

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

DISSERTATION

Dosis und Bildqualität in der Computertomografie -
gilt auch hier „quantum satis“?

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Priv.-Doz. Dr. med. Stefan M. Niehues

aus Köln

Datum der Promotion: 13.12.2019

Inhaltsverzeichnis:

Abstract in deutscher Sprache	3
Abstract in englischer Sprache.....	4
1. Einführung	5
2. Methodik	8
2.1. Allgemeines.....	8
2.2 Dosisreduktion bei Computertomografien der Nasennebenhöhlen	8
2.3 Dosisreduktion bei CT-gesteuerten Interventionen der Lendenwirbelsäule	9
2.4 Artefaktreduktion bei Computertomografien des Halses	10
3. Ergebnisse.....	11
3.1. Allgemeines.....	11
3.2 Dosisreduktion bei Computertomografien der Nasennebenhöhlen.....	11
3.3 Dosisreduktion bei CT-gesteuerten Interventionen der Lendenwirbelsäule	12
3.4 Artefaktreduktion bei Computertomografien des Halses	13
4. Diskussion	15
5. Schlussfolgerung	19
6. Literaturverzeichnis.....	20
7. Abkürzungsverzeichnis.....	23
8. Eidesstattliche Versicherung.....	24
9. Anteilserklärung an den erfolgten Publikationen.....	25
10. Publikationen.....	27
10.1 Publikation 1.....	27
10.2 Publikation 2.....	34
10.3 Publikation 3.....	43
11. Lebenslauf.....	50
12. Komplette Publikationsliste	51
12.1 Originalarbeiten.....	51
12.1.1 Erst- und Letztautor.....	51
12.1.2 Coautor	53
12.2 Übersichtsarbeiten	54
12.3 Lehrbücher als Herausgeber.....	54
12.4 Buchbeiträge.....	54
12.5 Poster (Auswahl).....	55
13. Danksagung	57

Abstract in deutscher Sprache

Einführung:

Die technische Weiterentwicklung der Computertomografie (CT) hat sich in den letzten Jahren unter anderem auf neue Rekonstruktionstechniken und fortschrittliches Postprocessing fokussiert. Die Bedeutung dieser Entwicklung soll in den Teilbereichen „Dosisersparnis“ und „Verbesserung der Bildqualität“ exemplarisch belegt werden.

Methodik:

Die Möglichkeiten der Dosisersparnis durch den Einsatz iterativer Rekonstruktion wurde anhand von 136 CT der Nasennebenhöhlen evaluiert. Ein zweiter Ansatz verfolgte die Dosisreduktion durch Optimierung der Planungsakquisitionen vor CT-gestützter wirbelsäulennaher Therapie an 85 Patienten. Die Möglichkeiten zur Qualitätsoptimierung wurden durch den Einsatz Metallartefakt-reduzierender Rekonstruktionstechniken (SEMAR) an 154 Patienten evaluiert.

Ergebnisse:

Durch den Einsatz iterativer Rekonstruktionen konnte bei CT der Nasennebenhöhlen die Gesamtdosis um 82% auf 0,08 Millisievert (mSv) reduziert werden. Die Modifikation des Planungsprotokolls vor CT-gestützten Interventionen führte zu einer signifikanten Reduktion der Gesamtdosis um 64% auf 0,0048 mSv effektive Dosis. Der Einsatz von SEMAR verbesserte die objektive und subjektive Bildqualität bei CT des Halses signifikant.

Schlussfolgerung:

Der Einsatz moderner Postprocessing-Algorithmen zur Bildrekonstruktion in der CT führt sowohl im Bereich Dosis als auch hinsichtlich der Bildqualität zu erheblichen Verbesserungen in der Routinediagnostik. Die in dieser Arbeit untersuchten Techniken haben die bisherigen Routineprotokolle vollständig ersetzt.

183 Worte

Abstract in englischer Sprache

Introduction:

Recent technical developments in computed tomography (CT) have focused on innovative reconstruction techniques and improved postprocessing algorithms over the past years. This work evaluates the impact of these technical developments focusing on aspects of radiation dose reduction and improvement of image quality.

Methods:

The ability of dose reduction by using iterative reconstruction was evaluated on the basis of 145 CTs of the paranasal sinuses. In a second approach, we analyzed the effect of improved planning acquisitions prior to CT-guided paravertebral therapies in 85 patients. The effect of improved image quality was evaluated focusing on metal artefact reducing reconstructions (SEMAR) on the basis of 154 patients.

Results:

By using iterative reconstruction, the overall radiation dose of CTs of the paranasal sinuses could be reduced by 82% to an effective dose of 0.08 Millisievert (mSv). The modification of planning acquisitions prior to CT interventions led to a significant dose reduction of 64% to 0.0048 mSv. Metal artefact reducing reconstructions led to a significant quantitative and qualitative improvement of image quality in CTs of the neck region.

Conclusion:

The application of novel postprocessing techniques for image acquisition and reconstruction led to a significant decrease of required radiation dose and to a significant improvements of image quality of computed tomography. The techniques investigated in this work have replaced prior routine strategies for image acquisition and reconstruction in our daily practice.

227 words

1. Einführung

1.1 Entwicklung der Computertomografie

Durch die mathematischen Arbeiten von Allen Cormak 1963 und 1964 sowie durch die Entwicklung des ersten Computertomografen durch Godfrey Hounsfield 1968 wurden die Grundlagen für die moderne Computertomografie (CT) gelegt. Waren es anfangs noch 9 Tage Abtastzeit mit einer Rechenzeit von 2½ Stunden pro Bild entwickelte sich die Technologie schnell weiter. 1971 wurde die erste CT am Menschen eingesetzt, 1972 folgte die erste Installation im Atkinson Moorley Hospital in London. Bereits 1974 wurde der 60. Computertomograf verkauft. 1979 erhielten sowohl Cormak als auch Hounsfield den Medizinnobelpreis für ihre Arbeiten.

Waren die Geräte der ersten Generation reine Kopfscanner, erfolgte bereits mit der zweiten Generation (ab 1974) die Anwendung am kompletten Menschen. 1987 gelang durch den Einsatz der Schleifringtechnik ein System mit der Fähigkeit zur Dauerrotation. Hier wurde auch zum ersten Mal die bis heute übliche Matrix von 512 x 512 Bildpunkten berechnet. 1989 gelang der Durchbruch der Spiraltechnik durch Willi A. Kalender (1). In den nächsten Jahren fokussierte sich die Weiterentwicklung vorrangig auf mehrzeilige Systeme: Von 4 Zeilen (1989) auf 16 (2001), 64 (2006) bis hin zu 320 Zeilen (2011). Seitdem ist die Entwicklung auf eine höhere Zeilenanzahl nicht weiterverfolgt worden. Danach konnten die Rotationszeiten verkürzt werden, vorrangig jedoch verlagerten sich die Innovationen und Entwicklungen auf die Bereiche Detektortechnologie, Postprocessing und innovative Softwarelösungen.

1.2 Entwicklung der Dosis einer Computertomografie

Seit Beginn des Einsatzes der Röntgenstrahlung und insbesondere der CT in der Medizin liegt ein Schwerpunkt des Radiologen auf dem Dosisaspekt. Hierbei besitzt die korrekte Indikationsstellung den größten Stellenwert. Wenn die Indikation zu einer CT besteht, zählt die Optimierung der Untersuchung und damit zusammenhängend der Dosis zu den Kernkompetenzen der Radiologie.

Das fortwährende Bestreben, Dosis und Qualität einer Untersuchung zu optimieren, ist wichtige Antriebsfeder für die Weiterentwicklung bildgebender Verfahren.

In der Anfangszeit der CT stieg die Dosis, bedingt durch die Mehrzeilen-Technologie von durchschnittlich 1,3 Millisievert (mSv) (1970-1979) auf 8,8 mSv (1991-1996). Seitdem nimmt die durchschnittliche Dosis wieder ab, in der Zeit zwischen 2009-2013 betrug die effektive Dosis durchschnittlich 5,5 mSv pro Untersuchung (2). Die wesentlichen Gründe für den Rückgang der Gesamtdosis sind der abnehmende Effekt des Overbeamings (der von der Röntgenquelle ausgehende Fächerstrahl ist breiter als der Detektor, (3)) bei breiteren Detektoren, die Kontrolle des Overrangings (vor und nach dem aktiven Scanbereich sind zur Datengewinnung noch jeweils 180 Grad aktive Rotation der Röhre erforderlich, (4)), aber auch die Verbesserungen der Detektormaterialien.

Viele Jahre wurde zur Bildberechnung die gefilterte Rückprojektion (Filtered back projection, FBP) eingesetzt. Hier werden die erfassten Projektionsdaten initial gefiltert, um anschließend spezifische Bildeigenschaften wie beispielsweise Glättung oder Kantenanhebung zu verbessern oder zu verringern. Diese Daten werden anschließend zurück in den Bildraum projiziert, um die gescannten Bereiche zu rekonstruieren. Zunehmend wird diese Form der Bildrekonstruktion durch den Einsatz iterativer Rekonstruktionsalgorithmen ersetzt. Hier werden durch repetitive vorwärts- und rückwärtsgerichtete Projektionen, dem Vergleich von daraus entstehenden Roh- und Bilddaten und kontinuierlicher Anpassung der Parameter in Kenntnis der Geräteparameter (Röhrengometrie, elektronisches Rauschen, Detektorparameter) Bilder mit deutlich vermindertem Rauschen generiert (5, 6).

Der Einsatz und die kontinuierliche Weiterentwicklung der iterativen Rekonstruktionen haben ebenfalls einen erheblichen Beitrag zur Dosisreduktion geleistet, da durch die mathematischen Prozesse das Rauschen in den Bildern, welches durch eine geringere eingesetzte Dosis entsteht, entfernt wird, sodass bei niedrigerer Dosis eine gleichbleibende Bildqualität entsteht. Eine Vielzahl von Publikationen konnte den Effekt der erfolgreichen Dosisreduktion durch iterative Rekonstruktion an verschiedenen Körperarealen nachweisen (7-9). Auch hier entwickelte sich die Technologie konstant weiter: Von den rein bildbasierten Verfahren hin zu den Rohdaten-basierten Prozessen, zum aktuellen Zeitpunkt werden modellbasierte Verfahren eingesetzt. 2018 wurde der Einsatz von neuronalen Netzwerken und künstlicher Intelligenz bei der Bildberechnung erstmalig vorgestellt (10, 11).

