

Julien Frank Josef Erath  
Dr. sc. hum.

## **Korrektur von Streustrahlartefakten durch tiefe neuronale Netze in der klinischen Computertomographie**

Fach/Einrichtung: DKFZ  
Doktorvater: Prof. Dr. Marc Kachelrieß

Im Rahmen der gegenwärtigen Dual-Source-Computertomographie werden zur Optimierung der zeitlichen Auflösung und der spektralen Bildinformationen zwei Messsysteme in einem Winkel von etwa  $90^\circ$  zueinander eingesetzt, wodurch zusätzlich zur üblichen Längsstreuung, die Querstreuung entsteht. Bei dieser emittieren beispielsweise Photonen von der Röntgenröhre A, welche dann am Patienten streuen und wiederum im Detektor B gemessen werden (Gleiches gilt umgekehrt). Die Querstreuung kann starke Bildartefakte in den rekonstruierten CT-Bildern hervorrufen, wobei die bestehenden Korrekturmethode entweder sehr rechenintensiv sind, zusätzliche Messsensoren erfordern oder mit einer zu geringen Präzision einhergehen. Ziel dieser Dissertation bestand darin, eine Technik zur Korrektur der Längs- und Querstreuung in der Dual-Source CT durch den Einsatz tiefer neuronaler Netze zu entwickeln.

Zu Beginn wurden zum Trainieren und Validieren der Netze die Verteilungen der Streustrahlung durch eine Monte-Carlo-Simulation generiert, wobei vorab eine Anpassung an einen klinischen CT-Scanner vorgenommen wurde. Die verschiedenen Netzarchitekturen unterschieden sich in den Eingabe- und Ausgabeinformationen voneinander, welche allerdings sowohl für den Trainingsvorgang und die Vorhersagbarkeit als auch für die jeweilige Anwendung von zwei- oder dreidimensionalen Faltungsoperatoren erforderlich sind.

Bei vorhandener Querstreuung konnte die Längsstreuung äußerst präzise anhand der aktuellen Projektion bestimmt werden. Damit zudem eine robuste Schätzung der Querstreuung durch eine Projektion mithilfe eines neuronalen Netzes ermöglicht wird, kann im Vorfeld dieser Schätzung die Berechnung einer Querstreuannäherung erfolgen. Im Zuge dessen wird mittels einer schnellen, grob aufgelösten Bildrekonstruktion die Querstreuung durch die Berechnung der Abschwächung entlang der Primärstrahlung approximiert. Diese Annäherung als zusätzliche Eingabe erlaubt eine exakte Korrektur von Querstreuartefakten durch das neuronale Netz. Eine weitere Möglichkeit für eine präzise Optimierung umfasst die Bereitstellung mehrerer Projektionen innerhalb der Eingabe für das entsprechende Netz. Im Rahmen der Nutzung von zweidimensionalen Faltungsoperatoren erreicht die Korrektur mit den zusätzlichen Eingaben einer vorherigen und folgenden Projektion eine gesteigerte Zuverlässigkeit. Des Weiteren geht die Verwendung einer dreidimensionalen Architektur mit der Verwendung von einem vollständigen Projektionsbereich als Eingabe und von Streustrahlverteilungen als Ausgabe einher, sodass auch hierbei die Genauigkeit der Verbesserung deutlich erhöht wird. Der mit den Streustrahlartefakten zusammenhängende mittlere Fehler in den Bildrekonstruktionen kann durch den hier analysierten Testdatensatz von 18 HU auf etwa 3 HU verringert werden. Insgesamt resultiert die Streustrahlkorrektur mittels neuronaler Netze gegenüber der messbasierten

Referenzmethode in einer präziseren Korrektur. Zusammenfassend können tiefe neuronale Netze die in der Dual-Source-CT entstehenden Streustrahlartefakte deutlich korrigieren. Überdies verbessert eine zusätzliche Querstreuannäherung oder die Eingabe zusätzlicher Projektionswinkel die Präzision des Algorithmus.

Der Einsatz sehr kleiner Pixelgrößen, wie es bei photonenzählenden Detektoren der Fall ist, kann den Gebrauch grober Streustrahlraster erfordern, bei denen mehrere Pixel zwischen den Lamellen des Rasters vorgefunden werden können. Dadurch ergeben sich in der sonst niederfrequenten Streustrahlverteilung hochfrequente Anteile, welche zu Moiré-artigen Artefakten in den Rekonstruktionen führen können.

Durch eine an den photonenzählenden CT-Scanner angepasste Geometrie mit einem groben Streustrahlraster wird die Streustrahlverteilung anhand von Monte-Carlo simuliert. Im Hinblick auf dieselbe Pixelposition inmitten der Lamellen des Streustrahlrasters, verändert sich die Streustrahlintensität langsam wie auch kontinuierlich über die Detektorpositionen unter Bewahrung der typischen, niederfrequenten Eigenschaften. In Anbetracht dessen, werden dem neuronalen Netz für jede Pixelposition zwischen den Lamellen die zugehörige Eingabe, bestehend aus Primärstrahlung und Längsstreuung, zur Verfügung gestellt. Folglich wird das neuronale Netz dazu trainiert, für jede Eingabe die zugehörige Streustrahlverteilung als separate Ausgabe zu schätzen. Infolgedessen können die verschiedenen Ausgaben zusammengeführt werden, um so die Streustrahlverteilungen für den gesamten Detektor samt der hochfrequenten Veränderungen zu erzeugen. Schlussendlich ist das neuronale Netz in der Lage den mittleren Fehler der Längsstreuung von 8 HU auf etwa 1 HU und dazu die Moiré-artigen Artefakte erheblich zu senken.