densification is achieved in a hot-pressing process at very high temperatures of more than 1,000° C, with the simultaneous application of a compressive force of more than 30 tons.

After cooling down, the UFC pressed block is cut into wafers on a multiwire saw by an extremely thin diamond wire. The wafers are then ground to their exact final thickness. In the next step, their physical characteristics are tested.

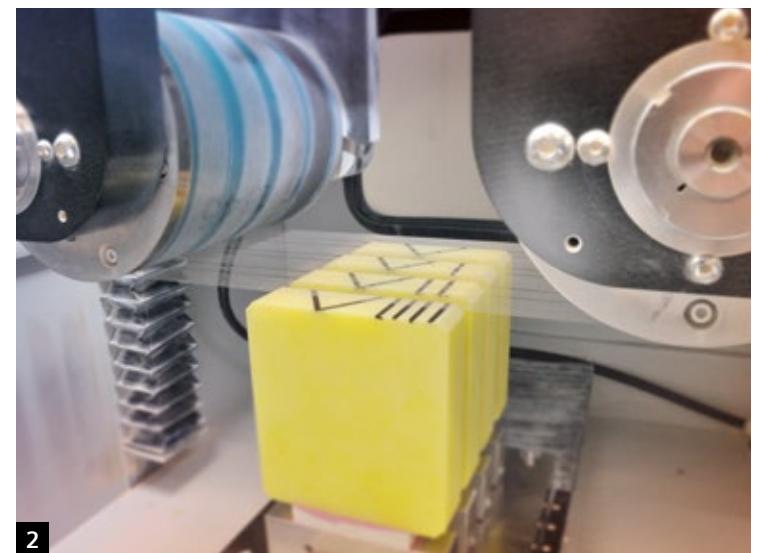
Erst die Sinterung des Pulvers zu einer absolut homogenen Keramik bringt die UFC-Eigenschaften hervor, die wir im CT-Detektor benötigen. Diese Verdichtung erfolgt in einem Heißpressprozess mit Temperaturen von mehr als 1.000 Grad Celsius bei einer gleichzeitigen Presskraft von über 30 Tonnen.

Ist der UFC-Pressling abgekühlt, wird er auf einer Vieldrahtsäge mit einem hauchdünnen Diamantdraht in Scheiben gesägt. Anschließend werden diese Scheiben auf ihr Endmaß geschliffen und im folgenden Prozessschritt auf ihre physikalischen Eigenschaften überprüft.

Figure 1 Sintering  
Figure 2 Sawing



1



2

# Production

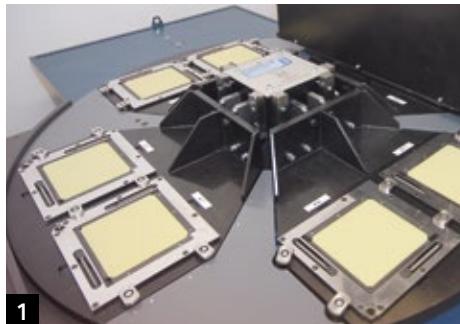
## Testing the wafer

The UFC wafers are tested on an X-ray test bench developed specifically for this purpose. A high-resolution camera is used to measure all of the parameters that are critical for later use in a CT system, including luminous efficiency (brightness), afterglow, and decay behavior. Any impurities or mechanical defects are detected in this same process.

Only the wafers that have met the specifications in all quality tests are approved for the next production step.

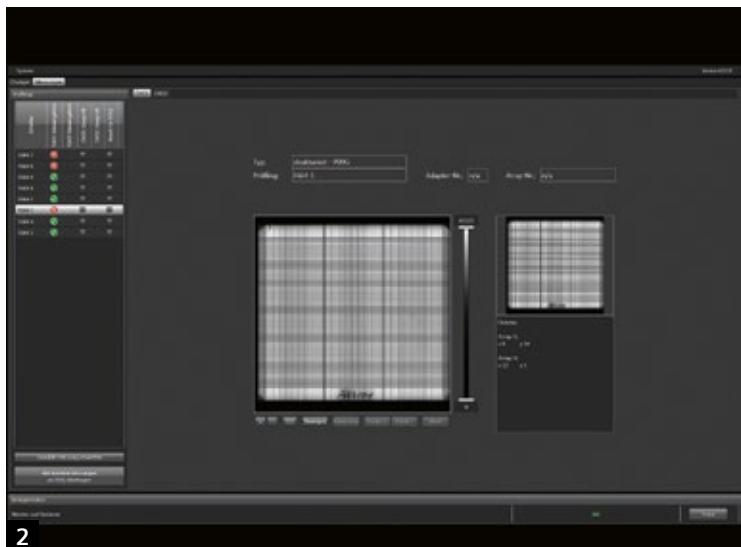
Die so entstandenen UFC-Scheiben (Wafer) werden auf einem speziell dafür entwickelten Röntgenprüfstand mit einer hochauflösenden Kamera auf alle Eigenschaften geprüft, die für die spätere Verwendung im Computertomographen wichtig sind. Dazu gehören Lichtausbeute (Helligkeit), Nachleuchten und Abklingverhalten. Im selben Prozess werden aber auch Verunreinigungen, mechanische Defekte u. a. ermittelt.

Nur Scheiben, die die Spezifikationen in allen Qualitätsprüfungen erfüllt haben, werden für den nächsten Produktionsschritt freigegeben.



1

Figure 1 and 2  
X-ray measurement



2

# Array production

## Structuring, filling, and testing the arrays

After the UFC wafer has been tested, a reflector layer is laminated onto it. The wafer is then structured and separated into UFC arrays. Each CT product line has its own requirements in terms of the size, number, and layout of the pixels. The required structure is first transferred to the wafer – fully automatically and in two dimensions – using an ultra high-precision saw.

These saws operate so precisely that they can split a human hair lengthwise into several parts. We only tolerate deviations of less than 15 µm. The interstitial zones between the pixels in the array are coated with a special reflecting polymer that prevents the loss of any of the light produced in the scintillator and optically separates the pixels. Conformance with the tight mechanical tolerances is verified in several test steps.

Nach der Prüfung der UFC-Wafer wird eine Reflektorschicht auflaminiert. Anschließend werden die Wafer strukturiert und in UFC-Arrays vereinzelt. Jede CT-Produktlinie hat individuelle Anforderungen an die Größe, Anzahl und Anordnung der Pixel. Die geforderte Struktur wird zunächst mit einer ultra-präzisen Säge zweidimensional und voll-automatisch auf die Scheibe übertragen.

Diese Sägen arbeiten so fein, dass sie sogar ein menschliches Haar mehrfach der Länge nach spalten können. Wir akzeptieren hier lediglich Abweichungen von weniger als 15 µm. Um nichts vom erzeugten Licht zu verlieren, werden die Pixelzwischenräume des Arrays zur Trennung der einzelnen Pixel mit einem reflektierenden Spezialpolymer verfüllt. Die Einhaltung der engen mechanischen Toleranzen wird in mehreren Prüfschritten verifiziert.