1.3 Artefakte in der Computertomografie

Um eine sichere Diagnostik zu ermöglichen gilt es, so wenig Artefakte wie möglich im Bild wiederzufinden. Dies erreicht man durch eine optimale Lagerung der Patienten, die richtige Vorbereitung sowie das korrekt ausgesuchte Protokoll, welches die Fragestellung optimal bedient (12). Während sich einige Artefakte leicht vermeiden lassen (Fremdkörper in den Taschen der Patientin, suboptimale Lagerung) gibt es Artefakte, denen sich die Radiologie regelhaft stellen muss. Hierzu zählen Aufhärtingsartefakte durch fest im Körper eingebrachtes Material (zum Beispiel Prothesen, Schrittmacher, Clips oder nicht herausnehmbarer Zahnersatz). Bei Akquisition einer Untersuchung und vorhandenem röntgendichten Fremdmaterial entstehen ausgedehnte, sternförmige Artefakte, die eine Beurteilung des umliegenden Gewebes erschweren, gelegentlich auch komplett verhindern (13). Gerade oropharyngeal können bereits wenige Implantate oder Zahnfüllungen die suffiziente Beurteilung des Mundraumes unmöglich werden lassen. Metallartefakt-reduzierende Techniken können an dieser Stelle genutzt werden, beispielsweise durch den Einsatz von Dual-Energy-Akquisitionen, aber auch durch Postprocessing vorhandener Datensätze, die monoenergetisch akquiriert worden sind (14, 15).

1.4 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit geht der Frage nach, inwiefern innovative mathematische Algorithmen in der CT einen messbaren Mehrwert hinsichtlich Dosis und Bildqualität erreichen können. Hierzu wurden beispielhaft drei Themengebiete in drei unterschiedlichen Projekten und Publikationen betrachtet: Zum einen sollte geprüft werden, inwiefern der Einsatz iterativer Rekonstruktion bei der CT der Nasennebenhöhlen die effektive Dosis senken kann.

In einer zweiten Arbeit sollte gezeigt werden, inwiefern eine Optimierung des Planungsscans bei wirbelsäulennahen Interventionen eine Reduktion der Gesamtdosis bewirkt.

In einer dritten Arbeit sollte analysiert werden, inwiefern sich die subjektive und objektive Bildqualität der Untersuchung des Oropharyngealraumes durch den Einsatz von metallartefaktreduzierenden Berechnungen steigern lässt.

2. Methodik

2.1. Allgemeines

Die retrospektive Auswertung vorhandener Bilddaten wurde von der institutionellen Ethikkommission genehmigt, entsprechend wurde für die Durchführung der Studien bei der institutionellen Ethikkommission ein Votum eingeholt (Antragsnummer EA2/038/17).

Die statistischen Analysen erfolgten mittels SPSS 23 (IBM, Armonk, USA) oder R (Version 3.2.3, R-Foundation for statistical Computing, Wien, Österreich). Für alle Daten wurden Mittelwerte und Standardabweichung sämtlicher Variablen berechnet. Für den Nachweis einer Normalverteilung nutzten wir den Kolmogorov-Smirnov beziehungsweise den Shapiro-Wilk Test, bei Vorliegen einer nicht-Normalverteilung wurde zur Bewertung einer Signifikanz der Mann-Whitney-Test herangezogen. Im Falle des Vorliegens einer Normalverteilung wurde der t-Test und Wilcoxon-Test für statistische Analysen eingesetzt. P-Werte $<0,05$ wurden als statistisch signifikant eingestuft.

Für die Messung der Übereinstimmung mehrerer Auswerter setzten wir den „intraclass correlation coefficient“ (ICC) ein. Dieser erlaubt einen Vergleich zwischen mehr als 2 Auswertern. Die ICC-Ergebnisse wurden wie folgt interpretiert: $<0,2$ =schlecht, $0,21-0,4$ =ausreichend, $0,41-0,6$ =moderat, $0,61-0,8$ =gut und $0,81-1$ =exzellent.

2.2 Dosisreduktion bei Computertomografien der Nasennebenhöhlen

Aus einem Zeitraum von 10 Monaten wurden 145 CT der Nasennebenhöhlen identifiziert. Neun dieser Scans mussten aufgrund vollständiger Verschattung der Sinus ausgeschlossen werden, sodass insgesamt 136 Scans in die retrospektive Auswertung eingingen. Diese teilten sich in 4 Protokolle auf, jeweils 2 (Protokoll A+B) mit iterativen Rekonstruktionen (Adaptive Iterative Dose Reduction 3D, AIDR3D) an einem 80-Zeilen CT (Canon Aquilion Prime, Canon Medical (ehemals Toshiba Medical), Otawara, Japan) und 2 Protokolle (Protokoll C+D) mit gefilterter Rückprojektion (FBP) an einem 32-Zeilen Computertomografen (Siemens Somatom Sensation, Siemens Healthcare AG, Erlangen, Deutschland). Die zwei Protokolle pro Gerät teilten sich auf in je ein Protokoll mit hoher kV (Kilovolt,

Röhrenspannung) und niedrigen mA (Milliampere, Röhrenstrom) sowie niedrigen kV und hohen mA. Aufgrund des retrospektiven Charakters sowie dem Zurückgreifen auf klinisch indizierte Routine-CT der Nasennebenhöhlen erfolgte eine zufällige Zuordnung der Patienten zu den Scannern abhängig von deren Verfügbarkeit. Bei allen Patienten wurde ein Bismuth-Augenschutz genutzt.

Die Bewertung der Protokolle erfolgte hinsichtlich der Dosis und der Bildqualität. Zur Bewertung der Dosis wurde das Dosislängenprodukt sowie die effektive Dosis genutzt. Letztere berechnet sich durch Multiplikation des Dosislängenproduktes mit einem Konversionsfaktor, für das Mittelgesicht wurden $0,0023 \text{ mSv}/(\text{mGy}\cdot\text{cm})$ eingesetzt. Dieses Vorgehen entspricht einer Empfehlung der Europäischen Arbeitsgruppe für die Richtlinien der Qualitätskriterien in der CT (16).

Die Evaluation der Qualität erfolgte in Form einer bezüglich der Akquisitionstechnik verblindeten Auswertung durch 2 geschulte Radiologen im Konsensus, bestehend aus 3 Schritten: Wir bewerteten die allgemeine diagnostische Qualität auf einer 5-Punkte-Skala von 1 (exzellent) bis 5 (nicht diagnostisch). Die anatomische Beurteilung der Untersuchung erfolgte hinsichtlich wichtiger ossärer Strukturen, welche jeweils pro anatomischer Seite mit den Werten 0 (nicht dargestellt), 1 (partiell dargestellt) oder 3 (vollständig dargestellt) bewertet wurden. Hierzu gehörten: Der Processus uncinatus, die Ethmoidalzellen, der ostiomeatale Komplex, das Infundibulum ethmoidale, der Ductus nasolacimalis, das Os cribiforme, die Fovea ethmoidalis und die Lamina papyracea.

Als dritter Punkte ging das Bildrauschen in die Beurteilung mit ein. Hierzu wurden insgesamt drei Regions-of-Interest (ROI) mit je 10 mm^2 in den linken Sinus maxillaris, den linken Musculus masseter und den linken Bulbus oculi gezeichnet. Als Rauschen wurde die mittlere Standardabweichung der Dichtemessung in Hounsfield-Einheiten (HU) genutzt.

2.3 Dosisreduktion bei CT-gesteuerten Interventionen der Lendenwirbelsäule

In diese retrospektive Studie wurden 85 Patienten eingeschlossen, welche eine einseitige periradikuläre Infiltrationstherapie der Lendenwirbelsäule erhielten. Einschlusskriterium war ein Patientenalter über 18 Jahre sowie das Vorliegen einer fokal-neurologischen Symptomatik durch Kompression eines lumbalen Nervens.

Alle periradikulären Infiltrationstherapien erfolgten an einem 80-Zeilen CT (Canon Aquilion Prime, Canon Medical Systems, Otawara, Japan). Das Untersuchungskollektiv teilte sich in zwei Gruppen auf, die sich lediglich in der Art der Therapieplanung unterschieden: Während in Gruppe 1 zur Therapieplanung ein „spot scanning“ durchgeführt wurde, bei dem ein stark begrenztes Volumen aus 4 Bildern mit je 1 mm Schichtabstand akquiriert wurde, erfolgte die Planung in Gruppe 2 mittels herkömmlicher Spiralakquisition des Behandlungsgebietes. Das Vorgehen aus Gruppe 2 entsprach dem bisherigen Standard.

Bei beiden Gruppen wurden das Dosislängenprodukt und die effektive Dosis evaluiert, zusätzlich erfolgte die Auswertung hinsichtlich der anschließend benötigten Bildanzahl pro Intervention. Zum qualitativen Vergleich beider Gruppen wurden die subjektiven Schmerzwerte der Patienten auf einer numerischen Schmerzskala bei wiederholten Interventionen herangezogen, wobei wir die Differenz der Schmerzwerte zwischen prätherapeutischen und posttherapeutischen Werten erfassten.

