

Aus der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie - Plastische Operationen - der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Auswirkungen von Untersucher-Ermüdung auf die diagnostische Genauigkeit bei der Befundung zahnärztlicher Röntgenaufnahmen

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Lisa Sabine Weber
aus Speyer

Mainz, 2019

Wissenschaftlicher Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion:

30. Juni 2020

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
2 Literaturdiskussion	3
2.1 Diagnostik in der Zahnheilkunde	3
2.1.1 Zahnärztliche Röntgenaufnahmen	5
2.1.1.1 Panoramaschichtaufnahme	6
2.1.1.2 Intraorale Aufnahmen mit dentalen Tubusgeräten	7
Paralleltechnik	8
Halbwinkeltechnik	8
Rechtwinkeltechnik	9
2.1.1.3 Fernröntgenseiten-Aufnahme	10
2.1.1.4 Computertomographie	11
2.1.1.5 Dentale digitale Volumentomographie	11
2.1.1.6 Spezialprojektionen	12
Nasennebenhöhlen-Aufnahmen	12
Clementschtsch-Aufnahme	12
2.2 Müdigkeit	13
2.2.1 Definition und Symptome von Müdigkeit	13
2.2.2 Physiologische Entstehung von Müdigkeit	14
2.2.3 Ursachen und Folgen von Müdigkeit	14
2.2.4 Möglichkeiten zur Erfassung von Müdigkeit	15
2.2.4.1 Subjektive Messmethoden zur Erfassung von Müdigkeit	16
2.2.4.2 Objektive Messmethoden zur Erfassung von Müdigkeit	20
2.2.4.3 Die Swedish Occupational Fatigue Inventory	20
2.3 Konzentration und Aufmerksamkeit	22
2.3.1 Definition von Konzentration und Aufmerksamkeit	22
2.3.2 Bedeutung und Entwicklung von Konzentration und Aufmerksamkeit	23
2.4 Zusammenhang zwischen Müdigkeit und Diagnostik	25

3	Material und Methoden	31
3.1	Studienteilnehmer	31
3.2	Röntgenbilder	31
3.2.1	Bilddaten der Studie	31
3.2.2	Darstellung der Bilddaten der Studie	33
3.2.3	Software „ImageViewerStopWatch“	34
3.3	Studienablauf im Detail	35
3.3.1	Vorbereitung der Studiendurchführung	35
3.3.2	Durchführung der Untersuchung	35
3.4	Statistische Auswertung	37
3.4.1	Receiver-Operating-Characteristics-Verfahren	37
3.4.2	t-Test	40
3.4.3	Wilcoxon-Test	41
3.4.4	Korrelationsanalyse: lineare und logistische Regression	41
4	Ergebnisse	43
4.1	Veränderung der diagnostischen Genauigkeit	43
4.1.1	Zusammenhang zwischen diagnostischer Genauigkeit und Röntgen- erfahrung	48
4.1.2	Zusammenhang zwischen diagnostischer Genauigkeit und Berufsstand	49
4.2	Veränderung der Müdigkeit	50
4.2.1	Zusammenhang zwischen Müdigkeitsveränderung und Alter	55
4.2.2	Zusammenhang zwischen Müdigkeitsveränderung und Sehhilfe	58
5	Diskussion	63
5.1	Veränderung der diagnostischen Genauigkeit	63
5.2	Veränderung der Müdigkeit	65
5.3	Zusammenfassung der Diskussion	67
5.4	Studieneinschränkungen/ Fehlerpotenzial	68
6	Zusammenfassung	69
	Literaturverzeichnis	77
	Anhang	79
	Anhang 1: Die 5 SOFI-Faktoren - The english version	79
	Anhang 2: Swedish Occupational Fatigue Inventory - The original version	80
	Anhang 3: Zusammenhang zwischen Müdigkeit und Diagnostik	81

Anhang 4: Daten der Studienteilnehmer	86
Anhang 5: Angewendete Sehhilfen der Studienteilnehmer	87
Anhang 6: Anzahl der beurteilten Bilddaten der einzelnen Untersuchungen . . .	87
Anhang 7: Startseite der Software ImageViewerStopWatch	88
Anhang 8: Aufbau der Software ImageViewerStopWatch	88
Anhang 9: Testbild zur täglichen Qualitätskontrolle des Monitors	89
Anhang 10: Kontrollbogen zur täglichen Qualitätskontrolle des Monitors	90
Anhang 11: Informationsblatt Studie	91
Anhang 12: Fragebogen zur Evaluation subjektiver Müdigkeit	92
Anhang 13: Persönliche Informationen der Untersuchungsteilnehmer	93
Anhang 14: Ergebnisse: Sensitivität und Spezifität	94
Anhang 15: Ergebnisse: VAS	95
Anhang 16: Ergebnisse: NRS	96
Anhang 17: Ergebnisse: SOFI _{Energiemangel}	97
Anhang 18: Ergebnisse: SOFI _{Körperl. Anstrengung}	98
Anhang 19: Ergebnisse: SOFI _{Körperl. Beschwerden}	99
Anhang 20: Ergebnisse: SOFI _{Motivationsmangel}	100
Anhang 21: Ergebnisse: SOFI _{Schläfrigkeit}	101
Anhang 22: Ergebnisse: SOFI _{Gesamt}	102
Anhang 23: CD: Auswertung der einzelnen Studienteilnehmer inkl. Fragebögen .	102

Danksagung

ALARA „as low as reasonably achievable“

AUC Area Under The Curve

CBCT Cone Beam Computed Tomography

CFFF Critical Flicker Fusion Frequency

CT Computertomographie

DGZMK Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

DVT dentale digitale Volumetomographie

D1 Durchgang 1

D2 Durchgang 2

EEG Elektroenzephalografie

ESS Epworth Sleepiness Scale

FRS Fernröntgenseiten-Aufnahme

FSS Fatigue Severity Scale

FVF Flimmerverschmelzungsfrequenz

MFI Multidimensional Fatigue Inventory

NNH Nasennebenhöhle

NRS Numerische Rating-Skala

o.A. ohne Angabe

OPG Orthopantomographie

PSA Panoramaschichtaufnahme

PSQI Pittsburgh Sleep Quality Index

PVT Psychomotor Vigilance Task

p.a. posterior-anterior, okzipitofrontaler Strahlengang bei Röntgenaufnahmen

RöV Röntgenverordnung

SOFI Swedish Occupational Fatigue Inventory

SSS Stanford Sleepiness Scale

SSQ Simulator Sickness Questionnaire

VAS Visuelle Analog-Skala

Abbildungsverzeichnis

Beispielbild Panoramaschichtaufnahme	7
Beispielbild Intraoralaufnahme	8
Techniken der Intraoralaufnahme (eigene Darstellung)	9
Beispielbild Fernröntgenseitenaufnahme	10
Visuelle Analog-Skala	19
Numerische Rating-Skala	19
Beispiel Röntgenbild (<i>Sideris</i>)	33
Beispiel Röntgenbild (<i>Gendex</i>)	33
Interpretation der ROC-Kurve	39
Boxplotdiagramm „AUC-Werte pro Intervall“ - Durchgang 1	45
Boxplotdiagramm „AUC-Werte pro Intervall“ - Durchgang 2	45
ROC-Kurve Intervall 1 bis 8 - Durchgang 1	45
ROC-Kurve Intervall 1 bis 8 - Durchgang 2	45
Graph. Darstellung der durchschnittlichen Anzahl der Bilddaten pro Intervall . .	47
Graph. Darstellung der Anzahl der Bilddaten in Abhängigkeit vom Berufsstand	48
Zusammenhang diagn. Genauigkeit und Röntgenerfahrung	49
Zusammenhang diagn. Genauigkeit und Berufsstand	50
Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte der VAS	53
Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte der NRS	53
Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte des SOFI _{Energiemangel}	54
Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte des SOFI _{Körperl. Anstrengung}	54
Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte des SOFI _{Körperl. Beschwerden}	54
Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte des SOFI _{Motivationsmangel}	54
Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte des SOFI _{Schläfrigkeit}	55
Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte des SOFI _{Gesamt}	55
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Alter: VAS	56
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Alter: NRS	56
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Alter: SOFI _{Energiemangel}	57
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Alter: SOFI _{Körperl. Anstrengung}	57
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Alter: SOFI _{Körperl. Beschwerden}	57
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Alter: SOFI _{Motivationsmangel}	57
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Alter: SOFI _{Schläfrigkeit}	58
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Alter: SOFI _{Gesamt}	58
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Sehhilfe: VAS	59

Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Sehhilfe: NRS	59
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Sehhilfe: SOFI _{Energiemangel}	60
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Sehhilfe: SOFI _{Körperl. Anstrengung}	60
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Sehhilfe: SOFI _{Körperl. Beschwerden}	60
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Sehhilfe: SOFI _{Motivationsmangel}	60
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Sehhilfe: SOFI _{Schläfrigkeit}	61
Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Sehhilfe: SOFI _{Gesamt}	61

Tabellenverzeichnis

<i>Stanford Sleepiness Scale (deutsche Übersetzung)</i>	16
<i>ESS: Situationsabhängige Beurteilung der Einschlafneigung (deutsche Übersetzung)</i>	17
<i>ESS: Skala zur Beurteilung der Einschlafneigung (deutsche Übersetzung)</i>	17
<i>ESS: ESS-Punktstand zur ESS-Interpretation (deutsche Übersetzung)</i>	17
<i>Fatigue Severity Scale (deutsche Übersetzung)</i>	18
<i>Die 5 SOFI-Faktoren - deutsche Version</i>	21
<i>Swedish Occupational Fatigue Inventory - deutsche Übersetzung</i>	22
<i>Durchschnittliche Aufmerksamkeitsdauer in Abhängigkeit des Alters</i>	24
<i>Anzeigeeinformation Bildschirm</i>	34
<i>Grafikkarteninformationen</i>	34
<i>Einteilung der Konfidenzskala</i>	40
<i>Einteilung der Intervalle</i>	40
<i>AUC-Werte pro Intervall: Arithmetischer Mittelwert</i>	44
<i>Zusammenhang Bilddaten und Zeit</i>	47
<i>Kurzfassung der Ergebnisse der Müdigkeitsveränderung</i>	52
<i>Korrelationsanalyse der Müdigkeitsveränderung</i>	52
<i>Übersicht der arithmetischen Mittelwerte der Müdigkeitsveränderung</i>	53
<i>Korrelationsanalyse: Müdigkeitsveränderung und Alter</i>	56
<i>Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Sehhilfe: arithmetischer Mittelwert</i> .	59

1 Einleitung

Mehr Patienten, weniger Zeit, längere Arbeitstage. Auf Ärzten lastet ein enorm großer Druck das tägliche Arbeitspensum erfolgreich in der ihnen zur Verfügung stehenden Arbeitszeit zu bewältigen [1]. Die fortschreitende technische Entwicklung bedeutet zudem, dass sich Mediziner stets mit neuen Technologien (z.B. Radiologen mit optimierten bildgebenden Verfahren [2]) auseinandersetzen müssen. Aufwendige Einarbeitungszeiten sind die Folge. Aufgrund des hohen zu bewältigenden Arbeitspensums in einer streng vorgegebenen Zeit, sind Mediziner (je nach individueller Belastungstoleranz) einem bestimmten Grad an Belastung ausgesetzt, der zu körperlicher Ermüdung führen kann. Da jedoch eine hohe Konzentration und Aufmerksamkeit Voraussetzung für die fehlerfreie Ausübung des Berufs als Mediziner ist, kann eine starke Belastung am Arbeitsplatz mit daraus resultierender Müdigkeit kontraproduktiv für die Leistungsfähigkeit sein. Die Frage nach der Beeinflussung der Konzentration und Leistungsfähigkeit wurde wissenschaftlich bereits kontrovers diskutiert. So untersuchten z.B. *Sokolovskaya* [1], *Krupinski* [2, 3, 4, 5], *Burling* [6] oder *Bechtold* [7] die Auswirkungen von Ermüdung auf die röntgendiagnostische Genauigkeit in der Humanmedizin. Hinsichtlich zahnärztlicher Röntgenaufnahmen gibt es zu dieser Thematik jedoch gegenwärtig nach Kenntnis der Autorin keinerlei Veröffentlichungen. Es stellt sich daher die Frage, ob und inwiefern Müdigkeit Auswirkungen auf die röntgendiagnostische Leistung der Zahnmediziner hat?

Zur Beantwortung dieser Fragestellung haben 21 Zahnmediziner der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz eine Datenbank von 96 sich in randomisierter Reihenfolge unendlich wiederholenden zahnärztlichen Röntgenbildern in einem zeitlichen Rahmen von 40 Minuten ausgewertet. Ziel der Untersuchung war es, die Auswirkungen der Ermüdung bei der Befundung vieler zahnärztlicher Röntgenaufnahmen anhand einer ausreichend großen Menge an Untersuchern zu testen. Hierzu sollte sowohl vor als auch nach der Untersuchung jeweils der subjektive Müdigkeitszustand jedes Untersuchers anhand standardisierter und etablierter Fragebögen festgestellt werden sowie die diagnostische Genauigkeit der Röntgenbefundungen in Abhängigkeit der Zeit anhand einer Receiver-Operating-Characteristics-(ROC-)Analyse ermittelt werden. Ähnlich bereits vorangegangener Studien wurde die *Swedish Occupational Fatigue Inventory* (SOFI), die *Visuelle Analogskala* (VAS) sowie die *Numerische Ratingskala* (NRS) zur subjektiven Einschätzung der Müdigkeit bzw. Konzentrationsfähigkeit im Berufsalltag der einzelnen Probanden verwendet [2, 4]. Des Weiteren wurde auch der Zusammenhang zwischen der diagnostischen Genauigkeit und der Röntgenerfahrung, der Bildbetrachtungszeit und des Ausbildungsgrades ausgewertet.

Die Ergebnisse zeigen zusätzlich zu der Veränderung der Müdigkeit im Laufe der Zeit auch den Zusammenhang zwischen der Müdigkeitsveränderung und dem Alter sowie dem Vorhandensein einer Sehhilfe.

2 Literaturdiskussion

Im folgenden Kapitel werden die unterschiedlichen Diagnostikmöglichkeiten in der Zahnheilkunde aufgeführt. Im Anschluss daran werden verschiedene zahnärztliche Röntgenaufnahmen und -techniken aufgezählt und erläutert.

2.1 Diagnostik in der Zahnheilkunde

Die Diagnostik stellt in der Medizin einen der grundlegenden Bausteine dar. Die gestellte Diagnose ist die Voraussetzung zur Erforschung und Therapie von Pathologien und ausschlaggebend für die Wahl entsprechender Therapiemöglichkeiten. Pathologien sollten möglichst zeitnah als solche erkannt werden, denn gerade in der Medizin entstehen dadurch weitreichende, im schlimmsten Fall patientenschädigende Konsequenzen. Fehlende, falsche oder zu spät eingesetzte Therapien können Krankheitsbilder enorm verkomplizieren oder verschlimmern.

Zur Diagnose von Erkrankungen bietet sich ein breites Spektrum. Je nach Fachbereich in der Zahnheilkunde unterscheiden sich dabei die diagnostischen Möglichkeiten. Allgemeine zahnmedizinische, grundlegende diagnostische Untersuchungen stellen beispielsweise die klinische Untersuchung wie Inspektion, Palpation, Auskultation, Sensibilitäts- und Perkussionstest dar. Probeexzisionen zur histologischen Untersuchung oder zytologische und mikrobiologische Befunde eignen sich ebenfalls als Diagnostikmethode [8], sind aber selten das Mittel der ersten Wahl. Sie sind mit deutlich mehr Aufwand und Belastung des Patienten verbunden. Auch Ultraschalluntersuchungen oder nuklearmedizinische Methoden wie Szintigraphien kommen in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde ergänzend zum Einsatz.

Eine große Rolle spielt der Röntgenbefund. Bei indikationsgerechter Anwendung sind intraorale und auch extraorale Röntgenaufnahmen als bildgebende Diagnostik aufgrund der komplexen Anatomie des Gesichtsschädels unerlässlich und teilweise sogar zwingend erforderlich [9, 10]. Sie sind die Grundlage prothetischer, chirurgischer, implantologischer, kieferorthopädischer Behandlungen und führen unter Berücksichtigung weiterer Untersuchungen zu aussagekräftigen Urteilen. Bereits seit der Entdeckung 1895 durch *Wilhelm Conrad Röntgen* in Würzburg wird die Röntgentechnik zu diagnostischen Zwecken in der Medizin genutzt [11]. Ein Jahr später, im Jahr 1896, versuchten sich *Walkhoff* und *König* an den ersten zahnärztlichen Röntgenaufnahmen, welche allerdings zu diesem Zeitpunkt noch keinerlei diagnostische Qualität aufwiesen [12]. Erst die von *Kodak* eingeführten Röntgenfilme erleichterten die Handhabung und ermöglichten regelmäßigen klinisch diagnostischen Einsatz [13]. Mit dem technischen Fortschritt in der Radiologie

stieg neben der Qualität im Laufe der Jahre auch der Aussagewert der Aufnahmen [9]. Für die Patienten sollte unter Achtung der rechtfertigenden Indikation der greifbare Nutzen der Röntgendiagnostik gegenüber dem potentiellen Risiko durch die Strahlenexposition während der Röntgenaufnahme überwiegen [14]. Dabei ist es Ziel, mithilfe der gewählten Aufnahmetechnik ein Optimum des diagnostischen Informationswerts zu erreichen, auch wenn die Strahlenbelastung im Vergleich zu einem anderen, weniger aussagekräftigeren Verfahren höher ist [9]. Mittlerweile ist die Technik so optimiert, dass zahnärztliche Röntgenaufnahmen nur 0,3 % der Gesamtdosis aller medizinischen Röntgenaufnahmen in Deutschland beitragen [11]. Dennoch sollten nur so viele Röntgenbilder angefertigt werden, wie unbedingt notwendig (Strahlenbelastung nach dem ALARA-Prinzip: *as low as reasonably achievable*) [15]. Jede einzelne Röntgenaufnahme erfordert stets eine individuelle Abwägung bezüglich rechtfertigender Indikation nach §23 der Röntgenverordnung (RöV) [16]. Gleichzeitig sollte die geforderte Bildqualität mit der geringstmöglichen Strahlendosis erreicht werden. Um den eng geregelten Forderungen und strengen gesetzlichen Vorgaben an die zahnärztliche Radiologie nachzukommen, galt es bis einschließlich des 30.12.2018 die Röntgenverordnung einzuhalten. Neuregelungen sind ab dem 31.12.2018 als sogenanntes „Strahlenschutzgesetz“ auf Basis der Richtlinie 2013/59/EURATOM des Europäischen Rates vom 5.12.2013 in Kraft getreten [17] und akutell von Gültigkeit. Eine Abnahmeprüfung bei Inbetriebnahme der Röntgeneinrichtung, sowie regelmäßige Konstanzprüfungen und Sachverständigenprüfungen gewährleisten eine einwandfreie technische Funktion der Geräte und die Beständigkeit der Bildqualität bei minimaler Strahlenexposition [15]. Der Anteil an zahnmedizinischen Röntgenuntersuchungen an der Gesamthäufigkeit aller Röntgenaufnahmen in Deutschland betrug im Jahr 2014 41 % und stellte damit die größte Gruppe dar [18]. So wurden in Deutschland innerhalb des Jahres 2014 rund 55 Millionen zahnärztliche Röntgenuntersuchungen in der Zahnheilkunde angefertigt. [19]. Diese Zahlen verdeutlichen das Ausmaß der Bedeutung der Röntgendiagnostik in der Zahnheilkunde. Die Befundung von Röntgenbildern gehört zur alltäglichen Aufgabe des Zahnmediziners. Grundlage für die Interpretation von Röntgenbildern ist die Kenntnis anatomischer Strukturen. Erst durch das Wissen, wie der zu betrachtende Bereich in physiologischem Zustand aussieht, ist das Erkennen pathologischer Veränderungen möglich. Im Mittelpunkt der zahnärztlichen Röntgendiagnostik stehen der Zahn und angrenzende Nachbarstrukturen. Während häufige Pathologien am Zahn selbst zur Routine gehören, führen oftmals schon Veränderungen periapikaler Strukturen, der Kieferhöhlen oder unklare Aufhellungen in Knochenstrukturen zu diagnostischer Unsicherheit. Ob sichtbare Veränderungen einer Röntgenaufnahme einem pathologischen Befund entsprechen oder eine von vielen möglichen Normvarianten darstellen, stellt den Untersucher vor eine besondere Herausforderung

[15]. Das Beurteilen und Befunden von Röntgenbildern bedarf dementsprechend höchster Konzentration um mögliche Fehlinterpretationen, -diagnosen und -therapien zu vermeiden. Die Zahnheilkunde bedient sich unterschiedlicher Arten von Röntgenaufnahmen, je nach Indikation und Fachbereich. Neben der zweidimensionalen Bildgebung haben sich dreidimensionale Röntgenaufnahmen in den letzten Jahren immer weiter etabliert und manifestiert. Aus analoger, filmbasierter Röntgentechnik entwickelte sich die heute überwiegend verbreitete digitale Radiologie, woraus zusätzlich zu Zeiteffizienz durch sofortige Bildverfügbarkeit und der Möglichkeit der Bildnachbearbeitung auch eine geringere Fehleranfälligkeit und eine niedrigere Strahlendosis resultierten [20, 21, 22]. Für die digitale Technik konnte verglichen mit der analogen Technik eine Reduktion der effektiven Strahlendosis von 17 % (Panoramaschichtaufnahme) bis 47 % (Zahnfilm-Status) erreicht werden [23].

Die Grundlage in der Praxis und im klinischem Umfeld bilden Panoramaschichtaufnahmen und die intraoralen Aufnahmen mit dentalen Tubusgeräten. Dentale digitale Volumetomographien, Fernröntgenseitenaufnahmen oder Computertomographien gehören ebenfalls zu den üblichen Aufnahmetechniken in der Zahnheilkunde. Seltener sind auch Handskelettaufnahmen zur Beurteilung des Skelettwachstums in der Kieferorthopädie oder -chirurgie indiziert [12].

2.1.1 Zahnärztliche Röntgenaufnahmen

Die Art der Röntgenaufnahme unterscheidet sich neben der dafür notwendigen, rechtfertigenden Indikation auch vom jeweiligen Fachbereich der Zahnheilkunde. Während nahezu jede zahnärztliche Praxis mit Röntengeräten für herkömmliche, zweidimensionale Aufnahmen wie die Panoramaschichtaufnahme und die intraorale Aufnahme mit dentalen Tubusgeräten ausgestattet ist, gehört die Fernröntgenseitenaufnahme überwiegend zum Repertoire spezialisierter, kieferorthopädischer Praxen [20]. In Deutschland approbierte Zahnärzte haben die entsprechende Fachkunde zur Anfertigung solcher Aufnahmen in der Regel - im Gegensatz zur Fachkunde in der Medizin - bereits während des Studiums der Zahnmedizin erworben [24] und sind dazu verpflichtet, sie alle fünf Jahre zu aktualisieren. Zum Betreiben eines Gerätes der dentalen digitalen Volumetomographie hingegen und dem Stellen der rechtfertigenden Indikation nach §23 RöV bedarf es einer erweiterten Fachkunde und einem Spezialkurs im Strahlenschutz [16]. Trotzdem hat sich das dreidimensionale Verfahren in der zahnärztlichen Praxis etabliert [20, 25].

Im Folgenden sind die gängigsten Aufnahmetechniken in der zahnärztlichen Radiologie aufgelistet und erklärt.

2.1.1.1 Panoramaschichtaufnahme

Mit ihrer Funktion als Übersichtsaufnahme von bezahntem oder unbezahntem Ober- und Unterkiefer sowie des Mittelgesichts und der Kiefergelenke stellt die Panoramaschichtaufnahme (PSA) – auch Orthopantomographie (OPG) genannt – die wichtigste zweidimensionale Röntgenaufnahme in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde dar [15] (s. Abbildung 1). Fast jede Fragestellung der Fachgebiete der konservierenden und prothetischen Zahnheilkunde, der Kieferorthopädie oder der zahnärztlichen Chirurgie lässt sich mittels PSA ausreichend beurteilen [26]. In der zahnärztlichen Praxis ist die Anwendung der PSA gang und gäbe und fast unentbehrlich. Die effektive Strahlendosis liegt je nach Literatur bei etwa 5 [27] bis 30 μS [28] und ist damit verglichen mit anderen Aufnahmetechniken der Radiologie relativ niedrig.

1946 gelang es dem finnischen Ingenieur *Paatero* erstmals Panoramabilder zu erzeugen, nachdem er die Grundidee von *Zulauf* (1922) und *Numata* (1933) weiterentwickelte [15]. Aus einem zunächst intraoralen Verfahren entwickelte sich die extraorale Handhabung, welche 1951 zum ersten Mal in einem funktionstüchtigen Gerät vorgestellt wurde. Ab 1961 folgte die serienmäßige Produktion des Orthopantomographiegeräts [26]. Die damals analog erzeugte PSA entwickelte sich zur digitalen Anfertigung mittels Sensortechnik.

Bei der PSA handelt es sich um eine Verwischungstomographie. Zwischen Fokus und Detektor entsteht eine, im Idealfall dem Zahnbogen entsprechende, „*Schicht scharfer Darstellung*“ von 10 bis 25mm [15], was bedeutet, dass Objekte innerhalb der Schicht scharf abgebildet werden, während Objekte vor oder hinter der Schicht verwischt und damit fast vollständig unsichtbar werden. Die exakte Positionierung des Patienten ist Voraussetzung für eine ideale Abbildung ohne Überlagerungseffekte oder wesentliche Verzerrungen. Insbesondere der Frontzahnbereich ist häufig fehlerbehaftet, da die „*Schicht scharfer Darstellung*“ hier deutlich dünner und die exakte Positionierung somit schwieriger zu bewerkstelligen ist [26]. Schon geringfügige Neigungen des Kopfes können zu einer fehlerhaften Abbildung der zu untersuchenden Strukturen führen und Fehlinterpretationen begünstigen [15]. Mithilfe der PSA ist neben der Abbildung aller Zähne auch die vollständige Abbildung des Unterkiefers inklusive der Kiefergelenke (*Articulatio temporomandibularis*), der aufsteigenden Äste (*Ramus mandibulae*) und des Unterkieferkörpers (*Corpus mandibulae*) möglich [15]. Aufgrund der Tatsache, dass die rechte und linke Gesichtshälfte getrennt voneinander abgebildet werden, ist ein Vergleich der beiden Seiten möglich. Auf diese Weise sind Normvarianten und Überlagerungseffekte abzugrenzen [15]. So lassen sich z. B. im Oberkiefer die beiden Kieferhöhlen (*Sinus maxillaris*) im Seitenvergleich eingeschränkt beurteilen. Zur Dosisersparnis ist es ebenfalls möglich, nur seitenweise oder sogar quadrantenweise zu röntgen.



Abb. 1: Beispielbild Panoramaschichtaufnahme

2.1.1.2 Intraorale Aufnahmen mit dentalen Tubusgeräten

Mittels intraoraler Aufnahmen mit einer Bildempfängergröße von 3x4 cm oder 2x3 cm werden einzelne Zähne oder Zahnreihen (Bissflügelaufnahme, Okklusalaufnahme) zweidimensional abgebildet, um diese detaillierter darzustellen als dies beispielsweise mittels PSA möglich ist (s. Abbildung 2). Intraoralaufnahmen werden heutzutage insbesondere ergänzend zur PSA eingesetzt um gezielte Fragestellungen zu beantworten [29]. Vor allem in der Kariesdiagnostik oder zur Beurteilung von periapikalem und parodontalem Geschehen ist das Anfertigen einer Intraoralaufnahme sinnvoll. Das Anfertigen oraler Zahnstatus zur Darstellung aller Zähne gilt als Vorgänger der PSA und wird auch heute noch teilweise, insbesondere aber bei parodontalen Fragestellungen, durchgeführt. Intraoralaufnahmen weisen eine effektive Dosis von 1 bis 8 μS auf [28]. Da der abgebildete Bereich oft kleinste Details darstellt, spielt die Optimierung der Bildqualität eine große Rolle, um zweifelsfreie Diagnosen stellen zu können. Ziel ist eine vollständige, überlagerungsfreie, orthoradiale, reproduzierbare und unverzerrte Abbildung [15]. Voraussetzung hierfür sind folgende *ideale Aufnahmebedingungen* [29]:

- Punktförmiger Fokus
- Parallelität zwischen Zahnachse und Bildempfängerachse
- Senkrecht zu Zahnachse und Bildempfängerachse verlaufender Zentralstrahl
- Möglichst großer Fokus-Objekt-Abstand
- Möglichst kleiner Objekt-Bildempfänger-Abstand

Die Umsetzung der oben genannten Idealanforderungen ist in der zahnärztlichen Radiologie nahezu unmöglich, sodass es sich bei der intraoralen Einstellung unabhängig von der Aufnahmetechnik um Kompromisse handelt [15]. Innerhalb der intraoralen Aufnahmen mit dentalen Tubusgeräten stehen dazu diverse Techniken zur Verfügung. Hierzu zählen neben der Paralleltechnik auch die Halb- und die Rechtwinkeltechnik [29].



Abb. 2: Beispielbild Intraoralaufnahme

Paralleltechnik

Bei der von *Price* (1904), *McCormack* (1920) und *Fitzgerald* (1947) beschriebenen Paralleltechnik wird der Bildempfänger (Rezeptor) parallel zur abzubildenden Zahnachse (Objektachse) positioniert, sodass der Zentralstrahl aus dem (Lang-)Tubus des Röntgengerätes rechtwinklig zur Zahn- und damit Rezeptorachse mittig auftrifft (s. Abbildung 3a). Dabei wird der Zahn mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit unverzerrt abgebildet und gleichmäßig vergrößert, wodurch die Beurteilung des Röntgenbilds enorm vereinfacht wird [29]. Um die Handhabung intraoral zu erleichtern und die Parallelität zwischen Rezeptorachse und Fokus sowie eine orthoradiale Platzierung zu gewährleisten, arbeitet man bei der Anwendung der Paralleltechnik mit Haltesystemen (Film-, Sensorhalterung) und integriertem Aufbissblock. Aufgrund anatomischer Gegebenheiten in der Mundhöhle ist die Paralleltechnik allerdings lediglich im Unterkiefer-Seitenzahnbereich anwendbar [15].

Halbwinkeltechnik

Die Halbwinkeltechnik nach *Cieszynski* (1907, 1923) ist die älteste und gängigste Methode der Intraoralaufnahmen. Der Bildempfänger wird unter Zuhilfenahme von Daumen oder Zeigefinger von palatinal bzw. lingual an die abzubildenden Zähne in Ober- oder Unterkiefer gedrückt. Der Zentralstrahl ist anschließend rechtwinklig zu der gedachten Winkelhalbie-

renden zwischen Zahn- und Rezeptorachse auszurichten (s. Abbildung 3b), sodass aufgrund von geometrischen Gesetzen eine größenrichtige, aber nicht maßstabgetreue Abbildung des Objektes erreicht wird. Da die Wahl des entsprechenden halben Winkels den Untersucher vor eine besondere Herausforderung stellt und oftmals schwer zu treffen ist, kann es zu verkürzten bzw. verlängerten Abbildern der Zähne kommen. Hilfsmittel wie Haltesysteme oder Aufbissblöcke sind bei Anwendung der Halbwinkeltechnik nicht notwendig. Es ist allerdings zu beachten, dass der Druck des Fingers das Durchbiegen des Bildempfängers zur Folge haben kann, wodurch gegebenenfalls Verzerrungen in der Abbildung entstehen [15]. Das Durchführen der Röntgenaufnahmen unter Halbwinkeltechnik bietet sich vor allem im Oberkiefer an, wenn ein großer Winkel zwischen Objekt- und Rezeptorachse durch den Gaumen unvermeidbar ist.

