

# Automatische, Logfile-basierte Prozessanalyse an einem 1,5T-MRT-Scanner der klinischen Routine: Eine Machbarkeitsstudie

## Automatic, log file-based process analysis of a clinical 1.5T MR scanner: a proof-of-concept study

### Autoren

Alex Frydrychowicz<sup>1</sup> , Tobias Boppel<sup>2</sup>, Victoria Sieber<sup>1</sup>, Joachim D. Schmidt<sup>3</sup>, Jörn Borgert<sup>3</sup>, Peter Schramm<sup>2</sup>, Jörg Barkhausen<sup>1</sup>, Thomas Amthor<sup>3</sup> 

### Institute

- 1 Department of Radiology and Nuclear Medicine, University Hospital Schleswig-Holstein, Campus Lübeck, Germany
- 2 Department of Neuroradiology, University Hospital Schleswig-Holstein, Campus Lübeck, Lübeck, Germany
- 3 Philips GmbH Innovative Technologies, Research Laboratories, Hamburg, Germany

### Key words

technical aspects, imaging sequences, health policy and practice, cost-effectiveness, MR-imaging

eingereicht 31.08.2020

akzeptiert 22.12.2020

online publiziert 03.02.2021

### Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2021; 193: 919–927

DOI 10.1055/a-1346-0028

ISSN 1438-9029

© 2021, Thieme. All rights reserved.

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

### Korrespondenzadresse

Prof. Alex Frydrychowicz  
Department of Radiology and Nuclear Medicine,  
University Hospital Schleswig-Holstein, Campus Lübeck,  
Ratzeburger Allee 160, 23562 Lübeck, Germany  
Tel.: +49/4 51 50 01 70 12  
alex.frydrychowicz@uksh.de

 Zusätzliches Material finden Sie unter  
<https://doi.org/10.1055/a-1346-0028>

### ZUSAMMENFASSUNG

**Ziel** Vor dem Hintergrund stetig wachsender Anforderungen bzgl. Effizienzsteigerung und Scannerauslastung war es das Ziel dieser Machbarkeitsstudie, eine automatisierte Logfile-basierte Prozessanalyse an einem MRT-Scanner der klinischen Routine einzurichten, eine Prozessmetrisierung zu erreichen und Auswertungen der Auslastung, Protokollnutzung, Altersabhängigkeiten und Effizienz durchzuführen.

**Material und Methoden** Logfiles eines 1,5T-MR-Scanners (Philips Achieva) wurden automatisch exportiert, relevante Daten extrahiert, einer Datenbank zugeführt, zu definierten Ablaufparametern zusammengeführt und mittels PowerBI (Microsoft, USA) visualisiert. Daten wurden tages- und protokollbezogen aggregiert und bezogen auf Regionen und Alterskategorien ausgewertet. Analysen der Häufigkeiten, Identifikation der häufigsten Protokolle und deren Vergleich sowie Effizienzanalysen wurden durchgeführt.

**Ergebnisse** Nach erfolgreicher Implementierung standen nach Einschluss von 3659 Untersuchungen eine Vielzahl von Ablaufparametern und Bewertungsmöglichkeiten zur Verfügung. Aus diesen wurden Parameter identifiziert, die den Scannerablauf wiedergeben. Erste Ergebnisse spiegelten erfolgreich die täglichen Prozesse und Unterschiede wider, z. B. die verkürzte Messzeit an Freitagen und längere Untersuchungszeiten bei Kindern. Als optimierungswürdig wurde die um Vorbereitungsprozesse bereinigte Scaneffizienz von  $69,6 \pm 17,6\%$  ermittelt, die geringe Unterschiede zwischen häufig und selten genutzten Protokollen aufwies.

**Schlussfolgerungen** Die Logfile-basierte Analyse der Scannerabläufe wurde erfolgreich vorgestellt und öffnet weitreichende Möglichkeiten zur Prozessanalyse, Prozessoptimierung und Kombination mit strukturellen Umgebungsvariablen, die zukünftig für eine intelligentere Ablauf- und Prozesssteuerung eingesetzt werden können.

### Kernaussagen:

- Eine automatisierte Logfile-Analyse der Prozesse eines MRT-Scanners ist erfolgreich eingeführt worden.
- Die Logfile-basierte Analyse erlaubt eine detaillierte Analyse der Abläufe eines Scanners.
- Die Logfile-basierte Prozessanalyse verspricht weitreichenden Nutzen für Anwender, Applikationsspezialist und Entwickler.

### Zitierweise

- Frydrychowicz A, Boppel T, Sieber V et al. Automatic, log file-based process analysis of a clinical 1.5T MR scanner: a proof-of-concept study. Fortschr Röntgenstr 2021; 193: 919–927

## ABSTRACT

**Purpose** In light of the steadily increasing need for economical efficacy and capacity utilization it was the aim of this proof-of-concept work to implement an automated logfile-based analysis tool for MRI scanner utilization and to establish a process analysis. As a primary step, analyses of scanner and protocol utilization, parametrization of protocol processes, their durations, age dependency, and scan efficacy were to be tested.

**Materials and Methods** Logfiles were continuously extracted from a 1.5 T MR scanner (Philips Achieva) and automatically explored for relevant scan parameters. Parameters were extracted into a database and logically combined to protocol parameters. Visualization was achieved using PowerBI (Microsoft, USA). Data aggregation comprised a day-based and protocol-based strategy. In addition, age- and regional-based testing was performed. The frequency of protocol usage was

evaluated and those protocols with frequent usage compared regarding efficacy to those rarely used.

**Results** After successful technical implementation, 3659 MR exams were available for further analysis. Out of a plethora of parameters, those relevant to the understanding of the scan process were identified. The initial results mirror the daily scanner usage and allow identifying, e. g., shortened scanner usage on Fridays or longer examination times in children. A scan efficacy of  $69.6 \pm 17.6\%$  excluding preparation process was identified as a parameter with high potential to be optimized in daily routine.

**Conclusion** The logfile-based analysis of MR scanner processes was successfully introduced and holds the promise to be extended into a comprehensive analytic tool for the analysis and optimization of scanner processes. In combination with other variables from the departmental or institutional infrastructure or patient-specific information such tool may be developed into a intelligent steering tool.

## Einführung

Die moderne Medizin ist durch den stetig wachsenden Bedarf an Ressourcenmanagement gekennzeichnet. In diesem Kontext sind Begrifflichkeiten wie Effizienzsteigerung und in den bildgebenden Disziplinen die Scannerauslastung Kenngrößen, mit denen Kliniken und Praxen gleichsam konfrontiert sind. In der MRT stellt die Reduktion der Sequenzzahl eine offensichtliche, aber nur begrenzt einsetzbare Möglichkeit zur Effizienzsteigerung dar. Inwiefern alternative Sequenz- oder Beschleunigungstechniken, wie z. B. parallele Bildgebung [1] oder eine Umstrukturierung von Prozessketten [2], bei Terminplanung, Patientenvorbereitung und -führung wirksam oder kosteneffizient sind, ist nur durch eine Prozessmetrisierung und -analyse zu belegen.

