

BfS-Forschungsprojekt

BfS AG-F 3 – 0803 / 3613S20025

**Evaluierung neuer CT-Techniken
und Bestimmung der mit ihnen erzielten Strahlenreduktion
bei verschiedenen CT-Betreibern in Deutschland**

Bericht 3:

Abschlußbericht

PD Dr. Michael Seidenbusch

Institut für Klinische Radiologie
Klinikum der Universität München

2015

Inhalt

1.	Projektbeschreibung	5
1.1.	Aufgabenstellung	5
1.2.	Voraussetzungen	5
1.3.	Planung und Ablauf des Forschungsvorhabens	6
1.3.1.	Literaturstudie	6
1.3.2.	Datenakquisition	6
1.3.3.	Dosisrekonstruktion und Bildqualitätsanalyse	7
1.3.4.	Stand der Wissenschaft und Technik	8
1.3.5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	8
2.	Ergebnisse und voraussichtlicher Nutzen der Studie	9
2.1.	Ergebnisse	9
2.2.	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	11
2.3.	Bekannt gewordene Fortschritte anderer Stellen	11
2.4.	Geplante Veröffentlichungen	11
3.	Ergebniskontrollbericht	13
3.1.	Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen	13
3.2.	Wissenschaftlich-technisches Ergebnis, Nebenergebnisse und Erfahrungen	13
3.2.1.	Wissenschaftlich-technisches Ergebnis	13
3.2.2.	Erfahrungen	13
3.3.	Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen	14
3.4.	Evtl. wirtschaftliche Erfolgsaussichten	14
3.5.	Evtl. wissenschaftliche Anschlußfähigkeit	14
3.6.	Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben	14
3.7.	Präsentationsmöglichkeiten	14
3.8.	Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung	14
4.	Literatur	15

Wichtige Anmerkung des Verfassers

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) übereinstimmen.

1. Projektbeschreibung

1.1. Aufgabenstellung

Die Computertomographie (CT) zählt zu den dosisintensivsten Verfahren der Röntgendiagnostik und trägt in zunehmendem Maße zur Strahlenexposition der bundesdeutschen Bevölkerung bei. Aus diesem Grunde stellt die Reduktion der bei computertomographischen Untersuchungen applizierten Strahlendosen eines der wichtigsten Ziele der technologischen Weiterentwicklung der CT dar. Ziel des Forschungsprojektes war die Evaluierung neuer Techniken in der Computertomographie (CT) und die Bestimmung der mit ihnen erzielten Reduktion der Strahlendosis bei verschiedenen CT-Betreibern in Deutschland unter Berücksichtigung der hierbei erreichten Bildqualität.

Das Forschungsprojekt umfaßte insgesamt drei Teilprojekte:

- Durchführung einer Literaturstudie zum Stand der Dosisreduktionsstrategien in der Computertomographie unter besonderer Berücksichtigung der Röhrenstrommodulation und der iterativen Bildrekonstruktion;
- Akquisition von mindestens 300 CT-Datensätzen von Standard-CT-Untersuchungen von mindestens 50 CT-Betreibern im Bundesgebiet unter besonderer Berücksichtigung der CT-Techniken der Röhrenstrommodulation, der iterativen Bildrekonstruktion sowie der Dual-Energy-Technik gemäß dem in Tab. 1 dargestellten Verteilungsschema; allerdings wurde aufgrund der vergleichsweise geringen Zahl der in nicht-spezialisierten Einrichtungen angefertigten pädiatrischen CT-Untersuchungen bzw. der geringen Zahl der in Betrieb befindlichen Dual-Energy-Geräte in Übereinkunft mit dem Auftraggeber auf eine Analyse der pädiatrischen CT-Untersuchungen bzw. der in Dual-Energy-Technik durchgeführten CT-Untersuchungen verzichtet (grau unterlegte Felder in Tab. 1)
- Rekonstruktion der unter den verschiedenen CT-Techniken erzielten Strahlendosen und Analyse der hierbei erzielten objektiven und subjektiven Bildqualität und Validierung der Dosisrekonstruktion durch einen Vergleich mit einer Serie von Phantommessungen

Tab. 1: Schema zur Datenakquisition gemäß Projektdurchführungsvorschlag. Die grau unterlegten Felder wurden aufgrund der zu niedrigen akquirierbaren Fallzahlen vernachlässigt.