Rechtwinkeltechnik

Die erstmals von *Berghagen, Sjögren, Benkow* und *Eggen* beschriebene und von *Hielscher* (1954) und *Pasler* (1981) weiterentwickelte Rechtwinkeltechnik ähnelt auf den ersten Blick der Paralleltechnik. Der Zentralstrahl trifft senkrecht auf die Mitte des Bildempfängers (s. Abbildung 3c), welcher mittels starrer Halterung direkt am Gehäuse des Röntengerätes befestigt ist. Neben einer klaren Zentralstrahl-Bildebene-Beziehung ist dadurch auch gleichzeitig die Fokus-Bildempfänger-Distanz gesichert [29]. Allerdings geht damit oftmals eine erschwerte Anwendung mit geringer Akzeptanz durch den Patienten einher [15], obwohl die digitalen Sensoren durch technischen Fortschritt deutlich flacher und einfacher anzuwenden sind [28]. Der große Unterschied zur Paralleltechnik liegt darin, dass die räumliche Beziehung zwischen Zahn (Objekt) und Bildempfänger nicht zwingend definiert ist. Die dementsprechend willkürliche und möglicherweise zu steile oder flache Positionierung des Rezeptors kann eine fehlerhafte Darstellung zur Folge haben.

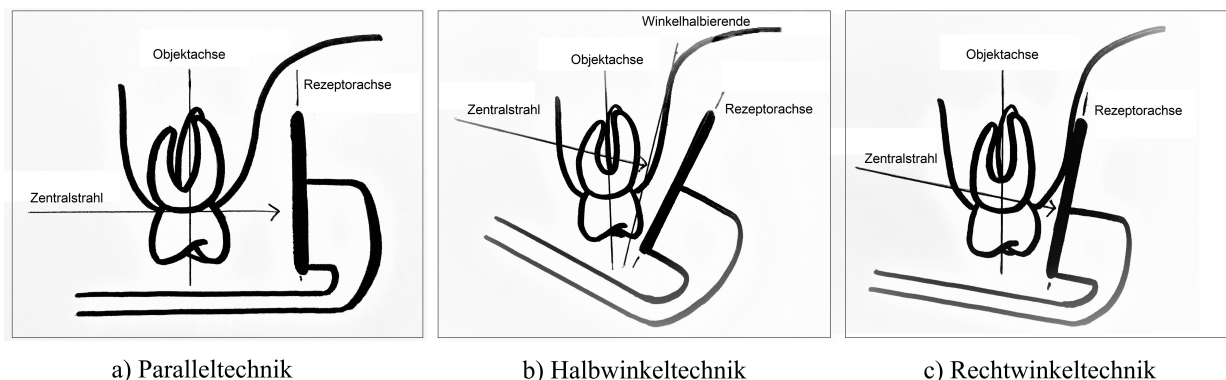


Abb. 3: Techniken der Intraoralaufnahme (eigene Darstellung)

2.1.1.3 Fernröntgenseiten-Aufnahme

1931 entwickelten *Hofrath* und *Broadbent* die Technik der Fernröntgenseiten-Aufnahme, die Kephalometrie. Seither zählt sie vor allem zum Repertoire der Orthodontie sowie maxillofazialen Chirurgie und stellt den Gesichtsschädel im Profil inklusive aller Weichteile dar (s. Abbildung 4). Daneben steht auch die Möglichkeit einer frontalen Schädelaufnahme, der sogenannten Fernröntgen-posterior-anterior-Aufnahme (*FR-p.a.-Aufnahme*), zur Verfügung [12]. Es gilt skelettale, dentoalveoläre sowie Weichteilstrukturen zu befunden und gegebenenfalls eine vorhandene Fehlstellung – anhand von Vergleichswerten – entsprechend zu therapieren. Besondere Aufmerksamkeit wird der Beurteilung des Gesichtsschädelaufbaus, der Wachstumstendenz, der Beziehung der Kieferbasen zur vorderen Schädelbasis (*sagittale, vertikale Kieferbasenrelation*) und der Zahnstellung gewidmet [30]. Die Therapieentscheidung in der Kieferorthopädie basiert häufig auf der Anfertigung einer Fernröntgenseitenaufnahme und lässt ihr demnach eine elementare Bedeutung zukommen. Auf das richtige Positionieren des Patienten sollte ausdrücklich geachtet werden, da die Reproduzierbarkeit und größenrichtige Objektdarstellung bei Fernröntgenseitenbildern eine besonders große Rolle spielt. Mittels FRS-Aufnahmen lassen sich kephalometrische Parameter ermitteln und individuelle, schädelbezogene Winkel und Größen metrisch ausmessen, darauf basierende Werte errechnen und Therapieentscheidungen fällen [31]. Ein Fernröntgenseitenbild weist eine effektive Strahlendosis von ungefähr $5 \mu\text{S}$ auf [15].



Abb. 4: Beispielbild Fernröntgenseitenaufnahme

2.1.1.4 Computertomographie

Hounsfield verwendete die Computertomographie (CT) als computergestütztes bildgebendes Verfahren im Jahr 1972 zum ersten Mal zum Zwecke klinischer Untersuchungen [11]. Mithilfe der Computertomographie wird von extraoral eine überlagerungsfreie, primär transversale (axiale) schicht- bzw. schnittweise Darstellung sowohl von knöchernen als auch von Weichteilstrukturen ermöglicht. Durch eine Vielzahl an Scan- und Nachbearbeitungsmöglichkeiten neben zwei- als auch dreidimensionaler und multiplanarer Rekonstruktion entsteht ein breites Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten [12, 22]. Kieferfrakturen und -erkrankungen, Tumore, tumorähnliche Prozesse sowie Zysten oder kompliziert verlagerte Zähne stellen Indikationen für den diagnostischen Einsatz einer CT in der Zahnheilkunde dar. Auch zwecks Implantatplanung kann die CT-Aufnahme indiziert sein [12]. Mit einer effektiven Strahlendosis von 300 bis ca. 3300 μS weist die CT eine deutlich höhere Strahlenexposition auf als zahnärztliche Röntgenverfahren.

2.1.1.5 Dentale digitale Volumentomographie

Die digitale Volumentomographie (DVT, *englisch*: Cone Beam Computed Tomography) hat sich als dreidimensionales Verfahren im Laufe der letzten Jahre in der Zahnheilkunde etabliert und wird zur extraoralen, dimensionsgerechten Darstellung ossärer Strukturen im Kopf-Hals-Bereich genutzt. Die DVT-Diagnostik ermöglicht mittels axialer, koronaler und sagittaler Schnitte eine umfassende Beurteilung vorhandener Pathologien, sollten jedoch grundsätzlich nur bei entsprechend gerechtfertigter Indikation eingesetzt werden [10, 21]. Im Vergleich zur PSA verursacht die DVT mit 100 μS eine im Mittel in etwa 10-mal höhere effektive Strahlendosis [16]. Mögliche Maximalwerte der Exposition können nichts desto trotz bis zu 600 μS erreichen, liegen damit aber meist immer noch deutlich unterhalb der durch Computertomographie-Systeme verursachten Werte [25]. Wie zu erkennen, kann es bei der Anwendung zu erheblichen Größenunterschieden der Dosisbelastung kommen. Wie umfangreich die DVT und die effektive Strahlendosis ist, richtet sich unter anderem nach dem Ausmaß der zu untersuchenden Schädelregion, dem *Field of View*. Gerade bei Kindern ist das in Betrachtziehen einer DVT im Besonderen abzuwägen, da diese eine mindestens um den Faktor drei höhere Strahlensensibilität aufweisen [27]. Aufgrund der hohen Strahlenbelastung eignet sich die DVT keinesfalls als Routineverfahren in der zahnärztlichen Röntgendiagnostik. Während die DVT laut Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) dementsprechend in der Parodontologie, Kariesdiagnostik oder Endodontie nur eingeschränkt zum Einsatz kommt, findet sie ihre Anwendung in erster Linie in der Oral- oder Mund-, Kiefer-, und Gesichtschirurgie

zur Beurteilung von intraossären Läsionen, Tumoren oder Lageanomalien von Zähnen zwecks Therapie- und/oder Operationsplanung. Auch zur Implantatplanung eignet sich das Anfertigen einer DVT [21, 32].

2.1.1.6 Spezialprojektionen

Spezialprojektionen in der Zahnheilkunde umfassen neben einer Vielzahl verschiedener Schädelaufnahmen auch Nasennebenhöhlen-Aufnahmen und ermöglichen es insbesondere Aussagen im Bereich der Traumatologie oder im Bezug auf entzündliche/ tumoröse Nasennebenhöhlen-Veränderungen zu treffen [8]. Im Folgenden sind einige der gängigsten Spezialprojektionen aufgeführt.

Nasennebenhöhlen-Aufnahmen

Zur Beurteilung der Nasennebenhöhlen bzgl. der Traumatologie und bzgl. der Diagnostik akuter oder chronisch entzündlicher Erkrankungen wie bspw. einer Sinusitis oder Pansinusitis eignen sich spezielle Röntgenaufnahmen der Nasennebenhöhlen. Je nach beteiligter Nasennebenhöhle kommen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz [33].

- okzipitomentale Nasennebenhöhlen-Aufnahme (*NNH om*)
- okzipitofrontale Nasennebenhöhlen-Aufnahme (*NNH of*)
- seitliche Aufnahme der Stirnhöhle
- seitliche Aufnahme des Nasenbeins
- Henkeltopfaufnahme
- Schrägaufnahme nach Rhese

Clementschtsch-Aufnahme

Bei der Clementschtsch-Aufnahme handelt es sich um eine okzipitofrontale Schädelaufnahme, welche insbesondere bei Verdacht auf Frakturen bzw. Dislokationen des Unterkiefers oder Kiefergelenks angefertigt wird. Aufgrund des exzentrischen Strahlengangs und dem geöffnetem Patientemund werden Überlagerungen verhindert und gleichzeitig ausreichende Beurteilungsmöglichkeiten geschaffen, welche in nur einer Ebene kaum vorhanden sind [34].

2.2 Müdigkeit

In den Unterkapiteln 2.2.1 bis einschließlich 2.2.4 wird der Begriff Müdigkeit eingeführt. Dabei werden auch die Entstehung, die Ursachen, Folgen sowie die Messmöglichkeiten von Müdigkeit erläutert.

2.2.1 Definition und Symptome von Müdigkeit

Müdigkeit (*englisch: fatigue*) gilt per Definition als Zustand eines Energiemangels bzw. als Erschöpfung nach geistiger oder körperlicher Anstrengung. Sie trägt dafür Sorge, den Zeitpunkt des Bedarfes für Erholung anzuzeigen, um einen dauerhaft leistungsfähigen Organismus zu gewährleisten [35]. Es handelt sich um eine menschliche Erfahrung, ein körperliches Phänomen eines jeden Menschen. Unter dem Begriff „Müdigkeit“ lassen sich zahlreiche Erscheinungen zusammenfassen. Häufig zählen sowohl eine verringerte oder gestörte körperliche und mentale Leistungs- als auch Arbeitsfähigkeit, fehlende Aufmerksamkeit sowie emotionale Schwankungen zu den Folgen.

Klassifizieren lässt sich Müdigkeit in drei verschiedene Untergruppen:

- die nicht-spezifizierte, akute Müdigkeit
- die chronische Müdigkeit
- das chronische Müdigkeitssyndrom (*CFS: chronic fatigue syndrom*) [36]

Daneben unterscheidet man die *körperliche Müdigkeit* von *psychischer bzw. geistiger Ermüdung*. Während die *körperliche Müdigkeit* in erster Linie mit dem Auftreten von verminderter Muskelkraft und schwerfälliger Bewegung nach physischer Anstrengung einhergeht, ist die *psychische, geistige Ermüdung* eine Folge intellektueller Prozesse sowie kognitiver Belastung. Von großer Bedeutung sind hierbei die Intensität von Konzentration und Aufmerksamkeit. Je detail- und zahlreicher die Informationen und zügiger das Verarbeiten entsprechender Sinneseindrücke, desto größer das Ausmaß der *psychischen, geistigen Müdigkeit* [35].

Das subjektive Empfinden von Müdigkeit ist extrem breit gefächert. Symptome wie z.B. körperliche muskuläre Schwäche bzw. Schlappeheit, Antriebslosigkeit, eine beeinträchtigte Wahrnehmung oder Motivationsmangel können im Zusammenhang mit Müdigkeit beschrieben werden [37]. *Glaus* unterscheidet drei verschiedene Kategorien des Müdigkeitsempfindens: physisches, emotionales und kognitives Empfinden. Dabei entspricht das physische Müdigkeitsempfinden körperlicher Schwäche bzw. fehlender körperlicher Leistungsfähigkeit, während emotionale Müdigkeit mit reduzierter Motivation, Traurigkeit und

Angst einhergeht. Kognitive Müdigkeit äußert sich oft mittels Konzentrationsbeschwerden oder Schlafproblemen [38]. Daneben existiert auch die von *Krupinski* beschriebene visuelle Müdigkeit, gerade im Zeitalter der Computer- und Smartphonebildschirme. Kopf- oder Augenschmerzen, trockene Augen, verzerrte oder verschwommene Bilder sind beispielsweise die Folge [39].

2.2.2 Physiologische Entstehung von Müdigkeit

Ein intakter, zirkadianer Schlaf-Wach-Rhythmus ist eine der Voraussetzungen für einen leistungsfähigen Organismus. Für die körpereigene Schlafregulierung ist die Epiphyse (Zirbeldrüse, *Glandula pinealis*), ein Organ des menschlichen Zwischenhirns, zuständig. Durch Kommunikation mit der Netzhaut des Auges erhält die Epiphyse Informationen über Licht und Dunkelheit. Das Einstrahlen von Sonnenlicht bewirkt die Bildung des Hormons bzw. Neurotransmitters Serotonin, während Dunkelheit zur Produktion des Hormons bzw. Neurotransmitters Melatonin durch Pinealozyten führt. Melatonin entsteht durch Ab- bzw. Umwandlung von Serotonin und spielt eine entscheidende Rolle für den Schlafrhythmus sowie die Schlaftiefe für Regenerationsprozesse. Neben der Zirbeldrüse wird das lebensnotwendige Hormon auch bspw. im Darm gebildet und erfüllt eine Vielzahl von verschiedenen Aufgaben. Dazu zählen bspw. die Reduktion von Zellschäden durch eine antioxidative und anti-entzündliche Wirkung, die Stimulation des Immunsystems oder die Regulation und Synchronisation des Darms und der Verdauungsdrüsen [40, 41]. Die Konzentration des Zirbeldrüsenhormons Melatonin ist im Kindesalter hoch, sinkt mit zunehmendem Alter jedoch deutlich ab. Dadurch erklärt sich die Abnahme der Tiefschlafphase in höherem Alter [42].

2.2.3 Ursachen und Folgen von Müdigkeit

Müdigkeit kann eine Vielzahl an Ursachen haben. Zwingend unterscheiden muss man allerdings zwischen physiologischen und pathologischen Ausmaßen, was häufig enorme Schwierigkeiten birgt. Qualität, Dauer und funktionelle Beeinträchtigung zum Beispiel zählen zu den allgemeinen Charakteristika [37]. Neben allgemeiner Müdigkeit existieren krankhafte Erscheinungen wie z.B. Narkolepsie oder das Schlafapnoe-Syndrom, welche ärztlich behandelt werden sollten [36].

Schlaf zählt neben Durst, Hunger und dem Bedürfnis zu atmen zu den primär biologisch-physiologischen Bedürfnissen und stellt somit eine lebensnotwendige Grundlage dar [43]. Schlafstörungen können dementsprechend weitreichende Folgen haben. Daneben können allerdings auch andere Einflüsse zu Müdigkeit führen.

Dazu zählen z.B.

- seelische oder somatoforme Störungen
- Medikamentennebenwirkungen (z.B. *Benzodiazepine*, *Antidepressiva*, *Antihistaminika*)
- Pathologien (z.B. *Diabetes mellitus*)
- ausgeprägte Formen der Anämie
- Infektionen (z.B. *Mononukleose*) [36]

Neben pathologischen Veränderungen existiert eine große Spannbreite an physiologischen Ursachen, die zu Müdigkeit führen können. Neben der Überarbeitung zählen hierzu u.a. auch die Überforderung, die Wetterfühligkeit, Verdauungsphasen sowie der qualitative oder quantitative Schlafmangel. Die Länge des Schlafes ist ebenso altersabhängig und wird mit steigendem Alter, aufgrund von abnehmender Melatoninkonzentration, kürzer. Physiologisch bedingte Müdigkeit ist häufig bei Menschen im Berufsalltag anzutreffen [44]. In ausgeprägter Form ist sie häufig die Ursache für menschlich bedingte Fehler und ein bekannter Risikofaktor [45]. Das Nachlassen der Leistungsfähigkeit kann insbesondere im Zusammenhang mit verantwortungsvollen Aufgaben gefährliche Ausmaße mit schwerwiegenden Auswirkungen annehmen. Daneben können auch körperliche Symptome wie Kopfschmerzen, trockene und brennende Augen bis hin zu Depressionen oder Neuralgie die Folge von Müdigkeit [35] sein.

Auf die physiologische Müdigkeit im Zusammenhang mit mentaler Anstrengung wird in der vorliegenden Arbeit eingegangen, während die organisch bedingte Müdigkeit wegen fehlender Relevanz zur Beantwortung der Fragestellung vernachlässigt werden kann.

2.2.4 Möglichkeiten zur Erfassung von Müdigkeit

Gegenwärtig existieren diverse Möglichkeiten zur Messung von Müdigkeit. Man unterscheidet dabei zwischen subjektiven und objektiven Methoden. Einige der möglichen Methoden zur Erfassung von Müdigkeit werden in den folgenden Unterkapiteln 2.2.4.1 bis 2.2.4.3 nähergehend erläutert.

2.2.4.1 Subjektive Messmethoden zur Erfassung von Müdigkeit

Zu den *subjektiven* Messmöglichkeiten [39] zählen z.B.

- **Stanford Sleepiness Scale (SSS)**

Die von *Hoddes, Dement* und *Zarcones* im Jahr 1972 entwickelte „*Stanford Sleepiness Scale*“ wird zur Beurteilung von Veränderungen der Müdigkeit am Tag als auch in der Nacht verwendet. Dabei gilt es in 15-minütigem Abstand die subjektiv wahrgenommene Müdigkeit auf einer Skala von eins bis sieben zu beurteilen. Die Grade der Müdigkeit sind hierbei wie folgt definiert [46]:

Tab. 1: *Stanford Sleepiness Scale (deutsche Übersetzung)*

Grad der Müdigkeit	Skalen- Nummerierung
aktives und vitales Gefühl, aufmerksam, hellwach	1
klarer Kopf aber nicht in Hochform, zur Konzentration fähig	2
entspannt und wach, Aufmerksamkeit teilweise vorhanden, empfänglich	3
ein wenig benommen, schlaff	4
benebelt, Verlust des Interesses am Wachzustand, langsam	5
schläfrig, benommen, dringendes Bedürfnis zu schlafen, Kampf gegen plötzliches Einschlafen	6
kurz vor dem Einschlafen, traumartige Gedanken	7
Schlaf	X

- **Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI)**

Der „*Pittsburgh Sleep Quality Index*“ dient über einen Zeitraum von vier Wochen zur retrospektiven Erfassung der Schlafqualität, weniger der Müdigkeit. Es handelt sich um 19 eigenständig zu beurteilende Fragen, welche anschließend in die folgenden sieben Hauptgruppen zusammengefasst werden:

- Schlafqualität
- Schlaflatenz
- Schlafdauer
- Schlaffeffizienz
- Schlafstörung
- Schlafmittelkonsum
- Tagesmüdigkeit

Nachdem jede der Hauptgruppen danach auf einer Skala von null bis drei eingestuft wurde, werden die entsprechenden Werte addiert. Der Gesamtwert kann null bis 21 Punkte betragen und ermöglicht die Beurteilung der Schlafqualität [47]:

- **<5 Punkte** = gesunder Schlaf
 - **6 - 10 Punkte** = schlechter Schlaf
 - **>10 Punkte** = chronische Schlafstörung
- **Epworth Sleepiness Scale (ESS)**

Die „*Epworth Sleepiness Scale*“ ist ein Verfahren zur Erfassung der Einschlafneigung. Sie dient zur Evaluierung längerer Zeiträume, eignet sich allerdings keinesfalls für die Beurteilung tageszeitlicher Schwankungen. Dabei soll die persönliche Neigung zum Einschlafen in acht unterschiedlichen Situationen (s. Tabelle 2) auf einer Skala von null bis drei (s. Tabelle 3) beurteilt werden. Im Anschluss daran werden die jeweiligen Werte zu einem Gesamtwert zwischen null und 24 addiert, welcher eine Beurteilung der Einschlafneigung erlaubt (s. Tabelle 4) [48, 49].

Tab. 2: *ESS: Situationsabhängige Beurteilung der Einschlafneigung (deutsche Übersetzung)*

Situation	Einschlafneigung
sitzend und lesend	
fernsehend	
inaktiv an einem öffentlichen Ort sitzend (z.B. Theater)	
als Beifahrer für eine Stunde ohne Pause in einem Auto sitzend	
am Mittag hinlegen und ausruhen, wenn die Umstände es erlauben	
sitzend und mit jemandem redend	
nach dem Mittagessen (ohne Alkoholkonsum) ruhig sitzend	
im Auto während man des Verkehrs wegen kurz stoppen muss	

Tab. 3: *ESS: Skala zur Beurteilung der Einschlafneigung (deutsche Übersetzung)*

Grad der Einschlafneigung	Skala-Nummerierung
keinerlei vorhandene Einschlafneigung	0
leichte Neigung zum Einschlafen	1
mäßige Neigung zum Einschlafen	2
hohe Neigung zum Einschlafen	3

Tab. 4: *ESS: ESS-Punktestand zur ESS-Interpretation (deutsche Übersetzung)*

ESS-Punktestand	Interpretation
0 bis 5	eher niedrige Einschlafneigung am Tag: Normalbereich
6 bis 10	eher hohe Einschlafneigung am Tag: Normalbereich
11 bis 12	wenig ausgeprägte Einschlafneigung am Tag
13 bis 15	mäßig ausgeprägte Einschlafneigung am Tag
16 bis 24	stark ausgeprägte Einschlafneigung am Tag

- **Fatigue Severity Scale (FSS)**

Bei der „*Fatigue Severity Scale*“ handelt es sich um einen eigenständig zu beurteilenden Fragebogen zur Bewertung des Ausmaßes der Müdigkeit in der vergangenen Woche. Neun verschiedene Fragen (s. Tabelle 5) werden auf einer acht-gradigen Skala von 0 („*Ich stimme gar nicht zu*“) bis 7 („*Ich stimme komplett zu*“) bewertet. Mittelwerte über 5 weisen auf erhöhte Müdigkeit hin [50].

Tab. 5: *Fatigue Severity Scale (deutsche Übersetzung)*

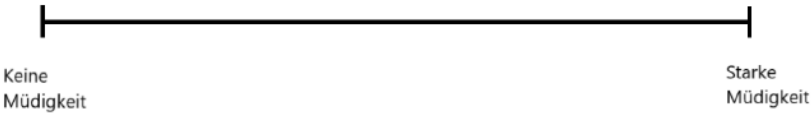
„Während der letzten Woche traf Folgendes zu:“	Skalen- Nummerierung
Wenn ich müde bin, bin ich weniger motiviert.	
Körperliche Bewegung macht mich müde.	
Ich ermüde rasch.	
Meine Müdigkeit beeinträchtigt meine körperliche Leistungsfähigkeit.	
Meine Müdigkeit bereitet mir oft Probleme.	
Meine Müdigkeit verhindert längerdauernde körperliche Tätigkeiten.	
Meine Müdigkeit beeinträchtigt mich, gewisse Pflichten und Verantwortungen zu erfüllen.	
Meine Müdigkeit gehört zu den drei Beschwerden, die mich am meisten behindern.	
Meine Müdigkeit beeinträchtigt meine Arbeit, meine Familie oder mein soziales Leben.	

Daneben bieten sich u.a. auch die **Multidimensional Fatigue Inventory (MFI)**, die **Piper Fatigue Self-Report Scale**, der **FACES questionnaire**, die **numerische Rating-Skala (NRS)** (s. Abbildung 5) oder die **Visuelle Analog-Skala (VAS)** (s. Abbildung 6) zur subjektiven Erfassung der Ermüdung an [51].

Bei der **Visuellen Analog-Skala** handelt es sich um eine horizontale Linie von 10 cm Länge. Dabei entspricht der linke Rand „keiner Müdigkeit“, während der rechte Rand „starke Müdigkeit“ symbolisiert. Mittels Einzeichnen eines Kreuzes oder senkrechten Striches kann die subjektive Müdigkeit in Messwerten von 0 bis 100 erfasst werden. Die Visuelle Analogskala hat sich als valides sowie zuverlässiges Messinstrument bewiesen, welches sich durch große Sensitivität gegenüber Veränderungen auszeichnet [52]. Sie hat sich insbesondere im Bereich der Schmerzerfassung etabliert, wurde jedoch für die vorliegende Untersuchung zur Erfassung der Müdigkeit verwendet.

Visuelle Analog-Skala

Bitte zutreffendes anhand eines senkrechten Striches einzeichnen:



Keine Müdigkeit Starke Müdigkeit

Abb. 5: Visuelle Analog-Skala

Die **Numerische Ratingskala** dient der Zuordnung von Zahlenwerten von 0 bis 10 zur eigens empfundenen Müdigkeit. Dabei entspricht 0 keiner Müdigkeit, während starke Müdigkeit durch den Wert 10 definiert ist. Der Vorteil der NRS besteht, wie auch bei der VAS, in der Einfachheit bei gleichzeitiger Erfassung geringfügiger Änderungen. Auch sie findet hauptsächlich im Bereich der Schmerzdiagnostik Anwendung [53]. In der vorliegenden Studie fand sie ihren Nutzen zur Erfassung der subjektiven Müdigkeit.

Numerische Rating-Skala

Bitte ordnen Sie auf der folgenden Skala Ihre Müdigkeit ein. „0“ steht für *keine Müdigkeit*, „10“ entspricht *starker Müdigkeit*.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Abb. 6: Numerische Rating-Skala

2.2.4.2 Objektive Messmethoden zur Erfassung von Müdigkeit

Objektive Messmöglichkeiten zur Erfassung von Müdigkeit sind bspw.:

- **Psychomotor Vigilance Task (PVT)**

Der *Psychomotor Vigilance Task* ermöglicht das zuverlässige Erfassen von ermüdungsbedingten Veränderungen der Aufmerksamkeit durch Schlafmangel oder jobbedingte Überarbeitung. Der weit verbreitete, einfach bedienbare Standard-PVT wurde im Jahr 1985 von *Dinges* und *Powell* veröffentlicht und wird über eine Dauer von zehn Minuten durchgeführt. Alle zwei bis zehn Sekunden leuchtet ein visueller Reiz auf, wobei der Test-Teilnehmer auf das entsprechende Aufleuchten mit einem Knopfdruck reagieren sollte. Die PVT-Reaktionszeit wird als Maßstab für die Aufmerksamkeit ermittelt. Müdigkeit führt zu einer verlangsamten PVT-Reaktionszeit bzw. fehlender Reaktion (>500 ms) [54, 55].

- **Critical Flicker Fusion Frequency (CFFF)**

Visuelle Müdigkeit zu messen ist in der Wissenschaft ein umstrittenes Thema. Die Technik der *Critical Flicker Fusion Frequency* (deutsch: Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF)) hat sich allerdings als geeignete Methode zum Erfassen und Beurteilen der menschlichen, visuellen Leistungsfähigkeit erwiesen. Es handelt sich hierbei um die Schwelle der Frequenz, ab welcher flackernde Lichtreize noch als solche und nicht als durchgehendes Licht bzw. umgekehrt wahrgenommen werden. Niedrige Werte werden dabei mit Müdigkeit in Verbindung gebracht [56, 57].

Des Weiteren lässt auch das Erfassen der **Akkomodationsfähigkeit der Augen**, des **Cortisolspiegels**, des **Blutdrucks** oder der **zerebralen Aktivität** in geringem Maße Rückschlüsse auf das Vorhandensein bzw. Ausmaß von Müdigkeit zu.

2.2.4.3 Die Swedish Occupational Fatigue Inventory

Zur Erfassung von Müdigkeit im Berufsleben hat sich allerdings vor allem eine Methode durchgesetzt und bewährt: die sogenannte **Swedish Occupational Fatigue Inventory (SOFI)**. Sie wurde 1997 durch die Schwedin *Ahsberg* entwickelt und validiert um physische und mentale Müdigkeit am Arbeitsplatz adäquat zu erfassen. Die SOFI bestand ursprünglich aus 25 verschiedenen Ausdrücken, welche wiederum gleichmäßig auf fünf Faktoren verteilt wurden: *Energiemangel*, *körperliche Anstrengung*, *körperliche Beschwerden*, *Mangel an Motivation* und *Schläfrigkeit*. Dabei wurde jeder Ausdruck auf einer elf-gradigen Skala von 0 („ganz und gar nicht zutreffend“) bis 10 („in höchstem Maß zutreffend“) bewertet [58, 51]. Im Jahr 2000 wurde die ursprüngliche Erhebungsmethode

nochmals von *Ahsberg* modifiziert. Diese Version beinhaltet lediglich noch 20 Ausdrücke, welche auf einer sieben-stufigen Skala von 0 („*ganz und gar nicht zutreffend*“) bis 6 („*in höchstem Maß zutreffend*“) zu beurteilen sind. Die fünf Kategorien blieben bestehen [59, 51]. *Körperliche Anstrengung* und *Beschwerden* ermöglichen Aussagen über die physische, körperliche Ermüdung, während *Motivationsmangel* und *Schläfrigkeit* in erster Linie Rückschlüsse auf die mentale Müdigkeit zulassen. Der *Energiemangel* berücksichtigt Aspekte physischer als auch geistiger Ermüdung (s. Tabelle 6, Original s. Anhang 1) [39]. Die vorliegende Arbeit bzw. Untersuchung bezieht sich auf die bereits von Krupinski et al. [4] verwendete Version des SOFI-Fragebogens um eine bessere Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse zu ermöglichen. Die verwendete deutsche Übersetzung ist im Folgenden abgebildet (s. Tabelle 7). Der Originalbogen befindet sich in Anhang 2.

Tab. 6: *Die 5 SOFI-Faktoren - deutsche Version*

Müdigkeitstyp	Faktor	Gruppe der Adjektive
körperliche & geistige Müdigkeit	<i>Energiemangel</i>	Abgekämpft Erschöpft Verausgabt Ausgelaugt Überarbeitet
körperliche Müdigkeit	<i>körperliche Anstrengung</i>	Herzklopfen/-rasen Geschwitzt Warm Außer Atem Schwere Atmung
körperliche Müdigkeit	<i>körperliche Beschwerden</i>	Angespannte Muskeln Benommen Steife Gelenke Leidend/ Verletzt Schmerzhaft
geistige Müdigkeit	<i>Mangel an Motivation</i>	Unbekümmertheit Lustlos Unbeteiligt Gleichgültig Desinteressiert
geistige Müdigkeit	<i>Schläfrigkeit</i>	Faul/ Träge Am Einschlafen Schläfrig Gähmend Müde

Tab. 7: *Swedish Occupational Fatigue Inventory - deutsche Übersetzung*

Swedish Occupational Fatigue Inventory											
<i>Wie fühlen Sie sich gerade?</i>											
<i>Antworten Sie spontan und markieren Sie die Zahl, die mit Ihrem Gefühl korrespondiert. Die Zahlen variieren zwischen 0 (ganz und gar nicht) und 10 (voll und ganz).</i>											
Herzklopfen/-rasen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unbekümmertheit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Faul/ Träge	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Abgekämpft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Angespannte Muskeln	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Benommen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Geschwitzt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Erschöpft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lustlos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Am Einschlafen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Verausgabt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schläfrig	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unbeteiligt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Steife Gelenke	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Warm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gleichgültig	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leidend/ Verletzt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Außer Atem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gähmend	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ausgelaugt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Müde	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Überarbeitet	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schmerzhaft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schwere Atmung	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Desinteressiert	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2.3 Konzentration und Aufmerksamkeit

Das folgende Kapitel liefert einen Überblick über die Definition von Konzentration und Aufmerksamkeit und thematisiert deren Bedeutung.

