

Aus der Klinik für Strahlenheilkunde  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Optimierung technischer Parameter in der  
Computertomographie (CT) zur Qualitätssicherung in der  
Patientenversorgung

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor rerum medicinalium (Dr. rer. medic.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Georg Böning

aus Leinefelde

Datum der Promotion: 16.06.2018

## **Inhaltsverzeichnis**

1. Abstracts.....	2
1.1 Abstract – Deutsch.....	2
1.2 Abstract – English.....	3
1. Einführung.....	4
2. Methodik.....	6
2.1 Patientenkollektive.....	6
2.2 CT-Technik.....	7
2.3 Quantitative und qualitative Bildanalyse.....	7
2.4 Applizierte Dosis.....	8
2.5 Statistische Analysen und graphische Aufbereitung.....	8
3. Ergebnisse.....	8
4. Diskussion.....	9
5. Literaturverzeichnis.....	13
Eidesstattliche Versicherung.....	16
Druckexemplare der ausgewählten Publikationen.....	18
Lebenslauf.....	47
Vollständige Publikationsliste.....	48
Danksagung.....	52

# 1. Abstracts

## 1.1 Abstract – Deutsch

Diese Publikationspromotion umfasst drei in internationalen Fachzeitschriften publizierte Studien, welche eine Optimierung technischer Parameter der Computertomographie (CT) zur Qualitätssicherung in der Patientenversorgung zum Ziel hatten. Qualitätsrelevante Parameter der computertomographischen Bildgebung sind u.a. objektive und subjektive Bildqualität, die resultierende diagnostische Sicherheit, sowie die benötigte Dosis ionisierender Röntgenstrahlung und die verwendete Kontrastmittelmenge. Vor dem Hintergrund des Strahlenschutzes entstanden Protokolloptimierungspotentiale in jüngster Vergangenheit vor allem durch die Einführung iterativer Bildrekonstruktionsalgorithmen in der CT, welche allein oder in Kombination mit anderen Techniken eine Reduktion der Strahlendosis bei erhaltener, bildqualitätsbasierter, diagnostischer Sicherheit ermöglichen. Durch die Kombination iterativer Rekonstruktionen (IR) mit niedrigerenergetischer Röntgenstrahlung (niedrig-kVp-Technik) ergeben sich aufgrund spezifischer physikalischer Eigenschaften iodbasierter CT-Kontrastmittel weitere Optimierungspotentiale für einzelne Patientengruppen oder Fragestellungen.

Im Rahmen dieser Publikationspromotion wurden in drei prädisponierten Patientenkollektiven Optimierungen der CT-Protokolle durch den Einsatz iterativer Rekonstruktionen bzw. ihrer Kombination mit anderen Techniken zur Reduktion der Strahlendosis und auch der Kontrastmittelmenge durchgeführt. Zudem erfolgte eine Analyse der o.g. qualitätsrelevanten Parameter.

In den Ergebnissen der Studien bestätigte sich die Eignung der IR und ihrer Kombination mit anderen Methoden, wie der niedrig-kVp-Technik, zur CT-Protokolloptimierung hinsichtlich Senkung der Strahlendosis und Kontrastmittelmenge ohne Beeinträchtigung der diagnostischen Sicherheit in den akquirierten Bilddaten. Dies hat besondere Relevanz für jüngere Patienten aufgrund ihres höheren Lebenszeitrisikos für die Entwicklung strahleninduzierter Malignome, bei Patienten mit niedrigmalignen Tumoren und regelmäßigen Staging-Untersuchungen aufgrund der akkumulierenden Strahlendosis und der verbundenen Risiken, sowie für Patienten mit Nierenfunktionseinschränkung oder entsprechenden Risikofaktoren, da die Belastung durch verminderte Kontrastmittelmengen reduziert wird.

## **1.2 Abstract – English**

This thesis comprises three studies investigating the optimization of computed tomography (CT) protocols for better patient care. All three studies were published in peer-reviewed international scientific journals. Relevant quality-related parameters in CT imaging include objective and subjective image quality with resulting diagnostic evidence, applied radiation dose, and contrast agent (CA) volume. Against the background of radiation protection, the recent introduction of iterative reconstruction (IR) algorithms offers options for CT protocol optimization, especially with regard to lowering the radiation dose without compromising image quality. By combining IR with low-energy CT techniques, additional objectives such as CA volume reduction can be achieved by exploiting the physical characteristics of iodine-based CT contrast agents.

This thesis investigated CT protocol optimization using iterative reconstruction algorithms and combinations with other methods such as low-energy techniques and CA volume reduction in terms of the above-mentioned quality parameters in three patient populations.

The results of the three studies demonstrated the feasibility of IR and its combinations with other methods such as low-energy techniques for CT protocol optimization focusing on radiation dose and contrast agent volume without sacrificing diagnostic confidence. Radiation dose reduction is especially relevant for younger patients with an increased lifetime risk of radiation-induced malignancy, patients with low-grade tumors who require frequent staging examinations and therefore are exposed to high cumulative radiation doses and the related risks, while lowering the amount of contrast agent is important to protect the kidneys in patients with known impairment of renal function or risk factors for renal damage.

# 1. Einführung

Die optimierte, individualisierte Patientenversorgung hat oberste Priorität im Alltag des gesamten medizinischen Sektors. Vor dem Hintergrund u.a. technischer Fortschritte gehen die Bestrebungen einer stetigen Qualitätssteigerung der Versorgung mit steigenden Kosten im Gesundheitssystem einher<sup>1</sup>. Als Folge werden zunehmend Anstrengungen unternommen, unter anderem durch Prozessoptimierungen, die Systemeffizienz zu steigern, ohne das Qualitätsniveau zu senken<sup>2</sup>. Die Überwachung u.a. von Prozessmodulationen und die Verifizierung ihres Erfolges hinsichtlich des Qualitätsniveaus fallen in den Aufgabenbereich des Qualitätsmanagements. Es erlangt mit seinen Instrumenten, zu denen unter anderem Audits und Zertifizierungsverfahren gehören, konsequent in den letzten Jahren zunehmend Bedeutung. Ziel des Qualitätsmanagements ist u.a. die Identifikation von Surrogatparametern, welche ein effektives und effizientes Monitoring ermöglichen.

