

**Aus dem Department für Augenheilkunde Tübingen
Forschungsinstitut für Augenheilkunde
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. E. Zrenner**

**Die Beurteilung des Gesichtsfeldes in der
Fahrtauglichkeitsbegutachtung**

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

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

**vorgelegt von
Bogomil Nikolov Voykov
aus
Sofia/Bulgarien**

2008

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. H. Wilhelm

2. Berichterstatter: Professor Dr. G. Schlote

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
1.1 Die Fahrerlaubnis-Verordnung und ihre Änderung	5
1.2 Das menschliche visuelle System	8
1.3 Die Sehschärfe	9
1.4 Das Gesichtsfeld	10
1.4.1 Kinetische Perimetrie	12
1.4.2 Statische Perimetrie	14
1.5 Der Gesichtsfeldausfall als Unfallrisikofaktor	16
1.6 Zielsetzung	17
2. Material und Methodik	18
2.1 Studienaufbau	18
2.1.1 Rekrutierung der Probanden	19
2.1.2 Die Fragebogen	20
2.1.3 Prüfung der Sehfunktionen	20
2.1.3.1 Sehschärfe	20
2.1.3.2 Gesichtsfeld	21
2.1.3.2.1 Hardware	22
2.1.3.3 Kontrastempfindlichkeit	22
2.1.3.4 Streulicht	22
2.1.3.5 Useful Field of View (UFOV)	22
2.1.4 Die augenärztliche Untersuchung	23
2.2 Das Gesichtsfeldmodell	23
2.2.1 Die Gutachter	24
2.2.2 Die Stufen	24
2.2.3 Die Zonen im Gesichtsfeld	26
2.2.4 Die Punkteverteilung	27
2.2.5 Das statistische Modell	28
2.2.5.1 Das Ziel	28
2.2.5.2 Das Verfahren	29
2.2.5.3 Die zwei getesteten Modelle	29
2.2.5.4 Korrelationsanalyse	29

2.2.5.5 Software	31
2.3 Test der Algorithmen.....	31
3. Ergebnisse.....	32
3.1 Demographische Daten und Augenerkrankungen.....	32
3.1.1 Demographische Analyse der Probanden	32
3.1.2 Augenerkrankungen und Abnormalitäten.....	33
3.2 Gesichtsfelderergebnisse	34
3.3 Algorithmus zur Erfassung „normaler“ Gesichtsfelder	35
3.3.1 Stufenverteilung.....	35
3.3.1.1 Das 4-Stufen-Modell	35
3.3.1.2 Das 2-Stufen-Modell	36
3.3.2 Die registrierten Ausfälle nach Zonen.....	37
3.3.3 Die Algorithmen.....	39
3.3.4 Korrelationsanalyse.....	41
3.4 Test der Algorithmen.....	41
4. Diskussion	43
4.1 Einschlussmethoden bei der „Relevance of glare sensitivity and impairment of visual function among European drivers“ – Studie	43
4.2 Auswahl der Gesichtsfelder.....	45
4.3 Die Stufen-Modelle.....	46
4.4 Der überarbeitete Algorithmus	48
4.5 Andere Möglichkeiten?	49
4.6 Lerneffekte	52
5. Zusammenfassung.....	54
6. Glossar und Abkürzungen.....	57
7.Literaturverzeichnis	60
8. Danksagung.....	66
9. Lebenslauf	67

1. Einleitung

Eine wichtige Tätigkeit des Augenarztes ist die Fahreignungsbegutachtung. Der Augenarzt muss feststellen können, ob ein Bewerber um eine entsprechende Führerscheinklasse sicher am Straßenverkehr teilnehmen kann. Bei dieser, in manchen Fällen sehr herausfordernden Aufgabe, kann sich der Augenarzt auf seine Erfahrung und Sachkenntnisse verlassen. Er muss sich dabei auch an den Vorgaben der Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV) und der nachfolgenden Änderungsverordnung (FeVÄndV) orientieren. In komplizierten Fällen leisten die Empfehlungen der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft (DOG) zur Fahreignungsbegutachtung Hilfe. Trotzdem gibt es, wie oft in der Medizin, Fälle bei denen selbst für den erfahrensten Augenarzt nur sehr schwierig über die Fahrtauglichkeit einer Person zu entscheiden ist. Dabei spielen auch viele sozioökonomische Faktoren eine sehr wichtige Rolle, z.B. im Falle eines langjährigen LKW-Fahrers, der einen einseitigen Sehverlust erleidet, wodurch seine ganze wirtschaftliche Existenz gefährdet ist. Es ist dann leicht zu verstehen vor welchen Problemen ein weniger erfahrener Arzt bei der Führerscheinbegutachtung oft steht. Noch schwieriger ist es für den augenärztlich unerfahrenen Arbeits- oder Betriebsmediziner, der plötzlich vor der kaum zu bewältigenden Aufgabe steht, ein Gesichtsfeld interpretieren zu müssen und dabei eine sichere Entscheidung zu treffen.

1.1 Die Fahrerlaubnis-Verordnung und ihre Änderung

Am 1. Januar 1999 trat die neue „Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr“ (Fahrerlaubnis-Verordnung, FeV) in Kraft. Diese neue FeV brachte die Umsetzung der EU-Richtlinie vom 19. Juli 1991 in deutsches Recht. Da die FeV viele Unstimmigkeiten und Mängel aufwies, wurde am 7. August 2002 eine „Verordnung zur Änderung der Fahrerlaubnis-Verordnung und anderer straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften (FeVÄndV)“ verabschiedet und im Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil I Nr. 59 vom 23. August 2002 veröffentlicht.

Die FeV und die FeVÄndV beschreiben die vom Gesetzgeber festgelegten Mindestanforderungen an das Sehvermögen eines Führerscheinbewerbers oder – Inhabers. Für die Führerscheinklassen A, A1, B, BE, M, L und T verlangt der Gesetzgeber einen Sehtest mit Prüfung der zentralen Tagessehschärfe. Besteht der Bewerber diesen Sehtest nicht (zentrale Sehschärfe mit oder ohne Sehhilfen $< 0,7/0,7$), dann soll eine augenärztliche Untersuchung erfolgen. Dabei müssen die Mindestanforderungen bezüglich der zentralen Sehschärfe (0,5/0,2 bei Beidäugigkeit und 0,6 auf dem besseren Auge bei Einäugigkeit) sowie der übrigen Sehfunktionen (Gesichtsfeld und Augenbeweglichkeit) erfüllt sein (FeVÄndV, Anlage 6 sowie §12 Abs. 2 und Abs. 5) .

Für die Begutachtung der Fahrerlaubnisklassen C, C1, CE, C1E, D, D1, DE, D1E und der Fahrerlaubnis zur Fahrgastbeförderung (LKW-, Bus- oder Taxifahrer) ist eine Art „erweiterter“ Sehtest vorgesehen. Unter anderem sieht die FeVÄndV für die Bewerber dieser Klassen eine Untersuchung des Sehvermögens, einschließlich der seit 1991 in der EU-Richtlinie geforderten Perimetrie, durch einen Augenarzt, einen Arzt mit der Gebietsbezeichnung „Arbeitsmedizin“, einen Arzt mit der Zusatzbezeichnung „Betriebsmedizin“, einen Arzt bei einer Begutachtungsstelle für Fahreignung, einen Arzt des Gesundheitsamtes oder einen anderen Arzt der öffentlichen Verwaltung vor (FeVÄndV, Anlage 6 sowie § 12 Abs. 6, § 48 Abs. 4 Nr. 4 und Abs. 5 Nr. 2). Die FeVÄndV gibt für die Klassen C, C1, CE, C1E, D, D1, DE, D1E und der Fahrerlaubnis zur Fahrgastbeförderung (LKW-, Bus- und Taxifahrer) eine Liste von Mindestanforderungen bezüglich der zentralen Tagessehschärfe und der übrigen Sehfunktionen (Farbsehen, Gesichtsfeld und Stereosehen) an. Hierbei muss die zentrale Tagessehschärfe des besseren Auges oder die beidäugige Gesamtsehschärfe 1,0 sein und die Sehschärfe des schlechteren Auges mindestens 0,8 sein. Neben der Prüfung der zentralen Sehschärfe muss noch eine Untersuchung des Farbsehens, des Gesichtsfeldes und des Stereosehens erfolgen. In allen Bereichen muss auf „Normalität“ oder „normale Funktion“ geprüft werden. Wenn davon abweichende Werte ermittelt werden, pathologische Befunde von Farbsehen, Gesichtsfeld oder Stereosehen erhoben werden oder wenn die Voraussetzungen bei der Untersuchung nicht

zweifelsfrei festgestellt werden können, ist zusätzlich eine vollständige augenärztliche Begutachtung erforderlich.

Genauer betrachtet für das Gesichtsfeld bei den Bewerbern der Führerscheinklassen C, C1, CE, C1E, D, D1, DE, D1E und der Fahrerlaubnis zur Fahrgastbeförderung (LKW-, Bus- und Taxifahrer), erfordern die FeV/FeVÄndV ein „normales“ Gesichtsfeld eines Auges oder ein gleichwertiges beidäugiges Gesichtsfeld mit einem horizontalen Durchmesser von mindestens 140 Grad, insbesondere muss das zentrale Gesichtsfeld bis 30 Grad „normal“ sein. Insgesamt sollte das Gesichtsfeld jedes Auges an mindestens 100 Orten geprüft werden. Das Gesichtsfeld muss mit einem automatischen Halbkugelperimeter geprüft werden, das mit einer überschwelligen Prüfmethodik das Gesichtsfeld bis 70 Grad nach beiden Seiten und bis 30 Grad nach oben und unten untersucht. Ergeben sich unklare Defekte oder steht nicht zweifelsfrei fest, dass die Mindestanforderungen erfüllt werden, so hat eine Nachprüfung mit einem manuellen Perimeter nach Goldmann mit der Marke III/4e zu erfolgen.

Laut den Empfehlungen der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft und des Berufsverbandes der Augenärzte Deutschlands muss der zentrale 20-Grad-Bereich des Gesichtsfeldes (mit Ausnahme des blinden Flecks) völlig frei von relativen oder absoluten Defekten sein. Bis zu 60 Grad Exzentrizität dürfen maximal zwei relative oder absolute Defekte auftreten, allerdings nicht in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander. Im Randbereich des Gesichtsfeldes, z.B. nach oben sind Defekte zulässig (Oberlidartefakte). Bei der manuellen Perimetrie sollen mindestens vier Prüfmarken (z.B. III/4, I/4, I/2 und I/1) an jeweils mindestens 12 Orten pro Prüfmarke geprüft werden.