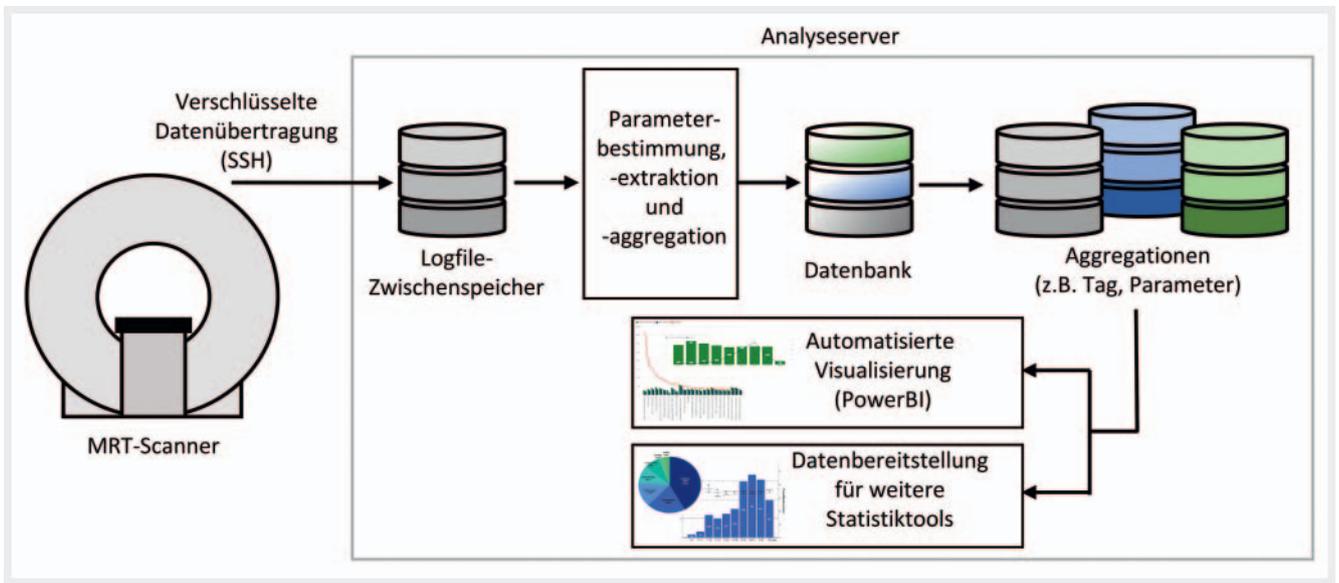
An den Scannern stehen neben den im DICOM-Header verfügbaren Zeitstempeln der Bilddaten Verlaufsdaten in Form sogenannter „Logfiles“ zur Verfügung. In diesen werden ununterbrochen zahlreiche Zustände und Veränderungen der Scanner protokolliert. Das beinhaltet am Beispiel der MRT Eigenschaften wie z. B. Scannerzustände, verwendete Untersuchungsprotokolle und -sequenzen, eingesetzte Spulen, die Bewegung des Patiententisches und Fehlermeldungen. Auch die entsprechenden Zeitpunkte der Veränderungen werden protokolliert. Diese Daten stellen z. B. dem Service notwendige Informationen bei Wartung oder Problembeseitigung zur Verfügung. Außerhalb des Servicegedankens werden sie vom Nutzer jedoch nicht verwendet. Nutzer und Hersteller könnten z. B. für Prozessoptimierungskonzepte oder individuell optimierte Beratungsstrategien von diesen Daten profitieren.

Die vielschichtige Natur dieser Daten gibt Aufschluss auf ihre weitreichende Nutzbarkeit. Neben typischen bzw. notwendigen Einstellungen durch die durchführende medizinisch-technische Assistenz sind auch die Dauer abgebrochener oder wiederholter Sequenzen und Planungszeiten ableitbar, was zu einer präziseren

Darstellung der Betriebszeiten führt, als es beispielsweise über die Zeitstempel gespeicherter Bilddaten möglich wäre. Ebenso sind nur auf einer solchen Datenbasis abgeleitete Informationen, wie z. B. die Berechnung der Wechselzeit als Differenz der Zeitpunkte vom Ende einer Untersuchung bis zum Beginn der Folgeuntersuchung oder Leerlaufzeiten zwischen Planungsschritten und diagnostischen Sequenzen, auswertbar. Das erlaubt, weiterführende Analysen der Scanner-, Protokoll- oder Sequenznutzung und von Änderungshäufigkeiten durchzuführen und Rückschlüsse auf Schwachstellen in Protokollen oder Ablaufverzögerungen zu analysieren.

Damit sind die Daten hervorragend geeignet, eine Prozessanalyse und -optimierung durch den Nutzer selbst oder durch Applikationsspezialisten, ob als Baustein von Prozessoptimierungsketten [2–4] oder als eigenständiges Informationsmedium, durchzuführen. So wird z. B. die Möglichkeit geschaffen, komplexe oder zeitintensive Protokolle zu identifizieren und zu vereinfachen. Eine solche Analyse erlaubt auch das Erkennen häufig wiederholter Sequenzen als verbesserungs- oder schulungsbedürftig. Zudem hat ein solches Konzept das Potenzial, zur Entscheidungsfindung eingesetzt zu werden, z. B. vor Investition in Beschleunigungstechniken [5].

Ziel dieser Arbeit war es daher, in einer Machbarkeitsstudie den Aufbau und die Entwicklung einer PowerBI-basierten (Microsoft, USA) Auswertungsstrategie automatisch generierter Logfiles auf der Ebene der Scanner- und Protokollnutzung vorzustellen. Zu diesem Zweck sollten die Daten eines in der stationären Routineversorgung eingesetzten MR-Scanners bewertet und werktägliche Abläufe sowie Protokoll-Nutzungshäufigkeiten vergleichend analysiert werden. Dazu werden tagesaggregierte Daten, die eine allgemeine Nutzungsanalyse des Scanners zulassen, und protokollaggregierte Daten, die Einblicke in die Durchführung auf Protokollebene erlauben, vorgestellt. Beispielhaft soll die Altersabhängigkeit einzelner Parameter des MRT-Scans analysiert werden.



► **Abb. 1** Schematische Darstellung der automatisierten, tagesaktuellen Datenverarbeitung der Logfile-Analyse.

## Material und Methoden

### Studienplanung

Im Vorfeld der methodischen Implementierung wurde das Einverständnis der Mitarbeiter sowie des Personalrats zu diesem Projekt eingeholt, da sich über den Abgleich mit Dienstplänen oder den Befundeinträgen im RIS (Radiologie-Informationssystem) eine Auswertung der Leistung einzelner Mitarbeiter erzielen lassen könnte. Ebenso wurde vor Projektbeginn die Zustimmung des Datenschutzbeauftragten und der Ethikkommission erreicht. Da ausschließlich pseudonymisierte Daten retrospektiv und nach Anonymisierung bewertet wurden, wurde die Studie seitens der Ethikkommission von einer erneuten Aufklärungs- bzw. Einwilligungspflicht freigestellt.

### Infrastruktur und EDV-Konzept

Die Analyse wurde an Daten eines im Jahr 2006 installierten klinischen Routine MRT-Scanners (1,5T; Achieva, v3.2.2, Philips, Best, NL) durchgeführt, der arbeitstäglich zwischen 8:00 Uhr und 20:00 Uhr, freitags bis 18:00 Uhr mit Option auf notfallbedingte Verlängerung auf 20:00 Uhr, eingesetzt wird. Wochenenden, Feiertage sowie ganztägige Scannerausfälle durch Wartung oder technischen Defekt wurden von der Analyse ausgeschlossen. Dafür wurden nur Tage berücksichtigt, an denen aus mindestens 6 Stunden Scanbetrieb Daten vorlagen. Untersuchungen mit wissenschaftlichem Charakter (Studien, Protokollvalidierung bzw. -optimierung) sowie klinische Untersuchungen < 15 und > 75 min wurden ausgeschlossen, um vorzeitige Scanabbrüche oder Situationen wie Notfälle o. ä. auszugrenzen.