Bildgebende Verfahren sind integraler Bestandteil in Prävention, Primärdiagnostik, Therapiemonitoring, posttherapeutischer Überwachung, sowie der Steuerung minimal-invasiver Interventionen bei einer Vielzahl von Erkrankungen. Aufgrund ihrer diagnostischen Vielfältigkeit, breiten Verfügbarkeit und Kosteneffizienz gegenüber anderen Verfahren gehört die Computertomographie (CT) zu den verbreitetsten Bildgebungsmodalitäten in Industrienationen.<sup>2-6</sup>

Die beiden entscheidenden Prozessparameter zur Einschätzung der Qualität von CT-Untersuchungen sind die diagnostische Sicherheit, welche in direktem Zusammenhang mit der Bildqualität steht und die benötigte Dosis ionisierender Röntgenstrahlung zur Erstellung der Bilddatensätze. Diese beiden Parameter stehen aus physikalischen und technischen Gründen in einem antiproportionalen Verhältnis zueinander. Um eine Steigerung der diagnostischen Sicherheit über eine Verbesserung der Bildqualität zu erreichen wird daher eine höhere Strahlendosis für die Untersuchung benötigt. Die Exposition gegenüber ionisierender Röntgenstrahlung birgt jedoch das Risiko sowohl deterministischer, als auch stochastischer Strahlenschäden<sup>7</sup>. Während deterministische Schäden im Rahmen der modernen medizinischen CT-Diagnostik keine Rolle spielen, stellen die karzinogenen stochastischen Strahlenschäden und das resultierende Lebenszeitrisko einer Malignomentwicklung insbesondere für Risikogruppen ein relevantes Problem dar, welches durch den progredienten Einsatz der CT weiter verstärkt wird<sup>2,7</sup>. Vor dem Hintergrund des Strahlenschutzes gilt daher beim Einsatz ionisierender Röntgenstrahlung in der medizinischen Diagnostik das Prinzip: „as low as reasonably achievable

(ALARA)<sup>6</sup>, worunter eine Minimierung der Strahlenbelastung unter Einsatz ökonomisch sinnvoller Mittel zu verstehen ist<sup>8,2-5</sup>

In der CT-Diagnostik kommen für eine Vielzahl von Fragestellungen iodbasierte Kontrastmittel zum Einsatz<sup>9-11</sup>. Die Applikation derartiger Substanzen ist zur Beantwortung diverser Fragestellungen nötig, birgt jedoch ebenfalls Risiken. Zu diesen gehören unter anderem Paravasate bei der intravenösen Injektion, allergoide Reaktionen, Schilddüsendifunktionen durch Iod-Zufuhr und die exkretionsbedingte Verminderung der Nierenfunktion bis zur Dialysepflichtigkeit, insbesondere bei Patienten mit renalen Vorschäden<sup>9-11</sup>.

Nach der Entwicklung der CT mit den ersten Aufnahmen von Menschen im Jahr 1971 verlief der technische Fortschritt auf diesem Gebiet non-linear<sup>12</sup>. Nach einigen Verbesserungen primär in der Generierung der Röntgenstrahlung und dem Hardware-Design folgten deutliche Fortschritte Ende der achtziger bzw. Anfang der neunziger Jahre mit den Einführungen der Spiral- und der Mehrzeilen-CT. Seitdem bildet die Zeitdauer der CT-Untersuchung in der klinischen Routine, abgesehen von wenigen Fragestellungen z.B. in der kardialen Diagnostik keine Limitation mehr. Ein weiterer Meilenstein wurde in den zweitausender Jahren mit der klinischen Verbreitung der, bereits 1976 vorgestellten, dual-energy CT (DECT) erreicht<sup>13-15</sup>. Sie ermöglicht aufgrund stoffspezifischer Absorptionskurven über das Spektrum der, von der Röntgenröhre emittierten, Strahlung eine Differenzierung verschiedener Materialien<sup>13</sup>. Darüber hinaus kann im Vergleich zu konventionellen CT-Aufnahmen, aufgrund der spezifischen Absorptionseigenschaften des, in CT-Kontrastmitteln enthaltenen, Iods eine Absorptions- und damit Kontraststeigerung durch Verwendung geringerer Röhrenspannungen und konsekutiv niedrigerer Photonenenergien erreicht werden<sup>3,13,16-18</sup>. Dieser Effekt kann beispielsweise zur Reduktion der benötigten Kontrastmittelmenge genutzt werden<sup>3,13,16-18</sup>. Der Einsatz der DECT blieb aufgrund relativ höherer Dosiswerte bisher jedoch auf wenige Fragestellungen z.B. die Differenzierung von Konkrementen in den ableitenden Harnwegen beschränkt<sup>13</sup>.

In jüngster Vergangenheit gelang ein weiterer Durchbruch, diesmal auf dem Gebiet der Bildrekonstruktion aus den Rohdaten einer CT-Untersuchung, durch die Einführung iterativer Algorithmen, welche im Vergleich zum vormaligen Standard der gefilterten Rückprojektion eine Reduktion des Bildrauschens ermöglichen<sup>3-5,19-24</sup>. Da das Bildrauschen in proportionalem Zusammenhang zur applizierten Strahlendosis steht und diese u.a. von Röhrenspannung/-strom abhängt, wird somit eine Reduktion der benötigten Dosis durch den Einsatz iterativer Rekonstruktionen ermöglicht<sup>24</sup>.

Ziel dieser Arbeit war die Optimierung technischer Parameter der CT-Untersuchungen im Rahmen der Qualitätssicherung in der Patientenversorgung. Evaluiert wurden dazu sowohl das Dosisreduktionspotential durch den Einsatz iterativer Rekonstruktionen und ihrer Kombination mit der niedrig-kVp-Technik, als auch die resultierende diagnostische Sicherheit, gemessen anhand qualitativer und quantitativer Parameter zur Einschätzung der Bildqualität.<sup>3-5</sup>

## **2. Methodik**

### **2.1 Patientenkollektive**

Im Rahmen dieser Arbeit wurden drei Patientengruppen ausgewählt, welche aus verschiedenen Gründen potentielle Zielgruppen für Optimierungen der technischen Parameter der CT-Untersuchungen bilden.

Die erste Gruppe (vgl. Publikation 1) bilden Patienten mit überwiegend hochdifferenzierten, neuroendokrinen Tumoren (NET). Innerhalb dieser Tumorentität reicht das Spektrum von hochdifferenzierten neuroendokrinen Tumoren (low grade) bis hin zu aggressiven neuroendokrinen Karzinomen (NEC)<sup>25-32</sup>. Da Transformationen möglich sind, werden im Rahmen der klinischen Guidelines regelmäßige CT-Untersuchungen in dieser Patientengruppe durchgeführt<sup>25-32</sup>. Es resultiert insbesondere durch kurze Kontrollintervalle und teils jahrelange Verläufe eine signifikante Kumulativdosis ionisierender Strahlung mit den verbundenen Risiken<sup>7</sup>. Des Weiteren ermöglicht die typische Bildmorphologie dieser Tumorentität mit Hypervaskularisierung und konsekutiver Mehranreicherung von iodhaltigem Kontrastmittel den Effekt der Röntgenstrahlenabsorptionssteigerung des Iods durch Absenkung der Röhrenspannung bzw. Photonenenergie zur Strahlendosis- und Kontrastmittelmengenreduktion zu nutzen<sup>3,16-18,33</sup>. In dieser Gruppe wurden 51 Patienten zum intraindividuellen Vergleich eingeschlossen.<sup>3</sup>

Die zweite Gruppe (vgl. Publikation 2) bilden Patienten mit pulmonalen Tumoren, für welche die Bildgebung mittels CT aufgrund der Beschränkungen anderer Verfahren alternativlos ist. Dies gilt, durch die Limitationen der Magnetresonanztomographie (MRT) in diesem Bereich besonders, da zur Beurteilung eine hohe räumliche Auflösung erforderlich ist<sup>34</sup>. Daher wurde ein Patientenkollektiv mit Bronchialkarzinomen oder pulmonalen Metastasen ausgewählt. In dieser Gruppe wurden 79 Patienten zum intraindividuellen Vergleich eingeschlossen.<sup>5</sup>

