

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

DISSERTATION

Transformation zur Subspezialisierung, Zweitbegutachtung  
radiologischer Befunde und Identifikation von Optimierungspotenzial  
bei der Nutzung von MRT-Scannern

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Tobias Philipp Meyl

Datum der Promotion: 25.11.2022

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	4
Tabellenverzeichnis.....	4
Abkürzungsverzeichnis .....	4
Abstract (deutsch und englisch) .....	5
1 Einführung .....	8
1.1 Gesamteinführung .....	8
1.2 Subspezialisierung in der Radiologie: Auswirkungen auf das Befundungsspektrum von Radiolog*innen sowie auf Befundlaufzeiten in einem Schweizer Universitätsklinikum (Publikation I) .....	10
1.3 Zeitaufwand und Machbarkeit einer systematischen Qualitätsbeurteilung radiologischer Befunde (Publikation II).....	11
1.4 Software-basierte Evaluation des Optimierungspotenzials bei klinischen MRT-Scannern in der Radiologie (Publikation III) .....	12
2 Methodik.....	13
2.1 Subspezialisierung in der Radiologie: Auswirkungen auf das Befundungsspektrum von Radiolog*innen sowie auf Befundlaufzeiten in einem Schweizer Universitätsklinikum (Publikation I) .....	13
2.2 Zeitaufwand und Machbarkeit einer systematischen Qualitätsbeurteilung radiologischer Befunde (Publikation II).....	14
2.3 Software-basierte Evaluation des Optimierungspotenzials bei klinischen MRT-Scannern in der Radiologie (Publikation III) .....	14
3 Ergebnisse.....	16
3.1 Subspezialisierung in der Radiologie: Auswirkungen auf das Befundungsspektrum von Radiolog*innen sowie auf Befundlaufzeiten in einem Schweizer Universitätsklinikum (Publikation I) .....	16
3.2 Zeitaufwand und Machbarkeit einer systematischen Qualitätsbeurteilung radiologischer Befunde (Publikation II).....	17

3.3	Software-basierte Evaluation des Optimierungspotenzials bei klinischen MRT-Scannern in der Radiologie (Publikation III) .....	18
4	Diskussion .....	19
5	Literaturverzeichnis .....	28
	Eidesstattliche Versicherung .....	32
	Anteilerklärung an den erfolgten Publikationen .....	33
	Druckexemplar der ausgewählten Publikation I .....	36
	Druckexemplar der ausgewählten Publikation II .....	47
	Druckexemplar der ausgewählten Publikation III .....	56
	Lebenslauf .....	66
	Publikationsliste .....	67
	Danksagung .....	71

## **Abbildungsverzeichnis**

**Abbildung 1** Schwerpunkte der drei im Rahmen der Dissertation eingebundenen Publikationen  
(Quelle: eigene Darstellung) .....9

## **Tabellenverzeichnis**

Die Zusammenfassung beinhaltet keine Tabellen.

## **Abkürzungsverzeichnis**

CT	Computertomographie
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
MRT	Magnetresonanztomographie
RIS	Radiologie-Informationen-System
PACS	Picture Archiving and Communication System
T	Tesla

## **Abstract (deutsch und englisch)**

**Hintergrund und Zielstellung:** Die Radiologie, als bedeutendes klinisches Querschnittsfach mit vielseitiger Interaktion mit anderen medizinischen Fachdisziplinen, kann als eine prozessorientierte, fortgeschrittene digitalisierte Disziplin in einem sich stetig wandelnden Gesundheitswesen angesehen werden. In der Medizin ist aktuell fachdisziplinübergreifend ein Trend zur (Sub-)Spezialisierung festzustellen, wobei von Zuweisenden zunehmend höhere, spezifische Anforderungen an die Bildgebung und Befundqualität erwartet werden. Ziel der Dissertation war es daher zu ermitteln, wie sich radiologische Subspezialisierung auf das Befundspektrum auswirkt, welcher Zeitaufwand mit einer Zweitbegutachtung radiologischer Befunde einhergeht und inwieweit Optimierungspotenzial bei der Nutzung klinischer MRT-Scanner besteht.

**Methodik:** Alle drei Studien wurden in der Radiologie am Universitätsklinikum Bern (Schweiz) durchgeführt. Neben der Analyse des Befundspektrums vor und nach Einführung der Subspezialisierung, wurde der Zeitaufwand eines Peer-Review-Verfahrens gemessen und mittels einer Software-Applikation der Fokus auf die tatsächliche Dauer von MRT-Untersuchungen gerichtet.

**Ergebnisse:** Eine subspezialisierte Befundung reduzierte den Anteil an Untersuchungsarten innerhalb des Befundspektrums bis zu 34% ( $p < 0,05$ ) und erlaubt somit eine Fokussierung auf spezifische Kompetenzfelder. Die durchschnittlichen Befundlaufzeiten stiegen bei Anwendung einer Subspezialisierung mitunter signifikant an. Bei 60% der Befundungen verlängerten sich deren Laufzeiten. Die durchschnittliche Zeit einer Zweitbegutachtung betrug 60,4 Sekunden und wurde durch klinische Erfahrung, (Nicht-)Übereinstimmung zum Erstbefund und verschiedene Untersuchungsarten beeinflusst. Das untersuchte Befundspektrum einer Zweitbegutachtung zu unterziehen würde jährlich 1221 Stunden radiologischer Fachexpertise in Anspruch nehmen. Die verwendete Software-Applikation ermöglicht einen detaillierten Überblick auf MRT-Untersuchungen, in Bezug auf Untersuchungsarten, die jeweilige Untersuchungsdauer und Wechselzeiten. Optimierungspotenzial besteht in einer massvollen Anpassung von Planzeiten, um bestehende MRT-Kapazitäten effizienter zu nutzen. Ein für unterschiedliche Untersuchungsarten notwendiger Austausch von MRT-Spulen hatte einen geringen Effekt auf die Wechselzeiten.

**Diskussion:** Durch fachliche Fokussierung auf ein bestimmtes Befundspektrum kann die Weiterentwicklung in der Radiologie mitgestaltet werden. Eine systematische Zweitbegutachtung ist mit hohem zeitlichen Mehraufwand verbunden. Aufgrund knapper Personalressourcen kann diskutiert werden, ob lediglich ein bestimmter Anteil des Gesamtbefundvolumens zweitbegutachtet werden sollte. Vorteile liegen in erster Linie in einer höheren Befundungsqualität. Inwieweit sich der

Mehraufwand rechtfertigen lässt, welcher aufgrund einer Zweitbegutachtung entsteht, bedarf weiterführender Forschung. Schliesslich kann ein effizienter Einsatz von MRT-Scannern die Weiterentwicklung in der Radiologie positiv begünstigen. Planzeiten von MRT-Untersuchungen gemäss ihrer tatsächlichen Untersuchungsdauer zu definieren und entsprechend anzupassen, kann zu einer Reduzierung von Leerstandszeiten führen.

**Background and objective:** Radiology is an important clinical cross-disciplinary field with varied interaction across medical disciplines, known as a process-oriented, advanced digitized discipline in an evolving healthcare system. In medicine, there is a trend towards (sub)specialization across all disciplines. Accordingly, referring physicians expect increasingly higher, more specific demands on imaging and diagnostic quality. The dissertation aim was to investigate the impact of radiological subspecialization across several findings, the time required for second opinions, and the potential for optimizing usage of clinical MRI scanners.

**Methods:** All three studies were performed in the radiology department of the University Hospital of Bern (Switzerland). In addition to analyzing the spectrum of findings before and after the introduction of subspecialization, the time required for peer review process was measured and a software-application used to focus on the actual duration of MRI examinations.

**Results:** Subspecialized reporting reduced the proportion of exam types within the reporting spectrum by up to 34% ( $p < 0.05$ ), allowing a focus on specific areas of expertise. The average duration of findings increased significantly with the use of subspecialization. In 60% of the evaluations, the duration increased. The average time of a second opinion was 60.4 seconds and was influenced by clinical experience, (dis)agreement with the initial findings and different types of examinations. Performing second opinions on investigated spectrum findings requires 1221 hours of radiological expertise annually. The software-application used provides a detailed overview of MRI examinations with regard to types of examination, the respective duration of the examination and change-over times. Optimization potential exists in a moderate adjustment of scheduled times in order to use existing MRI capacities more efficiently. An exchange of MRI coils necessary for different types of examinations had a minor effect on the changeover times.

**Discussion:** By focusing on a certain spectrum of findings, enhancements of radiology can be influenced. A systematic second opinion is associated with high additional time expenditure. Due to scarce personnel resources, it is debatable whether certain proportion of the total volume of findings require second opinioned. The advantages lie primarily in the higher quality of the findings. Further research is required to justify the extent of additional workload resulting from a second opinion. Finally, efficient usage of MRI scanners can positively benefit enhancements in radiology. Defining scheduled times of MRI examinations according to their actual duration and adjusting them accordingly can lead to a reduction in idle times.

# 1 Einführung

## 1.1 Gesamteinführung

Das Gesundheitswesen und die zahlreichen Akteur\*innen, die Gesundheitsleistungen anbieten, tragen zu einem hohen gesellschaftlichen Wert bei. Allseits wird erwartet, dass Leistungen in einer hohen Qualität bei gleichzeitig effizientem Ressourceneinsatz erbracht werden (Busse, 2019). Hierzu sind bestehende Prozesse kontinuierlich kritisch zu überprüfen und bei Bedarf anzupassen. Zudem ist einer anhaltenden Kostensteigerung von Gesundheitsleistungen maßvoll und konsequent entgegenzuwirken. Alle aktiv Beteiligten sind gefordert, sich adäquat stetig wandelnden Bedingungen anzupassen. Für Leistungserbringende ist der Fokus zunehmend auf die Bedürfnisse ihrer Patient\*innen und deren Nutzen zu richten (Beker et al., 2017; Recht et al., 2019).

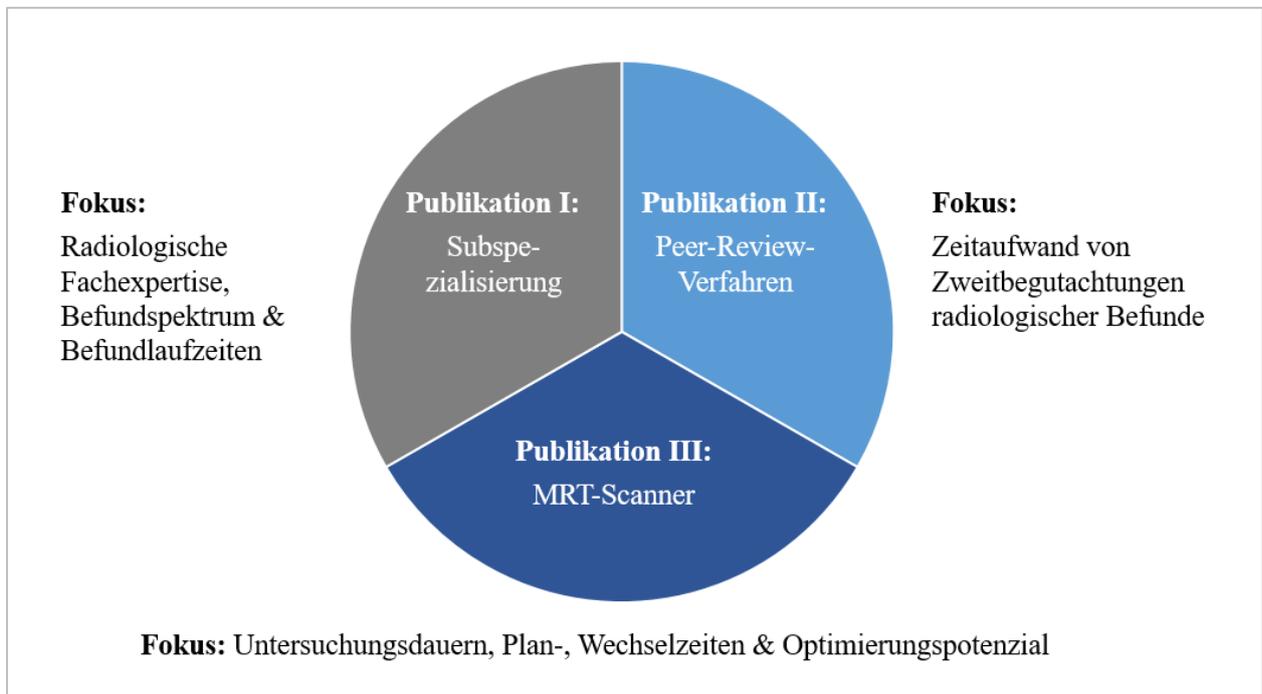
Mit den genannten Anforderungen und Herausforderungen setzt sich auch das Fachgebiet der Radiologie auseinander. Die vorliegende Dissertation fokussiert auf Themen, die unmittelbaren Einfluss auf das Geschehen einer radiologischen Abteilung haben. Die eingeschlossenen Publikationen befassen sich mit der Subspezialisierung in der Radiologie (Meyl et al., 2019), mit dem zeitlichen Aufwand einer Qualitätsbeurteilung radiologischer Befunde mittels Peer-Review-Verfahren (Maurer et al., 2021) und dem Optimierungspotenzial bei klinischen MRT-Scannern durch Anwendung einer modernen Software-Applikation (Meyl et al., 2021).

Die drei Studien wurden in der Radiologie am Universitätsklinikum Bern (Inselspital) durchgeführt. Das Inselspital ist eines der führenden Krankenhausunternehmen in der Schweiz. Der Verbund mit sechs Standorten im Kanton Bern stellt eine hochwertige Versorgung von Patient\*innen sicher, von der Grundversorgung bis hin zur hochspezialisierten Medizin. Das Angebot der Radiologie beinhaltet ein breites Leistungsspektrum und einen hohen Grad an Spezialisierung (Insel Gruppe AG, 2021).

Mit den eingebundenen Publikationen im Rahmen dieser Dissertation wurde das übergeordnete Ziel verfolgt, aktuelle Themen aufzugreifen und Möglichkeiten aufzuzeigen, die zu einer Weiterentwicklung der Radiologie im oben genannten Sinne beitragen können. Der Fokus wird zunächst auf die Fachkenntnisse der Radiolog\*innen gerichtet. Ihre Expertise ist ausschlaggebend für eine qualitativ hochwertige radiologische Befundung und entsprechende Beratung sämtlicher medizinischer Fachdisziplinen. Ein hoher Spezialisierungsgrad bei Ärzt\*innen verschiedener Fachdisziplinen erfordert ebenfalls in der Radiologie zunehmend spezifische, genau auf die Bedürfnisse der Zuweisenden ausgerichtete, diagnostische Fachkenntnisse (Chai et al., 2021; Liebscher et al., 2012).

Seitens der zuweisenden Ärzt\*innen sowie ihrer Patient\*innen wird erwartet, dass radiologische Untersuchungen in höchster technischer Qualität durchgeführt werden, bei gleichzeitiger Gewährleistung einer hohen Befundungsqualität und geringen Befundlaufzeiten (Bosmans, Weyler, De Schepper, & Parizel, 2011). Der radiologische Befundungsprozess ist somit in der Form zu organisieren, dass die Anforderungen der verschiedenen Stakeholder erfüllt werden können. Neben Qualitätsaspekten ist darauf zu achten, die steigende Anzahl radiologischer Untersuchungen trotz teilweise knapper Personalressourcen kosteneffizient anzubieten und dabei eine hohe Zufriedenheit der Anspruchsgruppen, vor allem der Zuweisenden sowie deren Patient\*innen, zu erreichen.

**Abbildung 1** Schwerpunkte der drei im Rahmen der Dissertation eingebundenen Publikationen (Quelle: eigene Darstellung)



Die radiologische Befundung steht im Fokus der Studie «Subspezialisierung in der Radiologie: Auswirkungen auf das Befundungsspektrum von Radiolog\*innen sowie auf Befundlaufzeiten in einem Schweizer Universitätsklinikum» (Meyl et al., 2019), (**Publikation I**).

Die radiologische Fachexpertise und deren Einsatz zur Sicherstellung einer bestmöglichen Qualität und Versorgung von Patient\*innen ist ebenfalls ein wesentlicher Bestandteil der Studie «Zeitaufwand und Machbarkeit einer systematischen Qualitätsbeurteilung radiologischer Befunde» (Maurer et al., 2021), (**Publikation II**).

Schliesslich widmet sich die Studie «Software-basierte Evaluation des Optimierungspotenzials bei klinischen MRT-Scannern in der Radiologie» (Meyl et al., 2021), (**Publikation III**), der tatsächlichen Nutzung klinischer MRT-Scanner.

Im Folgenden werden im Rahmen der Einführung die Hintergründe und Zielsetzungen (Kapitel 1.2 bis 1.4), die Methodiken (Kapitel 2.1 bis 2.3) und Ergebnisse (Kapitel 3.1 bis 3.3) sowie die wesentlichen Diskussionspunkte (Kapitel 4) der drei in dieser Dissertation eingebundenen Publikationen vorgestellt.

## **1.2 Subspezialisierung in der Radiologie: Auswirkungen auf das Befundungsspektrum von Radiolog\*innen sowie auf Befundlaufzeiten in einem Schweizer Universitätsklinikum (Publikation I)**

Befundungsprozesse sind in radiologischen Kliniken und Praxen bisher mehrheitlich an den verschiedenen Untersuchungsmodalitäten Computertomographie (CT), Magnetresonanztomographie (MRT), Mammographie und konventionellem Röntgen ausgerichtet. Als Alternative dazu bietet sich an, Befundungsprozesse auf eine Subspezialisierung umzustellen. Hierbei richtet sich das radiologisch-ärztliche Fachpersonal bei der Befundung an den verschiedenen Organsystemen wie zum Beispiel Abdomen, Thorax, Muskuloskelettal- oder Gefäßsystem aus und konzentriert sich auf Befunde aus diesen spezifischen Themengebieten, jeweils unabhängig von der verwendeten Untersuchungsmodalität (Rosenkrantz, Wang, Hughes, & Duszak, 2018; Smith et al., 2009). Mit der Subspezialisierung wird eine zunehmend thematisch fokussierte Befundung verfolgt, die den steigenden Erwartungen der zuweisenden Ärzteschaft entspricht. Idealerweise können die Bedürfnisse der verschiedenen zuweisenden Disziplinen mit verlässlich hoher oder sogar besserer Befundungsqualität erfüllt werden (Bell & Patel, 2014; Lindgren, Patel, Wu, Melikian, & Hara, 2014).

Ziel der Studie war es, die Auswirkungen einer Subspezialisierung in der Radiologie auf die Befundungsprozesse bei einer ausgewählten Gruppe radiologischer Fachärzt\*innen festzustellen. Dabei sollte untersucht werden, inwieweit sich das Befundungsspektrum mit den verschiedenen Untersuchungsarten nach Einführung der Subspezialisierung verändert. Zudem galt es herauszufinden, welche Effekte sich im Hinblick auf die Anzahl erstellter Befunde bei den verschiedenen Untersuchungsarten ergaben und wie sich die Subspezialisierung letztendlich auf die durchschnittlichen Befundlaufzeiten auswirkte (Meyl et al., 2019).

### **1.3 Zeitaufwand und Machbarkeit einer systematischen Qualitätsbeurteilung radiologischer Befunde (Publikation II)**

Wie einleitend erwähnt, ist die radiologische Fachexpertise zur Erfüllung einer bestmöglichen Qualität sowie Patient\*innenversorgung zentraler Bestandteil der zweiten Studie im Rahmen dieser Dissertation. Dabei wurde der Zeitaufwand für eine retrospektive Qualitätsprüfung radiologischer Befunde und somit einer Zweitbegutachtung ermittelt. Hierfür wurde das RADPEER™-Scoring-System für verschiedene Prozentsätze des Gesamtvolumens radiologischer Befunde innerhalb eines Jahres verwendet (Maurer et al., 2021).

Eine Zweitbegutachtung soll dazu beitragen, die Qualität radiologischer Befunde zu verbessern und eine hohe Patient\*innensicherheit zu gewährleisten. Fehler lassen sich auch in der Diagnostik nicht vermeiden. Zur Patient\*innensicherheit, zu Fehlern und daraus resultierenden Todesfallzahlen sind umfassende nationale und internationale Untersuchungen durchgeführt worden (Balogh, 2015; Schrappe, Muller, & Hecker, 2020; World Health Organisation (WHO), 2021). Zu einer kontinuierlichen Qualitätsverbesserung und Vermeidung von Fehlern in der Radiologie wurde häufig auf Untersuchungsprozesse sowie organisatorische Abläufe bei der anschließenden Befundung fokussiert (Kansagra, Liu, & Yu, 2016; Pianykh, Jaworsky, Shore, & Rosenthal, 2017). Mit der Subspezialisierung im Rahmen der radiologischen Befundung wurde eine aktuelle Entwicklung in der ersten Publikation der Dissertation thematisiert (Meyl et al., 2019). Um den Fokus auf inhaltliche Aspekte von Befunden zu richten, besteht eine Möglichkeit darin, systematische Peer-Reviews durchzuführen und somit Befunde retrospektiv durch radiologisch-ärztliche Fachexpert\*innen überprüfen zu lassen (Geijer & Geijer, 2018; Lauritzen, Hurlen, Sandbaek, & Gulbrandsen, 2015). Eines der am häufigsten angewandten Systeme ist das auf radiologische Befunde ausgerichtete RADPEER™-Scoring-System. Hierbei werden Befunde, die von Radiolog\*innen erstellt wurden, retrospektiv einer Zweitbegutachtung unterzogen, indem die Diagnose im entsprechenden Ausgangsbefund einer Kategorie 1 bis 3 zugeteilt wird. Dabei bedeutet Kategorie 1: stimmt mit der vorherigen Interpretation überein, Kategorie 2: Diskrepanz in der Interpretation/Beurteilung wäre nicht in jedem Fall zu erwarten gewesen und Kategorie 3: Diskrepanz in der Interpretation/Beurteilung wäre in den meisten Fällen zu erwarten gewesen (Goldberg-Stein et al., 2017).

Eine Herausforderung besteht darin, dass für eine Zweitbegutachtung das entsprechende Fachpersonal zur Verfügung stehen muss. Neben zusätzlichen Kosten für diese Art der Leistungserbringung stellt vor allem der Mangel an qualifiziertem Personal ein Hindernis dar, Überprüfungen von

Befunden konsequent und umfassend durchzuführen. Vor diesem Hintergrund war es Ziel der Studie, den Zeitaufwand und die Umsetzbarkeit einer systematischen Zweitbegutachtung radiologischer Befunde durch Verwendung eines spezifischen Systems zur Qualitätsprüfung (RAD-PEER™) zu untersuchen (Maurer et al., 2021).

#### **1.4 Software-basierte Evaluation des Optimierungspotenzials bei klinischen MRT-Scannern in der Radiologie (Publikation III)**

Die dritte Studie im Rahmen dieser Dissertation befasst sich mit der Auslastung klinischer MRT-Scanner. Anlass sich diesem Thema zu widmen, ist der anhaltende Kostendruck im Gesundheitswesen, mit dem sich auch die Radiologie auseinandersetzen hat. So gilt ebenfalls in dieser Querschnittsdisziplin, Untersuchungs- sowie Befundungsprozesse effizient zu gestalten und dabei eine hohe Qualität der Untersuchungsleistungen zu gewähren (Rubin, 2017; Swensen & Johnson, 2005). In verschiedenen Studien konzentrierte sich die Verbesserung solcher prozessualen Abläufe insbesondere auf die schnittbildgebenden Verfahren Computertomographie (CT), Magentresonanztomographie (MRT) und Ultraschall (Qiu, Wang, Wang, & Yin, 2019; Rawson, Kannan, & Furman, 2016). Angestrebt wird ein effizienter Einsatz der Ressourcen und damit eine hohe Auslastung radiologischer Geräte, verbunden mit entsprechend geringen Leerstandszeiten (Wessman, Moriarity, Ametlli, & Kastan, 2014).

Verfügbare MRT-Scanner bestmöglich auszulasten, stellt besonders für Radiologien grosser Kliniken eine Herausforderung dar. Bei der Planung von MRT-Untersuchungen ist ein umfangreiches, spezialisiertes Untersuchungsspektrum mit zum Teil hoch komplexen Fragestellungen zu berücksichtigen. Zudem ist einzuplanen, dass für Untersuchungen verschiedenste MRT-Spulen erforderlich sind. Weiterhin ist eine sorgfältige Koordination häufig schwer kranker, physisch oftmals beeinträchtigter Patient\*innen geboten, die von verschiedenen Stationen des Krankenhauses zugewiesen werden (Meyl et al., 2021). Zur Unterstützung der Planung ermöglichen es heute moderne MRT-Scanner mittels integrierter Software-Applikationen detaillierte Informationen über die tatsächliche Nutzung radiologischer Geräte und damit über deren Auslastung zur Verfügung zu stellen (Jones, Cournane, Sheehy, & Hederman, 2016).

Mit der Studie wurde das Ziel verfolgt, durch Anwendung einer neu entwickelten Software-Applikation einen detaillierten Überblick über die Nutzung zweier klinisch intensiv genutzter MRT-Scanner in Bezug auf die Untersuchungsart, die Untersuchungsdauer und Wechselzeiten zwischen Untersuchungen zu erhalten. Es galt zu evaluieren, ob sich daraus Optimierungspotenzial für die Untersuchungsplanung in der MRT-Diagnostik ableiten lässt (Meyl et al., 2021).

## 2 Methodik

### 2.1 Subspezialisierung in der Radiologie: Auswirkungen auf das Befundungsspektrum von Radiolog\*innen sowie auf Befundlaufzeiten in einem Schweizer Universitätsklinikum (Publikation I)

Im Folgenden werden die wesentlichen Elemente der Methodik der ersten Studie vorgestellt (Meyl et al., 2019). In einer retrospektiven Analyse wurde die Gesamtzahl unterschiedlicher radiologischer Untersuchungen dokumentiert, die in den Jahren 2014 und 2016, vor und nach Einführung der Befundungsprozesse auf eine Subspezialisierung Mitte des Jahres 2015 durchgeführt wurden. Die Subspezialisierung wurde in den Bereichen (1) thorakale- und kardiovaskuläre Bildgebung, (2) abdominelle, urogenitale, Hals-, Nasen-, Ohren- Bildgebung und Mammographie, (3) muskuloskelettale Bildgebung, (4) Notfall- sowie (5) pädiatrische Bildgebung vorgenommen.

Fokussiert auf sechs ausgewählte radiologische Fachärzt\*innen, die in beiden Ein-Jahres-Zeiträumen durchgängig im Rahmen der Personalplanung für die Krankenversorgung eingesetzt wurden, wurden die Anzahl der Untersuchungen, die befundeten Untersuchungsarten sowie die Befundlaufzeiten ermittelt und die Analysejahre 2014 und 2016 miteinander verglichen. Als Befundlaufzeit wurde der Zeitraum zwischen dem Ende der Untersuchung und der endgültigen Freigabe des finalen Befundes durch die jeweilige fachärztliche Person definiert. Es flossen diejenigen Untersuchungen in die Studie ein, die während der Kernarbeitszeiten durchgeführt wurden und deren Befundung innerhalb von 72 Stunden abgeschlossen war.

Für die Analyse wurden alle erforderlichen Daten mittels Abfrage aus dem Radiologie-Informationssystem (RIS) der radiologischen Klinik zusammengestellt. Dabei wurden Informationen zu folgenden Parametern erfasst: Untersuchungsart, Datum der Untersuchung, Untersuchungsendzeitpunkt, Start- und Endzeitpunkt der Befundung sowie Freigebende bzw. Freigebender. Für sämtliche Befundungen wurde jeweils die Befundlaufzeit in Minuten erfasst. Bei dem Vergleich hinsichtlich der Befundlaufzeit vor und nach Spezialisierung wurde folgende Einteilung vorgenommen: Mehr als 2 Stunden kürzer [- -], 1 bis 2 Stunden kürzer [-], bis 1 Stunde länger/kürzer [0], 1 Stunde bis 5 Stunden länger [+], mehr als 5 Stunden länger [+ +].

Für die statistischen Auswertungen kamen der Cochran-Mantel-Haenzel Test, der Chi-Quadrat Test und ein zweiseitiger Mann-Whitney-Wilcoxon Test zur Anwendung. Es wurde jeweils ein Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  gewählt. Sämtliche erhobene Daten wurden mithilfe von Excel

2010 für Windows (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) erfasst und analysiert. Die statistischen Berechnungen erfolgten mittels der Software „R“ (R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich), (Meyl et al., 2019).