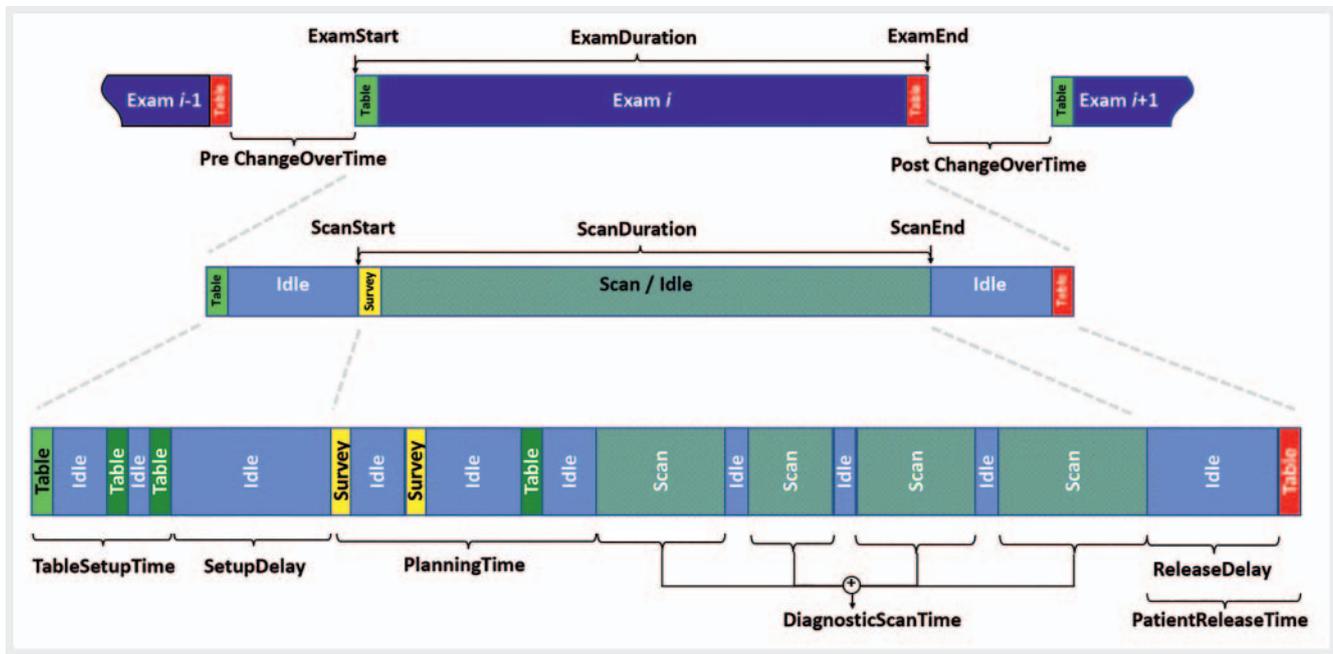
Die mehrschrittige, automatisierte und tagesaktuelle Datenverarbeitung beinhaltet zunächst, wie in ► **Abb. 1** schematisch dargestellt, den nächtlichen Transfer der Logfiles auf den Analyseserver. Zentrales Element der Analyse stellt die anschließende automatische Extraktion der relevanten Informationen zu den

Untersuchungsabläufen (Zeitstempel und Ereignisse) und die daraus mögliche Ableitung bzw. Definition einer Vielzahl von Parametern dar. Als Beispiel dient die Tischvorbereitungszeit („*Table Setup Time*“), die als Intervall zwischen der ersten Tischbewegung einer Untersuchung bis zur letzten Tischbewegung vor dem Start der ersten Sequenz, typischerweise einem Übersichtsscan (Survey), festgelegt wurde. Die ausgewerteten Parameter dieser Arbeit sind in ► **Abb. 2** illustriert und ihre Definitionen im Anhang aufgeführt. Die so aufbereiteten und inhaltlich aggregierten Daten wurden einer Datenbank (Microsoft, SQLExpress) zugeführt, um dann mittels PowerBI visualisiert oder alternativ für Auswertungen z. B. mit weiteren Statistikprogrammen in Tabellenform exportiert zu werden.

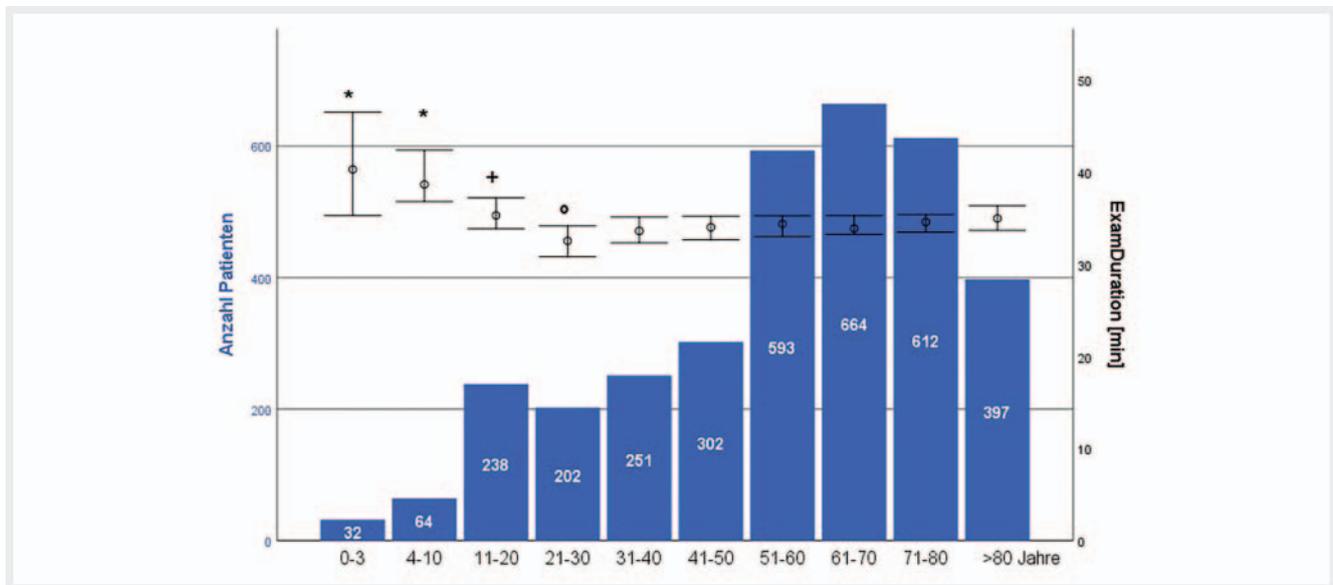
Die Installation des Systems erforderte lediglich die Einbindung des Analyseservers (kommerzieller Desktop-Computer mit Netzwerkkarte) in das abgesicherte Kliniknetzwerk. Die Bereitstellung der Logfiles erfolgte mittels einer dazu vom Hersteller aufgebauten, verschlüsselten Datenverbindung der MRT-Scanner zum Analyserechner. Andere Modifikationen an Hard- oder Software des MRT-Scanners waren nicht notwendig. Den Zugriff auf Bilddaten oder Patientenakten ermöglicht das System ebenso wenig wie eine Verbindung mit dem öffentlichen Internet.