2.3.1 Definition von Konzentration und Aufmerksamkeit

Aufmerksamkeit und Konzentration – zwei Begriffe, die im Alltag oftmals synonym verwendet werden. Auch in der Literatur gibt es dazu unterschiedliche Meinungen und Ansätze,

dabei allerdings kaum eine eindeutige Abgrenzung der beiden Konstrukte. Folgende Ansätze stehen sich dabei gegenüber:

1. Strikte Unterscheidung der Begriffe:

Während der Begriff der „Konzentration“ im Zusammenhang mit Arbeit seinen Ausdruck findet, ist „Aufmerksamkeit“ lediglich auf die Wahrnehmung bezogen.

2. Synonyme Verwendung der Begriffe:

Ungenau definierte Unterscheidungsmöglichkeiten machen eine Unterscheidung laut *Schwenkmezger* (1991) unmöglich [60]. Zur Erfassung von Aufmerksamkeit verwendete Konzentrationstests machen die Unmöglichkeit der Begriffstrennung des Weiteren deutlich.

3. Kombination der beiden zuvor beschriebenen Ansätze:

Gegenwärtige Theorien sehen in der Konzentration eine spezielle Ausdrucksform der Aufmerksamkeit mit gesteigertem Intensitätsaspekt.

Die englischsprachige Literatur hingegen fasst beide Formulierungen ganz simpel unter dem Ausdruck „*attention*“ zusammen [60]. Im Folgenden werden die Begrifflichkeiten „Konzentration“ und „Aufmerksamkeit“, wie von *Schwenkmezger* empfohlen [60], synonym verwendet und nicht voneinander abgegrenzt, da in der Literatur keine allgemeingültige Einigkeit über die begriffliche Abgrenzung herrscht.

Unter dem Begriff „Konzentration“ versteht man die erlernbare, geistige Fähigkeit des willentlichen Fokussierens und Richtens der Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Sachverhalt: das Ziel [61]. Sie ist von internen (z.B. *willentliche Entscheidung*) als auch externen (z.B. *Neuigkeiten, Überraschungen*) Faktoren abhängig und hat einen enormen Einfluss auf die Weiterverarbeitung der fokussierten Reize [62]. Konzentriertes Arbeiten ist die Grundvoraussetzung für das Erlernen und Weiterentwickeln geistiger und körperlicher Fähigkeiten und sowohl situations- als auch aufgabenspezifisch.

2.3.2 Bedeutung und Entwicklung von Konzentration und Aufmerksamkeit

Die Konzentrations- und Aufmerksamkeitsfähigkeit spielt eine zentrale Rolle für z.B. das Gedächtnis oder die Sprachproduktion und gilt als Voraussetzung für nahezu jede intellektuelle Tätigkeit. Eine Vielzahl unterschiedlicher Bedingungen hat großen Einfluss auf die Fähigkeit zu konzentrierter Arbeit. Dazu gehören körperliche, kognitive, emotionale, motivationale, soziale sowie Umweltbedingungen. Auch die Motivation spielt bei der Konzentrationsfähigkeit eine wichtige Rolle. Sie ermöglicht es, auch Schwierigkeiten im Umgang

mit einer Sache auf sich zu nehmen und sich länger mit ihr zu beschäftigen. Es konnte festgestellt werden, dass Faktoren die häufig zu Unkonzentriertheit führen (z.B. *laute Umgebungen*) bei hoher Motivation an Bedeutung verlieren und einen deutlich geringeren Einfluss aufweisen [63]. Dabei ist die Motivation allerdings zwingend von der Konzentration abzugrenzen. Während die Konzentration eine Voraussetzung für die Leistungssteigerung darstellt, ist die alleinige Motivation nicht ausreichend [64].

Bereits im Säuglingsalter sind erste Aufmerksamkeitsleistungen festzustellen, welche mit zunehmendem Alter in unverkennbaren Entwicklungsschritten weiter ausgebildet werden. Die Konzentrationsfähigkeit auf relevante Informationen, die Anwendung situationsgerechter Aufmerksamkeit und das Vermögen zur Ausblendung externer Einflüsse werden enorm gestärkt [65]. Eine empirische Studie von *Knopf* wies allerdings nach, dass sich die Konzentrationsfähigkeit ab dem 20. Lebensjahr bereits verringert [66]. Die Konzentrationsdauer hingegen steigert sich im Laufe der Jahre und ermöglicht konzentriertes Arbeiten über unterschiedlich lange Zeiträume.

Tab. 8: *Durchschnittliche Aufmerksamkeitsdauer in Abhängigkeit des Alters*

Alter	Aufmerksamkeitsdauer
7 Jahre	15 Minuten
8 bis 9 Jahre	20 Minuten
10 bis 12 Jahre	25 Minuten
13 bis 17 Jahre	30 Minuten
> 17 Jahre (Erwachsene)	Bis zu 90 Minuten

Bei den oben genannten Werten handelt es sich um die durchschnittliche Aufmerksamkeitsdauer. Möglich sind Abweichungen sowohl nach oben als auch nach unten. Auch eine Tagesrhythmik lässt sich bei der Dauer der Aufmerksamkeit erkennen. Laut *Kemmerich* ist die Aufmerksamkeit insbesondere im Zeitraum zwischen 8:00 Uhr bis 12:00 Uhr und 15:00 Uhr bis 18:00 Uhr groß [67].

Mittels Elektroenzephalografie (EEG) lassen sich Konzentration und Aufmerksamkeit nachweisen. In entspanntem Wachzustand zeigen sich sinusförmige α -Wellen mit einer Amplitude von bis zu $50 \mu\text{V}$ und einer Frequenz von ca. 8 bis 13 Hz. Unter geistiger Konzentration weicht diese α -Aktivität zugunsten schnellerer Wellen mit niedrigerer Amplitude [68].

2.4 Zusammenhang zwischen Müdigkeit und Diagnostik

Die Anzahl an Schichtarbeiten hat im medizinischen Bereich in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Der zirkadiane Schlaf-Wach-Rhythmus verliert dabei sein Gleichgewicht. Müdigkeit und Schlafstörungen sind häufig die Folge. Zusammen mit dem modernen Lebensstil, Leistungs- und Zeitdruck, exzessiver Arbeit oder auch Stress stellen sie heutzutage ein großes Risiko für Fehler im Berufsalltag dar [54]. Fehler, die in der Medizin vermieden werden müssen. Lange Arbeitszeiten, mehr Patienten, sich ständig entwickelnde Röntgentechniken sind Faktoren die den Druck auf Radiologen z.B. immens erhöhen. Dabei ist gerade in der Radiologie das präzise Diagnostizieren von Bedeutung.

Das detaillierte Befunden von Röntgenaufnahmen mit größtmöglicher Genauigkeit bedarf neben höchster Konzentration auch Zeit. Studien zeigen, dass sich Fehlerraten duplizieren, wenn Radiologen mehr als 20 Röntgenbilder pro Tag befunden [7]. Steht den Behandlern bei der Beurteilung von Röntgenbildern unter Zeitdruck nur noch die Hälfte der Zeit zur Verfügung, kommt es zu einem Anstieg der Fehlerrate von 10 % auf 26,6 % [1]. Eine signifikante Steigerung der Fehlerhäufigkeit ist laut Hanna et al. [69] nach einem Arbeitstag von über zehn bis zwölf Arbeitsstunden zu erkennen. Weitere Untersuchungen verdeutlichen, dass die Mehrarbeit des okulomotorischen Systems bei Radiologen bis zur Asthenopie, einer durch Überanstrengung der Augen ausgelöste Sehstörung, führen kann [2, 70]. Betroffene sind mehrere Minuten nicht in der Lage, sowohl kleine als auch nahe Objekte zu sehen [70], was gerade bei der Beurteilung von Röntgenbildern enorme Schwierigkeiten mit sich bringt. Auch eine verschwommene Sicht, Doppelbilder oder Kopfschmerzen können die Folge sein [3]. Visuelle Müdigkeit ist in der Radiologie keine Seltenheit. Langes Arbeiten am Computerbildschirm, das präzise Konzentrieren auf kleinste Details sowie der niedrige Kontrast der Röntgenbilder begünstigen das Entstehen visueller Müdigkeit [56]. Krupinski et al. bestätigen derartige Ergebnisse mittels einer Studie, die verdeutlicht, dass die Akkomodation des Auges insbesondere im Bezug auf die Nähe unter einem Arbeitstag und stundenlangem Beurteilen von Röntgenbildern leidet [3]. Die Augen sind in diesem Fall messbar myoper [4].

Fehldiagnosen sind gerade in der Medizin von immenser Tragweite. Daher sollten Missinterpretationen mit weitreichenden (möglicherweise verheerenden [4]) Konsequenzen aufgrund von Müdigkeit unbedingt vermieden werden. Partiiell existieren bereits Studien, welche die Auswirkungen von Müdigkeit auf die diagnostische Genauigkeit bei der Befundung von Röntgenaufnahmen untersuchen. Dabei wurde jedoch nicht der Zusammenhang zwischen Müdigkeit und der Fehlinterpretationen von zahnmedizinischen Röntgenaufnahmen, sondern zwischen der Müdigkeit und Röntgenaufnahmen von z.B. Knochenfrakturen des Hand-, Fußgelenks [2], Thorax-CTs [4], Kolon-CTs [6] oder Mammographien [5] untersucht

(s. Anhang: Tabelle 6).

Bereits 1997 beschäftigten sich Bechthold et al. mit den möglichen Fehlerursachen in der Interpretation von Abdomen-CTs [7]. 694 bereits begutachtete Fälle wurden von drei bis fünf Radiologen überprüft und auf Fehler untersucht. Anschließend wurde die Fehlerrate der einzelnen Betrachter mit verschiedenen Variablen in Verbindung gebracht, wie zum Beispiel der Anzahl der befundenen Fälle pro Tag, dem Ausbildungsgrad oder den auf dem CT sichtbaren und zu beurteilenden anatomischen Strukturen.

Hierbei wurde deutlich, dass sich die Fehlerrate von 5 bis 8 % auf 15 % verdoppelt, wenn mehr als 20 Röntgenbilder pro Tag befunden wurden. Bei der Beurteilung des muskuloskelettären Systems, der Leber und Niere sowie den Gefäßen fanden sich am häufigsten Fehler. Wie zu erwarten, erwies sich die Fehlerrate von Radiologen mit höherem Ausbildungsgrad als etwas geringer als die der Radiologen mit einem niedrigeren Ausbildungsgrad. Festzustellen war des Weiteren, dass die Fehlerrate sank, wenn die Untersucher bei der Beurteilung der Abdomen-CTs nicht durch äußere Einflüsse unterbrochen wurden.

Mit einer Studie im Jahr 2009 konnten Krupinski und Berbaum zudem nachweisen, dass die Arbeit der Radiologen zur Müdigkeit und Belastung des okulomotorischen Systems führt, was eine Abnahme der röntgendiagnostischen Genauigkeit bedingt [3]. Sechs ausgebildete Radiologen, darunter drei Fach- und drei Assistenzärzte, nahmen an der Untersuchung teil. Die Untersuchung wurde in zwei Teile untergliedert: eine Session am Morgen und eine Session am Abend nach einem Arbeitstag voller Röntgenbefundung von durchschnittlich 5,73 Stunden.

Aufgabe war es innerhalb von 30 Minuten 67 digitale Röntgenaufnahmen in unterschiedlicher Nähe zum Auge (20 bis 183 cm) zu beurteilen. Bei den Aufnahmen handelte es sich um CT- bzw. CR-Aufnahmen von Thorax und dem skelettalen System. Mittels Refraktometer wurde währenddessen die Akkomodationsfähigkeit der Augen mehrmals pro Sekunde aufgezeichnet. Festzustellen war dabei, dass die visuelle Belastung am Nachmittag deutlich größer war. Die Akkomodationsfähigkeit war messbar eingeschränkt ($p \leq 0.0001$), insbesondere aber bei den Fachärzten mit höherem Durchschnittsalter im Vergleich zu den etwas jüngeren Assistenzärzten ($F = 271.47$; $p \leq 0.0001$). Der Unterschied zwischen der Akkomodationsfähigkeit am Morgen und Abend erwies sich bei den Assistenzärzten als größer. Auch bezogen auf nähere Objekte nahm die Akkomodationsfähigkeit deutlich ab ($F = 1188.36$; $p \leq 0.0001$). Gerade auf das nahe Arbeiten am Display, wie es bei Radiologen üblich ist, ließ sich der größte Einfluss feststellen.

Ähnliche Ergebnisse ergaben sich auch bei der Erforschung des Einflusses langer, röntgenologischer Arbeitstage auf die Genauigkeit der Befundung sowie visueller Akkommodation [2]. Insgesamt nahmen 40 Radiologen an der Untersuchung teil. Bei diesen Teilnehmern handelte es sich um je 20 Ärzte, darunter jeweils zehn Fach- und zehn Assistenzärzte. Befundet wurden 60 Fälle, bestehend aus zwei bis vier Röntgenaufnahmen der Knochen des Hand-, des Fußgelenks, der Schulter oder Rippen. Die Hälfte aller Fälle wies Knochenfrakturen in diversen Schwierigkeitsgraden auf. In einer für jeden Untersucher randomisierten Reihenfolge wurden die Aufnahmen sowohl vor als auch nach einem Arbeitstag auf das Vorhandensein von Frakturen beurteilt. Aufgabe der Radiologen war es mittels freiem Scrollen und ohne Zeitdruck Frakturen als Befund festzustellen, diese per Mauscursor zu lokalisieren und die eigene Überzeugung einer richtig-positiven Entscheidung über Adjektive wie *definite*, *probable*, *possible*, *suspicious* sowie einer Skala von 0 bis 100 % in 10 %-Intervallen anzugeben. Neben der diagnostischen Genauigkeit wurden auch die visuelle Akkommodation, die Befundungszeit sowie die visuelle Anstrengung gemessen. Erfasst wurde ebenso die subjektive körperliche, mentale und auch visuelle Müdigkeit mittels *Swedish Occupational Fatigue Inventory* (SOFI) und des *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ). Zu messen war ein signifikanter Abfall der diagnostischen Genauigkeit der Befunde nach einem Arbeitstag ($p = 0.049$). Die Befundungszeit unterschied sich in Abhängigkeit des Ausbildungsgrads der Ärzte: Fachärzte benötigten weniger Zeit als Assistenzärzte. Röntgenbilder ohne Frakturen wurden signifikant länger betrachtet ($p = 0.0001$) als solche mit Auffälligkeiten. Die Untersuchungen der Akkommodation machten deutlich, dass die Akkommodationsfähigkeit der Untersucher nach dem Arbeitstag signifikant nachließ ($p < 0.0001$) und die Augen wesentlich myoper sowie angestrengt sind. Auch das mittels *SOFI* und *SSQ* erfasste subjektive Empfinden der Müdigkeit stieg an. Die Untersuchung von Krupinski im Jahr 2012 bzgl. Veränderungen der röntgendiagnostischen Genauigkeit im Laufe eines Arbeitstages bezogen auf das Erkennen solitärer Lungenrundherde in Thorax-CTs [4] bestätigt diese Ergebnisse. Die diagnostische Genauigkeit der Mediziner nach einem langen Arbeitstag nahm deutlich ab ($p = 0.0246$). Gleichzeitig stiegen das subjektive Empfinden der Müdigkeit sowie Symptome optischer Anstrengung ($p = 0.0098$). 44 Teilnehmer, darunter 22 Fach- sowie 22 Assistenzärzte, stellten sich der Aufgabe 110 Thorax-CTs jeweils vor und nach einem Arbeitstag im Rahmen einer Stunde („*early and late session*“) zu befunden. Zehn der zu beurteilenden Fälle (mit positivem Befund) wurden durch freies Scrollen und ohne Zeitvorgabe beurteilt. Weitere 100 CTs wurden in je 20 Schnitte sequenziert und in einer festgelegten Reihenfolge und limitierter Zeit von 14.18 Sekunden pro CT-Sequenz gezeigt. Dabei galt es zu beurteilen ob ein solitärer Lungenrundherd als Befund festzustellen ist, und wenn ja, eben diesen mittels Mauscursor

zu markieren. Des Weiteren sollten die Teilnehmer der Untersuchung sowohl mithilfe von Adjektiven (*definite, probable, possible, suspicious*) als auch auf einer Skala (*10 bis 100 in 10er Intervallen*) die Überzeugung ihrer Entscheidung vermerken. Daneben kamen auch der *SOFI* und der *SSQ* zum Einsatz.

Burling et al. [6] untersuchten 2006 den Effekt von Müdigkeit und Untersuchererfahrung auf die CT-Befundungszeit von Kolongraphien. Es handelte sich hierbei um eine multizentrische Studie neun europäischer Zentren. Als Untersucher fungierten neben neun mehr und neun weniger erfahrenen Radiologen auch zehn Röntgentechniker. Den letzten beiden genannten Gruppen standen jeweils 50 Fälle als Übungsmöglichkeit zur Verfügung. Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, 40 Kolongraphien mit diversen Pathologien unter vorgegebenen, einheitlichen Bedingungen zu befunden. Das Vorhandensein von Tumor oder Polyp, die Größe und das entsprechende Stadium der Pathologie wurden beurteilt. Für jeden einzelnen Untersucher wurden sowohl die Dauer der Befundung als auch die röntgendiagnostische Genauigkeit protokolliert. Dabei wurde deutlich, dass erfahrene Beobachter im Vergleich mit den anderen zwei Gruppen weniger Zeit benötigten ($p \leq 0.001$) und akurater sind. „Abnormale“ Befunde, Röntgenaufnahmen mit positivem Befund im Sinne einer Tumor-/Polypdiagnose, wurden länger beobachtet als solche ohne Befund ($p \leq 0.001$). Im Laufe der Untersuchung nahm die Befundungszeit pro Fall ab. Es zeigte sich, dass für die letzten fünf Fälle verglichen mit den ersten fünf Fällen nur noch 70 % der Zeit aufgewendet wurde ($p \leq 0.001$).

In der Annahme, dass eine kürzere Befundungszeit mit einem Verlust an Genauigkeit einhergeht, wurde anhand der erzielten Ergebnisse deutlich, dass die Untersucher gegen Ende des Versuchs weniger sorgfältig agierten. Diskutiert wurde hierbei neben dem Konzentrationsverlust auch ein Motivationsverlust oder vertrautes Agieren mit der Software als Ursache für das genannte Ergebnis.

Festgestellt werden konnte ein statistisch signifikanter Abfall der Leistung am Nachmittag ($p = 0.0277$) ebenfalls in einer retrospektiven Studie von Krupinski im Jahr 2010 [5]. Die Radiologen waren hier in ihrer Auswertung weniger akkurat, wodurch ein Anstieg der Fehlerrate verzeichnet werden konnte. Die Befundungszeit am Nachmittag war messbar länger als am Vormittag. Dieser Effekt ließ sich sowohl bei den konventionellen Film-Aufnahmen als auch bei den digitalen Röntgenaufnahmen nachweisen, war bezogen auf letzteres jedoch stärker ausgeprägt. Bei den vier berücksichtigten Studien nahmen je sechs Radiologen an einer Test-Session am Morgen sowie am Abend teil und beurteilten neben verschiedenen Mammographien auf unterschiedlichen Monitoren und Displays auch

konventionelle Film-Röntgenaufnahmen im Vergleich zu digitalen Aufnahmen.

Auch recht aktuell, im Jahr 2017, stellten sich Hanna et al. die Frage nach dem Effekt von Müdigkeit auf die diagnostische Leistung und das Suchmuster via Augenfixation von Radiologen, insbesondere im Zusammenhang mit langen Nachtschichten [71]. Zwölf Radiologen aus Atlanta, darunter fünf Universitätslehrkräfte und sieben Assistenzärzte, beurteilten 20 Röntgenaufnahmen auf Knochenfrakturen. Bei den Aufnahmen handelte es sich um Hand(gelenks)-, Fuß(gelenks)-, Schulter- oder auch Rippenröntgenbilder. Fünf der 20 Bilder wiesen keine Auffälligkeiten auf, während die restlichen 15 subtile bis moderate Frakturen zeigten.

Die Untersuchung wurde in zwei Test-Sessions untergliedert. Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, die Röntgenbilder am Ende eines normalen 9-Stunden-Arbeitstags sowie im Anschluss an eine 9-Stunden-Nachtschicht auszuwerten und die Frage nach dem Vorhandensein einer Fraktur zusammen mit deren Lokalisation und Art der Fraktur zu beantworten. Gleichzeitig sollte die Überzeugung der Richtigkeit ihrer eigenen Entscheidung von „*low*“ über „*medium*“ bis „*high*“ festgehalten werden. Mittels SOFI wurde vor jeder der beiden Sessions die physische sowie mentale Müdigkeit gemessen. Auch die Dauer des Befundens und das Fixieren der Röntgenaufnahmen durch die Augen wurde mittels „*Eye Tracking*“ aufgezeichnet.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass sowohl die physische als auch mentale Müdigkeit nach der Nachtschicht größer ist. Alle fünf Variablen des SOFI stiegen an ($p = 0.01$). Mit steigender Müdigkeit wurde die diagnostische Leistung schwächer ($p = 0.031$), wobei die Hochschullehrkräfte verglichen mit den Assistenzärzten bessere Arbeit leisteten ($p = 0.225$). In „müdem“ Zustand dauerte die Beurteilung pro Röntgenbild statistisch signifikant länger ($p \leq 0.0001$), was einem Anstieg von 45 % gegenüber dem „nicht müden“ Zustand entspricht. Auch die Anzahl der anvisierten, fixierten Punkte pro Aufnahme stieg mit zunehmender Müdigkeit um 60 % an ($p \leq 0.0001$). Auffallend war des Weiteren, dass die Frakturen am Ende der Nachtschicht bis zu 34 % später wahrgenommen und erstmalig fixiert wurden ($p \leq 0.0001$).

Die drei letztgenannten Effekte erwiesen sich bei den Assistenzärzten als ausgeprägter [p (*totale Befundungszeit*) = 0.018, p (*Anzahl fixierter Punkte*) = 0.009, p (*erstmaliges Fixieren der Fraktur*) = 0.0069].

Es lässt sich aus den oben dargestellten Studien festhalten, dass Veränderungen der röntgendiagnostischen Genauigkeit in Abhängigkeit von der Tageszeit oder der vorausgegangenen Arbeitsdauer bestehen. Die Anzahl der Röntgenbilder, äußere Einflüsse, der

Ausbildungsgrad etc. beeinflussen die Leistungsfähigkeit der Mediziner. Die bereits aufgeführten Studien machen den Anstieg der visuellen Belastung und der Ermüdung bei gleichzeitigem Abfall der röntgendiagnostischen Genauigkeit deutlich. Bezogen auf zahnärztliche Röntgenaufnahmen gibt es bis dato nach Kenntnis der Autorin keine Veröffentlichungen. Ziel dieser Arbeit ist es dementsprechend die Auswirkungen der Ermüdung bei der Befundung auf die diagnostische Genauigkeit zahnärztlicher Röntgenaufnahmen zu untersuchen und mit den Ergebnissen bereits existenter Studien in der humanmedizinischen Radiologie zu vergleichen.

3 Material und Methoden

Das folgende Kapitel führt die in der vorliegenden Studie angewandten Materialien sowie Methoden auf und schildert Studienverlauf und -verfahren im Detail.

3.1 Studienteilnehmer

Die Studienteilnehmer setzten sich aus 21 approbierten Zahnärzten/-innen im Alter von 25 bis 52 Jahren, darunter 12 männliche und 9 weibliche Teilnehmer, zusammen. Es handelte sich um 17 Assistenzärzte, drei Fachärzte sowie einen Oberarzt. Die Erfahrung bei der Befundung von Röntgenbildern lag bei drei bis 27 Jahren, was einer durchschnittlichen Röntgenerfahrung von 5,9 Jahren entspricht. Als Röntgenerfahrung wurde der Zeitraum ab dem jeweils 1. klinischen Semester Zahnmedizin definiert, ab welchem die strukturierte Befundung von Röntgenbildern gelehrt und angewendet wird. Zwölf der 21 Teilnehmer benötigen eine Sehhilfe. Anhang 4 und 5 zeigen die erfassten persönlichen Daten der Studienteilnehmer.

Aufgrund der Tatsache, dass die größte Varianz in wissenschaftlichen Studien zumeist durch die Untersucher selbst verursacht wird, sollte eine möglichst große Anzahl an Untersuchern/ Studienteilnehmern verwendet werden um in der Mitte der Gaußverteilung zu landen [72, 73]. Dementsprechend wurde in der vorliegenden Arbeit die Anzahl von 21 Teilnehmern gewählt.

3.2 Röntgenbilder

3.2.1 Bilddaten der Studie

Bei den für die Studie verwendeten Röntgenbildern handelte es sich um intraorale Aufnahmen mit dentalen Tubusgeräten. Insgesamt kamen zwischen 191 und 587 Bilddaten aus dem Jahr 2002 zum Einsatz (s. Anhang 6), welche sowohl Aufnahmen mit apikalen Aufhellungen als auch Aufnahmen ohne apikale Aufhellungen unterschiedlichen Ausmaßes zeigten.

Die verwendeten Röntgenbilder stammen aus einer Bildserie aus dem Jahr 2002 und wurden ursprünglich zum Zwecke einer anderweitigen Untersuchung von Dr. med. dent. Siegmund Buff angefertigt. Für diese Untersuchung wurden verschiedene Knochenblöcke mit Zähnen in zwei unterschiedlichen Aufnahmemodalitäten, *Sidexis* und *Gendex*, geröntgt. Anschließend wurde pro Knochenblock je ein Zahn extrahiert. Mit Hilfe von unterschiedlich großen zahnärztlichen Bohrern wurden unterschiedlich große und auffällige apikale Aufhellungen erzeugt. Nach Replatzierung des Zahnes wurden die Knochenblöcke mit den nun

unterschiedlichen apikalen Aufhellungen erneut in beiden Aufnahmemodalitäten geröntgt. Insgesamt entstand dadurch eine Röntgenbildserie von neun Aufnahmen (A-I) mit einer verschiedenen Anzahl von Bohrungen und entsprechenden apikalen Aufhellungen. Pro Aufnahmemodalität wurden 48 verschiedene Röntgenbilder erzeugt, woraus schlussendlich eine Anzahl von 96 unterschiedlichen Röntgenbildern entstand. 36 der 96 Röntgenbilder zeigten keinerlei apikale Aufhellung, während die restlichen 60 Intraoralaufnahmen apikale Aufhellungen in unterschiedlicher Ausprägung aufwiesen. Unter einer apikalen Aufhellung ist röntgenologisch ein meist runder bis ovaler dunkler Bereich in der Umgebung der Wurzelspitze zu verstehen. Auch ein insbesondere apikal verbreiteter Desmodontalspalt lässt sich als röntgenologische Aufhellung feststellen. Apikale Aufhellungen deuten diagnostisch auf eine *Parodontitis apicalis* hin und entstehen durch entzündliche Veränderungen im Knochen, Entmineralisierung und seröse Imbibition [29]. Aufgrund der guten Zugriffsmöglichkeit sowie der Tatsache, dass für die in den vorliegenden Röntgenaufnahmen erkennbaren apikalen Aufhellungen jeweils der Istzustand (Bohrdefekt Ja/ Nein) exakt bekannt war, wurden diese Datensätze als Grundlage für die vorliegende Studie ausgewählt. Die 96 Intraoralaufnahmen wurden in einer für jeden Teilnehmer unterschiedlich randomisierten Reihenfolge für die Untersuchung verwendet. Nach Erreichen des letzten Bildes wurde eine neu randomisierte Reihenfolge der 96 Röntgenbilder angezeigt. Durch das Wiederholen dieses Prozesses konnte eine unendliche Bildanzahl zur Beurteilung erreicht werden, um eine ausreichend große Auswahl an Röntgenbildern für eine Zeitdauer über 40 Minuten zu gewährleisten. Der auf die apikale Aufhellung zu beurteilende Zahn eines jeden Röntgenbildes wurde mit Hilfe eines weißen Punktes und des Bildbearbeitungsprogramms *Paint 3D* markiert. Abbildung 7 und 8 zeigen exemplarisch vier in der vorliegenden Studie verwendete und von den Studienteilnehmern befundete Röntgenbilder:

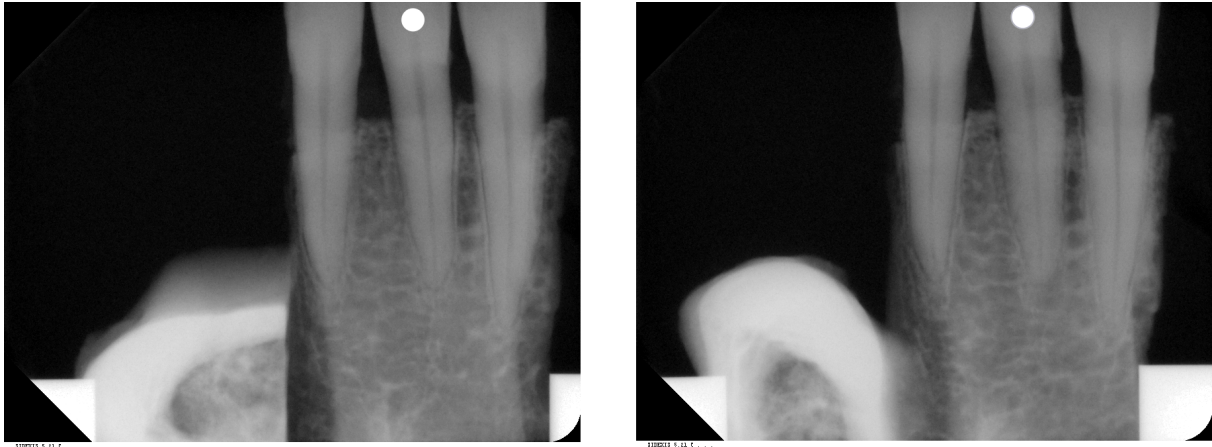


Abb. 7: Röntgenbild nach Replatzierung **ohne** (links) und **mit** (rechts) Bohrung und apikaler Aufhellung (*Sidexis*)

Die Sidexis-Röntgenbilder wiesen eine Originalgröße von 872 x 676 Pixel (1.28) auf, während die Röntgenbilder der Gendex-Reihe 560 x 416 Pixel maßen. Die Originalfarbtiefe beider Aufnahmemodalitäten entsprach 24 BitsPerPixel.

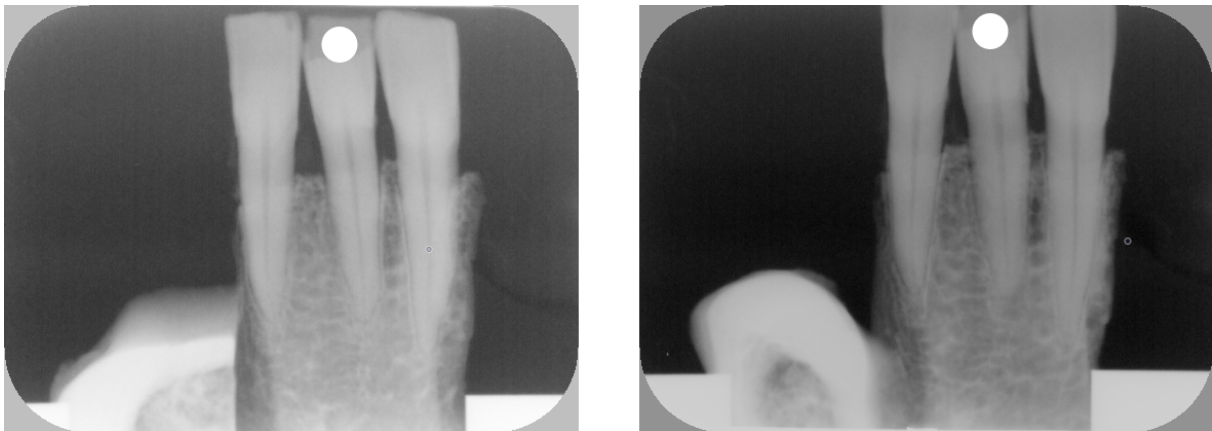


Abb. 8: Röntgenbild nach Replatzierung **ohne** (links) und **mit** (rechts) Bohrung und apikaler Aufhellung (*Gendex*)

3.2.2 Darstellung der Bilddaten der Studie

Zur Darstellung der Röntgenbilder wurde ein Notebook von ASUSTek Computer Inc. mit einem Intel (R) Core (TM) i5-8250U Prozessor verwendet. Die entsprechenden Bildschirm- und Grafikkarteninformationen sind in Tabelle 9 und 10 aufgelistet.