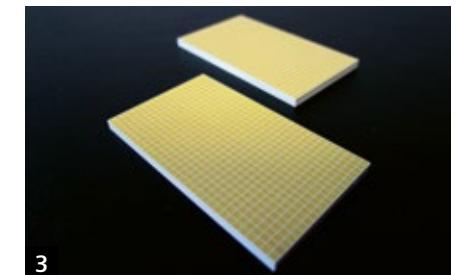
1

Figure 1 Fully automatic saw



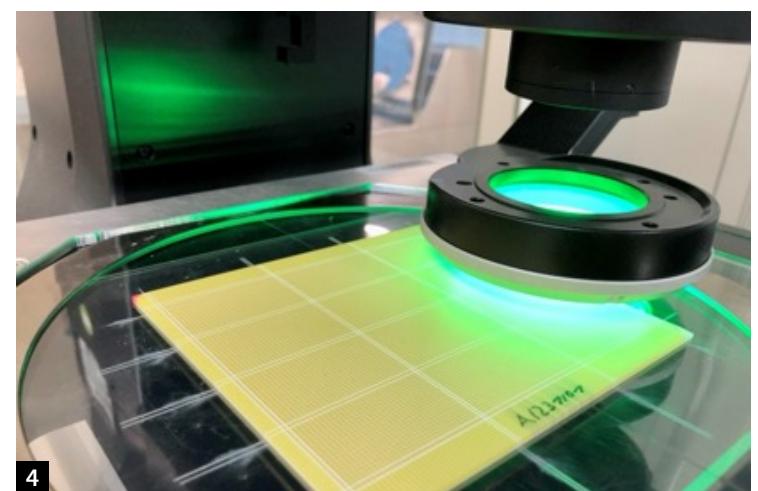
2

Figure 2 Filling equipment



3

Figure 3 Type of array



4

Figure 4 Measuring equipment

# Ingot production

## Raw material and ampoule preparation

Before the first process step, all raw materials and supplies need to be tested for purity and chemically cleaned. The technical requirements for cleanliness are very high in the field of semiconductor production, because even impurities in the ppm range (parts per million) can have a negative impact on the resulting electrical properties.

At least 99.9999 percent (6N) purity of the raw materials must be maintained throughout the entire process chain (coating, filling in the clean room, sealing, synthesis).

Vor dem ersten Prozessschritt müssen alle Roh- und Hilfsstoffe auf ihre Reinheit geprüft bzw. chemisch gereinigt werden. Die Anforderungen an die technische Sauberkeit sind im Bereich der Halbleiterfertigung sehr hoch, da bereits Verunreinigungen im ppm-Bereich (Parts per Million) die elektrischen Eigenschaften negativ beeinflussen können.

Die Reinheit der Rohstoffe von mind. 99,9999 % (6N) muss über die gesamte Prozesskette (Beschichten, Befüllen im Reinraum, Versiegeln, Synthese) beibehalten werden.



## Syntheses of pre-products

Before the actual crystal growth process, several preliminary products must be produced. They include synthesizing the polycrystalline CdTe feed material – the “solvent” that’s essential for THM growth – and a perfect seed crystal from a previous crystal growth process. The general rule for every crystal growth process is “no seed – no crystal,” because it’s the seed that determines the direction of growth and the quality of the new crystal.

Vor dem eigentlichen Kristallzüchtungsprozess müssen mehrere Vorprodukte hergestellt werden. Hierzu zählen die Synthese des polykristallinen CdTe-Quellenmaterials, das für die THM-Züchtung essenzielle Lösungsmittel, der sogenannte Solvent, sowie ein perfekter Keimkristall aus einer vorangegangenen Kristallzüchtung. Generell gilt für jeden Kristallzüchtungsprozess: Ohne Keim kein Kristall.

Denn nur der Keim gibt die Wachstumsrichtung und die Qualität des neuen Kristalls vor.



# Ingot production

## THM single crystal growth and quality inspection

The traveling heater method (THM) is a powerful and versatile technique for growing a wide variety of materials, especially those with a high melting point or that melt non-congruently.

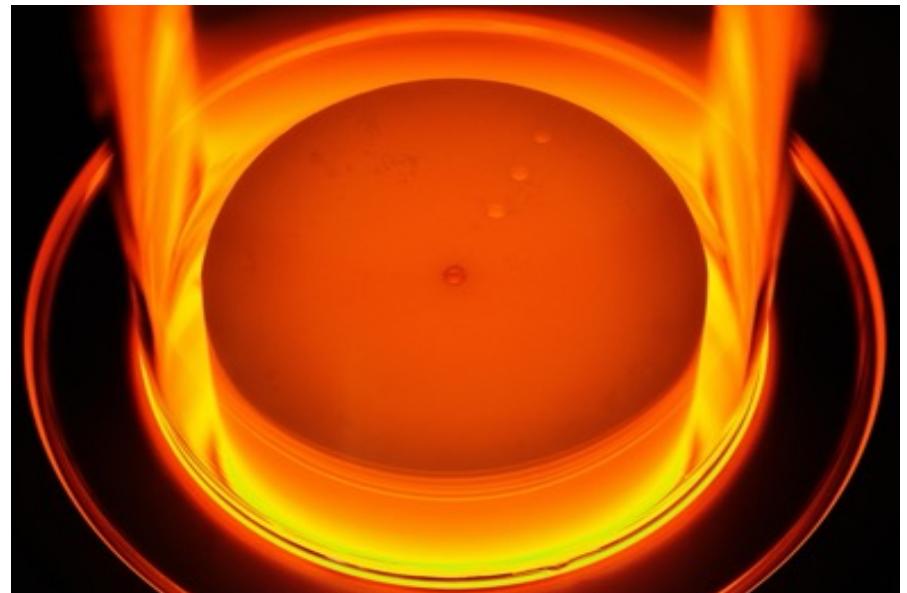
Major advantages of this technique include a lower growth temperature than the maximum solidus temperature of the material, resulting in fewer material impurities, lower decomposition pressures, and more perfect crystals.

After a process time of 12 weeks, all crystals need to be carefully examined for internal and external defects.

Das THM-Verfahren (Traveling Heater Method) ist ein leistungsfähiges und vielseitiges Verfahren, das sich für die Züchtung einer Vielzahl von Materialien, insbesondere solcher, die einen hohen Schmelzpunkt haben oder die nicht kongruent schmelzen, eignet.

Die Hauptvorteile dieser Technik sind niedrigere Wachstumstemperaturen als die maximale Solidus-Temperatur des Materials. Dies führt zu geringeren Verunreinigungen des Materials, geringeren Zersetzungsdräcken und perfekteren Kristallen.

Nach 12 Wochen Prozesszeit müssen alle Kristalle sorgfältig auf innere und äußere Defekte untersucht werden.



# Wafer production

## Wafer slicing with multiwire saw

Wafer cutting using a multiwire saw is a precise and efficient method used in the semiconductor and photovoltaic industries to slice monocrystalline ingots.

