

Augenklinik und Poliklinik der Technischen Universität München, Klinikum rechts der
Isar

(Komm. Direktorin: Univ.-Prof. Dr. I. Lanzl)

Der Lerneffekt bei der Blau-Gelb-Perimetrie bei gesunden Probanden

Aris Nikolaus Kollias

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität
München zum Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. M. Mertz, i.R.
2. Univ.-Prof. (komm. D.) Dr. I. Lanzl

Die Dissertation wurde am 27.11.2003 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 16.06.2004 angenommen.

meinem Vater

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
asb	Apostilb
cd	Candela
c.c.	cum corectione
cm	Zentimeter
cyl	Zylinder
d	Tage
dB	Dezibel
dpt	Dioptrien
min	Minuten
MD	Mean Defect
mm	Millimeter
MS	Mean Sensitivity
SA/GS	Standardabweichung / Global Standard Deviation
Sph	sphärisch

1.	Einleitung.....	1
1.1.	Rückblick zur Geschichte der Perimetrie	1
1.2.	Die Perimetrie in der Neuzeit	2
1.3.	Kinetische und statische Perimetrie	2
1.4.	Indikation zur Gesichtsfelduntersuchung	4
2.	Fragestellung.....	4
3.	Methodik und Material	5
3.1.	Blau-Gelb-Perimetrie	5
3.2.	Octopus 101	8
3.3.	Programm G2.....	9
3.4.	Untersuchungsparameter.....	10
3.5.	Probandengut	12
3.6.	Datenauswertung.....	13
4.	Ergebnisse	14
4.1.	Anzahl der gestellten Fragen	14
4.2.	Dauer der Untersuchung	15
4.3.	Fixationsverluste	16
4.4.	Falsch-positive Antworten	17
4.5.	Falsch-negative Antworten	18
4.6.	Statistische Indizes.....	19
4.6.1.	Mean Sensitivity (MS).....	19
4.6.2.	Standardabweichung (SA, GS).....	21
4.6.3.	Mean Defect (MD).....	22
4.7.	Mean Sensitivity nach Lokalisation.....	23
4.7.1.	Temporal-oberes Gesichtsfeld von 0° bis 10° (to10°).....	23
4.7.2.	Temporal-oberes Gesichtsfeld von 11° bis 20° (to20°).....	24
4.7.3.	Temporal-oberes Gesichtsfeld von 21° bis 30° (to30°).....	25
4.7.4.	Temporal-unteres Gesichtsfeld von 0° bis 10° (tu10°).....	26
4.7.5.	Temporal-unteres Gesichtsfeld von 11° bis 20° (tu20°).....	27
4.7.6.	Temporal-unteres Gesichtsfeld von 21° bis 30° (tu30°).....	28
4.7.7.	Nasal-oberes Gesichtsfeld von 0° bis 10° (no10°).....	29
4.7.8.	Nasal-oberes Gesichtsfeld von 11° bis 20° (no20°)	30
4.7.9.	Nasal-oberes Gesichtsfeld von 21° bis 30° (no30°)	31
4.7.10.	Nasal-unteres Gesichtsfeld von 0° bis 10° (no10°)	32
4.7.11.	Nasal-unteres Gesichtsfeld von 11° bis 20° (no20°)	33
4.7.12.	Nasal-unteres Gesichtsfeld von 21° bis 30° (no30°)	34
5.	Diskussion.....	35
6.	Zusammenfassung.....	40
7.	Literaturverzeichnis	42
8.	Abbildungsverzeichnis.....	47

1. Einleitung

1.1. Rückblick zur Geschichte der Perimetrie

Die Perimetrie [44] (zu grch. peri „(rings) um“ „um...herum“+ metron „Maß“) dient der Untersuchung des Gesichtsfeldes. Das Gesichtsfeld ist definiert [25] als „der bei unbewegtem (Geradausblick) und adaptiertem Auge gesehene Bereich“ oder in der klinischen Medizin [44] als „die Summe aller Richtungen, in denen das Auge gleichzeitig Licht wahrnimmt“. Das physiologische Gesichtsfeld (Abb. 1) reicht bis ca. 50° nach oben, 60° nach nasal, 70° nach unten und 90° nach temporal. Die Netzhautempfindlichkeit nimmt vom Zentrum Richtung Peripherie stetig ab.

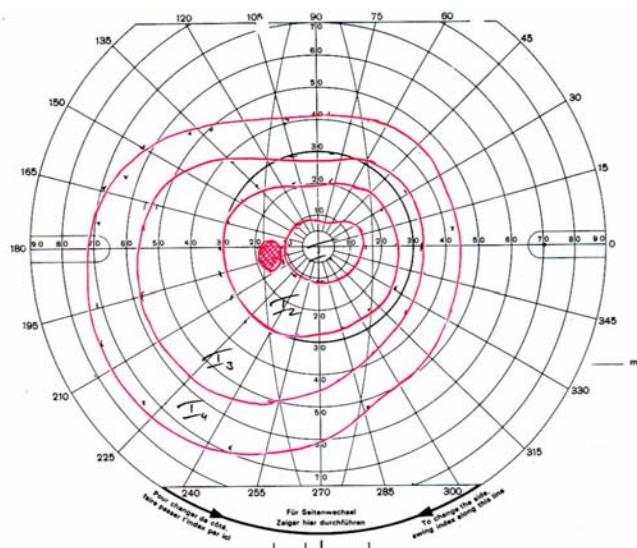


Abb. 1: Das physiologische Gesichtsfeld und die Isopteren (rot)

Die ersten Versuche in der Perimetrie [24] sind in der Antike, ca. 150 v. Chr., bei Ptolemeus zu finden. Die ersten Publikationen erscheinen Jahrhunderte später zu der Entdeckung des blinden Flecks von Mariotte (1666) in Zentraleuropa. Es folgte Young (1800) mit Untersuchungen über die Ausdehnung des Gesichtsfeldes und Purkinje (1825) mit den ersten Untersuchungen der Farb-Perimetrie. In den Jahren darauf kommt es zu immer mehr Neuerungen und Fortschritten im Bereich der Perimetrie mit namenhaften Ophthalmologen wie Desmarres (1844), Stellwag (1855) und Albrecht von Graefe als Begründer der klinischen Perimetrie.

1.2. Die Perimetrie in der Neuzeit

Das 19. Jh. ist geprägt [24] durch Namen wie Bjerrum (1889) mit der Entwicklung des Tangenten-Schirms, Aubert und Förster mit der Bogen-Perimetrie und dessen Weiterentwicklung, dem Zeiss Projektionsperimeter nach Maggiore. Obengenannte Ophthalmologen bedienten sich der kinetischen Perimetrie (d.h. es werden bewegliche Lichtreize angewendet). Der Durchbruch wurde allerdings erst Mitte des 20. Jh. geschafft, mit der Entwicklung der ersten Halbkugel-Perimeter durch Goldmann (1945) zur kinetischen Perimetrie-Untersuchung, die auch heute noch ihren festen Platz im klinischen Alltag haben. Der Begriff statische Perimetrie ist eng verbunden mit den Namen von Sloan (1939), Harms (1945) und Aulhorn. Beide letzteren sind Entwickler des Tübinger-Handperimeters. Mit der Einführung der Microchip Technologie Ende der 70er Jahre erlebt die Perimetrie einen drastischen Entwicklungsschub. Der erste vollautomatisierte Perimeter, der Octopus 201 der Firma Interzeag, entwickelt von Prof. Fankhauser und seinen Mitarbeitern an der Universitätsaugenklinik in Bern, wird 1976 vorgestellt [29]. Die Augenklinik der Universität München konnte als erste klinische Einrichtung in Deutschland, 1978, einen Octopus 201 einsetzen [22]. Die Geräte haben im Laufe der Jahre deutlich an Größe verloren und an Bedienerfreundlichkeit, Untersuchungsmodalitäten und statistischer Bearbeitungsmöglichkeiten gewonnen. Sie sind zu einem unverzichtbaren diagnostischen Mittel, sowohl in großen Augenkliniken als auch in kleineren Arztpraxen, geworden.

1.3. Kinetische und statische Perimetrie

In der Perimetrie wird zwischen den statischen und kinetischen Methoden unterschieden. Die kinetische Perimetrie besteht in der Präsentation eines beweglichen Stimulus bekannter Intensität, von einem nicht wahrnehmbaren Gebiet, in ein wahrnehmbares Areal, bis der Patient angibt, diesen gesehen zu haben. Zu der kinetischen Perimetrie kann auch der einfache und ungenaue Konfrontationstest gezählt werden, bei dem der Untersucher das Gesichtsfeld des Patienten mit Hilfe seines sich bewegenden Fingers bestimmt. Genauer ist die kinetische Perimetrie unter Einsatz von Perimetern wie beispielsweise dem Tangentenschirm oder dem Goldmann-Perimeter. Mit dem Tangentenschirm werden die zentralen 30° Grad des Gesichtsfeldes untersucht. Der Patient wird im Abstand von 1-2 Metern Entfernung an eine schwarze Schirmwand gesetzt. Die 2 bis 5 mm² großen Testmarken werden mittels eines dunklen Stabes auf diesem Schirm bewegt um das Gesichtsfeld zu bestimmen. Der Vorteil dieser Methode liegt in der größeren Entfernung der Untersuchung vom Patienten, da der Gesichtsfeldausfall proportional zum Abstand größer wird. Kleine Ausfälle sind in diesem Abstand sicherer erkennbar und genauer zu bestimmen, als in der kürzeren Perimeter-Entfernung. Bei ausgedehnten Glaukomschäden kann der Tangentenschirm sehr hilfreich sein.

Der Goldmann-Perimeter besteht aus einer Halbkugel mit einem Radius von 33 cm und einer Kinnstütze für den Patienten. Der Patient wird aufgefordert zu Beginn der

Untersuchung einen zentral auf die Innenseite der Halbkugel projizierten Lichtfleck zu fixieren. Die Fixation des Patienten wird mittels eines eingebauten Teleskops überprüft. Es gibt 5 Testmarkgrößen (bezeichnet I–V), 4 verschiedene Leuchtdichten (bezeichnet 1–4, gefolgt von den Buchstaben a– e). Es werden jeweils verschieden große und intensive Testmarken von außen Richtung Gesichtsfeldmitte bewegt und die Orte, an denen diese wahrgenommen werden, auf einem Untersuchungsblatt festgehalten. Dadurch erhält man zahlreiche Schwellenorte, die zu einer Grenzlinie der entsprechenden Lichtunterschiedsempfindlichkeit, genannt Isoptere, verbunden werden (s. Abb. 1).

In der statischen Perimetrie wird dagegen, an vorher festgelegten Gesichtsfeldorten, mit einem unbeweglichen Lichtfleck der Schwellenreiz bestimmt. Dazu wird der Lichtfleck, an jedem Ort mehrmals hintereinander, mit unterschiedlicher Reizstärke dargeboten. Der Schwellenreiz ist als die Reizintensität definiert, bei der in 50 % der Präsentationen des Stimulus dieser erkannt wird und in 50 % nicht wahrgenommen wird. Die automatisierte Perimetrie bedient sich überwiegend der statischen Perimetrie.

Die Vorteile der kinetischen Perimetrie sind:

- Schnelle Orientierung über vorliegende Gesichtsfeldausfälle.
- Die Untersuchung ist möglich auch bei ausgedehnten Gesichtsfeldausfällen und stark geminderter Sehschärfe.
- Der Untersuchungsablauf ist patientenfreundlicher, da diese in einem direkten Kontakt zum Untersucher stehen und nicht mit einer Maschine kommunizieren.
- Die Anschaffungs- und Wartungskosten für die Perimeter sind geringer als für die automatisierten Perimeter.

Die Nachteile der kinetischen Perimetrie sind andererseits:

- Die statokinetische Dissoziation [45]: das Empfindlichkeitsniveau im kinetischen Gesichtsfeld ist größer als in einem vergleichbaren statischen Gesichtsfeld, d.h. dass Gesichtsfelddefekte im statischen Gesichtsfeld tiefer sind. Dies beruht auf der Tatsache, dass die Bewegung eines Lichtreizes seine Wahrnehmbarkeit erhöht.
- Die Qualität der Untersuchung ist stark von den Fähigkeiten des Untersuchers abhängig.
- Die Ergebnisse der kinetischen Perimetrie lassen sich nur schwer statistisch bearbeiten.

Die Vorzüge der statischen Perimetrie sind:

- Sie erlaubt eine genaue Schwellenwertbestimmung.
- Der standardisierte Ablauf der Untersuchung erfordert weniger geübtes Personal.
- Die Ergebnisse sind quantifizierbar und lassen sich leicht weiterbearbeiten.

Die Nachteile der statischen Perimetrie sind:

- Hohe Anschaffungs- und Wartungskosten für die automatisierten Perimeter, sowie häufige Aufwertung durch neue Untersuchungsprogramme.

- Die Ergebnisse sind durch die große Menge und vielfältige Darbietungsmöglichkeit dieser nicht leicht zu interpretieren.

Beide Untersuchungsverfahren sind mit mehreren Vor- und Nachteilen verbunden und die Indikationsstellung sollte wohl überlegt sein. Beide Verfahren ergänzen sich jedoch und sind eine große diagnostische Hilfe.

1.4. Indikation zur Gesichtsfelduntersuchung

Die Indikationsstellung zu einer Gesichtsfelduntersuchung ist breitgefächert und beschränkt sich nicht nur auf rein ophthalmologische Fragestellungen. Die Perimetrie dient der Diagnosestellung und Verlaufskontrolle diverser Krankheitsbilder wie z.B. des Glaukoms, der Neuritis Nervi Optici, Durchblutungsstörungen im Bereich des Sehnervenkopfes, degenerativer Netzhauterkrankungen, aber auch fachübergreifend (z.B. Neurologie und Neurochirurgie) bei Läsionen der Sehnervenbahn und bei der Erstellung von Gutachten.

2. Fragestellung

Das Ziel der prospektiven Untersuchung dieser Arbeit war, durch Serienuntersuchungen an gesunden Probanden festzustellen, ob ein Lerneffekt bei drei aufeinander folgenden Gesichtsfeld-Messungen, mit Hilfe der Blau-Gelb-Perimetrie, auftritt. Dieser soll quantitativ und qualitativ untersucht werden, um Rückschlüsse über Validität und Variabilität der Ergebnisse zu erhalten und um unter Umständen Empfehlungen über optimalen Zeitpunkt und Frequenz der Gesichtsfelduntersuchungen zu machen.

3. Methodik und Material

3.1. Blau-Gelb-Perimetrie

Die Blau-Gelb-Perimetrie oder auch SWAP (Short Wavelength Automated Perimetry) genannt, ist eine neuere Methode, die der statischen automatisierten Perimetrie zuzuordnen ist. Die klinische Anwendung begann [1] ca. 1987 und basiert groÙtenteils auf der Arbeit von Stiles (1939). Sie beruht [5, 23] auf dem Prinzip der simultanen Unterdrückung der mittel- und langwelligen Zapfen- und der Stäbchen-Aktivität durch ein helles, gelbes Adaptionlicht und selektiver Reizung der kurzwelligen Zapfen durch einen blauen Stimulus geeigneter Größe (Abb.2). Durch diese funktionelle Ausschaltung einzelner retinaler Zellpopulationen kann eine perimetrische Untersuchung des Blauzapfensystems durchgeführt werden (Teil des parvozellulären-Systems mit seinen komplex verschalteten farbopponenten Ganglienzellen Rot/Grün und Blau/Gelb).