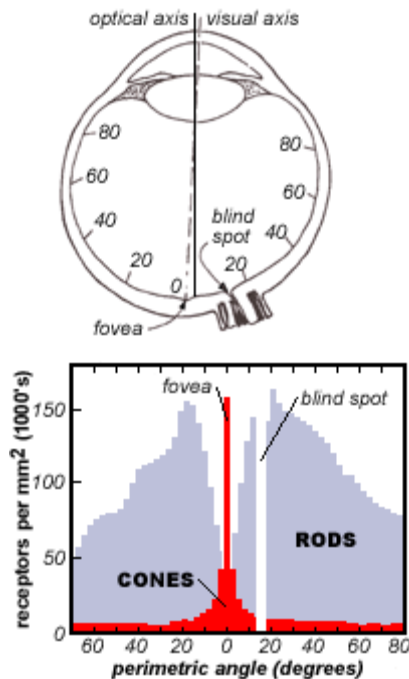
Es ist hier anzumerken, dass 2697 Arbeitsmediziner (Stand 31.12.2005, Bundesärztekammer) von den Änderungen der Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV und FeVÄndV) betroffen sind und sich mit der Fahreignungsbegutachtung und deren Komponente vertraut machen müssen, wenn sie gutachterlich tätig sein wollen. Auf der anderen Seite stehen viele Tausende von professionellen Fahrern (LKW-, Bus- und Taxifahrer), die nun nicht nur durch einen Augenarzt, sondern auch durch Ärzte mit anderen Gebietsbezeichnungen begutachtet

werden dürfen, und nicht zuletzt auch die gesamte Gesellschaft, die die Gesamtkosten und Mängel bei einer unzureichenden Begutachtung tragen muss.

1.2 Das menschliche visuelle System

Das menschliche Sehsystem ist auf einer gewissen „Dualität“ aufgebaut, so dass die Netzhautmitte und die Netzhautperipherie unterschiedliche Aufgaben erfüllen. Die Fovea besitzt eine hohe Detailauflösung, eine hohe Unterschiedsempfindlichkeit für Licht und Farben und ein gutes Wahrnehmungsvermögen für langsame Bewegungen um die genauere Identifizierung von Objekten, die dort abgebildet werden, zu ermöglichen. Eine hohe zeitliche Auflösung und ein gutes Wahrnehmungsvermögen für schnelle Bewegungen dagegen prädestinieren die Peripherie für die rasche Erfassung von Gefahrenobjekten, deren genaue Identifizierung nach Blickzuwendung in der Fovea erfolgt. Die Verbindung zwischen diesem dualen Prinzip der visuellen Wahrnehmung beim Menschen liefert das sakkadische System, also das kortikale System, das die Triggerung von Blickzuwendungssakkaden steuert (Crone 1977; Lachenmayr 2006).

Diese „Dualität“ des menschlichen visuellen Systems wird noch deutlicher wenn man die Morphologie der Netzhaut betrachtet. Im Zentrum der Netzhaut, in der Foveola, haben die Zapfen eine sehr hohe Dichte von ca. 200.000 1/mm², was für eine hohe räumliche Auflösung und eine „Spektralanalyse“ durch die spektral unterschiedlichen Zapfentypen, allerdings auf Kosten der zeitlichen Auflösung und des Kontrastsehens, sorgt. Die Stäbchen sind dagegen größtenteils in der Peripherie lokalisiert. Dennoch soll betont werden, dass sowohl Zapfen als auch Stäbchen in der gesamten Netzhaut des Menschen mit unterschiedlicher Dichte vorkommen (Abbildung 1.1). Eine Ausnahme hier sind die innersten Bezirke der Foveola, in denen sich keine Stäbchen befinden, so dass im Dunkeln ein physiologisches Zentralskotom auftritt (Gandorfer 2002).



Für das sichere Verhalten im Straßenverkehr ist sowohl das Zusammenspiel dieser beiden Komponenten des Sehens, als auch ihre Funktion im Einzelnen, eine sehr wichtige Voraussetzung. Diese Funktionen des menschlichen visuellen Systems werden u.a. mit der Bestimmung der zentralen Sehschärfe und der Prüfung des Gesichtsfeldes erfasst.

Abbildung 1.1: Die Verteilung der Photorezeptoren in der menschlichen Retina (cones=Zapfen, rods=Stäbchen, blind spot=blinder Fleck; aus www.handprint.com/HP/WCL/color1.html).

1.3 Die Sehschärfe

Eine gute, ausreichende Sehschärfe ist sowohl zur sicheren Abschätzung der Relativgeschwindigkeit auf große Distanz (wichtig z.B. beim Überholen), als auch zur rechtzeitigen Erkennung von Hinweisschildern, Signalen und anderen Verkehrsteilnehmern unerlässlich. Für die Bestimmung der Sehschärfe gibt es eine Vielzahl von Prüfungsverfahren. Für die gutachterliche Untersuchung der Sehschärfe sind die ISO-Normen 8596/8597 und Teil 3 der DIN-Norm 58220 maßgeblich (siehe auch die Empfehlungen der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft und des Berufsverbandes der Augenärzte Deutschlands zur Fahreignungsbegutachtung für den Straßenverkehr, www.dog.org).

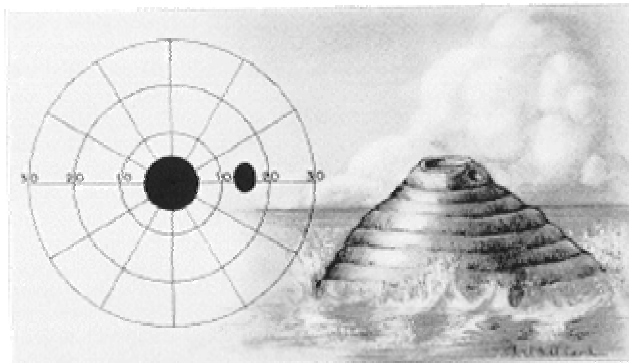
Die Rolle und die Wichtigkeit des Gesichtsfeldes für die sichere Teilnahme am Straßenverkehr sind jenen der zentralen Tagessehschärfe gleichzusetzen.

1.4 Das Gesichtsfeld

Unter dem Gesichtsfeld versteht man die Summe aller visuellen Sinneseindrücke, die ohne Blick-, Kopf- oder Rumpfbewegung (üblicherweise mit einem Auge) wahrgenommen werden können (Schiefer and Wilhelm 1995). Eine sehr interessante und anschauliche Vorstellung vom Gesichtsfeld bot Traquair, der 1939 das Gesichtsfeld mit einer Insel des Sehens, die aus dem „Meer der Blindheit“ ragt, verglich (Traquair 1939). Ihre höchste Stelle ist die Fovea. Die Peripherie fällt zum Meer der Blindheit hin verschieden steil ab und versinkt schließlich dort. Alle Löcher und Täler, die den natürlichen Abfall unterbrechen, werden als Gesichtsfelddefekte oder Skotome bezeichnet. Diese können nach ihrer Tiefe in relative und absolute Skotome unterteilt werden. Bei den absoluten Ausfällen können Reize auch mit maximaler Leuchtdichte nicht wahrgenommen werden, im Gegensatz zu den relativen Ausfällen, wo der Stimulus ab einer gewissen (über der altersentsprechenden Norm liegenden) Leuchtdichte noch wahrgenommen werden kann.

(Abbildung 1.2)

Abbildung 1.2: Insel des Sehens und Meer der Blindheit. Hier mit einem Zentralskotom dargestellt.



Die wesentlichen Messgrößen sind hierbei die Leuchtdichte (apostilb [asb] oder candela/m² [cd/m²]), Schwellenleuchtdichte (ΔL_{\min}) und Lichtunterschiedsempfindlichkeit (LUE, gemessen in Dezibel [dB]). Die Leuchtdichte zeigt die *absolute* Größe einer Lichtintensität. Das menschliche visuelle System besitzt jedoch nur eine begrenzte Fähigkeit diese wahrzunehmen. Vielmehr ist unser visuelles System an der Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden (also Kontrasten) angepasst, also die *relative* Größe einer Lichtintensität. Diese Kontrastwahrnehmungsfähigkeit wird durch die Lichtunterschiedsempfindlichkeit (LUE, gemessen in Dezibel [dB]) quantifiziert.

Die relevanten Parameter der Goldmann-Prüfmarken sind in Tabellen 1.1 und 1.2 gezeigt.

Tabelle 1.1: Größe der Reizmarken des Goldmann-Perimeters. Die Gutachter-Marke **III** ist durch einen Kasten hervorgehoben.

Größe	0	I	II	III	IV	V
Fläche [mm ²]	1/16	1/4	1	4	16	64
Bogenminuten	3,22	6,45	12,9	25,7	51,5	103

Tabelle 1.2: Leuchtdichteabstufung der Reizmarken des Goldmann-Perimeters. Die „Gutachter-Marke“ **4e** ist durch einen Kasten hervorgehoben.

Goldmann-Stufen	LUE [dB]	Leuchtdichte [cd/m ²]
4e	0	316
4d	1	251
4c	2	199
4b	3	158
4a	4	125
3e	5	100
3d	6	79,4
3c	7	63,1
3b	8	50,1
3a	9	39,8
2e	10	31,6
2d	11	25,1
2c	12	19,9
2b	13	15,8
2a	14	12,5
1e	15	10,0
1d	16	7,94
1c	17	6,31
1b	18	5,01
1a	19	3,98

Es gibt unterschiedliche Methoden zur Untersuchung des Gesichtsfeldes. Hier zu nennen sind die Kampimetrie und die Perimetrie. Bei der Kampimetrie

werden die Prüfpunkte auf einer zweidimensionalen Fläche abgebildet. Mit dieser Methode lassen sich nur etwa 30 Grad des zentralen Gesichtsfeldes relativ zuverlässig prüfen. Die viel populärere und bessere Methode zur Erfassung des Gesichtsfeldes, also zur Messung der peripheren Lichtunterschiedsempfindlichkeit (LUE), auch weit über die zentralen 30 Grad hinaus, ist die Perimetrie, wobei die Prüfpunkte in einer Halbkugel dargestellt werden. Es wird zwischen statischer und kinetischer Perimetrieverfahren unterschieden.

1.4.1 Kinetische Perimetrie

Es ist interessant anzumerken, dass die ersten Angaben eines Gesichtsfeldausfalls aus der Zeit Hippokrates stammen mit seiner Beschreibung einer Hemianopsie. Später haben viele andere mit der Perimetrie gearbeitet. Unter anderem war Mariotte 1668 der erste, der den blinden Fleck beschrieb und seine Entstehung durch den Nervus opticus erkannte. Thomas Young machte 1801 die erste genaue Messung der Außengrenzen des Gesichtsfeldes. Hier sind noch die Namen von Purkinje und Helmholtz zu nennen, die eine wichtige Rolle in der Entwicklung der Perimetrie und der Gesichtsfelduntersuchung spielen. Der erste klinische Einsatz der kinetischen Perimetrie in der Augenheilkunde wurde von Albrecht von Graefe 1856 vorgestellt, und sie war nahezu ein Jahrhundert lang die einzige Methode für die klinische Untersuchung eines Gesichtsfeldes (Thompson and Wall). 1945 stellte Hans Goldmann ein neues Kugelperimeter vor, das erstmals eine weitgehende Unabhängigkeit der perimetrischen Untersuchung von den Umgebungsbedingungen ermöglichte (Goldmann 1945), (Abbildung 1.3).



Abbildung 1.3: Das Goldmann-Perimeter

Bei der kinetischen Perimetrie handelt es sich um die so genannte Perimetrie mit beweglichen Reizen, d.h. es werden Lichtstimuli aus dem nicht-sehenden

Bereich (entweder aus einem Bereich außerhalb des Gesichtsfeldes oder aus einem Skotom) mit einer (möglichst) konstanten, definierten Winkelgeschwindigkeit (üblicherweise 2-5°/s) und Helligkeit in den sehenden Bereich bewegt. Dabei wird versucht die Reize so zu bewegen, dass diese die Gesichtsfeld- bzw. Skotomgrenzen senkrecht schneiden (Goldmann 1945). Dieser Vorgang wird von mehreren Seiten des Gesichtsfeldes in unterschiedlichen Prüfpunkthelligkeiten wiederholt. Die bildliche Darstellung der Untersuchung besteht aus den so genannten Isopteren, die Orte gleicher Lichtunterschiedsempfindlichkeit verbinden, ähnlich den Höhenlinien eines Berges (Groenow 1893; Rönne 1920; Lachenmayr and Vivell 1992) (Abbildung 1.4).

