

Aus dem
Department für Augenheilkunde Tübingen
Universitäts-Augenklinik

**Virtual Reality als unterstützende Lehrtechnik zur
Vermittlung, Vertiefung und Evaluation von
Fertigkeiten auf dem Gebiet der direkten
Funduskopie**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Vivell, Soraya, geb. Fateh Manesh

2023

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. M. Leitritz

2. Berichterstatter: Professor Dr. F. Gelisken

Tag der Disputation: 09.10.2023

Für meine Mutter

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	5
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	8
TABELLENVERZEICHNIS	10
ABKÜRZUNGEN	11
1. EINLEITUNG	12
1.1 HINTERGRUND DER ARBEIT	12
1.2 DIE OPHTHALMOSKOPIE	13
1.2.1 <i>Geschichte</i>	13
1.2.2 <i>Aufbau des Augenspiegels</i>	15
1.2.3 <i>Untersuchungsablauf</i>	17
1.2.4 <i>Einsatzgebiete</i>	19
1.2.5 <i>Normalbefund</i>	22
1.3 ZIEL DER VORLIEGENDEN ARBEIT	23
2. MATERIAL UND METHODEN	24
2.1 UNTERSUCHUNGSKOLLEKTIV	24
2.2 TECHNISCHE GRUNDLAGEN	25
2.2.1 <i>Aufbau des Funduskopietrainers</i>	25
2.2.2 <i>Software</i>	28
2.2.3 <i>Netzhautbilder</i>	31
2.3 STUDIENDESIGN	32
2.3.1 <i>Ethikantrag</i>	33
2.3.2 <i>Fallzahlplanung</i>	33
2.3.3 <i>Einschlusskriterien</i>	33
2.3.4 <i>Probandenkodierung</i>	33
2.4 ABLAUF DER TESTUNG	34
2.4.1 <i>Datenerhebungsbogen</i>	34
2.4.2 <i>Messung und Dokumentation</i>	34
2.5 EFFIZIENZ RATIO	38
2.6 FEEDBACK	38
3. ERGEBNISSE	40
3.1 UNTERSUCHUNGSKOLLEKTIV	40

Inhaltsverzeichnis

3.2	GESAMTERGEBNISSE DER AUSGELEUCHTETEN NETZHAUTAREALE.....	42
3.3	ERGEBNISSE DER VERGLEICHSFÄLLE 1, 3 UND 5 – AUSGELEUCHTETES AREAL	43
3.4	GESAMTERGEBNISSE DER GEMESSENEN UNTERSUCHUNGSZEITEN.....	45
3.5	ERGEBNISSE DER VERGLEICHSFÄLLE 1, 3 UND 5 – GEMESSENE ZEIT.....	47
3.6	ERGEBNISSE DER EFFIZIENZ RATIO	48
3.6.1	<i>Effizienz Ratio Studenten</i>	<i>49</i>
3.6.2	<i>Effizienz Ratio Ophthalmologen</i>	<i>50</i>
3.6.3	<i>Effizienz Ratio Neurologen/Neurochirurgen/Neonatologen</i>	<i>51</i>
3.6.4	<i>Effizienz Ratio im Vergleich.....</i>	<i>52</i>
3.7	ERGEBNIS - VERGLEICH DER OPHTHALMOLOGEN: FACHARZT GEGEN ASSISTENZARZT	54
3.7.1	<i>Vergleich ausgeleuchtetes Netzhautareal</i>	<i>54</i>
3.7.2	<i>Vergleich der Untersuchungszeit</i>	<i>56</i>
3.7.3	<i>Vergleich der Effizienz Ratio</i>	<i>57</i>
3.8	FEEDBACK.....	57
3.8.1	<i>Fragebogen: Selbsteinschätzung nach dem Training am Funduskopietrainer</i>	<i>57</i>
3.8.2	<i>Symptome nach dem Training am Funduskopietrainer</i>	<i>61</i>
4.	DISKUSSION	62
4.1	TECHNISCHE ENTWICKLUNG IN DER MEDIZIN	62
4.2	KENNTNISSE DER OPHTHALMOSKOPIE	63
4.3	VERGLEICHSFÄLLE 1,3 UND 5	65
4.4	DATENVERGLEICH ZWISCHEN ASSISTENZ- UND FACHÄRZTEN FÜR OPHTHALMOLOGIE	68
4.5	ENTWICKLUNG DER LEHRE IN DER MEDIZIN	69
4.6	STUDIENLAGE	71
4.7	SIMULATOREN IN DER LEHRE	74
4.8	STUDIENLIMITATIONEN.....	75
5.	ZUSAMMENFASSUNG	76
6.	LITERATURVERZEICHNIS	78
7.	ERKLÄRUNG ZUM EIGENANTEIL.....	81
8.	ANLAGEN	82
8.1	STUDIENLEILNEHMER INFORMATIONENBLATT	82
8.2	INHALT DER STUDIE	83
8.3	INFORMATIONEN ZUR DATENERHEBUNG UND VERARBEITUNG	84
8.4	EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG.....	85
8.5	EINLEITENDE ERKLÄRUNG VOR BEGINN DER UNTERSUCHUNG AM FUNDUSKOPIETRAINER	86

Inhaltsverzeichnis

8.6	ERHEBUNGSBOGEN.....	87
8.7	FRAGEBOGEN NACHTRAG	88
8.8	FRAGEBOGEN NACH ABSCHLUSS DER UNTERSUCHUNG	89
8.9	DIAGRAMME: AUSGELEUCHTETES AREAL DER EINZELNEN FÄLLE DURCH AUGENÄRZTE	90
9.	DANKSAGUNG	93
10.	LEBENS LAUF	94

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: HERRMANN VON HELMHOLTZ (J.G. 2017, #16)	14
ABBILDUNG 2: AUGENSPIEGEL BETA200 DER MARKE HEINE, LINKS: DIREKTES OPHTHALMOSKOP; RECHTS (ROTHER KASTEN): IM OBEREN TEIL BEFINDET SICH DIE OPTIK, DURCH DIE DER UNTERSUCHER BLICKT. ÜBER DIE REKOSS-SCHEIBE LASSEN SICH UNTERSCHIEDLICHE LINSENSTÄRKEN IN DIE OPTISCHE ACHSE EINSTELLEN. DIREKT DARUNTER BEFINDET SICH DIE LICHTQUELLE. ÜBER VERSCHIEDENE BLENDEN LASSEN SICH BELEUCHTUNGSGRÖßEN UND VERSCHIEDENE FORMEN, SOWIE EIN BLAUFILTER, EINSTELLEN. IM UNTEREN TEIL LÄSST SICH ROT-FREIES-LICHT EIN- BZW. AUSSCHALTEN.	15
ABBILDUNG 3: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER DIREKTEN OPHTHALMOSKOPIE (OPTOTECHNIK 2020, #33) „[01] ELLIPTISCH GEFORMTES LICHTBÜNDEL IN DER PUPILLENEBENE; HERVORGERUFEN DURCH DAS ASPHÄRISCHE SYSTEM [02]BEOBACHTUNGSSTRAHL,[03] ABGELENKTER IRIS- UND HORNHAUTREFLEX [04] KNAPP UNTERHALB DER PUPILLENMITTE TRITT EIN GEBÜNDELTER LICHTSTRAHL IN DAS ZU UNTERSUCHENDE AUGE. DIE TRENUNG DES BELEUCHTUNGS- UND BEOBACHTUNGSSTRAHLS VERMEIDET STÖRENDE LICHTREFLEXE IN DAS UNTERSUCHERAUGE. DURCH SEINE ELLIPTISCHE FORM GELANGT NAHEZU DAS GESAMTE LICHTBÜNDEL IN DAS AUGE. [05] DAS LICHTBÜNDEL WEITET SICH NACH EINTRITT IN DIE VORDERE AUGENKAMMER AUS UND BELEUCHTET EINEN GROßEN BEREICH DER NETZHAUT.“ (OPTOTECHNIK 2020, #33)	17
ABBILDUNG 4: UNTERSUCHUNG MIT HILFE DES DIREKTEN OPHTHALMOSKOPS.....	18
ABBILDUNG 5: DAS SCHAUBILD DER „AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS“ ZEIGT DIE MÖGLICHEN UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE BEIM BRÜCKNER TEST. IM ENGLISCHEN SPRACHRAUM ALS „RED REFLEX TEST“ BEZEICHNET. (PEDIATRICS, OPHTHALMOLOGY, ET AL. 2008, #35)	21
ABBILDUNG 6: FUNDUSFOTOGRAFIE EINES LINKEN AUGES MIT PHYSIOLOGISCHEM NORMALBEFUND. HERVORGEHOBEN SIND DIE MAKULA LUTEA (STELLE DES SCHÄRFSTEN SEHENS, IN ORANGE), SOWIE DER AUSTRITT DES SEHNERVENKOPFES (PAPILLE, IN ROT).	22
ABBILDUNG 7: AUFBAU DES EYESI DIRECT FUNDUSKOPIETRAINERS (VRMAGIC 2020, #44).....	26
ABBILDUNG 8: EYESI DIRECT FUNDUSKOPIETRAINER WÄHREND EINER TRAININGSEINHEIT (VRMAGIC 2018, #43)	27
ABBILDUNG 9: SCHEMATISCHES FUNDUSBILD IM "DEVICE-HANDLING-TRAININGSMODUL MIT GEOMETRISCHEN FORMEN“ (VRMAGIC 2020, #46).....	29
ABBILDUNG 10: EINSTELLUNGSMÖGLICHKEITEN DER TRAININGS-SOFTWARE FÜR VERSCHIEDENE BELEUCHTUNGSMODI, BLICKRICHTUNGEN UND PUPILLENWEITE (VRMAGIC 2020, #45)	30
ABBILDUNG 11: AUSSCHNITT EINER LOGFILE FÜR FALL 1020006 (FALL 3) VON STUDIENTEILNEHMER Gs01 (GRUPPE S); IM OBEREN TEIL (GELBER KASTEN) BEFINDET SICH DIE FALLNUMMER, BZW. DIE TEILNEHMER ID, SOWIE DAS DATUM UND DIE UHRZEIT DER TESTUNG; IM MITTLEREN BILDTEIL (ROTHER KASTEN) FINDEN SICH INFORMATIONEN ÜBER DIE EINSTELLUNGEN DES DIREKTEN OPHTHALMOSKOPS (IN DPT.) UND UNTERSUCHUNGSZEIT, SOWIE ÜBER DAS AUSGELEUCHTETE AREAL DES RECHTEN (OD) UND LINKEN (OS) AUGES. ZUSÄTZLICH IST GRAPHISCH DER AUSGELEUCHTETE TEIL DER NETZHAUT DARGESTELLT.	31

ABBILDUNG 12: RECHTS: NETZHAUT - PANORAMABILD EINES PATIENTEN MIT STAUUNGSPAPILLE, WELCHES AUS DER MENGE VERSCHIEDENER FUNDUSTEILAUFNAHMEN (BEISPIELHAFT LINKS IN VIOLETT, BLAU UND GRÜN) GRAFISCH ZUSAMMENGEFÜGT UND AUFBEREITET WURDE.	32
ABBILDUNG 13: EINLEITENDE ERKLÄRUNG VOR BEGINN DER UNTERSUCHUNG AM FUNDUSKOPIETRAINER (VGL. 8.5)	35
ABBILDUNG 14: FRAGEBOGEN NACH ABSCHLUSS DER UNTERSUCHUNG (SIEHE ANHANG 8.8).	39
ABBILDUNG 15: KREISDIAGRAMM DES AUSBILDUNGSSTANDS DER AUGENÄRZTE. VERTEILUNG DER ASSISTENZÄRZTE (1.-5. JAHR) (BLAU) SOWIE DIE BERUFSERFABUNG DER FACHÄRZTE (GRÜN) UNTERTEILT IN „FACHARZT WENIGER ALS 5 JAHRE“ , „FACHARZT MEHR ALS 5 JAHRE“, BZW. „FACHARZT 10 JAHRE ODER LÄNGER“	40
ABBILDUNG 16: BALKENDIAGRAMM DER VERGLEICHSFÄLLE OD1, OD3 UND OD5 IN ABHÄNGIGKEIT VON DER UNTERSUCHTEN FLÄCHE (IN PROZENT). DIE UNTEREN UND OBEREN WHISKER ENTSPRECHEN DER STANDARDABWEICHUNG.	43
ABBILDUNG 17: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES AUSGELEUCHTETEN AREALS (BLAU) AUF DER NETZHAUT (ORANGE) FÜR FALL 1 (OBEN) UND FALL 5 (UNTEN) UNTERTEILT IN DIE STUDIENGRUPPEN (S, O UND N).	44
ABBILDUNG 18: BALKENDIAGRAMM DER VERGLEICHSFÄLLE OD 1, OD 3 UND OD 5 IN ABHÄNGIGKEIT VON DER BENÖTIGTEN UNTERSUCHUNGSZEIT (IN SEKUNDEN). DIE BALKEN ENTSPRECHEN DER UNTERSUCHTEN ZEIT. DIE UNTEREN UND OBEREN WHISKER ENTSPRECHEN DER STANDARDABWEICHUNG.....	47
ABBILDUNG 19: DAS DIAGRAMM ZEIGT DIE JEWEILIGE EFFIZIENZ - RATIO DER STUDENTEN - GRUPPE FÜR JEDES UNTERSUCHTE AUGE. HERVORGEHOBEN SIND DIE VERGLEICHSFÄLLE OD1; OD3 UND OD5. IN ROT IST DIE TRENDLINIE DARGESTELLT.	49
ABBILDUNG 20: DAS DIAGRAMM ZEIGT DIE JEWEILIGE EFFIZIENZ - RATIO FÜR JEDES UNTERSUCHTE AUGE DER OPHTHALMOLOGEN -GRUPPE. HERVORGEHOBEN SIND DIE VERGLEICHSFÄLLE OD1; OD3 UND OD5. IN ROT IST DIE TRENDLINIE DARGESTELLT.	50
ABBILDUNG 21: DAS DIAGRAMM ZEIGT DIE JEWEILIGE EFFIZIENZ - RATIO FÜR JEDES UNTERSUCHTE AUGE DER NEUROLOGEN/ NEUROCHIRURGEN/ NEONATOLOGEN - GRUPPE. HERVORGEHOBEN SIND DIE VERGLEICHSFÄLLE OD1; OD3 UND OD5. IN ROT IST DIE TRENDLINIE DARGESTELLT.	51
ABBILDUNG 22: DIE ABBILDUNG ZEIGT DIE EINZELNEN FÄLLE IN ABHÄNGIGKEIT DER EFFIZIENZ - RATIO. IN BLAU SIND DIE DATEN DER GRUPPE O, IN GRÜN DIE DATEN DER GRUPPE S UND IN GELB DIE DATEN DER GRUPPE N DARGESTELLT. HERVORGEHOBEN SIND DIE VERGLEICHSFÄLLE OD 1; OD 3 UND OD 5. DIE GESTRICHELTE LINIE STELLT JEWEILS DIE TRENDLINIE DAR.	52
ABBILDUNG 23: BOXPLOT - GRAFIK DES UNTERSUCHTEN NETZHAUTAREALS DES RECHTEN AUGES IN FALL 1, FÜR DIE JEWEILIGEN STUDIENGRUPPEN (STUDENTEN: GROUP S; OPHTHALMOLOGEN: GROUP O; NEUROLOGEN/NEUROCHIRURGEN/NEONATOLOGEN: GROUP N). OBEN IST DAS AUSGELEUCHTETE AREAL IN PROZENT (BLAU) DARGESTELLT; DIE MITTLERE DARSTELLUNG ZEIGT DIE UNTERSUCHUNGSZEIT IN SEKUNDEN (ROT); DIE BOXEN UNTEN (GRÜN) ZEIGEN DIE EFFEKTIVE UNTERSUCHUNGSZEIT IN SEKUNDEN; DER OBERE UND UNTERE WHISKER ZEIGEN DAS 5% BZW. 95% QUARTIL; DIE BOX ZEIGT DAS 25% BZW. 75% QUARTIL; ALS LINIE IST DER MEDIAN DARGESTELLT.	53

ABBILDUNG 24: BALKENDIAGRAMM DER UNTERSUCHTEN NETZHAUTFLÄCHE DER EINZELNEN AUGEN IN PROZENT. ASSISTENZÄRZTE (<5 JAHRE BERUFSERFABUNG): BLAU; FACHÄRZTE (> 5 JAHRE BERUFSERFABUNG): GRÜN; DIE GEPUNKTETE LINIE IST JEWEILS DIE TRENDLINIE.	54
ABBILDUNG 25: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER AUSGELEUCHTETEN NETZHAUTFLÄCHE (%), NACH DER KATEGORISIERUNG DER LOGFILES (ABBILDUNG 11). ASSISTENZÄRZTE: BLAU, FACHÄRZTE: GRÜN (S. ANLAGE 8.9).....	55
ABBILDUNG 26: BALKENDIAGRAMM DER BENÖTIGTEN UNTERSUCHUNGSZEIT DER EINZELNEN AUGEN IN SEKUNDEN. ASSISTENZÄRZTE (<5 JAHRE BERUFSERFABUNG): HELLBLAU; FACHÄRZTE (> 5 JAHRE BERUFSERFABUNG): GRÜN; DIE GEPUNKTETE LINIE IST JEWEILS DIE TRENDLINIE.	56
ABBILDUNG 27: DIE ABBILDUNG ZEIGT DIE EINZELNEN FÄLLE IN ABHÄNGIGKEIT DER EFFIZIENZ - RATIO. IN BLAU SIND DIE DATEN DER ASSISTENZÄRZTE UND IN GRÜN DIE DATEN DER FACHÄRZTE DARGESTELLT. DIE GESTRICHELTE LINIE STELLT JEWEILS DIE TRENDLINIE DAR.	57

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: TEILNEHMER UND GRUPPENGROßEN	24
TABELLE 2: GRUPPENUNTERTEILUNG IN GRUPPE S, GRUPPE O, GRUPPE N UND FALLKODIERUNG.	37
TABELLE 3: GRUPPENCHARAKTERISTIKA, GRUPPE S: MEDIZINSTUDENTEN; GRUPPE O: OPHTHALMOLOGEN; GRUPPE N: NEUROLOGEN, NEUROCHIRURGEN, NEONATOLOGEN.	41
TABELLE 4: ERGEBNISSE DER AUSGELEUCHTETEN AREALE UND DEREN STANDARDABWEICHUNGEN (STD.-ABW.) (IN %); FALL 1 BIS 7 FÜR OCULUS DEXTER (OD) UND OCULUS SINISTER (OS). DIE DREI VERGLEICHSFÄLLE, DIE FÜR ALLE GRUPPEN IDENTISCH WAREN, SIND GELB HINTERLEGT.....	42
TABELLE 5: ERGEBNISSE DER GEMESSENEN ZEITEN (IN SEKUNDEN) UND DIE DAZUGEHÖRIGE STANDARTABWEICHUNG FÜR FALL 1 BIS 7 UNTERTEILT IN DIE DREI STUDIENGRUPPEN (S,O UND N). DIE DREI VERGLEICHSFÄLLE, DIE FÜR ALLE GRUPPEN IDENTISCH WAREN, SIND GELB HINTERLEGT.....	46
TABELLE 6: EFFIZIENZ RATIO DER GRUPPE S, GRUPPE O UND GRUPPE N FÜR ALLE UNTERSUCHTEN FÄLLE; GELB HINTERLEGT SIND DIE VERGLEICHSFÄLLE 1,3, UND 5.	48
TABELLE 7: AUSWERTUNG DES FRAGEBOGENS MIT DEN ANTWORTMÖGLICHKEITEN 1= SEHR GUT, 2=GUT, 3=BEFRIEDIGEND, 4=AUSREICHEND, 5=MANGELHAFT.	60
TABELLE 8: SYMPTOME NACH DEM TRAINING AM FUNDUSKOPIETRAINER.	61

Abkürzungen

AION	anteriore ischämische Optikusneuropathie
ca.	circa
COVID-19	Coronavirus SARS-COV-2
CT	Computertomographie
Dpt.	Dioptrie
FPGA	field programmable gate array
ggf.	gegebenenfalls
IVOM	intravitreale operative Medikamentenapplikation
LED	light emitting diode
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
O - LED	organic light emitting diode
OCT	optische Kohärenztomographie
OD	Oculus Dexter
OS	Oculus Sinister
OSCE	objective structured clinical examination
Rle	Run Length Encoding
sek	Sekunden
Std.-Abw.	Standardabweichung
USB	universal serial bus
VEGF	Vascular Epithelial Growth Factor
vgl	Vergleiche
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung

1.1 Hintergrund der Arbeit

Während des Medizinstudiums fehlt häufig die Zeit in allen Fachbereichen gleichermaßen intensiv spezielle Fähigkeiten, die vor allem die spätere Praxis betreffen, zu erlernen (*Schnabel and Stosch 2016, #38*) (*Stormann, Stankiewicz, et al. 2016, #40*). In der Augenheilkunde betrifft dies besonders die Fähigkeit sicher zu Funduskopieren. Hierbei wird der Augenhintergrund der Patienten hinsichtlich der Vitalität des Gewebes, auf mögliche Netzhautdefekte oder morphologische Veränderungen im Rahmen von Systemerkrankungen untersucht.

Die Schwierigkeit liegt dabei besonders in der zu erlernenden Kopf – Auge – Hand – Koordination. Diese bedarf einer ruhigen Hand, viel Übung und einer hohen Compliance des Patienten.

Neben den zu erlernenden koordinativen Fähigkeiten auf Untersucherseite sind auch erschwerte Bedingungen zu nennen. Diese bestehen insbesondere aufgrund der Blendung des verwendeten Lichtes und die Notwendigkeit des möglichst ruhigen Sitzens des Patienten. Zur guten Ausleuchtung und Betrachtung der Netzhaut eines Patienten müssen Untersucherauge, Ophthalmoskop und das Patientenauge in eine Achse gebracht werden. Selbst kleine Abweichungen, welche aufgrund der kleinen Öffnung der Pupille schnell vorkommen, führen zu einem deutlich schlechteren Einblick und erschweren so die Untersuchungsbedingungen.

Für Studierende und noch unerfahrene Ärzte stellt dies somit bei jedem Patienten eine neue Herausforderung dar. Zur Vereinfachung der Ausgangsbedingungen untersuchen sich die Studierenden daher häufig gegenseitig. Der Nachteil hierbei ist zum einen, dass im Laufe des Studiums jede Unterrichtseinheit nur zu einem gewissen Umfang und in einem bestimmten Zeitrahmen angeboten wird. Oftmals bleibt keine Zeit für ausführlichere Untersuchungen bei echten Patienten. In diesem festen Setting kommt so der Übungseffekt für die Studenten daher meist zu kurz. Zum anderen liegen bei ihnen selbst in aller Regel keine entsprechenden Netzhautpathologien vor, und können somit auch nicht erkannt, erklärt und vermittelt werden. Auch beim Training bereits

erfahrenerer Untersucher ist die Examination am Patienten und auch die Auswahl entsprechend geeigneter Fälle nicht immer simpel zu lösen.

In den letzten Jahren wurden in vielen Fachbereichen der Medizin Simulatoren entwickelt, welche das Erlernen und Üben spezieller diagnostischer und therapeutischer Fertigkeiten unterstützen sollen (Kuhn, Huettl, et al. 2021, #20). Besondere Trainingsmethoden bieten hierbei Geräte, welche mit der Technik der Virtual Reality, augmented Reality oder aber auch der Robotik arbeiten.

Ein solcher mit virtual Reality arbeitender Simulator wurde 2013 von der Firma VRmagic[®] (Mannheim) auch für die direkte Funduskopie entwickelt.

1.2 Die Ophthalmoskopie

1.2.1 Geschichte

Im Jahr 1851 erfand Hermann von Helmholtz (Abbildung 1) das Ophthalmoskop und machte es zu einem Bestandteil der Untersuchungsmethoden in der Medizin (Mackay, Garza, et al. 2015, #25), wo es noch heute seine Anwendung findet. Synonyme für diese Untersuchungstechnik sind die „Funduskopie“, „Augenhintergrundspiegelung“, „Netzhautspiegelung“ oder „Augenspiegelung“. Helmholtz war zu diesem Zeitpunkt Professor der Physiologie und Pathologie in Königsberg und beschäftigte sich besonders mit den Sinnesorganen Auge und Ohr.



Abbildung 1: Herrmann von Helmholtz (J.G. 2017, #16)

Es war bereits bekannt, dass die Augen verschiedener Tiere, wie beispielsweise Katzen und Hunde, unter bestimmten optischen Bedingungen aufleuchteten (Pearce 2009, #34). Helmholtz entdeckte, dass Licht, welches ins menschliche Auge einfällt, auf die gleiche Weise reflektiert wird und zur Lichtquelle zurückfällt. In Zeiten, als die medizinischen Untersuchungsmethoden mithilfe technischer Geräte noch begrenzt waren, lieferte Helmholtz mit seiner Erfindung des Augenspiegels neue diagnostische Möglichkeiten.

Nirgends sonst kann bis heute in vivo direkt auf terminale Strombahnen der Gefäße geblickt werden. Durch das Beleuchten des hinteren Abschnittes des Auges wurde die Beurteilung des Sehnervenkopfes und der Netzhaut mit den darin verlaufenden Gefäßen ermöglicht. Da zudem ein vergrößertes Bild geliefert wurde, konnten mögliche Veränderungen der Netzhautstrukturen leichter erfasst und Krankheitsbildern zugeordnet werden.

Nachteilig war und bleibt, dass der Untersucher bei dieser Untersuchungsform kein stereoskopisches Bild erhält. Auch ist die Peripherie kaum einzusehen und die Untersuchung erfordert eine dem Patienten sehr nahe Position, welche beispielsweise gerade in Zeiten von Grippewellen oder wie besonders auch seit der COVID-19 Pandemie von Schwierigkeit sein kann (Gupta, Kumar, et al. 2020, #12). Dennoch liefert sie eine leicht zugängliche und nicht invasive Diagnostikmethode und ist zudem kostengünstig und flächendeckend verfügbar.