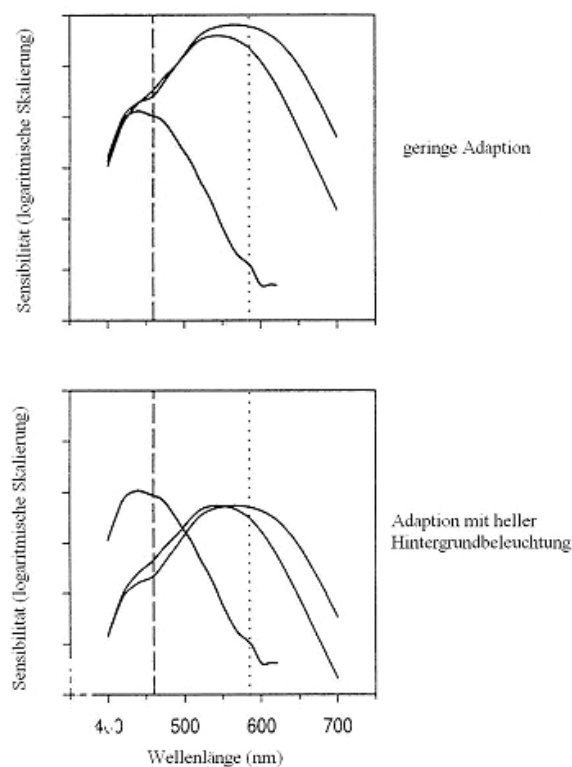


Abb. 2: Empfindlichkeit der Zapfen unter verschiedenen Adaptionzuständen. Die unterbrochene senkrechte Linie entspricht der Wellenlänge des blauen Stimulus. Die punktierte Linie entspricht der Wellenlänge des gelben Hintergrundlichtes. Obere Abb.: Zapfenantwort unter geringer Lichtadaption: die mittel- und langwelligen Zapfen reagieren empfindlicher auf den blauen Stimulus als die kurzwelligen Zapfen. Untere Abb.: Unter dem hellen gelben Adaptionlicht sind die kurzwelligen Zapfen empfindlicher für den blauen Stimulus, da sie relativ unempfindlich auf das gelbe Hintergrundlicht reagieren.

Die Indikationen zur Blau-Gelb Perimetrie sind ähnlich wie bei der konventionellen Weiss-Weiss-Perimetrie. Es zeigen sich interessante Ergebnisse auch bei weniger klassischen Indikationen zur Gesichtsfelduntersuchung, wie z.B. neuroophthalmologischen Störungen [18] und bei der Früherkennung [32] von ischämisch-bedingten Makulafunktionsstörungen, im Rahmen einer diabetischen Retinopathie.

Besonderes Interesse besteht in den Erkenntnissen der Blau-Gelb-Perimetrie in der Glaukom Diagnostik. Es wurde in mehreren Arbeiten [1, 3, 7, 13-15, 30, 34-36, 42, 43, 50] gezeigt, dass Gesichtsfelddefekte in der Blau-Gelb-Perimetrie früher und ausgedehnter zu finden sind, als in der Weiss-Weiss-Perimetrie und dass diese bei Glaukompatienten schneller zunehmen. Desweiteren konnte in einer Arbeit von Teesalu et al. [42] eine höhere Korrelation zwischen Blau-Gelb-Perimetrie und morphologischen Sehnervenkopfveränderungen im HRT (Heidelberg Retina Tomograph) als im Vergleich zur Weiss-Weiss-Perimetrie gezeigt werden. Die gleiche Autorengruppe [43] zeigte, dass pathologische Befunde in der Blau-Gelb-Perimetrie und retinalen Nervenfaserschicht bei noch unauffälligen Befunden in der Weiss-Weiss-Perimetrie auftreten können, und dass Defekte in der Blau-Gelb-Perimetrie bei Patienten mit okulärer Hypertension sogar vor morphologischen Veränderungen der retinalen Nervenfaserschicht zu finden sind.

Die Feststellungen der obig genannten Studien werden jedoch in ihrer Aussagekraft deutlich angezweifelt in einer Arbeit von Wild J.M. [53]. Diese Kritik basiert auf mehreren Faktoren wie z.B. der zum Zeitpunkt der durchgeführten Untersuchungen fehlenden alterskorrigierten Normwerte, der fehlenden allgemein anerkannten Definition der Abnormalität oder des progressives Gesichtsfeldschadens, die es unmöglich machen, die Studien miteinander zu vergleichen. Eine weitere Schwierigkeit in dem Vergleich der verschiedenen Studien sind die unterschiedlichen Perimeter und unterschiedlichen Einstellungen dieser. Sample P.A. et al. [38] schlug erst 1996 in einer Studie die optimalen Einstellung der Blau-Gelb-Perimetrie vor, um einen internationalen Standard zu setzen. Die Blau-Gelb-Perimetrie scheint jedoch eine vielversprechende und sensitive Methode zur Früherkennung von glaukomatösen Schäden zu sein. Sie ist aber mit mehreren Besonderheiten und Einschränkungen behaftet, die ihren Einsatz im klinischen Alltag nur unter strenger Indikationsstellung erlaubt. Daher hat sie sich gegenüber der konventionellen Perimetrie noch nicht durchgesetzt.

Warum die Untersuchungsergebnisse des Blauzapfensystems in der Glaukomdiagnostik ergiebiger sind als die der konventionellen Weiss-Weiss-Perimetrie ist noch nicht eindeutig geklärt [23]. Quigley et al. [31] zeigte, dass retinale Nervenfasern mit einem größeren Durchmesser, wie die des parvozellulären Zellsystems, früher in der Progredienz des Glaukoms geschädigt werden, als Nervenfasern mit einem kleineren Durchmesser, aber auch dass keine Nervenfasern-Art vom Glaukom verschont wird. Andererseits zeigte eine experimentelle Arbeit von Morgan et al. [26] keine selektive Schädigung der Nervenfasern mit einem größeren Durchmesser. Es ist denkbar, dass der frühere funktionelle Ausfall der Nervenfasern des parvozellulärem Systems nur ein Zeichen seiner kleineren Redundanz ist [12, 23].

Ein wichtiger Faktor der die Anwendung der Blau-Gelb-Perimetrie auf geringe bis moderate Gesichtsfeldausfälle limitiert, ist [3, 53] der geringere dynamische Bereich und der Grad der Isolation. Der Grad der Isolation definiert inwiefern die gemessene Antwort auch tatsächlich eine Antwort der kurzwelligen Zapfen ist und nicht auch durch die mittel- und langwelligen Zapfen mitverursacht wird. Die isolierte Reizung der kurzwelligen Zapfen wird durch eine Kombination aus geeigneter Stimulusintensität und Größe und Adaptionslicht erreicht. Im Vergleich zur Weiss-Weiss-Perimetrie besitzt die Blau-Gelb-Perimetrie mit ihrem helleren Adaptionslicht und der geringeren Transmission des Blaulichtfilters einen geringeren dynamischen Bereich, d.h. ein kleineres Spektrum an möglichen Stimulusintensitäten.

In mehreren Studien [50, 52] wurde gezeigt, dass die intraindividuelle Variabilität der Ergebnisse, bedingt auch durch den Einfluss der optischen Medien, größer ist, als in der Weiss-Weiss-Perimetrie. Dies hat zur Folge, dass die Defekttiefe in der Blau-Gelb-Perimetrie größer sein muss, um als Abnormalität erkannt zu werden. Kwon Y.H. et al. [21] zeigte, dass die Lang- und Kurzzeitfluktuation der Ergebnisse größer als in der konventionellen Weiss-Weiss-Perimetrie ist, sodass Verlaufsuntersuchungen zum Ausschluss einer Progredienz des Glaukoms zusätzlich erschwert werden. Ein weiteres Hindernis in der Blau-Gelb-Perimetrie ist der Einfluss der optischen Medien, insbesondere der der Linse. Moss I.D. [27, 28] zeigte in zwei Arbeiten und Sample P.A. [37] in einer, dass eine altersbedingte Linsentrübung und das darausresultierende Streulicht zu einer allgemeinen Depression der Ergebnisse führen kann. Der Einfluss der Linsentrübung variiert jedoch sehr stark [33] und nimmt mit zunehmenden Alter zu [41], so dass der Bedarf nach einem Verfahren besteht, welches den Sensitivitätsverlust, bedingt durch die optische Medien, misst. Solche Verfahren bestehen zwar, sie sind jedoch mit einem hohen Zeit- und Arbeitsaufwand behaftet und somit nicht tauglich für den klinischen Alltag.

Die Ergebnisse der Blau-Gelb-Perimetrie im fovealen und parafovealen Bereich werden geringfügig, im Sinne einer Zunahme der lokalen Kurzzeitfluktuation, durch die Variabilität der Absorption durch das makuläre Pigmentepithel beeinflusst [49]. Dieser Faktor kann aber in den Glaukom-Untersuchungsprogrammen vernachlässigt werden [53].

3.2. Octopus 101

Der Perimeter Octopus 101 (Abb. 3) der Firma Interzeag ist ein Projektionsperimeter mit einer Halbkugel von 43,5 cm Radius, und ermöglicht statische wie auch kinetische Untersuchungen des gesamten Gesichtsfeldes durchzuführen. Im Modus der Blau-Gelb-Perimetrie bietet er einen blauen Stimulus mit einer Intensität von 0-42 dB, erzeugt von einer Metaldampf-Lampe (OSRAM Powerstar HQI-T70W/WDL) mit einem Corion XM430-C Schmalbandfilter (440 nm Bandbreite). Der gelbe Hintergrund mit einer Intensität von 314 asb (100 cd/m²) wird von einer Halogenlampe (50-65, OSRAM Decostar Titan) mit einem Schott Filter OG 530 erzeugt. Die Fixationshilfe besteht aus einem grünem Rhombus (es bestehen auch andere Fixationshilfen als Option) und wird von einer Halogenlampe 20 W (OSRAM Halostar) mit Grünfilter erzeugt. Die Fixation des Patienten kann zum einen über eine Kamera vom Untersucher selbst beobachtet werden, als auch durch das Gerät mit Hilfe der Heijl-Krakau-Methode. In regelmäßigen Intervallen werden Stimuli auf den Blinden Fleck projiziert. Fixiert der Patient nun richtig werden diese nicht wahrgenommen, fixiert er falsch, treffen diese Stimuli auf empfindliche Gebiete der Netzhaut und werden erkannt. Der dynamische Bereich beträgt 30 dB, die Isolation 18 dB zentral und 14 dB bei 20° Exzentrizität.

Die Software des Perimeters läuft unter Windows™, und die Ergebnisse können über einen externen, handelsüblichen Computer gespeichert und bearbeitet werden mit Hilfe der mitgelieferten Software (Peridata™)[29].



Abb. 3: Octopus 101

3.3. Programm G2

Das verwendete Untersuchungsprogramm G2 wurde speziell für die Glaukomdiagnostik entwickelt und bietet die Option der Blau-Gelb-Perimetrie. Es wird jedoch auch für die allgemeine Schwellenbestimmung eingesetzt. Im Programm G2 werden 59 Prüfpunkte bis zu einer Exzentrizität von 30° in 4 aufeinanderfolgenden Stufen untersucht. Damit sind [29] etwa 66% der Ganglienzellen abgedeckt, welche wiederum 83 % der Sehrinde entsprechen. Es kommt den parafovealen Testorten (mit einer fovealen Auflösung von $2,8^\circ$) und dem Bereich des nasalen Sprungs die höchste Priorität zu, durch ein zentralverdichtetes Untersuchungs raster (Abb. 4).

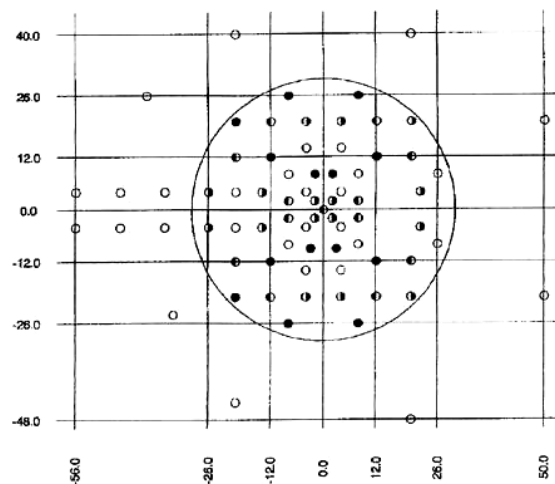


Abb. 4: Untersuchungs raster G2

Die zu prüfenden Netzhautareale wurden mit Hilfe der Normalstrategie (Abb. 5) untersucht, d.h. es werden mittels der Methode der doppelten Eingabelung, in Stufen von 4,2 und 1 dB, die Stimulusintensitäten der Empfindlichkeitsschwelle angenähert und schließlich die Schwelle der Lichtunterschiedsempfindlichkeit mit einer Genauigkeit von ± 1 dB bestimmt. Zu Beginn jeder Untersuchung werden die Schwellenwerte von vier in der Nähe des Mittelpunktes jedes Quadranten befindlichen „Ankerpunktes“ bestimmt. Die Schwellenwerte dieser Punkte werden mit Hilfe der vorher erwähnten 4-2-1 dB Abstufung ermittelt. Bei fehlender Reaktion des Probanden werden größere Abstufungen angewendet. Im weiteren Ablauf der Untersuchung wird, anstatt bei jedem Punkt mit den Normalwerten zu beginnen, das Ausgangsniveau für benachbarte Punkte aus dem Gefälle des Gesichtsfeldhügels in diesem Bereich bestimmt. An diesem Niveau setzt das stufenweise Annäherungsverfahren mit 4-2-1 dB ein und im weiteren Verlauf werden aus den an drei benachbarten Punkten erreichten Zwischenwerten weitere Ausgangsniveaus errechnet.

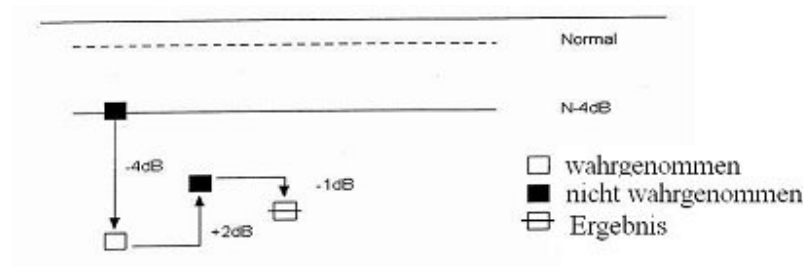


Abb. 5: Prinzip der Normalstrategie

Bei der Blau-Gelb-Perimetrie wird ein blauer Stimulus Größe Goldmann V ($1,7^\circ$ Durchmesser) für die Dauer von 200 ms präsentiert [29].

Zu Beginn der Untersuchung wird der Proband vor der Halbkugel in einem abgedunkelten Raum positioniert und über einige Minuten an das helle Adaptionlicht gewöhnt. Das nicht zu untersuchende Auge wird mit einer lichtundurchlässigen Klappe abgedeckt.

