

# **Mobiler Workflow in der Thorax-Computertomographie**

aus dem Radiologischen Institut  
des Universitätsklinikums Erlangen  
Leiter: Prof. Dr. med. Michael Uder

Der Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

zur

Erlangung des Doktorgrades Dr. med. dent.

vorgelegt von  
Eleni Francesca Chiara Schrüfer

Als Dissertation genehmigt  
von der Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Vorsitzender des Promotionsorgans: Prof. Dr. Markus F. Neurath

Gutachter: PD Dr. Matthias May  
PD Dr. Marc Saake

Tag der mündlichen Prüfung: 17.08.2021

# Inhaltsverzeichnis

<b><u>1 Zusammenfassung</u></b>	<b>1</b>
1.1 Hintergrund und Ziele	1
1.2 Methoden	1
1.3 Ergebnisse	2
1.4 Schlussfolgerung	3
<b><u>2 Summary</u></b>	<b>4</b>
2.1 Study objective	4
2.2 Methods	4
2.3 Results	5
2.4 Conclusion	5
<b><u>3 Einleitung</u></b>	<b>6</b>
<b><u>4 Material und Methoden</u></b>	<b>10</b>
4.1 Einwilligungsmangement	10
4.2 Patientenkollektiv	11
4.3 Mobiler Workflow	12
4.4 Videoüberwachung	15
4.5 Auswertung der Kameraaufnahmen	18
4.6 Zeitmessungen	20
4.7 Medizinisch-technische Radiologieassistenten	20
4.8 Statistische Auswertung	22
<b><u>5 Ergebnisse</u></b>	<b>22</b>
5.1 Patientenkollektiv	22
5.2 Spurenkarten	24
5.3 Wärmebilder	26
5.4 Bereichszählungen	28
5.5 Zeitmessungen	30
5.6 Lerneffekte	32

<b><u>6</u></b>	<b><u>Diskussion</u></b>	<b><u>35</u></b>
6.1	Bewegungsraum und Flexibilität	36
6.2	Zeit im Untersuchungsraum	37
6.3	Gesamtuntersuchungsdauer	38
6.4	Effektivität des mobilen Workflows	38
6.5	Limitationen	39
<b><u>7</u></b>	<b><u>Fazit</u></b>	<b><u>42</u></b>
<b><u>8</u></b>	<b><u>Literaturverzeichnis</u></b>	<b><u>44</u></b>
<b><u>9</u></b>	<b><u>Abkürzungsverzeichnis</u></b>	<b><u>48</u></b>
<b><u>10</u></b>	<b><u>Veröffentlichungen</u></b>	<b><u>49</u></b>

## 1 Zusammenfassung

### 1.1 Hintergrund und Ziele

Mobile Endgeräte wie Smartphones und Tablets sind Teil unseres Alltags und beeinflussen diesen im privaten sowie im beruflichen Umfeld. Auch der Medizin- und Gesundheitsbereich profitiert von einer Integration mobiler Geräte in den Arbeitsalltag. Vor Kurzem wurde eine neue Generation von Computertomographie-Systemen (CT-Systemen) mit einem Tablet als mobiler Benutzeroberfläche und kabelloser Fernsteuerung vorgestellt. Diese flexible Steuerung eines Computertomographen (CT) ermöglicht es, zum ersten Mal seit Erfindung der Computertomographie, einen neuen Ablauf bei der Bedienung zu entwickeln. Da die potenzielle Einführung eines Screening-Programms für die Lunge in naher Zukunft eine hohe Anzahl an Untersuchungen erforderlich machen könnte, ist der Ablauf der Thorax-CT-Untersuchungen hier besonders relevant.

Ziel dieser Studie war es, die Auswirkungen eines Tablet-gestützten mobilen Workflows auf den Gesamtprozess einer Thorax-CT-Untersuchung im Vergleich zum konventionellen Workflow zu analysieren.

### 1.2 Methoden

Thorax-CT-Untersuchungen von insgesamt 98 konsekutiven Patienten wurden an dem neuen CT-System durchgeführt. Zur Ausstattung des CT-Systems zählten eine vereinfachte Benutzeroberfläche für ein tragbares Tablet und eine mobile Fernsteuerung. Des Weiteren wurde ein Prototyp einer Strahlenschutzkabine entworfen und neben dem CT-Gerät im Untersuchungsraum aufgebaut, sodass der medizinisch-technische Radiologieassistent (MTRA) auch während der Strahlenfreisetzung bei dem Patienten im Raum bleiben konnte. Die Einteilung der Patienten in die Kontrollgruppe (n = 51) und in die Untersuchungsgruppe (n = 47) erfolgte randomisiert, wobei alle Patienten am selben CT-Gerät untersucht wurden. Der MTRA untersuchte die Patienten der Kontrollgruppe unter Verwendung des konventionellen Workflows an der Konsole und die Patienten der Untersuchungsgruppe mit dem neuen Tablet-gestützten mobilen Workflow.

Im Untersuchungsraum waren zwei Fischaugenkameras und im Kontrollraum eine an der Decke installiert. Während der Untersuchungen verfolgten die Fischaugenkameras die Bewegungsabläufe des MTRA und zeichneten sie auf. Mithilfe einer speziellen Software, welche die Detektion der Bewegung sowohl in Form von relativer Dichte in Spurenkarten und Wärmebildern als auch in Form von Bereichszählungen wiedergab, konnten die Bewegungsabläufe des MTRA quantitativ bestimmt werden. Zudem wurde jeder einzelne Untersuchungsschritt mithilfe einer Stoppuhr manuell erfasst.

### 1.3 Ergebnisse

Bei Verwendung des Tablets wurde nahezu die Hälfte aller Bereichszählungen (48 %) im Untersuchungsraum detektiert. Im Vergleich dazu fand beim konventionellen Workflow nur ein Viertel (25 %) aller Bereichszählungen im Untersuchungsraum beim Patienten statt. Die Zeit, die der MTRA mit dem Patienten im selben Raum verbrachte, betrug beim konventionellen Workflow lediglich 03:06 Minuten (min) (29 % der Gesamtuntersuchungsdauer). Diese Zeit konnte beim Tablet-gestützten mobilen Workflow auf 06:01 min (57 % der Gesamtuntersuchungsdauer) statistisch signifikant gesteigert werden ( $p < 0,05$ ). Hiervon verbrachte der MTRA lediglich 00:59 min (9 % der Gesamtuntersuchungsdauer) in der Strahlenschutzkabine und stand somit während dieser Zeit nicht in direktem Kontakt mit dem Patienten. Dennoch waren auch in diesem Zeitraum Sprach- und Sichtkontakt sichergestellt. Beim mobilen Workflow konnte der MTRA einen größeren Arbeitsbereich nutzen. Dies wurde durch die Spurenkarten und Wärmebilder ersichtlich und belegte eine erhöhte Bewegungsfreiheit des MTRA während der Untersuchung. Der geringe Zeitunterschied der Gesamtuntersuchungsdauer zwischen der Kontrollgruppe (Median: 10:50 min) und der Untersuchungsgruppe (Median: 10:35 min) war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,29$ ).

#### 1.4 Schlussfolgerung

Beim mobilen Workflow profitiert der MTRA insbesondere von einer gesteigerten Bewegungsfreiheit, da die meisten Untersuchungsschritte flexibel im Untersuchungsraum und somit in der Nähe des Patienten durchgeführt werden. Die Zeit, die mit dem Patienten gemeinsam im selben Raum verbracht wird, ist im Vergleich zum konventionellen Workflow signifikant verlängert. Die Gesamtuntersuchungsdauer wird dadurch jedoch nicht beeinflusst.

## 2 Summary

### 2.1 Study objective

Mobile devices, such as smartphones and tablets, are part of our everyday life, influencing it in both, the private and the professional environment. The medical and health sector often benefits from the integration of mobile devices into everyday work. Recently, a new generation of computed tomography systems (CT systems), with a tablet as a mobile user interface and a wireless remote control, has been presented. For the first time since the invention of computed tomography (CT), this new flexible handling of a CT makes it possible to develop a new workflow. The CT of the chest is of particular relevance in this regard, since the potential introduction of a lung screening program soon could require a large number of examinations. This study aimed to analyze the effects of the tablet-supported mobile workflow on the overall process of a CT of the chest in comparison to the conventional workflow.

### 2.2 Methods

CTs of the chest of a total of 98 consecutive patients were carried out on the new CT system. The features of the CT system included a simplified user interface of a portable tablet and a mobile remote control. Furthermore, a prototype of a radiation protection cabin was designed and set up next to the CT gantry in the examination room, enabling the radiographer to remain in the room with the patient, even during the radiation exposure. The allocation of the patients to the reference group ( $n = 51$ ) and the study group ( $n = 47$ ) was randomized. All patients were examined on the same CT device. The radiographer examined the patients of the reference group using the conventional console workflow and the patients of the study group using the new, tablet-supported mobile workflow. Two fisheye cameras were installed at the ceiling in the examination room, one in the control room. During the examination, the fisheye cameras tracked and recorded the movements of the radiographer.

Using special software, which visualized the direction of movement in form of relative density in target maps and heat maps as well as in the form of area counts, the motion sequences of the radiographer could be quantitatively determined. Also, each individual examination step was recorded manually using a stopwatch.

### 2.3 Results

When using the tablet computer, almost half of all area counts (48 %) were detected in the examination room. In comparison, with the conventional workflow, only a quarter (25 %) of all area counts were detected in the examination room near the patient. Using the conventional workflow, the time the radiographer spent with the patient in the same room amounted to only 03:06 min (29 % of the total examination time). This time was increased to 06:01 min (57 % of the total examination time) with the tablet-supported mobile workflow ( $p < 0.05$ ). Of this time, the radiographer spent only 00:59 min (9 % of the total examination time) in the radiation protection cabin and was therefore not in direct contact with the patient over this time. Nevertheless, voice and visual contact were ensured even during this time interval. The mobile workflow allowed the radiographer to use a larger working area. This result became evident from the target-maps and heat-maps, indicating an increased range of movements of the radiographer during the examination. The small difference in total examination times between the reference group (median: 10:50 min) and the study group (median: 10:35 min) was without statistical significance ( $p = 0.29$ ).

### 2.4 Conclusion

Using the mobile workflow, the radiographer benefits particularly from increased freedom of movement, since most examination steps are performed flexibly in the examination room and thus close to the patient. The time spent together with the patient in the same room is significantly increased compared to the conventional workflow. However, this does not affect the overall examination duration.

### 3 Einleitung

Die Digitalisierung und die Einführung des Radiologie-Informationssystems (RIS) sowie des Bildarchivierungs- und Kommunikationssystems (PACS) ermöglichten im klinischen Alltag eine digitale Bildinterpretation. Dies etablierte auch einen linearen Workflow in der Bedienung eines CT [1]. Weitere Vorteile der Integration des RIS beziehungsweise des PACS waren unter anderem eine Zeitersparnis und eine Abnahme der ermüdenden Arbeit für das medizinische Personal [2].

Die Fortschritte bei der Hardware (Röhre, Detektor oder Gantry) und der Software (Algorithmen für die Rekonstruktion) boten die Möglichkeit einer schnelleren Erfassung des Untersuchungsgebietes mit einer höheren Auflösung bei verringerter Strahlendosis [3]. Dennoch ist der Untersuchungsablauf bis heute fast unverändert geblieben: Registrierung, Lagerung, Planung, Untersuchung, Entlassung, Rekonstruktion, Archivierung. Lediglich bei den Teilschritten Lagerung und Entlassung befindet sich das medizinische Personal bislang gemeinsam mit dem Patienten im Untersuchungsraum. Die direkte Interaktion zwischen dem Patienten und dem MTRA ist während einer CT-Untersuchung auf einen geringen Anteil aller Untersuchungsschritte und somit auf einen Bruchteil der Gesamtuntersuchungsdauer beschränkt. Die meisten Teilschritte und Einstellungen müssen von einer stationären Bedienkonsole aus vorgenommen werden, die sich in einem separaten Kontrollraum befindet. Hierbei ist der MTRA räumlich von dem Patienten getrennt und die Kommunikation mit dem Patienten ist lediglich indirekt über Mikrofone und Lautsprecher möglich. Die Mitwirkung des Patienten an der reibungslosen Durchführung der Untersuchung kann durch die klare räumliche Trennung zu dem MTRA stark beeinträchtigt sein. Besonders bei nicht kooperativen Patienten bedarf es großer Bemühungen des MTRA, die Mithilfe des Patienten einzufordern und sicherzustellen. Darunter fallen zum Beispiel Verletzte, Schwerkranke, Demente und Kinder. Unter Umständen beanspruchen diese die Unterstützung und Überwachung während der gesamten Untersuchung, teils auch während der Strahlenfreisetzung [4].

Beim bisher üblichen Vorgehen bleibt in diesen Fällen gleichzeitig ein zweiter MTRA bei dem Patienten im Untersuchungsraum und schützt sich mit einer Bleischürze vor der Strahlung. Die Bleischürzen sind meist sehr schwer und können bei häufiger Verwendung zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Leichtere Schürzen bedeuten jedoch auch weniger Schutz als oftmals vom Hersteller versprochen [5, 6]. Daher sollte bei der Auswahl der richtigen Schürze stets auf die passende Größe, das Gewicht und auf einen angemessenen Bleigleichwert geachtet werden [7].

Abgesehen von diesen Unannehmlichkeiten steht besonders während einer Nachtschicht, in den Ferien und am Wochenende zumeist kein weiteres Personal zu Verfügung. Zusätzliches Personal ist sowohl im Allgemeinen, aber insbesondere verstärkt in ländlichen Gegenden und in Entwicklungsländern, nur begrenzt verfügbar.

Mobile Geräte sind schon längst im Verbrauchermarkt etabliert und werden auch zunehmend für medizinische Anwendungen zuhause in Anspruch genommen [8]. Sie sind handlich, portabel, kostengünstig und einfach zu bedienen. Zudem verbessert sich kontinuierlich die Größe, die Rechenkapazität und die Akkulaufzeit der mobilen Geräte. Tablets weisen im Vergleich zu Smartphones multiple Informationsebenen auf und lassen somit eine verbesserte Benutzeroberfläche gemäß Multitouch-Technologie oder Gestensteuerung zu [9].

In der Radiologie kommen daher die tragbaren Geräte bereits auf unterschiedlichen Aufgabenfeldern zum Einsatz wie z.B. bei diagnostischen Verfahren, zur Unterstützung des klinischen Wissens, zur Beratung, zur klinischen Demonstration, zu Schulungszwecken, zur Organisation von Falldatenbanken oder zur erweiterten Realisierung von Interventionsverfahren [10-15]. Darüber hinaus können die Patientenaufklärung und die Patienteneinverständniserklärung bereits am Tablet ausgeführt werden [16, 17]. Das bedeutet eine verbesserte Kosten-Nutzen-Effizienz bei einem angemessenen Zeitaufwand mit zugleich verringertem Risiko eines Datenverlustes [18]. Durch elektronische Signaturen werden auch keine Unmengen an Papieraufklärungsbögen mehr benötigt und auch der Platz zur Aufbewahrung dieser Unterlagen kann eingespart werden.

Außerdem wirkt sich die Verwendung mobiler Geräte zur Beurteilung von CT- und Magnetresonanztomographie (MRT)-Bildern besonders bei Notfällen positiv auf das Outcome des Patienten aus. In einer Studie von Venson et al. stimmt der Befund, der mit dem Tablet erhoben wird, mit dem der Konsole überein. Die Auswertung am Tablet ermöglicht es, eine schnelle Antwort auf die Fragestellung bezüglich der Diagnose zu geben [19]. Der Nachweis von akuten gastrointestinalen Blutungen gelang in einer anderen Studie mit dem Tablet bei vergleichbar guter Diagnosesicherheit sogar signifikant schneller [20]. Vielversprechende Ergebnisse liefern die mobilen Geräte auch im Bereich der notfallmäßigen Telekonsultation zur Erkennung von einfachen orthopädischen Verletzungen und intrakraniellen Hämorrhagien [21]. Als nützlich erweisen sie sich auch zur Diagnosestellung und Triage bei Patienten mit kardiovaskulären Notfällen [22].

Seong et al. setzten in ihrer Studie Smartphones und Tablets zur Konsultation von externen Abdominalradiologen bei nicht eindeutiger Diagnose einer Appendizitis ein. Die Smartphone- und Tabletauswertungen stimmten besser mit dem finalen Bericht des internen Bereitschaftsradiologen überein als dessen vorläufiger Bericht [23]. Insbesondere in unterversorgten, ländlichen Gebieten oder Entwicklungsländern, in denen nicht immer ausreichend ärztliches Personal anwesend und die Gesundheitsinfrastruktur stark eingeschränkt ist, können Tablets in speziellen Fachdisziplinen bei der Diagnostik und der Verlaufsbeobachtung herangezogen werden [24].