Protokoll	Konstantstrom	Röhrenstrommodulation	Röhrenstrommodulation + Iterative Rekonstruktion	Dual-Energy-CT
Schädel-CCT	20	20	20	0
Thorax	20	20	20	0
Abdomen	20	20	20	0
CTA	20	20	20	0
Thorax Kind	20	20	20	0
Summe	50 Teilnehmer, 300 Datensätze			

1.2. Voraussetzungen

Das Forschungsprojekt wurde am Institut für Klinische Radiologie (Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h.c. Maximilian F. Reiser, FACR, FRCR) unter Federführung eines Arztes und Medizinphysik-Experten sowie unter wesentlicher fachlicher Mitwirkung zweier Fachärzte für

Radiologie durchgeführt. Das Institut verfügte über die logistischen und apparativen Einrichtungen zur Durchführung einer umfangreichen elektronischen Literaturstudie sowie zur Kontaktierung zahlreicher radiologischer Einrichtungen als potenziellen Teilnehmern an der retrospektiven Dosis- und Bildqualitätsstudie. Die unmittelbar an der Studie beteiligten Wissenschaftler verfügten jeweils über eine mehrjährige Expertise auf den Gebieten der Dosimetrie und der Bildqualitätsbeurteilung.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

1.3.1. Literaturstudie

Die ursprünglich geplante Recherche über die allgemein zugänglichen nationalen und internationalen Literaturdatenbanken wie Pubmed, MedPilot, DIMDI, Cochrane IEEE nach den Schlagwörtern „Strahlenexposition“ und „Computertomographie“ (radiation exposure & computed tomography) aus den letzten 10 Jahren erwies sich aufgrund der äußerst zahlreichen Literaturstellen zu diesem Thema und der geringen Spezifität der Suchalgorithmen als nicht effizient. Aus diesem Grunde wurde die Literaturrecherche im Wesentlichen in Form einer manuellen Durchsicht der einschlägigen internationalen Fachzeitschriften vorgenommen. Insgesamt wurden weit über 700 Publikationen zu projektrelevanten Themen wie den nationalen Dosisreferenzwerten, zu allgemeinen Strahlenschutzprinzipien in der CT, zu CT-Scantechniken, zum Dosisbedarf und zur Bildqualität bei den Standard-CT-Untersuchungen sowie zu den Dosisreduktionstechniken der Abschirmung, der Röhrenspannungselektion und -modulation, der Röhrenstrommodulation, der organbasierten Röhrenstrommodulation, der EKG-Triggerung, der iterativen Bildrekonstruktion, der High-Pitch-Verfahren sowie der Dual-Energy-Technik bei der CT von Kindern und Erwachsenen aufgefunden und nach den einzelnen Rubriken geordnet. Die in der Literatur enthaltenen quantitativen Angaben zum Dosisbedarf der einzelnen CT-Untersuchungen und zum Dosisreduktionspotential der einzelnen CT-Techniken wurden systematisch erfaßt und tabellarisch dargestellt. Auf diese Weise konnte ein Überblick über den Stand von Wissenschaft und Technik in der CT als Grundlage für die nachfolgende retrospektive Dosis- und Bildqualitätsstudie geschaffen werden.