2.4 Artefaktreduktion bei Computertomografien des Halses

Bei 154 Patienten mit der Indikation zu einer biphasischen CT des Halses wurde zusätzlich zu den AIDR3D-Standardrekonstruktionen eine Rekonstruktion mit Metallartefaktreduktion (SEMAR, Single Energy Metall Artefakt Reduktion) durchgeführt. Schichtdicke, Tischposition, Rekonstruktionskernel und Bildwiedergabe waren bei beiden Serien identisch. Wir analysierten die Bilder hinsichtlich der Bildqualität mittels einer ordinalen 6-Punkte-Skala (1=sehr gut, 2=gut, 3=zufriedenstellend, 4=ausreichend, 5=nicht ausreichend, 6=schlechte Bildqualität). Durch die Wahl einer Skala mit einer geraden Anzahl von Optionen sollte eine neutrale Option vermieden werden. Zu beurteilen waren der Mundboden, die Glandula sublingualis, der lymphatische Rachenring sowie die allgemeine, übergeordnete Bildqualität. Zur Auswertung wurden jeweils die Serie mit und die Serie ohne SEMAR mit zufälliger Anordnung nebeneinander auf zwei kalibrierten Monitoren wiedergegeben. Zwei erfahrene Radiologen werteten die so gezeigten Bilder nach oben genannten Kriterien aus. Nach Interimsauswertung von 54 Patienten und dabei gefundenen 3 demarkierten, zusätzlichen Läsionen wurde als dritter Auswerter ein Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurg in die weitere Auswertung integriert. Die quantitative Bildanalyse erfolgte in der anatomischen Position des

Mundbodens durch eine manuell gelegte identische ROI in beiden Bildstapeln (ohne und mit SEMAR). Die mittleren HU sowie die Standardabweichungen der gemessenen Dichtewerte (entsprechend dem Bildrauschen) der jeweiligen ROIs wurden verglichen.

3. Ergebnisse

3.1. Allgemeines

Die untersuchten Kollektive der drei Studien sind voneinander unabhängig. Alle drei Fragestellungen wurden sequentiell bearbeitet.

3.2 Dosisreduktion bei Computertomografien der Nasennebenhöhlen

Schaafs LA, Lenk J, Hamm B, Niehues SM.

Reducing the dose of CT of the paranasal sinuses: potential of an iterative reconstruction algorithm.

Dentomaxillofac Radiol. 2016;45(7):20160127. doi: 10.1259/dmfr.20160127.

Von den 136 Scans wurden 63 (46%) bei weiblichen und 73 (54%) bei männlichen Patienten durchgeführt. Das mittlere Alter der Patienten lag bei $41,7 \pm 10,3$ Jahren ohne signifikante Unterschiede zwischen allen Protokollen. Sämtliche Datensätze hatten eine ausreichende diagnostische Qualität.

Die mittlere Scanlänge betrug $11,06 \pm 2$ cm und zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Scanprotokollen. Das Dosislängenprodukt und die effektive Dosis des Protokolls A zeigten die geringsten Werte in der Studie mit medianen Werten von $33,12 \pm 4,53$ mGy*cm bzw. $0,08 \pm 0,07$ mSv. Diese Werte waren signifikant geringer als die der Protokolle B bis D ($p < 0,001$).

Die Werte hinsichtlich der diagnostischen Qualität und Abgrenzbarkeit anatomischer Strukturen sowie die Messung des Rauschens zeigten zum Teil deutliche Unterschiede. Während die Bildqualität für das Protokoll B am besten beurteilt wurde, zeigten sich keine Unterschiede hinsichtlich der diagnostischen Qualität zwischen Protokoll A und B verglichen mit dem Standardprotokoll D ($p = 0,722$ bzw. $0,155$). Die Abgrenzbarkeit anatomischer Strukturen wurde in Protokoll A als am besten beschrieben, zeigte jedoch keine signifikanten

Unterschiede zu allen anderen Protokollen. Im Gegensatz hierzu konnten wir hinsichtlich der Abgrenzbarkeit von ossären Strukturen die besten Ergebnisse in Protokoll B nachweisen, welche signifikant vom Niedrigdosisprotokoll C ohne iterative Rekonstruktion ($p < 0,001$) abwichen.

In der Zusammenschau aller Ergebnisse zeigte sich, dass durch den Einsatz der iterativen Rekonstruktion eine signifikante Reduktion der Dosis bei gleichbleibend guter diagnostischer Qualität und guter Abgrenzbarkeit relevanter anatomischer Strukturen erreicht werden kann (Abb. 1).

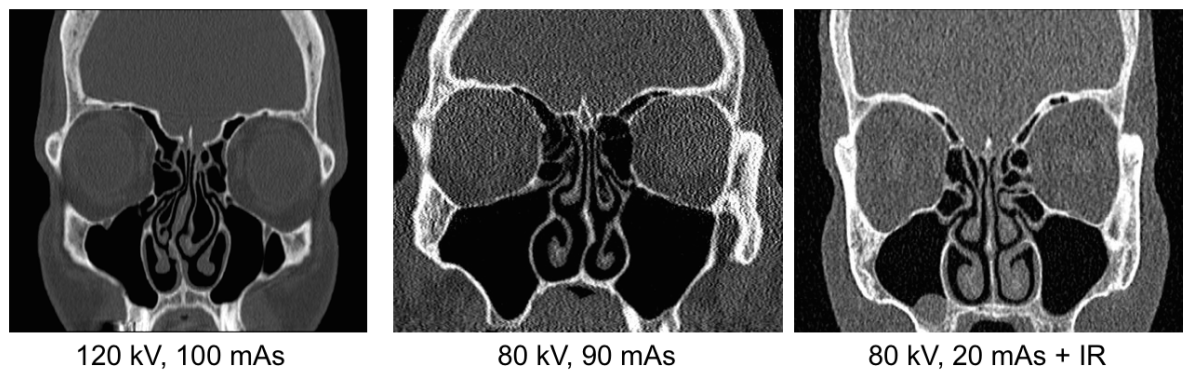


Abbildung 1: Exemplarische koronare CT-Rekonstruktionen der Nasennebenhöhlen dreier unterschiedlicher Patienten mit verschiedenen Untersuchungsprotokollen. Beste Bildqualität bei geringster Dosis bei Einsatz der iterativen Rekonstruktion (rechtes Bild)

3.3 Dosisreduktion bei CT-gesteuerten Interventionen der Lendenwirbelsäule

Elsholtz FHJ, Schaafs LA, Erxleben C, Hamm B, Niehues SM

Ultra-low-dose periradicular infiltration of the lumbar spine: spot scanning and its potential for further dose reduction by replacing helical planning CT.

La Radiologia Medica, 2017; 122(9):705-712

In die Analyse wurden 85 Patienten eingeschlossen. Das neue Protokoll mit „spot scanning“ (Gruppe 1) wurde an 63 Patienten angewandt und mit 22 Patienten aus Gruppe 2 (Spiral-CT zur Planung) verglichen (Abb. 2). Der durchschnittliche Body Mass Index (BMI) der Patienten lag bei 28 ohne signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen. Durch den Einsatz des „spot scanings“ konnte die Dosis zur Planung einer Intervention von durchschnittlich $6,5 \text{ mGy} \cdot \text{cm}$ (effektive Dosis $0,0135$

mSv) auf 0,8 mGy*cm (effektive Dosis 0,0048 mSv) signifikant gesenkt werden ($p < 0,01$). Dies bedeutete eine Reduktion des Anteils der Planungsdosis an der Gesamtdosis von 73% auf 25%. Die Gesamtdosis der Intervention konnte durch diese Anpassung im Median von 8,9 mGy*cm auf 3,2 mGy*cm (-64%) gesenkt werden. Das Dosislängenprodukt der nachgeschalteten Intervention zeigte bei beiden Protokollen keinen signifikanten Unterschied ($p = 0,79$). In beiden Gruppen zeigte sich eine mittlere Schmerzreduktion um 2 Punkte ohne signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen.

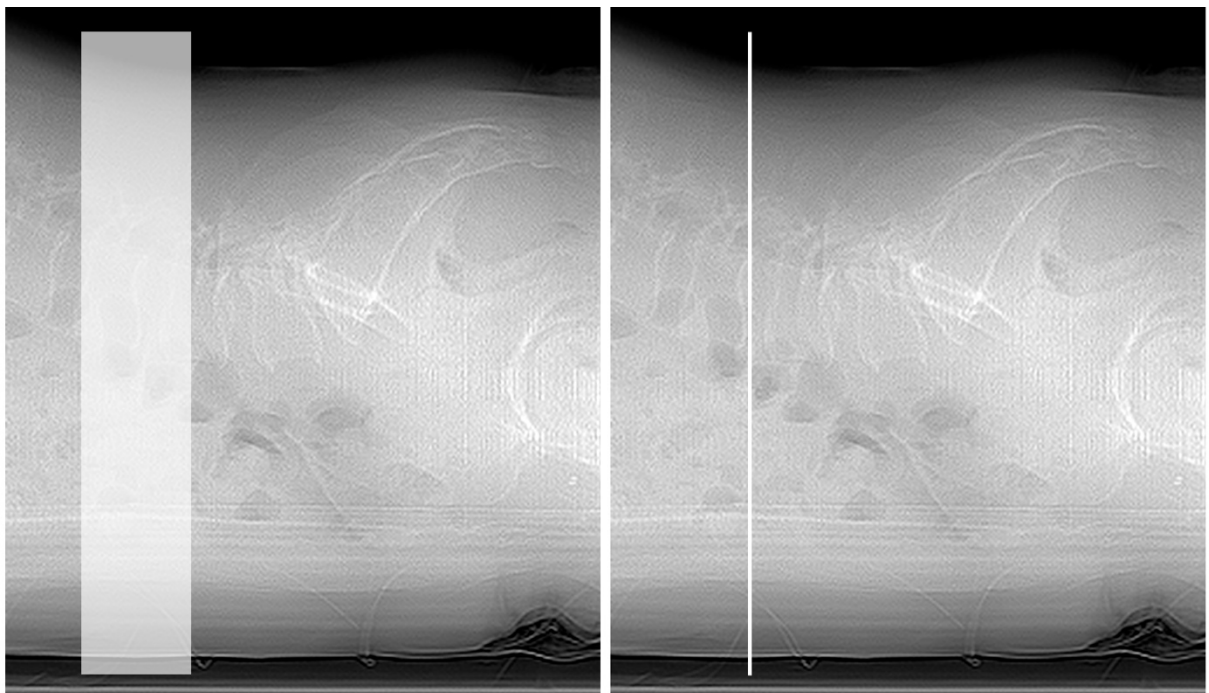


Abbildung 2: Laterales Topogramm im CT mit eingezeichneter Planung: Wechsel von einer Planungsspirale (links) auf 4 Bilder (Spot-Scanning, rechts) reduziert die Gesamtdosis der Intervention signifikant.