Wichtig bei Anwendungen im klinischen und diagnostischen Bereich ist eine ausreichende Bildschirmgröße. Drei Neuroradiologen befundeten CT- und MRT-Fälle in einer Studie mit einem Tablet, das eine Displaygröße von nur 3,5 Zoll aufwies. Sie hielten die Displaygröße für angemessen, hätten jedoch ein größeres Display als angenehmer angesehen [25]. Die Entwicklung von Tablets mit einem Display zwischen 10 und 13 Zoll schafft hier Abhilfe. In einer Studie von Johnson et al. wurden die CT-Bilder von 50 Patienten mit Verdacht auf eine Lungenarterienembolie zum einen mit einem Tablet und ein weiteres Mal an der konventionellen Konsole ausgewertet. Hierbei zeigte sich kein Unterschied bezüglich der Diagnosesicherheit [26].

Auch in Bezug auf die Erkennungsrate von Hämorrhagien im Becken- und Bauchbereich können bei der Diagnostik mit einem Tablet keine Abweichungen zur Auswertung an der Konsole nachgewiesen werden [27].

Vor Kurzem wurde eine Benutzeroberfläche für mobile Geräte entwickelt, die die Steuerung eines CT-Systems ermöglicht. Die Integration der mobilen Geräte in die tägliche klinische Routine lässt eine Neugestaltung des Untersuchungsablaufes zu.

Ziel dieser Studie war es, die Effekte des mobilen Workflows auf die Bewegungsabläufe des MTRA zu untersuchen. Dazu sollten unter der Nullhypothese, dass keine Veränderungen zum konventionellen Workflow bestehen, die Parameter Bewegungsspielraum, Nähe zum Patienten und Dauer der Untersuchung anhand von Videoaufnahmen und chronographischen Messungen analysiert werden. Zusätzlich sollte erhoben werden, wie gut der Einstieg in die Anwendung der neuen Methode gelingt.

## **4 Material und Methoden**

### **4.1 Einwilligungsmangement**

Bei dieser Studie am Menschen entsprachen alle Abläufe den ethischen Standards des institutionellen und/oder nationalen Forschungskomitees. Auch waren die Vorgänge mit der Deklaration von Helsinki (1964) und mit seinen späteren Änderungen konform. Die Zustimmung des Personalrates und der lokalen Ethikkommission zur Studie wurde eingeholt. Auf Tierversuche konnte verzichtet werden.

Die Ärzte klärten die Patienten anhand einer speziell für diese Studienzwecke entworfenen Patienteninformation darüber auf, dass sie an einer Studie zur Verbesserung der Untersuchungsabläufe in der Computertomographie teilnehmen können. Die Patienten erhielten den Hinweis, dass der Untersuchungsablauf mit Kameras gefilmt wird, dadurch aber keinerlei Nachteile für die Untersuchung des Patienten entstehen. Auch war sichergestellt, dass die erhobenen Daten ausschließlich von ausgewähltem Personal des Universitätsklinikums Erlangen, welches die Filme analysierte und auswertete, eingesehen werden konnten. Nach Beendigung der Auswertung wurden die Videoaufnahmen gelöscht und lediglich anonymisierte Wärmebilder und Spurenkarten veröffentlicht. Mit zwei Unterschriften (Einwilligungserklärung zur Studienteilnahme und datenschutzrechtliche Einwilligungserklärung) willigte der Patient ein, an der Studie teilzunehmen. Zudem wurde die Einwilligung zur Verwendung der Ergebnisse für Präsentationen und Marketing eingeholt.

Alle an der Studie beteiligten Mitarbeiter des Universitätsklinikums Erlangen unterzeichneten sowohl eine Einverständniserklärung für die Teilnahme an der Studie als auch für die Aufzeichnung mit Kameras.

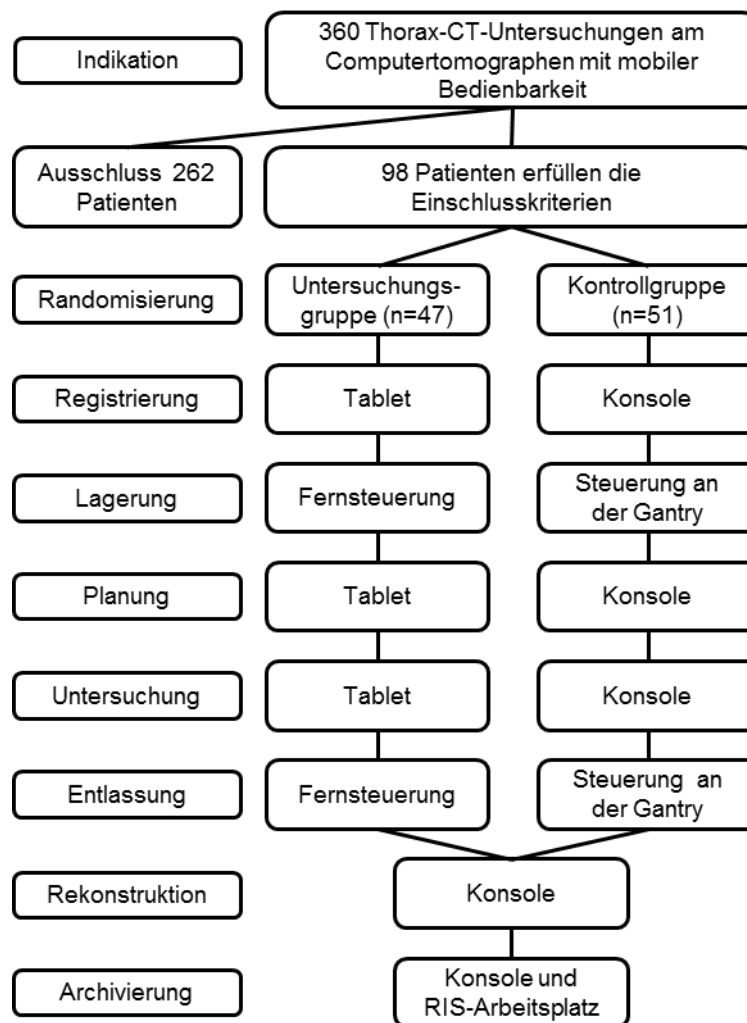
## 4.2 Patientenkollektiv

Einflussfaktoren wie unterschiedliche Positionierungstechniken, Körperregionen, sowie übergreifende oder mehrphasige Protokolle könnten bei einer Auswertung der Ergebnisse zu Verzerrungen führen. Um mögliche Verfälschungen zwischen den beiden Workflows zu vermeiden, sollte der Einschluss in die Studie auf eine Untersuchungsregion beschränkt und auf kombinierte Protokolle verzichtet werden. Die Wahl fiel auf CT-Untersuchungen des Thorax, da es sich hierbei um eine klinische Routineuntersuchung handelt, die ein großes Patientenkollektiv mit guter Vergleichbarkeit aufweist. In einem Zeitraum von 6 Monaten wurde bei insgesamt 360 Patienten ein Thorax-CT mit dem neuen CT-System durchgeführt. Einschlusskriterien waren die unterschriebenen Einwilligungserklärungen und eine reguläre Beweglichkeit des Patienten. Der Patient sollte den Untersuchungsraum selbstständig betreten und sich auf der Liege positionieren können. Eine Ausnahme bildeten Rollstuhlfahrer, die ebenfalls in die Studie eingeschlossen wurden ( $n = 12$ ). Des Weiteren musste der Untersuchungsablauf dieser Patienten in Form von Videoaufzeichnungen und Zeitmessungen dokumentiert werden. Hierfür steuerte eine Studienmitarbeiterin die Kameraaufnahmen und stoppte die Dauer der einzelnen Untersuchungsschritte von Hand. Insgesamt erfüllten 98 der 360 Patienten alle Einschlusskriterien und konnten in die Studie aufgenommen werden.

Patienten von Intensivstationen sowie Bettlägerige wurden von der Studie ausgeschlossen, damit aufgrund der eingeschränkten Bewegungsfähigkeit keine Verzerrungen der Ergebnisse zwischen der Untersuchungsgruppe und der Kontrollgruppe auftraten ( $n = 3$ ). 84 Patienten wurden ausgeschlossen, weil die Studienmitarbeiterin nicht anwesend war, um die Videoaufnahmen zu steuern. Weitere 175 Patienten konnten nicht an der Studie teilnehmen, da neben dem Thorax noch weitere Körperregionen untersucht wurden.

Die Einteilung der insgesamt 98 videoüberwachten Patienten in eine Untersuchungs- und eine Kontrollgruppe erfolgte randomisiert. Der MTRA untersuchte die Patienten der Untersuchungsgruppe ( $n = 47$ ) mit dem Tablet-gestützten mobilen Workflow und die der Kontrollgruppe ( $n = 51$ ) mit dem konventionellen stationären Workflow am selben Gerät.

Das Studiendesign wird in Abbildung (Abb.) 1 veranschaulicht.



**Abbildung 1:** Modifiziert nach Wetzl et al. [28]. Das Flussdiagramm veranschaulicht zum einen den Ablauf einer CT-Untersuchung in beiden Workflows und zum anderen das Studiendesign.

#### 4.3 Mobiler Workflow

Im Radiologischen Institut des Universitätsklinikums Erlangen wurden in dem Zeitraum von Oktober 2016 bis April 2017 an einem CT der neuesten Generation mit mobilen Eingabegeräten (SOMATOM go.Up, Siemens Healthineers GmbH, Forchheim, Deutschland) verschiedene CT-Untersuchungen durchgeführt.

Das neue CT-System konnte, wie herkömmliche Systeme auch, von einer konventionellen stationären Konsole gesteuert werden. Vor Kurzem wurde für diese eine neue Anwendungssoftware veröffentlicht (Somaris 10, Siemens Healthineers, Erlangen, Deutschland), die über eine neue Benutzeroberfläche verfügt.

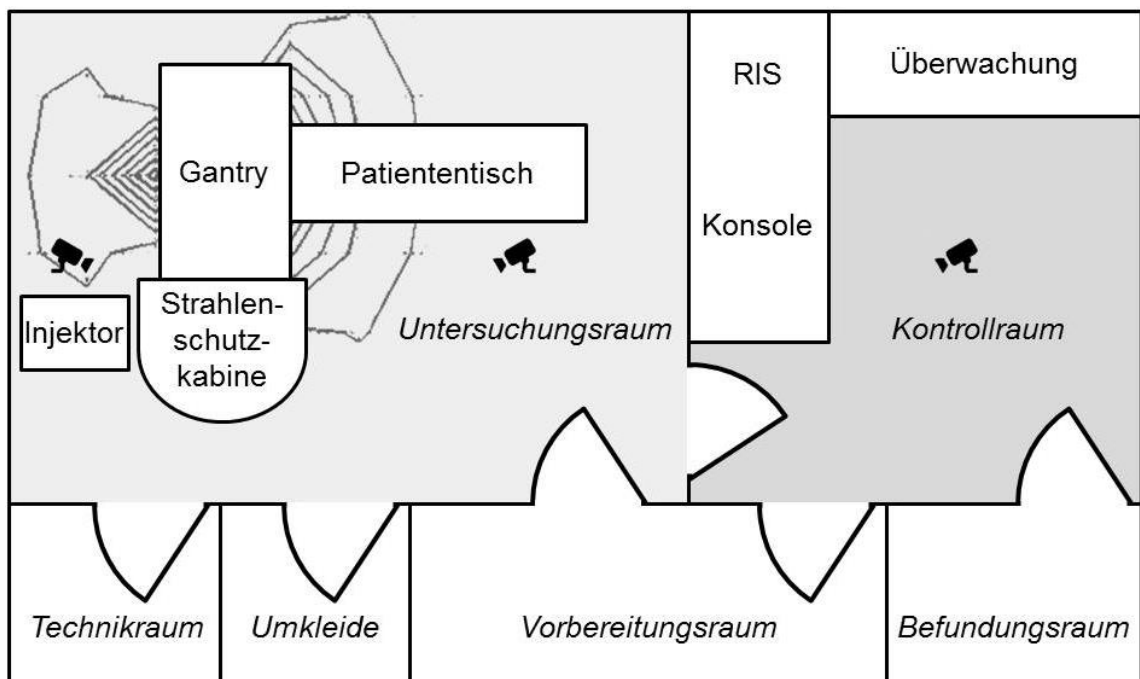
Zusätzlich konnte das neue CT-System auch mit einem mobilen Tabletcomputer gesteuert werden (Elite x2 1012 G1, Hewlett-Packard Inc., Palo Alto, US-CA). Zur Ausstattung des Tablets zählten ein hochauflösender 12-Zoll-Monitor und ein 64-Bit-Betriebssystem (Windows 10 Professional, Microsoft Corp., Redmont, US-WA). Eine mobile Anwendung für das Tablet ermöglichte die Interaktion zwischen dem mobilen Gerät und dem Scanner. Folgende operative Funktionen waren möglich: Registrierung, Planung, Untersuchung, automatische Rekonstruktion und automatische Archivierung. Es mussten 7 Arbeitsschritte auf dem Tablet bestätigt werden, um eine Untersuchung durchzuführen: Untersuchungsregion auswählen, Untersuchungsprotokoll auswählen, Patientenlagerung bestätigen, Topogramm laden, Scanbereich bestätigen, alle Rekonstruktionen starten, Patienten schließen.

Für diese Studie führte der MTRA sowohl für die Studien- als auch für die Kontrollgruppe alle Rekonstruktionen, Qualitätsprüfungen der Bildserien und die Archivierung an der Konsole durch. Auch die letzten, protokollierenden Prozessschritte (Dokumentation der Untersuchung, Übertragung der Dosisberichte und Mengenangabe des verabreichten Kontrastmittels) mussten weiterhin an der Konsole ins RIS übertragen werden, da es bisher noch keine entsprechenden Anwendungen für das Tablet gab. Die „Scan & go“-Funktion und die „Recon & go“-Funktion unterstützten den MTRA sowohl beim mobilen Workflow als auch beim konventionellen Workflow. Bei diesen Funktionen handelt es sich zum einen um eine automatische anatomische Ausrichtung des Detektionsbereiches auf dem Topogramm und zum anderen um eine automatische anatomische Linienführung für die Rekonstruktion.

Die Strahlenfreisetzung konnte entweder von einem stationären Bedienfeld aus gesteuert werden, das neben der Konsole im Kontrollraum angebracht war, oder mit einer zusätzlichen kabellosen Fernsteuerung, die sich im Untersuchungsraum befand. Dies ermöglichte es dem MTRA, beim mobilen Workflow während des gesamten Ablaufes im Untersuchungsraum zu bleiben. Dies hätte jedoch den Nachteil, einer gewissen Dosis an Streustrahlung ausgesetzt zu sein. Um diese mögliche Gefährdung zu vermeiden, wurde ein Prototyp einer Strahlenschutzkabine (MSR Röntgentechnische Systeme GmbH, Jünkerath, Deutschland) entworfen und im Untersuchungsraum installiert. Die Strahlenschutzkabine hatte 3 mm bleiäquivalente Wände in alle Richtungen.

Der Einsatz der Strahlenschutzkabine ermöglichte es dem MTRA, sich auch während der Strahlenfreisetzung bei dem Patienten im Untersuchungsraum aufzuhalten, ohne dabei seine Gesundheit zu gefährden. Die Strahlenschutzkabine wurde auf einer halbkreisförmigen Grundfläche installiert. Diese befand sich auf der geringsten Isodosis-Linie in direkter Nachbarschaft zur Gantry und in deren Strahlenschatten (Abb. 2). Die technische Prüfstelle (TÜV SÜD, München, Deutschland) maß zudem die Strahlenbelastung in der Schutzkabine bei repräsentativer Röhrenspannung (130 kV) und maximal zu erwartendem Röhrenstrom. Die ermittelte Exposition entsprach exakt der des Kontrollraumes (0,5  $\mu\text{Sv/h}$ ) und lag damit auch bei einer Dauerbelastung unter 1 mSv/a. Hierbei handelt es sich um den Grenzwert für die effektive Ganzkörperdosis beruflich exponierter Personen. Unterhalb dieses Grenzwertes besteht ein vernachlässigbares Risiko für das Auftreten gesundheitlicher Folgen [29].