1.3.2. Datenakquisition

Methodik und Verlauf der Datenakquisition wurden von folgenden Faktoren bestimmt:

- Auswahl radiologischer Einrichtungen zur potentiellen Teilnahme an der Studie nach logistischen Gesichtspunkten (Standorte, örtliche Gegebenheiten, persönliche Kontakte)
- Bereitschaft der potentiellen Teilnehmer zur Teilnahme an der Studie
- Ausgewogenheit der teilnehmenden radiologischen Einrichtungen bezüglich Organisationsstruktur, technischem Standard und Leistungsstärke
- Verfügbarkeit der in der Studie zu berücksichtigenden CT-Techniken in den teilnehmenden radiologischen Einrichtungen

- Abstimmung der Geräteeinstellungen auf die CT-Protokolle durch den CT-Geräte-Hersteller

Zur Minimierung des für die Teilnehmer entstehenden Aufwandes wurden für die Datenakquise stets eine persönliche Betreuung sowie eine Barauszahlung der Aufwandsentschädigung vor Ort angeboten und dieselben auch in den meisten Fällen vor Ort durchgeführt. Entsprechend erfolgte die Auswahl der Studienteilnehmer nach geographischen und logistischen Gesichtspunkten; entsprechend wurden als geographische Schwerpunkte der Studie das Bundesland Bayern und der Raum Hamburg ausgewählt. Hingegen erfolgte selbstredend keine Vorauswahl bezüglich der Organisationsstruktur bzw. der zu erwartenden Leistungsstärke und der technischen Standards der radiologischen Institutionen; auf diese Weise wurde eine weitgehende Ausgewogenheit der teilnehmenden radiologischen Einrichtungen bezüglich Organisationsstruktur, technischem Standard und Leistungsstärke erzielt. Somit kann die Häufigkeitsverteilung der vorgefundenen CT-Techniken wie Röhrenstrommodulation und Iterative Rekonstruktion zwar aufgrund der vergleichsweise geringen Zahl von 54 Abteilungen und Praxen zwar nicht im Sinne einer repräsentativen Stichprobe gewertet, doch können durch die Studie Tendenzen innerhalb der Bundesrepublik Deutschland aufgezeigt werden.

Insgesamt wurden 80 radiologische Einrichtungen telephonisch kontaktiert. Hiervon gewährten 43 Einrichtungen eine Zusage, und 41 Einrichtungen mit insgesamt 54 radiologischen Abteilungen bzw. Praxen wurden letztlich in die Studie einbezogen.

1.3.3. Dosisrekonstruktion und Bildqualitätsanalyse

Die Rekonstruktion der bei den unterschiedlichen CT-Untersuchungstechniken applizierten Organ- und Effektivdosen erfolgte mit Hilfe eines von *Stamm* und *Nagel* entwickelten, kommerziell verfügbaren Dosisrekonstruktionsalgorithmus CT-Expo, Version 2.3.1 [13]. Der Algorithmus gestattete die Rekonstruktion der bei beliebigen Einzelschicht- und Spiral-CT-Untersuchungen in 31 Organen und Geweben des menschlichen Körpers applizierten Organ-dosen sowie die Berechnung der effektiven Dosen gemäß ICRP 60 und ICRP 103 unter Berücksichtigung der technischen Daten von 86 CT-Scanner-Typen von 8 Geräteherstellern.

Aufgrund des durch die Erfordernis einer Dosisrekonstruktion bei 465 Bildserien zu erwartenden Aufwandes wurde ein Verfahren zur rechnergestützten Steuerung des CT-Expo-Algorithmus unter Einbindung der den DICOM-Headern zu entnehmenden dosisrelevanten Informationen entwickelt und auf die akquirierten CT-Bilddatensätze angewandt. Das Dosisrekonstruktionsverfahren wurde durch einen Vergleich mit den Ergebnissen thermolumineszenzdosimetrischer Messungen an einem anthropomorphen Phantom validiert.

Für jede der betrachteten 465 Scanserien wurde jeweils die objektive und die subjektive Bildqualität ermittelt. Zur Betrachtung der Bilddatensätze sowie zur Messung der objektiven Bildqualität wurde eine DICOM-Betrachtungssoftware an einem Befundungsmonitor eingesetzt. Als Maß für die objektive Bildqualität wurde für jede Serie in Abhängigkeit von der Scanregion in jeweils einem definierten Schnittbild das Bildpixelrauschen als Standardabweichung des mittleren Pixelwertes gemessen und hieraus das Signal-Rausch-Verhältnis sowie das Kontrast-Rausch-Verhältnis ermittelt, während zur Abschätzung der subjektiven

Bildqualität die gesamte Scanserie durchgemustert und anhand einer Fünf-Punkte-Likert-Skala beurteilt wurde.