## **2.2 Zeitaufwand und Machbarkeit einer systematischen Qualitätsbeurteilung radiologischer Befunde (Publikation II)**

In einer retrospektiven Analyse wurde die Befundqualität von 150 radiologischen Untersuchungen mittels des RADPEER™-Scoring-Systems bewertet. Dabei wurden je 30 Befunde der verschiedenen fünf Untersuchungsarten (1) CT des Abdomens, (2) CT des Thorax, (3) Mammographien, (4) konventionelle Röntgenbilder und (5) abdominale MRT begutachtet. Die Befunde wurden alleamt innerhalb eines Zeitraums von einem halben Jahr erstellt und stichprobenartig aus dem RIS der Radiologischen Klinik ausgewählt. Die entsprechenden Bilddaten wurden aus dem klinikinternen „Picture Archiving and Communication System“ (PACS) abgerufen (Maurer et al., 2021).

Drei radiologische Fachärzt\*innen bewerteten unabhängig voneinander die Befundqualität, indem sie die Bilddaten mit dem jeweiligen Originalbefund verglichen. Jedem Befund wurde eine RADPEER™-Bewertung der eingangs unter 1.3 erwähnten Kategorien 1, 2 oder 3 zugeteilt. Der Zeitaufwand für jede Überprüfung wurde in Sekunden festgehalten. Zudem wurde der durchschnittliche Zeitaufwand für jede Gruppe der fünf verschiedenen radiologischen Untersuchungsarten ermittelt und miteinander verglichen. Weiterhin wurde untersucht, ob und inwieweit sich der Zeitaufwand für die Bewertungen der Kategorien 1, 2 oder 3 voneinander unterscheidet. Abschliessend wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um den Gesamtarbeitsaufwand für die Zweitbegutachtung zu kalkulieren. Dieser wurde anhand verschiedener Prozentsätze (zwischen 0,5% bis 100%) des gesamten jährlichen Befundvolumens (Datenjahr 2018) der Klinik ermittelt.

Für alle untersuchten Zeiten wurde jeweils der Durchschnitt, das Minimum, das Maximum, der Median und die Quartile 1 und 3 berechnet. Bei den statistischen Auswertungen kamen der ANOVA-Test mit Tukey's post-hoc Test zur Anwendung. Es wurde jeweils ein Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  gewählt (Maurer et al., 2021).

## **2.3 Software-basierte Evaluation des Optimierungspotenzials bei klinischen MRT-Scannern in der Radiologie (Publikation III)**

Der folgende Abschnitt fasst die Methodik der dritten Studie zusammen. Im Rahmen einer retrospektiven Analyse wurden die tatsächlichen Untersuchungsdauern (Teil 1) und Wechselzeiten (Teil 2) derjenigen Untersuchungsarten ermittelt, die an einem 1,5 Tesla (T) und einem 3T MRT-

Scanner durchgeführt wurden. Das Untersuchungsspektrum beinhaltete dabei alle MRT-Untersuchungen der Körperregionen bzw. Themenbereiche Abdomen, Urologie, Thorax, Herz, Mamma und muskuloskelettales System. Für alle Untersuchungsarten war in der Radiologie eine Planzeit von entweder 30, 45 oder 60 Minuten definiert. Der Analysezeitraum betrug 12 Monate. Die für die Studie erforderlichen Daten wurden mit einer neu entwickelten Software-Applikation „Teamplay Usage“ (Siemens Healthineers, Deutschland) abgefragt. Auf Basis der DICOM-Daten (Digital Imaging and Communications in Medicine) der Untersuchungen wurden Informationen zu verschiedenen Parametern erfasst. So wurden für diese Studie die Untersuchungsart, das Datum der Untersuchung, der Start- und Endzeitpunkt der Untersuchung und die Wechselzeit zwischen Untersuchungen abgefragt (Meyl et al., 2021).

Für jede Untersuchungsart wurde die Anzahl und der Anteil am Gesamtvolumen der analysierten Untersuchungen und die mediane Untersuchungsdauer inklusive einer konstanten Vor- und Nachbereitungszeit ermittelt (Teil 1). Bei der Auswertung lag der Fokus auf den zehn am häufigsten durchgeführten Untersuchungsarten je MRT-Scanner. Es wurde für alle Untersuchungen die Differenz zwischen Planzeit und medianer Untersuchungsdauer ermittelt. Im Rahmen der Analyse wurde zudem eruiert, wie häufig Untersuchungen innerhalb der vorgesehenen Planzeit abgeschlossen wurden. Anschliessend wurden die Wechselzeiten zwischen Untersuchungen analysiert (Teil 2). Dabei wurden alle Untersuchungen einbezogen, die innerhalb der Kernarbeitszeit durchgeführt und abgeschlossen wurden. Berücksichtigt wurden diejenigen Kombinationen, also Abfolgen von Untersuchungen, die mindestens 20 Mal vorkamen. Bei der Analyse der Wechselzeiten wurde sich auf diejenigen Kombinationen konzentriert, die am häufigsten vorkamen und solche, bei denen der Wechsel am längsten dauerte. Abschliessend wurde überprüft, ob ein Beibehalten einer MRT-Spule bei aufeinanderfolgenden Untersuchungen mit geringeren Wechselzeiten einherging als im Fall, dass ein Spulenaustausch erforderlich war. Anhand einer Auswahl an Kombinationen wurde mittels eines Mood's-Median-Tests die Signifikanz des Unterschieds überprüft (Signifikanzniveau  $p = 0,05$ ), (Meyl et al., 2021).

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Subspezialisierung in der Radiologie: Auswirkungen auf das Befundungsspektrum von Radiolog\*innen sowie auf Befundlaufzeiten in einem Schweizer Universitätsklinikum (Publikation I)

Der folgende Abschnitt fasst die wesentlichen Resultate der ersten Studie zusammen (Meyl et al., 2019). Bei Betrachtung der einbezogenen radiologischen Untersuchungen (2014: 67 585, 2016: 72 224) konnte im Jahr 2016 eine Steigerung von 6,9% im Vergleich zum Jahr 2014 festgestellt werden. Während beider Ein-Jahres-Zeiträume wurden jeweils etwas mehr als 20% der Befundungsleistungen von den sechs ausgewählten radiologischen Fachärzt\*innen erbracht.

Mit Einführung der Subspezialisierung hat sich das Befundungsspektrum, das heisst die Bandbreite befundeter Untersuchungsarten, zwischen 10% und 34% reduziert, was sich bei fünf der sechs Radiolog\*innen als statistisch signifikant erwies ( $p < 0,05$ ). Der Anteil an Befundungen in der entsprechenden Subspezialität wurde bei vier der sechs Expert\*innen deutlich gesteigert und lag zwischen 92% und 98%. Die übrigen zwei radiologisch-ärztlichen Fachpersonen hatten mit den Bereichen in der Notfall- und pädiatrischen Bildgebung bereits zuvor die Verantwortung für ein spezialisiertes Befundungsspektrum.

Es konnte festgestellt werden, dass sich das jeweilige Befundungsspektrum der Radiolog\*innen im Segment der zehn am häufigsten befundeten Untersuchungsarten (Top 10) stark auf den jeweiligen subspezialisierten Bereich, in der Regel eine bestimmte Körperregion konzentrierte. Der Anteil erstellter Befunde im Segment der Top 10 Befundungsarten stieg mit Einführung der Subspezialisierung bei allen Teilnehmenden und betrug zwischen 66,4% und 94,6% der jeweiligen Gesamtbefundleistung. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass fünf der sechs Radiolog\*innen im Zuge der Spezialisierung durchschnittlich mehr Zeit für die Befundung aufwendeten ( $p < 0,05$ ).

Exemplarisch sei hier die radiologisch-ärztliche Fachperson „A“ erwähnt. Nach Einführung der Subspezialisierung ergaben deren zehn am häufigsten befundeten Untersuchungsarten 78,1% der Gesamtbefundleistung auf deren Spezialgebiet, der abdominalen und urogenitalen Bildgebung inklusive Mammographie und HNO-Bildgebung. Eine längere Befundlaufzeit zeigte sich bei sieben Untersuchungsarten, von denen sich wiederum fünf als statistisch signifikant erwiesen ( $p < 0,05$ ). Als weiteres Beispiel sind die thorakale- und kardiovaskuläre Bildgebung zu nennen, die Spezialgebiete der radiologisch-ärztlichen Fachperson „C“. Die Top 10 der spezialisierten Untersuchungen machten insgesamt 94,3% der Gesamtbefundleistung aus. Sämtliche Befundarten gingen mit signifikant längeren Befundlaufzeiten einher ( $p < 0,05$ ).

Eine Gesamtbetrachtung aller sechs Radiolog\*innen und ihrer Top 10 spezialisierten Untersuchungsarten zeigt, dass sich bei 60% der Befundungen die Laufzeiten verlängert haben, bei 23% keine grösseren zeitlichen Differenzen erkennbar waren und bei rund 17% der Befundungen innerhalb des spezialisierten Spektrums weniger Zeit aufgewendet wurde (Meyl et al., 2019).

### **3.2 Zeitaufwand und Machbarkeit einer systematischen Qualitätsbeurteilung radiologischer Befunde (Publikation II)**

Die Ergebnisse der zweiten Studie zeigen, dass von den insgesamt 450 analysierten Befunden (150 je gutachtender Fachperson), 91,1% (n = 410) in die Kategorie 1, 7,3% (n = 33) in die Kategorie 2 und 1,6% (n = 7) in die Kategorie 3 zugewiesen wurden (Maurer et al., 2021).

Der durchschnittliche Zeitaufwand für eine Bewertung, unabhängig von der zugewiesenen Kategorie, betrug 60,4 Sekunden (min. 5 Sekunden, max. 245 Sekunden) für alle Untersuchungsarten und bei Betrachtung aller drei Gutachter\*innen gemeinsam. Differenziert betrachtet, betrug der durchschnittliche Zeitaufwand für eine Bewertung bei der gutachtenden Fachperson 1: 34,3 Sekunden, bei Fachperson 2: 74,4 Sekunden und bei Fachperson 3: 72,5 Sekunden. Der Vergleich zeigt, dass die Fachperson 1 im Durchschnitt deutlich weniger Zeit benötigte, als die beiden anderen ( $p > 0,05$ ), bei denen sich die Zeiten für Bewertungen wiederum nicht signifikant unterschieden ( $p = 0,79$ ). An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass Fachperson 1 zu jenem Zeitpunkt über 14 Jahre, die beiden anderen radiologischen Fachpersonen hingegen jeweils über 5 Jahre klinischer Erfahrung verfügten.

Wie viel Zeit für eine Bewertung durchschnittlich aufgewendet wurde, unterschied sich deutlich von der Kategorie, in die ein Befund zugewiesen wurde. So wurden bei einer Bewertung ohne Beanstandung (Kategorie 1) 54,9 Sekunden benötigt. Signifikant länger dauerten hingegen solche Überprüfungen, die der Kategorie 2 (105,3 Sekunden) oder Kategorie 3 (144,2 Sekunden) zugewiesen wurden, da offensichtlich Abweichungen zum Ausgangsbefund festgestellt wurden. Auch bei dem Vergleich des Zeitaufwands hinsichtlich der verschiedenen Untersuchungsarten konnten zum Teil deutliche Unterschiede aufgezeigt werden. Während für die Begutachtung einer Mammographie im Durchschnitt 20,3 Sekunden und konventionelle Radiographien 36,3 Sekunden benötigt wurden, waren der jeweilige Zeitaufwand bei den schnittbildgebenden CT- und MRT-Verfahren signifikant höher. Für die Bewertung eines Befundes waren im Bereich „Abdominale CT“ durchschnittlich 89,6 Sekunden, im Bereich „Abdominale MRT“ durchschnittlich 77 Sekunden und bei Befunden im Bereich „Thorax CT“ durchschnittlich 78,9 Sekunden verwendet worden (Maurer et al., 2021).

Mit der abschliessend durchgeführten Sensitivitätsanalyse, wurde anhand des realen Befundvolumens im Jahr 2018 (103 227 Untersuchungen in den fünf analysierten Untersuchungsarten) berechnet, wieviel Zeit es benötigen würde, wenn ein bestimmter Anteil der Befunde zweitbegutachtet würde. Die Ergebnisse zeigen, dass der Zeitaufwand bei einem Prozentsatz von 0,5% (Bewertung von ca. 516 Untersuchungen) bei 6 Stunden läge, bei 5% (Bewertung von ca. 5161 Untersuchungen) würden entsprechend 61 Stunden benötigt. Das gesamte Spektrum einer Zweitbegutachtung zu unterziehen, wäre mit einer Inanspruchnahme von ca. 1221 Stunden radiologischer Fachexpertise verbunden (Maurer et al., 2021).

### **3.3 Software-basierte Evaluation des Optimierungspotenzials bei klinischen MRT-Scannern in der Radiologie (Publikation III)**

7184 MRT-Untersuchungen wurden in die Analyse der Untersuchungsdauern einbezogen. Die mediane Untersuchungsdauer aller einbezogenen Untersuchungen betrug 43:02 Minuten, inklusive einer konstanten Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten. Für Untersuchungen mit einer Planzeit von 30 Minuten wurde mehr Zeit aufgewendet (1,5T: 39:58 Minuten; 3T: 38:03 Minuten). Der höchste Anteil an Untersuchungen, für die 45 Minuten eingeplant wurden, konnte auch innerhalb dieser Zeit abgeschlossen werden. Ein geringer Anteil an Untersuchungen mit einer Planzeit von 60 Minuten dauerte hingegen kürzer (1,5T: 49:07 Minuten; 3T: 53:00 Minuten), (Meyl et al., 2021).

Die zehn am häufigsten vorgenommenen Untersuchungsarten machten im 1,5T mit 3031 und im 3T MRT-Scanner mit 2783 jeweils rund 81% des Gesamtuntersuchungsvolumens aus. Unter Einbezug der Vor- und Nachbereitungszeit wurden bei den zehn am häufigsten durchgeführten Untersuchungsarten im 1,5T 1652 (54,5%) und im 3T-Scanner 1443 (51,9%) aller Untersuchungen innerhalb der vorgesehenen Planzeit abgeschlossen. Als Beispiel seien hier Untersuchungen der Halsweichteile genannt, die im 1,5T MRT-Scanner mit 20,9% am häufigsten durchgeführt wurden. Dabei betrug die mediane Untersuchungsdauer 43:53 Minuten. Am 3T-Scanner waren Beckenuntersuchungen mit 22,4% und einer medianen Untersuchungsdauer von 46:02 Minuten die am häufigsten durchgeführte Untersuchungsart (Meyl et al., 2021).

Ein Vergleich der medianen Untersuchungsdauern inklusive der Vor- und Nachbereitungszeit, mit der vorgesehenen Planzeit konnte zeigen, dass tatsächlich benötigte Untersuchungsdauern bei sechs der zehn häufigsten Untersuchungsarten innerhalb der entsprechenden Planzeit lagen, was für beide MRT-Scanner zutraf. So wurden z. B. bei Untersuchungen der Halsweichteile im 1,5T

oder des Abdomens im 3T MRT-Scanner, in 62,0% bzw. 58,8% der Fälle weniger Zeit aufgewendet, als es die Planzeit vorsah. Es konnte gezeigt werden, dass bei verschiedenen Untersuchungsarten wie z. B. Knie oder Lendenwirbelsäule die medianen Untersuchungsdauern hingegen über der vorgesehenen Planzeit von 30 Minuten lagen (Meyl et al., 2021).

Im Rahmen der Wechselzeiten-Analyse zeigte sich, dass bei den fünf am häufigsten vorgekommenen Untersuchungsabfolgen (Kombinationen) gleiche Untersuchungsarten oftmals aufeinander folgten. Dies konnte bei den Untersuchungen des Abdomens, des Beckens und der Halsweichteile festgestellt werden. Bei den fünf häufigsten Kombinationen lagen mediane Wechselzeiten zwischen 07:44 und 09:42 Minuten. Es wurden zudem die fünf Kombinationen mit den längsten medianen Wechselzeiten betrachtet, die zwischen 13:56 und 16:47 Minuten lagen. Dabei folgten bei vier der fünf Kombinationen unterschiedliche Untersuchungsarten aufeinander, was im Allgemeinen auch einen Austausch der MRT-Spule erforderte. Die Gegenüberstellung einer Auswahl an Kombinationen, bei denen die MRT-Spule beibehalten werden konnte ( $n = 691$ ) und Kombinationen, bei denen ein Austausch hingegen erforderlich war ( $n = 639$ ), zeigte einen Zeitunterschied von 33 Sekunden. Ein MRT-Spulenaustausch hatte bei den ausgewählten Kombinationen keinen signifikanten Einfluss auf die Wechselzeit ( $p = 0,062$ ), (Meyl et al., 2021).

## 4 Diskussion

Mit der Dissertation wurde das Ziel verfolgt, aktuelle Themen in der Querschnittsdisziplin Radiologie aufzugreifen und Möglichkeiten aufzuzeigen, die zu einer Weiterentwicklung der Radiologie beitragen können. Der stetige Wandel und sich rasch ändernde Rahmenbedingungen in der Medizin und im Gesundheitswesen im Allgemeinen erfordern eine Reflektion von Bestehendem und eine kontinuierliche Weiterentwicklung. Im nun folgenden Abschnitt werden die zentralen Diskussionspunkte der drei Publikationen zusammengetragen.

Die Einführung der Subspezialisierung, thematisiert in Publikation I (Meyl et al., 2019), führte zu einer inhaltlich-fachlichen Konzentration radiologischer Befundungen, welche sodann unabhängig von den Untersuchungsmodalitäten organisiert wurden. Dabei konnte bei einer Auswahl radiologischer Fachärzt\*innen festgestellt werden, dass sie sich vermehrt auf die ihnen zugeteilten Untersuchungsarten und damit auf ein spezialisiertes Befundspektrum fokussierten. Der Anteil spezialisierter Befunde an der jeweiligen Gesamtbefundleistung der einzelnen radiologisch-ärztlichen Fachpersonen betrug im Durchschnitt über 95%. Die Subspezialisierung ging dabei jedoch mit einer teils deutlichen Verlängerung der Befundlaufzeiten einher.

Der allgemeine nationale und internationale Trend einer stetig steigenden Anzahl an bildgebenden Untersuchungen konnte auch in dieser Studie erkannt werden (Levin, Rao, Parker, & Frangos, 2013; Smith-Bindman et al., 2012; Vosshenrich et al., 2021). Es war überraschend festzustellen, dass die Umstellung auf ein subspezialisiertes System zu teilweise erheblich längeren Befundlaufzeiten führte. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass die radiologische Universitätsklinik zu einer der grössten Ausbildungsbetriebe für Assistenzärzt\*innen innerhalb der Schweiz gehört. Die feste Einbindung von Lernenden in den Befundungsprozess, verbunden mit einer sorgfältigen Abstimmung zwischen Assistenz- und Fachärzteschaft, insbesondere bei komplexen, sehr spezifischen radiologischen Fragestellungen, benötigt entsprechende (Lehr-)Zeit. Hingegen konnten Stern et al. zeigen, dass durchschnittliche Befundlaufzeiten deutlich gesenkt werden können, wenn durch erfahrenes radiologisch-ärztliches Fachpersonal die Befundung in einer subspezialisierten Umgebung direkt vorgenommen wird (Stern, Boehm, Seifert, & Kawel-Boehm, 2018).

Wie einleitend erwähnt, ist die Entwicklung zur Subspezialisierung in verschiedenen medizinischen Disziplinen zu beobachten (Cassel & Reuben, 2011; Pathik et al., 2016). Entsprechend werden von zuweisenden Kolleg\*innen zunehmend höhere, spezifische Anforderungen an die Bildgebung und Befundhinhalte gestellt (Bosmans et al., 2011). Ein vertieftes, spezialisiertes Wissen dürfte Radiolog\*innen zur Lösungsfindung komplexer Fragestellungen dienen. Zudem dürfte es für eine einzelne radiologisch-ärztliche Fachperson zunehmend schwieriger werden, das umfangreiche Spektrum vollumfänglich in der geforderten Wissenstiefe zu beherrschen (European Society of Radiology, 2010).

Im Wettbewerb um qualifiziertes Personal sind Rahmenbedingungen zu schaffen, die unter anderem einer hohen Zufriedenheit von Mitarbeitenden dienen. Inwieweit Subspezialisierung nachhaltig dazu beitragen kann, bleibt zu beobachten. In einem klar definierten Bereich kann ein hohes Wissensniveau erworben werden, was sich positiv auf das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten der Radiolog\*innen auswirken dürfte. Einen positiven Einfluss kann Subspezialisierung auch auf die Assistenzärzt\*innenschaft haben, die im Rahmen ihrer Weiterbildung verschiedene Teilbereiche der Radiologie durchlaufen. Klar definierte Abläufe bei Rotationen in spezialisierten Bereichen ermöglichen es, dass sich Assistenzärzt\*innen für eine bestimmte Zeit einem spezialisierten Bereich widmen können (Lam, Nguyen, & Ferguson, 2016). Damit entfallen häufige Wechsel zwischen den zahlreichen Befundarten. Zudem konnten verschiedene Studien zeigen, dass die Qualität und Präzision radiologischer Befunde durch Subspezialisierung gesteigert werden konnte (Narayan et al., 2015; Walker, Petscavage-Thomas, Fotos, & Bruno, 2017).

Im Gegensatz zu den Vorteilen, kann Subspezialisierung jedoch auch zu nachteiligen Effekten führen. So können ein zwar spezialisiertes aber eingeschränktes Befundungsspektrum und vielfache Wiederholungen sehr ähnlicher Fragestellungen auch demotivierend und ermüdend wirken. Monotonie wiederum kann zu einer höheren Fluktuation und folglich einem grösseren organisatorischen Aufwand führen. Um den eingangs erwähnten Anforderungen der Zuweisenden gerecht zu werden, sollte sich die Subspezialisierung nicht nachteilig auf die Befundlaufzeiten auswirken. Eine Limitation dieser Studie ist, dass eine begrenzte Anzahl von sechs Radiolog\*innen einbezogen wurde. Die Begründung liegt darin, dass radiologisch-ärztliche Fachpersonen ausgewählt wurden, die in beiden Ein-Jahres-Zeiträumen tätig waren und welche nach Einführung der Subspezialisierung die verschiedenen Disziplinen abdeckten. Alle Subspezialisierungen konnten somit repräsentiert werden. Zudem ist die (zeit-)intensive Einbindung der Assistenzärzt\*innenschaft in den Befundungsprozess zu berücksichtigen, woraus sich häufig längere Befundlaufzeiten ergeben. Dieses Ergebnis ist vermutlich bedingt repräsentativ für radiologische Institute und Praxen, in denen ausschliesslich erfahrenes ärztliches Fachpersonal engagiert ist und die Befundung sowie Freigabe in der Regel unmittelbar erfolgen. Hier dürfte die Subspezialisierung auch mit kürzeren Befundlaufzeiten einhergehen.

**Zusammenfassend** kann in Bezug auf Publikation I festgehalten werden, dass Subspezialisierung in der Radiologie zu dem wünschenswerten Effekt einer fachlichen Fokussierung von Radiolog\*innen auf ein klar definiertes Befundspektrum führt. Eine deutlich höhere Komplexität in den Abläufen einer spezialisierten Befundung erfordert allerdings einen höheren Zeitaufwand und kann zu längeren Befundlaufzeiten führen (Meyl et al., 2019).

Die radiologisch-ärztliche Fachexpertise war ebenfalls Bestandteil der zweiten Studie im Rahmen dieser Dissertation. Die übergeordnete Frage, mit welchen Möglichkeiten es gelingen kann, die Radiologie weiterzuentwickeln, führte zu der Idee, den zeitlichen Aufwand von Zweitbegutachtungen zu untersuchen. Während der Sinn und Zweck von Peer-Review-Verfahren mit dem Fokus auf Qualitätsaspekte in verschiedenen Studien thematisiert wurde (Chetlen et al., 2020), sollte anhand dieser Studie ermittelt werden, wieviel Zeit ein systematisches Peer-Review in Anspruch nimmt.

Die Zuteilung zu den zuvor erwähnten Kategorien 1 bis 3 gemäss dem RADPEER™-Scoring-System zeigte, dass bei der Mehrheit der Befunde (91,1%) eine Übereinstimmung mit dem jeweiligen Ausgangsbefund bestand und diese somit der Kategorie 1 zugewiesen wurden. Dabei konnte interessanterweise festgestellt werden, dass der Anteil in den Kategorien 2 und 3 (7,3% bzw. 1,6%)

höher war (Maurer et al., 2021), im Vergleich zu anderen publizierten Studien. So konnte beispielsweise bei Jackson et al. nach Zweitbegutachtung eine „Unstimmigkeitsrate“ von 2,51% in der Kategorie 2 und 0,32% in der Kategorie 3 ermittelt werden (Jackson et al., 2009). In einer weiteren Studie wurde bei einer Anzahl von 6703 Befunden, die von 26 verschiedenen Radiolog\*innen zweitbegutachtet wurden, Abweichungen bei 3,48% der Fälle festgestellt (Soffa, Lewis, Sunshine, & Bhargavan, 2004).

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass die klinische Erfahrung einen Einfluss auf das Scoring-Verhalten hat. In der Studie konnte ein Unterschied ermittelt werden, zwischen der radiologisch-ärztlichen Fachperson (1) mit langjähriger klinischer Erfahrung (14 Jahre), die bei 3,3% der Befunde einen Score 2 festlegte und den gutachtenden Fachpersonen (2 und 3) mit weniger Jahren Erfahrung (jeweils 5 Jahre), die zusammen bei 9,3% der Befunde einen Score 2 und bei 2,3% einen Score 3 attestierten. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis könnte sein, dass Radiolog\*innen mit bisher weniger klinischer Erfahrung dazu tendieren, bei Unsicherheit den Befund eher als unstimmg und entsprechend mit einem Score 2 oder 3 zu bewerten (Maurer et al., 2021).

Die klinische Erfahrung hat auch Auswirkungen auf die Zeit, die für eine RADPEER™-Bewertung aufgewendet wird. So konnte festgestellt werden, dass die langjährig erfahrene radiologisch-ärztliche Fachperson (1) mit durchschnittlich 34,3 Sekunden für eine Bewertung deutlich schneller entschied als dessen Kolleg\*innen (2 und 3), die durchschnittlich 74,4 und 72,5 Sekunden benötigten, um eine Bewertung abzugeben. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass eine Zuteilung des Befundes in die Kategorie 2 oder 3 aufgrund konstaterter Unstimmigkeit signifikant mehr Zeit in Anspruch nahm, im Vergleich zu Bewertungen von Befunden, bei denen der Ausgangsbefund und die Zweitbegutachtung übereinstimmten. Dies traf auf alle gutachtenden Fachpersonen zu ( $p < 0,05$ ). Der Vergabe eines „Unstimmigkeits-Scores“ von 2 oder 3 geht eine sorgfältige Überprüfung der Bilder und Untersuchungsergebnisse des Ausgangsbefundes voraus. Die Feststellung möglicher Mängel im Befund, bevor eine Bewertung letztlich vorgenommen wird, ist entsprechend mit zeitlichem Mehraufwand verbunden (Maurer et al., 2021).

Der Zeitaufwand einer Zweitbegutachtung unterscheidet sich zudem hinsichtlich der verschiedenen Untersuchungsarten bzw. -modalitäten. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass bei allen Fachpersonen mehr Zeit bei der Begutachtung von CT- und MRT-Untersuchungen aufgewendet wurde, im Vergleich zu Mammographien und konventionellen Radiographien. Dies ist verständlich, erwartbar und dadurch zu erklären, dass CT- und MRT-Schnittbildverfahren eine sehr hohe Anzahl

an Bildern („thin-layer images“) produzieren und diese aus verschiedensten Dimensionen („multidimensional reformation“) angesehen und beurteilt werden können. Entsprechend nimmt die Interpretation der Bilder in der Regel auch mehr Zeit in Anspruch.