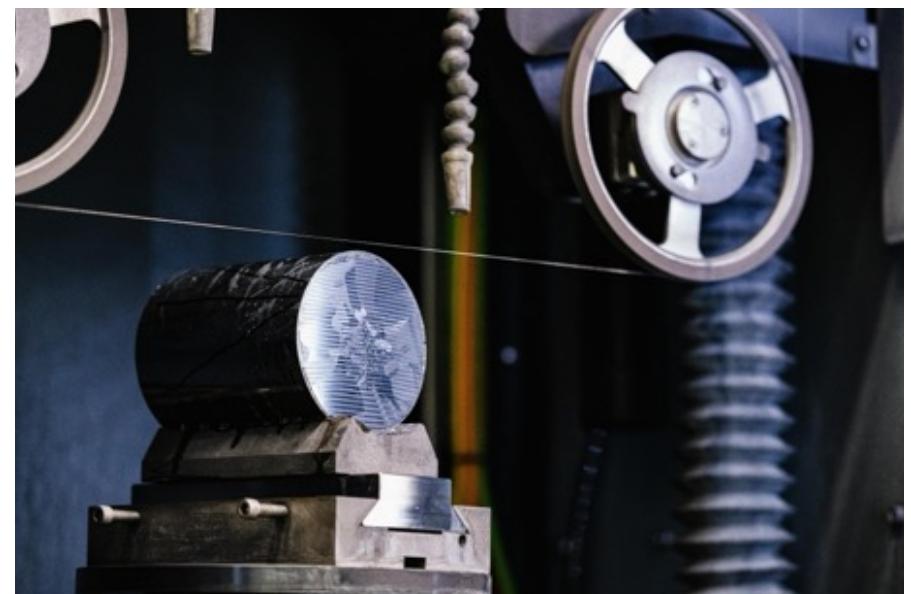
The multiwire saw consists of multiple ultra-fine steel wires, often coated with diamond abrasives, that are passed through grooves on the guide rollers. The wires are tensioned and run at high speeds. The wires slice through the ingot, simultaneously cutting multiple thin wafers.

The sliced wafers are cleaned to remove any debris or residue from the cutting process. Then they're subjected to a quality inspection that checks for defects and imperfections.

Das Schneiden von Wafern mit einer Mehrdrahtsäge ist ein präzises und effizientes Verfahren, das in der Halbleiter- und Photovoltaikindustrie zum Schneiden von einkristallinen Ingots eingesetzt wird.

Die Mehrdrahtsäge besteht aus mehreren ultrafeinen Stahldrähten, die oft mit Diamantschleifmitteln beschichtet sind und durch Rillen von Führungsrollen geführt werden. Diese Drähte sind gespannt, laufen mit hoher Geschwindigkeit und schneiden gleichzeitig durch den Ingots, wobei mehrere dünne Wafer auf einmal geschnitten werden.

Die geschnittenen Wafer werden gesäubert, um Rückstände aus dem Schneidprozess zu entfernen, und anschließend in ihrer Qualität auf etwaige Fehler oder Unebenheiten überprüft.



# Wafer production

## Multi-step polishing

Wafer polishing is a crucial step in semiconductor manufacturing; it involves smoothing and planarizing CdTe wafers to create a flat, defect-free surface. The wafers coming directly from the slicing process may have surface irregularities, and the initial treatment is intended to smooth out any larger surface defects.

In this multi-step procedure, the wafers are affixed to a carrier plate that's placed upside-down on a polishing plate. The plates move in opposite directions as an abrasive slurry is applied to the wafers to remove surface irregularities and create a relatively smooth surface.

Finally, the wafers are polished using a combination of chemical and mechanical forces (CMP) to achieve a higher degree of evenness and smoothness.

Das Polieren von Wafern ist ein entscheidender Schritt in der Halbleiterherstellung, bei dem CdTe-Wafer geglättet und planarisiert werden, um eine flache, fehlerfreie Oberfläche zu erzeugen. Die Wafer, die direkt aus dem Slicing-Prozess kommen, können Oberflächenunregelmäßigkeiten aufweisen. Die Erstbehandlung zielt darauf ab, die größeren Oberflächenfehler zu glätten.

In diesem mehrstufigen Verfahren werden Wafer auf eine Trägerplatte aufgebracht, die kopfüber auf eine Polierplatte gelegt wird. Die Platten bewegen sich in entgegengesetzten Richtungen, wobei ein abrasives Medium auf die Wafer aufgetragen wird. Dadurch können Unregelmäßigkeiten entfernt werden und es entsteht eine relativ glatte Oberfläche.

Final wird ein chemisch-mechanischer Polierprozess (CMP) durchgeführt, in dem ein Höchstmaß an Ebenheit und Glätte erreicht wird.



# Sensor production

## Chemical and physical metal deposition

Plating is a process in which a thin layer of metal is chemically deposited onto a substrate surface. The substrate is immersed in a chemical bath containing metal ions, which are deposited onto the surface with or without the support of an electrical field.

Sputtering is a widely used technique in the physical vapor deposition (PVD) of metal layers. The process takes place in a vacuum chamber to minimize contamination and allow for precise control of the environment. Inert gas ions generated in a plasma are used to knock out atoms from a high-purity metal target. The metal atoms condense on the substrate and form a thin film: The sputtered layers may be as thin as 1/1,000 the diameter of a human hair.

Beim Plating wird eine dünne Metallschicht chemisch auf eine Substratoberfläche aufgebracht. Das Substrat wird in ein chemisches Bad getaucht, das Metallionen enthält, die mit oder ohne Unterstützung eines elektrischen Feldes auf der Oberfläche abgeschieden werden.

Das Sputtern ist eine Technik für die physikalische Abscheidung von Metallschichten aus der Gasphase (PVD). Das Verfahren findet in einer Vakuumkammer statt, um Verunreinigungen zu minimieren und eine genaue Kontrolle der Umgebung zu ermöglichen. In einem Plasma erzeugte Inertgasionen werden verwendet, um Atome aus einem hochreinen Metalltarget herauszuschlagen. Die Metallatome kondensieren auf dem Substrat und bilden einen dünnen Film (die gesputterten Schichten können so dünn sein wie 1/1000 des Durchmessers eines menschlichen Haars).



# Sensor production

## **Pixel structuring in the lift-off process**

Pixel structuring in the lift-off process is a common technique used in micro-fabrication to create precise patterns on a substrate like a CdTe wafer.

In the first step, the wafer is cleaned and prepared, after which a sacrificial layer (photoresist) is deposited on the surface. The sacrificial layer is patterned using techniques like photolithography or electron beam lithography to create an inverse pattern of the desired structure. To create an electrode, a metal is deposited over the entire surface, filling the patterned areas and covering the remaining sacrificial layer. The sacrificial layer is then removed using a solvent that lifts off the excess metal and leaves behind the desired pattern on the wafer.

Die Strukturierung von Pixeln im Lift-off-Verfahren ist eine gängige Technik in der Mikroelektronik, um präzise Strukturen auf einem Substrat bzw. CdTe-Wafer zu erzeugen.