Neben den in ► **Abb. 2** aufgeführten und anhand der Logfile-Einträge definierten Parametern wurden  $Eff_{gesamt}$  und  $Eff_{scan}$  als Beispiele abgeleiteter Kenngrößen berechnet, die zur Effizienzbeurteilung eingesetzt werden können, indem sie den Anteil der diagnostischen Scanzeit (*Diagnostic Scan Time*) an der Gesamtuntersuchungsdauer (*Exam Duration*) bzw. den Anteil an der um die Vor- und Nachbereitungsvorgänge bereinigten Scandauer (*Scan Duration*) wiedergeben.

Es stand jeweils eine Aggregation der Parameter auf Tagesebene und auf Protokollebene zur Verfügung. Zur Nutzungsanalyse wurden die Häufigkeiten der genutzten Protokolle aus einem vordefinierten Pool von ca. 140 am Scanner hinterlegten Protokollen durchgeführt. Dabei wurden einerseits die 5 häufigsten Protokolle gesucht, zum anderen wurde analysiert, welche n Protokolle min-



► **Abb. 2** Schema der Begrifflichkeiten der Logfile-basierten Prozessanalyse an einem MRT. Die hier gezeigten Zeitpfade werden von der ersten zur dritten Zeile zunehmend detaillierter und entsprechen den durch gestrichelte Linien angezeigten Bereichen. Definitionen finden sich im Anhang.

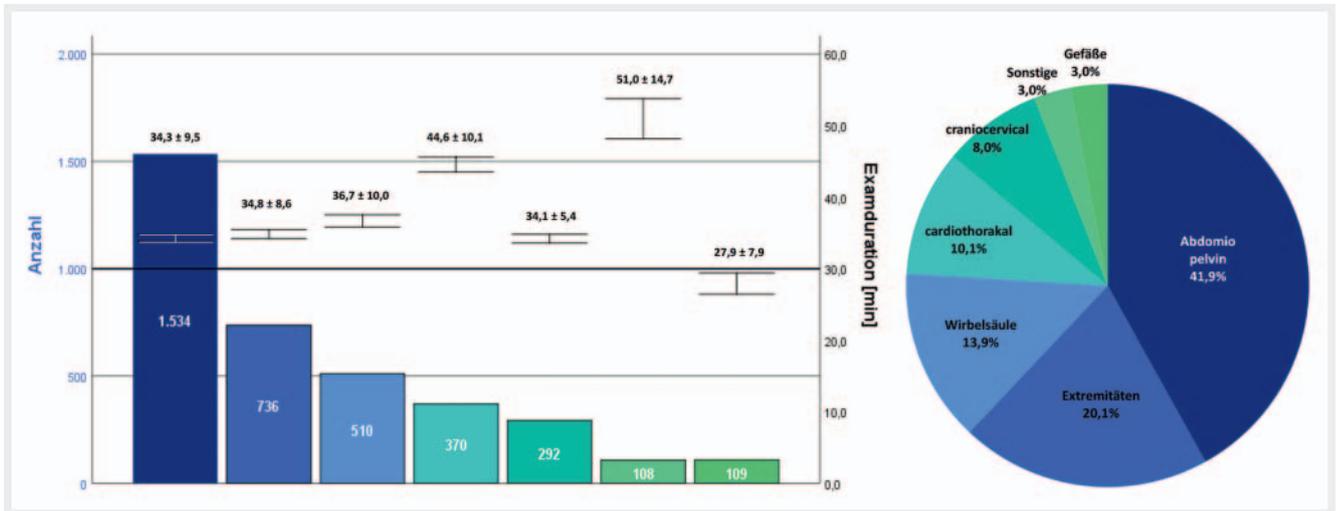


► **Abb. 3** Altersverteilung im untersuchten Kollektiv. Begleitend ist beispielhaft die altersabhängige Gesamtuntersuchungszeit (Exam Duration) in Minuten aufgezeigt. \* zeigt statistische Signifikanz gegenüber allen anderen Altersgruppen an, + zeigt statistische Signifikanz gegen Altersgruppen 12–30, 31–40 und 51–60, o zeigt statistische Signifikanz gegenüber Altersgruppe > 80 an.

destens n-mal genutzt wurden. Außerdem erfolgte eine inhaltliche Kategorisierung der Untersuchungsprotokolle in kraniozervikal, kardiotorakal, abdominopelvin, Extremitäten, streng vaskulär und spinal. Die Kategorie „Sonstige“ beinhaltete namentlich geführte Protokolle, die beim Export vom Scanner anonymisiert wurden. Zur Analyse von Altersbezügen wurden Ergebnisse auf die in ► **Abb. 3** ersichtlichen Altersgruppen bezogen.

### Statistik

Daten werden als Mittelwert ± Standardabweichung jeweils mit Minimum und Maximum (Min; Max) sowie Median angegeben. Zur statistischen Bewertung wurden SPSS 26 (IBM, USA) genutzt. Da Shapiro-Wilk- und Kolmogorov-Smirnov-Test eine Normalverteilung ablehnten, wurde zum Vergleich bei unabhängigen Stichproben (z. B. häufig genutzte Protokolle vs. übrige Protokolle) ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Im Vergleich nicht normal-



► **Abb. 4** Regionale Verteilung der Untersuchungsprotokolle und Vergleich der Häufigkeitsunterschiede mit den durchschnittlichen Untersuchungszeiten. Mit Ausnahme der Vergleiche unter den Lokalisationen abdominopelvin, Extremitäten und kraniozervikal zeigten alle Unterschiede statistische Signifikanz.

verteilter Daten mit gruppierten Daten wie Alterskollektiven kam eine paarweise Testung mittels Kruskal-Wallis-Test zum Einsatz, die bei wiederholtem Testen eine Bonferroni-Korrektur beinhaltet.

## Ergebnisse

### Kollektiv

Im Beobachtungszeitraum 09/2018–02/2020 wurden kontinuierlich alle Untersuchungen des Scanners der Auswertung zugeführt. Nach Ausschluss aufgrund geringer Nutzungsdauer wurden Daten von 357 Werktagen berücksichtigt. Es standen Daten von  $n = 3936$  Untersuchungen zur Verfügung;  $n = 277$  wurden ausgeschlossen: Dauer  $< 15$  min  $n = 68$ , Dauer  $> 75$  min  $n = 44$ , Studien etc.  $n = 165$ . Es resultierten  $n = 3659$  Studien, die in die statistische Betrachtung eingingen. Die Gesamtheit der untersuchten Patienten war  $56,3 \pm 21,8$  Jahre alt (Median 60,5 Jahre), darunter 50,4% Frauen und 49,6% Männer mit einem Gewicht von  $76,0 \pm 20,7$  kg (Median 76 kg). Die gruppierte Altersverteilung ist in ► **Abb. 3** dargestellt.

Die Untersuchungen verteilten sich auf die Regionen abdominopelvin (1534; 41,9%), Extremitäten (736; 20,1%), spinal (510; 13,9%), kardiotorakal (370; 10,1%) und kraniozervikal (292; 8,0%) (► **Abb. 4**). Reine Gefäßuntersuchungen waren seltener (108; 3,0%). Die Verteilung der Protokolle zeigte außerdem, dass von den 140 am Scanner vordefinierten Protokollen 30 Protokolle mindestens 30-mal im Beurteilungszeitraum zum Einsatz kamen und 63 Protokolle mehr als 10-mal zum Einsatz kamen.