Der Mehraufwand einer Zweitbegutachtung sollte nicht unterschätzt werden. So wurde im Rahmen der Studie berechnet, dass das RADPEER™-Verfahren, würde es für die fünf analysierten Untersuchungsarten aus dem Jahr 2018 angewendet, ca. 1221 Stunden radiologischer Fachexpertise erfordern würde. Diesen Mehraufwand kontinuierlich und zusätzlich in den Arbeitsalltag eines Radiologie-Teams zu integrieren, scheint in der praktischen Umsetzung nur bedingt realisierbar. Für die Zweitbegutachtung von Befunden sind ausreichend Zeitkontingente einzuplanen und personelle Ressourcen entsprechend bereitzustellen. Es ist dringend darauf zu achten, dass die Integration einer systematischen Zweitbegutachtung, in diesem Fall durch das RADPEER™-System, in den Arbeitsalltag radiologisch-ärztlicher Fachpersonen die Qualität aktuell zu erstellender Befunde nicht beeinträchtigt. Zudem ist die bereits bestehende überwiegend hohe Arbeitsbelastung zu berücksichtigen (Maurer et al., 2021).

Wird von einer Zweitbegutachtung des gesamten Befundvolumens abgesehen, könnte in Erwägung gezogen werden, lediglich einen Teil aller Befunde systematisch zweitbegutachten zu lassen. Für das in dieser Studie untersuchte Befundspektrum und -volumen wurden rund 120 benötigte Stunden ermittelt, würden 10% der fünf analysierten Untersuchungsarten (diese machten 60% des Gesamtvolumens aus) einer Zweitbegutachtung mittels RADPEER™ unterzogen.

Eine Auswahl, welche Art von Befunden zweitbegutachtet werden sollte, kann in radiologischen Institutionen jeweils individuell entschieden werden. Der Fokus sollte dabei auf eine Zweitbegutachtung derjenigen Untersuchungen gelegt werden, bei denen das Aufdecken einer Unstimmigkeit den grössten Nutzen für die Patientin oder den Patienten bietet. Das RADPEER™-System wurde entwickelt, um Muster bei häufig festgestellten Fehlern zu erkennen und aus Fehlern der Vergangenheit zu lernen. Die Verwendung eines solchen Systems unterstützt beim Aufdecken von Unstimmigkeiten und bietet damit eine gute Möglichkeit, zu einer Verbesserung der Qualität radiologischer Befunde und damit einem höheren Patient\*innennutzen beizutragen (Chaudhry et al., 2020). Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass es neben dem verwendeten RADPEER™-Scoring-System ebenfalls andere gut etablierte Massnahmen und Möglichkeiten gibt, die zu einer Verbesserung der radiologischen Befundqualität beitragen können. So kann beispielsweise unter anderem in Tumorboards oder klinischen Röntgenbesprechungen durch weitere radiologisch-ärztliche Fachpersonen ein zusätzlicher Blick auf radiologische Untersuchungen geworfen werden.

Die Studie hat verschiedene Limitationen. Zunächst ist zu berücksichtigen, dass das verwendete System grundsätzlich während des Arbeitsalltags in radiologischen Kliniken oder Praxen, parallel zum laufenden Befundprozess, angewendet werden sollte. Dies wurde in dieser Studie nicht umgesetzt. Die zeitlichen Ressourcen und Expertise der Radiolog\*innen werden hauptsächlich für die Befundung und zudem für die oben genannten regelmässig stattfindenden Tumorboards und Röntgenbesprechungen eingesetzt. Insofern ist die Anzahl an Fachexpert\*innen, die im Rahmen dieser Studie eine Zweitbegutachtung vorgenommen haben, vergleichsweise klein. So verfügen Untersuchungen, die bisher mittels RADPEER™ an einer großen Anzahl von Institutionen und über einen Zeitraum mehrerer Jahre gesammelt wurden, über ein umfangreiches Datenvolumen. Da die analysierte Stichprobe in dieser Studie klein war, sollte bei der Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich der kleinen Teilmenge von Befunden, die der Kategorie 2 oder 3 zugeteilt wurden, somit Vorsicht geboten sein. Primäres Ziel der Studie war es jedoch herauszufinden, ob eine systematische Zweitbegutachtung eines bestimmten Prozentsatzes (0,5%, 1%, 2%, 3%, 5%, 10%, 100%) des Gesamtvolumens radiologischer Untersuchungen in einer grossen Klinik realisierbar ist, insbesondere unter Berücksichtigung der Ressourcenknappheit an radiologischen Fachpersonen, die eine Zweitbegutachtung vornehmen. Als Limitation ist zudem zu nennen, dass in der Studie lediglich fünf verschiedene Untersuchungsarten berücksichtigt wurden, die ca. 60% des Gesamtvolumens der radiologischen Universitätsklinik ausmachten. Die Intention war es, eine Stichprobe besonders häufiger Untersuchungsarten zu verwenden. Es liessen sich weitere Untersuchungsarten einbinden, was entsprechend mit einem höheren Personalaufwand einherginge (Maurer et al., 2021).

**Zusammenfassend** bleibt in Bezug auf Publikation II festzuhalten, dass die Durchführung einer retrospektiven Zweitbegutachtung radiologischer Befunde mittels des verwendeten Scoring-Systems mit einem deutlichen zeitlichen Mehraufwand verbunden ist. Wird der Prozess der Zweitbegutachtung jedoch dahingehend organisiert, dass lediglich ein bestimmter Anteil des Gesamtbefundvolumens einer Institution zweitbegutachtet würde, wäre der Aufwand vertretbar. Die Vorteile, die in erster Linie in einer höheren Befundqualität und damit Patient\*innen zugutekommen, dürften dann den Mehraufwand rechtfertigen, der sich aufgrund einer systematischen Zweitbegutachtung durch radiologisch-ärztliche Fachpersonen ergibt.

Neben der radiologischen Fachexpertise ist auch die Verwendung medizinisch-technischer Ressourcen bestmöglich zu planen. Die dritte Studie im Rahmen dieser Dissertation widmete sich der Frage, wie lange MRT-Untersuchungen tatsächlich dauern und ob allenfalls Optimierungspotenzial bei der Planung und Durchführung von Untersuchungen an MRT-Scannern besteht. Vor dem

Hintergrund einer stetig zunehmenden Nachfrage radiologischer Untersuchungen und der Forderung eines effizienten Ressourceneinsatzes wurde dieses Thema aufgegriffen. Prozessanalysen und -anpassungen werden in der Radiologie seit vielen Jahren durchgeführt. Sie konnten und können zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Ablauforganisation beitragen und einen deutlichen Mehrwert für die Behandlung von Patient\*innen nachweisen (Rosenkrantz et al., 2015).

Mit der in dieser Studie verwendeten Software-Applikation konnte ein Volumen von mehreren tausend Untersuchungen abgefragt werden. So wurde ein detaillierter Überblick über die Nutzung zweier klinisch stark frequentierter MRT-Scanner im Hinblick auf die Untersuchungsarten, Untersuchungsdauern und Wechselzeiten zwischen aufeinanderfolgenden MRT-Untersuchungen ermöglicht. Dabei konnte festgestellt werden, dass Untersuchungsdauern inklusive einer Vor- und Nachbereitungszeit bei den zehn häufigsten Untersuchungsarten rund zur Hälfte (1,5T: 54,5%; 3T: 51,9%) innerhalb der vorgesehenen Planzeit lagen. Im Durchschnitt entsprachen die Planzeiten damit den tatsächlichen Untersuchungsdauern.

Da jene Untersuchungsdauern abhängig von der Untersuchungsart unterschiedlich stark von der Planzeit abwichen, lässt sich diskutieren, inwieweit sich Optimierungspotenzial realisieren ließe, würden Planzeiten einzelner Untersuchungsarten angepasst. Untersuchungen des Dünndarms (1,5T: 49:45 Minuten) könnten beispielsweise mit 50 Minuten anstatt von 60 Minuten geplant werden. Hingegen sollte bei bestimmten Untersuchungsarten die Planzeit erhöht werden, so bietet sich bspw. bei Knie-Untersuchungen im 3T MRT-Scanner an, die Planzeit von 30 Minuten auf 35 Minuten anzupassen, da Untersuchungen im Median hier 33:15 Minuten benötigten. Auf Basis der Studienergebnisse wurden exemplarisch für die zehn häufigsten Untersuchungsarten beider Scanner die Planzeiten angepasst, um mögliches Optimierungspotenzial zu evaluieren. Dabei wurden die ermittelten Untersuchungsdauern auf ganze Minuten aufgerundet. Für das Untersuchungsspektrum im 1,5T MRT-Scanner wurden rund 35 Stunden, im 3T MRT-Scanner 13 Stunden ermittelt. Dies zeigt, dass Anpassungen der Planzeiten für die evaluierte radiologische Klinik ein geringes Optimierungspotenzial bieten. Dabei sollte jedoch abgewogen werden, inwieweit eine minutengenaue Planung praxistauglich ist oder eine etwa 5 Minuten-Taktung organisatorisch besser umzusetzen ist (Meyl et al., 2021).

Optimierungspotenzial ließe sich freisetzen, wenn durch effiziente Prozessabläufe die Zeit der Vor- und Nachbereitung reduziert würde. An dieser Stelle sei eine Studie erwähnt, die zu dem Ergebnis kam, dass bei Untersuchungsabläufen in der MRT-Diagnostik ca. ein Drittel der Zeit keinen unmittelbaren Nutzen für die Patientin oder den Patienten generierte, sog. «non-value-ad-

ded time» (Beker et al., 2017). Die Organisation der Radiologie sollte dahingehend gestaltet werden, Leerstandszeiten bei MRT-Scannern möglichst gering zu halten. So können beispielsweise eine hohe Standardisierung von Prozessen, Klarheit bzgl. der Verantwortlichkeiten oder eine Optimierung der MRT-Untersuchungsprotokolle zu einer Verbesserung von Prozessabläufen beitragen (Kruskal, Reedy, Pascal, Rosen, & Boiselle, 2012; Rosenkrantz et al., 2015).

War bei aufeinanderfolgenden Untersuchungen aufgrund verschiedener Untersuchungsarten ein Austausch der MRT-Spule erforderlich, hatte dies bei häufig vorkommenden Kombinationen keinen signifikanten Einfluss auf die Dauer der Wechselzeit (Meyl et al., 2021). Im Zusammenhang mit den Wechselzeiten zwischen Untersuchungen ist zu berücksichtigen, wie viel Personal für die Vor- und Nachbereitung und während der Untersuchung eingesetzt wird. Es bietet sich an zu prüfen, ob mit einem höheren Personaleinsatz eine Reduzierung der Zeiten zwischen den Untersuchungen erreicht werden kann. Dabei sind die Personalkosten dem Einsparpotenzial durch verkürzte Wechselzeiten gegenüberzustellen. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass die ermittelten geringfügigen Differenzen bei den Wechselzeiten, bei erforderlichem bzw. auch nicht erforderlichem Austausch der MRT-Spule, auf die Personalausstattung zurückzuführen sein könnte. Während der Kernarbeitszeiten kamen grundsätzlich jeweils zwei medizinisch-technische Fachpersonen je Scanner zum Einsatz. So waren bzw. sind bei einem Untersuchungswechsel eine Vor- und Nachbereitung der Patientin oder des Patienten und die entsprechende Präparation des Raumes zur gleichen Zeit möglich (Meyl et al., 2021).

Eine der Limitationen dieser Studie ist, dass die verwendete Software zum Zeitpunkt der Abfrage bestimmte Detailinformationen nicht zur Verfügung stellte. So liessen sich Informationen zur Mobilität der Patientin oder des Patienten, ob die Zuweisung ambulant oder stationär erfolgte und ob die Untersuchung mit oder ohne intravenös verabreichtem Kontrastmittel vorgenommen wurde, nicht abfragen. Diese Faktoren dürften sich jedoch auch auf die Wechselzeiten von Untersuchungen auswirken. Wechselzeiten dürften in Institutionen mit ausschliesslich mobilen, ambulanten Patient\*innen entsprechend kürzer ausfallen. Die Ergebnisse der Studie sind somit eingeschränkt auf ambulante Praxen übertragbar (Meyl et al., 2021). Es bietet sich an, im Rahmen weiterführender Studien die konkreten Ursachen für überdurchschnittlich lange Wechselzeiten bei bestimmten Kombinationen zu untersuchen, um solche nach Möglichkeit zu vermeiden.

**Zusammenfassend** bleibt in Bezug auf Publikation III festzuhalten, dass die Anwendung der Software-Applikation einen detaillierten Überblick der tatsächlichen Nutzung zweier stark frequentierter MRT-Scanner ermöglichte. Es konnten wertvolle Erkenntnisse in Bezug auf die Untersu-

chungsarten und deren jeweilige Untersuchungsdauern sowie Wechselzeiten zwischen Untersuchungen gewonnen werden. Für die untersuchte Klinik wurde ein geringes Optimierungspotenzial ermittelt, welches in einer massvollen Anpassung der Planzeiten einzelner Untersuchungsarten lag. War bei aufeinanderfolgenden Untersuchungen ein Austausch der MRT-Spule erforderlich, hatte dies bei einer Auswahl analysierter Kombinationen einen nur kleinen Effekt auf die Wechselzeiten.

Abschliessend kann resümiert werden, dass sich für Mitarbeitende der Radiologie, seien sie als medizinisch-technische\*r Radiologieassistent\*in, Radiolog\*in, im Management oder anderweitig in der Radiologie engagiert, die Möglichkeit bietet, auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse, bestimmte Anpassungen in ihrer eigenen Institution vorzunehmen. So können die Fokussierung auf definierte Befundspektren oder die systematische Einführung von Zweitbegutachtungen bei einer Auswahl von Befunden dazu beitragen, die einleitend erwähnten Anforderungen zu erfüllen und Herausforderungen zu meistern. Die Ergebnisse betreffend Nutzung von MRT-Scannern sollten zur Reflektion animieren. Trotz komplexer Prozesse und Abhängigkeiten im Klinikalltag kann daran gearbeitet werden, Optimierungspotenziale zu ergründen und sodann Prozesse anzupassen. Eine Anpassung, wo immer möglich, mit dem Ziel einer kontinuierlichen Verbesserung und Weiterentwicklung, zu Gunsten der Patient\*innen, ihrer Zuweisenden sowie allen in der Radiologie Beschäftigten.

## 5 Literaturverzeichnis

- Balogh, E. P., Miller, B. T., Ball, J. R., Committee on Diagnostic Error in Health Care, Board on Health Care Services, Institute of Medicine, & The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (Eds.). (2015). *Improving Diagnosis in Health Care*. National Academies Press (US).
- Beker, K., Garces-Descovich, A., Mangosing, J., Cabral-Goncalves, I., Hallett, D., & Mortelet, K. J. (2017). Optimizing MRI Logistics: Prospective Analysis of Performance, Efficiency, and Patient Throughput. *AJR. American journal of roentgenology*, 209(4), 836–844. <https://doi.org/10.2214/AJR.16.17698>
- Bell, M. E., & Patel, M. D. (2014). The degree of abdominal imaging (AI) subspecialization of the reviewing radiologist significantly impacts the number of clinically relevant and incidental discrepancies identified during peer review of emergency after-hours body CT studies. *Abdominal imaging*, 39(5), 1114–1118. <https://doi.org/10.1007/s00261-014-0139-4>
- Bosmans, J. M., Weyler, J. J., De Schepper, A. M., & Parizel, P. M. (2011). The radiology report as seen by radiologists and referring clinicians: results of the COVER and ROVER surveys. *Radiology*, 259(1), 184–195. <https://doi.org/10.1148/radiol.10101045>
- Busse, R., Klazinga, N., Panteli, D., & Quentin, W. (Eds.). (2019). *Improving healthcare quality in Europe: Characteristics, effectiveness and implementation of different strategies*. European Observatory on Health Systems and Policies.
- Cassel, C. K., & Reuben, D. B. (2011). Specialization, subspecialization, and subspecialization in internal medicine. *The New England journal of medicine*, 364(12), 1169–1173. <https://doi.org/10.1056/NEJMs1012647>
- Chai, J. L., Boland, G. W., Simmons, W., Cochon, L., Nardoza, K., Curley, P. J., & Khorasani, R. (2021). Integration of a Community Radiology Division into a Subspecialty-Focused Academic Radiology Department. *Current problems in diagnostic radiology*, S0363-0188(21)00042-6. Advance online publication. <https://doi.org/10.1067/j.cpradiol.2021.03.003>
- Chaudhry, H., Del Gaizo, A. J., Frigini, L. A., Goldberg-Stein, S., Long, S. D., Metwalli, Z. A., Morgan, J. A., Nguyen, X. V., Parker, M. S., & Abujudeh, H. (2020). Forty-One Million RADPEER Reviews Later: What We Have Learned and Are Still Learning. *Journal of the American College of Radiology : JACR*, 17(6), 779–785. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2019.12.023>
- Chetlen, A. L., Petscavage-Thomas, J., Cherian, R. A., Ulano, A., Nandwana, S. B., Curci, N. E., Swanson, R. T., Artrip, R., Bathala, T. K., Gettle, L. M., & Frigini, L. A. (2020). Collaborative Learning in Radiology: From Peer Review to Peer Learning and Peer Coaching. *Academic radiology*, 27(9), 1261–1267. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2019.09.021>
- European Society of Radiology 2009 (2010). The future role of radiology in healthcare. *Insights into imaging*, 1(1), 2–11. <https://doi.org/10.1007/s13244-009-0007-x>
- Geijer, H., & Geijer, M. (2018). Added value of double reading in diagnostic radiology, a systematic review. *Insights Imaging*, 9(3), 287–301. <https://doi.org/10.1007/s13244-018-0599-0>

- Goldberg-Stein, S., Frigini, L. A., Long, S., Metwalli, Z., Nguyen, X. V., Parker, M., & Abujudeh, H. (2017). ACR RADPEER Committee White Paper with 2016 Updates: Revised Scoring System, New Classifications, Self-Review, and Subspecialized Reports. *J Am Coll Radiol*, *14*(8), 1080-1086. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2017.03.023>
- Insel Gruppe AG, (2021). Jahresbericht 2020, Bern: Insel Gruppe AG.
- Jackson, V. P., Cushing, T., Abujudeh, H. H., Borgstede, J. P., Chin, K. W., Grimes, C. K., Larson, D. B., Larson, P. A., Pyatt, R. S., Jr, & Thorwarth, W. T., Jr (2009). RADPEER scoring white paper. *Journal of the American College of Radiology : JACR*, *6*(1), 21–25. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2008.06.011>
- Jones, S., Cournane, S., Sheehy, N., & Hederman, L. (2016). A Business Analytics Software Tool for Monitoring and Predicting Radiology Throughput Performance. *J Digit Imaging*, *29*(6), 645-653. <https://doi.org/10.1007/s10278-016-9871-3>
- Kansagra, A. P., Liu, K., & Yu, J. P. (2016). Disruption of Radiologist Workflow. *Curr Probl Diagn Radiol*, *45*(2), 101-106. <https://doi.org/10.1067/j.cpradiol.2015.05.006>
- Kruskal, J. B., Reedy, A., Pascal, L., Rosen, M. P., & Boiselle, P. M. (2012). Quality initiatives: lean approach to improving performance and efficiency in a radiology department. *Radiographics*, *32*(2), 573-587. <https://doi.org/10.1148/rg.322115128>
- Lam, C. Z., Nguyen, H. N., & Ferguson, E. C. (2016). Radiology Resident' Satisfaction With Their Training and Education in the United States: Effect of Program Directors, Teaching Faculty, and Other Factors on Program Success. *AJR Am J Roentgenol*, *206*(5), 907-916. <https://doi.org/10.2214/ajr.15.15020>
- Lauritzen, P. M., Hurlen, P., Sandbaek, G., & Gulbrandsen, P. (2015). Double reading rates and quality assurance practices in Norwegian hospital radiology departments: two parallel national surveys. *Acta Radiol*, *56*(1), 78-86. <https://doi.org/10.1177/0284185113519988>
- Levin, D. C., Rao, V. M., Parker, L., & Frangos, A. J. (2013). Analysis of radiologists' imaging workload trends by place of service. *J Am Coll Radiol*, *10*(10), 760-763. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2013.02.016>
- Liebscher, L., Sherry, C., Breslau, J., Dodd, G., Fleishon, H., Larson, P., Meltzer, C., & Strax, R. (2012). The general radiologist in the 21st century. *Journal of the American College of Radiology : JACR*, *9*(8), 554–559. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2012.05.016>
- Lindgren, E. A., Patel, M. D., Wu, Q., Melikian, J., & Hara, A. K. (2014). The clinical impact of subspecialized radiologist reinterpretation of abdominal imaging studies, with analysis of the types and relative frequency of interpretation discrepancies. *Abdom Imaging*, *39*(5), 1119-1126. <https://doi.org/10.1007/s00261-014-0140-y>
- Maurer, M. H., Brönnimann, M., Schroeder, C., Ghadamgahi, E., Streitparth, F., Heverhagen, J. T., Leichtle, A., de Bucourt, M., & Meyl, T. P. (2021). Time Requirement and Feasibility of a Systematic Quality Peer Review of Reporting in Radiology. Zeitaufwand und Machbarkeit einer systematischen Qualitätsbeurteilung radiologischer Befunde. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, *193*(2), 160–167. <https://doi.org/10.1055/a-1178-1113>
- Meyl, T. P., de Bucourt, M., Berghöfer, A., Huppertz, A., Rosenkrantz, A. B., Streitparth, F., Heverhagen, J. T., & Maurer, M. H. (2019). Subspecialization in radiology: effects on the diagnostic spectrum of radiologists and report turnaround time in a Swiss university hospital. *La Radiologia medica*, *124*(9), 860–869. <https://doi.org/10.1007/s11547-019-01039-3>

- Meyl, T. P., Berghöfer, A., Blatter, T., Heverhagen, J. T., de Bucourt, M., & Maurer, M. H. (2021). Software-Based Evaluation of Optimization Potential for Clinical MRI Scanners in Radiology. Software-basierte Evaluation des Optimierungspotenzials bei klinischen MRT-Scannern in der Radiologie. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, Advance online publication. <https://doi.org/10.1055/a-1659-8821>
- Narayan, A., Cinelli, C., Carrino, J. A., Nagy, P., Coresh, J., Riese, V. G., & Durand, D. J. (2015). Quality Measurements in Radiology: A Systematic Review of the Literature and Survey of Radiology Benefit Management Groups. *J Am Coll Radiol*, *12*(11), 1173-1181.e1123. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2015.06.038>
- Pathik, B., De Pasquale, C. G., McGavigan, A. D., Sinhal, A., Vaile, J., Tideman, P. A., Jones, D., Bridgman, C., Selvanayagam, J. B., Heddle, W., & Chew, D. P. (2016). Subspecialisation in cardiology care and outcome: should clinical services be redesigned, again?. *Internal medicine journal*, *46*(2), 158–166. <https://doi.org/10.1111/imj.12909>
- Pianykh, O. S., Jaworsky, C., Shore, M. T., & Rosenthal, D. I. (2017). Improving Radiology Workflow with Automated Examination Tracking and Alerts. *J Am Coll Radiol*, *14*(7), 937-943. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2017.03.019>
- Qiu, H., Wang, D., Wang, Y., & Yin, Y. (2019). MRI appointment scheduling with uncertain examination time. *Journal of Combinatorial Optimization*, *37*(1), 62-82. <https://doi.org/10.1007/s10878-017-0210-5>
- Rawson, J. V., Kannan, A., & Furman, M. (2016). Use of Process Improvement Tools in Radiology. *Curr Probl Diagn Radiol*, *45*(2), 94-100. <https://doi.org/10.1067/j.cpradiol.2015.09.004>
- Recht, M. P., Block, K. T., Chandarana, H., Friedland, J., Mullholland, T., Teahan, D., & Wiggins, R. (2019). Optimization of MRI Turnaround Times Through the Use of Dockable Tables and Innovative Architectural Design Strategies. *AJR Am J Roentgenol*, *212*(4), 855-858. <https://doi.org/10.2214/AJR.18.20459>
- Rosenkrantz, A. B., Lawson, K., Ally, R., Chen, D., Donno, F., Rittberg, S., Rodriguez, J., & Recht, M. P. (2015). Focused process improvement events: sustainability of impact on process and performance in an academic radiology department. *Journal of the American College of Radiology : JACR*, *12*(1), 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2014.08.016>
- Rosenkrantz, A. B., Wang, W., Hughes, D. R., & Duszak, R., Jr. (2018). Generalist versus Subspecialist Characteristics of the U.S. Radiologist Workforce. *Radiology*, *286*(3), 929-937. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017171684>
- Rubin, G. D. (2017). Costing in Radiology and Health Care: Rationale, Relativity, Rudiments, and Realities. *Radiology*, *282*(2), 333-347. <https://doi.org/10.1148/radiol.2016160749>
- Schrapppe, M., Müller, H., & Hecker, R. (2020). Patientensicherheit – aktuelle Probleme und Herausforderungen [Patient safety: current problems and challenges]. *Der Internist*, *61*(5), 470–474. <https://doi.org/10.1007/s00108-020-00779-z>
- Smith-Bindman, R., Miglioretti, D. L., Johnson, E., Lee, C., Feigelson, H. S., Flynn, M., Greenlee, R. T., Kruger, R. L., Hornbrook, M. C., Roblin, D., Solberg, L. I., Vanneman, N., Weinmann, S., & Williams, A. E. (2012). Use of diagnostic imaging studies and associated radiation exposure for patients enrolled in large integrated health care systems, 1996-2010. *JAMA*, *307*(22), 2400–2409. <https://doi.org/10.1001/jama.2012.5960>
- Smith, G. G., Thrall, J. H., Pentecost, M. J., Fleishon, H. B., Knipp, H. C., Adams, M. J., Rumack, C. M., Blumberg, A. L., Hoppe, R. T., Sunshine, J. H., & Moser, J. W. (2009).

- Subspecialization in radiology and radiation oncology. *Journal of the American College of Radiology : JACR*, 6(3), 147–159.e4. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2008.11.025>
- Soffa, D. J., Lewis, R. S., Sunshine, J. H., & Bhargavan, M. (2004). Disagreement in interpretation: a method for the development of benchmarks for quality assurance in imaging. *J Am Coll Radiol*, 1(3), 212-217. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2003.12.017>
- Stern, C., Boehm, T., Seifert, B., & Kawel-Boehm, N. (2018). Subspecialized Radiological Reporting Expedites Turnaround Time of Radiology Reports and Increases Productivity. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 190(7), 623-629. <https://doi.org/10.1055/s-0044-100728>
- Swensen, S. J., & Johnson, C. D. (2005). Radiologic quality and safety: mapping value into radiology. *J Am Coll Radiol*, 2(12), 992-1000. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2005.08.003>
- Vosshenrich, J., Brantner, P., Cyriac, J., Boll, D. T., Merkle, E. M., & Heye, T. (2021). Quantifying Radiology Resident Fatigue: Analysis of Preliminary Reports. *Radiology*, 298(3), 632-639. <https://doi.org/10.1148/radiol.2021203486>
- Walker, E. A., Petscavage-Thomas, J. M., Fotos, J. S., & Bruno, M. A. (2017). Quality metrics currently used in academic radiology departments: results of the QUALMET survey. *Br J Radiol*, 90(1071), 20160827. <https://doi.org/10.1259/bjr.20160827>
- Wessman, B. V., Moriarity, A. K., Ametli, V., & Kastan, D. J. (2014). Reducing barriers to timely MR imaging scheduling. *Radiographics*, 34(7), 2064-2070. <https://doi.org/10.1148/rg.347140025>
- World Health Organisation (WHO). (2021). Patient safety, Data and statistics from: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/Health-systems/patient-safety/data-and-statistics>

## **Eidesstattliche Versicherung**

„Ich, Tobias Philipp Meyl, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: «Transformation zur Subspezialisierung, Zweitbegutachtung radiologischer Befunde und Identifikation von Optimierungspotenzial bei der Nutzung von MRT-Scannern; Transformation to subspecialization, second opinion of radiological findings and identification of optimization potential in the use of MRI scanners» selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autor\*innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Erstbetreuer, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

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

Datum:

Unterschrift:

## **Anteilserklärung an den erfolgten Publikationen**

Tobias Philipp Meyl hatte folgenden Anteil an den drei Publikationen:

### **Publikation I**

**Meyl, T. P.**, de Bucourt, M., Berghöfer, A., Huppertz, A., Rosenkrantz, A. B., Streitparth, F., Heverhagen, J. T., & Maurer, M. H. (2019). Subspecialization in radiology: effects on the diagnostic spectrum of radiologists and report turnaround time in a Swiss university hospital. *La Radiologia medica*, 124(9), 860–869.