Tab. 9: *Anzeigeinformation Bildschirm*

Desktopauflösung	1920 x 1080
Aktive Signalauflösung	1920 x 1080
Aktualisierungsrate [Hz]	59 Hz
Bittiefe	8-Bit
Farbformat	RGB
Farbraum	SDR (Standard Dynamic Range)

Tab. 10: *Grafikkarteninformationen*

Grafikkarte	Intel (R) UHD Graphics 620
Chiptyp	Intel (R) UHD Graphics Family
DAC-Typ	Internal
Zeichenfolge	Intel (R) UHD Graphics Family
Farbformat	RGB
BIOS-Informationen	Intel Video BIOS

3.2.3 Software „ImageViewerStopWatch“

Mit Hilfe der eigens für die vorliegende Studie von Tobias Viertmann in Kooperation mit der Autorin entwickelten Software **ImageViewerStopWatch** wurden dem Untersucher die Röntgenbilder in randomisierter Reihenfolge präsentiert. Nach dem Eintragen des Namens der Untersuchung und der Auswahl des Bildordners der entsprechenden Röntgenbilder startete die Software per Mausklick (s. Anhang 7).

Linksständig wurden die Intraoralaufnahmen in randomisierter Reihenfolge angezeigt. Auf der rechten Bildschirmseite standen dem Untersucher die fünf unterschiedlich definierten Bewertungsmöglichkeiten zur Beurteilung des Vorhandenseins einer apikalen Aufhellung als Auswahl zur Verfügung. Nach Auswahl einer der Bewertungsmöglichkeiten war eine Korrektur möglich. Erst durch das Klicken auf den *Weiter*-Button wurde das nächste Röntgenbild angezeigt. Vorausgegangene, bereits befundete Bilder konnten nicht erneut angezeigt werden. Das Überspringen von Röntgenbildern war nicht möglich. Die Dauer der Untersuchung wurde in Minuten erfasst und angezeigt.

Nach einer Zeitdauer von 40 Minuten wurde die Untersuchung unabhängig von der Anzahl bereits befundeter Röntgenbilder beendet.

Erfasst wurde für jeden Untersucher die Anzahl der beurteilten Röntgenbilder, die randomisierte Reihenfolge der Röntgenbilder, deren Bewertung von 1 bis 5 (s. Kapitel 3.3.2), die für jedes einzelne Röntgenbild benötigte Zeit sowie die Gesamtzeit.

In Anhang 7 und 8 ist der Aufbau der verwendeten Software bildlich dargestellt. Die verwendete Software wurde auf Basis der Programmiersprache **C#** entwickelt. Zur Erstellung

der graphischen Benutzeroberfläche bzw. Benutzerschnittstelle kam **Windows Forms** zum Einsatz.

3.3 Studienablauf im Detail

3.3.1 Vorbereitung der Studiendurchführung

An jedem Testtag vor der Durchführung der Untersuchung wurde die Qualität des Monitors mit Hilfe des Testbildes „*AAPM TG18-QC-Testpattern, American Association of Physicists in Medicine (AAPM), Alexandria, VA, USA*“ kontrolliert. Dazu wurde auf einem Kontrollbogen jeweils auf jedem der drei Felder markiert, welcher der letzte, gerade noch erkennbare Buchstabe des dort erkennbaren Ausdrucks „Quality Control“ auf dem angezeigten Testbild war. Über den gesamten Zeitverlauf der Studie war in den Worten „Quality Control“ im dunklen Feld immer mindestens der Buchstabe Y erkennbar, im hellen Feld das 1. O des Wortes „Control“. Der im Rahmen der Studie vollständig ausgefüllte Kontrollbogen sowie das verwendete Testbild befinden sich im Anhang (s. Anhang 9 und 10).

Die Studie wurde in einem ruhigen, abgedunkelten Raum mit indirekter Raumbeleuchtung durchgeführt. Der Untersucher hatte mehrere Minuten Zeit sich an die gegebenen Lichtverhältnisse anzupassen. Im Anschluss daran wurde er sowohl mit der Hilfe eines Informationsblattes (s. Anhang 11) als auch mündlich über den Ablauf der Untersuchung instruiert.

Dem Untersucher wurde ein Beispielbild der Software ohne Anzeige eines Röntgenbildes vorgelegt. Daneben wurden auch die Bewertungsmöglichkeiten und deren Definition detailliert erklärt und Rückfragen ermöglicht sowie Unklarheiten beseitigt. Der erstellte Fragebogen zur Evaluation der Müdigkeit (s. Anhang 12) wurde dem Untersucher ausgehändigt und ebenfalls erläutert.

3.3.2 Durchführung der Untersuchung

- Der Untersucher wurde gebeten, den erstellten Fragebogen zur Evaluation der subjektiven Müdigkeit **vor** der Befundung der Röntgenbilder auszufüllen. Zum Einsatz kam die **Swedish Occupational Fatigue Inventory (SOFI)**: 25 Adjektive, welche je nach persönlicher Ausprägung auf einer Skala von 0 bis 10 zu bewerten waren.

Daneben sollte die subjektive Müdigkeit auch mittels der **visuellen Analog-Skala (VAS)** sowie der **numerischen Rating-Skala (NRS)** eingeschätzt werden.

- Nach der Bearbeitung des Fragebogens im Bezug auf die subjektive Müdigkeit wurde die Software **ImageViewerStopWatch** gestartet. In einem zeitlichen Rahmen von 40 Minuten befundete der Untersuchungsteilnehmer die vorgelegten Röntgenbilder in randomisierter Reihenfolge. Dabei galt es, jedes der Röntgenbilder auf einer Skala von 1 bis 5 auf das Vorhandensein einer apikalen Aufhellung zu bewerten. Lediglich der mit einem weißen Punkt deutlich markierte Zahn eines jeden Röntgenbildes sollte beurteilt werden.

Die 5-stufige Skala wurde wie folgt definiert:

- 1 = sicher **nicht** vorhandene apikale Aufhellung
- 2 = wahrscheinlich **nicht** vorhandene apikale Aufhellung
- 3 = unsicher, ob vorhandene oder **nicht** vorhandene apikale Aufhellung
- 4 = wahrscheinlich vorhandene apikale Aufhellung
- 5 = sicher vorhandene apikale Aufhellung

Nach jeder Entscheidung war eine Korrektur möglich. Erst durch das Klicken auf den *Weiter*-Button wurde das nächste Röntgenbild angezeigt. Die Anzeige eines vorausgegangen, bereits befundeten Bildes war nicht möglich. Ebenso wenig war das Überspringen von Röntgenbildern möglich.

Nach 40 Minuten wurde die Untersuchung unabhängig von der Anzahl bereits befundeter Röntgenbilder beendet.

Erfasst wurde für jeden Untersucher die randomisierte Reihenfolge der Röntgenbilder, deren Bewertung von 1 bis 5, die für jedes einzelne Röntgenbild benötigte Zeit sowie die Gesamtzeit.

- Zur Evaluation der Müdigkeit **nach** der 40-minütigen Befundung der Röntgenbilder wurde die subjektive Müdigkeit erneut anhand der **Swedish Occupational Fatigue Inventory** (SOFI), der **visuellen Analog-Skala** (VAS) sowie der **numerischen Rating-Skala** (NRS) erfragt.
Die erstellten Fragebögen, bezogen auf die subjektive Müdigkeit **vor** und **nach** der Session, waren identisch.
- Im Anschluss an die Befundung der Röntgenbilder und das Ausfüllen der Fragebögen zum Thema Müdigkeit wurde der Teilnehmer gebeten, einige persönliche Informationen anzugeben. Neben dem Alter und Geschlecht wurde die bisherige Berufserfahrung, der derzeitige Berufsstand sowie die Erfahrung bei dem Befunden von Röntgenbildern erfragt. Auch das Tragen von Sehhilfen wurde erfasst. Der

Informationsbogen befindet sich im Anhang (Anhang 13).

Die Durchführung der Untersuchung wurde nach einem Zeitraum von sechs bis 19 Wochen mit fünf der 21 Teilnehmer wiederholt. Motiviert wurde der zweite Durchgang ursprünglich, um die Intra-Observer-Reproduzierbarkeit zu evaluieren. Es erwies sich jedoch aufgrund des spezifischen Designs (der Betrachtung jeweils unterschiedlicher, randomisierter Reihenfolgen an Röntgenaufnahmen in den beiden Durchgängen) anschließend als schwierig, dies statistisch sauber zu definieren. Daher wurde in der Arbeit auf die explizite Untersuchung der Intra-Observer-Reproduzierbarkeit verzichtet. Die ausgefüllten Informations- und Fragebögen befinden sich im Anhang (s. Anhang 23).

3.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mittels **RStudio** Version 1.1.456 [74]. Die verwendeten statistischen Verfahren sind im Folgenden aufgelistet.

3.4.1 Receiver-Operating-Characteristics-Verfahren

Die diagnostische Genauigkeit der einzelnen Untersucher wurde mithilfe des Receiver-Operating-Characteristics-Verfahrens (ROC) analysiert und ausgewertet. Das ROC-Verfahren bietet sich zum Vergleichen und Optimieren der Aussagekraft eines Untersuchungsverfahrens an und hat sich in der diagnostischen Medizin etabliert. Es ermöglicht einen Überblick über die Qualität des verwendeten Tests.

Grundsätzlich wird bei diesem diagnostischen Testverfahren zwischen zwei möglichen Wahrheiten unterschieden. Im Falle der vorliegenden Untersuchung handelt es sich bei den binären Wahrheiten um die folgenden:

- Es ist **keine** apikale Aufhellung vorhanden.
- Es ist eine apikale Aufhellung vorhanden.

Die Ergebnisse der Beurteilung der Röntgenbilder können ebenfalls zweifach unterschieden werden:

- Die getroffene Entscheidung ist **richtig**.
- Die getroffene Entscheidung ist **falsch**.

Hieraus ergeben sich die beiden formell wichtigsten Kriterien zur Beurteilung der Güte und Aussagekraft des diagnostischen Verfahrens: Sensitivität und Spezifität. Die beiden Charakteristika variieren zwischen 0 und 1 [75].

Sensitivität

Die Sensitivität (auch *korrekt-positive Rate, true positive rate*) entspricht der Anzahl der richtig positiven (RP) Werte und bezieht sich auf die „Erkrankten“. In der vorliegenden Studie handelt es sich also um die Anzahl der richtig erkannten, vorhandenen apikalen Aufhellungen. Je höher die Sensitivität, desto eher wurde die Krankheit als solche erkannt und desto besser ist dementsprechend das diagnostische Verfahren. Die Sensitivität lässt sich wie folgt berechnen [76]:

$$\text{Sensitivität} = \frac{RP}{RP + FN}$$

Dabei gilt:

RP = richtig positiv, RN = richtig negativ, FP = falsch positiv, FN = falsch negativ

Spezifität

Die Spezifität (auch *korrekt-negative Rate, false positive rate*) entspricht der Anzahl der richtig negativen (RN) Werte und bezieht sich auf die „Nicht-Erkrankten“. In der vorliegenden Untersuchung handelt es sich also um die Anzahl der richtig erkannten, **nicht** vorhandenen apikalen Aufhellungen. Je höher die Spezifität, desto eher wurde der gesunde Befund als solcher erkannt und desto besser ist dementsprechend das diagnostische Verfahren. Die Spezifität lässt sich wie folgt berechnen [76]:

$$\text{Spezifität} = \frac{RN}{RN + FP}$$

Die ROC-Analyse stellt den Zusammenhang zwischen Spezifität und Sensitivität graphisch dar. Sensitivität und Spezifität werden in einem Diagramm gegeneinander aufgetragen. Dabei wird die Sensitivität auf der Ordinate abgetragen, die Spezifität (auch als 1-Spezifität) auf der Abszisse. Die schlussendlich miteinander verbundenen Punkte bilden die sogenannte ROC-Kurve und lassen sich wie folgt interpretieren:

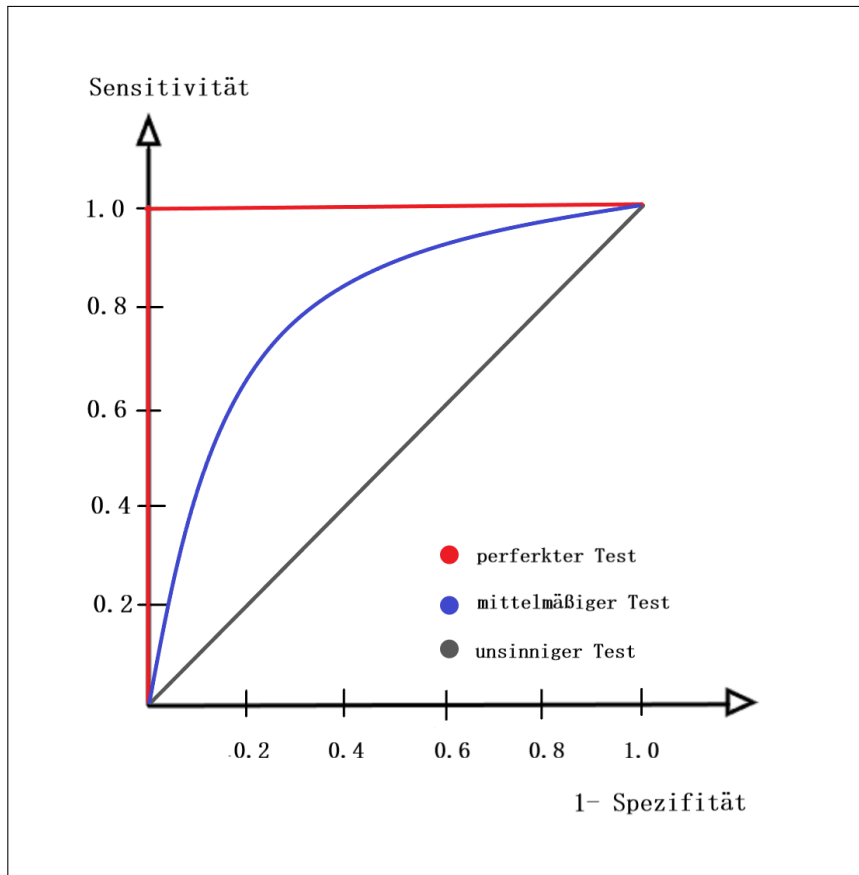


Abb. 9: Interpretation der ROC-Kurve

Bei einer Sensitivität und Spezifität von 1 liegt ein ideales diagnostisches Verfahren vor. Je weiter sich die Werte davon entfernen und sich dadurch die ROC-Kurve von der linken oberen Ecke des Diagramms nach rechts verschiebt, desto weniger aussagekräftig ist der verwendete Test.

Des Weiteren lässt sich mit der *area under the curve* (AUC), als Fläche unterhalb der resultierenden Kurve, ein allgemeines Maß der Güte des diagnostischen Verfahrens ermitteln. Dabei besitzt der AUC einen Wert von 0,5 wenn es sich um einen reinen Zufallsmechanismus handelt. Bei einem perfekten diagnostischen Verfahren entspricht der AUC einem Wert von 1,0 [75].

Im Falle der vorliegenden Untersuchung wurde eine 5-stufige Konfidenzskala verwendet. Die Skala wurde intern wie folgt eingeteilt:

Tab. 11: Einteilung der Konfidenzskala

Skala	Diagnose
1	keine apikale Aufhellung
2	= „nicht erkrankt“
3	
4	apikale Aufhellung
5	= „erkrankt“

Dieser Einteilung entsprechend wurden für jeden Untersucher die *richtig positiven (RN)*, *falsch positiven (FP)*, *richtig negativen (RN)*, *falsch negativen (FN)* Werte sowie *Sensitivität* und *Spezifität* errechnet. Der 40-minütige Zeitraum jeder Untersuchung wurde in acht Intervalle zu je fünf Minuten unterteilt (s. Tabelle 12). Pro Untersucher wurde für jedes einzelne Intervall als auch für den gesamten Zeitraum der AUC-Wert errechnet. Auch die Sensitivität und die Spezifität wurden für jeden der Untersucher erfasst. Die AUC-Werte sowie ROC-Kurven wurden des Weiteren für die gesamte Anzahl der Untersucher pro Intervall ermittelt.

Tab. 12: Einteilung der Intervalle

Intervallnr.	Zeitraum [min.]
1	00:00 bis 05:00
2	05:01 bis 10:00
3	10:01 bis 15:00
4	15:01 bis 20:00
5	20:01 bis 25:00
6	25:01 bis 30:00
7	30:01 bis 35:00
8	35:01 bis 40:00

3.4.2 t-Test

Die erfassten Daten der **subjektiven Müdigkeit** wurden mithilfe des t-Tests ausgewertet um eine Aussage darüber zu treffen, ob und inwiefern sich eine Veränderung der Müdigkeit im Rahmen der Untersuchung feststellen lässt und ob das Ergebnis statistisch signifikant ist oder auf Zufall beruht.

Der von *William S. Gosset* publizierte t-Test zählt zu den parametrischen Hypothesentests in der Statistik und ermöglicht den Vergleich von Mittelwerten stetiger, normalverteilter Variablen. Man unterscheidet den Einstichproben- von dem Zweistichproben-t-Test. Letztgenannter kann wiederum in den gepaarten (mit verbundenen Stichproben) oder

ungepaarten (mit nicht verbundenen Stichproben) t-Test unterteilt werden. In der vorliegen Auswertung kam der gepaarte t-Test für Wertepaare zum Einsatz, welcher prüft, ob der Mittelwert der errechneten Differenzen der Müdigkeit **vor** und **nach** der Untersuchung gleich *null* ist oder nicht, d.h. die Nullhypothese bestätigt wird oder nicht [75, 77, 78]. Es wurden der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen, das 95-prozentige Konfidenzintervall sowie der *p*-Wert zur Beurteilung der Signifikanz errechnet. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha=0,05$ festgelegt.

3.4.3 Wilcoxon-Test

Eine Alternative zum oben genannten t-Test stellt der, auch unter dem Begriff Mann-Whitney-Test (nach *Henry B. Mann, Donald R. Whitney*) bekannte, Wilcoxon-Test (nach *Frank Wilcoxon*) dar. Auch er zählt zu den nichtparametrischen Hypothesentests, welcher im Gegensatz zum t-Test keine bestimmte Verteilungsform voraussetzt und sich ebenso wie der oben genannte t-Test in die entsprechenden Unterkategorien einteilen lässt [75, 77]. In der vorliegenden Arbeit fand der Wilcoxon-Test für zwei verbundene Stichproben zur Auswertung der ordinal-skalierten Daten Anwendung.

3.4.4 Korrelationsanalyse: lineare und logistische Regression

Um zwei Merkmale gleichzeitig zu betrachten und deren Zusammenhang zu analysieren bedient man sich der „bi- bzw. multivariaten Betrachtung“. Mithilfe der Regression lässt sich die Frage beantworten, inwiefern das *Merkmal B* durch das *Merkmal A* beeinflusst wird [75]. In dem vorliegenden Fall entspricht *Merkmal B* (= Zielgröße) der Müdigkeit bzw. der diagnostischen Genauigkeit, *Merkmal A* (= Einflussgröße) dem Alter, der Röntgenerfahrung bzw. dem Vorhandensein von Sehhilfen. Zum Einsatz kam sowohl das lineare als auch logistische Regressionsmodell, in Abhängigkeit der Skalierung der Zielgröße.

Als Korrelation ist der Zusammenhang zwischen (insbesondere) quantitativen Merkmalen definiert. Mittels Korrelationsanalyse wird dieser ermittelt. Regressionsgeraden auf Basis der Kovarianz sind ein Teil der Regressionsmodelle und wurden auch in der vorliegenden Arbeit angewandt. Ebenso kamen der Spearman-Korrelationskoeffizient r_S (auch Rangkorrelation genannt) sowie Pearson-Korrelationskoeffizient zum Einsatz. Sie erstrecken sich beide zwischen -1 und +1, wobei das negative Vorzeichen einen gegensinnigen, das positive Vorzeichen einen gleichsinnigen und $r_S = 0$ einen fehlenden Zusammenhang deklariert [77]. *Jacob Cohen* teilt die Werte der Korrelationskoeffizienten r_S wie folgt ein ([79]):

- $r_S = .10 \rightarrow$ **schwacher** Zusammenhang
- $r_S = .30 \rightarrow$ **moderater** Zusammenhang

- $r_S = .50 \rightarrow$ **starker** Zusammenhang

4 Ergebnisse

Die folgenden Abschnitte beinhalten die wissenschaftlichen Ergebnisse der vorliegenden Studie. Die Resultate sind sowohl graphisch als auch tabellarisch aufgeführt.

4.1 Veränderung der diagnostischen Genauigkeit

Wie in Kapitel 3.4.1 beschrieben, wurden die AUC-Werte für jeden Untersucher für jedes der acht Intervalle sowohl für Durchgang 1 als auch für Durchgang 2 ermittelt. Die in Durchgang 1 erhobenen AUC-Werte lagen im Bereich zwischen 0,453 und 0,985, die im 2. Durchgang erhobenen Werte zwischen 0,582 und 0,897. Insgesamt lag der Durchschnitt des AUC-Wertes im 1. Durchgang bei $0,768 \pm 0,091$, der Mittelwert der AUC-Werte im 2. Durchgang bei $0,775 \pm 0,075$. Nach Zusammenfassung der Werte aller Untersucher in Abhängigkeit der acht Intervalle, wurden die Mittelwerte sowie deren Standardabweichungen für jedes der Intervalle berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 aufgelistet.

Die erfassten Mittelwerte der einzelnen Intervalle in Durchgang 1 lagen zwischen 0,748 und 0,794 (s. Tabelle 13). Ihren Höchstwert verzeichnete die diagnostische Genauigkeit in Intervall 5. Im Vergleich zum Anfangswert in Intervall 1, wuchs die diagnostische Genauigkeit damit insgesamt um 5 % bevor sie in den letzten 15 Minuten der Untersuchung AUC-Werte ähnlich der Anfangswerte aufwies. Die niedrigste diagnostische Genauigkeit wurde innerhalb des 1. Durchgangs in Intervall 7 verzeichnet. Die Ergebnisse in Durchgang 1 ließen auf einen sehr schwachen positiven Zusammenhang zwischen der diagnostischen Genauigkeit und der Zeit schließen ($r_s = +0,016$). Mit Zunahme der Zeit stieg die diagnostische Genauigkeit in Durchgang 1 demnach geringfügig an. Die Werte wiesen jedoch keinerlei statistische Signifikanz auf ($p = 0,839$).

Die arithmetischen Mittelwerte der Intervalle in Durchgang 2 erstrecken sich zwischen 0,750 und 0,791 (s. Tabelle 13) und decken sich damit annähernd mit dem Bereich der Mittelwerte des 1. Durchgangs. Der durchschnittliche AUC-Wert des ersten Intervalls lag bei $0,791 \pm 0,05$. Die diagnostische Genauigkeit erreichte damit in Intervall 1 ihren Höhepunkt. In den letzten 5 Minuten der Untersuchung erreichte die diagnostische Genauigkeit in Durchgang 2 ihr Minimum. Insgesamt konnte eine Abnahme der diagnostischen Genauigkeit bei Vergleich des letzten und ersten Intervalls um 5,2 % verzeichnet werden. Der Korrelationskoeffizient $r_s = -0,067$ in Durchgang 2 legt einen negativen Zusammenhang zwischen den AUC-Werten und der Zeit nahe. Bei fehlender statistischer Signifikanz ($p = 0,681$) nahm die diagnostische Genauigkeit im Laufe der Zeit ab.

Tab. 13: AUC-Werte pro Intervall: Arithmetischer Mittelwert

Intervall	arithmetischer Mittelwert der AUC-Werte \bar{x}		Veränderung im Vergleich zum vorherigen Intervall [%]	
	<i>Durchgang 1</i>	<i>Durchgang 2</i>	<i>Durchgang 1</i>	<i>Durchgang 2</i>
1	0,756 ± 0,078	0,791 ± 0,050		
2	0,756 ± 0,091	0,776 ± 0,073	↑ ↓ 0	↓ 1,9
3	0,778 ± 0,083	0,785 ± 0,060	↑ 2,9	↓ 1,2
4	0,785 ± 0,094	0,781 ± 0,087	↑ 0,9	↓ 0,5
5	0,794 ± 0,078	0,767 ± 0,060	↑ 1,1	↓ 1,8
6	0,768 ± 0,085	0,772 ± 0,100	↓ 3,4	↑ 0,7
7	0,748 ± 0,128	0,776 ± 0,100	↓ 2,7	↑ 0,5
8	0,760 ± 0,084	0,750 ± 0,104	↑ 1,6	↓ 3,5

Die Abbildungen 10 und 11 stellen die Veränderung der diagnostischen Genauigkeit in Abhängigkeit der acht Intervalle graphisch dar. Die gewählte Darstellung der Boxplotdiagramme entspricht den üblichen angewandten Kenngrößen. Auf den ersten Blick lässt sich die Box bzw. der Kasten von den nach oben und unten ragenden Linien (den sogenannten „Whiskers“) unterscheiden. Man differenziert zwischen vier Quartilen. Die in verschiedenen Blautönen eingefärbten Boxen beinhalten das 2. und 3. Quartil und spannen dementsprechend den Bereich von 25 bis 75 % der Werte auf. Der Querstrich innerhalb der Box markiert den Medianwert (50 %-Quartil). Unterhalb der Box werden die 25 % der niedrigsten Werte durch den unteren Whisker (1. Quartil) bis zu ihrem Minimum dargestellt. Der obere Whisker zeigt das 75 bis 100 %-Quartil (4. Quartil) bis zum Maximum der ermittelten Werte auf.

Die aufgeführten Boxplotdiagramme lassen erkennen, dass die diagnostische Genauigkeit im Rahmen der 40-minütigen Untersuchung sowohl im 1. als auch 2. Durchgang nur geringfügig schwankt.

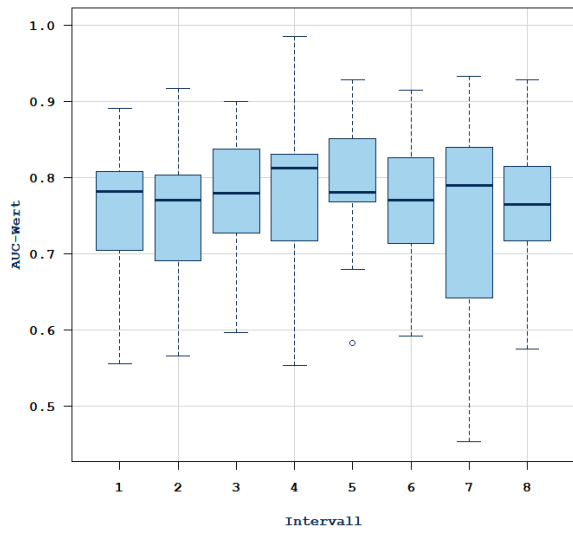


Abb. 10: AUC-Werte pro Intervall
Durchgang 1

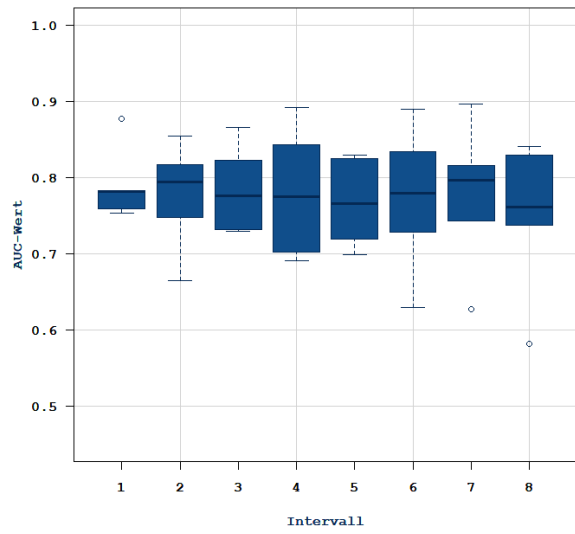


Abb. 11: AUC-Werte pro Intervall
Durchgang 2

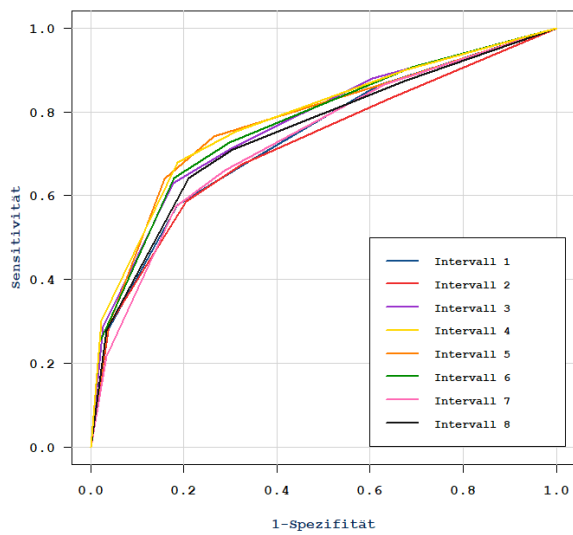


Abb. 12: ROC-Kurve Intervall 1 bis 8
Durchgang 1

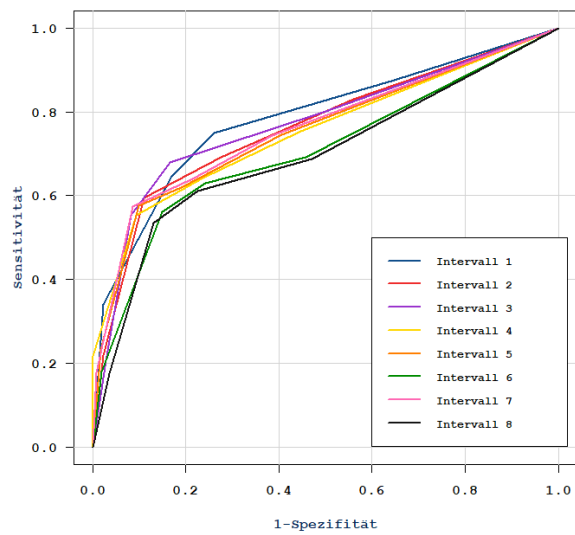


Abb. 13: ROC-Kurve Intervall 1 bis 8
Durchgang 2

Die im Rahmen des ROC-Verfahrens erstellten ROC-Kurven sind in Abbildung 12 sowie 13 sowohl für den ersten als auch zweiten Durchgang dargestellt. Sie wurden für jedes der insgesamt 16 Intervalle ermittelt. Abbildung 12 zeigt die ermittelten ROC-Kurven der einzelnen acht Intervalle im ersten Durchgang, wobei die Sensitivität gegen 1-Spezifität aufgetragen wurde. Es ist ersichtlich, dass alle dargestellten ROC-Kurven wenig voneinander abweichen und die diagnostische Genauigkeit im Rahmen der 40-minütigen Untersuchung dementsprechend nur geringfügige Veränderungen aufweist. Die dargestellten Kurven bestätigen die genannten Ergebnisse der diagnostischen Genauigkeit.