### Tagesaggregierte Analyse

Die tagesaggregierten Daten geben einen Überblick über den Scannereinsatz. Im Durchschnitt wurden täglich  $11,1 \pm 2,2$  (Median 11) Untersuchungen durchgeführt, die die Einschlusskriterien erfüllten. Der Scanner wurde durchschnittlich  $10,4 \pm 1,5$  Stunden

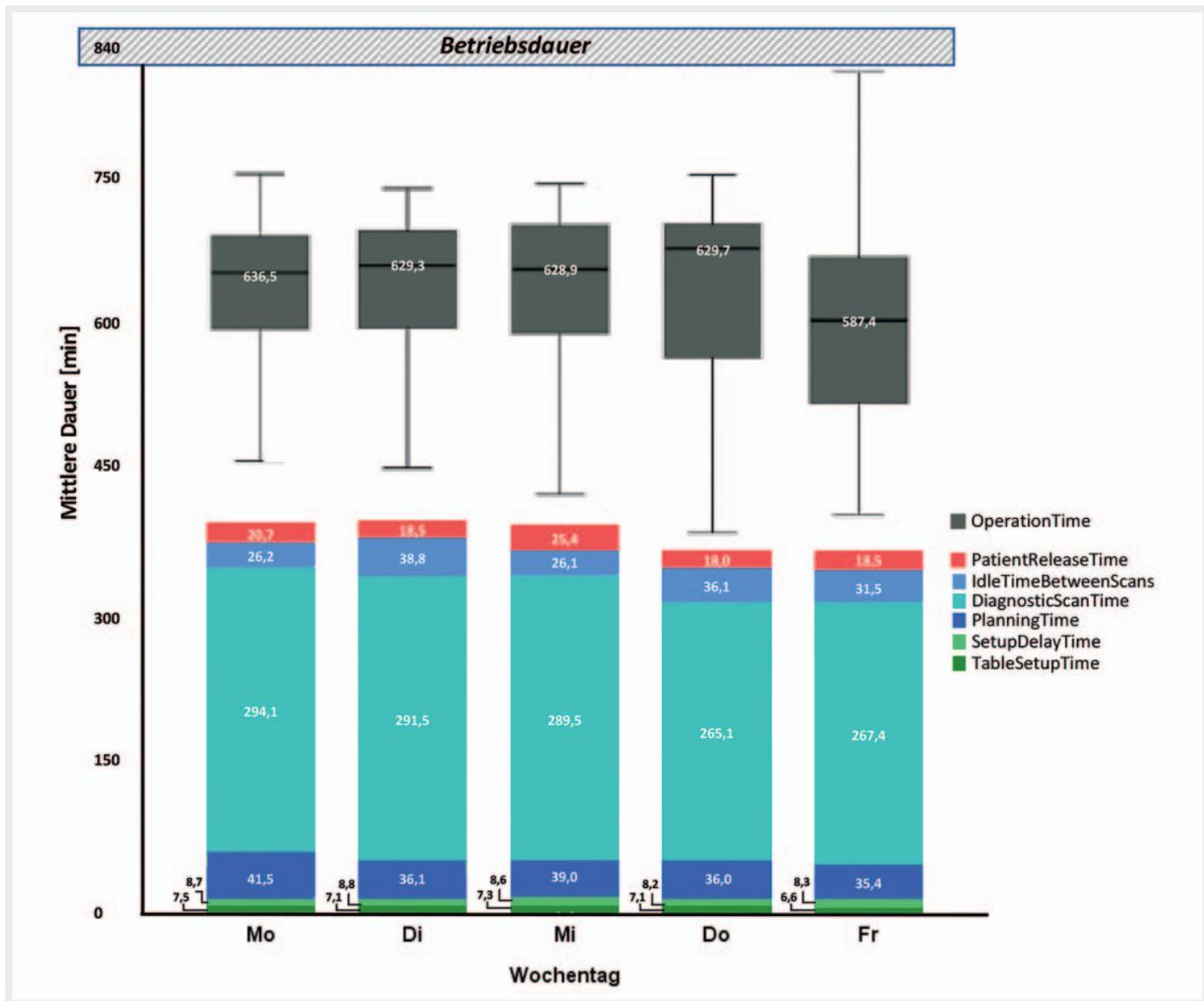
pro Tag betrieben (Median 10,8). Einen Überblick über die aufsummierten Kennzahlen des Scanbetriebs gibt ► **Tab. A1** wieder. Dabei verhalten sich Tagesmittel und Gesamtmittel gleichsinnig. Entsprechend der kürzeren Betriebsdauer am Freitag waren die Betriebszeiten freitags geringer (siehe ► **Abb. 5**), zeigten aber bei optionalem Notfallbetrieb eine größere Streubreite. Während die nominelle Betriebsdauer Montag bis Freitag eine Gesamtscanzeit von 14 Std. ermöglicht, liegt die tatsächliche Betriebszeit (*Operation Time*) unter diesem Wert, was insbesondere auf die ausgeschlossenen Untersuchungen zurückzuführen ist.

### Analyse auf Protokollebene

Die Analyse auf Protokollebene erlaubt die Bewertung der für ein oder mehrere Protokolle charakteristischen Parameter. Hierzu wurden die 5 am häufigsten genutzten Protokolle entsprechend der in ► **Abb. 2** vorgestellten Ablaufparameter analysiert und mit der Gesamtheit der Untersuchungen bzw. der anderen Protokolle verglichen. ► **Tab. A2** gibt eine Übersicht über die entsprechenden Werte. Während die Mittelwerte und Mediane der Untersuchungsparameter im Kontext der Scannerabläufe nur gering variierten, zeigten die Unterschiede, die eine Tendenz zu besser optimierten Top-5-Protokollen aufwiesen, teils statistische Signifikanz. Hervorzuheben ist die zuweilen erhebliche Varianz der Werte innerhalb der jeweiligen Protokolle, ausgedrückt durch minimale und maximale Messwerte.

Bezogen auf die Altersverteilung setzte sich der in ► **Abb. 3** dargestellte Trend etwas längerer *Exam Durations* bei den 0–3 und 4–10-Jährigen im Vergleich zu den Altersstufen bis 80 Jahren auch bei der *Scan Duration* und der *Total Diagnostic Scan Time* fort, wobei die Unterschiede bei den übrigen Parametern weniger offensichtliche Trends aufwiesen. Dabei sind bei den 0–3 und den 4–10-Jährigen im Mittel je ein zusätzlicher Scan durchgeführt und ein Scan wiederholt worden.

Mit Blick auf die Protokollregionen zeigt ► **Abb. 4** eine deutlich verlängerte *Exam Duration* für kardiotorakale und für die unter



► **Abb. 5** Analyse der innerhalb der Scan Duration ablaufenden Prozesse in Bezug zur tatsächlichen Betriebszeit (Operation Time; graue Boxplots) und der maximal möglichen täglichen Betriebsdauer des Scanners, jeweils als Mittelwerte der Tagessummen für die verschiedenen Wochentage.