Beitrag im Einzelnen:

- Idee, Planung und Umsetzung der Studie
- Konzeption und Festlegung des methodischen Vorgehens
- Beschaffung, Analyse und Auswertung der Daten
- Anmerkung: Betreffend statistischer Auswertungen und Anwendung entsprechender Tests wurde ein reguläres Beratungsangebot des Instituts für Mathematische Statistik und Versicherungslehre der Universität Bern in Anspruch genommen.
- Erstellen aller Abbildungen und Ergebnistabellen
- Interpretation der Ergebnisse
- Koordination und Abstimmung zwischen den Koautor\*innen
- Verfassen der ersten Manuskriptversion (Entwurf)
- Überarbeitungen des Manuskripts nach Anpassungsvorschlägen aller Koautor\*innen und im Rahmen des Peer-Review-Prozesses
- Verfassen der finalen Manuskriptversion
- Anmerkung: Die finale englische Manuskriptversion wurde von einer professionellen Übersetzerin Korrektur gelesen.

### **Publikation II**

Maurer, M. H., Brönnimann, M., Schroeder, C., Ghadamgahi, E., Streitparth, F., Heverhagen, J. T., Leichtle, A., de Bucourt, M., & **Meyl, T. P.** (2021). Time Requirement and Feasibility of a Systematic Quality Peer Review of Reporting in Radiology. Zeitaufwand und Machbarkeit einer systematischen Qualitätsbeurteilung radiologischer Befunde. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 193(2), 160–167.

Beitrag im Einzelnen:

- Planung der Studie und Koordination betreffend Umsetzung
- Review betreffend Interpretation der Ergebnisse und Diskussion
- Koordination und Abstimmung zwischen den Studienteilnehmenden und Koautor\*innen
- Kritische Revision der Manuskriptversionen
- Überarbeitungen des Manuskripts nach Anpassungsvorschlägen aller Koautor\*innen und im Rahmen des Peer-Review-Prozesses
- Review der finalen Manuskriptversion
- Anmerkung: Die finale englische Manuskriptversion wurde von einer professionellen Übersetzerin Korrektur gelesen.

### **Publikation III**

**Meyl, T. P.,** Berghöfer, A., Blatter, T., Heverhagen, J. T., de Bucourt, M., & Maurer, M. H. (2021). Software-Based Evaluation of Optimization Potential for Clinical MRI Scanners in Radiology. Software-basierte Evaluation des Optimierungspotenzials bei klinischen MRT-Scannern in der Radiologie. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, Advance online publication.

Beitrag im Einzelnen:

- Idee, Planung und Umsetzung der Studie
- Konzeption und Festlegung des methodischen Vorgehens
- Beschaffung, Analyse und Auswertung der Daten
- Erstellen aller Abbildungen und Ergebnistabellen
- Interpretation der Ergebnisse
- Koordination und Abstimmung zwischen den Koautor\*innen
- Verfassen der ersten Manuskriptversion (Entwurf)
- Koordination und Abstimmung zwischen den Koautor\*innen
- Überarbeitungen des Manuskripts nach Anpassungsvorschlägen aller Koautor\*innen und im Rahmen des Peer-Review-Prozesses
- Verfassung der finalen Manuskriptversion

---

Unterschrift, Datum und Stempel des erstbetreuenden Hochschullehrers

---

Unterschrift des Doktoranden

## Druckexemplar der ausgewählten Publikation I

«Subspezialisierung in der Radiologie: Auswirkungen auf das Befundungsspektrum von Radiolog\*innen sowie auf Befundlaufzeiten in einem Schweizer Universitätsklinikum»

**Meyl, T. P.**, de Bucourt, M., Berghöfer, A., Huppertz, A., Rosenkrantz, A. B., Streitparth, F., Heverhagen, J. T., & Maurer, M. H. (2019). Subspecialization in radiology: effects on the diagnostic spectrum of radiologists and report turnaround time in a Swiss university hospital. *La Radiologia medica*, 124(9), 860–869.

<https://doi.org/10.1007/s11547-019-01039-3>

Reproduced with permission from © Springer Nature



# Subspecialization in radiology: effects on the diagnostic spectrum of radiologists and report turnaround time in a Swiss university hospital

Tobias P. Meyl<sup>1</sup> · Maximilian de Bucourt<sup>2</sup> · Anne Berghöfer<sup>3,4</sup> · Alexander Huppertz<sup>4</sup> · Andrew B. Rosenkrantz<sup>5</sup> · Florian Streitparth<sup>6</sup> · Johannes T. Heverhagen<sup>1</sup> · Martin H. Maurer<sup>1</sup> 

Received: 23 January 2019 / Accepted: 11 April 2019 / Published online: 22 April 2019  
© Italian Society of Medical Radiology 2019

## Abstract

**Purpose** To analyze the changes in the work profiles of radiologists and the reporting time after the implementation of professional subspecialization in the radiology department of a Swiss university hospital.

**Methods** In a retrospective analysis, the overall number of different radiologic examinations performed in the department of radiology of the largest Swiss university hospital was documented for 2014 and 2016 before and after the implementation of subspecialized reporting (subspecialities: abdominal, musculoskeletal, cardiothoracic, emergency, and pediatric imaging) in May 2015. For six selected radiologists, the number and types of reported examinations as well as the related radiology report turnaround times (RTATs) were analyzed in detail and compared between the two 1-year periods.

**Results** Overall, there was a significant increase of 10.3% in the total number of examinations performed in the whole department in 2016 compared with 2014. For four of the six radiologists, the range of different types of examinations significantly decreased with the introduction of subspecialized reporting ( $p < 0.05$ ). Furthermore, there was a significant change in the subset of the ten most commonly reported types of examinations reported by each of the six radiologists. Mean overall RTATs significantly increased for five of the six radiologists ( $p < 0.05$ ).

**Conclusions** Implementation of subspecialized reporting led to a change in the structure and a decrease in the range of different examination types reported by each radiologist. Mean RTAT increased for most radiologists. Subspecialized reporting allows the individual radiologist to focus on a special field of professional competence but can result in longer overall RTAT.

**Keywords** Subspecialization · Reporting time · Professional competence · Radiologists

---

✉ Martin H. Maurer  
martin.maurer@insel.ch

Tobias P. Meyl  
tobiasphilipp.meyl@insel.ch

Maximilian de Bucourt  
Maximilian.De-Bucourt@charite.de

Anne Berghöfer  
anne.berghoefer@charite.de

Alexander Huppertz  
ahuppertz@uni-potsdam.de

Andrew B. Rosenkrantz  
andrew.rosenkrantz@nyumc.org

Florian Streitparth  
florian.streitparth@med.uni-muenchen.de

Johannes T. Heverhagen  
johannes.heverhagen@insel.ch

<sup>1</sup> Department of Radiology, Inselspital, Bern University Hospital, University of Bern, Freiburgstrasse 10, 3010 Bern, Switzerland

<sup>2</sup> Department of Radiology, Charité - University Medicine Berlin, Charitéplatz 1, 10117 Berlin, Germany

<sup>3</sup> Department of Social Medicine, Epidemiology and Health Economics, Charité - University Medicine, Luisenstrasse 57, 10117 Berlin, Germany

<sup>4</sup> University Outpatient Clinic, Center of Sports Medicine, Hochschulambulanz der Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, Haus 12, 14469 Potsdam, Germany

<sup>5</sup> Department of Radiology, NYU School of Medicine, NYU Langone Medical Center, 660 First Avenue, 3rd Floor, New York, NY 10016, USA

<sup>6</sup> Department of Radiology, LMU University Hospital, Marchionistr. 15, 81377 Munich, Germany

## Introduction

A high degree of subspecialization among referring physicians from different clinical specialties has implications for radiologists in that it requires increasingly specialized diagnostic skills tailored to the specific needs of referrers [1, 2]. Referring physicians expect radiologic examinations to adhere to high technical standards and expect high-quality radiology reports to be available within a short time [3].

In this era of lower health care spending and reimbursement models mostly based on the payment of fixed amounts per service, efficient organization of examination and reporting workflow becomes essential for both hospital-based and office-based radiologists [4–6]. In Europe, radiology departments and practices organize reporting workflow by imaging modality such as computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI), mammography, and conventional radiography.

An alternative to general reporting is subspecialized reporting. With this option, reporting is organized by organ system such as abdomen, chest, musculoskeletal, and vascular system, and radiologists form teams focusing on the examination of one organ system with any imaging modality [7, 8]. Using subspecialized reporting, radiologists can develop in-depth skills and experience in a specific area, allowing them to better meet the needs of subspecialized referring physicians and ensuring consistently high reporting quality [9, 10]. In addition to improving quality, subspecialized reporting has the potential to also enhance reporting efficiency.

Based on these considerations, the radiologic department of a Swiss university hospital introduced an internal subspecialized examination and reporting system in mid-2015. The subspecialties defined were thoracic and cardiovascular imaging, abdominal and urogenital imaging (including mammography), musculoskeletal imaging, and emergency imaging.

In this study, we analyzed the effects of switching from general to subspecialized reporting on reporting workflow in a representative group of radiologists from our department who worked under both systems during the study period. Specifically, we investigated how the implementation of subspecialized reporting altered the range of types of examinations reported by individual radiologists and reporting efficiency in terms of reporting volumes and radiology report turnaround time (RTAT).

## Materials and methods

We conducted an internal analysis in the radiology department of a Swiss university hospital to compare workflow before and after implementation of subspecialized reporting. This was done by comparing two calendar years, 2014 and

2016. Subspecialized reporting was introduced on May 1, 2015.

Before the introduction of subspecialized reporting in 2015, the radiologists selected for this analysis worked by imaging modality, i.e., CT, MRI, conventional radiography, and mammography. Under the general reporting system, a resident assigned to a given imaging modality generated a preliminary report. The preliminary report was then discussed with the staff or senior radiologist responsible for the respective modality and then finalized by the latter after any necessary editing (see Fig. 1).

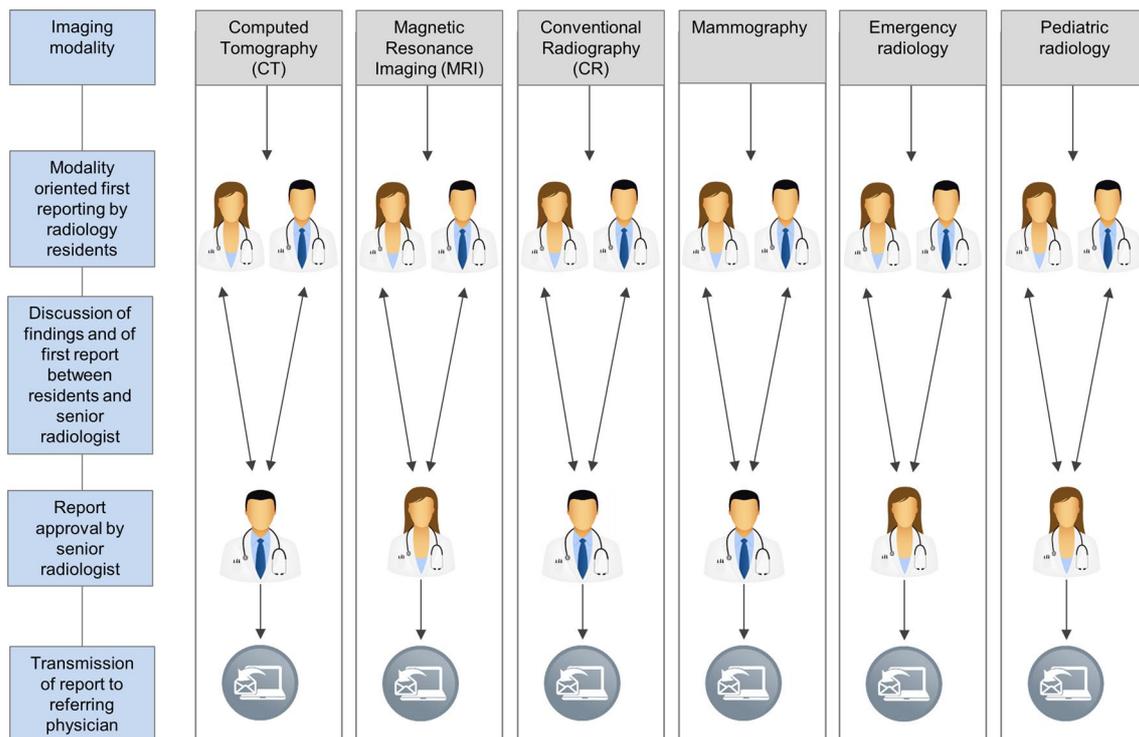
With the introduction of the subspecialized reporting system, teams for different organ systems or body regions were formed, who worked independently of the imaging modality used for the examination. The subspecialties defined were thoracic and cardiovascular imaging, abdominal and urogenital imaging, musculoskeletal imaging, emergency imaging, and pediatric imaging. For reasons of internal organization, abdominal imaging included ear, nose and throat (ENT) imaging and mammography. Reporting workflow was adjusted accordingly, allowing both residents and senior radiologists, who finalized the reports, to focus on the respective subspecialized area (see Fig. 2).

To compare radiologists' reporting profiles before and after implementation of subspecialized reporting, we retrospectively analyzed the types of examinations, their numbers, and the corresponding radiology report turnaround times (RTATs) for a 1-year period of general reporting (2014) and a 1-year period of subspecialized reporting (2016). RTAT was defined as the interval from the end of the examination to finalization of the report.

For detailed analysis, six radiologists who worked in the department throughout the two 1-year periods under investigation were selected. The group of radiologists selected for analysis had to contribute at least 20% of the department's total reporting volume. Four of the six radiologists selected for this analysis were heads of the subspecialized radiologist teams formed when the new system was introduced in 2015.

For the six radiologists selected, we documented the different types of examinations reported by each of them including the number of reports generated for each examination type for the 1-year period of general reporting and the period of subspecialized reporting.

Only examinations performed during standard weekday (Monday through Friday) working hours, i.e., 8:00 a.m. to 5:00 p.m., were included. Examinations completed during off-hours were excluded. Also excluded were neuroradiologic examinations, which are performed by an organizationally independent unit of the radiology department. Finally, we only included types of examinations that were performed during both 1-year periods under investigation. Moreover, the analysis included only examinations for which a finalized report was available within 72 h. This



**Fig. 1** Workflow of reporting *before* the introduction of subspecialized reporting. Reporting is strictly based on the different imaging modalities, i.e., CT, MRI, conventional radiography, and mammography. Under the general reporting system, residents assigned to a given

imaging modality generate a preliminary report. The preliminary report is then discussed with the staff or senior radiologist responsible for the respective modality and then finalized by the latter after any necessary editing

was done to minimize effects of outliers or of imaging material only stored in the picture archiving and communication system (PACS) for documentation purposes on the calculation of average RTATs.

All data for the analysis were extracted from the radiology information system (RIS; Centricity RIS-i 4.2 Plus, GE Medical Systems, Milwaukee, WI, USA). The following data were recorded: type of examination, date of examination, end of examination, beginning and end of reporting time, and finalizer.

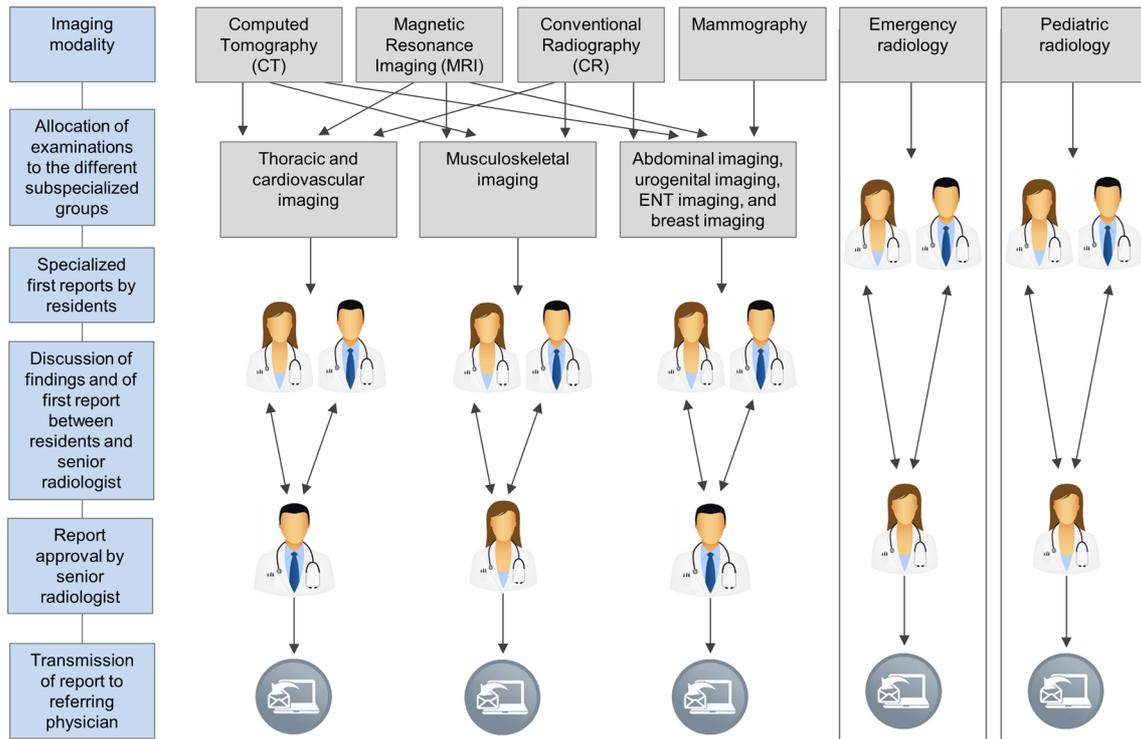
For each report, RTAT was calculated in minutes. RTAT was defined as the period from completion of the examination to the finalization of the report by the responsible radiologist. For comparison of RTATs before and after introduction of subspecialized reporting, the following classification was used: more than 2 h shorter with subspecialized reporting [− −], 1–2 h shorter with subspecialized reporting [−], no more than 1 h longer or shorter with subspecialized reporting [0], 1–5 h longer with subspecialized reporting [+], more than 5 h longer with subspecialized reporting [+ +].

## Statistical analysis

The Cochran–Mantel–Haenszel test was used to test for significant differences in the number of different types of examinations following the introduction of subspecialized reporting for all six radiologists taken together. The Chi-square test was applied to analyze possible differences in the comparison of individual radiologists.

Changes in the range of examinations reported by each radiologist in terms of a shift toward a higher share of subspecialized imaging studies were assessed using a one-sided Cochran–Mantel–Haenszel test. The impact of subspecialized reporting on the range of types of imaging studies reported by each radiologist was assessed by the Chi-square test.

Whether subspecialized reporting had a significant effect on RTAT was tested for each radiologist using a two-tailed Mann–Whitney–Wilcoxon test and was based on an analysis of the subset of the 10 most common types of imaging studies reported by that radiologist in 2016.



**Fig. 2** Workflow of reporting *after* the introduction of subspecialized reporting. With the introduction of the subspecialized reporting system, teams for different organ systems or body regions were formed, who worked independently of the imaging modality used for the examination. The subspecialties defined were thoracic and cardio-

vascular imaging, abdominal and urogenital imaging (including ENT imaging and breast imaging), musculoskeletal imaging, emergency imaging, and pediatric imaging. Both residents and senior radiologists focus on the respective subspecialized area

Statistical significance was assumed for  $p < 0.05$ . All data were recorded and analyzed using Excel 2010 for Windows (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Statistical calculations were done using the “R” software (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria).

**Results**

We included a total of 67,585 reports from 2014 and 72,224 reports from 2016. During both 1-year periods, roughly 20% of the department’s reporting volume was contributed by the six radiologists selected for detailed analysis (see Table 1). The proportion of reports finalized within the evaluated 72-h

period was 97.8% in the full year before and 95.2% in the full year after implementation of a subspecialized reporting.

For each of the six radiologists, introduction of the subspecialized system led to an approximately 25% reduction in the range of examination types reported. The reduction was statistically significant for five of the six radiologists ( $p < 0.05$ , see Table 2).

This reduction was associated with an increase in the share of reports pertaining to the respective subspecialty for four of the six radiologists. For these four radiologists, 92–98% of their reporting volumes were accounted for by imaging studies in their respective subspecialties (see radiologists A, C, D, and F in Fig. 3). In contrast, there were no relevant changes in the proportion of subspecialized reports for radiologists B and E, for whom subspecialized reports

**Table 1** Number of radiologic examinations performed by the radiology department as a whole and the six radiologists included in the present analysis during the two 1-year periods compared (general reporting system in 2014 vs. subspecialized reporting system in 2016)

Number of radiologic reports	2014 (Generalized reporting)	2016 (Subspecialized reporting)	Δ absolute	Δ (%)
Entire radiology department	67’585	72’224	4’639	6.9
Six radiologists in study	14’950	15’174	224	1.5

**Table 2** Number of types of imaging examinations reported by the six selected radiologists before (full year 2014) and after (full year 2016) introduction of subspecialized reporting

Radiologist	Year 2014	Year 2016	$\Delta$ absolute	$\Delta$ (%)	<i>p</i> value
A	105	74	−31	−30	<0.05
B	87	63	−24	−28	<0.05
C	82	54	−28	−34	<0.05
D	79	71	−8	−10	0.28
E	77	60	−17	−22	<0.05
F	60	43	−17	−28	<0.05

already accounted for 98 and 100%, respectively, of their overall reporting before introduction of the subspecialized reporting system.

In detail, subspecialized reporting led to the following changes in the distribution of examination types reported by each radiologist and RTATs. These data are based on the analysis of the subset of the 10 most common imaging studies reported by each radiologist (see Table 3).

### Radiologist A

Radiologist A specialized in abdominal and urogenital imaging including breast and ENT imaging. Following introduction of subspecialized reporting, this radiologist's 10 most commonly reported types of examinations accounted for 78.1% of his/her overall reporting volume in his/her specialized area. RTATs were longer for 7 of the 10 most common types of examinations, and the difference was statistically

significant for five of the seven examination types with longer RTATs ( $p < 0.05$ ).

### Radiologist B

Radiologist B specialized in emergency imaging. The 10 types of examinations most commonly reported by radiologist B in 2016 accounted for 66.4% of his/her total reporting. In this subset, RTATs were significantly shorter for 4 of the 10 examination types under the subspecialized reporting system ( $p < 0.05$ ).

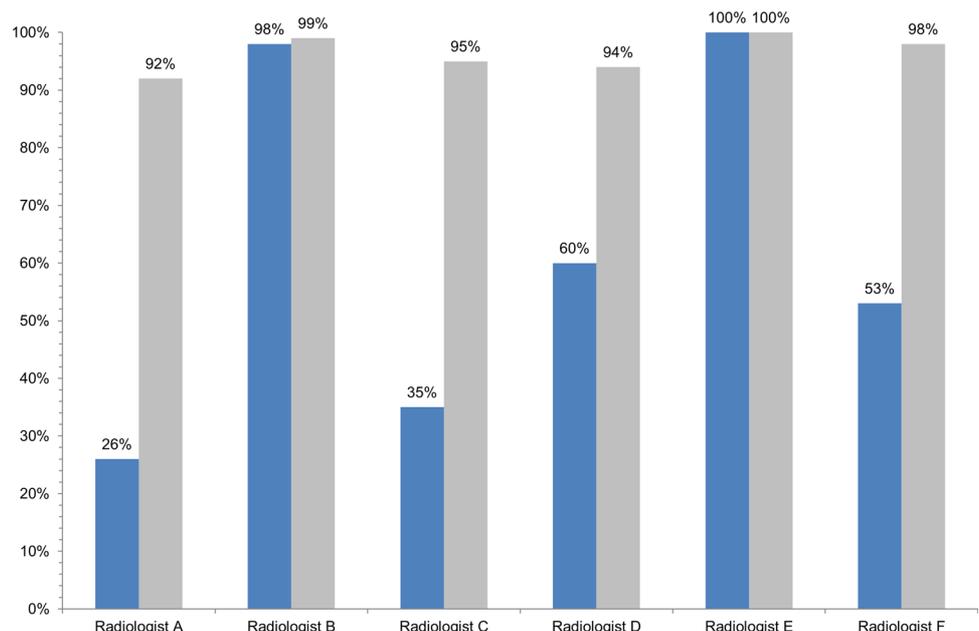
### Radiologist C

Radiologist C specialized in thoracic and cardiovascular imaging. The 10 types of examinations most commonly reported by radiologist C in 2016 accounted for 94.3% of his/her total reporting. All 10 examination types of this subset had significantly longer RTATs after the introduction of subspecialized reporting ( $p < 0.05$ ).

### Radiologist D

Radiologist D specialized in musculoskeletal imaging. The 10 types of examinations most commonly reported accounted for 72.5% of this radiologist's total reporting volume. Subspecialized reporting resulted in longer RTATs, which was statistically significant for 8 of the 10 examination types of this subset ( $p < 0.05$ ).

**Fig. 3** Share of subspecialized reports before (2014, blue columns) and after (2016, gray columns) introduction of subspecialized reporting for the six radiologists included in the analysis (A to F)



**Table 3** Ten most common types of examinations reported by radiologists A to F and their shares of the total reporting volumes of these radiologists following introduction of subspecialized reporting

Top 10 most common types of examinations of <b>radiologist A</b> during subspecialized reporting period		78.1%	$\Delta \emptyset$ reporting time	
			Symbol	<i>p</i> value
1.	Mammography	19.9%	+	<0.05
2.	CT abdominal	13.9%	++	<0.05
3.	CT chest and abdominal	8.6%	++	<0.05
4.	CR abdominal	8.3%	+	<0.05
5.	MRI abdominal	8.2%	+	<0.05
6.	US breast	5.8%	+	0.21
7.	MRI pelvis	4.5%	+	0.08
8.	US abdominal	3.8%	--	0.09
9.	VF esophagus	2.6%	--	0.13
10.	MRI neck	2.5%	-	<0.05
Top 10 most common types of examinations of <b>radiologist B</b> during subspecialized reporting period		66.4%	$\Delta \emptyset$ reporting time	
			Symbol	<i>p</i> value
1.	CR thorax	21.6%	0	<0.05
2.	CR upper ankle joint	6.9%	0	0.18
3.	CR foot/calcaneus	6.8%	0	0.80
4.	CT angiography	6.5%	0	0.66
5.	CR hand	5.2%	-	<0.05
6.	CR spine	4.8%	-	<0.05
7.	CR shoulder	4.1%	-	<0.05
8.	CR pelvis/sacrum	3.6%	--	<0.05
9.	CR knee	3.5%	0	0.65
10.	CR LODOX	3.4%	0	0.83
Top 10 most common types of examinations of <b>radiologist C</b> during subspecialized reporting period		94.3%	$\Delta \emptyset$ reporting time	
			Symbol	<i>p</i> value
1.	CR thorax	35.4%	++	<0.05
2.	CT angiography	24.2%	++	<0.05
3.	CT chest	11.1%	++	<0.05
4.	CT chest and abdomen	5.7%	++	<0.05
5.	CT heart	5.3%	++	<0.05
6.	MRI chest	4.2%	++	<0.05
7.	MRI abdominal	4.0%	++	<0.05
8.	CT neck	1.9%	++	<0.05
9.	CT abdominal	1.3%	+	<0.05
10.	MRI pelvis	0.9%	++	<0.05
Top 10 most common types of examinations of <b>radiologist D</b> during subspecialized reporting period		72.5%	$\Delta \emptyset$ reporting time	
			Symbol	<i>p</i> value
1.	CR pelvis/sacrum	16.3%	+	<0.05
2.	CR spine	15.9%	0	0.77
3.	CR hand	9.3%	+	<0.05
4.	CR shoulder	6.2%	++	0.06
5.	CR foot/calcaneus	6.2%	+	<0.05
6.	CR skull	6.2%	+	<0.05
7.	CR wrist	3.5%	+	<0.05
8.	CR knee	3.3%	+	<0.05
9.	CR upper ankle joint	3.3%	+	<0.05

**Table 3** (continued)

Top 10 most common types of examinations of <b>radiologist D</b> during subspecialized reporting period			$\Delta \emptyset$ reporting time	
			Symbol	<i>p</i> value
10.	MRI arthrography	2.5%	+	<0.05
Top 10 most common types of examinations of <b>radiologist E</b> during subspecialized reporting period			$\Delta \emptyset$ reporting time	
			Symbol	<i>p</i> value
1.	US abdominal	19.9%	+	<0.05
2.	US pelvis	15.9%	0	0.10
3.	US musculoskeletal	7.3%	0	0.14
4.	US skull/brain	6.9%	+	<0.05
5.	CR pelvis	6.6%	0	0.75
6.	CR hand	4.5%	0	0.67
7.	CR forearm	4.0%	+	0.62
8.	CR elbow	2.9%	0	0.21
9.	US infant's hip (Graf)	2.7%	+	<0.05
10.	CR knee	2.4%	0	0.26
Top 10 most common types of examinations of <b>radiologist F</b> during subspecialized reporting period			$\Delta \emptyset$ reporting time	
			Symbol	<i>p</i> value
1.	CR abdominal/urography	36.7%	0	0.56
2.	CT abdominal	28.7%	+	<0.05
3.	CT chest and abdomen	13.4%	+	<0.05
4.	MRI pelvis	5.8%	--	0.76
5.	US pelvis	2.7%	--	0.33
6.	MRI neck	2.3%	+	0.40
7.	MRI kidneys	1.5%	++	<0.05
8.	MRI abdominal	1.3%	++	<0.05
9.	US abdominal	1.3%	-	0.67
10.	CT neck	0.9%	+	<0.05

Effects on average radiology report turnaround times (RTATs) [symbol]: more than 2 h shorter with subspecialized reporting [--], 1–2 h shorter with subspecialized reporting [-], no more than 1 h longer or shorter with subspecialized reporting [0], 1–5 h longer with subspecialized reporting [+], more than 5 h longer with subspecialized reporting [++]

CT computed tomography, MRI magnetic resonance imaging, CR conventional radiography, US ultrasonography, VF video fluoroscopy, LODOX Xmplar low-dose whole-body X-ray scanner

## Radiologist E

Radiologist E specialized in pediatric radiology both before and after the introduction of subspecialized reporting. The 10 most commonly reported types of examinations accounted for 72.6% of the radiologist's overall reporting volume. RTATs were prolonged for 4 of the 10 most commonly reported types of examinations, and the difference was significant in three of the four cases ( $p < 0.05$ ).