3.4. Untersuchungsparameter

In dem Programm G2 werden, wie auch bei anderen Untersuchungsprogrammen, neben der Empfindlichkeit der Netzhaut auch andere Parameter untersucht und dargestellt. Es bestehen mehrere Darstellungsformen der Ergebnisse, diese können z.B. farbkodiert als Graphik oder als Werte in Zahlenform angezeigt werden.

In der Untersuchung werden folgende Punkte analysiert:

- Anzahl der gestellten Fragen: dies definiert die Menge der gebotenen Lichtreize, die notwendig waren um die Empfindlichkeitsschwelle an jedem untersuchten Netzhautareal zu ermitteln.
- Dauer der Untersuchung.
- Fixationsverluste: in Prozent (vorher erwähnte Methode nach Heijl-Krakau)
- Falsch-positive Antworten: Die meisten Perimeter, wie auch der Octopus 101, haben die Möglichkeit das Reaktionsverhalten der untersuchten Person zu prüfen. Hierbei werden Fangfragen eingestreut. Die Begleitzeichen eines Reizes (Motorgeräusch, Aufmerksamkeitssignal) sind für den Patienten wahrnehmbar, hingegen werden Lichtreize projiziert die im nicht wahrnehmbaren Bereich liegen oder ganz fehlen.
- Falsch-negative Antworten: Entsprechend den obengennanten falsch-positiven Antworten werden auch Lichtreize eingestreut, bei denen die Helligkeit deutlich oberhalb der bereits gemessenen Schwelle des Gesichtsfeldortes liegen.
- Statistische Indizes: Die Gesichtsfeldindizes sind mathematisch-statistische Kennwerte, die aus den Empfindlichkeitswerten berechnet werden. Zu Ihnen zählen die:

- Mean Sensitivity (MS): Mean Sensitivity oder Mittlere Empfindlichkeit ist definiert, als das arithmetische Mittel aller gemessener Empfindlichkeitswerte in einem gegebenen Gesichtsfeld. Die Einheit der Empfindlichkeit ist Dezibel (dB).
 - Standardabweichung (SA, GS): Die Standardabweichung oder auch Global Standard Deviation (GS) genannt, ist ein weiterer wichtiger Kennwert, der die gemessenen Empfindlichkeitswerte beschreibt. Das Kürzel Global bedeutet, dass die errechneten Werte aus den Empfindlichkeitswerten des gesamten Gesichtsfeldes berechnet worden sind.
 - Mean Defect (MD): Der Index MD ist definiert als arithmetisches Mittel des Unterschiedes zwischen den gemessenen Werten in einem bestimmten Gesichtsfeld und den altersentsprechenden Normwerten, die in der Octopus-Datenbank gespeichert sind. Es ist ein sehr hilfreicher Index, weil er eine frühe generalisierte Depression anzeigen kann. Ein positives Vorzeichen bei dem MD-Wert zeigt in dem Octopus-System eine Depression des Gesichtsfeldes an, während ein negatives Vorzeichen eine höhere Empfindlichkeit als die der gespeicherten Normaldaten andeutet.
- Mean Sensitivity nach Lokalisation: In dieser Arbeit wurde das 30° Gesichtsfeld in vier Viertel (von 0° bis 90°, 90° bis 180°, 180° bis 270° und 270° bis 360°) und drei Zonen (von 0° bis 10°, von 11° bis 20° und 21° bis 30°) unterteilt und die arithmetischen Mittel aus den Empfindlichkeitswerten für jedes Gebiet und jede Messung berechnet. Es wurden die korrespondierenden Gesichtsfelder miteinander verglichen, da rechte wie auch linke Augen untersucht worden sind.

3.5. Probandengut

Im Zeitraum März bis Juni 1999 wurden an der Augenklinik der Technischen Universität München (Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. M. Mertz) insgesamt 37 Probanden, 26 weiblich (70,3%) und 11 männlich (29,7%) untersucht, mit dem Perimeter Octopus 101. Es wurde bei jedem Probanden jeweils nur ein Auge untersucht, bei 20 (54%) von ihnen das rechte und bei den übrigen 17 (46%) das linke Auge. Zwischen erster und zweiter Untersuchung vergingen im Mittel 8,92 Tage (SA 2,52 u. Streubreite von 6 bis 13 d) und zwischen zweiter und dritter Messung entsprechend 7,38 Tage (SA 2,36 und Streubreite von 4 bis 12 d). Die Zeitabstände zwischen den einzelnen Messungen sind in der Abbildung 6 dargestellt.

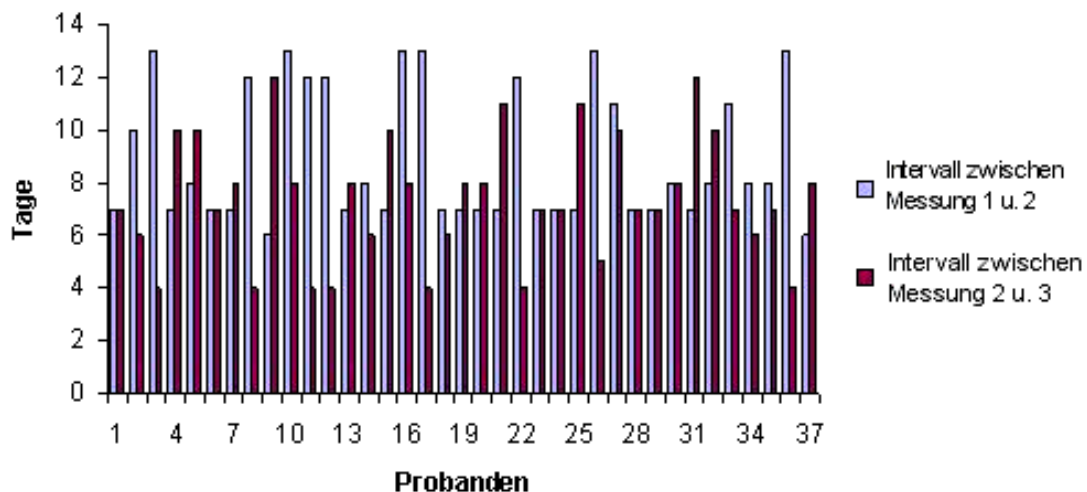


Abb. 6: Zeitabstände zwischen den Untersuchungen

Das Durchschnittsalter der Probanden betrug 23,89 Jahre (SA 2,18) und reichte von 19,22 bis 29,16 Jahre. Der Bildungsstand war auf hohem Niveau. Die Probanden waren zum Zeitpunkt der Untersuchung Hochschulstudenten.

Einschlusskriterien:

- Einen Fern-Visus $\geq 0,9$ c.c. (mit Brillenglaskorrektur oder Kontaktlinsen)
- Refraktionsfehler $\leq \pm 5$ dpt sph u. od. 2,5 dpt cyl
- Einen Intraokulardruck ≤ 21 mmHg (applanatorisch gemessen)
- Klare optische Medien (Linsenbefund N0 nach Lens Opacities Klassifikation System II (LOCS II) [2])
- Einen physiologischen Papillenbefund.

- Kein Glaukom in der Anamnese, keine Intraokulareingriffe, weder akute noch in der Vergangenheit aufgetretene Augenerkrankungen, die das Ergebnis der Messung beeinflussen können.
- Keine lokale oder systemische Medikation, die das Messergebnis verfälschen könnte.
- Keine vorherige Erfahrung mit Gesichtsfelduntersuchungen.

Die Probanden wurden alle vom gleichen Instruktor mit ähnlichen Anweisungen über den Ablauf der Untersuchung eingewiesen

3.6. Datenauswertung

Die erhobenen Daten wurde mit dem statistischen Programm Starter™ weiterverarbeitet. Die Datenverarbeitung erfolgte im Sinne einer deskriptiven Datenanalyse. Unter der Annahme dass sich die Messergebnisse in eine Richtung verändern, in diesem Fall im Sinne einer Verbesserung, wurde ein einseitiger t-Test durchgeführt um signifikante Unterschiede zwischen den Untersuchungsergebnissen nachzuweisen. Das Signifikanzniveau wurde auf 5% festgelegt.

4. Ergebnisse

4.1. Anzahl der gestellten Fragen

Die Ergebnisse sind aus der Abbildung 7 zu entnehmen. Die Anzahl der gestellten Fragen betrug in der ersten Messung 290,76 (SA 12,37 und Streubreite von 265 bis 323), in der zweiten Messung 294,32 (SA 17,65 und Streubreite von 258 bis 338) und in der dritten Messung 296,59 (SA 21,1 und Streubreite von 273 bis 378). Von Messung 1 auf Messung 2 zeigte sich eine Zunahme von 1,23% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,32$). Von Messung 2 auf Messung 3 zeigte sich ebenfalls eine Zunahme von 0,77% im Mittelwert, diese ist ebenso nicht signifikant ($p=0,62$).

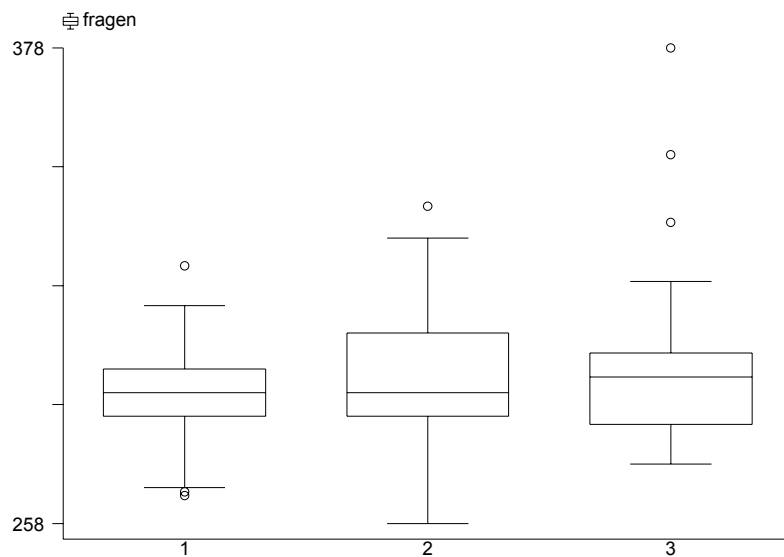


Abb. 7: Anzahl der gestellten Fragen

4.2. Dauer der Untersuchung

Die Dauer der Untersuchung sah wie folgt aus (Abb. 8). Die Untersuchungsdauer betrug bei der ersten Messung im Mittelwert 9,74 min (SA 0,91 und Streubreite von 8,6 bis 12,5 min), und in der zweiten Untersuchung 9,65 min (SA 0,92 und Streubreite von 8,2 bis 12,2 min). Es zeigte sich eine Verkürzung der Untersuchungsdauer im Mittelwert um 0,86%. Diese Differenz ist jedoch nicht signifikant ($p=0,69$). Die Untersuchungsdauer der dritten Messung betrug 9,78 min (SA 0,89) und Streubreite von 8,5 bis 11,8 min). Im Vergleich der zweiten mit der dritten Messung zeigte sich wiederum eine Zunahme der Untersuchungsdauer im Mittelwert um 1,34% und ist ebenfalls nicht statistisch signifikant ($p=0,54$).

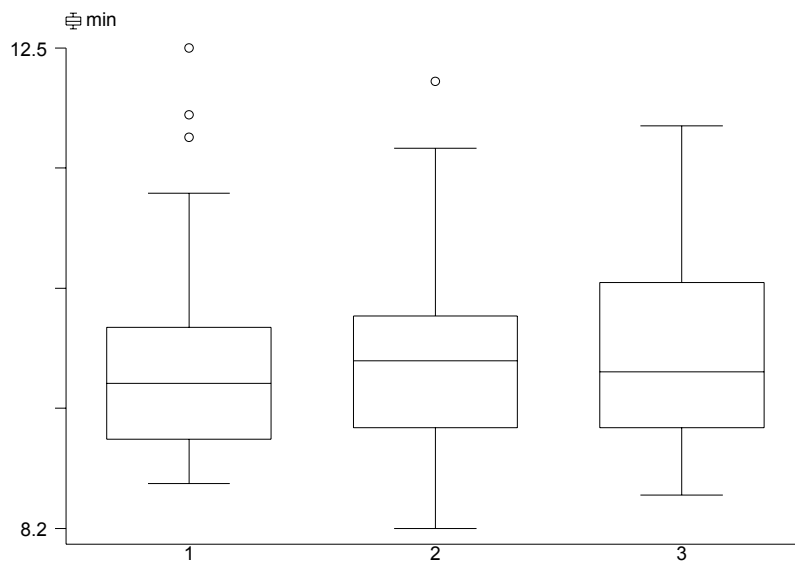


Abb. 8: Dauer der Untersuchung

4.3. Fixationsverluste

Die Fixationsverluste sind aus der Abbildung 9 zu entnehmen. In der ersten Messung betragen sie im Mittelwert 1,78% (SA 4,16 und Streubreite von 0 bis 19 Prozent), und in der zweiten Messung 1,49% (SA 4,23 und Streubreite von 0 bis 21 Prozent). Es zeigte sich eine Abnahme der Fixationsverluste im Mittelwert um 16,67%. Diese Abnahme ist nicht signifikant ($p=0,76$). In der dritten Messung zeigten sich im Mittelwert 2,32 % Fixationsverluste (SA 7,14 und Streubreite von 0 bis 33 Prozent). Es konnte eine Zunahme von 56,36% im Mittelwert gezeigt werden, diese Änderung ist nicht signifikant ($p=0,54$).

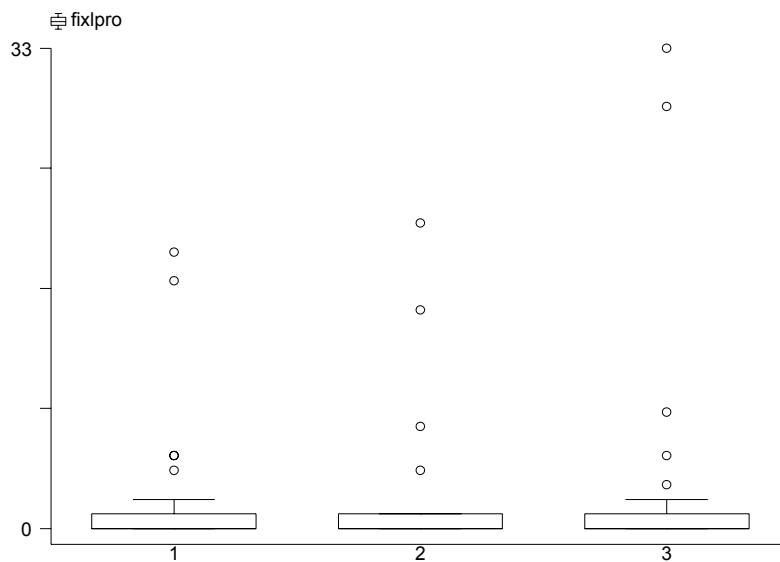


Abb. 9: Anzahl der Fixationsverluste

4.4. Falsch-positive Antworten

Das falsch-positive Verhalten der Probanden ist in der Abbildung 10 dargestellt. In der ersten Messung betragen die falsch-positiven Antworten im Mittelwert 7,40% (SA 7,35 und Streubreite von 0 bis 21 Prozent), in der zweiten Messung entsprechen 8,78% (SA 12,63 und Streubreite von 0 bis 47 Prozent). Es zeigte sich eine Zunahme im Mittelwert von 18,61%, diese ist nicht signifikant ($p=0,57$). In der dritten Messung zeigten sich im Mittelwert 8,45% falsch-positiven Antworten (SA 8,95 und Streubreite von 0 bis 29 Prozent). Im Vergleich der zweiten mit der dritten Messung konnte eine Abnahme von 3,6 % festgestellt werden, diese Änderung ist nicht signifikant ($p=0,89$).