Die erfassten Werte der Sensitivität sowie Spezifität sind in Anhang 14 für jeden der 21 Untersucher aufgelistet. In Durchgang 1 erstreckte sich die Sensitivität zwischen 0,35 und 0,83, während die Werte der Spezifität zwischen 0,59 und 0,98 schwankten. Der arithmetische Mittelwert der korrekt-positiv Rate lag bei $0,63 \pm 0,11$, der der korrekt-negativ Rate bei $0,80 \pm 0,11$.

In Durchgang 2 nahm die Sensitivität Werte zwischen 0,4 und 0,77 an, die der Spezifität erstreckte sich zwischen 0,81 und 0,94. Der arithmetische Mittelwert der korrekt-positiv Rate im zweiten Durchgang lag bei $0,59 \pm 0,11$, der der korrekt-negativ Rate bei $0,88 \pm 0,05$. Im Vergleich zu Durchgang 1 nahm die Sensitivität im Mittel um 6,8 % ab. Die mittlere Spezifität stieg um 7,3 %.

Innerhalb des 1. Durchgangs wurden im Rahmen der 40-minütigen Untersuchung durchschnittlich 347,5 Bilddaten betrachtet. In Durchgang 2 beurteilten die Studienteilnehmer im Mittel 468 Röntgenbilder. Es ließ sich in beiden Durchgängen erkennen, dass die Anzahl der pro Intervall beurteilten Bilddaten im Laufe der 40 Minuten zunahm ($r_{S,D1} = +1$, $r_{S,D2} = +0,93$). In Intervall 8 des 1. Durchgangs beurteilten die Studienteilnehmer 65,9 % mehr Röntgenbilder als innerhalb der ersten Intervalls der Untersuchung. In Durchgang 2 wurden, verglichen mit Intervall 1, innerhalb des letzten Intervalls 54,7 % mehr Röntgenbilder befundet. Während die Studienteilnehmer in Intervall 1 des ersten Durchgangs durchschnittlich 8,9 s pro Bildbeurteilung verwendeten, befundeten sie in Intervall 8 ein Röntgenbild innerhalb von 5,3 s. In Intervall 8 benötigten die Teilnehmer lediglich 60 % der in Intervall 1 benötigten Zeit pro Bildbeurteilung.

Auch in Durchgang 2 beurteilten die Untersucher die Bilddaten in Intervall 8 schneller. Während in Intervall 1 ein Röntgenbild innerhalb von 6,5 s befundet wurde, beurteilten die Studienteilnehmer die Bilddaten in Intervall 8 in 65 % der in Intervall 1 benötigten Zeit (4,2 s/Bild). Der genannte Zusammenhang erwies sich als statistisch signifikant ($p_{\text{Spearman},D1 + D2} < 0,001$, $r_{S, D1} = +1$, $r_{S, D2} = +0,982$).

Abbildung 14 stellt den Zusammenhang graphisch dar, während Tabelle 14 die durch-

schnittliche Anzahl der befundeten Röntgenbilder innerhalb der einzelnen acht Intervalle sowohl für den 1. als auch 2. Durchgang beinhaltet.

Tab. 14: *Zusammenhang Bilddaten und Zeit*

Intervallnr.	Durchschnittliche Anzahl der Bilddaten pro Intervall		Durchschnittliche Befundungszeit pro Bild [s]	
	<i>Durchgang 1</i>	<i>Durchgang 2</i>	<i>Durchgang 1</i>	<i>Durchgang 2</i>
1	33,86	46,4	8,9	6,5
2	36,76	51,2	8,2	5,9
3	38,95	53,6	7,7	5,6
4	39,19	59,8	7,7	5,0
5	45,67	62	6,6	4,8
6	46,48	57	6,5	5,3
7	50,3	66,2	6,0	4,5
8	56,19	71,8	5,3	4,2

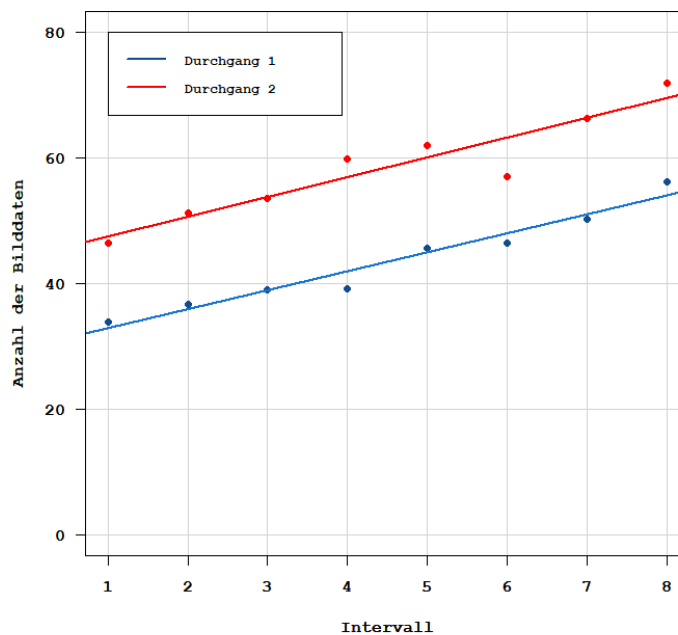


Abb. 14: Durchschnittliche Anzahl der Bilddaten pro Intervall

Die Anzahl der im Laufe der Studie beurteilten Röntgenbilder variierte in Abhängigkeit des Ausbildungsgrades der Studienteilnehmer. Abbildung 15 stellt das Ausmaß der Unterschiede graphisch dar. In Durchgang 1 beurteilte der Oberarzt 490 Röntgenbilder. Die Fachärzte betrachteten durchschnittlich 363 Bilder, während die Assistenzärzte im Durchschnitt lediglich 336 Röntgenbilder befundeten. Je höher der Ausbildungsgrad, desto mehr

Röntgenbilder wurden innerhalb der 40 Minuten beurteilt ($p_{t_{\text{Test D1}}} = 3,08e-12$). Mit einer durchschnittlichen Bildbeurteilungszeit von 4,9 s beurteilte der Oberarzt in Durchgang 1 die Röntgenbilder am schnellsten. Die Fachärzte folgten mit einer durchschnittlichen Befundungszeit von 6,6 s pro Bild, die Assistenzärzte benötigten im Durchschnitt 7,1 s zur Beurteilung eines Röntgenbildes. Auch innerhalb des zweiten Durchgangs konnten die Ärzte mit höherem Ausbildungsgrad im Durchschnitt eine größere Anzahl an Röntgenbildern aufweisen ($p_{t_{\text{Test D2}}} < 0,001$). Der Oberarzt beurteilte 461 Bilder bei einer Bildbetrachtungszeit von 5,2 s. Der Facharzt betrachtete insgesamt 556 bei einer durchschnittlichen Befundungszeit von 4,3 s pro Bild. 5,5 s benötigten die Assistenzärzte durchschnittlich zur Betrachtung und Beurteilung eines Röntgenbildes und konnten damit im Durchschnitt eine Anzahl von 441 beurteilten Röntgenbildern innerhalb der 40 Minuten aufweisen.

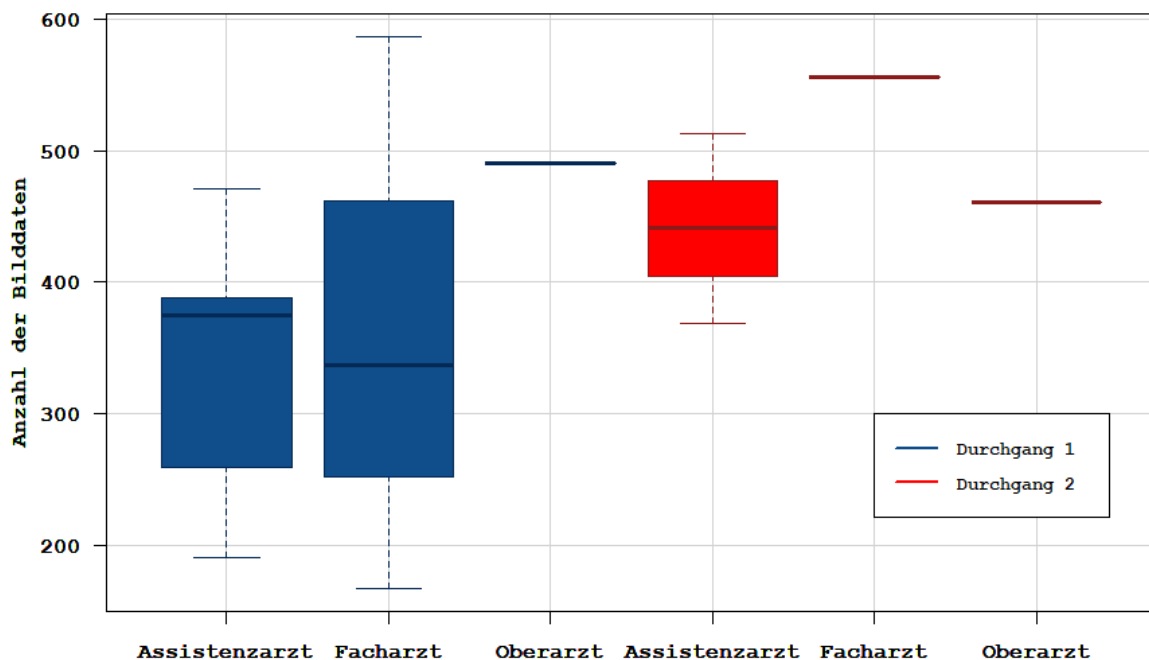


Abb. 15: Anzahl der Bilddaten in Abhängigkeit vom Berufsstand

4.1.1 Zusammenhang zwischen diagnostischer Genauigkeit und Röntgenerfahrung

Mittels der erfassten Daten ließ sich der Zusammenhang zwischen der diagnostischen Genauigkeit und der Röntgenerfahrung analysieren und auswerten. Abbildung 16 stellt den innerhalb des 1. sowie 2. Durchgangs ermittelten Zusammenhang graphisch dar. Anwendung fanden die AUC-Werte der einzelnen acht Intervalle eines jeden Untersuchers. Dabei

ließen die Werte in Durchgang 1 auf einen nicht vorhandenen Zusammenhang schließen ($r_P = -0,015$). Mit einem p_{Pearson} -Wert von 0,843 konnte keine statistische Signifikanz registriert werden. Die ermittelten Werte des 2. Durchgangs erwiesen sich im Vergleich zu den Daten des Durchgangs Nr. 1 allerdings nicht als deckungsgleich. Es wurde ein nicht signifikanter, gleichsinniger Zusammenhang nachgewiesen ($r_P = +0,123$, $p_{\text{Pearson}} = 0,451$). Mit größerer Röntgenerfahrung stieg die diagnostische Genauigkeit.

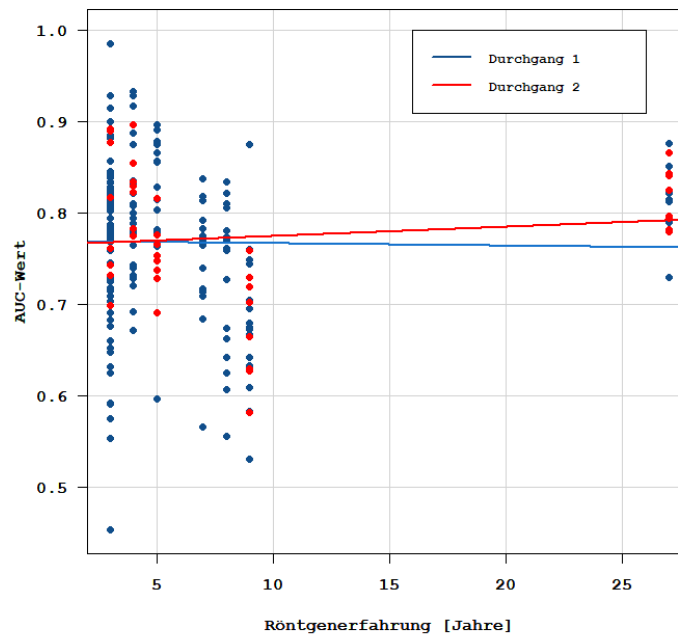


Abb. 16: Zusammenhang diagn. Genauigkeit und Röntgenerfahrung

4.1.2 Zusammenhang zwischen diagnostischer Genauigkeit und Berufsstand

Abbildung 17 zeigt den Zusammenhang zwischen der röntgenologisch-diagnostischen Genauigkeit und dem Berufsstand für den 1. sowie 2. Durchgang. Verwendet wurden die AUC-Werte der einzelnen acht Intervalle eines jeden Untersuchers. Es ist ersichtlich, dass die diagnostische Genauigkeit in Abhängigkeit des Berufsstandes Variationen aufweist. Den Höchstwert diagnostischer Genauigkeit wies sowohl in Durchgang 1 als auch in Durchgang 2 der Oberarzt auf. Auch die Assistenzärzte konnten eine hohe diagnostische Genauigkeit aufweisen, während die Fachärzte vergleichsweise schwächer abschnitten. Die Ergebnisse in Durchgang 1 und 2 erwiesen sich als annähernd deckungsgleich, wobei lediglich die Ergebnisse des Durchgang 1 statistische Signifikanz aufwiesen ($p_{\text{tTest D1}} < 0,0005$; $p_{\text{tTest D2}} > 0,05$).

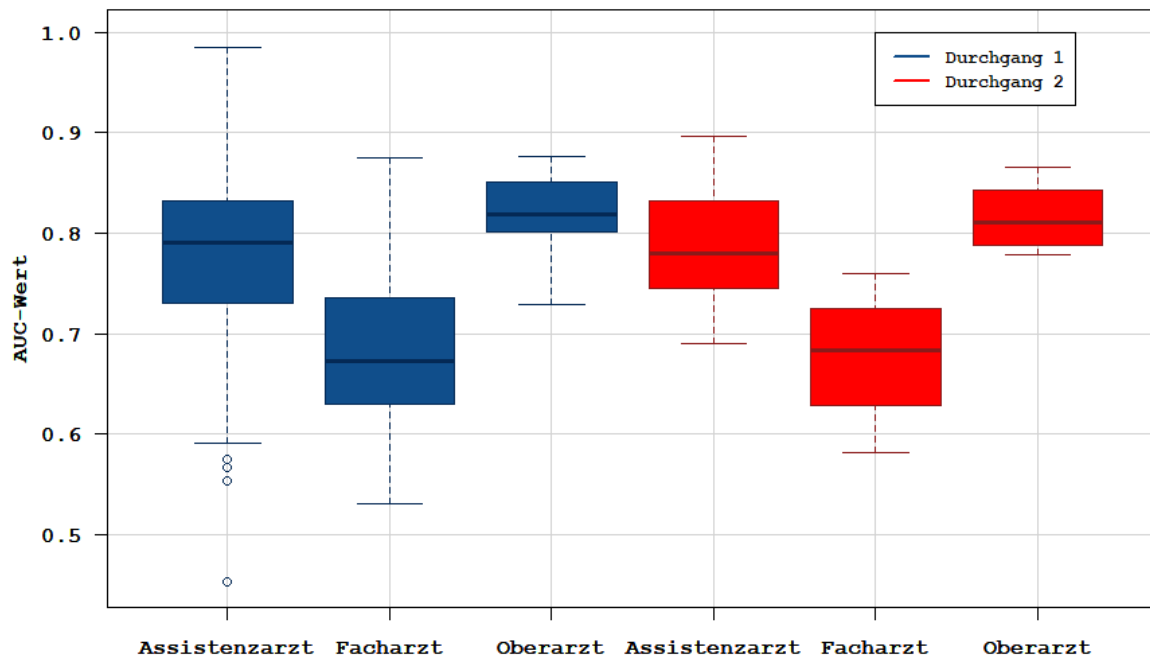


Abb. 17: Zusammenhang diagn. Genauigkeit und Berufsstand

4.2 Veränderung der Müdigkeit

Die subjektive Müdigkeit der einzelnen Teilnehmer und insbesondere deren Veränderung **vor** und **nach** der 40-minütigen Beurteilung der Röntgenbilder wurde mittels der **Visuellen Analogskala**, der **Numerischen Ratingskala** sowie des **SOFI-Fragebogens** erfasst. Die Auswertung der SOFI-Fragebögen erfolgte mittels Zusammenfassung der Adjektive in ihre jeweiligen Faktoren (s. Anhang 1). Die Bewertungen der fünf Adjektive pro Faktor wurden sowohl **vor** als auch **nach** der Untersuchung zu einem Score addiert und deren Gesamtdifferenz errechnet. Die Ergebnisse der einzelnen angewandten Methoden zur Erfassung der Müdigkeit sind im Anhang im Detail aufgeführt (s. Anhang 15 bis 22).

Alle aufgelisteten Tabellen beinhalten die Bewertung bzw. den Score **vor** der Untersuchung (PRÄ), **nach** der Untersuchung (POST) sowie deren Differenz durch Subtraktion POST-PRÄ. Positive Werte der Differenz entsprechen einem Zuwachs der Symptome der Müdigkeit, während negative Werte eine Abnahme der Müdigkeitssymptome bedeuten. Tabelle 15 zeigt die Ergebnisse in einer Zusammenfassung. Dabei sind die arithmetischen Mittelwerte der Bewertungen vor und nach der Untersuchung, deren Differenz sowie die prozentuale Veränderung der Werte im Vorher-Nachher-Vergleich einsehbar. In den Abbildungen 18-25 werden die Veränderungen der Müdigkeit für die differenten Erfas-

sungsmethoden graphisch dargestellt.

Die Ergebnisse des Durchgangs 1 lassen vorwiegend eine Steigerung der Müdigkeit im Rahmen der Untersuchung erkennen. Die Müdigkeit wuchs je nach Abhängigkeit der Methode zur Erfassung der Müdigkeit um 5,5 % bis 40,5 %. Lediglich die als Motivationsmangel erfassten Daten wiesen nach der Durchführung der Untersuchung einen im Mittel um 8,7 % niedrigeren Wert auf. Dabei konnten die anhand der VAS, der NRS sowie der des SOFI-Faktors *Energiemangel* erfassten Ergebnisse alle als statistisch signifikant eingestuft werden ($p_{tTest, Wilcoxon, VAS}, p_{tTest, Wilcoxon, NRS} < 0,001$; $p_{tTest, Wilcoxon, Energiemangel} < 0,05$). Die anhand der SOFI-Faktoren *körperliche Anstrengung*, *körperliche Beschwerden*, *Motivationsmangel*, *Schläfrigkeit* ermittelten Unterschiede der Müdigkeitssymptome vor und nach der 40-minütigen Röntgenbildbeurteilung sowie der Gesamtscore der SOFI wiesen keinerlei statistische Signifikanz auf. Die $p_{tTest, Wilcoxon}$ -Werte der genannten Methoden lagen oberhalb des Signifikanzniveaus (s. Tabelle 17). Die ermittelten Korrelationskoeffizienten r_S in Durchgang 1 erstreckten sich zwischen +0,732 und +0,941 wodurch der gleichsinnige Zusammenhang zwischen der Müdigkeit vor und nach der Untersuchung bei allen Testmethoden der Müdigkeit bestätigt wurde. Es lag eine annähernd vollständige, stark positive Korrelation vor. Je höher die Bewertung der individuellen Müdigkeitssymptome vor der 40-minütigen Untersuchung, desto höher erwiesen sich die Symptome der Müdigkeit danach. Dieser Zusammenhang erwies sich in Durchgang 1 als durchgehend statistisch signifikant. Die $p_{tTest, Wilcoxon}$ -Werte aller angewandten Methoden lagen deutlich unterhalb des gewählten Signifikanzniveaus (s. Tabelle 16).

Auch innerhalb von Durchgang 2 konnte eine Zunahme der Müdigkeit um 2,4 % bis 28,9 % erfasst werden. Eine Ausnahme stellten die Symptome körperlicher Müdigkeit dar. Sowohl die körperliche Anstrengung als auch die körperlichen Beschwerden wiesen im Verlauf der durchgeführten Studie einen durchschnittlichen Rückgang ihrer Werte um 19,5 % auf (s. Tabelle 15). Die mithilfe der differenten Methoden ermittelten Unterschiede der Müdigkeitssymptome vor und nach der Untersuchung wiesen in Durchgang 2 keine statistische Signifikanz auf. Die $p_{tTest, Wilcoxon}$ -Werte aller angewandten Methoden lagen oberhalb des Signifikanzniveaus von 0,05. Das Ergebnis eines Anstiegs der Müdigkeitssymptome im Vorher-Nachher-Vergleich in Durchgang 2 ließ sich anhand der Korrelationsanalyse festigen ($r_S = +0,541$ bis $+0,975$). Dabei sind die Ergebnisse der VAS, des SOFI-Faktors *körperliche Beschwerden*, *Motivationsmangel* sowie der des Gesamtscores der SOFI statistisch signifikant ($p_{tTest, Wilcoxon, VAS} < 0,05$; $p_{tTest, Wilcoxon, körperl. Beschwerden}, p_{tTest, Wilcoxon, Motivationsmangel}, p_{tTest, Wilcoxon, SOFI: Gesamt} < 0,01$), während die der VAS sowie der SOFI-Faktoren *Energie-*

mangel, körperliche Anstrengung und Schläfrigkeit entsprechend ihrer Werte oberhalb von 0,05 keine statistisch signifikante Aussage zulassen.

Tab. 15: Kurzfassung der Ergebnisse der Müdigkeitsveränderung

Methode	arithmetischer Mittelwert \bar{x}		arithmetischer Mittelwert \bar{x}		Differenz der Mittelwerte \bar{x} (POST-PRÄ)		Veränderung [%]	
	PRÄ		POST					
	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
VAS	32,7 %	28,7 %	43,4 %	37 %	10,46 %	8,3 %	↑ 32,5	↑ 28,9
NRS	3,1	3,2	4,0	3,6	0,9	0,4	↑ 30,7	↑ 12,5
SOFI _{Energiemangel}	10,2	11,4	14,4	13,4	4,2	2	↑ 40,5	↑ 17,5
SOFI _{körperl. Anstrengung}	6,9	8,2	7,3	6,6	0,4	-1,6	↑ 5,5	↓ 19,5
SOFI _{körperl. Beschwerden}	5,1	7,2	5,8	5,8	0,7	-1,4	↑ 13,8	↓ 19,5
SOFI _{Motivationsmangel}	12,7	12,8	11,6	14	-1,1	1,2	↓ 8,7	↑ 9,4
SOFI _{Schläfrigkeit}	13,0	11,4	14,8	12,4	1,8	1	↑ 13,8	↑ 8,8
SOFI _{Gesamt}	48,1	51	54	52,2	5,9	1,2	↑ 12,3	↑ 2,4

Tab. 16: Korrelationsanalyse der Müdigkeitsveränderung

Methode	Korrelationskoeffizient		p_{Spearman} -Wert	
	r_s			
	D1	D2	D1	D2
VAS	+0,902	+0,947	2,2E-08	1,44E-02
NRS	+0,893	+0,541	5,2E-08	3,47E-01
SOFI _{Energiemangel}	+0,858	+0,821	6,8E-07	8,86E-02
SOFI _{körperl. Anstrengung}	+0,941	+0,872	2,1E-10	5,39E-02
SOFI _{körperl. Beschwerden}	+0,787	+0,975	2,3E-05	4,82E-03
SOFI _{Motivationsmangel}	+0,732	+0,975	1,6E-04	4,82E-03
SOFI _{Schläfrigkeit}	+0,772	+0,7	4,2E-05	2,33E-01
SOFI _{Gesamt}	+0,876	+0,975	1,62E-07	4,82E-03

Tab. 17: Übersicht der arithmetischen Mittelwerte der Müdigkeitsveränderung

Methode	Differenz der arithmetischen Mittelwerte \bar{x}		95%iges Konfidenzintervall		PtTest-Wert		PWilcoxon-Wert	
	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
	VAS	10,64 ± 4,664	8,3 ± 11,743	5,978 - 15,307	-3,443 - 20,043	1,2E-04	0,121	1,4E-04
NRS	0,95 ± 0,443	0,4 ± 1,110	0,509 - 1,395	-0,711 - 1,511	2,3E-04	0,374	0,001	1
SOFI _{Energiemangel}	4,14 ± 3,318	2 ± 4,562	0,825 - 7,461	-2,562 - 6,562	0,0169	0,290	0,017	0,361
SOFI _{körperl. Anstrengung}	0,38 ± 1,534	-1,6 ± 4,265	-1,152 - 1,914	-5,865 - 2,865	0,610	0,356	0,752	0,581
SOFI _{körperl. Beschwerden}	0,71 ± 2,006	-1,4 ± 4,265	-1,291 - 2,720	-5,665 - 2,865	0,466	0,414	0,393	0,586
SOFI _{Motivationsmangel}	-1,09 ± 3,215	1,2 ± 2,831	-4,310 - 2,120	-1,631 - 4,031	0,486	0,305	0,513	0,345
SOFI _{Schläfrigkeit}	1,81 ± 3,654	1 ± 4,728	-1,845 - 5,464	-3,728 - 5,728	0,314	0,589	0,259	0,855
SOFI _{Gesamt}	5,905 ± 10,586	1,2 ± 10,660	-4,682 - 16,491	-9,460 - 11,860	0,258	0,772	0,161	1

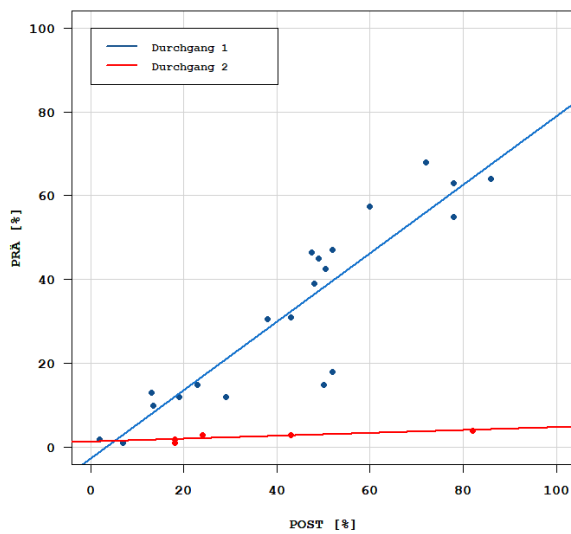


Abb. 18: Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte der VAS

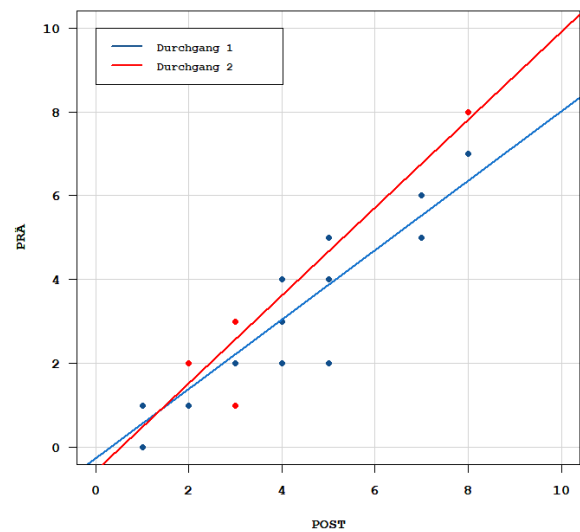


Abb. 19: Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte der NRS

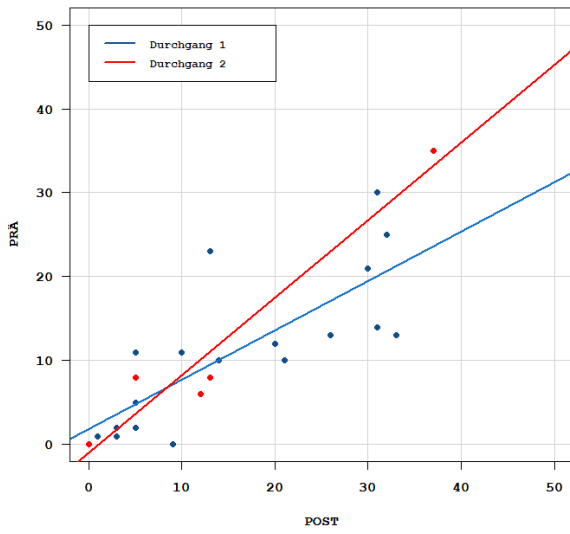


Abb. 20: Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte des $SOFI_{\text{Energiemangel}}$

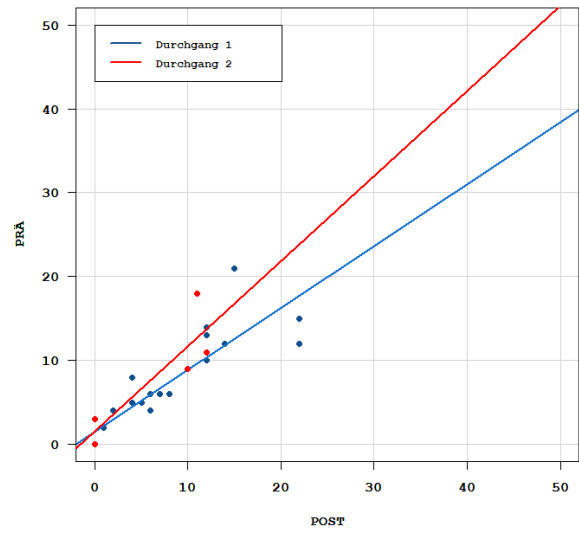


Abb. 21: Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte des $SOFI_{\text{Körperl. Anstrengung}}$

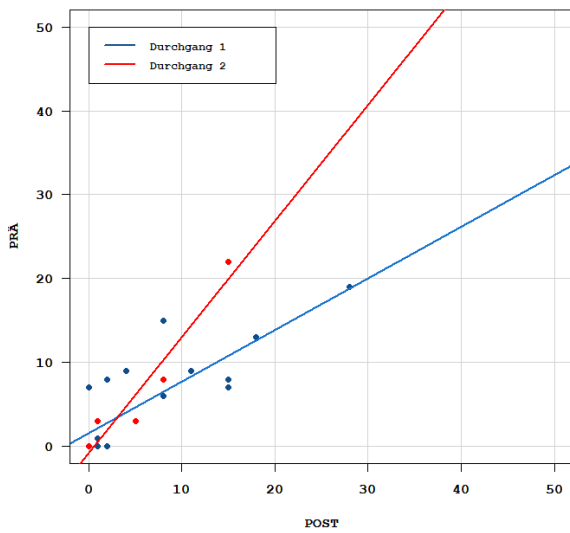


Abb. 22: Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte des $SOFI_{\text{Körperl. Beschwerden}}$

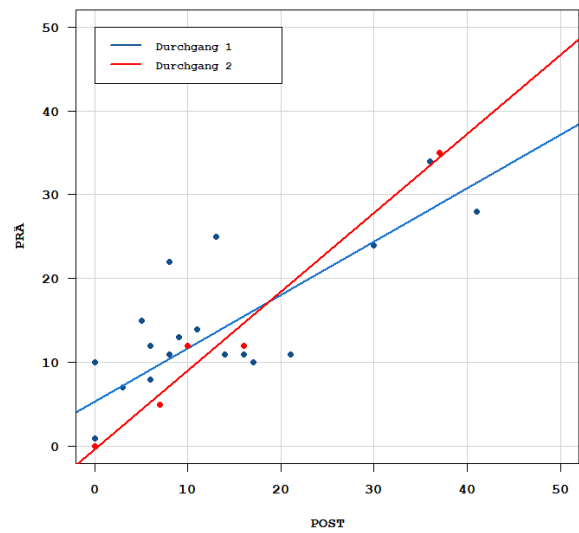


Abb. 23: Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte des $SOFI_{\text{Motivationsmangel}}$

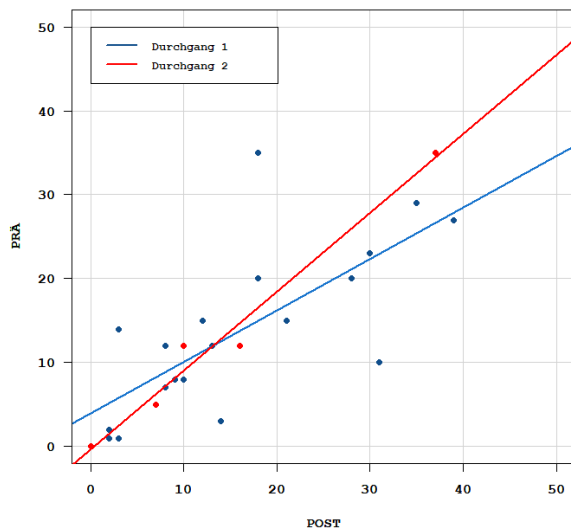


Abb. 24: Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte des $\text{SOFI}_{\text{Schl\u00e4frigkeit}}$

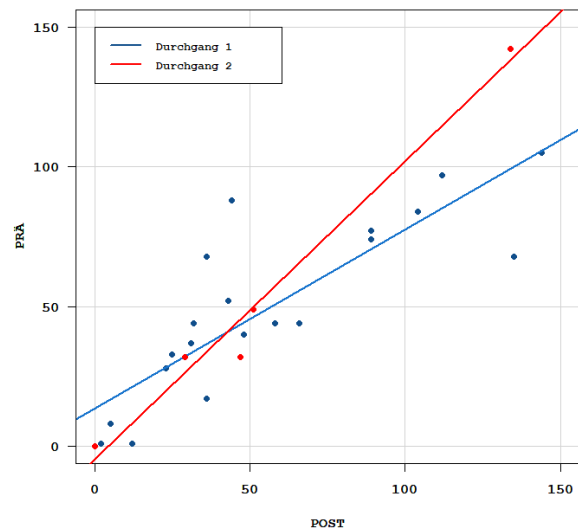


Abb. 25: Graph. Darstellung der PRÄ-POST-Werte des $\text{SOFI}_{\text{Gesamt}}$

4.2.1 Zusammenhang zwischen M\u00fcdigkeitsver\u00e4nderung und Alter

Mithilfe der erhobenen Daten konnte auch der Zusammenhang zwischen der Ver\u00e4nderung der M\u00fcdigkeit und dem Alter der Studienteilnehmer ausgewertet werden. Die Ergebnisse sind im Folgenden sowohl tabellarisch (s. Tabelle 18) als auch graphisch (s. Abbildung 26 bis 33) dargestellt.