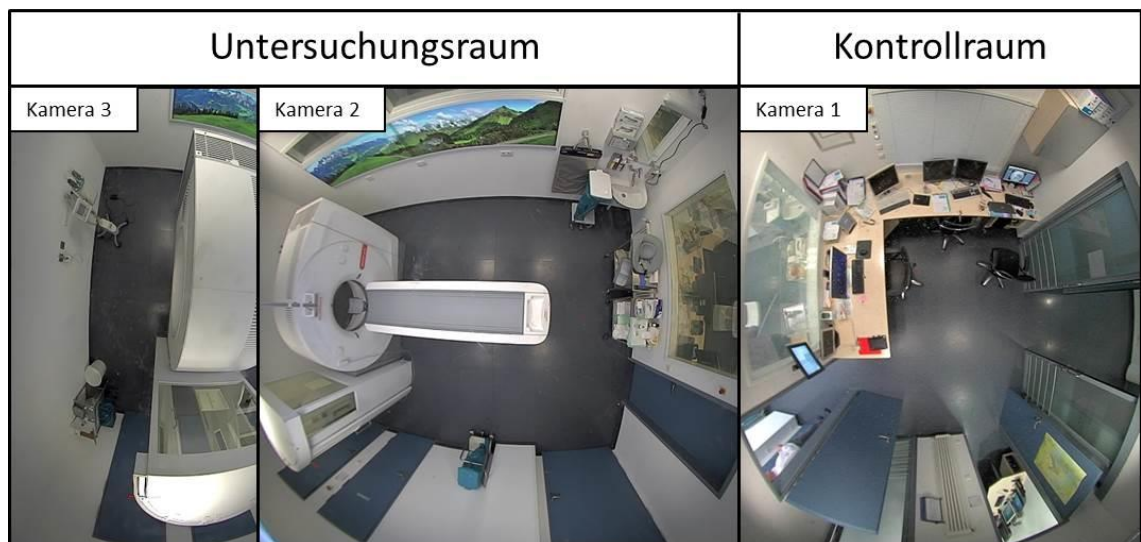
Hinter der Strahlenschutzkabine stand der Kontrastmittelinjektor. Im Falle einer Untersuchung mit Kontrastmittelgabe (KM-Gabe) wurde der Kontrastmittelinjektor an den intravenösen Zugang des Patienten angeschlossen.



**Abbildung 2:** Modifiziert nach Wetzl et al. [28]. Die schematische Darstellung gibt einen Überblick über den Aufbau des Kontroll- und Untersuchungsraumes. Im Untersuchungsraum ist die Strahlenschutzkabine an der Seite der Gantry angebracht, um die herum Isodosis-Linien skizziert sind. Hinter der Gantry befindet sich der Kontrastmittelinjektor. Die Kamerapositionen sind als Symbole markiert.

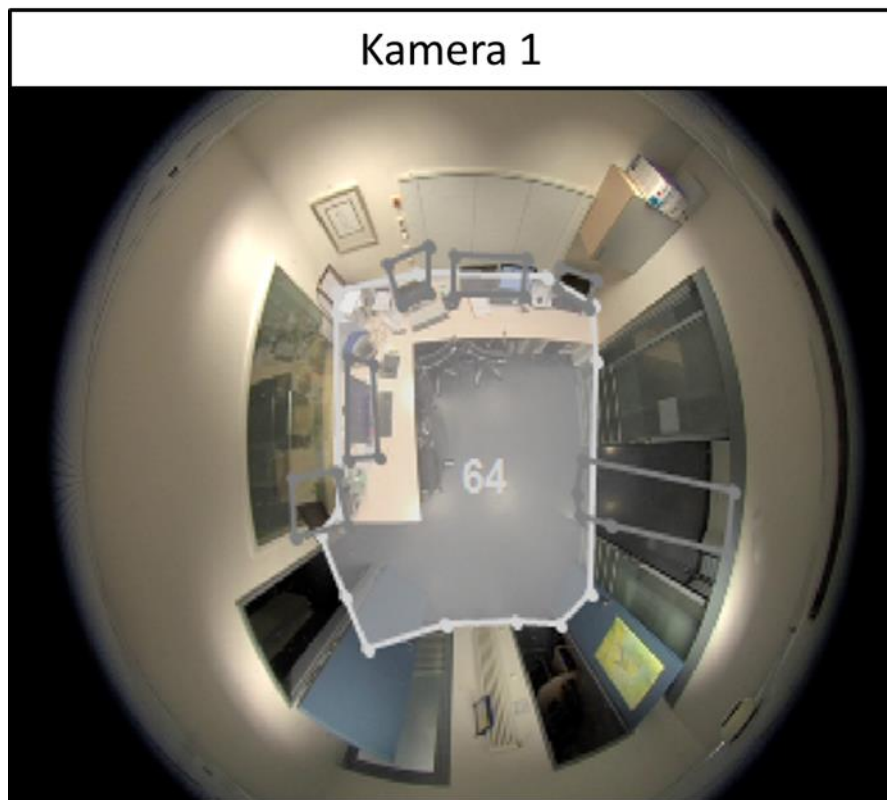
#### 4.4 Videoüberwachung

Die Grundlage für die automatische Videoüberwachung stellt die Video-Vordergrunderkennung dar. Diese entsteht, indem die Hintergrundbilder in den Videodateien herausgerechnet werden [30]. Drei an der Decke des Untersuchungsraumes montierte Fischaugenkameras (Kamerapositionen siehe Abb. 2) zeichnen die Untersuchungsabläufe auf. Eine Fischaugenkamera befand sich im Kontrollraum und 2 weitere wurden im Untersuchungsraum installiert. Kamera 1 gab einen Überblick über den gesamten Arbeitsbereich des Kontrollraumes. Kamera 2 zeichnete im Untersuchungsraum den Bereich vor der Gantry und Kamera 3 den Bereich hinter der Gantry und die Strahlenschutzkabine auf. In Abb. 3 sind alle erfassten Bereiche abgebildet.

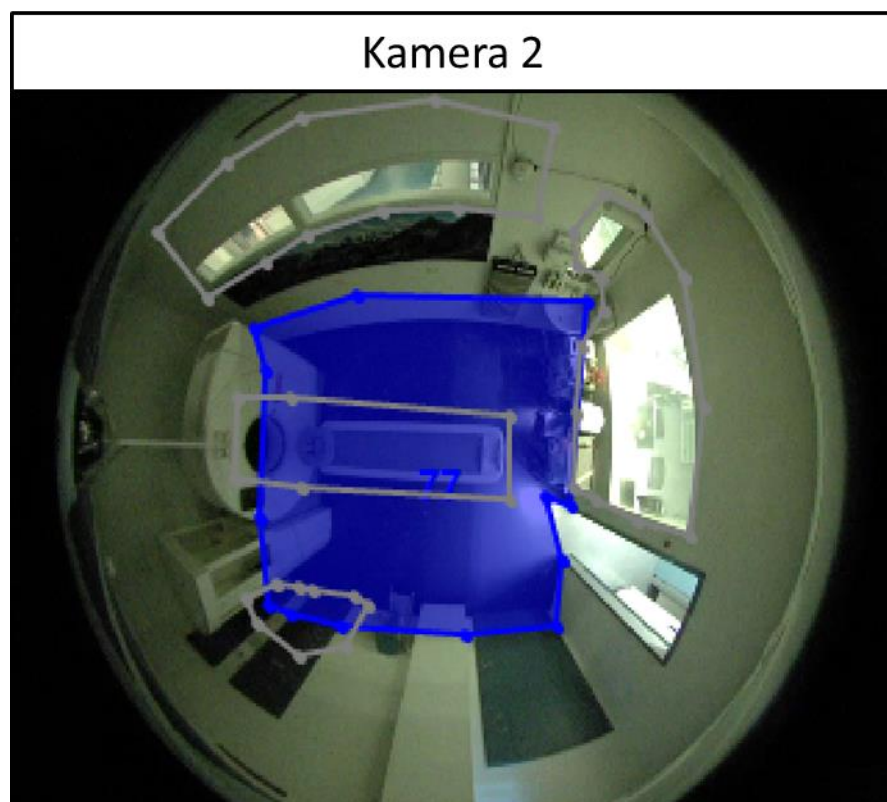


**Abbildung 3:** Die Aufnahmebereiche der 3 Kameras im Untersuchungs- und Kontrollraum.

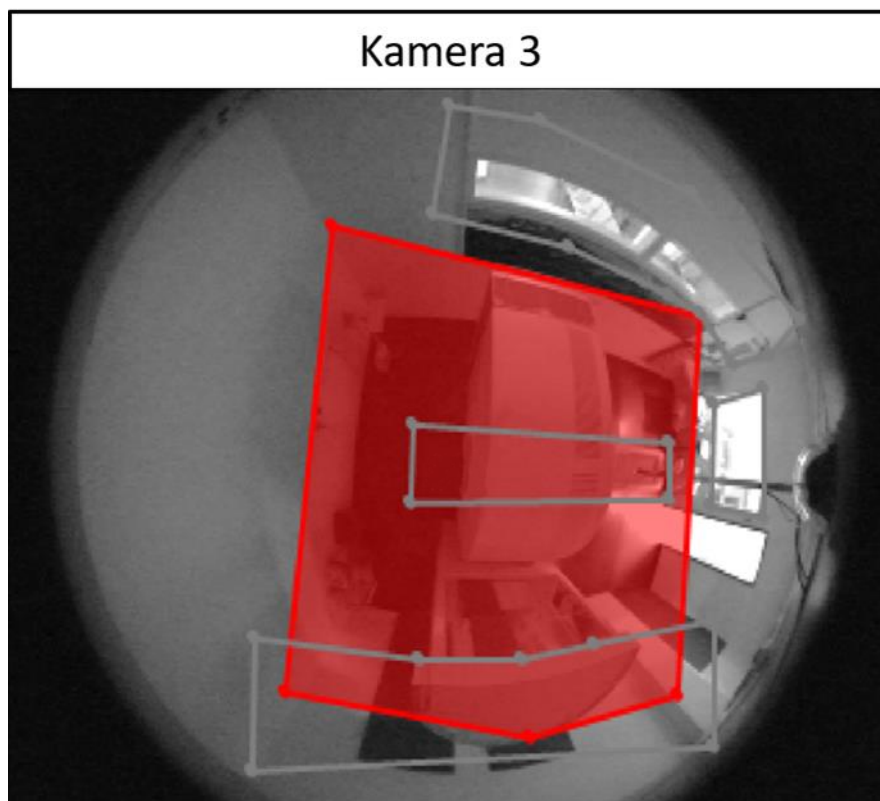
Bereiche wie z.B. der Patiententisch, die eindeutig dem Patienten zugeordnet werden konnten, wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Dasselbe galt auch für Bereiche, die Lichtreflexionen aufwiesen, wie z.B. Spiegel oder metallische Oberflächen. Alle ausgeschlossenen Bereiche für die jeweilige Kameraperspektive sind in Abb. 4, 5 und 6 grau markiert.



**Abbildung 4:** Ansicht Kamera 1. Die grau umrandeten Bereiche wurden ausgeschlossen.



**Abbildung 5:** Ansicht Kamera 2. Die grau umrandeten Bereiche wurden ausgeschlossen.



**Abbildung 6:** Ansicht Kamera 3. Die grau umrandeten Bereiche wurden ausgeschlossen.

Die Studienmitarbeiterin, die sich im Kontrollraum befand, startete und stoppte die Videoaufnahmen manuell. Der zuständige MTRA signalisierte den Startzeitpunkt der Videoaufnahmen. Hierfür mussten folgende Bedingungen erfüllt sein: Der Patient befand sich, nachdem ein Aufklärungsgespräch stattgefunden hatte, untersuchungsbereit im Warteraum. Wenn eine KM-Gabe erforderlich war, wurde ein intravenöser Zugang gelegt (meist in der Ellenbeugenvene seltener auf dem Hand- oder Fußrücken). Bei stationär aufgenommenen Patienten wurde der vorhandene Zugang gespült und getestet. Im Falle eines Versagens musste ein neuer Zugang gelegt werden. Im Untersuchungs- und Kontrollraum durften sich maximal 4 Personen aufhalten: die Studienmitarbeiterin, der Patient und ein MTRA, welcher die Untersuchung ausführte. Bei Bedarf konnte die Hilfe eines zweiten MTRA eingefordert werden. Das CT-System sollte nicht parallel andere Aufgaben wie etwa eine Rekonstruktion vorausgegangener Patienten bearbeiten.

Die Videoaufnahmen wurden beendet, nachdem der MTRA die Daten der Untersuchung in das PACS und RIS transferiert und gespeichert hatte.

#### 4.5 Auswertung der Kameraaufnahmen

Die Auswertung der Videodateien konnte mittels einer speziellen Software für Personenerkennung und Bewegungsverfolgung (VTrack, TechnoAware, Genua, Italien) retrospektiv durchgeführt werden. Hierbei handelte es sich um eine kommerziell erhältliche Software, die speziell für diese Studie angepasst wurde. Die Software registrierte automatisch jede Bewegung eines Objektes, die den von der Firma TechnoAware definierten Schwellenwert überschritt. Dieser konnte für die Studie jedoch nicht verändert werden.

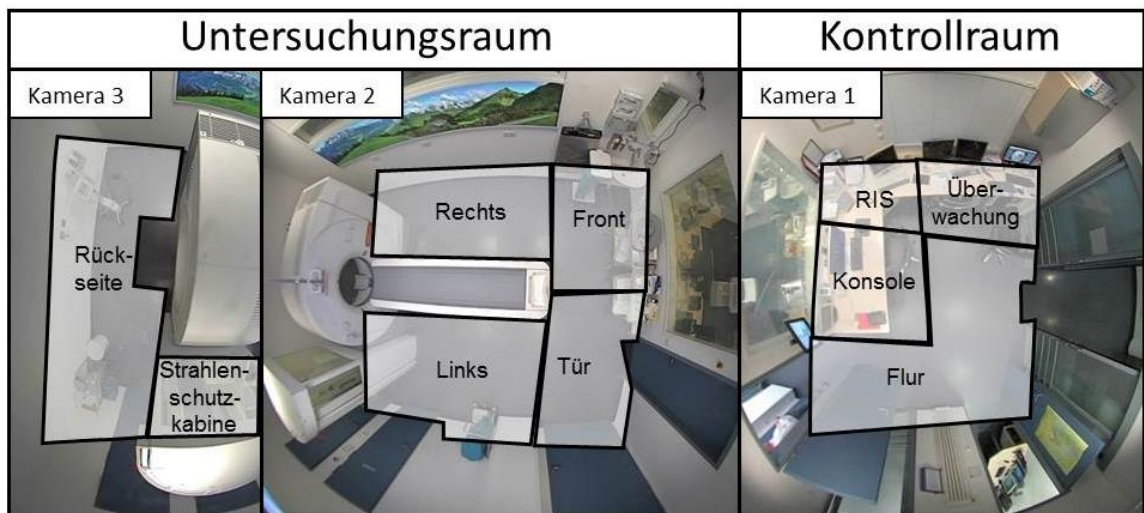
Jede Person, die von den Kameras erfasst wurde, stellte demnach ein sich bewegendes Objekt dar. Die Detektion der Personen erfolgte am Rumpf (zentrale Detektion). Eine Einschränkung der Software bestand darin, dass bei der Bewegungsdetektion zwischen Personal und Patienten nicht differenziert werden konnte. Außerdem beeinflusste die Schwingung der Kontrastmittelflasche und der Stillstand einer Person die Bewegungsverfolgung. Der Stillstand einer Person konnte nicht detektiert werden. Jedoch wurden die Parameter für die Inhibition erhöht, damit die Person bei Stillstand nicht in den Hintergrund gesetzt wird und somit die Verfolgung verloren ginge.

Aufgrund der Empfehlung des Herstellers, dass eine auszuwertende Videodatei mindestens eine Stunde Laufzeit aufweisen sollte, wurden jeweils für die Untersuchungs- und für die Kontrollgruppe die einzelnen Videoaufnahmen aller Untersuchungen zusammengefügt. Dadurch entstand für jede Gruppe je eine kumulative Videodatei.

Eine subjektive Beurteilung der Bewegungsabläufe erfolgte anhand von Spurenkarten und Wärmebildern. Jede Bewegung einer Person, welche die Software detektierte, automatisch verfolgte und aufzeichnete, konnte in Spurenkarten veranschaulicht werden. Die Spuren standen repräsentativ für den Weg, den das sich bewegende Objekt zurücklegte. Eine hohe Anzahl an Überlagerung der einzelnen Spuren stellte somit eine hohe relative Spurendichte dar.