3.4 Artefaktreduktion bei Computertomografien des Halses

Niehues SM, Vahldiek JL, Tröltzsch D, Hamm B, Shnayien S.

Impact of Single-Energy Metal Artifact Reduction on CT image quality in patients with dental hardware.

Comput Biol Med. 2018 Oct 19;103:161-166. doi: 10.1016/j.compbimed.2018.10.023.

Der Einsatz von Metallartefakt-reduzierenden Rekonstruktionen (hier: SEMAR) konnte die subjektive Bildqualität für alle evaluierten Strukturen signifikant

verbessern ($p < 0,001$). Die Interrater-Übereinstimmung zwischen den zwei radiologischen Readern lag bei gut bis exzellent für die Bewertung des Mundbodens, der Glandula sublingualis und für die übergeordnete Bildqualität. Für die Bewertung des lymphatischen Rachenringes lag die Übereinstimmung bei ausreichend. Im Vergleich hierzu erfolgte die Bewertung der SEMAR-Rekonstruktionen durch den Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen für alle evaluierten Strukturen signifikant besser ($p < 0,001$, Abb. 3).

In der quantitativen Analyse zeigte sich, dass SEMAR die HU-Werte von durchschnittlich $189,08 \pm 188,48$ HU auf $77,12 \pm 80,9$ HU signifikant auf ein als normal anzunehmendes Maß von 36-105 HU (17) korrigierte ($p < 0,001$). Gleichzeitig erhöhte sich die Homogenität der mit SEMAR rekonstruierten Bildpunkte (Reduktion der Streuung von 188,48 auf 80,9 HU).

Parallel hierzu lag das Rauschen der mit SEMAR rekonstruierten Bilder mit $24,9 \pm 6,1$ HU signifikant niedriger als bei Aufnahmen, die mit AIDR3D rekonstruiert wurden ($63 \pm 48,8$ HU, $p < 0,001$).

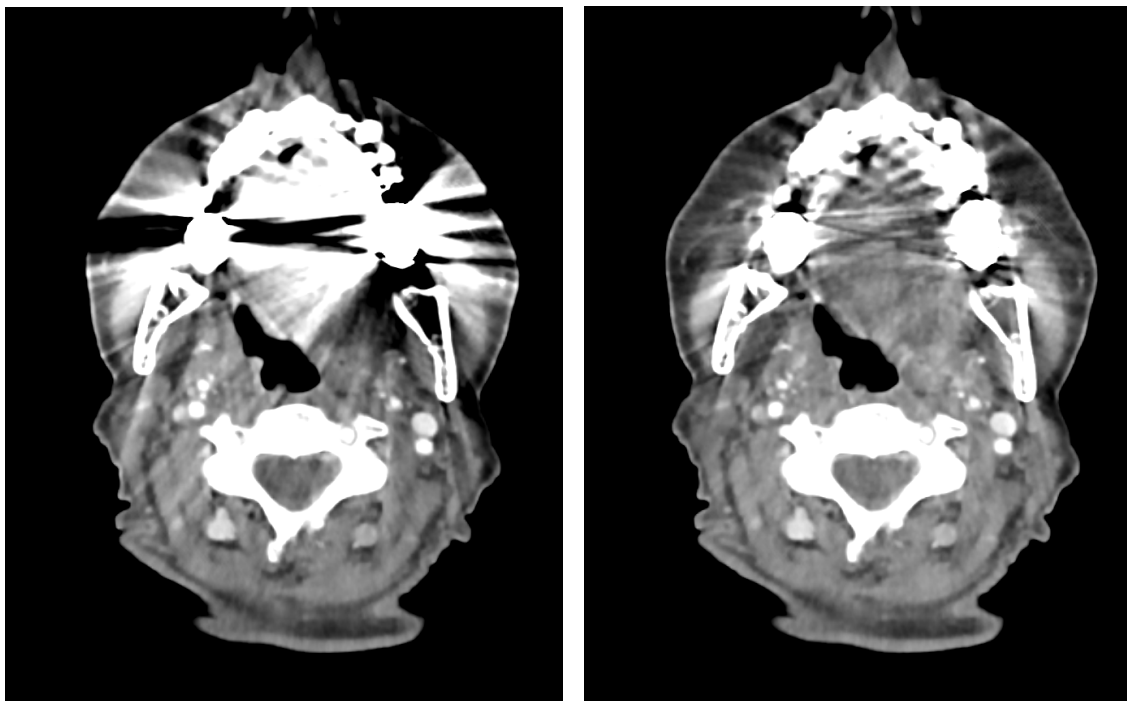


Abbildung 3: Axiale CT-Rekonstruktion des Halses bei einem Patienten mit Oropharynxkarzinom ohne (links) und mit SEMAR (rechts): Deutliche Metallartefaktreduktion durch den Einsatz von SEMAR.

4. Diskussion

Die vorgestellten Arbeiten zeigen, dass durch Modifikation der Untersuchungsprotokolle und Einsatz softwarebasierter Nachverarbeitung der Bild- und Rohdaten eine deutliche Dosisreduktion sowie eine Verbesserung der diagnostischen Qualität erreicht werden kann. Diese Bestrebungen sind ein kontinuierlicher Prozess, welcher von vielen Arbeitsgruppen schon in anderen Bereichen umgesetzt worden ist. Zugrunde liegt die Erkenntnis als auch die Selbstverständlichkeit, dass die niedrigste mögliche Dosis zur Beantwortung einer Fragestellung eingesetzt werden sollte da die (kumulative) Dosis für unsere Patienten auch einen schädigenden Effekt besitzen kann (18).

Obwohl die Grundidee zwischen den Herstellern der Geräte und deren Software einander ähnelt, sind die Ergebnisse zwischen den einzelnen Software-Paketen und damit auch die Ergebnisse verschiedener Arbeitsgruppen unterschiedlich (19-21). Dies betrifft sowohl die Berechnungszeiten, aber auch das Endergebnis im Bildeindruck. Im Gegensatz zu den hier vorgestellten Ergebnissen zeigt die Studie von Hoxworth et al. an Untersuchungen der Nasennebenhöhlen, dass der von dieser Arbeitsgruppe eingesetzte iterative Rekonstruktionsalgorithmus (VEO) einen Einfluss auf die Abgrenzbarkeit knöcherner Strukturen im Bilddatensatz nimmt (21). Der von Hoxworth et al. beschriebene Effekt der Glättung war in unserer Studie nicht messbar. Andererseits zeigt die hier vorgelegte Studie, dass bei Einsatz von Niedrigdosis-Protokollen trotz iterativer Rekonstruktionen ein erhöhtes Rauschen verbleibt. Auch hier gibt es Abweichung zwischen den Herstellern, eine Studie von Schulz et al. konnte den Anstieg des Rauschens bei Rekonstruktion mit „Sinogram Affirmed Iterative Reconstruction“ (SAFIRE) und „Iterative Reconstruction in Image Space“ (IRIS) nicht im gleichen Maß nachweisen (22). Ein direkter Vergleich verschiedener Rekonstruktionsalgorithmen ist aufgrund der Inkompatibilität der Rohdaten zwischen den einzelnen Herstellern nicht möglich.

Da es sich bei der Untersuchung der Nasennebenhöhlen um ein Hochkontrastareal handelt, sind die Auswirkungen eines erhöhten Rauschens auf die Beurteilbarkeit gering (22, 23).

Impulse zur Reduktion der Dosis bei CT-gesteuerten Interventionen sind auch von anderen Arbeitsgruppen umgesetzt worden. So konnten Amrhein et al. bereits eine deutliche Reduktion der Dosis bei Planung und Durchführung der CT-gesteuerten

Interventionen publizieren (24, 25). Paik et al. gelang eine deutliche Dosisreduktion durch Hinzuziehen vorhandener Voraufnahmen (26). Im Gegensatz zu diesen Studien verfolgten wir in der Untersuchung der wirbelsäulennahen Interventionen eine sogenannte „bottom-up“-Strategie. Hierbei werden die niedrigsten möglichen Werte für Röhrenspannung und Röhrenstrom am Gerät eingestellt. Erst bei nicht-hinreichender Qualität der Bilder werden diese Werte nach oben angepasst. Dadurch wird sichergestellt, dass man das volle Potenzial des Computertomografen und der Software ausschöpft.

Im Gegensatz zu anderen Studien (27, 28) wurde in den hier vorgestellten Studien keinerlei Limitationen bezüglich des BMI angewendet. Dies begründet sich darin, dass in zunehmendem Maße in der klinischen Routine Patienten mit einem BMI von über 30 vorstellig werden und auch die Anzahl der Patienten mit einem BMI über 45 kontinuierlich zunimmt. Daher war es uns wichtig, auch für diese Patienten ein Vorgehen anzubieten, welches die Balance zwischen Dosisreduktion und notwendiger Bildqualität herstellt.

Dabei muss zu jedem Zeitpunkt sichergestellt sein, dass die Sicherheit der Intervention nicht eingeschränkt wird. Daher haben wir bei der Planung der Intervention auch ein Volumen mit 4 x 1 mm Bildern rekonstruiert. Eine weitere Reduktion auf bis zu ein Bild zur Planung wäre denkbar und würde den Effekt der Dosisreduktion nochmals deutlich verstärken. Jedoch besteht hier die Gefahr, eine suboptimale Planung hinzunehmen, welche sich letztendlich auf die weitere Intervention, die nachfolgende Anzahl der Bilder und deren Dosis sowie auf die Sicherheit des Patienten auswirkt. Daher halten wir eine Planung mit 4 Bildern für einen sinnvollen Kompromiss.