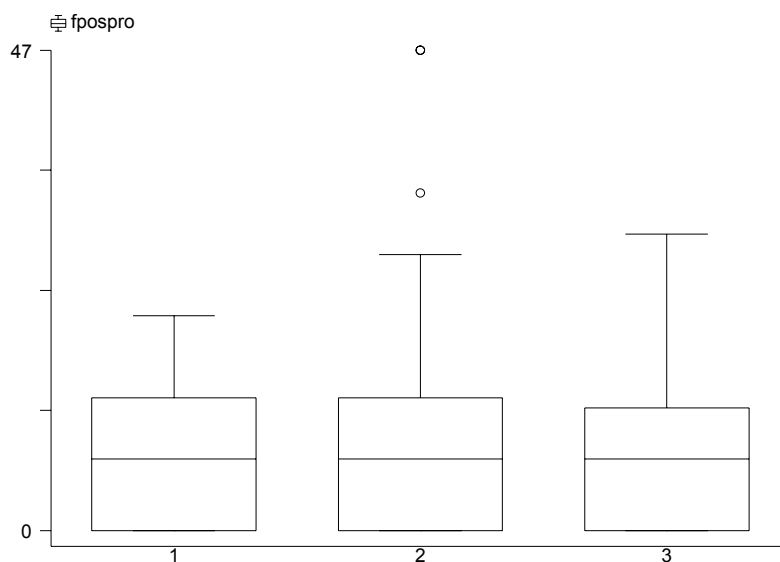


Abb. 10: Anzahl der falsch-positiven Antworten

4.5. Falsch-negative Antworten

Die Ergebnisse sind in der Abbildung 11 zu entnehmen. In der ersten Messung zeigten sich im Mittelwert 0,35% (SA 1,49 und Streubreite von 0 bis 7 Prozent) und entsprechend in der zweiten Messung 0,19% (SA 1,15 und Streubreite von 0 bis 7 Prozent). Die falsch-negativen Antworten reduzierten sich im Mittelwert von der ersten auf die zweite Messung um 46,15%, diese Änderung ist jedoch nicht signifikant ($p=0,60$). Die dritte Messung ergab im Mittelwert die gleichen Werte wie die zweite Messung und dementsprechend betrug der p-Wert 1,00.

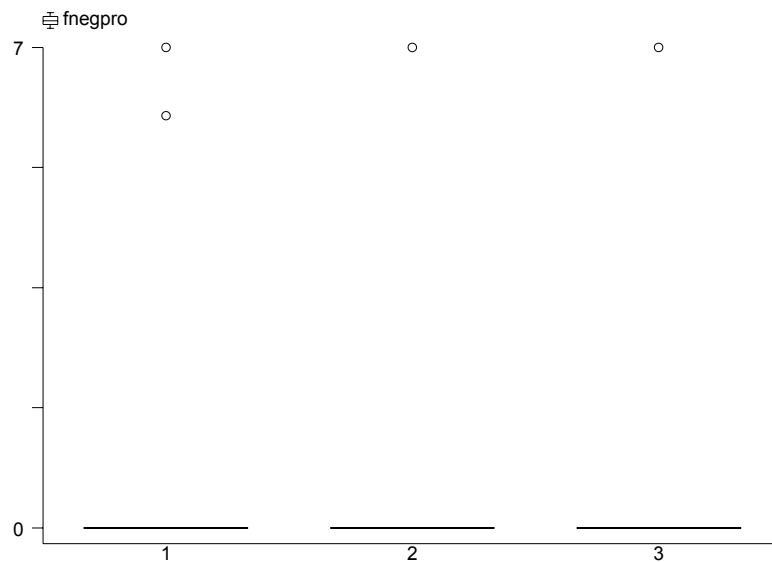


Abb. 11: Anzahl der falsch-negativen Antworten

4.6. Statistische Indizes

4.6.1. Mean Sensitivity (MS)

Um darzustellen dass, die Messergebnisse einer Normalverteilung unterliegen werden die Ergebnisse der MS im Liniengramm in Abbildung 12 aufgeführt.

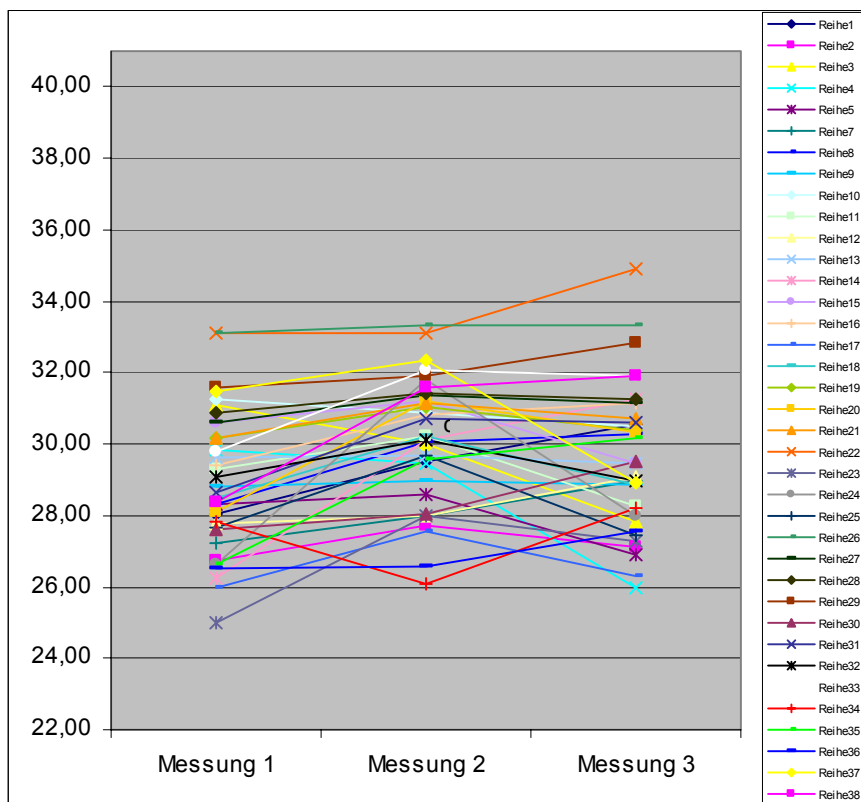


Abb.12: Mean Sensitivity der einzelnen Probanden (farbkodiert)

Die Mean Sensitivity der drei durchgeführten Messungen ist in Abbildung 13 aufgeführt. Sie maß in der ersten Untersuchung im Mittelwert 28,91 dB (SA 1,96 und Streubreite von 24,97 bis 33,12) und in der zweiten Messung 30,06 dB (SA 1,74 und Streubreite von 26,1 bis 33,32). Zwischen erster und zweiter Messung zeigte sich eine Zunahme im Mittel um

3,96%, diese ist signifikant ($p=0,0096$). Die dritte Messung ergab eine Mean Sensitivity von 29,62 dB (SA 1,99 und Streubreite von 25,97 bis 34,9). Im Vergleich der zweiten mit der dritten Messung stellte sich eine Abnahme um 1,44% im Mittel heraus, diese ist nicht signifikant ($p=0,32$).

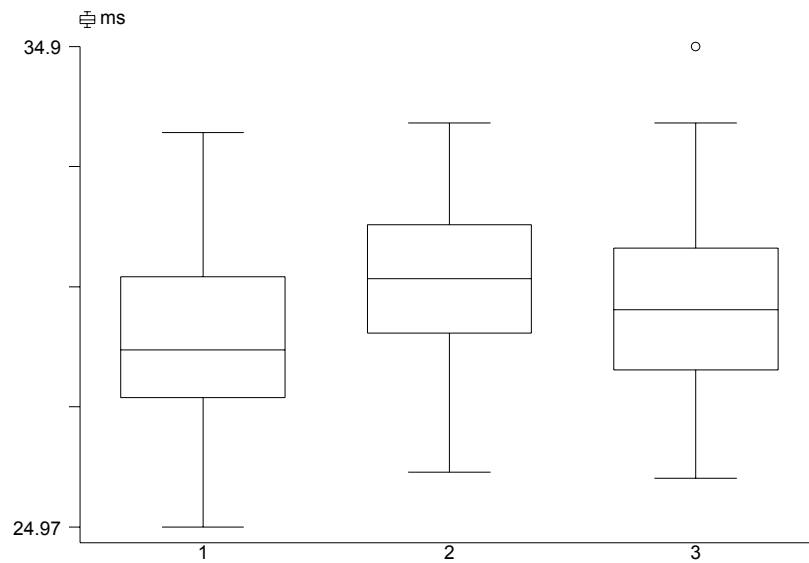


Abb. 13: Mean Sensitivity

4.6.2. Standardabweichung (SA, GS)

Die Standardabweichung der drei Messungen ist in Abbildung 14 aufgeführt. Die SA der ersten Messung betrug 3,40 (SA 1,05 und Streubreite von 1,79 bis 6,25) und entsprechend der zweiten Messung 3,16 (SA 0,82 und Streubreite 2,22 bis 5,48). Im Vergleich der ersten mit der zweiten Messung zeigte sich eine Abnahme um 6,81% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,29$). In der dritten Messung belief sich die SA auf 3,13 (SA 0,69 und Streubreite von 1,71 bis 5). Im Vergleich der zweiten mit der dritten Messung konnte eine Abnahme um 1,10% festgestellt werden, diese ist ebenfalls nicht signifikant ($p=0,84$).

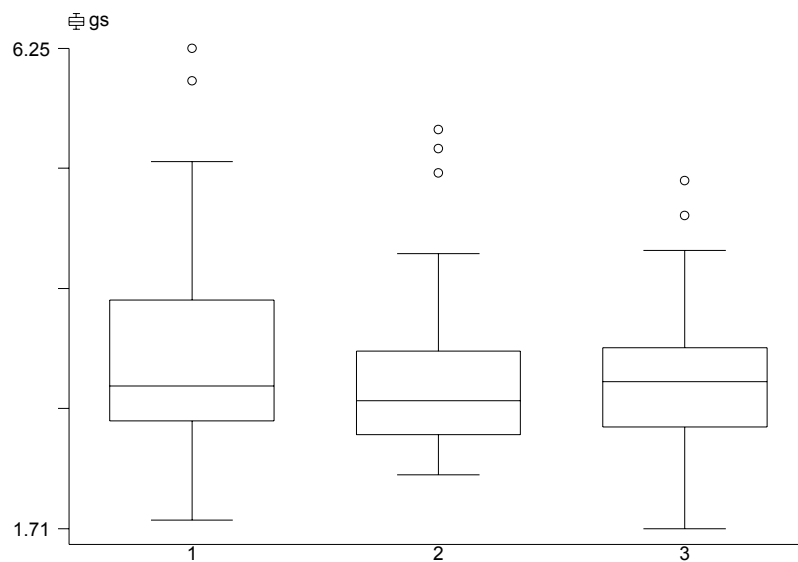


Abb. 14: Standardabweichung

4.6.3. Mean Defect (MD)

Die gemessenen MD-Werte sind in Abbildung 15 dargestellt. Es fällt auf, dass die in unserer Probandengruppe berechneten Werte im Mittelwert niedriger waren als die gespeicherten Normwerte. Der MD der ersten Untersuchung betrug 1,48 dB (SA 1,98 und Streubreite von $-5,8$ bis $+2$), der zweiten Messung $-2,80$ dB (SA 1,64 und Streubreite von $-6,1$ bis $+0,7$). Im Vergleich der beiden Messungen zeigt sich eine Abnahme des Wertes um 90,11%, diese Differenz ist signifikant ($p=0,0024$). In der dritten Messung betrug der MD $-2,34$ (SA 1,79 und Streubreite von $-7,5$ bis $+1$). Zwischen zweiter und dritter Messung zeigt sich wiederum eine Zunahme des Wertes um 14,55%, diese ist nicht signifikant ($p=0,31$).

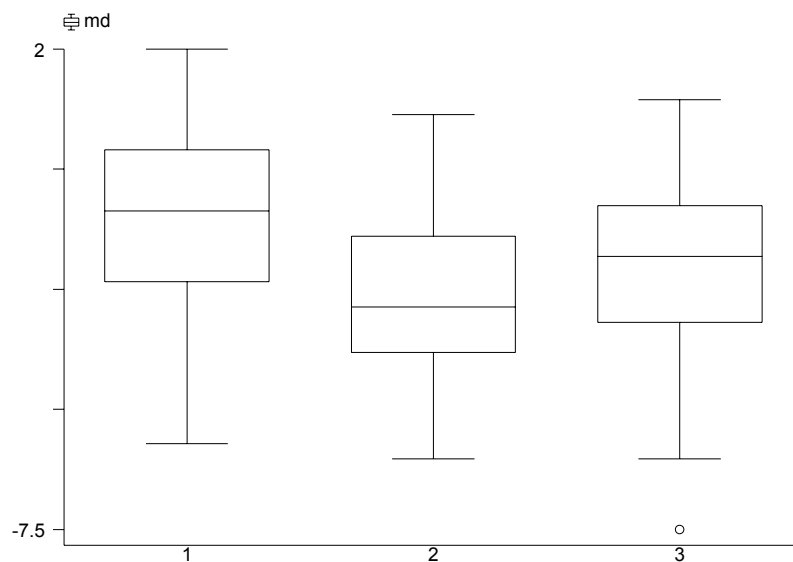


Abb. 15: Mean Defect

4.7. Mean Sensitivity nach Lokalisation

4.7.1. Temporal-oberes Gesichtsfeld von 0° bis 10° (to10°)

Die errechneten Mittelwerte sind in Abbildung 16 dargestellt. Die mittlere Empfindlichkeit betrug für Messung 1 30,41 dB (SA 2,53 u. Streubreite von 24,75 bis 33,75), für Messung 2 31,66 dB (SA 2,20 und Streubreite von 24,75 bis 34,50) und für Messung 3 30,84 dB (SA 2,33 und Streubreite von 25,75 bis 35,75). Von Messung 1 auf Messung 2 zeigte sich eine Zunahme von 4,08% im Mittelwert, diese ist signifikant ($p=0,03$). Von Messung 2 auf Messung 3 zeigte sich eine Abnahme von 2,56% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,12$).