Aufgrund des erhöhten Lebenszeitriskos für Malignomentwicklungen durch stochastische Schäden ionisierender Röntgenstrahlen, bilden Minderjährige die dritte Gruppe (vgl. Publikation 3) für welche im Rahmen dieser Arbeit Optimierungen der CT-Untersuchungen angestrebt und evaluiert wurden<sup>35,36</sup>. CT-Untersuchungen des Neurokraniums bei Kindern erfolgen aufgrund der partiell eingeschränkten Verfügbarkeit der MRT, der klinischen Ergebnisrelevanz und des kritischen Faktors der Zeit bis zur Diagnose/Therapie für das entsprechende Outcome<sup>37,38</sup>. Zur Optimierung dieser Untersuchung wurden dem ALARA-Prinzip folgend, auch Kombinationen von Parameteranpassungen evaluiert. In dieser Gruppe wurden 78 Patienten zum interindividuellen Vergleich eingeschlossen.<sup>4</sup>

## **2.2 CT-Technik**

Alle Untersuchungen wurden im selben 64-Zeilen CT-Scanner (LightSpeed VCT; GE Healthcare, Milwaukee, WI, USA) durchgeführt. Als Basis dienten die etablierten Standardprotokolle für die jeweiligen klinischen Fragestellungen. Für den Einsatz der iterativen Rekonstruktion, welche in diesem Fall herstellerspezifisch als „adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR)“ bezeichnet wird, erfolgte die notwendige Anpassung limitierender Parameter (sog. „noise index“, Begrenzungen der Röhrenströme etc.), wohingegen alle übrigen Parameter unverändert übernommen wurden. In den Kollektiven der Minderjährigen und der Patienten mit NETs erfolgte zudem partiell eine Reduktion der Röhrenspannung (niedrig-kVp), sowie eine partielle Reduktion der Kontrastmittelmenge in den Untersuchungen der NET-Patienten (Details vgl. Publikation 1-3).<sup>3-5</sup>

## **2.3 Quantitative und qualitative Bildanalyse**

Die Evaluierung der Bildqualität erfolgte in allen Kollektiven sowohl anhand quantitativer, als auch qualitativer Parameter.

Im quantitativen Bereich wurden jeweils Signal-zu-Rausch- und Kontrast-zu-Rausch-Verhältnisse relevanter Gewebe auf Basis von Messungen in Hounsfield-Einheiten (HU) berechnet und verglichen (Details vgl. Publikation 1-3).<sup>3-5</sup>

Die qualitative Einschätzung der Bildqualität erfolgte durch mehrere, auf dem jeweiligen Gebiet erfahrene, Radiologen anhand definierter Likert-Skalen zur Analyse qualitativer Bildparameter, zu denen u.a. Bildrauschen, Bildkontrast und diagnostische Sicherheit zählen.<sup>3-5</sup>



## **2.4 Applizierte Dosis**

Die Erfassung der jeweils applizierten Dosis erfolgte unter Verwendung der, für jede Untersuchung generierten und archivierten, Dosisberichte. Betrachtet wurden der volumenbasierte „computed tomography dose index“ (CTDI<sub>vol</sub>) und das Dosislängenprodukt (DLP), welches das Produkt aus CTDI<sub>vol</sub> und Scanlänge darstellt<sup>39</sup>. In Publikation 2 wurde außerdem ein neuerer Parameter verwendet, welcher als „size-specific dose estimate“ (SSDE) bezeichnet wird. Für die SSDE werden im Gegensatz zu den beiden erstgenannten, phantombasierten Dosiswerten u.a. Patientendiametermessungen zur Dosissschätzung herangezogen. In dieser Arbeit wurden zudem ausgewählte Werte der effektiven Dosis angegeben, welche unter Verwendung der gültigen Gewebe-Wichtungsfaktoren berechnet wurden.<sup>3-5</sup>

## **2.5 Statistische Analysen und graphische Aufbereitung**

Die statistischen Analysen und die graphische Aufbereitung der Daten erfolgten mit verschiedenen Versionen kommerziell erhältlicher Software (SPSS statistics, IBM Corp., Armonk, NY, USA bzw. GraphPad Prism, GraphPad Software, San Diego, CA, USA). Evaluiert wurden, neben den Ausprägungen der quantitativen und qualitativen Bildparameter der verschiedenen Protokolle, sowie der Dosiswerte, auch das Maß an Übereinstimmung der qualitativen Einschätzungen der verschiedenen Beurteiler.<sup>3-5</sup>

## **3. Ergebnisse**

In der ersten Patientengruppe (vgl. Publikation 1) konnte durch den Einsatz iterativer Bildrekonstruktionsalgorithmen in Kombination mit dem Einsatz niedrigerenergetischer Röntgenstrahlung eine deutliche Reduktion der applizierten Dosis (CTDI<sub>vol</sub>) erreicht werden. Diese betrug 28% im Vergleich zum Protokoll mit singularärer Anwendung iterativer Rekonstruktion und sogar 57% verglichen zum älteren Standardprotokoll unter Einsatz der gefilterten Rückprojektion.<sup>3</sup>

Trotz einer Reduktion der eingesetzten Kontrastmittelmenge um 30% konnte die objektiv gemessene Bildqualität im optimierten Protokoll zudem gesteigert werden. Geringe Verluste in einzelnen Kategorien der subjektiven Qualitätseinschätzung des Niedrigenergieprotokolls wurden durch eine Steigerung des Anteils der iterativen Rekonstruktion in der Bildrekonstruktion ausgeglichen und die diagnostische Sicherheit im optimierten Protokoll somit nicht beeinträchtigt.<sup>3</sup>

In der zweiten Patientengruppe (vgl. Publikation 2) wurde durch die Verwendung iterativer Bildrekonstruktion die benötigte Dosis der CT-Untersuchungen ebenfalls deutlich gesenkt. Die Dosisreduktion im Vergleich zur gefilterten Rückprojektion betrug 36% (DLP, effektive Dosis) bzw. 34% (SSDE).<sup>5</sup>

In dieser Patientengruppe wurde durch das optimierte Protokoll ebenfalls eine äquivalente objektive und subjektive Bildqualität erreicht, sodass die diagnostische Sicherheit unbeeinträchtigt blieb.<sup>5</sup>

In der dritten Patientengruppe (vgl. Publikation 3) wurden die benötigten Dosiswerte durch die Kombination aus iterativer Rekonstruktion und niedrigerer Röhrenspannung, verglichen mit der gefilterten Rückprojektion, um 34,4% (DLP, 20% iterative Rekonstruktion) bzw. 64,4% (DLP, 30% iterative Rekonstruktion) gesenkt. Die alleinige Verwendung der niedrigeren Energie erbrachte keinen signifikanten Dosisvorteil. Aus der Dosisreduktion resultierten signifikante Verluste sowohl in der quantitativen als auch qualitativen Analyse der Bildqualität, wodurch jedoch die diagnostische Sicherheit nicht signifikant vermindert wurde. Aufgrund der beobachteten Tendenzen wurde jedoch für die klinische Routine das Protokoll mit der niedrigeren Röhrenspannung und einem zwanzigprozentigen Anteil iterativer Rekonstruktion empfohlen, wohingegen das Protokoll mit dem dreißigprozentigen Anteil iterativer Rekonstruktion der Verlaufskontrolle spezifischer Befunde (z.B. Blutungen, Hydrocephalus etc.) vorbehalten bleibt.<sup>4</sup>

## **4. Diskussion**

Die Qualitätssicherung der Patientenversorgung hat im medizinischen Sektor oberste Priorität. Im Zuge u.a. technischer Fortschritte steigen jedoch die Kosten der medizinischen Versorgung in Industrienationen, sodass u.a. Prozessoptimierungen und Qualitätskontrollen nach Prozessmodulation nötig werden<sup>1,40</sup>.