1.2.2 Aufbau des Augenspiegels

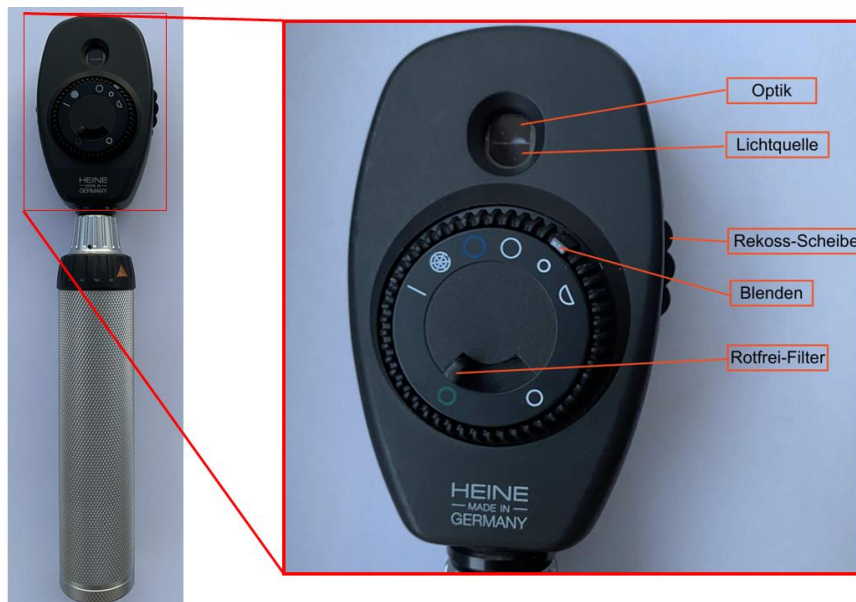


Abbildung 2: Augenspiegel BETA200 der Marke Heine, Links: direktes Ophthalmoskop; Rechts (roter Kasten): Im oberen Teil befindet sich die Optik, durch die der Untersucher blickt. Über die Rekoss-Scheibe lassen sich unterschiedliche Linsenstärken in die Optische Achse einstellen. Direkt darunter befindet sich die Lichtquelle. Über verschiedene Blenden lassen sich Beleuchtungsgrößen und verschiedene Formen, sowie ein Blaufilter, einstellen. Im unteren Teil lässt sich rot-freies-Licht Ein- bzw. Ausschalten.

Das direkte Ophthalmoskop (Abbildung 2) (im Folgenden zur Vereinfachung nur als Ophthalmoskop bezeichnet) besteht heute aus einem Handstück, welches über ein Stromkabel oder einen eingebauten Akku als Stromquelle verfügt. Auf dieses Handstück können verschiedene Aufsätze aufgesteckt werden. Der Aufsatz für das Ophthalmoskop verfügt über eine integrierte Lichtquelle. Diese Lichtquelle wird mithilfe eines Umlenkspiegels auf die Netzhaut des Patienten projiziert, und ermöglicht dem Untersucher die optimale Ausleuchtung und Untersuchung der Netzhaut. Der Beobachtungsstrahlengang entspricht dabei dem Beleuchtungsstrahlengang und dem Untersucher zeigt sich ein seitenrichtiges und aufrechtes Bild der Netzhaut. Weiterhin verfügen moderne Ophthalmoskope über die sogenannte Rekoss Scheibe, mit deren

Hilfe bestehende Refraktionsfehler von Arzt und oder Patientenaugen ausgeglichen werden können (*Optotechnik 2020, #33*). Die Refraktionsfehler des Untersuchers lassen sich dabei nur in ganzen Dioptrien korrigieren. Durch den Einsatz dieser Linsen können auch Vermessungen von Strukturen wie beispielsweise Tumoren vorgenommen werden. Dabei entsprechen 3 Dioptrien (Dpt.) 1 mm (*Behrends 2010, #1*). Bei einigen Geräten lässt sich die Form und Farbe des Lichtkegels variieren. Das Ophthalmoskop erlaubt mithilfe eines blauen Lichtkegels und der Einfärbung mit Fluorescein-Natrium-Augentropfen beispielsweise auch die Beurteilung der Hornhautoberfläche. Mit dem rotfreien Licht können Nervenfaserverläufe besser beurteilt werden und das reguläre weiße Licht kann zur Testung der relativen afferenten Pupillenreaktion genutzt werden, um mögliche neurologische Defekte aufzudecken.

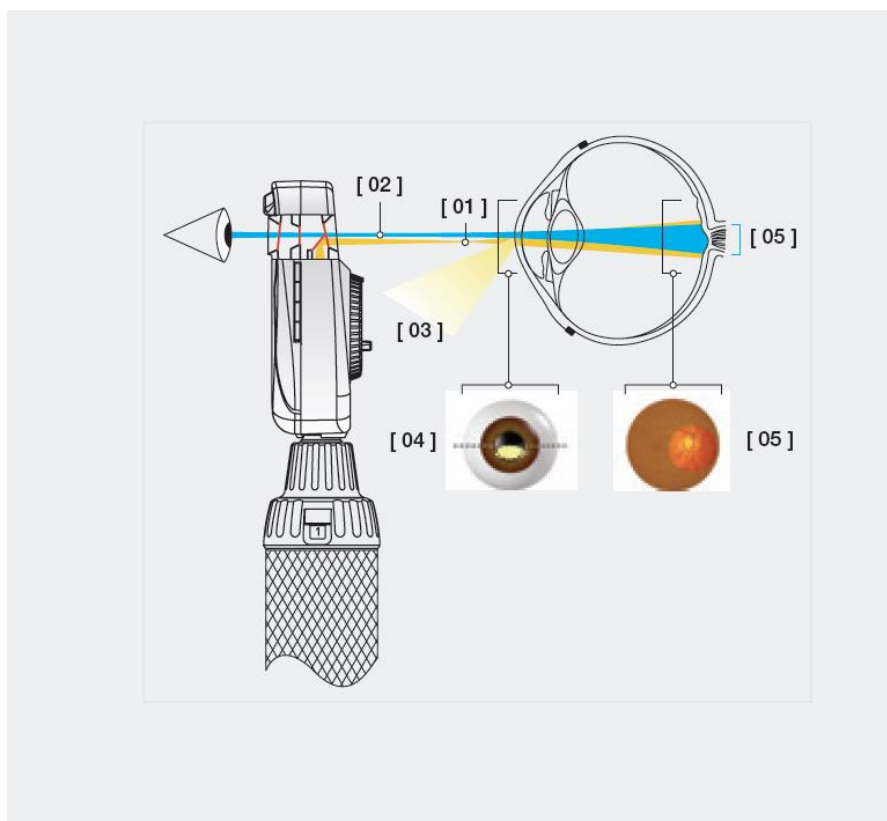


Abbildung 3: Schematische Darstellung der direkten Ophthalmoskopie (Optotechnik 2020, #33) „[01] Elliptisch geformtes Lichtbündel in der Pupillenebene; hervorgerufen durch das asphärische System [02] Beobachtungsstrahl, [03] Abgelenkter Iris- und Hornhautreflex [04] Knapp unterhalb der Pupillenmitte tritt ein gebündelter Lichtstrahl in das zu untersuchende Auge. Die Trennung des Beleuchtungs- und Beobachtungsstrahls vermeidet störende Lichtreflexe in das Untersucherauge. Durch seine elliptische Form gelangt nahezu das gesamte Lichtbündel in das Auge. [05] Das Lichtbündel weitet sich nach Eintritt in die vordere Augenkammer aus und beleuchtet einen großen Bereich der Netzhaut.“ (Optotechnik 2020, #33)

1.2.3 Untersuchungsablauf

Die Durchführung einer direkten ophthalmoskopischen Untersuchung erfordert eine Sicht durch klare optische Medien. Eventuelle Blutungen im Glaskörper oder Trübungen der Hornhaut und Linse können zur Verschlechterung des Einblickes führen. Vor der Untersuchung erfolgt optional die Pupillenerweiterung mittels Augentropfen, wie beispielsweise Tropicamid, um den Einblick zu erleichtern.

Es hat sich mit der Zeit etabliert, die Untersuchung des rechten Patientenauges mit dem rechten Untersucherauge, und vice versa für das linke Auge, durchzuführen (Abbildung 4).

Da der Untersuchungsabstand nur wenige Zentimeter beträgt, wird so das Zusammenstoßen von Patient und Untersucher vermieden. Ein leicht abgedunkelter Raum eignet sich am besten für die Untersuchung, da andernfalls äußere Lichtstrahlen als Störfaktoren agieren können. Der Untersucher schaut mithilfe des gerade auf die Pupille des Patienten gerichteten Ophthalmoskops auf die Netzhaut (*Lippert 2000, #23*) (Abbildung 3). Dabei sollte der Patient stetig einen Punkt in der Ferne fixieren. Diese Kombination der Optiken von Untersucher und Patient wirken in ihrer Funktionsweise wie eine Lupe.

Das nun gesehene Bild steht aufrecht, hat in etwa eine 15-fache Vergrößerung und erlaubt einen Einblick bis zu 15 Grad (*D. Lingenhöhl 2020, #8*). Somit kann nur ein kleiner Netzhautbereich dargestellt werden. Wichtige Leitstrukturen wie der Sehnervenkopf (Papilla nervi optici (*Bergua 2017, #2*)), die Hauptgefäßbögen und die Makula lutea sind hierbei jedoch gut zu beurteilen. Die direkte Ophthalmoskopie eignet sich daher gut für die Detailbeurteilung.



Abbildung 4: Untersuchung mit Hilfe des direkten Ophthalmoskops.

1.2.4 Einsatzgebiete

Neben den ophthalmologischen Patienten können auch internistische Patienten von der Ophthalmoskopie profitieren. Die Therapieplanung, sowie das Monitoring bei Diabetes mellitus oder arterieller Hypertonie, welche mehr als die Hälfte der über 50-jährigen in Deutschland betrifft (*Neuhauser 2017, #30*), gehören ebenfalls zu den Einsatzgebieten dieser Untersuchungsmethode. Die Diagnostik und Therapie internistischer Erkrankungen hängt oftmals von verschiedenen messbaren Laborparametern ab. Während sich so ein zu hoher Blutzuckerspiegel anhand eines Laborparameters evaluieren lässt, erlaubt die Ophthalmoskopie die Beurteilung des Gefäßzustandes am Augenhintergrund im direkten Aufblick. Im Rahmen von regelmäßigen Netzhaut-Screenings werden Gefäßveränderungen schon früher erkannt und auch die Ausprägung einer bereits bestehenden diabetischen Retinopathie (*Kollias and Ulbig 2010, #19*) (*Michelson and Freund 2004, #27*) (*Jochmann and Hammes 2002, #17*) kann ermittelt und dementsprechend behandelt werden. Dies ist gerade deshalb essentiell, da sich mit der Zeit zunehmend auch Endorganschäden entwickeln können, welche anhand des Netzhaut - Gefäßstatus auch Informationen über den Gefäßstatus im gesamten Körper des Patienten ableiten lassen.

Weiterhin lassen sich arteriosklerotische (*Leydhecker 1987, #22*) Veränderungen der Gefäßwände oftmals auch funduskopisch durch Engstellen oder sichtbare weißliche Plaques darstellen. Es kann durch diese arteriosklerotischen Plaques im Verlauf zu Blutungen, Gefäßverschlüssen und Unterversorgung der Gewebe kommen (*Seitz 1968, #39*). Diese hypoxischen Zustände der Gewebe führen schließlich zu einer Ausschüttung von Vascular Endothelial Growth Factors (VEGF) (*Melincovici, Bosca, et al. 2018, #26*), welche als Wachstumsfaktoren die Neubildung von Gefäßen stimulieren. Es kommt zu Neovaskularisationen, also zu qualitativ minderwertigeren Gefäßneubildungen, die durch ihre instabile Gefäßwandstruktur zu Leckagen und Blutungen neigen. Bleiben solche krankhaften Veränderungen an der Netzhaut unentdeckt und unbehandelt, können sie in ihrem Endstadium zur Erblindung führen. Durch das Erkennen und Diagnostizieren, sowie regelmäßigen Verlaufskontrollen dieser Erkrankungen können die Therapieansätze angepasst werden. Interventionell

kann mithilfe der intravitrealen operativen Medikamentengabe (IVOM) und Argonlaserkoagulation gegen die Neovaskularisationen vorgegangen werden. So kann das Fortschreiten des Krankheitsverlaufes verlangsamt werden (*Campa, Alivernini, et al. 2016, #5*).

Auch in der Kinderheilkunde findet das direkte Ophthalmoskop im Rahmen der U - Untersuchungen seinen Einsatz. Die Früherkennung von Fehlbildungen oder Fehlsichtigkeiten erfolgt mittels sogenanntem Brückner - Test (*Nguyen and Blair 2022, #31*). Das rechtzeitige Erkennen einer Amblyopie im Kindesalter kann eine bleibende Funktionsstörung des Auges und eventuell damit einhergehende Entwicklungseinschränkungen verhindern.

Der Brückner Test findet im leicht abgedunkelten Untersuchungszimmer statt. Der oder die Untersucherin schaut durch das direkte Ophthalmoskop hindurch. Der Patient fixiert währenddessen das vom Ophthalmoskop ausgehende Licht und beide Augen werden gleichzeitig beleuchtet. Die Art des dadurch hervorgerufenen Rotreflexes kann Hinweise auf eine okuläre Pathologie geben. Großer Vorteil dieser Untersuchung ist, dass die kleinen Patienten oftmals auf dem Schoß ihrer Eltern untersucht werden. Somit bietet der Test auch eine höhere Compliance. Weiterhin verzichtet der Test auf körperliche Berührung sowie die Notwendigkeit der Pupillenerweiterung. Im Normalbefund zeigen sich beide Rotreflexe gleich (Abbildung 5).

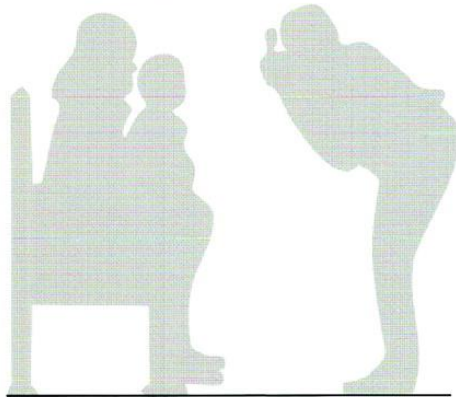
Ein weiterer Einsatzort des direkten Ophthalmoskops ist die Untersuchung am Krankenbett und in der Notaufnahme (*Heckmann, Vachalova, et al. 2018, #14*). Es bietet die Möglichkeit mit einem verhältnismäßig kleinen Gerät, welches in jede Kitteltasche passt, eine Vielzahl von Untersuchungen bei immobilen, schwerkranken Patienten oder aber auch bei Hausbesuchen abzudecken. Dazu zählen die Durchführung der relativen afferenten Pupillentestung, die Fundusbeurteilung und ebenfalls die Motilitätsprüfung (*Corbett 2003, #7*).

See **RED**

Red reflexes from the retinas can be used by the physician to great advantage. The illustration shown here depicts the inequality of the red reflection or the interference with the red reflections in various conditions. The white dots represent corneal light reflexes.

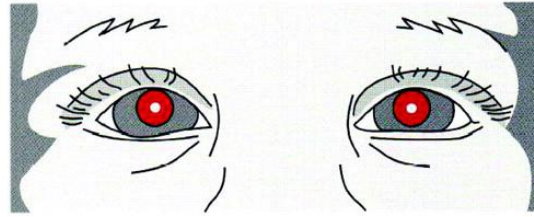
Techniques: Set the ophthalmoscope (preferably one with a halogen light source*) on zero or close to zero, stand a few feet away from the child seated in the parent's lap, attract the child with voice or noise encouraging the child to look at the light, compare the red reflection from each pupil. Both red reflections should be viewed simultaneously and alternately. An expanded observation is the position of the white reflection, the corneal light reflex.

The beauty of this test is that it can be done with a "hands-off" approach; it can furnish accurate information without dilatation of the pupils. As a screening device it is very cost effective. We encourage you to work with this technique. It is useful far beyond all other manual inspection tests for assessments of vision, refraction, motility, alignment, injury evaluations, and eyelid-pupil relationships.

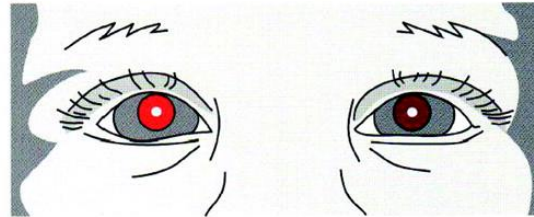


REFERENCE
 Tongue AC, Cibis CW: Brückner test. *Ophthalmology*. 1981;88:1041-1044.
 *Welch Allyn Ophthalmoscope # 11720

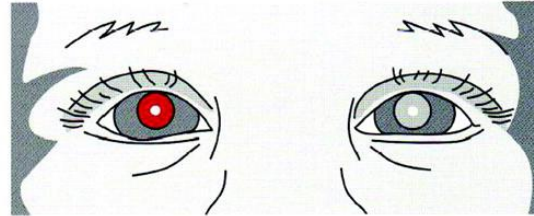
↓ **NORMAL**—Child looks at light. Both red reflections are equal.



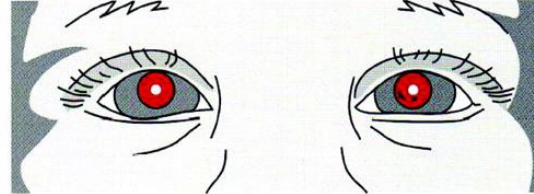
↓ **UNEQUAL REFRACTION**—One red reflection is brighter than the other.



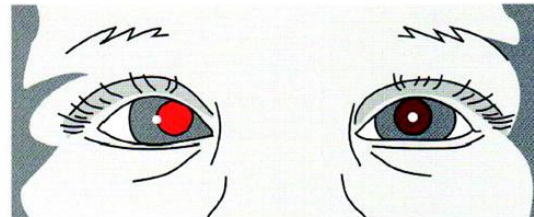
↓ **NO REFLEX (CATARACT)**—The presence of lens or other media opacities blocks the red reflection or diminishes it.



↓ **FOREIGN BODY/ABRASION (LEFT CORNEA)**—The red reflection from the pupil will back-light corneal defects or foreign bodies. Movement of the examiner's head in one direction will appear to move the corneal defects in the opposite direction. (Parallax)



↓ **STRABISMUS**—The red reflection is more intense from the deviated eye.



Copyright © 1991, Alfred G. Smith, MD, Miami, FL

Abbildung 5: Das Schaubild der „American Academy of Pediatrics“ zeigt die möglichen Untersuchungsergebnisse beim Brückner Test. Im englischen Sprachraum als „Red Reflex Test“ bezeichnet. (PEDIATRICS, Ophthalmology, et al. 2008, #35)

1.2.5 Normalbefund

Bei einem physiologischen Fundus (Abbildung 6) zeigt sich eine scharf abgegrenzte Papille, welche rund bis hochoval ist (*Universitätsspital Bern 2020, #42*). Die Papille ist im vitalen Zustand rötlich und zeigt eine Exkavation auf, welche etwa einem Drittel der Gesamtpapillenfläche entspricht. Man spricht hierbei von der sogenannten Cup to Disc Ratio, welche im Normalbefund in etwa 0,3 beträgt (*Gherghel, Orgül, et al. 2000, #9*). Zentral aus der Papille entspringen aus der Arteria centralis retinae vier Gefäßäste zu beiden Seiten. Paarweise sind dies jeweils eine Arterie und die dazugehörige Vene. Diese sind bogenförmig um die Makula lutea angeordnet. Als Makula lutea wird der Punkt des schärfsten Sehens bezeichnet, welche beim Gesunden meist eine gelbliche Färbung aufweist (*Ulfig 2005, #41*), und in welcher rund 80% unserer Sehsinneszellen vorzufinden sind. Anhand der Histologie der Gefäße lässt sich die Unterscheidung zwischen den großlumigen und dunkler wirkenden Venen und den etwas heller erscheinenden Arterien erklären.

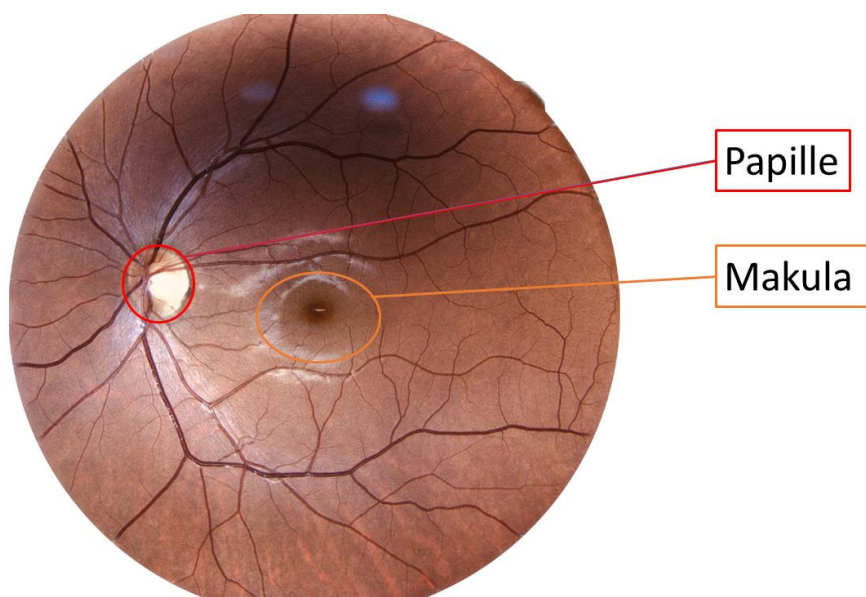


Abbildung 6: Fundusfotografie eines linken Auges mit physiologischem Normalbefund. Hervorgehoben sind die Makula lutea (Stelle des schärfsten Sehens, in Orange), sowie der Austritt des Sehnervenkopfes (Papille, in Rot).

1.3 Ziel der vorliegenden Arbeit

Der direkte Funduskopie Simulator von HS Simulation (*HAAG-Streit-Simulation 2021, #13*) hat die Zielsetzung, die Lehre zu unterstützen. Er ist ein Trainingssimulator, welcher mithilfe von Virtual Reality Technik die Fertigkeit der direkten Ophthalmoskopie vermitteln soll. In dieser Arbeit soll der Funduskopietrainer „EyeSi Direct“ hinsichtlich seiner Eignung zur praktischen Lehre, sowie in Bezug auf seine Trainingseffizienz, wissenschaftlich untersucht werden. Daher beschäftigt sich diese Studie mit der Frage:

„Ist der direkte Funduskopietrainer EyeSi Direct zur Erlernung und Optimierung der Technik des direkten Funduskopierens geeignet?“

Im Rahmen der Studie sollen Bilder des Augenhintergrundes mit den für die Studiengruppen relevantesten Pathologien aufgegriffen werden, und der daraus resultierende Lernerfolg oder Nicht - Erfolg verzeichnet werden. Die Ergebnisse am Studienende sollen Aufschluss darüber geben, inwiefern der EyeSi Direct sich für den Zweck der Lehre eignet, und ob diese Form des Trainings auch über die universitäre Studentenlehre hinaus von Nutzen für bereits praktizierende Ärzte sein kann. Das Erlernen der direkten Ophthalmoskopie soll so auch anderen medizinischen Fachdisziplinen nähergebracht werden.

Zur objektiven Analyse der verschiedenen Untersucherfähigkeiten sollen beim EyeSi Direct (im Folgenden zur Vereinfachung als Funduskopietrainer bezeichnet) jeweils die Größe des ausgeleuchteten Netzhautbereiches, sowie die dafür benötigte Zeit mithilfe eines Effizienz - Scores verglichen werden.

2. Material und Methoden

2.1 Untersuchungskollektiv

Für die Durchführung wurden Ärzte aus den Fachbereichen der Ophthalmologie, Neonatologie, Neurologie und Neurochirurgie einbezogen (Tabelle 1).

Die Wahl dieser Fachbereiche beruhte auf ihrer Gemeinsamkeit im Nutzen und Einsatz der direkten Ophthalmoskopie im Alltag. Darüber hinaus erfolgte der Einschluss von Studenten der Humanmedizin, deren fachliche Weiterbildungsabsicht zum Zeitpunkt der Studienteilnahme noch unklar war.

Die Gesamteinteilung der drei Gruppen setzte sich zusammen aus zwanzig Ophthalmologen (Gruppe O) mit Vorerfahrungen von Assistenzarztniveau bis hin zum Oberarztniveau. Weitere neununddreißig Ärzte, zusammengefasst aus den Fachbereichen Neonatologie, Neurologie und Neurochirurgie (Gruppe N) mit allenfalls grundlegenden Erfahrungen aus dem eigenen Studentenunterricht, mit der Anwendung der direkten oder indirekten Ophthalmoskopie. Die dritte Studiengruppe setzte sich zusammen aus fünfzehn Studenten der Humanmedizin (Gruppe S), ohne Vorerfahrungen in der direkten oder indirekten Ophthalmoskopie.

Tabelle 1: Teilnehmer und Gruppengrößen

Gruppenkürzel	S	O	N
Teilnehmer	Studenten der Humanmedizin (verschiedener Fachsemester)	Ophthalmologen (Assistenz- und Fachärzte)	Neonatologen, Neurologen, Neurochirurgen (Assistenz- und Fachärzte)
Gruppengröße	15	20	39

Die Rekrutierung der Studienteilnehmer erfolgte über verschiedene Plattformen. Durch mündliche Ansprache von Studenten der Medizin auf dem Gelände der Universität Tübingen und durch die Mithilfe von Mitarbeitern aus den Fachbereichen der Neurologie bzw. Neonatologie der Universitätsklinik Tübingen.

Die Anzahl der eingeschlossenen Probanden erfolgte basierend auf der Empfehlung der Biometrie des statistischen Instituts der Universität Tübingen.

2.2 Technische Grundlagen

2.2.1 Aufbau des Funduskopietrainers

Der direkte Funduskopietrainer ist ein transportabler Simulator und „besteht aus einem schwarzem Kunststoffmodellkopf, einem frei beweglichen Handstück“ (Pschorn 2013, #36), sowie einem PC mit Touchscreen zur Steuerung und Auswahl der Module (Abbildung 7).

Das Handstück ist dem herkömmlichen Ophthalmoskop nachempfunden und verfügt ebenfalls über eine Rekoss - Scheibe zur Korrektur einer bestehenden Fehlsichtigkeit beim Untersucher. Beim Blick durch das Ophthalmoskop wird dem Untersucher anstelle des Modellkopfes ein virtueller Patient dargestellt. Dieser kann den natürlichen Lidschlag sowie Augenbewegungen imitieren und ermöglicht so eine annähernde Untersuchungssituation wie an einem realen Patienten. Je nach Positionierung des Handstücks wird ein anderer Blickwinkel auf den virtuellen Patienten bzw. dessen Netzhaut realitätsgetreu dargestellt. Mithilfe eines Ein - Kamera - Tracking - Systems kann die genaue Position des Ophthalmoskops erkannt werden. Zu Beginn der Untersuchung steht der Untersucher in etwa 20 cm Entfernung zum Modellkopf und nähert sich diesem bis auf wenige Zentimeter an (Abbildung 8).