Die Studie zur Optimierung der Bildqualität bei CT des Halses mittels SEMAR zeigt die Fähigkeiten von rein softwarebasierten Rekonstruktionen auf. Derartige Vorteile konnte auch in vielen weiteren Bereichen nachgewiesen werden (12, 29, 30). Bemerkenswert war, dass die subjektive Verbesserung der Bildqualität durch Rekonstruktionen mit SEMAR bei Evaluation durch trainierte Radiologen besser ausfiel als bei der Evaluation durch einen Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit denen anderer Studien im Bereich orthopädischer Implantate und Anwendungen von Metallartefakt-reduzierenden Rekonstruktionen anderer Hersteller (31-34). Durch kontinuierliche Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Bildern und dem kontinuierlichen

Training von Engrammen können verbleibender Restartefakte besser kompensiert werden.

Jede der hier dargestellten Studie zeigt Limitationen, welche zu diskutieren sind: Alle Untersuchungen wurden überwiegend an Geräten der Firma Canon (früher: Toshiba) durchgeführt. Damit einher geht der Einsatz der in diesen Systemen verankerten Rekonstruktionssoftware, die sich nicht nur von der anderer Hersteller, sondern auch zu unterschiedlichen Versionen der Software des gleichen Herstellers unterscheidet. Dies schränkt die Vergleichbarkeit, aber auch die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Systeme anderer Hersteller oder auf Systeme mit einer anderen Softwareversion ein. Dennoch zeigen diese Studien durch die allgemeine Herangehensweise das Potenzial zur Verringerung der Dosis und Verbesserung der Qualität auf. Je nach eingesetztem System werden die Ergebnisse an anderen Systemen geringe Unterschiede zeigen. Ebenso unterscheiden sich die Möglichkeiten zur Einstellung der Parameter für die jeweilige Akquisition der Bilddaten zwischen den Herstellern teils erheblich. Die Akquisition von Volumendaten bleibt CT-Scannern mit Volumentechnologie vorbehalten. Ältere Geräte, Ein-Zeilen-Spiral-CTs oder Geräte ohne Option der Volumenakquisition werden die hier vorgestellten Ergebnisse nicht oder nur teilweise reproduzieren können. Vorhandene alternative Konzepte wie beispielsweise der Einsatz von Dual-Energy-Systemen wurden mangels Verfügbarkeit nicht zum Vergleich herangezogen, obwohl diese ebenfalls ein Potenzial zur Artefaktminimierung besitzen (35-37). Daraus ergibt sich, dass eine abschließende Bewertung, welche Methode zur Artefaktreduktion die besten Ergebnisse erbringt, aus den hier vorgestellten Daten nicht abgeleitet werden kann.

Eine weitere Limitation der hier vorgestellten Studien liegt in der Inhomogenität der einzelnen Subgruppen. Der Einsatz neuer zur Verfügung stehender Technologien hat sich im klinischen Alltag schnell bewährt. Dadurch wurde der Einsatz dieser neuen Technologien (AIDR3D, SEMAR) nach klinischen Interimsauswertungen frühzeitig zum neuen Standard. Dadurch resultieren unterschiedlich große Subgruppen, da wir allen weiteren zu untersuchenden Patienten diese Vorteile nicht vorenthalten wollten. Trotz uneinheitlicher Subgruppengröße zeigen die Studien jedoch eine verbleibende Balance zwischen den analysierten Optionen, sodass

eine Vergleichbarkeit sowie die Darstellung der Vorteile der von uns vorgestellten neuen Protokolle ersichtlich ist.

Bei der Betrachtung von Schnittbildern ist die Bemessung der Qualität eine subjektive Einschätzung. Dass diese zwischen den einzelnen Auswertern schwankt, konnte die Studie zur Halsbildgebung mittels SEMAR aufzeigen. Ein Versuch, diese Subjektivität einzugrenzen, erfolgte durch den Einsatz einer numerischen Bewertungsskala ohne Mittelwert. Zudem wurden in der Studien zur Dosisoptimierung der Nasennebenhöhlen und zur Halsbildgebung mittels SEMAR eine Messreihe zur quantitativen Bewertung der Bilddaten hinzugefügt. Hier verbleibt eine mögliche Limitation insofern, als dass die ROIs zwischen den einzelnen Patienten nicht exakt identisch positioniert werden konnten, da anatomische Abweichungen zwischen einzelnen Patienten immer existieren.

Ebenso subjektiv ist die Einschätzung der Beschwerden auf einer analogen Schmerzskala durch die Patienten im Rahmen der Studie zur wirbelsäulennahen Intervention. Diese Einschätzung sowie das daraus abgeleitete Verbesserungspotenzial muss nicht zwangsläufig einzig die Folge der vorangegangenen Intervention sein, hier fließen ebenfalls eine Reihe weiterer Faktoren (beispielsweise Einnahme von schmerzhemmenden Medikamenten, vorangegangene Belastung) in die Entscheidung zugunsten eines Schmerz-Scores ein. Entsprechende Störfaktoren liegen jedoch für beide untersuchten Gruppen im gleichen Maße vor, sodass die Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Studiengruppen anzunehmen ist.

5. Schlussfolgerung

Die hier vorgelegten Studien zeigen, dass die Verlagerung der Entwicklung der CT von hochzeitigen Geräten hin zu mehr softwarebasierten Rekonstruktionen und Postprocessing einen erheblichen positiven Einfluss auf die Untersuchung unserer Patienten nimmt.

So konnte gezeigt werden, dass durch Einsatz iterativer Rekonstruktion eine erhebliche Dosisersparung (-82% auf 0,08 mSv) bei CT der Nasennebenhöhlen erreicht wird.

Wir konnten weiterhin zeigen, dass durch Modifikation des Planungsprotokolls bei wirbelsäulennahen Eingriffen unter Einsatz einer Volumenakquisition eine deutliche Reduktion der Gesamtdosis (-64% auf 0.0048 mSv) einer solchen Intervention möglich wird.

Zuletzt konnte mittels quantitativer und qualitativer Analyse gezeigt werden, dass durch eine neue Art der Rekonstruktion von CT-Aufnahmen des Halses mittels SEMAR Artefakte durch feste Zahnimplantate und Füllungen in erheblichem Maße reduziert werden können.

Alle diese Veränderungen wurden während oder im Anschluss an die hier vorgestellten Studien in unserer Klinik zur Routine und haben die Untersuchungsprotokolle, welche vormals den Standard darstellten, ausnahmslos ersetzt.

6. Literaturverzeichnis

1. Kalender WA, Seissler W, Klotz E, Vock P. Spiral volumetric CT with single-breath-hold technique, continuous transport, and continuous scanner rotation. *Radiology*. 1990;176(1):181-3.
2. Piede D. Dosisreduktion: CT-Untersuchungen "fast ohne" Dosis. *Radiopraxis*. 2015;01(8):19-28.
3. Cody DD, Mahesh M. AAPM/RSNA physics tutorial for residents: Technologic advances in multidetector CT with a focus on cardiac imaging. *Radiographics*. 2007;27(6):1829-37.
4. Schilham A, van der Molen AJ, Prokop M, de Jong HW. Overranging at multisection CT: an underestimated source of excess radiation exposure. *Radiographics*. 2010;30(4):1057-67.
5. Willemink MJ, de Jong PA, Leiner T, de Heer LM, Nievelstein RA, Budde RP, Schilham AM. Iterative reconstruction techniques for computed tomography Part 1: technical principles. *Eur Radiol*. 2013;23(6):1623-31.
6. Willemink MJ, Leiner T, de Jong PA, de Heer LM, Nievelstein RA, Schilham AM, Budde RP. Iterative reconstruction techniques for computed tomography part 2: initial results in dose reduction and image quality. *Eur Radiol*. 2013;23(6):1632-42.
7. Gervaise A, Osemont B, Louis M, Lecocq S, Teixeira P, Blum A. Standard dose versus low-dose abdominal and pelvic CT: comparison between filtered back projection versus adaptive iterative dose reduction 3D. *Diagn Interv Imaging*. 2014;95(1):47-53.
8. Matsuki M, Murakami T, Juri H, Yoshikawa S, Narumi Y. Impact of adaptive iterative dose reduction (AIDR) 3D on low-dose abdominal CT: comparison with routine-dose CT using filtered back projection. *Acta Radiol*. 2013;54(8):869-75.
9. Tatsugami F, Higaki T, Fukumoto W, Kaichi Y, Fujioka C, Kiguchi M, Yamamoto H, Kihara Y, Awai K. Radiation dose reduction for coronary artery calcium scoring at 320-detector CT with adaptive iterative dose reduction 3D. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2015;31(5):1045-52.
10. Kang E, Chang W, Yoo J, Ye JC. Deep Convolutional Framelet Denoising for Low-Dose CT via Wavelet Residual Network. *IEEE Trans Med Imaging*. 2018;37(6):1358-69.
11. Kim B, Han M, Shim H, Baek J. A Performance Comparison of CNN-based Image Denoising Methods: The Effect of Loss Functions on Low-dose CT Images. *Med Phys*. 2019.
12. Barrett JF, Keat N. Artifacts in CT: recognition and avoidance. *Radiographics*. 2004;24(6):1679-91.
13. Demirturk Kocasarac H, Ustaoglu G, Bayrak S, Katkar R, Geha H, Deahl ST, 2nd, Mealey BL, Danaci M, Noujeim M. Evaluation of artifacts generated by titanium, zirconium, and titanium-zirconium alloy dental implants on MRI, CT, and CBCT images: A phantom study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2019;127(6):535-44.
14. Huang JY, Followill DS, Howell RM, Liu X, Mirkovic D, Stingo FC, Kry SF. Approaches to reducing photon dose calculation errors near metal implants. *Med Phys*. 2016;43(9):5117.
15. Long Z, Bruesewitz MR, DeLone DR, Morris JM, Amrami KK, Adkins MC, Glazebrook KN, Kofler JM, Leng S, McCollough CH, Fletcher JG, Halaweish