Zur Validation des im Rahmen der vorliegenden retrospektiven Studie durchgeführten Dosisrekonstruktionsverfahrens wurden Messungen der bei CT-Untersuchungen des Schädels, des Thorax und des Abdomens unter jeweiliger Anwendung der Konstantstromtechnik sowie der Röhrenstrommodulation in einem anthropomorphen physikalischen Phantom applizierten Organ- und Effektivdosen vorgenommen.

1.3.4. Stand der Wissenschaft und Technik

Dosisrekonstruktion und Bildqualitätsanalysen erfolgten gemäß den gegenwärtig geläufigen Algorithmen; insbesondere wurde zur Dosisrekonstruktion ein in der Bundesrepublik Deutschland etabliertes und kommerziell erhältliches PC-Programm verwendet.

1.3.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Eine Zusammenarbeit erfolgte ausschließlich mit dem Auftraggeber der Studie.

2. Ergebnisse und voraussichtlicher Nutzen der Studie

2.1. Ergebnisse

Von den zahlreichen Ergebnissen der Studie sollen im folgenden die im Sinne der Fragestellung wichtigsten Resultate dargestellt werden.

Scannerfabrikate.

In der überwiegenden Anzahl der Fälle kamen CT-Scanner der Firmen General Electric, Philips, Siemens und Toshiba zum Einsatz. Naturgemäß verfügen klinikassoziierte radiologische Einrichtungen über modernere CT-Geräte als radiologische Praxen. In den meisten radiologischen Einrichtungen werden derzeit 16-Zeilen-Geräte und 64-Zeilen-Geräte eingesetzt; moderne 256-Zeilen-Geräte scheinen in radiologischen Einzelpraxen nicht betrieben zu werden.

CT-Techniken.

Gemäß der Datenerhebung wurde die Konstantstromtechnik vornehmlich bei der CT-Untersuchung des Schädels und die Röhrenstrommodulation hauptsächlich bei Untersuchungen des Körperstammes eingesetzt, während die Röhrenstrommodulation in Kombination mit iterativen Bildrekonstruktionsverfahren vorwiegend bei den Abdomentechniken angewandt wurde. Hierbei wurde die Konstantstromtechnik in 22%, die Röhrenstrommodulation in 49%, die Konstantstromtechnik in Kombination mit iterativen Bildrekonstruktionsverfahren in 4% und die Röhrenstrommodulation im Kombination mit iterativen Bildrekonstruktionsverfahren in 25% der radiologischen Einrichtungen angewandt.

Strahlendosis und Bildqualität bei den klinisch angewandten CT-Techniken.

Die effektive Dosis stellt ein Maß für die Strahlenexposition des Patienten dar. Bei der CT-Untersuchung des Schädels konnte im Gegensatz zu den anderen Standard-CT-Untersuchungen kein signifikanter Einfluß der CT-Technik auf die effektive Dosis nachgewiesen werden. Hingegen gestattet die Röhrenstrommodulation gegenüber der Konstantstromtechnik bei den CT-Untersuchungen des Thorax bzw. des Abdomens eine Reduktion der medianen effektiven Dosis um über 40% bzw. 45% und bei der Pulmonalis-Angiographie um rund 30%. Die Kombination der Röhrenstrommodulation mit iterativen Rekonstruktionsverfahren erlaubt bei den CT-Untersuchungen des Schädels, des Thorax und. des Abdomens bzw. bei der Pulmonalis-Angiographie eine Reduktion der medianen effektiven Dosis um etwa 10%, 45%, 75% bzw. 40%. Indessen zeigt sich die Leistungsfähigkeit der Röhrenstrommodulation bzw. der Kombination aus Röhrenstrommodulation und iterativer Rekonstruktion vor allem bei der CT-Untersuchung des Abdomens: Hier kann der Dosisbedarf über weite Bereiche des effektiven Patientendiameters in seinem Anstieg vergleichsweise niedrig bzw. sogar weitgehend konstant gehalten werden. So ist bei Anwendung der Konstantstromtechnik die Abhängigkeit des $CTDI_{vol}$ vom Durchstrahlungsdurchmesser am stärksten und bei der Anwendung der Röhrenstrommodulation in Verbindung mit iterativen Verfahren am schwächsten ausgeprägt. Analog stellt sich der Einfluss der CT-Technik auf die effektive Dosis des Patienten dar.