**EyeSi Direct
Ophthalmoscope
Simulator.**

Abbildung 7: Aufbau des EyeSi Direct Funduskopietrainers (VRmagic 2020, #44)

Währenddessen erfolgt das stetige Tracking der genauen Position und Orientierungsrichtung des Handstücks. Somit kann auch bei seitlicher Annäherung das Handstück gezielt getrackt werden. Es handelt sich dabei um eine Multisensor - FPGA - Kamera, welche mit zwei in den Augen des Modellkopf eingelassenen Bildsensoren kommuniziert. Diese zwei Bildsensoren verfügen jeweils über ein Fischaugenobjektiv, mit einem Öffnungswinkel von circa 180 Grad. Der Kunststoffmodellkopf verfügt ebenfalls über zwei Sensoren mit Normalobjektiven. Diese bestimmen die Lage des Handstücks auch bei größerer Entfernung. Die insgesamt vier Sensoren arbeiten unabhängig voneinander. Sie verfügen hinter den Objektiven jeweils über Filtergläser, welche von den Infrarot - LEDs des Handstücks aufgezeichnet werden können. Diese dienen als aktive Trackingmarker. Die Bilddaten werden durch das sogenannte „Run Length Encoding“ (Rle) komprimiert und über eine USB - Verbindung als Graustufenbilder an den PC gesendet. Dort erfolgt der Abgleich der Marker und die Positionsbestimmung. Für die Gewährleistung einer möglichst realistischen Untersuchungssituation müssen die Bilder des virtuellen Patienten, sowie des Netzhautbildes in Echtzeit simuliert werden. Bei zu geringem Abstand zwischen

Untersucher und Modellkopf müssen daher auch unscharfe Bilder des virtuellen Patienten gezeigt werden. Dies gilt ebenfalls, wenn räumliche Tiefe dargestellt werden soll. Um dies zu erreichen, wird ein Echtzeit - Raytracing - Verfahren verwendet. Effekte wie die optische Brechung an Cornea und Linse, sowie realistische Lichtreflexe können dadurch simuliert werden. Die Bildwiederholungsrate liegt bei allen vier Sensoren bei 65 Hertz.

Das Handstück verfügt über ein O - LED - Display, auf welches die berechneten 3D - Bilder ohne wahrnehmbare Verzögerung abgebildet werden. Vor dem O - LED ist zur Korrektur einer eventuellen Fehlsichtigkeit des Untersuchers eine Optik angebracht, welche manuell am Handstück durch eine Drehscheibe eingestellt werden kann. Die korrigierte Dioptrie wird beim Blick durch das Handstück zur Vereinfachung und als Einstellhilfe angezeigt.



Abbildung 8: EyeSi Direct Funduskopietrainer während einer Trainingseinheit (VRmagic 2018, #43)

2.2.2 Software

Der Funduskopietrainer verfügt über eine mitgelieferte Betriebs - Software, welche erlaubt Patientenfälle anhand von einer komprimierten Krankengeschichte kennenzulernen und zu erarbeiten. Die mitgelieferte Software ist in verschiedene Trainingsmodule unterteilt. Ziel der ersten beiden Module (A und B), ist das Üben der Handhabung. Der Untersucher soll hierbei z.B. die beliebig auf der virtuellen Netzhaut verteilten geometrische Figuren (Abbildung 9) finden und sich merken. Im Anschluss sollen die Objekte auf einem neuen, objektleeren, Fundus platziert und wie dem Untersucher erinnerlich angeordnet werden. Dabei können Größe und Position der Objekte entweder am Display selbst via Touch, oder über die angeschlossene USB - Maus angepasst werden. In den Trainingsmodulen C und D werden dem Untersucher Netzhautbilder von kranken sowie gesunden Patienten gezeigt. Dabei kann im Trainingskurs C, durch die Angabe der Krankengeschichte des Patienten, nach Anzeichen für mögliche Pathologien gesucht werden. Im Modul D erfolgt die Suche ohne diese Hilfestellung und der Untersucher soll nach Abschluss der Untersuchung seine Befunde eintragen.

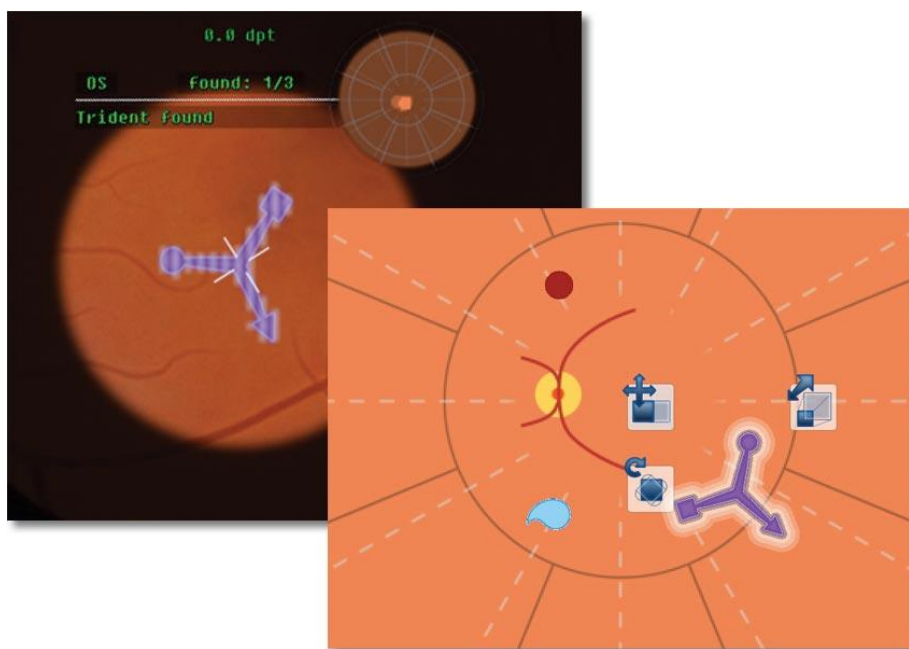


Abbildung 9: Schematisches Fundusbild im "Device-Handling-Trainingsmodul mit geometrischen Formen" (VRmagic 2020, #46)

Darüber hinaus lässt sich bei der Standard - Software der einfallende Lichtstrahl des Handstücks verkleinern oder vergrößern, sowie die Lichtintensität variieren. Auch verschiedene Lichtfarbschemata sind hier wie bei einem echten Ophthalmoskop beliebig einstellbar. Weiterhin besteht die Möglichkeit den Patienten in eine der neun Blickrichtungen schauen zu lassen. Die Eng- oder Weitstellung der Pupille lässt sich in diesem Trainingsprogramm ebenfalls auswählen (Abbildung 10).

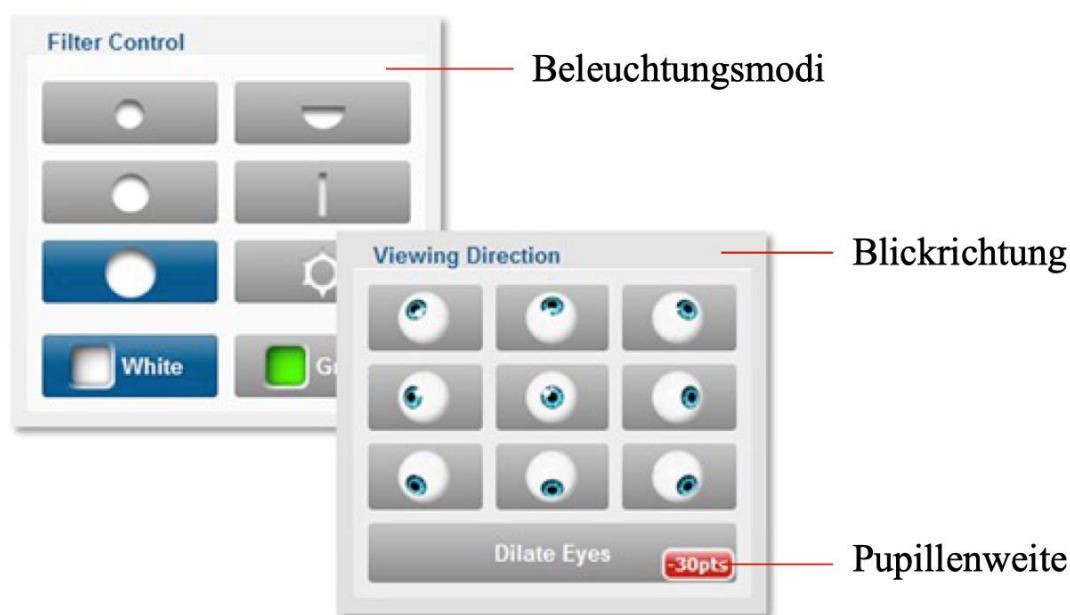


Abbildung 10: Einstellungsmöglichkeiten der Trainings-Software für verschiedene Beleuchtungsmodi, Blickrichtungen und Pupillenweite (VRmagic 2020, #45)

In dieser Studie mussten diese vielzähligen und variablen Parameter vereinheitlicht werden. Daher wurde eine angepasste Softwareversion (Version 1.1.3) in Zusammenarbeit mit der Entwicklungsfirma erstellt. Diese speziell auf unsere Studie ausgelegte neue Software umfasst insgesamt sieben virtuelle Patienten - Fälle. Diesen wurden jeweils für das rechte und linke Auge Netzhautbilder hinterlegt. Hierbei wurden insbesondere die gängigen Netzhautpathologien mit aufgenommen, aber auch einige Normalbefunde eingebaut.

Für die Durchführung der Studie wurden Fundusmodelle verwendet, welche schon früher in Zusammenarbeit mit der Universitäts - Augenklinik Tübingen für die Darstellung am Simulator angepasst wurden. Mittels der zuvor erwähnten Softwareanpassung konnte im Anschluss nach jeder Untersuchungseinheit der Datensatz mit den entsprechenden Logfiles (Abbildung 11) für den Untersucher ausgelesen werden. Dies gilt separat für jeden Fall und Untersucher.

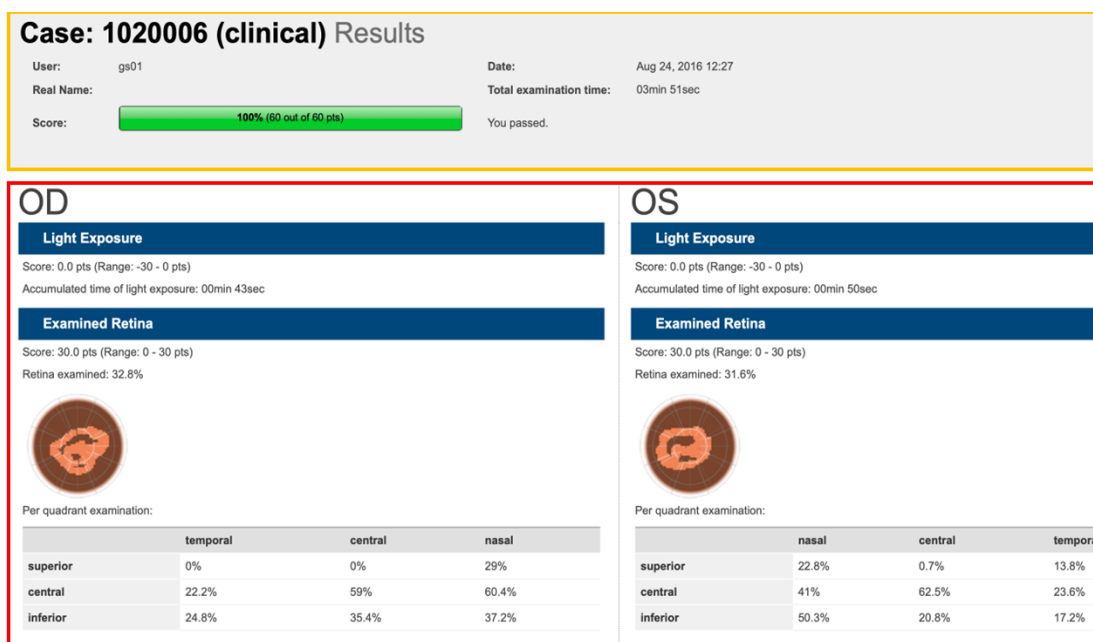


Abbildung 11: Ausschnitt einer Logfile für Fall 1020006 (Fall 3) von Studienteilnehmer Gs01 (Gruppe S); Im oberen Teil (gelber Kasten) befindet sich die Fallnummer, bzw. die Teilnehmer ID, sowie das Datum und die Uhrzeit der Testung; im mittleren Bildteil (roter Kasten) finden sich Informationen über die Einstellungen des direkten Ophthalmoskops (in Dpt.) und Untersuchungszeit, sowie über das ausgeleuchtete Areal des rechten (OD) und linken (OS) Auges. Zusätzlich ist graphisch der ausgeleuchtete Teil der Netzhaut dargestellt.

2.2.3 Netzhautbilder

Alle für diese Studie verwendeten Netzhautbilder stammen von ehemaligen Patienten der Universitäts - Augenklinik Tübingen. Sie wurden aus mehreren Teilaufnahmen in einer Maske zusammengesetzt und grafisch aufbereitet. Die einzelnen Fundusfotografien wurden hierbei zu einem durchgängigen, hochauflösenden Panoramabild modelliert (Abbildung 12). Dabei wurden unter anderem der natürliche arterielle Lichtreflex, welcher beim Funduskopieren in vivo zu sehen wäre, realitätsnah am Panoramabild angepasst oder bestehende Fotoartefakte (z.B. Reflexe) entfernt. Zusätzlich wurden geometrische Informationen (z.B. Höheninformationen) hinzugefügt, um eine dreidimensionale Darstellung zu erlauben.

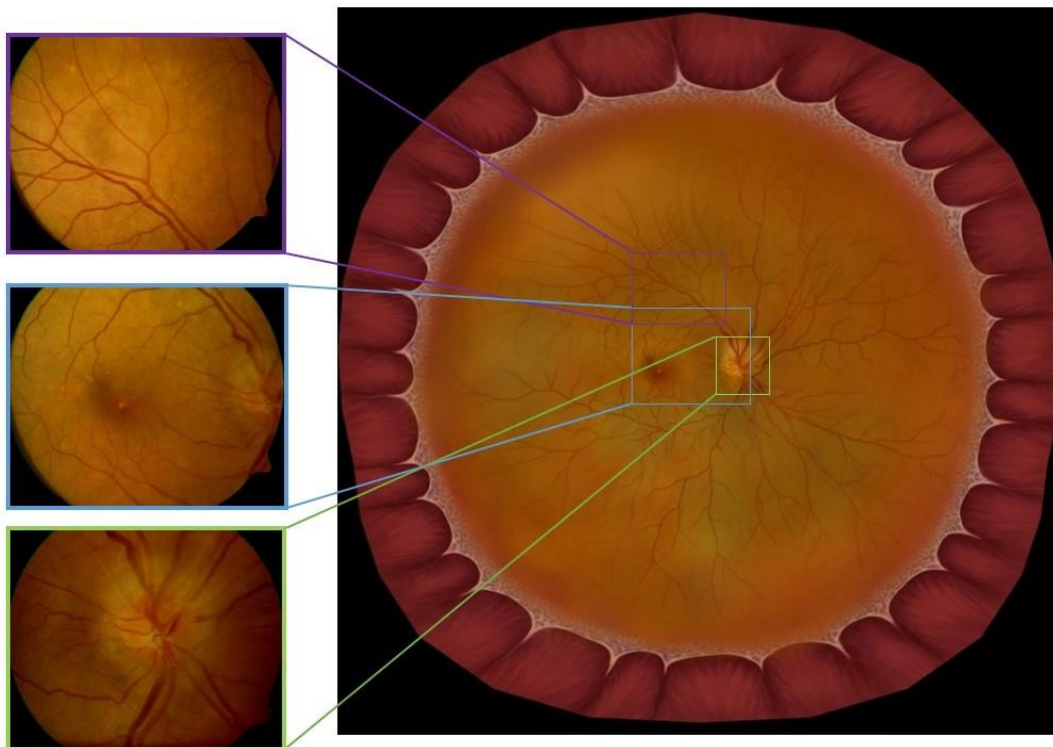


Abbildung 12: Rechts: Netzhaut - Panoramabild eines Patienten mit Stauungspapille, welches aus der Menge verschiedener Fundusteilaufnahmen (Beispielhaft links in Violett, Blau und Grün) grafisch zusammengefügt und aufbereitet wurde.

2.3 Studiendesign

Bei dieser Studie handelt es sich um eine prospektive klinische Studie. Die Probandenrekrutierung erfolgte zwischen August 2016 und Oktober 2017.

Es wurden drei Probandengruppen aus dem medizinischen Bereich hinsichtlich des Lernerfolges im Gebiet der direkten Funduskopie miteinander verglichen. Der statistische Vergleich erfolgte unter Verwendung des Wilcoxon - Vorzeichen - Rang - Tests. Das Signifikanzniveau wurde dabei auf $\alpha = 0,05$ festgelegt.

2.3.1 Ethikantrag

Eine Zustimmung des Ethik - Komitees der Universität Tübingen erfolgte im Vorfeld dieser Studie (Projektnummer: 157/2016BO2).

2.3.2 Fallzahlplanung

Die Fallzahlplanung erfolgte in Rücksprache mit dem „Institut für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie“ der Universität Tübingen (Institutsleiter: Prof. Dr. rer. nat. P. Martus). Für eine statistisch signifikante Aussage war der Einschluss von 74 Probanden notwendig (siehe auch 2.1).

2.3.3 Einschlusskriterien

Einschlusskriterium war die Zugehörigkeit zu einem der gruppenspezifischen Merkmale: „Medizinstudent“ (Gruppe S), „Assistenz - oder Facharzt der Augenheilkunde“ (Gruppe O), sowie „Assistenz - oder Facharzt für Neonatologie, Neurologie oder Neurochirurgie“ (Gruppe N). Weiteres Kriterium war die freiwillige Teilnahme und das Einverständnis zur Datenerhebung, Speicherung und Auswertung, von welcher die Probanden zu jeder Zeit der Testung ohne Angabe von Gründen zurücktreten konnten. Eine Aufwandsentschädigung wurde nicht gezahlt.

2.3.4 Probandenkodierung

Die Probandenkodierung wurde mithilfe der Zuteilung von Gruppen mit der Bezeichnung „GX“ durchgeführt (G für Gruppe; X für jeweilige Fachdisziplin).

Pseudonymisiert wurden die Probanden nach ihrer zugehörigen Gruppe (GX) und mit der Vergabe einer Zahl, beginnend bei 01 aufwärts gezählt. Dabei bildeten die

Probanden GS 01 bis GS 15 die Gruppe S (Studenten), die Probanden GA 01 bis GA 20 die Gruppe O (Ophthalmologen) und die Probanden GN 01 bis GN 39 Gruppe N (Neonatologen, Neurologen und Neurochirurgen). Alle Probanden wurden in einer separaten Kodierungsliste dokumentiert und in der Universitäts - Augenklinik Tübingen getrennt gelagert.

2.4 Ablauf der Testung

2.4.1 Datenerhebungsbogen

Zu Beginn jeder Testung erfolgte die Abfrage verschiedener Parameter bei jedem Studienteilnehmer. Abgefragt und dokumentiert wurden das Geschlecht, die Fachrichtung und das aktuelle Ausbildungsjahr. Um auch einen subjektiven Vorher – Nachher - Vergleich nach Abschluss der Studie zu ermöglichen, wurde jeder Teilnehmer zu seiner subjektiven Einschätzung der eigenen Untersuchungsfertigkeiten im Bereich der direkten Funduskopie befragt. Dabei konnte die Auswahl zwischen den Abstufungen „sehr gut“, „eher gut“, „gut“, „eher schlecht“ sowie „schlecht“ getroffen werden. Je nach Zugehörigkeit der Gruppen S, O oder N erfolgte die Zuteilung der randomisierten ID-Kennung (siehe Erhebungsbogen im Anhang).

2.4.2 Messung und Dokumentation

Nach erfolgter standardisierter Einweisung in die Gerätehandhabung wurde für die jeweilige Studiengruppe das Trainingsmodul aufgerufen. Um die Studiengruppen untereinander vergleichen zu können, wurden drei der insgesamt sieben virtuellen Patienten - Fälle für alle gleich gestaltet (Tabelle 2). Dabei wurden bei allen Studienteilnehmern unabhängig von Fachrichtung und Ausbildungsgrad Fall 1 rechtes Auge (Oculus Dexter, OD), Fall 3 OD und Fall 5 OD gleich abgefragt. Weiterhin wurden diese Fälle um den zusätzlichen Parameter „enggestellte/weitgestellte Pupille“

ergänzt. Die Pathologie war bei allen drei Vergleichsfällen das Bild einer Stauungspapille. Diese wurde in Fall 1 OD unter Bedingungen einer enggestellten Pupille, in Fall 3 OD mit der Vereinfachung durch eine weitgestellte Pupille und gegen Ende der Trainingseinheit bei Fall 5 OD erneut unter Engstellung der Pupille dargestellt. Vor jeder Testung erfolgte zur Wahrung der gleichen Voraussetzungen für alle Teilnehmer eine wortgleiche Einweisung durch dieselbe Person. Es wurde hierfür ein Standardtext ausgearbeitet (Abbildung 13).



Department für
Augenheilkunde

Einleitende Erklärung vor Beginn der Untersuchung am Funduskopie Simulator
(Unbedingt für alle Gruppen eine gleiche Einführung!)

Bitte setzen Sie sich und nehmen Sie das Funduskop zur Hand.
Im Anschluss werden Sie bitte den virtuellen Patienten beidseitig funduskopisch untersuchen.
Sobald Sie meinen eine hinreichende Untersuchung durchgeführt zu haben, und alle wichtigen Strukturen auch in der Peripherie gesehen zu haben, geben Sie mir bitte Bescheid.

Sagen Sie mir wenn Sie bereit sind zu starten.

Abbildung 13: Einleitende Erklärung vor Beginn der Untersuchung am Funduskopietrainer (vgl. 8.5)

Jeder Testdurchlauf erfolgte unter strikter Einhaltung der standardisierten Erklärung durch die Doktorandin. Nach Einweisung in die Gerätehandhabung erfolgte die Untersuchung des ersten virtuellen Patientenfalles am rechten Auge (Fall 1 OD). Sobald der Proband sich bereit für den Start der Testung fühlte, gab er ein Zeichen. Ab diesem Moment erfolgte die Erfassung der Zeit mithilfe einer digitalen Stoppuhr. Bei Absetzen des Simulator - Ophthalmoskops wurde die Zeit gestoppt und im Dokumentationsbogen durch die Doktorandin notiert. Diese Messmethode erfolgte für Fall 1 bis 7 jeweils für alle Augenpaare. Die Fälle 1, 3 und 5 wurden hinsichtlich des ausgeleuchteten Areal, sowie die dafür benötigte Untersuchungszeit, der drei Studiengruppen verglichen. Daher

wurde bei allen Gruppen als Fall 1 OD das Netzhautbild einer Stauungspapille bei Einblick durch eine nichterweiterte, enge Pupille gezeigt (siehe Abbildung 12). Im Folgenden wird zur Vereinfachung „Miosis“ als die unbeeinflusste Pupille bezeichnet. In Fall 3 OD wurde dem Untersucher erneut dieses Bild präsentiert. Diesmal unter den Bedingungen einer erweiterten Pupille. Zum Abschluss jeder Trainingseinheit wurde in Fall 5 OD erneut das Fundusbild einer Stauungspapille unter den anfänglichen Bedingungen in Miosis gezeigt. Eine Unterscheidung über das Erkennen oder Nichterkennen der vorliegenden Pathologie erfolgte hierbei nicht. Viele Studienteilnehmer hatten auf dem Gebiet der Netzhautpathologien in Theorie sowie Praxis wenig bis kaum Vorkenntnisse. Da es um eine Evaluation der Technik und nicht der medizinischen Kenntnisse ging, wurde die Größe des ausgeleuchteten Fundusareals digital aufgezeichnet und in einer separaten Datenbank abgespeichert.

Tabelle 2: Gruppenunterteilung in Gruppe S, Gruppe O, Gruppe N und Fallkodierung.

Gruppe	Fall Nr.	Erkrankungen des Fundus		Pupille
		Rechtes Auge	Linkes Auge	
Medizinstudenten (Gruppe S)	1	AION / Ödem	Normal	eng
	2	Ablatio Retinae	Normal	weit
	3	AION / Ödem	Normal	weit
	4	Chorioretinales Kolobom (Peripher)	Chorioretinales Kolobom (Papillenbeteiligung)	weit
	5	AION / Ödem	Normal	eng
	6	Zentral venöser Verschluss	Normal	weit
	7	AION / Ödem	Normal	weit
Ophthalmologen (Gruppe O)	1	AION / Ödem	Normal	eng
	2	Normal	Makula Foramen	weit
	3	AION / Ödem	Normal	weit
	4	Normal	Subhyaloide Blutung	weit
	5	AION / Ödem	Normal	eng
	6	Ablatio Retinae	Normal	weit
	7	Zentral arterieller Verschluss	Normal	weit
Neonatalogen, Neurologen, Neurochirurgen (Gruppe N)	1	AION / Ödem	Normal	eng
	2	Normal	Papillenblässe (Meningeom)	weit
	3	AION / Ödem	Normal	weit
	4	Zentral venöser Verschluss	Normal	weit
	5	AION / Ödem	Normal	eng
	6	Optikusatrophie (Glaukom)	Optikusatrophie (Glaukom)	weit
	7	Zentral arterieller Verschluss	Normal	weit

2.5 Effizienz Ratio

Untersucht wurden die Leistungen der drei Studiengruppen hinsichtlich des prozentualen Anteils des ausgeleuchteten Areals der Netzhaut und der dafür benötigten Zeit.


Um die Daten der Gruppen hinsichtlich der Effizienz zu vergleichen, wurde die Untersuchungseffizienz dieser Studie als der Quotient aus Untersuchungsareal in Prozent (%) und effektive Untersuchungszeit in Sekunden (sek.) definiert.

$$\text{Effizienz Ratio} = \frac{\text{Untersuchtes Areal in Prozent (\%)}}{\text{Effektive Untersuchungszeit in Sek}}$$

2.6 Feedback

Nach der abgeschlossenen Testung der sieben Studienfälle am Simulator, wurde von jedem Teilnehmer ein Feedback erfragt. Die Fragen bezogen sich dabei auf mögliche Probleme bei der Anwendung der Virtual Reality Technik (Abbildung 14) (Fragebogen siehe Anhang). Nach Abschluss jeder Trainingseinheit erfolgte auch die Aushändigung eines Fragebogens bezüglich der persönlichen Einschätzung. Es wurde erfragt, wie gut die Teilnehmer mit dem Simulator „zurecht“ kamen. Hier konnten die Teilnehmer im Sinne des Schulnotensystems zwischen „sehr gut“, „gut“, „befriedigend“, „ausreichend“ oder „mangelhaft“ wählen und sich selbst bewerten.

Im Fragebogen wurde weiterhin nach dem jeweiligen Wissensstand der Funduskopie vor Beginn der Studie gefragt.



UNIVERSITÄTS
KLINIKUM
TÜBINGEN

Department für
Augenheilkunde

Fragebogen zur Studie:

„Augmented Reality als unterstützende Lehrtechnik zur Vermittlung, Vertiefung und Evaluation von Fertigkeiten auf dem Gebiet der direkten Funduskopie.“

ID:	Sehr gut	Gut	Befriedigend	Ausreichend	Mangelhaft
Wie kamen Sie mit dem Funduskopie Simulator zurecht?	?	?	?	?	?
Wie schätzen Sie Ihre Sicherheit im Funduskopieren nach der Benutzung des Simulators ein?	?	?	?	?	?
Wie war Ihr Wissensstand über die Funduskopie vor der Arbeit am Simulator?	?	?	?	?	?