Die Computertomographie gehört aufgrund ihrer breiten Verfügbarkeit und relativen Kosteneffizienz zu den am weitesten verbreiteten bildgebenden Verfahren, da sie ebenfalls ein breites Anwendungsspektrum bietet<sup>6,40</sup>. Seit der Entwicklung der CT konnten diverse technische Neuerungen zur Verbesserungen des Verfahrens beitragen. Zu den wesentlichen Fortschritten in der CT-Technik der letzten Jahre zählt die Einführung iterativer Bildrekonstruktionsverfahren, welche auch in den Studien dieser Arbeit Anwendung fanden<sup>3-5</sup>. Sie ermöglichen den Ausgleich

von Verlusten der Bildqualität, welche aus Reduktionen der verwendeten Strahlendosis resultieren<sup>3-5,19-24</sup>.

Wesentliche Parameter zur Qualitätseinschätzung von computertomographischen Untersuchungen sind die Bildqualität der akquirierten Datensätze, die resultierende diagnostische Sicherheit, die zur Anfertigung der Aufnahmen benötigte Dosis ionisierender Röntgenstrahlung und die eingesetzte Kontrastmittelmenge. Bildqualität und Strahlendosis stehen dabei in einem antiproportionalen Verhältnis zueinander, sodass stets ein Kompromiss zwischen benötigter diagnostischer Verwertbarkeit der Bilddatensätze und den strahlendosisbezogenen Risiken gefunden werden muss<sup>24</sup>. Im Hinblick auf den Strahlenschutz gilt dabei das Prinzip „as low as reasonably achievable (ALARA)“, worunter eine Minimierung der Strahlenbelastung bei erhaltener, diagnostischer Verwertbarkeit zu verstehen ist<sup>8</sup>. Von einer möglichen Reduktion der benötigten Kontrastmittelmenge profitieren, aufgrund der verbundenen Risiken, primär Patienten mit eingeschränkter Nierenfunktion<sup>3,11,13,16-18</sup>.

Dem ALARA-Prinzip folgend ergibt sich somit, neben anderen Möglichkeiten, ein Optimierungspotential im Hinblick auf die Strahlendosis durch die Verwendung iterativer Bildrekonstruktionsalgorithmen<sup>3-5,20-23</sup>. Da sich die Bildqualität und die damit verbundene, diagnostische Sicherheit jedoch antiproportional zur Dosis verhalten, war das Ziel dieser Arbeit eine Optimierung von CT-Protokollen vor dem Hintergrund des Strahlenschutzes unter Evaluation bzw. Sicherstellung der diagnostischen Qualität. Dabei wurden neben der Verwendung iterativer Bildrekonstruktion partiell auch Optimierungen bei der Auswahl der Röhrenspannung und konsekutiv des Energielevels der emittierten Strahlung, sowie der verwendeten Kontrastmittelmengen vorgenommen<sup>3-5</sup>.

Betrachtet wurden im Rahmen dieser Arbeit drei verschiedene Patientenkollektive, welche aufgrund physikalischer oder pathophysiologischer Gegebenheiten besonders von einer Optimierung der Computertomographie profitieren.<sup>3-5</sup>

Die erste Gruppe (vgl. Publikation 1) bilden Patienten mit neuroendokrinen Tumoren. Diese seltene und heterogene Tumorgruppe reicht in ihrem Spektrum von niedriggradigen bis zu hochaggressiven Formen<sup>25-32</sup>. Insbesondere Patienten mit niedriggradigen NETs erhalten im Rahmen des partiell langjährigen onkologischen Monitorings eine Vielzahl an CT-Untersuchungen, welche zu einer relevanten Kumulativdosis mit den damit verbundenen Risiken führen<sup>7,8,25-32,36</sup>. Des Weiteren zeichnen sich NETs typischerweise durch eine arterielle Hypervaskularisation aus, welche im Zusammenhang mit der Graduierung des Tumors steht und

aus welcher eine starke Kontrastmittelanreicherung resultiert<sup>3,33,41</sup>. Aufgrund der spezifischen Strahlenabsorptionseigenschaften des, in CT-Kontrastmitteln enthaltenen, Iods kann somit durch Verminderung der Photonenenergie eine Kontraststeigerung erreicht werden, welche wiederum eine Reduktion der benötigten Kontrastmittelmenge ermöglicht<sup>3,11,13,16-18</sup>. Aufgrund dieser Gegebenheiten erfolgte in dieser Patientengruppe eine Optimierung der CT-Protokolle durch die Anwendung iterativer Bildrekonstruktion, Senkung der Röhrenspannung und damit Verminderung der Photonenenergie zur Kontraststeigerung, sowie eine Reduktion der eingesetzten Kontrastmittelmenge. In den Ergebnissen dieser Studie konnte die Anwendbarkeit insbesondere der Kombination von Dosisreduktionstechniken zur signifikanten Verminderung der Strahlenbelastung und Senkung der eingesetzten Kontrastmittelmenge bestätigt werden, wobei die diagnostische Sicherheit gewährleistet blieb (vgl. Publikation 1). Diese Beobachtungen korrelieren mit den Berichten in der Literatur, sowohl im Hinblick auf die Strahlendosis- als auch Kontrastmittelmengenreduktion<sup>4,5,16,17,19-23,41-44</sup>. Aufgrund des intraindividuellen Designs und des hohen Standardisierungsgrades der CT-Protokolle ergibt sich die wesentliche Limitation dieser Studie aus der Zeit zwischen den CT-Aufnahmen, in welcher durch geringe Veränderungen insbesondere der Tumordarstellung die Ergebnisse beeinflusst worden sein könnten. Als Ausblick lassen sich die Ergebnisse dieser Studie, aufgrund der ähnlichen Bildmorphologie, möglicherweise auch auf andere, typischerweise arteriell hypervaskularisierte Neoplasien (z.B. hepatozelluläres Karzinom, Nierenzellkarzinom etc.) übertragen, dies wurde im Rahmen der Studie jedoch nicht betrachtet.<sup>3</sup>

In der zweiten Gruppe (vgl. Publikation 2) wurden Patienten mit Bronchialkarzinomen oder pulmonalen Metastasen untersucht, da in der klinischen Routine die Computertomographie die Bildgebungsmodalität der ersten Wahl für diese Patienten darstellt<sup>34</sup>. Auch in dieser Gruppe konnten signifikante Dosisersparungen unter Wahrung der diagnostischen Sicherheit erreicht werden. Die Ergebnisse dieser Studie waren dabei konkordant zu Ergebnissen in der Literatur<sup>3,4,20-23,41,45-49</sup>. Auch in dieser Studie wurden durch intraindividuelle Vergleiche und Standardisierung der CT-Protokolle wesentliche, potentielle Störfaktoren vermindert. In Analogie zur vorgenannten Studie resultiert eine Limitation auch im zweiten Patientenkollektiv aus der Zeitdifferenz zwischen den CT-Untersuchungen, wodurch eine Ergebnisbeeinflussung möglich wird. Neben der histologischen Heterogenität in der Patientenpopulation, liegt eine weitere Limitation in der eingeschränkten Verblindungsmöglichkeit der Untersucher im Rahmen der subjektiven Qualitätsbeurteilung. Die Begründung dafür liegt in dem, für den erfahrenen