## Radiologist F

Radiologist F specialized in abdominal, urogenital, and ENT imaging. The 10 most common types of examinations reported by this radiologist accounted for 94.6% of his/her

total reporting volume. No clear trend regarding RTATs was apparent. For 6 of the 10 most commonly reported types of examinations, average RTATs were longer, and the difference was significant for five of the six examination types ( $p < 0.05$ ).

The results for radiologists A through F taken together show that, for the 10 most commonly reported types of examinations reported by each radiologist under the subspecialized reporting system, RTATs were longer in 60% of instances, unchanged in 23%, and shorter in 17% (see Table 4).

**Table 4** Distribution of changes in mean radiology report turnaround times (RTATs) by type of examination (10 most common types of examinations), frequencies, and shares of total reporting volumes for radiologists A–F

$\Delta$ RTAT after implementation of subspecialized reporting	Symbol	Frequency radiologist A–F	Share radiologist A–F (%)
More than 5 h longer	++	14	23.3
1–5 h longer	+	22	36.7
Up to 1 h longer/shorter	0	14	23.3
1–2 h shorter	–	5	8.3
More than 2 h shorter	--	5	8.3

## Discussion

Switching to a subspecialized reporting system in the radiology department of a Swiss university hospital was associated with the formation of subspecialized reporting teams instead of organizing reporting workflow by imaging modality. Our results show that, under the subspecialized reporting system, subspecialized reporting accounted for a greater share of radiologists' total reporting volumes. Surprisingly, this greater subspecialization did not result in overall shorter radiology report turnaround times. On the contrary, RTATs were in part even markedly longer after switching to subspecialized reporting.

These findings must be interpreted in light of an overall increase of approximately 7% in the department's total reporting volume, and this increase in workload also included the six radiologists selected for this study. The increase in imaging studies performed by our department is in agreement with general national and international data indicating a steady increase in radiologic examinations [11, 12].

As expected, the introduction of subspecialized reporting in 2016 led to a concentration on examinations of the respective subspecialties among the six radiologists included in our analysis in that the range of different examination types reported became smaller for all of them compared with 2014 (see Table 2). Reporting of a narrower range of examinations was especially conspicuous for radiologist A (who became head of the abdominal imaging team with the introduction of subspecialized reporting, 30% decrease) and radiologist C (head of the thoracic and vascular imaging team, 34% decrease).

As expected after switching to the new system, subspecialized reports accounted for a higher proportion of the total reporting volume (for examinations performed during standard weekday working hours) in 2016 compared with 2014. Subspecialized reports accounted for well over 90% of the total reporting volume for all staff, and even for over

95% of the volume for five of the six radiologists included in our analysis (see Fig. 3).

The concentration on specialized reporting was especially conspicuous for radiologist A. Here, the increase in subspecialized reporting was 66% compared with 2014. This high increase is attributable to the fact that, with his/her extensive expertise and experience, radiologist A covered nearly the complete range of imaging studies in his/her reporting activities under the earlier general reporting system; hence, the impact of subspecialization was especially marked. In contrast, the range of examination types reported by radiologist E (head of pediatric imaging before and after introduction of the new system) was nearly unchanged after the switch of systems. This is not surprising since pediatric radiology with its focus on examinations tailored to the specific needs of young patients already was a largely autonomous unit before the introduction of subspecialized reporting.

While a concentration on the defined subspecialties was expected, it was surprising that subspecialized reporting, rather than making reporting workflow more efficient, even resulted in longer RTATs for many types of examinations. A possible explanation is that a large proportion of residents, as in our department, which is one of the largest teaching institutions for radiology residents in Switzerland, results in a more complex and time-consuming reporting workflow. For all imaging studies performed in our department, reporting begins with a resident generating a preliminary report. This is followed by repeated interpretation of the imaging dataset in conjunction with the supervising radiologist and a revision of the report. The revised report is then read by the responsible radiologist and finalized following any needed editing. Resident involvement in the routine reporting workflow thus is an important factor contributing to longer RTATs. In contrast, the results of Stern et al. [13] show that, median RTATs can be dramatically shortened, from approximately 17 h to approximately 3 h and 30 min, when fully trained radiologists directly report imaging studies under a subspecialized system.

Another, specific factor contributing to longer RTATs for radiologist A in our analysis may be that, as head of the abdominal imaging team, he/she was also responsible for all complex reports and imaging examinations revealing rare findings. The policy at our department is that the members of a subspecialized team can send reports to each other for a second opinion. An effect of this policy is that radiologist A tends to get a large share of difficult abdominal imaging cases for a second opinion.

Conversely, for radiologist B (head of emergency imaging), focusing on a specialized range of examinations to be reported (28% decrease, from 87 to 63 types of examinations, in 2016, see Table 2) resulted in consistently shorter or nearly unchanged RTATs compared to 2014 (see Table 3 Radiologist B). For this radiologist, introduction of

subspecialized reporting led to a focus on emergency imaging. Moreover, the spatial arrangement, with the supervising radiologist being based directly next to the emergency CT scanner during standard weekday working hours, facilitates workflow and finalization of preliminary reports generated by the residents of the team.

Overall, our results show that subspecialized reporting has not only benefits but also disadvantages and risks. Staff satisfaction is an issue to be considered. Working in a clearly defined area and gaining great expertise can improve a radiologist's confidence and skills, resulting in greater job satisfaction. Increasing subspecialization is observed in all areas of medicine [14, 15]. As a result, referring colleagues have increasingly specific expectations when requesting an imaging study [16]. Greater in-depth skills in a well-defined area of their field allow radiologists to solve more complex problems, which is likely to have a positive mental effect. In addition, the growing complexity of a specialty like radiology makes it more and more difficult for an individual radiologist to master all its many facets with the required depth of expertise [17, 18].

Subspecialization can also have a positive impact on residents who rotate through different fields of radiology during their training. Clearly defined rotations allow radiologists to focus on a specialized area for a predefined time [19] rather than having to constantly switch between many different types of examinations. Budgets for advanced and further training can thus also be used more efficiently for dedicated seminars and workshops tailored to accompany well-defined subspecialized rotations. Various studies have so far shown that subspecialization in radiology can lead to a higher quality and precision in radiologic reports in the individual sub-disciplines [20, 21]. We could also recognize this effect in our clinic after the implementation of a subspecialized reporting system. Although it was not the aim to quantify changes in the quality of reports after introducing a subspecialized system, we nevertheless achieved an apparently significantly higher perceived quality among our referrals with multiple positive feedbacks.

On the other hand, subspecialization can have negative effects [22], because repetition can be boring and less motivating. Monotony can lead to greater fluctuation, making staff to leave and seek employment where they work on a broader, more generalized range of imaging studies if they prefer such an approach to focus on a narrow subspecialized area. The proportion of reports that took more than 72 h to be finalized significantly increased from 2.2 to 4.8% with the implementation of a subspecialized reporting. From our perspective, there are different possible reasons for this: (1) the number of reports that are being sent between different senior radiologists to get a "second opinion" had significantly increased after the implementation of the subspecialized system. In a radiology information

system (RIS) database research, we found that there were only about 2% of the reports signed by two senior radiologists in 2014, while this percentage increased to over 10% in the year 2016. A possible reason for this especially in the group of abdominal imaging was that reporting on liver imaging was dedicated to three specific radiologists with the best experience in this field. Obviously, this not only leads to a higher quality of the reports, but also causes longer reporting time; (2) difficult findings and reports are intentionally withheld by individual specialized radiologists in order to first discuss these with the referring colleagues in a weekly tumor board. The reports then become more focused and there are fewer misunderstandings in difficult situations, but the reporting time increases; (3) non-urgent reports were not finally completed before weekends or public holidays.

According to the directive of the European Union as of February 2018, it is mandatory for the member states to make sure that for radiologic examinations which are based on ionizing radiation, the dose is being documented afterward in the radiologic report (article 58, b) [23]. It can be assumed that the mandatory documentation would take a small amount of extra time in radiologic reports. To our knowledge, there are no data on this so far, especially as the directive came into force only recently. Our study has limitations. Only six radiologists were selected for analysis. This is due to the fact that we wished to include radiologists from each of the four subspecialized areas introduced with the new system. Moreover, all radiologists selected had to be present throughout the two study periods, i.e., throughout 2014 and 2016, without longer leaves of absence. The size of the university department of radiology investigated makes it likely that the reporting volume included a higher share of more complex cases. The involvement of residents in reporting workflow in all areas including complex and highly specialized imaging studies further contributed to a much greater complexity and hence longer RTATs in our study. This is in contrast to other studies that found shorter RTATs. Therefore, our findings may probably not be representative for departments and offices that do not train residents. Teams without residents may achieve shorter RTATs under a subspecialized reporting system. Moreover, we did not include ultrasound examinations in our analysis. From our perspective, ultrasound is different from all the other diagnostic methods like CT, MRI or conventional radiography as the reporting time as a part of the overall procedure time is less important than for all the other procedures. As the process workflow for the ultrasound section in our department did not change with the implementation of a subspecialization in our clinic, we did not consider ultrasound examinations in our study.

## Conclusion

In conclusion, our findings suggest that subspecialized reporting in a university department of radiology has the desired effect of leading to individual radiologists focusing on a clearly defined area based on body region or organ system. On the other hand, the much greater complexity of subspecialized reporting workflow that results from the inclusion of residents makes reporting more time-consuming and can result in longer report turnaround times compared with general reporting.

## Compliance with ethical standards

**Conflict of interest** All authors declare that they have no conflict of interest.

**Ethical approval** This article does not contain any studies with human participants performed by any of the authors.

## References

- Liebscher L, Sherry C, Breslau J et al (2012) The general radiologist in the 21st century. *J Am Coll Radiol* 9:554–559
- Margulis AR (1992) Subspecialization and certification in radiology. *AJR Am J Roentgenol* 159:1113–1114
- Bosmans JM, Weyler JJ, De Schepper AM, Parizel PM (2011) The radiology report as seen by radiologists and referring clinicians: results of the COVER and ROVER surveys. *Radiology* 259:184–195
- Huppertz A, Schmidt M, Wagner M et al (2010) Whole-body MR imaging versus sequential multimodal diagnostic algorithm for staging patients with rectal cancer: cost analysis. *RoFo* 182:793–802
- Maurer MH, Hamm B, Teichgraber U (2011) ServiceBlueprinting as a service management tool in radiology. *Eur J Radiol* 79:333–336
- Shukla N, Keast JE, Ceglarek D (2014) Improved workflow modelling using role activity diagram-based modelling with application to a radiology service case study. *Comput Methods Programs Biomed* 116:274–298
- Smith GG, Thrall JH, Pentecost MJ et al (2009) Subspecialization in radiology and radiation oncology. *J Am Coll Radiol* 6:147–159. e144
- Rosenkrantz AB, Wang W, Hughes DR, Duszak R Jr (2017) Generalist versus subspecialist characteristics of the U.S. Radiologist Workforce. *Radiology*. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017171684>:171684
- Bell ME, Patel MD (2014) The degree of abdominal imaging (AI) subspecialization of the reviewing radiologist significantly impacts the number of clinically relevant and incidental discrepancies identified during peer review of emergency after-hours body CT studies. *Abdom Imaging* 39:1114–1118
- Lindgren EA, Patel MD, Wu Q, Melikian J, Hara AK (2014) The clinical impact of subspecialized radiologist reinterpretation of abdominal imaging studies, with analysis of the types and relative frequency of interpretation discrepancies. *Abdom Imaging* 39:1119–1126
- Smith-Bindman R, Miglioretti DL, Johnson E et al (2012) Use of diagnostic imaging studies and associated radiation exposure for patients enrolled in large integrated health care systems, 1996–2010. *JAMA* 307:2400–2409
- Levin DC, Rao VM, Parker L, Frangos AJ (2013) Analysis of radiologists' imaging workload trends by place of service. *J Am Coll Radiol* 10:760–763
- Stern C, Boehm T, Seifert B, Kawel-Boehm N (2018) Subspecialized radiological reporting expedites turnaround time of radiology reports and increases productivity. *RoFo*. <https://doi.org/10.1055/s-0044-100728>
- Cassel CK, Reuben DB (2011) Specialization, subspecialization, and subspecialization in internal medicine. *N Engl J Med* 364:1169–1173
- Bell RH Jr, Banker MB, Rhodes RS, Biester TW, Lewis FR (2007) Graduate medical education in surgery in the United States. *Surg Clin North Am* 87(811–823):v–vi
- Bosmans JM, Peremans L, De Schepper AM, Duyck PO, Parizel PM (2011) How do referring clinicians want radiologists to report? Suggestions from the COVER survey. *Insights Imaging* 2:577–584
- Breslau J (2012) Point: generalism vs subspecialization—the ACR should encourage radiologists to structure their practices around a model of subspecialization. *J Am Coll Radiol* 9:535–536
- The European Society of Radiology (2010) The future role of radiology in healthcare. *Insights Imaging* 1:2–11
- Lam CZ, Nguyen HN, Ferguson EC (2016) Radiology resident' satisfaction with their training and education in the united states: effect of program directors, teaching faculty, and other factors on program success. *AJR Am J Roentgenol* 206:907–916
- Walker EA, Petscavage-Thomas JM, Fotos JS, Bruno MA (2017) Quality metrics currently used in academic radiology departments: results of the QUALMET survey. *Br J Radiol* 90:20160827
- Narayan A, Cinelli C, Carrino JA et al (2015) Quality measurements in radiology: a systematic review of the literature and survey of radiology benefit management groups. *J Am Coll Radiol* 12:1173–1181.e1123
- Strax R (2012) Counterpoint: Generalism vs subspecialization—the ACR should develop a practice model to support general radiologists. *J Am Coll Radiol* 9:537–538
- Council European (2014) Directive 2013/59/Euratom on basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. *OJ EU L* 13:1–73

**Publisher's Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

## Druckexemplar der ausgewählten Publikation II

«Zeitaufwand und Machbarkeit einer systematischen Qualitätsbeurteilung radiologischer Befunde»

Maurer, M. H., Brönnimann, M., Schroeder, C., Ghadamgahi, E., Streitparth, F., Heverhagen, J. T., Leichtle, A., de Bucourt, M., & **Meyl, T. P.** (2021). Time Requirement and Feasibility of a Systematic Quality Peer Review of Reporting in Radiology. Zeitaufwand und Machbarkeit einer systematischen Qualitätsbeurteilung radiologischer Befunde. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 193(2), 160–167.

<https://doi.org/10.1055/a-1178-1113>

Reproduced with permission from © Georg Thieme Verlag KG

# Time Requirement and Feasibility of a Systematic Quality Peer Review of Reporting in Radiology

## Zeitaufwand und Machbarkeit einer systematischen Qualitätsbeurteilung radiologischer Befunde

### Authors

Martin H. Maurer<sup>1</sup>, Michael Brönnimann<sup>1</sup>, Christophe Schroeder<sup>1</sup>, Ehssan Ghadamgahi<sup>2</sup>, Florian Streitparth<sup>3</sup>, Johannes T. Heverhagen<sup>1</sup>, Alexander Leichtle<sup>4</sup>, Maximilian de Bucourt<sup>5</sup>, Tobias Philipp Meyl<sup>6</sup>

### Affiliations

- 1 Department of Diagnostic, Interventional and Paediatric Radiology, Inselspital, Bern University Hospital, University of Bern, Switzerland
- 2 Radiology, CT-MRT Institute, Berlin, Germany
- 3 Department of Radiology, LMU University Hospital, Munich, Germany
- 4 Institute of Clinical Chemistry, Inselspital, Bern University Hospital, University of Bern, Switzerland
- 5 Institute for Diagnostic and Interventional Radiology, Charité University Medicine Berlin, Germany
- 6 Medical Department, Medical Strategy, Inselspital, Bern University Hospital, University of Bern, Switzerland

### Key words

socioeconomic issues, CT, mammography, radiography, health policy and practice, MR imaging

received 12.01.2020

accepted 04.05.2020

published online 22.07.2020

### Bibliography

Fortschr Röntgenstr 2021; 193: 160–167

DOI 10.1055/a-1178-1113

ISSN 1438-9029

© 2020, Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,

70469 Stuttgart, Germany

### Correspondence

Prof. Dr. Dr. Martin H. Maurer

Department für Diagnostische, Interventionelle und Pädiatrische Radiologie, Universitätsspital Bern, Inselspital, Freiburgstr. 10, 3010 Bern, Switzerland

Tel.: ++41/31/6 32 71 80

Fax: ++41/31 63 2 48 74

martin.maurer@insel.ch

### ZUSAMMENFASSUNG

**Zielsetzung** Ziel dieser Studie war es, den Aufwand für eine retrospektive Qualitätsprüfung mittels des RADPEER-Systems für verschiedene Prozentsätze der Gesamtmenge an radiolo-

gischen Befunden in der Klinik für Radiologie an der Universitätsklinik Bern (Schweiz) abzuschätzen.

**Material und Methoden** Drei Fachärzte für Radiologie (Bewerter 1 bis 3) bewerteten retrospektiv die Qualität der Befunde von insgesamt 150 radiologischen Untersuchungen (5 verschiedene Untersuchungsarten: Computertomografie (CT) des Abdomens, CT des Thorax, Mammografien, konventionelle Röntgenbilder und abdominale Magnetresonanztomografien (MRT)). Jedem Befund wurde eine RADPEER-Bewertung der Kategorien 1 bis 3 zugewiesen (Kategorie 1: stimmt mit der vorherigen Interpretation überein; Kategorie 2: Diskrepanz in der Interpretation/Beurteilung wäre nicht in jedem Fall zu erwarten gewesen; Kategorie 3: Diskrepanz in der Interpretation/Beurteilung wäre in den meisten Fällen zu erwarten gewesen) und die für jede Überprüfung erforderliche Zeit in Sekunden (s) dokumentiert. Die durchschnittliche Zeit für jede der 5 verschiedenen radiologischen Untersuchungsarten und die entsprechenden Bewertungen von 1 bis 3 wurden verglichen. Eine Sensitivitätsanalyse wurde durchgeführt, um die Gesamtarbeitsbelastung für die Überprüfung verschiedener Prozentsätze des gesamten jährlichen Befundvolumens der Klinik zu berechnen.

**Ergebnisse** Von den insgesamt 450 analysierten Befunden erhielten 91,1 % (410/450) eine Bewertung von 1 und 8,9 % (40/450) eine Bewertung von 2 oder 3. Die durchschnittliche Zeit (in Sekunden) für eine Bewertung betrug 60,4 s (min. 5 s, max. 245 s). Der Bewerter mit der längsten klinischen Erfahrung benötigte signifikant weniger Zeit für die Prüfung der Befunde als die beiden Gutachter mit kürzerer klinischer Erfahrung ( $p < 0,05$ ). Die durchschnittlichen Bewertungszeiten waren länger für nicht übereinstimmende Bewertungen mit den Kategorien 2 oder 3 ( $p < 0,05$ ). Der Gesamtzeitaufwand für die Überprüfung sämtlicher Befunde der 5 verschiedenen Untersuchungsarten eines Jahres würde mehr als 1200 Arbeitsstunden in Anspruch nehmen.

**Schlussfolgerung** Eine retrospektive Begutachtung von radiologischen Befundberichten mit dem RADPEER-System erfordert erhebliche personelle Ressourcen. Um die Befundqualität zu verbessern, scheint es jedoch möglich zu sein, zumindest einen Teil der Gesamtbefundungsleistung auch großer radiologischer Abteilungen routinemäßig einer Zweitbegutachtung zu unterziehen.

### Kernaussagen:

- Eine systematische retrospektive inhaltliche Begutachtung von radiologischen Befunden mit dem RADPEER-System ist mit einem hohen Personalaufwand verbunden.
- Die retrospektive Begutachtung sämtlicher Befunde einer Klinik bzw. Praxis erscheint aufgrund des Mangels an hochspezialisiertem Personal unrealistisch.
- Mit dem Ziel der inhaltlichen Qualitätsverbesserung sollte jedoch zumindest ein Teil aller Befunde einer zweiten retrospektiven Begutachtung unterzogen werden.

### ABSTRACT

**Objective** To estimate the human resources required for a retrospective quality review of different percentages of all routine diagnostic procedures in the Department of Radiology at Bern University Hospital, Switzerland.

**Materials and Methods** Three board-certified radiologists retrospectively evaluated the quality of the radiological reports of a total of 150 examinations (5 different examination types: abdominal CT, chest CT, mammography, conventional X-ray images and abdominal MRI). Each report was assigned a RADPEER score of 1 to 3 (score 1: concur with previous interpretation; score 2: discrepancy in interpretation/not ordinarily expected to be made; score 3: discrepancy in interpretation/should be made most of the time). The time (in seconds, s) required for each review was documented and compared. A sensitivity analysis was conducted to calculate the total workload for reviewing different percentages of the total annual reporting volume of the clinic.

**Results** Among the total of 450 reviews analyzed, 91.1% (410/450) were assigned a score of 1 and 8.9% (40/450)

were assigned scores of 2 or 3. The average time (in seconds) required for a peer review was 60.4 s (min. 5 s, max. 245 s). The reviewer with the greatest clinical experience needed significantly less time for reviewing the reports than the two reviewers with less clinical expertise ( $p < 0.05$ ). Average review times were longer for discrepant ratings with a score of 2 or 3 ( $p < 0.05$ ). The total time requirement calculated for reviewing all 5 types of examination for one year would be more than 1200 working hours.

**Conclusion** A retrospective peer review of reports of radiological examinations using the RADPEER system requires considerable human resources. However, to improve quality, it seems feasible to peer review at least a portion of the total yearly reporting volume.

### Key Points:

- A systematic retrospective assessment of the content of radiological reports using the RADPEER system involves high personnel costs.
- The retrospective assessment of all reports of a clinic or practice seems unrealistic due to the lack of highly specialized personnel.
- At least part of all reports should be reviewed with the aim of improving the quality of reports.

### Citation Format

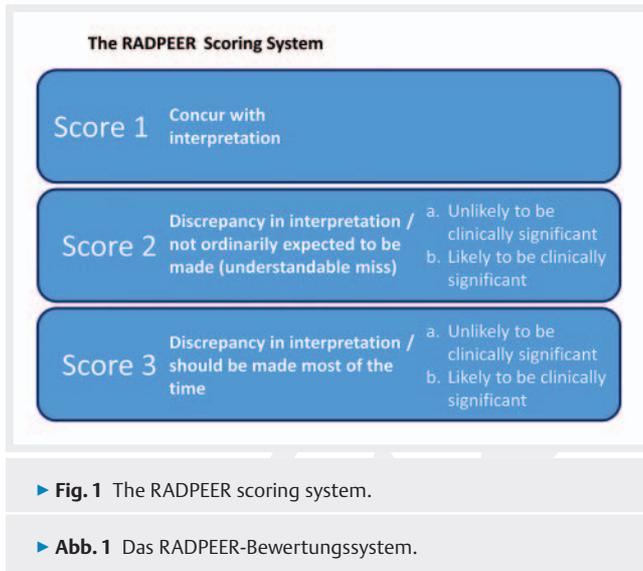
- Maurer MH, Brönnimann M, Schroeder C et al. Time Requirement and Feasibility of a Systematic Quality Peer Review of Reporting in Radiology. *Fortschr Röntgenstr* 2021; 193: 160–167

## Introduction

According to reports by the Institute of Medicine (IOM) in 1999 and 2015, up to 100 000 patients die every year in the USA alone due to avoidable treatment errors and up to 10% of these cases are caused by diagnostic errors [1, 2]. The regional office for Europe of the World Health Organization (WHO) reported that up to 95 000 deaths per year could be avoided within the European Union by strictly applying strategies to avoid adverse events in patient treatment [3]. In Germany, the scientific institute of the AOK, one of the largest German health insurers, reported up to 18 800 yearly preventable deaths due to treatment errors [4]. In light of this, different attempts have been made to continuously improve quality in radiology, mostly focusing on improving examination procedures and reporting workflows [5–9]. As various specialist disciplines have developed in medicine over the last decades and the degree of subspecialization has massively increased among referring physicians, radiologists are expected not only to have ever-increasing specialized diagnostic knowledge but also to take into account very complex treatment pathways [10–12]. In this context, new approaches aim at improving not only the processes and workflows in radiology, but also the content of radio-

logical reports either by using double reading like in different Scandinavian countries or using systematic retrospective peer reviews [13–15]. In an extensive review, Geijer et al. [14] found discrepancy rates of up to 22% when comparing reports of double readings.

One of the most widely used systems with the aim of continuously monitoring and improving quality in radiology is RADPEER, which was introduced in the United States on the initiative of the American College of Radiology (ACR) in 2002. This system has been available in a web-based format (known as eRADPEER) since 2005 and was revised in 2009 [16–18]. At present, more than 18 000 participating radiologists in more than 1100 participating clinics and practices use RADPEER in the US. So far, more than 30 million radiological reports have been reviewed using this system [19]. In the recently adapted current version of RADPEER, the retrospective evaluation of radiological reports is carried out on the basis of three categories according to agreement with the previous report [19]: (1.) Score 1: concur with previous interpretation; (2.) Score 2: discrepancy in interpretation/not ordinarily to be made (understandable miss); and (3.) Score 3: discrepancy in interpretation/should be made most of the time. The reviewer assigning Scores 2 and 3 can optionally distin-



guish between findings that seem to be of unlikely clinical significance for the patient (Scores 2a and 3a) and findings that seem to be of likely clinical significance (2b and 3b) (► **Fig. 1**).

However, implementation of such review programs is seriously hampered by the current shortage of board-certified radiologists and other qualified staff [20, 21]. In the UK, for example, the Royal College of Radiologists even warned that patient care is at risk due to a severe shortage of trained radiologists [22, 23]. Systematic double reading or peer reviews of radiological examinations like with RADPEER would further aggravate the existing shortage of skilled personnel and make the situation even more threatening in terms of adequate patient care. Furthermore, it is not even clear at present how many additional board-certified radiologists would be needed to establish systematic peer review of even a very small subset of all examinations.

Therefore, the aim of this analysis is to investigate whether a systematic secondary peer review reading in radiology is feasible, taking into account different types of examinations, costs, and the availability of qualified staff.

## Methods

For retrospective peer review using the RADPEER system, a total of 150 reports – 30 each of 5 different types of radiological examination (abdominal computed tomography (CT), chest CT, mammograms, conventional X-rays and magnetic resonance imaging (MRI) of the abdomen) performed from January to June 2019 – were randomly selected from the Radiological Information System (RIS) of the Department of Radiology at Bern University Hospital (Switzerland). The corresponding image datasets were retrieved from the department's Picture Archiving and Communication System (PACS). All reports selected for this retrospective analysis were initially written by a radiologist not involved in this study.