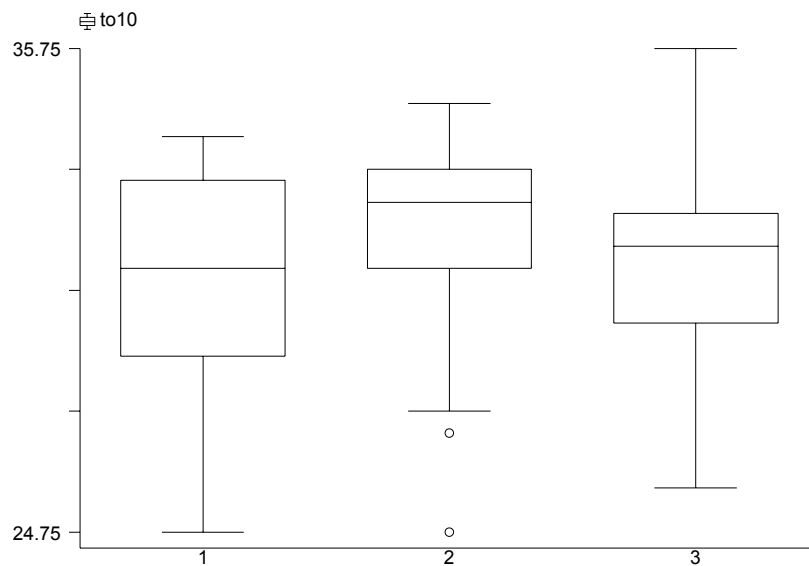


Abb. 16: Temporal-oberes Gesichtsfeld von 0° bis 10°

4.7.2. Temporal-oberes Gesichtsfeld von 11° bis 20° (to20°)

Die errechneten Mittelwerte sind in Abbildung 17 dargestellt. Die mittlere Empfindlichkeit betrug für Messung 1 29,17 dB (SA 2,12 und Streubreite von 24 bis 33), für Messung 2 30,00 dB (SA 1,77 und Streubreite von 25 bis 32,5) und für Messung 3 29,71 dB (SA 1,72 und Streubreite von 26,5 bis 33,25). Von Messung 1 auf Messung 2 zeigte sich eine Zunahme von 2,87% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,07$). Von Messung 2 auf Messung 3 zeigte sich eine Abnahme von 0,99% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,47$).

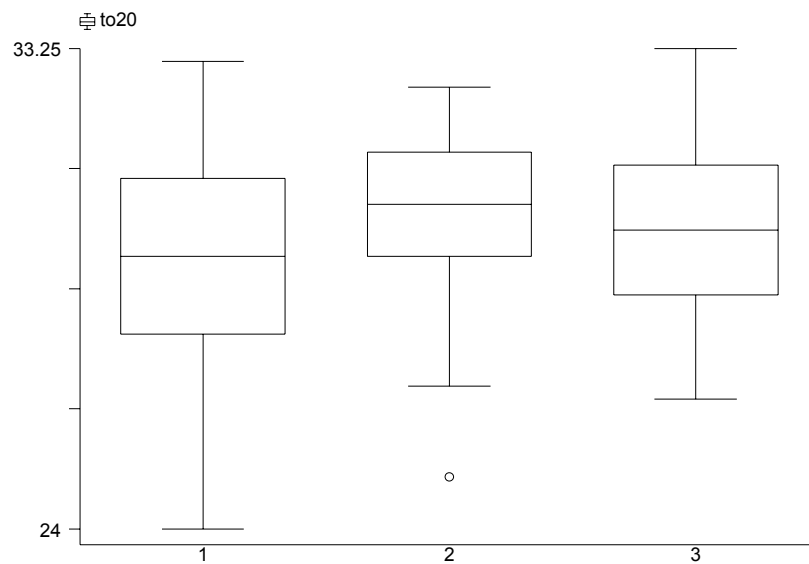


Abb. 17: Temporal-oberes Gesichtsfeld von 11° bis 20°

4.7.3. Temporal-oberes Gesichtsfeld von 21° bis 30° (to30°)

Die errechneten Mittelwerte sind in Abbildung 18 dargestellt. Die mittlere Empfindlichkeit betrug für Messung 1 28,00 dB (SA 3,85 und Streubreite von 18,72 bis 34,29), für Messung 2 29,39 dB (SA 3,55 und Streubreite von 20,86 bis 34,29) und für Messung 3 29,06 dB (SA 3,65 und Streubreite von 21,71 bis 34,57). Von Messung 1 auf Messung 2 zeigte sich eine Zunahme von 4,94% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,11$). Von Messung 2 auf Messung 3 zeigte sich eine Abnahme von 1,12% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,70$).

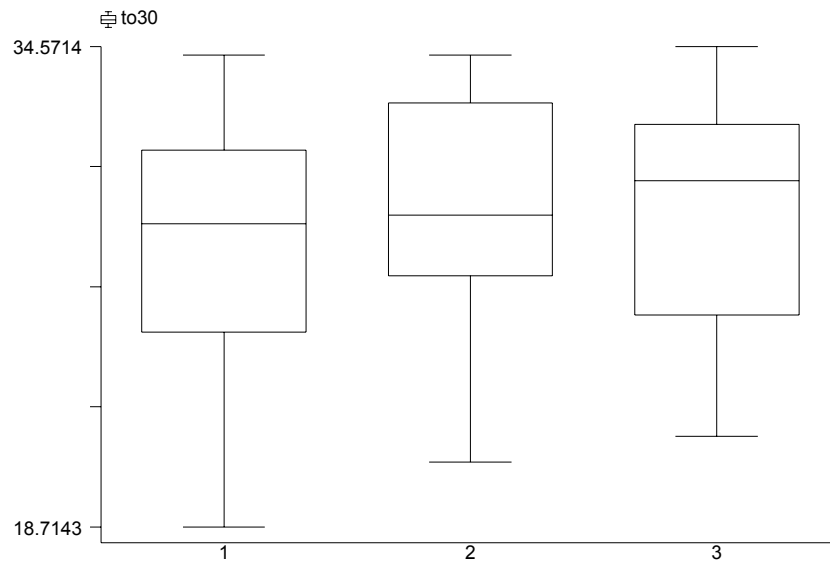


Abb. 18: Temporal-oberes Gesichtsfeld von 21° bis 30°

4.7.4. Temporal-unteres Gesichtsfeld von 0° bis 10° (tu10°)

Die errechneten Mittelwerte sind in Abbildung 19 dargestellt. Die mittlere Empfindlichkeit betrug für Messung 1 29,22 dB (SA 3,40 und Streubreite von 19 bis 34,75), für Messung 2 30,05 dB (SA 2,83 und Streubreite von 22 bis 33,5) und für Messung 3 30,08 dB (SA 2,71 und Streubreite von 24,75 bis 35,75). Von Messung 1 auf Messung 2 zeigte sich eine Zunahme von 2,87% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,25$). Von Messung 2 auf Messung 3 zeigte sich eine Zunahme von 0,09% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,96$).

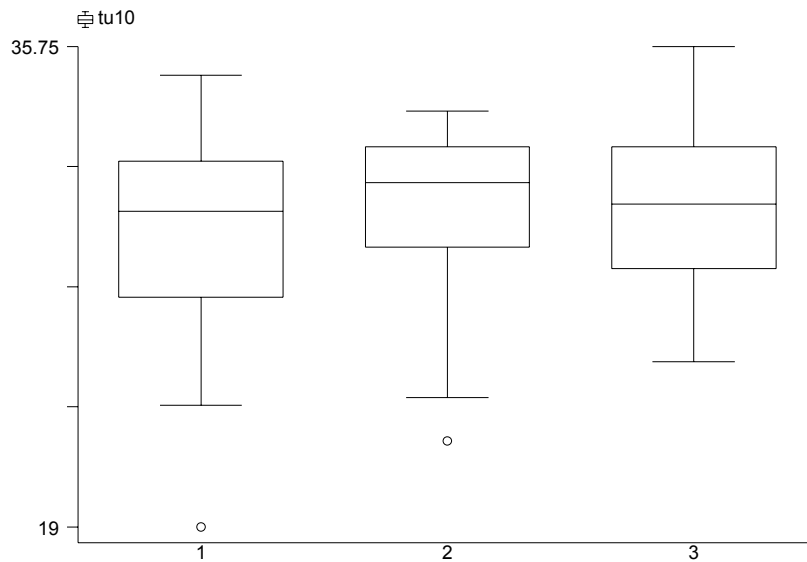


Abb. 19: Temporal-unteres Gesichtsfeld von 0° bis 10°

4.7.5. Temporal-unteres Gesichtsfeld von 11° bis 20° (tu20°)

Die errechneten Mittelwerte sind in der Abbildung 20 dargestellt. Die mittlere Empfindlichkeit betrug für Messung 1 29,87 dB (SA 2,38 und Streubreite von 25,5 bis 34,75), für Messung 2 31 dB (SA 1,79 und Streubreite von 26,25 bis 34,5) und für Messung 3 30,69 dB (SA 1,97 und Streubreite von 27,25 bis 35,5). Von Messung 1 auf Messung 2 zeigte sich eine Zunahme von 3,77% im Mittelwert, diese ist signifikant ($p=0,02$). Von Messung 2 auf 3 zeigte sich eine Abnahme von 1,00% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,48$).

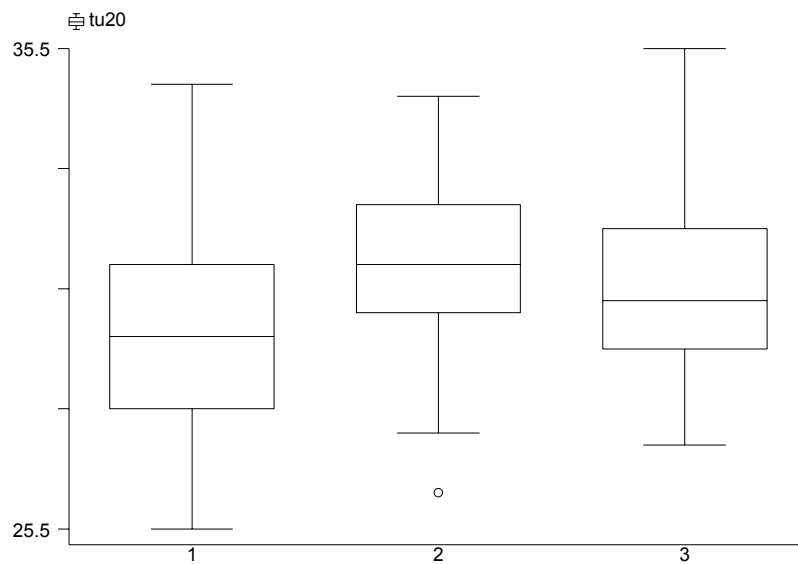


Abb. 20: Temporal-unteres Gesichtsfeld von 11° bis 20°

4.7.6. Temporal-unteres Gesichtsfeld von 21° bis 30° (tu30°)

Die errechneten Mittelwerte sind in der Abbildung 21 dargestellt. Die mittlere Empfindlichkeit betrug für Messung 1 28,17 dB (SA 2,22 und Streubreite von 22 bis 33,43), für Messung 2 29,37 dB (SA 2,22 und Streubreite von 24,71 bis 34) und für Messung 3 28,69 dB (SA 2,27 und Streubreite von 24,86 bis 34,57). Von Messung 1 auf Messung 2 zeigte sich eine Zunahme von 4,24% im Mittelwert, diese ist signifikant ($p=0,02$). Von Messung 2 auf Messung 3 zeigte sich ein Abnahme von 2,3% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,2$).

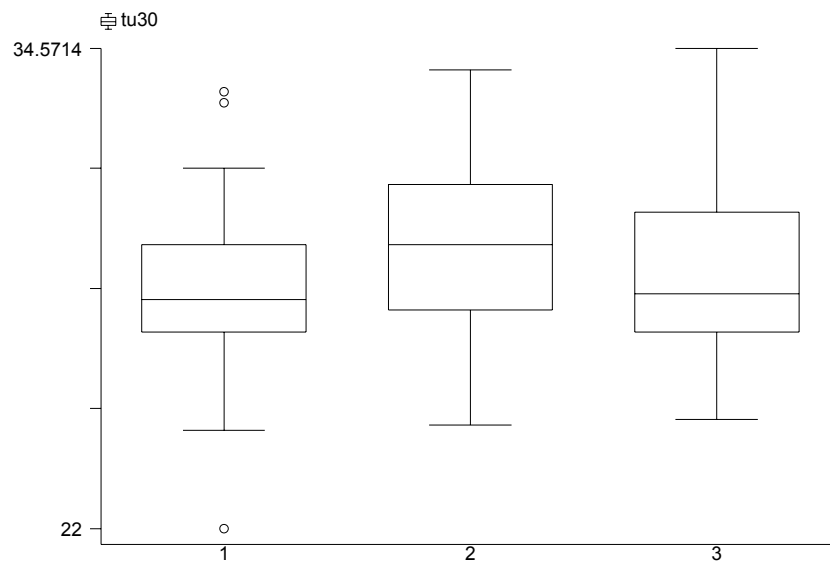


Abb. 21: Temporal-unteres Gesichtsfeld von 21° bis 30°

4.7.7. Nasal-oberes Gesichtsfeld von 0° bis 10° (no10°)

Die errechneten Mittelwerte sind in der Abbildung 22 dargestellt. Die mittlere Empfindlichkeit betrug für Messung 1 29,88 dB (SA 2,28 und Streubreite von 25 bis 33,25), für Messung 2 31,40 dB (SA 1,92 und Streubreite von 25 bis 34,5) und für Messung 3 30,43 dB (SA 2,13 und Streubreite von 26,25 bis 34,25). Von Messung 1 auf Messung 2 zeigte sich eine Zunahme von 5,09% im Mittelwert, diese ist signifikant ($p=0,003$). Von Messung 2 auf Messung 3 zeigte sich ein Abnahme von 3,10% im Mittelwert, diese ist signifikant ($p=0,04$).

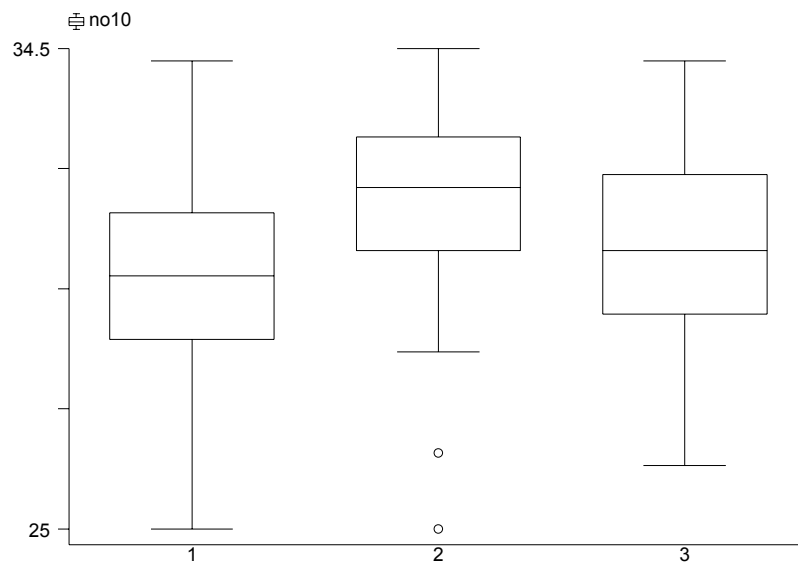


Abb. 22: Nasal-oberes Gesichtsfeld von 0° bis 10°

4.7.8. Nasal-oberes Gesichtsfeld von 11° bis 20° (no20°)

Die errechneten Mittelwerte sind in der Abbildung 23 dargestellt. Die mittlere Empfindlichkeit betrug für Messung 1 29,53 dB (SA 2,56 und Streubreite von 25 bis 34,67), für Messung 2 30,56 dB (SA 2,36 und Streubreite von 26,33 bis 35,67) und für Messung 3 30,14 dB (SA 2,54 und Streubreite von 25,33 bis 35,67). Von Messung 1 auf Messung 2 zeigte sich eine Zunahme von 3,48% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,08$). Von Messung 2 auf Messung 3 zeigte sich ein Abnahme von 1,39% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,46$).