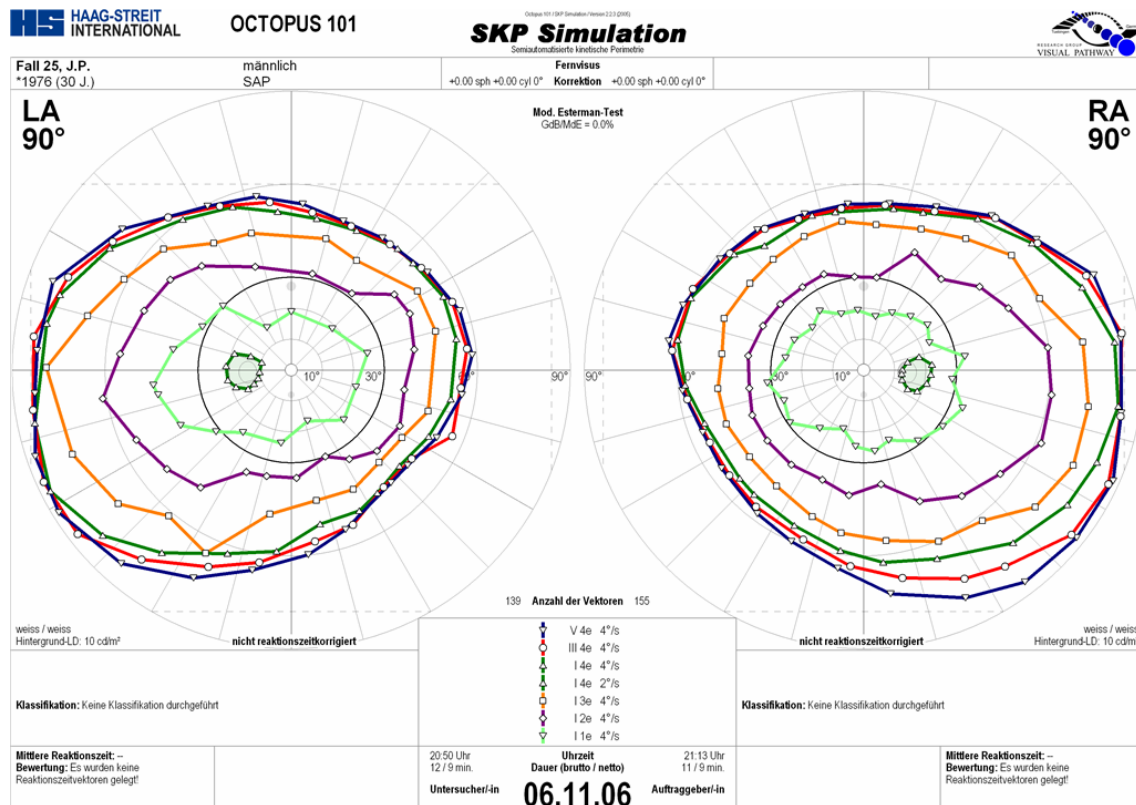


Abbildung 1.4: Semiautomatische kinetische Perimetrie mit normalem Isopterenverlauf (Octopus 101, (Octopus/Interzeag AG, Schweiz))

Heutzutage gibt es eine kleine Zahl von Computerperimetern, die sowohl statische als auch kinetische Untersuchungsoptionen realisieren. Die Praxis

zeigt allerdings, dass kaum eines dieser Geräte im kinetischen Modus die Möglichkeiten des GOLDMANN-Perimeters erreicht.

Mit der Automatisierung der statischen Perimetrie hat die kinetische Untersuchung stark an Bedeutung im klinischen Alltag verloren. Die kinetische Perimetrie hat allerdings weiterhin eine große Bedeutung in den Gutachtenverfahren, wo sie das entscheidende „letzte“ Wort hat.

1.4.2 Statische Perimetrie

Die statische Perimetrie arbeitet im Gegensatz zur kinetischen Perimetrie mit fest stehenden, unbewegten Lichtreizen. Heutzutage wird die so genannte automatisierte Rasterperimetrie angewendet. Hierbei werden die Stimuli an vordefinierten Stellen des Gesichtsfeldes präsentiert. Damit wird versucht einen initial unbekanntes Gesichtsfeld durch ein Raster möglichst optimal positionierter Prüfpunkte bestmöglich zu vermessen. Die Raster können in Abhängigkeit vom Gerättyp und Untersuchungszwecke (Neuroophthalmologie, Glaukomverlauf, Gutachten usw.) variieren.

Es gibt im Prinzip zwei Untersuchungsstrategien in der statischen Perimetrie. Eine ist die *schwennah-überschwellige* Methode. Hierbei werden an alle Prüforte Stimuli dargeboten, die – bezogen auf ein alterskorreliertes Normkollektiv – eine geringgradig höhere Leuchtdichte als die erwartete Schwelle aufweisen. Diese Methode erlaubt eine relativ schnelle Untersuchung vergleichsweise vieler Gesichtsfeldorte, ohne die Vigilanz des Patienten wegen zu langer Untersuchungsdauer zu überfordern. Diese Strategie wird z.B. in der Fahreignungsbegutachtung, wo viele Punkte abgefragt werden müssen, angewendet.

Die zweite Strategie ist die *schwennenbestimmende* (schwennen-eingabelnde) Perimetrie. Dabei wird die Schwelle für jeden Prüfort festgestellt. Dies kann in festen Schritten (z.B. 4 dB-Schritte), in vorgewählten Stufen (zunächst in 4 dB-, bei Annäherung an die vermutete Schwelle in 2 dB-Schritten) oder mit variabler,

dynamischer Schrittweite erfolgen. Diese Methode hat eine große Bedeutung beim Nachweis von kleinen, subtilen Defekten, wie z.B. in einem beginnenden Glaukom, hat aber den Nachteil, dass die Untersuchungsdauer deutlich länger ist, so dass das Durchhaltevermögen des Patienten hier ein limitierender Faktor ist.

Die Geräte für eine automatische Rasterperimetrie sind Anfang der Achtziger Jahre eingeführt worden. Hierzu zählen die weit verbreiteten Humphrey Field Analyzer (HFA, Humphrey Instruments Inc, USA) und das Octopus 101-Perimeter (Octopus/Interzeag AG, Schweiz) (Beck, Bergstrom et al. 1985). Dazu muss man auch das Ende der siebziger Jahre unter der Leitung von Elfriede Aulhorn entwickelte Tübinger Automatik Perimeter (TAP, Oculus, Deutschland) (Aulhorn, Gauger et al. 1975; Aulhorn 1978; Aulhorn and Durst 1982) sowie das Nachfolgegerät (Twinfield, Oculus, Deutschland) zählen. Hierzu gehört auch das Perivist FeV Perimeter (Vistec AG, Deutschland) (Abbildung 1.5).



Abbildung 1.5: Das Perivist FeV Perimeter (Vistec AG, Deutschland); Humphrey Field Analyser (HFA, Humphrey Instruments Inc, USA) und das Octopus 101-Perimeter (Octopus/Interzeag AG, Switzerland).

Nach den Empfehlungen der Verkehrskommission der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft müssen bei Verwendung automatischer Perimeter Prüfpunktraster und Strategien zur Anwendung kommen, die wenigstens eine dem Befund eines Goldmann-Perimeters vergleichbare Aussage über das zentrale und periphere Gesichtsfeld ermöglichen. Die Umfeldleuchtdichte muss 10 cd/m^2 betragen, es muss die Reizmarke Goldmann III/4e oder eine dazu äquivalente Reizmarke verwendet werden. Es

muss gewährleistet sein, dass das zentrale und auch das periphere Gesichtsfeld in ausreichendem Umfang untersucht werden können. Der horizontale Gesichtsfelddurchmesser muss mindestens 140 Grad bzw. 120 Grad betragen. Insgesamt sollten wenigstens 100 Prüfpunkte getestet werden, die sich bis mindestens 70 Grad nach temporal und 40 Grad nach nasal, 40 Grad nach oben und 40 Grad nach unten erstrecken. Das Zentrum ist mit erhöhter Punktdichte zu untersuchen, d.h. es sollten mindestens 25 Prüfpunkte im zentralen Gesichtsfeld bis 20 Grad enthalten sein und es empfiehlt sich die Verwendung eines zentral verdichteten Prüfpunktrasters. Darüber hinaus muss das Prüfpunktraster so gestaltet sein, dass eine ausreichende Prüfung des horizontalen Gesichtsfeldes nach nasal und temporal erfolgt, d.h. insbesondere, dass mindestens 40 Punkte im Abstand von maximal 11 Grad nach oben und von maximal 11 Grad nach unten vom horizontalen Meridian angeordnet sind. Die Prüfung jedes Auge soll getrennt erfolgen, da sonst keine suffiziente Fixationskontrolle gewährleistet ist.

Die Fixationskontrolle spielt eine wichtige Rolle in der Beurteilung der Mitarbeit des Probanden/Patienten. Sie ist eines der drei Validitätskriterien hierfür und wird durch Projektion in den blinden Fleck kontrolliert. Die restlichen zwei Kriterien, die vom Programm gesteuert werden, sind die falsch positiven und falsch negativen Fangfragen. Bei einer guten Untersuchung dürfen in der Kategorie der falsch positiven Fangfragen maximal 20% Fehler gemeldet werden, in den übrigen Kategorien sollten nicht mehr als 30% Fehler angezeigt werden. Wichtig bei der Untersuchung des Gesichtsfeldes ist die genaue Kenntnis der Refraktion, da es ansonsten zu einem falsch pathologischen Gesichtsfeldbefund kommen kann.

1.5 Der Gesichtsfeldausfall als Unfallrisikofaktor

Die Rolle des intakten Gesichtsfeldes für den sicheren Straßenverkehr wurde mehrmals in Studien untersucht und betont. Eine der bedeutendsten dieser Studien ist die von Johnson und Keltner (Johnson and Keltner 1983) von 1983, die eine doppelt so hohe Rate von Unfällen und

Straßenverkehrsordnungswidrigkeiten in einer Gruppe von Probanden mit binokularen Gesichtsfeldausfällen im Vergleich zu der Gruppe ohne Ausfälle oder nur monokulare Ausfälle feststellten (Johnson and Keltner 1983; Owsley and McGwin 1999). Szlyk et al. stellten in einer anderen Studie fest, dass eine Gruppe von Glaukumpatienten eine höhere Inzidenz von Simulator- und selbstberichteten Unfällen hatte im Vergleich zu einer Kontrollgruppe mit ähnlichem Alter, Geschlecht und Fahrerfahrung (Szlyk, Mahler et al. 2005). Lovsun und Hedin zeigten auch, dass Gesichtsfeldausfälle eine Beeinträchtigung der Stimuluswahrnehmung im betroffenen Bereich in Tests mit einem Fahrsimulator aufweisen (Lovsund, Hedin et al. 1991). Andere Studien, wie z.B. die von Wood et al. (1992) zeigten jedoch, dass simulierte Gesichtsfeldausfälle als Ursache für manche, aber nicht alle Aspekte des Fahrverhaltens zu sehen sind (Wood and Troutbeck 1992; Wood and Troutbeck 1994; Wood and Troutbeck 1995). Eine endgültige Antwort auf die Frage, in wie weit die Ausdehnung eines Gesichtsfeldausfalls das Risiko für Autounfälle beeinflusst, ist in der Literatur nicht zu finden. Die meisten Autoren allerdings betonen die Relevanz einer Gesichtsfelduntersuchung als unverzichtbaren Teil der Fahreignungsbegutachtung. Eine Gesichtsfeldprüfung, auch wenn die Kriterien nicht überall übereinstimmend sind, wird dementsprechend nicht nur in der EU, sondern auch in den meisten Staaten (z.B USA und Kanada) verlangt (Casson and Racette 2000).

