

Aus der Augenklinik und Poliklinik  
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Verbesserung des Gesichtsfeldes nach sportlicher Aktivität

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

Vorgelegt von

Laurent-Olivier Lucas  
aus Bonn

Mainz, 2020

Wissenschaftlicher Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion:

08. Dezember 2020

***Für meine Eltern***

## Inhaltsverzeichnis:

Abkürzungsverzeichnis.....	6
Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	9
1 Einleitung.....	10
2 Literaturdiskussion: .....	13
2.1 Aufbau des Auges .....	13
2.2 Augeninnendruck .....	15
2.3 Geschichte des Glaukoms .....	15
2.4 Glaukom-Formen .....	16
2.5 Entwicklung der Untersuchungen.....	18
2.6 Aktuelle Untersuchungen .....	19
2.7 Gesichtsfeld.....	21
2.8 Perimetrie vs. Kampimetrie .....	21
2.9 Kinetische vs. Statische Perimetrie .....	22
2.10 Falsch-positive Antworten auf Fangfragen.....	24
2.11 Falsch-negative Antworten auf Fangfragen .....	24
2.12 Risiken.....	25
2.13 Therapie (Auswirkung/Langzeitprognose).....	25
2.14 Komplikationen/oder Schwankungen des Augeninnendrucks .....	26
2.15 Sport.....	27
2.16 Borg-Skala.....	30
3 Material und Methoden.....	31
3.1 Material.....	31
3.1.1 Durchführungsort .....	31
3.1.2 Geräte .....	31
3.1.3 Patientengut.....	31
3.1.4 Einschlusskriterien .....	31
3.1.5 Ausschlusskriterien .....	32
3.1.6 Aufzeichnungsdaten .....	32
3.2 Methodik.....	35
4 Ergebnisse .....	37
4.1 Einteilung der Probanden nach Belastungsgruppe .....	37
4.2 Vergleich von Gruppe 1 und 2 in Bezug auf die Verbesserung vorher/nachher bezüglich des MD-Wertes der Gesichtsfelder .....	38

4.3	Vergleich der Geschlechter in Bezug auf den MD-Wert der Gesichtsfelder vorher/nachher.....	39
4.4	Vergleich der Geschlechtertrennung in der jeweiligen Gruppe in Bezug auf den MD-Wert der Gesichtsfelder vorher/nachher .....	39
4.5	Vergleich der MD-Werte getrennt nach Geschlecht und nach Augen für die jeweilige Gruppe .....	40
4.6	Vergleich des rechten und linken Auges in Bezug auf den MD-Wert.....	41
4.7	Auswirkung des Alters auf den MD-Wert .....	41
4.8	Auswirkung der durchschnittlich getretenen Wattzahl der Probanden auf den MD-Wert mit zusätzlicher Unterteilung zwischen den Geschlechtern .....	42
4.9	Wirkung der Herzfrequenz und des Blutdrucks auf den MD-Wert im Vergleich zu vorher/nachher .....	42
4.10	Auswirkung der Anzahl von Sporteinheiten/Woche auf den MD-Wert mit der zusätzlichen Unterteilung nach Geschlecht, Alter und linkem/rechtem Auge .....	43
4.11	Zusammenhang zwischen der Anzahl von Sport/Woche in Bezug auf das Augen-Defekt-Ausmaß .....	43
4.12	Vergleich des Vorher/Nachher des MS-Wertes .....	44
4.13	Vergleich der Quote der Fangfragen im Vergleich zu vorher/nachher mit zusätzlicher Trennung zwischen den beiden Augen .....	44
4.14	Vergleich des Kurzprogramms TOP gegen das Normalprogramm Glaukom in Bezug auf den MD-Wert mit der zusätzlichen Unterteilung nach den jeweiligen Augen.....	45
4.15	Vergleich des TOP- und Standardglaukomprogramms in Bezug auf den allgemeinen Zustand der Augen.....	46
5	Diskussion .....	47
5.1	Stand der Forschung .....	47
5.2	Augeninnendruck und Sport.....	47
5.3	Auswirkung der Intensität der Belastung.....	52
5.4	MD-Score und seine Aussagekraft.....	57
5.5	Trainingseffekt Gesichtsfeld .....	58
5.6	Unterschied linkes vs. rechtes Auge .....	59
5.7	Geschlechterunterschied bei der Gesichtsfeldanalyse .....	62
5.8	Konzentrationsbeeinträchtigung durch Sport auf das Gesichtsfeld.....	63
5.9	TOP vs. Normalprogramm .....	66
6	Zusammenfassung.....	69
7	Literaturverzeichnis: .....	- 1 -
8	Danksagung .....	- 5 -
9	Curriculum Vitae .....	- 6 -

## Abkürzungsverzeichnis

$\geq$	-	größer-gleich
$\leq$	-	kleiner-gleich
$<$	-	kleiner
$>$	-	größer
$\pm$	-	plus-minus
$^{\circ}$	-	Grad
=	-	gleich
AGIS	-	Advanced Glaucoma Intervention Study
BDNF	-	Brain-derived neurotrophic factor
c-AMP	-	cyclisches Adenosinmonophosphat
cd/m <sup>2</sup>	-	Candela pro Quadratmeter
Cl <sup>-</sup> /HCO <sup>3-</sup> -Antiporter	-	Anionen-Austauscher 1
dB	-	Dezibel
DMEK	-	Descemet membrane endothelial keratoplasty
E	-	Lichtunterschiedsempfindlichkeit
EGPS	-	European Glaucoma Prevention Study
HRT	-	Heidelberg-Retina-Tomographie
IGF-1	-	Insuline-like Growth Factor 1
IOD	-	Intraokulärer Druck/intraocular pressure
L	-	Leuchtdichte
LA	-	linkes Auge
Lmax	-	maximale Prüfpunkthelligkeit
Log	-	Logarithmus
max.	-	maximal
MD	-	Mean Deviation/mittlerer Defekt
mmHg	-	Millimeter-Quecksilbersäule
MS	-	Mean sensitivity/mittlere Empfindlichkeit
ms	-	Millisekunde
NA <sup>+</sup> /H <sup>+</sup> -Antiporter	-	Natrium-Protonen-Austauscher
neg.	-	negativ

OCT	-	optische Kohärenztomographie
OHTS	-	Ocular Hypertension Treatment Study
P-Score	-	Probability Score
PCO <sup>2</sup>	-	Kohlendioxidpartialdruck
pH	-	Ein Maß für den sauren/basischen Charakter einer Lösung
Pisa	-	Program for international Student Assessment
pos.	-	positiv
POWG	-	Primäres Offenwinkelglaukom
RA	-	rechtes Auge
RPE	-	Received Perception of Exertion
SITA	-	Swedish Interactive Testing Algorithm
SLP	-	Scanning-Laser-Polarimetrie
sLV	-	korrigierte Verlustvarianz
TOP	-	Tendency-Oriented-Polarimetrie
VEGF	-	Vascular Endothelial Growth Factor
vs.	-	versus

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Auges nach (Bear et al., 2018).....	13
Abbildung 2: Darstellung der postchiasmalen Unterbrechungen und deren Folge (Aehling) .....	14
Abbildung 3: Darstellung der Goldmann-Klassifikation. Umrandete Bereiche, markieren die in unserer Studie verwendeten Prüfwerte (Schiefer et al., 2005). .....	23
Abbildung 4: Skala des Anstrengungsempfinden nach Borg (Borg, 1998) .....	30
Abbildung 5: REFA-Normkurve, Durchschnittliche tägliche Leistungsbereitschaft und ihre zeitliche Schwankung (Seiwert, 1999).....	64
Abbildung 6: Beziehung zwischen Stressniveau und Leistung nach Yerkes-Dodson (Yerkes and Dodson, 1908), zitiert (Mainka-Riedel, 2013).....	65
Abbildung 7: Vergleich der durchschnittlichen Testdauer der gängigsten Teststrategien in Minuten (OCTOPUS-Strategien in Rot) (Weijland et al., 2004) .....	67

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der verschiedenen Glaukom-Formen nach (Flammer, 2003b).....	16
Tabelle 2: Einteilung der Kohorte in Geschlecht, Gruppe und Auge mit dem jeweils erzielten Ergebnis, angegeben als Differenz und p-Wert. ....	39
Tabelle 3: Einteilung in Geschlecht, Gruppe und Auge mit den MD-Werten vor und nach der sport. Belastung.....	40
Tabelle 4: Vergleich TOP vs. Standard-Programm, Einteilung für das jeweilige Auge mit den erzielten Ergebnissen sowie die Differenzen und ihre Signifikanz .....	45
Tabelle 5: Darstellung des Effekts von den verschiedenen sportlichen Belastungen auf den Augeninnendruck bei normalen und glaukomekrankten Probanden (Qureshi, 1995a).....	53
Tabelle 6: Mittlerer Augeninnendruck von Patienten mit einfachem chronischem Glaukom während des Belastungstests und des Ruhetests in mmHg (Shapiro et al., 1983.) .....	54

## 1 Einleitung

Das Glaukom, auch als Grüner Star bekannt, umfasst eine heterogene Gruppe von Augenerkrankungen (Pfeiffer, 2007). Wurde bis Anfang dieses Jahrhunderts noch die Ursache für ein Glaukom mit dem erhöhten Augeninnendruck (über 20 mmHg) erklärt, so hat sich heute die Definition diesbezüglich jedoch erweitert, da sich genügend Patienten finden lassen, die an einem Glaukom leiden, jedoch einen normalen Augeninnendruck (IOD) aufweisen. Einer der wichtigsten Parameter für die Diagnose eines Glaukoms ist der individuelle IOD. Dieser wird nicht wie der physiologische IOD (11 bis 20 mmHg) eingeteilt, sondern richtet sich nach dem jeweiligen Patienten. Das Problem hierbei ist jedoch, dass der akzeptable individuelle IOD nicht beziehungsweise noch nicht voraussagbar ist.

Die häufigsten Ursachen sind sowohl der erhöhte IOD als auch eine Minderdurchblutung der Papille, die zu einem Absterben der Sehnervenfasern führen und in ihrem Endstadium eine Erblindung als Folge haben (Pfeiffer, 2007, Diestelhorst and Pfeiffer, 2001).

In Deutschland leiden nach Schätzungen etwa 972.000 Menschen an einem Glaukom; zählt man die Glaukom-Frühsstadien hinzu, sind es sogar 1.260.000 Betroffene (Wolfram and Pfeiffer, 2012). Betrachtet man die Weltbevölkerung, so sind die Zahlen noch erschreckender. Die Glaukom-Erkrankung ist für 5.200.000 Erblindungen weltweit verantwortlich und reiht sich mit 15 Prozent an dritter Stelle hinter dem Katarakt und Trachom ein (Thylefors and Negrel, 1994).

Bedenkt man, dass aufgrund der Bevölkerungspyramide die alternde Bevölkerung stetig zunimmt und mit zunehmenden Alter die Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung steigt, ist die Prävention einer der wichtigsten Bausteine für ein gesundes Altern, nicht nur in Bezug zum Glaukom, sondern auch hinsichtlich des gesamten Körpers (Knauer and Pfeiffer, 2006).

Die Prävention ist ein wichtiger, aber ebenso schwierig umzusetzender Baustein, da es bis zum heutigen Tage nur die Vorsorgeuntersuchung beim Arzt gibt und ansonsten keine Möglichkeiten bekannt sind, um einem Glaukom vorzubeugen. Wichtigster Angriffspunkt ist beim Glaukom der IOD. Kann der individuelle Augeninnendruck gesenkt werden, ist die Wahrscheinlichkeit einer Schädigung des Sehnervs minimiert.

Die aussichtsreichste, nicht medikamentöse Methode, den IOD zu senken, ist sportliche Aktivität (Vieira et al., 2003). Sowohl eine kurzfristige als auch langfristige Wirkung nach sechs Monaten konnte festgestellt werden. Wobei verschiedene Studien sich mit den Auswirkungen des Sports auf die Senkung des IOD beschäftigt haben. Die erhobenen Daten variieren zwischen fünf und 39 Prozent. Dies zeigt, dass es in dieser Richtung noch viel zu erforschen gibt (Qureshi, 1995b).

Fest steht jedoch, dass durch eine gewisse sportliche Belastung der IOD gesenkt werden kann. Mit diesem Grundwissen lag es nahe, es zu wagen, eine neue Richtung einzuschlagen. Bisher wurde immer wieder hinterfragt, welche Faktoren, seien es Ernährung, Blutdruck oder Übergewicht, den IOD bei sportlicher Belastung mitbeeinflussen, jedoch wurde noch nie der direkte Zusammenhang zwischen sportlicher Belastung und deren Wirkung auf den Visus der Patienten betrachtet. Die Senkung des IOD dank des Sports und der damit verbundenen Erhöhung der Durchblutung des Körpers sowie des Auges und der erhöhte Durchfluss des Kammerwassers gaben Hoffnung, eine verbesserte Gesichtsfeldaufzeichnung zu erhalten.

Diese Ansätze ermutigten uns, eine eigene Studie zu starten, um die Auswirkung von Sport auf den Visus bei glaukomekrankten Personen zu untersuchen. Dafür wählten wir 60 Probanden mit unterschiedlichen Glaukomekrankungen aus, die sich einer sportlichen Belastung unterziehen mussten. Wir teilten die Probanden in zwei Belastungsgruppen ein. Die erste Gruppe sollte 15 Minuten auf dem Radergometer, bei 60 Prozent ihrer maximalen Belastung, treten. Die zweite Gruppe trat 15 Minuten und wurde einer Belastung von 80 Prozent ausgesetzt. Von den unterschiedlichen Belastungen erhoffen wir uns auch unterschiedliche Rückgänge des IOD, da dieser umso stärker sinkt, je höher die Belastung ist.

Da es uns jedoch nicht primär um den Augeninnendruck geht, sondern um das Verhalten des Visus, verzichteten wir auf eine Messung des IOD, stattdessen fertigen wir nach der sportlichen Belastung direkt eine Gesichtsfeldmessung an. Diese vergleichen wir mit einer zwei Tage zuvor angefertigten Gesichtsfeldanalyse. Wir erhoffen uns, durch die positive Wirkung des Sports auf den IOD auch eine positive Wirkung auf den Visus der Patienten zu erhalten. Als Referenz für unsere Haupthypothese nehmen wir die Mean Deviation (MD). An ihr lassen sich Differenzen im Bereich des Visus sicher

und gut belegen. Da dieses Thema noch nie erforscht wurde, starteten wir eine Pilotstudie mit einer relativ geringen Probandenanzahl, um eine Tendenz unserer Vermutung zu erhalten.

Um ein grundlegendes Verständnis für die Thematik zu erhalten, bauen wir sowohl das Thema Glaukom mit seiner Diagnostik und Geschichte als auch das Auge an sich von Grund auf ein.

## 2 Literaturdiskussion:

### 2.1 Aufbau des Auges

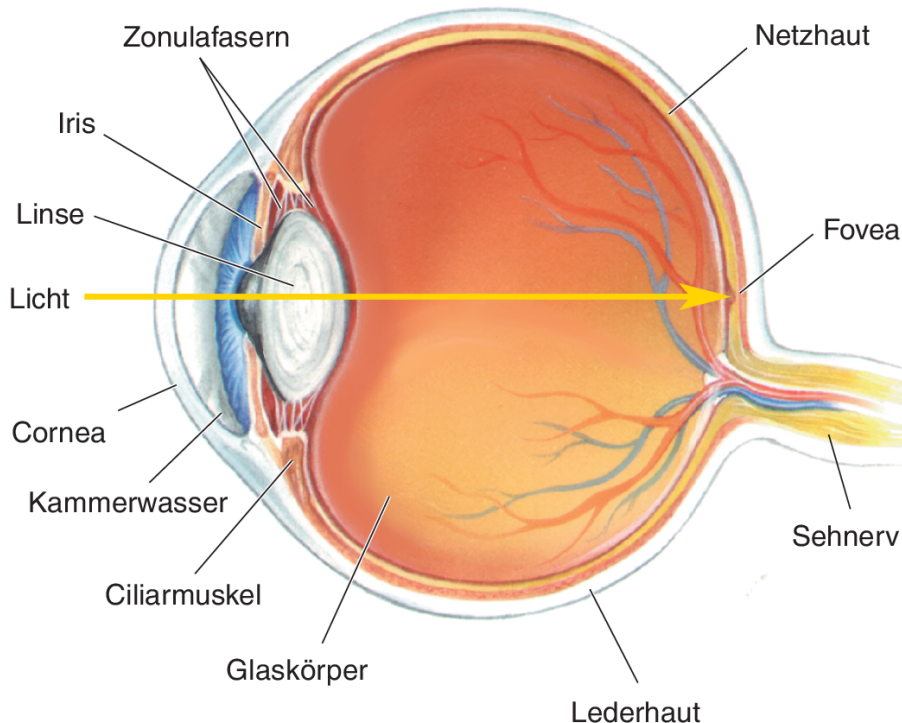


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Auges nach (Bear et al., 2018).

Das Sinnesorgan Auge liegt in der Orbita und kann in drei große Gruppen eingeteilt werden. In den Augapfel (Bulbus oculi), die Sehbahn (Tractus opticus) und in die Anhangsorgane, darunter fallen die Augenmuskeln (innen und außen), Bindehaut, Augenlider und der Tränenapparat. Die Abbildung 1 zeigt den anatomischen Aufbau des Auges, wobei nur die für das in dieser Dissertation zu beleuchtende Themengebiet wichtigen Strukturen kurz erläutert werden.

Die Netzhaut besteht aus insgesamt zehn Schichten und ist für die Aufnahme der Lichtreize sowie die Verarbeitung und Weiterleitung verantwortlich. Dafür sind drei Neuronen in einer Reihe geschaltet. Zuerst die Fotorezeptoren (Stäbchen und Zapfen), gefolgt von den Bipolarzellen und den Ganglienzellen, die sich am blinden Fleck (Papille) zum Sehnerv vereinigen, wobei circa 1,1 Millionen Ganglienzellenaxone den Sehnerv bilden.

In der Peripherie besteht die Fotorezeptorschicht sowohl aus Stäbchen als auch aus Zapfen im Gegensatz zur Sehgrube (Fovea centralis), die nur aus Zapfen besteht. Alles in allem besteht die Retina aus 120 Millionen Stäbchen und circa sieben Millionen Zapfen. Die Fovea centralis befindet sich im Zentrum der Netzhaut, im sogenannten Gelben Fleck (Macula lutea). Hier befindet sich die Stelle der höchsten Sehschärfe (Grehn, 2012), sie nimmt zur Peripherie hin ab.

Die Papille ist der Ort, an dem der Sehnerv das Auge verlässt und die die Netzhaut versorgenden Gefäße ins Auge eintreten. An dieser Stelle der Retina können keine Lichtreize wahrgenommen werden, da sich hier keine Fotorezeptoren befinden. Das Gleiche gilt für die größeren Blutgefäße, da sie einen Schatten auf die Netzhaut werfen. Dies ist nicht weiter schlimm, da der Körper beziehungsweise das Gehirn diese Punkte ausgleicht (Bear et al., 2018).

Die Verschaltung der beiden Sehnerven wird schematisch in der Abbildung 2 mit dem dazugehörigen Gesichtsfeldschaden dargestellt. Die Sehnerven kreuzen sich zum Teil am Chiasma opticum (Punkt 2) (griechisch für Kreuzung/anatomische Struktur). So unterscheidet man zwischen einer Läsion, die vor oder nach dem Chiasma opticum liegt. Der Ort der Läsion entscheidet über den Gesichtsfeldausfall. Die Zahlen (1–6) zeigen jeweils die Läsionsstelle mit einer schematischen Darstellung des Ausfalles.

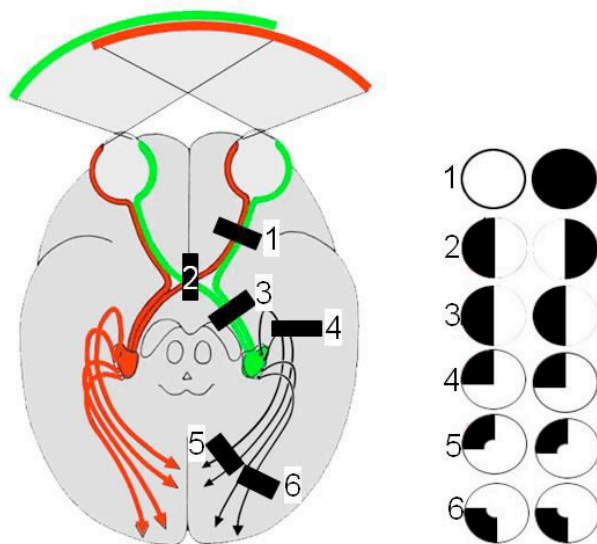


Abbildung 2: Darstellung der postchiasmalen Unterbrechungen und deren Folge (Human-BrainNetwork, 2012).

## **2.2 Augeninnendruck**

Der Augeninnendruck entsteht durch die Produktion des Kammerwassers, das vom Epithel des Ziliarkörpers gebildet wird. Dabei fließt es von der hinteren Augenkammer durch die Pupille in die vordere Augenkammer. Von dort fließt es über das Trabekelwerk in den Schlemm-Kanal ab, um diesen schließlich über 25 bis 35 Sammelkanälchen zu verlassen und in den intraskleralen Venenplexus zu enden. Pro Minute fließen circa zwei Milliliter ab, sodass nach ein bis zwei Stunden eine komplette Erneuerung des Kammerwassers erfolgt. Nicht zu vernachlässigen ist, dass etwa 20 Prozent des Kammerwassers nach hinten weg, durch die Spalten des Ziliarmuskels in den Suprachoroidalraum gelangt. Dies geschieht unabhängig vom IOD. Jedoch sinkt die Kammerwasserproduktion bei einer Erhöhung des Augeninnendrucks.

Dieser Druck bewirkt eine gleichmäßige Wölbung der Hornhautoberfläche, eine gleich bleibende Distanz zwischen Retina, Linse und Cornea sowie eine korrekte Kugelform des Bulbus oculi (Leydhecker, 1991).

## **2.3 Geschichte des Glaukoms**

Das Glaukom wurde zum ersten Mal schriftlich im Altertum erwähnt. Damals bezeichnete Hippokrates das noch unklar definierte Erscheinungsbild als „Glaykoseis“ und beschrieb es wie folgt: „Wenn die Pupille wie die Farbe des Meeres wird, ist das Augenlicht zerstört und häufig trifft Erblindung auch das andere Auge“ (Hoffmann, 2009). Das Wort Glaukom stammt aus dem Altgriechischen und bedeutet soviel wie Licht, leuchtend und glänzend, aber auch bläulich.