	Ja	Nein
Fanden Sie das Training persönlich hilfreich für Ihre Fertigkeiten?		? ? ? Falls nein, warum:? ? ? ?
Empfehlen Sie das Simulatortraining für Lehrzwecke weiter?	?	? ? ? Falls nein, warum:? ? ? ?
Gab es besondere Schwierigkeiten für Sie?	? ? ? Falls ja, welche:? ? ? ? ?	?
Platz für Ihren persönlichen Kommentar:		

Abbildung 14: Fragebogen nach Abschluss der Untersuchung (siehe Anhang 8.8).

3. Ergebnisse

3.1 Untersuchungskollektiv

In der Zeit von August 2016 bis Oktober 2017 wurden insgesamt 78 Studienteilnehmer rekrutiert. Darunter fanden sich bei der Gruppe der Ophthalmologen vier Datensätze, welche fehlerhaft waren. Es wurden vier weitere, zuvor nicht beteiligte, Ophthalmologen eingeschlossen, um die erforderliche Gesamtzahl von 20 voll verwertbaren Datensätzen der Gruppe O entsprechend der Fallzahlplanung einzuschließen. Von diesen waren 10 Fachärzte und 10 Assistenzärzte (Abbildung 15).

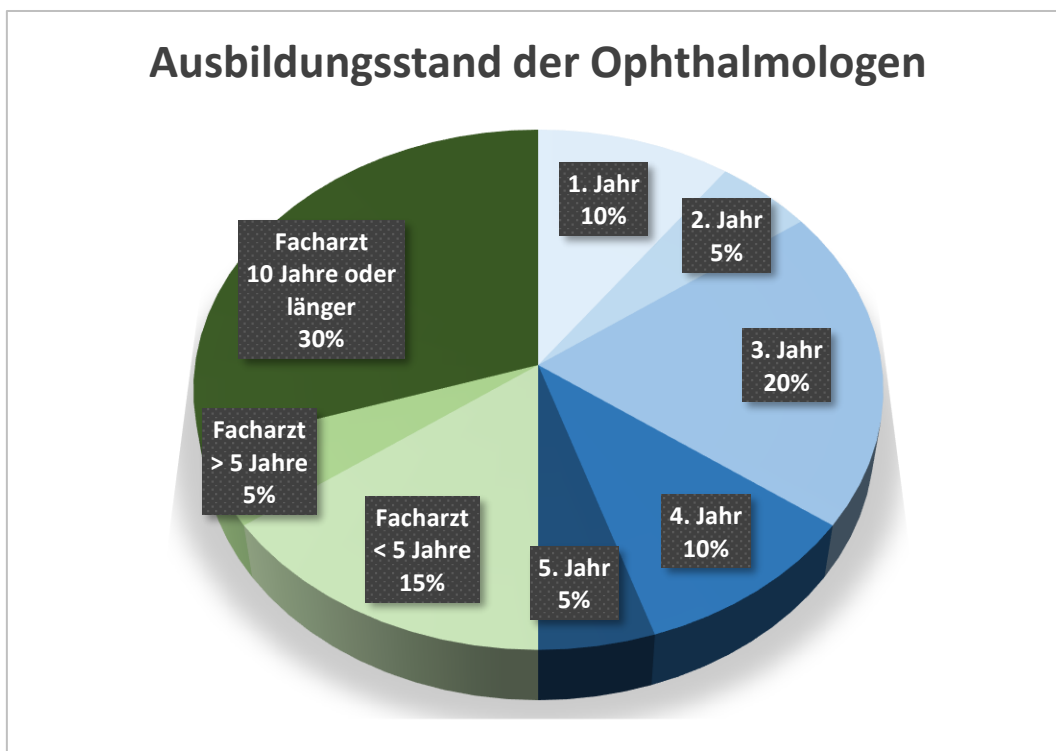


Abbildung 15: Kreisdiagramm des Ausbildungsstands der Augenärzte. Verteilung der Assistenzärzte (1.-5. Jahr) (Blau) sowie die Berufserfahrung der Fachärzte (grün) unterteilt in „Facharzt weniger als 5 Jahre“, „Facharzt mehr als 5 Jahre“, bzw. „Facharzt 10 Jahre oder länger“.

In der Gruppe der Medizinstudenten (Gruppe S) wurden 15 Datensätze und für die Gruppe der Neurologen, Neonatologen, Neurochirurgen (Gruppe N) 39 Datensätze fehlerfrei aufgezeichnet. Die Teilnehmer der Gruppe S befanden sich durchschnittlich im achten Fachsemester des Medizinstudiums. Das Minimum der Semesterzahl war das dritte, das Maximum das zwölfte Fachsemester.

In der Gruppe N waren 3 Neonatologen, 2 Neurochirurgen und insgesamt 34 Neurologen vertreten.

Von allen Teilnehmern gaben 13 Vorerfahrungen mit Virtual Reality an (17%). Diese waren, mit acht Personen, mehrheitlich aus der Gruppe O (Siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Gruppencharakteristika, Gruppe S: Medizinstudenten; Gruppe O: Ophthalmologen; Gruppe N: Neurologen, Neurochirurgen, Neonatologen.

	Gruppe S	Gruppe O	Gruppe N
Anzahl der Studienteilnehmer	15	24	39 Neonatologen: 3 Neurochirurgen: 2 Neurologen: 34
Verwertbare Datensätze	15	20	39
Männlich/Weiblich	6/9	11/9	21/18
Oberärzte	-	10	5
Assistenzärzte	-	10	34
Semesterzahl	Durchschnittlich: 8 Minimum: 3 Maximum: 12	-	-
Erfahrungen mit Virtual Reality	2	8	3

3.2 Gesamtergebnisse der ausgeleuchteten Netzhautareale

Tabelle 4: Ergebnisse der ausgeleuchteten Areale und deren Standardabweichungen (Std.-Abw.) (in %); Fall 1 bis 7 für Oculus Dexter (OD) und Oculus Sinister (OS). Die drei Vergleichsfälle, die für alle Gruppen identisch waren, sind gelb hinterlegt.

Fall / Auge	Gruppe S Mittel (Std.-Abw.)	Gruppe O Mittel (Std.-Abw.)	Gruppe N Mittel (Std.-Abw.)
Fall 1 / OD	4.88 (2,46)	10.28 (8,67)	4.20 (3,12)
Fall 1 / OS	4.99 (3,34)	8.97 (7,65)	4.15 (2,50)
Fall 2 / OD	6.50 (4,30)	10.25 (8,12)	4.93 (3,28)
Fall 2 / OS	6.37 (4,19)	10.72 (9,41)	4.56 (3,06)
Fall 3 / OD	11.98 (8,71)	15.37 (11,37)	6.44 (4,78)
Fall 3 / OS	12.35 (8,75)	14.05 (10,89)	6.32 (4,86)
Fall 4 / OD	8.67 (6,13)	13.44 (8,62)	5.85 (3,39)
Fall 4 / OS	9.24 (8,35)	15.15 (10,69)	4.73 (2,82)
Fall 5 / OD	9.67 (7,96)	14.07 (10,61)	5.05 (3,70)
Fall 5 / OS	9.10 (7,32)	13.27 (9,81)	4.73 (3,36)
Fall 6 / OD	9.51 (7,86)	15.25 (11,28)	5.09 (3,15)
Fall 6 / OS	10.24 (8,21)	14.46 (11,26)	4.77 (2,98)
Fall 7 / OD	12.07 (11,66)	14.75 (10,92)	7.00 (4,34)
Fall 7 / OS	11.47 (8,35)	15.82 (11,30)	6.13 (3,70)

In Tabelle 4 sind die Gesamtergebnisse der ausgeleuchteten Areale der Fälle 1 bis 7 für jeweils das rechte und linke Auge in Prozent dargestellt. Zudem sind die Fälle für die einzelnen Studiengruppen (Gruppe S, Gruppe O und Gruppe N) aufgeführt.

3.3 Ergebnisse der Vergleichsfälle 1, 3 und 5 – Ausgeleuchtetes Areal

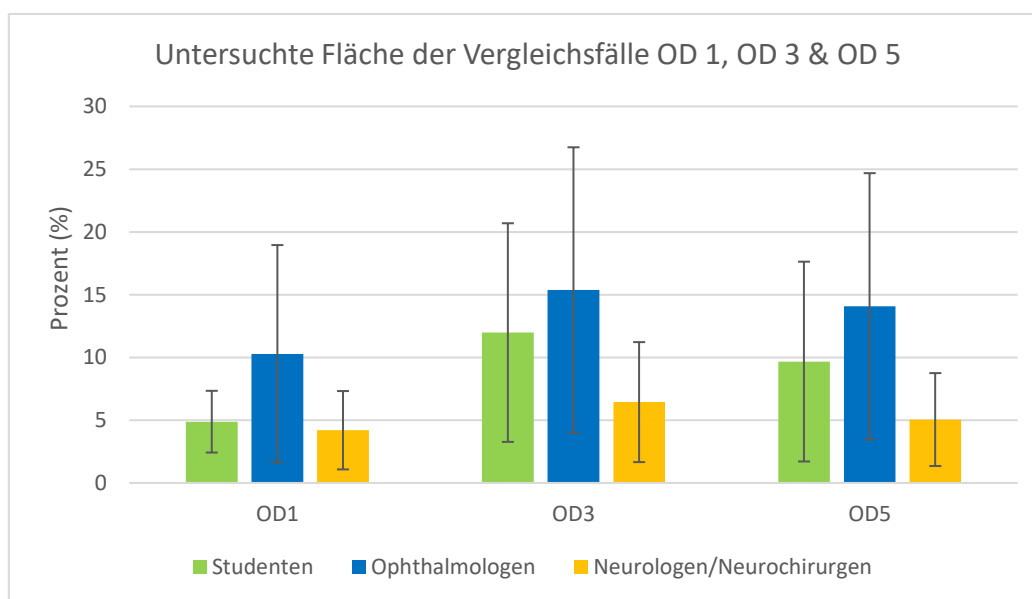


Abbildung 16: Balkendiagramm der Vergleichsfälle OD1, OD3 und OD5 in Abhängigkeit von der untersuchten Fläche (in Prozent). Die unteren und oberen Whisker entsprechen der Standardabweichung.

Abbildung 16 zeigt die untersuchte Fläche in Prozent. Im ersten Fall zeigt sich ein signifikanter Unterschied der untersuchten Fläche durch die Ophthalmologen, welche signifikant größer ($p = 0,033$) war als die der Gruppen S und N.

In Fall OD 3 haben die Ophthalmologen signifikant mehr Fläche ($p = 0,037$) untersucht als Gruppe N. Sowohl zwischen Gruppe O und Gruppe S ($p = 0,307$), als auch zwischen Gruppe N und Gruppe S ($p = 0,156$) zeigte sich im dritten Fall kein signifikanter Unterschied.

Im Vergleich zu Fall 1 (Miosis) haben alle Gruppen signifikant mehr Netzhautfläche in Fall 3 (Mydriasis) ausgeleuchtet (Gruppe O: $p = 0,001$; Gruppe S: $p = 0,001$; Gruppe N: $p = 0,0001$).

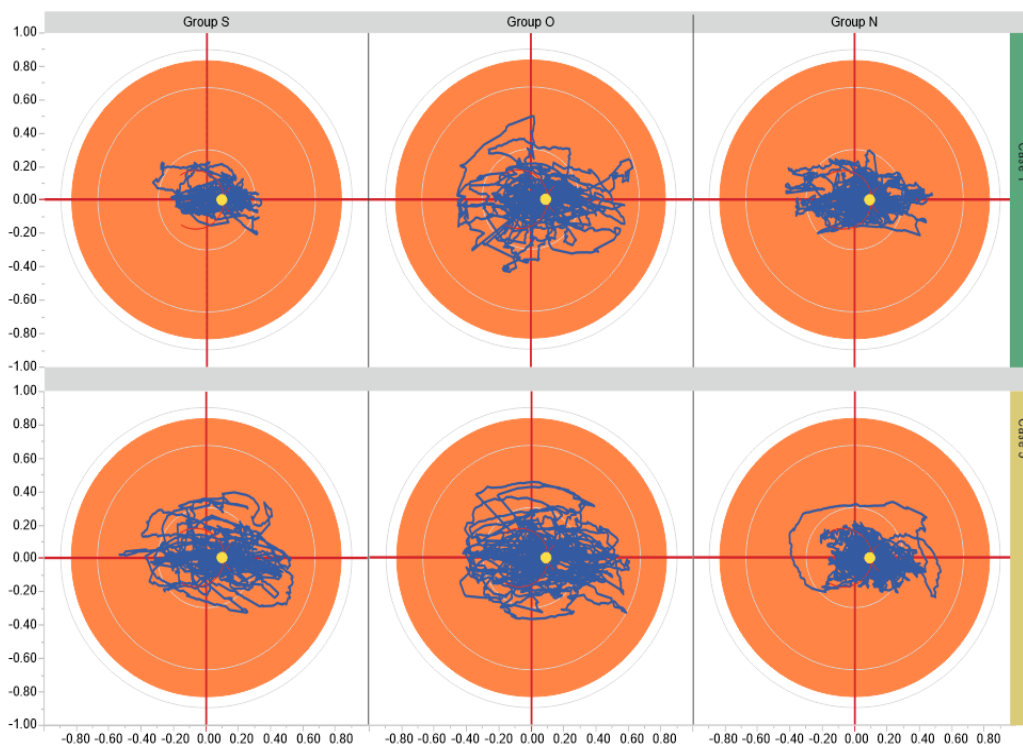


Abbildung 17: Schematische Darstellung des ausgeleuchteten Areals (blau) auf der Netzhaut (orange) für Fall 1 (oben) und Fall 5 (unten) unterteilt in die Studiengruppen (S, O und N).

Im Vergleich zu Fall 1 leuchtete Gruppe O eine signifikant größere Fläche aus ($p = 0,002$). Gruppe S zeigte ebenfalls eine signifikante Verbesserung zu Fall 1 ($p = 0,001$). Auch Gruppe N konnte signifikant mehr Fläche ($p = 0,042$) ausleuchten als in Fall 1.

Der Vergleich zwischen Fall 3 und Fall 5 zeigte bei allen Gruppen ebenfalls einen signifikanten Unterschied (Gruppe O: $p = 0,036$; Gruppe S: $p = 0,010$; Gruppe N: $p = 0,001$), wobei in Fall 3 mehr Fläche ausgeleuchtet wurde.

Alle Gruppen zeigten eine lineare Abhängigkeit von benötigter Untersuchungszeit und ausgeleuchtetem Areal (Gruppe S: $r^2 = 0,74$, Gruppe O: $r^2 = 0,58$, Gruppe N: $r^2 = 0,58$). Die Untersuchungswege für Fall 1 und 5 sind in Abbildung 17 für alle Gruppen schematisch dargestellt.

3.4 Gesamtergebnisse der gemessenen Untersuchungszeiten

Die gemessenen Zeiten der Fälle 1 bis 7 sind in Tabelle 5, für jeweils das rechte und linke Auge des virtuellen Patienten, dargestellt. Die für die Studie gewählten Vergleichsfälle 1, 3 und 5 sind gelb hervorgehoben.

Ergebnisse

Tabelle 5: Ergebnisse der gemessenen Zeiten (in Sekunden) und die dazugehörige Standardabweichung für Fall 1 bis 7 unterteilt in die drei Studiengruppen (S,O und N). Die drei Vergleichsfälle, die für alle Gruppen identisch waren, sind gelb hinterlegt.

Fall/Seite	Gruppe S Median (Std.-Abw.)	Gruppe O Median (Std.-Abw.)	Gruppe N Median (Std.-Abw.)
Fall 1 / OD	65 (34)	80 (67)	87 (77)
Fall 1 / OS	67 (49)	58 (56)	78 (60)
Fall 2 / OD	53 (39)	68 (49)	74 (60)
Fall 2 / OS	74 (44)	50 (50)	60 (45)
Fall 3 / OD	60 (45)	67 (56)	69 (44)
Fall 3 / OS	59 (34)	64 (43)	62 (43)
Fall 4 / OD	54 (39)	72 (58)	78 (53)
Fall 4 / OS	72 (27)	79 (60)	57 (36)
Fall 5 / OD	61 (41)	74 (55)	68 (40)
Fall 5 / OS	64 (31)	60 (48)	53 (40)
Fall 6 / OD	68 (32)	68 (56)	59 (39)
Fall 6 / OS	56 (36)	71 (50)	58 (36)
Fall 7 / OD	64 (46)	61 (54)	96 (52)
Fall 7 / OS	62 (36)	69 (44)	77 (41)

3.5 Ergebnisse der Vergleichsfälle 1, 3 und 5 – Gemessene Zeit

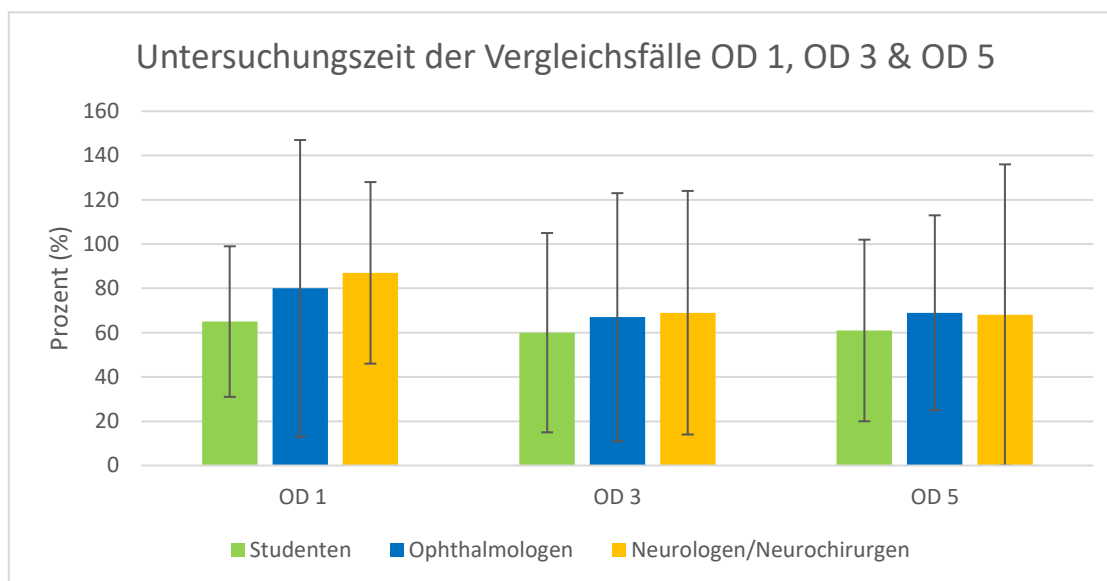


Abbildung 18: Balkendiagramm der Vergleichsfälle OD 1, OD 3 und OD 5 in Abhängigkeit von der benötigten Untersuchungszeit (in Sekunden). Die Balken entsprechen der untersuchten Zeit. Die unteren und oberen Whisker entsprechen der Standardabweichung.

Abbildung 18 stellt die Untersuchungszeiten der Vergleichsfälle OD1, OD3 und OD5 dar. Im ersten Fall (OD 1) konnte ein signifikanter Unterschied in der Untersuchungszeit zwischen Gruppe N und Gruppe S festgestellt werden ($p = 0,028$), Gruppe S untersuchte in diesem Fall signifikant kürzer. Die effektive Untersuchungszeit „Blendung des Patienten“ dauerte für die erste Untersuchung (Fall 1, nur OD) im Durchschnitt 41 Sekunden (SD = 24 Sekunden, 58% der totalen Untersuchungszeit) für Gruppe S, 66 Sekunden (SD = 38 Sekunden, 67% der totalen Untersuchungszeit) für Gruppe O und 53 Sekunden (SD = 32 Sekunden, 58% der totalen Untersuchungszeit) für Gruppe N.

In Fall OD 3 (Abbildung 18) zeigen die Gruppen S, O und N keine signifikanten Unterschiede in der benötigten Untersuchungszeit zu Fall 1 und Fall 5. Es besteht ebenfalls kein Unterschied der Untersuchungsdauer von Fall 3 zwischen den einzelnen Gruppen.

In Fall 5 benötigte Gruppe N eine signifikant kürzere Untersuchungszeit als in Fall 1 ($p = 0,036$). Die anderen Gruppen zeigten keine signifikanten Unterschiede in der Untersuchungszeit.

3.6 Ergebnisse der Effizienz Ratio

Tabelle 6: Effizienz Ratio der Gruppe S, Gruppe O und Gruppe N für alle untersuchten Fälle; Gelb hinterlegt sind die Vergleichsfälle 1,3, und 5.

Fall / Auge	Gruppe S	Gruppe O	Gruppe N
Fall 1 / OD	0,07	0,10	0,05
Fall 1 / OS	0,06	0,11	0,05
Fall 2 / OD	0,09	0,12	0,06
Fall 2 / OS	0,08	0,16	0,07
Fall 3 / OD	0,17	0,19	0,08
Fall 3 / OS	0,19	0,21	0,09
Fall 4 / OD	0,13	0,16	0,07
Fall 4 / OS	0,13	0,17	0,07
Fall 5 / OD	0,13	0,16	0,07
Fall 5 / OS	0,13	0,18	0,07
Fall 6 / OD	0,13	0,19	0,08
Fall 6 / OS	0,15	0,19	0,07
Fall 7 / OD	0,17	0,20	0,07
Fall 7 / OS	0,16	0,21	0,08

Tabelle 6 zeigt die Effizienz Ratio der einzelnen Gruppen (Gruppe S, Gruppe O, Gruppe N) für alle untersuchten Augen. Die Höhe des Scores zeigt das Verhältnis von Untersucher Netzhaut pro gemessener Zeit.

3.6.1 Effizienz Ratio Studenten

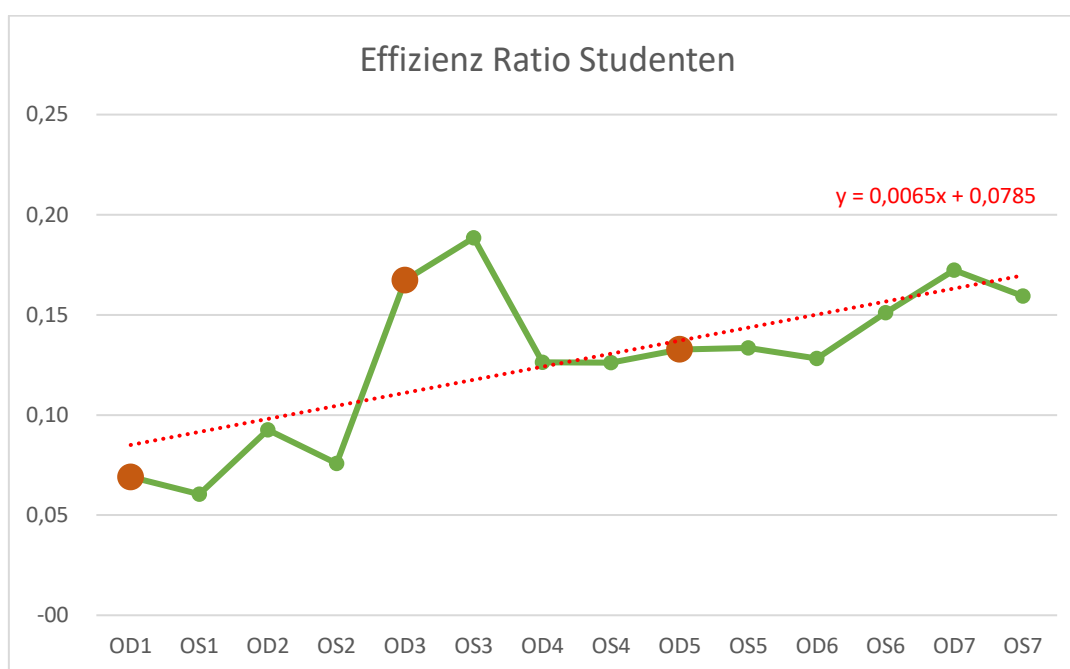


Abbildung 19: Das Diagramm zeigt die jeweilige Effizienz - Ratio der Studenten - Gruppe für jedes untersuchte Auge. Hervorgehoben sind die Vergleichsfälle OD1; OD3 und OD5. In Rot ist die Trendlinie dargestellt.

Das aufgeführte Diagramm (Abbildung 19) zeigt die Effizienz - Ratio der Studenten - Gruppe jeweils einzeln für alle untersuchten Augen der 7 Patientenfälle.

Bei Betrachtung der Trendlinie (rot) zeigt das Diagramm insgesamt einen stetigen Anstieg (Steigung 0,0065). Der Vergleich Fall OD1 und Fall OD3 zeigt eine signifikante Verbesserung der Effizienz Ratio ($p = 0,001$). Ebenso zeigt der Vergleich zwischen Fall OD1 und Fall OD5 eine signifikante Verbesserung ($p = 0,003$).

Die Untersuchungen im dritten Fall stechen mit 0,18 als Effizienz Ratio am linken Auge (OS3) und mit 0,17 (OD3) am rechten Auge besonders hervor. Der Vergleich zwischen

Fall OD3 und Fall OD5 zeigt eine signifikant niedrigere Effizienz ($p = 0,020$) der Untersuchung.

3.6.2 Effizienz Ratio Ophthalmologen

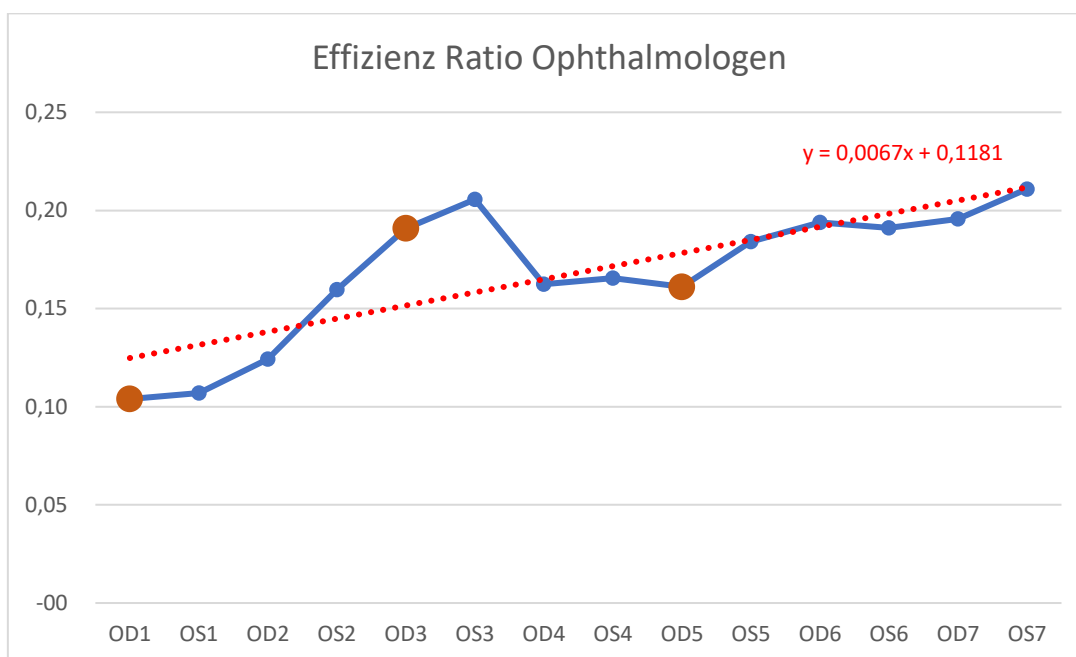


Abbildung 20: Das Diagramm zeigt die jeweilige Effizienz - Ratio für jedes untersuchte Auge der Ophthalmologen - Gruppe. Hervorgehoben sind die Vergleichsfälle OD1; OD3 und OD5. In Rot ist die Trendlinie dargestellt.

