

Photon-Counting-CT - Ein technischer Quantensprung

Die Einführung der Photon-Counting-CT stellt weit mehr als ein einfaches technisches Upgrade dar – sie leitet einen fundamentalen Wandel in der radiologischen Praxis ein.

Die spektrale Bildgebung bietet im klinischen Routinebetrieb handfeste Vorteile: Patientinnen und Patienten profitieren von einer überlegenen Bildqualität, einer spürbaren Senkung der Strahlendosis sowie einem reduzierten Kontrastmitteleinsatz. Für die Radiologieteams wiederum bedeutet die Technologie eine präzisere, effizientere und insgesamt angenehmere Diagnostik.

1. Photon-Counting – was steckt technisch dahinter?

Gängige CT-Systeme nutzen bis heute vorwiegend energieintegrierende Detektoren. Bei diesen erzeugt jedes eintreffende Röntgenphoton zunächst ein Lichtsignal, das erst danach elektronisch verarbeitet wird. Das Verfahren ist zwar bewährt und robust, stößt jedoch an physikalische Grenzen.

Ein zentraler Engpass liegt in der Reaktionszeit der Szintillatoren: Selbst hochmoderne Materialien benötigen etwa 10.000 Nanosekunden zur Lichterzeugung. Im selben Zeitfenster treffen jedoch rund 30.000 Photonen auf ein einzelnes Detektorelement. Rechnerisch bleiben damit bloß circa 8 Nanosekunden pro Photon – viel zu wenig für eine Einzelmessung.

Die Folge: Der Detektor gibt lediglich ein aufsummiertes, energiegewichtetes Gesamtsignal aus, bei dem feine Energieunterschiede der einzelnen Photonen verloren gehen.

Photon-Counting-Detektoren verfolgen einen grundlegend anderen Ansatz. Sie verzichten auf den Umweg über das Licht und wandeln jedes Photon direkt in elektrische Ladung um. Die Stärke dieser Ladung korreliert exakt mit der Photonenenergie: Niedrige Energien erzeugen wenig Ladung, hohe Energien entsprechend mehr.

Der Nutzen liegt auf der Hand:
Jedes Photon wird individuell registriert und zugleich energetisch einsortiert.

Dadurch stehen spektrale Informationen automatisch bereit, ganz ohne zusätzliche Dual-Energy-Modi oder Hilfstechnologien.

Diese Technik bildet das Fundament für die nächste Generation der Computertomographie und ermöglicht präzisere, differenziertere sowie effizientere Bilddaten.

2. Kernmerkmale der neuen Technologie

- **Flexible Scanmodi – maßgeschneidert für jede Fragestellung:**

Die vier primären Betriebsmodi (Quantum, Quantum.Plus, Quantum.Zinn und Quantum.Peak) erlauben eine exakte Abstimmung auf die jeweilige klinische Situation. Bildgüte, Scangeschwindigkeit und Dosis lassen sich so gezielt austarieren – ein enormer Vorteil bei komplexen Indikationen oder geschwächten Personen.

- **Vielfältige Rekonstruktionsmöglichkeiten:**

Aus den spektralen Rohdaten lassen sich verschiedene Bildtypen parallel generieren. Das vereinfacht die Befundung, schärft die Gewebegrenzungen und minimiert Artefakte – ohne dass weitere Scans erforderlich sind.

- **Stufenlos anpassbare keV-Werte:**

Die Rekonstruktion lässt sich flexibel auf dem gewünschten Energieniveau (z. B. 40, 70 oder 120 keV) durchführen. So kann die Bilddarstellung ideal an Kontrastmitteldynamik, Untersuchungsphase oder Fragestellung angepasst werden, bevor der Transfer ins PACS erfolgt.

- **Deutlich verringerter Strahlungs- und Kontrastmitteleinsatz:**

Im Routinebetrieb ließen sich Dosisersparungen von bis zu 50 % realisieren – bei gleichwertiger oder sogar gesteigerter Bildqualität. Ein Praxisbeispiel: Bei einer Patientin mit einem BMI von 45 konnte die Dosis um 49 % gesenkt und das diagnostische Ergebnis zeitgleich spürbar verbessert werden.

Auch der Kontrastmittelbedarf sinkt durch die spektrale Datenerfassung deutlich. Je nach Untersuchungsschema sind Einsparungen von bis zu 50 % möglich (im Schnitt etwa 30–35 %). Das erhöht nicht nur die allgemeine Patientensicherheit, sondern schont insbesondere die Nieren vorerkrankter Personen.

- **Virtuelle Native (VNC) – schlankere Workflows, weniger Dosis:**

Ein echter nativer Scan ist häufig überflüssig. Die VNC-Funktion rechnet die native Phase direkt aus den spektralen Rohdaten heraus. Das spart Zeit, vermeidet Dosis und reduziert zusätzliche Messungen.