Der Zusammenhang zwischen Glaukom und IOD zeigte sich erst viele Jahrhunderte später, genau gesagt im Jahr 1622. Dies verdanken wir dem englischen Augenarzt Dr. Richard Baister, der feststellte, dass der Augapfel einer erhöhten Spannung ausgesetzt war und sich eine erweiterte Pupille zeigte.

Mit der Erfindung des Augenspiegels im Jahre 1850, der die Betrachtung der Rückseite des Auges zuließ, kamen auch neue Erkenntnisse. Eduard Jaeger, Augenarzt, stellte so, nur fünf Jahre später, die Schädigung des Sehnervs als durch das Glaukom

bedingten Schaden fest (Grewe, 1986). Weitere sieben Jahre später gab der Physiologe Frans Donders diese Korrelation aus erhöhtem Augeninnendruck und Sehnerv-Degeneration den Namen „Glaucoma simplex“ (Leydhecker, 2013).

Den Trugschluss, dass nur der erhöhte IOD für das Glaukom zuständig ist, war tief in den Köpfen der Menschen verankert und ist es auch zum Teil noch heute. Es brauchte noch mehr als 100 Jahre, um die Definition zu erweitern (Elschnig, 1928).

„Unter dem Begriff ‚Glaukom‘ fasst man heute eine heterogene Gruppe von Augenerkrankungen (auch: Glaukome) zusammen, die zu einer progredienten Schädigung der Sehnerven mit dem Verlust visueller Funktion führen. Der individuell zu hohe Augeninnendruck ist ein wichtiger pathogenetischer Risikofaktor der Erkrankung, aber kein unabdingbarer, fester Bestandteil der Glaukomdefinition mehr. Das macht vielen Ärzten, aber auch Patienten gleichermaßen zu schaffen, war doch früher das Glaukom ganz überwiegend über den erhöhten IOD definiert“ (Pfeiffer, 2007).

## 2.4 Glaukom-Formen

Vor Auflistung der einzelnen Glaukomformen seien die Gemeinsamkeiten aller Glaukome zusammengefasst. Die Folge aller Glaukome ist, dass die Nervenfasern der Ganglienzellen, die den Sehnerv bilden, langsam zugrunde gehen. Diese Schädigung ist weder medikamentös noch mit einer Operation zu revidieren. Der Untergang der Nervenfasern ist von schmerzloser, schleichender Natur und wird erst im Spätstadium bemerkt (Grehn, 2008).

Allgemein unterscheidet man zwischen primären und sekundären (Ursache), Engwinkel- oder Offenwinkelglaukomen (Kammerwinkel-anatomie), herrschendem Druck im Auge (Hochdruck- vs. Normaldruckglaukom), Alter des Betroffenen (kongenital, juvenil) und dem vorhandenen Sehschaden durch das Glaukom (Plange, 2017).

Tabelle 1: Einteilung der verschiedenen Glaukom-Formen nach (Flammer, 2003b).

### 1. Offenwinkelglaukom

#### 1.1. Primäres Offenwinkelglaukom (POWG)

- POWG mit erhöhtem Augeninnendruck
- POWG mit normalem Augeninnendruck («Normaldruck-Glaukom»)

#### 1.2. Sekundäres Offenwinkelglaukom

- Pigmentglaukom
- Kapselhäutchenglaukom
- Trauma-assoziiertes Glaukom
- Neovascularisationsglaukom
- Phakolytisches Glaukom

## 2. Engwinkelglaukom

- Akuter Glaukomanfall
- Chronisches Engwinkelglaukom
- Kataraktogenes Engwinkelglaukom

Die primären Offenwinkelglaukome machen über 90 Prozent aller Glaukome aus, deswegen sollen diese beiden im Folgenden genauer erläutert werden (Grehn, 2003).

### Primäres Offenwinkelglaukom (POWG) mit erhöhtem Augeninnendruck:

Gottschalk definiert das Primäre Offenwinkelglaukom (POWG) als Ungleichgewicht zwischen Kammerwasserproduktion und Kammerwasserabfluss ohne anatomische oder obstruktive Behinderung des Kammerwinkels. Dadurch kommt es zwar langsam, aber stetig zu einer Drucksteigerung im Auge, die meistens erst spät und eher durch Zufall entdeckt wird. Oft sind in diesem Stadium schon irreversible Schäden entstanden (Gottschalk, 2007).

### POWG mit normalen Augeninnendruck (Normaldruck-Glaukom):

Das Normaldruck-Glaukom ist, wie man aus der Tabelle 1 entnehmen kann, eine Untergruppe des primären Offenwinkelglaukoms und wird als Glaukom ohne Erhöhung des Augeninnendrucks über die normale physiologische Höhe von 21 mmHg definiert. In Mitteleuropa beträgt der Anteil von Normaldruck-Glaukomen 30 bis 50 Prozent aller primären Offenwinkelglaukome (Hornykewycz and Pillunat, 2009).

### Glaukom-Stadien:

Das Glaukom kann in verschiedene Stadien eingeteilt werden. Am bekanntesten ist die Einteilung nach Aulhorn und Karmeyer. Sie teilten sie wie folgt in fünf Gruppen ein:

Stadium 1: relatives Skotom

Stadium 2: absolutes Skotom ohne Fortsetzung zum blinden Fleck

Stadium 3: absolutes Skotom einschließlich des blinden Flecks

Stadium 4: Gesichtsfeldausfall über mehr als einen Quadranten, das Zentrum ist dabei noch frei

Stadium 5: subtotaler Gesichtsfeldausfall mit einer peripheren Restinsel (Stiefelmeyer, 2002) (Aulhorn and Karmeyer, 1977).

Zum Verständnis sollte man erklären, was das Wort Skotom überhaupt bedeutet. Das Wort Skotos stammt aus dem Griechischen und bedeutet Dunkelheit. Nicht erkannte Lichtreize innerhalb eines Gesichtsfelds bezeichnet man als Skotome, es sind sogenannte Ausfälle der Wahrnehmung. Dabei wird in relative und absolute Skotome unterteilt. Bei einem relativen Skotom kann der Patient den Lichtreiz schlechter als die vorgegebene Norm wahrnehmen. Bei einem absoluten Skotom ist selbst der stärkste Lichtreiz nicht mehr wahrnehmbar (Schiefer and Wilhelm, 1995).

## **2.5 Entwicklung der Untersuchungen**

Auch wenn die Entdeckung des Glaukoms bis ins Altertum nachweisbar ist, so war es dennoch ein schwieriger und langer Weg, eine geeignete Therapie und Untersuchungsmethode zu entwickeln.

Die anfänglichen Untersuchungen beschränkten sich auf die Palpation des Augapfels (Leydhecker, 2013). Erwies dieser sich als äußerst hart und derb, so stand die Diagnose Glaukom fest. Der wesentliche Durchbruch gelang erst durch den oben bereits kurz erwähnten Augenspiegel, den Herrmann von Helmholtz im Jahre 1850 erfand. Erst diese neue Erfindung ermöglichte den damaligen Ärzten, das Krankheitsbild des Glaukoms besser zu verstehen. Durch die neue Technik, die Rückseite des Auges betrachten zu können, erkannten die führenden Ophthalmologen dieser Zeit, dass ein direkter Zusammenhang zwischen dem Augeninnendruck und der Schädigung von Sehnerven und Netzhaut bestand. In den folgenden Jahren ließen neue Entdeckungen nicht lange auf sich warten. Albrecht von Graefe entwickelte das erste Impressionstonometer. Es wurde auf das geschlossene Augenlid aufgesetzt. So konnte 1862 erstmals der Augeninnendruck gemessen werden. Das Prinzip, das hinter dieser Erfindung steckt, ist bis heute aktuell, auch wenn sich die Konstruktion und die Anwendung natürlich stetig weiterentwickelt haben. Rund 22 Jahre nach der ersten Messung auf dem geschlossenen Augenlid konnte 1882 dank des Lokalanästhetikums Kokain das

Tonometer erstmalig direkt auf die Hornhaut des Auges aufgesetzt werden. Dies entspricht noch bis heute einer der gängigen Methoden (Grewe, 1986).

Auch die Perimetrie – die systematische Vermessung des Gesichtsfeldes – ist als ophthalmologische Maßnahme zur Glaukom-Diagnostik hier zu nennen. Als wichtiges diagnostisches Hilfsmittel ist sie aus der heutigen Zeit nicht mehr wegzudenken. Zwar gab es schon etwa 300 vor Christus Aufzeichnungen von Mathematikern, die das Seh- und Gesichtsfeld zu erklären versuchten, dies hatte jedoch noch nichts mit der Untersuchung des Glaukoms zu tun. Dies verdeutlicht, wie lange die Menschheit gebraucht hat, um das Gesichtsfeld und seine Messung zu verstehen und wie viel Anerkennung die Leistung von Johannes Evangelista Purkinje verdient, dem im Jahre 1855 schließlich erfolgreich die Nutzung der Perimetrie im Zusammenhang mit der Glaukom-Diagnostik gelang. Ein Jahr später präsentierte Albrecht von Graefe in seiner Arbeit „Über die Untersuchung des Gesichtsfeldes bei amblyopischen Affektionen“ die Wichtig- und Unerlässlichkeit der Perimetrie in Bezug zur Feststellung des Glaukoms beziehungsweise der Gesichtsausfälle (LAUBER, 2013).

## **2.6 Aktuelle Untersuchungen**

Aktuell lassen sich drei wichtige Parameter nennen, die untersucht werden sollten, um ein Glaukom zu diagnostizieren, und das nicht nur im fortgeschrittenen Stadium, sondern vor allem auch schon im Frühstadium.

- Untersuchung des Sehnervs
- Augendruckmessung
- Gesichtsfeldmessung

Die Früherkennung nimmt beim Glaukom eine besondere Stellung ein, da die ersten Anzeichen des Gesichtsfeldausfalles von Patienten erst dann bemerkt werden, wenn 50 Prozent der Sehnervenfasern bereits irreversibel abgestorben sind (Plange, 2017).

Die Untersuchung des Sehnervs wird im Gegensatz zum Augendruck und Gesichtsfeld noch weiter unterteilt. Darunter fallen vor allem die Heidelberg-Retina-Tomographie (HRT), die optische Kohärenztomographie (OCT) und die Scanning-Laser-Polarimetrie (SLP). Es wird versucht, die wichtigsten Kriterien des Sehnervs dadurch abzudecken. Diese Punkte fasst Plange in seinem Buch „Glaukom“ (2017) gut zusammen:

- Vergrößerung der Exkavation (Unterschiede beider Augen)

- Verschmälerung des neuroretinalen Randsaumes (Achtung auf Kernbildung, vorhandener regionaler Schäden)
- Papillengröße
- Verlauf der Gefäße
- Papillenrandblutung
- Glaukomatöse Optikusatrophie (Endstadium) (Plange, 2017)

Auf die oben genannten Methoden soll hier nur ganz kurz eingegangen werden, da sie kein wesentlicher Bestandteil des Forschungszieles sind.

Beim HRT wird der Augenhintergrund mittels eines Lasers abgetastet, der durch die Pupillenöffnung eintritt. So entsteht ein dreidimensionales Bild über die Papillenexkavation, den Randsaum und die Nervenfaserschicht. Um dieses Bild richtig einzuordnen und zu vergleichen, stehen zwei unterschiedliche Klassifikationsverfahren zur Verfügung (Hoffmann et al., 2009). Die HRT gilt als eine der genauesten Methoden, um die Krankheit im Frühstadium zu entdecken (Zangwill et al., 2005).

Die OCT wird vorwiegend zur Untersuchung und Kontrollierung der Makula und deren Erkrankungen genutzt. Das Verfahren arbeitet mit Ultraschall und liefert sowohl zwei- als auch dreidimensionale Bilder des untersuchten Gewebes (Hassenstein et al., 2009).

Bei der SLP wird die Nervenfaserdicke durch das Prinzip der Polarimetrie bestimmt. Vereinfacht ausgedrückt wird die Dicke der Fasern mittels Laser bestimmt. Je dicker die Fasern, umso höher ist die Retardation des Lichtes (Hoffmann and Schulze, 2009).

Auch auf die verschiedenen Tonometrie-Möglichkeiten soll nicht tiefer eingegangen werden. Heute gilt das von Hans Goldmann 1955 entwickelte Goldmann-Appanationstonometer als Mittel der Wahl. Der Mechanismus ist die Messung des Verhältnisses vom Augendruck zur Kraft, die notwendig ist, um das Auge beziehungsweise dessen Hornhaut kurzzeitig zu deformieren. Als größte Fehlerquelle gilt sowohl bei dieser als auch bei den anderen Methoden der Tonometrie die Hornhaut. Je dicker die Hornhaut, umso mehr Kraft wird benötigt, um diese zu verformen, und umso höher ist der Druck. Der Umkehrschluss gilt natürlich auch für eine dünne Hornhaut. Nichtsdestotrotz gilt diese Variante als sehr genau. Um jedoch ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten und die IOD-Tagesschwankungen von circa 5 mmHg auszugleichen, muss ein Tagesprofil mit mindestens fünf Messwerten angelegt werden (Plange, 2017).

Vollständigkeitshalber sollen andere Methoden wie die Impressionstonometrie, Non-Contact-Tonometrie, Dynamic Contour Tonometrie oder auch die Transpalpebrale Sclerale Tonometrie wenigstens namentlich genannt werden.

Der letzte der drei oben erwähnten Parameter ist die Gesichtsfeldmessung. Vorab sei gesagt, dass es auch hier verschiedene Messgeräte gibt, wie zum Beispiel den Zeiss Humphrey Visual Field Analyzer. Hier liegt jedoch der Fokus auf der allgemeinen Funktion einer Gesichtsfeldmessung. Da das Messgerät Octopus 900 der Marke Haag-Streit Anwendung in der Universitäts-Augenklinik dieser Studie findet, sei dies in diesem Zusammenhang lediglich kurz erwähnt.

Ein weiterer wichtiger noch nicht genannter Aspekt der Untersuchung ist die Gonioskopie. Durch ein Kontaktglas, das auf die Hornhaut gesetzt wird, kann der Kammerwinkel begutachtet werden. Dies ermöglicht eine Differenzierung zwischen einem offenen, verschlossenen oder engen Kammerwinkel (Löw and Seitz, 2015). Die Bedeutung des Kammerwinkels wird zu einem späteren Zeitpunkt nochmals thematisiert.

## **2.7 Gesichtsfeld**

Zunächst sei geklärt und definiert, was ein Gesichtsfeld ist. Das Gesichtsfeld ist die Summe jeglicher Sinneseindrücke der Augen, die wahrgenommen werden während der Fixation eines Objektes, ohne dass es dabei zu einer Kopf-, Körper- oder Rumpfbewegung kommt (Schiefer et al., 2005). Dabei wird es in ein zentrales ( $\leq 30^\circ$ ) und in ein peripheres ( $\geq 30^\circ$ ) Gesichtsfeld eingeteilt. Die Begrenzung der Sicht beträgt bei einem geradeaus gerichteten Blick nach temporal zwischen  $90$  und  $100^\circ$ , nasal  $50^\circ$  und nach inferior circa  $70^\circ$ .

## **2.8 Perimetrie vs. Kampimetrie**

Die Unterschiede der Messmethoden stellen sich aus der Entwicklung der Untersuchung des Gesichtsfeldes zusammen. Zuerst gab es die Kampimetrie, bevor diese weiterentwickelt wurde zur Perimetrie. Bei der Kampimetrie untersucht man das Gesichtsfeld auf einer ebenen Fläche im Gegensatz zur Perimetrie, wo die Untersuchung auf einer kuppelförmig gewölbten Projektionsfläche stattfindet (Schiefer et al., 2005). Die Kampimetrie ist somit ein zweidimensionales Messverfahren, wohingegen die Perimetrie dreidimensional ist. Die Untersuchungsergebnisse der Kampimetrie lassen

sich nur vergleichen, wenn die gleichen Einstellungsparameter (Matrixgröße, Bildschirmbreite und -höhe) übereinstimmen. Dies ist ein sehr großer Nachteil. Daher sind die heutzutage zum Einsatz kommenden Geräte alles Perimeter.

## 2.9 Kinetische vs. Statische Perimetrie

Das Wort kinetisch, griechisch „kinesis“ (Bewegung), beschreibt den Vorgang schon fast selbst. Bei der kinetischen Perimetrie wird das Gesichtsfeld durch bewegte Reizmarken erfasst. Dabei bewegt sich der Lichtreiz von peripher nach zentral. Dies ist eine schnellere, aber auch gröbere und nicht so aussagekräftige Methode, um einen Gesichtsfeldausfall oder deren Verlauf darzustellen. Sie wird meist bei Patienten eingesetzt, bei denen das Gesichtsfeld oder die Mitarbeit schon sehr stark eingeschränkt ist.

Die Perimetrie definiert die Firma Haag-Streit als „[...] die Messung der visuellen Funktionen des Auges an topographisch definierten Punkten im Gesichtsfeld.“ Aussagekräftiger scheint die Definition von Schiefer, Pätzold und Dannheim in ihrer Schrift zur „Konventionellen Perimetrie“: „Bei der automatischen statischen Rasterperimetrie sind die Messorte flächenhaft über dem zu untersuchenden Gesichtsfeldbereich verteilt, und die Prüfpunktdarbietung erfolgt in randomisierter Abfolge.“ (Schiefer et al., 2005)

Die Punkte, die hier erwähnt werden, sind Lichtpunkte, mit denen die Kontrastempfindlichkeit untersucht wird. Die Prüfgröße, in der die Gesichtsfeldfunktion meistens angegeben wird, ist die Lichtunterschiedsempfindlichkeit (E), sie hat die Einheit dB und wird mit der Hilfe der Leuchtdichte L bestimmt. Die Formel hierfür lautet:

$$E (dB) = 10 * \log_{10} ( L_{max} / L_{stim} )$$

Dabei ist Lmax die maximale Prüfpunkthelligkeit [cd/m<sup>2</sup>] des verwendeten Perimeters (Paul, 1999). Vereinfacht ausgedrückt erkennt der Proband den dargebotenen Punkt, der nur eine minimal höhere Leuchtdichte aufweist als der Hintergrund, so entspricht dies einer hohen Lichtunterschiedsempfindlichkeit. Erkennt der Proband den Punkt nur bei einer hohen Leuchtdichte, so entspricht es einer geringen Lichtunterschiedsempfindlichkeit.

Die Prüfmarken, die in der Perimetrie verwendet werden und nachfolgend in Abbildung 3 dargestellt sind, sind nach Goldmann-Stufen eingeteilt. Die bei unserer Studie benutzten Prüfmarken entsprechen Goldmann III/4e. Dabei steht die 0-V für die Größe (hier 4 mm<sup>2</sup>), 1-4 für die Intensität und a-e für die Lichttransmission (Shields and Krieglstein, 2013).

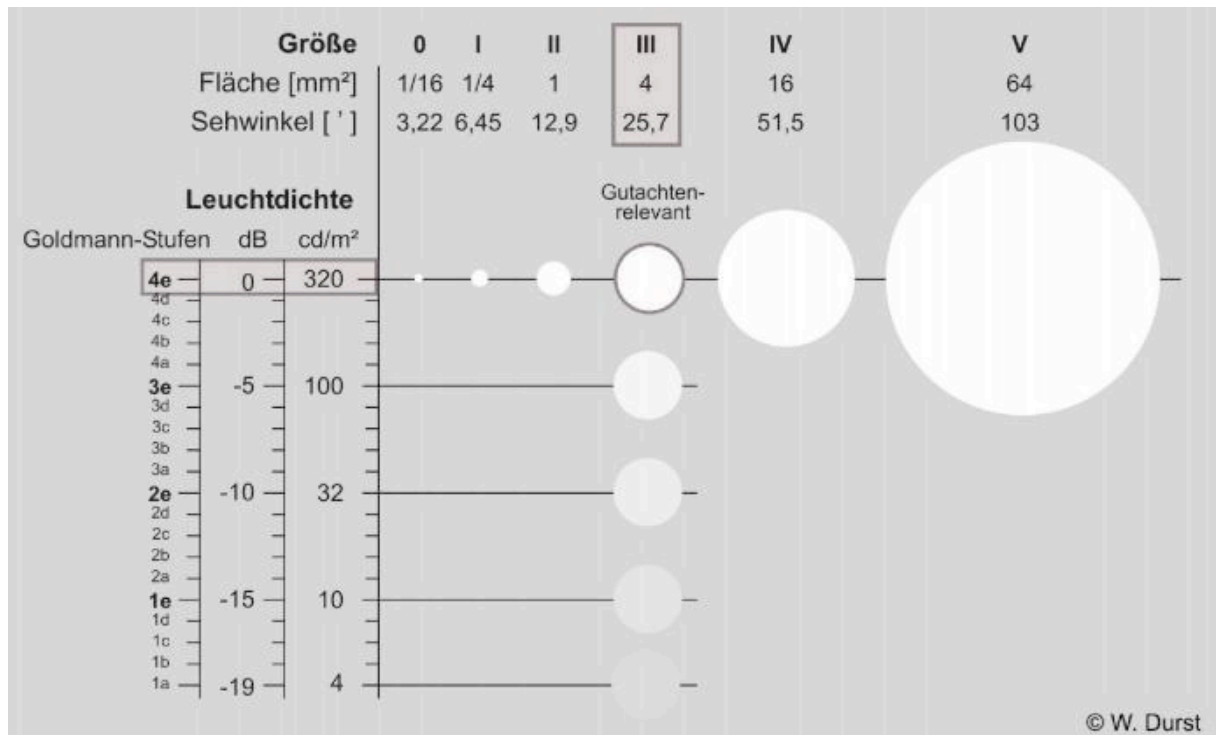


Abbildung 3: Darstellung der Goldmann-Klassifikation. Umrandete Bereiche markieren die in unserer Studie verwendeten Prüfwerte (Schiefer et al., 2005).

Die statische Perimetrie lässt sich beim Octopus 900 noch in ein Stufenkonzept und in die Tendency-Oriented-Polarimetrie (TOP) einteilen. Sowohl beim Stufenkonzept als auch bei der neuen TOP-Variante wird ein 30°-Gesichtsfeld angeordnet, da sich in diesem Bereich circa 66 Prozent der Ganglienzellen, das heißt 86 Prozent der Sehrinde befindet. Deswegen reicht es völlig aus, nur zentral zu testen. Dabei beträgt die Belichtungszeit 100 ms. Dies ist wichtig, um einen ausreichenden Stimulus zu erzeugen, jedoch zugleich nicht Gefahr zu laufen, den Fixationsreflex (200 ms) auszulösen (Roucoux et al., 1980). Wichtig ist hier, dass die Hintergrundbeleuchtung stets gleich sein muss, um den Vergleich der Gesichtsfeldmessungen miteinander gewährleisten zu können.