Auch bezüglich der objektiven Bildqualität wirken sich die einzelnen CT-Techniken unterschiedlich aus. So bewirkt die Röhrenstrommodulation alleine bei keiner der CT-Untersuchungen eine statistisch signifikante Abnahme des Bildpixelrauschens, vielmehr scheint das Bildpixelrauschen in Übereinstimmung mit dem Funktionsprinzip der Röhrenstrommodulation im wesentlichen konstant zu bleiben. Der Einsatz der iterativen Rekonstruktion hingegen bewirkt bei der CT-Untersuchung des Abdomens eine statistisch hochsignifikante und bei der Pulmonalis-Angiographie eine statistisch sehr signifikante Abnahme des Bildpixelrauschens. Insbesondere vermag die Kombination aus Röhrenstrommodulation und iterativer Rekonstruktion neben dem Dosisbedarf auch das Bildpixelrauschen über weite Bereiche des effektiven Patientendiameters nahezu konstant zu halten. Im Gegensatz hierzu reicht bei der CT-Untersuchung des Abdomens bei Patienten mit höherem effektiven Durchmesser unter Konstantstromtechnik selbst die Wahl höherer mittlerer Röhrenströme im Rahmen der für den Patienten als noch tolerabel erachteten Strahlenexposition nicht zur Vermeidung des auftretenden höheren Bildpixelrauschens aus. Aus diesem Grunde war auch bei der CT-Untersuchung des Abdomens ein paradoxer Anstieg des Bildpixelrauschens mit zunehmender Strahlendosis zu beobachten. Somit erweist sich der Einsatz iterativer Bildrekonstruktionsverfahren gerade bei der CT-Untersuchung des Abdomens bei adipösen Patienten als von herausragender strahlenhygienischer Bedeutung.

Natürgemäß bestand eine – wenn auch schwache – Korrelation zwischen objektiver und subjektiver Bildqualität. Die Beurteilung der subjektiven Bildqualität erfolgte durch zwei unabhängige Befunder, wobei jedoch zwischen beiden Befundern weitgehender Konsens herrschte. Bei den CT-Untersuchungen des Thorax zeigte sich praktisch unabhängig von der gewählten CT-Technik stets eine hervorragende Darstellung des Lungenparenchyms. Auch wies die mutmaßliche diagnostische Qualität des Gesamtbildes keine signifikante statistische Abhängigkeit von der CT-Technik auf. Hingegen fand sich bei der CT-Untersuchung des Abdomens und bei der Pulmonalis-Angiographie eine statistisch signifikante Verbesserung der Qualität der Darstellung der in den Schnittbildern untersuchten anatomischen Regionen bei Anwendung iterativer Bildrekonstruktionsalgorithmen. Diese Verbesserung der Qualität der Darstellung der anatomischen Strukturen ging allerdings nicht zwangsläufig mit einer solchen der diagnostischen Wertigkeit der Bilddatensätze einher, da zum einen der geometrisierte Bildaspekt nicht zwangsläufig einen Zuwachs an diagnostischer Information bewirkt und zum anderen in einzelnen Bildern artifizielle Artefakte mit Verschlechterung der diagnostischen Wertigkeit wahrgenommen wurden.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die quantitativen Ergebnisse der retrospektiven Studie zur Bildqualität und Strahlendosis in guter Übereinstimmung mit den in der internationalen Literatur getroffenen Angaben stehen.