- **Patientenorientierte Akquisition – flexibel und schnell:**

Die Parameter der Datenaufnahme lassen sich passgenau auf Körperregion und Fragestellung abstimmen.

- **UHR-Modus (Ultra High Resolution):** Erlaubt Schichtdicken bis hinab zu 0,2 mm für maximale Detailgenauigkeit.
- **Flash-Modus:** Ermöglicht extrem rasche Messungen mittels Dual-Source-Technik – perfekt für Cardio-CTs, bei Atembewegungen oder für unruhige Patientinnen und Patienten.

- **Erweitertes diagnostisches Spektrum:**

Dank hauchdünner Schichten und reduzierter Metallartefakte lassen sich nun auch Diagnosen verlässlich stellen, die zuvor schwer abgrenzbar waren – etwa bei CTEPH, Gicht, Knochenmarkveränderungen, Stents oder peripheren Gefäßverschlüssen.

- **Schnellere Untersuchungen:**

Sowohl der Flash-Modus als auch andere Einstellungen (vor allem mit Zinnfilterung) verkürzen die Untersuchungsdauer massiv. Im Vergleich zu älteren Systemen wie dem X.ceed verlaufen viele Scans heute erheblich zügiger.

- **Energieeffizienter Betrieb:**

Der Eco-Power-Modus senkt den Stromverbrauch in betriebsarmen Zeiten spürbar – da das System aus technischen Gründen dauerhaft am Netz bleiben muss, ist dies ein wichtiger Faktor.

- **Höhere diagnostische Sicherheit:**

Die gestiegene Informationsdichte erleichtert das Aufspüren, Abgrenzen und Bewerten pathologischer Befunde. Für Radiologinnen und Radiologen bedeutet das eine klarere Strukturdarstellung und eine präzisere Differenzialdiagnostik.

3. Wichtig zu wissen als Anwender

Der Wechsel auf ein Photon-Counting-System bringt im Praxisalltag ein paar Besonderheiten mit sich. Während viele Handgriffe rasch in Fleisch und Blut übergehen, erfordern andere ein gezieltes Umdenken. Die Kernpunkte im Überblick:

- **Nicht vom Netz trennen:**

Das System darf keinesfalls komplett ausgeschaltet werden. Wird der Detektor stromlos geschaltet, benötigt er eine längere Phase, bis er wieder die volle Bildleistung erreicht. Scans sind zwar vor dem Erreichen der Betriebstemperatur möglich, führen jedoch zu sichtbar schlechteren Ergebnissen. Eine fundierte Einarbeitung des gesamten Teams ist daher unerlässlich.

- **Rekonstruktionsdauer und PACS-Anbindung:**

Befürchtungen, photonenzählende Systeme würden den Arbeitsablauf ausbremsen, bewahrheiten sich bei passender IT-Infrastruktur nicht. Die Rechenzeiten und der PACS-Export bewegen sich auf gewohnt flottem Niveau.

Wichtiger Hinweis: Das Netzwerk sollte vorab anhand der Geräte-Spezifikationen geprüft und gegebenenfalls aufgerüstet werden, um Engpässe beim Datenstrang zu vermeiden.

- **Das volle Potenzial entfalten:**

Um die Vorteile der neuen Technik voll auszuschöpfen, muss der Anwender bereit sein, gewohnte Abläufe zu hinterfragen. Dies gilt insbesondere für:

- Kontrastmittelprotokolle
- Die Wahl der Rekonstruktionsverfahren
- Den gezielten Einsatz der Scanmodi

- **Lagerung:**

Eine extrem stabile und exakte Lagerung ist beim Photon-Counting-CT entscheidend: Da die Scans rasend schnell ablaufen, können sich selbst kleinste Bewegungen direkt im Bild niederschlagen. Insbesondere Schädel-Untersuchungen reagieren empfindlich auf Bewegungsartefakte, weshalb eine saubere Fixierung des Kopfes Pflicht ist.

Beim direkten Vergleich mit konventionellen Geräten zeigt sich ein interessantes Phänomen: Es entstehen keine neuartigen Artefakte – es handelt sich um exakt dieselben wie bisher. Geändert hat sich lediglich die Darstellungsqualität. Artefakte, die früher im Bildrauschen untergingen, treten nun gestochen scharf hervor. Der „Rauschteppich“ älterer Systeme hat diese Bildfehler schlicht überdeckt. Durch die direkte Quantenzählung und das minimierte elektrische Rauschen erzeugt der Photon-Counter extrem klare Bilder – wodurch allerdings auch bestehende Artefakte deutlicher sichtbar werden.

Diese Bildschärfe ist klinisch ein riesiger Vorteil, da sich feinste Gewebestrukturen auflösen lassen. Gleichzeitig unterstreicht sie, wie kritisch die korrekte Positionierung ist. Je ruhiger der Kopf liegt, desto geringer ist die Gefahr, dass Artefakte überhaupt entstehen oder störend ins Gewicht fallen.