- AF, Yu L. Evaluation of projection- and dual-energy-based methods for metal artifact reduction in CT using a phantom study. *J Appl Clin Med Phys*. 2018;19(4):252-60.
16. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*. 2007;37:2-4.
 17. Kidoh M, Nakaura T, Nakamura S, Tokuyasu S, Osakabe H, Harada K, Yamashita Y. Reduction of dental metallic artefacts in CT: value of a newly developed algorithm for metal artefact reduction (O-MAR). *Clin Radiol*. 2014;69(1):e11-6.
 18. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med*. 2007;357(22):2277-84.
 19. Bulla S, Blanke P, Hassepass F, Krauss T, Winterer JT, Breunig C, Langer M, Pache G. Reducing the radiation dose for low-dose CT of the paranasal sinuses using iterative reconstruction: feasibility and image quality. *Eur J Radiol*. 2012;81(9):2246-50.
 20. Geyer LL, Schoepf UJ, Meinel FG, Nance JW, Jr., Bastarrika G, Leipsic JA, Paul NS, Rengo M, Laghi A, De Cecco CN. State of the Art: Iterative CT Reconstruction Techniques. *Radiology*. 2015;276(2):339-57.
 21. Hoxworth JM, Lal D, Fletcher GP, Patel AC, He M, Paden RG, Hara AK. Radiation dose reduction in paranasal sinus CT using model-based iterative reconstruction. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2014;35(4):644-9.
 22. Schulz B, Beeres M, Bodelle B, Bauer R, Al-Butmeh F, Thalhammer A, Vogl TJ, Kerl JM. Performance of iterative image reconstruction in CT of the paranasal sinuses: a phantom study. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2013;34(5):1072-6.
 23. Hojreh A, Czerny C, Kainberger F. Dose classification scheme for computed tomography of the paranasal sinuses. *Eur J Radiol*. 2005;56(1):31-7.
 24. Amrhein TJ, Joshi AB, Kranz PG. Technique for CT Fluoroscopy-Guided Lumbar Medial Branch Blocks and Radiofrequency Ablation. *AJR Am J Roentgenol*. 2016;207(3):631-4.
 25. Amrhein TJ, Schaubberger JS, Kranz PG, Hoang JK. Reducing Patient Radiation Exposure From CT Fluoroscopy-Guided Lumbar Spine Pain Injections by Targeting the Planning CT. *AJR Am J Roentgenol*. 2016;206(2):390-4.
 26. Paik NC. Radiation dose reduction in CT fluoroscopy-guided lumbar interlaminar epidural steroid injection by minimizing preliminary planning imaging. *Eur Radiol*. 2014;24(9):2109-17.
 27. Artner J, Cakir B, Weckbach S, Reichel H, Lattig F. Radiation dose reduction in CT-guided periradicular injections in lumbar spine: Feasibility of a new institutional protocol for improved patient safety. *Patient Saf Surg*. 2012;6(1):19.
 28. Artner J, Lattig F, Reichel H, Cakir B. Effective radiation dose reduction in computed tomography-guided spinal injections: a prospective, comparative study with technical considerations. *Orthop Rev (Pavia)*. 2012;4(2):e24.
 29. Bannas P, Li Y, Motosugi U, Li K, Lubner M, Chen GH, Pickhardt PJ. Prior Image Constrained Compressed Sensing Metal Artifact Reduction (PICCS-MAR): 2D and 3D Image Quality Improvement with Hip Prostheses at CT Colonography. *Eur Radiol*. 2016;26(7):2039-46.
 30. Sonoda A, Nitta N, Ushio N, Nagatani Y, Okumura N, Otani H, Murata K. Evaluation of the quality of CT images acquired with the single energy metal artifact reduction (SEMAR) algorithm in patients with hip and dental prostheses and aneurysm embolization coils. *Jpn J Radiol*. 2015;33(11):710-6.

31. Hirata K, Utsunomiya D, Oda S, Kidoh M, Funama Y, Yuki H, Yoshida M, Yamashita Y. Added value of a single-energy projection-based metal-artifact reduction algorithm for the computed tomography evaluation of oral cavity cancers. *Jpn J Radiol.* 2015;33(10):650-6.
32. Kwon H, Kim KS, Chun YM, Wu HG, Carlson JN, Park JM, Kim JI. Evaluation of a commercial orthopaedic metal artefact reduction tool in radiation therapy of patients with head and neck cancer. *Br J Radiol.* 2015;88(1052):20140536.
33. Weiss J, Schabel C, Bongers M, Raupach R, Clasen S, Notohamiprodjo M, Nikolaou K, Bamberg F. Impact of iterative metal artifact reduction on diagnostic image quality in patients with dental hardware. *Acta Radiol.* 2017;58(3):279-85.
34. Yasaka K, Kamiya K, Irie R, Maeda E, Sato J, Ohtomo K. Metal artefact reduction for patients with metallic dental fillings in helical neck computed tomography: comparison of adaptive iterative dose reduction 3D (AIDR 3D), forward-projected model-based iterative reconstruction solution (FIRST) and AIDR 3D with single-energy metal artefact reduction (SEMAR). *Dentomaxillofac Radiol.* 2016;45(7):20160114.
35. Cha J, Kim HJ, Kim ST, Kim YK, Kim HY, Park GM. Dual-energy CT with virtual monochromatic images and metal artifact reduction software for reducing metallic dental artifacts. *Acta Radiol.* 2017;58(11):1312-9.
36. Hegazy MAA, Eldib ME, Hernandez D, Cho MH, Cho MH, Lee SY. Dual-energy-based metal segmentation for metal artifact reduction in dental computed tomography. *Med Phys.* 2018;45(2):714-24.
37. Katsura M, Sato J, Akahane M, Kunimatsu A, Abe O. Current and Novel Techniques for Metal Artifact Reduction at CT: Practical Guide for Radiologists. *Radiographics.* 2018;38(2):450-61.

7. Abkürzungsverzeichnis

AIDR3D	Adaptive Iterative Dose Reduction 3D
BMI	Body Mass Index
CT	Computertomografie(n)
FBP	Filtered Back Projektion (Gefilterte Rückprojektion)
HU	Hounsfield-Units
ICC	intraclass correlation coefficient
IRIS	Iterative Reconstruction in Image Space
kV	Kilovolt
mA	Milliampere
mGy	Milligray
mSv	Millisievert
PRT	Periradikuläre Infiltrationstherapie
ROI	Region of Interest
SAFIRE	Sinogram Affirmed Iterative Reconstruction
SEMAR	Single Energy Metall Artefakt Reduktion

8. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Dr. Stefan M. Niehues, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Dosis und Qualität in der Computertomografie-gilt auch hier „quantum satis“?“ 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) 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

9. Anteilserklärung an den erfolgten Publikationen

Priv.-Doz. Dr. Stefan Markus Niehues hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Publikation 1:

Schaafs LA, Lenk J, Hamm B, **Niehues SM**.

Reducing the dose of CT of the paranasal sinuses: potential of an iterative reconstruction algorithm.

Dentomaxillofac Radiol. 2016;45(7):20160127. doi: 10.1259/dmfr.20160127.

Impact-Factor: 1,594 (2016):

- Planung der Versuchsaufbaues und des Projektkonzeptes
- Erstellung der und Abgleich der Protokolle, Datenakquisition und initiale Begleitung der ersten Fälle an den Großgeräten zur Kontrolle
- Statistische Auswertung der Ergebnisdaten und anschließende Analyse und Interpretation der Ergebnisse
- Supervision des Manuskripts
- Analyse, Auswahl und Bildoptimierung (Fensterung, Schichtdicke und Auflösung) der Abbildungen
- Finale Freigabe des Manuskriptes

Publikation 2:

Elsholtz FHJ, Schaafs LA, Erxleben C, Hamm B, **Niehues SM**

Ultra-low-dose periradicular infiltration of the lumbar spine: spot scanning and its potential for further dose reduction by replacing helical planning CT.

La Radiologia Medica, 2017; 122(9):705-712

Impact-Factor: 1,819 (2017):

- Erstellen der Grundidee der Dosisoptimierung bei Interventionen anhand der PRT incl. Stufenkonzept und Ansatzpunkte
- Planung des Versuchsaufbaues und des Projektkonzeptes
- Erstellung des Protokolls, initiale Validierung
- Durchführung der Interventionen am Patientenkollektiv
- Datenakquisition
- Statistische Auswertung der Ergebnisdaten und anschließende Analyse und

Interpretation der Ergebnisse

- Supervision des Manuskripts
- Analyse, Auswahl und Bildanpassung der Abbildungen an die Anforderungen des Journals (Fensterung, Schichtdicke und Auflösung)
- Finale Freigabe des Manuskriptes

Publikation 3:

Niehues SM, Vahldiek JL, Tröltzsch D, Hamm B, Shnayien S.

Impact of Single-Energy Metal Artifact Reduction on CT image quality in patients with dental hardware.

Comput Biol Med. 2018 Oct 19;103:161-166. doi: 10.1016/j.compbimed.2018.10.023.

Impact-Factor: 2,115 (2017):

- Grundidee der Artefaktreduktion mittels SEMAR am Mundboden
- Initiale Lizenzierung der Software am Campus
- Erstellung des Protokolls, initiale Validierung und Anpassung an das anatomische Gebiet
- Initiale Durchführung der Untersuchung an den ersten Patienten, Schulung der Mitarbeiter zur konstanten Weiterführung des Protokolls vor Ort
- Datenakquisition
- Statistische Auswertung der Ergebnisdaten und Messung der ROI im Kollektiv
- Analyse und Interpretation der Ergebnisse
- Erstellung und Korrektur des Manuskripts
- Analyse, Auswahl und Bildanpassung der Abbildungen an die Anforderungen des Journals (Fensterung, Schichtdicke und Auflösung)
- Finale Freigabe des Manuskriptes

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers

Unterschrift des Doktoranden

10. Publikationen

10.1 Publikation 1

Schaafs LA, Lenk J, Hamm B, **Niehues SM**.

Reducing the dose of CT of the paranasal sinuses: potential of an iterative reconstruction algorithm.

Dentomaxillofac Radiol. 2016;45(7):20160127. doi: 10.1259/dmfr.20160127.