Wenden wir uns jedoch noch einmal der Methode des Perimeters zu. Bei der Stufenmethode wird ein Lichtreiz ausgelöst, der vom Probanden möglichst erkannt werden

sollte. Dieser wird dann in 4-dB-Schritten reduziert, bis er nicht mehr erkannt wird, um ihn dann in 2-dB-Schritten zu erhöhen, bis es wieder zu einem überschwelligen Stimulus kommt. Wird dieser erreicht, versucht die Software mit 1-dB-Schritten den genauen Stimulus zu ermitteln. Dies ist die sogenannte 4-2-1-dB-Stufenstrategie.

Bei der von Haag-Streit benutzten TOP-Variante wird angenommen, dass die auf der Retina abgefragten Punkte zueinander in Verbindung stehen. So ist es wahrscheinlich, dass, wenn ein Punkt als nicht gesehen wahrgenommen wird, die Nachbarregionen dieses Punktes auch eine Sehschwäche aufweisen. So kann das System ein sehr ähnliches oder gleiches Ergebnis erzielen durch weniger Punkte, die abgefragt werden. Dies erspart viel Zeit. Die Patienten brauchen nur noch zwei bis drei Minuten pro Auge und haben damit eine höhere Konzentration für die anstrengende Aufgabe.

Die dB-Werte, mit denen gearbeitet wird, setzen sich aus einer Multi-Center-Studie zusammen. Dort werden sogenannte Normalwerte beziehungsweise Vergleichswerte ermittelt, die zu den Ergebnissen in Vergleich gesetzt werden. Diese Werte berücksichtigen auch das entsprechende Alter des Patienten und somit auch die veränderte Sehkraft im Alter.

## **2.10 Falsch-positive Antworten auf Fangfragen**

Sollte der Patient einen Stimulus erkennen und den Knopf dafür betätigen, obwohl gar kein Stimulus vom Perimeter erfolgt ist, so wird dies als falsch-positive Antwort aufgezeichnet. Dieser Wert wird sowohl als Zahl (z. B. 1/7) als auch in Prozent (z. B. 14 %) dargestellt und ist bei nervösen Patienten oft erhöht. Sollte der Wert stark erhöht sein, so ist es sinnvoll, die Gesichtsfeldmessung zu wiederholen.

## **2.11 Falsch-negative Antworten auf Fangfragen**

Die falsch-negativen Antworten kommen zustande, wenn der Patient einen helleren Lichtreiz nicht erkennt an einer Stelle, wo er zuvor schon einen weniger hellen Lichtreiz erkannt hat. So prüft das Perimeter die Mitarbeit und Konzentration des Patienten. Auch dieser Wert wird sowohl in einer Zahl als auch in Prozent angegeben. Wenn der Wert sehr hoch ist, sollte das Gesichtsfeld aufgrund mangelnder Konzentration oder gegebenenfalls Ermüdung neu angefertigt werden. Wobei der Hersteller selbst warnt, dass es bei sehr starken, schon vorhandenen Gesichtsfeldausfällen zu hohen Werten

(über 50 %) kommen kann, und man in diesem Fall keinen neuen Test durchführen muss.

## **2.12 Risiken**

So wie für fast alle Krankheiten gibt es natürlich auch beim Glaukom Faktoren beziehungsweise Prädispositionen, die die Wahrscheinlichkeit erhöhen, an einem Glaukom zu erkranken. Als Paradebeispiel gilt hier der erhöhte Augeninnendruck. Dieser steht aber nicht allein, die Liste der Risikofaktoren ist lang und wurde sehr anschaulich von Dr. Laura Schrems dargestellt, deren Darstellung hier übernommen wird, ohne auf bestimmte Punkte genauer einzugehen. Sowohl auf den Augeninnendruck als auch die Durchblutung kommen wir in späteren Abschnitten noch zu sprechen. Einzig und allein ist es wichtig zu erwähnen, dass man ab dem 40. Lebensjahr regelmäßig zur Vorsorge gehen sollte. Bestehen Anhaltspunkte, wie nachfolgend aufgeführt, dann sollte mit der Vorsorgediagnostik auch schon früher begonnen werden.

- Erhöhter Augeninnendruck
- Abweichung von der normalen Durchblutung des Sehnervs und der Netzhaut
- Alter (ab dem 40. Lebensjahr steigt das Risiko am Glaukom zu erkranken)
- Myopie
- Familiäre/genetische Disposition
- Afrikanische Abstammung
- Verringerte Hornhautdicke
- Migräne
- Schlaf-Apnoe-Syndrom (Raynaud-Symptomatik)
- Sehr niedriger Blutdruck
- Durchblutungsstörungen (Schrems et al., 2016)
- Geschlechtsprävalenz (Himler, 2011)
- Diabetes Mellitus (Flammer, 2001)

## **2.13 Therapie (Auswirkung/Langzeitprognose)**

Obwohl die Therapien schon im 16. Jahrhundert in die richtige Richtung gingen mit Kräuterkissen für die Augen, Aderlass oder sogar Augentropfen aus Rautenblättern,

so war die erzielte Wirkung gering, sodass Josef Jacob Plenck 1777 mit größtem Bedauern immer noch feststellen musste, dass die Heilung eines Glaukoms stets unmöglich war.

Keine entscheidende, dafür jedoch eine sehr amüsante Therapieform befahl der Augenarzt Ruete 1853 seinen Patienten, indem er ihnen eine ruhige Lebensweise, eine saubere Wohnung, Mäßigkeit im Essen, Vermeidung alkoholischer Getränke und ein Verbot gegen heftige Gemütsbewegungen verordnete.

Doch zum Glück gab es auch noch andere Methoden, die erforscht und angewandt wurden, so die Punktion der Lederhaut oder auch die Iridektomie, die 1857 in Brüssel sogar als größte therapeutische Leistung des Jahrhunderts gekürt wurde (Grewe, 1986).

Dank diesen wissenschaftlichen Errungenschaften können wir heutzutage auf eine Vielzahl therapeutischer Mittel und Methoden zurückgreifen.

Wichtig ist es, nochmal zu betonen, dass ein einmal entstandener Schaden irreversibel ist. Die heutigen Mittel beschränken sich nur auf eine Stagnation der Krankheit. Man versucht alles, um ein Fortschreiten der Verluste der Nervenfasern zu verhindern. Hierfür stehen drei Kategorien zur Verfügung: medikamentös (Böhm, 2005) durch Augentropfen oder Tabletten, durch Laser-Chirurgie oder durch die klassische Chirurgie (Diestelhorst, 1999). All diese Methoden erzielen ein gutes Ergebnis hinsichtlich der Eindämmung der Krankheit, jedoch wirkt keine im Sinne einer Prävention. Und genau dort setzt die vorliegende Studie an. Das Grundprinzip der Therapie liegt nämlich darin, die Flüssigkeit des Kammerwassers bestmöglich einzustellen. Dies kann durch einen verbesserten Abfluss, eine geringere Produktion des Kammerwassers oder eine bessere Durchblutung erfolgen (Flammer, 2003b). Ob wir in unserer Studie die Wirkung einer einzelnen dieser Komponenten oder aller erzielen können, wird zum späteren Zeitpunkt in der Diskussion noch klarer.

## **2.14 Komplikationen/oder Schwankungen des Augeninnendrucks**

Der normale Weg, den das Kammerwasser nimmt, wurde im Abschnitt 2.2 schon beschrieben. Hier können sich jedoch auch Komplikationen auftun. Den größten Widerstand leistet das juxtakanalikuläre Maschenwerk. Doch es ist nicht das einzige Hindernis. Die Anordnung des Trabekelwerks bestimmt die Durchlässigkeit der Flüssigkeit

und somit den Widerstand. Dieser kann durch die Ziliarmuskeln reguliert werden. Hier ist ein Angriffspunkt von Medikamenten, da durch die Aktivierung des Parasympathikus die Augenmuskulatur reguliert wird und somit der Abflusswiderstand abnimmt.

Das Alter spielt auch eine wichtige Rolle. Mit der Zeit kommt es zu Ablagerungen von diversen Substanzen wie zum Beispiel Kollagen Typ VI. Dies bewirkt eine geringere Durchlässigkeit, die sich jedoch mit der verminderten Produktion vom Kammerwasser deckt. Trotzdem kann es hier zu einer Verstopfung oder Verlagerung kommen (Leydhecker, 1991).

### Augeninnendruck-Schwankungen

Ein Problem stellt die große Schwankung des IOD dar. Die Messung kann bis zu 20 Prozent höhere Werte liefern, sollte sich der Patient bei der Messung nicht entspannen. Allgemein liegt ein zirkadianischer Verlauf vor. Dabei befindet sich das Druckmaximum in den frühen Morgenstunden (5 bis 8 Uhr). Druckschwankungen von 3 bis sogar 5 mmHg sind keine Ausnahme und geben keinen Grund zur Sorge. Hinzu kommen sogenannte pulsatorische Schwankungen, die  $\pm 1,5$  mmHg betragen können.

Durch all diese Schwankungen wird klar, dass verlässliche Angaben zum Augeninnendruck nur durch eine 24-Stunden-Kontrolle gemacht werden können (Leydhecker, 1991). Folglich ist es nicht so einfach, die genaue Verbesserung beziehungsweise Senkung des IOD nach sportlicher Belastung zu beziffern. Dies gilt vor allem für die Messungen kurz nach dem Sport. Langfristige Auswirkungen sind hier deutlich einfacher zu ermitteln.

## **2.15 Sport**

Was hat Sport mit einem Glaukom oder mit dem Augeninnendruck zu tun? Wie ist Sport überhaupt definiert? Übersetzt bedeutet das Wort so viel wie Zerstreuung, Vergnügen, Zeitvertreib und Spiel. Dabei beschreibt der Duden Sport als körperliche Betätigung, die aus Freude an Bewegung und Spiel selbst ausgeübt wird. Eine genaue Definition ist zum Begriff Sport natürlich sehr schwierig, da es heutzutage zu viele Bereiche abdeckt. Aber eins bleibt gleich, und zwar die Wirkung von Sport auf den Körper.

Die Empfehlung des Centers for Disease Control and Prevention sowie des American College of Sports Medicine stellt die bessere körperliche, leistungsfähigere und gesündere Verfassung sportlicher Menschen im Gegensatz zu nicht sportlich aktiven Menschen dar (Pate et al., 1995).

Die positive Wirkung von Sport konnte schon bei folgenden Erkrankungen nachgewiesen werden:

- Koronare Herzkrankheiten
- Bluthochdruck
- Diabetes mellitus Typ II
- Osteoporose
- Osteoarthritis
- Adipositas
- Kolonkrebs
- Rückenleiden (Mensink, 2003)

Aber nun kommen wir zu der eigentlichen Fragestellung dieser Arbeit. Was erhoffen wir uns, wenn wir mit unseren Glaukom-Probanden Sport machen? Die Ansätze, die wir verfolgen, sind bisher nicht klar erforscht. Sie erstrecken sich von der Senkung des IOD bis zur hilfreichen Ausschüttung bestimmter Botenstoffe.

Fangen wir mit der positiven Wirkung des Sports auf den Augeninnendruck an. Es ist bewiesen, dass er bei sportlicher Aktivität sinkt. Auf die Frage, bei welcher Intensität, Aktivität oder Länge der Belastung die besten Resultate erzielt werden und wie hoch die Langzeitwirkung ist, macht die Literatur widersprüchliche Angaben (Kielar et al., 1975b, Gale et al., 2009, Schiller, 2010, Preuss, 2013). Einig ist man jedoch darin, dass eine positive Auswirkung vorherrscht. Diese kann bis zu einer 39-prozentigen Senkung des IOD führen (Qureshi et al., 1997, Qureshi, 1995a). Auch wenn die langfristige Auswirkung niedriger ausfällt, aber dennoch positiv bleibt (Preuss, 2013), ist die Frage, ob dies einen positiven Effekt auf den Visus des Patienten hat. Und wie kommt es überhaupt zu einer Senkung des Augendrucks? Es ist noch nicht wissenschaftlich verifiziert, jedoch wird in der Forschung vermutet, dass Sport zu einem geringeren episkleralen Venendruck führt und so mehr Kammerwasser abfließen kann (Schiller, 2010).

Metabolische Zusammenhänge wurden 1975 in Verbindung mit der Senkung des IOD nach sportlicher Belastung festgestellt. Dabei korreliert die Senkung des IOD mit einer

Erhöhung des Laktatspiegels im Blut sowie einem erhöhten  $\text{PCO}_2$ -Wert, das heißt, mit einem sauren pH-Wert. Dabei wurde festgestellt, dass der Druck signifikanter sank, wenn eine höhere sportliche Belastung ausgeübt wurde (Kielar et al., 1975b). Ob die pH-Wert- und Laktatspiegel-Veränderung mit dem Sport zusammenhängt oder doch eher einen kausalen Angriffspunkt bildet, konnte Kielar nicht festmachen.

Eine andere Variante, wieso der Druck des Auges sinkt, könnte in der erhöhten Plasmaosmolarität und der mit ihr einhergehenden Senkung des Bulbusvolumens bestehen. Die erhöhte Plasmakonzentration bei einer Senkung des Augeninnendrucks nach Sport wurde des Öfteren untersucht und beobachtet (Marcus et al., 1970b, Stewart et al., 1970b).

Es gibt aber auch Stimmen, die solche Theorien als Unsinn bezeichnen und die Wirkung eher auf die Hormonausschüttung zurückführen. Durch den Belastungs- oder Bewegungsstress schüttet der Körper Adrenalin und Noradrenalin aus der Nebenniere aus. Diese wiederum aktiviert das cyclische Adenosinmonophosphat (c-AMP). Die Wirkung von Adrenalin wirkt klassisch über die Alpha-2-Rezeptoren (verringerte Kammerwasserproduktion) und über die Beta-2-Rezeptoren (Verringerung des Widerstands im Trabekelwerk). Dementsprechend wird Epinephrin als blutdrucksenkendes Medikament für die Behandlung des Glaukoms eingesetzt. Auch Acetylcholin, Aldosteron und Katecholamine dürften dabei wichtige regulatorische Bausteine sein (Qureshi et al., 1997).

Wie bringt man jetzt Ordnung in all die verschiedenen Ansätze? Welcher ist der richtige und welcher ist für unsere These der wichtigste? Dies kann man mit einem Wort kurz beantworten: alle. Da man den genauen Mechanismus nicht kennt und so auch nicht mit 100-prozentiger Sicherheit sagen kann, wie der Augeninnendruck gesenkt wird, so kann man erst recht nicht sagen, ob oder wie sich der Visus in einem Gesichtsfeld durch die Parameter verändert. Und genau dies zu klären, ist das Ziel vorliegender Untersuchung. In diesem Bereich ist noch sehr viel unerforscht. Mit dieser Pilotstudie soll nun ermittelt werden, ob sich der Visus in Form eines Gesichtsfeldes verändert, im besten Fall verbessert und wenn dies der Fall ist, wieso und wie stark er sich verändert.

## 2.16 Borg-Skala

Da wir die maximale Belastungsgrenze sowie die maximale Herzfrequenz der Probanden nicht kennen und auch nicht in dem Kontext ermitteln konnten, entschlossen wir uns mit der Borg-Skala oder auch Received Perception of Exertion (RPE) genannt, zu arbeiten. Sie erlaubt uns ein genaueres und gleichmäßiges Arbeiten. Die Belastung kann für jeden Probanden individuell immer wieder neu reguliert werden. Durch die leichte Handhabung und Variabilität kann der Proband die Belastung nachvollziehen und selbst bei Bedarf Rückmeldung zur Regulierung geben. Die Borg-Skala ist in Abbildung 4 dargestellt.

---

6		6	
7	Sehr, sehr leicht	7	Sehr, sehr gering
8		8	
9	Sehr leicht	9	Sehr gering
10		10	
11	Recht leicht	11	gering
12		12	
13	Etwas anstrengender	13	ziemlich stark
14		14	
15	Anstrengend	15	stark
16		16	
17	Sehr anstrengend	17	Sehr stark
18		18	
19	Sehr, sehr anstrengend	19	Sehr, sehr stark
20		20	zu stark, geht nicht mehr

---

Abbildung 4: Skala des Anstrengungsempfinden nach Borg (Borg, 1998).

Dabei baut sich die Skala von 6 (sehr, sehr leicht) bis zu hin zur 20 (sehr, sehr anstrengend) auf. Die Nummern sollen die Herzfrequenz widerspiegeln. Multipliziert man diese mit dem Faktor 10, so erhält man etwa den Ruhepuls mit 60 Schlägen (6x10) oder auch die maximale Herzfrequenz mit 200 (20x10) Schlägen pro Minute (Löllgen, 2004).

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Material**

##### **3.1.1 Durchführungsort**

- 1. Stock der Augenklinik der Universitätsmedizin Mainz, im Forschungslabor, Semmelweisweg 120, 55131 Mainz

##### **3.1.2 Geräte**

- Radergometer (Schiller AT-104PC)
- Perimeter (Octopus 900 der Firma Haag-Streit-Diagnostics, EyeSuit Statistische Perimetrie, V 3.2.1, Octopus 900, SN 1823, V 2.2.0/3.2.1, Programm „G“, 0-30° und TOP 30°)
- Datensammlung: Microsoft® Excel® für Office 365 MSO, Version 1810; Microsoft® Word für Office 365 MSO, Version 1810
- Statistische Analyse: IBM® SPSS® Statistics Version 23 V5

##### **3.1.3 Patientengut**

Insgesamt nahmen 60 Probanden (30 Frauen und 30 Männer) an der Pilotstudie teil. Dabei wurden 118 Augen untersucht. Diese setzten sich aus 58 rechten und 60 linken Augen zusammen. Das durchschnittliche Probandenalter belief sich auf 60,02 Jahre.

Die möglichen Probanden wurden im Universitätsklinikum Mainz rekrutiert. Pro Woche befanden sich 30 Patienten stationär für zweieinhalb Tage in der Augenheilkunde der Uniklinik Mainz für eine Verlaufskontrolle ihres Glaukomschadens.

##### **3.1.4 Einschlusskriterien**

Grundvoraussetzungen waren die Einverständniserklärung der Probanden, an dieser Pilotstudie teilzunehmen, sowie ein nachgewiesenes Glaukom, wobei die Art des Glaukoms unwichtig war. Des Weiteren mussten sie ein pathologisches Gesichtsfeld aufweisen. Das letzte wichtige Kriterium wurde etabliert, um den Lerneffekt beim Gesichtsfeld klein zu halten: Alle Probanden mussten vor Beginn der Studie mindestens fünf Gesichtsfeldanalysen durchgeführt haben.

### 3.1.5 Ausschlusskriterien

Diese Liste ist deutlich länger als die der Einschlusskriterien. Die vollständigen Ausschlusskriterien für Probanden:

- Schwangere
- Kinder/Jugendliche unter 18 Jahren
- Koronare Herzerkrankungen (mittel/schwer)
- Asthma (mittel/schwer)
- Gelenkbeschwerden/Rheuma/Arthrose (die beim Radfahren stören/schmerzen)
- psychisch labile Patienten
- unkontrollierter Blutdruck
- nicht zurechnungsfähige Patienten
- immobile Patienten
- Katarakt
- Medientrübung
- unkorrigierte Brechungsfehler
- Sehnervenerkrankungen
- Netzhauterkrankungen
- Personen, die eine aufmerksamkeits-/vigilanzrelevante Begleitmedikation erhalten

### 3.1.6 Aufzeichnungsdaten

Die aufgezeichneten Daten können in drei verschiedene Kategorien eingeteilt werden: Patientendaten, Fahrradergometerdaten und Gesichtsfelddaten.

Patientendaten:

- Alter
- Gewicht
- Größe

- Geschlecht
- Anzahl Sport pro Woche inklusive Sportart und Intensität

Fahrradergometer:

- Wattzahl
- Blutdruck
- Herzfrequenz
- Zeit

Gesichtsfeld:

- MS [dB]
- MD [dB]
- sLV [dB]
- Diffuser Defekt [dB]
- Fangfragen pos./neg.
- Differenzierung zwischen zentral vs. peripher
- Dauer
- Anzahl der Stimuli
- Anzahl der Wiederholungen
- Gerät

Die genannten Daten wurden alle anonymisiert in eine Excel-Tabelle übertragen und sortiert. Daraufhin wurden sie in SPSS Statistics übertragen und ausgewertet.

Dafür schauten wir uns erst einmal die Verteilung der Daten an, um zu entscheiden, welches statistische Verfahren wir anwenden dürfen. Dies variierte von Hypothese zu Hypothese.

Für das erste Ergebnis (Punkt 4.2) erstellten wir zuerst Quantile-Quantile-Plots und ein Histogramm sowohl für das linke als auch für das rechte Auge. Für das linke Auge

deuten beide Anwendungen auf nicht normal verteilte Daten hin, sondern auf eine Bimodalität. Für das rechte Auge sind sie unimodal, jedoch nicht optimal.

Um die Hypothese zu untersuchen, wollen wir zunächst einmal die Differenz der Vorher/Nachher-Messung berechnen. Dafür rechnen wir  $\text{MessungDiffLinks} = \text{MDLinksNachsport} - \text{MDLinks}$  sowie analog für die rechte Seite. Als nächstes untersuchten wir die Verteilung der Differenzen. Hier sind die schiefe und die Verteilung der beiden Differenzen nicht mehr asymmetrisch. Wir sehen, dass die Verteilung der  $\text{MessungDiffLinks}$  und  $\text{MessungDiffRechts}$  unimodal und in etwa symmetrisch ist. Die Quantile-Quantile-Plots sehen hier ebenfalls gut aus und deuten auf annähernd normal verteilte Daten hin, somit können wir eine Varianzanalyse errechnen. Die Voraussetzung der Gleichheit der Varianzen wird überprüft, hierzu gibt der Levene-Test Auskunft. Basierend auf dem Mittelwert beider Messungen ( $\text{Links}$  und  $\text{nachSportLinks}$ ) ist der p-Wert jeweils oberhalb des Fünf-Prozent-Niveaus ( $>0,05$ ). Somit dürfen wir die Varianzanalyse errechnen. Für das rechte Auge ist der Levene-Test signifikant, womit die Varianz-Homogenität für die Messung vorher/nachher nicht vorliegt, deswegen arbeiten wir mit der Greenhouse-Geisser-Korrektur.