„Sonstige“ subsummierten Protokolle. Für Scans beider Regionen konnte eine höhere Zahl von Scans und wiederholten Scans gezeigt werden. Wie aus ► **Abb. 6** ersichtlich, zeigen diese Protokolle vor allem längere Planungszeiten und *Idle Times*. Diese Beobachtung gilt insbesondere für die Gefäßprotokolle, bei denen das Verhältnis von tatsächlicher Scanzeit zu Planungszeit und *Idle Time* noch ungünstiger ist. Ursächlich dürfte hier die Wartezeit zwischen zeitaufgelöster MR-Angiografie der Unterschenkel und statischer MR-Angiografie der Becken- und Beinarterien sein, um bereits KM renal zu filtern.

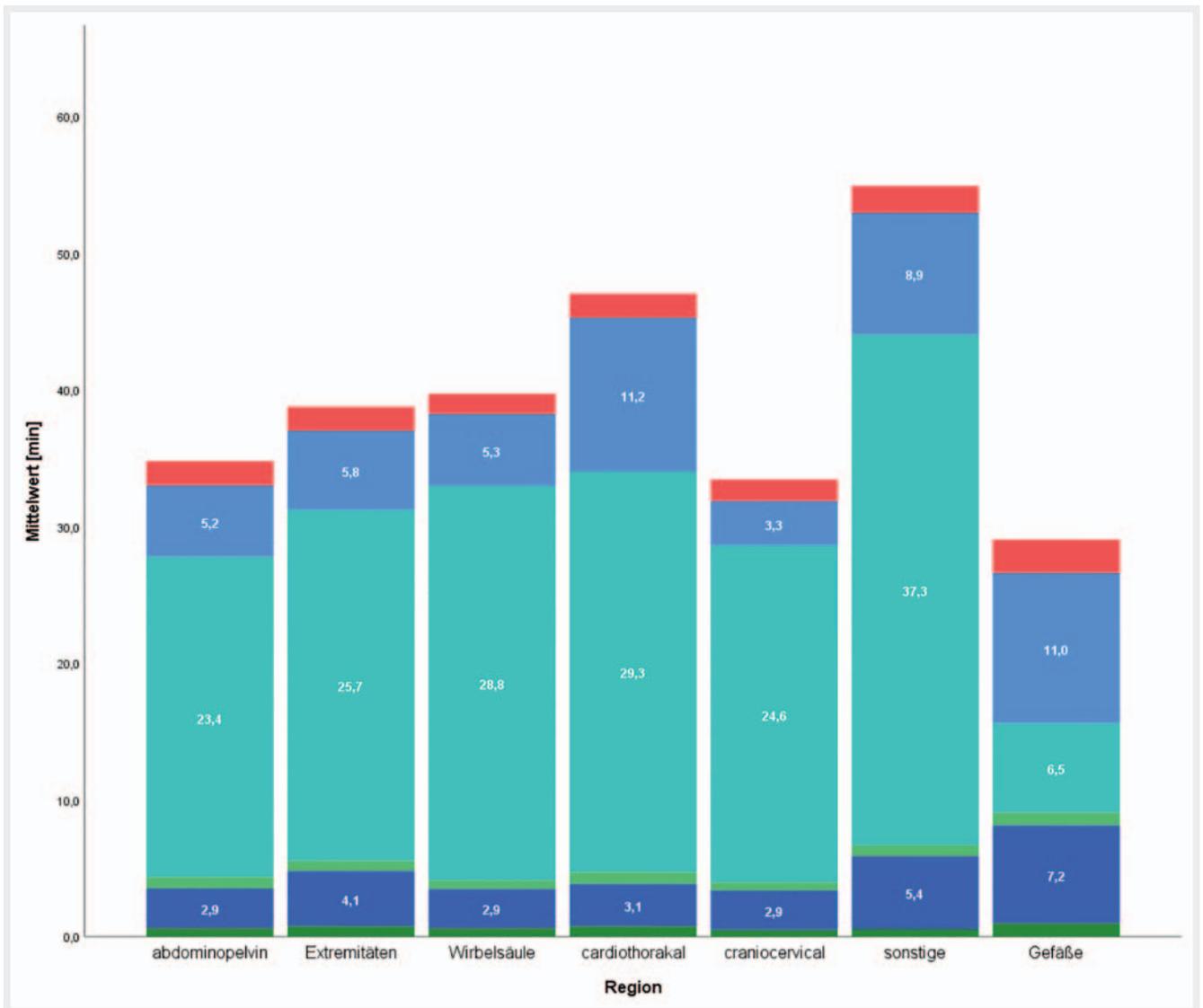
Für eine Ablaufoptimierung von besonderem Interesse sind Effizienzanalysen. Während  $Eff_{Scan}$  durchschnittlich  $90,6 \pm 7,4\%$  betrug, weist die  $Eff_{gesamt}$  mit  $69,6 \pm 17,6\%$  auf das Optimierungspotenzial im Bereich von Lagerung und Scanvorbereitung hin. ► **Tab. A2** gibt einen Überblick über die Effizienzen bei den häufigen und den selteneren Protokollen. Es zeigte sich eine relevante Streubreite zwischen minimalem und maximalem Wert. Bezogen auf die Alterskategorien zeigt die  $Eff_{gesamt}$  im Kruskal-Wallis-Ver-

gleich keine Signifikanz der geringen Unterschiede. Die Unterschiede in der  $Eff_{Scan}$  zwischen den Altersgruppen hingegen wiesen die in ► **Abb. 7** dargestellten Unterschiede mit statistischer Signifikanz auf. Dass die Unterschiede der reduzierten  $Eff_{Scan}$  der Gruppe der 71–80-Jährigen zu den übrigen Werten keine statistische Signifikanz aufwiesen, dürfte in der hohen Streubreite der Ergebnisse in der Gruppe der älteren Patienten erklärt sein.

Die Betrachtung der Scaneffizienz bezogen auf die regionale Zuordnung der Protokolle ist in ► **Abb. 8** wiedergegeben. Der Kruskal-Wallis-Test belegte statistische Signifikanz der Scaneffizienzen  $Eff_{gesamt}$  und  $Eff_{Scan}$  mit Ausnahme des Vergleichs abdominopelvin/kraniozervikal.

## Diskussion

Wir haben erfolgreich eine automatische, Logfile-basierte Prozessanalyse am Beispiel eines klinischen 1,5T-MR-Scanners vorge-