4. Besonderheit: Spektrale Nachverarbeitung

Die spektrale Nachbereitung gehört zu den herausragenden Stärken des Photon-Counting-CTs. Da die Daten direkt auf Photonenebene erfasst werden, stehen spektrale Auswertungen automatisch bereit – ganz ohne Spezialprotokolle oder Zusatzmessungen. Das eröffnet flexible Optionen zur tiefgehenden Analyse der Bilddaten.

Die wichtigsten Werkzeuge im Überblick:

- **Monoenergetic Plus:**
Erlaubt eine freie Rekonstruktion im Energiebereich von 40 bis 190 keV. Niedrige keV-Werte (z. B. 45 keV) heben Kontrastunterschiede in Gefäßen, Leber oder Aorta hervor. Höhere Energien helfen wiederum, Dichteartefakte und Rauschen zu unterdrücken.
- **VNC – Virtuelle Native:**
Errechnet das native Bild direkt aus dem spektralen Datensatz. Der physische Nativscan entfällt – ein Gewinn für Dosis, Zeitaufwand und Patientensicherheit.
- **Jodkarte:**
Isoliert die Jodverteilung im Gewebe und hinterlegt zur Orientierung die Knochenstrukturen. Sie bildet das funktionelle Gegenstück zur VNC-Rekonstruktion mit klarem Fokus auf das Kontrastmittel.
- **Pure Calcium & Pure Lumen:**
 - **Pure Calcium:** Blendet bei Gefäßstudien alles aus außer Kalkablagerungen.
 - **Pure Lumen:** Isolierte Darstellung des kontrastierten Gefäßlumens ohne störenden Kalk.
Beide Modi erleichtern die Einschätzung von Stenosen und verbliebenen Gefäßquerschnitten erheblich.
- **T3D-Rekonstruktion:**
Simuliert die Bildanmutung eines klassischen CTs aus den Spektraldaten – ideal für Vergleiche mit Voraufnahmen oder zur Aufrechterhaltung der gewohnten Befundungslogik.
- **Lungenanalyse:**
Die jodbasierte Perfusionskarte erlaubt eine funktionelle Beurteilung des Lungengewebes und leistet wertvolle Dienste bei der Diagnostik von Lungenembolien.
- **Gicht-Rekonstruktion:**
Lässt sich wahlweise als VRT oder MPR ausgeben. Gichtdepots werden farblich oder in Graustufen markiert – vergleichbar mit Dual-Energy-Verfahren, jedoch unter Ausnutzung der speziellen Photon-Counting-Modi.
- **Bone Marrow:**
Farbcodierte Visualisierungen von Knochenmarködemen vereinfachen den Nachweis von Läsionen und entzündlichen Prozessen.
- **Rho/Z:**
Speziell für die Spätphase nach Kontrastmittelgabe entwickelt, dient dieses Tool der Beurteilung des Myokards, von Narbengewebe oder Fibrosen. Ähnlich wie bei Late-Enhancement-Aufnahmen in der Herz-MRT lassen sich diese Informationen dank hoher Auflösung und starkem Jodkontrast nun auch im CT erfassen.
- **SSP-Job:**

Die spektralen Informationen werden vollständig archiviert. Das ermöglicht spätere Nachrekonstruktionen und vertiefte Analysen jederzeit – auch abseits der Hauptkonsole.

- **Automatisierung ohne Mehraufwand:**
Besonders anwenderfreundlich: Alle spektralen Aufbereitungen laufen vollautomatisch im Hintergrund ab und belasten das Personal an der Konsole mit keinerlei Zusatzaufwand.

5. Fazit

Photon-Counting-CTs besitzen das Potenzial, die medizinische Bildgebung nachhaltig zu revolutionieren. Viele Diagnosen, die bislang Unsicherheiten bargen, gelingen heute mit höherer Verlässlichkeit, feinerer Auflösung und maximaler Klarheit. Der Trend zeigt eindeutig in Richtung einer Zukunft, in der photonenzählende Detektoren den Standard bilden werden – ein technischer Fortschritt, von dem sowohl die klinische Praxis als auch die Patientinnen und Patienten nachhaltig profitieren.

Quellen

- Siemens Healthineers. *Photon-Counting CT – Die Zukunft der Computertomographie*. Siemens Healthineers, Erlangen.
- Siemens Healthineers. *Photon-Counting CT – Meilensteine und Perspektiven*. Siemens Healthineers, Erlangen.
- Siemens Healthineers. *Spectral Imaging with Photon-Counting Technology*. White Paper, Siemens Healthineers, Erlangen.
- Blog von Pearl Technology, 16.12.2025: *Wie sich der Arbeitsalltag verändert – Teamreaktionen und praktische Learnings nach 4 Monaten Photon-Counting-CT*