In einem ersten Schritt wird der Wafer gereinigt und vorbereitet, dann wird eine Opferschicht (Photoresist) auf die Oberfläche aufgebracht. Die Opferschicht wird mit Techniken wie Photolithographie oder Elektronenstrahlolithographie strukturiert, um ein inverses Muster der gewünschten Struktur zu erzeugen. Als Elektrode wird ein Metall auf der gesamten Oberfläche abgeschieden, das die strukturierten Bereiche füllt und die verbleibende Opferschicht bedeckt. Die Opferschicht wird abschließend mit einem Lösungsmittel entfernt, wobei das überschüssige Metall abgehoben wird und die gewünschte Struktur auf dem Wafer zurückbleibt.



## Sensor separation by dicing process & optical inspection

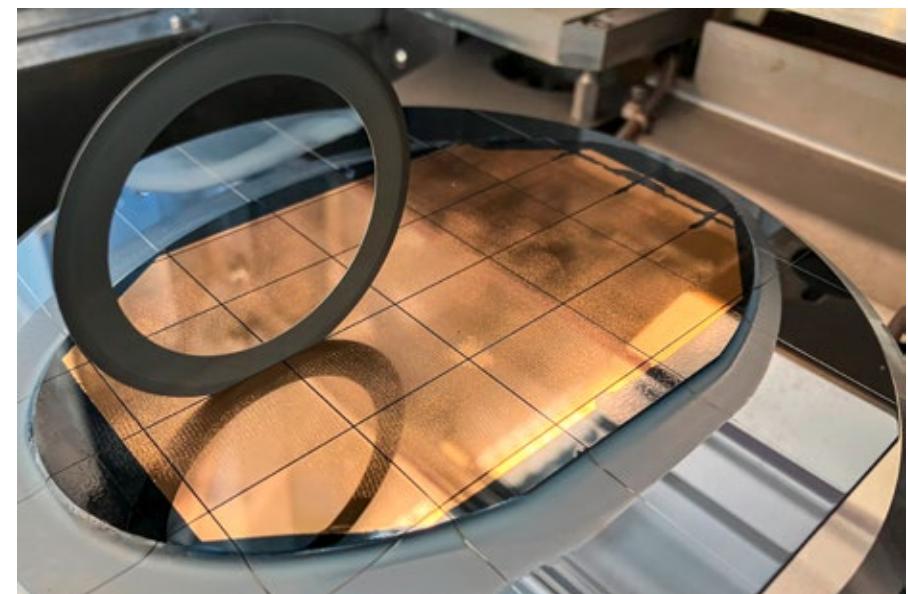
Wafer dicing is a crucial step in semiconductor manufacturing in which individual chips or dies are separated from a wafer. This is typically done in a clean-room environment to prevent contamination. The wafer is usually mounted on a dicing tape that's affixed to a metal frame. The wafer is cut into individual dies or chips using a diamond-coated blade rotating at high speeds.

The dicing process has to be very precise in order to avoid damaging the delicate structures on the wafer.

The individual dies are inspected for quality in an automated procedure and sorted for further processing (final testing).

Das Vereinzen von Wafern (Dicing) ist ein wichtiger Schritt in der Halbleiterfertigung, bei dem einzelne Chips oder Dies von einem Wafer getrennt werden. Dies geschieht gewöhnlich in einer Reinraumumgebung, um Verunreinigungen zu vermeiden. Der Wafer wird in der Regel auf ein Dicing Tape geklebt, das auf einem Metallrahmen fixiert ist. Der Wafer wird mit einem diamantbesetzten Sägeblatt, das mit hoher Geschwindigkeit rotiert, in einzelne Dies/Chips geschnitten. Der Schneidvorgang muss sehr präzise sein, damit die empfindlichen Strukturen auf dem Wafer nicht beschädigt werden.

Die einzelnen Dies werden automatisiert auf ihre Qualität geprüft und für die weitere Verarbeitung sortiert (finaler Test).



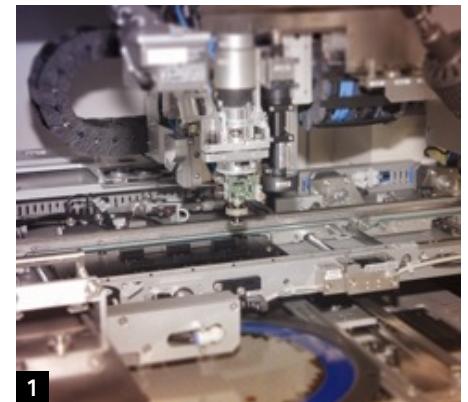
# Module production

## Hybridization: Assembling the PDFEE board

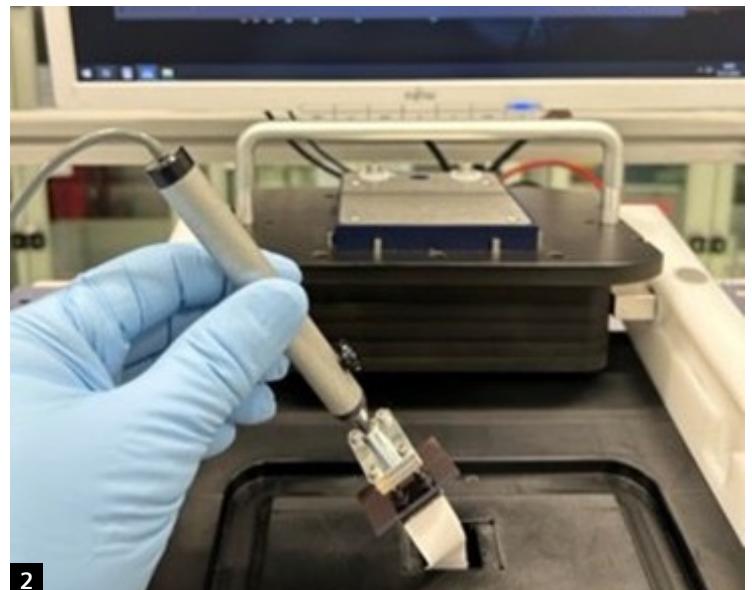
The PDFEE board is a sensor element that combines the essential functionalities and components of the front-end electronics (FEE) with a photo diode (PD) in one chip. This chip allows for PDFEE board assembly without using conventional circuit board technology. The ASICs are placed on a ceramic substrate, soldered in a conventional reflow oven, and stabilized with underfill material. Electrical functionality is tested in the subsequent test phase, and then the PDFEE board is ready to be incorporated into a sensor board.

Das PDFEE-Board ist ein Sensorelement, das die wesentlichen Funktionalitäten der Frontend-Elektronik (FEE) zusammen mit einer Photodiode (PD) in einem kombinierten Photodioden-ASIC-Chip integriert. Der Chip ermöglicht einen Aufbau der PDFEE-Boards, der auf die Verwendung klassischer Leiterplattentechnologie verzichtet. Die ASICs werden auf das keramische Substrat aufgebracht, in einer Umluftanlage gelötet und mit einem Underfill-Material versehen. In einer anschließenden Testphase wird die elektrische Funktionsfähigkeit überprüft. Danach ist das PDFEE-Board bereit für die Weiterverarbeitung zum Sensorboard.