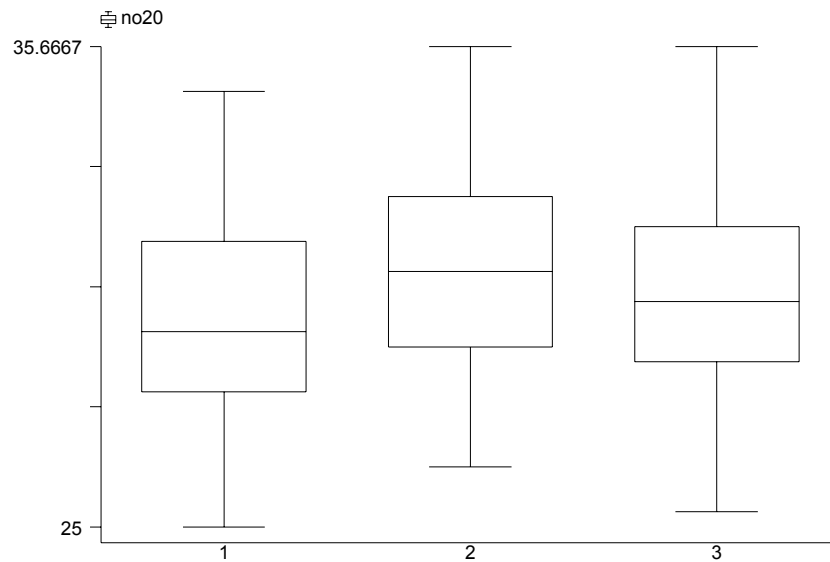


Abb. 23: Nasal-oberes Gesichtsfeld von 11° bis 20°

4.7.9. Nasal-oberes Gesichtsfeld von 21° bis 30° (no30°)

Die errechneten Mittelwerte sind in der Abbildung 24 dargestellt. Die mittlere Empfindlichkeit betrug für Messung 1 28,93 dB (SA 3,19 und Streubreite von 22 bis 34,86), für Messung 2 30,03 dB (SA. 3,00 und Streubreite von 24,57 bis 34,29) und für Messung 3 29,81 dB (SA. 3,36 und Streubreite von 23,14 bis 35,86). Von Messung 1 auf Messung 2 zeigte sich eine Zunahme von 3,79% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,13$). Von Messung 2 auf Messung 3 zeigte sich ein Abnahme von 0,72% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,77$).

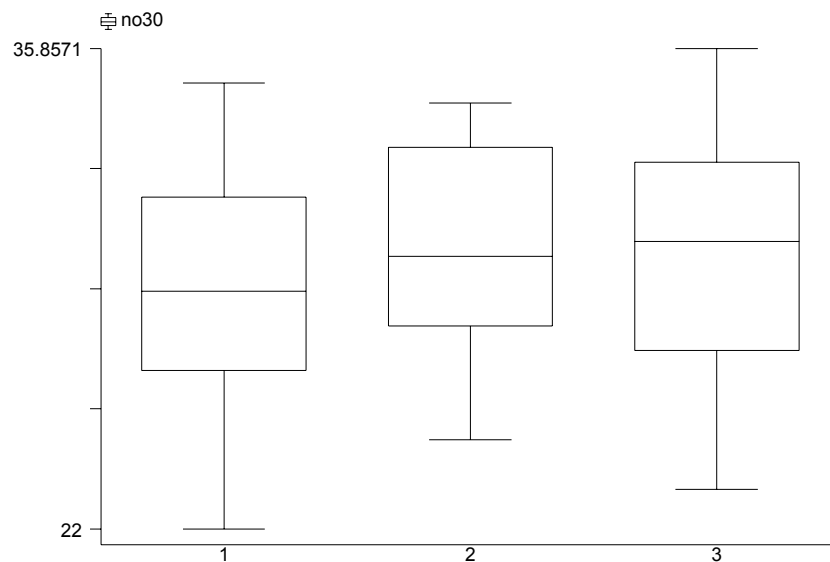


Abb. 24: Nasal-oberes Gesichtsfeld von 21° bis 30°

4.7.10. Nasal-unteres Gesichtsfeld von 0° bis 10° (no10°)

Die errechneten Mittelwerte sind in der Abbildung 25 dargestellt. Die mittlere Empfindlichkeit betrug für Messung 1 29,83 dB (SA 2,58 und Streubreite von 23 bis 34,75), für Messung 2 31,23 dB (SA 1,87 und Streubreite von 26,25 bis 34) und für Messung 3 30,53 dB (SA 2,08 und Streubreite von 27 bis 35,75). Von Messung 1 auf Messung 2 zeigte sich eine Zunahme von 4,69% im Mittelwert, diese ist signifikant ($p=0,01$). Von Messung 2 auf Messung 3 zeigte sich ein Abnahme von 2,25% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,13$).

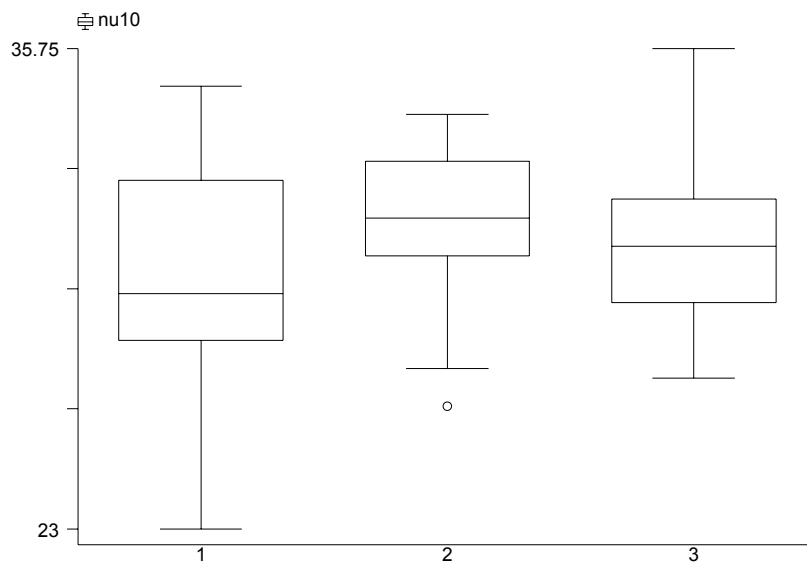


Abb. 25: Nasal-unteres Gesichtsfeld von 0° bis 10°

4.7.11. Nasal-unteres Gesichtsfeld von 11° bis 20° (no20°)

Die errechneten Mittelwerte sind in der Abbildung 26 dargestellt. Die mittlere Empfindlichkeit betrug für Messung 1 29,26 dB (SA 2,54 und Streubreite von 24 bis 34,33), für Messung 2 29,86 dB (SA 2,29 und Streubreite von 24,67 bis 34,67) und für Messung 3 29,57 dB (SA 2,67 und Streubreite von 24,67 bis 35,67). Von Messung 1 auf Messung 2 zeigte sich eine Zunahme von 2,06% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,2$). Von Messung 2 auf Messung 3 zeigte sich ein Abnahme von 1,0% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,61$).

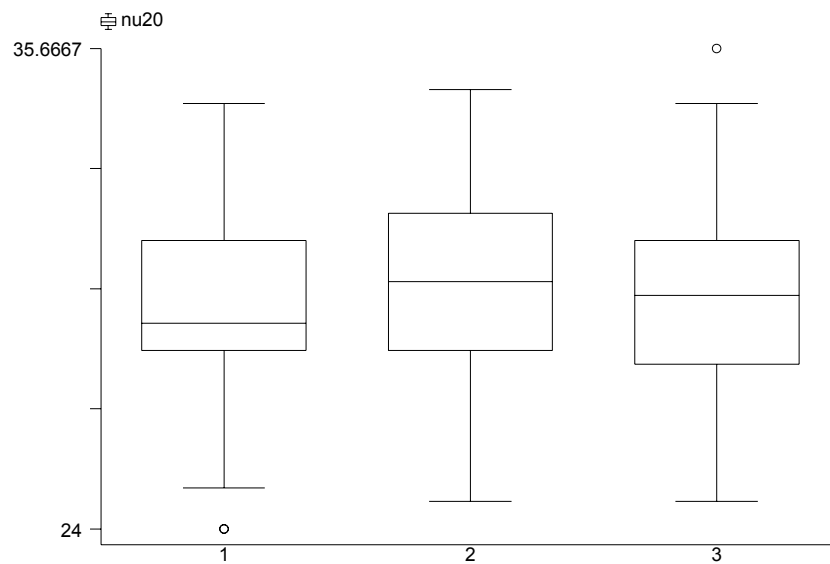


Abb. 26: Nasal-unteres Gesichtsfeld von 11° bis 20°

4.7.12. Nasal-unteres Gesichtsfeld von 21° bis 30° (no30°)

Die errechneten Mittelwerte sind in der Abbildung 27 dargestellt. Die mittlere Empfindlichkeit betrug für Messung 1 26,99 dB (SA 2,94 und Streubreite von 17,23 bis 32), für Messung 2 28,22 dB (SA. 2,43 und Streubreite von 21,71 bis 32,57) und für Messung 3 27,76 dB (SA 2,59 und Streubreite von 22,71 bis 34,43). Von Messung 1 auf Messung 2 zeigte sich eine Zunahme von 4,55% im Mittelwert, diese ist signifikant ($p=0,05$). Von Messung 2 auf Messung 3 zeigte sich ein Abnahme von 1,60% im Mittelwert, diese ist nicht signifikant ($p=0,44$).

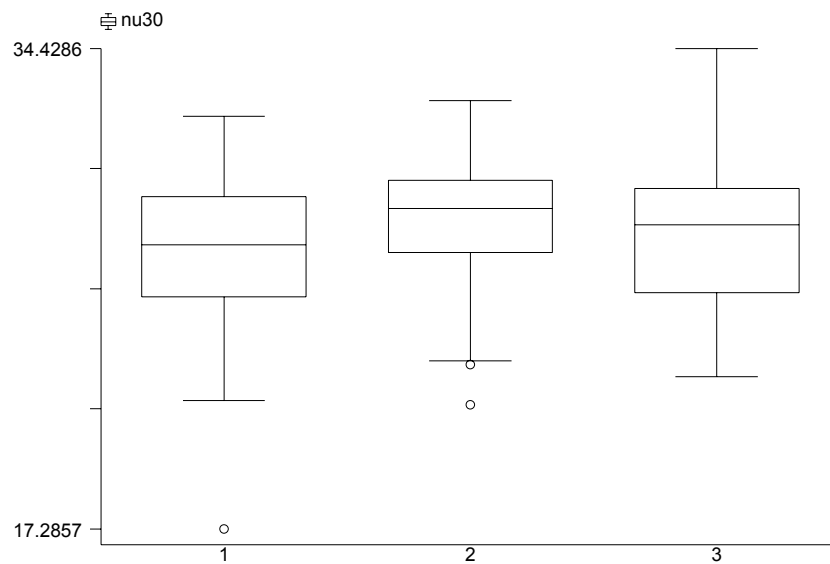


Abb. 27: Nasal-unteres Gesichtsfeld von 21° bis 30°

5. Diskussion

Die Fragestellung dieser Untersuchung ist, ob ein Lerneffekt bei drei aufeinander folgenden Gesichtsfeldmessungen mit der Blau–Gelb-Methode auftritt. Wie lässt sich dieser Effekt definieren und messen, vorausgesetzt dass ein solcher Effekt überhaupt existiert. Wie beeinflusst er die Ergebnisse und welche Konsequenzen auf die Anwendung der Perimetrie hat er?

Ein Lerneffekt kann nicht direkt gemessen werden, sondern ist anhand diverser Parameter, die die Qualität und Quantität der Ergebnisse beschreiben, zu schätzen. Diese Parameter sind die Dauer der Untersuchung, die Anzahl der gestellten Fragen, die Anzahl der Fixationsverluste, die Anzahl der falsch–positiven und negativen Antworten, die gemessenen Empfindlichkeitswerte und die statistischen Indizes.

Die Ergebnisse der Perimetrie, wie auch jedes anderen psychophysikalischen Messverfahrens, werden jedoch durch eine Vielfalt an Faktoren, physikalischer wie auch kognitiver, beeinflusst.

Zu den physikalischen Faktoren zählen neben der Funktionstüchtigkeit des optischen Apparates und der Sehbahn auch das Ganzfeld Blankout Phänomen. Fuhr et al. [6] zeigt in einer experimentellen Arbeit, dass während einer perimetrischen Untersuchung mit einer Halbkugel ein intermittierendes „dunklerwerden“ des Gesichtsfeldes, bei Abdeckung des nichtuntersuchten Auges mit einer lichtundurchlässigen Klappe, in der Mehrzahl der Probanden auftritt. Die lichtundurchlässige Augenklappe führt zu einer unterschiedlich starken Netzhaut Illumination. Sobald der Unterschied zwischen beiden Augen größer als ca. 0,75 logarithmischen Einheiten misst, ist mit dem Auftreten des Ganzfeld-Blankout Phänomens zu rechnen. Die Variabilität der Ergebnisse soll gemäss Fuhr zunehmen und die gemessenen Schwellenwerte abnehmen. Dieses Phänomen soll bei Anwendung einer lichtdurchlässigen Augenklappe weniger oft auftreten. In dieser Arbeit wurde eine, wie üblich, lichtundurchlässige Augenklappe verwendet, um mit den gespeicherten Normwerten vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Potentielle Fehlerquellen sind z.B. das Verständnis des Probanden für die von ihm abverlangte Prüfung, der Stressfaktor der bei dem Probanden entsteht bei dem Bewältigen einer ihm unbekanntem Aufgabe, seine Aufmerksamkeit, Motivation, Konzentrationsfähigkeit über einige Minuten und Tagesform. Diese sind individuell und ändern sich in ihrem Ausprägungsgrad auch während einer Untersuchung. Sie sind nicht messbar, haben jedoch einen entscheidenden Einfluss auf den Ausgang der Untersuchung. Trotz standardisiertem Untersuchungsablauf und somit Minimierung systemischer Fehler bleiben die kognitiven Faktoren Fehlerquellen. Sie stammen zum einen vom Untersucher selbst, zum anderen von den zu untersuchenden Personen. Die Fähigkeiten und das Einfühlungsvermögen des Instructors sind gefordert um den Probanden in den Ablauf und Anforderungen der Untersuchung einzuweisen. Die Art der Anweisungen können einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse der Untersuchung haben. Kutzko et al. zeigte in einer Arbeit [20], dass ein „liberaler Führungsstil“ (d.h. die

Probanden wurden ermutigt den Antwortknopf zu betätigen, auch wenn sie sich nicht sicher waren den Lichtreiz gesehen zu haben) zu erhöhten Empfindlichkeitswerten führt, besonders im peripheren Gesichtsfeld und bei der älteren Probandengruppe. Es zeigte sich kein signifikanter Einfluss auf die Rate der falsch-positiven Antworten. In der Untersuchung die dieser Arbeit zugrunde liegt wurde ein Kompromiss aus „liberalen“ und „konservativen Führungsstil“ gewählt, d.h. die Probanden wurden nicht ermutigt schon beim leisesten Verdacht auf einen Lichtreiz zu antworten.