Die Visualisierung der Verweildauer der Personen über den Zeitraum der Videoaufnahmen hinweg, erfolgte mithilfe sogenannter Wärmebilder. Die Wärmebilder kodierten ortsgebunden mit Farben die Detektionsdichte. Warme Farben in den Wärmebildern wiesen auf eine hohe relative Spurendichte (heißes Areal, rot) und kalte Farben auf eine geringe relative Spurendichte (kaltes Areal, blau) hin [31].

Eine quantitative Auswertung der Bewegungsabläufe erfolgte anhand automatischer Zählungen der Personendetektionen innerhalb definierter Bereiche. Hierfür wurde die von den einzelnen Kameras erfasste Fläche in bis zu 6 Bereiche gegliedert. Diese Bereiche stellen im klinischen Alltag die relevanten Zonen dar (Abb. 7). Die 4 definierten Bereiche des Kontrollraumes waren: „Flur“ (freier Bereich), „Konsole“ (Interaktion mit dem CT-System), „RIS“ (RIS für die Administration) und „Überwachung“ (Koordination der Videoaufnahmen und Zeitmessungen). Im Untersuchungsraum waren es 6 Bereiche: „Rechts“ und „Links“ (bezüglich des Patiententisches bei Frontalansicht auf die Gantry), „Front“ (des Tisches inklusive Waschbecken), „Tür“ (freier Bereich zwischen dem Patiententisch und den Türen des Kontroll- sowie des Vorbereitungsraumes), „Strahlenschutzkabine“ (beobachtet durch ihre Fenster) und „Rückseite“ (hinter der Gantry).



**Abbildung 7:** Modifiziert nach Wetzl et al. [28]. Die Aufnahmebereiche der 3 Kameras mit der Einteilung des Untersuchungsraumes in 6 definierte Bereiche und der des Kontrollraumes in 4 definierte Bereiche.

Die Gesamtzählungen pro Bereich bezogen sich auf die Patientenzahl der jeweiligen Gruppe. Folgende Gleichung stellt die durchschnittlichen Bereichszählungen pro Patient (BpP) dar:

$$BpP = \text{gesamte Bereichszählungen} / \text{Fallzahl}$$

#### 4.6 Zeitmessungen

Neben den Videoaufnahmen wurde die Dauer der einzelnen Arbeitsschritte mit einer Stoppuhr von Hand gestoppt und protokolliert. Dies diente der Validierung der Videoaufzeichnungen. Die Studienmitarbeiterin erfasste folgende Arbeitsschritte:

Registrierung (elektronische Patientenregistrierung mittels Benutzeroberfläche, Vorauswahl des Untersuchungsprotokolls anhand der Informationen des RIS, Patientenaufruf im Wartezimmer), Lagerung (Lagerung des Patienten auf dem Patiententisch, Positionierung des Patiententisches in der Gantry), Planung (Topogramm, Auswahl des zu untersuchenden Bereiches), Kontrastmittelgabe (Anschließen des Kontrastmittelinjektors an den intravenösen Zugang, Injektion), Untersuchung (Strahlenfreisetzung, Qualitätskontrolle), Entlassung des Patienten (Positionierung des Patiententisches in die Ausgangsposition, Zeit bis zum Verlassen des Untersuchungsraumes durch den Patienten) und Nachbearbeitung (Bildrekonstruktion, Archivierung im PACS, Dokumentation im RIS). So konnten auch Abläufe dokumentiert und validiert werden, welche die Kameras nicht erfassten.

In der Regel war ein MTRA allein dafür verantwortlich die Untersuchung zu koordinieren und auszuführen. Eine Arbeitsteilung sollte generell vermieden werden. Es konnte jedoch bei Bedarf sowohl beim mobilen als auch beim konventionellen Workflow die Hilfe eines zweiten MTRA in Anspruch genommen werden. Dessen Aufgaben waren allerdings auf den Patiententransport und die Durchführung der Kontrastmittelgabe begrenzt. Sobald sich ein zweiter MTRA an der Untersuchung beteiligte, wurde eine zweite, separate Zeitmessung gestartet. Diese Zeit wurde dokumentiert und zur Gesamtuntersuchungsdauer addiert, um eine Verfälschung der Untersuchungsdauer zu vermeiden.

#### 4.7 Medizinisch-technische Radiologieassistenten

Für die MTRAs war es neu, Teilschritte einer CT-Untersuchung über ein mobiles Tablet durchzuführen. Daher war davon auszugehen, dass sich die Gesamtuntersuchungsdauer im mobilen Workflow im Verlauf der Studie durch den zu erwartenden Lerneffekt nach und nach verkürzt.

Dem medizinischen Personal wurde das neue System von Siemens-Mitarbeitern während eines 1-tägigen Seminars nähergebracht.

Der Applikationsspezialist erläuterte in einem Vortrag die allgemeinen Funktionen und die Bedienung der mobilen Anwendung. Ein Ersteinweiser schulte das medizinische Personal in der Bedienung des neuen CT-Systems mittels Tablet. Die Teilnahme an der offiziellen Einweisung unterzeichneten die MTRAs und die Ärzte entsprechend der rechtlichen Rahmenbedingungen des Medizinproduktgesetzes.

Insgesamt 10 verschiedene MTRAs (2 Männer, 8 Frauen) führten die Thorax-CT-Untersuchungen für diese Studie durch. Das mediane Lebensalter der MTRAs betrug 29 Jahre (Spannbreite: 20 - 62 Jahre). Die mediane klinische Erfahrung im Umgang mit einem CT lag bei 3,5 Jahren (Spannbreite: 0,5 - 18 Jahre).

Die ersten Untersuchungen am Patienten führten die MTRAs gemeinsam mit dem Applikationsspezialisten durch, damit sie sich mit dem neuen Workflow vertraut machen konnten.

In den beiden darauffolgenden Wochen unterstützten die Siemens-Mitarbeiter den MTRA während der Untersuchungen. Auftretende Probleme konnten somit schnell behoben und die Untersuchung weitergeführt werden.

Anhand der Kameraaufnahmen und der Zeitmessungen wurde der Lerneffekt von 3 MTRAs analysiert, die im mobilen Workflow die meisten Untersuchungen durchführten. Der Lerneffekt wurde für jeden der drei (MTRA 8, 9 und 26) einzeln untersucht, da es sich hierbei um die Entwicklung einer individuellen Fertigkeit handelt. Es erfolgte eine retrospektive Einteilung der Patienten in 2 Kollektive. Das erste Kollektiv umfasste die erste Hälfte der untersuchten Patienten und das zweite Kollektiv die zweite Hälfte. Hierbei wurde auf eine Gleichverteilung hinsichtlich der Patientenanzahl geachtet.

<b>MTRA</b>	<b>Anzahl der Patienten im ersten Kollektiv</b>	<b>Anzahl der Patienten im zweiten Kollektiv</b>
Nr. 8	5	5
Nr. 9	4	5
Nr. 26	7	8

**Tabelle 1:** Einteilung der Patienten je MTRA in jeweils zwei Kollektive.

## 4.8 Statistische Auswertung

Alle statistischen Analysen erfolgten mithilfe der Statistiksoftware SPSS Statistics Version 21 (IBM). Der Kolmogorov-Smirnov-Test wurde zur Überprüfung der Normalverteilung der Daten herangezogen. Im Falle eines negativen Testergebnisses sind der Median und die Spannweite angegeben. Der nicht parametrische Mann-Whitney-U-Test diente der Untersuchung der Unterschiede in den Zeitmessungen zwischen der Studien- und der Kontrollgruppe. Auch für die Analysen der Subkohorten wurde dieser Test eingesetzt. Das Signifikanzniveau wurde als  $p < 0,05$  definiert.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Patientenkollektiv

Jede der 3 Kameras zeichnete insgesamt 677 min Videomaterial für den konventionellen und 527 min für den mobilen Workflow auf. In der Untersuchungsgruppe waren 36 % Frauen, in der Kontrollgruppe 39 %. Das Durchschnittsalter betrug in der Untersuchungsgruppe 60,2 Jahre und in der Kontrollgruppe 60,3 Jahre (Spannweiten: 15 - 89 Jahre bzw. 18 - 90 Jahre;  $p = 0,54$ ). Auch weitere Charakteristika wie durchschnittlicher Body Mass Index (Spannweiten: 16,7 - 35,5 bzw. 25,0 - 33,3;  $p = 0,59$ ), CTDI (Spannweiten: 0,2 - 9,0 mGy bzw. 0,4 - 9,2 mGy;  $p = 0,86$ ), DLP (Spannweiten: 7,0 - 443,0 mGy\*cm bzw. 15,0 - 311,0 mGy\*cm;  $p = 0,48$ ) oder ED (Spannweiten: 0,1 - 6,2 mSv bzw. 0,2 - 4,4 mSv;  $p = 0,48$ ) wiesen keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen auf. Lediglich die Anzahl der Untersuchungen mit und ohne KM-Gabe unterschied sich in den Workflows. In der Kontrollgruppe erhielten 47,1 % der Patienten eine Kontrastmittelinjektion und in der Untersuchungsgruppe 21,3 %.

In Tabelle (Tab.) 2 sind detaillierte Patientendaten und Strahlendosen aufgeführt.

	<b>Mobiler Workflow</b>	<b>Konventioneller Workflow</b>
Männlich	30	31
Weiblich	17	20
Durchschnittsalter (Jahre)	60,2	60,3
Kontrastmittelinjektion	10	24
Ohne Kontrastmittelinjektion	37	27
Durchschnittlicher Body Mass Index	25,5	25,1
Durchschnittlicher CTDI (mGy)	4,31	4,26
Durchschnittlicher DLP (mGy*cm)	171	156
Durchschnittlich geschätzte ED (mSv)	2,4	2,2

**Tabelle 2:** Modifiziert nach Wetzl et al. [28]. Zusammenfassung der Patientencharakteristika des mobilen Workflows im Vergleich zum konventionellen Workflow sowie eine Übersicht über die verschiedenen Strahlendosen.

Die unterschiedlichen Indikationen für die Durchführung der Thorax-CT-Untersuchungen zeigt Tab. 3.

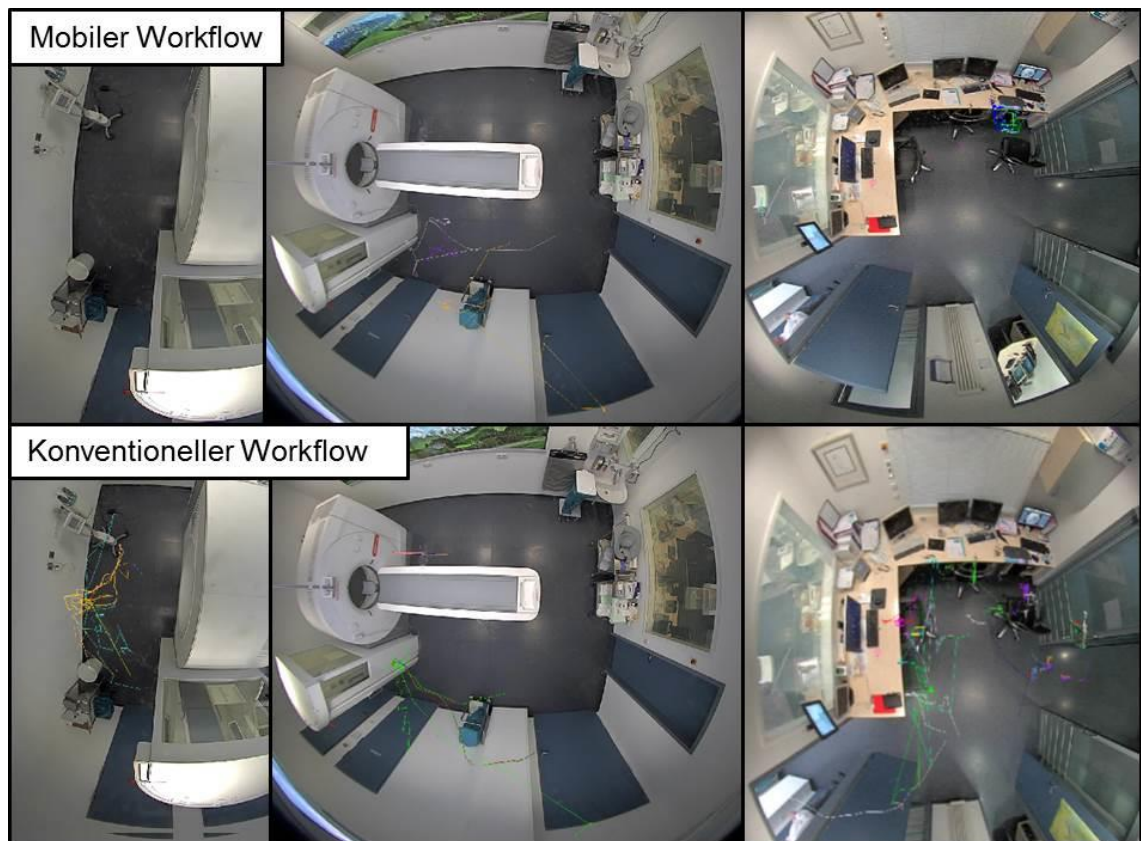
<b>Indikation</b>	<b>Mobiler Workflow</b>	<b>Konventioneller Workflow</b>
Maligne Erkrankung	15	19
Infektiöse Erkrankung	16	13
Chronische interstitielle Lungenerkrankung	10	10
Andere	6	9

**Tabelle 3:** Modifiziert nach Wetzl et al. [28]. Zusammenfassung der unterschiedlichen Indikationen für die Durchführung einer Thorax-CT-Untersuchung beim mobilen Workflow im Vergleich zum konventionellen Workflow. Andere Indikationen waren z.B. Verlaufskontrollen, Traumafolge oder Abklärung Raumforderung/Lungenrundherd/Pleuraerguss.

Beim Tablet-gestützten mobilen Workflow wurden 3 Rollstuhlfahrer untersucht, beim konventionellen 9. Der MTRA benötigte in der Untersuchungsgruppe bei 14 Patienten und in der Kontrollgruppe bei 10 Patienten die Hilfe eines zweiten MTRA.

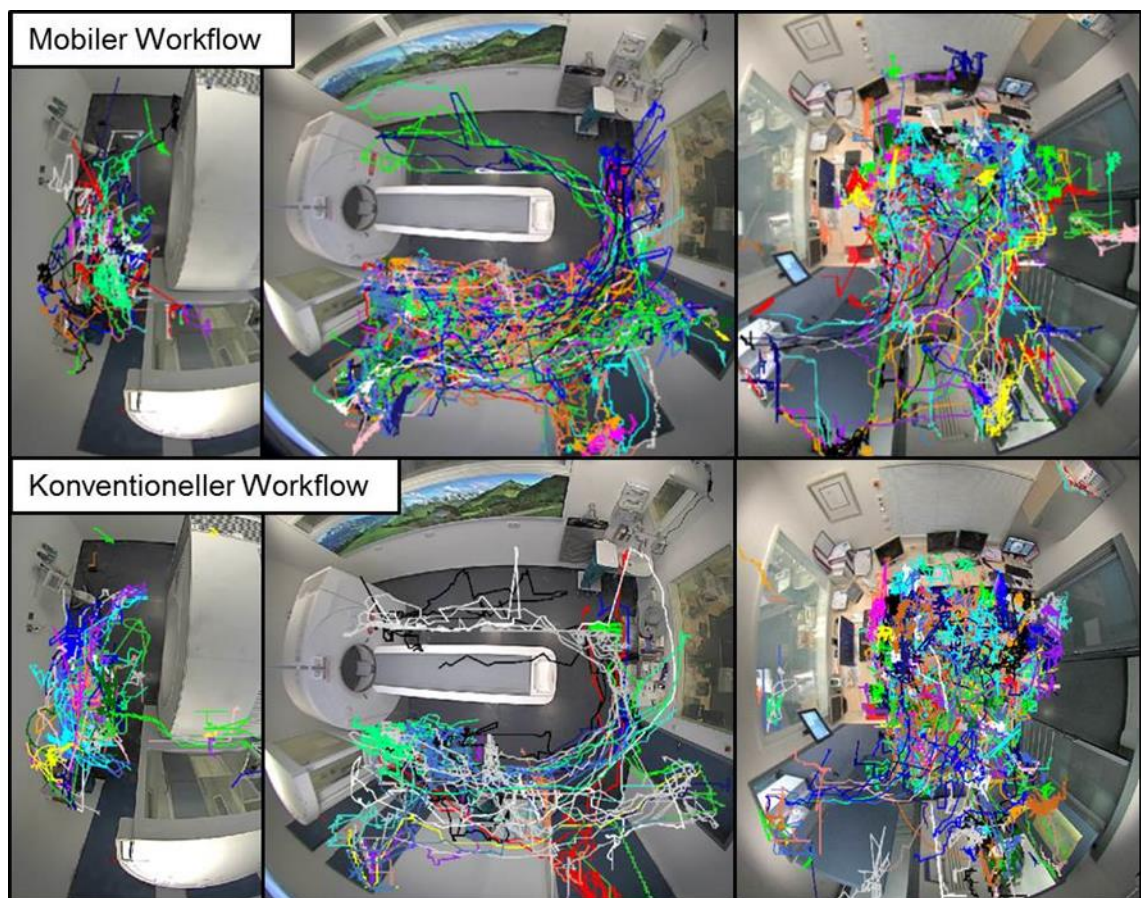
## 5.2 Spurenkarten

Die Spurenkarten geben einen Überblick bezüglich der Richtung und der Dichte der Bewegungen des MTRA. Die Spurenkarten einer einzelnen Thorax-CT-Untersuchung sind in Abb. 8 dargestellt.