2.2. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse der retrospektiven Studie zum Einfluß moderner CT-Techniken auf Bildqualität und Strahlendosis bieten neben einem Einblick in die klinische Expositionspraxis in der Bundesrepublik die Möglichkeit, Empfehlungen bezüglich des künftigen Einsatzes der CT-Techniken auszusprechen. Insbesondere kann eine Anwendung der Konstantstromtechnik bei CT-Untersuchungen des Körperrumpfes nicht mehr empfohlen werden. Ebenso kann die

besondere Eignung der iterativen Bildrekonstruktionsverfahren zur simultanen Reduktion der Strahlendosis und des Bildpixelrauschens im Rahmen der CT-Untersuchung vor allem adipöser Patienten ausdrücklich hervorgehoben werden. Weiter kann festgestellt werden, dass die bei der CT-Untersuchung des Thorax erzielte qualitative Darstellung des Lungenparenchyms in der Überzahl der analysierten Fälle als vorbildlich bezeichnet werden kann. Es ist allerdings auch auf die Notwendigkeit hinzuweisen, die modernen Techniken und hier vor allem die Verfahren der iterativen Bildrekonstruktion mit der gebotenen Sorgfalt auf definierte klinische Situationen anzuwenden, um eine Optimierung von Strahlendosis und Bildqualität vor dem Hintergrund einer hohen diagnostischen Wertigkeit zu erhalten.

Im Rahmen der dosimetrischen Analysen der Bilddatensätze wurde aber auch deutlich, dass das hochstandardisierte und a priori zur Archivierung von Röntgenexpositionsdaten sehr gut geeignete, weil hochstandardisierte DICOM-Datenformat von den internationalen Geräteherstellern in nur suboptimaler Weise genutzt wird, sodass retrospektive dosimetrische Analysen der DICOM-Datensätze erschwert oder sogar unmöglich gemacht werden. Aus diesem Grunde sollte an Normenausschüsse und Gerätehersteller der dringende Appell gerichtet werden, den DICOM-Standard wieder gemäß seiner ursprünglichen Konzeption anzuwenden.

2.3. Bekannt gewordene Fortschritte anderer Stellen

Dem Auftragnehmern wurden während der Projektdurchführung keine ähnlichen Fortschritte anderer Stellen bekannt.

2.4. Geplante Veröffentlichungen

Die Ergebnisse der bundesdeutschen Studie eignen sich aufgrund des nationalen Charakters und des hochaktuellen, klinisch orientierten Themas in hervorragender Weise zur Publikation in einer deutschsprachigen radiologischen Zeitschrift. Die Auftragnehmer planen zusammen mit den Auftraggebern eine oder mehrere Publikationen in der Zeitschrift „Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen“ (RöFo). Da simultan die Durchführung eines Promotionsvorhabens durch einen der Auftragnehmer beabsichtigt wird, sollte die Veröffentlichung der in den Berichten enthaltenen Daten vorerst mit Zurückhaltung erfolgen.

3. Ergebniskontrollbericht

3.1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

Die Ergebnisse der Studie könnten nach Publikation in einer radiologischen Fachzeitschrift bundesweiten Einfluß auf die strahlenhygienische Wahrnehmung der klinisch tätigen Kolleginnen und Kollegen und konsekutiv auf eine Modifikation der Praxis des Einsatzes moderner CT-Techniken bewirken.

3.2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis, Nebenergebnisse und Erfahrungen

3.2.1. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis

Als wesentliches wissenschaftlich-technisches Ergebnis kann die hohe strahlenhygienische und bildqualitätsfördernde Wirksamkeit der Kombination der Röhrenstrommodulation mit iterativen Bildrekonstruktionsverfahren vor allem bei den CT-Abdomentechniken angesprochen werden. Vor allem adipöse Patienten könnten künftig gezielt von dieser CT-Technik profitieren. Allerdings erfordert ein flächendeckender Einsatz derartiger Techniken neben der Akzeptanz durch die befundenden Radiologen auch eine Senkung des vor allem niedergelassenen Ärzten entehenden kommerziellen Aufwandes, zumal der Einsatz hochwertiger und damit kostenintensiver Röntgengerätetechnik noch nicht mit einer entsprechenden gesonderten kassenärztlichen Vergütung assoziiert ist.