<https://doi.org/10.1259/dmfr.20160127>

10.2 Publikation 2

Elsholtz FHJ, Schaafs LA, Erxleben C, Hamm B, **Niehues SM**

Ultra-low-dose periradicular infiltration of the lumbar spine: spot scanning and its potential for further dose reduction by replacing helical planning CT.

La Radiologia Medica, 2017; 122(9):705-712

<https://doi.org/10.1007/s11547-017-0766-2>

10.3 Publikation 3

Niehues SM, Vahldiek JL, Tröltzsch D, Hamm B, Shnayien S.

Impact of Single-Energy Metal Artifact Reduction on CT image quality in patients with dental hardware.

Comput Biol Med. 2018 Oct 19;103:161-166. doi:

10.1016/j.combiomed.2018.10.023.

<https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2018.10.023>

11. Lebenslauf

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

12. Komplette Publikationsliste

12.1 Originalarbeiten

12.1.1 Erst- und Letztautor

1. **Niehues SM**, Frohlich M, Felix R, Lemke AJ. Digital knowledge in the coat pocket -- hand-held personal digital assistants in radiology. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*. 2004;176(12):1819-25.
2. Unger JK, Pietzner K, Francis RC, Birnbaum J, Theisen MM, Lemke AJ, **Niehues SM**. Dual-lumen catheters for continuous venovenous hemofiltration: limits for blood delivery via femoral vein access and a potential alternative in an experimental setting in anesthetized pigs. *Crit Care*. 2007;11(1):R18.
3. Hiebl B, Müller C, Jung F, Hünigen H, Hamm B, Plendl J, **Niehues S**. Macro- and micromorphometric studies of the vascular structures from the Göttingen® minipig. *Applied Cardiopulmonary Pathophysiology*. 2009;2009(13):318-21.
4. Hiebl B, Jung F, Schossig M, Scharnagl N, Richau K, **Niehues S**. In vitro evaluation of a nitinol based vein cuff for external valvuloplasty. *Clinical hemorheology and microcirculation*. 2010;45(2-4):347-58.
5. Hiebl B, Müller C, Hünigen H, Gemeinhardt O, Plendl J, Jung F, **Niehues S**. Gross anatomical variants of the vasculature of the Göttingen™ minipig. *Applied Cardiopulmonary Pathophysiology*. 2010;2014(14):36-43.
6. **Niehues SM**, Unger JK, Malinowski M, Neymeyer J, Hamm B, Stockmann M. Liver volume measurement: reason of the difference between in vivo CT-volumetry and intraoperative ex vivo determination and how to cope it. *European journal of medical research*. 2010;15(8):345-50.
7. Haacke N, Unger JK, Haidenhein C, Russ M, Hiebl B, **Niehues SM**. Pig specific vascular anatomy allows acute infrarenal aortic occlusion without hind limb ischemia and stepwise occlusion without clinical signs. *Clinical hemorheology and microcirculation*. 2011;48(1):173-85.
8. Hiebl B, Muller C, Gors J, Jung F, Lendlein A, Junger M, Hamm B, **Niehues SM**. A NiTi alloy-based cuff for external banding valvuloplasty: a six-week follow-up study in pigs. *Phlebology / Venous Forum of the Royal Society of Medicine*. 2012;27(7):337-46.
9. **Niehues S**, Emmert M, Haas M, Schöffski O, Hamm B. The impact of the emergence of internet hospital rating sites on patients' choice: a quality evaluation and examination of the patterns of approach. *Int J Technology Marketing*. 2012;7(1):5-19.
10. **Niehues SM**, Muller C, Plendl J, Richardson KC, Gemeinhardt O, Hunigen H, Unger JK, Jung F, Hamm B, Hiebl B. The effect of prone versus supine positioning of Goettingen minipigs on lung density as viewed by computed tomography. *Clinical hemorheology and microcirculation*. 2012;52(2-4):85-92.
11. Haas M, Hamm B, **Niehues SM**. Automated lung volumetry from routine thoracic CT scans: how reliable is the result? *Academic radiology*. 2014;21(5):633-8.
12. Hiebl B, Hopperdietzel C, Hunigen H, Dietze K, Jung F, **Niehues SM**. Tissue reaction induced by implanted venous access ports in adult patients after

- infection of the implantation site. *Clinical hemorheology and microcirculation*. 2014;58(1):107-13.
13. Vahldiek JL, Lehmann KS, Poch F, Zurbuchen U, Kreis ME, Gemeinhardt O, Hamm B, **Niehues SM**. Measuring and optimizing results in multipolar RFA: Techniques and early findings in an experimental setting. *Clinical hemorheology and microcirculation*. 2014;58(1):77-87.
 14. Erb-Eigner K, Kaufmann D, Issever AS, Schnapauff D, Hamm B, **Niehues S**. A headset communication system for interventional radiology training. *Med Educ*. 2015;49(11):1163.
 15. Thieme SF, Vahldiek JL, Tummler K, Poch F, Gemeinhardt O, Hiebl B, Lehmann KS, Hamm B, **Niehues SM**. Value or waste: Perfusion imaging following radiofrequency ablation - early experience. *Clinical hemorheology and microcirculation*. 2015;61(2):323-31.
 16. **Niehues SM**, Müller C, Hünigen H, Dietze K, Unger JK, Jung F, Hamm B, Hiebl B. Positioning of minipigs and its bearing on cervical vessels. *Journal of Cellular Biotechnology*. 2016;1(2):159-69.
 17. Schaafs LA, Lenk J, Hamm B, **Niehues SM**. Reducing the dose of CT of the paranasal sinuses: potential of an iterative reconstruction algorithm. *Dentomaxillofac Radiol*. 2016;45(7):20160127.
 18. Corte GM, Plendl J, Hunigen H, Richardson KC, Gemeinhardt O, **Niehues SM**. Refining experimental dental implant testing in the Gottingen Minipig using 3D computed tomography-A morphometric study of the mandibular canal. *PLoS One*. 2017;12(9):e0184889.
 19. Elsholtz FHJ, Schaafs LA, Erxleben C, Hamm B, **Niehues SM**. Ultra-low-dose periradicular infiltration of the lumbar spine: spot scanning and its potential for further dose reduction by replacing helical planning CT. *Radiol Med*. 2017;122(9):705-12.
 20. Elsholtz FHJ, Schaafs LA, Kohlitz T, Hamm B, **Niehues SM**. Periradicular infiltration of the lumbar spine: testing the robustness of an interventional ultra-low-dose protocol at different body mass index levels. *Acta Radiol*. 2017;58(11):1364-70.
 21. Kaufmann D, Lauscher JC, Grone J, Zur Hausen G, Kreis ME, Hamm B, **Niehues SM**. CT-based measurement of the inner pelvic volume. *Acta Radiol*. 2017;58(2):218-23.
 22. Vahldiek JL, Thieme S, Hamm B, **Niehues SM**. Incidence of combined cranial and cervical spine injuries in patients with blunt minor trauma: are combined CT examinations of the head and cervical spine justified? *Acta Radiol*. 2017;58(7):856-60.
 23. Vahldiek JL, Thieme SF, Gemeinhardt O, Poch F, Hiebl B, Lehmann KS, Hamm B, **Niehues SM**. Characterization of benign periablational enhancement following multipolar radiofrequency ablation using perfusion CT in an in-vivo porcine liver model. *Journal of Cellular Biotechnology*. 2017;2(2):125-30.
 24. Elsholtz FHJ, Kamp JE, Vahldiek JL, Hamm B, **Niehues SM**. Periradicular Infiltration of the Cervical Spine: How New CT Scanner Techniques and Protocol Modifications Contribute to the Achievement of Low-Dose Interventions. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*. 2018.
 25. Elsholtz FHJ, Schaafs LA, Erxleben C, Hamm B, **Niehues SM**. Periradicular infiltration of the lumbar spine: is iterative reconstruction software necessary to

establish ultra-low-dose protocols? A quantitative and qualitative approach. *Radiol Med*. 2018.

26. **Niehues SM**, Vahldiek JL, Troltsch D, Hamm B, Shnayien S. Impact of Single-Energy Metal Artifact Reduction on CT image quality in patients with dental hardware. *Comput Biol Med*. 2018;103:161-6.
27. Schaafs LA, Pfeil J, Kohlitz T, Hamm B, **Niehues SM**. Low-Dose Computed Tomography of the Paranasal Sinuses: Performance of Two Different Iterative Reconstruction Algorithms. *Radiat Prot Dosimetry*. 2018.
28. Vahldiek JL, Erxleben C, Bressemer KK, Gemeinhardt O, Poch F, Hiebl B, Lehmann KS, Hamm B, **Niehues SM**. Multipolar RFA of the liver: Influence of intrahepatic vessels on ablation zones and appropriateness of CECT in detecting ablation dimensions - results of an in-vivo porcine liver model. *Clinical hemorheology and microcirculation*. 2018.

12.1.2 Coauthor

1. Lemke AJ, Niehues SM, Amthauer H, Rohlfing T, Hosten N, Felix R. Clinical use of digital retrospective image fusion of CT, MRI, FDG-PET and SPECT - fields of indications and results. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*. 2004;176(12):1811-8.
2. Lemke AJ, Niehues SM, Hosten N, Amthauer H, Boehmig M, Stroszczyński C, et al. Retrospective digital image fusion of multidetector CT and 18F-FDG PET: clinical value in pancreatic lesions--a prospective study with 104 patients. *Journal of nuclear medicine: official publication, Society of Nuclear Medicine*. 2004;45(8):1279-86.
3. Lemke AJ, Schurig-Urbaniak AM, Liebig T, Niehues SM, Haberl H, Lehmann TN, et al. Virtual MR endoscopy of the ventricles prior to neurosurgical interventional endoscopy -- evaluation of different presentation techniques. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*. 2004;176(8):1106-13.
4. Lemke AJ, Chopra SS, Niehues SM, Felix R. Ultrasound contrast agents for liver diagnostics. *Der Radiologe*. 2005;45(6):520-8.
5. Lemke AJ, Brinkmann MJ, Schott T, Niehues SM, Settmacher U, Neuhaus P, et al. Living donor right liver lobes: preoperative CT volumetric measurement for calculation of intraoperative weight and volume. *Radiology*. 2006;240(3):736-42.
6. Ruehe B, Kershaw O, Niehues S, Nelson K. Sudden death in miniature pigs. *Laboratory Animals* 2008;37(2):65-6, 8-9.
7. Ruehe B, Niehues S, Heberer S, Nelson K. Miniature pigs as an animal model for implant research: bone regeneration in critical-size defects. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 2009;108(5):699-706.
8. Stockmann M, Lock JF, Riecke B, Heyne K, Martus P, Fricke M, et al. Prediction of postoperative outcome after hepatectomy with a new bedside test for maximal liver function capacity. *Annals of Surgery*. 2009;250(1):119-25.
9. Theisen MM, Maas M, Hartlage MA, Ploner F, Niehues SM, Van Aken HK, et al. Ventral recumbency is crucial for fast and safe orotracheal intubation in laboratory swine. *Laboratory Animals*. 2009;43(1):96-101.
10. Stockmann M, Lock JF, Malinowski M, Niehues SM, Seehofer D, Neuhaus P.