Zudem wurde versucht, bei der Untersuchungsgruppe, die dieser Arbeit zugrunde liegt, weitere Einflussfaktoren so gering wie möglich zu halten. Eine spezielle Probandenauswahl liegt dem zugrunde: Homogenität bezüglich Alter, den allgemeinen Gesundheitszustand, die Sehschärfe und den Bildungsstand. Ein weiterer Vorteil ist das relativ geringe Alter der Probanden. Es ist zu erwarten, dass junge Probanden aufnahmefähiger und ausdauernder sind, als Personen fortgeschrittenen Alters und folglich weniger Schwierigkeiten mit den Anforderungen und den Ablauf der Untersuchung haben. Die Intervalle zwischen den einzelnen Untersuchungen wurde relativ kurz gewählt, um den maximalen Lerneffekt zu erzielen.

Es wäre zu erwarten, dass mit zunehmender Vertrautheit der Probanden mit dem Ablauf der Untersuchung die Bestimmung der Schwellenwerte an Geschwindigkeit zunimmt. In unserer Untersuchungsreihe zeigte sich zwar von Messung 1 auf Messung 2 eine geringe Abnahme und von Messung 2 auf Messung 3 eine geringe Zunahme der Untersuchungsdauer, diese Änderungen waren jedoch statistisch nicht signifikant. Bei der Anzahl der gestellten Fragen zeigte sich ebenfalls keine statistisch signifikante Änderung. Es zeigte sich sogar eine geringe Zunahme in der Anzahl der gestellten Fragen von Messung 1 auf Messung 2 und von Messung 2 auf Messung 3. Die Anzahl der Fixationsverluste, der falsch-positiven und falsch-negativen Antworten zeigten im Verlauf keine signifikanten Veränderungen. In dem relativ kleinen Probandengut dieser Arbeit zeigten sich in diesen, die Validität beschreibenden Werten, unterschiedliche Tendenzen. Bei den Fixationsverlusten ergab sich von der ersten Messung auf die zweite eine geringe Abnahme und auf die dritte Messung wiederum eine deutlichere Zunahme. Bei den falsch-positiven-Antworten war zuerst eine Zunahme und dann von der zweiten Messung auf die dritte Messung erst eine Abnahme der falsch-positiven-Antworten zu messen. Im Gegensatz dazu konnte bei den falsch-negativen-Antworten zuerst eine Abnahme und dann eine gleich bleibende Anzahl der fälschlich beantworteten Fragen festgestellt werden. Man kann daraus schließen dass die gute Validität der Untersuchung in unserem Probandengut nicht mit dem Vertrautheitsgrad der Untersuchung korreliert; es kann daraus gefolgert werden, dass in diesem Bereich kein Lerneffekt festzustellen ist.

Betrachtet man dagegen die statistischen Indizes, so zeigen sich signifikante Unterschiede. Die Mean Sensitivity (MS) erhöhte sich signifikant von Messung 1 auf Messung 2 und nahm wiederum von Messung 2 auf Messung 3 nicht signifikant ab. Die entsprechende Standardabweichung (SA/GS) ergab keine statistisch signifikante Änderung. Entsprechend der Veränderung der MS verhielt sich auch der Index Mean Defect (MD). Von Messung 1 auf Messung 2 erfolgte eine signifikante Abnahme und

von Messung 2 auf 3 eine nicht signifikante Zunahme. Diese Veränderungen können als Lerneffekt interpretiert werden.

Bei den MS-Werten ist allen Gesichtsfeldorten gemeinsam eine, wenn auch nicht immer signifikante, Verbesserung von Messung 1 auf Messung 2, sowie eine Abnahme der mittleren Empfindlichkeit von Messung 2 auf 3. Es zeigte sich eine Ausnahme. Diese betrifft die mittlere Peripherie von 21° bis 30° des temporal-unteren Gesichtsfeldes. In ähnlichen Untersuchungen mit gesunden Probanden und Weiss-Weiss-Perimetrie konnte ebenfalls ein Lerneffekt bei konsekutiven Untersuchungen festgestellt werden. Flammer J. et al. [5] stellte fest, dass mit zunehmender Vertrautheit mit dem Ablauf der Untersuchung während der ersten Gesichtsfelduntersuchung eine Verbesserung der Ergebnisse zu erwarten ist. Wilesky J.T. et al. [54] kam zu ähnlichen Ergebnissen bei der Analyse von zwei aufeinander folgenden Gesichtsfelduntersuchungen. Betrachtet man die Lokalisation der größten Verbesserung in Studien die die Weiss-Weiss-Perimetrie angewendet haben, stellt sich heraus, dass sowohl bei gesunden [9, 40] als auch bei Glaukom-Patienten [10, 19, 46, 55] die größten Verbesserungen im peripheren Gesichtsfeld anzutreffen sind. Wild J.M. et al. [51] zeigte in einer ähnlichen zu dieser Untersuchung, dass der Lerneffekt bei der Blau-Gelb-Perimetrie unabhängig von der Exzentrizität ist und in der oberen Gesichtsfeldhälfte anzutreffen ist.

Die größte Zunahme der mittleren Empfindlichkeit von Messung 1 auf Messung 2 zeigte sich allerdings im Probandengut dieser Arbeit in folgenden Gesichtsfeldbereichen:

- Nasal-oberes Gesichtsfeld von 0° bis 10°: +5,09%
- Nasal-unteres Gesichtsfeld von 0° bis 10°: +4,6%
- Nasal-unteres Gesichtsfeld von 21° bis 30°: +4,55%
- Temporal-unteres Gesichtsfeld von 21° bis 30°: +4,24%
- Temporal-unteres Gesichtsfeld von 11° bis 20°: +3,77%

Betrachtet man die oben aufgeführten Veränderungen der mittleren Empfindlichkeit, fällt auf, dass diese überwiegend in der unteren Gesichtsfeldhälfte, temporal wie auch nasal, anzutreffen sind.

Es stellt sich die Frage ob anatomische oder funktionelle Faktoren für diese Verteilung der Zunahme der mittleren Empfindlichkeit verantwortlich sind. Ein weiterer Interessenspunkt ist der Zeitpunkt des Auftretens des Lerneffektes, seine Dauer und welche weiteren Faktoren mit ihm konkurrieren.

Es wurde in mehreren Untersuchungen, sowohl mit der kinetischen, wie auch der statischen Perimetrie gezeigt, dass das Gesichtsfeld gesunder Probanden nicht symmetrisch ist. Katz J. et al [17] konnte, bei einer Untersuchung des Gesichtsfeldes bis 30° Exzentrizität mit einem automatischen Perimeter und Weiss-Weiss-Perimetrie feststellen, dass die obere Gesichtsfeldhälfte im Vergleich zu der unteren Gesichtsfeldhälfte weniger empfindlich ist. Sie zeigte weiterhin, dass die Empfindlichkeit in der oberen feststellen Gesichtsfeldhälfte steiler in Richtung Peripherie abnimmt, als in der unteren Gesichtsfeldhälfte, und nasal mehr als temporal. Sample P.A. [39] zeigte

anhand perimetrischer Untersuchungen mit Hilfe der Blau-Gelb-Perimetrie ebenfalls, dass die untere Gesichtsfeldhälfte signifikant empfindlicher als die obere Gesichtsfeldhälfte ist und, dass diese Asymmetrie mit dem Grad der Exzentrizität zunimmt. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigten keine großen Unterschiede zwischen oberer und unterer sowie nasaler und temporaler Gesichtsfeldhälfte, allerdings war die Anzahl der untersuchten Personen in obengenannten Studien bedeutend höher und somit aussagekräftiger. Die postulierte höhere Empfindlichkeit des unteren Gesichtsfeldes lässt aber die Vermutung zu, dass die obere „empfindlichere“ Netzhauthälfte einen größeren Lerneffekt bei wiederholter Untersuchung zeigen kann. Dies trifft in dieser Untersuchungsreihe zu.

In dem Probandengut dieser Arbeit konnte ein Lerneffekt im Sinne einer höheren Netzhautempfindlichkeit von der ersten auf die zweite Messung festgestellt werden. Von der zweiten auf die dritte Messung zeigte sich keine Verbesserung, sondern eher eine Verschlechterung, wenn auch nicht statistisch signifikant. Es ergab sich also ein schnelles Erreichen eines Plateaus nach zwei durchgeführten Messungen. Diese Feststellung lässt daraus schließen, dass weitere Untersuchungen zum Erreichen der bestmöglichen oder „wahren“ Ergebnisse nicht erforderlich sind und bei weiteren Untersuchungen eventuell sogar schlechtere Ergebnisse herauskommen können. Wild J.M. et al [47] konnte in einer Arbeit bei Glaukom-Patienten zeigen, dass in der Mehrheit der Parameter und Indizes nach der zweiten Gesichtsfeldmessung konstante Ergebnisse erzielt werden.

Die Faktoren, die dem Lerneffekt entgegenwirken, sind multiple und wurden teilweise zu Beginn dieses Abschnittes angesprochen. Zu dem „Gewöhnungseffekt“ oder in der englischsprachigen Literatur verwendeten Ausdruck „fatigue effect“ kann man mehrere Faktoren dazuzählen, die allesamt das Auftreten oder die Ausprägung des Lerneffektes schmälern. Diese sind, wie weiter oben schon erwähnt, die Aufmerksamkeit und Motivation der zu untersuchenden Person, der Stress der bei den Probanden entsteht durch die Prüfungssituation, die Untersuchungsdauer, aber auch das Ganzfeld-Phänomen sowie die Fluktuation und Streuung der Messwerte. Die Motivation oder Stresslage der untersuchten Person sind Parameter die nicht näher quantifiziert werden können und durch gute Führung des Probanden positiv zu beeinflussen sind.

Die Dauer der Untersuchung kann jedoch einen nicht zu vernachlässigenden Effekt haben. Searle A.E.T. et al. [40] konnte nachweisen, dass in der Weiss-Weiss-Perimetrie es mit Zunahme der Untersuchungsdauer zu einer Abnahme der Empfindlichkeitswerte kommt. Hudson C.A. [11] konnte ebenfalls feststellen, dass es während der Untersuchung (Weiss-Weiss-Perimetrie) zu einer progressiven Depression des Gesichtsfeldes kommt. Es ist anzunehmen, dass ähnliches auch für die Blau-Gelb-Perimetrie gilt.

Das Ganzfeld-Blankout Phänomen, das in der Weiss-Weiss-Perimetrie zuerst beschrieben wurde, scheint einen bisher unterschätzten und nicht genau untersuchten Effekt zu haben, angesichts der Tatsache, dass immer noch in der alltäglichen perimetrischen Untersuchung undurchlässige Augenklappen zum Abdecken des nicht untersuchten Auges verwendet werden. Durch einsetzen einer lichtdurchlässigen Augenklappe ließe

sich die Inzidenz des Ganzfeld-Blancout Phänomens reduzieren und die Variabilität der Ergebnisse reduzieren.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Fluktuation der gemessenen Werte. Die Langzeit- und Kurzzeitfluktuation der Messwerte wird in dem G2-Untersuchungsprogramm für die Blau-Gelb-Perimetrie nicht berechnet. Es ist jedoch von enormer Bedeutung die Fluktuation zu kennen, um einen angenommenen Lerneffekt als solchen identifizieren zu können. Es besteht die Gefahr einer Messungenauigkeit, die im Rahmen der Fluktuation auftritt, falsch zu interpretieren. Ebenfalls wichtig ist die Tatsache, dass die Fluktuation der Messwerte nicht im gesamten Gesichtsfeld gleich hoch zu sein scheint. Heijl A. et al. [8] zeigte in einer Arbeit, dass in der Weiss-Weiss-Perimetrie die Kurzzeitfluktuation im peripheren Gesichtsfeld signifikant höher als zentral ist. Da die Fluktuation der Ergebnisse in der Blau-Gelb-Perimetrie [21] größer als in der Weiss-Weiss-Perimetrie ist, ist es erforderlich diese zu kennen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die gemessenen Empfindlichkeitswerte und deren Veränderungen ein komplexes Zusammenspiel aus Lerneffekt und Gewöhnungseffekt sind und sich dieses Gleich- oder Ungleichgewicht in deren Ausprägung widerspiegelt [48]. Ein Lerneffekt mit signifikanter Verbesserung der gemessenen Empfindlichkeit des Gesichtsfeldes konnte festgestellt werden, sodass die Empfehlung ausgesprochen werden kann, dass zwei Gesichtsfelduntersuchungen in kurzen Zeitabständen durchzuführen sind um möglichst realitätsnahe Ergebnisse zu erhalten.

6. Zusammenfassung

Die Blau-Gelb-Perimetrie stellt eine relativ neue Form der Perimetrie dar. Ihr hoher diagnostischer Wert, besonders in der Glaukomfrüherkennung, wurde in mehreren Studien bewiesen. Sie ist allerdings mit einigen Besonderheiten behaftet, die den Durchbruch in den täglichen klinischen Alltag bisher nicht erlaubt haben.

Im Zeitraum von März bis Juni 1999 wurden 37 gesunde Probanden am Perimeter Octopus 101 (Interzeag™) der Augenklinik der Technischen Universität München (Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. M. Mertz) jeweils am gleichen Auge dreimal untersucht. Das Ziel dieser prospektiven Untersuchung war festzustellen, ob ein Lerneffekt auftritt und diesen zu quantifizieren. Das Durchschnittsalter der Probanden betrug 23,89 Jahre, 70,3% waren weiblich und 29,7% männlich. Bei 54% von ihnen wurde das rechte Auge, bei den übrigen 46% das linke Auge untersucht. Einschlusskriterien waren ein Fernvisus $\geq 0,9$ cum corectione., eine fehlende Glaukomanamnese, ein ophthalmologischer Normalbefund der vorderen und hinteren Augenabschnitte, ein Intraokulardruck ≤ 21 mmHg, fehlende vorherige Erfahrung mit Gesichtsfelduntersuchungen und fehlende lokale oder systemische Medikation. Die Probanden wurden alle vom gleichen Untersucher instruiert und untersucht. Das verwendete Untersuchungsprogramm war das Programm G2, ein speziell für die Glaukomdiagnostik entwickeltes Programm mit zentralverdichtetem Raster (Exzentrizität bis 30°) und der Option der Blau-Gelb-Perimetrie. Der Zeitabstand zwischen 1. und 2. Messung betrug im Mittel 8,92 Tage und zwischen 2. und 3. Messung 7,38 Tage. Die erhobenen Daten wurden mit Hilfe der mitgelieferten Software (Peridata™) und dem statistischen Programm Starter™ weiter bearbeitet. Unter der Annahme dass, sich die Untersuchungsergebnisse in eine Richtung verändern, in diesem Fall im Sinne einer Verbesserung wurde ein einseitiger t-Test durchgeführt um statistisch signifikante Änderungen zwischen den Untersuchungsergebnissen festzustellen. Das Signifikanzniveau wurde auf 5 % festgesetzt.