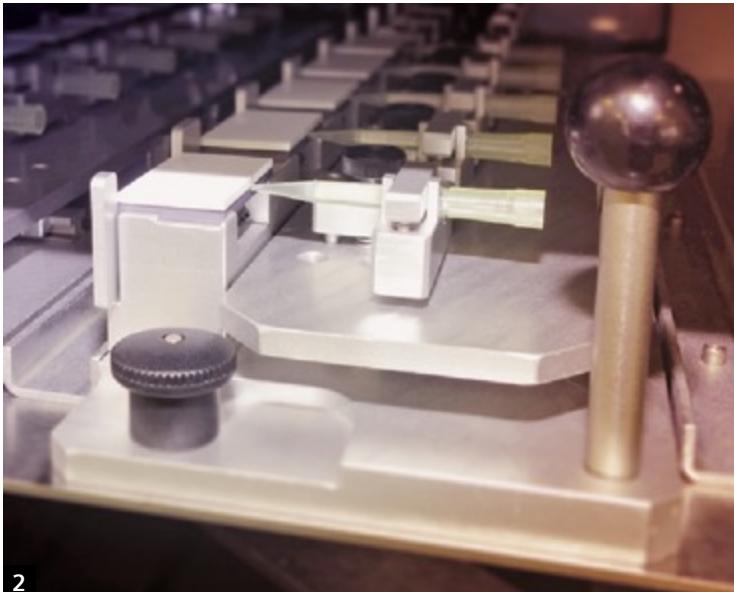
Figure 1 Chip placer  
Figure 2 Inspection system



1



2



**Figure 1** Automatic assembly system  
**Figure 2** Capillary underfill tool



## Hybridization: Assembling the sensor board

In sensor board assembly, the PDFFEE boards are attached to the UFC arrays using optically transparent adhesives. The components are first aligned in an automated six-axis robotic assembly system and then joined together using UV adhesive. The accuracy of these sensor-controlled assembly systems can reach  $\pm 10 \mu\text{m}$ .

The gaps between the components are then filled with optically conductive adhesives with the help of capillary processes and the adhesive is cured.

In der Sensorboard-Montage werden aus den PDFFEE-Boards und den UFC-Arrays unter Verwendung von optischen Funktionsklebstoffen die Sensorboards hergestellt. Hierzu werden zunächst die Bauteile in einer automatisierten Roboter-Montagezelle an sechs Achsen ausgerichtet und mithilfe von UV-Klebstoff miteinander verbunden. Die sensorgeführten Montagesysteme erreichen eine Montagegenauigkeit von bis zu  $\pm 10 \mu\text{m}$ . Anschließend werden die Spalten zwischen den Bauteilen mit optisch leitfähigen Klebstoffen unter Zuhilfenahme von kapillaren Prozessen gefüllt und der Klebstoff ausgehärtet.

# Photon-counting module production

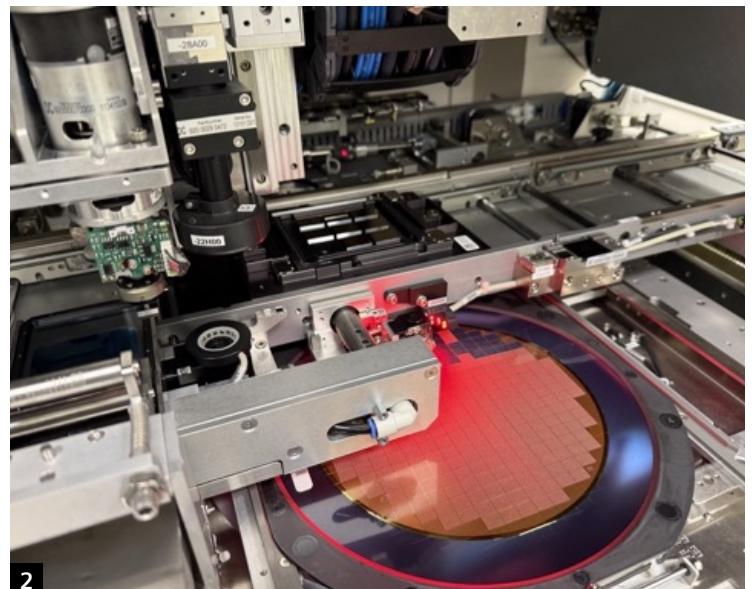
## Hybridization I and II: Hybrid assembly sensor board assembly

The photon-counting sensor board is created by affixing the semiconductor material to an ASIC chip on a ceramic carrier. This is performed on a flip-chip hybridization line. In the first step, the photon-counting semiconductor is soldered with the ASICs. This requires more than 3,500 solder connections per 100 µm of surface area. In the second step, the photon-counting sensor is soldered to the ceramic carrier. The resulting sensor boards have more than 10,000 solder connections.

Das Photon-counting-Sensorboard entsteht, wenn das Halbleitermaterial mit einem ASIC-Chip auf einem Keramikträger verbunden und fixiert wurde.

Das erfolgt auf einer Flip-Chip-Hybridlinie. Dazu wird in einem ersten Schritt der Photon-counting-Halbleiter mit den ASICs verlötet, wofür werden über 3.500 Lötverbindungen im 100-µm-Bereich verwendet werden. Im zweiten Schritt wird der Photon-counting-Sensor auf die Trägerkeramik gelötet. Ein Sensorboard weist damit über 10.000 Lötverbindungen auf.

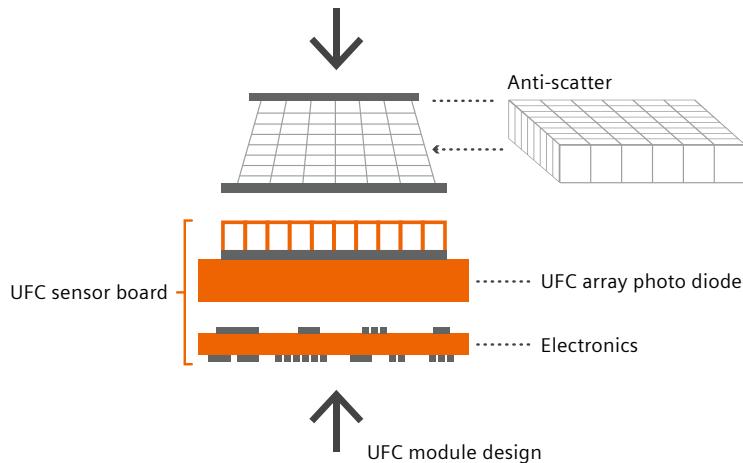
Figure 1 Sensorboard  
Figure 2 Chip placer



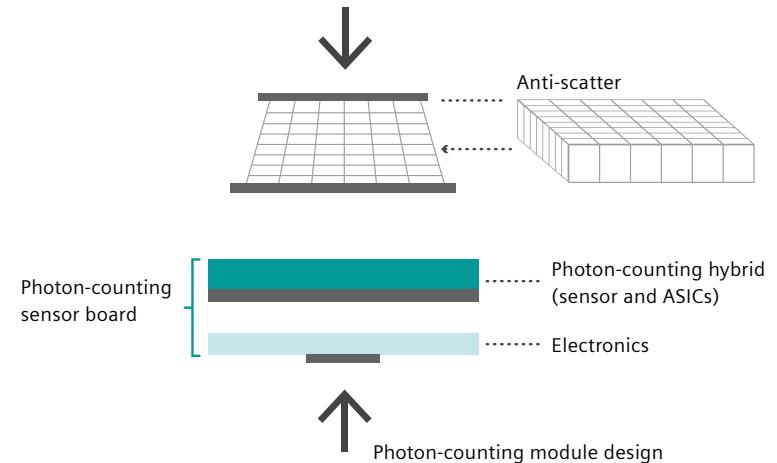


# Assembling the UFC and photon-counting modules

## UFC module



## Photon-counting module



The structuring of the UFC array defines the spatial resolution and, similar to a digital photo camera, the maximum achievable resolution in the CT image.