Auch bei der Gruppe O zeigt sich ein Anstieg (Steigung 0,0067) der Trendlinie im Gesamtverlauf (Abbildung 20). Der Vergleich zwischen Fall OD1 und Fall OD3 zeigt eine signifikant effizientere Funduskopie ($p = 0,0002$). Ebenso war auch der Unterschied zwischen Fall OD1 und Fall OD5 signifikant besser ($p = 0,002$). Zwischen Fall OD3 und Fall OD5 zeigte sich kein Unterschied.

3.6.3 Effizienz Ratio Neurologen/Neurochirurgen/Neonatologen

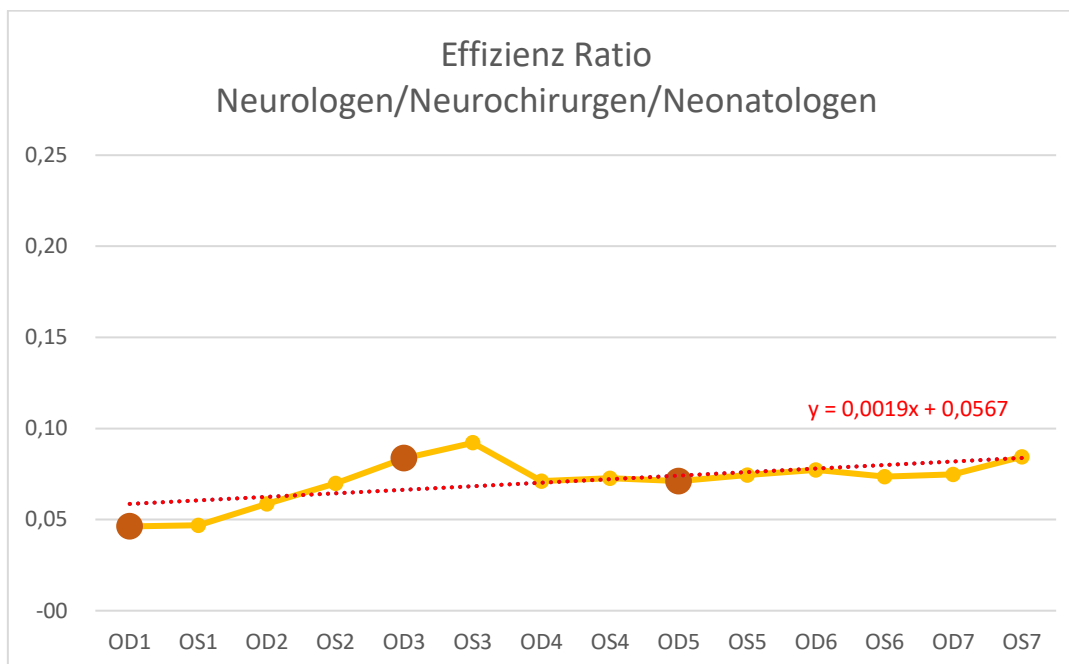


Abbildung 21: Das Diagramm zeigt die jeweilige Effizienz - Ratio für jedes untersuchte Auge der Neurologen/ Neurochirurgen/ Neonatologen - Gruppe. Hervorgehoben sind die Vergleichsfälle OD1; OD3 und OD5. In Rot ist die Trendlinie dargestellt.

Abbildung 21 zeigt die Effizienz - Ratio für Gruppe N. Auch hier zeigt sich ein leichter konstanter Anstieg in der Trendlinie (Steigung 0,0019). Fall OD3 wurde signifikant effizienter untersucht als Fall OD1 ($p = 0,001$), ebenso verhält sich die Effizienz zwischen Fall OD5 und Fall OD1 ($p = 0,022$) und Fall OD5 und Fall OD3 ($p = 0,049$).

3.6.4 Effizienz Ratio im Vergleich

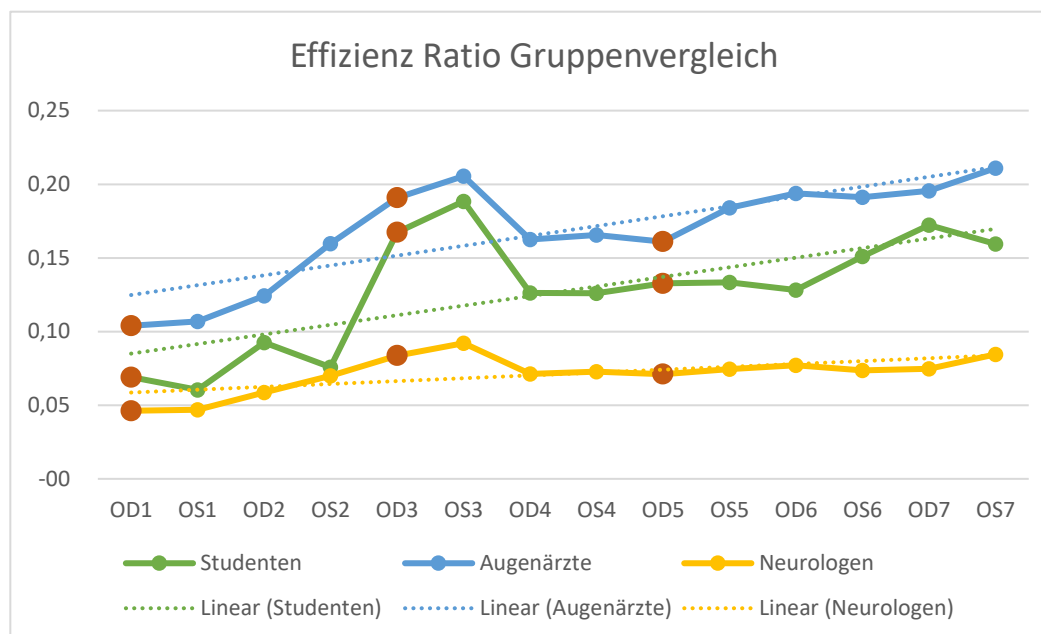


Abbildung 22: Die Abbildung zeigt die einzelnen Fälle in Abhängigkeit der Effizienz - Ratio. In Blau sind die Daten der Gruppe O, in Grün die Daten der Gruppe S und in Gelb die Daten der Gruppe N dargestellt. Hervorgehoben sind die Vergleichsfälle OD 1; OD 3 und OD 5. Die gestrichelte Linie stellt jeweils die Trendlinie dar.

Vergleicht man die 3 Studiengruppen untereinander (Abbildung 22) lässt sich der Anstieg der untersuchten Netzhautfläche pro Zeiteinheit in allen Gruppen erkennen. Die größte Steigung der Trendanalyse zeigt Gruppe S (0,0065) gefolgt von Gruppe O (0,0067). Gruppe N zeigt ebenfalls einen Anstieg im Trend, der jedoch geringer ausfällt (0,0019).

Im Fall OD1 zeigte die Gruppe O die höchste Effizienz Ratio (0,1), vor der Gruppe der Studenten (0,07) und Gruppe N (0,05). Es besteht kein Unterschied zwischen der Effizienz Ratio der Gruppen S und O, jedoch ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen O und N ($p = 0,001$), sowie zwischen Gruppe S und N ($p = 0,031$) (Abbildung 23).

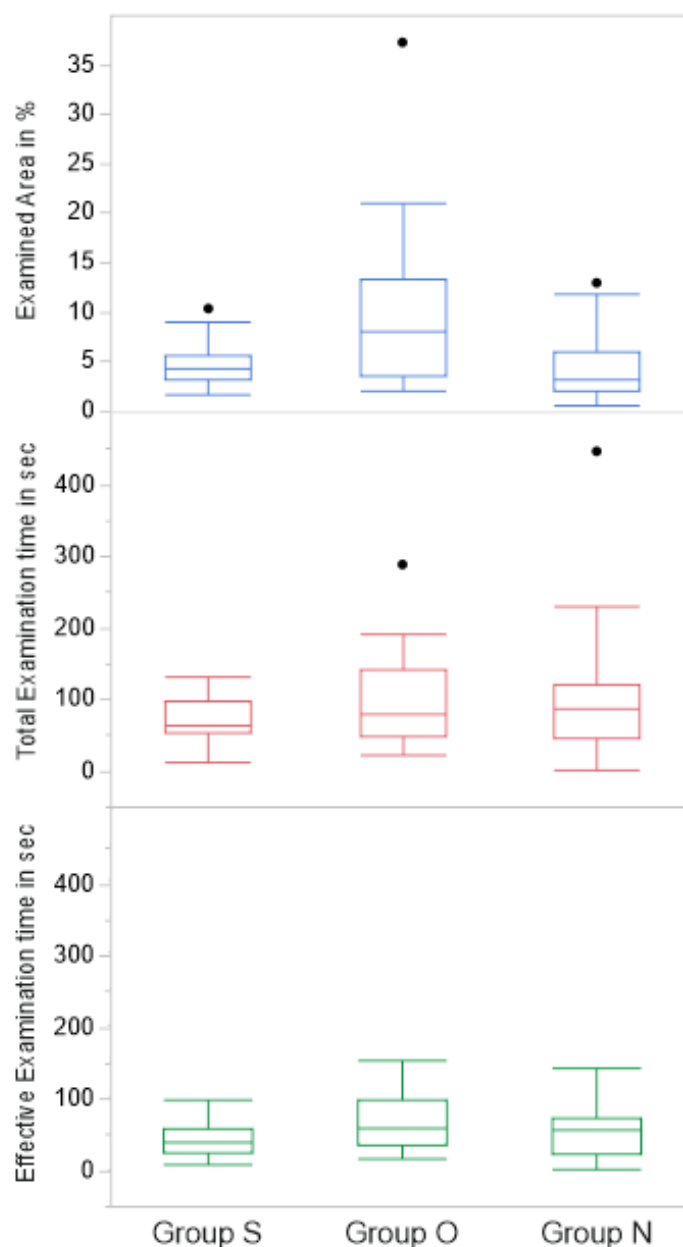


Abbildung 23: Boxplot - Grafik des Untersuchten Netzhautareals des rechten Auges in Fall 1, für die jeweiligen Studiengruppen (Studenten: Group S; Ophthalmologen: Group O; Neurologen/Neurochirurgen/Neonatologen: Group N). Oben ist das ausgeleuchtete Areal in Prozent (blau) dargestellt; die mittlere Darstellung zeigt die Untersuchungszeit in Sekunden (rot); Die Boxen unten (grün) zeigen die effektive Untersuchungszeit in Sekunden; Der obere und untere Whisker zeigen das 5% bzw. 95% Quartil; die Box zeigt das 25% bzw. 75% Quartil; als Linie ist der Median dargestellt.

In allen Gruppen zeigt sich ein Anstieg der Effizienz Ratio bis hin zu Fall 3. Für alle Gruppen war der Unterschied zwischen Fall OD1 und Fall OD3 signifikant (Gruppe S: $p = 0,001$; Gruppe O: $p = 0,0002$; Gruppe N: $p = 0,001$) besser.

Die Effizienz Ratio der Gruppe O (0,19) unterscheidet sich nicht von der Effizienz Ratio der Gruppe S (0,17) im Fall OD3. Zu Gruppe N (0,08) zeigt sich ein signifikanter Unterschied in der Effizienz zu Gruppe O ($p = 0,001$) und Gruppe S ($p = 0,012$). Gleiche Ergebnisse zeigen die Vergleiche für Fall OD5. Der Unterschied zwischen Gruppe N und Gruppe O ($p = 0,0003$) bzw. der Unterschied zwischen Gruppe N und Gruppe S ($p = 0,012$) ist signifikant. Die Gruppen O und S zeigen keinen Unterschied.

3.7 Ergebnis - Vergleich der Ophthalmologen: Facharzt gegen Assistenzarzt

3.7.1 Vergleich ausgeleuchtetes Netzhautareal

Das Balkendiagramm in Abbildung 24 zeigt den Vergleich der untersuchten Netzhautfläche durch Assistenz- und Fachärzte der Ophthalmologie über alle Fälle.

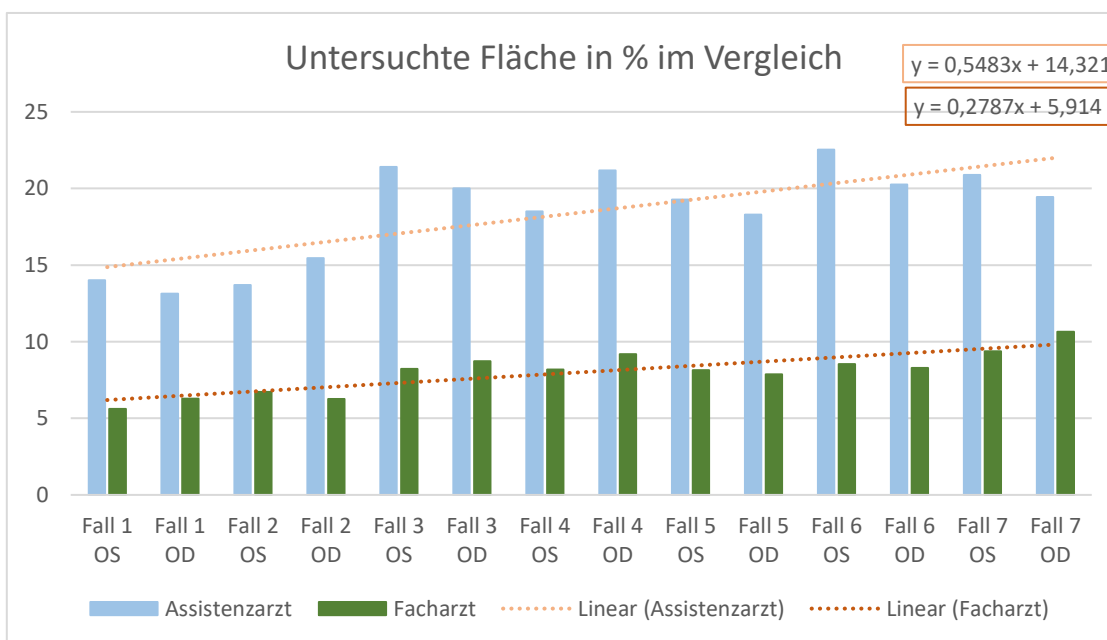


Abbildung 24: Balkendiagramm der untersuchten Netzhautfläche der einzelnen Augen in Prozent. Assistenzärzte (<5 Jahre Berufserfahrung): blau; Fachärzte (> 5 Jahre Berufserfahrung): grün; die gepunktete Linie ist jeweils die Trendlinie.

In allen Fällen zeigt sich ein signifikanter Unterschied in der untersuchten Fläche (Vergleiche auch Abbildung 25).

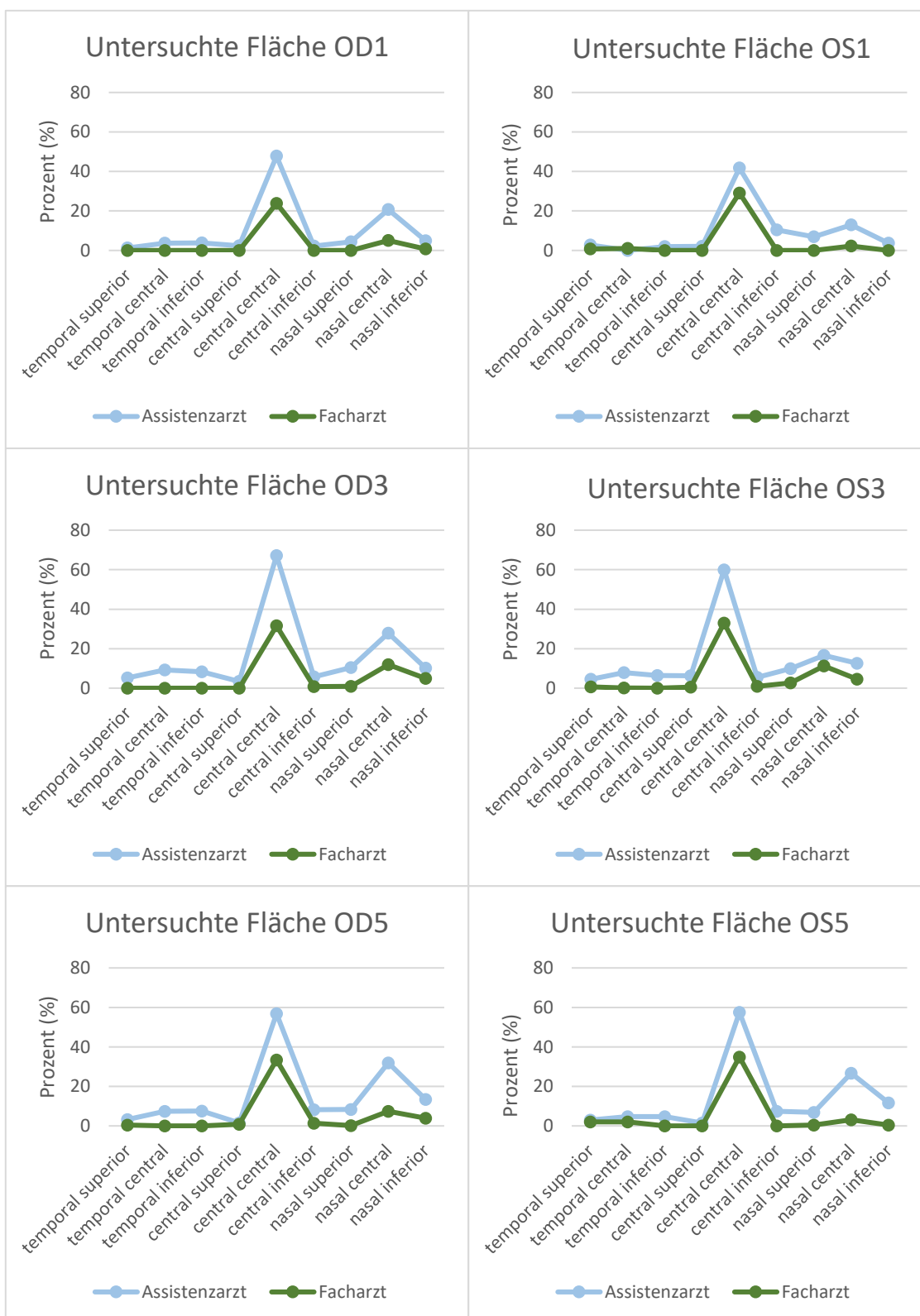


Abbildung 25: Schematische Darstellung der Ausgeleuchteten Netzhautfläche (%), nach der Kategorisierung der Logfiles (Abbildung 11). Assistenzärzte: blau, Fachärzte: grün (s. Anlage 8.9).

3.7.2 Vergleich der Untersuchungszeit

Abbildung 26 zeigt den Vergleich zwischen der Untersuchungszeit der Assistenzärzte und der Fachärzte der Gruppe O. In allen Fällen zeigt sich eine kürzere Untersuchungszeit durch die Fachärzte. Dieser Unterschied ist in allen Fällen rechnerisch statistisch signifikant, sollte aufgrund der Gruppengröße aber rein deskriptiv betrachtet werden.

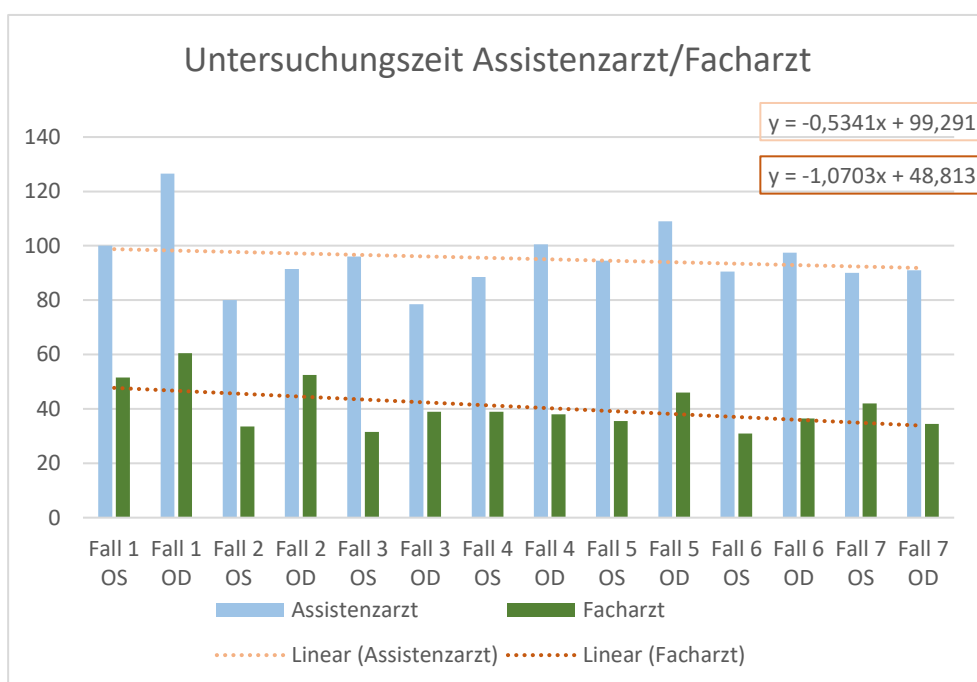


Abbildung 26: Balkendiagramm der benötigten Untersuchungszeit der einzelnen Augen in Sekunden. Assistenzärzte (<5 Jahre Berufserfahrung): hellblau; Fachärzte (> 5 Jahre Berufserfahrung): grün; die gepunktete Linie ist jeweils die Trendlinie.

3.7.3 Vergleich der Effizienz Ratio

Abbildung 27 zeigt die Effizienz - Ratio der Assistenzärzte im Vergleich zu den Fachärzten. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied.

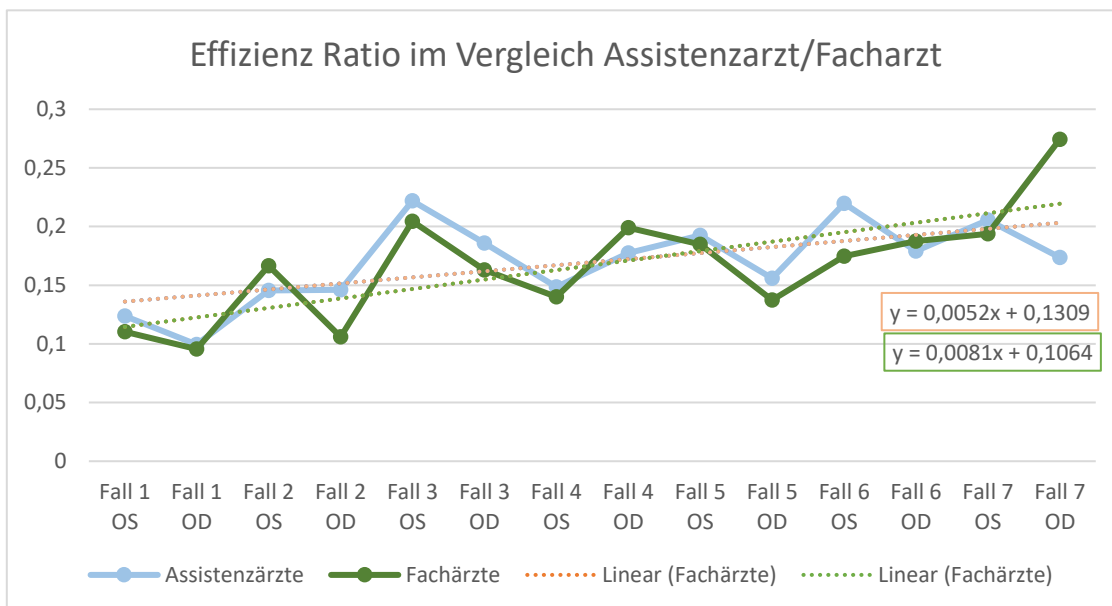


Abbildung 27: Die Abbildung zeigt die einzelnen Fälle in Abhängigkeit der Effizienz - Ratio. In Blau sind die Daten der Assistenzärzte und in Grün die Daten der Fachärzte dargestellt. Die gestrichelte Linie stellt jeweils die Trendlinie dar.

3.8 Feedback

3.8.1 Fragebogen: Selbsteinschätzung nach dem Training am Funduskopietrainer

Tabelle 7 zeigt die Auswertung des Fragebogens nach dem Training am Simulator bezüglich der Selbsteinschätzung. In Gruppe O bewerteten die Teilnehmer den eigenen Umgang mit dem Simulator zu 30% mit sehr gut, 60% mit gut und 10% mit der Schulnote befriedigend. In Gruppe N gaben 21 Personen (54%) an sehr gut zurecht

gekommen zu sein. Weitere 16 Personen der Gruppe N bewerteten den Umgang mit dem Simulator als gut (41%) und 2 Teilnehmer (5%) mit befriedigend. Aus der Gruppe S gaben 13% den erlebten Umgang mit dem Simulator als sehr gut, 73% als gut, und 13% als befriedigend an. Eine Person enthielt sich bezüglich einer Aussage.

Niemand bewertete den Umgang mit dem Simulator mit den Noten ausreichend oder mangelhaft.

Insgesamt 60% der Teilnehmer aus Gruppe O schätzten ihren Wissensstand als gut bis sehr gut ein. Von 35% der Augenärzte wurde der eigene Wissensstand mit befriedigend bis ausreichend sowie von weiteren 5% mit mangelhaft bewertet. In Gruppe N gaben sich 10% die Schulnote 3, 31% die Schulnote 4 und 59% die Schulnote 5 bezüglich des eigenen Wissensstands über die Funduskopie vor der Arbeit am Simulator. Aus der Gruppe der Studenten gaben jeweils 13% an, ihr Wissensstand sei befriedigend bis ausreichend. Weitere 73% bewerteten sich selbst in diesem Punkt mit mangelhaft. Ein Student enthielt sich und machte keine Angaben hierzu.