Andererseits muß der alleinige Gebrauch der Konstantstromtechnik vor dem Hintergrund der durchgeführten Studie als obsolet betrachtet werden. Hier wird sich in den nächsten Jahren durch den sukzessiven Austausch der Gerätetechnik fast zwangsläufig ein selbständiger Wandel vollziehen.

3.2.2. Erfahrungen

Durchführung des Projektes.

Die Durchführbarkeit des vorliegenden Projektes war wesentlich durch die Bereitschaft klinisch-radiologischer Einrichtungen zur Teilnahme an der Studie determiniert. Wie deutlich wurde, machten die Teilnehmer ihre Teilnahme an der Studie nicht von der pekuniären Vergütung des Arbeitsaufwandes abhängig; eine wesentliche Motivation für die Mitwirkung an der Studie stellte für die Teilnehmer ein Erkenntnisgewinn über die eigene radiologische Praxis mit dem Ziel einer evtl. Optimierung der Röntgenuntersuchungsverfahren sowie echtes wissenschaftliches Interesse dar. Wie auch deutlich wurde, waren ablehnende Haltungen vereinzelt auch von einem Mißtrauen gegenüber dem Auftraggeber und dem Auftragnehmer des Forschungsprojektes geprägt.

Die Durchführung des Projektes war aber auch von erheblichen logistischen Schwierigkeiten geprägt, denen durch den persönlichen Einsatzes des Auftragnehmers wirkungsvoll begegnet werden konnte. So erfolgte im Projekt in aller Regel eine persönlichen Vor-Ort-Betreuung der Teilnehmer, welche aufgrund des geographischen Querschnittscharakters der Studie mit erheblichem Reiseaufwand verbunden war. Auch erfolgte die im Projekt vorgesehene pekuniäre Vergütung des den Teilnehmern entstehenden Aufwandes zur Vermeidung administrativer Komplikationen in aller Regel vor Ort durch Barzahlung.

Dosisrekonstruktion.

Da zur Rekonstruktion der im Rahmen der einzelnen CT-Untersuchungen applizierten Strahlendosen auf die in den DICOM-Datensätzen enthaltenen Metainformationen zurückgegriffen mußte, stand und fiel die Qualität der Dosisrekonstruktion mit der Qualität der DICOM-Datensätze. Hier mußte wiederholt mit großem Bedauern festgestellt werden, daß das initial hochstandardisierte DICOM-Datenformat von den internationalen Geräteherstellern nicht nur in suboptimaler Weise genutzt, sondern teilweise sogar umgangen wird, sodaß retrospektive Datenanalysen deutlich erschwert, wenn nicht sogar unmöglich gemacht werden. Nach Beurteilung des Auftragnehmers könnte ein weiteres Festhalten an diesen herstellerspezifischen Usancen den Erfolg künftiger strahlenepidemiologischer Studien zumindest auf bundesdeutscher Ebene gefährden.

3.3. Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen

Entfällt.

3.4. Evtl. wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Entfällt.

3.5. Evtl. wissenschaftliche Anschlußfähigkeit

Wie im Rahmen der Datenanalysen ersichtlich wurde, läßt der vergleichsweise geringe Stichprobenumfang der Studie allgemeingültige bzw. statistisch signifikante Schlußfolgerungen nur in sehr begrenztem Umfang zu. Allerdings scheint eine Datenerhebung auf breiterer Ebene bei Entwicklung einer entsprechenden Logistik als prinzipiell machbar und nach Meinung des Auftragnehmers auch als wünschenswert. Vor dem Hintergrund der Bedeutung der Strahlenhygiene bei pädiatrischen CT-Untersuchungen könnte künftig ein Schwerpunkt auf die pädiatrische Expositionspraxis gerichtet werden.