All 150 examinations selected for this review were reviewed by three board-certified radiologists (one with 14 years and two with 5 years of clinical experience) to assess reporting quality by reviewing the corresponding imaging dataset and comparing it

with the original report. Conventional X-ray examinations consisted of up to 2 radiographies and mammograms of 4 images (craniocaudal (cc) and mediolateral oblique (mlo) views of both sides) each. A selection of suitable image sequences was made in advance for the cross-sectional imaging procedures (CT and MRI), including 4 image series each for CT examinations of the lungs and abdomen and up to 8 image series for MRI examinations. All examinations were hung up in advance in the PACS for a smooth workflow during the assessments. For each of the 150 examinations, each of the three radiologists independently evaluated the report and assigned a score in accordance with the RADPEER system (► **Fig. 1**) and also documented the time (in seconds (s)) required for each review.

For each of the three reviewers, the number of examinations to which the Scores 1, 2 and 3 were assigned was documented. The number of Scores 2 and 3 was also documented on a per-patient basis considering single and double mentions. Wherever possible, the clinical outcome of patients was analyzed also considering further follow-up imaging and other clinical examinations. In addition, the average times required for peer review were calculated and compared for all examinations, for each of the five types of imaging examinations and for the three different scores (1 to 3).

To calculate the total effort of the review process, the total time required for all 450 peer reviews was summed up (in seconds and hours). For the subsequent sensitivity analysis, at first, the total number of examinations of the 5 different types of examination that were reviewed was determined for the Department of Radiology in Bern for the entire 2018 annual period. The time required for peer review using RADPEER was then calculated for six different percentages of this total volume of examinations (0.5%, 1%, 2%, 3%, 5%, and 10%).

Data analysis and statistical analysis: For all evaluation times for the three different reviewers, the five different examination types and the three different RADPEER scores (1–3), the mean, minimum (min), maximum (max), median and the quartiles 1 (Q1) and 3 (Q3) were calculated. As normal distribution of data was tested and it was shown that there was no normal distribution of data, an ANOVA test with Tukey's post-hoc test was performed for comparison of the different groups. Statistical significance was assumed for a level of  $p < .05$ . Results in seconds and minutes were rounded to one decimal place.

## Results

For all 450 reviews taken together (150 examinations, each evaluated by three reviewers), the scores were distributed as follows: RADPEER Score 1 was assigned in 410 instances (410/450, 91.1%), Score 2 in 33 instances (33/450, 7.3%), and Score 3 in 7 instances (7/450, 1.6%) (► **Table 1**). Reviewer 1 assigned a score of 2 to 2 abdominal CT scans, 2 conventional radiographs, and 1 abdominal MRI. Reviewer 2 assigned a score of 2 to a total of 6 abdominal CT scans, 2 chest CT scans, 1 mammogram, 1 conventional radiograph, and 3 abdominal MRI scans and a score of 3 to 3 abdominal CT scans. Reviewer 3 assigned a score of 2 to a total of 6 abdominal CT scans, 3 chest CT scans, 1 mammogram, 2 radiographs and 3 abdominal MRI scans and a score of 3 to 3 ab-

► **Table 1** Distribution of RADPEER scores 1 to 3 for all peer reviews (total of 450 including percentages) and for each of the three reviewers. Analysis also on a per-patient basis (n = 150), examples and outcome given for scores 2 and 3.

► **Tab. 1** Verteilung der verschiedenen RADPEER-Bewertungen 1 bis 3 (insgesamt n = 450 inkl. prozentuale Verteilung) durch die 3 verschiedenen Bewerter. Auswertung auch auf Basis der Patientenzahl (n = 150), Beispiele und weiterer klinischer Verlauf bei Bewertungen mit den Scores 2 und 3.

n = 450	score 1 (n/percentages)	score 2 (n/percentages)	score 3 (n/percentages)
all reviewers	410 (91.1%)	33 (7.3%)	7 (1.6%)
reviewer 1	145 (32.2%)	5 (1.1%)	–
reviewer 2	134 (29.8%)	13 (2.9%)	3 (0.6%)
reviewer 3	131 (29.1%)	15 (3.3%)	4 (0.8%)
per-patient basis (n = 150) considering single and double mentions	129 (86%)	17 (11.3%)	4 (2.7%)
Examples (and outcomes)		Aneurysm of the abdominal aorta (stable for at least 5 years) Possible pleural empyema (not confirmed/ resolved in follow-up imaging and on clinical examination) Possible diverticulitis (not confirmed/ resolved in follow-up) Intrahepatic bilioma (correct, without therapeutic consequences) Small fracture of the clavícula (correct, without therapeutic consequences) Kidney cyst should be rated as Bosniak IIF (case was presented in X-ray demonstration, MRI was recommended which did not confirm the diagnosis) Cardiomegaly in chest X-ray not mentioned (correct, elderly patient with known cardiomegaly, under therapy) Residual abdominal abscess not mentioned (patient was known to have a history of abdominal abscess which had already nearly completely resolved before, not mentioning the residuum was without consequence for the patient)	Double duct sign in pancreas (retrospective analysis showed a stable situation for 3 years, endo-ultrasound negative) Possible small carcinoma of urinary bladder wall (patient with known recurrent small bladder wall carcinoma, tumor was confirmed histologically after a biopsy during cystoscopy) Diverticulitis of the sigma (complete restitution in the follow-up) Increasing intrahepatic cholestasis (stable situation for years, no clear cause found)

dominal CT scans and 1 abdominal MRI scan. On a per-patient basis, there were 17 examinations rated with a score of 2, and 4 examinations with a score of 3 (► **Table 1**).

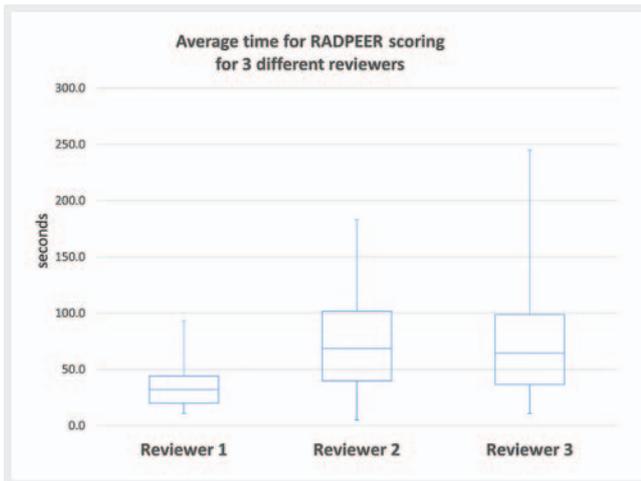
In our peer review study, Score 2, for example, was assigned in a patient with multiple cystic liver lesions. The radiologist writing the initial report failed to assess whether this might be an echinococcosis infestation of the liver, although this was explicitly asked in the indication. Score 3, for example, was assigned in a patient with pelvic pain in whom diverticulitis was not recognized as a possible cause. Further examples and the clinical outcomes are given in ► **Table 1**.

The average time to review a radiological examination regardless of the score assigned was 60.4 seconds (min.: 5 s; max.: 245 s) for all types of examination and all three reviewers taken together. The mean evaluation time was 34.3 seconds for reviewer 1 (min.: 11 s; max.: 93 s; median: 32 s; Q1: 20 s; Q3: 44 s), 74.4 seconds for reviewer 2 (min.: 5 s; max.: 183 s; median: 68.5 s; Q1: 39.5 s; Q3: 101.8 s)

and 72.5 seconds for reviewer 3 (min.: 11 s; max.: 245 s; median: 64.5 s; Q1: 36.5 s; Q3: 98.8 s) (► **Fig. 2**). Compared with reviewer 1, the average review time was significantly longer for both reviewer 2 and reviewer 3 ( $p < 0.05$ ). On the other hand, reviewers 2 and 3 do not differ significantly with respect to their required assessment times ( $p = 0.79$ ).

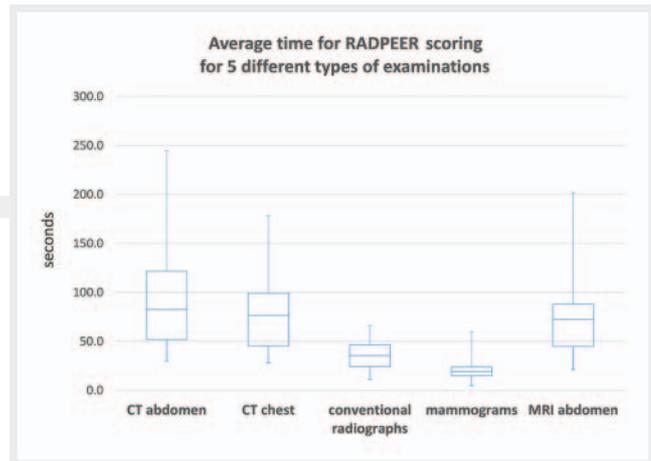
The mean review times varied significantly with the scores assigned. Averaging 54.9 seconds for Score 1 (range: 5 s–245 s; median: 44 s; Q1: 26 s; Q3: 75.3 s), mean review times were significantly longer for Score 2 (mean: 105.3 s; range: 15 s–212 s; median: 111 s; Q1: 65 s; Q3: 138 s) and Score 3 (mean: 144.2 s; range: 85 s–184 s; median: 145 s; Q1: 120 s; Q3: 177 s) for all three reviewers ( $p < .05$  each) (► **Fig. 3**). In contrast, on average, the evaluation with a Score of 3 did not take significantly longer than a Score of 2 ( $p = 0.11$ ).

The distribution of review times according to the different types of imaging examination is given in ► **Fig. 4**. The average



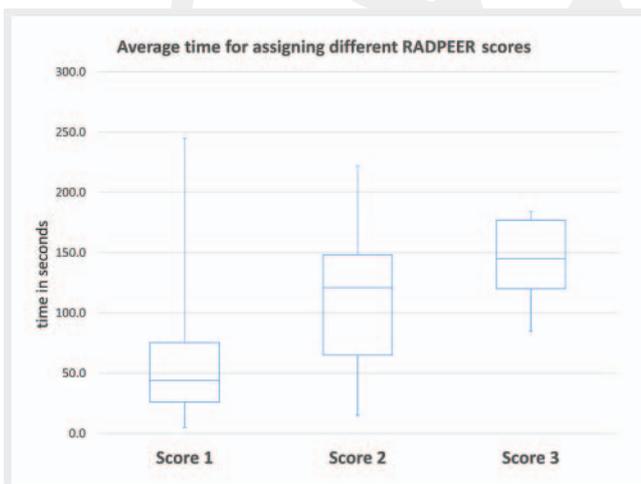
► **Fig. 2** Average time for RADPEER scoring for three different reviewers.

► **Abb. 2** Benötigte Durchschnittszeit für die RADPEER-Bewertungen durch die 3 verschiedenen Bewerter.



► **Fig. 4** Average time for RADPEER scoring for five different types of examination.

► **Abb. 4** Durchschnittliche Zeitdauer für die Bewertung von 5 verschiedenen Untersuchungsarten mit dem RADPEER-Bewertungssystem.



► **Fig. 3** Average time for assigning different RADPEER scores.

► **Abb. 3** Durchschnittszeiten für die RADPEER-Bewertungen für eine der 3 verschiedenen Bewertungsklassen.

time required for reviewing mammograms (mean: 20.3 s; range: 5–60 s; median: 19s; Q1: 15 s; Q3: 23.8 s) and conventional radiographs (mean: 36.3 s; range: 11–66 s; median: 35.5 s; Q1: 24 s; Q3: 46.5 s) was significantly shorter compared with the average time for each of the three cross-sectional imaging methods (abdominal CT (mean: 89.6 s; range: 30–245 s; median: 82.5 s; Q1: 52.5 s; Q3: 121.5 s), abdominal MRI (mean: 77 s; range: 21–212 s; median: 72.5 s; Q1: 44.8 s; Q3: 98 s) and chest CT (mean: 78.9 s; range: 28–178 s; median: 76.5 s; Q1: 45.5 s; Q3: 99 s)).

A sensitivity analysis was performed to determine the relationship between the overall time needed for peer review of the 5 types of examination that were analyzed and their percentage share of all radiological examinations of the full year in 2018. At the Depart-

ment of Radiology, University Hospital of Bern, a total of 6193 abdominal CT scans, 5274 chest CT scans, 2902 mammograms, 85 378 conventional radiographies, and 3480 abdominal MRI examinations were performed in 2018 (equivalent to 100 %) (► **Table 2**). For the sample of 450 reviews (90 of each type), a total review time of 27 198 seconds (equivalent to 7.55 hours) was calculated. These data and results were the basis for calculating the total time expenditure that would be required for a peer review covering various percentages of all performed examinations. For example, a peer review of 1% of the 5 types of examination selected for the current analysis would require approx. 12.2 hours; for peer review of 5% of the examinations, the time needed would be approx. 61.1 hours. In the extreme case of double reading all examinations, the time required would be approx. 1221.5 hours.

## Discussion

Our systematic peer review of radiological reports reveals that, if the RADPEER system were used to review all reports of 5 selected types of imaging examination performed during a one-year period (2018, n = 102 227) at Bern University Hospital, more than 1200 hours of work by specialized radiologists would be needed. Performing peer reviews of smaller percentages of all examinations would be less time-consuming. The average time per peer review was about 60 seconds.

As expected, the distribution of the 3 RADPEER scores shows that the vast majority of reports were found to be acceptable (Score 1, (410/450, 91.1 %) (► **Table 1**)). However, there was a higher proportion of reviews with assignment of scores of 2 (33/450, 7.3 %) or even 3 (7/450, 1.5 %) compared to the published data. Jackson et al. [17] found a total disagreement rate of 2.91 % with Score 2 being assigned in 2.51 % and Score 3 in 0.39 % of all cases reviewed using the RADPEER system. Soffa et al. [24] found an overall disagreement rate of 3.48 % in a total of 6703 ex-

► **Table 2** Sensitivity analysis for calculation of the total time requirement for peer reviewing various percentages of five types of radiological examination using RADPEER. CT = computed tomography; MRI = magnetic resonance imaging.

► **Tab. 2** Sensitivitätsanalyse zur Berechnung des Gesamtzeitbedarfs für die Begutachtung verschiedener Prozentsätze von 5 Arten radiologischer Untersuchungen mit dem RADPEER-System. CT = Computertomografie; MRT = Magnetresonanztomografie.

number of examinations	percentage of overall examinations	overall review time in seconds (and in hours)
6193 abdominal CT scans 5274 chest CT scans 2902 mammograms 85 378 conventional radiographies 3480 abdominal MRI examinations	100 %	4397 600 (1221.5)
90 abdominal CT scans 90 chest CT scans 90 mammograms 90 conventional radiographies 90 abdominal MRI examinations	0.145 % 0.171 % 0.311 % 0.011 % 0.259 %	27 198 (7.55)
30.9 abdominal CT scans 26.4 chest CT scans 14.5 mammograms 427 conventional radiographies 17.4 abdominal MRI examinations	0.5 %	21 988 (6.1)
61.9 abdominal CT scans 52.7 chest CT scans 29.0 mammograms 854 conventional radiographies 34.8 abdominal MRI examinations	1 %	43 976 (12.2)
123.8 abdominal CT scans 52.8 chest CT scans 58 mammograms 854 conventional radiographies 34.8 abdominal MRI examinations	2 %	87 952 (24.4)
etc.	3 %	131 928 (36.6)
etc.	5 %	219 880 (61.1)
etc.	10 %	439 760 (122.2)

aminations evaluated by 26 different radiologists. Swanson et al. [31] identified a discrepancy rate of 3.8 % between the original interpretation and the peer review (Score 2: 3.6 %, Score 3: 0.2 %). In our study, the overall disagreement rate (8.9 %) was almost twice as high as in the quoted studies (► **Table 1**). However, it is worth noting that the most experienced reviewer in our analysis (reviewer 1 with 14 years of clinical experience in diagnostic radiology) assigned Score 2 in 5 of 150 reviews (3.3 %) while never assigning Score 3. The results for this reviewer are roughly comparable to

the findings of other large studies. In contrast, reviewers 2 and 3 had a Score 2 rate of 9.3 % (28 of 300 reports) and a Score 3 rate of 2.3 % (7 of 300 reports). A possible explanation for this difference between more experienced and less experienced radiologists might be that the latter are more cautious and therefore more readily assign a disagreement score to be on the safe side.

In addition, the two less experienced reviewers (2 and 3 in our study) required significantly more time for the reviews (74.4 s and 72.5 s vs. 34.3 s for reviewer 1) (► **Fig. 2**). Again, this observation suggests that there is a correlation with clinical experience. Of note, all 3 reviewers took significantly longer for peer review when they assigned a disagreement score (2 or 3) compared with reviews assigned a score of 1 ( $p < 0.05$  each) (► **Fig. 3**). This was true for all three reviewers even when comparing the average review time for a score of 2 compared to that for a score of 1 and for reviewers 2 and 3 when comparing the times for a score of 3 compared to a score of 1. This suggests that, overall, it takes significantly longer to allocate a disagreement score of 2 or 3. Before such scores are assigned, the reviewers have to thoroughly compare images and findings, identify, and weigh possible deficiencies, and then assign the rating.

It is also plausible that it takes longer to review reports of cross-sectional imaging examinations, such as CT and MRI, compared with mammograms and conventional X-ray images. This was consistently observed for all three reviewers in our study (an average of 20.3 s for the evaluation of a mammogram or 36.3 s for a conventional radiography vs. 60.4 s on average for all other types of examination) as well as for each reviewer considered separately (► **Fig. 4**). This can be explained by the fact that a CT examination generates a vast number of thin-layer images, which allow multi-dimensional reformation but also take longer to interpret. Modern MRI examinations with specific protocols, e. g., for evaluation of the liver, including more than 20 different pulse sequences are even more complex.

To retrospectively peer review all five examination types analyzed here for a whole year (2018) at Bern University Hospital would involve a workload of more than 1200 hours or the equivalent work of half of a full-time radiologist. This is not realistic under routine conditions. It should also be borne in mind that the peer reviews in the framework of this study were carried out under optimal conditions. If one were to integrate the peer review process as proposed by the ACR into the daily reporting process, this would probably require even more time. It must also be taken into consideration that the workflow of radiologists is already highly fragmented. If double reading using RADPEER is added to the already heavy workload of a radiologist at a university hospital, this can lead to faster fatigue and decreasing quality of subsequent reports. Under these conditions, a routine peer review system would not improve quality but might even have the opposite effect.

Alternatively, one should consider systematic peer review of only part of all examinations. If only 10 % of the 5 types of examinations analyzed here were evaluated, the time required would be around 120 hours, which seems to be quite reasonable (► **Table 2**). To select cases with the highest probability of errors, Sheu et al. [25] created a mathematical model for radiologists based on past frequencies of interpretive errors. In addition, the

time required for peer review could be reduced further by working exclusively with very experienced reviewers. In our study, the average review time for the most experienced radiologist was almost 50 % lower than for the two less experienced reviewers. However, even if the workload can be reduced by the measures just outlined, double reading involves significant staff costs. In addition, there are always license fees for the use of RADPEER.

Ultimately, in addition to calculating the additional costs and effort, as carried out in our study, the potential benefit of a double reading has to be weighed against its potential benefits for patients. RADPEER was first introduced to identify patterns in frequently observed errors and to learn from past mistakes to prevent these in the future [9, 10]. What is important for radiologists is to be aware that, while reporting errors can occur, there are efforts to minimize them [17]. Quality measures can be adapted to the local requirements that can be very specific in relation to the referrers [26]. From Scandinavia, where in different countries (e. g., Sweden and Norway) double reading for different radiological examination procedures is widespread, extensive data is available which show high discrepancy rates of up to over 20 % between the compared radiological reports [14, 15]. As an added value for patients, an increased detection rate of breast cancer was demonstrated when using a systematic double reading of mammograms in breast cancer screening [27]. Moreover, Lauritzen et al. [28] found that double reading of chest CT examinations led to important changes in the clinical treatment pathway in 9 % of all patients, whereas in CT examinations of the abdomen even in 14 % of all patients a significant change in the clinical treatment path was due to the result of the double reading [29]. In trauma CT examinations, missing findings were found in up to 47 % of all patients comparing the initial short reports and the final reports, even though many of these discrepancies were findings of the musculoskeletal system with minor importance [30]. However, in the context of trauma, Yoon et al. [31] found significant changes in patient management based on double reading of trauma CT examinations in 7.8 % of all patients.

However, it has to be considered that besides RADPEER, there are other well-established measures to improve the quality of radiological reports like daily clinical demonstrations and tumor boards that include as in the case of RADPEER a “second look” on radiological examinations, often by a different radiologist [32]. Morbidity & mortality conferences provide a systematic approach to analyze errors in radiology with the aim of reducing these in the future. All these measures to improve quality can even be used for advertising purposes. For patients, it may be important to know that, in addition to various quality certificates of the processes, the actual content of radiological reports is rigorously checked.

Our study has various limitations. First of all, it has to be considered that the RADPEER scoring system was meant to be carried out during everyday work in clinics or practices in parallel with the ongoing reporting process. However, the effort required for the RADPEER scores is not provided but should not be neglected. In this regard, the sample analyzed in this study is small compared with the data that have so far been collected with RADPEER from a large number of sites over a period of many years. Therefore, our

results for the small subsets of reviews assigned scores of 2 or 3 should be interpreted with caution. However, our primary aim was to obtain a basis for determining whether a systematic peer review of a certain percentage of the total radiological examination volume in a large clinic would be feasible, especially when taking into account the current lack of radiologically qualified staff for such a task. It was intended to provide guidance to quickly estimate the additional expenses that can be expected in radiological institutes of variable size when using RADPEER as a quality measure. Our approach to use RADPEER scoring slightly differs from the “traditional” use during the ongoing reporting procedure. However, both are retrospective assessment methods. Our method might even underestimate the personnel effort, as imaging material in the PACS was probably more available than during ongoing reporting processes. The usual approach of using RADPEER also leads to faster radiologist fatigue as the reporting workflow is repeatedly interrupted. Finally, only five different types of examinations were included, accounting for about 60 % of the total volume at Bern University Hospital. We intended to use a sample of particularly common types of examinations. Certainly, other types of examination could easily be taken into account, which would of course take even more personnel effort.

In summary, performing a retrospective peer review of radiology reports using the RADPEER system is associated with significant personnel effort. However, if one optimizes the workflow of the review process and only reviews a certain proportion of the total volume of imaging examinations performed by an institution, the effort can be quite feasible, and its benefits may justify the expenditure incurred by routine peer review.

### Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

### References

- [1] Institute of Medicine Committee on Quality of Health Care in A. In: Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS, Hrsg To Err is Human: Building a Safer Health System. Washington (DC): National Academies Press (US); 2000
- [2] Committee on Diagnostic Error in Health C, Board on Health Care S, Institute of M et al. In: Balogh EP, Miller BT, Ball JR, Hrsg Improving Diagnosis in Health Care. Washington (DC): National Academies Press (US); 2015
- [3] World Health Organisation (WHO). <http://www.euro.who.int/en/health-topics/Health-systems/patient-safety/data-and-statistics>
- [4] Klauber J, Geraedts M, Friedrich J et al. Krankenhausreport 2014 – Schwerpunkt Patientensicherheit. Stuttgart: Schattauer Verlag; 2014
- [5] Maurer MH, Hamm B, Teichgraber U. ServiceBlueprinting as a service management tool in radiology. *European journal of radiology* 2011; 79: 333–336
- [6] Panykh OS, Jaworsky C, Shore MT et al. Improving Radiology Workflow with Automated Examination Tracking and Alerts. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2017; 14: 937–943
- [7] Kansagra AP, Liu K, Yu JP. Disruption of Radiologist Workflow. *Curr Probl Diagn Radiol* 2016; 45: 101–106

- [8] Swensen SJ, Johnson CD. Radiologic quality and safety: mapping value into radiology. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2005; 2: 992–1000
- [9] Tamm EP, Szklaruk J, Puthooran L et al. Quality initiatives: planning, setting up, and carrying out radiology process improvement projects. *Radiographics: a review publication of the Radiological Society of North America, Inc* 2012; 32: 1529–1542
- [10] Mabotuwana T, Hall CS, Flacke S et al. Inpatient Complexity in Radiology—a Practical Application of the Case Mix Index Metric. *J Digit Imaging* 2017; 30: 301–308
- [11] Margulis AR. Subspecialization and certification in radiology. *Am J Roentgenol* 1992; 159: 1113–1114
- [12] Meyl TP, de Bucourt M, Berghofer A et al. Subspecialization in radiology: effects on the diagnostic spectrum of radiologists and report turnaround time in a Swiss university hospital. *Radiol Med* 2019; 124: 860–869
- [13] Gollub MJ, Panicek DM, Bach AM et al. Clinical importance of reinterpretation of body CT scans obtained elsewhere in patients referred for care at a tertiary cancer center. *Radiology* 1999; 210: 109–112
- [14] Geijer H, Geijer M. Added value of double reading in diagnostic radiology, a systematic review. *Insights Imaging* 2018; 9: 287–301
- [15] Lauritzen PM, Hurlen P, Sandbaek G et al. Double reading rates and quality assurance practices in Norwegian hospital radiology departments: two parallel national surveys. *Acta radiologica* 2015; 56: 78–86
- [16] Borgstede JP, Lewis RS, Bhargavan M et al. RADPEER quality assurance program: a multifacility study of interpretive disagreement rates. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2004; 1: 59–65
- [17] Jackson VP, Cushing T, Abujudeh HH et al. RADPEER scoring white paper. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2009; 6: 21–25
- [18] Abujudeh H, Pyatt RS Jr, Bruno MA et al. RADPEER peer review: relevance, use, concerns, challenges, and direction forward. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2014; 11: 899–904
- [19] Goldberg-Stein S, Frigini LA, Long S et al. ACR RADPEER Committee White Paper with 2016 Updates: Revised Scoring System, New Classifications, Self-Review, and Subspecialized Reports. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2017; 14: 1080–1086
- [20] Moriarity AK, Brown ML, Schultz LR. Work and retirement preferences of practicing radiologists as a predictor of workforce needs. *Acad Radiol* 2014; 21: 1067–1071
- [21] Saket DD. The provision of emergency radiology services and potential radiologist workforce crisis: is there a role for the emergency-dedicated radiologist? *Semin Ultrasound CT MR* 2007; 28: 81–84
- [22] Gourd E. UK radiologist staffing crisis reaches critical levels. *Lancet Oncol* 2017; 18: e651
- [23] Mooney H. More radiologists needed for improved cancer diagnosis, says royal college. *Bmj* 2016; 353: i2718
- [24] Soffa DJ, Lewis RS, Sunshine JH et al. Disagreement in interpretation: a method for the development of benchmarks for quality assurance in imaging. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2004; 1: 212–217
- [25] Sheu YR, Feder E, Balsim I et al. Optimizing radiology peer review: a mathematical model for selecting future cases based on prior errors. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2010; 7: 431–438
- [26] Larson PA, Pyatt RS Jr, Grimes CK et al. Getting the most out of RADPEER. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2011; 8: 543–548
- [27] Hofvind S, Geller BM, Rosenberg RD et al. Screening-detected breast cancers: discordant independent double reading in a population-based screening program. *Radiology* 2009; 253: 652–660
- [28] Lauritzen PM, Stavem K, Andersen JG et al. Double reading of current chest CT examinations: Clinical importance of changes to radiology reports. *European journal of radiology* 2016; 85: 199–204
- [29] Lauritzen PM, Andersen JG, Stokke MV et al. Radiologist-initiated double reading of abdominal CT: retrospective analysis of the clinical importance of changes to radiology reports. *BMJ quality & safety* 2016; 25: 595–603
- [30] Eurin M, Haddad N, Zappa M et al. Incidence and predictors of missed injuries in trauma patients in the initial hot report of whole-body CT scan. *Injury* 2012; 43: 73–77
- [31] Yoon LS, Haims AH, Brink JA et al. Evaluation of an emergency radiology quality assurance program at a level I trauma center: abdominal and pelvic CT studies. *Radiology* 2002; 224: 42–46
- [32] Kelly AM, Cronin P. Practical Approaches to Quality Improvement for Radiologists. *Radiographics: a review publication of the Radiological Society of North America, Inc* 2015; 35: 1630–1642

## Druckexemplar der ausgewählten Publikation III

«Software-basierte Evaluation des Optimierungspotenzials bei klinischen MRT-Scannern in der Radiologie»

**Meyl, T. P.**, Berghöfer, A., Blatter, T., Heverhagen, J. T., de Bucourt, M., & Maurer, M. H. (2021). Software-Based Evaluation of Optimization Potential for Clinical MRI Scanners in Radiology. Software-basierte Evaluation des Optimierungspotenzials bei klinischen MRT-Scannern in der Radiologie. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, Advance online publication.