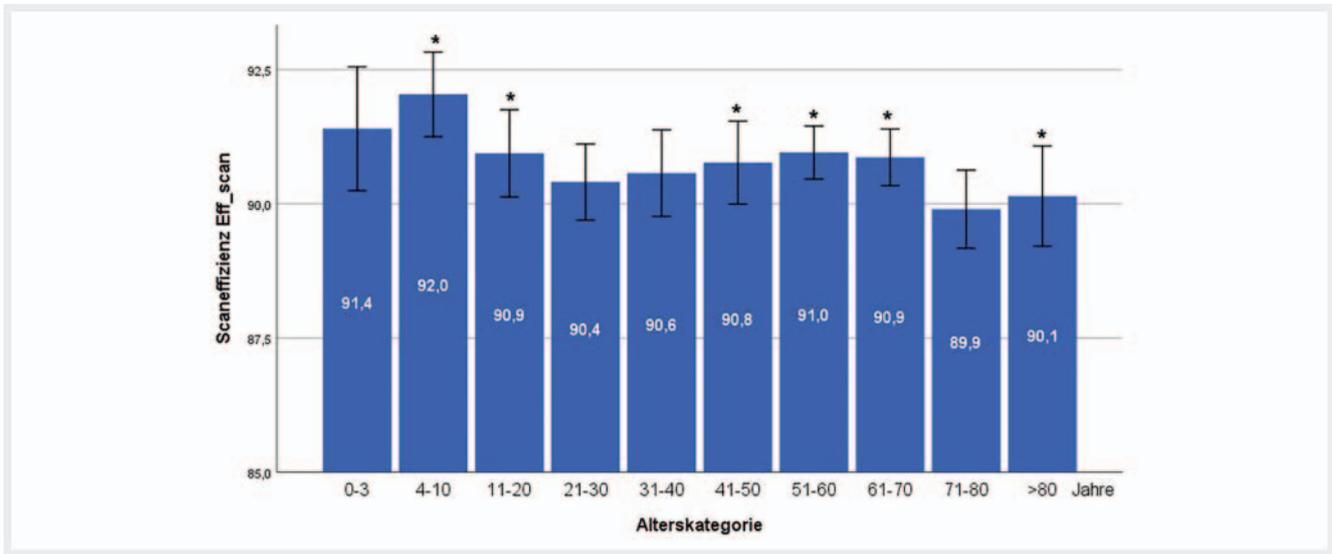


► **Abb. 6** Darstellung der innerhalb der Scan Duration ablaufenden Prozesse bezogen auf die 7 definierten Regionen. Die Farbkodierung entspricht ► **Abb. 4**.

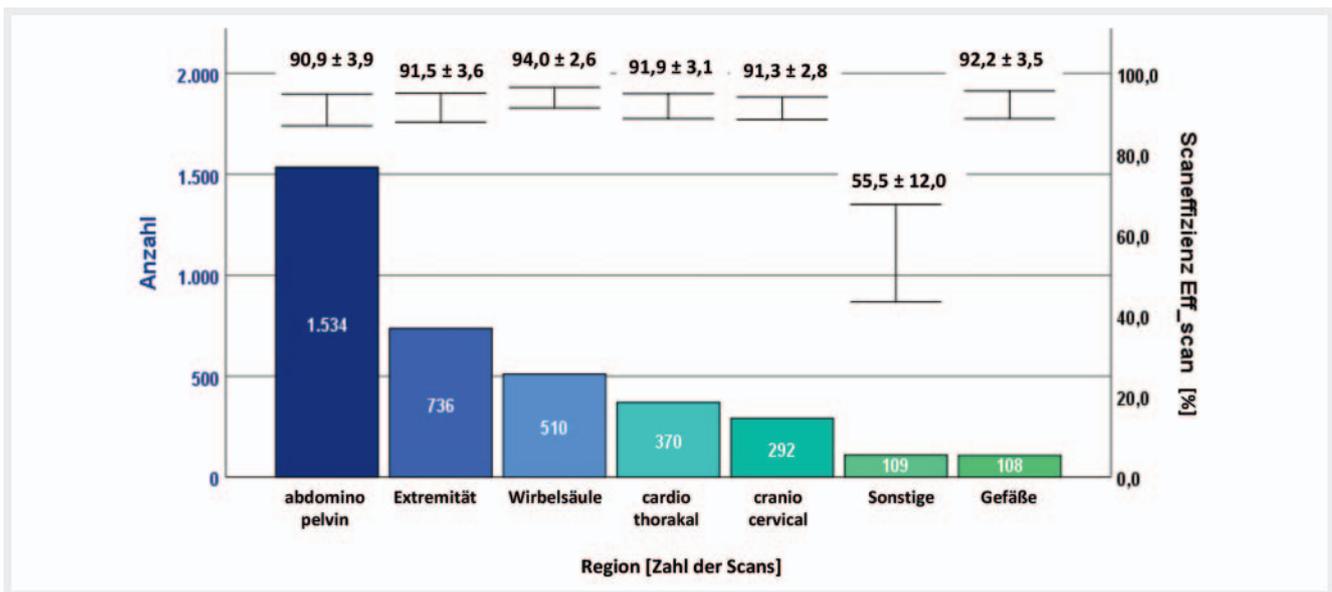
stellt. Die Analyse und Arbeit mit den Daten wird durch eine in PowerBI aufgesetzte, automatisch tagesaktuell generierte Auswertung und Visualisierung der Ergebnisse ermöglicht, die hier nach wissenschaftlich-statistischen Kriterien mittels SPSS unter Verwendung der identischen Daten nachvollzogen wurde. Als Teil der detaillierten Prozessanalyse auf dem Gebiet der Scanner-nutzung wurden tagesaggregierte und protokollbezogene Nutzungsanalysen vorgestellt.

Logfiles sind bereits an anderer Stelle zur Zuordnung von Protokollen zu Körperregionen [6] und zur Identifizierung von überlangen Untersuchungen und zur Überwachung von Optimierungsansätzen eingesetzt worden, in denen z. B. Protokolle verkürzt wurden [7, 8]. Weiterführende Analysen dieser Daten wurden nicht durchgeführt, was möglicherweise auf deren nicht-automatisierte Ansätze zurückzuführen ist. Die Logfile-Analyse ließe sich zudem von der Prozessanalyse zu einem Controlling-Instrument erweitern, wenn die aus den Logfiles erhältlichen Pro-

tokollinformationen mit Abrechnungsziffern entsprechender Systeme [9] kombiniert werden. In der vorliegenden Arbeit standen jedoch die Ablaufanalyse und perspektivisch die Identifizierung der zu optimierenden Prozesse im Vordergrund. Vor diesem Hintergrund bieten sich die Daten auch als Grundlage für Prozessoptimierungsverfahren an [2], z. B. bereits vorgestellter Maßnahmen zur Verbesserung des Ablaufs im MRT auf Basis des „Lean Six Sigma“-Verfahrens [10–13], das auf der Identifizierung und Vermeidung ineffizienter Arbeitsschritte und der Reduktion von Variabilität der verbleibenden Arbeitsschritte basiert. Erste überprüfende Ansätze an Daten anderer Scanner zeigen, dass sich die vorgestellte Methodik dazu eignet, Änderungen z. B. am Sequenzkonzept als Vorher/Nachher-Analyse anhand verschiedener Parameter auf ihren Effekt zu überprüfen[5]. Während die Relevanz der in dieser Machbarkeitsstudie ausgewählten vorgestellten Parameter oder des Effizienzbegriffs zunächst unbeantwortet bleibt, sind weitere überprüfende Studien notwendig, die Bedeu-



► **Abb. 7** Darstellung der Scanneffizienz  $Eff_{scan}$  bezogen auf die Altersgruppen. Unterschiede mit statistischer Signifikanz ergaben sich im Vergleich der Gruppe 21–30 Jahre zu den mit \* markierten Werten und zwischen den 31–40 und den >80-jährigen Patienten.



► **Abb. 8** Häufigkeit und Effizienz  $Eff_{scan}$  der Protokollregionen. Mit Ausnahme des Vergleichs abdominopelvin/kraniozervikal weisen alle Unterschiede zwischen den Scanneffizienzen statistisches Signifikanzniveau auf.

tion einzelner Parameter anhand entsprechender Fragestellungen zu definieren und mit Leben zu füllen.