Untersucher erkennbaren, geänderten Bildeindruck durch iterative Rekonstruktionen, welcher bei Niedrigdosisuntersuchungen der Lunge besonders zum Tragen kommt.<sup>5</sup>

Die dritte Patientengruppe (vgl. Publikation 3), welche im Rahmen dieser Arbeit betrachtet wurde, bilden Minderjährige, da sie aufgrund stochastischer Schäden ionisierender Röntgenstrahlung einem erhöhten Lebenszeitrisiko zur Malignomentwicklung unterliegen<sup>7,36</sup>. Computertomographien werden in dieser Patientengruppe, aufgrund der regelhaft schnelleren Verfügbarkeit, zur Diagnostik bzw. zum Ausschluss häufig akuter, intrakranieller Pathologien eingesetzt<sup>37,38</sup>. Daher wurden in dieser Studie CTs des Neurokraniums betrachtet. In den Ergebnissen zeigte sich ebenfalls ein Dosisoptimierungspotential durch iterative Bildrekonstruktion und Kombination dieser mit niedrigerenergetischer Röntgenstrahlung. Die diagnostische Sicherheit wurde durch die Dosisreduktion dabei nicht signifikant beeinflusst. Aufgrund der Beobachtungen im Hinblick auf die Bildqualität erfolgte jedoch eine differenzierte Protokollempfehlung für die klinische Routine und die Verlaufskontrolle spezifischer Fragestellungen. In der Vergleichsliteratur wurden verschiedene Ansätze verfolgt. In Studien, welche, äquivalent zu der vorliegenden, eine Dosisreduktion bei gegebener Bildqualität anstrebten, konnte die Eignung iterativer Rekonstruktionsalgorithmen bestätigt werden<sup>3,5,20-23,35,41,50-52</sup>. In einem anderen Ansatz, welcher ebenfalls von verschiedenen Autoren verfolgt wurde, erfolgte eine Steigerung der Bildqualität bei gegebenen Dosiswerten durch die Verwendung iterativer Rekonstruktion<sup>53,54</sup>. Die primäre Limitation dieser Studie liegt in dem interindividuellen Design ohne Gruppenhomogenisierung z.B. in Bezug auf das Patientenalter. Des Weiteren kommen auch in dieser Patientengruppe Limitationen in der Verblindung der subjektiven Bildqualitätsanalyse durch geänderte Bildeindrücke zu Tragen.<sup>4</sup>

Eine allgemeine Limitation der Studien im Rahmen dieser Arbeit besteht in der Beschränkung der Optimierungsbestrebungen auf einen Gerätehersteller. Vergleiche zu den, ebenfalls kommerziell erhältlichen, Äquivalentprodukten anderer Unternehmen wurden nicht durchgeführt, sind jedoch im Rahmen des Benchmarkings z.B. bei Geräteinvestitionen interessant.

## 5. Literaturverzeichnis

1. Bodenheimer T. High and rising health care costs. Part 2: technologic innovation. *Ann Intern Med* 2005;142:932-937.
2. Parakh A, Kortensniemi M, Schindera ST. CT Radiation Dose Management: A Comprehensive Optimization Process for Improving Patient Safety. *Radiology* 2016;280:663-673.
3. Boning G, Kahn JF, Kaul D, Rotzinger R, Freyhardt P, Pavel M, Streitparth F. CT follow-up in patients with neuroendocrine tumors (NETs): combined radiation and contrast dose reduction. *Acta Radiol* 2017;284185117726101.
4. Kaul D, Kahn J, Huizing L, Wiener E, Boning G, Renz DM, Streitparth F. Dose reduction in paediatric cranial CT via iterative reconstruction: a clinical study in 78 patients. *Clin Radiol* 2016;71:1168-1177.
5. Schafer ML, Ludemann L, Boning G, Kahn J, Fuchs S, Hamm B, Streitparth F. Radiation dose reduction in CT with adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) for patients with bronchial carcinoma and intrapulmonary metastases. *Clin Radiol* 2016;71:442-449.
6. Siström CL, McKay NL. Costs, charges, and revenues for hospital diagnostic imaging procedures: differences by modality and hospital characteristics. *J Am Coll Radiol* 2005;2:511-519.
7. Brenner DJ, Elliston CD. Estimated radiation risks potentially associated with full-body CT screening. *Radiology* 2004;232:735-738.
8. Hendee WR, Edwards FM. ALARA and an integrated approach to radiation protection. *Semin Nucl Med* 1986;16:142-150.
9. Davenport MS, Cohan RH, Khalatbari S, Ellis JH. The challenges in assessing contrast-induced nephropathy: where are we now? *AJR Am J Roentgenol* 2014;202:784-789.
10. Leung AM, Braverman LE. Iodine-induced thyroid dysfunction. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes* 2012;19:414-419.
11. Beckett KR, Moriarity AK, Langer JM. Safe Use of Contrast Media: What the Radiologist Needs to Know. *Radiographics* 2015;35:1738-1750.
12. Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system. *Br J Radiol* 1973;46:1016-1022.
13. McCollough CH, Leng S, Yu L, Fletcher JG. Dual- and Multi-Energy CT: Principles, Technical Approaches, and Clinical Applications. *Radiology* 2015;276:637-653.
14. Alvarez RE, Macovski A. Energy-selective reconstructions in X-ray computerized tomography. *Phys Med Biol* 1976;21:733-744.
15. Macovski A, Alvarez RE, Chan JL, Stonestrom JP, Zatz LM. Energy dependent reconstruction in X-ray computerized tomography. *Comput Biol Med* 1976;6:325-336.
16. Thor D, Brismar TB, Fischer MA. Low tube voltage dual source computed tomography to reduce contrast media doses in adult abdomen examinations: A phantom study. *Med Phys* 2015;42:5100-5109.
17. Nijhof WH, Baltussen EJ, Kant IM, Jager GJ, Slump CH, Rutten MJ. Low-dose CT angiography of the abdominal aorta and reduced contrast medium volume: Assessment of image quality and radiation dose. *Clin Radiol* 2016;71:64-73.
18. Andreini D, Mushtaq S, Conte E, Segurini C, Guglielmo M, Petulla M, Volpato V, Annoni A, Baggiano A, Formenti A, Bartorelli AL, Fiorentini C, Pepi M. Coronary CT angiography with 80 kV tube voltage and low iodine concentration contrast agent in patients with low body weight. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2016;10:322-326.
19. Berlin SC, Weinert DM, Vasavada PS, Martinez-Rios C, Parikh RA, Wien MA, Jordan DW, Novak RD. Successful Dose Reduction Using Reduced Tube Voltage With Hybrid Iterative Reconstruction in Pediatric Abdominal CT. *AJR Am J Roentgenol* 2015;205:392-399.
20. Kahn J, Grupp U, Kaul D, Boning G, Lindner T, Streitparth F. Computed tomography in trauma patients using iterative reconstruction: reducing radiation exposure without loss of image quality. *Acta Radiol* 2016;57:362-369.
21. Kahn J, Grupp U, Rotzinger R, Kaul D, Schafer ML, Streitparth F. CT for evaluation of potential renal donors - how does iterative reconstruction influence image quality and dose? *Eur J Radiol* 2014;83:1332-1336.