Bei allen angewandten Methoden zur Erfassung der Ver\u00e4nderung der M\u00fcdigkeit lie\u00df sich in Durchgang 1 die Tendenz eines gegensinnigen Zusammenhangs zwischen der M\u00fcdigkeitsver\u00e4nderung und dem Alter erkennen. Die ermittelten Korrelationskoeffizienten r_S in Durchgang 1 erstrecken sich zwischen $-0,052$ und $-0,479$. Je \u00e4lter die teilnehmenden Untersucher waren, desto st\u00e4rker nahm die M\u00fcdigkeit im Laufe der Studie ab.

Auch in Durchgang 2 konnte der gegensinnige Zusammenhang zwischen der M\u00fcdigkeitsver\u00e4nderung und dem Alter festgestellt werden ($r_S = -0,359$ bis $-0,718$). Lediglich die mithilfe des SOFI-Fragebogens erfassten Daten der *k\u00f6rperlichen Anstrengung* stiegen mit Zunahme des Alters ($r_S = +0,718$).

W\u00e4hrend der in Durchgang 1 mittels der NRS erfasste negative Zusammenhang zwischen der M\u00fcdigkeit und dem Alter als statistisch signifikant einzustufen ist ($p_{\text{NRS}; D1} < 0,05$), konnte bei allen anderen Methoden sowohl in Durchgang 1 als auch 2 keine

statistische Signifikanz festgestellt werden ($p_{\text{NRS}; D2}, p_{\text{VAS}}, p_{\text{Energimangel}}, p_{\text{körperl. Anstrengung}}, p_{\text{körperl. Beschwerden}}, p_{\text{Schläfrigkeit}}, p_{\text{Gesamt}} > 0,05$).

Tab. 18: Korrelationsanalyse: Müdigkeitsveränderung und Alter

Methode	Korrelationskoeffizient		$p_{\text{Spearman-Wert}}$	
	r_s		$D1$	$D2$
	$D1$	$D2$	$D1$	$D2$
VAS	-0,368	-0,6	0,101	0,35
NRS	-0,479	-0,708	0,028	0,182
SOFI _{Energimangel}	-0,403	-0,7	0,070	0,233
SOFI _{körperl. Anstrengung}	-0,139	+0,718	0,545	0,172
SOFI _{körperl. Beschwerden}	-0,273	-0,359	0,230	0,553
SOFI _{Motivationsmangel}	-0,052	-0,462	0,822	0,439
SOFI _{Schläfrigkeit}	-0,205	-0,7	0,372	0,233
SOFI _{Gesamt}	-0,255	-0,4	0,266	0,517

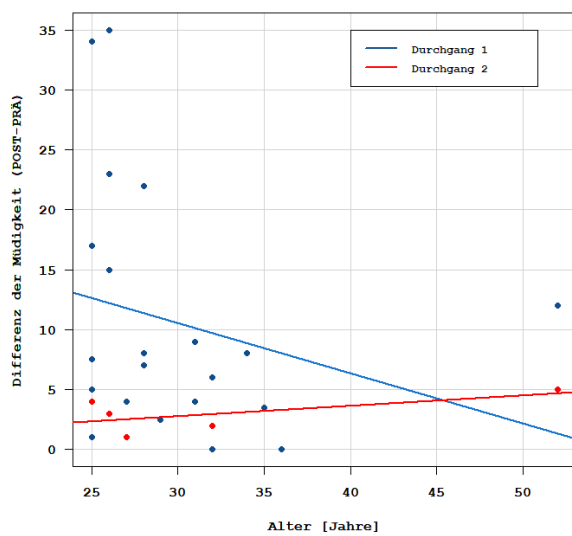


Abb. 26: Müdigkeitsveränderung und Alter: VAS

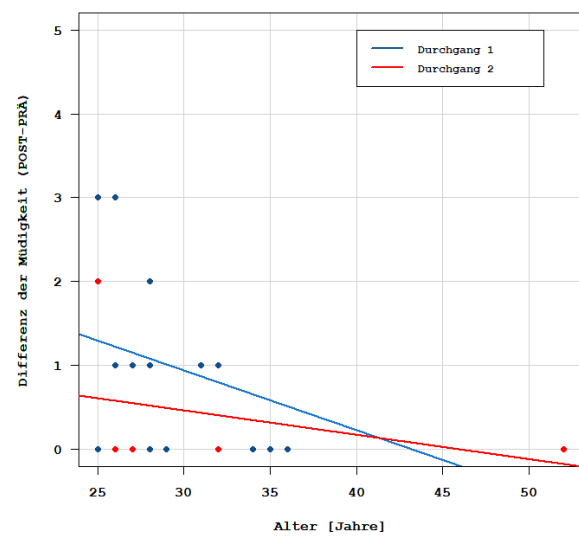


Abb. 27: Müdigkeitsveränderung und Alter: NRS

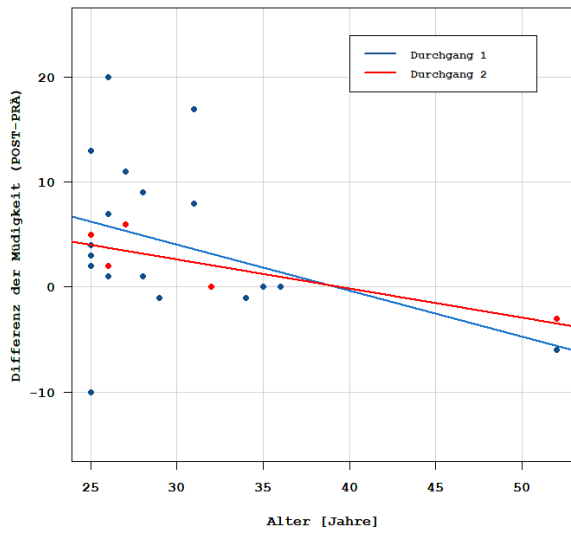


Abb. 28: Müdigkeitsveränderung und Alter:
SOFI_{Energiemangel}

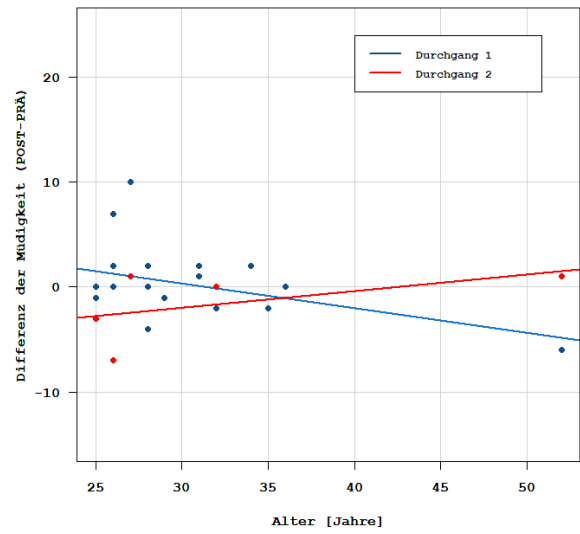


Abb. 29: Müdigkeitsveränderung und Alter:
SOFI_{Körperl. Anstrengung}

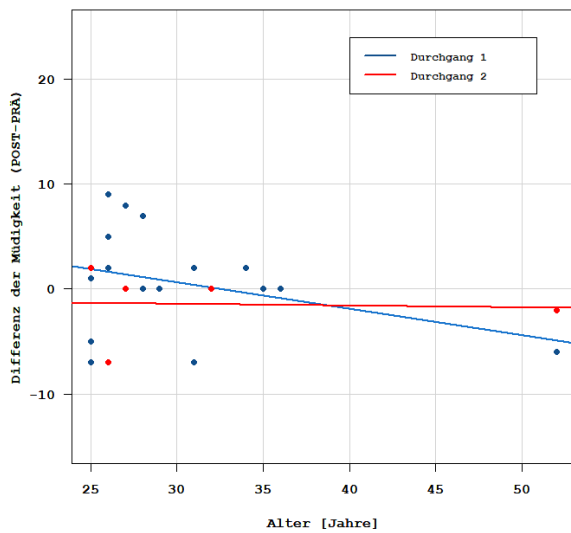


Abb. 30: Müdigkeitsveränderung und Alter:
SOFI_{Körperl. Beschwerden}

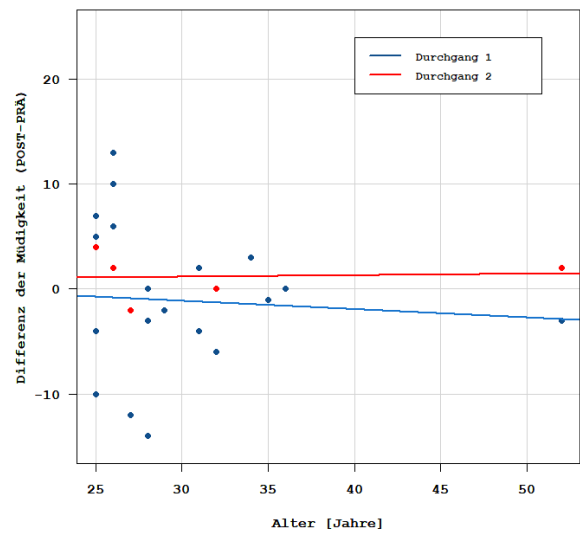


Abb. 31: Müdigkeitsveränderung und Alter:
SOFI_{Motivationsmangel}

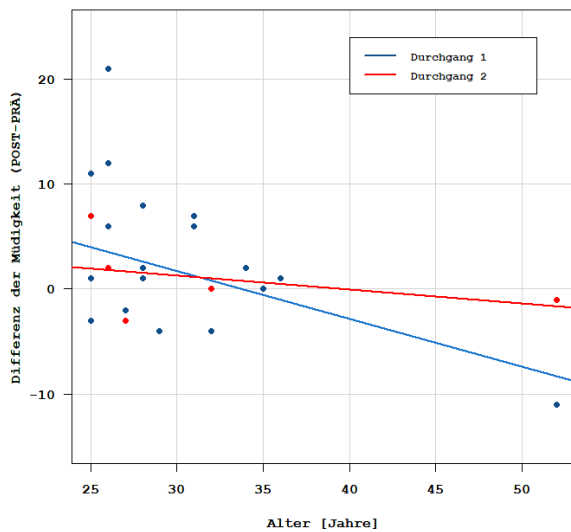


Abb. 32: Müdigkeitsveränderung
und Alter:
 $SOFI_{\text{Schläfrigkeit}}$

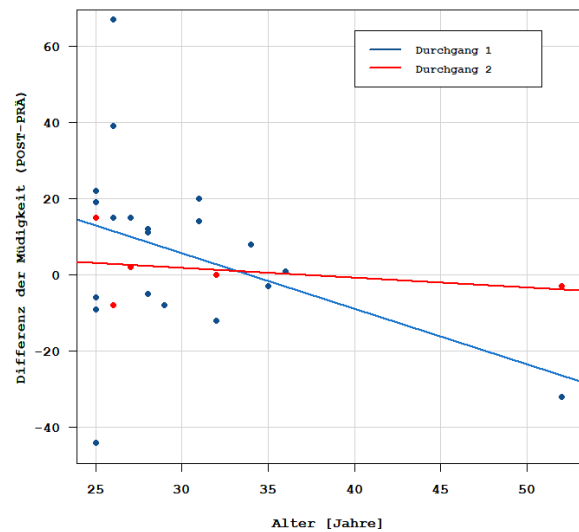


Abb. 33: Müdigkeitsveränderung
und Alter:
 $SOFI_{\text{Gesamt}}$

4.2.2 Zusammenhang zwischen Müdigkeitsveränderung und Sehhilfe

Anhand der mittels Fragebogen erfassten Tatsache des Vorhandenseins einer Sehhilfe, konnte der Zusammenhang zwischen der Müdigkeitsveränderung und dem Tragen einer Brille ermittelt und analysiert werden. Die Ergebnisse der einzelnen für die Erfassung der Müdigkeit verwendeten Methoden sind in den Abbildungen 34 bis 41 dargestellt.

In Durchgang 1 wiesen die Untersucher mit Sehhilfe unter Verwendung der VAS ($p_{\text{VAS}}; D_1 < 0,0005$), der NRS ($p_{\text{NRS}}; D_1 > 0,05$) sowie der SOFI-Faktoren *körperliche Anstrengung* ($p_{\text{körperl. Anstrengung}}; D_1 > 0,05$) und *Beschwerden* ($p_{\text{körperl. Beschwerden}}; D_1 > 0,05$) einen geringeren Müdigkeitsanstieg auf als Untersucher ohne Brille. Unter Anwendung der verbleibenden vier Methoden ($p_{\text{Energienmangel}}; D_1 < 0,05$, $p_{\text{Motivationsmangel}}; D_1 > 0,05$, $p_{\text{Schläfrigkeit}}; D_1 > 0,05$, $p_{\text{Gesamt}}; D_1 > 0,05$) hingegen zeigten die zwölf auf eine Sehhilfe angewiesenen Untersucher einen größeren Anstieg der Müdigkeit. Die differenten Methoden unterschieden sich offensichtlich in ihrer Aussage. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Müdigkeitsveränderung und dem Vorhandensein einer Sehhilfe konnte, mit Ausnahme der beiden Methoden VAS sowie $SOFI_{\text{Energienmangel}}$, nicht erfasst werden.

Die Ergebnisse des Durchgangs 2 zeigen mit Ausnahme der Werte der SOFI-Faktoren *körperliche Anstrengung* und *Beschwerden* eine Tendenz, dass bei den Teilnehmern der

Studie mit Sehhilfe ein größerer Müdigkeitsanstieg verzeichnet werden konnte als bei den Teilnehmern ohne Brille. Die anhand des t-Tests ermittelten p -Werte wiesen im zweiten Durchgang keinerlei statistische Signifikanz auf.

Tabelle 19 beinhaltet die arithmetischen Mittelwerte der Differenzen der Müdigkeit der Studienteilnehmer mit und ohne Sehhilfe in Durchgang 1 wie auch Durchgang 2.

Tab. 19: Zusammenhang Müdigkeitsveränderung und Sehhilfe: arithmetischer Mittelwert

arithmetischer Mittelwert \bar{x} der Müdigkeitsdifferenz				
Methode	Sehhilfe: nein		Sehhilfe: ja	
	$D1$	$D2$	$D1$	$D2$
VAS	+13,67	+1,75	+8,83	+12,67
NRS	+1,33	0	+0,73	+0,67
SOFI _{Energiemangel}	+3,22	+1,5	+4,83	+2,33
SOFI _{körperl. Anstrengung}	+0,55	+1	+0,25	-3,33
SOFI _{körperl. Beschwerden}	+1	-1	+0,5	-1,67
SOFI _{Motivationsmangel}	-3,67	0	+0,83	+2
SOFI _{Schläfrigkeit}	+0,67	-2	+2,67	+3
SOFI _{Gesamt}	+1,78	-0,5	+9	+2,3

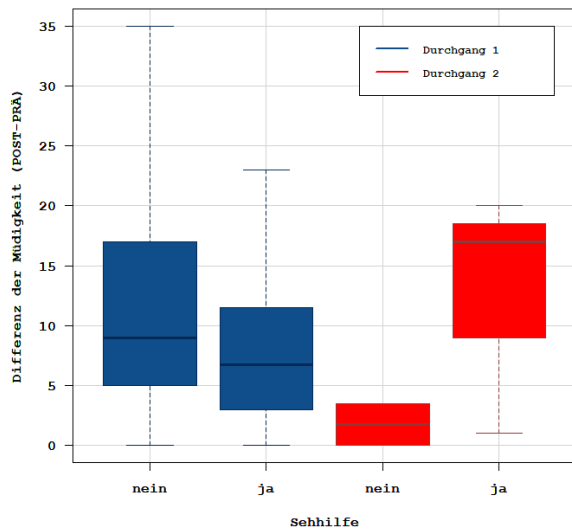


Abb. 34: Müdigkeitsveränderung und Sehhilfe: VAS

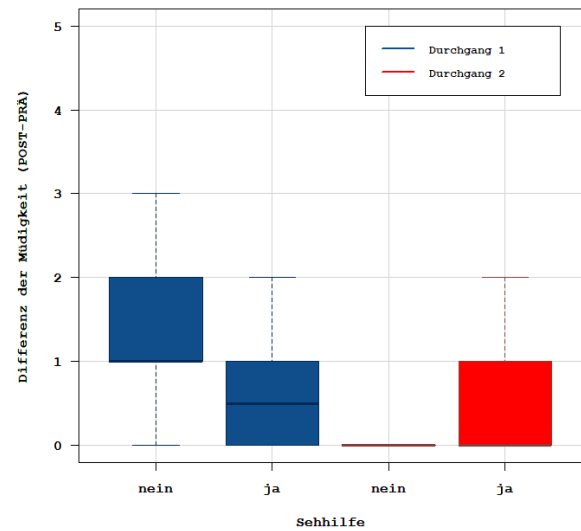


Abb. 35: Müdigkeitsveränderung und Sehhilfe: NRS

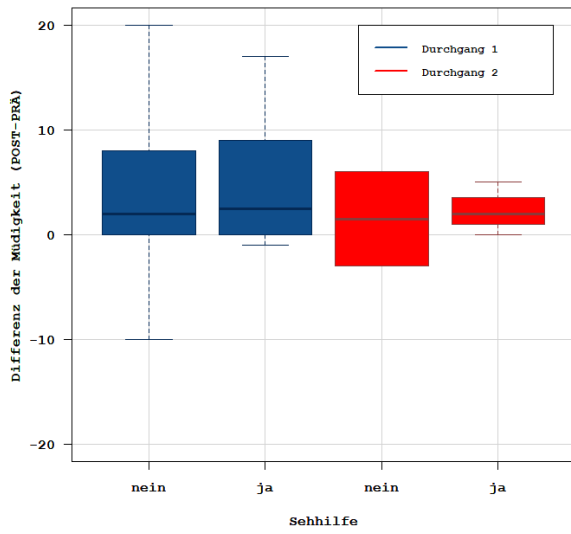


Abb. 36: Müdigkeitsveränderung und Seehilfe: SOFI_{Energiemangel}

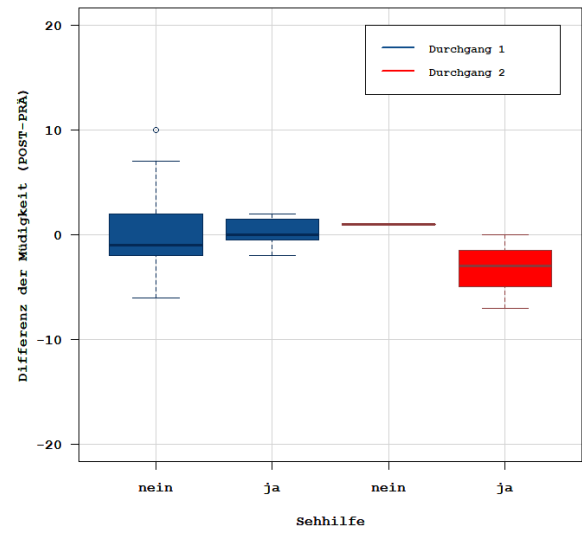


Abb. 37: Müdigkeitsveränderung und Seehilfe: SOFI_{Körperl. Anstrengung}

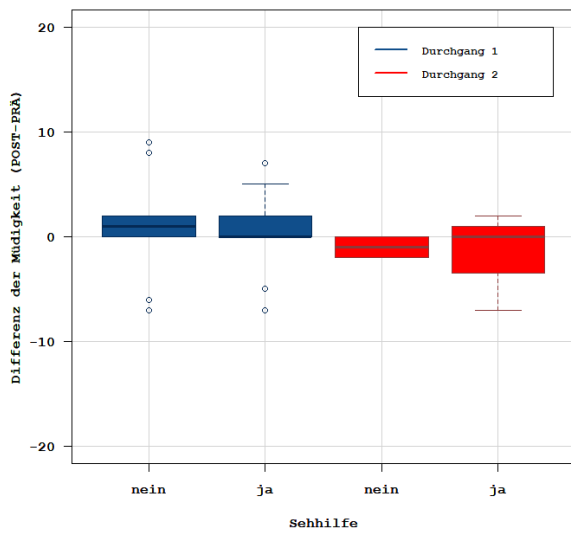


Abb. 38: Müdigkeitsveränderung und Seehilfe: SOFI_{Körperl. Beschwerden}

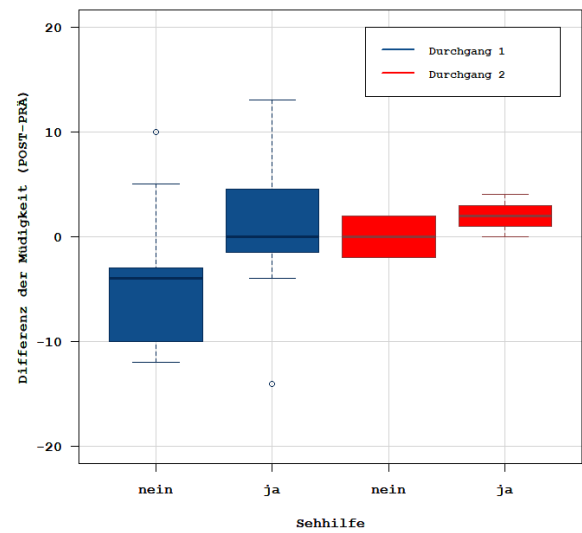


Abb. 39: Müdigkeitsveränderung und Seehilfe: SOFI_{Motivationsmangel}

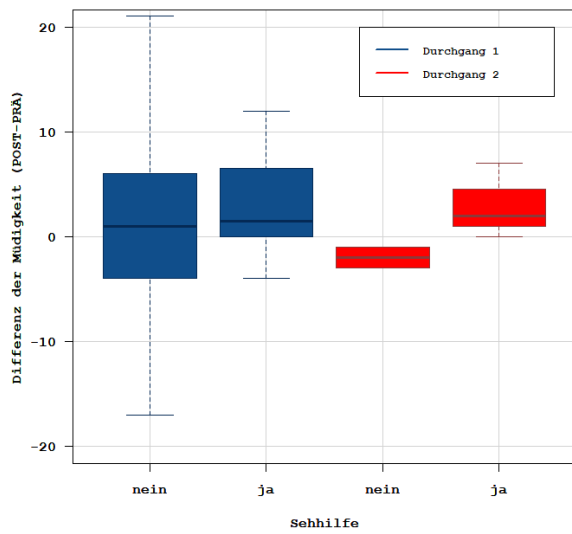


Abb. 40: Müdigkeitsveränderung
und Seehilfe:
SOFI_{Schlafrigkeit}

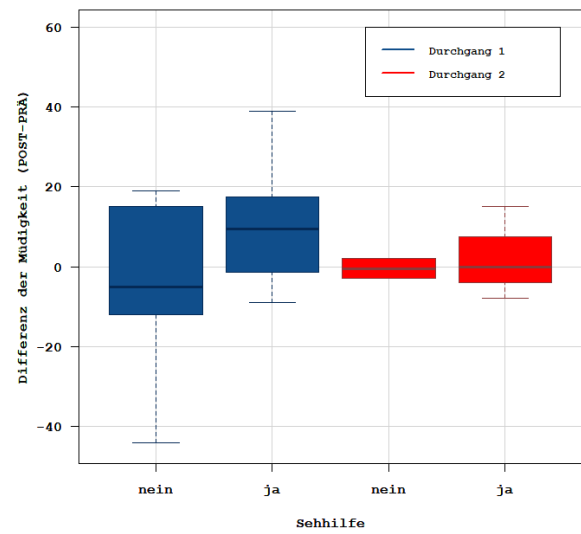


Abb. 41: Müdigkeitsveränderung
und Seehilfe:
SOFI_{Gesamt}

5 Diskussion

Das folgende Kapitel beinhaltet die Diskussion der mittels der vorliegenden Studie erfassten Ergebnisse. Die Ergebnisse werden interpretiert, mit vorangegangenen Studien und bereits publizierter Literatur in Bezug gesetzt und reflektiert.

5.1 Veränderung der diagnostischen Genauigkeit

Die röntgendiagnostische Genauigkeit spielt im Alltag von Medizinern eine große Rolle und trägt maßgeblich zur individuellen Therapiefindung der Patienten bei. Die vorliegende Studie belegt, dass die 21 teilnehmenden Untersucher, worunter sich Ärzte unterschiedlichen Alters, Röntgenerfahrung sowie Ausbildungsgrads befanden, eine hohe diagnostische Genauigkeit bei der Befundung von Röntgenbildern aufwiesen, wobei die Fehlerrate der einzelnen Untersucher variierte. Im Durchschnitt lag der AUC-Wert des 1. Durchgangs bei $0,768 \pm 0,091$, der des 2. Durchgangs bei $0,775 \pm 0,075$.

Im Rahmen der in insgesamt acht 5-Minuten-Intervalle gegliederten 40-minütigen Untersuchung konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede bzw. Schwankungen der diagnostischen Genauigkeit festgestellt werden. Die Untersucher in Durchgang 1 wiesen im Durchschnitt nach 20 Minuten Befundungszeit, nach einer lediglich geringfügigen Veränderung um 5 % im Vergleich zum Ausgangswert innerhalb des 1. Intervalls, die höchste diagnostische Genauigkeit auf ($AUC = 0,794 \pm 0,078$) bevor sich der AUC-Wert der letzten 15 Minuten dem Anfangswert erneut angleich. Innerhalb des zweiten Durchgangs ließ die diagnostische Genauigkeit der Untersucher mit zunehmender Befundungszeit kontinuierlich minimal nach. Die diagnostische Genauigkeit innerhalb der letzten fünf Minuten verringerte sich im Vergleich zum 1. Intervall um insgesamt 5,2 %.

In den beiden von *Krupinski* im Jahr 2010 sowie 2012 veröffentlichten Studien [2, 4] konnte ein statistisch signifikanter Abfall der diagnostischen Genauigkeit nach einem Arbeitstag erfasst werden. Während *Krupinski et al.* die Veränderung der diagnostischen Genauigkeit in den in zwei Sessions eingeteilten Untersuchungen, einmal **vor** und **nach** einem Arbeitstag erfassten, wurde die diagnostische Genauigkeit im vorliegenden Fall innerhalb der einmaligen 40-minütigen Session ermittelt. Der Vergleich der beiden Studien macht deutlich, dass die diagnostische Genauigkeit im Rahmen der 40 Minuten scheinbar weniger Veränderungen aufweist als der Vergleich vor und nach einem Arbeitstag. Innerhalb der 40 Minuten weisen die Untersucher trotz vorwiegend statistisch signifikant angestiegener Müdigkeitssymptome eine relativ konstante diagnostische Genauigkeit auf. Die Ergebnisse der Studie von *Krupinski et al.* erweisen sich durch die mehr als doppelt so große Stichprobenzahl als aussagekräftig.

Sowohl bei *Krupinski et al.* als auch in der vorliegenden Studie wiesen die teilnehmenden Ärzte mit höherem Ausbildungsgrad eine im Durchschnitt höhere diagnostische Akkuratessse auf. Dieses Phänomen konnten auch *Bechtold et al.* [7] sowie *Burling et al.* [6] belegen. Neben der damit einhergehenden größeren Röntgenerfahrung stellt sich die Frage, ob die erfahreneren Ärzte die Kompensation der ansteigenden Müdigkeitssymptome im Arbeitsalltag bereits integriert haben. Neben der Röntgenerfahrung, welche in der vorliegenden Studie keinen signifikanten Einfluss auf die diagnostische Genauigkeit nehmen konnte und dem Ausbildungsgrad haben allerdings auch weitere Faktoren einen Einfluss auf die diagnostische Genauigkeit. So sind auch die individuelle Tagesform der Untersucher oder beispielsweise das röntgenologische Interesse und die persönliche, radiologische Weiterbildung nicht außer Acht zu lassen. Interessant ist allerdings, dass die Assistenzärzte in der vorliegenden Untersuchung im Vergleich mit dem Oberarzt zwar eine durchschnittlich größere Fehlerrate aufwiesen, im Vergleich mit den Fachärzten hingegen besser abschnitten. Dieser Effekt zeigte sich sowohl im 1. als auch 2. Durchgang und ließ sich in vorangegangenen Studien bisher nicht feststellen. Er lässt sich gegebenenfalls auf die unterschiedliche sowie geringe Probandenzahl zurückführen und ist dementsprechend vorsichtig zu interpretieren.