Bei der Frage „Wie sicher“ sich die Teilnehmer nach dem Funduskopie - Training einschätzen würden, gaben aus Gruppe O 55% sehr gut bis gut und 45% befriedigend bis ausreichend an. Aus der Gruppe N gab keiner der Teilnehmer sehr gut als Bewertung der eigenen Sicherheit an. Es bewerteten sich 15% mit gut, 44% mit befriedigend, 33% mit ausreichend, und 6% mit mangelhaft.

Aus Gruppe S gaben sich die Teilnehmer zu 13% die Note gut, 60 % befriedigend und jeweils 13% bewerteten die eigene Leistung nach Abschluss des Trainings mit ausreichend und mangelhaft.

In Gruppe O sahen 85% der Teilnehmer das Training als persönlich hilfreich an.

Gruppe N und S bewerteten das Training zu 100% als hilfreich für die persönlichen Fähigkeiten. Jeder der 74 Studienteilnehmer (100%) würde das Simulator Training für Lehrzwecke weiterempfehlen. Besondere Schwierigkeiten konnten im Freitext erwähnt werden. Dabei gaben aus der Gruppe O 90% an, keine Schwierigkeiten gehabt zu haben. In Gruppe N gab kein Teilnehmer an, besondere Schwierigkeiten erfahren zu haben. Aus der Gruppe S gaben 87% der Teilnehmer an, keine Schwierigkeiten gehabt zu haben.

Das Kommentarfeld wurde insgesamt von 26 Probanden (35%) genutzt. Am häufigsten (10 Kommentare) wurde der Funduskopietrainer und der Studienablauf als „sehr gut“ und „sehr lehrreich“ kommentiert. In allen Gruppen tauchten zudem Kommentare auf, die den Einsatz des Gerätes in der Lehre für sinnvoll erachten. Sowohl in Gruppe S als auch in Gruppe N würden sich vereinzelte Probanden solche Simulationen „häufiger im Studium“, bzw. ein solchen Untersuchungstrainer „für die Neurologie“ wünschen.

In Gruppe N und Gruppe S wurde die Netzhautdarstellung als sehr realistisch angesehen. In Gruppe O fand sich zweimal der Kommentar, dass die „Papille nicht ganz realistisch dargestellt“ sei, das Gerät aber „allgemein gut zum Üben der direkten Funduskopie“ sei.

Ergebnisse

Tabelle 7: Auswertung des Fragebogens mit den Antwortmöglichkeiten 1= Sehr gut, 2=Gut, 3=Befriedigend, 4=Ausreichend, 5=Mangelhaft.

Frage	Antwort- Möglichkeit	Gruppe S		Gruppe O		Gruppe N	
		n	%	n	%	n	%
Wie kamen Sie mit dem Funduskopie Simulator zurecht?	1	2	13	6	30	21	54
	2	11	73	12	60	16	41
	3	2	13	2	10	2	5
	4	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
Wie war Ihre Sicherheit vor der Arbeit am Simulator?	1	0	0	3	15	0	0
	2	0	0	9	45	0	0
	3	2	13	5	25	4	10
	4	2	13	2	10	12	31
	5	11	73	1	5	23	59
Wie war Ihre Sicherheit nach der Arbeit am Simulator?	1	0	0	2	10	0	0
	2	2	13	9	45	6	15
	3	9	60	7	35	17	44
	4	2	13	2	10	13	33
	5	2	13	0	0	3	6
Fanden Sie das Training persönlich hilfreich für Ihre Fertigkeiten?	Ja	15	100	17	85	39	100
	Nein	0	0	3	15	0	0
Empfehlen Sie das Simulatortraining für Lehrzwecke weiter?	Ja	15	100	20	100	39	100
	Nein	0	0	0	0	0	0
Gab es besondere Schwierigkeiten für Sie?	Ja	2	13	2	10	0	0
	Nein	13	87	18	90	39	100

Sowohl in Gruppe S als auch in Gruppe O wurde zweimal eine etwas schwierige Einfindungsphase beschrieben. „Handling anfangs knifflig, aber gut, da es in „echt“ noch schwerer ist“ (gs07). Alle Probanden aus allen Gruppen würden das Simulatortraining weiterempfehlen.

3.8.2 Symptome nach dem Training am Funduskopietrainer

In Tabelle 8 sind die erfragten, beeinträchtigenden Symptome nach dem Training am Simulator in Zugehörigkeit der Studiengruppen aufgelistet (Abbildung 14).

Hier gaben zwei Teilnehmer Sehstörungen an. Von einem Teilnehmer der Gruppe N wurden diese als „flackern“ beschrieben. In Gruppe O gab ein Teilnehmer unspezifische Sehstörungen an. Kopfschmerzen, Übelkeit und Schwindel wurden von allen Teilnehmern verneint.

Tabelle 8: Symptome nach dem Training am Funduskopietrainer.

Symptome Während/ Nach dem Training am Simulator	Gruppe S	Gruppe O	Gruppe N
Kopfschmerzen	0	0	0
Übelkeit	0	0	0
Schwindel	0	0	0
Sehstörungen	0	1	1

4. Diskussion

4.1 Technische Entwicklung in der Medizin

Die letzten Jahre über hat die Computertechnologie enorme Fortschritte gemacht. In allen Lebensbereichen kann man heutzutage digitale Unterstützung erhalten.

Ebenso ist in fast allen medizinischen Fachbereichen der stetige Wandel der Technologie inzwischen Alltag. Beispielhaft seien hier die Fortschritte in der Radiologie erwähnt. In den letzten Jahren wurden die MRT - und CT - Geräte immer leistungsstärker und flächendeckender verfügbar. Bereits 2011 befanden sich über 2600 Computertomographen und über 2000 MRTs in deutschen Praxen und Kliniken zur Diagnostik, Trend steigend (*Hommel 2011, #15*).

Auch in der Therapieplanung wird die fortschreitende Technisierung immer relevanter. Vom dreidimensional gedruckten Implantat bis hin zum großen Feld der Robotik, die uns neuartige Prothesen und neue robotergestützte Operationstechniken, wie zum Beispiel das Da - Vinci - Operationssystem, ermöglicht.

Die Augenheilkunde ist ein hochtechnisiertes Fach. Somit ergeben sich mit beinahe jedem relevanten Techniksprung neue diagnostische bzw. therapeutische Möglichkeiten. So werden die Aufnahmen der Netzhaut im OCT immer detaillierter und geben immer größeren Aufschluss über zugrunde liegende Erkrankungen. Auch therapeutisch ist es möglich, sich Untersuchungsbefunde direkt ins Operationsmikroskop projizieren zu lassen. So lassen beispielsweise geplante Op - Schnittführungen und Achslagen von torischen Intraokularlinsen, mit denen man einen Astigmatismus ausgleichen möchte, in Echtzeit in das Blickfeld des Operateurs projizieren. Der Operateur sieht so ein überlagertes Bild mit allen relevanten Informationen (*Carl-Zeiss-Meditec 2022, #6*). Es ist heute sogar möglich, intraoperative Live - OCT - Aufnahmen zu erstellen, welche dem Operateur als Hilfestellung für das bestmögliche Operationsergebnis dienen sollen. Der Nutzen der zunehmenden Technisierung der medizinischen Prozesse ist ein Gegenstand der Forschung.

Neben hohen Anschaffungs- und Unterhaltungskosten ist die teilweise komplexe Bedienung der Gerätschaften, die wiederum mehr Zeit und mitunter eigens geschultes

Personal erfordern, zu nennen. Da die Untersuchungen personenbezogen durchgeführt werden, müssen zudem mehr Ressourcen auf digitale Sicherheit aufgewendet werden, um den Datenschutz der Patienten zu gewährleisten.

Aufgrund der flächendeckenden und einfach zugänglichen Verfügbarkeit vieler diagnostischer Untersuchungen ist als weiterer großer Kritikpunkt die damit einhergehende Überdiagnostik zu nennen. Allein im Jahr 2009 unterzogen sich ca. 4,9 Millionen Menschen in Deutschland einer CT -, ca. 5,9 Millionen Menschen einer MRT - Untersuchung (*Hommel 2011, #15*). Kritisch ist, neben einer möglichen Strahlenbelastung, nicht nur die finanzielle Kostenbelastung des Gesundheitssystems zu betrachten, sondern auch das Vorgehen bei der Indikationsstellung.

Im Medizinstudium wird schon früh die systematische Herangehensweise an einen Patientenfall vermittelt. Diese sollte, wenn möglich und um nichts zu übersehen, immer nach gleichem Schema ablaufen. Am Anfang jeder Untersuchung steht die ausführliche Anamnese, gefolgt von der klinischen Untersuchung. Erst dann erfolgt eine möglicherweise notwendige weiterführende Diagnostik und anschließend die Einleitung der adäquaten Therapie.

Die heutige breite Verfügbarkeit der Diagnostik und die guten Darstellungen verleiten dazu, die klinische Untersuchung kurz zu halten oder zu vernachlässigen. Ein Ganzkörper - CT ist heutzutage innerhalb von 30 Sekunden angefertigt. Eine gründliche Anamnese sowie ausführliche klinische Untersuchung sind mit Sicherheit, auf den ersten Blick, zeitaufwändiger und im klinischen Alltag, bei überfüllten Notaufnahmen schwerer zu realisieren.

4.2 Kenntnisse der Ophthalmoskopie

Seit Erfindung des direkten Ophthalmoskops durch Herrmann von Helmholtz im Jahr 1851 hat sich vieles im Bereich der Technik in der Augenheilkunde weiterentwickelt. Zwar werden die Geräte immer handlicher und ausgereifter (*Pearce 2009, #34*), jedoch hat das direkte Ophthalmoskop durchaus seine Berechtigung und großen Nutzen. Es

besteht eine sehr gute flächendeckende Verfügbarkeit für alle Fachdisziplinen der Medizin bei nur geringem Finanzaufwand. Die Anwendung erfordert jedoch Übung.

Die zentrale Frage dieser Studie lautet:

Ist der direkte Funduskopietrainer EyeSi Direct zur Erlernung und Optimierung der Technik des direkten Funduskopierens geeignet?

Zu Beginn der Studie gaben die fachfremden Probanden an, im Bereich der Ophthalmoskopie keine nennenswerten Vorerfahrungen zu haben. Dies zeigt, dass im Medizinstudium und in der Arbeitslaufbahn eines Arztes diese Fertigkeit nur kurz oder überhaupt nicht vermittelt wird. Man könnte nun argumentieren, dass auch nicht jede Fachdisziplin von der Ophthalmoskopie Gebrauch machen muss, um die für sie relevanten Krankheitsbilder zu behandeln. Jedoch gibt es in vielen Bereichen sehr wohl solche Überschneidungen. Aufgrund dessen haben wir bei der Auswahl der Probanden mit der Gruppe S und Gruppe N eben diese Spezialisierungen mit eingeschlossen. Das Probandenkollektiv der Studenten wurde gewählt, da diese Gruppe noch am Anfang ihres beruflichen Werdeganges steht. Im Rahmen des Studiums liegt bei dieser Gruppe der Fokus noch eher ganzheitlich auf das Erlernen der Fertigkeiten für den Arztberuf. In Gruppe N finden sich verschiedene Fachdisziplinen wieder, welche bereits spezialisiert sind und sich bereits in einem Arbeitsalltag befinden. Fachspezifische Untersuchungsfertigkeiten bringt diese Gruppe bereits mit. Zwar hätte Gruppe N womöglich einen praktischen Nutzen von der direkten Ophthalmoskopie, jedoch müsste das Erlernen parallel zum Arbeitsalltag erfolgen. Des weiteren bedarf es am Anfang einer Befundkontrolle durch eine Person, die bereits sicher direkt Funduskopieren kann. Es eröffnet sich somit ein organisatorisches und von einer dritten Partei abhängiges Problem. Und genau hier soll der Funduskopietrainer als Problemlösung dienen.

Dass es eine Anpassung der Lehre in diesem Bereich bedarf, zeigte auch die Auswertung der ausgehändigten Erhebungsbögen. Eine allgemeine Unsicherheit bestand vor allem bei den Studenten, aber auch die Mehrheit der Teilnehmer aus

Gruppe N gaben im Vorfeld die eigene Unerfahrenheit auf diesem Feld an, obgleich schon eine Facharztausbildung durchlaufen wurde oder wird. In der Gruppe S gaben 73% der Teilnehmer sich selbst die Note mangelhaft bezüglich des eigenen Wissensstands über die Funduskopie vor der Arbeit am Simulator. Im Vergleich gaben sich 59% der Probanden der Gruppe N die Schulnote mangelhaft. Da die Ophthalmologen tagtäglich die indirekte Ophthalmoskopie praktizieren, gaben diese vermutlich aus diesem Grund keine grundlegende Unsicherheit an. Insbesondere jedoch in Bezug auf das direkte Augenspiegeln fühlten sich auch hier einige Kollegen noch unsicher. In der Gruppe O gaben 60% der Teilnehmer ihren Wissensstand als gut bis sehr gut, und weitere 35% mit immerhin noch mit befriedigend bis ausreichend an. Ein kleiner Anteil von 5% bewertete sich mit der Schulnote mangelhaft.

Nach erfolgter Lerneinheit am Funduskopietrainer bewerteten Gruppe S und Gruppe N diesen mit 100% hilfreich für die persönlichen Fähigkeiten. In Gruppe O sahen 85% der Teilnehmer dies ebenfalls so.

Bemerkenswert und wichtig zu nennen ist der Fakt, dass Jeder der 74 Studienteilnehmer (100%) das Simulator Training für Lehrzwecke weiterempfehlen würde. Dies zeigt, dass bereits eine kurze Lerneinheit am Simulator das Gefühl für die Handhabung, das Herangehen und auch die eigene Sicherheit für die direkte Ophthalmoskopie schulen kann. Und dies unabhängig vom vorherigen Wissenstandes oder zugehörigen Fachbereiches.

4.3 Vergleichsfälle 1,3 und 5

Da die Reihenfolge der Fälle in Teilen spezifisch für die einzelnen Gruppe angepasst wurde, waren nur die Fälle 1,3, und 5 für alle Gruppen identisch. Hierbei war in Fall 1 die Stauungspapille in enger Pupille, in Fall 3 der gleiche Befund in weiter Pupille, sowie abschließend als Fall 5 erneut in enger Pupille aufgeführt.

In Tabelle 5 sind die Zeiten, die die verschiedenen Gruppen zur Untersuchung benötigten, aufgeführt. Tabelle 4 zeigt die jeweils ausgeleuchteten Areale.

Zur Untersuchung des rechten Auges (OD) in Fall 1 benötigte Gruppe S mit 65 Sekunden am wenigsten Zeit. Gruppe O benötigte 80 Sekunden und Gruppe N 87 Sekunden. Gleichzeitig leuchtete Gruppe N die geringste Fläche (4,2%) im ersten Fall aus, gefolgt von Gruppe S mit 4,88%. Wie zu erwarten, leuchteten die Augenärzte bereits im ersten Fall eine signifikant größere Fläche (10,28%) aus.

Da bereits das erste zu untersuchende Auge (Fall 1 / OD) ein Vergleichsfall zwischen den drei Studiengruppen gewesen ist, war zu erwarten, dass sich signifikante Unterschiede zeigen. Keiner der Probanden hatte vorher an dem Gerät gesessen. Somit ist erklärt, dass in den Kommentaren oft von einer gewissen benötigten „Eingewöhnungsphase“, die Rede ist.

Betrachtet man den dritten Fall (Fall 3 OD), fällt auf, dass alle Gruppen eine ähnliche Untersuchungszeit ohne signifikante Unterschiede von 60 bis maximal 69 Sekunden benötigt haben. Keine Gruppe untersuchte signifikant länger oder kürzer in Fall 3 als in den übrigen Vergleichsfällen. Mit Blick auf die untersuchte Fläche zeigte sich bei allen Gruppen eine statistisch signifikante Zunahme des ausgeleuchteten Areal.

Im fünften Fall hat Gruppe N signifikant schneller untersucht als in Fall 1. Bei den Gruppen O und S zeigen sich in den Untersuchungszeiten keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zu Fall 1.

Vergleicht man Fall 1 und Fall 5 zeigen alle Studiengruppen einen signifikanten Anstieg der untersuchten Netzhaut. Ebenso besteht ein signifikanter Unterschied in der betrachteten Netzhautfläche zwischen Fall 3 und Fall 5, wobei in Fall 3 mehr Netzhaut beleuchtet wurde. Die Untersuchungszeit zeigt zwischen Fall 3 und Fall 5 jedoch in keiner Gruppe eine signifikante Veränderung.

Die Eingewöhnung mit dem direkten Ophthalmoskop scheint bei allen Gruppen bis maximal zum 3. Fall gedauert zu haben, denn sie zeigten in diesem Fall alle ähnliche Untersuchungszeiten ohne Signifikanzen. Dieser Fall ist der einzige Vergleichsfall mit erweiterter Pupille. Interessant ist, dass zwischen Fällen in Miosis im Vergleich zu Fällen in Mydriasis keine signifikante Änderung in der Untersuchungszeit festgestellt werden konnte. Dass eine größere Netzhautfläche in Mydriasis untersucht werden kann ist bekannt und deckt sich mit den hier erhobenen Daten. Im 3. Fall wurde die meiste Netzhautfläche ausgeleuchtet.

Dass ein signifikanter Unterschied der untersuchten Fläche in Fall 3 im Vergleich zu Fall 5 besteht, ist vermutlich ebenfalls durch die Pupillenweite erklärt. Es wurde im 5. Fall in Miosis weniger Netzhautfläche beleuchtet. Im Vergleich zum 1. Fall besteht jedoch eine signifikante Verbesserung. Die Untersuchungszeiten haben sich über die verschiedenen Vergleichsfälle zumindest in den Gruppen O und S nicht signifikant verändert. Gruppe N hat im 5. Fall kürzer untersucht. Ein Kommentar im Feedbackbogen zeigte, dass es für manchen Probanden anstrengend gewesen ist, 14 Augen hintereinander zu untersuchen. Die Erklärung für die kürzere Untersuchungszeit könnte daher Ermüdung gewesen sein. Der Umstand, dass sich Gruppe N im Arbeitsalltag überwiegend für den Sehnerven als für die Netzhautperipherie interessierte, könnte auch die kürzere Untersuchungszeit erklären. Sobald die Papille und die nähere Peripherie beleuchtet wurde, wurde die Untersuchung beendet.

Um die Gruppen insgesamt besser vergleichen zu können wurde die Effizienz - Ratio eingeführt.

In Gruppe S zeigt sich ein signifikanter Anstieg von Fall 1 (0,07) zu Fall 3 (0,17). Im fünften Fall lag die Effizienz - Ratio bei 0,13 und ist damit signifikant geringer gewesen. Gruppe S hat sich also vom ersten bis zum fünften Fall hinsichtlich der Effizienz deutlich verbessert. Wie oben beschrieben, ist die herausstechende Effizienz - Ratio in Fall 3 durch die Mydriasis erklärt.

Gruppe N zeigt ebenfalls eine Verbesserung der Effizienz - Ratio vom ersten (0,05) bis zum fünften Fall mit 0,07. Der Peak der Vergleichsfälle lag ebenfalls im 3. Fall bei 0,09.

Ähnlich verhält es sich in Gruppe O. Zwischen allen Fällen gibt es signifikante Unterschiede in der Effizienz. Es zeigt sich eine Steigerung zu Fall 5. In Fall 5 wurde jedoch weniger effizient untersucht als in Fall 3.

Selbst in der Gruppe der Ophthalmologen, in der teilweise Fachärzte mit jahrelanger Berufserfahrung eingeschlossen gewesen sind, zeigte sich eine Verbesserung der ausgeleuchteten Fläche im Verhältnis zur untersuchten Zeit. Inwieweit der Unterschied zwischen dem Gerät und der Realität eine Rolle spielte lässt sich schwer belegen. In den Kommentaren beschreiben die Augenärzte, dass die Darstellung teilweise „realistischer“ sein könnte. Hingegen beschrieben die anderen Gruppen die

Funduskopie als sehr realistisch. Ebenso blieb offen welchen Einfluss Diagnosen gerade bei den Augenärzten gespielt haben. Hier müsste ggf. in einem erweiterten Fragebogen herausgearbeitet werden, ob sich der Wunsch nach mehr Realismus der Ophthalmologen auf die eigentliche Darstellung (grafisch) der Papille bezieht oder auf die Handhabung des Gerätes. Letztere war hier der wesentliche Untersuchungsgegenstand.

Interessanterweise zeigen die Gruppen O und Gruppe S einen fast identischen Verlauf (vgl. Abbildung 22). Der Lerneffekt in diesen beiden Gruppen ist fast gleich. Zwar scheint der Lernerfolg der Gruppe N geringer zu sein, dies lässt sich aber durch den Umstand erklären, dass alle Fachdisziplinen der Gruppe N das größte Interesse an der Untersuchung des Sehnerven haben. Diese Landmarke dient oft zur Orientierung und wird mit etwas Übung nach kurzer Zeit gesehen. Im Vergleich zu den anderen Gruppen zeigen sie zwar eine geringe Steigung der Lernkurve, die ausgeleuchtete Fläche reicht aber vermutlich für neurologische Fragestellungen aus.

Überhaupt sei hier darauf hingewiesen, dass sich zwar signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen erkennen lassen, es aber vielmehr um die Gemeinsamkeiten aller Gruppen geht. Alle Gruppen zeigen ähnliche Untersuchungszeiten und vor allem einen signifikanten Anstieg der untersuchten Netzhaut im Verlauf der Studie. Dieser Anstieg ist als Lerneffekt in Bezug auf die Handhabung zu werten.

4.4 Datenvergleich zwischen Assistenz- und Fachärzten für Ophthalmologie

Interessant ist der gruppeninterne Vergleich der Ophthalmologen. Diese setzt sich aus 10 Assistenzärzten mit einem Erfahrungsstand von einem halben bis zu 5 Jahren, sowie 10 Fachärzten, die bereits bis zu 5 Jahren, 10 Jahren oder sogar länger als Facharzt gearbeitet haben. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass die Populationsgrößen nicht die nötige statistische Power besitzen und somit eine reduzierte Aussagekraft besteht. Die Ergebnisse sind lediglich als deskriptiv zu betrachten.

Sowohl die Assistenzärzte als auch die Fachärzte haben mit jedem weiteren untersuchten Auge eine größere Fläche untersucht. Auffallend ist, dass Assistenzärzte mehr Netzhautfläche ausgeleuchtet haben, als Fachärzte (Abbildung 24). Wie Abbildung 25 (sowie Anlage 8.9) zeigt, wurde von beiden Gruppen vor allem der zentrale Fundus sowie der nasale Fundus untersucht.

Entsprechendes zeigt sich in der Untersuchungszeit. Fachärzte haben kürzer untersucht als Assistenzärzte (Abbildung 26). In der Effizienz zeigt sich kein Unterschied. Diese Unterschiede sind aufgrund der Gruppengröße jedoch als rein deskriptiv zu betrachten.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass das direkte Augenspiegeln von einer gewissen Übung abhängt. Ärzte mit mehr Berufserfahrung haben kürzer und vermutlich symptomorientierter bzw. fokussierter untersucht. Vor allem die temporalen Bereiche, die bei den gezeigten Erkrankungen keine Pathologien aufzeigen (ggf. zusätzliche Zufallsbefunde), wurden ausgespart.

4.5 Entwicklung der Lehre in der Medizin

Betrachtet man die heutige Entwicklung in der Medizin, ist es schwer stets auf dem neuesten Stand zu bleiben. Neben den fachlichen Neuerungen, welche von Generation zu Generation vielzähliger, und gleichermaßen komplexer werden, kommen die technologischen Entwicklungen hinzu (*Lux 2017, #24*). Stand heute können wir bereits ganze Operationen mithilfe der Assistenz von Robotik wie beispielsweise dem „Da Vinci“ in der Urologie, ausführen (*Kim, Song, et al. 2020, #18*). Zudem gibt es bereits viele Simulatoren und Geräte zum Erlernen von Fertigkeiten, von denen insbesondere die Medizinstudenten profitieren können. Auf dem Gebiet der Augenheilkunde konnten durch die Op - Simulatoren bereits Trainingssituationen für das erste Herantreten an echte Operationen geschaffen werden (*Roohipoor, Yaseri, et al. 2017, #37*). Im Arbeitsalltag spielen eigene Erfahrungen und eine fortlaufende persönliche Weiterbildung eine zentrale Rolle für die Qualität der Patientenversorgung. Durch

Neuerungen in der Lehre mittels Simulatoren und Robotik bieten sich somit gute Möglichkeiten die eigenen Fähigkeiten zu erproben und weiter auszubauen.

Auch in der Zukunft wird es auf diesem Feld vermutlich immer mehr Wachstum geben. Die Ausbildung neuer Ärzte erfordert nicht nur deshalb eine mit der Zeit gehende Reform. In Kliniken sind die Mitarbeiter heute oftmals dazu angehalten besonders schnell, wirtschaftlich und ergebnisorientiert zu arbeiten. So gibt es tagtäglich eine Vielzahl von Laboruntersuchungen und Gerätediagnostik. Wo früher Patienten mit klinischer Hirndrucksymptomatik eine erste Einschätzung durch die direkte Funduskopie erfuhren, dort stehen heute das CT oder MRT. Diese sind fast überall verfügbar und liefern meist einen schnellen Überblick über die vorliegende Pathologie (*Groh and Jünemann 1999, #11*). Sobald diese Geräte allerdings nicht zur Verfügung stehen, sei es hausintern, aufgrund technischer Defekte, Wartungen oder bedingt durch Wartezeiten, kann auch die Fähigkeit des Augenspiegelns eine gute erste Beurteilung der Netzhaut ermöglichen. Das weitere Vorgehen, bei beispielsweise vorliegender Stauungspapille, kann so gegebenenfalls schneller geplant werden (*Golshani, Ebrahim Zadeh, et al. 2015, #10*). Auch im Bereich der Verlaufsbeobachtung sind einfache Mittel oftmals vorteilhaft, da ohne großen Aufwand engmaschig und ohne weitere Strahlenbelastung kontrolliert werden kann. Im Bereich der Kinderheilkunde werden bildgebende Methoden, wie eine CT - oder MRT - Untersuchung, aufgrund der Strahlenbelastung und der möglichen Notwendigkeit einer Narkose nur zurückhaltend eingesetzt.