The structuring of the photo diode corresponds exactly to the pixel distribution of the UFC array. The array and the photo diode board (PDFEE) are precisely aligned relative to each other in a fully automated production step and then attached.

The anti-scatter grid is positioned above the UFC array. This ensures that disruptive scatter radiation from the side is effectively suppressed, which enhances the contrast in the CT image.

In this case, the resolution is the determining factor for structuring the counting sensors and the corresponding ASICs.

The sensor material and the ASICs are joined together precisely and then affixed to the carrier ceramic. As part of this process, an anti-scatter grid is also attached to the photon-counting sensor board, where it performs the same function as it does for the UFC modules.

Die Strukturierung der Sensoren definiert die Auflösung, vergleichbar mit einer Digitalkamera, und damit die erzielbare Auflösung im CT-Bild.

Die Strukturierung der Photodiode entspricht exakt der Pixelaufteilung des UFC-Arrays. Array und Photodioden-Board (PDFEE) werden in einem vollautomatisierten Fertigungs- schritt exakt zueinander positioniert und fixiert.

Oberhalb des UFC-Arrays wird der Streustrahlenkollimator angeordnet. Damit wird gewährleistet, dass seitlich auftreffende, störende Streustrahlung unterdrückt wird. Der Kontrast im Patientenbild erhöht sich dadurch.

Die Strukturierung des Photon- counting-Sensors und der zugehörigen ASICs definiert in diesem Fall die Auflösung.

Dazu werden das Sensormaterial und die ASICs exakt zueinander verbaut und danach auf der Trägerkeramik fixiert. Im Weiteren wird ebenfalls ein Streustrahlenkollimator auf dem Photon-counting-Sensorboard angebracht, der dieselbe Aufgabe wie bei den UFC-Modulen hat.

## Assembling the UFC module

The sensor boards are now precisely positioned onto the module carriers and glued in place. After that, the collimator (anti-scatter) is mounted onto the sensor board.

Die Sensorboards werden nun mit höchster Präzision auf die Modulträger aufgesetzt und verklebt. Danach wird der Kollimator (Antiscatter) auf das Sensorboard montiert.

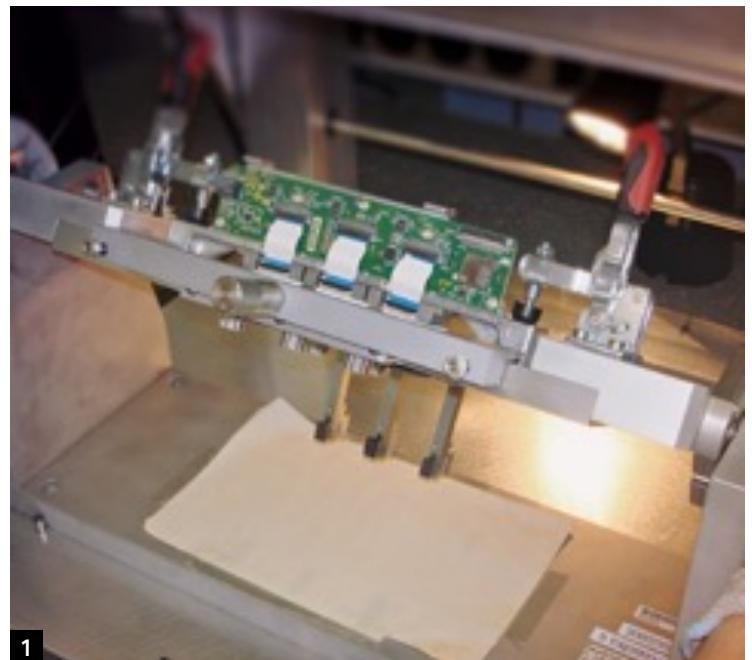


Figure 1 Module assembly (manual)



Figure 1 Module assembly system (automated)  
Figure 2 Sensor bank



## Assembling the photon-counting module

The photon-counting module is assembled in a fully automated process using a module assembly system. First, the sensor boards are placed on the module racks with extreme precision and then glued. Then the ASGs and other components are mounted before the final module test.

Der Aufbau des Photon-counting-Moduls erfolgt in einem vollautomatischen Prozess mit einem Modulmontagesystem. Dort werden die Sensorboards mit höchster Präzision auf den Modulträger aufgesetzt und verklebt. Danach werden die ASGs und weitere Teile montiert, bevor die abschließende Modulprüfung erfolgt.

# Module testing

## Testing the module

Each individual module is carefully inspected and evaluated based on various criteria. The test results are recorded in a database, which is used to calculate the optimal module arrangement for each detector. This allows for the targeted selection of modules with similar properties for detector assembly, enabling uniform signal processing and high image quality.

Jedes einzelne Modul wird sorgfältig nach verschiedenen Kriterien geprüft und bewertet. Die Prüfergebnisse fließen in eine Datenbank, aus deren Inhalt die optimale Modulsortierung für jeden Detektor errechnet wird. Auf diese Weise können gezielt Module mit vergleichbaren Eigenschaften für den Detektaufbau selektiert werden, was wiederum eine sehr homogene Verarbeitung der Signale zur Folge hat, sowie eine hohe Bildqualität ermöglicht.

Figure 1 DMS assembly



# DMS production

## Assembling and testing the DMS

In the final production step, the detector housing is equipped with the presorted modules and completed with a variety of electronic components.