**Abbildung 8:** Spurenkarten für eine Einzeluntersuchung aller 3 Kameraaufnahmen beim mobilen Workflow im Vergleich zum konventionellen Workflow. In den Bereichen „Konsole“, „RIS“ und „Flur“ waren beim mobilen Workflow im Kontrollraum keine Spuren erkennbar. Beim konventionellen Workflow war in diesen Bereichen eine deutlichere Dichte an Spuren sichtbar. Den Bereich zwischen Patiententisch und der Tür der Umkleide beziehungsweise (bzw.) des Vorbereitungsraumes nutzte der MTRA in beiden Workflows gleichermaßen. Zusätzlich führte beim konventionellen Workflow eine Spur um den Patiententisch herum auf dessen rechte Seite (bei Frontalansicht auf die Gantry). Da es sich beim konventionellen Workflow um eine Untersuchung mit KM-Gabe handelte, waren auch hinter der Gantry Spuren erkennbar. Der Bereich „Überwachung“ wies in beiden Workflows eine vergleichbare Dichte an Spuren auf, da die Tätigkeit der Studienmitarbeiterin bei den Videoaufnahmen und Zeitmessungen in beiden Workflows identisch war.

Da im Kontrollraum in den Bereichen „Konsole“, „RIS“ und „Flur“ beim mobilen Workflow keine Spuren erkennbar waren, konnte man davon ausgehen, dass nicht alle Bewegungen eindeutig detektiert wurden. Die Videoaufnahmedauer lag bei beiden Patientenuntersuchungen unter der empfohlenen Mindestaufnahmedauer. Diese Auswertungsmethode schien im Einzelfall für Messfehler anfälliger zu sein. Diese glichen sich aber über das Gesamtkollektiv aus. Die Auswertung der Videoaufzeichnungen erfolgte deshalb mittels der Erstellung einer Spurenkarte pro Gesamtkollektiv. Hierbei konnte die geforderte Mindestaufnahmedauer eingehalten werden und es kam zu validen Ergebnissen (Abb. 9).



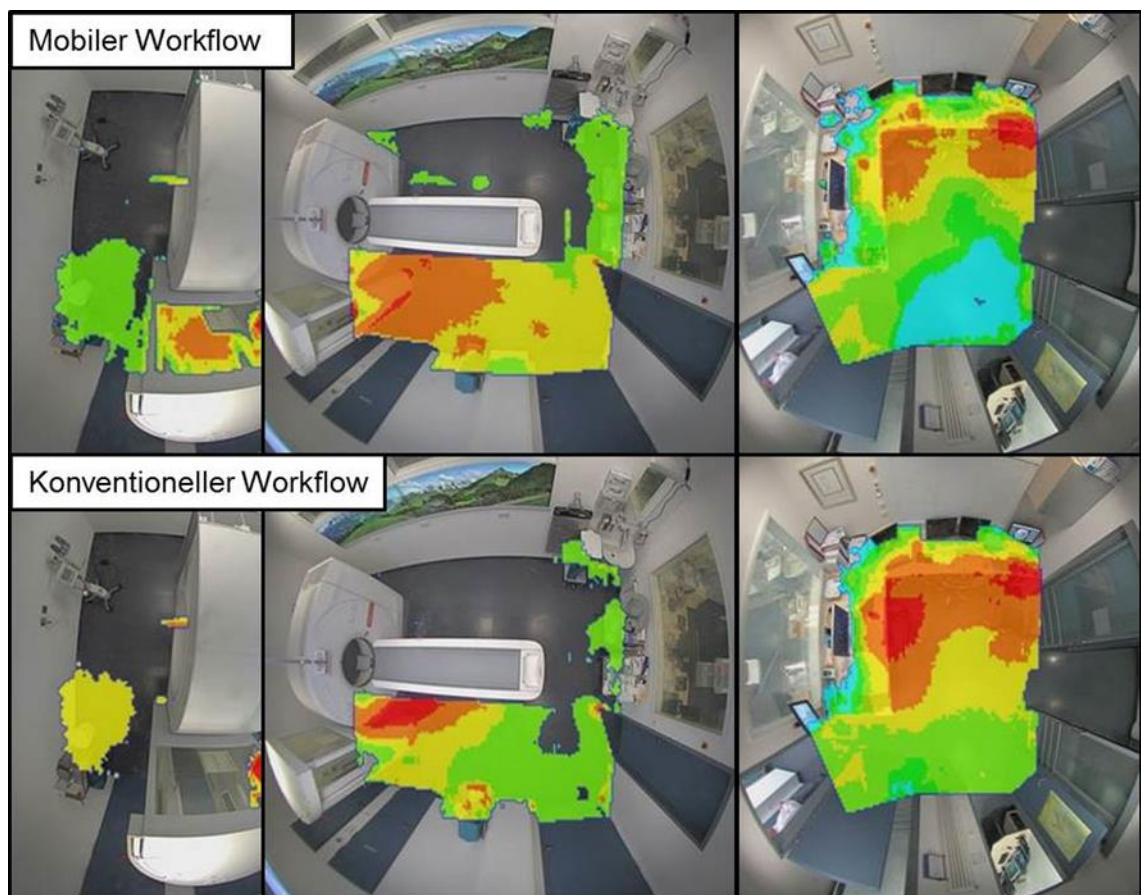
**Abbildung 9:** Modifiziert nach Wetzl et al. [28]. Spurenkarten für die kumulativen Videodateien aller 3 Kameraaufnahmen beim mobilen Workflow im Vergleich zum konventionellen Workflow.

Die Ausrichtung der Spuren verlief im konventionellen Workflow zu einem hohen Anteil entlang der Achse des Patiententisches, im mobilen Workflow ungeordneter. Demzufolge konnte der MTRA sich im mobilen Workflow vor allem im Untersuchungsraum im Bereich zwischen Patiententisch, Strahlenschutzkabine und der Tür der Umkleide bzw. des Vorbereitungsraumes freier bewegen.

In beiden Workflows führten nur wenige Bewegungslinien um den Patiententisch herum. Im Bereich „Rückseite“ der Gantry war für beide Workflows eine ähnliche Dichte an Spuren erkennbar. Eine Reduktion der Spurendichte konnte beim mobilen Workflow im Kontrollraum speziell in den Bereichen „Konsole“ und „Flur“ festgestellt werden. Im Kontrollraum war in dem Bereich „RIS“, der in beiden Workflows gleichermaßen genutzt wurde, kein Unterschied in der Dichte der Spuren zu erkennen. Gleiches gilt auch für den Bereich „Überwachung“, da die Studienmitarbeiterin hier in beiden Workflows bei den Videoaufnahmen und den Zeitmessungen die gleiche Tätigkeit ausübte.

### 5.3 Wärmebilder

Die Wärmebilder lieferten einen sehr guten Überblick über den Aufenthaltsort des MTRA während des gesamten Untersuchungsablaufes. Die Überlagerung der Spuren in den Spurenkarten konnte hierbei besser visualisiert werden (Abb. 10).



**Abbildung 10:** Modifiziert nach Wetzl et al. [28]. Die Wärmebilder für die kumulativen Videodateien aller 3 Kameraaufnahmen aus der Fischaugenperspektive vergleichen die Anwesenheit eines MTRA beim mobilen und konventionellen Workflow. Warme Farben stellen eine höhere relative Spurendichte dar als kalte Farben.

Die Wärmebildanalyse zeigte eine deutliche Veränderung der Bewegungsmuster des MTRA zwischen dem konventionellen Workflow und dem mobilen Workflow. Beim mobilen Workflow reduzierten sich die heißen Areale besonders im Kontrollraum in den Bereichen „Konsole“ und „Flur“. Da bisher keine mobile Anwendung für den Aufgabenbereich des RIS zur Verfügung stand, ergab sich auch für den mobilen Workflow im Bereich „RIS“ ein Areal mit weiterhin hoher Detektionsrate. Diese fiel im Vergleich zum konventionellen Workflow niedriger aus. Dies war auf einen Überlappungseffekt der Bereiche „Konsole“ und „RIS“ im konventionellen Workflow zurückzuführen. Im Bereich „Überwachung“ zeigte sich keine wesentliche Veränderung im Vergleich zum konventionellen Workflow, da hier die Studienmitarbeiterin bei beiden Workflows die Videoaufnahmen und Zeitmessungen koordinierte. Dies ist jedoch für spätere Untersuchungen nicht von Bedeutung, da dieser Bereich bei der klinischen, routinierten Untersuchungsabfolge normalerweise nicht genutzt wird.

Beim konventionellen Workflow wies das Wärmebild des Untersuchungsraumes in der Zone links neben dem Kopfteil des Patiententisches und der Frontabdeckung der Strahlenschutzkabine ein zentrales, eng umgrenztes Areal mit hoher Detektionsrate auf. Dieses Areal breitete sich im Wärmebild des mobilen Workflows über die gesamte linke Seite des Patiententisches aus.

Auf der Rückseite der Gantry im Bereich des Kontrastmittelinjektors wurde beim mobilen Workflow zum einen ein größerer Arbeitsbereich als beim konventionellen Workflow genutzt und zum anderen eine Abnahme der Dichte festgestellt. Vermutlich waren die gesteigerte Bewegungsfreiheit des MTRA durch das Tablet und die kabellose Fernsteuerung die Gründe für diese Veränderungen.

Die Videoaufnahmen ließen folgende Vorteile des größeren Bewegungsspielraumes und des parallelen Ablaufs der Arbeitsschritte erkennen: Der MTRA führte die Registrierung und Identifizierung des Patienten aus, während er in den Untersuchungsraum lief. Er traf die Auswahl des Untersuchungsverfahrens und befragte zugleich den Patienten zu seinen Symptomen. Er wies den Patienten an, die richtige Haltung einzunehmen und brachte unterdessen den Patiententisch in eine vorläufige Position. Die endgültige Patientenlagerung konnte mit der kabellosen Fernsteuerung vorgenommen werden, während der MTRA die Kontrastmittelinjektion vorbereitete oder Kissen zur Optimierung der Lagerung bereitstellte.

Vom Fußende des Patiententisches aus hatte der MTRA eine gute Sicht auf den Patienten und konnte mithilfe der kabellosen Fernsteuerung eine präzise Ausrichtung des Tisches bezüglich des Isozentrums einstellen.

Bei beiden Gruppen befanden sich vor dem Patiententisch und auf dessen rechter Seite (bei Frontalblick auf die Gantry) Areale mit geringer Detektionsrate. Dennoch waren diese Detektionen, wenn auch insgesamt sehr wenige, beim mobilen Workflow geringfügig höher als beim konventionellen Workflow.

Im Gegensatz zur Kontrollgruppe kam bei der Untersuchungsgruppe im Bereich „Strahlenschutzkabine“ ein weiteres Areal mit einer hohen relativen Spurendichte hinzu, da sich der MTRA während der Strahlenfreisetzung dort aufhielt.

#### 5.4 Bereichszählungen

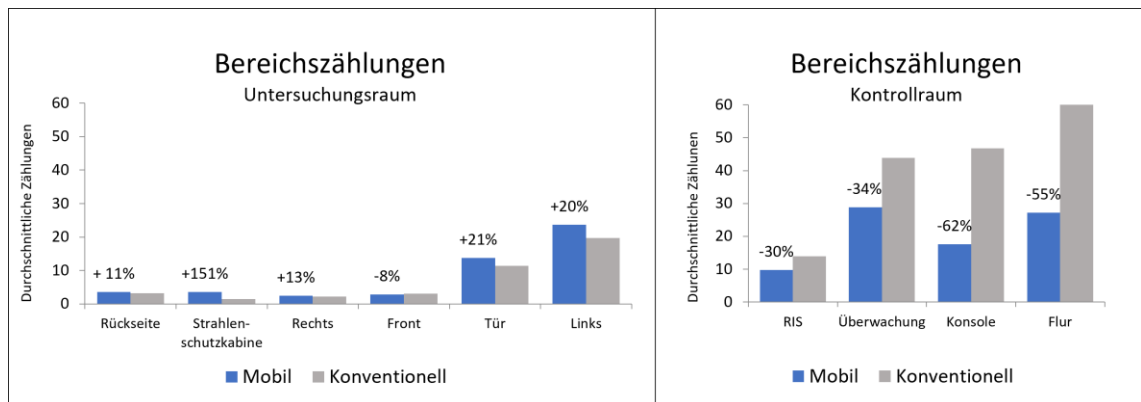
Die meisten Bereichszählungen pro Patient im Kontrollraum wurden beim konventionellen Workflow im Bereich „Flur“ (n = 60 BpP) und beim mobilen Workflow im Bereich „Überwachung“ (n = 29 BpP) detektiert. Die zweithäufigsten Bereichszählungen pro Patient traten beim konventionellen Workflow im Bereich „Konsole“ (n = 47 BpP) und beim mobilen Workflow im Bereich „Flur“ (n = 27 BpP) auf. Die wenigsten Bereichszählungen pro Patient im Untersuchungsraum wies für die Kontrollgruppe der Bereich „Strahlenschutzkabine“ auf (n = 1 BpP) und für die Untersuchungsgruppe der Bereich „Rechts“ neben dem Patiententisch (n = 3 BpP).

Beim mobilen Workflow konnte in allen Bereichen des Kontrollraumes eine erhebliche Reduktion der Bereichszählungen pro Patient erzielt werden. In den Bereichen „Konsole“ (- 62 %) und „Flur“ (- 55 %) war der größte Rückgang zu erkennen. Eine etwas geringere Reduktion der Bereichszählungen pro Patient erreichte der Bereich „RIS“ (- 30 %). Dieser musste genau wie beim konventionellen Workflow von dem MTRA genutzt werden, da hierfür noch keine mobile Anwendung zur Verfügung stand.

Im Untersuchungsraum erzielte der mobile Workflow in fast allen Bereichen ein Plus der Bereichszählungen. Besonders im Bereich „Strahlenschutzkabine“ (+ 151 %), die der MTRA nur beim Tablet-gestützten Workflow verwendete, war eine deutliche Zunahme der Bereichszählungen pro Patient zu erkennen. Der Bereich „Links“ des Patiententisches wies ein Plus von 20 % auf und der Bereich „Tür“ ein Plus von 21 %.

Diese Bereiche nutzte der MTRA aufgrund der größeren Flexibilität, die der mobile Workflow bot, besser aus. Bereiche, die der MTRA selten betrat, wie z.B. „Front“ (- 8 %), „Rechts“ (+ 13 %) und „Rückseite“ der Gantry (+ 11 %), wiesen beim mobilen Workflow nur geringe Unterschiede zum konventionellen Workflow auf.

In Abb. 11 werden die Bereichszählungen pro Patient in den definierten Bereichen des Untersuchungs- und Kontrollraumes beim mobilen Workflow im Vergleich zum konventionellen Workflow gezeigt.