1.6 Zielsetzung

Nach der FeVÄndV von 2002 dürfen auch Arbeits- und Betriebsmediziner die Eignungsuntersuchungen für die professionellen Fahrer (LKW-, Bus- und Taxifahrer) vornehmen, einschließlich der seit 1991 in der EU-Richtlinie geforderten Perimetrie. Als Mindestanforderung in der Perimetrie schreibt der Gesetzgeber ein „normales“ Gesichtsfeld vor, geprüft unter konkreten Vorgaben. Was ein „normales“ Gesichtsfeld ist und wie es aussehen soll, ist allerdings bis heute nicht eindeutig zu sagen. Auch in der Literatur ist bis heute keine Antwort auf die Frage „Wie diagnostiziert man ein „normales“ Gesichtsfeld?“ zu finden.

Ziel dieser Arbeit soll die Erstellung einfacher und klarer Kriterien sein, anhand deren der nicht-ophthalmologische Gutachter (Arbeits- und Betriebsmediziner) ein „normales“ Gesichtsfeld als solches klassifizieren kann. Wir versuchen die Antworten auf folgende Fragen zu finden:

- I. Wie viele Ausfälle darf ein „normales“ Gesichtsfeld haben?
- II. Ist es möglich einen einfachen Algorithmus für die Diagnose „normales“ Gesichtsfeld zu finden?
- III. Wann soll der nicht-ophthalmologische Gutachter den Bewerber zu einer augenärztlichen Untersuchung und Begutachtung überweisen?

2. Material und Methodik

2.1 Studienaufbau

Die Daten in dieser Arbeit stammen aus der Studie „Relevance of glare sensitivity and impairment of visual function among European drivers“, die 2003 und 2004 für die Europäische Gemeinschaft im Bereich der Verkehrssicherheit durchgeführt wurde. Ziel dieser großen multizentrischen Studie war die Prävalenz der Sehbeeinträchtigung der europäischen Fahrer (über 45 Jahre) zu bestimmen und das Potenzial einer Bestimmung von zusätzlichen visuellen Modalitäten (retinales Streulicht, Kontrastempfindlichkeit und „Useful Field of View“) abzuschätzen, um Daten für das europäische Fahreignungsbegutachtungsverfahren zu sammeln. Die fünf teilnehmenden Zentren waren: Netherlands Ophthalmic Research Institute, Amsterdam und das Vrije Universiteit Medical Center, Amsterdam; das Centro de Oftalmologia Barraquer, Barcelona; das Universitair Ziekenhuis Antwerpen, Antwerpen; die Landesklinik für Augenheilkunde und Optometrie, Salzburg und die Universitäts-Augenklinik, Tübingen. An der Studie nahmen insgesamt 2422 Probanden teil. Die Probanden mussten zwei Fragebogen ausfüllen. Der erste zielte auf Fahrgewohnheiten, Fahrschwierigkeiten und selbstberichtete Autounfälle. Der zweite Fragebogen war NEI-VFQ25 über die sehen-assozierte

Lebensqualität. Anschließend wurden eine Prüfung der Sehschärfe, des Gesichtsfeldes, der Kontrastempfindlichkeit, des „useful field of view“ (UFOV) und eine Spaltlampenuntersuchung und Fundusuntersuchung bei enger Pupille durchgeführt. Alle Probanden wurden augenärztlich untersucht und alle aktuellen und früheren Augenerkrankungen und Anomalien dokumentiert.

2.1.1 Rekrutierung der Probanden

Insgesamt 2422 Probanden nahmen an der Studie in allen fünf Zentren teil. Es handelt sich um Autofahrer in der Allgemeinbevölkerung in geographischer Nähe der fünf teilnehmenden Zentren in den Niederlanden, Spanien, Belgien, Österreich und Deutschland. Voraussetzung für die Teilnahme an der Studie war ein gültiger Führerschein der Gruppe 1 (PKW) und die Probanden sollten „aktive“ Fahrer nach ihrer eigenen Einschätzung sein. Alle Probanden wurden in die folgenden Altersgruppen unterteilt: 45-54 Jahre alt, 55-64 Jahre alt, 65-74 Jahre alt und über 75 Jahre. Das Ziel dabei war möglichst gleichzählige Gruppen zu bilden. Es wurde auch eine Referenzgruppe im Alter von 20 bis 30 Jahren rekrutiert, um mögliche Unterschiede in den Messverfahren zwischen den teilnehmenden Kliniken zu erfassen. Da ein überall gleiches Rekrutierungsverfahren unmöglich war, erfolgte die Rekrutierung der Probanden unter Berücksichtigung der lokalen kulturellen und organisatorischen Umstände in jedem der fünf teilnehmenden Zentren mit dem Ziel den Auswahlbias zu minimieren. So wurden die Teilnehmer in Amsterdam und Salzburg zufälligerweise in dem lokalen Telefonbuch aufgesucht und kontaktiert. In Antwerpen wurden die Probanden direkt in öffentlichen Bereichen in der Stadt angesprochen und rekrutiert. In Tübingen wurde eine Anzeige in der Lokalpresse aufgegeben. In Barcelona wurde die Hälfte der teilnehmenden Probanden von Angestellten der Klinik und ihren Verwandten rekrutiert. Die andere Hälfte stammte aus Freiwilligen aus dem lokalen Automobilklub (Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Methodik bei der Rekrutierung der Probanden.

Verfahren	Zahl der Probanden	Zentrum
Randomisierter Telefonkontakt	589	AMS
Brief an alle Bewohner eines nahe gelegenen Dorfes	522	SAL
Anzeige in lokaler Presse	428	TUB
Rekrutierung in öffentlichen Bereichen	352	ANT
Freiwillige aus einem lokalen Automobilklub	155	BAR
Verwandte oder Bekannte der Mitarbeiter	157	BAR
Verwandte der Probanden und Klinikumsmitarbeiter	63	SAL
Andere	156	
Alle	2422	

2.1.2 Die Fragebogen

Alle Probanden mussten zwei Fragebogen ausfüllen. Der erste war der „Visual Function Questionnaire 25“ (VFQ25) von National Eye Institute (Mangione, Berry et al. 1998; Mangione, Lee et al. 1998; Mangione, Lee et al. 2001). Dieser Fragenbogen misst die selbstangegebene visusorientierte Gesundheitsnote in Probanden mit chronischen Augenerkrankungen. Die deutsche Übersetzung des Fragebogens haben wir Herrn Prof. G.H. Franke, Abt. Rehabilitationspsychologie, Hochschule Magdeburg-Stendal, zu verdanken. Der zweite Fragebogen zielte auf Fahrgewohnheiten, Fahrschwierigkeiten und selbstberichtete Autounfälle und wurde von dem Leiter der Studie, Herr Dr. L.J. van Rijn verfasst und von Herrn Dr. C.Nischler auf Deutsch übersetzt.

2.1.3 Prüfung der Sehfunktionen

Bei allen Probanden wurde eine für diese Studie zusammengefasste Test-Batterie durchgeführt. Diese enthält eine Prüfung der Sehschärfe, des Gesichtsfeldes, der Kontrastempfindlichkeit, des retinalen Streulichts sowie des „Useful Field of View“ (UFOV).

2.1.3.1 Sehschärfe

Bei der Studie wurde der ETDRS Tafel mit der logMAR Skale benutzt (AREDS-Forscher 1999). Die Probanden wurden einmal mit ihrer aktuellen oder Autofahrerbrille, danach mit der bestmöglichen Korrektur geprüft.

2.1.3.2 Gesichtsfeld

Die Gesichtsfelduntersuchung erfolgte mittels automatisierter, statischer Perimetrie. Beide Augen wurden getrennt untersucht nach einer 3-Zonen alterskorrelierten Strategie, d.h. es gab insgesamt drei mögliche Antworten: a) normale Lichtunterschiedsempfindlichkeit (LUE), b) reduzierte LUE (mehr als 6 dB im Vergleich zu einer alterskorrelierten Gruppe) und c) absoluter Ausfall (oder keine messbare LUE für den maximalen Lichtstimulus, den das Gerät produzieren kann). In vier der Zentren (Amsterdam, Salzburg, Barcelona und Antwerpen) wurde ein Prüfpunktraster basierend auf dem von Lachenmayr vorgeschlagenen Modell ausgewählt (Lachenmayr and Vivell 1992). Bei diesem Modell werden die meisten Prüfpunkte in den zentralen 20 Grad und auf dem horizontalen Meridian verteilt. Es wurden weitere Prüfpunkte zum Testen der zentralen 30 Grad addiert, so dass das Programm für ein Glaukom-Screening geeignet war. Die Punkteverteilung in dem fünften Zentrum, Tübingen, war weitgehend identisch ohne wesentliche Unterschiede in den Punkteigenschaften (Abbildung 2.1).

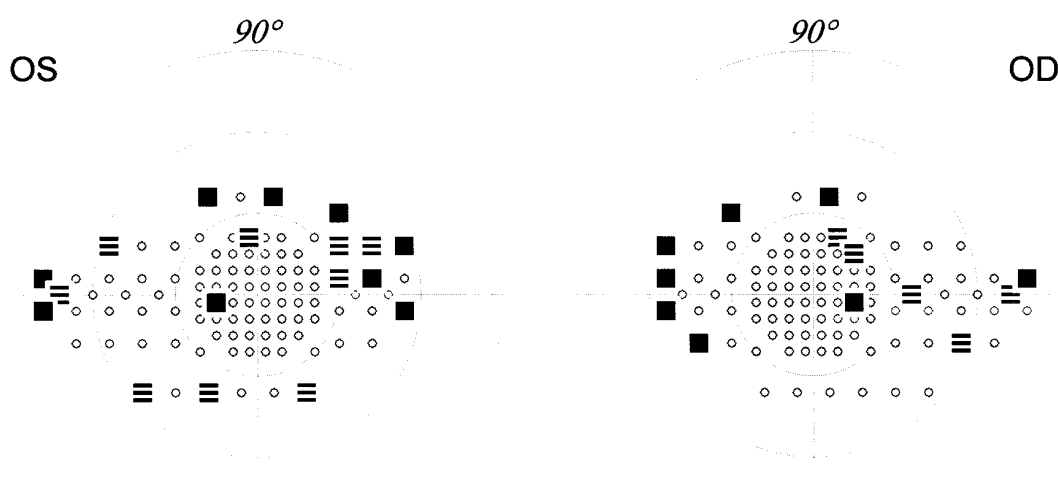


Abbildung 2.1: Prüfpunktraster basierend auf dem von Lachenmayr vorgeschlagenen Modell. Hier mit unspezifischen Ausfällen.