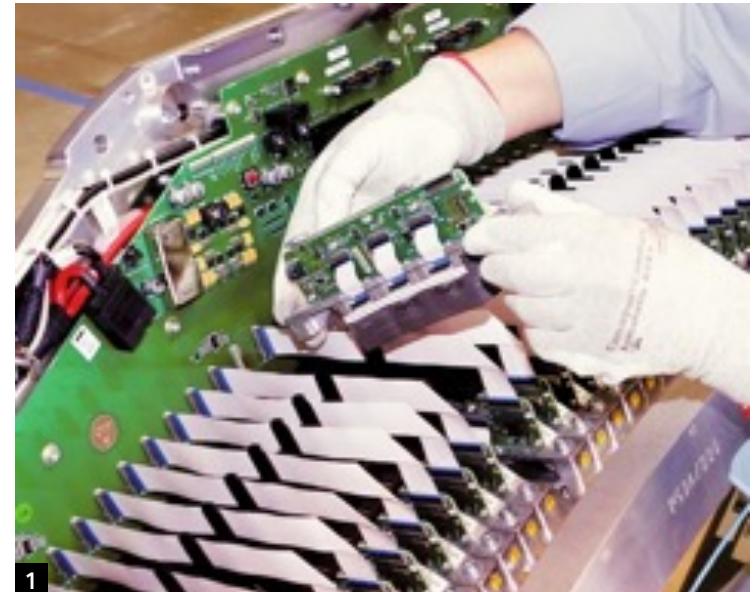
The final test is now conducted under real-life conditions. The assembled detector is installed in a CT test system in order to test each specified characteristic one more time under maximum loads.

The detector isn't delivered to our internal customer, CT Final Assembly, until we're absolutely confident that it meets our highest quality standards.

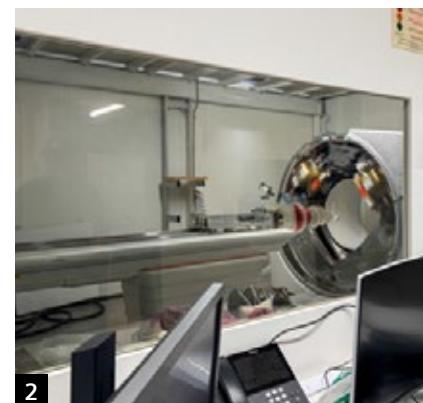
Im letzten Fertigungsschritt wird die Detektormechanik mit den vorsortierten Modulen bestückt und mit verschiedenen elektronischen Baugruppen vervollständigt.

Nun folgt der letzte Test unter Realbedingungen: Der fertig montierte Detektor wird in ein CT-Testsystem eingebaut, um alle spezifizierten Eigenschaften noch einmal unter maximalen Belastungen überprüfen zu können.

Erst wenn wir sicherstellen können, dass der Detektor unseren hohen Qualitätsansprüchen genügt, wird er zur Auslieferung an unseren internen Kunden, die CT-Endmontage, freigegeben.



1



2

Figure 1 DMS assembly  
Figure 2 DMS final test

# OEM business for UFC

The Siemens Healthineers UFC scintillator has the ability to provide high-resolution images in fractions of a second – which means optimally reliable detectors. It's not just useful for our medical applications, it's also valuable for industrial applications like security inspections at airports and container ports and for recycling and sorting many different kinds of materials.

Siemens Healthineers UFC-Szintillatormaterial besitzt die Fähigkeit, in Bruchteilen von Sekunden hochauflösende Bilder für zuverlässige Detektoren zu liefern. Daher wird es nicht nur in unseren medizinischen Anwendungen sinnvoll eingesetzt, sondern z. B. auch in der Sicherheitsinspektion an Flug- und Containerhäfen oder für den industriellen Einsatz, wie beim Recycling und bei der Sortierung von Materialien jeglicher Art, verwendet.



## Security inspection

The importance of security in air travel and international freight transportation has grown significantly. Pieces of luggage, parcels, complete truckloads, and even shipping containers are now checked for illegal goods and substances using X-ray radiation. Speed and high resolution are of the utmost importance in these applications.

## Sicherheitsinspektion

Sicherheit spielt im Flugverkehr und im internationalen Frachttransport eine immer wichtigere Rolle. Gepäckstücke, Versandpakete, komplette LKW-Ladungen und sogar ganze Schiffscontainer werden mittlerweile mit Röntgenstrahlung auf unzulässige Waren und Substanzen überprüft. Schnelligkeit und eine hohe Auflösung haben hier eine große Bedeutung.



### Recycling and sorting

When it's equipped with our UFC scintillator material, X-ray technology can be used to identify the ingredients of materials of all kinds, sort them regardless of color and contamination, and recycle them. With this technology, substances can be separated according to their atomic weight and density. This makes it possible to separate the ingredients of a material into different material types.

### Recycling und Sortierung

Durch den Einsatz unseres UFC-Szintillatormaterials können mittels Röntgentechnologie Inhaltsstoffe von Materialien jeglicher Art identifiziert sowie unabhängig von ihrer Farbe und Verunreinigung sortiert und wiederverwertet werden. Mit dieser Technologie können Substanzen nach ihrem Atomgewicht und ihrer Dichte separiert werden. Das ermöglicht es, Inhaltsstoffe eines Materials in verschiedene Materialtypen zu trennen.



### Wood industry

Thanks to UFC ceramics, round logs can be classified in such a way that the saw cuts for boards are optimized. The sorting is performed based on customer-specific product quality requirements. A 360-degree optimization for the sawing process using CT scanning allows for continuous, qualitative, and complete reconstruction of round logs in 3D. The appearance, quality, and strength can be assessed on the basis of recognizable material structures. This permits conclusions to be drawn about the impact of sawing on the finished product before the log is actually cut.

### Holzindustrie

Dank der UFC-Keramik können Rundhölzer so klassifiziert werden, dass damit der Sägeschnitt für Bretter optimiert werden kann. Dabei erfolgt die Sortierung entsprechend den kundenspezifischen Produktqualitätsanforderungen. Eine 360-Grad-Optimierung für den Sägeprozess mittels CT-Scan ermöglicht eine kontinuierliche, qualitative und komplett Rekonstruktion von Rundhölzern in 3D. Anhand der erkennbaren Materialstrukturen werden Erscheinungsbild, Qualität und Festigkeit bewertet. Dadurch können vor dem mechanischen Einschnitt in den Stamm Aussagen über die Auswirkung des Sägens auf das fertige Produkt getroffen werden.

# Sustainability and environmental protection

## Consumption of recycling

Innovation is the foundation of our success. We're also well aware of our responsibility for environmental protection in every step of production. From the outset, we've consistently pursued the goal of achieving continuous and sustainable improvements to our company's environmental performance through voluntary initiatives.

Over the past several years, we've implemented numerous process improvements that have enabled us to reduce the amount of raw materials required to produce a defined UFC surface by more than two-thirds.

Production of UFC ceramics also takes place in a closed recycling loop, which has a particularly positive impact thanks to the reuse of rare earth elements.

We're already developing comparable resource-saving process approaches for our photon-counting detectors.

We're proud that our products and processes have been certified under the strict EU environmental management regulations since 1996. Our environmental management system also meets the requirements of ISO 14001 and OHSAS 18001.