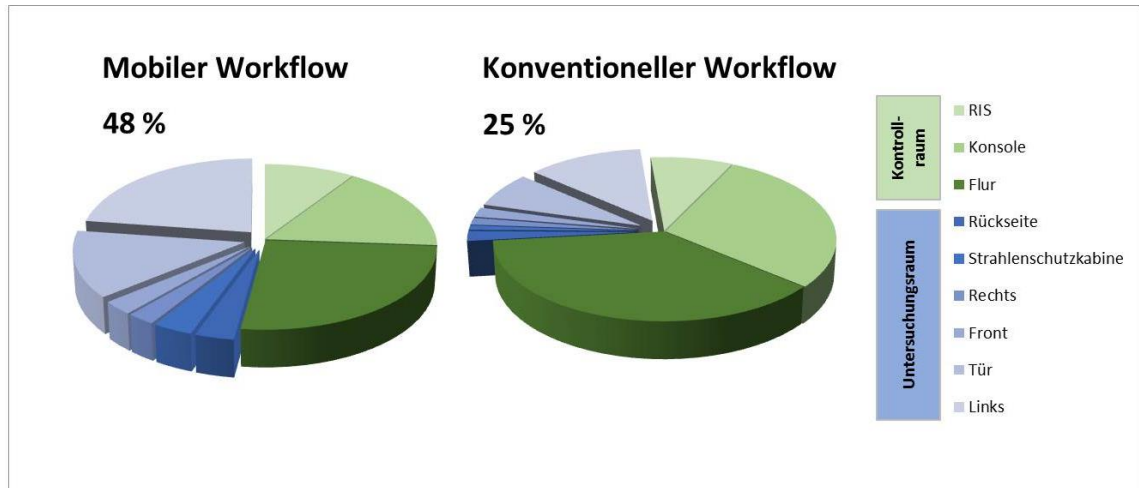


**Abbildung 11:** Modifiziert nach Wetzl et al. [28]. Die Balkendiagramme veranschaulichen die Verhältnisse der Bereichszählungen in den definierten Bereichen des Untersuchungs- und Kontrollraumes beim mobilen Workflow im Vergleich zum konventionellen Workflow.

Die Bereichszählungen pro Patient wurden im Bereich „Überwachung“ für die Angabe der raumbezogenen Detektionen nicht berücksichtigt, da der MTRA diesen Bereich in keinem der beiden Workflows nutzte. Dieser diente lediglich der Studienmitarbeiterin zur Koordination der Videoaufnahmen und der Zeitmessungen und ist im klinischen Betrieb irrelevant.

Der konventionelle Workflow verbuchte 25 % aller Bereichszählungen pro Patient im Untersuchungsraum. Diese konnten beim mobilen Workflow fast verdoppelt werden (48 %). Die Bereichszählungen pro Patient im Bereich „Strahlenschutzkabine“ tragen jedoch nur limitiert zum Patientenkontakt bei, da der MTRA durch eine bleierne Glaswand vom Patienten getrennt war. Dennoch konnten auch unter Ausschluss dieser Bereichszählungen beim mobilen Workflow immer noch 44 % aller Bereichszählungen pro Patient im Untersuchungsraum mit direktem Patientenkontakt detektiert werden.

Trotz erhöhter Detektionsrate im Untersuchungsraum wies der mobile Workflow immer noch mehr als ein Viertel aller Bereichszählungen pro Patient (26 %) bei der Interaktion mit dem stationären System (Konsole 17 %, RIS 9 %) beziehungsweise über 50 % im Kontrollraum auf (Abb. 12).



**Abbildung 12:** Modifiziert nach Wetzl et al. [28]. Das Kreisdiagramm zeigt die Verhältnisse der Bereichszählungen in beiden Räumen beim mobilen Workflow im Vergleich zum konventionellen Workflow.

## 5.5 Zeitmessungen

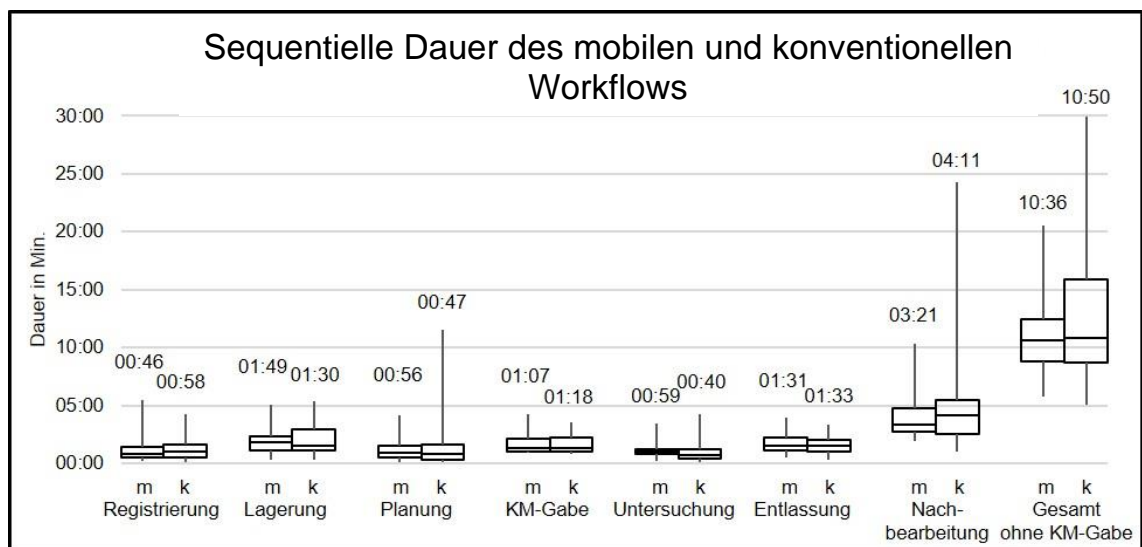
Alle Zeitangaben weisen das Format [mm:ss] auf. Die mediane Gesamtuntersuchungsdauer der Untersuchungsgruppe war im Vergleich zur Kontrollgruppe nicht signifikant kürzer (12:14 min, Spannweite: 10:54 min - 23:39 min bzw. 14:04 min, Spannweite: 09:03 min - 24:38 min;  $p = 0,09$ ). Auch unter Vernachlässigung des Zeitaufwandes für die Kontrastmittelinjektion änderte sich das Resultat grundsätzlich nicht (10:36 min, Spannweite: 05:48 min - 20:35 min bzw. 10:50 min, Spannweite: 05:03 min - 29:57 min;  $p = 0,29$ ; Abb. 13).

Für den Teilschritt Nachbearbeitung, der in beiden Gruppen an der Konsole ausgeführt werden musste, wendete der MTRA sowohl in der Kontroll- als auch in der Untersuchungsgruppe mit je 38,5 % und 31,6 % der Gesamtuntersuchungsdauer die meiste Zeit auf (04:11 min, Spannweite: 01:03 min - 24:18 min bzw. 03:21 min, Spannweite: 01:52 min - 10:17 min). Der Unterschied zwischen beiden Gruppen war nicht signifikant ( $p = 0,22$ ).

Auch für die Zeitdifferenzen in allen anderen Teilschritten der Untersuchungsabfolge zeigte sich keine statistische Signifikanz ( $0,17 \leq p \leq 0,89$ ). Jedoch verbrachte der MTRA beim konventionellen Workflow im Median lediglich 03:06 min (28 % der Gesamtuntersuchungsdauer) beim Patienten im Untersuchungsraum, da nur die Lagerung und die Patientenentlassung dort ausgeführt wurden.

Diese Zeit verlängerte sich signifikant beim Tablet-gestützten mobilen Workflow auf 06:01 min (57 % der Gesamtuntersuchungsdauer;  $p < 0,05$ ), zumal hier die Teilschritte Registrierung, Planung und Untersuchung in den Untersuchungsraum verlagert werden konnten.

Der MTRA befand sich lediglich 00:59 min in der Strahlenschutzkabine (9 % der Gesamtuntersuchungsdauer). Demzufolge betrug auch die Zeit in direktem Kontakt zum Patienten im Untersuchungsraum (Registrierung-Planung-Positionierung-Entlassung, 05:02 min) beim mobilen Workflow insgesamt 47 % der Gesamtuntersuchungsdauer ( $p < 0,05$ ). Die Dauer der einzelnen Untersuchungsschritte und die Gesamtdauer der Untersuchungsschritte wiesen jeweils in den Subkohorten (mit und ohne KM-Gabe) keine Unterschiede auf ( $0,07 \leq p \leq 0,92$ ).



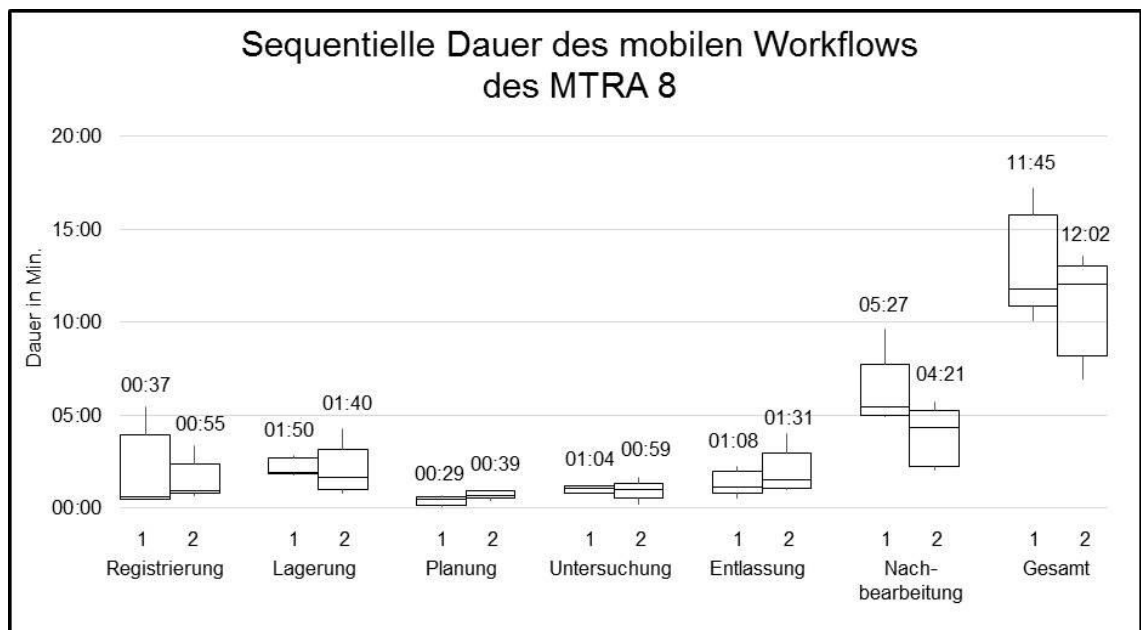
**Abbildung 13:** Modifiziert nach Wetzl et al. [28]. Der Boxplot gibt für den mobilen (m) und für den konventionellen (k) Workflow die Dauer jedes einzelnen Arbeitsschrittes sowie die Gesamtdauer aller Arbeitsschritte ohne KM-Gabe an. Die angegebenen Zeiten stellen den Medianwert jedes Arbeitsschrittes und der Gesamtdauer dar.

## 5.6 Lerneffekte

Die größten Veränderungen für die MTRAs beim mobilen Workflow waren, dass sie sich länger bei den Patienten im Untersuchungsraum aufhielten und geringere Laufwege zwischen beiden Räumen zurücklegen mussten.

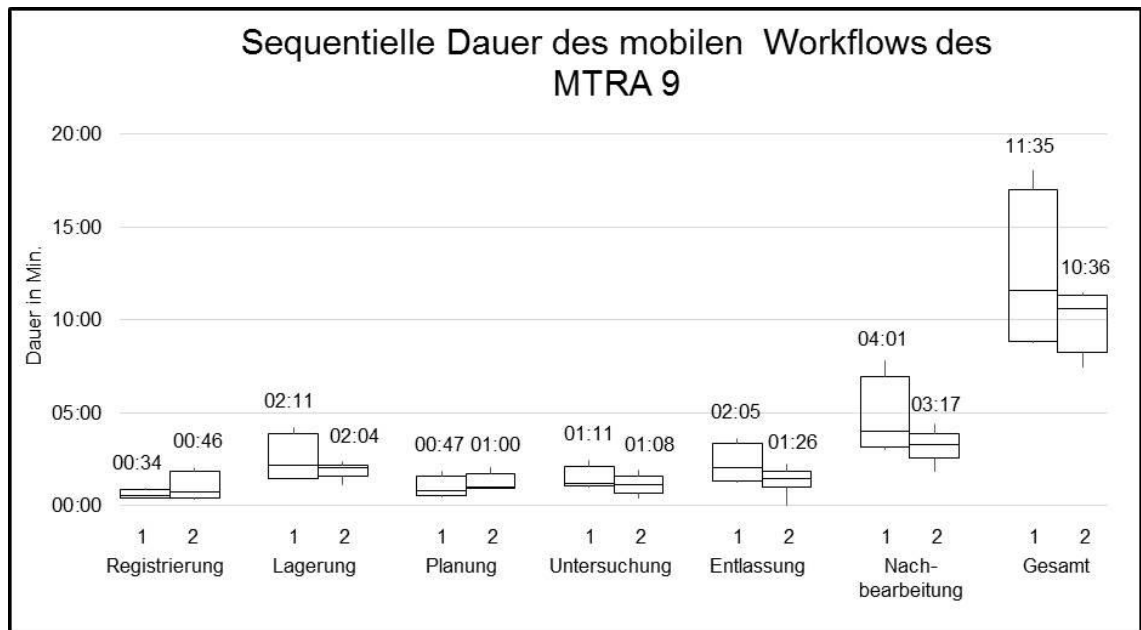
Die Videoauswertungen und Zeitanalysen gaben Aufschluss über die Größe des Lerneffekts. Die geringen Zeitunterschiede bei der Gesamtuntersuchungsdauer zwischen der ersten Hälfte der untersuchten Patienten (erstes Kollektiv) und der zweiten Hälfte (zweites Kollektiv), unter Ausschluss des Zeitaufwandes für die Kontrastmittelgabe, waren für jeden einzelnen MTRA ohne statistische Signifikanz.

Der MTRA 8 benötigte für die gesamte Untersuchung beim ersten Kollektiv im Median 11:45 min und beim zweiten Kollektiv 12:02 min (Spannweiten: 10:04 min - 17:13 min bzw. 06:58 min - 13:31 min;  $p = 0,47$ ).



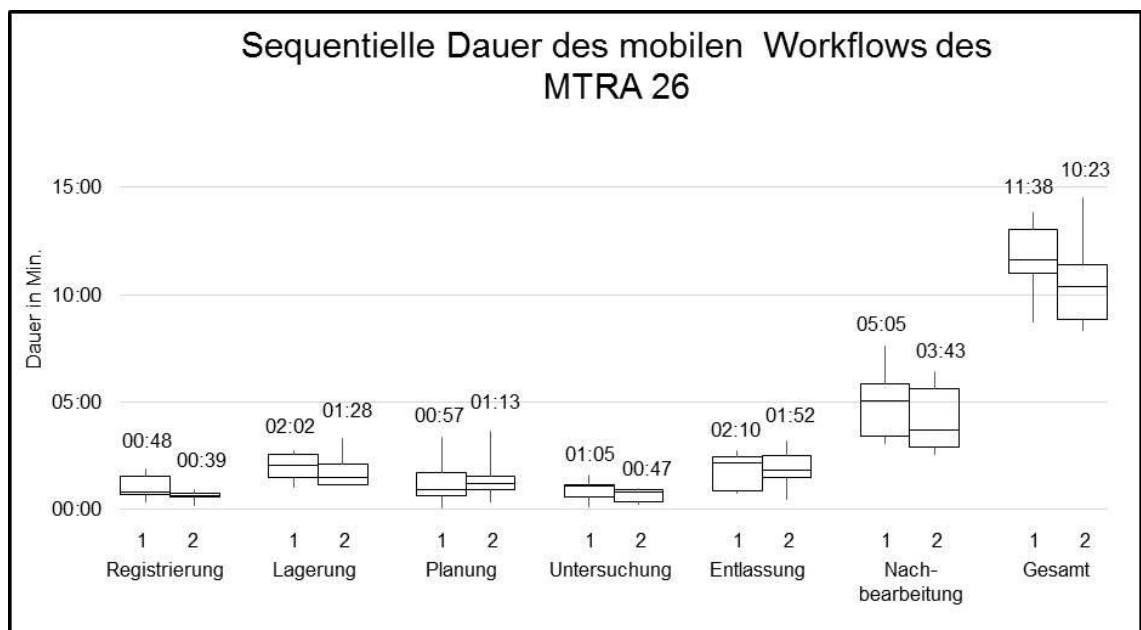
**Abbildung 14:** Der Boxplot gibt für das erste Patientenkollektiv (1) sowie für das zweite Patientenkollektiv (2) die Dauer jedes einzelnen Arbeitsschrittes und die Gesamtdauer aller Arbeitsschritte des MTRA 8 an. Die angegebenen Zeiten stellen den Median jedes Arbeitsschrittes und der Gesamtdauer dar.

Für den MTRA 9 ergab sich beim ersten Kollektiv im Median eine Gesamtuntersuchungsdauer von 11:35 min und beim zweiten von 10:36 min (Spannweiten: 08:45 min - 18:03 min bzw. 07:30 min - 11:28 min;  $p = 0,46$ ).