Für unser zweites Ergebnis (Punkt 4.3) untersuchten wir die Differenz der Werte erst einmal grafisch. Die Verteilung ist symmetrisch zum Mittelwert. Da der Stichprobenumfang  $=30$  ist und die Verteilung nicht schief ist, nehmen wir die approximative Normalverteilung an und entscheiden uns für den t-Test. Dies gilt ebenfalls für Punkt 4.4.

Um Punkt 4.5 weiter zu unterteilen, nahmen wir noch eine Variable zusätzlich hinzu. Deswegen rechnen wir eine univariate Varianzanalyse mit festem Faktor, inklusive des Levene-Tests und einer deskriptiven Analyse, um unser Ergebnis zu erhalten.

Für die nächste Rechnung (Punkt 4.6) benutzten wir den nicht parametrischen Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, um anhand zweier gepaarter Stichproben eine Gemeinsamkeit in der Tendenz zu ermitteln. Eine deskriptive Analyse wurde ebenfalls durchgeführt.

Für Punkt 4.10 nahmen wir eine vierfache (Anzahl Sport/Woche, Geschlecht, Alter, Auge) Unterteilung der Werte vor. Erst interessierte uns, ob sich die Anzahl von Sport/Woche auf den MD-Wert auswirkt. Wir fertigten ein Streudiagramm an, wo die Mittelwerte der Differenz der MD-Werte von den Vorher/Nachher-Messungen gegen die Anzahl von Sport/Woche aufgetragen wurden, dies sowohl für das rechte als auch für das linke Auge. Da dies für zu große Streuung sorgte, teilten wir die Anzahl von

Sport/Woche auf. Patienten, die bis zu zweimal Sport/Woche trieben, und Patienten, die mindestens dreimal Sport/Woche betrieben. So erhielten wir eine binäre Einteilung. Wir fertigten einen t-Test für unabhängige Stichproben an, um so zu unseren Werten zu gelangen.

Ob die Konzentration sich bei den beiden Gesichtsfeldanalysen jedes Patienten änderte (Punkt 4.13), untersuchten wir mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test und der deskriptiven Analyse. Dieses Vorgehen wiederholte sich bei den beiden darauffolgenden Punkten 4.14 und 4.15. Bei Punkt 4.14 mussten wir jedoch auch viel mit dem Medianwert arbeiten, da die Probandenzahl teilweise sehr gering war und es so zu großen Streuungen gekommen ist.

Für die hier nicht so ausführlich beschriebenen Punkte 4.7, 4.8, 4.9, 4.11 und 4.12 verwendeten wir eine deskriptive Analyse.

### **3.2 Methodik**

Die vorliegende Pilotstudie wurde von der Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz genehmigt. Die ophthalmologischen und sportwissenschaftlichen Untersuchungen fanden in der Augenklinik der Universitätsmedizin Mainz statt.

Die erste Gesichtsfeldmessung erfolgte am Morgen der Aufnahme der Patienten zu ihrem stationären Aufenthalt. Nach Einwilligung der Teilnehmer, an der freiwilligen Studie teilzunehmen, folgte die zweite Messung am Abend desselben Tages oder am Nachmittag des darauffolgenden Tages.

Darauf wurden die Probanden einzeln vorbereitet. Sie wurden aus ihrem Stationszimmer abgeholt. Ihnen wurde das zu durchlaufende Prozedere beschrieben, damit der Ablauf reibungslos verlaufen konnte.

Die insgesamt 60 Probanden wurden nach dem Zufallsprinzip in zwei Gruppen gelost. Jeder Proband hatte eine zweiminütige Aufwärmphase auf dem Ergometer bei einer Wattzahl von 10 bis 15 Watt. In dieser Zeit wurde das erste Mal der Blutdruck gemessen. Die folgenden 15 Minuten mussten die Probanden eine selbst ausgesuchte Wattzahl treten. Die Belastung sollte bei der ersten Gruppe 60 und bei der zweiten Gruppe 80 Prozent ihrer maximalen Belastung beziehungsweise Herzfrequenz liegen. Da dies ohne genaue Kenntnis der maximalen Herzfrequenz der Probanden objektiv nicht möglich ist, haben wir uns entschieden, mit der Borg-Skala zu arbeiten (Löllgen, 2004).

Die Probanden aus Gruppe 1 sollten auf der Borg-Skala die Belastungsempfindung 11 (Stufe: leicht), Gruppe 2 sollte die Belastungsempfindung 15 (Stufe: anstrengend) erreichen.

So konnten die Studienteilnehmer uns immer wieder Feedback geben zur aktuellen Belastung, sodass wir die Wattzahl gegebenenfalls nach oben oder unten regulierten, damit die Belastung über die 15 Minuten möglichst gleichmäßig blieb. Dabei wurde durchgehend die Herzfrequenz mittels eines Elektrokardiographen gemessen und überwacht. Nach sieben Minuten wurde erneut der Blutdruck kontrolliert, genauso wie eine Minute nach Beendigung der Belastung.

Nach den 15 Minuten wurde die Belastung für zwei Minuten wieder auf 15 Watt reduziert, damit Herzfrequenz und Blutdruck sich senken konnten. Danach wurde die sportliche Belastung beendet.

Zwischen Beendigung der sportlichen Belastung und Beginn der Gesichtsfeldmessungen verstrichen zwischen vier bis sechs Minuten.

Die Gesichtsfeldmessung wurde mit dem Octopus 900 der Firma Haag-Streit-Diagnostics durchgeführt (EyeSuit Statistische Perimetrie, V 3.2.1, Octopus 900, SN 1823, V 2.2.0/3.2.1, Programm „G“, 0-30°).

Bei der Messung wurde die gleiche Messreihenfolge der Augen des vorherigen Tests berücksichtigt. In dieser Studie wurde das rechte Auge vor dem linken Auge vermessen. Dabei wurde das nicht benötigte Auge vollständig verdeckt. Ebenfalls wurden das gleiche Gerät, der gleiche Raum und auch immer die gleiche Glasstärke bei Brillenträgern benutzt wie bei der Vergleichsmessung. Es wurde immer eine statische Perimetrie angewandt.

Wurde bei einem Probanden bei der Eingangsuntersuchung das Kurzprogramm „TOP“ von Haag-Streit-Diagnostics benutzt, so wurde auch dies nach der sportlichen Aktivität ausgewählt, um einen aussagekräftigen Vergleich aufstellen zu können.

## 4 Ergebnisse

Von den 60 Probanden der stationären Glaukom-Abteilung wurden insgesamt 118 Augen untersucht. Dabei wurde an 47 von 60 Probanden das normale Gesichtsfeldprogramm durchgeführt (97 Augen), während 13/60 und somit 21 Augen das Kurzprogramm TOP durchführten.

Das Durchschnittsalter der untersuchten Patienten beträgt 60,02 Jahre, wobei der jüngste Patient 20 Jahre alt ist und der älteste 81 Jahre. Dabei fällt auf, dass über 96 Prozent das 40. Lebensjahr überschritten haben. Das würde belegen, dass das Risiko an einem Glaukom zu erkranken, ab dem 40. Lebensjahr wahrscheinlicher wird. Wobei diese Aussage relativiert werden muss, da wir das Alter der Erstmanifestation der Krankheit nicht dokumentiert haben.

Die Kohorte setzt sich dabei aus 30 Frauen und 30 Männern zusammen. Die Literatur wird hier nicht bestätigt, nach der häufiger Frauen als Männer betroffen sind. Wobei man auch hier wieder sagen muss, dass dies nicht repräsentativ ist, da das Patientenkollektiv zu klein ist, um aussagekräftig zu sein. Hinzu kommt, dass die Personen freiwillig an der sportlichen Studie teilgenommen haben und Frauen gegebenenfalls schüchterner sind.

### 4.1 Einteilung der Probanden nach Belastungsgruppe

#### Gruppe 1

Diese Gruppe setzt sich aus 18 Frauen und zwölf Männern zusammen, wobei 60 Gesichtsfeldmessungen (60 Augen) miteinander verglichen wurden. Von den 60 Gesichtsfeldmessungen haben sieben Personen zum Teil das Kurzprogramm TOP (12 Augen) durchlaufen.

Die zu leistende Last sollte in der ersten Gruppe 60 Prozent der maximalen Körperleistung sein. Diese wurde mit der Borg-Skala erhoben. Dabei betrug die durchschnittlich getretene Wattzahl der Männer 57,25 W und die der Frauen 45,66 W. Die durchschnittliche Herzfrequenz lag hier bei 110 Schlägen pro Minute. Der Blutdruck konnte leider nur bei 90 Prozent der Probanden vor und nach der Belastung ermittelt werden. Dieser betrug vorher im Schnitt 138/92 und unmittelbar danach 155/92.

## Gruppe 2

Dieser Gruppe wurde 80 Prozent ihrer maximalen Körperbelastung abverlangt. Dieser Herausforderung wurden zwölf Frauen und 18 Männer zugelost. Es wurden dabei insgesamt 58 Gesichtsfelder erfasst, von denen 9 (6 Personen) das Kurzprogramm darstellten. Dabei betrug die durchschnittliche Wattzahl jeweils 75,75 W für die Frauen und 90,66 W für die Männer. Sowohl die Herzfrequenz als auch der Blutdruck stiegen bei der höheren Belastung deutlich an. Dabei betrug die Herzfrequenz der Probanden durchschnittlich 123 Schläge pro Minute. Auch hier konnte nur bei 83 Prozent der Probanden der Blutdruck vorher und nachher erfasst werden. Dieser ergab 131/85 vor und 151/90 nach der sportlichen Belastung.

Vergleicht man die Vitalparameter (Blutdruck und Herzfrequenz) beider Gruppen, so erkennt man, dass die Personen der zweiten Gruppe im Durchschnitt fitter waren, da ihr Blutdruck trotz der höheren Belastung niedrig war und ihre durchschnittliche Herzfrequenz nur dreizehn Schläge/Minute höher lag als bei Gruppe 1. Diese zufällige Konstellation mag gegebenenfalls Auswirkung auf die Ergebnisse haben.

### **4.2 Vergleich von Gruppe 1 und 2 in Bezug auf die Verbesserung vorher/nachher bezüglich des MD-Wertes der Gesichtsfelder**

Zuerst wurden die beiden Gruppen in Bezug auf ihre Leistung verglichen. Dabei sieht man einen geringen Unterschied zwischen den jeweiligen Belastungen, mit denen die Probanden am Radergometer aktiv waren. Gruppe 1, die eine Belastung von 60 Prozent ihrer maximalen Belastung anstrebte, erzielte ein leicht besseres Ergebnis ( $p = 0,4 > 0,05$ ) als Gruppe 2 ( $p = 0,293 > 0,05$ ), die 80 Prozent ihrer maximalen Belastung abrief. Beide Ergebnisse sind jedoch wie die p-Werte zeigen, nicht signifikant.

Hier wurde nur zwischen der Belastung der Gruppe 1 und der Gruppe 2 unterschieden, die Geschlechterunterteilung in der einzelnen Gruppe wurde hier nicht berücksichtigt, genauso wenig andere Variablen wie beispielsweise das Alter.

Resultat: Eine geringere Belastung (hier 60 %) hat in dem Fall eine geringfügige bessere Auswirkung als eine höhere Belastung (80 %) ohne jegliche Signifikanz.

### 4.3 Vergleich der Geschlechter in Bezug auf den MD-Wert der Gesichtsfelder vorher/nachher

Hier wurden die Geschlechter ungeachtet der Gruppenzugehörigkeit der Probanden verglichen. Es stellte sich heraus, dass die Frauen ein unwesentlich besseres Ergebnis erzielten. Das heißt, dass ihr MD-Wert im Durchschnitt besser ausfällt als der MD-Wert des Durchschnitts der Männer im Vorher/Nachher-Vergleich.

Was man sagen kann, ist, dass die linken Augen sich bei beiden Geschlechtern verbessern (W: von Durchschnitt. 7,8 auf 7,5 MD, M: 9,3 auf 9,2 MD) im Gegensatz zum rechten Anteil, der sich jeweils um 0,2 MD verschlechterte. Jedoch lag auch hier keine Signifikanz vor (Ml:  $p=0,874 > 0,05$ , Mr:  $0,250 > 0,05$ , Wl:  $0,285 > 0,05$ , Wr:  $0,585 > 0,05$ ). Auch hier wurden Alter und Gruppenzugehörigkeit außer Acht gelassen.

Resultat: Die Wirkung von Sport auf das Gesichtsfeld ist bei Frauen zwar in unserem Fall besser als bei Männern, jedoch weder signifikant noch wirklich ausschlaggebend.

### 4.4 Vergleich der Geschlechtertrennung in der jeweiligen Gruppe in Bezug auf den MD-Wert der Gesichtsfelder vorher/nachher

Beide Gruppen wurden jeweils nochmal nach Geschlecht unterteilt. Die exakten Werte können der Tabelle 2 entnommen werden. Es ließ sich kein deutlicher Unterschied erkennen in Bezug auf die MD-Werte der Gesichtsfelder. Die Ergebnisse ähnelten sich sehr.

Tabelle 2: Einteilung der Kohorte in Geschlecht, Gruppe und Auge mit dem jeweils erzielten Ergebnis, angegeben als Differenz und p-Wert.

Geschlecht	Gruppe	Auge	Vor./Nach.-Differenz	p-Wert
M	1	L	0,366	0,310
		R	0,483	0,78
	2	L	- 0,333	0,517
		R	0,086	0,80
	1	L	- 0,450	0,335

W		R	0,283	0,583
	2	L	- 0,15	0,677
		R	0,083	0,971

Resultat: Bei der Geschlechtertrennung in den jeweiligen Gruppen konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den MD-Werten festgestellt werden.

#### 4.5 Vergleich der MD-Werte getrennt nach Geschlecht und nach Augen für die jeweilige Gruppe

Trennt man die ganze Kohorte in Frauen und Männer und betrachtet nun die jeweiligen Augen einzeln in der jeweiligen Gruppe, so sieht man beim linken Auge, dass es bei beiden Geschlechtern keinen wesentlichen Unterschied gibt.

Betrachtet man das rechte Auge der Männer und Frauen, so ist es auch hier der Fall, dass beide keine signifikant besseren oder schlechteren Ergebnisse nach dem Sport erzielen im Vergleich zu ihrem Ausgangswert vor der sportlichen Komponente. Jedoch fällt hier deutlich auf, dass das rechte Auge der Frauen in Gruppe 2 im Allgemeinen deutlich besser ist. Der durchschnittliche MD-Wert der Frauen in Gruppe 2 beträgt nämlich 4,000 dB. Somit schneidet es um mindestens 3 dB besser ab als die Augen der anderen Einteilungsgruppe. Damit ist nicht die Verbesserung durch die sportliche Komponente gemeint, sondern der Allgemeinzustand des Auges. Eine Verbesserung durch den Sport findet hier auch nicht statt.

Tabelle 3: Einteilung in Geschlecht, Gruppe und Auge mit den MD-Werten vor und nach der sportlichen Belastung.

Geschlecht	Gruppe	Auge	MD-Wert vor der sport. Belastung	MD-Wert nach der sport. Belastung
M	1	L	7,442	7,808
		R	8,975	9,458
	2	L	10,572	10,239

		R	6,913	7,000
W	1	L	7,089	6,639
		R	6,067	6,350
	2	L	8,975	8,825
		R	4,000	4,008

Resultat: Das linke Auge zeigt keine Differenz zwischen beiden Geschlechtern. Bei der rechten Seite fällt das Auge der Frauen von Gruppe 2 auf, die um mindestens 3 dB besser im allgemeinen Zustand abschneidet.

#### **4.6 Vergleich des rechten und linken Auges in Bezug auf den MD-Wert**

Differenziert man nun lediglich zwischen dem linken und rechten Auge der Probanden, ohne zu beachten, welcher Gruppe, welchem Geschlecht oder welchem Jahrgang sie angehören, ist signifikant, dass das rechte Auge der Probanden einen deutlich besseren MD-Wert hat, im Vergleich zum linken Auge. Dabei geht es hier nicht um einen Verbesserungsvergleich im Sinne vor und nach der sportlichen Belastung, sondern nur um einen allgemeinen Vergleich der Werte. Dabei betragen die Ausgangs-MD-Werte auf dem rechten Auge im Durchschnitt 6,466 dB, links 8,582 dB, um danach beim rechten Auge leicht auf 6,682 dB zu steigen im Gegensatz zum linken Auge, das auf 8,39 dB sinkt. Man sieht, dass es keine signifikanten Unterschiede bei dieser Unterteilung durch die sportliche Belastung gibt, sondern lediglich einen signifikanten Unterschied beim allgemeinen Vergleich des linken und rechten Auges.

Resultat: Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen dem linken und rechten Auge in ihrem Defektausmaß, der im MD-Wert widergespiegelt wird. Dabei ist der MD-Wert des rechten Auges deutlich besser.

#### **4.7 Auswirkung des Alters auf den MD-Wert**

Es wurde ohne Beachtung der Gruppenzugehörigkeit und des Geschlechts der Probanden untersucht, ob das Alter eine wichtige Komponente in Bezug auf den MD-Wert

darstellt. Die Daten belegen jedoch nicht, dass mit dem Alter der MD-Wert systematisch steigt beziehungsweise, dass das Alter Einfluss im positiven oder negativen Sinne auf den MD-Wert hat.

Resultat: Das Alter hat keinen Einfluss auf den MD-Wert, da er schon in diesen einberechnet wurde.

#### **4.8 Auswirkung der durchschnittlich getretenen Wattzahl der Probanden auf den MD-Wert mit zusätzlicher Unterteilung zwischen den Geschlechtern**

Zuerst wurde die durchschnittlich getretene Wattzahl der Probanden während ihrer 15-minütigen Beanspruchung ermittelt, um dann die Auswirkung beziehungsweise einen Unterschied feststellen zu können, ob eine bestimmte geleistete Wattzahl einen positiven oder auch negativen Effekt auf den MD-Wert im Vergleich zum Ausgangswert hat. Dies konnte nicht bestätigt werden.

Daraufhin wurde das Kollektiv wieder in weibliche und männliche Probanden geteilt, um zu sehen, ob man so eine Korrelation zwischen Wattzahl und MD-Wert-Verbesserung feststellen kann. Jedoch fand sich dafür auch kein Beleg.

Resultat: Die Wattzahl in diesem Patienten-Kollektiv hat keine Auswirkung auf den MD-Wert. Dies gilt auch, wenn man das Kollektiv in die Geschlechter unterteilt.

#### **4.9 Wirkung der Herzfrequenz und des Blutdrucks auf den MD-Wert im Vergleich zu vorher/nachher**

Wie bei Punkt 4.8 wurde die durchschnittliche Herzfrequenz während der 15-minütigen Belastungsdauer ermittelt. Daraufhin wurden die MD-Werte vor und nach der Belastung verglichen. Jedoch konnte keine Korrelation zwischen Herzfrequenz und MD-Wert festgestellt werden.

Beim Blutdruck konnte nur bei 90 beziehungsweise 83 Prozent der Probanden der Wert vor und der Wert nach der Belastung gemessen werden. Trotz der geringeren Anzahl der repräsentativen Probanden konnte auch hier keine Korrelation zwischen den beiden gemessenen MD-Werten festgestellt werden.

Resultat: Sowohl die Herzfrequenz als auch der Blutdruck-Anstieg während der Belastung haben keine Auswirkung auf den MD-Wert.

#### **4.10 Auswirkung der Anzahl von Sporteinheiten/Woche auf den MD-Wert mit der zusätzlichen Unterteilung nach Geschlecht, Alter und linkem/rechtem Auge**

Die Probanden wurden befragt, wie oft sie Sport in der Woche betreiben. Dies wurde in zwei Kategorien eingeteilt, in Personen, die unter dreimal ( $2 \leq$ ) und öfters als zweimal ( $3 \geq$ ) Sport pro Woche machen. Diese Informationen wurden in Zusammenhang zum MD-Wert gesetzt.

Teilte man die Kohorte nun in rechtes und linkes Auge auf, ohne die Geschlechter zu trennen, so konnte keine eindeutige Signifikanz dargestellt werden.

Teilte man jedoch das linke und rechte Auge noch in das jeweilige Geschlecht auf, so können wir nicht von einer eindeutigen Signifikanz reden, jedoch davon ausgehen, dass ein größeres Probandenkollektiv bei dieser Aufteilung eine Signifikanz zum Vorschein gebracht hätte. Es kommt nur bei den Frauen auf dem linken Auge zu einer Verbesserung, wenn die Variable Sport/Woche hoch genug ist, auch wenn die Signifikanz knapp verfehlt wird ( $p=0,057$ ). Beim rechten Auge der Frauen zeigen die Werte zwar die gleiche Tendenz wie beim linken Auge, jedoch sind wir hier deutlich weiter entfernt von einer Signifikanz. Ob dies mit einer größeren Kohorte belegt werden kann, wird sich zeigen müssen.

Die Variable Alter, die zusätzlich in Betracht gezogen wurde, führte hier zu keinem Ergebnis. Es kam lediglich auf die Fitness der Probanden an, nicht auf das Alter.

Resultat: Die Anzahl Sport/Woche hat einen positiven Effekt auf das Gesichtsfeld und so auch auf den Visus. Das Alter der Probanden spielt hier keine Rolle. Beim linken Auge der Frauen kommt es zu einer deutlichen Verbesserung, jedoch ohne eine eindeutige Signifikanz, dass die Anzahl/Woche mit der Verbesserung des MD-Wertes korreliert.

#### **4.11 Zusammenhang zwischen der Anzahl von Sport/Woche in Bezug auf das Augen-Defekt-Ausmaß**

Wir schauten uns die sportliche Aktivität der Probanden pro Woche an und verglichen sie mit ihrem allgemeinen Defekt-Ausmaß. Wie erwartet stellte sich hier kein wirklicher Benefit heraus für Probanden, die besonders sportlich sind. Dies liegt daran, dass in

unserer Kohorte nur erkrankte Probanden sind, die schon einen gewissen Augendefekt aufweisen. Hinzu kommt, dass die Kohorte zu klein ist, um für derartige Aussagen repräsentativ zu sein.

Resultat: Der Zusammenhang zwischen körperlicher Fitness und Augen-Defekt-Ausmaß ist in dieser Konstellation nicht zu untersuchen.