2.1.3.2.1 Hardware

In Amsterdam, Antwerpen und Salzburg wurde das Humphrey Perimeter (Humphrey systems, Dublin), in Barcelona das Octopus 101 (Haag-Streit AG, Switzerland) benutzt. In Tübingen wurden zwei unterschiedliche Perimeter eingesetzt: Octopus 101 (Octopus/Interzeag AG, Schweiz) und das Perivist FeV Perimeter (Vistec AG, Deutschland).

2.1.3.3 Kontrastempfindlichkeit

Die Fähigkeit graue Buchstaben auf einem weißen Hintergrund zu unterscheiden (Kontrastempfindlichkeit) wurde mit der Pelli-Robson Tafel geprüft (Pelli, Robson et al. 1988; Rubin 1988; Elliott, Sanderson et al. 1990) und die Ergebnisse als log (Prozent Kontrast) dokumentiert. Alle Probanden wurden mit der bestmöglichen Korrektur geprüft mit einer Nahaddition von +0,5 dpt. für alle Teilnehmer der Studie mit einem Alter über 40 Jahre.

2.1.3.4 Streulicht

Das retinale Streulicht (das ein Maß für die Blendungsempfindlichkeit gibt) wurde mit einem computergesteuerten, für die Zwecke der Verkehrsstudien modifizierten Streulicht-Messgerät gemessen (Van den Berg and Ijspeert 1991; Van den Berg and Ijspeert 1992; Van den Berg, Van Rijn et al. 2003). Dieses neue Gerät funktioniert unter der „two alternative force choice“ Strategie und erlaubt eine Qualitätskontrolle der Messungen durchzuführen. Die Probanden wurden mit ihrer besten Korrektur und einem alterskorrigierten Nahzusatz geprüft. Jedes Auge wurde zweimal geprüft und das Ergebnis als log (Streulichtparameter) dokumentiert. Bei großen Unterschieden zwischen beiden Messungen (größer als 0,2 log Einheiten), wurde eine dritte Messung durchgeführt. Es wurde noch die Qualitätskontrolle (Q-Wert) dokumentiert. Bei einem Q-Wert unter 0,5 wurde die Messung wiederholt.

2.1.3.5 Useful Field of View (UFOV)

Das UFOV (Ball and Owsley 1993; Owsley 1994) wurde mit der Software der Firma Visual Awareness, Chicago geprüft. Die Probanden wurden in

Risikogruppen unterteilt nach einer Skala von 1 bis 5 entsprechend den Angaben des Herstellers. Eine UFOV-Prüfung wurde in Amsterdam in fast allen, in den restlichen Zentren in etwa der Hälfte der Probanden, durchgeführt. Diese Probanden wurden zufällig ausgewählt.

2.1.4 Die augenärztliche Untersuchung

Nach einer Anamneseerhebung wurden alle Probanden einer augenärztlichen Untersuchung unterzogen. Dabei wurden Vorder- und Hinterabschnitt des Auges untersucht. Auf eine Mydriasis wurde aufgrund der großen Zahl der Probanden verzichtet. Es erfolgte außerdem eine Katarakt-Klassifizierung nach dem LOCS III System (Chylack, Jakubicz et al. 1993). Da die Untersuchung nicht in Mydriasis erfolgte, ist der LOCS-Wert auf den der kortikalen Katarakt begrenzt.

Die Teilnahme an der Studie wurde anonymisiert und hatte keine rechtlichen Auswirkungen für die Probanden, bei denen erhebliche Sehstörungen festgestellt wurden. Diese wurden jedoch ausführlich über die Risiken beim Autofahren durch die teilnehmenden Ärzte aufgeklärt.

2.2 Das Gesichtsfeldmodell

In einem zweiten Schritt versuchten wir anhand der gesammelten Daten einen Algorithmus für die Diagnose „normales Gesichtsfeld“ zu entwickeln.

Bei der Studie „Relevance of glare sensitivity and impairment of visual function among European drivers“ wurden insgesamt 2422 Probanden untersucht. Bei 2373 davon wurde eine Gesichtsfelduntersuchung durchgeführt. In einem der Zentren wurde diese Untersuchung aufgrund verfahrenstechnischer Probleme ohne Korrektur durchgeführt, was zu einer starken Zunahme der relativen Gesichtsfeldausfälle führte, so dass wir diese Daten bei der Entwicklung unserer Kriterien für ein „normales“ Gesichtsfeld nicht berücksichtigten. Aufgrund weiterer technischer Schwierigkeiten wurden auch die Gesichtsfelder von einem weiteren Zentrum in unserem Algorithmus nicht eingeschlossen. Insgesamt wurden 3208 einzelne Gesichtsfelder aus drei Zentren analysiert.

Diese Gesichtsfelder wurden von zwei erfahrenen Gutachtern, unabhängig voneinander, beurteilt und klassifiziert. Anschließend erfolgte eine Gruppierung aller Ausfälle nach bestimmten Kriterien. Die resultierenden Gruppen mit allen Gesichtsfeldausfällen sowie die Bewertung der Gutachter wurden einer statistischen Auswertung unterworfen mit dem Endziel einen Algorithmus zur Differenzierung zwischen einem „normalen“ und einem „pathologischen“ Gesichtsfeld zu entwickeln.

2.2.1 Die Gutachter

Alle Gesichtsfelder wurden von zwei Augenärzten mit langjähriger gutachterlicher Erfahrung in Tübingen und in Salzburg gründlich und unabhängig voneinander geprüft und beurteilt. Zur Visualisierung der Gesichtsfelder wurde PeriData® (Windows-Software) benutzt. Um eine möglichst praxisnahe Situation zu simulieren, wurde die Aufgabe als eine offene Frage, ohne vorgegebenen Kriterien, gestellt:

„Beurteilen Sie die vorliegenden Gesichtsfelder in Bezug zu der Fahrtauglichkeit.“

2.2.2 Die Stufen

Wir klassifizierten alle Gesichtsfelder in insgesamt vier mögliche Stufen. Der *Stufe 1* wurden alle Gesichtsfelder, die der Gutachter nach seiner Erfahrung als „normal“ oder „unauffällig“ bewertete, zugeordnet. Die *Stufe 2* enthält alle Gesichtsfelder, die als „wahrscheinlich normal“ oder „am ehesten normal“ beurteilt wurden. In der dritten Stufe (*Stufe 3*) wurden alle auffälligen Gesichtsfelder, die als „wahrscheinlich pathologisch“ oder „am ehesten pathologisch“ gesehen wurden, einbezogen. Die restlichen Gesichtsfelder, die als „pathologisch“ oder „auffällig“ bewertet wurden, rechnete wir zur *Stufe 4* (Abbildung 2.2 bis 2.4). Ziel war in einer Klassifikation „unentschieden“ zu vermeiden. In den gezeigten Beispielen wurden alle beiden Gesichtsfelder in die gleiche Stufe gruppiert. In vielen anderen Fällen wurden jedoch die Gesichtsfelder beider Augen zu unterschiedlichen Stufen klassifiziert.

In Salzburg wurde eine binokulare Auswertung der Gesichtsfelder vorgenommen, d.h. es wurden beide Gesichtsfelder (von dem rechten und von dem linken Auge) zusammen in Bezug auf die Fahrtauglichkeit des jeweiligen Probanden bewertet und es erfolgte eine gesamte Stufenzuordnung in den Stufen 1 bis 4.

Anschließend erfolgte eine erneute Gruppierung aller bewerteten Gesichtsfelder in 2 große Gruppen. Gruppe 1 enthielt alle Gesichtsfelder die als Stufe 1 und Stufe 2 bewertet wurden. Diese Gruppe wurde als „normal“ bezeichnet. Die zweite Gruppe wurde „pathologisch“ genannt und beinhaltete die Gesichtsfelder der Stufen 3 und 4.

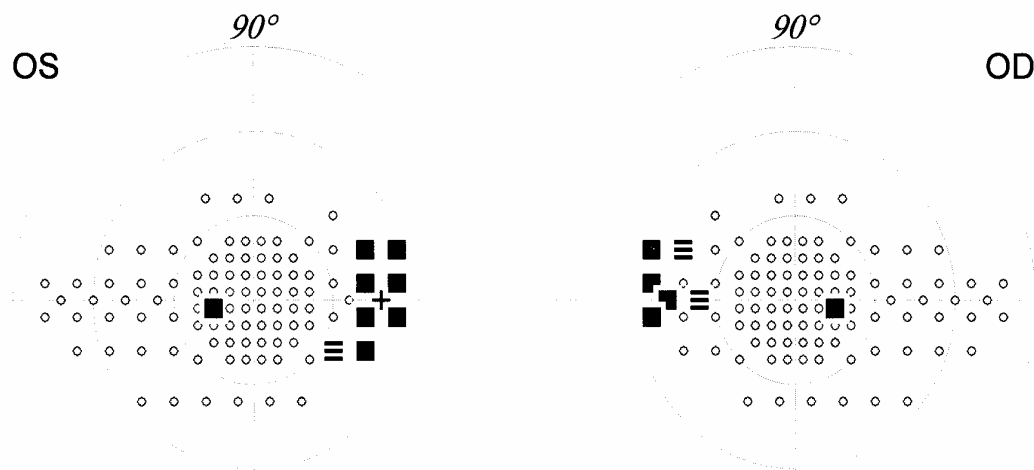


Abbildung 2.2: Beispiel für Gesichtsfelder, die als *Stufe 2* klassifiziert wurden.

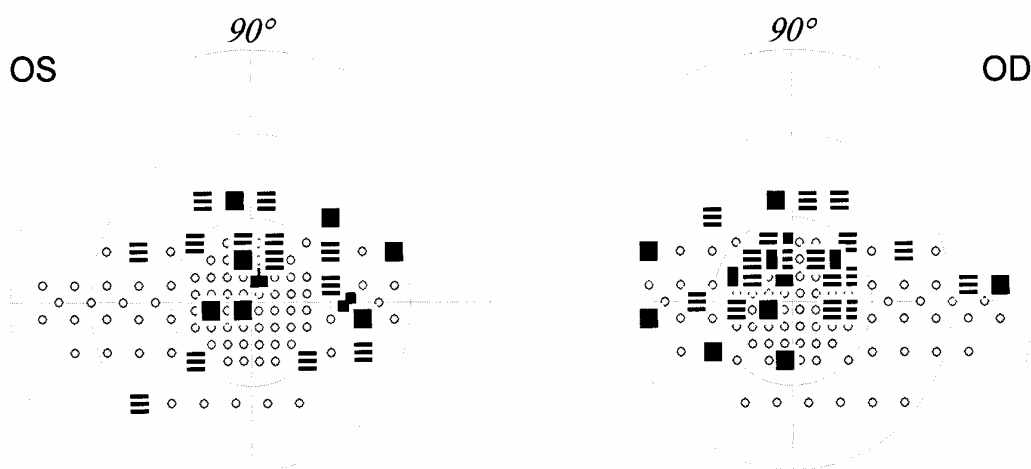


Abbildung 2.3: In diesem Fall handelt es sich um zwei Gesichtsfelder, die in die *Stufe 3* klassifiziert wurden.