**Abbildung 15:** Der Boxplot gibt für das erste Patientenkollektiv (1) sowie für das zweite Patientenkollektiv (2) die Dauer jedes einzelnen Arbeitsschrittes und die Gesamtdauer aller Arbeitsschritte des MTRA 9 an. Die angegebenen Zeiten stellen den Median jedes Arbeitsschrittes und der Gesamtdauer dar.

MTRA 26 wachte für das erste Kollektiv eine mediane Gesamtuntersuchungsdauer von 11:38 min und für das zweite Kollektiv 10:23 min auf (Spannweiten: 08:45 min - 13:49 min bzw. 08:19 min - 14:28 min;  $p = 0,13$ ).



**Abbildung 16:** Der Boxplot gibt für das erste Patientenkollektiv (1) sowie für das zweite Patientenkollektiv (2) die Dauer jedes einzelnen Arbeitsschrittes und die Gesamtdauer aller Arbeitsschritte des MTRA 26 an. Die angegebenen Zeiten stellen den Median jedes Arbeitsschrittes und der Gesamtdauer dar.

Der Untersuchungsschritt „Planung“ dauerte bei allen 3 MTRAs beim zweiten Patientenkollektiv unwesentlich länger. Zusätzliche Aspekte, die dem MTRA aufgrund der Nähe zum Patienten auffielen und während der Planung berücksichtigt wurden, könnten die Dauer dieses Untersuchungsschrittes verlängert haben. In den Untersuchungsschritten „Lagerung“ und „Untersuchung“ sind die 3 MTRAs beim zweiten Kollektiv schneller geworden. Der Grund dafür scheint die bessere Nutzung der gesteigerten Bewegungsfreiheit des MTRA zu sein. Der Hauptteil der tendenziell verkürzten Dauer geht bei allen 3 MTRAs auf die Nachbearbeitung zurück. Dies könnte in der „Recon & go“-Funktion begründet liegen. Die MTRAs haben mit der Zunahme der Untersuchungen die automatisch generierten Vorschläge der Rekonstruktionen ohne manuelle Anpassungen übernommen. Für die zeitlichen Unterschiede in den einzelnen Teilschritten der Untersuchungsabfolge konnte keine statistische Signifikanz gefunden werden ( $0,09 \leq p \leq 0,81$ ). Es war also kein signifikanter Lerneffekt nachzuweisen. Demzufolge war der mobile Workflow von Beginn an effizient nutzbar. Die Handhabung des Tablets war intuitiv und ermöglichte unmittelbar nach dem Einführungsseminar eine schnelle und optimale Durchführung der Untersuchung.

## 6 Diskussion

Diese Studie untersuchte den Einfluss des Tablet-gestützten mobilen Workflows auf den Gesamtprozess einer Thorax-CT-Untersuchung.

Es konnte gezeigt werden, dass sich der Bewegungsraum des MTRA erweiterte und sich dieser flexibler bewegte. Zudem verlagerte der mobile Workflow die Interaktion des MTRA mit dem CT-System vom Kontrollraum in den Untersuchungsraum. Dies führte dazu, dass der MTRA nahezu 50 % der Gesamtuntersuchungsdauer bei dem Patienten im Untersuchungsraum verbrachte. Die Zeit, die sich der MTRA gemeinsam mit dem Patienten im selben Raum aufhielt, wurde als Surrogat-Messwert für den direkten Patientenkontakt und demnach auch für eine gute Patientenbetreuung festgelegt. Er konnte bei den Thorax-CT-Untersuchungen mit dem mobilen Workflow fast verdoppelt werden. Dies war der größte Vorteil der Einführung des mobilen Workflows. Die Gesamtuntersuchungsdauer verlängerte sich dabei nicht. Sie war beim mobilen Workflow sogar tendenziell kürzer. Ein Lerneffekt der MTRA war im Verlauf der Studie nicht nachzuweisen.

Diese Ergebnisse ließen den Schluss zu, dass sich der Tablet-gestützte mobile Workflow positiv auf die Untersuchungsabläufe des MTRA bei Thorax-CT-Untersuchungen auswirkt. Die gesteigerte Bewegungsfreiheit konnte zu einer geringen Zeitreduktion der einzelnen Untersuchungsschritte führen. Somit wäre eine Steigerung der Effektivität des CT und des Patientendurchlaufes möglich. Zudem wäre aufgrund der flexibleren Bewegung und mithilfe zukünftiger Softwareversionen für das Tablet eine Verlagerung des gesamten Untersuchungsprozesses in den Untersuchungsraum möglich. Zum einen würde hieraus ein vermehrter Patientenkontakt bei verbesserter Patientenzufriedenheit und Compliance resultieren. Zum anderen wäre ein kompletter Verzicht auf die Konsole, die Realisierung neuer Raumkonzepte und vermutlich auch eine weitere Reduktion der Gesamtuntersuchungsdauer denkbar.

Da kein Lerneffekt auftrat, war davon auszugehen, dass der mobile Workflow von Beginn an effektiv nutzbar war.

## 6.1 Bewegungsraum und Flexibilität

Es ist bekannt, dass vor allem der klinische Workflow die Effektivität eines CT-Systems limitiert [32]. In der Literatur sind einige Studien beschrieben, die verschiedene Techniken anwenden, um den Patientendurchsatz bei CT-Untersuchungen zu steigern. Dies ist möglich, wenn mehrere MTRAs in einem Workflow zusammenarbeiten. Besonders effektiv ist hierbei die Zusammenarbeit von 3 Personen [33]. Des Weiteren können mittels effektiver Terminplanung täglich mehr Patienten bei gleichbleibender Zufriedenheit untersucht werden [34, 35]. Bisher ist kein Konzept für eine Neugestaltung des konventionellen Workflows bekannt, das Effektivität, Patientennähe und Patientenzufriedenheit verbessert. Der mobile Workflow, der in der Regel von einem MTRA allein bedient wurde, könnte ein Ansatz für eine solche Neugestaltung sein. Besonders die gesteigerte Bewegungsfreiheit des MTRA führte dazu, dass verschiedene Untersuchungsschritte im Untersuchungsraum gleichzeitig ausgeführt und die Dauer der einzelnen Untersuchungsschritte reduziert wurden. Folglich wäre in Zukunft eine Steigerung der Effektivität des CT-Systems und des Patientendurchlaufs bei gleicher oder sogar verbesserter Patientenzufriedenheit möglich.

Eine Neugestaltung des Workflows könnte sich jedoch nicht nur auf die Effektivität des CT-Systems, sondern auch auf die Raumaufteilung einer radiologischen Abteilung positiv auswirken. Wie schon von Hirata et al. beschrieben, profitieren Interventionsverfahren von mobilen Anwendungen, da sie kein zusätzliches Equipment neben dem Tablet und der mobilen Fernsteuerung benötigen [36]. Der MTRA bewegte sich bei der Untersuchungsdurchführung mit dem Tablet in der Hand flexibler und die Untersuchung verlagerte sich in den Untersuchungsraum. Die Integration eines Radiologie-Informationssystems in mobile Geräte und die Installation einer Strahlenschutzkabine im Untersuchungsraum könnten dazu beitragen, ganz neue Raumkonzepte zu realisieren. Somit könnte bei der Planung einer radiologischen Abteilung auf einen zusätzlichen Kontrollraum zugunsten des Strahlenschutzbereiches im Untersuchungsraum verzichtet werden. Hierdurch wäre eine Kosteneinsparung aufgrund des geringeren Raumbedarfes und der geringeren Anschaffungskosten für die Hardware möglich. In Anbetracht der immer niedrigeren Strahlendosis und der weiterhin steigenden Nachfrage an CT-Untersuchungen könnten so auch Röntgenräume zu CT-Räumen umgestaltet werden.

## 6.2 Zeit im Untersuchungsraum

Lin et al. wiesen in ihrer Studie nach, dass die Zeit, die ein Arzt mit dem Patienten verbringt, ein entscheidender Faktor für die Patientenzufriedenheit ist [37]. Die Zeit, die der MTRA im Untersuchungsraum in direktem Kontakt zum Patienten verbrachte, konnte beim mobilen Workflow fast verdoppelt werden. Zudem würde die Verwendung der Strahlenschutzkabine weitere 9 % der Gesamtuntersuchungsdauer zur Patientennähe hinzufügen, da hier in Form von Sprech- und Sichtkontakt durch die Blei- und Glaswände hindurch zu jeder Zeit bei den Patienten das Gefühl eines direkten Kontaktes zu dem MTRA aufrechterhalten werden konnte.

Auch wenn die Patientenzufriedenheit in dieser Studie nicht direkt untersucht wurde, konnte doch im gesamten Verlauf der Untersuchungen festgestellt werden, dass sich der vermehrte Kontakt zwischen dem MTRA und dem Patienten positiv auf die Compliance auswirkte. Dies galt insbesondere bei schwierigen Patienten, die sehr aufgeregt oder verwirrt waren.

Eine deutliche Steigerung des Patientenkontaktes könnte auch ohne mobilen Workflow erreicht werden. Hierfür müsste sich der MTRA lediglich mehr Zeit für die Untersuchungsschritte bei dem Patienten im Untersuchungsraum nehmen. Der Nachteil dieses Vorgehens wäre, dass sich die Gesamtuntersuchungsdauer verlängern würde und dadurch eine geringere Anzahl an Patienten täglich untersucht werden könnte. Folglich würde sich dies negativ auf die Wirtschaftlichkeit auswirken. Diese Herangehensweise entspricht demzufolge nicht dem eigentlichen Ziel, eine effektive und kurze Untersuchung mit gesteigertem Patientenkontakt, verbesserter Patientenbetreuung und Compliance zu gewährleisten.

Des Weiteren ist bekannt, dass die Compliance bei Kindern oft von der Anwesenheit der Eltern im Untersuchungsraum abhängt [38]. Die für diese Studie entworfene Strahlenschutzkabine könnte bei weniger kooperativen Kindern gut genutzt werden, um die Zeit der räumlichen Trennung zwischen Eltern und Kind zu minimieren. Erst kurz vor der Strahlenfreisetzung könnten die Eltern zügig mit dem MTRA in die nebenanliegende Strahlenschutzkabine gehen. Dort befänden sich die Eltern im selben Raum und in direkter Nähe zu ihrem Kind, ohne einer erhöhten Strahlenbelastung ausgesetzt zu sein.

Auch bestünde aufgrund der Nähe zwischen der Strahlenschutzkabine und dem CT-Gerät die Möglichkeit, in Sicht- und Sprechkontakt mit dem Kind zu bleiben. Die Stimme der Eltern, die nicht nur über Mikrofone und Lautsprecher übertragen würde und dadurch natürlicher klänge, hätte womöglich eine beruhigende Wirkung auf die Kinder. Nach Beendigung der Untersuchung könnten die Eltern die Strahlenschutzkabine umgehend wieder verlassen und wären wieder direkt bei dem Kind, ohne den Untersuchungsraum durchqueren zu müssen. So könnte auch die Compliance der Kinder verbessert werden, damit eine störungsfreie Durchführung der Untersuchung zu einer hohen Qualität der CT-Aufnahmen beitragen kann.

### 6.3 Gesamtuntersuchungsdauer

Die Gesamtuntersuchungsdauer konnte im mobilen Workflow geringfügig gesenkt werden. Eine weitere Zeitersparnis bei den einzelnen Untersuchungsschritten wäre mithilfe zusätzlicher Applikationen für mobile Geräte denkbar und würde folglich die Gesamtuntersuchungsdauer weiter reduzieren. Hierfür wäre eine Applikation sinnvoll, die auch die Realisierung des Nachbearbeitungsprozesses auf dem Tablet ermöglicht. Zukünftige Softwareversionen für mobile Anwendungen könnten somit die Funktionalität der mobilen Geräte optimieren und steigern, sodass die Konsole komplett von mobilen Geräten abgelöst werden könnte. Folglich könnte ein MTRA allein alle Untersuchungsschritte am Tablet im Untersuchungsraum direkt beim Patienten durchführen. Die zusätzliche Zeitersparnis hätte zur Folge, dass die Auslastung des CT-Gerätes erhöht und der Patientendurchlauf gesteigert werden könnte. Der mobile Workflow könnte demnach ein neuer Ansatz zur Verbesserung der Kosteneffizienz bei CT-Untersuchungen sein, auch wenn dies in dieser Studie und mit diesen Ergebnissen nicht eindeutig nachzuweisen war.

### 6.4 Effektivität des mobilen Workflows

Der konventionelle Workflow war bereits für alle MTRAs gut bekannt, wohingegen der mobile Workflow neu war. Es war also ein Lerneffekt zu erwarten. Bekanntlich hängt das erfolgreiche Erlernen klinisch-praktischer Fertigkeiten auch von der positiven Selbstwahrnehmung, dem Lernen im Kontext, der Art der Instruktion und den nicht-medizinischen und medizinischen Vorkenntnissen ab [39-43].

Die MTRAs sind im Verlauf der Studie nicht signifikant schneller geworden. Der mobile Workflow wurde folglich von Beginn an effektiv genutzt. Die unmittelbar intuitive Handhabung des Tablets könnte dazu geführt haben, dass auch nach mehrmaliger Wiederholung des Untersuchungsprozesses die Abfolge der einzelnen Schritte nicht schneller absolviert wurde. Es ist bekannt, dass sich die Nutzung mobiler Geräte positiv auf die Arbeitsabläufe im Klinikalltag auswirkt. Zum einen ermöglicht die Verwendung eines Tablets einen flexibleren und schnelleren Zugang zu Patienteninformationen und zum anderen kann die Anzahl medizinischer Fehler verringert werden [44]. Es stellte sich nach der Einführung des mobilen Workflows ein schneller, effektiver und optimaler Untersuchungsablauf ein.

Aufgrund der unmittelbar effektiven Nutzung des mobilen Workflows in der Thorax-Computertomographie wäre die Umgestaltung des konventionellen Workflows ohne aufwendige Personalschulungen und lange Einarbeitungsprozesse realisierbar.

## 6.5 Limitationen

Bei der Interpretation der Ergebnisse müssen jedoch einige Einschränkungen berücksichtigt werden. Es bleibt unklar, ob die geringe Reduktion der Gesamtuntersuchungsdauer auf eine erhöhte Patienteninteraktion, das Raumkonzept im Allgemeinen oder auf noch bestehende Probleme bei der Anpassung an die neue Situation zurückzuführen ist.

Eine Verblindung der Studie war nicht möglich. Die MTRAs waren sich zu jeder Zeit bewusst, welchen Workflow sie bedienten und, dass der gesamte Workflow aufgezeichnet und analysiert wurde. Dies könnte die Arbeitsabläufe und Verhaltensweisen des Personals beeinflusst haben, mit weiteren Auswirkungen auf die klinischen Abläufe und Routinen. Im weiteren Studienverlauf konnte hier kein weiterer Einfluss drauf genommen werden.

Ein weiterer negativer Aspekt der Kameraüberwachung war, dass die Bewegungsdetektion der Software nicht zwischen den anwesenden MTRAs und dem Patienten unterschied. Die Bewegungen und Aufenthaltsorte des Patienten und des unterstützenden MTRA, die zumeist die linke Seite zwischen dem Patiententisch und der Umkleidekabine oder zwischen dem Patiententisch und dem Vorbereitungszimmer überqueren mussten, implizieren einen Messfehler.

Diese Einschränkung könnte mithilfe einer Software, die bei der Personendetektion zusätzlich mit einer Farbverfolgung ausgestattet wäre, vermieden werden. Hierbei wäre es möglich, den MTRA und den Patienten anhand von verschiedenfarbigen Leibchen zu kennzeichnen und softwaretechnisch zu unterscheiden. Dennoch dürften die Störungen, die durch Patientenbewegungen verursacht wurden, in beiden Gruppen vergleichbar und vernachlässigbar klein ausgefallen sein. Die fehlerhafte Detektion der Patientenbewegungen betrug wenige Sekunden und stellte somit nur einen Bruchteil der Gesamtuntersuchungsdauer dar. Da der unterstützende MTRA in beiden Workflows (mobiler Workflow 30 % – konventioneller Workflow 20 %) vergleichbar häufig an der Untersuchung beteiligt war, kann angenommen werden, dass auch die durch den unterstützenden MTRA hervorgerufene Verzerrung gering ist. Zudem sollte diese Verzerrung in den Zeitmessungen nicht vertreten sein, da für den unterstützenden MTRA, sobald sich dieser an der Untersuchung beteiligte, die Studienmitarbeiterin eine gesonderte Stoppzeit dokumentierte. Dennoch können auch die manuell erhobenen Zeiten selbst Messfehler beinhalten. Allerdings sollten diese Abweichungen in beiden Gruppen in vergleichbarem Maße vorkommen. Zudem sollte das Kollektiv groß genug sein, um diese minimalen Ungenauigkeiten ausgleichen zu können.