Mittels der vorliegenden Studie konnte festgestellt werden, dass die Studienteilnehmer durchschnittlich weniger als 8,9 s pro Röntgenbild zu dessen Beurteilung auf das Vorhandensein einer apikalen Aufhellung benötigten. Im Laufe der Untersuchung bedurfte es zunehmend weniger Zeit zur Befundung der einzelnen Röntgenbilder. Es ließ sich in beiden Durchgängen erkennen, dass die durchschnittliche Anzahl der pro 5-minütigem Intervall beurteilten Röntgenbilder im Rahmen der 40 Minuten signifikant zunahm. In Durchgang 1 befundeten die Untersucher im letzten Intervall 65,9 % mehr Röntgenbilder als innerhalb der ersten fünf Minuten der Studie. Damit einhergehend benötigten die Teilnehmer in Intervall 8, verglichen mit Intervall 1, lediglich 60 % der in Intervall 1 erfassten Bildbeurteilungszeit. Auch im zweiten Durchgang konnte dieser Effekt bestätigt werden. Die Untersucher wurden in ihrer Bildbeurteilung deutlich schneller und benötigten in den letzten fünf Minuten, verglichen mit den ersten fünf Minuten der Untersuchung, 65 % der Bildbetrachtungszeit. Die zunehmend schnellere Bildbeurteilung im Laufe der Zeit konnte bereits in der von *Burling et al.* im Jahre 2006 [6] publizierten Studie belegt werden. Hier benötigten die Untersuchungsteilnehmer für die letzten fünf der insgesamt 40 betrachteten Fälle lediglich 71 % der für die ersten fünf Fälle verwendeten Zeit. Nachlassende Motivation sowie Konzentration bei gleichzeitig steigender Müdigkeit können eine Ursache für den genannten Effekt darstellen. Interessanterweise steht eine von *Hanna et al.* 2017 veröffentlichte Studie [69] im Widerspruch zu den erfassten Ergebnissen. Hier benötigten die zwölf

Untersuchungsteilnehmer zur Beurteilung von Röntgenbildern nach einem Arbeitstag 45 % mehr Zeit als vor dem Arbeitstag. Die mit der Müdigkeit einhergehende nachlassende Aufmerksamkeit sowie Konzentration kann zu dementsprechend divergierenden Effekten führen.

Burling et al. [6] konnten des Weiteren feststellen, dass Untersucher mit höherem Ausbildungsgrad die Röntgenbilder im Durchschnitt schneller befundeten. Die vorliegende Studie konnte diesen Effekt bestätigen. Fach- und Oberärzte beurteilten die Röntgenbilder im Vergleich mit den teilnehmenden Assistenzärzten signifikant schneller. In Durchgang 1 benötigte der Oberarzt für die Beurteilung der Röntgenbilder im Durchschnitt 31 % weniger Zeit als die Assistenzärzte.

Der erwartete Effekt, dass eine kürzere Bildbetrachtungszeit mit einer höheren Fehlerrate einhergeht, konnte dementsprechend nicht belegt werden. Der Oberarzt mit der schnellsten Bildbetrachtungszeit wies gleichzeitig die durchschnittlich höchste diagnostische Akkuratease auf.

5.2 Veränderung der Müdigkeit

Eine hohe Konzentration und Aufmerksamkeit zählt zu den Voraussetzungen für die fehlerfreie Ausübung des Berufes als Mediziner. Ermüdung, im Sinne der sowohl körperlichen als auch geistigen Erschöpfung, gilt als menschliche Erfahrung, ein körperliches Phänomen eines jeden Menschen und kann sowohl physiologische als auch pathologische Ursachen haben (s. Kapitel 2.2.3). Physiologisch bedingte Müdigkeit aufgrund von Konzentration und Aufmerksamkeit ist häufig bei Menschen im Berufsalltag anzutreffen.

Das Auftreten von Müdigkeit konnte bei der 40-minütigen Befundung von Röntgenbildern im Rahmen der vorliegenden Studie belegt werden.

Die zur Erfassung der Müdigkeit verwendeten, differenten Methoden konnten alle einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen den angegebenen Müdigkeitswerten vor und nach der Untersuchung feststellen. Je höher die Bewertung der individuellen Ermüdungssymptome vor der 40-minütigen Studie, desto höher erwiesen sich die Symptome der Müdigkeit danach.

Insgesamt zeigten die Ergebnisse der VAS sowie der NRS einen signifikanten Anstieg der Müdigkeit um ca. 30 %. Der SOFI-Fragebogen in seiner Gesamtheit konnte zwar keine statistisch signifikante Aussage treffen, bestätigt allerdings ebenfalls die Tendenz eines Müdigkeitsanstiegs in Durchgang 1. Alle faktorermittelten Werte nahmen im Vergleich POST - PRÄ, mit Ausnahme der Werte des Faktors *Motivationsmangel*, zu. Insbesondere die Anzeichen der körperlichen Ermüdung (*Energiemangel, körperl. Anstrengung, körperl. Beschwerden*) aber auch die der mentalen Müdigkeit (*Energiemangel, Schläfrigkeit*) stiegen

im Rahmen der Untersuchung. Im Fokus steht hierbei hauptsächlich der Anstieg der körperlichen und mentalen Müdigkeit im Sinne des *Energiemangels*, welche signifikant um 40,5 % zunahm.

Auch innerhalb des 2. Durchgangs wies die VAS ebenso wie der SOFI-Gesamtscore einen signifikanten Müdigkeitsanstieg nach. Hinsichtlich der NRS wurde kein statistische signifikanter Anstieg der Müdigkeit festgestellt. Es zeigte sich allerdings ebenfalls die Tendenz eines Anstiegs der Müdigkeitssymptome im Laufe der Untersuchung. Im Rahmen des zweiten Durchgangs konnte insbesondere der Anstieg der mentalen Ermüdungssymptome belegt werden. Die beiden SOFI-Faktoren *körperl. Anstrengung* sowie *körperl. Beschwerden*, welche einen Hinweis auf körperliche Ermüdung liefern, wiesen einen Abfall um 19,5 % auf. Trotz der teilweise, vermutlich aufgrund der geringen Probandenzahl, fehlenden statistischen Signifikanz der Aussagen, lässt sich eine eindeutige Tendenz nicht leugnen: Die Müdigkeit der Untersucher nahm im Laufe der Studie zu.

Krupinski et al. [2, 4] belegten sowohl 2010 als auch im Jahr 2012 den Anstieg der subjektiven Müdigkeitssymptome im Vergleich vor und nach einem Arbeitstag. Auch hier kam der SOFI-Fragebogen als subjektive Messmethode der Müdigkeit zum Einsatz. Hanna et al. [69] bestätigten diesen Effekt im Jahr 2017. Vorangegangene Studien [56, 3] wählten zur Erfassung der Müdigkeit zusätzlich bspw. die CFFF-Methode oder ein Augenrefraktometer zum Erfassen der Akkomodationsfähigkeit der Augen um objektive Messwerte zu erhalten. Die Kombination von sowohl subjektiven als auch objektiven Messmethoden weisen eine größere Aussagekraft auf.

Die erfassten Daten ließen Rückschlüsse auf den Zusammenhang zwischen der Müdigkeitsveränderung und dem Alter der Untersuchungsteilnehmer zu. Hinsichtlich der, mit Ausnahme des in Durchgang 1 mittels der NRS erfassten, fehlenden statistischen Signifikanz der Daten, konnte lediglich eine Tendenz des Zusammenhangs belegt werden. Alle angewandten Methoden zeigten sowohl in Durchgang 1 als auch in Durchgang 2 einen gegensinnigen Zusammenhang: Je älter die Untersuchungsteilnehmer, desto weniger müde wurden sie im Rahmen der Untersuchung verglichen mit den jüngeren Studienteilnehmern. In Betracht zu ziehen ist dementsprechend die Tatsache, dass sich mit zunehmendem Alter eine Kompensation der Müdigkeit bemerkbar macht.

Auch der Zusammenhang zwischen der Müdigkeitsveränderung und dem Vorhandensein einer Sehhilfe wurde untersucht. Dabei wiesen die differenten Methoden unterschiedliche Ergebnisse auf, sodass innerhalb des 1. Durchgangs kein signifikanter Zusammenhang erfasst werden konnte. Der 2. Durchgang zeigte mit Ausnahme der Werte der SOFI-Faktoren *körperl. Anstrengung* und *Beschwerden* die Tendenz, dass bei den Untersuchungsteilnehmern mit Sehhilfe ein größerer, jedoch nicht signifikanter Müdigkeitsanstieg verzeichnet

werden konnte als bei den Studienteilnehmern ohne Brille. Sehschwächen machen sich beispielsweise durch eine Zunahme der Ermüdung der Augen und einem Anstieg an Konzentrationsmangel bemerkbar. Das Tragen von Brillen als Sehhilfe kann diesen Effekt stabilisieren. Die vorliegende Untersuchung konnte den Untersuchern mit Brille keinen signifikant größeren Konzentrationsmangel nachweisen, was z.B. auch auf eine gut eingestellte augenärztliche Therapie hinweist.

5.3 Zusammenfassung der Diskussion

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die diagnostische Genauigkeit im Laufe der 40-minütigen Untersuchung für die gewählte Fragestellung und das angewandte Studiendesign keine signifikanten Veränderungen aufwies. Alle 21 Untersucher wiesen mit einem durchschnittlichen AUC-Wert von $0,768 \pm 0,091$ im 1. Durchgang sowie $0,775 \pm 0,075$ im 2. Durchgang eine durchgehend hohe diagnostische Genauigkeit bei der Befundung der Röntgenbilder auf das Vorhandensein einer apikalen Aufhellung auf.

Dabei ließ sich bei den Ärzten mit größerer Röntgenerfahrung eine nicht signifikante, höhere diagnostische Akkuratess erkennen. Ärzte mit höherem Ausbildungsgrad erwiesen sich als vergleichsweise signifikant genauer sowie schneller in ihrer Beurteilung eines jeden Röntgenbildes. *Krupinski et al.* [4], *Bechtold et al.* [7] sowie *Burling et al.* [6] konnten diesen Effekt in vorangegangenen Studien bereits feststellen. Die vorliegende Studie belegte des Weiteren, dass es im Laufe der Untersuchung zunehmend weniger Zeit zur Befundung der Röntgenbilder bedurfte. Es ließ sich in beiden Durchgängen erkennen, dass die durchschnittliche Anzahl der pro Intervall beurteilten Röntgenbilder im Rahmen der Studie signifikant zunahm.

Bei gleichbleibender diagnostischer Genauigkeit und zunehmender Bildbeurteilungsgeschwindigkeit konnte ein signifikanter Anstieg der Müdigkeit erfasst werden. Die Müdigkeitssymptome, welche einen Hinweis auf körperliche sowie geistige Ermüdung liefern, stiegen innerhalb beider Durchgänge an. Eine signifikante Aussage über den Zusammenhang zwischen der Müdigkeitsveränderung und dem Alter sowie dem Vorhandensein einer Sehhilfe konnte nicht getroffen werden. Die Tendenz zeigte, dass die älteren Untersuchungsteilnehmer über den 40-minütigen Zeitraum weniger müde wurden, die Untersuchungsteilnehmer mit Sehhilfe hingegen umso stärker.

5.4 Studieneinschränkungen/ Fehlerpotenzial

Die vorliegende Studie ist in ihrer Aussagekraft limitiert. Zur endgültigen Diagnostik pathologischer Befunde wird im zahnärztlichen Alltag neben der Beurteilung der Röntgenbilder auch die klinische Diagnostik zwingend benötigt. Erst das Zusammenspiel aus Klinik und Radiologie lässt auf einen aussagekräftigen Befund schließen. Im Falle der Studie wurde keinerlei klinische Diagnostik berücksichtigt.

Des Weiteren waren bei der Beurteilung der Röntgenbilder auf das Vorhandensein einer apikalen Aufhellung weder das Zoomen noch die Kontraständerung möglich, welche unter Normalbedingungen im zahnärztlichen Alltag möglich sind und eine detaillierte Beurteilung erlauben.

Die Aufnahmequalität der verwendeten Röntgenbilder wies vereinzelte Unterschiede auf. Überbelichtete Röntgenaufnahmen erschwerten die Beurteilung.

Sich wiederholende Bilder machen die Wiedererkennen der Röntgenaufnahmen möglich. Aufgrund der großen Anzahl der Röntgenbilder und der Kürze der Zeit ist es allerdings unwahrscheinlich.

Die geringe Anzahl der Probanden, insbesondere innerhalb des zweiten Durchgangs, erschwert das Treffen einer Aussage über die statische Signifikanz der Ergebnisse. Die Ergebnisse weisen größtenteils keinerlei statistische Signifikanz auf und lassen daher lediglich eine Interpretation hinsichtlich einer Tendenz zu.

Obwohl sich der SOFI-Fragebogen als Methode zur Erfassung der Müdigkeit im Berufsleben bewährt hat, bleibt es eine subjektive Methode zur Erfassung der Müdigkeit. Objektive Methoden zur Müdigkeitserfassung, wie beispielsweise die CFFF-Methode (s. Kapitel 2.2.4.2) oder das Erfassen der Akkomodationsfähigkeit der Augen mittels Augenrefraktometer kamen in vorangegangenen Untersuchungen [56, 3] zum Einsatz und konnten aussagekräftige Ergebnisse liefern. In weiterführenden Studien sollte gegebenenfalls neben der subjektiven Methode eine der objektiven Methoden zur Erfassung der Müdigkeit hinzugezogen werden. Des Weiteren war den Untersuchern bekannt, dass die Studie ihren Fokus auf die Auswirkung der Müdigkeit auf die diagnostische Genauigkeit legte. Unterbewusst könnten die Teilnehmer der Studie besondere Anstrengung geleistet haben um die Auswirkungen der Müdigkeit zu kompensieren und eine hohe diagnostische Genauigkeit zu gewährleisten. Dieser Aspekt hätte vermieden werden können, wenn die Untersuchungsteilnehmer keinerlei Aufklärung über den Hintergrund der Studie erfahren hätten.

6 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung bestand darin herauszufinden, ob und inwiefern Müdigkeit Auswirkungen auf die röntgendiagnostische Leistung von Zahnmedizinern hat. Zur Beantwortung dieser Fragestellung haben 21 Zahnmediziner der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz eine Datenbank von 96 sich in randomisierter Reihenfolge unendlich wiederholenden zahnärztlichen Röntgenbildern in einer eigens für die vorliegende Arbeit entwickelten Software in einem zeitlichen Rahmen von 40 Minuten ausgewertet: es wurde die diagnostische Genauigkeit der Röntgenbefundungen in Abhängigkeit der Zeit anhand einer Receiver-Operating-Characteristics-(ROC-)Analyse ermittelt.

Sowohl vor als auch nach der Untersuchung wurde der subjektive Müdigkeitszustand jedes Untersuchers anhand standardisierter und etablierter Fragebögen festgestellt und statistisch ausgewertet. Dazu wurden ähnlich bereits vorangegangener Studien die Swedish Occupational Fatigue Inventory (SOFI), die Visuelle Analogskala (VAS) sowie die Numerische Ratingskala (NRS) verwendet [2, 4].

Des Weiteren wurde auch der Zusammenhang zwischen der diagnostischen Genauigkeit und der Röntgenerfahrung, der Bildbetrachtungszeit und des Ausbildungsgrades ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen zusätzlich zu der Veränderung der Müdigkeit im Laufe der Zeit auch den Zusammenhang zwischen der Müdigkeitsveränderung und dem Alter der einzelnen Untersucher sowie dem Vorhandensein einer Sehhilfe.

Insgesamt konnte in der vorliegenden Studie festgestellt werden, dass die diagnostische Genauigkeit im Laufe der 40-minütigen Untersuchung für die gewählte Fragestellung und das angewandte Studiendesign keine signifikanten Veränderungen aufwies. Alle 21 Untersucher wiesen eine durchgehend hohe diagnostische Genauigkeit bei der Befundung der Röntgenbilder auf das Vorhandensein einer apikalen Aufhellung auf. Bei den Ärzten mit größerer Röntgenerfahrung ließ sich eine nicht signifikante, höhere diagnostische Akkuratess erkennen. Insgesamt erwiesen sich Ärzte mit höherem Ausbildungsgrad als vergleichsweise signifikant genauer sowie schneller in ihrer Beurteilung eines jeden Röntgenbildes. Die vorliegende Studie belegt des Weiteren, dass es im Laufe der Untersuchung zunehmend weniger Zeit zur Befundung der Röntgenbilder bedurfte. In beiden Durchgängen ließ sich erkennen, dass die durchschnittliche Anzahl der pro Intervall beurteilten Röntgenbilder im Rahmen der Studie signifikant zunahm. Bei gleichbleibender diagnostischer Genauigkeit und zunehmender Bildbeurteilungsgeschwindigkeit konnte ein signifikanter Anstieg der Müdigkeit erfasst werden. Die Müdigkeitssymptome, welche einen Hinweis auf körperliche sowie geistige Ermüdung liefern, stiegen innerhalb beider Durchgänge an. Über den Zusammenhang zwischen der Müdigkeitsveränderung und dem Alter sowie dem Vorhandensein

einer Sehhilfe konnte keine signifikante Aussage getroffen werden. Es zeigte sich lediglich eine Tendenz, dass die älteren Untersuchungsteilnehmer über den 40-minütigen Zeitraum weniger müde wurden, die Untersuchungsteilnehmer mit Sehhilfe hingegen umso stärker. Aufgrund zahlreicher limitierender Faktoren, darunter unter anderem die fehlende Möglichkeit von Zoomen und Kontraständerung sowie unterschiedliche Aufnahmequalitäten der verwendeten Röntgenbilder, sind die Ergebnisse der vorliegenden Studie in ihrer Aussagekraft limitiert. Feststellen ließen sich lediglich Tendenzen, welche die Ergebnisse vorangegangener Studien im humanmedizinischen Bereich bestätigen (Krupinski et al. [4], Bechtold et al. [7] sowie Burling et al. [6]). Um konkretere Aussagen treffen zu können sind zusätzliche, weiterführende Untersuchungen notwendig. Aufgrund des steigenden Arbeitspensums und des damit einhergehenden täglich wachsenden, auf den Schultern der Mediziner lastenden Drucks ist die Fragestellung in Zukunft interessanter als je zuvor.

Literatur

- [1] Sokolovskaya E, Shinde T, Ruchman RB, Kwak AJ, Lu S, Shariff YK, et al. *The Effect of Faster Reporting Speed for Imaging studies on the Number of Misses and Interpretation Errors: A Pilot Study.* J Am Coll Radiol. 2015;12.
- [2] Krupinski EA, Berbaum KS, Caldwell RT, Schartz KM, Kim J. *Long Radiology Workdays Reduce Detection and Accommodation Accuracy.* J Am Coll Radiol. 2010;7.
- [3] Krupinski EA, Berbaum KS. *Measurement of Visual Strain in Radiologists.* Acad Radiol. 2009;16.
- [4] Krupinski EA, Berbaum KS, Caldwell RT, Schartz KM, Madsen MT, Kramer DJ. *Do Long Radiology Workdays Affect Nodule Detection in Dynamic CT Interpretation?* J Am Coll Radiol. 2012;9.
- [5] Krupinski EA. *Reader Fatigue Interpreting Mammograms.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2010.
- [6] Burling D, Halligan S, Altman DG, Atkin W, Bartram C, Fenlon H, et al. *CT colonography interpretation times: effect of reader experience, fatigue, and scan findings in a multi-centre setting.* Eur Radiol. 2006;16.
- [7] Bechtold RE, Chen MYM, Ott DJ, Zagoria RJ, Scharling ES, Wolfman NT, et al. *Interpretation of Abdominal CT: Analysis of Errors and Their Causes.* Journal of Computer Assisted Tomography Volume. 1997;21.
- [8] Weber T. *Memoria Zahnmedizin.* DeL. Georg Thieme Verlag; 2009.
- [9] Röttscher K. *Forensische Zahnmedizin.* Springer; 2003.
- [10] Iannucci J, Howerton LJ. *Dental Radiography - E-Book: Principles and Techniques.* Elsevier Health Sciences; 2016.
- [11] Zöllner JE, Neugebauer J. *Digitale Volumetomographie: Grundlagen, Diagnostik und Therapieplanung.* Quintessenz-Verlag; 2013.
- [12] Düker J. *Praxisleitfaden zahnärztliche Radiologie.* Elsevier, Urban & Fischer; 2006.
- [13] Schulze RKW. *Chapter 2.5: "Dental radiography". In: Handbook of X-ray Imaging: Physics and Technology.* Ed. Paolo Russo. Series in Medical Physics and Biomedical Engineering. CRC Press; 2018.

- [14] Bundesamt für Strahlenschutz. *Nutzen und Risiko der Röntgendiagnostik*; Available from: <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/diagnostik/roentgen/nutzen-risiko.html>.
- [15] Fuhrmann A. *Zahnärztliche Radiologie*. ZMK Praxis. Thieme; 2013.
- [16] Schulze RKW. *Dentale digitale Volumentomographie – aktueller Stand*. Zahnmedizin up2date. 2013;7:227–241.
- [17] Bundesministerium für Umwelt NunS. *Strahlenschutzgesetz*; Available from: <https://www.bmu.de/faqs/strahlenschutzgesetz/>.
- [18] Bundesamt für Strahlenschutz. *Anteil verschiedener Röntgenuntersuchungen an der Gesamthäufigkeit in Deutschland im Jahr 2014 (Häufigkeitsverteilung)*. Statista - Das Statistik-Portal; 2014. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36450/umfrage/anteil-verschiedener-roentgenuntersuchungen-an-der-gesamthaeufigkeit-in-deutschland/>.
- [19] Bundesamt für Strahlenschutz. *Anzahl der Röntgenuntersuchungen in Deutschland im Jahr 2014 (in Millionen)*. Statista - Das Statistik-Portal; 2014. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/421746/umfrage/anzahl-der-roentgenuntersuchungen-in-deutschland/>.
- [20] Schulze RKW. *Das zahnärztliche Röntgen. Wo stehen wir heute?* IGZ - Die Alternative. 2015;3:8–12.
- [21] Bock JJ. *Digitale Radiologie in der Zahnarztpraxis: Zahnfilm, OPG, FRS und DVT*. Praxisorientiertes und praxiswirksames Expertenwissen für Zahnärzte. Spitta-Verlag; 2011.
- [22] Thiel HJ, Haßfeld S. *Schnittbilddiagnostik in MKG-Chirurgie und Zahnmedizin: CT, MRT, Nuklearmedizin und digitale Röntgenverfahren*. Georg Thieme Verlag; 2001.
- [23] Kiefer H, Lambrecht T, Roth J. *Strahlenexposition von analogen und digitalen Zahnstaten und Panoramaschichtaufnahmen*. Schweiz Monatsschr Zahnmed. 2004;114.
- [24] BRD B. *Richtlinie Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin oder Zahnmedizin*. Gemeinsames Ministerialblatt. 2003;54:638ff.
- [25] Schulze D. *Digitale Volumentomographie - Eine Einschätzung der aktuellen Situation*. IGZ - Die Alternative. 2015;3:16–20.

- [26] Düker J. *Röntgendiagnostik mit der Panoramaschichtaufnahme*. Thieme; 2000.
- [27] Hirsch E. *Strahlendosisbelastung bei DVT-Aufnahmen*. IGZ - Die Alternative. 2015;3:28–29.
- [28] Rathje J, Rother U, P J. *Die digitale Radiografie in der Zahnheilkunde*. ZWR Das deutsche Zahnärzteblatt. 2007;116.
- [29] Pasler FA, Visser H. *Taschenatlas der zahnärztlichen Radiologie*. Thieme; 2003.
- [30] Sonnabend E, Benz C. *Röntgentechnik in der Zahnheilkunde*. Urban & Fischer bei Elsevier; 2005.
- [31] Nötzel F, Schultz C, Hartung M. *Fernröntgenseitenbild-Analyse: mit 90 Tabellen*. Dt. Zahnärzte-Verlag; 2007.
- [32] Schulze R, Haßfeld S, Schulze D. *Leitlinie DVT S1-Empfehlung*. DZZ. 2009;64:490–496.
- [33] Reiser M, Kuhn FP, Debus J. *Duale Reihe Radiologie*. Duale Reihe. Georg Thieme Verlag; 2011.
- [34] Bumann A, Lotzmann U. *Band 12: Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien: . Zus.-Arb.: Axel Bumann, Ulrich Lotzmann 858 meist farbige Abbildungen in 1304 Einzeldarstellungen*. Farbatlant der Zahnmedizin. Thieme; 1999.
- [35] Keel P. *Die unerklärliche Müdigkeit: Was uns in große Erschöpfung treiben kann und wie wir wieder zu Kräften kommen können*. SpringerLink : Bücher. Springer Berlin Heidelberg; 2013.
- [36] Kochen MM. *Duale Reihe Allgemeinmedizin und Familienmedizin*. Duale Reihe. Thieme; 2012.
- [37] Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin, DEGAM. *DEGAM-Leitlinie Nr. 2: Müdigkeit*. omikron publishing Düsseldorf; 2011.
- [38] Glaus A, Crow R, Hammond S. *Müdigkeit/ Fatigue bei Gesunden und bei krebserkrankten Menschen: Teil 1: Eine qualitative Studie zur Konzeptanalyse*. Pflege. 1999;12:11–19.
- [39] Krupinski E, Reiner BI. *Real-Time Occupational Stress and Fatigue Measurement in Medical Imaging Practice*. J Digit Imaging. 2012;25:319–324.

- [40] Roth V, Pithan C. *Hilfe bei Schlafstörungen: selbst aktiv werden Beschwerden lindern und heilen Lebensqualität steigern*. Gesundheit zum Mitmachen. Knauer MensSana eBook; 2018.
- [41] Watson RR. *Melatonin in the Promotion of Health, Second Edition*. CRC Press; 2011.
- [42] Schmidt RF, Lang F, Heckmann M. *Physiologie des Menschen: Mit Pathophysiologie*. Springer-Lehrbuch. Springer Berlin Heidelberg; 2011.
- [43] Kulbe A. *Grundwissen Psychologie, Soziologie und Pädagogik: Lehrbuch für Pflegeberufe*. Kohlhammer Pflege : Aus- und Weiterbildung. Kohlhammer; 2009.
- [44] Comberg HU, Barlet J. *Allgemeinmedizin: 39 Tabellen*. Essentials - Intensivkurs zur Weiterbildung. Thieme; 2004.
- [45] Neumayr A, Baubin M, Schinnerl A. *Risikomanagement in der prähospitalen Notfallmedizin: Werkzeuge, Maßnahmen, Methoden*. Springer Berlin Heidelberg; 2015.
- [46] Hoddes E, Dement W, Zarcone V. *Quantification of sleepiness: a new approach*. *Psychophysiology*. 1973;10:431–436.
- [47] Buysse DJ, Reynolds CF, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. *The Pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research*. *Psychiatry Research*. 1989;28(2):193–213.
- [48] Johns MW. *A New Method for Measuring Daytime Sleepiness: The Epworth Sleepiness Scale*. *Sleep*. 1991;14(6):540–545.
- [49] Johns MW. *The Epworth Sleepiness Scale*. Available from: <http://epworthsleepinessscale.com/about-the-ess/>.
- [50] Valko PO, Bassetti CL, Bloch KE, Held U, Baumann CR. *Validation of the Fatigue Severity Scale in a Swiss Cohort*. *SLEEP*. 2008;31:1601–1607.
- [51] González Gutiérrez JL, Jiménez BM, Hernández EG, López López A. *Spanish version of the Swedish Occupational Fatigue Inventory (SOFI): Factorial replication, reliability and validity*. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2005;35(8):737–746.
- [52] Casser HR, Hasenbring M, Becker A, Baron R. *Rückenschmerzen und Nackenschmerzen: Interdisziplinäre Diagnostik und Therapie, Versorgungspfade, Patientenedukation, Begutachtung, Langzeitbetreuung*. Springer Berlin Heidelberg; 2016.

- [53] Menche N, Bürger-Mildenberger A. *Innere Medizin: Lehrbuch für Pflegeberufe*. Pflege konkret. Elsevier, Urban & Fischer; 2007.
- [54] Basner M, Mollicone D, Dinges DF. *Validity and Sensitivity of a Brief Psychomotor Vigilance Test (PVT-B) to Total and Partial Sleep Deprivation*. *Acta astronautica*. 2011;69(11-12):949–959.
- [55] Loh S, Lamond N, Dorrian J, Roach G, Dawson D. *The validity of psychomotor vigilance tasks of less than 10-minute duration*. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*. 2004 May;36(2):339–346.
- [56] Maeda E, Yoshikawa T, Hayashi N, Akai H, Hanaoka S, Sasaki H, et al. *Radiology reading-caused fatigue and measurement of eye strain with critical flicker fusion frequency*. *Jpn J Radiol*. 2011;29:483–487.
- [57] Łuczak A, Sobolewski A. *The Relationship Between Critical Flicker Fusion Frequency (CFFF) and Temperamental Characteristics*. *International Journal of occupational safety and ergonomics*. 2000;6:493–505.
- [58] Ahsberg E, Gamberale F, Kjellberg A. *Perceived quality of fatigue during different occupational tasks. Development of a questionnaire*. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 1997;20:121–135.
- [59] Ahsberg E. *Dimensions of fatigue in different working populations*. *Scandinavian Journal of Psychology*. 2000;41:231–241.
- [60] Memmert D, Weickgenannt J. *Zum Einfluss sportlicher Aktivität auf die Konzentrationsleistung im Kindesalter*. *Spectrum der Sportwissenschaften*. 2006;18:77–99. Wiener Neudorf.
- [61] Baumann S. *Psyche in Form: Sportpsychologie auf einen Blick ; [Selbstvertrauen stärken, Motivation fördern, Stress bewältigen]*. Meyer + Meyer Fachverlag; 2011.
- [62] Trützscher J. *Aufmerksamkeit und Konzentration unter besonderer Berücksichtigung des schulischen Zusammenhangs: Definition, Bedeutung, Diagnostik*. GRIN; 2005.
- [63] Teschler F. *Mehr Aufmerksamkeit & bessere Konzentration: Neue Ansätze im Umgang mit ADHS und Konzentrationsproblemen*. Kompaktwissen: Teschler Lernförderung. Teschler GbR; 2013.
- [64] Büttner G, Schmidt-Atzert L. *Diagnostik von Konzentration und Aufmerksamkeit*. Hogrefe Verlag; 2004.

- [65] Domsch H, Lohaus A, Glüer M. *Entwicklungsförderung im Kindesalter: Grundlagen, Diagnostik und Intervention - Konzentration und Aufmerksamkeit*. Hogrefe-Verlag; 2014.
- [66] Knopf M. *Gedächtnis im Alter: Empirische Studien zur Entwicklung des verbalen Gedächtnisses bei älteren Menschen*. Lehr- und Forschungstexte Psychologie. Springer Berlin Heidelberg; 2013.
- [67] Kemmerich R. *ADHS von A bis Z: Kompaktes Praxiswissen für Betroffene und Therapeuten*. Kohlhammer Verlag; 2017.
- [68] Brinkmann R, Lutzenberger W, Elbert T, Rockstroh B, Birbaumer N. *Das EEG: Psychophysiologie und Methodik von Spontan-EEG und ereigniskorrelierten Potentialen*. Springer Berlin Heidelberg; 2013.
- [69] Hanna TN, Lamoureux C, Krupinski EA, Weber S, Johnson JO. *Effect of Shift, Schedule, and Volume on Interpretive Accuracy: A Retrospective Analysis of 2.9 Million Radiologic Examinations*. Radiology. 2017;.
- [70] MacKenzie W. *On asthenopia or weak-sightedness*. Edinburgh J Med and Surg. 1843;.
- [71] Hanna TN, Zygmunt ME, Peterson R, Theriot D, Shekhani H, Johnson JO, et al. *The Effects of Fatigue From Overnight Shifts on Radiology Search Patterns and Diagnostic Performance*. J Am Coll Radiol. 2018;.
- [72] Robinson PJ. *"Radiology's Achilles"heel: error and variation in the interpretation of the Röntgen image*. The British journal of Radiology. 1997;70:1085–1098.
- [73] Bankier AA, Levine D, Halpern EF, Kressel HY. *Consensus interpretation in imaging research: is there a better way?* Radiology. 2010;257:14–17.
- [74] Team R. *A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria. 2017; Available from: <http://www.R-project.org/>.
- [75] Gaus W, Muche R. *Medizinische Statistik: Angewandte Biometrie für Ärzte und Gesundheitsberufe*. Schattauer GmbH; 2017.
- [76] Held L, Rufibach K, Seifert B. *Medizinische Statistik: Konzepte, Methoden, Anwendungen*. Always learning. Pearson Studium; 2013.
- [77] Weiß C, Rzany B. *Basiswissen Medizinische Statistik*. Springer-Lehrbuch. Springer Berlin Heidelberg; 2013.