Nicht zuletzt deshalb sollte die Möglichkeit des Erlernens dieser Fertigkeit im Studium weiterhin beibehalten, vor Allem aber verbessert werden. Bisher ist die Lehre der Ophthalmoskopie in jedem Lehrkrankenhaus unterschiedlich geregelt. Die Praktikumsblöcke im Rahmen des Studiums umfassen nicht selten nur wenige Tage, oder Stunden auf dem Gebiet der Augenheilkunde. So kann es sein, dass einige Studentenkurse gar nicht in Berührung mit dieser Untersuchungsmethode kommen. An vielen Fakultäten erfolgen kurze Unterrichtseinheiten, in denen sich einige freiwillige Studenten aus dem Kurs pupillenerweiternde Augentropfen verabreichen lassen. Der weitaus größere Anteil der Kommilitonen versucht im Schnelldurchlauf möglichst viele Strukturen der Netzhaut zu erkennen. Dies erfordert ein gewisses Geschick, eine gute Koordination und nicht zuletzt einige Zeit zum Ausprobieren und Üben. Während des

Kurses kann der Nichterfolg schnell frustrieren und die Studierenden am weiteren Ausprobieren hindern. Gelingt es den Studierenden in dieser kurzen Zeit Teile der Netzhaut zu untersuchen, so weisen die Kommilitonen in der Regel keine Pathologien an dieser auf. Der Funduskopietrainer kann daher besonders in diesem Setting von großer Hilfe sein. Pupillenweite und Lichtspalt lassen sich einfach durch einige Klicks einstellen. Die gängigen Pathologien und deren Merkmale können im Studentenkurs in der Theorie besprochen und anschließend in der simulierten Patientenuntersuchung gezeigt werden. Die Verknüpfung zwischen theoretischem Wissensabruf und praktischer Untersuchung können das Wissen zudem weiter festigen. Weiterhin bietet der Simulator nach Abschluss des Trainings die Möglichkeit einer objektiven Auswertung der Leistung eines Jeden und lässt dabei andere etwaige Ungleichheiten vollständig außen vor. Durch das Einpflegen von Patientenfällen können die Studierenden die auch für alle anderen Fachbereiche nützliche Anamnese erproben. Bestimmte Häufungen wie Netzhautveränderungen bei langjährigen Diabetikern oder Veränderungen der Gefäßstrukturen bei Patienten mit arterieller Hypertonie können bereits durch Fakten aus der Patientengeschichte entnommen werden.

4.6 Studienlage

Bisher gibt es wenige Studien, die sich mit der direkten Ophthalmoskopie befassen.

Eine der wenigen Arbeiten, welche bisher veröffentlicht wurden, stammt aus der Augenklinik Sulzbach, welche 2020 erschien (*Boden, Rickmann, et al. 2020, #3*). In dieser Arbeit wurden die Akzeptanz und Effizienz der Lehre am Funduskopietrainer im Vergleich zur klassischen Lehrmethode bei 34 Medizinstudenten hinsichtlich des Erlernens der direkten Ophthalmoskopie verglichen. Die Hälfte der Probanden erhielt hierbei die klassische Ausbildung, während die andere Hälfte simulatorgestützt ausgebildet wurde. Im Anschluss erfolgte eine Leistungsüberprüfung mittels OSCE Prüfung durch die betreuenden Dozenten. Gruppe 1 erhielt die klassische Ausbildung und bestand aus insgesamt 17 Studierenden. Gruppe 2 bestand ebenfalls aus 17

Studierenden und erhielt die simulatorgestützte Ausbildung. Beide Gruppen wurden durch dieselben zwei Dozenten eingewiesen. Jede Unterrichtseinheit und anschließende Kenntnisüberprüfung dauerte 45 Minuten. Vorab erfolgte zunächst eine Einführung in die Grundlagen der Bedienung des klassischen direkten Ophthalmoskops und es wurden verschiedene Netzhautpathologien anhand von Bildern durch die Dozenten erläutert. In Gruppe 1 wurde mindestens ein Proband einseitig in Mydriasis vorbereitet und stand als Übungspatient für den Rest der Gruppe zur Verfügung. Die in dieser Studie eingeschlossenen Probanden waren ausschließlich Medizinstudenten im siebten Fachsemester ohne vorherige Kenntnisse der direkten Funduskopie. Das Training erfolgte mittels der vorliegenden Start-Software des Funduskopietrainers. Anschließend erfolgte die Lernerfolgsbeurteilung durch die beiden begleitenden Dozenten im Studentenkurs. In den Ergebnissen der Sulzbacher Kollegen konnte in vielen Teildisziplinen eine signifikante Verbesserung in der simulatorgestützten Gruppe gezeigt werden. So konnte bereits mit einer geringen Probandenzahl von 34 Studenten ein Erfolg in der Vermittlung von Fähigkeiten auf dem Gebiet der direkten Ophthalmoskopie gezeigt werden.

In der hier vorliegenden Studie wurden ergänzend zur Target-Gruppe der Medizinstudenten ebenfalls Assistenz- und Fachärzte der Augenheilkunde, sowie Neurologie, Neurochirurgie und Neonatologie mit eingeschlossen. Die verschiedenen Wissensstände und vorliegenden Fähigkeiten der Ärzte und Studierenden waren somit breiter gestreut. Durch die Auswahl relevanter Pathologien verschiedener Fachdisziplinen wurde die Software angepasst und so konnten objektiv messbare Unterschiede zwischen den Gruppen verglichen werden. Nach Abschluss des Falls konnte die prozentual ausgeleuchtete Netzhaut ausgelesen werden (Abbildung 11). Durch die Wiederholung des Vergleichsfalles, der für alle Gruppen die gleiche Pathologie zeigte, und jeweils an Position 1, 3 und 5 aufgeführt wurde, konnten wir verdeutlichen, dass an drei verschiedenen Zeitpunkten bereits während des Trainings eine Verbesserung stattgefunden hat. Der Funduskopietrainer zeigte in Bezug auf die Lernkurven unerfahrener Studienteilnehmer, dass diese sich im Verlauf durch die angebotenen Übungen verbesserten und sicherer wurden. Weiterhin zeigten alle Teilnehmer eine sehr gute Akzeptanz für den Funduskopietrainer. Während es nach wie vor schwierig sein wird jede Universität mit diesen hochmodernen und daher auch

kostspieligen Simulatoren auszustatten, so könnte doch durch das geeignete Trainingsprogramm eine annähernd gleiche Ausbildung an allen Hochschulen gewährleistet werden. Zuvor war dies mitunter nur für eine Minderheit der Studierenden möglich. Mithilfe der Vielzahl von eingespeicherten Pathologien können Studenten und Interessierte mit dem Funduskopietrainer auf eine interaktive Art an die Netzhautpathologien herangeführt werden. Nicht zuletzt durch die alltägliche Zugänglichkeit des Funduskopietrainers können Studenten und Ärzte je nach persönlich gegebener freier Zeit das Training durchführen. Die sogenannte OSCE (Objective structured clinical examination) - Prüfung ist bereits im Curriculum vieler Universitäten zur Leistungsüberprüfung integriert. Der Funduskopietrainer könnte in dieser Form der Wissensabfrage (Müller, Koch, et al. 2019, #28) ebenfalls ohne größeren Aufwand integriert werden.

Im Rahmen einer früheren Studie der Universitäts - Augenklinik Tübingen wurde 2014 bereits ein ähnlicher Simulator bezüglich seiner Einsatzfähigkeit im Studentenunterricht evaluiert. Dieser unterscheidet sich jedoch in Aufbau und Funktion. Die vorhergehende Studie ist als Trainer für die Erlernung der indirekten Funduskopie gedacht (Leitritz, Ziemssen, et al. 2014, #21). In dieser vorausgegangenen Arbeit wurden 37 Medizinstudenten im vierten Lehrjahr und ohne bisherige Erfahrungen im Bereich der direkten und indirekten Funduskopie zufällig ausgewählt und in zwei Gruppen unterteilt. Ziel der Studie war es die Fähigkeit der binokularen indirekten Funduskopie zu erlernen. Dabei erhielten 19 Probanden die Einführung in die konventionelle Untersuchungsmethode mithilfe verschiedener Lupen und eines Ophthalmoskops und konnten diese an einem Kommilitonen mit erweiterter Pupille üben. Die zweite Gruppe mit 18 Probanden erhielt eine Einweisung in den indirekten Funduskopietrainer. Dieser erlaubte die zeitgleiche Überprüfung des untersuchten Areals durch einen erfahrenen Ophthalmologen über einen Monitor. Am Tag nach den Trainingseinheiten wurde von allen Probanden ein echter Patient mit zuvor erweiterter Pupille fünf Minuten lang untersucht. Im Anschluss fertigte jeder Proband eine Zeichnung mit Fokus auf das Netzhautbild im Bereich der Papille und den Gefäßbögen an. In der Beurteilung der angefertigten Zeichnungen konnten zwischen beiden Trainingsgruppen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Studenten, welche mit dem Simulator trainiert hatten, konnten anschließend am echten Patienten auch zielgerichteter die

Papille sowie die Gefäße lokalisieren. Es konnte abschließend ein Benefit für das Erlernen der indirekten Ophthalmoskopie verzeichnet werden.

4.7 Simulatoren in der Lehre

Auch wenn der Studienaufbau der Sulzbacher Funduskopiétude sich von dieser unterscheidet, zeigen die Ergebnisse einen Lernerfolg am Simulator. Simulatoren können als Hilfsmittel und Trainer für die Erlernung von praktischen Fähigkeiten gute Dienste erweisen. In Studentenkursen können Pathologien gezeigt werden, die ein zufällig stationär liegender Patient, welcher sonst für die Übung dieser Untersuchungsmethode zur Hilfe genommen wurde, nicht hat.

Ein weiterer Vorteil ist, dass Übende alleine am Gerät sitzen können und nach Abschluss jeder Trainingseinheit ein Feedback durch den Funduskopietrainer erhalten. Es besteht kein Zeitdruck, da das Gerät auch längere Zeit eingeschaltet bleiben kann. Anders als im Alltag, wenn Patienten oftmals bereits nach wenigen Sekunden das blendende Licht nicht gut tolerieren. Wurden pupillenerweiternde Augentropfen verabreicht, bleibt der Patient in seiner Sehschärfe für etwa 3 Stunden beeinträchtigt. Durch die noch immer erweiterte Pupille fällt vermehrt Licht auf die Netzhaut, was zu einer temporären Zunahme der Blendempfindlichkeit führt. Daher ist die Teilnahme am Straßenverkehr und das Führen von Fahrzeugen sowie das Bedienen von schweren Maschinen in dieser Zeit nicht erlaubt. Das Komplikationsrisiko bei der direkten Ophthalmoskopie ist dennoch sehr gering und daher ist sie gut und einfach umsetzbar.

Andererseits werden in den letzten Jahren in der Praxis mehr und mehr Weitwinkelfotografien der Netzhaut gefertigt (*Nagiel, Lalane, et al. 2016, #29*). Diese bieten auch bei Patienten in Miosis einen Netzhautüberblick über 200 Grad (*OptosGmbH #32*). Somit entfällt die Fahruntauglichkeit der Patienten nach der Untersuchung, und es kann zudem eine Aufnahme abgespeichert werden um den Ist-Zustand zu dokumentieren. Besonders hilfreich kann dies bei der Fotodokumentation von Aderhautmelanomen oder bisher unauffälligen Nävi sein. Diese Aufnahmen bieten weiterhin die Möglichkeit auch bei sehr jungen Patienten ohne gute Compliance die

Netzhautperipherie besser zu beurteilen (*Callaway and Mruthyunjaya 2019, #4*). Jedoch kann die Bildqualität mitunter bei schlecht mitarbeitenden oder multimorbiden Patienten für eine gute Beurteilung nicht ausreichend genug sein. Gerade diese Patienten sind an der Spaltlampe oft ebenfalls schlecht zu positionieren, sodass bei diesen Patienten die direkte oder indirekte Funduskopie infrage kommt.

4.8 Studienlimitationen

Aufgrund der Anzahl von sieben virtuellen Patientenfällen die beidseitig untersucht wurden war die Datenerhebung mit einem großen zeitlichen Aufwand verbunden. Im Durchschnitt dauerte die Erhebung eines Datensatzes von Einweisung bis hin zum Ausfüllen des Fragebogens ca. 40 Minuten. Die Teilnehmer, von denen die meisten Assistenzärzte und Fachärzte der verschiedenen Disziplinen waren, kamen zudem teilweise in ihren Mittagspausen oder nach Dienstschluss und standen daher oft unter Zeitdruck. Da die meisten Datensätze um die Mittags- und Nachmittagszeit gesammelt wurden, können die Faktoren Müdigkeit oder Hunger ebenfalls Auswirkungen auf die Trainingsleistung gehabt haben. Die Konzentrationsfähigkeit kann durch Stress aufgrund bereits erledigter emotionaler und physischer Arbeit oder noch anstehender Arbeit Einbußen erlebt haben. Auch ein Nachlassen der Motivation nach den ersten untersuchten Fällen kann dabei die Trainingserfolge beeinflusst haben.

Da der Funduskopietrainer durchgehend eine Stromquelle und Platz für den Aufbau des Gerätes erfordert, bestand weiterhin eine gewisse örtliche Limitation.

Die Studienteilnehmerzahl ist mit 74 Probanden bereits ausreichend, um ein aussagekräftiges Ergebnis erhalten zu können. Des weiteren stand am Ende der Trainingseinheit keine Unterscheidung, ob das ausgeleuchtete Areal wirklich untersucht und als Pathologie oder Normalbefund interpretiert wurde. Es mussten keine Netzhautbilder gezeichnet oder Diagnosen gestellt werden. Im Falle der Anwendung in der Lehre sollte dies jedoch unbedingt inkludiert werden, da gerade hierbei ein Lerneffekt zu erwarten ist.

In den Gruppen S und O zeigt sich ein deutlicherer Lerneffekt als in Gruppe N. Jedoch bleibt zu beachten, dass die Gruppe N bis auf drei Neonatologen, überwiegend aus Neurologen und Neurochirurgen bestand. Für diese Fachdisziplinen ist die Funduskopie im Wesentlichen zur Beurteilung des Sehnervens interessant. Auch wenn die Daten einen signifikanten Lernerfolg aufzeigen, scheinen diese deutlich geringer zu sein als die der übrigen Gruppen. Die Aufgabenstellung der Studie, eine maximale Fläche der Netzhaut zu untersuchen, hat diese Gruppe in geringerem Maße erfüllt. Wahrscheinlich ist der Lernerfolg jedoch ausreichend genug für Ihren Arbeitsalltag gewesen. Dies zeigen auch die Kommentare im Feedbackbogen.

5. Zusammenfassung

Mit der Einführung des direkten Ophthalmoskops 1851 durch Hermann von Helmholtz haben sich die diagnostischen Möglichkeiten in der Medizin deutlich verbessert. Seither ist es möglich, die Netzhaut und ihre Gefäße *in vivo* zu beurteilen und gibt somit wertvolle diagnostische Informationen für verschiedene Fragestellungen verschiedener Fachbereiche. Das simple Untersuchungsverfahren ist kostengünstig, flächendeckend verfügbar und flexibel einsetzbar. Es braucht jedoch einiges an Übung, sicher mit dem Ophthalmoskop umzugehen und die Handhabung zu erlernen. Sowohl im Medizinstudium als auch im klinischen Alltag, ist mitunter eher wenig Zeit, sich dem Erlangen dieser Untersuchungstechnik zu widmen. Zwar ist in den meisten Fällen eine Netzhautbeurteilung an der Spaltlampe oder mit Hilfe einer Netzhautfotografie möglich, doch nicht jeder Patient kommt dafür in Frage. Beispielsweise bei immobilen Patienten, im Rollstuhl oder im Patientenbett, auf Intensivstationen oder bei der Beurteilung von Neugeborenen. In all diesen Fällen ist es ein Mehrwert, die direkte Funduskopie sicher zu beherrschen.

Die Studie beschäftigte sich mit der Frage, ob man das direkte Funduskopieren mit Hilfe des Funduskopietrainers erlernen kann? Die drei Studiengruppen dieser Studie

zeigen unabhängig voneinander eine signifikante Zunahme der untersuchten Netzhautfläche mit jedem neu untersuchten Auge. Die Effizienz - Ratio stieg in allen Gruppen stetig an. Dieser signifikante Anstieg ist als Lernkurve messbar und darstellbar gewesen, sodass die Studienhypothese bestätigt werden kann. Mit Hilfe des Funduskopietrainers ist ein Erlernen des direkten Funduskopierens möglich. Die Daten zeigen, dass selbst Personen, die täglich auf unterschiedliche Weise die Netzhaut untersuchen, eine positive Lernkurve hatten. Auf spielerische Art ist es möglich, alleine oder in einer Gruppe das Funduskopieren zu erlernen. Die Vorgabe war, in angemessener Zeit möglichst viel Netzhautfläche auszuleuchten. Daher kann an dieser Stelle keine Aussage darüber getroffen werden, inwieweit das Gesehene verarbeitet und ob richtige diagnostische Schlüsse aus dem Gesehenen gezogen wurden. Dies könnte jedoch in einer weiteren Untersuchung ergänzt werden. Die Kommentare und die Beurteilung der eingeschlossenen Probanden waren jedenfalls eindeutig positiv. Es sei eine „realistische“ Darstellung, die einen guten Umgang mit dem direkten Funduskop ermöglicht, bevor man diese Fertigkeit an einem Patienten anwendet. Denn die „direkte Funduskopie am Patientenbett ist meist schwieriger als hier simuliert“ (Gruppe O Proband 18).

6. Literaturverzeichnis

- #1: Behrends, J. C. (2010). Physiologie: 93 Tabellen, Thieme.
- #2: Bergua, A. (2017). Papilla nervi optici. Das menschliche Auge in Zahlen. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 119-123.
- #3: Boden, K. T., Rickmann, A., Fries, F. N., Xanthopoulou, K., Alnagar, D., Januschowski, K., Seitz, B., Kasmann-Kellner, B., Schrecker, J. (2020). "[Evaluation of a virtual reality simulator for learning direct ophthalmoscopy in student teaching]." *Ophthalmologie* 117(1): 44-49.
- #4: Callaway, N. F., Mruthyunjaya, P. (2019). "Widefield imaging of retinal and choroidal tumors." *Int J Retina Vitreous* 5(Suppl 1): 49.
- #5: Campa, C., Alivernini, G., Bolletta, E., Parodi, M. B., Perri, P. (2016). "Anti-VEGF Therapy for Retinal Vein Occlusions." *Curr Drug Targets* 17(3): 328-336.
- #6: Carl-Zeiss-Meditec. (2022). "Das erste digitale Mikroskop in der chirurgischen Ophthalmologie leitet eine neue Ära der Visualisierung ein und sorgt für mehr chirurgische Gewissheit." from <https://www.zeiss.de/meditec/produktportfolio/surgical-microscopes/ophthalmologische-mikroskope/artevo-800.html>.
- #7: Corbett, J. J. (2003). "The bedside and office neuro-ophthalmology examination." *Semin Neurol* 23(1): 63-76.
- #8: D. Lingenhöhl. (2020). "LEXIKON DER OPTIK, Ophthalmoskopie." Retrieved 26.04.2020, from <https://www.spektrum.de/lexikon/optik/ophthalmoskopie/2265>.
- #9: Gherghel, D., Orgül, S., Prünke, C., Gugleta, K., Lübeck, P., Gekkieva, M., Flammer, J. (2000). "Interocular differences in optic disc topographic parameters in normal subjects." *Curr Eye Res* 20(4): 276-282.
- #10: Golshani, K., Ebrahim Zadeh, M., Farajzadegan, Z., Khorvash, F. (2015). "Diagnostic Accuracy of Optic Nerve Ultrasonography and Ophthalmoscopy in Prediction of Elevated Intracranial Pressure." *Emerg (Tehran)* 3(2): 54-58.
- #11: Groh, M. J., Jünemann, A. (1999). "[Papilledema and acute loss of vision in a patient with pseudotumor cerebri]." *Klin Monbl Augenheilkd* 215(5): 315-318.
- #12: Gupta, P. C., Kumar, M. P., Ram, J. (2020). "COVID-19 pandemic from an ophthalmology point of view." *Indian J Med Res* 151(5): 411-418.
- #13: HAAG-Streit-Simulation. (2021). "HAAG-Streit-Simulation." from <https://www.vrmagic.com/>.
- #14: Heckmann, J. G., Vachalova, I., Lang, C. J. G., Pitz, S. (2018). "Neuro-Ophthalmology at the Bedside: A Clinical Guide." *J Neurosci Rural Pract* 9(4): 561-573.

- #15:** Hommel, T. (2011). "MRT: " Die Deutschen sind durchleuchtet"." from <https://www.aerztezeitung.de/Politik/MRT-Die-Deutschen-sind-gut-durchleuchtet-257558.html>.
- #16:** J.G., R. (2017). Hermann von Helmholtz: The Power of Ophthalmoscopy. In: Marmor M., Albert D. (eds) Foundations of Ophthalmology. Springer, Cham, Springer, Cham.
- #17:** Jochmann, C. ,Hammes, H. P. (2002). "[Epidemiology, pathogenesis and therapy of diabetic retinopathy and maculopathy]." Z Arztl Fortbild Qualitatssich 96(3): 167-174.
- #18:** Kim, K. H., Song, W., Yoon, H. ,Lee, D. H. (2020). "Single-port robot-assisted radical prostatectomy with the da Vinci SP system: A single surgeon's experience." Investig Clin Urol 61(2): 173-179.
- #19:** Kollias, A. N. ,Ulbig, M. W. (2010). "Diabetische Retinopathie." Dtsch Arztebl International 107(5): 75-84.
- #20:** Kuhn, S., Huettl, F., Deutsch, K., Kirchgässner, E., Huber, T. ,Kneist, W. (2021). "[Surgical Education in the Digital Age - Virtual Reality, Augmented Reality and Robotics in the Medical School]." Zentralbl Chir 146(1): 37-43.
- #21:** Leitritz, M. A., Ziemssen, F., Suesskind, D., Partsch, M., Voykov, B., Bartz-Schmidt, K. U. ,Szurman, G. B. (2014). "Critical evaluation of the usability of augmented reality ophthalmoscopy for the training of inexperienced examiners." Retina 34(4): 785-791.
- #22:** Leydhecker, W. (1987). Die Erkrankungen der Netzhaut. Augenheilkunde: Mit einem Repetitorium und einer Sammlung von Examensfragen für Studenten. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 117-140.
- #23:** Lippert, H. (2000). Lehrbuch Anatomie, Urban und Fischer Verlag.
- #24:** Lux, D. H. (2017). "Regulierter Wissenstransfer in der Medizin." Bayerisches Ärzteblatt.
- #25:** Mackay, D. D., Garza, P. S., Bruce, B. B., Newman, N. J. ,Biousse, V. (2015). "The demise of direct ophthalmoscopy: A modern clinical challenge." Neurol Clin Pract 5(2): 150-157.
- #26:** Melincovici, C. S., Bosca, A. B., Susman, S., Marginean, M., Mihu, C., Istrate, M., Moldovan, I. M., Roman, A. L. ,Mihu, C. M. (2018). "Vascular endothelial growth factor (VEGF) - key factor in normal and pathological angiogenesis." Rom J Morphol Embryol 59(2): 455-467.
- #27:** Michelson, G. ,Freund, A. (2004). Hypertensive Retinopathie. Arterielle Hypertonie. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 529-535.
- #28:** Müller, S., Koch, I., Settmacher, U. ,Dahmen, U. (2019). "How the introduction of OSCEs has affected the time students spend studying: results of a nationwide study." BMC Med Educ 19(1): 146.
- #29:** Nagiel, A., Lalane, R. A., Sadda, S. R. ,Schwartz, S. D. (2016). "ULTRA-WIDEFIELD FUNDUS IMAGING: A Review of Clinical Applications and Future Trends." Retina 36(4): 660-678.

#30: Neuhauser, H. K., R. ; Born, S (2017). "12-Monats-Prävalenz von Bluthochdruck in Deutschland." *Journal of Health Monitoring* · 2017 2(1) DOI 10.17886/RKI-GBE-2017-007

Robert Koch-Institut, Berlin: 58-63.

#31: Nguyen, M. ,Blair, K. (2022). *Red Reflex*. StatPearls. Treasure Island (FL), StatPearls Publishing

Copyright © 2022, StatPearls Publishing LLC.

#32: OptosGmbH. from <https://www.optos.com/de/about-us/>.

#33: Optotechnik, H. (2020). "Heine Hand-held Ophthalmic Instruments." 2.

#34: Pearce, J. M. (2009). "The ophthalmoscope: Helmholtz's Augenspiegel." *Eur Neurol* 61(4): 244-249.

#35: PEDIATRICS, A. A. O., Ophthalmology, S. o., OPHTHALMOLOGY, A. A. F. P., STRABISMUS, OPHTHALMOLOGY, A. A. O. ,ORTHOPTISTS, A. A. O. C. (2008). "Red Reflex Examination in Neonates, Infants, and Children." *Pediatrics* 122(6): 1401-1404.

#36: Pschorn, S. (2013). "Ausbildung am virtuellen Patienten " *Virtual Reality Magazin*.

#37: Roohipoor, R., Yaseri, M., Teymourpour, A., Kloek, C., Miller, J. B. ,Loewenstein, J. I. (2017). "Early Performance on an Eye Surgery Simulator Predicts Subsequent Resident Surgical Performance." *J Surg Educ* 74(6): 1105-1115.

#38: Schnabel, K. P. ,Stosch, C. (2016). "Practical Skills en route to Professionalism." *GMS J Med Educ* 33(4): Doc66.

#39: Seitz, R. (1968). *Klinik und Pathologie der Netzhautgefäße*. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag 143 ff.

#40: Stormann, S., Stankiewicz, M., Raes, P., Berchtold, C., Kosanke, Y., Illes, G., Loose, P. ,Angstwurm, M. W. (2016). "How well do final year undergraduate medical students master practical clinical skills?" *GMS J Med Educ* 33(4): Doc58.

#41: Ulfig, N. (2005). *Kurzlehrbuch Histologie*, Thieme.

#42: Universitätsspital Bern, A., Inselspital. (2020). "Fundusfoto eines 26 jährigen Mannes, Normalbefund." from http://e-learning.studmed.unibe.ch/clinisurf/htmls/print_all.html?clinisurf%7Cophtha%7Cfundus%7Cvasa.

#43: VRmagic (2018). *EyeSi Direct Product Brochure*.

#44: VRmagic. (2020). "Abbildung Simulator." from <https://www.vrmagic.com>.

#45: VRmagic (2020). "Einstellbare Parameter am EyeSi Direct."

#46: VRmagic (2020). *Trainings Course Device Handling Figure*. www.vrmagic.com.

7. Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Klinik für Augenheilkunde der Universitätsklinik Tübingen unter Betreuung von Professor Dr. med. Martin Leitritz durchgeführt.

Die Konzeption dieser Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Professor Dr. med. Martin Leitritz.

Die Patientenrekrutierung erfolgte durch Professor Dr. med. Martin Leitritz, Frau Dr. Natalie Winter aus dem Department für Neurologie und durch mich.

Die Durchführung der Studie mit Einführung, Dokumentation der Zeiten , Aushändigen der Fragebögen vor und nach der Untersuchung erfolgte durch mich.

Die statistische Auswertung erfolgte in Rücksprache mit dem Institut für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie (Prof. Dr. rer. nat. Peter Martus) und unter Anleitung von Professor Dr. med. Martin Leitritz.

Das Einverständnis der Personen, die auf eigens angefertigten Bildern dargestellt sind, liegt vor.

Ich versichere das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mit angegebenen Quellen benutzt zu haben.