22. Kahn J, Kaul D, Boning G, Rotzinger R, Freyhardt P, Schwabe P, Maurer MH, Renz DM, Streitparth F. Quality and Dose Optimized CT Trauma Protocol - Recommendation from a University Level-I Trauma Center. *Rofo* 2017;
23. Kaul D, Grupp U, Kahn J, Ghadjar P, Wiener E, Hamm B, Streitparth F. Reducing radiation dose in the diagnosis of pulmonary embolism using adaptive statistical iterative reconstruction and lower tube potential in computed tomography. *Eur Radiol* 2014;24:2685-2691.
24. Silva AC, Lawder HJ, Hara A, Kujak J, Pavlicek W. Innovations in CT dose reduction strategy: application of the adaptive statistical iterative reconstruction algorithm. *AJR Am J Roentgenol* 2010;194:191-199.
25. Delle Fave G, O'Toole D, Sundin A, Taal B, Ferolla P, Ramage JK, Ferone D, Ito T, Weber W, Zheng-Pei Z, De Herder WW, Pascher A, Ruzniewski P, Vienna Consensus Conference p. ENETS Consensus Guidelines Update for Gastroduodenal Neuroendocrine Neoplasms. *Neuroendocrinology* 2016;103:119-124.
26. Falconi M, Eriksson B, Kaltsas G, Bartsch DK, Capdevila J, Caplin M, Kos-Kudla B, Kwekkeboom D, Rindi G, Kloppel G, Reed N, Kianmanesh R, Jensen RT, Vienna Consensus Conference p. ENETS Consensus Guidelines Update for the Management of Patients with Functional Pancreatic Neuroendocrine Tumors and Non-Functional Pancreatic Neuroendocrine Tumors. *Neuroendocrinology* 2016;103:153-171.
27. Garcia-Carbonero R, Sorbye H, Baudin E, Raymond E, Wiedenmann B, Niederle B, Sedlackova E, Toumpanakis C, Anlauf M, Cwikla JB, Caplin M, O'Toole D, Perren A, Vienna Consensus Conference p. ENETS Consensus Guidelines for High-Grade Gastroenteropancreatic Neuroendocrine Tumors and Neuroendocrine Carcinomas. *Neuroendocrinology* 2016;103:186-194.
28. Niederle B, Pape UF, Costa F, Gross D, Kelestimur F, Knigge U, Oberg K, Pavel M, Perren A, Toumpanakis C, O'Connor J, O'Toole D, Krenning E, Reed N, Kianmanesh R, Vienna Consensus Conference p. ENETS Consensus Guidelines Update for Neuroendocrine Neoplasms of the Jejunum and Ileum. *Neuroendocrinology* 2016;103:125-138.
29. O'Toole D, Kianmanesh R, Caplin M. ENETS 2016 Consensus Guidelines for the Management of Patients with Digestive Neuroendocrine Tumors: An Update. *Neuroendocrinology* 2016;103:117-118.
30. Pape UF, Niederle B, Costa F, Gross D, Kelestimur F, Kianmanesh R, Knigge U, Oberg K, Pavel M, Perren A, Toumpanakis C, O'Connor J, Krenning E, Reed N, O'Toole D, Vienna Consensus Conference p. ENETS Consensus Guidelines for Neuroendocrine Neoplasms of the Appendix (Excluding Goblet Cell Carcinomas). *Neuroendocrinology* 2016;103:144-152.
31. Pavel M, O'Toole D, Costa F, Capdevila J, Gross D, Kianmanesh R, Krenning E, Knigge U, Salazar R, Pape UF, Oberg K, Vienna Consensus Conference p. ENETS Consensus Guidelines Update for the Management of Distant Metastatic Disease of Intestinal, Pancreatic, Bronchial Neuroendocrine Neoplasms (NEN) and NEN of Unknown Primary Site. *Neuroendocrinology* 2016;103:172-185.
32. Ramage JK, De Herder WW, Delle Fave G, Ferolla P, Ferone D, Ito T, Ruzniewski P, Sundin A, Weber W, Zheng-Pei Z, Taal B, Pascher A, Vienna Consensus Conference p. ENETS Consensus Guidelines Update for Colorectal Neuroendocrine Neoplasms. *Neuroendocrinology* 2016;103:139-143.
33. Denecke T, Baur AD, Ihm C, Steffen IG, Tischer E, Arsenic R, Pascher A, Wiedenmann B, Pavel M. Evaluation of radiological prognostic factors of hepatic metastases in patients with non-functional pancreatic neuroendocrine tumors. *Eur J Radiol* 2013;82:e550-555.
34. Both M, Schultze J, Reuter M, Bewig B, Hubner R, Bobis I, Noth R, Heller M, Biederer J. Fast T1- and T2-weighted pulmonary MR-imaging in patients with bronchial carcinoma. *Eur J Radiol* 2005;53:478-488.
35. Strauss KJ, Goske MJ, Kaste SC, Bulas D, Frush DP, Butler P, Morrison G, Callahan MJ, Applegate KE. Image gently: Ten steps you can take to optimize image quality and lower CT dose for pediatric patients. *AJR Am J Roentgenol* 2010;194:868-873.
36. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, Howe NL, Ronckers CM, Rajaraman P, Sir Craft AW, Parker L, Berrington de Gonzalez A. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet* 2012;380:499-505.
37. Morton RP, Reynolds RM, Ramakrishna R, Levitt MR, Hopper RA, Lee A, Browd SR. Low-dose head computed tomography in children: a single institutional experience in pediatric radiation risk reduction: clinical article. *J Neurosurg Pediatr* 2013;12:406-410.