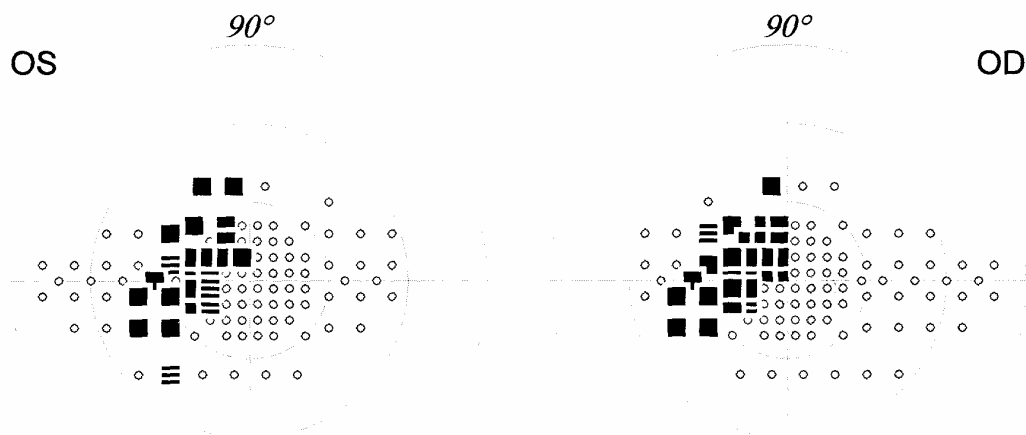


Abbildung 2.4: Beispiel für zwei Gesichtsfelder der *Stufe 4*.

2.2.3 Die Zonen im Gesichtsfeld

In allen drei Zentren wurden Raster mit weitgehend ähnlicher Punktzahl benutzt: 96, 100 und 101. Die Unterschiede sind durch eine etwas andere Zahl der Prüfpunkte in den peripheren Teilen des Gesichtsfeldes, ohne wesentlichen Einfluss auf der Auswertung der Ergebnisse, bedingt.

Für die genauere Erfassung der Gesichtsfeldausfälle wurde das Gesichtsfeldraster in fünf Zonen unterteilt (Abbildung 2.6). Die erste Zone, „superior“, enthält alle Prüfpunkte, die sich oberhalb der zentralen 30 Grad befinden. In allen drei Zentren beträgt die Zahl der Punkte in dieser Zone 4.

In der zweiten Zone, „nasal“, befinden sich zwischen 13 und 15 Punkte. Als „nasale“ Zone bezeichnen wir alle Punkte, die nasal der zentralen 30 Grad liegen.

Die dritte Zone wurde „inferior“ genannt und liegt unterhalb der 30-Grad-Isoptere. Hier zählten wir 6 Punkte in allen Zentren.

In der Zone „temporal“ fanden sich die größten Unterschiede bezüglich der Zahl der Prüfpunkten, nämlich: 19, 23 und 24 Punkte. Diese Zone befindet sich, ähnlich wie die anderen schon beschriebenen Zonen, außerhalb des zentralen 30-Grad Bereichs, im temporalen Gesichtsfeld.

Da wir einen Raster mit zentral verdichteten Punktenbereich benutzen, bewerten wir diesen Bereich als eine separate Zone: „zentrale 30-Grad“. Hier befinden sich 52 bzw. 54 der Punkte.

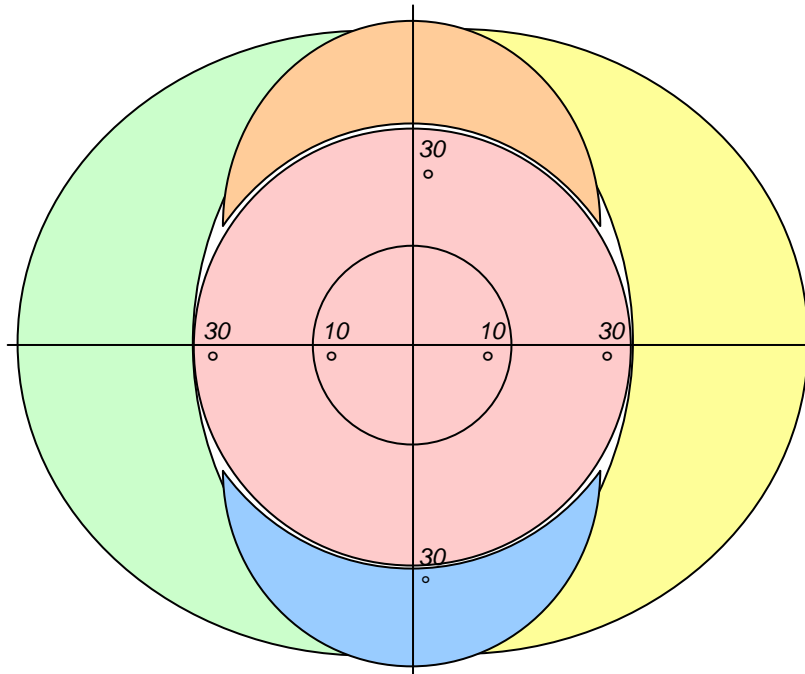


Abbildung 2.6: Schematische Darstellung des Gesichtsfelds des rechten Auges mit der Zonenverteilung des Gesichtsfeldrasters:

- Zone „superior“
- Zone „nasal“
- Zone „inferior“
- Zone „temporal“
- Zone „zentrale 30-Grad“

2.2.4 Die Punkteverteilung

Alle Ausfälle in jedem der 3208 Gesichtsfelder wurden gezählt und dokumentiert. Dabei wurde zwischen relativen und absoluten Ausfällen in den peripheren Zonen („superior“, „nasal“, „inferior“ und „temporal“) kein Unterschied gemacht. Dies hängt damit zusammen, dass bei der schwelennah-überschwelligen Rasterperimetrie die Helligkeit der Prüfpunkte nach peripher immer mehr zunimmt, so dass der Unterschied zwischen relativen und

absoluten Ausfall peripher sehr klein ist. So beträgt die maximale Zahl der Ausfälle z.B. in der Zone „superior“ 4 Punkte.

In der Zone „zentrale 30 Grad“ wurden die relativen und die absoluten Ausfälle getrennt gezählt und bewertet.

Am Ende hatten wir sechs Gruppen von Ausfällen: vier in der peripheren Zonen und zwei in der zentralen 30 Grad des Gesichtsfelds, die wir entsprechend unserer Zonen genannt haben. Die zentralen 30-Grad-Gruppen wurden als 30-Grad-relativ und 30-Grad absolut bezeichnet. Tabelle 2.2 zeigt einen Ausschnitt aus der tabellarischen Darstellung aller Ausfälle. Jeder Proband wurde mit den Ergebnissen für das rechte und für das linke Auge separat dokumentiert. Alle einäugigen Probanden wurden mit dem Gesichtsfeld des entsprechenden Auges eingefügt.

Proband Nr	Superior	Nasal	Inferior	Temporal	30_absolut	30_relativ	Stufe
1		1		2	1	1	1
1							1
2		1					1
3				1	5	1	1
3	1		2		1		1

Tabelle 2.2: Beispiel für die Verteilung der Ausfälle in den sechs möglichen Gruppen. Jeder Proband wird mit beiden Gesichtsfeldern gezeigt (rechtes und linkes Auge getrennt). Die einäugigen Probanden sind mit dem einzelnen Gesichtsfeld berücksichtigt. Mit „Stufe“ wird die von dem Gutachter vergebene Stufe des Gesichtsfeldes bezeichnet.

2.2.5 Das statistische Modell

Nachdem alle Gesichtsfelder von den Gutachtern bewertet wurden und die Zahl der Ausfälle in den verschiedenen Gesichtsfeld-Zonen erfasst wurde, erfolgte als nächster Schritt eine statistische Auswertung der Ergebnisse. Dafür benutzten wir das Programm JMP IN 5.1 von SAS Institute Inc.

2.2.5.1 Das Ziel

Unser Ziel war mit möglichst wenigen Schritten alle „pathologischen“ von der Summe aller Gesichtsfelder zu erkennen und zu trennen, so dass am Ende eine Gruppe mit „normalen“ Gesichtsfeldern verblieb.

2.2.5.2 Das Verfahren

Das Vorhandensein der Gesichtsfelddefekte sollte aus der Gruppen Superior, Nasal, Inferior, Temporal, 30-Grad-relativ und 30-Grad-absolut vorhergesagt werden. Dazu wurde ein Entscheidungsbaum für die Differentialdiagnose geschätzt, der das Zusammenhangsmaß G^2 maximiert. Es wurden weitere Unterteilungen angefordert, bis eine große Gruppe ohne pathologische Gesichtsfeldbefunde übrig blieb. Es wurde nicht immer die vom Algorithmus vorgeschlagene "beste" Unterteilung verwendet, sondern ein Baum mit möglichst wenigen Verzweigungen und unter der besonderen Berücksichtigung des für uns wichtigeren zentralen 30-Grad-Bereichs erarbeitet.

2.2.5.3 Die zwei getesteten Modelle

Da wir am Anfang zwei verschiedene Modelle für die Stufenklassifikation gewählt haben, führten wir eine Auswertung für beide Modelle durch.

Einerseits erstellten wir einen Algorithmus für das Modell, wo wir für das Merkmal „Gesichtsfeld“ vier mögliche Ausprägungen vorgegeben haben, nämlich die Stufe 1 bis 4, wobei die *Stufe 1* für „normal“ oder „unauffällig“, *Stufe 2* für „am ehesten normal“ oder „wahrscheinlich normal“, *Stufe 3* für „am ehesten pathologisch“ oder „wahrscheinlich pathologisch“ und *Stufe 4* für „pathologisch“ oder „auffällig“ stehen.

Bei dem zweiten Modell haben wir nur zwei Stufen: *Stufe 1* enthält alle Gesichtsfelder, die als „normal“ **und** „am ehesten normal“ (also Stufen 1 und 2) gestuft wurden; in *Stufe 4* sind alle anderen Gesichtsfelder, d.h. „am ehesten pathologisch“ **und** „pathologisch“ inbegriffen (also Stufen 3 und 4).

2.2.5.4 Korrelationsanalyse

Beide Gutachter haben die Gesichtsfelder unabhängig voneinander beurteilt. In Tübingen wurden alle Gesichtsfelder einzeln betrachtet und nach Auffälligkeiten in die vier möglichen Stufen unterteilt. In Salzburg dagegen wurden die Gesichtsfelder jedes Probanden als eine Einheit im Bezug zu der Fahrtauglichkeit bewertet und in die vier Stufen klassifiziert.

Die Stufenklassifikation des Salzburger Gutachters diente lediglich dem Zwecke der Korrelationsanalyse und wurde bei der Entwicklung des Algorithmus nicht verwendet.

Um die Stufenklassifikation beider Zentren vergleichen zu können, wurden einige Korrekturen vorgenommen.

Aus der Tübingen Liste wurde für jeden Probanden nur ein Gesichtsfeld für den Vergleich ausgewählt und zwar dieses, das einer höheren Stufe zugeordnet war, d.h. wenn das rechte Gesichtsfeld eines Probanden als Stufe 1 und das für das linke Auge als Stufe 3 bewertet war, dann erhielt er automatisch die höhere Stufe 3 für den Vergleich zwischen den beiden Gutachtern. Bei Probanden, deren Gesichtsfelder beidseits gleich gestuft waren, wurde eines der beide entfernt und das andere für den Vergleich benutzt (Tabellen 2.3 und 2.4).