The LiMAx test: a new liver function test for predicting postoperative outcome in liver surgery. *HPB : the official journal of the International Hepato Pancreato Biliary Association*. 2010;12(2):139-46.

11. Maurer MH, Niehues SM, Schnapauff D, Grieser C, Rothe JH, Waldmuller D, et al. Low-dose computed tomography to detect body-packing in an animal model. *European Journal of Radiology*. 2011;78(2):302-6.
12. Lock JF, Malinowski M, Seehofer D, Hoppe S, Rohl RI, Niehues SM, et al. Function and volume recovery after partial hepatectomy: influence of preoperative liver function, residual liver volume, and obesity. *Langenbeck's archives of surgery / Deutsche Gesellschaft fur Chirurgie*. 2012;397(8):1297-304.
13. Schenk U, Prenzel H, Magnucki G, Hoang-Vu C, Schaller HG, Diederich A, et al. Non-autologous endodontic pulp regeneration approach in molar teeth of the rat. *Journal of Cellular Biotechnology*. 2015;1(1):27-35.
14. Gemeinhardt O, Poch FG, Hiebl B, Kunz-Zurbuchen U, Corte GM, Thieme SF, et al. Comparison of bipolar radiofrequency ablation zones in an in vivo porcine model: Correlation of histology and gross pathological findings. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*. 2016;64(3):491-9.
15. Hiebl B, Scharnagl N, Kaessmeyer S, Gemeinhardt O, Gemeinhardt I, Niehues SM, et al. Influence of the blood exposure time in dynamic hemocompatibility testing on coagulation and C5a activation. *Journal of Cellular Biotechnology*. 2016;1(2):145-50.
16. Hiebl B, Peters S, Gemeinhardt O, Niehues SM, Jung F. Impact of serum in cell culture media on in vitro lactate dehydrogenase (LDH) release determination. *Journal of Cellular Biotechnology*. 2017;3(1):9-13.
17. Hofmann VM, Niehues SM, Pudszuhn A. The Relevance of Abducent Nerve Palsy in ENT. *Laryngorhinootologie*. 2017;96(5):306-11.
18. Zur Hausen G, Grone J, Kaufmann D, Niehues SM, Aschenbrenner K, Stroux A, et al. Influence of pelvic volume on surgical outcome after low anterior resection for rectal cancer. *Int J Colorectal Dis*. 2017;32(8):1125-35.

12.2 Übersichtsarbeiten

Pustelnik D, Elsholtz FHJ, Bojarski C, Hamm B, **Niehues SM**. The CDD System in Computed Tomographic Diagnosis of Diverticular Disease. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*. 2017;189(8):740-7.

12.3 Lehrbücher als Herausgeber

Magnevist-Monographie, 5. Revidierte Auflage, Blackwell Publishing 2007 ISBN 9-781405-153430

12.4 Buchbeiträge

1. Niehues SM, Lemke AJ: Anatomical Atlas, Joints, in: Hosten N, Lemke AJ, Felix R: Kernspintomographie - Kompendium und Atlas. Ecomed, Germany, 2nd Edition, 2nd Supplement (2000)

2. Niehues SM, Lemke AJ: Anatomical Atlas, Upper Extremities, in: Hosten N, Lemke AJ, Felix R: Kernspintomographie - Kompendium und Atlas. Ecomed, Germany, 2. Edition, 3. Supplement (2000)
3. Niehues SM, Lemke AJ: Anatomischer Atlas, Lower Extremities, in: Hosten N, Lemke AJ, Felix R: Kernspintomographie - Kompendium und Atlas. Ecomed, Germany, 2. Edition, 4. Supplement (2001)
4. Niehues SM, Lemke AJ: Anatomical Atlas, CNS, in: Lemke AJ, Hosten N, Felix R: Kernspintomographie - Kompendium und Atlas. Ecomed, 2. Edition, 5. Supplement (2002)
5. Niehues SM, Lemke AJ: Anatomical Atlas, Neck, in: Lemke AJ, Hosten N, Felix R : Kernspintomographie - Kompendium und Atlas. Ecomed, Germany, 2. Edition, 6. Supplement (2003)
6. Niehues SM: Kontrastmittel in der MRT in: Lemke AJ, Felix R: Kontrastverstärkte MRT-Bildgebung. S. 62-82 Verlag Bengelsdorf und Schimmel, Berlin (2004)
7. Niehues SM: MRT-Technik in: Lemke AJ, Felix R: Kontrastverstärkte MRT-Bildgebung. S. 82-98 Verlag Bengelsdorf und Schimmel, Berlin (2004)
8. Niehues SM, Lemke AJ: Anatomical Atlas, Cardiac, in: Lemke AJ, Hosten N, Felix R: Kernspintomographie - Kompendium und Atlas. Ecomed, Germany, 2. Edition, 7. Supplement (2004)
9. Niehues SM, Lemke AJ, Bansemer VG: Anatomical Atlas, Male pelvis, in: Lemke AJ, Hosten N, Felix R: Kernspintomographie - Kompendium und Atlas. Ecomed, Germany, 2. Edition, 8. Supplement (2005)
10. Niehues SM, Lemke AJ, Bansemer VG: Anatomical Atlas, Female pelvis, in: Lemke AJ, Hosten N, Felix R: Kernspintomographie - Kompendium und Atlas. Ecomed, Germany, 2. Edition, 9. Supplement (2006)
11. Niehues SM, Bansemer VG, Lemke AJ: Anatomischer Atlas, Abdomen, in: Lemke AJ, Hosten N, Felix R: Kernspintomographie - Kompendium und Atlas. Ecomed, Germany, 2. Edition, 8. Supplement (2006)
12. Niehues SM, Lemke A-J: The theory of image fusion, in „Magnevist® Monograph“, 5th, revised edition, Blackwell Publishing 2007.

12.5 Poster (Auswahl)

- | | |
|------------|---|
| 02.12.2001 | Niehues SM, Lemke AJ, Hosten N, Rosewicz S, Boehmig M, Felix R: Clinical evaluation of 3D image fusion (CT and FDG-PET) in patients with pancreatic masses. RSNA 2001 |
| 06.05.2005 | CT-Volumetrie vs. Verdrängungsvolumetrie bei Lebertumoren, DRK 2005 |
| 03.06.2010 | Liver volume determination: characterization of the systematic difference between image-based volumetric analysis and displacement in a porcine model. ESGAR 2010 |
| 17.09.2010 | Pig specific vascular anatomy allows acute infrarenal aortic occlusion without hind limb ischemia and stepwise occlusion without clinical signs. DGKMH 2010 |
| 17.09.2010 | Wertigkeit und Einsatz der Computertomographie (CT) bei tierexperimentellen Untersuchungen an Gefäßen am Beispiel des Minipigs DGKMH 2010 |

- 18.09.2010 Makroskopische, morphometrische und computertomographisch gestützte Untersuchung des Skeletts am Tiermodell des Göttinger Miniaturdschweines. DGKMH 2010
- 17.05.2012 In-vivo-Evaluation einer experimentellen Nitinol-Venenmanschette am Tiermodell DRK 2012
- 05.03.2015 Pelvic volumetry: a parameter for prediction of anastomotic insufficiency after rectal and rectosigmoideal surgery? ECR 2015
- 09.06.2017 Feability of measuring thrombotic deposits in carotic arteries using a micro-CT approach 36. Jahrestagung der DGKMH
- 09.06.2017 Impact of serum on lactate dehydrogenase (LDH) release determination in vitro. 36. Jahrestagung der DGKMH
- 10.06.2017 Ablation of hepatic tissue using Microwave ablation: An option to overcome the heat-sink-effect? 36. Jahrestagung der DGKMH
- 27.11.2017 CT-guided periradicular infiltration therapy: How IR and protocol modifications contribute to achieving ultra-low-dose interventions. RSNA 2017
- 30.11.2017 Ablation of Hepatic Tissue Using Microwave Ablation: An Option to Overcome the Heat-Sink Effect? RSNA 2017

13. Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. Bernd Hamm, Direktor der Klinik für Radiologie der Charité, für die stete Förderung meiner Vorhaben. Er hat den Rahmen geschaffen, auf dem meine Bemühungen aufbauen.

Ebenso danke ich Priv.-Doz. Dr. Asbach für die Betreuung und Ratschläge, die diese Promotion erfolgreich ermöglicht haben.

Frau Bettina Herwig danke ich für die gründlichen sprachlichen Überarbeitungen und kritischen Anmerkungen.

Mein Dank gilt auch allen meinen Kolleginnen und Kollegen, die mir durch ihre unermüdliche Arbeit den Freiraum geschaffen haben, die wissenschaftlichen Arbeiten zu dieser Promotion zusammenzusetzen.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner gesamten Familie bedanken, die meine zu diesen Projekten notwendige Abwesenheit klaglos ertragen und mich zudem noch in allen Belangen unterstützt haben. Das ist (und war nie) selbstverständlich.

Für alle gilt: Mögen all Eure Probleme die eines anderen werden.