#### **4.12 Vergleich des Vorher/Nachher des MS-Wertes**

Um nichts zu übersehen und alles ausschließen zu können, haben wir nicht nur den MD-Wert verglichen, sondern den Vergleich auch mit dem MS-Wert aufgestellt. Ohne die Gruppen zu unterteilen oder nach dem Geschlecht zu splitten. Das Ergebnis ist jedoch das gleiche wie bei dem MD-Wert. Es kommt zu keiner Verbesserung.

Resultat: Es kommt zu keiner Verbesserung des MS-Wertes nach dem Sport im Vergleich zum Zustand vor der Belastung.

#### **4.13 Vergleich der Quote der Fangfragen im Vergleich zu vorher/nachher mit zusätzlicher Trennung zwischen den beiden Augen**

Das Perimeter streut während der Messung immer wieder Irritationen ein, die den Probanden dazu verleiten sollen, fälschlicherweise den Knopf zu drücken. So wird geprüft, wie konzentriert der Proband ist und wie das Gesichtsfeld zu bewerten ist. Wir haben hier die falsch-positiven als auch falsch-negativen Werte zusammengerechnet und diese dann mit der Anzahl vor der sportlichen Betätigung verglichen. Es ließ sich kein Unterschied in der Konzentration der Probanden feststellen weder im positiven noch im negativen Feld.

Um die Analyse auch wieder zu verfeinern, untersuchten wir die Annahme noch einzeln für jedes Auge. Doch auch hier änderte sich weder am rechten ( $p=0,733$ ) noch am linken Auge ( $p=0,247$ ) etwas im Vergleich zum Zustand vor dem Sport.

Resultat: Der Fangfragen-Quotient beziehungsweise die Konzentration der Probanden wird nach dem Sport weder besser noch schlechter.

#### 4.14 Vergleich des Kurzprogramms TOP gegen das Normalprogramm Glaukom in Bezug auf den MD-Wert mit der zusätzlichen Unterteilung nach den jeweiligen Augen

Vergleicht man den MD-Wert vor und nach der sportlichen Belastung des Kurzprogramms TOP mit den Werten des Standardprogramms des Glaukoms, so fällt deutlich auf, dass die Ergebnisse des Kurzprogramms deutlich bessere MD-Werte liefern. Wir untersuchten hier nicht nur den Mittelwert, sondern arbeiteten vor allem mit dem Medianwert, da die Ergebnisse eine große Streuung hatten. Sowohl beim linken als auch beim rechten Auge des Kurzprogrammes kam es nach der sportlichen Belastung zu einer Verbesserung des MD-Wertes. Beim linken betrug sie -0,592 dB und beim rechten sogar -1,262 dB. Trotz dieser eindeutigen Verbesserung kann hier nicht von einer Signifikanz gesprochen werden, da die Probandenanzahl zu klein ist (links:  $p=0,136$ , rechts:  $p=0,107$ ). Wir gehen jedoch davon aus, dass eine größere Probandenanzahl ein signifikantes Ergebnis darstellen würde.

Tabelle 4: Vergleich TOP vs. Standard-Programm, Einteilung für das jeweilige Auge mit den erzielten Ergebnissen sowie die Differenzen und ihre Signifikanz.

Programm	Au ge	v. d. Bel. in dB	n. d. Bel. In dB	Anzahl	Diff. Mittel- wert	Diff. Me- dian- wert	p-Wert:
TOP	R	79,7	69,6	8	-1,262	-0,65	0,107
	L	153	145,9	12	-0,592	-0,85	0,136
Standard	R	288,9	311	49	0,451	0,40	0,018

	L	361,9	357,5	48	-0,09	0,10	0,664
--	---	-------	-------	----	-------	------	-------

Vergleicht man die Werte mit den Probanden, die nur das Standardprogramm durchgeführt haben, so erhält man hier zumindest ein signifikantes Ergebnis, auch wenn dies nicht positiv ist. Das rechte Auge verschlechtert sich mit einer Signifikanz von  $p=0,018$  und das, obwohl es nur zu einer Verschlechterung von 0,451 dB kommt nach der sportlichen Belastung. Die Probandenanzahl ist jedoch mit 49 Personen deutlich höher als beim TOP-Programm, das nur acht Personen durchliefen. So erhält man trotz der geringeren Differenz ein signifikantes Ergebnis im Gegensatz zum TOP-Programm.

Auf dem linken Auge kommt es zu einer minimalen Verbesserung (-0,09), die jedoch zu gering ist, um signifikant zu sein. Die Ergebnisse sind somit fast identisch.

Resultat: Das TOP-Programm zeigt trotz sichtlicher Verbesserung des MD-Wertes keine Signifikanz. Im Vergleich zwischen TOP- und Normalprogramm schneidet das TOP-Programm deutlich besser ab. Das linke Auge weist im Normalprogramm keine Änderung auf, beim rechten Auge kommt es zu einer kleinen, jedoch signifikanten Verschlechterung.

#### **4.15 Vergleich des TOP- und Standardglaukomprogramms in Bezug auf den allgemeinen Zustand der Augen**

Wir wollten schauen, ob das Augen-Defekt-Ausmaß der Probanden des TOP-Programms geringer ausfällt als das der anderen. Dies konnten wir jedoch nicht feststellen. TOP verschleiert die vorhandenen Defekte nicht, sondern stellt sie konform da. Diese Probanden haben keinen geringeren Defekt, nur weil sie das Kurzprogramm nutzen, jedoch verbessert sich ihr MD-Wert nach dem Sport auf dem rechten Auge deutlich.

Resultat: Es gibt keinen Unterschied im Defekt-Ausmaß beim Ausgangswert, nur weil die Probanden das TOP-Kurzprogramm nutzten.

## **5 Diskussion**

### **5.1 Stand der Forschung**

Normalerweise sollte man in der Diskussion einer Dissertation seine Ergebnisse mit der schon vorhandenen Literatur vergleichen und gegebenenfalls in Frage stellen. Dies ist an dieser Stelle nicht möglich, da es bisher einfach noch keine Erforschung der Auswirkung von sportlicher Belastung auf ein Gesichtsfeld gibt. Dementsprechend ist es schwer, Vergleiche aufzustellen. Man muss mit Quervergleichen arbeiten und diese ins Verhältnis setzen, um repräsentativ zu arbeiten, dennoch wird man nicht überall Vergleiche anstellen können, sondern muss die Ergebnisse so stehen lassen, um sie mit der nächsten Forschungsarbeit belegen oder auch widerlegen zu können.

### **5.2 Augeninnendruck und Sport**

Ein Grundgedanke bei dieser klinischen Studie war es zu ermitteln, wie sich Sport auf das Gesichtsfeld auswirkt. Ausgegangen wurde von der Annahme, durch Sport den Augeninnendruck für die Zeit der Untersuchung zu senken. Diese Annahme stützt sich auf zahlreiche Studien, die einen solchen Effekt schon vor längerer Zeit entdeckt hatten. Hierbei lag die Konzentration auf zehn Studien, die diesen Effekt an glaukomekranken Patienten untersucht hatten (Cooper et al., 1965, Kypke and Hermannspann, 1974, Leighton, 1972, Shapiro et al., 1983, Qureshi, 1995a, Passo et al., 1991, Natsis et al., 2009, Lempert et al., 1967, Medina et al., 2007a, Era et al., 1993).

Die Studien haben die Gemeinsamkeit, dass sie alle die drucksenkende Wirkung von Sport an mindestens drei am Glaukom erkrankten Probanden untersuchten. Die Untersuchungen sind jedoch sowohl in der Quantität als auch in der Methodik sehr unterschiedlich.

1965 untersuchten Cooper et al. mehr oder weniger zufällig das Verhalten des Augeninnendrucks nach einer sportlichen Belastung. Zufällig, weil er gesunde nicht von erkrankten Probanden trennte. So kam es, dass drei Glaukom-Patienten in der Kohorte waren, wovon einer mit Adrenalin behandelt wurde. Die anderen beiden erhielten keine medikamentöse Therapie. Der IOD-Senkungseffekt wurde durch einen Stufentest auf dem Laufband ermittelt. Dabei wurden signifikante Augeninnendrucksenkungen von

bis zu 27 Prozent bei allen drei Teilnehmern der Studie festgestellt (Cooper et al., 1965).

Auch die nächste angeführte Studie hatte in ihrer Kohorte sowohl gesunde als auch erkrankte Personen. Insgesamt waren es hier dreizehn gesunde, drei, die unter Glaukom-Verdacht standen, ohne Medikation, und drei Probanden mit einer Adrenalin-Therapie. Auch diese Probanden testeten den Akuteffekt mittels eines Laufbandes mit einem Stufentest. Dabei sank der IOD um 1 bis 13 mmHg. Die Forscher stellten hier schon fest, dass der Augeninnendruck der am Glaukom Erkrankten deutlich stärker sank, als der der Gesunden. Dies gilt sowohl für die erkrankten als auch für die unter Glaukom-Verdacht stehenden Probanden der Studie (Lempert et al., 1967).

Bei der Studie von Leighton aus dem Jahre 1972 setzte dieser die Medikation der 12 POWG-Patienten vorher ab. Dieser Vorgang ist eher selten und sollte deutlich öfter untersucht werden. Leighton setzte ein 50-minütiges Walking als sportliche Belastung an. Die Resultate waren mit einer Senkung des Augeninnendrucks von bis zu 4,5 mmHg signifikant. Mit dem gleichen Probanden-Kollektiv führte Leighton an einem separaten Tag die gleiche Messung durch, nachdem sie zuvor 50 Minuten saßen. Die Untersuchung zwischen der normalen Messung nach dem Sitzen und nach dem Walken zeigt deutlich, dass die sportliche Belastung sich positiv auf den Augeninnendruck auswirkt. Nur dabei war die Senkung eindeutig (Leighton, 1972).

Bei einem fahrradergometrischen Stufentest, den auch wir in unserer Studie nutzten, fanden Kypke und Hermannspann Senkungen des IOD zwischen -34,1 und -37,7 Prozent nach der Belastung. Dabei untersuchten sie insgesamt 13 POWG-Patienten, von denen nur fünf medikamentös behandelt wurden (Kypke and Hermannspann, 1974).

Auch die nächste Forschungsgruppe benutzte ein Fahrradergometer. Dabei wurden verschiedene Stufen der Belastung untersucht. Die Steigerung der Belastung betrug jeweils 25 Watt und wurde bis zur einer Wattzahl von 75 ausgewertet. Dabei wurden zwölf Patienten untersucht, die ein POWG aufwiesen. Ihre medikamentöse Therapie wurde 48 Stunden vor Beginn der Untersuchung abgesetzt. Dabei fällt auf, dass der IOD umso stärker sank, je höher die Belastung war. Der Augeninnendruck sank durchschnittlich um -4,2 mmHg bei 25 Watt. Bei 75 Watt waren es sogar -8,3 mmHg. Auch hier wurde eine Kontroll-Sitzgruppe mit dem gleichen Probanden-Kollektiv eingesetzt. Und auch hier waren die Ergebnisse nach der sportlichen Belastung im Gegensatz zur Testung des IOD in Ruhe signifikant (Shapiro et al., 1983).

Bei einer Langzeitstudie aus dem Jahre 1991 wurden die Patienten drei Monate einer Trainingsintervention unterzogen. Die acht unter Glaukom-Verdacht stehenden Probanden machten regelmäßig Aerobic. Sowohl der Akuteffekt als auch der Endeffekt der Studie war signifikant. Der IOD sank durchschnittlich am Ende der Studie um  $-4,6 \pm 0,4$  mmHg (Passo et al., 1991).

Die nächste Studie umfasste mehr als 100 Probanden, wobei allerdings nur fünf unter ihnen Glaukom-Patienten waren. Alle unterzogen sich einem maximalen Fahrradergometer-Test. Diese Studie ist die einzige von den aufgelisteten, die nicht zu einem einheitlichen, signifikanten Ergebnis kommt. Denn nur bei drei von den insgesamt fünf Glaukom-Probanden kam es zu einer IOD-Senkung. Bei den anderen beiden kam es sogar zu einer Erhöhung. Die Senkungen bei den drei Probanden betrugen -10 mmHg, -4 mmHg und -3 mmHg. Die Erhöhung bei den anderen beiden betrug jeweils +2 mmHg. Auch die übrigen Probanden des gesunden Kollektivs wiesen unterschiedliche Resultate auf. Insgesamt kam es nur bei 34 Prozent der Probanden zu einer Senkung des IOD mit einer durchschnittlichen Senkung von 2 mmHg. Bei 57 Prozent kam es zu keiner Veränderung, während es bei 9 Prozent sogar zu einer Erhöhung des IOD kam. Dabei wurde der Augeninnendruck vor und nach der Belastung mit einem kontaktlosen Tonometer gemessen. Die Probanden waren alle zwischen 66 und 85 Jahre alt (Era et al., 1993). Es ist auffällig, dass dies die einzige Studie ist, bei der nicht nur das Ergebnis, sondern vor allem auch die Differenz des Ergebnisses Fragen offen lässt. Hier kann man leider nur Vermutungen anstellen, wieso es zu einer Differenz kommt. Ob es am Unterschied zwischen kontaktlosem und nicht kontaktlosem Messen des IOD liegt, bleibt offen, da der Goldstandard bei der Messung des Augeninnendrucks die Goldmann-Appplanationstonometrie ist und diese in der Studie nicht angewendet wurde. Hinzu kommt natürlich noch, dass der durchführenden Person selbst eine entscheidende Rolle bei der Messung zugesprochen werden muss. Ebenfalls zu berücksichtigen ist natürlich noch die Dicke der Hornhaut, die bei der kontaktlosen IOD-Messung eine Schlüsselrolle spielt (Hoffmann et al., 2006). Oder ob es am Ende keiner dieser Kritikpunkte ist und die Ergebnisse die Realität widerspiegeln, lässt sich aus dem jetzigen Stand schwer sagen, dennoch ist es verwunderlich, wenn man die Studie mit den vorangegangenen vergleicht.

Qureshi nutzte genau diese Appplanationstonometrie bei seiner Studie. Dabei verglich er sieben Gesunde mit sieben POWG-Probanden. Die Medikation der Probanden wurde dabei am Morgen der Untersuchung abgesetzt. An jeweils separaten Tagen

wurde das Verhalten des Augendrucks auf die Belastung von 60-minütigem Walking, 60-minütigem Joggen und das Laufen bis zur vollkommenen persönlichen Erschöpfung untersucht. Qureshi versuchte dabei, jegliche externe und interne Beeinflussung des IOD zu minimieren. Die Uhrzeit und auch der Behandler der Probanden waren stets gleich. Die Ergebnisse waren einheitlich und signifikant. Sowohl bei den gesunden Probanden als auch bei den an einem Glaukom erkrankten Probanden kam es bei allen drei Sportarten zu Druck-Senkungen im Auge. Wobei die Senkung bei den POWG-Probanden stärker ausfiel, jedoch die Ausgangswerte des IOD auch höher waren. Des Weiteren fällt der IOD umso stärker, je höher die Belastung war (Walken < Joggen < Laufen). Beim Walken sank der IOD um 15,89 Prozent bei den Gesunden und um 23,09 Prozent bei den POWG-Probanden, jeweils nach 60 Minuten. Beim Joggen betragen die Zahlen 25,43 Prozent und 32,62 Prozent, auch wieder nach 60 Minuten Belastung. Beim Laufen war die Zeit von Proband zu Proband unterschiedlich. Dabei betragen die Senkungen 26,42 Prozent und sogar 39,14 Prozent bei den glaukomatösen Patienten (Qureshi, 1995a).

Die Studie von Medina liefert diskussionswürdige Ergebnisse. Dabei wurde der IOD nach einer 15-minütigen Belastung auf einem Radergometer untersucht, nach dem Lesen und während des Lesens bei einer sportlichen Belastung. Dazu wurden die Probanden in fünf verschiedene Gruppen je nach Medikation unterteilt. Es kam zu keiner signifikanten Senkung des IOD. Man muss allerdings erwähnen, dass es zu einer Senkung des IOD kam, diese aber nicht signifikant war. Das für uns Störende an dieser Studie ist, dass nicht nur Glaukom-Patienten teilnahmen, sondern auch Patienten, die nicht am Glaukom leiden, sondern lediglich einen erhöhten Augeninnendruck aufwiesen. Zwischen diesen beiden Gruppen wurde nicht unterschieden. Auch werden keine Angaben gemacht, wie viele Probanden wirklich ein Glaukom aufweisen (Medina et al., 2007b). Deswegen ist die Studie nicht ganz so aussagekräftig wie vorangegangene.

Die letzte aufgeführte Studie bezüglich der Auswirkung von Sport auf den Augeninnendruck ist gleichzeitig die jüngste und größte Studie. An ihr nahmen 100 Gesunde und 45 POWG-Probanden teil. Sie wurden in verschiedene Gruppen eingeteilt und teilweise mit verschiedenen Medikamenten behandelt, dies galt auch für die gesunden Probanden. Es wurden dabei Beta-Blocker, Alpha-Antagonisten als auch Prostaglandine verwendet. Ziel dieser Studie war nicht nur die Erforschung der Wirkung von Sport

auf den IOD, sondern auch die Wirkung von Glaukom-Medikamenten in Zusammenhang mit Sport. Dazu wurden die Probanden gebeten, 10 Minuten auf einem Fahrradergometer zu fahren bei einer submaximalen Belastung von 60 bis 80 Watt. Dabei wurde der IOD auch hier mit einem Goldmann-Appplanationstonometer gemessen. Die Ergebnisse der Studie sind wieder einheitlich und signifikant. Es kommt in jeder der sieben Gruppen zur Senkung des intraocularen Drucks. Bei den Glaukom-Probanden betragen die Senkungen -2,3 bis -2,83 mmHg. Das Resultat der ganzen Studie wird von Natsis so formuliert, dass Sport den IOD von gesunden sportlichen als auch nicht sportlichen Personen reduziert. Das Gleiche gilt für Personen, die unter einem Glaukom leiden, sowie für Personen, deren Glaukom medikamentös behandelt wird (Natsis et al., 2009). Trotz des signifikanten Ergebnisses fragt man sich, wieso die Senkung des Augeninnendrucks bei der Studie von Natsis mit circa -2 mmHg so gering ausfällt im Gegensatz zu den deutlich höheren Ergebnissen von Shapiro, in denen die Senkung bis zu -8,3 mmHg (Shapiro et al., 1983) betrug? Die Antwort ist einfach und beide Ergebnisse sind ähnlich zu interpretieren. Denn die IOD-Ausgangswerte bei der Studie von Natsis lagen zwischen 15 und 18 mmHg, wohingegen die von Shapiro mit  $28,2 \pm 9,4$  mmHg beziffert wurden. Da die Ausgangswerte bei der Studie aus dem Jahre 2009 deutlich geringer sind, konnte die Marge dementsprechend nicht so groß ausfallen.

In dieser Studie lag der Fokus auf dem Effekt der Senkung des IOD bei am Glaukom erkrankten Personen. Nicht zu vernachlässigen sind jedoch die vorangegangenen Studien, die dieses Unterfangen an gesunden Probanden erforschten. Dabei wurde deutlich, dass auch bei Gesunden (wie auch schon aus der Studie von Natsis et al. ersichtlich wurde) dieser Effekt auftritt. Das Ausmaß ist aufgrund der geringeren Höhe des Augeninnendrucks nicht so stark, dennoch lässt sich der gleiche Effekt signifikant darstellen und unterstützt die erforschten Erkenntnisse (Harris et al., 1994, Stewart et al., 1970a).

Vergleicht man nun die aufgezählten Studien miteinander, so muss man zu dem Schluss kommen, dass der Augeninnendruck durch Sport positiv beeinflusst wird und mit dieser These in vorliegender Studie gearbeitet werden kann.

Dies bestätigt auch die Betrachtung der Ergebnisse dieser Studie unter Punkt 4.10. Dabei fällt auf, dass Probanden, die angaben, sich oft sportlich zu betätigen, bessere Ergebnisse erzielten. Dabei kam es allerdings nur bei den Frauen auf dem linken Auge zu einer annähernden Signifikanz. Die Ergebnisse für das rechte Auge des weiblichen

Geschlechts weisen die gleiche Tendenz auf, jedoch in einem geringeren Ausmaß. Wieso dieses Ergebnis nur für die Frauen gilt, darüber lassen sich aus dem heutigen Stand der Forschung nur Vermutungen anstellen. Hier bedarf es weiterer klinischer Studien. Vielleicht mag es daran liegen, dass Frauen sportlicher sind und einen gesünderen Lebensstil pflegen? Ob es vielleicht nur an einer zu kleinen Kohorte lag, dass es bei den Männern nicht zu dem gleichen Effekt führt und man dieses Problem durch ein größeres und vor allem körperlich fitteres Probanden-Kollektiv lösen kann, bleibt der nächsten Studie überlassen.

Punkt 4.10 (Zusammenhang zwischen der Anzahl von Sport/Woche in Bezug auf das Augen-Defekt-Ausmaß) lässt sich mit dieser Studie und Kohorte weder belegen noch widerlegen. Hierfür müsste das Probanden-Kollektiv anders zusammengestellt werden. Da in dieser Studie nur pathologische Gesichtsfelder aufgenommen wurden, ist die Aussagekraft, ob und wie stark die körperliche Fitness ein Glaukom eindämmen kann, nicht gegeben. Auch die Literatur liefert hierfür keinerlei Studien oder Bezüge, um dies zu erläutern.

### **5.3 Auswirkung der Intensität der Belastung**

Die meisten der aufgeführten Studien lassen keine Einteilung der Belastung zu. Damit ist gemeint, dass die sportliche Belastung in einem durchgeführt wird und somit die Auswirkung der unterschiedlichen Belastung auf den Augeninnendruck nicht differenziert bewertet werden kann. Bei zwei Studien lässt sich diese Einteilung jedoch nachvollziehen.

Bei Qureshi können wir die Differenz durch die drei verschiedenen Sportarten (Walken, Joggen, Laufen) erkennen, die er nutzte, um den Effekt zu verdeutlichen.

Tabelle 5: Darstellung des Effekts von den verschiedenen sportlichen Belastungen auf den Augeninnendruck bei normalen und glaukomekrankten Probanden (Qureshi, 1995a).

Table 1. Effect of exercise on intraocular pressure in normal and glaucoma subjects.