- [78] Rasch B, Frieze M, Hofmann W, Naumann E. *Quantitative Methoden 1: Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. Springer-Lehrbuch. Springer Berlin Heidelberg; 2014.
- [79] Cohen J. *A Power Primer*. *Psychological Bulletin*. 1992;112:155–159.

Anhang

Anhang 1: Die 5 SOFI-Faktoren - The english version

fatigue type	latent factors	group of expressions
physical & mental fatigue	<i>Lack of energy</i>	Worn Out Exhausted Spent Drained Overworked
physical fatigue	<i>Physical exertion</i>	Palpitations Sweaty Warm Out of Breath Breathing Heavily
physical fatigue	<i>Physical discomfort</i>	Tense Muscles Numbness Stiff Joints Hurting Aching
mental fatigue	<i>Lack of motivation</i>	Lack of concern Listless Passive Indifferent Uninterested
mental fatigue	<i>Sleepiness</i>	Lazy Falling Asleep Drowsy Yawning Sleepy

Anhang 2: Swedish Occupational Fatigue Inventory - The original version

Swedish Occupational Fatigue Inventory

To what extent does the expression describe how you feel now. Answer spontaneously and mark the number that corresponds to how you feel right now. The numbers vary between 0 (not at all) and 10 (to a very high degree).

Palpitations	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lack of Concern	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lazy	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Worn Out	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tense Muscles	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Numbness	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sweaty	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Exhausted	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Listless	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Falling Asleep	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Spent	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Drowsy	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Passive	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stiff Joints	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Warm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Indifferent	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hurting	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Out of breath	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Yawning	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Drained	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sleepy	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Overworked	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aching	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Breathing heavily	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Uninterested	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Anhang 3: Zusammenhang zwischen Müdigkeit und Diagnostik

Jahr	Autor	Anzahl/ Art der Röntgenaufnahmen	Methodik	Teilnehmer	Ergebnisse
1997	<i>Bechthold et al.</i> [7]	694 Abdomen-CT	Überprüfung bereits begutachteter CT-Fälle Erfassen der Fehlerrate in Abhängigkeit von <ul style="list-style-type: none"> • Anzahl d. Fälle pro Tag • Ausbildungsgrad • CT-Strukturen 	3 bis 5 Radiologen	Fehlerrate ↑ bei ≥ 20 Fälle pro Tag geringere Fehlerrate bei Radiologen mit höherem Ausbildungsgrad Fehlerrate ↓ bei fehlender externer Unterbrechung
2006	<i>Burling et al.</i> [6]	40 Kolonographien	Beurteilung der Röntgenbilder auf das Vorhandensein von Tumor oder Polyp Klassifizierung und Größenbeurteilung des Befundes Zeitraum: ohne Vorgabe Erfassen der <ul style="list-style-type: none"> • Dauer der Befundung • diagnostischen Genauigkeit/ Fehlerrate 	9 Radiologen unterschiedlichen Ausbildungsgrades 10 Röntgentechniker	Erfahrene Radiologen benötigten weniger Zeit Die diagnostische Genauigkeit der erfahrenen Radiologen war größer Röntgenaufnahmen mit pathologischem Befund wurden länger begutachtet Die letzten 5 Fälle wurden um 30 % schneller befundet

2009	<i>Krupinski, Berbaum</i> [3]	67 digitale CT-/CR-Aufnahmen	<p>2 Sessions:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Session I am Morgen • Session II am Abend nach Ø5,73 Stunden Arbeit <p>Zeitraum: 30 Minuten Beurteilung der Aufnahmen in unterschiedlicher Entfernung (20 bis 183 cm) Erfassen der Akkomodationsfähigkeit sekundlich mittels Ref-Keratometer</p>	6 Radiologen <ul style="list-style-type: none"> • 3 Fachärzte • 3 Assistenzärzte 	<p>Akkomodationsfähigkeit in Session II ↓ (v.a. bei höherem Alter der Radiologen)</p> <p>Akkomodationsfähigkeit ↓ ↓ ↓ bei geringer Objektentfernung</p>
2010	<i>Krupinski et al.</i> [5]	<p>Mammographien</p> <ul style="list-style-type: none"> • konventionelle Aufnahmen • digitale Aufnahmen 	<p>retrospektive Studie über 4 Studien à je 2 Sessions:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Am Morgen • Am Abend 	6 Radiologen pro Studie	<p>„Am Abend“: Leistungsfähigkeit ↓ Fehlerrate ↑ längere Befundungszeit (v.a. bei digitalen Aufnahmen)</p>

2010	<i>Krupinski et al.</i> [2]	<p>60 Fälle (je 2 bis 4 Bilder der Handgelenk-, Fußgelenk-, Schulter- oder Rippenknochen)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 30 Fälle ohne Fraktur • 30 Fälle mit Fraktur 	<p>2 Sessions:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vor Arbeitstag • Nach Arbeitstag <p>Zeitraum: ohne Vorgabe</p> <p>Beurteilung der Röntgenbilder auf das Vorhandensein einer Fraktur</p> <p>Lokalisation der Fraktur</p> <p>Angabe der Überzeugung einer richtig-positiven Entscheidung (definite, probable, possible, suspicious & Skala von 0 – 100 %)</p> <p>Erfassen von</p> <ul style="list-style-type: none"> • visueller Akkommodation • Befundungszeit • visueller Anstrengung <p>Erfassen der subjektiven körperlichen, mentalen und visuellen Müdigkeit mittels</p> <ul style="list-style-type: none"> • SOFI • SSQ 	<p>40 Radiologen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 20 Fachärzte • 20 Assistenzärzte 	<p>Fachärzte benötigten weniger Zeit als Assistenzärzte</p> <p>„Nach Arbeitstag“:</p> <p>Röntgendiagnostische Genauigkeit ↓</p> <p>Fehlerrate ↑</p> <p>Akkommodationsfähigkeit ↓</p> <p>Anstrengung der Augen nach Arbeitstag ↑</p> <p>subjektive Müdigkeit nach Arbeitstag ↑↑↑</p>
------	-----------------------------	---	---	--	---

2012

Krupinski et al. [4] 110 Thorax-CTs

2 Sessions:

- Vor Arbeitstag
- Nach Arbeitstag

Zeitraum: 60 Minuten

Pro Session:

- 10 Fälle frei scrollbar
- 100 Fälle à 20 Schnitte in festgelegter Reihenfolge und 14.18 Sekunden pro CT-Sequenz

Beurteilung der Röntgenbilder auf das Vorhandensein eines solitären Lungendrundherds

Lokalisation des Befunds

Angabe der Überzeugung einer richtig-positiven Entscheidung (definite, probable, possible, suspicious & Skala von 0 – 100 %)

Erfassen der subjektiven körperlichen, mentalen und visuellen Müdigkeit mittels

- SOFI
- SSQ

44 Radiologen

- 22 Fachärzte
- 22 Assistenzärzte

„Nach Arbeitstag“:

Röntgendiagnostische Genauigkeit ↓

Fehlerrate ↑

Subjektive Müdigkeit ↑

2017	<i>Hanna et al.</i> [71]	20 Röntgenaufnahmen (Hand(gelenks)-, Fuß(gelenks)-, Schulter- oder Rippenaufnahmen) <ul style="list-style-type: none"> • 5 Bilder ohne Fraktur • 15 Bilder mit Fraktur 	2 Sessions: <ul style="list-style-type: none"> • Nach 9-Stunden-Tagschicht • Nach 9-Stunden-Nachtschicht Beurteilung der Röntgenbilder auf das Vorhandensein einer Fraktur Lokalisierung der Fraktur Klassifizierung der Fraktur Angabe der Überzeugung einer richtig- positiven Entscheidung (von „low“ über „medium“ bis „high“) Erfassen der physischen sowie mentalen Müdigkeit mittels SOFI Erfassen der Dauer des Befundes Eye Tracking zur Erfassung der Augen- position auf der Röntgenaufnahme	12 Radiologen <ul style="list-style-type: none"> • 5 Universitätslehrkräfte • 7 Assistenzärzte 	„Nach 9-Stunden-Nachtschicht“: Physische und mentale Müdigkeitssymptome ↑ Diagnostische Leistung ↓ Befundungsdauer pro Bild ↑ (um 45 %) Anzahl fixierter Punkte pro Bild ↑ (um 60 %) spätere Wahrnehmung der Frakturen Assistenzärzte von den Effekten mehr betroffen
------	-----------------------------	--	---	---	--

Anhang 4: Daten der Studienteilnehmer

Untersucher-Nr.	Alter [Jahre]	Geschlecht	Berufstand	Röntgenerfahrung [Jahre]
Untersucher 01	25	männlich	Assistenzarzt	3
Untersucher 02	26	männlich	Assistenzarzt	5
Untersucher 03	25	weiblich	Assistenzärztin	3
Untersucher 04	34	männlich	Facharzt	9
Untersucher 05	27	weiblich	Assistenzärztin	4
Untersucher 06	28	männlich	Assistenzarzt	3
Untersucher 07	25	weiblich	Assistenzärztin	3
Untersucher 08	26	männlich	Assistenzarzt	3
Untersucher 09	32	männlich	Facharzt	9
Untersucher 10	35	männlich	Assistenzarzt	3
Untersucher 11	29	weiblich	Assistenzärztin	3
Untersucher 12	25	weiblich	Assistenzärztin	3
Untersucher 13	32	männlich	Assistenzarzt	7
Untersucher 14	31	männlich	Assistenzarzt	4
Untersucher 15	31	männlich	Facharzt	8
Untersucher 16	36	männlich	Assistenzarzt	8
Untersucher 17	28	weiblich	Assistenzärztin	7
Untersucher 18	25	weiblich	Assistenzärztin	3
Untersucher 19	26	weiblich	Assistenzärztin	5
Untersucher 20	28	weiblich	Assistenzärztin	4
Untersucher 21	52	männlich	Oberarzt	27

Anhang 5: Angewendete Sehhilfen der Studienteilnehmer

Untersucher-Nr.	Sehhilfe?	Rechtes Auge [Dpt]	Linkes Auge [Dpt]
Untersucher 01	ja	o.A.	o.A.
Untersucher 02	ja	-1,5	-1,5
Untersucher 03	nein		
Untersucher 04	ja	-0,75	-1,25
Untersucher 05	nein		
Untersucher 06	nein		
Untersucher 07	nein		
Untersucher 08	nein		
Untersucher 09	ja	-0,5	-0,25
Untersucher 10	ja	-3,0	-3,75
Untersucher 11	ja	-1,75	-1,5
Untersucher 12	ja	+0,75	+1,25
Untersucher 13	nein		
Untersucher 14	nein		
Untersucher 15	ja	-2,75	-3,25
Untersucher 16	ja	o.A.	o.A.
Untersucher 17	ja	-1,25	-0,75
Untersucher 18	nein		
Untersucher 19	ja	+0,5	+0,5
Untersucher 20	ja	+1,0	+1,0
Untersucher 21	nein		

Anhang 6: Anzahl der beurteilten Bilddaten der einzelnen Untersuchungen

Untersucher-Nr.	Anzahl der beurteilten Bilddaten	Untersucher-Nr.	Anzahl der beurteilten Bilddaten
Untersucher 01	259	Untersucher 11	225
Untersucher 02	291	Untersucher 12	375
Untersucher 03	388	Untersucher 13	389
Untersucher 04	587	Untersucher 14	369
Untersucher 05	471	Untersucher 15	337
Untersucher 06	191	Untersucher 16	462
Untersucher 07	247	Untersucher 17	388
Untersucher 08	207	Untersucher 18	377
Untersucher 09	167	Untersucher 19	394
Untersucher 10	300	Untersucher 20	382
		Untersucher 21	490

Anhang 7: Startseite der Software ImageViewerStopWatch

Test Starten

Name: Untersuchung_00

Bildordner: C:\Desktop\RoeBilder_Auswertung_Dissertation_D_G_ma ...

Testdauer (min): 40

Bilder in Originalgröße anzeigen

Start

Anhang 8: Aufbau der Software ImageViewerStopWatch

Ablaufende Zeit in Minuten → Gesamtzeit: 00:02

Bewertung

- 1: sicher **nicht** vorhandene apikale Aufhellung
- 2: wahrscheinlich **nicht** vorhandene apikale Aufhellung
- 3: unsicher, ob vorhandene oder **nicht** vorhandene apikale Aufhellung
- 4: wahrscheinlich vorhandene apikale Aufhellung
- 5: sicher vorhandene apikale Aufhellung

Weiter

Weiter-Button zur Anzeige des nächsten Röntgenbildes

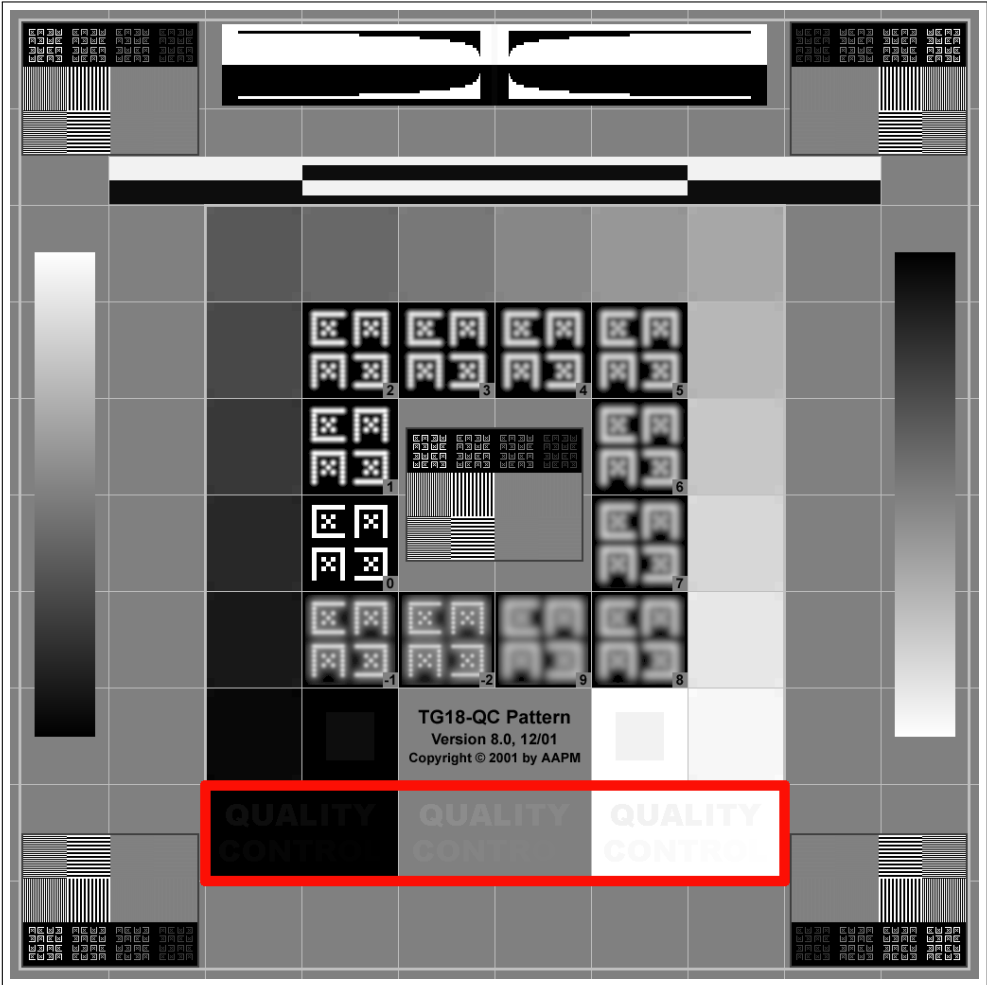
Beenden-Button zum eigenständigen Beenden der Untersuchung

Beenden

Buttons von 1 - 5 zur Bewertung des linksständigen Röntgenbildes

Anzeige der Röntgenbilder in randomisierter Reihenfolge

Anhang 9: Testbild zur täglichen Qualitätskontrolle des Monitors



„AAPM TG18-QC-Testpattern, American Association of Physicists in Medicine (AAPM), Alexandria, VA, USA“

Anhang 10: Kontrollbogen zur täglichen Qualitätskontrolle des Monitors

Tägliche Qualitäts-Kontrolle Monitor Testbild "TG18-QC-2k-01.dcm"

Bitte auf der unten gezeigten Abbildung jeweils auf jedem der drei Felder markieren, welcher **der letzte, gerade noch erkennbare Buchstabe** des dort erkennbaren Ausdrucks "Quality Control" darstellt.

Datum	dunkles Feld	mittleres Feld	helles Feld
13. August 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
14. August 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
15. August 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
16. August 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
17. August 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
20. August 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
21. August 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
22. August 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
28. August 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
29. August 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
31. August 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
4. September 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
2. Oktober 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
12. Oktober 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
21. Oktober 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
21. November 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
4. Dezember 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL
28. Dezember 2018	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL	QUALITY CONTROL

Lisa Weber
Mainz, 28. Dezember 2018

Anhang 11: Informationsblatt Studie

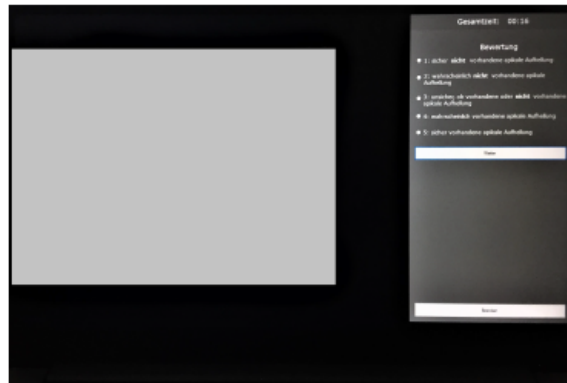


UNIVERSITÄTSmedizin.
MAINZ

Informationsbogen

► **Untersuchung der Ermüdung von Untersuchern bei der Befundung von Röntgenaufnahmen anhand der Evaluation der diagnostischen Genauigkeit**

Software ImageViewerStopWatch



Erläuterung:

- 1 = sicher **nicht** vorhandene apikale Aufhellung
- 2 = wahrscheinlich **nicht** vorhandene apikale Aufhellung
- 3 = unsicher, ob vorhandene oder **nicht** vorhandene apikale Aufhellung
- 4 = wahrscheinlich vorhandene apikale Aufhellung
- 5 = sicher vorhandene apikale Aufhellung

Anhang 12: Fragebogen zur Evaluation subjektiver Müdigkeit

Subjektive Einschätzung der Müdigkeit

Swedish Occupational Fatigue Inventory

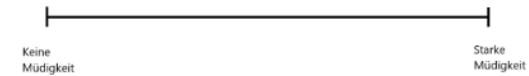
Wie fühlen Sie sich gerade? Antworten Sie spontan und markieren Sie die Zahl, die mit Ihrem Gefühl korrespondiert.

Die Zahlen variieren zwischen 0 (ganz und gar nicht) und 10 (voll und ganz).

Herzklopfen/-rasen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unbekümmertheit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Faul/ Träge	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Abgekämpft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Angespannte Muskeln	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Benommen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Geschwitzt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Erschöpft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lustlos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Am Einschlafen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Verausgabt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schläfrig	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unbeteiligt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Steife Gelenke	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Warm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gleichgültig	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leidend/ Verletzt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Außer Atem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gähmend	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ausgelaugt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Müde	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Überarbeitet	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schmerzhaft	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schwere Atmung	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Desinteressiert	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Visuelle Analog-Skala

Bitte zutreffendes anhand eines senkrechten Striches einzeichnen:



Numerische Rating-Skala

Bitte ordnen Sie auf der folgenden Skala Ihre Müdigkeit ein. „0“ steht für *keine Müdigkeit*, „10“ entspricht *starker Müdigkeit*.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Anhang 13: Persönliche Informationen der Untersuchungsteilnehmer

► Informationen

Bitte zutreffendes ankreuzen bzw. ausfüllen:

△ Ich bin...

weiblich

männlich

△ Ich bin...

Assistenzarzt/-ärztin

Facharzt/-ärztin

△ Meine Erfahrung beim Befunden von Röntgenbildern entspricht ____ Jahren.

△ Ich bin ____ Jahre alt.

△ Ich benötige eine Sehhilfe.

rechts: ____ Dpt

links: ____ Dpt

Ich benötige **keine** Sehhilfe.

Anhang 14: Ergebnisse: Sensitivität und Spezifität

Untersuchernr.	Sensitivität		Spezifität	
	<i>Durchgang 1</i>	<i>Durchgang 2</i>	<i>Durchgang 1</i>	<i>Durchgang 2</i>
Untersucher 01	0,8	0,68	0,59	0,84
Untersucher 02	0,65	0,51	0,87	0,91
Untersucher 03	0,63		0,88	
Untersucher 04	0,35		0,98	
Untersucher 05	0,72	0,57	0,86	0,91
Untersucher 06	0,71		0,79	
Untersucher 07	0,67		0,79	
Untersucher 08	0,78		0,63	
Untersucher 09	0,59	0,4	0,81	0,94
Untersucher 10	0,69		0,71	
Untersucher 11	0,83		0,7	
Untersucher 12	0,34		0,92	
Untersucher 13	0,77		0,63	
Untersucher 14	0,49		0,89	
Untersucher 15	0,63		0,6	
Untersucher 16	0,47		0,96	
Untersucher 17	0,81		0,62	
Untersucher 18	0,64		0,84	
Untersucher 19	0,55		0,93	
Untersucher 20	0,55		0,9	
Untersucher 21	0,57	0,77	0,91	0,81

Anhang 15: Ergebnisse: VAS

Untersuchernr.	VAS-Score PRÄ [%]		VAS-Score POST [%]		Differenz (POST-PRÄ) [%]	
	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>
Untersucher 01	30,5	23	38	43	+7,5	+20
Untersucher 02	55	65	78	82	+23	+17
Untersucher 03	47		52		+5	
Untersucher 04	42,5		50,5		+8	
Untersucher 05	45	18	49	18	+4	0
Untersucher 06	12		19		+7	
Untersucher 07	18		52		+34	
Untersucher 08	15		50		+35	
Untersucher 09	1	23	7	24	+6	+1
Untersucher 10	10		13,5		+3,5	
Untersucher 11	57,5		60		+2,5	
Untersucher 12	46,5		47,5		+1	
Untersucher 13	13		13		0	
Untersucher 14	39		48		+9	
Untersucher 15	68		72		+4	
Untersucher 16	2		2		0	
Untersucher 17	15		23		+8	
Untersucher 18	12		29		+17	
Untersucher 19	63		78		+15	
Untersucher 20	64		86		+22	
Untersucher 21	31	14,5	43	18	+12	+3,5

Anhang 16: Ergebnisse: NRS

Untersuchernr.	NRS-Score PRÄ		NRS-Score POST		Differenz (POST-PRÄ)	
	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>
Untersucher 01	2	1	4	3	+2	+2
Untersucher 02	6	8	7	8	+1	0
Untersucher 03	4		4		0	
Untersucher 04	5		5		0	
Untersucher 05	3	2	4	2	+1	0
Untersucher 06	1		2		+1	
Untersucher 07	2		5		+3	
Untersucher 08	2		5		+3	
Untersucher 09	0	3	1	3	+1	0
Untersucher 10	1		1		0	
Untersucher 11	5		5		0	
Untersucher 12	4		4		0	
Untersucher 13	2		3		+1	
Untersucher 14	4		5		+1	
Untersucher 15	6		7		+1	
Untersucher 16	1		1		0	
Untersucher 17	1		1		0	
Untersucher 18	2		4		+2	
Untersucher 19	7		8		+1	
Untersucher 20	5		7		+2	
Untersucher 21	2	2	2	2	0	0

Anhang 17: Ergebnisse: SOFI_{Energiemangel}

SOFI-Faktor: Energiemangel						
Untersuchernr.	Score PRÄ		Score POST		Differenz (POST-PRÄ)	
	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>
Untersucher 01	13	8	26	13	+13	+5
Untersucher 02	25	35	32	37	+7	+2
Untersucher 03	23		13		-10	
Untersucher 04	11		10		-1	
Untersucher 05	10	6	21	12	+11	+6
Untersucher 06	2		3		+1	
Untersucher 07	2		5		+3	
Untersucher 08	13		33		+20	
Untersucher 09	0	0	0	0	0	0
Untersucher 10	1		1		0	
Untersucher 11	11		10		-1	
Untersucher 12	10		14		+4	
Untersucher 13	5		5		0	
Untersucher 14	12		20		+8	
Untersucher 15	14		31		+17	
Untersucher 16	0		0		0	
Untersucher 17	0		9		+9	
Untersucher 18	1		3		+2	
Untersucher 19	30		31		+1	
Untersucher 20	21		30		+9	
Untersucher 21	11	8	5	5	-6	-3

Anhang 18: Ergebnisse: SOFI_{Körperl. Anstrengung}

SOFI-Faktor: Körperliche Anstrengung						
Untersuchernr.	Score PRÄ		Score POST		Differenz (POST-PRÄ)	
	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>
Untersucher 01	6	3	6	0	0	-3
Untersucher 02	12	18	14	11	+2	-7
Untersucher 03	0		0		0	
Untersucher 04	4		6		+2	
Untersucher 05	12	11	22	12	+12	+1
Untersucher 06	8		4		-4	
Untersucher 07	13		12		-1	
Untersucher 08	15		22		+7	
Untersucher 09	0	0	0	0	0	0
Untersucher 10	4		2		-2	
Untersucher 11	2		1		-1	
Untersucher 12	5		4		-1	
Untersucher 13	14		12		2	
Untersucher 14	10		12		+2	
Untersucher 15	6		7		+1	
Untersucher 16	0		0		0	
Untersucher 17	0		0		0	
Untersucher 18	2		1		-1	
Untersucher 19	5		5		0	
Untersucher 20	6		8		+2	
Untersucher 21	21	9	15	10	-6	+1

Anhang 19: Ergebnisse: SOFI_{Körperl. Beschwerden}

SOFI-Faktor: Körperliche Beschwerden						
Untersuchernr.	Score PRÄ		Score POST		Differenz (POST-PRÄ)	
	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>
Untersucher 01	6	3	8	5	+2	+2
Untersucher 02	13	22	18	15	+5	-7
Untersucher 03	15		8		-7	
Untersucher 04	6		8		+2	
Untersucher 05	7	8	15	8	+8	0
Untersucher 06	0		0		0	
Untersucher 07	0		1		+1	
Untersucher 08	19		28		+9	
Untersucher 09	0	0	0	0	0	0
Untersucher 10	0		0		0	
Untersucher 11	0		0		0	
Untersucher 12	9		4		-5	
Untersucher 13	1		1		0	
Untersucher 14	0		2		+2	
Untersucher 15	7		0		-7	
Untersucher 16	0		0		0	
Untersucher 17	0		0		0	
Untersucher 18	0		2		+2	
Untersucher 19	9		11		+2	
Untersucher 20	8		15		+7	
Untersucher 21	8	3	2	1	-6	-2

Anhang 20: Ergebnisse: SOFI_{Motivationsmangel}

SOFI-Faktor: Körperliche Beschwerden						
Untersuchernr.	Score PRÄ		Score POST		Differenz (POST-PRÄ)	
	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>
Untersucher 01	10	12	17	16	+7	+4
Untersucher 02	28	35	41	37	+13	+2
Untersucher 03	15		5		-10	
Untersucher 04	11		14		+3	
Untersucher 05	25	12	13	10	-12	-2
Untersucher 06	11		8		-3	
Untersucher 07	10		0		-10	
Untersucher 08	11		21		+10	
Untersucher 09	0	0	0	0	0	0
Untersucher 10	1		0		-1	
Untersucher 11	8		6		-2	
Untersucher 12	13		9		-4	
Untersucher 13	12		6		-6	
Untersucher 14	7		3		-4	
Untersucher 15	34		36		+2	
Untersucher 16	0		0		0	
Untersucher 17	0		0		0	
Untersucher 18	11		16		+5	
Untersucher 19	24		30		+6	
Untersucher 20	22		8		-14	
Untersucher 21	14	5	11	7	-3	+2

Anhang 21: Ergebnisse: SOFI_{Schläfrigkeit}

SOFI-Faktor: Schläfrigkeit						
Untersuchernr.	Score PRÄ		Score POST		Differenz (POST-PRÄ)	
	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>
Untersucher 01	8	6	9	13	+1	+7
Untersucher 02	27	32	39	34	+12	+2
Untersucher 03	35		18		-17	
Untersucher 04	8		10		+2	
Untersucher 05	20	12	18	9	-2	-3
Untersucher 06	7		8		+1	
Untersucher 07	10		0		-10	
Untersucher 08	10		31		+21	
Untersucher 09	0	0	0	0	0	0
Untersucher 10	2		2		0	
Untersucher 11	12		8		-4	
Untersucher 12	15		12		-3	
Untersucher 13	12		8		-4	
Untersucher 14	15		21		+6	
Untersucher 15	23		30		+7	
Untersucher 16	1		2		+1	
Untersucher 17	1		3		+2	
Untersucher 18	3		14		+11	
Untersucher 19	29		35		+6	
Untersucher 20	20		28		+8	
Untersucher 21	14	7	3	6	-11	-1

Anhang 22: Ergebnisse: SOFI_{Gesamt}

SOFI: Gesamt						
Untersuchernr.	Score PRÄ		Score POST		Differenz (POST-PRÄ)	
	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>
Untersucher 01	44	32	66	47	+22	+15
Untersucher 02	105	142	144	134	+39	-8
Untersucher 03	88		44		-44	
Untersucher 04	40		48		+8	
Untersucher 05	74	49	89	51	+15	+2
Untersucher 06	28		23		-5	
Untersucher 07	37		31		-6	
Untersucher 08	68		135		+67	
Untersucher 09	0	0	0	0	0	0
Untersucher 10	8		5		-3	
Untersucher 11	33		25		-8	
Untersucher 12	52		43		-9	
Untersucher 13	44		32		-12	
Untersucher 14	44		58		+14	
Untersucher 15	84		104		+20	
Untersucher 16	1		2		+1	
Untersucher 17	1		12		+11	
Untersucher 18	17		36		+19	
Untersucher 19	97		112		+15	
Untersucher 20	77		89		+12	
Untersucher 21	68	32	36	29	-32	-3

Anhang 23: CD: Auswertung der einzelnen Studienteilnehmer inkl. Fragebögen

siehe CD

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen besonderen Dank nachstehenden Personen entgegenbringen, ohne deren Mithilfe die Anfertigung der vorliegenden Dissertation nicht zustandegekommen wäre:

Zunächst bedanke ich mich ganz herzlich bei meinem Doktorvater: vielen lieben Dank für die ausgezeichnete Betreuung bei der Anfertigung der Promotionsschrift. Das konstruktive Feedback, das Mitdenken sowie die Mühe haben mich stets motiviert und dazu ermutigt meinen Wissensstand z.B. auch fernab der Medizin, durch das Erlernen von diversen Programmiersprachen, zu erweitern. Ich könnte nicht dankbarer sein.

Ein weiteres Dankeschön möchte ich auch an meinen Zweitgutachter aussprechen: Danke für die hilfsbereite und wissenschaftliche Betreuung - auch aus dem fernen Jena!

Ohne das Mitwirken und die Beteiligung der Zahnärzte und Zahnärztinnen unterschiedlicher Abteilungen der Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund-, und Kieferkrankheiten der Universitätsmedizin Mainz, die an meiner Forschungsstudie teilgenommen haben und - ob morgens um 6:30 Uhr oder abends um 20:00 Uhr - die Röntgenbilder beurteilt haben, wäre die Durchführung meiner Studie selbstverständlich nicht möglich gewesen: Ich danke euch für eure Zeit und Mühe!

Last but not least:

Ohne die grenzenlose und liebevolle Unterstützung meiner großartigen Familie und Freunde, von KL über KUS nach MZ bis hin nach M und I, während meines gesamten Studiums wäre diese Arbeit so nicht möglich gewesen: Ich bin euch unendlich dankbar!