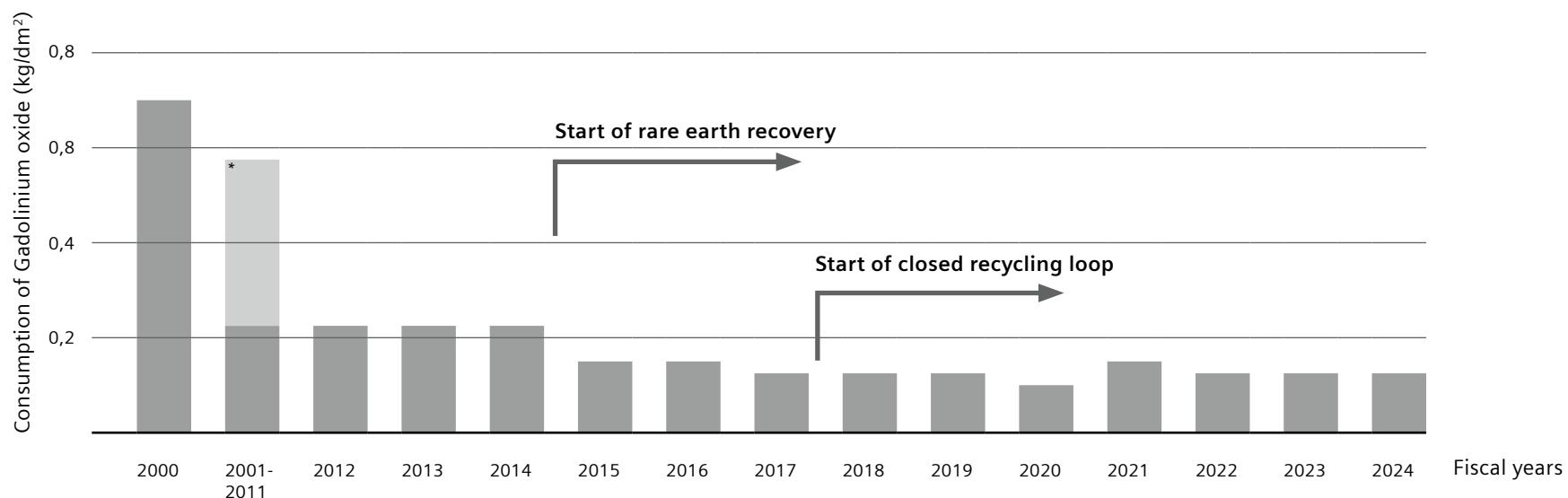
Innovation ist die Basis unseres Erfolgs. Wir sind uns bei jedem Produktionsschritt unserer Verantwortung für den Umweltschutz bewusst. Von Anfang an verfolgen wir daher konsequent das Ziel, durch freiwillige Maßnahmen eine kontinuierliche und nachhaltige Verbesserung der Umweltleistung unseres Unternehmens zu erreichen. So ist es uns über die letzten Jahre durch zahlreiche Prozessverbesserungen gelungen, die zur Herstellung einer definierten UFC-Fläche benötigte Menge an Ausgangsstoffen auf weniger als ein Drittel zu reduzieren. Darüber hinaus findet die Produktion der UFC-Keramik in einem geschlossenen Recyclingkreislauf statt, was sich durch die Wiederverwendung

der seltenen Erden besonders positiv auswirkt. Auch für Photon-counting CT laufen bereits heute Verfahrensentwicklungen mit vergleichbaren Ansätzen zur Ressourcenschonung.

Wir sind stolz darauf, dass unsere Produkte und Prozesse bereits seit 1996 – gemäß den strengen Regelwerken der EU für Umweltmanagement – zertifiziert sind. Selbstverständlich erfüllt unser Umweltschutz-Managementsystem auch ISO 14001 und OHSAS 18001.

## Consumption of resources

Reduction of virgin Gadolinium oxide in the production of CT detector ceramics

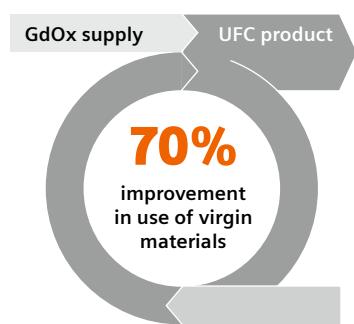


\*Changes during several combined years shown in grey

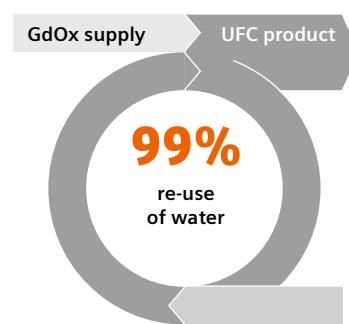
# Sustainability and environmental protection

## Consumption of resources

Rare earth GdOx  $>5^N$   
Consumption of raw material

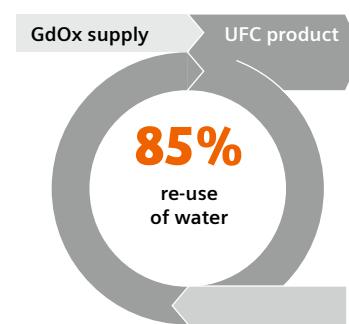


Wastewater  
Consumption of deionized water

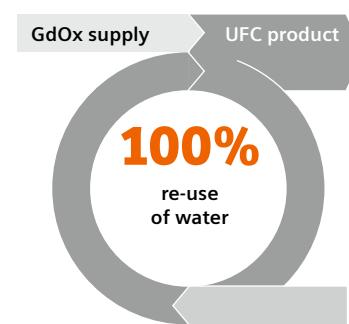


## Recycling of dangerous waste

Rare Earth GdOx  $>5^N$   
Re-use of hazardous substance



S – Sulfur  $>6^N$   
Reuse of hazardous substance



GdOx in returns,  
service parts, and  
hazardous waste



At Siemens Healthineers, we pioneer breakthroughs in healthcare. For everyone. Everywhere. Sustainably. As a market leader, we want to advance a world in which breakthroughs in healthcare create new possibilities with a minimal impact on our planet. We've been pushing the boundaries in medical technology for more than 125 years. By consistently bringing innovations to the market, we enable healthcare professionals to innovate personalized care, achieve operational excellence, and transform the system of care.

With the unique combination of our strengths in patient twinning<sup>1</sup>, precision therapy, as well as digital, data, and artificial intelligence (AI), we are well positioned to take on the greatest challenges in healthcare. We will continue to build on these strengths to help overcome the world's most threatening diseases, enable efficient operations, and expand access to care.

Our portfolio, spanning in vitro and in vivo diagnostics to image-guided therapy and cancer care, is crucial for clinical decision-making and treatment pathways. We are committed to improving healthcare access for all, limiting our environmental impact as we pioneer breakthroughs, and engaging our diverse Healthineers to achieve this impact on a global scale.

Motivated by our purpose and guided by our values, we are building an inclusive culture, where we embrace diversity in all its forms. We are a team of 73,000 Healthineers in over 70 countries passionately pushing the boundaries of what is possible in healthcare to help improve the lives of people around the world.

The products/features (mentioned herein) are not commercially available in all countries. Their future availability cannot be guaranteed.

<sup>1</sup> Personalization of diagnosis, therapy selection and monitoring, aftercare, and managing health.

---

#### **Siemens Healthineers Headquarters**

Siemens Healthineers AG  
Siemensstr. 3  
91301 Forchheim, Germany  
Phone: +49 9191 18-0  
[siemens-healthineers.com](http://siemens-healthineers.com)