38. Ghizoni E, Fraga Ade M, Baracat EC, Joaquim AF, Fraga GP, Rizoli S, Nascimento B. Indications for head computed tomography in children with mild traumatic brain injury. *Rev Col Bras Cir* 2013;40:515-519.
39. Shope TB, Gagne RM, Johnson GC. A method for describing the doses delivered by transmission x-ray computed tomography. *Med Phys* 1981;8:488-495.
40. Antypas EJ, Sokhandon F, Farah M, Emerson S, Bis KG, Tien H, Mezwa D. A comprehensive approach to CT radiation dose reduction: one institution's experience. *AJR Am J Roentgenol* 2011;197:935-940.
41. Boning G, Schafer M, Grupp U, Kaul D, Kahn J, Pavel M, Maurer M, Denecke T, Hamm B, Streitparth F. Comparison of applied dose and image quality in staging CT of neuroendocrine tumor patients using standard filtered back projection and adaptive statistical iterative reconstruction. *Eur J Radiol* 2015;84:1601-1607.
42. Schindera ST, Diedrichsen L, Muller HC, Rusch O, Marin D, Schmidt B, Raupach R, Vock P, Szucs-Farkas Z. Iterative reconstruction algorithm for abdominal multidetector CT at different tube voltages: assessment of diagnostic accuracy, image quality, and radiation dose in a phantom study. *Radiology* 2011;260:454-462.
43. Kwon H, Cho J, Oh J, Kim D, Cho J, Kim S, Lee S, Lee J. The adaptive statistical iterative reconstruction-V technique for radiation dose reduction in abdominal CT: comparison with the adaptive statistical iterative reconstruction technique. *Br J Radiol* 2015;88:20150463.
44. Vardhanabhuti V, Loader R, Roobottom CA. Assessment of image quality on effects of varying tube voltage and automatic tube current modulation with hybrid and pure iterative reconstruction techniques in abdominal/pelvic CT: a phantom study. *Invest Radiol* 2013;48:167-174.
45. Romagnoli A, Funel V, Meschini A, Ricci A, Arduini S, Caramanica C, Simonetti G. Optimisation of low-dose CT with adaptive statistical iterative reconstruction in total body examination. *Radiol Med* 2012;117:1333-1346.
46. Pontana F, Pagniez J, Flohr T, Faivre JB, Duhamel A, Remy J, Remy-Jardin M. Chest computed tomography using iterative reconstruction vs filtered back projection (Part 1): Evaluation of image noise reduction in 32 patients. *Eur Radiol* 2011;21:627-635.
47. Pontana F, Duhamel A, Pagniez J, Flohr T, Faivre JB, Hachulla AL, Remy J, Remy-Jardin M. Chest computed tomography using iterative reconstruction vs filtered back projection (Part 2): image quality of low-dose CT examinations in 80 patients. *Eur Radiol* 2011;21:636-643.
48. Leipsic J, Nguyen G, Brown J, Sin D, Mayo JR. A prospective evaluation of dose reduction and image quality in chest CT using adaptive statistical iterative reconstruction. *AJR Am J Roentgenol* 2010;195:1095-1099.
49. Neroladaki A, Botsikas D, Boudabbous S, Becker CD, Montet X. Computed tomography of the chest with model-based iterative reconstruction using a radiation exposure similar to chest X-ray examination: preliminary observations. *Eur Radiol* 2013;23:360-366.
50. Willemink MJ, de Jong PA, Leiner T, de Heer LM, Nieuvelstein RA, Budde RP, Schilham AM. Iterative reconstruction techniques for computed tomography Part 1: technical principles. *Eur Radiol* 2013;23:1623-1631.
51. Vorona GA, Zuccoli G, Sutcliffe T, Clayton BL, Ceschin RC, Panigrahy A. The use of adaptive statistical iterative reconstruction in pediatric head CT: a feasibility study. *AJNR Am J Neuroradiol* 2013;34:205-211.
52. McKnight CD, Watcharotone K, Ibrahim M, Christodoulou E, Baer AH, Parmar HA. Adaptive statistical iterative reconstruction: reducing dose while preserving image quality in the pediatric head CT examination. *Pediatr Radiol* 2014;44:997-1003.
53. Korn A, Bender B, Fenchel M, Spira D, Schabel C, Thomas C, Flohr T, Claussen CD, Bhadelia R, Ernemann U, Brodoefel H. Sinogram affirmed iterative reconstruction in head CT: improvement of objective and subjective image quality with concomitant radiation dose reduction. *Eur J Radiol* 2013;82:1431-1435.
54. Ono S, Niwa T, Yanagimachi N, Yamashita T, Okazaki T, Nomura T, Hashimoto J, Imai Y. Improved image quality of helical computed tomography of the head in children by iterative reconstruction. *J Neuroradiol* 2016;43:31-36.



## Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Georg Böning, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Optimierung technischer Parameter in der Computertomographie (CT) zur Qualitätssicherung in der Patientenversorgung“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -[www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an den ausgewählten Publikationen entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift

## **Anteilerklärung an den erfolgten Publikationen**

Georg Böning hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

### Publikation 1:

Böning G, Kahn JF, Kaul D, Rotzinger R, Freyhardt P, Pavel M, Streitparth F, CT follow-up in patients with neuroendocrine tumors (NETs) - Combined radiation and contrast dose reduction, Acta Radiologica, 2017

Beitrag im Einzelnen: Literaturrecherche, Entwicklung der Forschungsfragen, Auswahl des Studiendesigns und der Erhebungsinstrumente, Entwicklung des Studienprotokolls, Koordinierung der Studie, Stichprobenauswahl, Datenerhebung, statistische Datenanalyse, Manuskriptverfassung und -überarbeitung

### Publikation 2:

Schäfer ML, Lüdemann L, Böning G, Kahn J, Fuchs S, Hamm B, Streitparth F, Radiation dose reduction in CT with adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) for patients with bronchial carcinoma and intrapulmonary metastases, Clinical Radiology, 2016

Beitrag im Einzelnen: anteilige Literaturrecherche, anteilige Entwicklung der Forschungsfragen, anteilige Auswahl des Studiendesigns und der Erhebungsinstrumente, anteilige Entwicklung des Studienprotokolls, anteilige Koordinierung der Studie, anteilige Stichprobenauswahl, anteilige Datenerhebung, anteilige statistische Datenanalyse, Manuskriptüberarbeitung

### Publikation 3:

Kaul D, Kahn J, Huizing L, Wiener E, Böning G, Renz DM, Streitparth F, Dose reduction in paediatric cranial CT via iterative reconstruction: a clinical study in 78 patients, Clinical Radiology, 2016

Beitrag im Einzelnen: anteilige Literaturrecherche, anteilige Entwicklung der Forschungsfragen, anteilige Auswahl des Studiendesigns und der Erhebungsinstrumente, anteilige Entwicklung des Studienprotokolls, anteilige Koordinierung der Studie, anteilige Stichprobenauswahl, Manuskriptüberarbeitung

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers/der betreuenden Hochschullehrerin

---

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

---

## **Druckexemplare der ausgewählten Publikationen**

Böning G, Kahn JF, Kaul D, Rotzinger R, Freyhardt P, Pavel M, Streitparth F. CT follow-up in patients with neuroendocrine tumors (NETs): combined radiation and contrast dose reduction. *Acta Radiol* 2017;[Epub ahead of print]

<https://doi.org/10.1177/0284185117726101>

Schäfer ML, Lüdemann L, Böning G, Kahn J, Fuchs S, Hamm B, Streitparth F. Radiation dose reduction in CT with adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) for patients with bronchial carcinoma and intrapulmonary metastases. *Clin Radiol* 2016;71:442-449.

<https://doi.org/10.1016/j.crad.2016.01.013>

Kaul D, Kahn J, Huizing L, Wiener E, Böning G, Renz DM, Streitparth F. Dose reduction in paediatric cranial CT via iterative reconstruction: a clinical study in 78 patients. *Clin Radiol* 2016;71:1168-1177.