Unser Konzept hebt sich von anderen Nutzungsanalysen ab, die auf das Auslesen der Zeitstempel des DICOM-Headers archivierter Bilddaten beschränkt sind. Die nur durch die Logfile-Analyse erreichte Mehrdimensionalität der Daten stellt dabei gleichzeitig Chance und Herausforderung dar. Einerseits können die Daten, wie hier exemplarisch auf der Zeitachse zur Scanner-nutzungsanalyse anhand von tagesaggregierten Aussagen und auf der Protokoll-Achse zur detaillierten Ablaufanalyse der Untersuchung demonstriert, in vielen Dimensionen zusammengefasst werden. Das beinhaltet auch die hier noch nicht gezeigte Möglich-

keit, auf Patienten oder Sequenzen bzw. auf deren Eigenschaften zentriert auszuwerten. Insbesondere die sequenzzentrierte Analyse, die z. B. Rückschlüsse auf die Änderungshäufigkeit von Sequenzen erlaubt, ist zur Ablaufoptimierung, Problemerkennung oder Mitarbeiterschulung vielversprechend. Ließe sich zeigen, dass innerhalb einer Sequenz gehäuft adaptiert wird und es zu einer Verlängerung der *Idle Time* bzw. der Untersuchungszeit kommt, kann problemzentriert Abhilfe geschaffen oder nachgeschult werden. Die Datenbankstruktur lässt jederzeit eine Identifizierung auch einzelner Prozesse oder Prozessschritte zu, was allein mit der Auswertung der Zeitstempel der DICOM-Daten nicht möglich ist.

Gleichzeitig stellen diese Möglichkeiten eine Herausforderung an die Form der Ergebnispräsentation und -nutzung dar. Eine rein explorative Herangehensweise birgt die Gefahr, den Fokus zu verlieren. Aus der Erfahrung der Autoren sind vordefinierte, auf spezifische Fragestellungen, wie z. B. auf die Prozessanalyse, abgestimmte Auswertungen sinnvoll. Diese profitieren von den sich stetig aktualisierenden Daten innerhalb der Datenbankstruktur und erlauben so eine tagesaktuelle bzw. auf frei wählbare Zeitschnitte eingrenzende und dadurch auch vergleichende Auswertung [5].

Seine Stärken voll ausspielen könnte ein solches System in der Kombination mit Informationen des Klinikinformationssystems (KIS) und unter Einbindung infrastruktureller Umgebungsvariablen [14]. Informationen zum Patienten, z. B. Gehfähigkeit, Unterstützungsbedarf und Kommunikationsfähigkeit, würden eine erweiterte Datenstruktur ermöglichen, über die auch Ablaufprojektionen erzielt werden könnten. Führt man diese Variablen und die tagesaktuelle Datenlage mit Konzepten der künstlichen Intelligenz zusammen, scheinen Projektionen zum erwarteten Prozessablauf oder selbstlernende Terminplanungen möglich.

Es liegt in der Natur einer Machbarkeitsstudie, dass diese zahlreichen Limitationen unterliegt. Die SPSS-basierte Neuauswertung bedient einerseits den wissenschaftlichen Anspruch einer Auswertung und überprüfender Statistik. Dadurch wurde ein Umweg vollzogen, der für den praktischen Einsatz nicht notwendig ist, indirekt jedoch die einfacher und direkt mittels PowerBI visualisierbaren Ergebnisse zu validieren vermag. Prinzipiell ist jedoch auch PowerBI in der Lage, statistische Berechnungen zu integrieren. Ebenso kann die bisher herstellerspezifische Entwicklung als Einschränkung gesehen werden. Der Transfer des Konzepts auf Scanner anderer Hersteller ist prinzipiell umsetzbar, setzt aber einen Anpassungsbedarf und erfolgreichen Umgang mit proprietären Datenformaten voraus. Die hier zur Demonstration genutzten Daten eines einzelnen Scanners aus der klinischen Routine ergeben ein nicht generalisierbares Bild einer spezifischen Scannernutzung. Zur Eingrenzung der Daten wurden Filter eingesetzt, die im Rahmen der Machbarkeitsstudie zu einer vereinfachten Darstellung führen, die weder die Anforderungen noch Zustände z. B. eines Praxis- oder optimierten Ambulanzbetriebs oder anderer Kliniken wiedergeben.

Zusammenfassend stellen wir mit der Logfile-Analyse eines MRT-Scanners ein Konzept vor, das Grundlage für weitere Entwicklungsschritte darstellt. Es verspricht neue Möglichkeiten in der Prozessanalyse, die auf den individuellen Nutzer bzw. die Fragestellung abgestimmt werden können. Damit können Fragestellungen aus Sicht des Unternehmers, des Applikationsspezialisten, aber auch der Entwicklungsabteilung beantwortet werden und optimalerweise Mehrwert auf jeder Ebene erzeugen.

## Interessenkonflikt

Joachim D. Schmidt, Jörn Borgert und Thomas Amthor sind Angestellte der Philips GmbH.

## Literatur

- [1] Deshmone A, Gulani V, Griswold MA et al. Parallel MR imaging. *J Magn Reson Imaging* 2012; 36: 55–72. doi:10.1002/jmri.23639
- [2] Teichgraber UK, Gillessen C, Neumann F. [Methods of process management in radiology]. *Rofo* 2003; 175: 1627–1633. doi:10.1055/s-2003-45331
- [3] 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* 2017; 208: W38–W44. doi:10.2214/Am J Roentgenol.16.16680
- [4] Chwang WB, Iv M, Smith J et al. Reducing Functional MR Imaging Acquisition Times by Optimizing Workflow. *Radiographics* 2017; 37: 316–322. doi:10.1148/rg.2017160035
- [5] Boppel T, Frydrychowicz A, Schramm P et al. Introducing a logfile-based MR workflow analysis and efficacy analysis of compressed SENSE acceleration. Las Vegas, USA: ASNR. 2020
- [6] Kuhnert N, Lindenmayr O, Maier A. Classification of Body Regions Based on MRI Log Files. In: R KMWMB ed, 10th International Conference on Computer Recognition Systems CORES 2017 Springer; 2017
- [7] Gunn ML, Maki JH, Hall C et al. Improving MRI Scanner Utilization Using Modality Log Files. *J Am Coll Radiol* 2017; 14: 783–786. doi:10.1016/j.jacr.2016.11.021
- [8] Andre J, Amthor T, Hall C et al. Radiological Assessment of Patient Motion Correlated with the Incidence of Repeat Sequences Documented by Log Files. Washington, USA: 54th Annual Meeting ASNR. 2016
- [9] Denck J, Landschutz W, Nairz K et al. Automated Billing Code Retrieval from MRI Scanner Log Data. *J Digit Imaging* 2019; 32: 1103–1111. doi:10.1007/s10278-019-00241-z
- [10] Turney J. Six Sigma and Lean Six Sigma. *Radiol Technol* 2007; 79: 191–192
- [11] Bahensky JA, Roe J, Bolton R. Lean sigma – will it work for healthcare? *J Healthc Inf Manag* 2005; 19: 39–44
- [12] 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* 2010; 195: W150–W156. doi:10.2214/AJR.09.3678
- [13] Kruskal JB, Reedy A, Pascal L et al. Quality initiatives: lean approach to improving performance and efficiency in a radiology department. *Radiographics* 2012; 32: 573–587. doi:10.1148/rg.322115128
- [14] Beker K, Garces-Descovich A, Mangosing J et al. Optimizing MRI Logistics: Prospective Analysis of Performance, Efficiency, and Patient Throughput. *Am J Roentgenol* 2017; 209: 836–844. doi:10.2214/AJR.16.17698