<https://doi.org/10.1055/a-1659-8821>

Reproduced with permission from © Georg Thieme Verlag KG

# Software-basierte Evaluation des Optimierungspotenzials bei klinischen MRT-Scannern in der Radiologie

## Software-Based Evaluation of Optimization Potential for Clinical MRI Scanners in Radiology

### Autoren

Tobias Philipp Meyl<sup>1</sup>, Anne Berghöfer<sup>2</sup>, Tobias Blatter<sup>3</sup>, Johannes T. Heverhagen<sup>4</sup>, Maximilian de Bucourt<sup>5</sup>, Martin H. Maurer<sup>4</sup>

### Institute

- 1 Medical Department, Medical Strategy, Inselspital, Bern University Hospital, University of Bern, Switzerland
- 2 Institute for Social Medicine, Epidemiology, and Health Economics, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany
- 3 Institute for Clinical Chemistry, Inselspital, Bern University Hospital, University of Bern, Switzerland
- 4 Department for Diagnostic, Interventional, and Paediatric Radiology, Inselspital, Bern University Hospital, University of Bern, Switzerland
- 5 Clinic for Diagnostic and Interventional Radiology, Charité Universitätsmedizin Berlin, Germany

### Key words

health policy and practice, scheduling, optimization, MR imaging

eingereicht 07.02.2021

akzeptiert 30.09.2021

online publiziert 22.10.2021

### Bibliografie

Fortschr Röntgenstr

DOI 10.1055/a-1659-8821

ISSN 1438-9029

© 2021. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

### Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Dr. Martin Maurer

Department for Diagnostic, Interventional, and Paediatric Radiology, Inselspital, Bern University Hospital, University of Bern, Switzerland

Tel.: +41/31/632 71 80

Fax: +41/31/632 71 80

martin.maurer@insel.ch

### ZUSAMMENFASSUNG

**Ziel** Ziel der Studie war es, unter Verwendung einer Software-Applikation die Untersuchungsdauern und Wechselzeiten von 2 klinisch stark frequentierten MRT-Scannern einer Universitätsklinik für Radiologie zu analysieren und zu evaluieren, ob sich daraus ein Optimierungspotenzial für die Untersuchungsplanung in der täglichen klinischen Routine der MRT-Diagnostik ableiten lässt.

**Material und Methoden** Anhand einer detaillierten Abfrage mit einer neu entwickelten Software-Applikation („Teamply Usage“, Siemens Healthineers, Deutschland) wurden innerhalb eines Analysezeitraums von 12 Monaten an 2 MRT-Scannern (1,5 T und 3 T) die durchgeführten Untersuchungen im Hinblick auf Untersuchungsart und jeweilige Untersuchungsdauer analysiert. Zudem erfolgte eine Überprüfung der Einhaltung vorab definierter Planzeiten (30, 45, 60 min) und eine Analyse von Planzeitabweichungen. Des Weiteren wurden Wechselzeiten zwischen Untersuchungen ermittelt und bei einer Auswahl von Wechselkombinationen ein möglicher Einfluss durch den Austausch von MRT-Spulen untersucht.

**Ergebnisse** Bei insgesamt 7184 (1,5T: 3740; 3T: 3444) in die Studie einbezogenen Untersuchungen betrug die mediane Untersuchungsdauer 43:02 Minuten (1,5T: 43:17 min; 3T: 42:45 min). Die 10 häufigsten Untersuchungsarten je MRT-Scanner wurden unter Berücksichtigung einer Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten je Untersuchung zu 54,5% (1,5T) bzw. 51,9% (3T) innerhalb der vordefinierten Planzeit abgeschlossen. Gesamthaft betrachtet wurde für Untersuchungen mit einer Planzeit von 30 Minuten mehr Zeit aufgewendet, hingegen wurde der größte Anteil der mit 45 Minuten geplanten Untersuchungen auch innerhalb dieser Zeit abgeschlossen. Untersuchungen mit einer Planzeit von 60 Minuten nahmen zumeist weniger Zeit in Anspruch. Ein Vergleich zwischen Planzeit und ermittelter Untersuchungsdauer der häufigsten Untersuchungsarten zeigte insgesamt ein nur geringes Optimierungspotenzial. Spulenaustausche zwischen 2 Untersuchungen hatten einen geringen, jedoch statistisch nicht signifikanten Effekt auf die mediane Wechselzeit ( $p = 0,062$ ).

**Schlussfolgerung** Mittels einer Software-basierten Analyse konnte ein detaillierter Überblick in Bezug auf Untersuchungsart, Untersuchungsdauer und Wechselzeiten hochfrequen-

tierter klinischer MRT-Scanner erlangt werden. In der untersuchten Klinik ließ sich ein geringes Optimierungspotenzial für die Untersuchungsplanung ableiten. Ein für unterschiedliche Untersuchungsarten notwendiger Austausch von MRT-Spulen hatte einen geringen Effekt auf die Wechselzeiten.

#### Kernaussagen

- Die Anwendung der Software-Applikation „Teamplay Usage“ ermöglicht einen umfassenden Überblick in Bezug auf Untersuchungsart, Untersuchungsdauer und Wechselzeiten von MRT-Scannern.
- Anpassungen der Untersuchungsplanung bei der MRT-Diagnostik zeigen Optimierungspotenzial, das in der untersuchten Klinik jedoch als gering zu bewerten ist.
- Notwendige Austausche von MRT-Spulen zeigen einen kleinen Effekt auf die Wechselzeiten.

#### Zitierweise

- Meyl TP, Berghöfer A, Blatter T et al. Software-Based Evaluation of Optimization Potential for Clinical MRI Scanners in Radiology. *Fortschr Röntgenstr* 2021; DOI 10.1055/a-1659-8821

#### ABSTRACT

**Objective** The aim of the study was to use a software application to analyze the examination times and changeover times of two clinically highly applied MRI scanners at a university hospital for radiology and to evaluate whether this could result in optimization potential for examination planning in the daily clinical routine of MRI diagnostics.

**Materials and Methods** Based on the newly developed software application “Teamplay Usage” (Siemens Healthineers, Germany), the examinations carried out on two MRI scanners

(1.5 T and 3 T) were investigated within an analysis period of 12 months with regard to the type of examination and its duration. In addition, compliance with the previously defined planning time (30, 45, 60 min.) was checked and deviations were analyzed. In addition, the changeover times between the examinations were determined and a possible influence due to the exchange of MRI coils was investigated for a selection of change combinations.

**Results** For the total of 7184 (1.5T: 3740; 3T: 3444) examinations included in the study, the median examination time was 43:02 minutes (1.5T: 43:17 min.; 3T: 42:45 min.). The ten most frequent types of examinations per MRI scanner were completed within the predefined plan time of 54.5% (1.5 T) and 51.9% (3 T), taking into account a previously defined preparation and post-processing time of 9 minutes per examination. Overall, more time was spent on examinations with a planned time of 30 minutes, whereas the majority of the examinations planned with 45 minutes were also completed within this time. Examinations with a planned time of 60 minutes usually took less time. A comparison between the planned time and the determined examination duration of the most common types of examinations showed overall a slight potential for optimization. Coil exchanges between two examinations had a small, but statistically not significant effect on the median changeover time ( $p = 0.062$ ).

**Conclusion** Utilizing a software-based analysis, a detailed overview of the type of examination, examination duration, and changeover times of frequently used clinical MRI scanners could be obtained. In the clinic examined, there was little potential for optimization of examination planning. An exchange of MRI coils necessary for different types of examination only had a small effect on the changeover times.

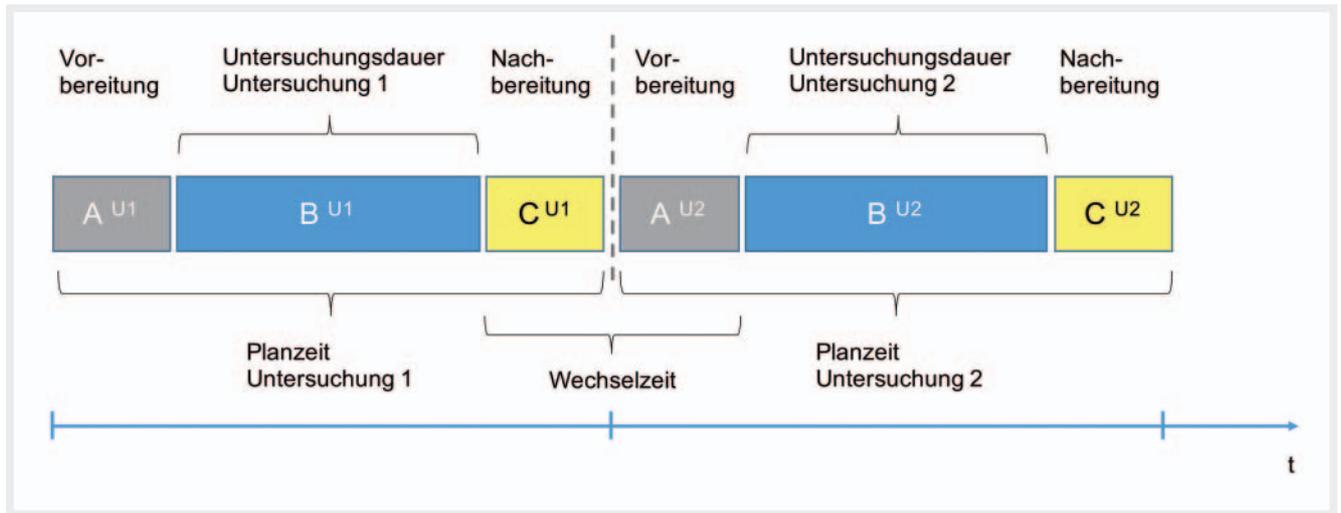
## Einleitung

Durch den zunehmenden Kostendruck im Gesundheitswesen besteht auch in der Radiologie die Notwendigkeit zur Optimierung von Untersuchungs- und Befundungsprozessen bei gleichzeitig zu erbringender höchstmöglicher Qualität der Untersuchungsleistungen [1, 2]. Bisherige Ansätze fokussierten sich dabei auf eine Verbesserung der Prozessabläufe vor allem in den schnittbildgebenden Verfahren wie Computertomografie (CT), Magnetresonanztomografie (MRT) und dem Ultraschall [3–5]. Beabsichtigt ist damit eine möglichst hohe Auslastung der Untersuchungsgeräte bei gleichzeitig geringen Leerstandzeiten, welche vor allem in der MRT mit hohen (Opportunitäts-) Kosten verbunden sind [6, 7].

Allerdings gestaltet sich in großen Kliniken die optimale Auslastung verfügbarer MRT-Geräte weiterhin schwierig, zumal eine Vielzahl teils sehr aufwendiger Untersuchungsverfahren mit verschiedenen MRT-Spulen angeboten werden müssen, bei gleichzeitiger exakter Koordination der zeitlich passenden Verfügbarkeit schwer kranker und zumeist immobiler Patienten von verschiedenen Stationen. Zudem kann die Länge auch gleichartiger

Untersuchungen in Abhängigkeit von der Compliance der Patienten stark schwanken [8]. Dabei erfolgt die Planung zur Belegung unterschiedlicher MRT-Scanner bisher oftmals durch das administrative Personal im Sinne einer „Pseudooptimierung“, basierend auf etablierten Erfahrungswerten aus der Vergangenheit. Bei einer retrospektiven Betrachtung bleibt man damit jedoch zumeist hinter einem erzielbaren Optimum zurück [9]. Allerdings verfügen moderne MRT-Scanner über assoziierte IT-Anwendungen, mit denen detaillierte Daten über die tatsächliche Nutzung der Geräte verfügbar gemacht werden [10, 11].

Ziel der Studie war es, unter Verwendung einer neu verfügbaren Software-Applikation einen umfassenden und detaillierten Überblick über die Verwendung von 2 klinisch stark frequentierten MRT-Scannern in Bezug auf Untersuchungsart, Untersuchungsdauer und Wechselzeiten zu erlangen und zu evaluieren, ob sich daraus ein Optimierungspotenzial für die Untersuchungsplanung in der täglichen klinischen Routine der MRT-Diagnostik ableiten lässt.



► **Abb. 1** Die verschiedenen Abschnitte des MRT-Untersuchungsprozesses, aufgeteilt nach Vorbereitung (A<sup>U1</sup>), Untersuchungsdauer Untersuchung 1 (B<sup>U1</sup>) und Nachbereitung (C<sup>U1</sup>). Die Abschnitte der folgenden Untersuchung 2 sind entsprechend als A<sup>U2</sup>, B<sup>U2</sup>, C<sup>U2</sup> bezeichnet.

## Material und Methoden

Die vorliegende Studie wurde in der Klinik für Radiologie einer Schweizer Universitätsklinik durchgeführt. Im Rahmen einer institutsinternen Erhebung wurden die Untersuchungsdauern und Wechselzeiten von MRT-Untersuchungen an 2 MRT-Scannern (1,5 Tesla (T), Siemens Aera und 3 T, Siemens Skyra, beide Siemens Healthcare, Erlangen, Deutschland) einer detaillierten retrospektiven Analyse unterzogen. Das einbezogene Untersuchungsspektrum umfasste sämtliche MRT-Untersuchungen (Körperregionen bzw. Themenbereiche: Abdomen, Urologie, Thorax, Herz, Mamma und muskuloskelettales System) der Klinik mit Ausnahme neurologischer Untersuchungen, welche von der eigenständigen Klinik für Neuroradiologie vorgenommen wurden.

Der Ablauf einer MRT-Untersuchung stellte sich jeweils wie folgt dar: Nach Überweisung durch einen zuweisenden Arzt und Prüfung der Indikationsstellung durch klinikeigene Fachärzte für Radiologie wurde durch die Disposition der radiologischen Klinik die zeitliche Planung aller Untersuchungen und deren Abfolge organisiert. Nach Eintreffen der Patienten und einer Aufklärung über die Untersuchung sowie ggf. nötige Gabe von intravenösem (i. v.) Kontrastmittel wurde eine Vorbereitung der Patienten auf die MRT-Untersuchung durch das radiologische Fachpersonal durchgeführt (z. B. Legen einer Flexüle) und entsprechende Vorbereitungen im MRT-Raum, wie beispielsweise das Anbringen und Einstellen der Spulen, vorgenommen. Es folgte sodann die Untersuchung im MRT-Scanner gemäß dem vorab festgelegten Sequenzprotokoll. Nach Beendigung der Untersuchung wurden die Patienten aus dem MRT-Raum hinausbegleitet. Ambulante Patienten verließen anschließend die Abteilung, während stationäre Patienten durch den rechtzeitig vorab organisierten Transportdienst abgeholt wurden. Abschließend erfolgte die Reinigung des Raums durch radiologisches Fachpersonal und der Prozess startete mit einer nachfolgenden Untersuchung erneut. In der radiologischen Klinik wurden grundsätzlich jeweils 2 Personen

medizinisch-technischen Fachpersonals gleichzeitig je MRT-Scanner eingesetzt.

Für alle Untersuchungen war Klinikintern eine Planzeit von entweder 30, 45 oder 60 Minuten definiert. Dabei enthielt diese Planzeit die erwartete Untersuchungsdauer [B<sup>U1</sup>] inklusive einer Vor- und Nachbereitungszeit [A<sup>U1</sup> und C<sup>U1</sup>] (► **Abb. 1**). Als Untersuchungsdauer [B<sup>U1</sup>] wurde der Zeitraum zwischen dem Zeitpunkt der Erstellung des ersten Bildes einer MRT-Untersuchung und dem Ende der Aufnahme des letzten Bildes definiert. Die Wechselzeit wurde als Zeitraum zwischen dem Ende der Untersuchung und dem Beginn der Folgeuntersuchung definiert. Sie setzte sich somit aus der Nachbereitungszeit einer Untersuchung [C<sup>U1</sup>] sowie der Vorbereitungszeit für die jeweilige Folgeuntersuchung [A<sup>U2</sup>] zusammen.

Als Analysezeitraum wurden 12 Monate vom 1. März 2017 bis 28. Februar 2018 berücksichtigt. Die untersuchungsspezifischen detaillierten Daten wurden mittels einer Abfrage mit der Software-Applikation „Teamplay Usage“ (Siemens Healthineers, Erlangen, Deutschland) erhoben, die der radiologischen Klinik für den oben genannten Zeitraum im Rahmen dieser Studie zur Verfügung stand. Die Applikation nutzte Daten direkt von den Konsolen an den MRT-Scannern und erfasste basierend auf den DICOM-Daten der Untersuchungen die Untersuchungsart, das Datum der Untersuchung, den Startzeitpunkt sowie den Endzeitpunkt. Die Untersuchungsdauer und die Wechselzeit zwischen 2 Untersuchungen wurden hieraus automatisiert errechnet. Die Zeitdauern wurden sekundengenau erfasst (in Stunden:Minuten:Sekunden). Vorselektionen wurden durch die Applikation nicht vorgenommen. Es war zu berücksichtigen, dass vor Erstellung des ersten DICOM-Bildes vorgelagerte Prozesse, wie z. B. die Homogenisierung des Magnetfeldes („Shimming“), erforderlich waren. Diese Zeiten wurden durch die Applikation nicht separat erfasst. Sie können sich je nach Körperregion, Patientenkonstitution oder Feldstärke des MRT-Scanners unterscheiden und variieren in der Regel zwischen ca. 15 und 30 Sekunden. In dieser Studie waren sie Bestandteil der Vorbereitungszeit. Die Bezeichnung der Untersu-

► **Tab. 1** Anzahl und Anteil an Untersuchungen beider MRT-Scanner (n = 7184; 1,5T = 3740, 3T = 3444) in Bezug auf die geplante Untersuchungsdauer (Planzeit) und dabei ermittelte mediane Untersuchungsdauer (mUD). Darüber hinaus Darstellung der mUD inklusive einer Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten. Zudem Abbildung der Differenz zwischen Planzeit und mUD inklusive der Vor- und Nachbereitungszeit. Zeiten sind in Stunden, Minuten, Sekunden (hh:mm:ss) angegeben.

MRT-Scanner und Anzahl Untersuchungen	Planzeit	Anzahl Untersuchungen	Anteil Untersuchungen	Mediane Untersuchungsdauer (mUD)	mUD <sup>1</sup>	Δ zwischen Planzeit und mUD <sup>1</sup>
1,5T-MRT n = 3740	0:30:00	905	24,2 %	0:30:58	0:39:58	-0:09:58
	0:45:00	2488	66,5 %	0:34:36	0:43:36	0:01:24
	1:00:00	347	9,3 %	0:40:07	0:49:07	0:10:53
3T-MRT n = 3444	0:30:00	885	25,7 %	0:29:03	0:38:03	-0:08:03
	0:45:00	2481	72,0 %	0:34:32	0:43:32	0:01:28
	1:00:00	78	2,3 %	0:44:00	0:53:00	0:07:00

<sup>1</sup> inkl. Vor- und Nachbereitungszeit von 9 min.

chungsarten an den MRT-Konsolen basierte auf den im Radiologischen Informationssystem (RIS) hinterlegten Bezeichnungen. Dabei entsprachen bei den meisten Untersuchungsarten die Bezeichnungen im RIS den durchgeführten Sequenzprotokollen (z. B. MRT Knie). Bezeichnungen wie „MRT Abdomen“ umfassten jedoch verschiedene spezifische Protokolle der Leber. „MRT Becken“ beinhaltete Sequenzprotokolle für die Prostata oder das Beckentumorstaging.

In einem ersten Teil der Studie wurden die tatsächlichen Untersuchungsdauern sämtlicher Untersuchungen bzw. Untersuchungsarten an beiden MRT-Scannern analysiert. Für alle Untersuchungen wurde eine mediane Untersuchungsdauer ermittelt, inklusive einer konstanten Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten. Diese Vor- und Nachbereitungszeit resultierte aus der Betrachtung der Häufigkeitsverteilung aller Wechselzeiten, die innerhalb der Kernarbeitszeit (werktags Montag bis Freitag zwischen 06.45 Uhr und 18.45 Uhr) erfasst wurden. Es erfolgte eine Überprüfung der Einhaltung der Planzeiten (30, 45 oder 60 Minuten) und eine Analyse von Planzeitabweichungen. Zusätzlich wurde für jede Untersuchungsart deren Anzahl und Anteil an der Gesamtmenge der analysierten Untersuchungen sowie die jeweilige mediane Untersuchungsdauer ermittelt. Bei der Auswertung wurde auf die 10 am häufigsten durchgeführten Untersuchungsarten (Top 10) beider Scanner fokussiert.

In einem zweiten Teil der Studie wurde eine Analyse der Wechselzeiten vorgenommen. Bei Betrachtung der Wechselzeiten wurden diejenigen Untersuchungen berücksichtigt, die innerhalb der o. g. Kernarbeitszeit durchgeführt und abgeschlossen wurden. Anzahl und mediane Wechselzeiten der Kombinationen, d. h. der Abfolgen verschiedener Untersuchungsarten, wurden für beide MRT-Scanner gemeinsam ermittelt. Der Fokus wurde auf diejenigen Kombinationen gelegt, die mindestens 20-mal vorkamen. Im Rahmen der Wechselzeitenanalyse wurden sodann die 5 häufigsten Kombinationen ermittelt und diejenigen, deren Wechsel am längsten dauerten.

Weiterhin wurde überprüft, ob das Beibehalten einer MRT-Spule bei 2 aufeinanderfolgenden Untersuchungen mit geringeren media-

nen Wechselzeiten einherging als im Falle, dass ein Austausch erforderlich war. Es wurden jeweils alle Untersuchungen der 5 häufigsten Kombinationen miteinander verglichen, bei denen ein Beibehalten bzw. ein Austausch der MRT-Spule erfolgte. Die Signifikanz des Unterschieds wurde mittels eines Mood's-Median-Tests überprüft mit einem Signifikanzniveau von  $p = 0,05$ . Für alle Auswertungen im Rahmen dieser Studie wurden Excel 2010 für Windows (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) und R (Version 3.6.3, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) verwendet.

## Ergebnisse

### Analyse der Untersuchungsdauern

In dem ersten Teil der Studie zur Analyse der Untersuchungsdauern wurden im betrachteten Zeitraum insgesamt 7184 MRT-Untersuchungen einbezogen, davon 3740 (52,1 %) im 1,5-Tesla-MRT-Scanner (1,5 T) und weitere 3444 (47,9 %) Untersuchungen im 3-Tesla-MRT-Scanner (3 T), wobei insgesamt 34 verschiedene Untersuchungsarten vorkamen.

Die mediane Untersuchungsdauer des gesamten Untersuchungsvolumens betrug 43:02 Minuten (1,5T: 43:17 min; 3T: 42:45 min) inklusive einer Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten. Die Häufigkeitsverteilung der Wechselzeiten innerhalb der Kernarbeitszeiten zeigte, dass mit rund 27 % der höchste Anteil von Wechselzeiten zwischen 6 und 9 Minuten lag. Ein Anteil von 48,2 % (1801/3740) aller Untersuchungen im 1,5T-MRT-Scanner und 47,4 % (1632/3444) aller Untersuchungen im 3T-MRT-Scanner wurden innerhalb der definierten Planzeit durchgeführt. Die Anzahl und der jeweilige Anteil der Untersuchungen mit einer Planzeit von 30, 45 und 60 Minuten finden sich in ► **Tab. 1**. Insgesamt betrachtet dauerten Untersuchungen, für die 30 Minuten eingeplant wurden, bei beiden MRT-Scannern länger (1,5T: 39:58 min; 3T: 38:03 min). Hingegen konnte der höchste Anteil an Untersuchungen mit einer Planzeit von 45 Minuten innerhalb dieser Zeit abgeschlossen werden. Für den geringen Anteil an

► **Tab. 2** Die häufigsten Untersuchungsarten (Top 10; 1,5T = 3031; 3T = 2783) beider MRT-Scanner (1,5 T und 3 T) mit entsprechender Häufigkeit der Durchführung; Anteil am Gesamtvolumen; Planzeit; mediane Untersuchungs-dauer (mUD); Differenz zwischen Planzeit und mUD inkl. Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten; Anteil Untersuchungen inkl. Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten, die innerhalb der Planzeit begonnen und abgeschlossen wurden. Zeiten sind in Stunden, Minuten, Sekunden (hh:mm:ss) angegeben.

Untersuchungsarten Top 10 je MRT-Scanner	Anzahl Untersuchungen	Anteil am Gesamtvolumen je MRT-Scanner	Planzeit	mediane Untersuchungs-dauer (mUD)	mUD <sup>1</sup>	Δ zwischen Planzeit und mUD <sup>1</sup>	Anteil Untersuchungen <sup>1</sup> innerhalb Planzeit
<b>1,5T-MRT-Scanner</b>							
Halsweichteile <sup>2</sup>	781	20,9%	0:45:00	0:34:53	0:43:53	0:01:07	62,0%
Abdomen <sup>3</sup>	679	18,2%	0:45:00	0:34:09	0:43:09	0:01:51	61,9%
Angiografie aller Gefäße	297	7,9%	0:45:00	0:37:37	0:46:37	-0:01:37	43,1%
Knie	289	7,7%	0:30:00	0:26:56	0:35:56	-0:05:56	3,1%
Becken <sup>4</sup>	278	7,4%	0:45:00	0:36:44	0:45:44	-0:00:44	47,8%
Thorax	198	5,3%	0:45:00	0:28:42	0:37:42	0:07:18	77,3%
Dünndarm	152	4,1%	1:00:00	0:40:45	0:49:45	0:10:15	82,9%
Lendenwirbelsäule	138	3,7%	0:30:00	0:32:17	0:41:17	-0:11:17	13,0%
Nieren/Nebennieren	126	3,4%	0:45:00	0:27:51	0:36:51	0:08:09	86,5%
MRT-gesteuerte Biopsie	93	2,5%	1:00:00	0:39:20	0:48:20	0:11:40	73,5%
<b>3T-MRT-Scanner</b>							
Becken <sup>4</sup>	772	22,4%	0:45:00	0:37:02	0:46:02	-0:01:02	42,2%
Abdomen <sup>3</sup>	674	19,6%	0:45:00	0:34:59	0:43:59	0:01:01	58,8%
Mamma	346	10,0%	0:45:00	0:25:28	0:34:28	0:10:32	94,5%
Knie	282	8,2%	0:30:00	0:24:15	0:33:15	-0:03:15	8,5%
Angiografie aller Gefäße	187	5,4%	0:45:00	0:35:07	0:44:07	0:00:53	55,6%
Nieren/Nebennieren	153	4,4%	0:45:00	0:29:47	0:38:47	0:06:13	75,8%
Lendenwirbelsäule	105	3,0%	0:30:00	0:32:29	0:41:29	-0:11:29	21,0%
Hand und/oder Finger	97	2,8%	0:45:00	0:29:54	0:38:54	0:06:06	73,2%
Thorax	85	2,5%	0:45:00	0:33:58	0:42:58	0:02:02	60,0%
Fuß	82	2,4%	0:30:00	0:33:54	0:42:54	-0:12:54	7,3%

<sup>1</sup> inkl. Vor- und Nachbereitungszeit von 9 min.

<sup>2</sup> MRT Halsweichteile beinhaltet folgende Untersuchungsprotokolle: MRT Hals, MRT Parotis und MRT Gesichtsschädel.

<sup>3</sup> MRT Abdomen beinhaltet folgende Untersuchungsprotokolle: MRT Leber, MRT Leber nach Lebertransplantation, MRT Leber mit Hepatozyten-spezifischem Kontrastmittel.

<sup>4</sup> MRT Becken beinhaltet folgende Untersuchungsprotokolle: MRT Prostata, MRT Becken-Tumorstaging.