Time (min)	Glaucoma patients			Normal subjects		
	IOP	% decrease	p value*	IOP	% decrease	p value*
<b>Effect of walking</b>						
0	33.43±2.19			15.29±0.81		
5	29.14±1.77	12.83	<0.01	13.86±0.80	9.35	<0.001
20	27.43±1.53	17.95	<0.001	13.43±0.65	12.16	>0.05
40	26.14±1.32	21.81	<0.01	13.29±0.57	13.08	>0.05
60	25.71±1.23	23.09	>0.05	12.86±0.74	15.89	>0.05
<b>Effect of jogging</b>						
0	33.29±2.24			15.14±0.74		
5	26.71±1.04	19.77	<0.01	12.86±0.74	15.06	<0.001
20	25.71±0.87	22.77	<0.01	12.29±0.52	18.82	>0.05
40	23.57±1.11	29.20	>0.05	11.71±0.52	22.66	<0.05
60	22.43±1.04	32.62	>0.05	11.29±0.57	25.43	>0.05
<b>Effect of running</b>						
Before	32.86±2.13			15.14±1.01		
After	20.00±0.82	39.14	<0.001	11.14±0.86	26.42	<0.001
<b>Post-exercise mean recovery time (min)</b>						
Walking	54.28±8.41			42.86±8.08		
Jogging	71.43±11.43			57.14±5.22		
Running	84.29±13.43			62.86±8.08		

\*p value as compared to previous reading.

Aus der Tabelle 5 können wir entnehmen, dass sowohl beim Walken als auch beim Joggen der IOD mit zunehmender Belastungszeit abnimmt. Nach dem Stoppen der Belastung nach 60 Minuten haben wir eine Senkung von 23,09 Prozent beim Walken und 32,62 Prozent beim Joggen. Wir halten fest, dass die Senkung des IOD von der Anstrengung abhängt. Mit anderen Worten, je intensiver die Belastung, umso höher die Augeninnendrucksenkung (Shapiro et al., 1978). Diese Aussage bestätigen auch die Ergebnisse des Laufens. Dort mussten die Patienten nämlich nicht 60 Minuten laufen, sondern nur so lange sie konnten, dies aber bis zur völligen Erschöpfung, das heißt höchste Intensität. Und auch hier wird der Effekt vom Sport auf den Augeninnendruck deutlich, da der IOD mit 39,14 Prozent am stärksten gesunken ist und mit 84,29 ± 13,43 Minuten auch am längsten andauerte (Qureshi, 1995a).

Shapiro erhält sehr ähnliche Ergebnisse. Zwar nutzte er seine ermittelten Werte nur bis zu einer Belastung von 75 Watt, da nur drei von seinen Probanden es schafften, mehr Watt zu treten und somit die Werte nicht mehr so signifikant sind. Jedoch schafften es zwei Probanden bis zu einer Wattzahl von 100 und ein Proband konnte sogar die Wattzahl 125 bis zum Ende halten. Diese Werte können wir der Tabelle 6 entnehmen unter dem „Measurement“ V und VI. So sieht man, dass nach 8 Minuten bei einer Leistung von 25 Watt der IOD um 5 Prozent gesunken ist, nach 16 Minuten bei 50 Watt

um 15,86 Prozent, bei 75 Watt und 24 Minuten um 16,74 Prozent, bei 100 Watt sind wir bei einem IOD-Abfall um 17,31 Prozent und zum Schluss bei einer Wattzahl von 125 sogar bei einer Senkung von 25,65 Prozent (Shapiro et al., 1983). Der Abfall des IOD von 5 Prozent auf 25,65 Prozent verdeutlicht nochmal die oben aufgestellte Annahme.

Tabelle 6: Mittlerer Augeninnendruck von Patienten mit einfachem chronischem Glaukom während des Belastungstests und des Ruhetests in mmHg (Shapiro et al., 1983).

**Table 1.** Mean intraocular pressure of chronic simple glaucoma patients during work load test and during rest test (in mm Hg)

Measurement	I	II	III	IV	V	VI
Time (a.m.)	9:08	9:16	9:24	9:32	9:40	9:48
No. of eyes	24	24	20	18	6	2
Work load (in watts)	0	25	50	75	100	125
Pressures at work load test	28.2 ± 9.4	24.0 ± 8.8	20.7 ± 8.8	19.9 ± 9.3	21.5 ± 4.8	14.5 ± 0.7
Pressures at rest test	26.9 ± 7.8	25.2 ± 6.8	24.6 ± 5.5	23.9 ± 5.8	26.0 ± 4.6	19.5 ± 2.1

Dass die Intensität der Belastung eine Rolle spielt, konnten wir in unserer vorliegenden Studie nicht beweisen. Gruppe 2, die eine Belastung von 80 Prozent ihrer maximalen Leistung abrief, erzielte kein deutlich besseres Ergebnis des MD-Wertes im Vorher/Nachher-Vergleich als die Gruppe 1 mit einer Belastung von nur 60 Prozent ihrer maximalen Belastung. Somit wirkt sich der größere Augeninnendrucksenkungseffekt nicht gleichzeitig auf den Visus aus.

Aus welchem Grund die höhere Intensität zu einem stärkeren IOD-Abfall führt, ist bis heute nicht geklärt. Jedoch können wir jetzt feststellen, dass dieser Effekt sich nicht auf den Visus weiter überträgt. Dies ist eine wichtige Erkenntnis.

Der physiologische Mechanismus, der für die Abnahme des Augeninnendrucks während des Trainings verantwortlich ist, konnte noch nicht endgültig geklärt werden, obwohl eine Anzahl möglicher Mechanismen postuliert werden kann (Kielar et al., 1975a). Fest steht jedoch, dass die schon geschädigten Sehnervenfasern durch die kurzfristige Senkung des IOD nicht wieder zu einer Übertragung der Signale fähig sind. Wir können hiermit ausschließen, dass beides im Zusammenhang steht.

Podos et al. (Podos et al., 1968) berichteten, dass eine direkte Beziehung zwischen dem Augeninnendruck und dem episkleralen Venendruck besteht. Sportliche Betätigung führt zu signifikanten Veränderungen der systemischen Gefäßdynamik und könnte möglicherweise den episkleralen Venendruck beeinflussen. Dies konnte in einer Studie von Stewart allerdings nicht bestätigt werden (Stewart et al., 1970b). In anderen Quellen finden wir, dass die Abnahme des Augeninnendrucks nach einer sportlichen Belastung auf den Anstieg des Laktatspiegels im Blut und den damit einhergehenden Rückgang des pH-Werts zurückzuführen ist (Marcus et al., 1970a). Dies wurde in einer Studie von Kielar jedoch widerlegt, da die Forschungsgruppe den Anstieg der Parameter nur bei anaeroben Übungen feststellte. Sie kamen zu dem Schluss, dass der Hauptgrund für die Senkung des IOD woanders liegen muss (Kielar et al., 1975b).

Es ist bekannt, dass der IOD durch plötzliche Änderungen der Plasma-Osmolarität verändert wird (Galín et al., 1963). Nach dem Training tritt eine konstante Erhöhung der Serum-Osmolarität auf (Margaria, 1930). Stewart (Stewart et al., 1970b) stellten jedoch fest, dass Bewegung größere Änderungen des Augeninnendrucks hervorruft als orale Glycerindosen bei gleicher Änderung der Serum-Osmolarität. Es wurde auch vermutet, dass die Ausübung von Sport die Abflussmöglichkeit im Auge selbst erhöht. Die Abflusskanäle des Auges, insbesondere der Schlemmsche Kanal, zeigen nämlich fibrinolytische Aktivität (Pandolfi and Kwaan, 1967). Eine solche Fibrinolyse kann somit an der Regulierung des Augeninnendrucks mitwirken, da sie dabei unterstützt, die Verstopfung der wässrigen Ausflusswege zu verhindern. Da Bewegung die systemische fibrinolytische Aktivität erhöht (Biggs et al., 1947), kann man beobachten, dass Bewegung den Augeninnendruck verringert, indem die Abflussmöglichkeit erhöht wird, obwohl eine Studie keine Veränderung der Abflussmöglichkeit ergab, wenn sie unmittelbar nach dem Training gemessen wird (Stewart et al., 1970b).

Es wurde auch versucht, einen verminderten Augeninnendruck mit hämodynamischen Faktoren wie Herzfrequenz, maximalem systolischen oder diastolischen Blutdruck vor und nach dem Training in Verbindung zu bringen. Dieser Zusammenhang wurde jedoch nicht bestätigt (Passo et al., 1987). Die Tendenz, dass ein erhöhter Blutdruck und eine erhöhte Herzfrequenz zu einem verbesserten MD-Wert führen, konnten wir in unserer Studie auch nicht festmachen (siehe Punkt 4.9).

Des Weiteren wird Hormonen bei der Regulation des IOD beim Sport ein wichtiger Einfluss zugesprochen, vor allem sind dies Corticotropin, Vasopressin, Thyroxin, Insulin, Glukokortikoide und Mineralokortikoide. Jedoch spielen auch das Melanozyten-stimulierende Hormon, Progesteron, Östrogen, Choriongonadotropin, Relaxin und auch Wachstumshormone eine Rolle bei der Regulierung des Augeninnendrucks. Einige dieser Hormone nehmen bei sportlicher Aktivität zu, während andere den Intraokular-druck senken. Die von Kass und Sears groß angelegte Studie wurde allerdings vor allem an Kaninchen und Katzen erforscht und ist nicht zu hundert Prozent auf den Menschen zu übertragen, leitet einen aber in die richtige Richtung (Kass and Sears, 1977).

Seretonin-Injektionen bei Hunden und Kaninchen zeigten ebenfalls eine Senkung des IOD. Dieser Effekt war unabhängig von einer Änderung des systemischen Blutdrucks (Schumacher and Classen, 1962).

Die Stimulation des sympathischen Nervensystems durch bevorstehenden sowie auch während der Übung erzeugten Stresses ist literarisch gut dokumentiert. Dadurch werden große Mengen von Adrenalin und Noradrenalin aus dem Nebennierenmark freigesetzt (Hall, 2010, Richards, 1967). Diese Sympathomimetika wurden früher oft als augendrucksenkendes Medikament bei der Therapie des Glaukoms eingesetzt. Über die Beta-2-Rezeptoren führt es zu einem verbesserten Abfluss und über die Alpha-2-Rezeptoren kommt es zu einer geringeren Produktion von Kammerwasser (Kleinert, 1955).

Es zeigte sich, dass Patienten mit primärem Offenwinkelglaukom empfindlicher auf Epinephrine reagieren als normotensive Patienten. Dies wurde auch in vitro bestätigt beim Vergleich von primär-Offenwinkelglaukom-Patienten und nicht-glaukomatösen Personen (Becker et al., 1977).

Adrenalin produziert viele seiner Wirkungen durch Stimulierung der Synthese von cyclischem Adenosinmonophosphat. cAMP reguliert die Aktivität von Proteinkinasen. Diese wiederum phosphorylieren und aktivieren oder hemmen dadurch Schlüsselenzyme, die intrazellulär Stoffwechselwege steuern (Sutherland et al., 1965). Es wurde gezeigt, dass der IOD durch die Aktivierung von cAMP sinkt, da so die Kammerwasserproduktion herabgestuft wird (Sears and Mead, 1983).

Die sportliche Bewegung verursacht unterschiedliche Hormonmechanismen, die anscheinend eine Augeninnendrucksenkung zur Folge haben. Dies hat natürlich wiederum auch eine Auswirkung auf die Elektrolyte und somit auf die Elektrolyttransportenzyme. Wenn man bedenkt, dass die beiden wichtigsten Transporter bei der Bildung des Kammerwassers, die  $\text{Na}^+/\text{H}^+$ -Antiporter und  $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ -Antiporter, auf die Carboanhydrase angewiesen sind (Schmidt et al., 2011), so ist es durchaus möglich, dass Antagonisten dieser Enzymsysteme die Kammerwasserproduktion reduzieren. Es würde zu einer IOD-Senkung führen.

Alle diese Erkenntnisse lassen darauf schließen, dass die Senkung des Augeninnendrucks von Hormonen beeinflusst wird, auch wenn der genaue Mechanismus nicht bekannt ist, sofern es wirklich nur ein Mechanismus ist und nicht vielleicht auch die Kopplung verschiedener. Dies bestätigte auch die in vitro dargestellte Reaktion, dass Glaukom-Patienten empfindlicher auf Enzyme wie die Adenylatcyclase reagieren und es somit zu einem stärkeren und längeren Abfall des IOD kommt.

Wir können durch die erzielten Ergebnisse nur belegen, dass die Intensität der sportlichen Belastung keine stärkere oder bessere Wirkung hat in Bezug auf den MD-Wert. Wir erforschten nicht den Mechanismus, sondern nur die Auswirkung dessen.

#### **5.4 MD-Score und seine Aussagekraft**

Als Referenzwert dieser Studie wurde die mittlere Defekttiefe, auch Mean Deviation (MD) genannt, genutzt. Er wird als Mittelwert aller Differenzwerte berechnet und kann so einen Vergleich zum Normalwert darstellen. Das Wichtigste ist, dass er altersunabhängig ist. Die Einheit der Mean Deviation ist das Dezibel und die Formel dafür lautet:

$$MD = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (z_i - \bar{x}_i)$$

Der Hersteller des Perimeters, Haag-Streit, gibt an, dass der MD-Wert der wichtigste Index für das Defektausmaß ist und sich mit ihm die Entwicklung des Gesichtsfeldes am besten analysieren lässt.

Auch Chauhan kam zu dem Ergebnis, dass der Gesichtsfeldscore MD als Verlaufsentwicklung bei Glaukomen eingesetzt werden kann. Er gibt jedoch auch an, dass dieser nicht so exakt wie andere Parameter ist. Doch muss man dies unter Vorbehalt betrachten, da diese Studie nun schon 29 Jahre zurückliegt (Chauhan et al., 1990). Seitdem

sind neue Perimeter auf den Markt gelangt, die deutlich genauer arbeiten und somit das Ergebnis verfeinert haben.

Auch die groß angelegten Glaukom-Studien wie die Ocular Hypertension Treatment Study (OHTS) oder European Glaucoma Prevention Study (EGPS) nahmen die Mean Deviation als Einschlusskriterium an. Sie durfte einen gewissen Wert nicht überschreiten (Gordon and Kass, 1999, EUROBATS Secretariat, 2004). Dies zeigt den Stellenwert dieses Scores.

In einer neueren Studie wurde der MD-Wert mit dem P-Score und der Anzahl der absoluten Skotome verglichen. Bei diesem Langzeitvergleich dominierte der MD-Wert. Der P-Score und auch die absoluten Skotome wiesen sowohl mehr Schwankungen als auch große Variationsbreiten auf (Bardenheuer, 2008).

Da in unserer Studie weder ein Langzeitverlauf noch eine Glaukom-Früherkennung bedacht wurden, war es wichtig, die Schwankungen der Messungen gering zu halten. So fiel die Entscheidung auf den MD-Wert. Es konnte zwar nicht der gewünschte Effekt mit der Studie nachgewiesen werden, jedoch lässt sich zum MD-Wert eine wichtige Erkenntnis nennen. Die Schwankungen des MD-Wertes sind äußerst gering. Die Ergebnisse der Probanden im Vorher/Nachher-Vergleich ähneln sich sehr, sodass man sagen kann, dass die Messmethode keine Streuung zulässt. Dies sind gegebenenfalls wichtige Erkenntnisse für folgende Studien.

## **5.5 Trainingseffekt Gesichtsfeld**

Ein wichtiger Faktor in dieser Studie, der zu minimieren war, ist der Lerneffekt. Dieser bezieht sich auf das Gesichtsfeld und besagt, dass Patienten eine Verbesserung ihres Gesichtsfeld-Ergebnisses erzielen, je häufiger sie eins durchführen. Dies gilt jedoch vor allem für die ersten paar durchgeführten Messungen. Ob dieser Lerneffekt realistisch ist oder nicht, darüber wird in der Literatur gestritten (Drance et al., 1967, Katz and Sommer, 1986, Heijl et al., 1987, Heijl et al., 1989, Wild et al., 1991, Investigators, 1994, Heijl and Bengtsson, 1996, Gillespie et al., 2003).

Die beiden Studien um Drance et al. und Katz und Sommer fanden keinen Lerneffekt bezüglich des Gesichtsfeldes bei wiederholter Durchführung. Wobei sich die erste Forschungsgruppe nicht ganz sicher war, da sie vermuteten, dass der Ermüdungseffekt den Lerneffekt überschattete (Drance et al., 1967). Hingegen waren die Forscher der

zweitgenannten Studie absolut sicher, dass weder ein Lern- noch Ermüdungseffekt nachweisbar ist (Katz and Sommer, 1986).

Die restlichen oben genannten Autoren konnten in unterschiedlichem Ausmaß einen Lerneffekt nachweisen. Gillespie berichtet einen kleinen, aber signifikanten Lerneffekt bei der Advanced Glaucoma Intervention Study (AGIS) für den CIGTS-VF-Score, aber auch für den MD-Wert (Gillespie et al., 2003). Interessant sind auch die Feststellungen von Heijl, Lindgren et al. Sie geben an, dass ein Lerneffekt bei ungeübten Patienten eintritt. Dieser Effekt ist umso stärker, je mehr die Patienten von dem Normergebnis abweichen. Dieser Lerneffekt stellt sich aber nach wenigen Wiederholungen ein und passt sich den realistischen Ergebnissen an. Zusätzlich fanden sie heraus, dass der Lerneffekt in der Peripherie größer ist als zentral und dass bei einem 30°-Gesichtsfeld somit der Lerneffekt geringer ausfällt (Heijl et al., 1989).

Da hier mit dem Perimeter Octopus 900 mit einem Gesichtsfeldprogramm von 30° gearbeitet wurde, betrifft diese Studie den Lerneffekt nur in geringerem Maß. Um diesen Effekt jedoch weiter zu minimieren und die erhaltenen Ergebnisse nicht zu verfälschen, wurde auf unerfahrene Probanden bezüglich der Gesichtsfeldmessung verzichtet. So konnte der Lerneffekt gegen Null gehalten werden. Andererseits konnte so der Lerneffekt auch weder bestätigt noch widerlegt werden, was jedoch auch nicht Ziel der Studie war. Zudem gibt es hierzu schon genügend literarische Angaben. So konnte hier nur ein weiteres Mal festgestellt werden, dass die Messungen sehr geringe Schwankungen aufweisen.

## **5.6 Unterschied linkes vs. rechtes Auge**

Die aufgenommenen Daten wiesen eine interessante Auffälligkeit auf. Dabei spielte der Sport keine Rolle. Und zwar gab es beim Vergleich des MD-Wertes des rechten und linken Auges deutliche Unterschiede, und das sowohl vor als auch nach dem Sport. Diese Unterschiede wurden nicht wesentlich durch die Aktivität verändert. Das rechte Auge erzielte durchschnittlich ein um 2 dB besseres Ergebnis als das linke Auge. Die Gründe hierfür konnten in dieser Studie nicht sicher festgestellt werden. Es gibt mehrere Ursachen, die in Frage kommen könnten. Zunächst könnte die Reihenfolge der Messung eine Rolle spielen. Das rechte Auge wurde beim Gesichtsfeld stets zuerst gemessen. Es könnte sein, dass es zu einer Ermüdung des Patienten nach der

ersten Messung kam und dadurch das zweite gemessene Auge ein schlechteres Ergebnis erzielte. Jedoch prüft das Perimeter die Aufmerksamkeit und Mitarbeit des jeweiligen Prüflings, damit man sehen kann, wie aussagekräftig das angefertigte Gesichtsfeld ist. Da sich auch hier keine wesentlichen Unterschiede aufzeigten, fällt dies wohl nicht ins Gewicht.

Eine andere Erklärung für die Differenz zwischen den beiden Augen könnte mit dem Zufall begründet werden. Dass unser Probandenkollektiv mit 60 Probanden einfach nicht repräsentativ für die Allgemeinheit der Glaukom-Erkrankten ist. Dass die Differenz von 2 dB nur in unserem kleinen Probandenkollektiv vorkommt, dies jedoch keine allgemein gültige These ist. Wirft man einen Blick in die Literatur, so findet man sehr wenig zum Thema Messungsdifferenz zwischen rechtem und linkem Auge. Dies kann entweder daran liegen, dass darauf in den Glaukom-Studien nicht geachtet wurde oder, und dies ist deutlich wahrscheinlicher, dass es in anderen Studien zu keinen Auffälligkeiten in diesem Bereich kam.

Insgesamt gibt es leider nur eine einzige Studie, die sich mit dieser Problematik auseinandersetzt. Jedoch könnte man sich in den anderen Studien die Anzahl der untersuchten Augen anschauen. Sollte es wirklich der Fall sein, dass das linke Auge durch die Messungen schlechter abschneidet, so sollte sich das in den Zahlen der aufgenommenen oder operierten Augen darstellen.

Mit der AGIS wurde eine der größten durchgeführten Glaukom-Studien überhaupt zum Vergleich herangezogen. Insgesamt konnten nach den Ausschlusskriterien 401 Patienten und 505 Augen erfasst und kontrolliert werden. Dabei wurden 151 Augen in „Progressing“ und 354 in „Non-Progressing“ eingeteilt. Diese wurden dann jeweils noch in rechtes/linkes Auge aufgesplittet. Dabei kam es zu einem sehr ausgeglichenen Ergebnis mit RA: 77 und LA: 74 für die erstgenannte Unterteilung und einem etwas differenzierteren Ergebnis für die zweitgenannte Unterteilung mit RA: 162 und LA: 192 (Nouri-Mahdavi, 2004). Dies sind keine signifikanten Unterschiede, jedoch vielleicht eine Tendenz, die auch diese Studie darlegte.

Bei einer klinischen Studie zum Resultat einer Trabektom-Operation bei Offenwinkelglaukom wurde mit 101 Probanden gearbeitet sowie 51 rechten und 50 linken Augen (Minckler et al., 2006). Diese ausgeglichene Verteilung zeigt, dass beide Augen gleich oft betroffen scheinen, oder dass eine schlechtere Gesichtsfeldmessung für ein Auge nicht gleichzeitig ein höheres Risiko für eine Behandlung, in dem Fall eine Operation,

bedeutet beziehungsweise bedeuten muss. Eine eindeutige Antwort findet sich jedoch nicht.

Hayashi et al. untersuchten sowohl die Änderung der Winkel und die Tiefenänderung der vorderen Augenkammer nach einer Linsenimplantation bei Engwinkel- und Offenwinkelglaukomen als auch bei Augen ohne Glaukom-Anzeichen (Hayashi et al., 2000). Bei den Engwinkelglaukomen waren es insgesamt 43 rechte und 34 linke Augen, beim Offenwinkelglaukom 38 rechte und 35 linke Augen. Hier ist das Verhältnis im Gegensatz zur obigen Studie leicht zur rechten Seite verschoben.