<https://doi.org/10.1016/j.crad.2016.06.115>

## **Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

# Vollständige Publikationsliste

## Originalarbeiten als Erstautor

- Böning G, Kahn JF, Kaul D, Rotzinger R, Freyhardt P, Pavel M, Streitparth F. CT follow-up in patients with neuroendocrine tumors (NETs): combined radiation and contrast dose reduction. **Acta Radiol** 2017 [Epub ahead of print]
- Böning G, Schäfer M, Grupp U, Kaul D, Kahn J, Pavel M, Maurer M, Denecke T, Hamm B, Streitparth F. Comparison of applied dose and image quality in staging CT of neuroendocrine tumor patients using standard filtered back projection and adaptive statistical iterative reconstruction. **Eur J Radiol** 2015;84:1601-1607

## Originalarbeiten als Co-Autor

- Kahn J, Kaul D, Grupp U, Böning G, Renz D, Staab D, Schreiter V, Streitparth F. Computed Tomography in Cystic Fibrosis: Combining Low-Dose Techniques and Iterative Reconstruction. **J Comput Assist Tomogr** 2017;41:668-674.
- Kahn J, Kaul D, Böning G, Rotzinger R, Freyhardt P, Schwabe P, Maurer MH, Renz DM, Streitparth F. Quality and Dose Optimized CT Trauma Protocol - Recommendation from a University Level-I Trauma Center. **Rofo** 2017 [Epub ahead of print]
- Schäfer ML, Lüdemann L, Böning G, Kahn J, Fuchs S, Hamm B, Streitparth F. Radiation dose reduction in CT with adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) for patients with bronchial carcinoma and intrapulmonary metastases. **Clin Radiol** 2016;71:442-449
- Kaul D, Kahn J, Huizing L, Wiener E, Böning G, Renz DM, Streitparth F. Dose reduction in paediatric cranial CT via iterative reconstruction: a clinical study in 78 patients. **Clin Radiol** 2016;71:1168-1177

- Kaul D, Kahn J, Huizing L, Wiener E, Grupp U, Böning G, Ghadjar P, Renz DM, Streitparth F. Reducing Radiation Dose in Adult Head CT using Iterative Reconstruction – A Clinical Study in 177 Patients. **Rofo** 2016; 187: 1-8
- Kahn J, Grupp U, Kaul D, Böning G, Lindner T, Streitparth F. Computed tomography in trauma patients using iterative reconstruction: reducing radiation exposure without loss of image quality. **Acta Radiol** 2015
- Rump JC, Streitparth F, Böning G, Seebauer CJ, Walter T, Güttler F, Hamm B, Teichgräber UK. Evaluation of a MR-quadrupole imaging coil for spinal interventions in a vertical 1.0 T MRI. **Magn Reson Med** 2012;68:600-605

#### **Abstracts/Poster/Vorträge**

- Böning G, Lüdemann W, Chapiro J, Jonczyk M, Wieners G, Schnapauff D, Gebauer B, Günther RW, Streitparth F. Transjugular intrahepatic stent-shunt (TIPSS) placement using C-arm cone-beam CT (CBCT) real-time 3-D-guidance-initial clinical experience. **ECR 2017**; B-0888
- Lüdemann W, Böning G, Chapiro J, M. Jonczyk M, Günther RW, Gebauer B, Hamm B, Streitparth F. Use of C-arm cone-beam CT for intraprocedural image fusion and 3D guidance in portal vein embolisation. **ECR 2017**; B-0893
- Böning G, Lüdemann WM, Chapiro J, Jonczyk M, Wieners G, Schnapauff D, Geisel D, Gebauer B, Günther RW, Streitparth F. Echtzeit-3D-Navigation mittels C-Arm basiertem Cone-Beam CT (CBCT) bei der Implantation transjugulärer, intrahepatischer stent-shunts (TIPSS) – initiale klinische Erfahrungen. **IROS 2017**; P-702.5
- Rotzinger R, Kahn J, Böning G, Hamm B, Streitparth F. CT-Angiografie zur Verlaufskontrolle nach endovaskulärer Aneurysmreparatur (EVAR) – kombinierte Techniken der Strahlenreduktion. **Rofo** 2016; 188 - WISS107\_7. DOI: 10.1055/s-0036-1581792

- Kahn J, Kaul D, Böning G, Streitparth F. Qualitäts- und dosisoptimiertes CT-Polytraumaprotokoll – Empfehlung eines universitären Level-I Traumazentrums. **Rofo** **2016**; 188 - WISS401\_2. DOI: 10.1055/s-0036-1581756
- Kahn J, Kaul D, Huizing L, Böning G, Grupp U, Wiener E, Renz D, Streitparth F. Dosisreduktion bei der cranialen CT mithilfe iterativer Rekonstruktion – eine klinische Studie an 177 Patienten. **Rofo** **2016**; 188 - WISS107\_5. DOI: 10.1055/s-0036-1581790
- Jonczyk M, Chapiro J, Colletini F, Geisel D, Schnapauff D, Streitparth F, Böning G, Lüdemann W, Kahn J, Hamm B, Wieners G, Gebauer B. Improved liver lesion detectability using a split-bolus single-phase contrast-enhanced cone-beam CT (CBCT) before transarterial chemoembolization (TACE). **JVIR** **2016**; DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvir.2015.12.222>
- Grupp U, Kahn J, Kaul D, Böning G, Wieners G, Hamm B, Streitparth F. Einsatz iterativer Rekonstruktionen in der CT-Diagnostik von Schwerverletzten – Reduzierung der Strahlenexposition ohne Verlust der diagnostischen Bildqualität. **Rofo** **2015**; 187 - WISS314\_3. DOI: 10.1055/s-0035-1551364
- Kahn J, Kaul D, Grupp U, Böning G, Maurer M, Hamm B, Streitparth F. Computertomografie bei Patienten mit zystischer Fibrose – Dosisreduktionstechniken erlauben Routine-Scan im Submillisievert-Bereich. **Rofo** **2015**; 187 - WISS304\_3. DOI: 10.1055/s-0035-1551376
- Böning G, Schäfer M, Grupp U, Kahn J, Wieners G, Renz D, Denecke T, Hamm B, Pavel M, Streitparth F. Adaptive statistische iterative Rekonstruktion (ASIR) vs. gefilterte Rückprojektion (FBP) im Staging-CT – Vergleich von Bildqualität und Dosis bei NET-Patienten. **Rofo** **2014**; 186 - VO108\_5. DOI:10.1055/s-0034-1372724
- G. Böning, M.-L. Schäfer, U. Grupp, J. Kahn, D. M. Renz, T. Denecke, B. Hamm, M. Pavel, F. Streitparth. Filtered back projection vs adaptive statistical iterative reconstruction in staging-CT: comparison of dose and image quality in NET-patients. **ECR** **2014**. DOI: 10.1594/ecr2014/B-0318 ++ DOI 10.1007/s13244-014-0317-5

- M.-L. Schäfer, G. Böning, U. Grupp, B. Hamm, F. Streitparth. Radiation dose reduction with the adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) technique for patients with bronchial-carcinoma or pulmonal nodules. **ECR 2014**. DOI: 10.1594/ecr2014/C-1111



## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. med. Florian Streitparth für die Unterstützung, die Überlassung des Dissertationsthemas und die langjährige Zusammenarbeit. Weiterhin danke ich allen Co-Autoren und Kollegen für ihre Beiträge und Anregungen.

Ferner danke ich meiner Familie und allen Freunden für die fortwährende Motivation und den allzeit ermutigenden Zuspruch während der Arbeit an dieser Dissertation.