Bei der Analyse der Ergebnisse konnten keine signifikanten Veränderungen bei der Anzahl der gestellten Fragen, der Untersuchungsdauer, der Fixationsverluste und der falsch-positiven und falsch-negativen Fragen festgestellt werden. Bei der Mittleren Netzhautempfindlichkeit des gesamtuntersuchten Gesichtsfeldes (MS) zeigten sich signifikant höhere Messwerte von der ersten auf die zweite Messung. Bei der dritten Messung zeigte sich keine signifikante Veränderung. Die Standardabweichung der Netzhautempfindlichkeit (SA) betrug 3,40 bei der ersten Messung, 3,16 bei der zweiten und 3,13 bei der dritten Messung. Die SA änderte sich nicht signifikant während der Messungen. Bei der Betrachtung des Indizes MD (Mean Defect) konnten eine signifikante Verbesserung der Ergebnisse ebenfalls von der ersten auf die zweite Messung festgestellt werden. Die gemessenen Werte des Index MD waren im Durchschnitt höher als die im Gerät gespeicherten Normwerte. Das gemessene Gesichtsfeld wurde in 12 „Banden“ unterteilt, und die gemessenen Empfindlichkeitswerte wurden kollektiv verglichen. Die größten und statistisch signifikantesten Erhöhungen konnten in der unteren Gesichtsfeldhälfte zentral wie auch peripher festgestellt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ein Lerneffekt im Sinne einer höheren Empfindlichkeit eingetreten ist. Die Werte, die die Qualität und Validität der Untersuchung beschreiben, änderten sich nicht signifikant.

7. Literaturverzeichnis

1. Caprioli J. Editorial. Should we use short-wavelength automated perimetry to test glaucoma patients? *Am J of Ophtalmol.* 131(2001): 792-794
2. Chylak Jr L.T., Leske C., McCarthy D., Khu P., Kashiwagi T., Sperduto R. Lens Opacities Classifications System II (LOCS II). *Arch Ophtalmol.* 107(1989): 991-997
3. Demirel S., Johnson C.A. Isolation of sensitive mechanisms in normal and glaucomatous fields regions. *J Glaucoma.* 9(2000): 63-73
4. Demirel S., Johnson C.A. Incidence and prevalence of short wavelength automated perimetry deficits in ocular hypertensive patients. *Am J Ophtalmol.* 131(2001): 709-715
5. Flammer J., Stephen M., Zulauf M. Differential light threshold. Short-and long-term fluctuation in patients with glaucoma, normal controls, and patients with suspected glaucoma. *Arch Ophtalmol.* 102(1984): 704-706
6. Fuhr P.S., Herschner T.A., Daum K.M. Ganzfeld Blancout occurs in bowl perimetry and is eliminated by translucent occlusion. *Arch Ophtalmol.* 108(1990): 983-988
7. Girkin C., Emdadi A., Sample P., Blumenthal E.Z., Lee A.C., Zangwill L.M., Weinreb R.N. Short-wavelength automated perimetry and standard perimetry in the detection of progressive optic disc cupping. *Arch Ophtalmol.* 118(2000): 1231-1236
8. Heijl A., Lingren G., Olsson J. Normal variability of static perimetric threshold values across the central visual field. *Arch Ophtalmol.* 106(1987): 1544-1549
9. Heijl A., Lingren G., Olsson J. The effect of perimetric experience in normal subjects. *Arch Ophtalmol.* 107(1989): 81-86
10. Heijl A., Bengtsson B. The effect of perimetric experience in patients with glaucoma. *Arch Ophtalmol.* 114(1996): 19-22
11. Hudson C.A., Wild J.M., O'Neil E.A. Fatigue effects during a single session of automated static threshold perimetry. *Invest Ophtalmol Vis Sci.* 35(1994): 268-280
12. Johnson C.A. Early losses of visual function in glaucoma. *Optom Vis Sci.* 72(1995): 359-370
13. Johnson C.A., Adams A.J., Casson E.J., Brandt J.D. Blue-on-yellow perimetry can predict the development of glaucomatous visual field loss. *Arch Ophtalmol.* 111(1993): 645-650

14. Johnson C.A., Adams A.J., Casson E.J., Brandt J.D. Progression of early glaucomatous visual field loss as detected by blue-on-yellow and standard white-on-white automated perimetry. *Arch Ophtalmol.* 111(1993): 651-656
15. Johnson C.A., Brandt J.D., Khong A.M., Adams A.J. Short-wavelength automated perimetry in low-,medium-,and high-risk ocular hypertensive eyes. *Arch Ophtalmol.* 113(1993): 70-76
16. Johnson C.A. Diagnostic value of short-wavelength automated perimetry. *Curr Opin Ophtalmol.* 7(1996): 54-58
17. Katz J., Sommer A. Asymetry and variation in the normal hill of vision. *Arch Ophtalmol.* 104(1986): 65-68
18. Kelner J.L., Johnson C.A. Short-wavelength automated perimetry in neuro-ophtalmologic disorders. *Arch Ophtalmol* 1993. 113(1993): 475-481
19. Kulze J.C., Stewart W.C., Sutherland S.E. Factors associated with a learning effect in glaucoma patients using automated perimetry. *Acta Ophtalmol (Copenh).* 68(1990): 681-686
20. Kutzko K.E., Brito C.F., Wall M. Effect of instructions on conventional automated perimetry. *Invest Ophtalmol Vis Sci.* 41(2000): 2006-2013
21. Kwon Y.H., Park H.J., Jap A., Ugurlu S., Caprioli J. Test-retest variability of blue-on-yellow perimetry is greater than white-on-white perimetry in normal subjects. *Am J Ophtalmol.* 126(1998): 29-36
22. Lachenmayr B. Lund O.-E. 15 Jahre automatisierte Perimetrie-Wohin führt der Weg? *Klin Monatsbl Augenheilkd.* 205(1994): 325-328
23. Lachenmayr B. Informationswert psychophysikalischer Untersuchungsmethoden außer der konventionellen Weiss-Weiss-Perimetrie. *Ophthalmologe.* 93(1996): 389-395
24. Lachenmayr B., Vivel P.M.O. Perimetry and its clinical correlations. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1993
25. Lexikon Medizin. Urban & Schwarzenberg Verlag, München, 1997
26. Morgan J.E., Huchida H., Caprioli J. Retinal ganglion cell death in experimental glaucoma. *Br J Ophtalmol.* 84(2000): 303-310
27. Moss I.D., Wild J.M. The influence of induced forward light scatter on the normal blue-on-yellow perimetric profile. *Graefes Arch Clin Exp Ophtalmol.* 232(1994):

409-414

28. Moss I.D., Wild J.M., Whitaker D.J. The influence of age-related cataract on blue-on-yellow perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 36(1995): 764-773
29. Octopus. Gesichtsfeld-Leitfaden. 4. Ausgabe. Haag-Streit Deutschland
30. Polo V., Abecia E., Pablo L.E., Pinilla I., Larrosa J.M., Honrubia F.M. Short-wavelength automated perimetry and retinal nerve fiber layer evaluation in suspected cases of glaucoma. *Arch Ophthalmol.* 116(1998): 1295-1298
31. Quigley H.A., Dunkelberger G.R., Green W.R. Chronic human glaucoma causing selectively greater loss of large optic nerve fibers. *Ophthalmology.* 95(1998): 357-363
32. R Remky A., Arend O., Hendricks S. Short-wavelength automated perimetry and capillary density in early diabetic maculopathy. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 41(2000): 274-281
33. Sample P.A., Esterson F.D., Weinreb R.N., Boynton R.M. The aging lens: In vivo assessment of light absorption in 84 human eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 29(1988): 1306-1311
34. Sample P.A., Weinreb R.N. Color perimetry for assement of primary open-angle glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* Vol. 31(1990): 1869-1875
35. Sample P.A., Weinreb R.N. Progressive color visual field loss in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 33(1992): 2068-2071
36. Sample P.A., Taylor J.D.N., Martinez G.A., Lusky M., Weinreb R.N. Short-wavelength color visual fields in glaucoma suspects at risk. *Am J Ophthalmol.* 115(1993): 225-233
37. Sample P.A., Martinez G.A, Weinreb R.N. Short-wavelength automated perimetry without lens density testing. *Am J Ophthalmol.* 118(1994): 632-641
38. Sample P.A., Johnson C.A., Haegerstrom-Portnoy G., Adams A. Optimum parameters for short-wavelength automated perimetry. *J Glaucoma.* 5(1996): 375-383
39. Sample P.A., Irak I., Martinez G.A, Yamagishi N. Assymetries in the normal short-wavelength visual field: Implications for short-wavelength automated perimetry. *Am J Ophthalmol.* 124(1997): 46-52
40. Searle A.E.T., Wild J.M., Dhaw D.E., O'Neil E.C. Time-related variation in normal automated static perimetry. *Ophthalmology.* 98(1991): 701-707

41. Teesalu P., Airakinsen P.J., Tuulonen A., Nieminen H., Alanko H. Fluometry of the crystalline lens for correcting blue-on-yellow perimetry results. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 38(1997): 697-703
42. Teesalu P., Vihanninjoki K., Airakinsen P.J., Tuulonen A., Läärat E. Correlation of blue-on-yellow visual fields with scanning confocal laser optic disc measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 38(1997): 2452-2459
43. Teesalu P., Airakinsen P.J., Tuulonen A. Blue-on-yellow visual field and retinal nerve fiber layer in ocular hypertension and glaucoma. *Ophthalmology.* 105(1998): 2077-2081
44. Wahrig. *Deutsches Wörterbuch.* Bertelsmann Lexikon Verlag, München, 1986
45. Weber J. *Atlas der Computer-Perimetrie.* Springer-Verlag, Berlin, 1993
46. Werner E.B., Krupin T., Adelson A., Feitl M. Effect of patient experience on the results of automated perimetry in glaucoma suspect patients. *Ophthalmology* 97(1990): 44-48
47. Wild J.M., Dengler-Harles M., Searle A.E.T., O'Neil E.C., Crews S.J. The influence of the learning effect on automated perimetry in patients with suspected glaucoma. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 67(1989): 537-545
48. Wild J.M., Searle A.E.T., Dengler-Harles M., O'Neil E.C. Long-term follow-up of baseline learning and fatigue effects in the automated perimetry of glaucoma and ocular hypertensive patients. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 69(1991): 210-216
49. Wild J.M., Hudson C. The attenuation of blue-on-yellow perimetry by the macular pigment. *Ophthalmology.* 102(1995): 911-917
50. Wild J.M., Moss I.D., Whitaker D., O'Neil E.C. The statistical interpretation of blue-on-yellow visual field loss. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* Vol.36(1995): 1398-1409
51. Wild J.M., Moss I.D. Baseline alterations in blue-on-yellow normal perimetric sensitivity. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 234(1996): 141-149
52. Wild J.M., Cubbidge R.P., Pacey I.E., Robinson R. Statistical aspects of the normal visual field in short-wavelength automated perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 39(1998): 54.63
53. Wild J.M. Short wavelength automated perimetry. *Acta Ophthalmol (Scand).* 2001: 546-559

54. Wilensky J.T., Joondeph B.C. Variation in visual field measurements with an automated perimeter. *Am J Ophtalmol.* 97(1984): 328-331
55. Wood J.M., Wild J.M., Hussey M:K., Crews S.J. Serial examination of the normal visual field examination using Octopus automated projection perimetry. Evidence for a learning effect. *Acta Ophtalmol (Copenh).* 65(1987): 326-333

8. Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Das physiologische Gesichtsfeld und Isopteren (aus J.K.Kanski . Lehrbuch der klinischen Ophthalmologie. 2. Auflage. Thieme Verlag, Stuttgart, 1996)
- Abb. 2: Empfindlichkeit der Zapfen unter verschiedenen Adaptionszuständen (aus [3])
- Abb. 3: Der Perimeter Octopus 101 (Interzeag™)
- Abb. 4: Untersuchungs raster G2
- Abb. 5: Prinzip der Normalstrategie
- Abb. 6: Zeitabstände zwischen den Untersuchungen
- Abb. 7: Anzahl der gestellten Fragen
- Abb. 8: Dauer der Untersuchung
- Abb. 9: Anzahl der Fixationsverluste
- Abb. 10: Anzahl der falsch-positiven Antworten
- Abb. 11: Anzahl der falsch-negativen Antworten
- Abb. 12: Mean Sensitivity der einzelnen Probanden (farbkodiert)
- Abb. 13: Mean Sensitivity (MS)
- Abb. 14: Standardabweichung (SA, GS)
- Abb. 15: Mean Defect (MD)
- Abb. 16: Temporal-oberes Gesichtsfeld von 0° bis 10° (to10°)
- Abb. 17: Temporal-oberes Gesichtsfeld von 11° bis 20° (to20°)
- Abb. 18: Temporal-oberes Gesichtsfeld von 21° bis 30° (to30°)
- Abb. 19: Temporal-unteres Gesichtsfeld von 0° bis 10° (tu10°)
- Abb. 20: Temporal-unteres Gesichtsfeld von 11° bis 20° (tu20°)
- Abb. 21: Temporal-unteres Gesichtsfeld von 21° bis 30° (tu30°)
- Abb. 22: Nasal-oberes Gesichtsfeld von 0° bis 10° (no10°)
- Abb. 23: Nasal-oberes Gesichtsfeld von 11° bis 20° (no20°)
- Abb. 24: Nasal-oberes Gesichtsfeld von 21° bis 30° (no30°)
- Abb. 25: Nasal-unteres Gesichtsfeld von 0° bis 10° (nu10°)
- Abb. 26: Nasal-unteres Gesichtsfeld von 11° bis 20° (nu20°)
- Abb. 27: Nasal-unteres Gesichtsfeld von 21° bis 30° (nu30°)

Dankvermerk

Mein besonderer Dank gilt:

- Herrn Prof. Dr. med. M. Mertz für die Ermöglichung dieser Untersuchungsreihe.
- Meinem Betreuer, Herrn Dr. med. A. Wegner für die wertvollen Anregungen und Unterstützung.
- Herrn Priv. Doz. Dr. S. Wagenpfeil für die Beratung in der statistischen Bearbeitung der Daten.
- Den Damen in der Glaukomabteilung in der Augenklinik der Technischen Universität München für die tatkräftige Unterstützung in der Durchführung der Untersuchungen.
- Den Probanden die an dieser Untersuchungsreihe teilgenommen haben.
- Der Firma Interzeag für die Übersendung von Informationsmaterial.

Lebenslauf

Name: Aris Nikolaus Kollias

Geburtstag: 04.03.1977

Geburtsort: Hamm

Eltern: Prof. Dr. med. G. Kollias (Urologe, Chirurg)
Irmgard Kollias, geb. Grüner (MTA)

Staatsangehörigkeit: griechisch, deutsch

Schulbildung: 1982-1988: Erasmios (griechisch-deutsche Grundschule,
Athen), 1988-1994: Gymnasium (Deutsche Schule Athen)

Studium: 1994-1997: Vorklinisches Studium an der Medizinischen
Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
1997-2001: Klinisches Studium an der Medizinischen Fakultät
der Technischen Universität München

Berufstätigkeit: 01.09.01-28.02.03: Arzt im Praktikum an der Augenklinik der
Ludwig-Maximilians-Universität München
seit 01.03.03 Assistenzarzt an der Augenklinik der Ludwig-
Maximilians-Universität München