Für die Risikoevaluation der DMEK (Descemet membrane endothelial keratoplasty) wurden die Probanden in Gruppen „ohne vorbekanntes Glaukom“ und in „vorbekanntes Glaukom“ unterteilt. Dabei kamen 44 rechte, 59 linke Augen und 5 rechte, 9 linke Augen zusammen (Honkomp, 2018).

Zur Bewertung der Trabektom-Operation bei japanischen Patienten, die unter einem Offenwinkelglaukom leiden, wurden 80 Probanden untersucht, wobei 44 rechte und 36 linke Augen betroffen waren (Maeda et al., 2013).

Auch die nächste Studie beschäftigte sich mit dem Resultat der Trabektom-Operation für Offenwinkelglaukome. Die Fallzahl mit 20 fiel jedoch geringer aus. Die Verteilung der Augen war 19 rechte und 18 linke Augen (Minckler et al., 2005).

Auch wenn die Studien keine signifikanten Ergebnisse für oder gegen unsere Theorie (Punkt 4.6) liefern, so zeigt sich, dass es gegebenenfalls eine positive Tendenz gibt, jedoch keine Signifikanz. Die bisher genannten Studien lassen einen Vergleich schwer zu, da das eigentliche Ziel der Studie ein anderes war. Sie zeigen lediglich eine mögliche Richtung, dass zwischen den beiden Augen eine Differenz besteht. Wohingegen die nächste Studie mehr Aufschluss in diesem Bereich der Mess-Reihenfolge gibt.

Die 2005 durchgeführte Studie beschäftigte sich mit der Untersuchungsreihenfolge bei Augenuntersuchungen. Augenmerk lag dabei auf der Tonometrie, dem HRT und auf dem Gesichtsfeld. Dabei wurde ein Humphrey Field Analyzer als Perimeter verwendet. Insgesamt wurden 70 Augen von 35 Probanden untersucht. Unter ihnen waren 15 männliche und 20 weibliche Probanden mit einer Altersspanne zwischen 18 und 75 Jahren. Zuerst wurden die Führungshand und anschließend das Führungsauge der Probanden ermittelt. Da die Literatur diesbezüglich wenig aufschlussreich ist, wollten die Studienführer einen Teil dazu beitragen, diese Lücke zu schließen. Jedoch konnten

keine signifikanten Unterschiede für oder gegen das Führungsauge dargestellt werden. Als Gesichtsfeldscore entschied man sich für die Mean Deviation, um einen festen und sicheren Vergleichswert zu haben. Für das rechte Auge betrug der MD-Wert durchschnittlich  $-1,20 \pm 1,67$  dB, für das linke  $-0,95 \pm 1,4$  dB. Die geringe Diskrepanz der Werte lässt sich jedoch steigern, wenn man die Untersuchungsreihenfolge der Augen ändert. Wird das rechte Auge zuerst gemessen, so ergeben sich für dieses Auge MD-Werte von  $-2,07 \pm 1,49$  und  $-0,99 \pm 0,98$  für das linke Auge. Wird jedoch das linke Auge zuerst untersucht, so reduziert sich die Differenz beider Augen wieder, wobei das linke Auge mit einem MD-Wert von  $-0,87 \pm 1,67$  im Gegensatz zum rechten Auge mit einem MD-Wert von  $-0,46 \pm 1,45$  besser abschneidet. Hier erkennt man deutlich, dass die Reihenfolge der Augenuntersuchung beim Gesichtsfeld mit einem Perimeter das Ergebnis beeinflusst. Das rechte Auge scheint auf eine Veränderung der Reihenfolge stärker zu reagieren als das linke. Insgesamt wurde das rechte Auge 16-mal zuerst gemessen und erzielte nur dreimal positivere Werte als das linke Auge. Links wurde 19-mal zuerst geprüft und hier erzielte man siebenmal positivere Werte im Vergleich zu rechts. Dabei ist aufgefallen, dass es beim zuerst gemessenen Auge, sei es links oder rechts, zu einer größeren Streuung kommt (Jüde, 2005). Diese Studie bestätigt die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie, auch wenn keine eindeutige Signifikanz geboten wird. Jedoch gibt es auch einige zu berücksichtigenden Kritikpunkte. Die Studie untersuchte die Reihenfolge nur an gesunden Probanden, die kein Glaukom oder anderweitige Erkrankungen aufwiesen. Dies ist natürlich ein wesentlicher Unterschied, jedoch kommt noch hinzu, dass die Probanden so keine Übung und Erfahrung an einem Perimeter mitbringen. Es kann ein Übungseffekt nicht hundertprozentig ausgeschlossen werden. Nichtsdestotrotz gibt es Parallelen bei den Ergebnissen beider Studien, die weiterer Forschungen bedürfen. Denn auch Jüde konnte sich die Diskrepanz der Werte nicht endgültig erklären und ließ die Frage offen, warum das rechte Auge deutlich bessere Ergebnisse liefert, wenn es als erstes untersucht wird.

## **5.7 Geschlechterunterschied bei der Gesichtsfeldanalyse**

Differenzen zwischen Mann und Frau in Bezug auf das Glaukom und das Gesichtsfeld sind bekannt. So wissen wir, dass Frauen häufiger an einem Glaukom leiden als Männer (Flammer, 2003a). Dies mag auch vielleicht daran liegen, dass Männer augenärztliche Praxen im Alter eher meiden als Frauen (Bertram et al., 2012). Dies konnten wir jedoch aufgrund unserer Ausrichtung unserer Studie nicht verfolgen oder belegen.

Unterschiede des Gesichtsfeldes beim Geschlecht sind beispielsweise, dass Männer eine größere Sensibilität für feine Details und sich schnell bewegende Reize haben, wohingegen Frauen besser verschiedene Farben unterscheiden können (Abramov et al., 2012a, Abramov et al., 2012b).

Wir konnten in unserer Studie jedoch keine großen Unterschiede bei den Geschlechtern feststellen. Die Diskrepanz der Augendefekte war nicht unnatürlich groß. Die einzig nennenswerte Auffälligkeit spiegelte sich bei der Analyse der Sportlichkeit der Probanden wider. Stellte sich heraus, dass die Frauen in ihrer Freizeit dreimal oder öfters Sport pro Woche betrieben, so konnte man auf dem linken Auge eine annähernd signifikante Verbesserung des MD-Wertes nach sportlicher Belastung feststellen. Für das rechte Auge blieb die eindeutige Signifikanz ebenfalls aus. Wieso dies nur bei den Frauen der Fall ist, ob es ein Zufallsbefund ist, es nur an unserer Kohorte liegt, das lässt sich nicht sagen und wartet auf eine Bestätigung oder Widerlegung durch eine Folgestudie.

## **5.8 Konzentrationsbeeinträchtigung durch Sport auf das Gesichtsfeld**

Dass Sport eine positive Wirkung auf den Körper hat, wird wohl jedem bekannt sein. Die meisten Menschen haben sicherlich auch schon von gesteigerten kognitiven Fähigkeiten nach sportlicher Bewegung gehört. Dazu gab es vor allem Anfang des 21. Jahrhunderts viele Studien an Schülern. Eine Pisa-Studie offenbarte, dass Schüler, die Gelegenheit bekommen, sich zwischen den Schulstunden oder sogar während des Unterrichts zu bewegen, deutlich besser in den Tests abschnitten. Den Ansatz dazu lieferte 2003 eine Pilotstudie (Breithecker and Dordel, 2003). In den Jahren darauf folgten Aufbaustudien, die die Beobachtung von Breithecker und Dordel bestätigten (Fessler et al., 2008). Aufnahmefähigkeit und Konzentration werden durch Bewegung deutlich gesteigert. Lange hatten die Forscher keine Antwort darauf. Heute gibt es Vermutungen zur Erklärung des Wirkmechanismus. Diese komplexen und weitreichenden Erklärungen reichen von Lactat, das über bestimmte Transporter die Blut-hirnschranke überwinden kann, bis hin zu den Wachstumsfaktoren BDNF (brain-derived neurotrophic factor), VEGF (vascular endothelial growth factor) oder IGF-1 (insulin-like growth factor 1), die über die Stimulierung der Neurogenese zu einer Vergrößerung der Hirnsubstanz im Hippocampus führen könnten, der wiederum eine direkte Wirkung auf die kognitiven Fähigkeiten hat (Zimmer et al., 2015). Trotz der eindeutigen

literarischen Beweislage konnten wir die erhöhte Konzentration am Gesichtsfeld unserer Probanden nicht festmachen. Das Perimeter prüft die Aufmerksamkeit und Mitarbeit der Probanden durch zwei Abfrage-Methoden. Dabei gibt es sowohl eine falsch-negative als auch eine falsch-positive Testvariante, die das Perimeter automatisch während der Messung durchführt. So wurden in dieser Studie sowohl die falsch-negativen Fangfragen des Gesichtsfeldes vor der sportlichen Belastung mit denen nach der sportlichen Belastung verglichen. Das Gleiche wurde mit den falsch-positiven Fangfragen durchgeführt. Jedoch ließ sich bei beiden keine Signifikanz darstellen. Dies gilt sowohl für die Gruppe mit 60 Prozent ihrer maximalen Belastung als auch für die Gruppe mit 80 Prozent. Jedoch zeigte sich, dass der Sport zu keiner kognitiven Ermüdung der Probanden führte. Da die erste Messung zu einer anderen Tageszeit durchgeführt wurde als die zweite Messung, und man weiß, dass der Körper zirkadiane Schwankungen aufweist, könnte es daher sein, dass die Probanden tatsächlich kognitiv wacher nach der sportlichen Belastung waren, dies allerdings nicht den Daten zu entnehmen ist, da es mit dem Einfluss zirkadianer Schwankungen zusammenfiel. Denn bis auf neun Ausnahmen wurden ansonsten alle ersten Messungen am Vormittag durchgeführt. Wohingegen die zweite Messung erst am Nachmittag durchgeführt werden konnte. Diese zirkadiane Schwankung lässt sich mit einer Abbildung von Seiwert darstellen (Seiwert, 1999).

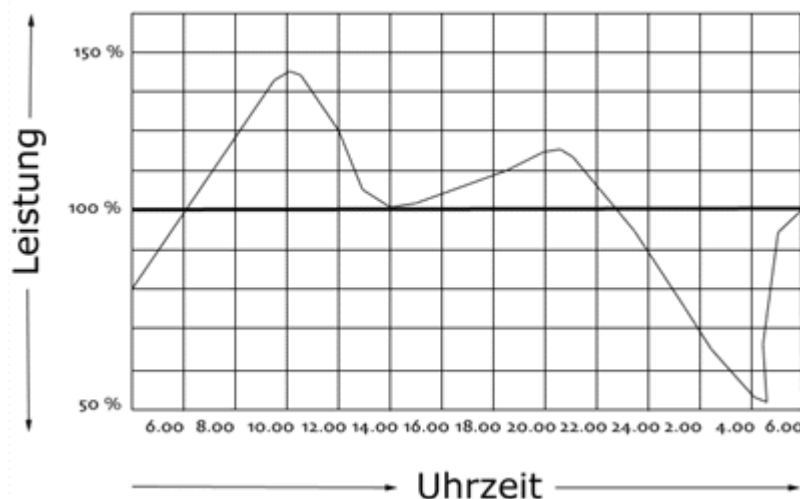


Abbildung 5: REFA-Normkurve, Durchschnittliche tägliche Leistungsbereitschaft und ihre zeitliche Schwankung (Seiwert, 1999).

Man erkennt deutlich, dass die zweite Messung, die nachmittags durchgeführt wurde, ein deutlich geringeres Leistungsniveau aufweist, wenn man nach der Grafik urteilt.

Zu berücksichtigen ist die unterschiedliche Atmosphäre bei den jeweiligen Messungen. Die erste Messung erfolgte am Vormittag der stationären Aufnahme. Die Patienten gaben an, diese Messung mit einer erhöhten Anspannung und Stress erlebt zu haben im Gegensatz zur Nachmittagsmessung, bei der in der Umgebung des Messungsraums weniger Betrieb und Unruhe herrschten. Dies wurde nach Patientenaussagen deutlich angenehmer empfunden. Die Konzentration kann durch einen gewissen Stresspegel steigen, überschreitet der Stressfaktor jedoch einen gewissen Wert, so kommt es zu einem Abbau der Leistung. Dies lässt sich ebenfalls wieder mit einem Diagramm darstellen, das in einer empirischen Studie „Achtsamkeit und Stress“ verwendet wurde (Simon, 2015).



Abbildung 6: Beziehung zwischen Stressniveau und Leistung nach Yerkes-Dodson (Yerkes and Dodson, 1908), zitiert nach (Mainka-Riedel, 2013).

Man erkennt den Parabelaufbau des Diagramms, indem die maximale Leistung genau am Scheitelpunkt liegt. Darüber hinaus ist der Stress zu groß, als dass noch die volle Leistung abrufbar wäre.

Die fehlende Veränderung bezüglich der Konzentration würde ebenfalls dafür sprechen, dass die Probanden nach der sportlichen Bewegung auf dem Radergometer zwar eine erhöhte Aufmerksamkeit haben, diese jedoch durch die zirkadiane Tageschwankung wieder gedämpft wurde. Auch lässt sich nicht sagen, wie sehr die Nervosität das Ergebnis des einzelnen Probanden beeinflusst hat. Da alle Probanden große Erfahrung am Perimeter mitbringen, ist dieser Einfluss als gering einzuschätzen.

## 5.9 TOP vs. Normalprogramm

Professor Manuel González de la Rosa, der Erfinder der Tendency-Oriented-Polarimetrie (TOP), entwickelte dieses Kurzprogramm mit diverser Hilfe stetig weiter. Und obwohl schon Anfang des Jahrhunderts Studien belegten, dass im Bereich der Mean Deviation das Kurzprogramm gleiche Werte liefert wie das Standardprogramm eines Octopus- oder eines Humphrey-Perimeters, so konnte es sich im klinischen Alltag nicht durchsetzen (Urbancic and Hawlina, 2002). Für die Diagnostik eines Glaukoms und seine Fortschreitung wurde am Perimeter bei einem 30°-Gesichtsfeld das Standardprogramm G2 beim Octopus oder das 24-2 beim Humphrey gewählt.

Jüngere Studien zeigen vergleichbare Ergebnisse. So verglich eine Forschungsgruppe das Octopus TOP und Humphrey 24-2 SITA Fast mit dem SITA Standardprogramm. Für die Kurzprogramme wurden 34 Patienten und 55 Augen untersucht, davon waren 17 männliche und 17 weibliche Probanden, deren Durchschnittsalter 63 Jahre betrug. Die Ergebnisse wurden mit denen des normalen Programms verglichen, an dem 38 Patienten, 64 Augen, darunter 18 Männer und 20 Frauen teilnahmen, mit einem Altersschnitt von 65 Jahren. Sowohl für die lange als auch für die schnelle Perimetrie zeigten beide Perimeter eine gute Übereinstimmung im direkten Vergleich (Rowe et al., 2014).

Natürlich ist es auch klar, dass durch unterschiedliche Messverfahren die Ergebnisse des jeweiligen Programms nicht 100 Prozent zu imitieren sind. Diese Unterschiede sind jedoch kleiner als die üblichen Schwankungen jeder einzelnen Messung, egal mit welchem Programm man sie durchführt. Beide können zur Diagnostik und zur Verlaufskontrolle verwendet werden. Der größte Unterschied liegt vor allem in der aufzubringenden Messzeit des Programms. Wie die hier aufgeführte Abbildung 7 deutlich aufzeigt,

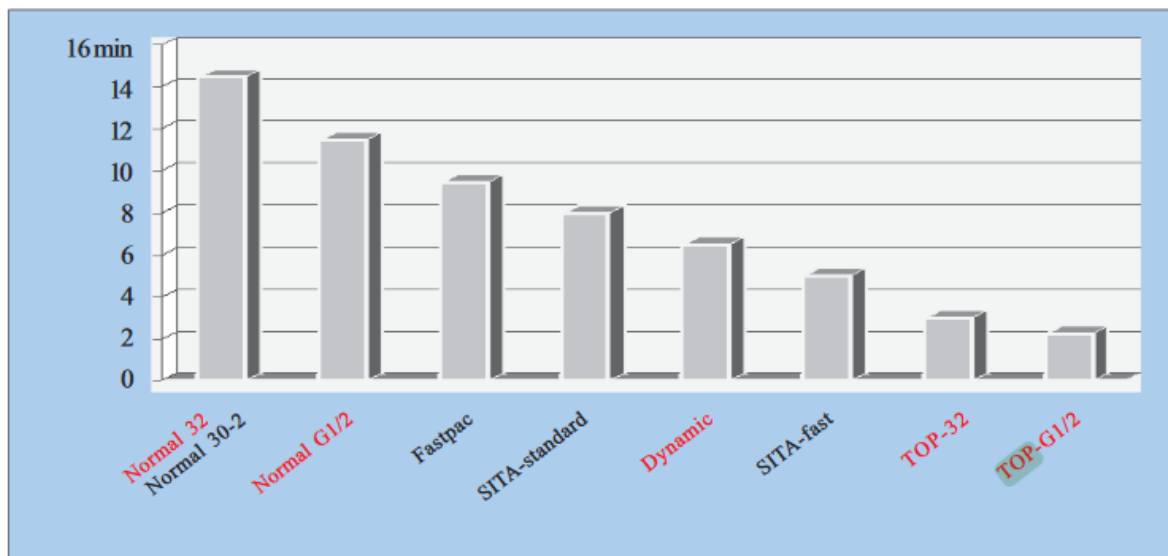


Abbildung 7: Vergleich der durchschnittlichen Testdauer der gängigsten Teststrategien in Minuten (OCTOPUS-Strategien in Rot) (Weijland et al., 2004).

ist das TOP-Programm das mit Abstand kürzeste Programm, gemessen in Minuten. Es benötigt nur circa zwei Minuten pro gemessenes Auge. Wohingegen das G-2-Programm von Octopus deutlich länger dauert. Die angegebene Dauer von elf Minuten wurde in dieser Studie jedoch nur einmal erreicht. Die durchschnittliche Erhebungszeit für das rechte Auge beim Normalprogramm belief sich auf 4,72 Minuten (280 Sekunden), für das Top-Programm 2,60 Minuten (158 Sekunden) und für das linke Auge waren es 4,61 Minuten (276 Sekunden) beziehungsweise 2,68 Minuten (160 Sekunden). Man sieht, dass die Probanden circa zwei Minuten weniger im Durchschnitt brauchen, um das Kurzprogramm zu absolvieren. Dies hat natürlich Auswirkungen auf die Konzentration und Mitarbeit der Patienten.

Durch den direkten Vergleich zwischen den Normal-Programm- und den TOP-Programm-Absolventen erkennt man eine Differenz der Ergebnisse. Die Probanden, die das Kurzprogramm durchliefen, schnitten deutlich besser ab im Vergleich zu den anderen Probanden.

Sowohl das rechte als auch das linke Auge weisen bei den TOP-Absolventen bessere MD-Werte auf nach dem Sport. Wir können trotz einer Verbesserung von -1,262 dB und -0,592 dB nicht von einer Signifikanz sprechen, da nur 8 beziehungsweise 12 Personen das Kurzprogramm hatten. Dieses Ergebnis ist im Kontext unserer Studie sehr schwierig einzuordnen. Wir haben keine signifikanten Ergebnisse. Würden sie erschei-

nen, würden wir das Probandenkollektiv vergrößern? Oder würde sich dann das gleiche Ergebnis darstellen wie beim Standardprogramm? Und noch viel schwieriger wäre zu beantworten, wieso sich der Visus nach dem Sport nur bei den Patienten des TOP-Programms verbessert und nicht bei allen? Liegt es nur an der Länge der Messung? An der Konzentration? Und wieso schneidet auch hier wieder das rechte Auge deutlich besser ab als das linke? Fragen, auf die wir zurzeit noch keine Antwort wissen. Antworten, die die Literatur uns leider auch nicht beantworten kann. Antworten, die wir in Folgestudien zu finden hoffen.

## 6 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Studie war es, die Auswirkung von sportlicher Belastung auf das Gesichtsfeld an Glaukom-Patienten zu erforschen.

Dazu wurden 60 Probanden, die unter verschiedenen Glaukomarten litten, untersucht. Die freiwilligen Teilnehmer unterzogen sich einer ersten Gesichtsfelduntersuchung am Perimeter Octopus 900. Diese Messung wurde dann mit der zweiten Gesichtsfelduntersuchung verglichen, welche die Probanden nach einer 15-minütigen sportlichen Belastung auf einem Radergometer durchführten. Dabei wurden die Patienten in zwei verschiedene Leistungsgruppen eingeteilt. Die Mean Deviation wurde als Vergleichscore ausgewählt.

Unsere Hauptthese konnte nicht direkt bestätigt werden, jedoch auch nicht mit kompletter Wahrscheinlichkeit widerlegt werden. Durch die sportliche Belastung kam es bei den Probanden, die das Standard-Programm durchgeführt haben, auf dem rechten Auge zu einer Verschlechterung, das linke blieb unverändert. Probanden, die das Kurzprogramm TOP erhielten, zeigten nach der sportlichen Belastung deutliche Verbesserungen, jedoch ohne eindeutige Signifikanz. Des Weiteren zeigte sich, je sportlicher die Probanden, desto besser schienen ihre MD-Werte nach dem Sport zu sein. Jedoch erhielten wir nur bei den Frauen hierzu eine annähernde Signifikanz auf dem linken Auge ( $p=0,057$ ).

Das rechte Auge weist im Durchschnitt einen um zwei dB besseren MD-Wert auf als das linke Auge, unabhängig davon, ob die Messung vor oder nach dem Sport verglichen wird. Dieses Phänomen bestätigt die Literatur, wobei man sagen muss, dass es ein zurzeit noch wenig erforschtes Thema ist. Es gab nur eine Quelle, die zum Vergleich der Werte herangezogen werden konnte.

Trotz der geringen Signifikanz der Studienergebnisse leistet diese Studie einen wertvollen Beitrag in einem bisher unerforschten Bereich des Glaukoms. Dies sollte dazu anregen, das Feld weiter zu erforschen. Die spärliche Literatur oder auch nicht vorhandene Literatur zu diesem Thema machte die Einordnung der Ergebnisse schwer und mangels Vergleichsstudien fehlten entscheidende Referenzen. So werden Folgestudien nötig und sinnvoll sein.