Soraya Vivell

Bruchsal, den 24. Mai 2023

8. Anlagen

8.1 Studienteilnehmer Informationsblatt



Department für
Augenheilkunde

Prof. Dr. med. Karl Ulrich Bartz-Schmidt
Klinikdirektor
Prof. Dr. rer. nat. Marius Ueffing
Institutsdirektor

Schleichstraße 12
72076 Tübingen



Vermittlung / Auskunft
Tel. +49 7071 29-8 3721
Fax +49 7071 29-3730
augen@med.uni-tuebingen.de

Studienteilnehmer Informationsblatt Version 1.1

Studienleiter: Prof. Dr. K.U. Bartz-Schmidt / Dr. M. Leiritz
Universitäts-Augenklinik
Schleichstrasse 12-16
72076 Tübingen
Telefon: 07071-29-83721

Studientitel:

„Augmented Reality als unterstützende Lehrtechnik zur Vermittlung, Vertiefung und Evaluation von Fertigkeiten auf dem Gebiet der direkten Funduskopie.“

Sehr geehrte Studieninteressierte,

die Universitäts-Augenklinik kommt neben der Krankenversorgung und Forschung als eine universitäre Einrichtung ebenfalls der Lehre von Studenten nach. Um hierbei auf dem neuesten Stand der Erkenntnisse und Methoden zu bleiben und den Studenten die bestmögliche Ausbildung anbieten zu können, ist die Durchführung von Studien dieser Art sehr wichtig. Im heutigen Zeitalter können wir von der sich stetig revolutionierenden Medizintechnik im Rahmen der Lehre profitieren. Daher möchten wir Sie fragen, ob Sie Interesse an den Informationen und ggf. einer Studienteilnahme haben. Im weiteren Text finden Sie genauere Erläuterungen bezogen auf die geplanten Studienabläufe.

Hintergrund:

Während des Medizinstudiums fehlt häufig die Zeit spezielle Fähigkeiten, die vor allem die Praxis betreffen, zu Erlernen.

In der Augenheilkunde betrifft dies vordergründig die Fähigkeit sicher zu funduskopieren und so den Augenhintergrund der Patienten detailliert zu begutachten um Pathologien zu erkennen. Neben den zu erlernenden koordinativen Fähigkeiten auf Untersucherseite zeigen sich auch Schwierigkeiten bei der Untersuchung von Patienten im Bezug auf Lichtempfindlichkeit und des langen Stillsitzens.

Zur Vereinfachung der Ausgangsbedingungen untersuchen sich die Lernenden daher häufig gegenseitig. Der Nachteil ist hierbei, dass in aller Regel keine entsprechenden Pathologien vorliegen und erkannt werden können um die Fähigkeiten des Funduskopierens zu Erlernen und zu Festigen.

Universitätsklinikum Tübingen
Anstalt des öffentlichen Rechts
Sitz Tübingen
Geissweg 3 • 72076 Tübingen
Tel. 07071/29-0
www.medizin.uni-tuebingen.de
Steuer-Nr. 86156/09402
USt.-ID: DE 146 889 674

Aufsichtsrat
Dr. Simone Schwanitz (Vorsitzende)
Vorstand
Prof. Dr. Michael Bamberg (Vorsitzender)
Gabriele Sonntag (Stellv. Vorsitzende)
Prof. Dr. Karl Ulrich Bartz-Schmidt
Prof. Dr. Ingo B. Autenrieth
Jana Luntz

Baden-Württembergische Bank Stuttgart
BLZ 600 501 01 Konto-Nr. 7477 5037 93
IBAN: DE 41 6005 0101 7477 5037 93
BIC (SWIFT-Code): SOLADEST600
Kreissparkasse Tübingen
BLZ 641 500 20 Konto-Nr. 14 144
IBAN: DE 79 6415 0020 0000 0141 44
BIC (SWIFT-Code): SOLADES1TUB

8.2 Inhalt der Studie



Department für
Augenheilkunde

Inhalt der Studie:

In den letzten Jahren wurden in vielen Fachbereichen der Medizin Simulatoren entwickelt, welche das Erlernen und Üben z.B. spezieller diagnostischer Fertigkeiten unterstützen sollen.

Ein solches Gerät ist der direkte Funduskopie Trainer EyesiDirect (VRmagic, Mannheim).

Das Gerät besteht aus einem PC, sowie dem Modell eines Patientenkopfes, dessen „Augen“ man mit dem ebenfalls zugehörigen Funduskop genauere untersuchen kann.

Die Untersuchungssituation ist sehr nah an reelle Bedingungen angelehnt (Position von Untersucher und Untersuchtem, Vorgaben von Blickrichtungen für den „Patienten“, Einstellungsmöglichkeiten von Beleuchtungsform und Farbe am Ophthalmoskop etc.) und berücksichtigt auch teilweise bestehende Zusatzschwierigkeiten wie zum Beispiel keine ausreichende Pupillenerweiterung oder häufig blinzeln Patient. Der Simulator „Eyesi Direct“ soll im Rahmen einer Promotionsarbeit hinsichtlich seiner Eignung zur praktischen Lehre, zum Training und zur Evaluation wissenschaftlich untersucht werden. Zu keiner Zeit hat ein vom Simulator bewertetes „schlechtes abschneiden“ Konsequenzen für den Studienteilnehmer.

Was können Sie dazu beitragen?

Insgesamt sollten ca. 15 Studenten der Humanmedizin, sowie 45 Ärzte verschiedener Fachgebiete an der Studie teilnehmen.

Dabei richten sich die Fälle nach Ihrem Wissensstand, beziehungsweise nach Ihrem Fachgebiet.

Jeder Studienteilnehmer bekommt 5 Fälle mit verschiedenen Pathologien der Retina zugewiesen und hat die Möglichkeit diese am Simulator zu untersuchen und zu befunden.

Was passiert, wenn ich nicht/nicht mehr an der Studie teilnehmen möchte?

Die Teilnahme aller Studieninteressierten ist freiwillig und stützt sich auf Ihr Interesse die neuen Lehrmethoden für kommende Generationen zu prüfen.

Sie haben durch die Teilnahme der Studie die Möglichkeit eine neuartige Form der Lehre auszuprobieren und am Simulator Ihre Fähigkeiten zu testen.

Durch eine Nichtteilnahme bzw. einen Rücktritt erfahren Sie **keine Nachteile! Auch ein Abschneiden innerhalb der Simulatoruntersuchung mit ggf. schlechten Ergebnissen hat keine nachteiligen Konsequenzen.**

Sie können die Teilnahme an der Studie jederzeit ohne die Angabe von Gründen und ohne Nachteile beenden.

Was passiert mit meinen Daten?

Die Daten werden pseudonymisiert ausgewertet. Das bedeutet, dass jedem Studienteilnehmer eine Nummer zugewiesen wird.

Prof. Bartz-Schmidt, Dr. Leitritz und Doktorandin Cand. med. Fateh Manesh haben die Information, welcher Name zu der entsprechenden Teilnehmer-Nummer gehört und haben eine Berechtigung die Daten zu verwenden. Eine verschlüsselte Speicherung der Daten erfolgt nur im Netzwerk der Augenklinik.

8.3 Informationen zur Datenerhebung und Verarbeitung



Department für
Augenheilkunde

Zusatzinformationen zur Datensammlung und Verarbeitung

Während der Studie wird die Untersuchungszeit sowie das tatsächlich untersuchte Areal des Augenhintergrundes dokumentiert. Diese Daten werden wissenschaftlich ausgewertet und hinsichtlich der Nutzen-Effizienz analysiert.

Für Sie ergeben sich aus der Studienteilnahme keine Vorteile. Ein zeitlicher Mehraufwand (ca. 35 Minuten für Messungen) ist aber zu erwarten. Die Zustimmung zur wissenschaftlichen Untersuchung, Datensammlung, -auswertung und -veröffentlichung ist vollkommen freiwillig. Sie können die Studienteilnahme/Datenerfassung jederzeit, auch nachdem Sie bereits zugestimmt haben, ohne Begründung und Nachteile für die weitere Behandlung ablehnen.

Alle Daten werden pseudonymisiert, d.h. durch eine mehrstellige, Ihrer Person zu diesem Zweck zugeteilten, Teilnehmer-Nummer gekennzeichnet. Dies bedeutet, daß die erhobenen Daten später nur anhand einer Teilnehmer-Liste Ihrer Person zugeordnet werden können. Diese Liste wird getrennt von den Studienunterlagen in einem verschlossen Schrank aufbewahrt, nur Studienleiter/Prüfärzte können die Liste einsehen und die Daten vergleichen. Die Daten werden in der Universitäts-Augenklinik für **10 Jahre** aufbewahrt. Bei der Auswertung und Veröffentlichung werden ausschließlich verschlüsselte Daten verwendet.

Wenn Sie mit der Untersuchung, Datensammlung, -auswertung und -veröffentlichung in der oben beschriebenen Form einverstanden sind, unterschreiben Sie, bitte, das Informationsblatt an der dafür vorgesehenen Stelle.

8.4 Einverständniserklärung



Department für
Augenheilkunde

Einverständniserklärung für Frau/Herrn: _____

Ich erkläre hiermit,

dass durch _____ über den Inhalt, die Bedeutung, den Ablauf, sowie den Nutzen der Studienteilnahme aufgeklärt wurde,

dass ich einer Teilnahme an der Studie zustimme,

dass ich über persönliche Vor- und Nachteile der Studie informiert wurde,

dass ich darüber informiert wurde, dass die Teilnahme an der Untersuchung am Simulator „EyesiDirect“ vollkommen freiwillig ist und dass das Einverständnis jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile widerrufen werden kann,

ich über den Umgang der erhobenen Daten informiert wurde,

dass alle Fragen zur Studie zu meiner Zufriedenheit beantwortet wurden.

dass ich mein Einverständnis zur wissenschaftlichen Untersuchung, Datensammlung, –auswertung und –veröffentlichung im Rahmen der Studie „Augmented Reality als unterstützende Lehrtechnik zur Vermittlung, Vertiefung und Evaluation von Fertigkeiten auf dem Gebiet der direkten Funduskopie“, in der oben beschriebenen Form gebe,

Datum

Unterschrift
Studienteilnehmer(in)

Ort

Datum

Unterschrift Arzt

Ort

8.5 Einleitende Erklärung vor Beginn der Untersuchung am Funduskopietrainer



Department für
Augenheilkunde

Einleitende Erklärung vor Beginn der Untersuchung am Funduskopie Simulator (Unbedingt für alle Gruppen eine gleiche Einführung!)

Bitte setzen Sie sich und nehmen Sie das Funduskop zur Hand.
Im Anschluss werden Sie bitte den virtuellen Patienten beidseitig funduskopisch untersuchen.
Sobald Sie meinen eine hinreichende Untersuchung durchgeführt zu haben, und alle wichtigen Strukturen auch in der Peripherie gesehen zu haben, geben Sie mir bitte Bescheid.

Sagen Sie mir wenn Sie bereit sind zu starten.

8.6 Erhebungsbogen

Erhebungsbogen über die Teilnehmer an der Studie mit dem Titel:

„Augmented Reality als unterstützende Lehrtechnik zur Vermittlung, Vertiefung und Evaluation von Fertigkeiten auf dem Gebiet der direkten Funduskopie.“

Randomisierte ID:					
Geschlecht	Männlich		Weiblich		
Fachrichtung / Ausbildungsjahr					
Subjektive Einschätzung der eigenen Untersuchungsfertigkeiten (direkte Funduskopie) vor Beginn der Studie	Sehr gut	Eher gut	Gut	Eher schlecht	Schlecht

Untersuchtes Areal (Angaben in Grad und nach Auswertung des Computers)	Benötigte Untersuchungszeit OS [sec]	Benötigte Untersuchungszeit OD [sec]
Fall 1		
Fall 2		
Fall 3		
Fall 4		
Fall 5		
Fall 6		
Fall 7		

8.7 Fragebogen Nachtrag



Department für
Augenheilkunde

Fragebogen Nachtrag zur Funduskopie-Simulator Studie:

„Augmented Reality als unterstützende Lehrtechnik zur Vermittlung, Vertiefung und Evaluation von Fertigkeiten auf dem Gebiet der direkten Funduskopie.“

	Ja	Nein
Hatten Sie vor der Teilnahme an der Studie Erfahrungen mit der Technik der "Virtual Reality"?		
Hatten Sie während oder nach dem Training am Simulator Kopfschmerzen?		
Hatten Sie während oder nach dem Training am Simulator Augenschmerzen?		
War Ihnen während oder nach dem Training am Simulator übel?		
War Ihnen während oder nach dem Training am Simulator schwindelig?		

8.8 Fragebogen nach Abschluss der Untersuchung



Department für
Augenheilkunde

?

Fragebogen zur Studie:

„Augmented Reality als unterstützende Lehrtechnik zur Vermittlung, Vertiefung und Evaluation von Fertigkeiten auf dem Gebiet der direkten Funduskopie.“

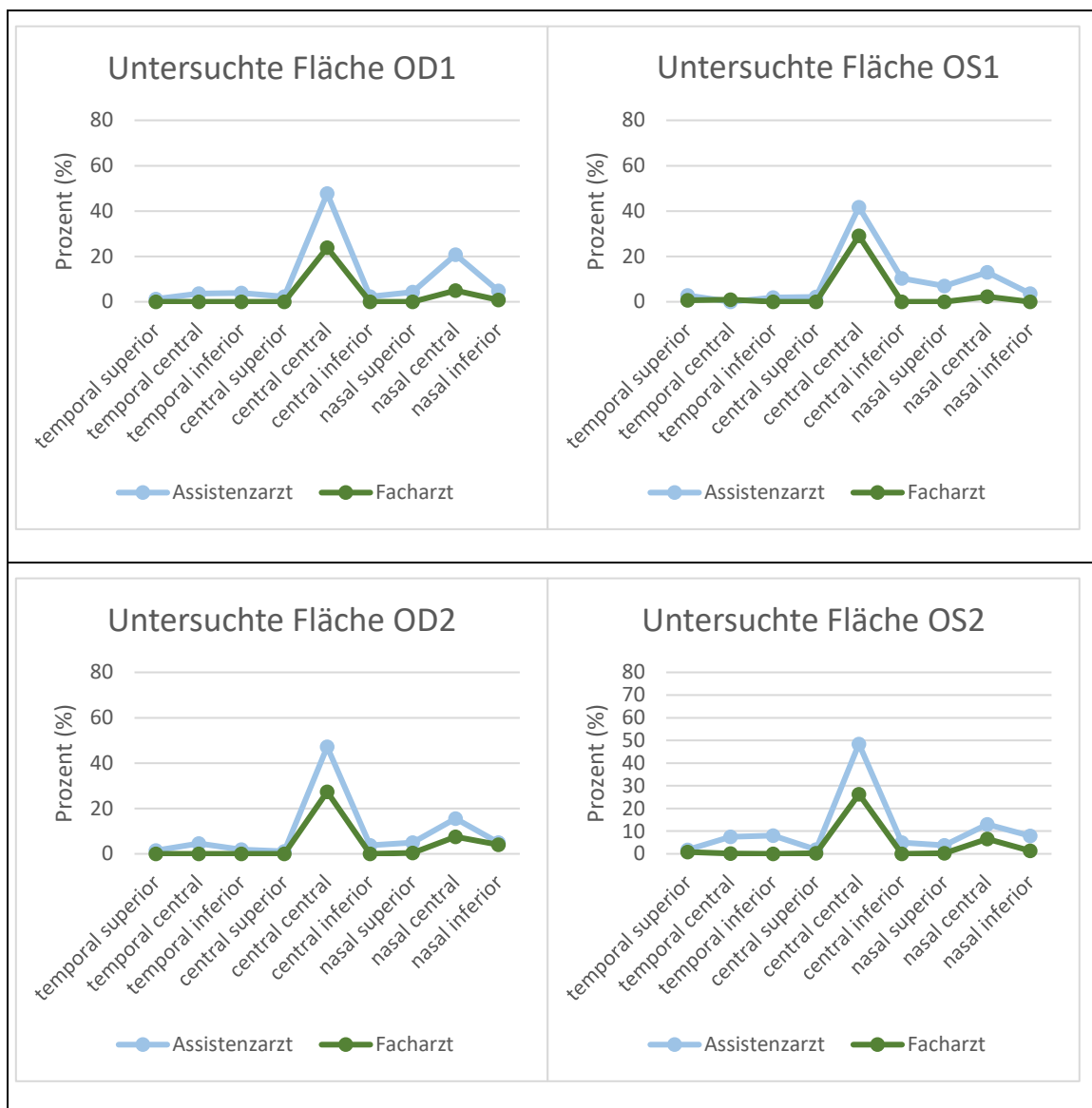
ID:	Sehr gut	Gut	Befriedigend	Ausreichend	Mangelhaft
Wie kamen Sie mit dem Funduskopie Simulator zurecht?	?	?	?	?	?
Wie schätzen Sie Ihre Sicherheit im Funduskopieren nach der Benutzung des Simulators ein?	?	?	?	?	?
Wie war Ihr Wissensstand über die Funduskopie vor der Arbeit am Simulator?	?	?	?	?	?

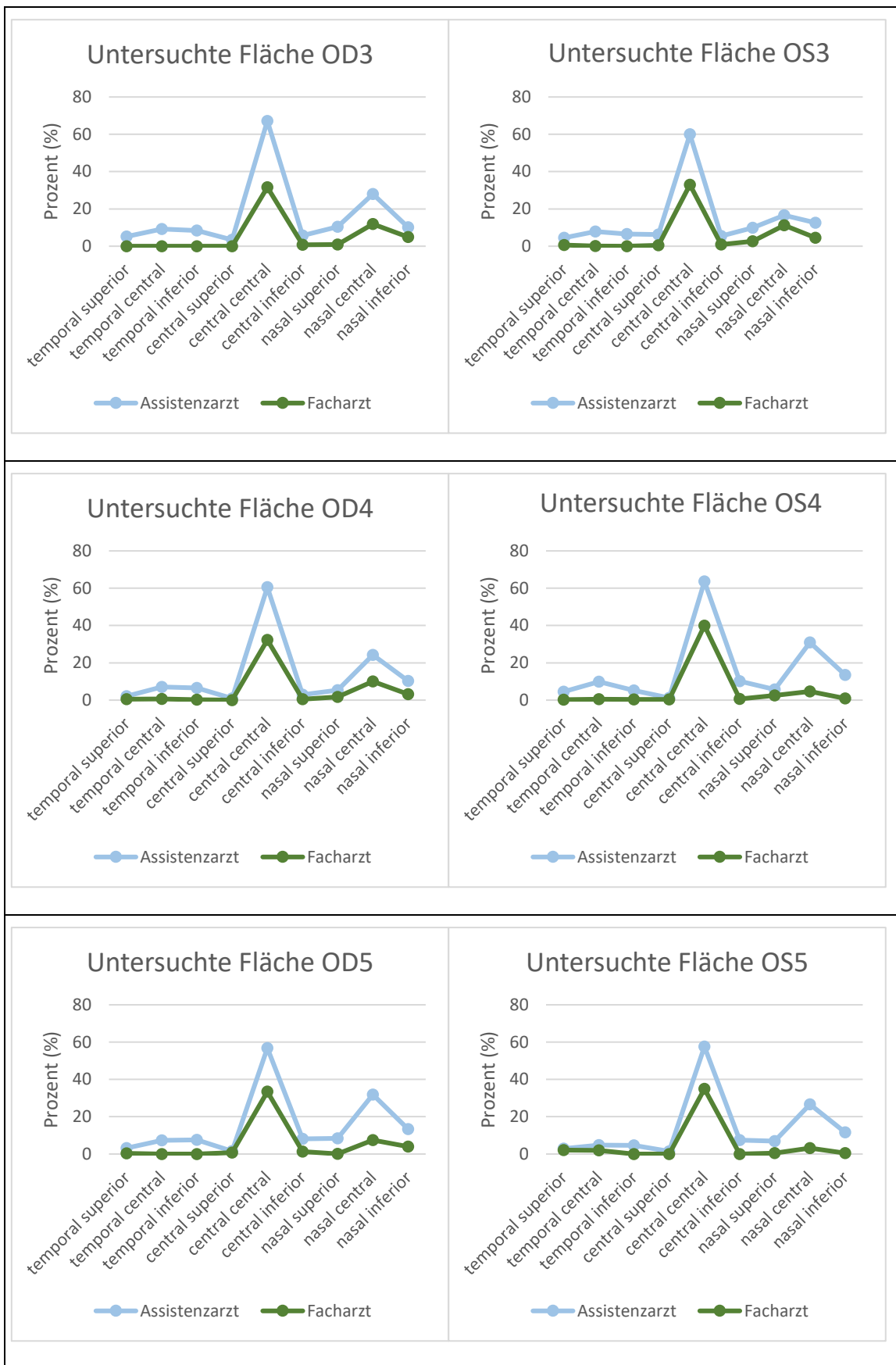
?

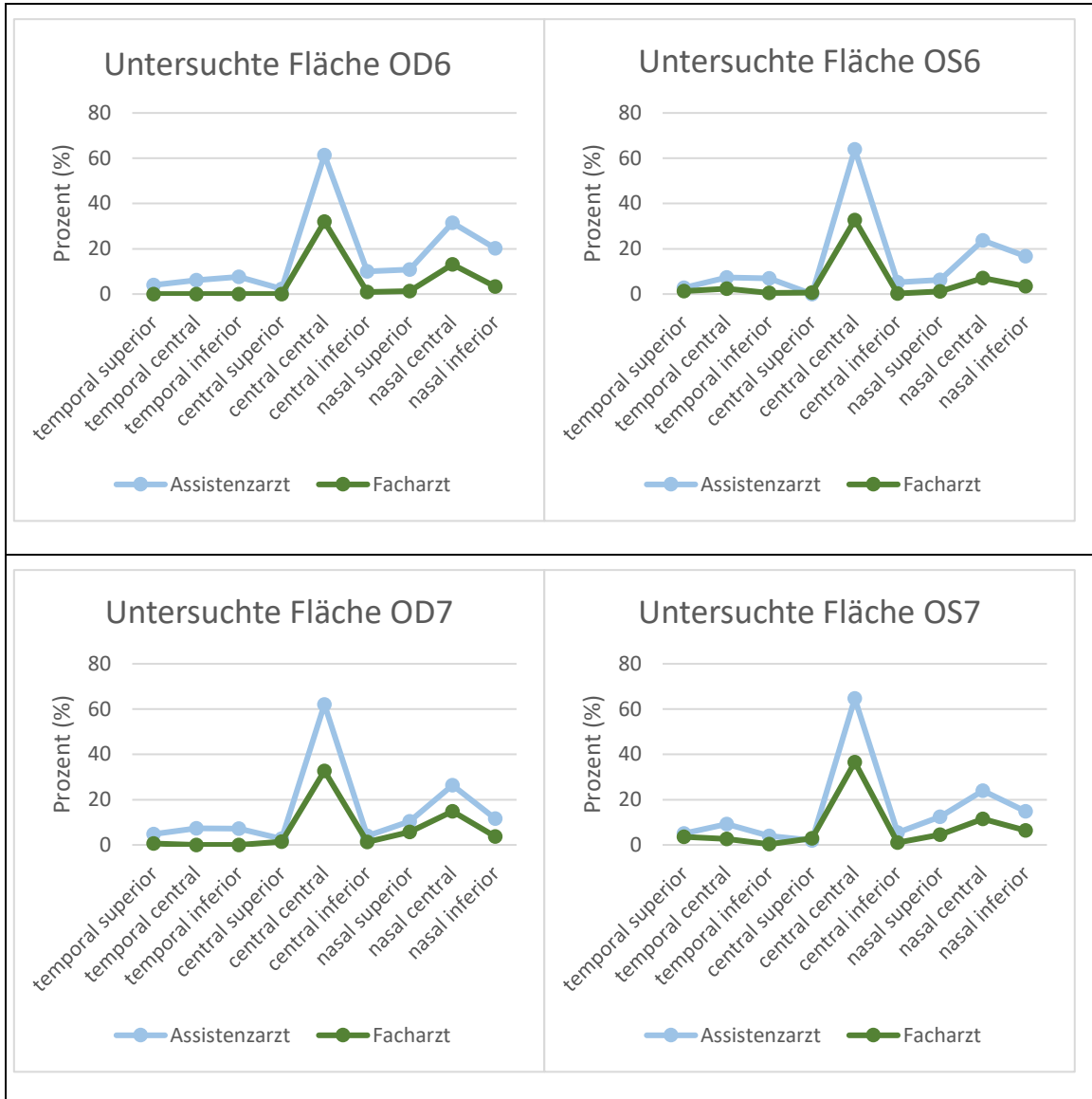
	Ja	Nein
Fanden Sie das Training persönlich hilfreich für Ihre Fertigkeiten?		? ? ? Falls nein, warum: ? ? ? ?
Empfehlen Sie das Simulatortraining für Lehrzwecke weiter?	?	? ? ? Falls nein, warum: ? ? ? ?
Gab es besondere Schwierigkeiten für Sie?	? ? ? Falls ja, welche: ? ? ? ?	?
Platz für Ihren persönlichen Kommentar:		

?

8.9 Diagramme: Ausgeleuchtetes Areal der einzelnen Fälle durch Augenärzte







9. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Promotionsarbeit unterstützt und motiviert haben.

Der wohl größte Dank gilt Professor Dr. med. Martin Leitritz, welcher nicht nur im Rahmen dieser Promotionsarbeit meine Begeisterung für die Ophthalmologie geweckt hat und mir in meiner beruflichen Laufbahn immer als Vorbild bleiben wird. Vielen Dank für die Geduld und stetig konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit.

Ein großer Dank gilt ebenfalls den Entwicklern des EyesiDirect Funduskopietrainers (ehemals VRmagic, Mannheim) für die gemeinsame Zusammenarbeit, von Planung der Studie bis hin zur Programmierung der einzelnen Patientenfälle.

Ebenfalls möchte ich mich bei Professor Dr. rer. nat. Peter Martus (Institut für klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie, Tübingen) für die Unterstützung bei der statistischen Planung dieser Arbeit bedanken.

Bedanken möchte ich mich auch bei Frau Dr. med. Natalie Winter für die Hilfe bei der Rekrutierung der Probanden aus der Gruppe der Neurologen, Neonatologen und Neurochirurgen.

Vielen Dank an alle Probanden, die teilweise ihre knappen Mittagspausen dazu genutzt haben um an dieser Studie teilzunehmen.

Ein herzlicher Dank gilt meinen Schwiegereltern, Cornelia Vivell und Dr. med. Patrick Vivell, für das Korrekturlesen dieser Arbeit.

Nicht zuletzt gilt ein besonderer Dank meinem Mann Dr. med. Julian Vivell, der mich während der Anfertigung dieser Arbeit immer liebevoll unterstützt hat, und mich auch in den anstrengenderen Phasen ausgehalten und mit Kaffee versorgt hat.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Mutter Azar Namazifard bedanken, die mein Studium erst möglich gemacht hat.

10. Lebenslauf