Proband Nr	Superior	Nasal	Inferior	Temporal	30-absolut	30-relativ	Stufe
1							1
1							1
2	1			1			1
2	2	1		1			2
3		3				1	3
3						1	3
4	2	2					1
4		1	1				4
5	1	1					2
5	3		1				1

Tabelle 2.3: Eine Beispieltabelle vor der Korrektur der Daten für die Korrelationsanalyse. Im Rot sind diese Gesichtsfelder, die in einen nächsten Schritt entfernt werden sollen. Bei ungleichen Stufenzuordnung beider Gesichtsfelder eines Probanden, wird immer das höher gestufte Gesichtsfeld erhalten. Die Zahl der Ausfälle in den einzelnen Zonen spielt für diesen Vergleich keine Rolle, da es sich hier nur um einen Stufenvergleich handelt.

Proband Nr	Superior	Nasal	Inferior	Temporal	30-absolut	30-relativ	Stufe
1							1
2	2	1		1			2
3						1	3
4		1	1				4
5	1	1					2

Tabelle 2.4: Die überarbeitete Variante der Tabelle 2.3.

Um die Übereinstimmung der Stufenverteilung, die die beiden Gutachter durchführten, zu testen, erfolgte eine Korrelationsanalyse. Die Übereinstimmung der Diagnosen („normal“, „wahrscheinlich normal“, „wahrscheinlich pathologisch“ und „pathologisch“ bei dem *4-Stufen Model* und „normal“ und „pathologisch“ bei dem *2-Stufen Model*) wurde als Anteil aller Befunde angegeben. Der überzufällige Anteil der Übereinstimmung wurde mit Cohens kappa-Koeffizient gemessen. Allgemein gilt kappa 0,4 – 0,7 je nach der verwendeten Skala (Cicchetti, Bronen et al. 2006) als brauchbare Übereinstimmung. Eine geringe Prävalenz wie in der vorliegenden Studie kann kappa jedoch verzerren. Die Sicherheit dieser Schätzung wird durch einen approximativen Standardfehler (SE) ausgedrückt.

2.2.5.5 Software

Für die Visualisierung der Gesichtsfelder benutzten wir das Programm PeriData for Windows 2.0.0 von PeriData Software GmbH. Die tabellarische Darstellung unserer Daten erfolgte mit Microsoft Excel. Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm JMP IN 5.1 von SAS Institute Inc durchgeführt.

2.3 Test der Algorithmen

In einem zweiten Schritt nach Erstellung der Algorithmen wurde ihre Wirksamkeit getestet. Dafür wurden in Kooperation mit Herrn Prof. B. Lachenmayr 228 Gesichtsfelder mit einer hohen Prävalenz der pathologischen Fällen (über 40% nach der Beurteilung des Gutachters) aus seiner gutachterlichen Praxis gesammelt. Alle Gesichtsfelder wurden dann von einem Gutachter beurteilt und in zwei Gruppen geteilt: „normal“ und „pathologisch“.

Danach wurden die gleichen Gesichtsfelder mit Hilfe beider Algorithmen erneut ausgewertet.

3. Ergebnisse

Da die Ergebnisse der großen Studie „Relevance of glare sensitivity and impairment of visual function among European drivers“ hauptsächlich im Bereich der Gesichtsfelduntersuchung für die Ziele dieser Arbeit relevant sind, werden im Folgenden nur sie und die für diese Arbeit wichtigsten demographischen Daten vorgestellt. Für einen ausführlichen Übersicht und detaillierte Ergebnisse wird dem Leser die Veröffentlichung der Studie empfohlen (RGSIVFED-Forscher 2005).

3.1 Demographische Daten und Augenerkrankungen

3.1.1 Demographische Analyse der Probanden

An dieser großen multizentrischen Studie nahmen insgesamt 2422 Probanden teil. Die Verteilung der Altersgruppen ist in Abbildung 3.1 gezeigt. Die genaueren Zahlen sind in Tabelle 3.1 demonstriert.

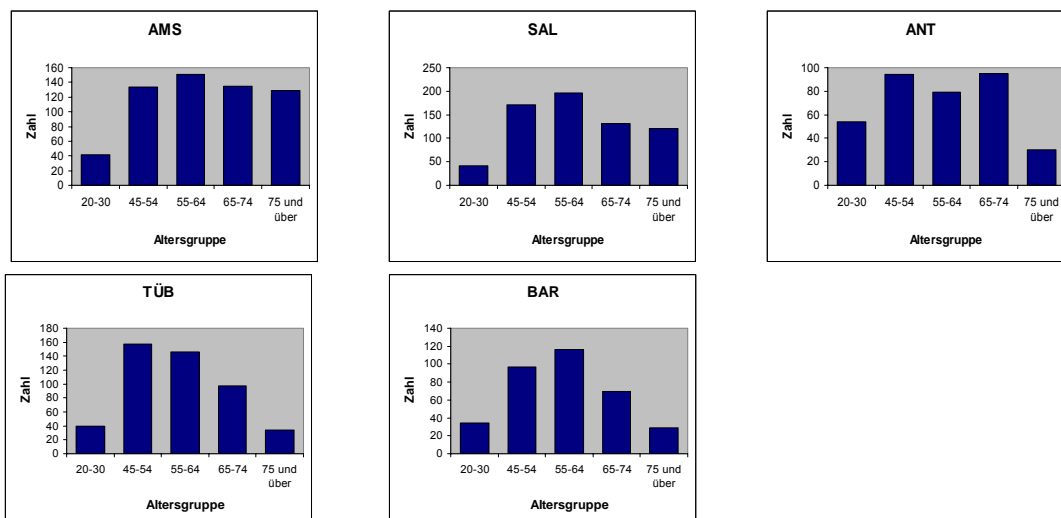


Abbildung 3.1: Altersverteilung der Probanden in allen 5 Zentren. Für die Entwicklung des Algorithmus wurden nur Daten aus Amsterdam, Salzburg und Antwerpen benutzt. (s. auch Tab. 3.1)

Altersgruppe	Zentrum					Alle
	AMS	SAL	ANT	TÜB	BAR	
20-30	41	42	54	40	34	211
45-54	133	171	94	157	97	652
55-64	151	196	79	146	116	688
65-74	135	132	95	97	70	529
75 und über	129	120	30	34	29	342
Alle	589	661	352	474	346	2422

Tabelle 3.1: Altersverteilung. Die Zahlen zeigen die genaue Zahl der Probanden in dem jeweiligen Zentrum. (s. auch Abb. 9)

3.1.2 Augenerkrankungen und Abnormalitäten

Alle Probanden wurden durch einen erfahrenen Augenarzt untersucht. Bei dieser Untersuchung wurde besonders auf das Vorliegen einer Katarakt oder einer altersbedingten Makuladegeneration sowie auf für das Sehvermögen potenziell bedrohliche Bedingungen wie ein Glaukomverdacht oder Diabetes mellitus geachtet. Tabelle 3.2 zeigt, dass die Prävalenz der Augenerkrankungen stark in den älteren Probandengruppen zunimmt und ein großer Teil der älteren Autofahrer (bis zu 33% in der ältesten Gruppe) eine oder mehrere Augenerkrankungen und/oder Abnormalitäten aufwies, die für das Sehvermögen zumindest potenziell bedrohlich sind. Es ist anzumerken, dass bei den gezeigten Ergebnissen die Präsenz einer Augenerkrankung nicht in Bezug auf ihren Schweregrad bewertet wurde.

Augenerkrankungen und Abnormalitäten	Altersgruppe					Alle
	20-30	45-54	55-64	65-74	75-	
Katarakt	0,0%	0,6%	6,4%	10,4%	14,0%	6,2%
Glaukom	0,0%	0,8%	0,7%	3,0%	4,7%	1,7%
Glaukomverdacht	3,8%	2,9%	3,6%	3,0%	0,6%	2,9%
Makuladegeneration	0,0%	0,9%	0,4%	2,5%	2,0%	1,2%
Cerebro-vaskuläres Ereignis	0,0%	0,3%	0,3%	1,5%	0,6%	0,6%
Diabetes mellitus	0,9%	0,8%	1,6%	2,1%	1,5%	1,4%
Amblyopie und/oder Strabismus	2,4%	2,0%	2,3%	0,9%	3,8%	2,1%
Andere	2,4%	2,8%	3,8%	2,5%	4,7%	3,2%
Eins oder mehr von den obengenannten	9,5%	11,1%	19,1%	25,9%	31,9%	19,3%

Tabelle 3.2: Augenerkrankungen und Abnormalitäten. Die Präsenz einer Erkrankung setzt keinen bestimmten Schweregrad voraus.

3.2 Gesichtsfeldergebnisse

Die Beurteilung der Gesichtsfelder erfolgte nach den folgenden Kriterien: horizontale Ausdehnung von mindestens 120 Grad, keine wesentlichen überlappenden Skotome innerhalb dieser 120 Grad mit einer besonderen Beachtung des horizontalen Meridians und der parazentralen Bereichen. Nach diesen Kriterien wurden 20 aus 2373 Probanden, bei denen eine Gesichtsfelduntersuchung durchgeführt wurde, als ungeeignet für einen Führerschein eingestuft. 21 Probanden hatten fragliche Ausfälle. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.3 gezeigt. Es ist zu beachten, dass sich diese Kriterien auf das binokulare Gesichtsfeld beziehen. Monokular betrachtet ist die Zahl pathologischer Gesichtsfeldbefunde natürlich höher.

Gesichtsfeld	Altersgruppe					Alle
	20-30	45-54	55-64	65-74	≥75	
Geeignet	100,0%	99,1%	98,8%	98,1%	95,0%	98,3%
Fraglich	0,0%	0,5%	0,6%	1,2%	2,4%	0,9%
Ungeeignet	0,0%	0,5%	0,6%	0,8%	2,7%	0,8%
Alle	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle 3.3 ($n=2373$): Gesichtsfeldklassifikation nach den in der Studie verwendeten Kriterien (s. auch Text).

3.3 Algorithmus zur Erfassung „normaler“ Gesichtsfelder

Aus den 2422 Probanden, die an der Studie „Relevance of glare sensitivity and impairment of visual function among European drivers“ teilgenommen haben, wurde bei 2373 eine Gesichtsfelduntersuchung durchgeführt. Für diese Arbeit wurden die Untersuchungsergebnisse von 1614 Probanden (davon 20 einäugige Personen) mit insgesamt 3208 Gesichtsfeldern benutzt.

3.3.1 Stufenverteilung

3.3.1.1 Das 4-Stufen-Modell

Alle Gesichtsfelder wurden in 4 Stufen verteilt: *Stufe 1 (normal)*, *Stufe 2 (wahrscheinlich normal)*, *Stufe 3 (wahrscheinlich pathologisch)*, *Stufe 4 (pathologisch)*. Tabelle 3.4 und Abbildung 3.2 zeigen die Verteilung aller Gesichtsfelder in diesem 4-Stufen-Modell.

Stufe	Zahl der Gesichtsfelder	In % von allen
1	2987	93,1
2	96	3,0
3	63	2,0
4	62	1,9
Alle	3208	100

Tabelle 3.4: Zahl der Gesichtsfelder in den vier möglichen Stufen des 4-Stufen-Modells.