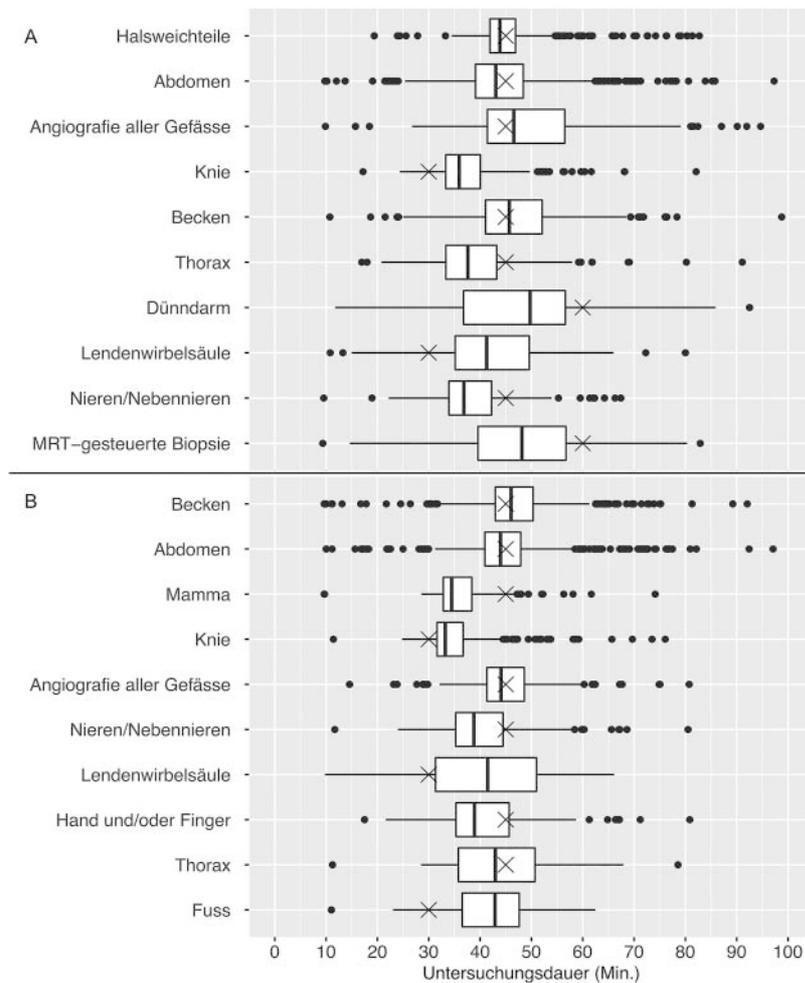
Untersuchungen, die mit 60 Minuten geplant wurden, wurde weniger Zeit aufgewandt (1,5T: 49:07 min; 3T: 53:00 min).

Bei Betrachtung beider Scanner machten die 10 am häufigsten durchgeführten Untersuchungsarten (Top 10) im 1,5T-MRT-Scanner einen Anteil von 81,0% (3031/3740) und im 3T-MRT-Scanner einen Anteil von 80,8% (2783/3444) der Gesamtuntersuchungsmenge aus.

Wurden bei den medianen Untersuchungs-dauern jeweils 9 Minuten an Vor- und Nachbereitungszeit berücksichtigt, so lag bei den 10 am häufigsten durchgeführten Untersuchungsarten (Top 10) im 1,5T-Scanner ein Anteil von 54,5% (1652/3031) und im 3T-Scanner ein Anteil von 51,9% (1443/2783) innerhalb der definierten Planzeit. Eine detaillierte Aufteilung je Untersuchungsart und je MRT-Scanner zeigt ► **Tab. 2**.

Im 1,5T-Scanner stellten Untersuchungen der Halsweichteile mit einem Anteil von 20,9% und einer Untersuchungs-dauer von 43:53 Minuten die häufigste Untersuchungsart dar, gefolgt von Untersuchungen des Abdomens (18,2%; 43:09 Minuten). Im 3T-Scanner wiederum wurden mit 22,4% am häufigsten Untersuchungen am Becken durchgeführt, bei einer Untersuchungs-dauer von 46:02 Minuten. Untersuchungen des Abdomens machten auch im 3T-Scanner einen vergleichsweise hohen Anteil aus (19,6%; 43:59 Minuten).

Bei beiden MRT-Scannern lag bei 6 der 10 Untersuchungsarten die mediane Untersuchungs-dauer inklusive der Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten innerhalb der initial vorgesehenen Planzeit (► **Abb. 2**). So wurde beispielsweise im 1,5T-MRT-Scanner bei den oben genannten Untersuchungen des Abdomens bei



► **Abb. 2** Boxplots der Untersuchungsdauern (in Minuten) der 10 häufigsten MRT-Untersuchungsarten (A: 1,5T-MRT-Scanner, B: 3T-MRT-Scanner). Kreuz = definierte Planzeit.

61,9% der Untersuchungen (3T: 58,8%) weniger Zeit benötigt als es die Planzeit von 45 Minuten vorsah. Zudem fand sich eine teils deutliche Unterschreitung der Planzeit auch bei aufwendigen Untersuchungen, die ausschließlich im 1,5T-MRT-Scanner durchgeführt wurden. Dies beispielsweise bei Dünndarmuntersuchungen (sog. MR-Enteroklyse) und MRT-gesteuerten Biopsien, für die jeweils 60 Minuten geplant worden waren, jedoch nur 49:45 Minuten (MRT Dünndarm) bzw. 48:20 Minuten (MRT-gesteuerte Biopsie) benötigt wurden. Weitere typische Beispiele für Untersuchungen mit einer Unterschreitung der Planzeit finden sich in ► **Tab. 2**. Im Gegensatz hierzu fanden sich jedoch auch verschiedene Untersuchungsarten mit längeren Untersuchungsdauern, verglichen mit der vorgesehenen Planzeit. So dauerten beispielsweise Untersuchungen der Lendenwirbelsäule länger als die vorgesehene Planzeit von 30 Minuten (1,5T: 41:17 min; 3T: 41:29 min).

### Analyse der Wechselzeiten

Im zweiten Teil der Studie mit einer Analyse der Wechselzeiten erfolgte eine Fokussierung auf diejenigen Kombinationen von Untersuchungsabfolgen, die innerhalb der definierten Kernarbeitszeit erfasst wurden und mindestens 20-mal vorkamen ( $n = 3037$ ). Dabei wurden zunächst die 5 häufigsten Untersuchungsabfolgen und deren mediane Wechselzeiten analysiert ( $n = 862$ , ► **Tab. 3**). Bei den häufigsten Kombinationen zeigte sich, dass gleiche Untersuchungsarten, wie die besonders häufig durchgeführten Untersuchungen des Abdomens, des Beckens und des Halses, auch häufig aufeinander folgten. In diesen Fällen konnte die bei der vorherigen Untersuchung verwendete MRT-Spule beibehalten werden. Mediane Wechselzeiten lagen bei den 5 häufigsten Kombinationen zwischen 07:44 und 09:42 Minuten (► **Tab. 3**). Die 5 Kombinationen mit den längsten medianen Wechselzeiten wurden genauer betrachtet ( $n = 158$ ). Dabei lag die längste dokumentierte mediane Wechselzeit bei 16:47 Minuten mit einer Abfolge von 2 Untersuchungen des Dünndarms aufeinander. Bei den weiteren Kombinationen mit den längsten

► **Tab. 3** Untersuchungsabfolgen beider MRT-Scanner mit den 5 häufigsten (n = 862; 28,4 %; oberer Teil der Tabelle) und den 5 längsten (n = 158; 5,2 %; unterer Teil der Tabelle) medianen Wechselzeiten unter Berücksichtigung aller Untersuchungsabfolgen, die mindestens 20-mal vorkamen und innerhalb der Kernarbeitszeit lagen (n = 3037). Zeiten sind in Stunden, Minuten, Sekunden (hh:mm:ss) angegeben.

Untersuchung	Folgeuntersuchung	mediane Wechselzeit	Häufigkeit Kombination	Anteil in %
Halsweichteile	Halsweichteile	0:07:44	162	5,3 %
Becken	Becken	0:08:42	170	5,6 %
Abdomen	Halsweichteile	0:08:45	135	4,4 %
Abdomen	Abdomen	0:08:57	240	7,9 %
Abdomen	Becken	0:09:42	155	5,1 %
Halsweichteile	Dünndarm	0:13:56	21	0,7 %
Abdomen	Nieren/Nebennieren	0:14:24	34	1,1 %
Lendenwirbelsäule	Abdomen	0:14:46	30	1,0 %
Angiografie aller Gefäße	Knie	0:14:55	25	0,8 %
Dünndarm	Dünndarm	0:16:47	48	1,6 %

Wechselzeiten folgten jeweils unterschiedliche Untersuchungsarten aufeinander, was grundsätzlich auch mit einem Austausch der MRT-Spule einherging (► **Tab. 3**).

Bei einer abschließenden Gegenüberstellung der 5 häufigsten Kombinationen an Untersuchungsartabfolgen, bei denen die MRT-Spule beibehalten wurde (n = 691), mit den 5 häufigsten Kombinationen, bei denen ein Spulenaustausch (n = 639) erforderlich war, zeigte sich ein geringer und statistisch nicht signifikanter Zeitunterschied von 33 Sekunden (mediane Wechselzeit bei Beibehalten der Spule: 09:08 min versus Notwendigkeit des Spulenaustausches: 09:41 min; p = 0,062). Ein für unterschiedliche Untersuchungsarten erforderlicher Austausch der MRT-Spule hatte bei den analysierten Kombinationen keinen signifikanten Einfluss auf die Wechselzeit.

## Diskussion

Prozessanalysen in der Radiologie werden seit Jahrzehnten vorgenommen und konnten einen positiven Effekt auf die Verbesserung der Ablauforganisation sowie einen Mehrwert für die Patientenbehandlung nachweisen [12–15]. Bisherige Analysen orientierten sich vielfach an kleinen Stichproben mit entsprechenden Limitationen auf den Aussagewert hinsichtlich des abzuleitenden Verbesserungspotenzials für die Organisation der Prozesse im klinischen Alltag [16].

Die in dieser Studie verwendete Analyse-Software ermöglichte einen umfassenden Überblick über die Verwendung zweier klinisch stark frequentierter MRT-Scanner in Bezug auf die evaluierten Faktoren Untersuchungsart, Untersuchungsdauer und Wechselzeit. Die medianen Untersuchungsdauern des gesamten Untersuchungsvolumens inklusive einer Vor- und Nachbereitungszeit lagen rund zur Hälfte (1,5T: 48,2%; 3T: 47,4%) innerhalb der entsprechenden Planzeit. Von den 10 häufigsten Untersuchungsarten je MRT-Scanner wurden etwas mehr als die Hälfte der Untersuchungen innerhalb der Planzeit abgeschlossen (1,5T:

54,5%; 3T: 51,9%). Die jeweiligen Planzeiten für MRT-Untersuchungen entsprachen damit im Durchschnitt den tatsächlichen Untersuchungsdauern inklusive ihrer Vor- und Nachbereitungszeit.

Abhängig von der Untersuchungsart wichen die Untersuchungsdauern jedoch unterschiedlich stark von der jeweiligen Planzeit ab, weshalb sich diskutieren lässt, inwieweit sich durch eine Anpassung einzelner Planzeiten Optimierungspotenzial realisieren ließe. So könnte z. B. bei den häufig durchgeführten Untersuchungen des Abdomens gemäß der ermittelten Untersuchungsdauern (1,5T: 43:09 min; 3T: 43:49 min) die Planzeit von ursprünglich 45 Minuten um eine Minute geringfügig reduziert werden. Trotz der hohen Anzahl dieser durchgeführten Untersuchungsart wäre ein Optimierungspotenzial in diesem Fall dennoch gering. Andere Untersuchungsarten hingegen mit initial höher bemessenen Planzeiten lassen mehr Optimierung zu. So könnten z. B. für Dünndarmuntersuchungen (1,5T: 49:45 min) 50 Minuten anstelle der 60 Minuten eingeplant werden. Auch würde sich bei Untersuchungen der Mamma die Reduzierung der Planzeit von 45 Minuten auf 35 Minuten (3T: 34:28 min) anbieten.

Während bei den genannten Beispielen die ermittelte Untersuchungsdauer kürzer ausfiel als es die Planzeit vorsah, gab es auch jene, die länger dauerten als geplant. Hier sollte entsprechend eine Erhöhung der Planzeit erfolgen. So bietet sich an, z. B. bei Knieuntersuchungen im 3T-MRT-Scanner die Planzeit von 30 Minuten auf 35 Minuten anzupassen, da hier Untersuchungen im Median 33:15 Minuten dauerten.

Im Rahmen der Diskussion wurde auf Basis der Ergebnisse (► **Tab. 2**) exemplarisch für die 10 häufigsten Untersuchungsarten beider MRT-Scanner die Planzeiten angepasst, um mögliches Optimierungspotenzial festzustellen. Dazu wurden jene Untersuchungsdauern auf ganze Minuten aufgerundet und als „optimierte“ Planzeit gesetzt. Für das Untersuchungsspektrum eines Jahres wurden im 1,5T-MRT-Scanner rund 35 Stunden und im 3T-MRT-Scanner 13 Stunden ermittelt. Auf diese Weise ließe sich durch Anpassung der Planzeiten für die untersuchte Klinik ein geringes

Optimierungspotenzial ableiten. In diesem Kontext ist jedoch zu diskutieren und kritisch zu hinterfragen, inwieweit eine minuten-genaue Planung in der Realität tatsächlich praktikabel ist. Auch wenn eine solche präzise Planung theoretisch zwar möglich ist, dürfte diese in der Praxis organisatorisch eher schwierig umzusetzen sein. Es bietet sich an, in mindestens 5-Minuten-Intervallen zu planen, um einen gewissen zeitlichen Spielraum („Puffer“) für diejenigen Untersuchungen zu haben, die mehr Zeit in Anspruch nehmen als ursprünglich geplant. Eine 5-minütige Staffelung bei der Planung, z. B. ein Aufrunden auf 45 Minuten für Untersuchungen der Lendenwirbelsäule (1,5T: 41:17 min; 3T: 41:29 min), würde ein Optimierungspotenzial im Vergleich zu einer minuten-genaue Planung entsprechend verringern. Es ist zu berücksichtigen, dass die zeitliche Planung der Untersuchungen und deren vor- sowie nachgelagerten Prozessschritte derart organisiert werden sollten, dass MRT-Kapazitäten bestmöglich genutzt und Leerzeiten entsprechend niedrig gehalten werden. Es sollte abgewogen werden, bei welchen Untersuchungsarten eine Anpassung der Planzeit praktikabel ist, um eine deutliche Diskrepanz zwischen tatsächlicher Untersuchungsdauer und Planzeit zu vermeiden.

Optimierungspotenzial ließe sich durch Änderungen im Prozessablauf freisetzen, wenn Zeiten für die Vor- und Nachbereitung geringer ausfielen als die im Rahmen dieser Studie verwendeten 9 Minuten. Im Hinblick auf die Möglichkeiten einer Verkürzung von MRT-Wechselzeiten überprüften Recht et al. [17] den Einfluss der verbesserten räumlichen Anordnung der MRT-Untersuchungseinheiten auch unter Verwendung von mobilen und frei an die verschiedenen MRT-Scanner koppelbaren Untersuchungstischen. Durch beide Maßnahmen konnten die medianen Wechselzeiten je Patient von 481 auf 141 Sekunden je Patient signifikant reduziert werden. Diese Reduzierung war vor allem durch die verbesserte Vorbereitung der Patienten, eine Anbringung der Spulen in einem separaten Vorbereitungsraum und das Anlegen venöser Flexülen außerhalb des Untersuchungsraums möglich. Die Bedeutung von Zeitverlusten in den Untersuchungsabläufen der MRT-Diagnostik untersuchten Beker et al. [16] und fanden dabei heraus, dass bei etwa einem Drittel der Zeit kein unmittelbarer Patientennutzen erzeugt wurde (sog. „non-value-added time“). Als besonders häufige Ursachen hierfür fanden sie Probleme beim Legen venöser Zugänge und bei der Verfügbarkeit optimal für die Untersuchung vorbereiteter Patienten.

Weitere Studien empfahlen eine Reihe von Maßnahmen zur unmittelbaren Verbesserung der Prozessabläufe, wie z. B. eine hohe Standardisierung der Prozesse, eine klare Definition der Verantwortlichkeiten für verschiedene Personalgruppen und eine Verbesserung der Untersuchungsprotokollierung [15, 18]. O'Brien et al. [19] zeigten dabei, dass durch eine konsequente Anwendung von solchen Verbesserungsmaßnahmen der Patientenplanung und durch eine inhaltliche Optimierung der MRT-Untersuchungsprotokolle eine signifikante Verkürzung der Raumnutzungszeit von durchschnittlich 46,3 auf 43,6 Minuten möglich war ( $p = 0,009$ ). Die hierdurch ermöglichte Kosteneinsparung betrug bis zu 3 Mio. USD jährlich.

Es sollte abgewogen werden, inwieweit eine Reduzierung der Vor- und Nachbereitungszeit durch den Einsatz von mehr Personal erzielt werden könnte, wenngleich höhere Personalkosten dem

Einsparpotenzial durch kurze Wechselzeiten direkt entgegenstehen. In unserer Klinik werden grundsätzlich jeweils 2 Personen medizinisch-technischen Fachpersonals gleichzeitig je Gerät eingesetzt. Diese im Vergleich mit anderen Kliniken und radiologischen Praxen komfortable Ausstattung mit Personal ist zum Teil auf die Verfügbarkeit von Auszubildenden zurückzuführen. Unter den 4 Personen an 2 MRT-Scannern befindet sich zumeist eine auszubildende Person. Wie in der Studie gezeigt werden konnte, hatte ein Austausch der MRT-Spulen bei aufeinanderfolgenden Untersuchungen keinen signifikanten Einfluss auf die Länge der Wechselzeiten, zumindest im Hinblick auf häufig vorkommende Kombinationen. Dies könnte ebenfalls auf die Personalausstattung zurückzuführen sein. So ist es bei durchgängiger Verfügbarkeit von 2 medizinisch-technischen Assistenten möglich, dass sich bei einem Untersuchungswechsel eine Person um die Vor- und Nachbereitung der Patienten kümmert und eine andere Person den ggf. erforderlichen Spulenaustausch vornimmt und den Untersuchungstisch vorbereitet.

Als Limitation unserer Studie ist vor allem zu nennen, dass sie an einem großen Universitätsklinikum mit einem Maximalversorgungsauftrag durchgeführt wurde. Das Spektrum der Untersuchungen war dabei sehr vielfältig und auch Untersuchungen, die nicht im ambulanten Sektor angeboten würden, wurden mit einbezogen. Die hierdurch bedingten Wechselzeiten sind auch durch die Untersuchung von vielfach immobilen stationären Patienten somit vermutlich höher als in ambulanten Praxen und nur eingeschränkt auf diese übertragbar. Der Befund zu besonders zeitintensiven Wechseln zwischen Untersuchungsarten sollte jedoch auch im ambulanten Sektor zutreffen. Zudem können Kliniken und Praxen unterschiedlicher Größe mit geringem Aufwand die eigene durchschnittliche Wechselzeit ermitteln und basierend auf den Effekten von Planzeitvariationen die Auswirkungen auf das eigene Optimierungspotenzial abschätzen. Mit der verwendeten Software konnten bestimmte Merkmale der Untersuchungen nicht abgefragt werden. So konnte beispielsweise die Art der Mobilität der Patienten (mobil oder immobil), die Art der Zuweisung (ambulant oder stationär) oder der Anteil abgebrochener Untersuchungen nicht abgerufen werden. Auch konnte keine Unterscheidung zwischen Untersuchungen getroffen werden, die mit oder ohne intravenös verabreichtem Kontrastmittel durchgeführt wurden. Der Detailgrad der Ergebnisse hängt von den vorab definierten Untersuchungsbezeichnungen im RIS ab. In unserer Klinik sind z. B. unter der Bezeichnung „MRT Abdomen“ verschiedene Sequenzprotokolle der Leber zusammengefasst, die gering unterschiedliche Zeitdauern aufweisen. Dies sollte letztlich nur zu einer geringen Beeinflussung der Ergebnisse geführt haben. Grundsätzlich ermöglicht die verwendete Software die Analyse großer Mengen von Untersuchungen. Für Anwender ist jedoch zu beachten, dass Abfrageergebnisse überschaubar bleiben und eine Ableitung von Handlungsempfehlungen für die klinische Praxis erlauben.

Ob eine Vorhersage tatsächlicher Untersuchungszeiten möglich ist, analysierten Avey et al. [20]. Sie untersuchten maßgebliche Einflussfaktoren auf die Variation der Untersuchungsdauern bei einem identischen MRT-Untersuchungsprotokoll des Halses. Dabei fanden sie heraus, dass Untersuchungsdauern vor allem von der durchführenden medizinisch-technischen Fachperson

abhängig waren und Untersuchungen bei stationären Patienten sowie bei Notfalluntersuchungen signifikant länger dauerten.

Als Schlussfolgerung der Studie kann festgehalten werden, dass die verwendete Analyse-Software einen detaillierten Überblick über die tatsächliche Nutzung hochfrequenzierter klinischer MRT-Scanner ermöglichte. In der radiologischen Klinik, in der die Studie durchgeführt wurde, ließ sich ein geringes Optimierungspotenzial für die Untersuchungsplanung in der MRT-Diagnostik ableiten.

### Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

### Literatur

- [1] Swensen SJ, Johnson CD. Radiologic quality and safety: mapping value into radiology. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2005; 2: 992–1000
- [2] Rubin GD. Costing in Radiology and Health Care: Rationale, Relativity, Rudiments, and Realities. *Radiology* 2017; 282: 333–347
- [3] Rawson JV, Kannan A, Furman M. Use of Process Improvement Tools in Radiology. *Current problems in diagnostic radiology* 2016; 45: 94–100
- [4] Qiu H, Wang D, Wang Y et al. MRI appointment scheduling with uncertain examination time. *Journal of Combinatorial Optimization* 2019; 37: 62–82
- [5] Maurer MH, Hamm B, Teichgräber U. ServiceBlueprinting as a service management tool in radiology. *European journal of radiology* 2011; 79: 333–336
- [6] Wessman BV, Moriarity AK, Ametlli V et al. Reducing barriers to timely MR imaging scheduling. *Radiographics: a review publication of the Radiological Society of North America, Inc* 2014; 34: 2064–2070
- [7] Roth CJ, Boll DT, Wall LK et al. Evaluation of MRI acquisition workflow with lean six sigma method: case study of liver and knee examinations. *Am J Roentgenol American journal of roentgenology* 2010; 195: W150–W156
- [8] Talati IA, Krishnan P, Filice RW. Developing Deeper Radiology Exam Insight to Optimize MRI Workflow and Patient Experience. *Journal of digital imaging* 2019; 32: 865–869
- [9] Tokur S, Lederle K, Terris DD et al. Process analysis to reduce MRI access time at a German University Hospital. *International journal for quality in health care: journal of the International Society for Quality in Health Care* 2012; 24: 95–99
- [10] Siemens Healthineers: Teamplay performance management applications. Erlangen, Germany, 2020.
- [11] Jones S, Cournane S, Sheehy N et al. A Business Analytics Software Tool for Monitoring and Predicting Radiology Throughput Performance. *Journal of digital imaging* 2016; 29: 645–653
- [12] Revesz G, Shea FJ, Ziskin MC. Patient flow and utilization of resources in a diagnostic radiology department. *Radiology* 1972; 104: 21–26
- [13] Janower ML. Radiology department management system: technologists' costs. *Radiology* 1986; 159: 566
- [14] Recht M, Macari M, Lawson K et al. Impacting key performance indicators in an academic MR imaging department through process improvement. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2013; 10: 202–206
- [15] Rosenkrantz AB, Lawson K, Ally R et al. Focused process improvement events: sustainability of impact on process and performance in an academic radiology department. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2015; 12: 75–81
- [16] Beker K, Garces-Descovich A, Mangosing J et al. Optimizing MRI Logistics: Prospective Analysis of Performance, Efficiency, and Patient Throughput. *Am J Roentgenol American journal of roentgenology* 2017; 209: 836–844
- [17] Recht MP, Block KT, Chandarana H et al. Optimization of MRI Turn-around Times Through the Use of Dockable Tables and Innovative Architectural Design Strategies. *Am J Roentgenol American journal of roentgenology* 2019; 212: 855–858
- [18] Kruskal JB, Reedy A, Pascal L et al. Quality initiatives: lean approach to improving performance and efficiency in a radiology department. *Radiographics: a review publication of the Radiological Society of North America, Inc* 2012; 32: 573–587
- [19] O'Brien JJ, Stormann J, Roche K et al. Optimizing MRI Logistics: Focused Process Improvements Can Increase Throughput in an Academic Radiology Department. *Am J Roentgenol American journal of roentgenology* 2017; 208: W38–W44
- [20] Avey GD, Belden DS, Zea RD et al. Factors predicting the time-length variability of identically protocolled MRI exams. *Journal of magnetic resonance imaging: JMIR* 2019; 49: e265–e270

## **Lebenslauf**

Mein Lebenslauf (S. 66–68) wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Mein Lebenslauf (S. 66–68) wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Mein Lebenslauf (S. 66–68) wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## Publikationsliste

- **Meyl, T. P.**, Berghöfer, A., Blatter, T., Heverhagen, J. T., de Bucourt, M., & Maurer, M. H. (2021). Software-Based Evaluation of Optimization Potential for Clinical MRI Scanners in Radiology. Software-basierte Evaluation des Optimierungspotenzials bei klinischen MRT-Scannern in der Radiologie. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, Advance online publication.  
<https://doi.org/10.1055/a-1659-8821>  
**Impact Factor: 2,452**
- Maurer, M. H., Brönnimann, M., Schroeder, C., Ghadamgahi, E., Streitparth, F., Heverhagen, J. T., Leichtle, A., de Bucourt, M., & **Meyl, T. P.** (2021). Time Requirement and Feasibility of a Systematic Quality Peer Review of Reporting in Radiology. Zeitaufwand und Machbarkeit einer systematischen Qualitätsbeurteilung radiologischer Befunde. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 193(2), 160–167.  
<https://doi.org/10.1055/a-1178-1113>  
**Impact Factor: 2,452**
- Braun, J., Busse, R., Darmon-Kern, E., Heine, O., Auer, J., **Meyl, T. P.**, Maurer, M., Hamm, B., & de Bucourt, M. (2020). Baseline characteristics, diagnostic efficacy, and peri-examination safety of IV gadoteric acid MRI in 148,489 patients. *Acta radiologica (Stockholm, Sweden : 1987)*, 61(7), 910–920.  
<https://doi.org/10.1177/0284185119883390>  
**Impact Factor: 1,990**
- **Meyl, T. P.**, de Bucourt, M., Berghöfer, A., Huppertz, A., Rosenkrantz, A. B., Streitparth, F., Heverhagen, J. T., & Maurer, M. H. (2019). Subspecialization in radiology: effects on the diagnostic spectrum of radiologists and report turnaround time in a Swiss university hospital. *La Radiologia medica*, 124(9), 860–869.  
<https://doi.org/10.1007/s11547-019-01039-3>  
**Impact Factor: 2,000**
- Albrecht, L., Maurer, M. H., Seithe, T., Braun, J., Gummert, R., Auer, J., Sponheuer, K., **Meyl, T. P.**, Hamm, B., & de Bucourt, M. (2018). Development of Report Turnaround Times in a University Department of Radiology during Implementation of a Reformed Curriculum for Undergraduate Medical Education. Die Entwicklung von Befundungszeiten im Rahmen der

Umstellung auf einen Modellstudiengang in einer Universitätsradiologie. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 190(3), 259–264.

<https://doi.org/10.1055/s-0043-118482>

**Impact Factor: 1,882**

## **Danksagung**

Ein Marathon durch Gebirgslandschaften startet mit einem ersten Schritt. Der Weg zum Ziel ist gut einzuteilen, er führt einen durch enge Gassen mit wenig Sicht, durch tiefe Täler, hin zu steilen Aufstiegen. Die gute, klare Sicht geniessend, kommt unweigerlich das nächste Tal. So geht es eine ganze Weile, bis auf dem Gipfel mit der besten Aussicht die Zielgerade erstrahlt. Erschöpft, müde, um viele Erfahrungen reicher, letztendlich erleichtert und überaus glücklich endet ein langer Weg mit einem letzten Schritt.

Der Weg meiner Dissertation war ähnlich wie ein Marathonlauf, jedoch weitaus länger. Ich danke all diejenigen, die mich von der Idee an unterstützt, mich stets ermutigt und vom ersten Schritt an begleitet haben. Ich danke diejenigen, die mir den Rücken gestärkt und mir in schwierigen Situationen aufgeholfen haben, die interessiert waren und Freude wie auch Sorgen mit mir haben teilen können. Danke an alle, die mit mir über eine lange Zeit Verzicht übten und mit mir immer fest daran geglaubt haben, dass das Ziel erreicht werden kann und erreicht werden wird. Ich danke den Menschen und auch Institutionen, die mir eine Dissertation ermöglicht haben. Sobald die Früchte der Arbeit geerntet werden können, freue ich mich sehr darauf, diese zu teilen und den Personen, die mich begleitet haben, meinen persönlichen Dank auszusprechen.