Grundbaustein wird es sein, zu verstehen, warum ein so großer Unterschied der Mean Deviation durch die Messreihenfolge der Augen entstehen kann und das rechte Auge stärker reagiert, wenn man die Messreihenfolge ändert. Zusätzlich sollte herausgefunden werden, ob unsere Grundthese gegebenenfalls doch bestätigt werden kann, wenn man nur mit dem Kurzprogramm TOP arbeitet. Und inwiefern man dieses Programm in den Klinikalltag einbauen kann beziehungsweise wie es zu den Messunterschieden kommen kann zwischen den verschiedenen Programmen. Eine Studie wird zurzeit von der Universitätsmedizin Mainz bereits geplant und sollte helfen, die Mechanismen besser zu verstehen.

## 7 Literaturverzeichnis:

- ABRAMOV, I., GORDON, J., FELDMAN, O. & CHAVARGA, A. 2012a. Sex & vision I: Spatio-temporal resolution. *Biology of Sex Differences*, 3, 20.
- ABRAMOV, I., GORDON, J., FELDMAN, O. & CHAVARGA, A. 2012b. Sex and vision II: color appearance of monochromatic lights. *Biology of sex differences*, 3, 21.
- AULHORN, E. & KARMEYER, H. J. D. O. P. S. 1977. Frequency distribution in early glaucomatous visual field defects. 14, 75-83.
- BARDENHEUER, V. 2008. Langzeitverlauf des Gesichtsfeldes bei verschiedenen Glaukomformen an der Klinik und Poliklinik für Augenkrankte der Universität Würzburg der Jahre 1985-2006.
- BEAR, M. F., CONNORS, B. W. & PARADISO, M. A. 2018. Das Auge. *Neurowissenschaften*. Springer.
- BECKER, B., MONTGOMERY, S. W., KASS, M. A. & SHIN, D. H. 1977. Increased ocular and systemic responsiveness to epinephrine in primary open-angle glaucoma. *Archives of Ophthalmology*, 95, 789-790.
- BERTRAM, B., GANTE, C. & HILGERS, R.-D. 2012. Die Patientenpopulation der augenärztlichen Praxen in Deutschland: Alter, Geschlecht und Diagnosen. *DMW-Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 137, 1629-1634.
- BIGGS, R., MACFARLANE, R. & PILLING, J. 1947. Observations on fibrinolysis experimental activity produced by exercise or adrenaline. *The Lancet*, 249, 402-405.
- BÖHM, A. J. K. M. F. A. 2005. Neuroprotektion beim Glaukom. 222, R4.
- BORG, G. 1998. *Borg's perceived exertion and pain scales*, Human kinetics.
- BREITHECKER, S. D.-D. & DORDEL, S. 2003. Bewegte Schule als Chance einer Förderung der Lern- und Leistungsfähigkeit. *Haltung und Bewegung*, 23, 5-15.
- CHAUHAN, B. C., DRANCE, S. M. & DOUGLAS, G. R. 1990. The use of visual field indices in detecting changes in the visual field in glaucoma. *Investigative ophthalmology & visual science*, 31, 512-520.
- COOPER, K. H., LEMPERT, P. & CULVER, J. F. J. A. M. 1965. EFFECT OF EXERCISE ON INTRAOCULAR TENSION AND ITS RELATIONSHIP TO OPEN ANGLE GLAUCOMA. 36, 51.
- DIESTELHORST, M. & PFEIFFER, N. 2001. Diskussionsrunde Konservative Glaukomtherapie. *Glaukom 2000*. Springer.
- DIESTELHORST, M. J. D. O. 1999. Kombinierte Katarakt- und Glaukomchirurgie. 96, 54-69.
- DRANCE, S. M., BERRY, V. & HUGHES, A. 1967. Studies on the effects of age on the central and peripheral isopters of the visual field in normal subjects. *American journal of ophthalmology*, 63, 1667-1672.
- ELSCHNIG, A. 1928. Glaukom. *Auge*. Springer.
- ERA, P., PÄRSSINEN, O., KALLINEN, M. & SUOMINEN, H. 1993. Effect of bicycle ergometer test on intraocular pressure in elderly athletes and controls. *Acta ophthalmologica*, 71, 301-307.
- EUROBATS SECRETARIAT. 2004. *EUROBATS: The Agreement on the Conservation of Populations of European Bats* [Online]. EUROBATS. Available: <http://www.eurobats.org/index.htm> [Accessed April 1 2009].
- FESSLER, N., STIBBE, G. & HABERER, E. 2008. Besser lernen durch Bewegung? Ergebnisse einer empirischen Studie in Hauptschulen. *The games must go on*, 250.
- FLAMMER, J. 2001. *Glaukom: ein Handbuch für Betroffene, eine Einführung für Interessierte, ein Nachschlagewerk für Eilige*, Huber.
- FLAMMER, J. 2003a. Glaukom. *Triton: Praha*, 417, 50.
- FLAMMER, J. J. T. P. 2003b. Glaukom. 417, 50.
- GALE, J., WELLS, A. P. & WILSON, G. J. S. O. O. 2009. Effects of exercise on ocular physiology and disease. 54, 349-355.
- GALIN, M. A., DAVIDSON, R. & PASMANIK, S. 1963. An osmotic comparison of urea and mannitol. *American journal of ophthalmology*, 55, 244-247.
- GILLESPIE, B. W., MUSCH, D. C., GUIRE, K. E., MILLS, R. P., LICHTER, P. R., JANZ, N. K. & WREN, P. A. 2003. The collaborative initial glaucoma treatment study: baseline visual field and test-retest variability. *Investigative ophthalmology & visual science*, 44, 2613-2620.
- GORDON, M. O. & KASS, M. A. 1999. The Ocular Hypertension Treatment Study: design and baseline description of the participants. *Archives of Ophthalmology*, 117, 573-583.
- GOTTSCHALK, K. 2007. Augenheilkunde. *Das Zweite—kompakt*. Springer.
- GREHN, F. 2003. Glaukom. *Augenheilkunde*. Springer.

- GREHN, F. 2012. Anatomie, Physiologie und Pathophysiologie des Auges. *Augenheilkunde*. Springer.
- GREHN, F. J. A. 2008. Glaukom. 295-318.
- GREWE, R. J. K. M. F. A. 1986. Zur Geschichte des Glaukoms. 188, 167-169.
- HALL, J. E. 2010. *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology E-Book: with STUDENT CONSULT Online Access*, Elsevier Health Sciences.
- HARRIS, A., MALINOVSKY, V. & MARTIN, B. 1994. Correlates of acute exercise-induced ocular hypotension. *Investigative ophthalmology & visual science*, 35, 3852-3857.
- HASSENSTEIN, A., SPITAL, G., SCHOLZ, F., HENSCHER, A., RICHARD, G. & PAULEIKHOFF, D. J. D. O. 2009. Optische Kohärenztomographie in der Makuladiagnostik. 106, 116-126.
- HAYASHI, K., HAYASHI, H., NAKAO, F. & HAYASHI, F. 2000. Changes in anterior chamber angle width and depth after intraocular lens implantation in eyes with glaucoma. *Ophthalmology*, 107, 698-703.
- HEIJL, A. & BENGTTSSON, B. 1996. The effect of perimetric experience in patients with glaucoma. *Archives of ophthalmology*, 114, 19-22.
- HEIJL, A., LINDGREN, G. & OLSSON, J. 1987. Normal variability of static perimetric threshold values across the central visual field. *Archives of ophthalmology*, 105, 1544-1549.
- HEIJL, A., LINDGREN, G. & OLSSON, J. 1989. The effect of perimetric experience in normal subjects. *Archives of ophthalmology*, 107, 81-86.
- HIMLER, D. 2011. *Makropapille & Glaukom*, Medizinische Universität.
- HOFFMANN, E. 2009. Neue Möglichkeiten in der Glaukomdiagnostik. *Der Ophthalmologe*, 106, 674-675.
- HOFFMANN, E., LAMPARTER, J., SCHMIDT, T. & SCHULZE, A. J. D. O. 2009. Glaukomdiagnostik und Verlaufskontrolle mit dem Heidelberg Retina Tomograph. 106, 687-695.
- HOFFMANN, E., PFEIFFER, N., BARLEON, L. & GRUS, F. 2006. Goldmann-Appplanationstonometrie und dynamische Konturtonometrie. *Der Ophthalmologe*, 103, 317-320.
- HOFFMANN, E. & SCHULZE, A. J. D. O. 2009. Glaukomdiagnostik mittels Scanning-Laser-Polarimetrie. 106, 696-701.
- HONKOMP, T. 2018. *Intraokulare Druckerhöhung und post-DMEK Glaukom*. Medizinische Fakultät Charité-Universitätsmedizin Berlin.
- HORNYKEWYCZ, K. & PILLUNAT, L. J. S. D. A. 2009. Das Normaldruckglaukom–Rückblick und Ausblick. 23, 209-212.
- HUMANBRAINNETWORK 2012. Sehorgan [Internet]. [zitiert am 16.03.2020]. URL: <http://teaching.thehumanbrain.info/neuroanatomie.php?kap=20>.
- INVESTIGATORS, A. G. I. S. 1994. Advanced glaucoma intervention study: 2. Visual field test scoring and reliability. *Ophthalmology*, 101, 1445-1455.
- JÜDE, H. T. H. 2005. Morphologische und funktionelle Parameter der Glaukomdiagnostik im intraindividuellen Seitenvergleich.
- KASS, M. A. & SEARS, M. L. 1977. Hormonal regulation of intraocular pressure. *Survey of ophthalmology*, 22, 153-176.
- KATZ, J. & SOMMER, A. 1986. Asymmetry and variation in the normal hill of vision. *Archives of ophthalmology*, 104, 65-68.
- KIELAR, R., TERASLINNA, P., ROWE, D. & JACKSON, J. 1975a. Standardized aerobic and anaerobic exercise: differential effects on intraocular tension, blood pH, and lactate. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 14, 782-785.
- KIELAR, R., TERASLINNA, P., ROWE, D., JACKSON, J. J. I. O. & SCIENCE, V. 1975b. Standardized aerobic and anaerobic exercise: differential effects on intraocular tension, blood pH, and lactate. 14, 782-785.
- KLEINERT, H. 1955. Über das Zustandekommen der augendrucksenkenden Wirkung des Adrenalins und anderer gefäßverengender Pharmaka. *Albrecht von Graefes Archiv für Ophthalmologie*, 157, 24-39.
- KNAUER, C. & PFEIFFER, N. J. D. O. 2006. Erblindung in Deutschland–heute und 2030. 103, 735-741.
- KYPKE, W. & HERMANNSPANN, U. 1974. Glaucoma physical activity and sport (author's transl). *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 164, 321.
- LAUBER, H. L. 2013. *Das Gesichtsfeld: Untersuchungsgrundlagen, Physiologie und Pathologie*, Springer-Verlag.
- LEIGHTON, D. 1972. Effect of walking on the ocular tension in open-angle glaucoma. *The British journal of ophthalmology*, 56, 126.
- LEMPERT, P., COOPER, K. H., CULVER, J. F. & TREDICI, T. J. 1967. The effect of exercise on intraocular pressure. *American Journal of Ophthalmology*, 63, 1673-1676.
- LEYDHECKER, W. 1991. Der Augeninnendruck bei Gesunden. *Die Glaukome in der Praxis*. Springer.
- LEYDHECKER, W. 2013. *Glaukom: ein handbuch*, Springer-Verlag.

- LÖLLGEN, H. 2004. Das Anstrengungsempfinden (RPE, Borg-Skala). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55, 299-300.
- LÖW, U. & SEITZ, B. J. K. M. F. A. 2015. Gonioskopie—eine vergessene Untersuchungsmethode? 232, 697-711.
- MAEDA, M., WATANABE, M. & ICHIKAWA, K. 2013. Evaluation of trabectome in open-angle glaucoma. *Journal of glaucoma*, 22, 205-208.
- MAINKA-RIEDEL, M. 2013. Stressmanagement—stabil trotz Gegenwind. *Wie sie ihren eigenen weg zu gesunder leistungsfähigkeit*.
- MARCUS, D. F., KRUPIN, T., PODOS, S. M. & BECKER, B. 1970a. The effect of exercise on intraocular pressure: II. Rabbits. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 9, 753-757.
- MARCUS, D. F., KRUPIN, T., PODOS, S. M., BECKER, B. J. I. O. & SCIENCE, V. 1970b. The effect of exercise on intraocular pressure: I. Human beings. 9, 749-752.
- MARGARIA, R. 1930. The vapour pressure of normal human blood. *The Journal of physiology*, 70, 417-433.
- MEDINA, A. M. C., DOS ANJOS LIMA, N. V., DOS SANTOS, R. C. R., PEREIRA, M. C. A. & DOS SANTOS, P. M. 2007a. Efeitos da leitura, exercício e exercício sob leitura na pressão intraocular de portadores de glaucoma primário de ângulo aberto ou hipertensão ocular controlados. *Arq Bras Oftalmol*, 70, 115-9.
- MEDINA, A. M. C., LIMA, N. V. D. A., SANTOS, R. C. R. D., PEREIRA, M. C. A. & SANTOS, P. M. D. 2007b. Effects of reading, exercise and exercise combined with reading on intraocular pressure for patients sustaining primary glaucoma (open angle) or ocular hypertension, both clinically controlled with topic medication. *Arquivos brasileiros de oftalmologia*, 70, 115-119.
- MENSINK, G. 2003. Bundes-gesundheitssurvey: Körperliche aktivität.
- MINCKLER, D., BAERVELDT, G., RAMIREZ, M. A., MOSAED, S., WILSON, R., SHAARAWY, T., ZACK, B., DUSTIN, L. & FRANCIS, B. 2006. Clinical results with the Trabectome, a novel surgical device for treatment of open-angle glaucoma. *Transactions of the American Ophthalmological Society*, 104, 40.
- MINCKLER, D. S., BAERVELDT, G., ALFARO, M. R. & FRANCIS, B. A. 2005. Clinical results with the Trabectome for treatment of open-angle glaucoma. *Ophthalmology*, 112, 962-967.
- NATSIS, K., ASOUHIDOU, I., NOUSIOS, G., CHATZIBALIS, T., VLASIS, K. & KARABATAKIS, V. 2009. Aerobic exercise and intraocular pressure in normotensive and glaucoma patients. *BMC ophthalmology*, 9, 6.
- NOURI-MAHDAVI, K. 2004. Predikitive factors for glaucomatous visual field progression in the Advanced Glaucoma Intervention Study. *Ophthalmology*, 111 (9), 1627-1635.
- PANDOLFI, M. & KWAAN, H. C. 1967. Fibrinolysis in the anterior segment of the eye. *Archives of Ophthalmology*, 77, 99-104.
- PASSO, M. S., GOLDBERG, L., ELLIOT, D. L. & VAN BUSKIRK, E. M. 1987. Exercise conditioning and intraocular pressure. *American journal of ophthalmology*, 103, 754-757.
- PASSO, M. S., GOLDBERG, L., ELLIOT, D. L. & VAN BUSKIRK, E. M. 1991. Exercise training reduces intraocular pressure among subjects suspected of having glaucoma. *Archives of Ophthalmology*, 109, 1096-1098.
- PATE, R. R., PRATT, M., BLAIR, S. N., HASKELL, W. L., MACERA, C. A., BOUCHARD, C., BUCHNER, D., ETTINGER, W., HEATH, G. W. & KING, A. C. J. J. 1995. Physical activity and public health: a recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. 273, 402-407.
- PAUL, H. 1999. *Lexikon der Optik: in zwei Bänden*, Springer.
- PFEIFFER, N. 2007. Definition des Glaukoms. *Homepage der DOG* ([http://www.dog.org/dogglaukom/publikation\\_definition\\_glaukom.html](http://www.dog.org/dogglaukom/publikation_definition_glaukom.html)).
- PLANGE, N. 2017. Glaukom. *Basiswissen Augenheilkunde*. Springer.
- PODOS, S. M., MINAS, T. F. & MACRI, F. J. 1968. A new instrument to measure episcleral venous pressure: comparison of normal eyes and eyes with primary open-angle glaucoma. *Archives of Ophthalmology*, 80, 209-213.
- PREUSS, M. 2013. *Glaukom und Sport. Auswirkungen einer Trainingsintervention auf den intraokularen Druck bei Patienten mit medikamentös eingestelltem primären chronischen Offenwinkel-und Normaldruckglaukom*. Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin.
- QURESHI, I. A. 1995a. The effects of mild, moderate, and severe exercise on intraocular pressure in glaucoma patients. *The Japanese journal of physiology*, 45, 561-569.
- QURESHI, I. A., WU, X. D., XI, X. R., YANG, J. & HUANG, Y. B. J. I. H. 1997. Resting intraocular pressure of steel factory workers is related to their physical fitness. 35, 259-263.
- QURESHI, I. A. J. T. J. J. O. P. 1995b. The effects of mild, moderate, and severe exercise on intraocular pressure in glaucoma patients. 45, 561-569.

- RICHARDS, J. 1967. The effect of 2% epinephrine on aqueous dynamics in the human eye. *Can J Ophthalmol*, 2, 259-265.
- ROUCOUX, A., GUITTON, D. & CROMMELINCK, M. J. E. B. R. 1980. Stimulation of the superior colliculus in the alert cat. 39, 75-85.
- ROWE, F. J., WISHART, M. & SPENCER, S. 2014. Perimetry comparisons for Octopus G TOP and dynamic programmes versus Humphrey 24-2 SITA Fast and SITA Standard programmes. *Ophthalmology Reserach*, 2, 24-42.
- SCHIEFER, U., PÄTZOLD, J. & DANNHEIM, F. J. D. O. 2005. Konventionelle Perimetrie Conventional techniques of visual field examination. 102, 627-646.
- SCHIEFER, U. & WILHELM, H. J. K. M. F. A. 1995. Gesichtsfeld-Kompendium-Interpretation perimetrischer Befunde Fachübergreifende diagnostische Maßnahmen. 206, 206-238.
- SCHILLER, J. 2010. *Einfluss von Sport und Bewegung auf den Augeninnendruck bei Gesunden- Vergleich von Ausdauer- und Kraftbelastungen*. Christian-Albrechts Universität Kiel.
- SCHMIDT, R. F., LANG, F. & HECKMANN, M. 2011. *Physiologie des Menschen: mit Pathophysiologie*, Springer-Verlag.
- SCHREMS, L., GMEINER, J., SCHREMS, W. A., LÄMMER, R., KRUSE, F. E. & MARDIN, C. Y. J. L. A.-D. M. Z. Ä. W. 2016. Primäres Offenwinkelglaukom–Krankheitsbild und Früherkennung. 6, 170-174.
- SCHUMACHER, H. & CLASSEN, H. 1962. The influence of 5-hydroxytryptamine on intraocular pressure. *Albrecht von Graefe's Archiv fur Ophthalmologie*, 164, 538-542.
- SEARS, M. & MEAD, A. 1983. A major pathway for the regulation of intraocular pressure. *International ophthalmology*, 6, 201-212.
- SEIWERT, L. 1999. *Das neue 1x1 des Zeitmanagement*, 21. Auflage, Offenbach.
- SHAPIRO, A., SHOENFELD, Y. & SHAPIRO, Y. 1978. The effect of standardised submaximal work load on intraocular pressure. *British Journal of Ophthalmology*, 62, 679-681.
- SHAPIRO, A., WOLF, E., FERBER, I. & MERIN, S. 1983. The effect of physical activity on the intraocular pressure of glaucomatous patients. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 52, 136-138.
- SHIELDS, M. B. & KRIEGLSTEIN, G. K. 2013. *Glaukom: Grundlagen Differentialdiagnose Therapie*, Springer-Verlag.
- SIMON, K. 2015. Achtsamkeit und Stress: Ergebnisse einer empirischen Studie.
- STEWART, R., LEBLANC, R. & BECKER, B. 1970a. Effects of exercise on aqueous dynamics. *American journal of ophthalmology*, 69, 245-248.
- STEWART, R., LEBLANC, R. & BECKER, B. J. A. J. O. O. 1970b. Effects of exercise on aqueous dynamics. 69, 245-248.
- STIEFELMEYER, S. 2002. *Das multifokale Musterelektroretinogramm bei Patienten mit Glaukom und Neuritis Nervi Optici*. Imu.
- SUTHERLAND, E. W., OYE, I. & BUTCHER, R. 1965. The action of epinephrine and the role of the adenyl cyclase system in hormone action. *Recent progress in hormone research*, 21, 623.
- THYLEFORS, B. & NEGREL, A. J. B. O. T. W. H. O. 1994. The global impact of glaucoma. 72, 323.
- URBANCIC, M. & HAWLINA, M. 2002. Comparison of fast strategies with normal threshold strategy using Octopus programme M2 in central field defects. *ZDRAVNISKI VESTNIK*, 71, II-131.
- VIEIRA, G. M., PENNA, E. P., MARQUES, M. B. & BEZERRA, R. F. J. A. B. D. O. 2003. The acute effects of resistance exercise on intraocular pressure. 66, 431-435.
- WEIJLAND, A., FANKHAUSER, F., BEBIE, H. & FLAMMER, J. 2004. Automated perimetry. *Visual Field Digest*, 5.
- WILD, J., SEARLE, A., DENGLER-HARLES, M. & O'NEILL, E. 1991. Long-term follow-up of baseline learning and fatigue effects in the automated perimetry of glaucoma and ocular hypertensive patients. *Acta ophthalmologica*, 69, 210-216.
- WOLFRAM, C. & PFEIFFER, N. J. D. O. G., MÜNCHEN GOOGLE SCHOLAR 2012. Weißbuch zur Situation der ophthalmologischen Versorgung in Deutschland.
- YERKES, R. M. & DODSON, J. D. 1908. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of comparative neurology and psychology*, 18, 459-482.
- ZANGWILL, L. M., WEINREB, R. N., BEISER, J. A., BERRY, C. C., CIOFFI, G. A., COLEMAN, A. L., TRICK, G., LIEBMANN, J. M., BRANDT, J. D. & PILTZ-SEYMOUR, J. R. J. A. O. O. 2005. Baseline topographic optic disc measurements are associated with the development of primary open-angle glaucoma: the Confocal Scanning Laser Ophthalmoscopy Ancillary Study to the Ocular Hypertension Treatment Study. 123, 1188-1197.
- ZIMMER, P., OBERSTE, M. & BLOCH, W. 2015. Einfluss von Sport auf das zentrale Nervensystem- Molekulare und zelluläre Wirkmechanismen. *German Journal of Sports Medicine/Deutsche Zeitschrift fur Sportmedizin*, 66.

## **8 Danksagung**

## 9 Curriculum Vitae