Es wurden alle aufeinanderfolgenden Thorax-CT-Untersuchungen der Patienten, welche die Einschlusskriterien erfüllten, in diese Studie eingeschlossen, ohne eine vorherige Klassifizierung vorzunehmen. Ziel war es, ein möglichst großes Patientenkollektiv zu erhalten. Dies hat den Nachteil, dass keine genauen Angaben über spezielle Erkrankungen oder den Grad der Mobilität gemacht werden können. Lediglich Bettlägerige und Intensivpatienten, die einen sehr geringen Mobilitätsgrad aufwiesen, konnten nicht an der Studie teilnehmen. Somit konnte eine zu große Verzerrung, z.B. aufgrund von längeren Lagerungszeiten, zwischen beiden Gruppen vermieden werden.

In den Videoauswertungen konnte nicht zwischen nativen Untersuchungen und Untersuchungen mit KM-Gabe unterschieden werden. Die manuellen Stoppzeiten ließen erkennen, dass die Kontrastmittelgabe etwa 10 % der Gesamtuntersuchungsdauer ausmachte. Dieser Aspekt sollte bei der Interpretation der Spurenkarten und der Wärmebilder berücksichtigt werden.

Trotzdem wird angenommen, dass die ungleiche Verteilung der Untersuchungen mit und ohne KM-Gabe (Untersuchungsgruppe: ohne KM-Gabe/KM-Gabe = 3,7; Kontrollgruppe: 1,2) beim mobilen Workflow eher zugunsten einer Unterschätzung der Bereichszählungen im Untersuchungsraum ausfällt.

Ungenauigkeiten des Videoüberwachungssystems führten zu Verschiebungen der Bereichszählungen zwischen den definierten Bereichen. Beim mobilen Workflow konnte im Kontrollraum in allen definierten Bereichen eine Reduktion der Bereichszählungen festgestellt werden. Für die in beiden Workflows gleichermaßen genutzten Bereiche „RIS“ und „Überwachung“ wurden jedoch nicht weniger Bereichszählungen als beim konventionellen Workflow erwartet. Bei beiden Gruppen könnten die Bewegungen eines MTRA, die am Rande eines definierten Bereiches stattfanden, fälschlicherweise im angrenzenden Bereich detektiert worden sein. Auf diesen Effekt konnte kein Einfluss genommen werden.

Die Videoüberwachungssoftware war auf eine kumulative Auswertung beschränkt. Deshalb war es nicht möglich, weitere statistische Auswertungen als die bisher schon in dieser Arbeit dargestellten Werte zur Verfügung zu stellen.

## 7 Fazit

Mobile Endgeräte wurden bereits in den unterschiedlichsten Bereichen der Medizin- und Gesundheitsbranche in den klinischen Arbeitsalltag integriert. Aufgrund des technischen Fortschrittes und der leichten Bedienung führen sie zu einer Arbeitserleichterung und bringen viele Vorteile mit sich.

Es zeigte sich, dass der mobile Workflow in der Thorax-Computertomographie den Bewegungsraum des MTRA erweiterte. Dies ermöglichte dem MTRA eine simultane Ausführung verschiedener Untersuchungsabläufe und eine geringe Zeitersparnis. Demzufolge könnte zukünftig die Effektivität des CT-Systems erhöht und der Patientendurchlauf gesteigert werden. Zudem ermöglichte die Verwendung des Tablets es dem MTRA, sich flexibler zu bewegen. Die Interaktion des MTRA mit dem Computertomographen verlagerte sich somit vom Kontrollraum hin zum Patienten im Untersuchungsraum. Die Zeit, die sich der MTRA beim Patienten im Untersuchungsraum aufhielt, konnte mithilfe des mobilen Workflows deutlich gesteigert werden. Nahezu 50 % der Gesamtuntersuchungsdauer verbrachte der MTRA gemeinsam mit dem Patienten im selben Raum. Dies führte zu einem vermehrten Kontakt zwischen MTRA und Patient. Es ist anzunehmen, dass sich der gesteigerte Patientenkontakt positiv auf die Patientenbetreuung, die Patientenzufriedenheit und die Compliance des Patienten auswirkt. In der Zukunft könnte mithilfe weiterer Applikationen für das Tablet, wie z.B. Anwendungen für das RIS oder den Prozess der Nachbearbeitung, die bisherige Konsole komplett von mobilen Geräten abgelöst werden. Einerseits könnten im weiteren Verlauf neue Raumkonzepte realisiert werden, da neben dem Tablet und der mobilen Fernsteuerung auf zusätzliches Equipment verzichtet werden kann. Andererseits könnte die Gesamtuntersuchungsdauer, die beim mobilen Workflow tendenziell kürzer war, weiter reduziert und dadurch die Kosteneffizienz gesteigert werden. Ein Lerneffekt konnte im Verlauf der Studie nicht nachgewiesen werden. Die intuitive Handhabung des Tablets ermöglichte den MTRAs unmittelbar nach dem Einführungsseminar eine schnelle und optimale Durchführung der Untersuchung. Der mobile Workflow ist somit von Beginn an effizient nutzbar. Ein weiterer Ausbau des mobilen Workflows in der Computertomographie wäre ohne aufwendige Personalschulungen und lange Einarbeitungsprozesse realisierbar.

Trotz geringer Ungenauigkeiten bei der Auswertung der Videoaufnahmen steht fest, dass der mobile Workflow die Abläufe in der Thorax-Computertomographie und insbesondere den Patientenkontakt positiv beeinflusste.

## 8 Literaturverzeichnis

1. Faggioni L, Neri E, Cerri F, Turini F, Bartolozzi C. Integrating image processing in PACS. *Eur J Radiol.* 2011;78(2):210-24.
2. Kovacs MD, Cho MY, Burchett PF, Trambert M. Benefits of Integrated RIS/PACS/Reporting Due to Automatic Population of Templated Reports. *Current problems in diagnostic radiology.* 2019;48(1):37-9.
3. Lell MM, Wildberger JE, Alkadhi H, Damilakis J, Kachelriess M. Evolution in Computed Tomography: The Battle for Speed and Dose. *Invest Radiol.* 2015;50(9):629-44.
4. Thukral BB. Problems and preferences in pediatric imaging. *The Indian journal of radiology & imaging.* 2015;25(4):359-64.
5. Rees CR, Duncan BWC. Get the Lead off Our Backs! Techniques in vascular and interventional radiology. 2018;21(1):7-15.
6. Bartal G, Sailer AM, Vano E. Should We Keep the Lead in the Aprons? Techniques in vascular and interventional radiology. 2018;21(1):2-6.
7. Livingstone RS, Varghese A, Keshava SN. A Study on the Use of Radiation-Protective Apron among Interventionists in Radiology. *Journal of clinical imaging science.* 2018;8:34.
8. Jamwal R, Callaway L, Winkler D, Farnworth L, Tate R. Evaluating the Use of Smart Home Technology by People With Brain Impairment: Protocol for a Single-Case Experimental Design. *JMIR research protocols.* 2018;7(11):e10451.
9. Hirschorn DS, Choudhri AF, Shih G, Kim W. Use of mobile devices for medical imaging. *J Am Coll Radiol.* 2014;11(12 Pt B):1277-85.
10. Mc Laughlin P, Neill SO, Fanning N, Mc Garrigle AM, Connor OJ, Wyse G, Maher MM. Emergency CT brain: preliminary interpretation with a tablet device: image quality and diagnostic performance of the Apple iPad. *Emerg Radiol.* 2012;19(2):127-33.
11. Schlechtweg PM, Kuefner MA, Heberlein C, Meier-Meitingner M, Cavallaro A, Uder M, Schwab SA. [A useful tool for routine radiological examinations : the iPhone application "KM Helper"]. *Radiologe.* 2011;51(5):392-6.
12. Szekely A, Talanow R, Bagyi P. Smartphones, tablets and mobile applications for radiology. *Eur J Radiol.* 2013;82(5):829-36.
13. Hammon M, Schlechtweg PM, Schulz-Wendtland R, Uder M, Schwab SA. iPads in Breast Imaging - A Phantom Study. *Geburtshilfe Frauenheilkd.* 2014;74(2):152-6.

14. Kammerer FJ, Janka R, Kramer M, Hammon M, Uder M, Schlechtweg PM. MyCases-a portable application for radiologic case collections. *J Digit Imaging*. 2014;27(5):557-62.
15. Muller M, Rassweiler MC, Klein J, Seitel A, Gondan M, Baumhauer M, Teber D, Rassweiler JJ, Meinzer HP, Maier-Hein L. Mobile augmented reality for computer-assisted percutaneous nephrolithotomy. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2013;8(4):663-75.
16. Schlechtweg PM, Hammon M, Giese D, Heberlein C, Uder M, Schwab SA. iPad-based patient briefing for radiological examinations-a clinical trial. *J Digit Imaging*. 2014;27(4):479-85.
17. Hwang MA, Kwak IJ. Description of a Mobile-based Electronic Informed Consent System Development. *Stud Health Technol Inform*. 2015;216:897.
18. Alikhani B, Hensen B, Grosser A, Febrero MIC, von Bestenbostel M, Wacker FK, Raatschen HJ. Initial Experience with Digital Patient Briefing in Computed Tomography. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin*. 2018.
19. Venson JE, Bevilacqua F, Berni J, Onuki F, Maciel A. Diagnostic concordance between mobile interfaces and conventional workstations for emergency imaging assessment. *International journal of medical informatics*. 2018;113:1-8.
20. Faggioni L, Neri E, Bargellini I, Scalise P, Calcagni F, Mantarro A, D'Ippolito G, Bartolozzi C. iPad-based primary 2D reading of CT angiography examinations of patients with suspected acute gastrointestinal bleeding: preliminary experience. *The British journal of radiology*. 2015;88(1047):20140477.
21. Toomey RJ, Ryan JT, McEntee MF, Evanoff MG, Chakraborty DP, McNulty JP, Manning DJ, Thomas EM, Brennan PC. Diagnostic efficacy of handheld devices for emergency radiologic consultation. *AJR American journal of roentgenology*. 2010;194(2):469-74.
22. Matar R, Renapurkar R, Obuchowski N, Menon V, Piraino D, Schoenhagen P. Utility of hand-held devices in diagnosis and triage of cardiovascular emergencies. Observations during implementation of a PACS-based system in an acute aortic syndrome (AAS) network. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2015;9(6):524-33.
23. Seong NJ, Kim B, Lee S, Park HS, Kim HJ, Woo H, Kang HS, Lee KH. Off-site smartphone reading of CT images for patients with inconclusive diagnoses of appendicitis from on-call radiologists. *AJR American journal of roentgenology*. 2014;203(1):3-9.

24. Wadhawan T, Situ N, Rui H, Lancaster K, Yuan X, Zouridakis G. Implementation of the 7-point checklist for melanoma detection on smart handheld devices. Conference proceedings : Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Annual Conference. 2011;2011:3180-3.
25. Randhawa PA, Morrish W, Lysack JT, Hu W, Goyal M, Hill MD. Neuroradiology Using Secure Mobile Device Review. *Can J Neurol Sci.* 2016: 1-4.
26. Johnson PT, Zimmerman SL, Heath D, Eng J, Horton KM, Scott WW, Fishman EK. The iPad as a mobile device for CT display and interpretation: diagnostic accuracy for identification of pulmonary embolism. *Emerg Radiol.* 2012;19(4):323-7.
27. Schlechtweg PM, Kammerer FJ, Seuss H, Uder M, Hammon M. Mobile Image Interpretation: Diagnostic Performance of CT Exams Displayed on a Tablet Computer in Detecting Abdominopelvic Hemorrhage. *J Digit Imaging.* 2016;29(2):183-8.
28. Wetzl M, et al. Mobile Workflow in Computed Tomography of the Chest. *Journal of medical systems.* 2018;43(1):14.
29. Walz M, Wucherer M, Loose R. Was bringt die neue Strahlenschutzverordnung? *Der Radiologe.* 2019;59(5):457-66.
30. Sanjeevkumar A. A Review on Video Surveillance Techniques. *International Journal of Science and Research (IJSR).* 2015;4(8):489-91.
31. Perrot A, Bourqui R, Hanusse N, Lalanne F, Auber D. Large interactive visualization of density functions on big data infrastructure. 2015 IEEE 5th Symposium on Large Data Analysis and Visualization (LDAV)2015. p. 99-106.
32. Boland GW. Enhancing CT productivity: strategies for increasing capacity. *AJR American journal of roentgenology.* 2008;191(1):3-10.
33. Boland GW, Houghton MP, Marchione DG, McCormick W. Maximizing outpatient computed tomography productivity using multiple technologists. *J Am Coll Radiol.* 2008;5(2):119-25.
34. Waters A, Alizadeh M, Filion C, Ashbury F, Pun J, Chagnon MP, Legrain A, Fortin MA. Making molehills out of a mountain: experience with a new scheduling strategy to diminish workload variations in response to increased treatment demands. *Current oncology (Toronto, Ont).* 2016;23(4):e369-76.
35. Siegel EL, Reiner B. Work flow redesign: the key to success when using PACS. 2002. *J Digit Imaging.* 2003;16(1):164-8; discussion 3.
36. Hirata M, Watanabe R, Koyano Y, Sugata S, Takeda Y, Nakamura S, Akamune A, Tsuda T, Mochizuki T. Using a Motion Sensor-Equipped Smartphone to Facilitate CT-Guided Puncture. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2017;40(4):609-15.

37. Lin CT, Albertson GA, Schilling LM, Cyran EM, Anderson SN, Ware L, Anderson RJ. Is patients' perception of time spent with the physician a determinant of ambulatory patient satisfaction? *Archives of internal medicine*. 2001;161(11):1437-42.
38. Nievelstein RA, van Dam IM, van der Molen AJ. Multidetector CT in children: current concepts and dose reduction strategies. *Pediatric radiology*. 2010;40(8):1324-44.
39. Bandura A. Perceived Self-Efficacy in Cognitive Development and Functioning. *Educational Psychologist*. 1993;28(2):117-48.
40. Schlickum MK, Hedman L, Enochsson L, Kjellin A, Fellander-Tsai L. Systematic video game training in surgical novices improves performance in virtual reality endoscopic surgical simulators: a prospective randomized study. *World J Surg*. 2009;33(11):2360-7.
41. Krautter M, Dittrich R, Safi A, Krautter J, Maatouk I, Moeltner A, Herzog W, Nikendei C. Peyton's four-step approach: differential effects of single instructional steps on procedural and memory performance - a clarification study. *Adv Med Educ Pract*. 2015;6:399-406.
42. Harper JD, Kaiser S, Ebrahimi K, Lamberton GR, Hadley HR, Ruckle HC, Baldwin DD. Prior video game exposure does not enhance robotic surgical performance. *Journal of endourology*. 2007;21(10):1207-10.
43. Issenberg SB, McGaghie WC, Petrusa ER, Lee Gordon D, Scalese RJ. Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. *Medical teacher*. 2005;27(1):10-28.
44. Sergeeva A, Aij K, van den Hooff B, Huysman M. Mobile devices in the operating room: Intended and unintended consequences for nurses' work. *Health informatics journal*. 2016;22(4):1101-10.

## 9 Abkürzungsverzeichnis

AG	Aktiengesellschaft
CA	California
cm	Zentimeter
BpP	Bereichszählungen pro Patient
CT	Computertomograph(ie)
CTDI	Computed Tomography Dose Index
DLP	Dosis-Längen-Produkt
ED	Effektivdosis
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
Inc	Incorporated
KM	Kontrastmittel
kV	Kilovolt
mGy	Milli-Gray
mSv	Millisievert
MRT	Magnetresonanztomographie
MTRA	Medizinisch-technischer Radiologieassistent
n	Anzahl
p	p-Wert
PACS	Bildarchivierungs- und Kommunikationssystem
RIS	Radiologie-Informations-System
TÜV	Technischer Überwachungsverein
WA	Washington

## 10 Veröffentlichungen

Teile dieser Arbeit wurden im „Journal of Medical Systems“ veröffentlicht.

*„Mobile workflow in computed tomography of the chest“.*

Wetzi M, Weller M, Heiss R, **Schrüfer E**, Wuest W, Thierfelder C, Lerch D, Cavallaro A, Amarteifio P, Uder M, May MS. J Med Syst. 2018 Dec 10;43(1):14. doi: 10.1007/s10916-018-1131-2.