3.6. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Aufgrund der nur geringen Verbreitung mußte die Analyse der initial in der Projektbeschreibung vorgesehenen CT-Technik der Dual-Energy-CT sowie pädiatrischer CT-Protokolle aus der Studie ausgeschlossen werden.

3.7. Präsentationsmöglichkeiten

Der Auftragnehmer der Studie beabsichtigt eine Präsentation der Ergebnisse auf den einschlägigen wissenschaftlichen radiologischen Fachkongressen.

3.8. Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Die Kostenplanung konnte vollumfänglich eingehalten werden. Allerdings ergaben sich aufgrund nicht vorhersehbarer Änderungen in der personellen Verfügbarkeit im Bereich des Auftragnehmers erhebliche zeitliche Schwierigkeiten bei der Fertigstellung des Projektes, denen allein wirkungsvoll durch die private Weiterarbeit (sic!) eines Auftragnehmers begegnet werden konnte.

4. Literatur

1. American Association of Physicists in Medicine (AAPM), Task Group. Size-Specific Dose Estimates (SSDE) in pediatric and adult body CT examinations. AAPM Report 204; 2011
2. ATOM Dosimetry Phantoms. Whole body dose – organ dose – therapeutic radiation. Publication ATOM PB 061811, Norfolk, Virginia, USA: CIRS Computerized Imaging Reference Systems Inc., 2011
3. Brenner DJ. Slowing the Increase in the Population Dose Resulting from CT Scans. *Radiat Res* 2010;174:809–815
4. Brooks RA, Di Chiro G. Statistical limitations in x-ray reconstructive tomography. *Med Phys* 1976;3:237-240
5. Bortz, Döring. Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. ISBN 978-3-540-33305-0, Springer 2006;740
6. DICOM Website. Digital Imaging and Communications in Medicine. Zugriff (2013) via <http://medical.nema.org/>.
7. International Commission on Radiological Protection. 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 60. Pergamon Press, Oxford, 1991
8. Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, Butler MW, Goergen SK, Byrnes GB, Giles GG, Wallace AB, Anderson PR, Guiver TA, McGale P, Cain TM, Dowty JG, Bickerstaffe AC, Darby SC. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *BMJ* 2013;346:f2360, doi: 10.1136/bmj.f2360
9. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, Howe NL, Ronckers CM, Rajaraman P, Craft AW, Parker L, Berrington de González 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
10. Regulla DF, Eder H. Patient exposure in medical x-ray imaging in Europe. *Radiat Prot Dosim* 2005;114:11-25
11. Seidenbusch MC. Evaluierung neuer CT-Techniken und Bestimmung der mit ihnen erzielten Strahlenreduktion bei verschiedenen CT-Betreibern in Deutschland – Bericht 1: Strahlenexposition des Patienten bei computertomographischen Untersuchungen – eine Literaturübersicht. BfS-Forschungsprojekt BfS AG-F3–0803/3613S20025, Klinikum der Universität München, 2014
12. Seidenbusch MC. Evaluierung neuer CT-Techniken und Bestimmung der mit ihnen erzielten Strahlenreduktion bei verschiedenen CT-Betreibern in Deutschland – Bericht 3: Abschlußbericht. BfS-Forschungsprojekt BfS AG-F3–0803/3613S20025, Klinikum der Universität München, 2015
13. Stamm G, Nagel HD. CT-Expo – ein neuartiges Programm zur Dosisevaluierung in der CT. *Fortschr Röntgenstr* 2002;174:1570–1576
14. Unterrichtung durch die Bundesregierung Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2012
15. Zankl M, Panzer W, Drexler G. Tomographic anthropomorphic models part II: organ doses from computed tomographic examinations in paediatric radiology. GSF-Bericht 30/93, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit Neuherberg, 1993
16. Zankl M, Panzer W, Drexler G. The calculation of dose from external photon exposures using reference human phantoms and monte carlo methods part VI: organ

doses from computed tomographic examinations. GSF-Bericht 30/91, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit Neuherberg, 1991