Von allen Gesichtsfeldern, die wir bewertet haben, unterteilten wir 62 in die *Stufe 4* und 63 in die *Stufe 3*, d.h. es wurden insgesamt 125 Gesichtsfelder als „pathologisch“ oder „wahrscheinlich pathologisch“ beurteilt.

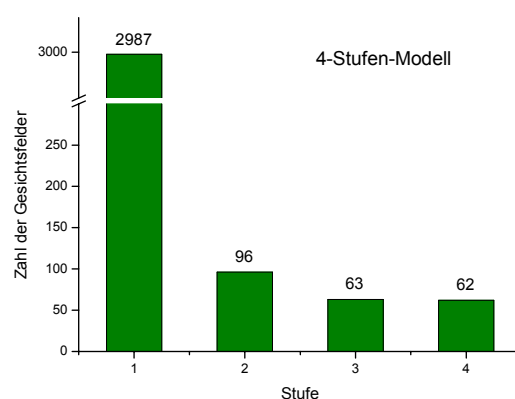
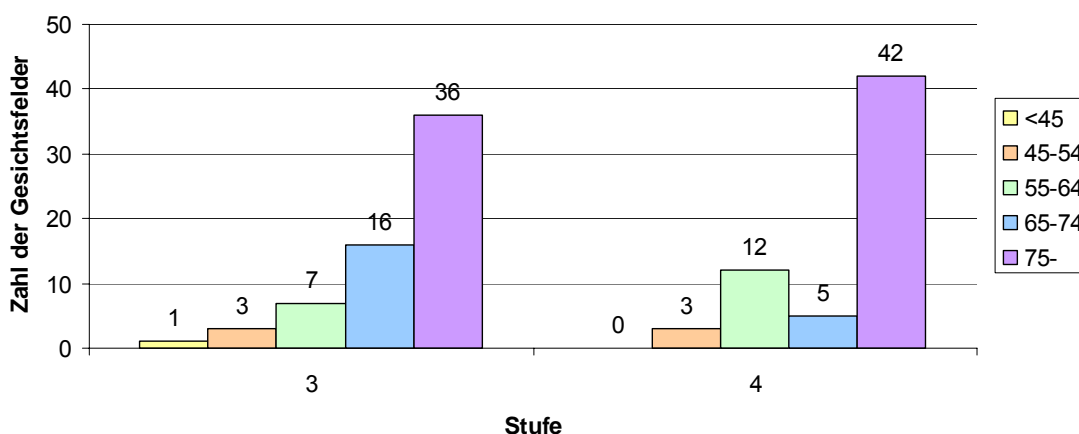


Abbildung 3.2: Verteilung der Gesichtsfelder in den vier möglichen Stufen in dem 4-Stufen-Modell.

Wie erwartet, ist die Mehrzahl der pathologischen Gesichtsfelder in den älteren Probandengruppen verteilt. Insgesamt ca. 83% der *Stufe 3* und ca. 75% der *Stufe 4* Gesichtsfelder wurden bei Probanden älter als 65 Jahren festgestellt. Bei der jüngeren Probanden (20-30 Jahren) wurde nur ein Gesichtsfeld als *Stufe 3* und keines als *Stufe 4* gewertet. Abbildung 3.3 zeigt die Altersverteilung für die „wahrscheinlich pathologischen“ und „pathologischen“ *Stufen 3* und *4*.

Abbildung 3.3: Die Prävalenz der „wahrscheinlich pathologischen“ und „pathologischen“ Gesichtsfelder nimmt in den älteren Probandengruppen deutlich zu. Mehr als 83% der *Stufe 3* und mehr als 75% der *Stufe 4* Gesichtsfelder befinden sich in Probanden älter als 65 Jahren.

Altersverteilung in Stufen 3 und 4



3.3.1.2 Das 2-Stufen-Modell

Bei der Erstellung des *2-Stufen-Modells* wurden alle Gesichtsfelder in zwei große Gruppen verteilt: **Stufe 1** mit allen „normalen“ und „wahrscheinlich normalen“ Fällen und **Stufe 4**, die alle „wahrscheinlich pathologische“ und „pathologische“ Gesichtsfelder zusammenfasst. Folglich erfasst die **Stufe 1** alle *nicht*-kontrollbedürftige, während die **Stufe 4** alle kontrollbedürftige Gesichtsfelder. „Kontrollbedürftig“ bedeutet, dass ein Augenarzt den Patienten nachuntersuchen müsste. Abbildung 3.4 zeigt die Verteilung der Gesichtsfelder in diesem *2-Stufen-Modell*.

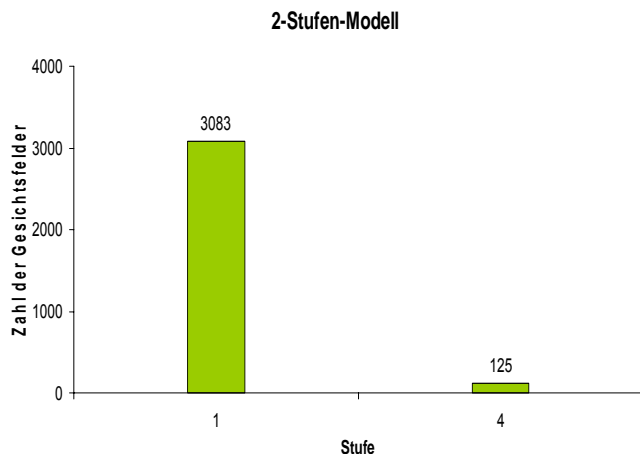
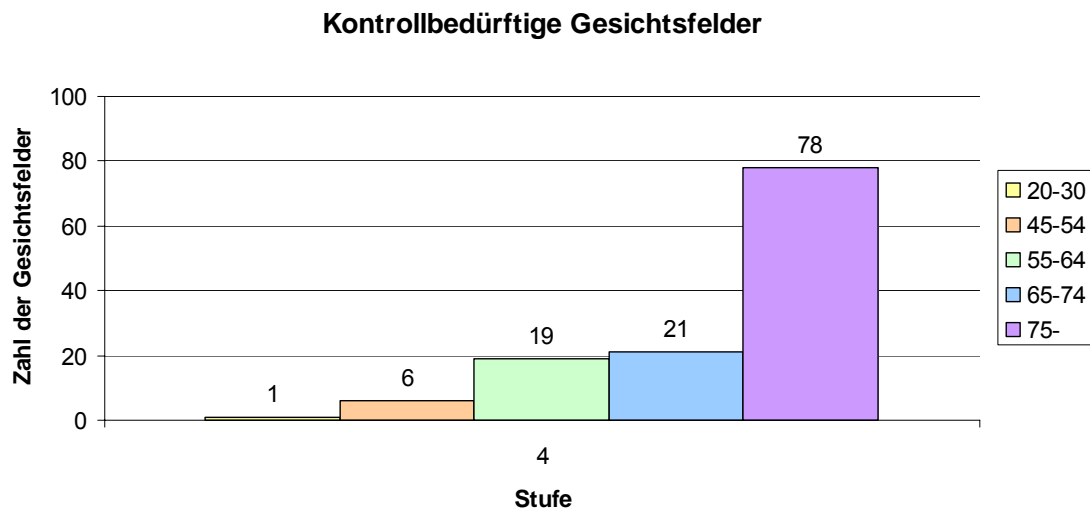


Abbildung 3.4: Das 2-Stufen-Modell. Verteilung der Gesichtsfelder in den zwei möglichen Stufen: **Stufe 1** („normal“ und „wahrscheinlich normal“) und **Stufe 4** („pathologisch“ und „wahrscheinlich pathologisch“).

Abbildung 3.5 präsentiert alle Fälle, die wir als *kontrollbedürftig*, d.h. **Stufe 4** in dem 2-Stufen-Modell, einstufen.

Abbildung 3.5: Stufe 4 bei dem 2-Stufen-Modell erfasst alle *kontrollbedürftigen* Gesichtsfelder.



Insgesamt liegen 79,2% der Stufe 4 Gesichtsfelder in den Probandengruppen ab 65 Jahre. Demgegenüber fanden wir nur 1 Gesichtsfeld als kontrollbedürftig in der Kontrollgruppe zwischen 20 und 30 Jahren.

3.3.2 Die registrierten Ausfälle nach Zonen

Alle Ausfälle wurden gezählt und in insgesamt sechs Gruppen unterteilt: vier in der peripheren Zonen „superior“, „nasal“, „inferior“ und „temporal“ und zwei in

der Zone „zentrale 30-Grad“. Diese Gruppen von Ausfällen tragen den Namen der jeweiligen peripheren Zone. Die zwei zentralen Gruppen wurden „30°absolut“ und „30°relativ“ genannt. Hier wurde, wie die Namen der Gruppen andeuten, zwischen den absoluten und relativen Ausfällen unterschieden. Die Verteilung der Ausfälle nach den verschiedenen Zonen wird in Abbildung 3.6 sowie Tabelle 3.5 gezeigt. Von allen 3208 untersuchten Gesichtsfeldern haben 1303 Ausfälle in der nasalen Zone. Damit zeigt sie sich als die am wenigstens spezifische Zone von allen.

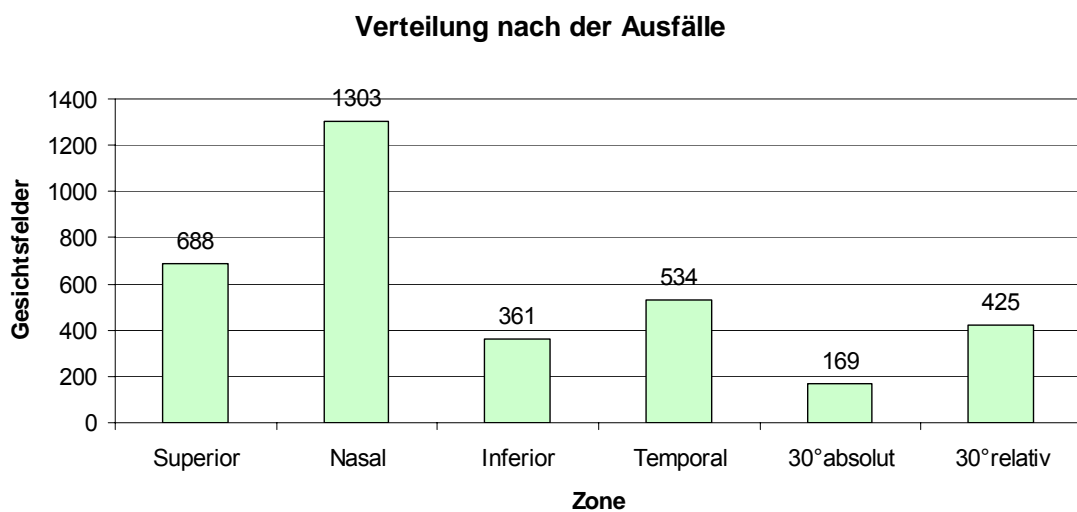


Abbildung 3.6: Bei etwa 40% aller Gesichtsfelder befinden sich Ausfälle in der nasalen Zone. Die „zentrale 30-Grad“ Zone wird mit der zwei Gruppen von Ausfällen präsentiert: absolute und relative.

Gruppe	Gesichtsfelder	% von allen
Superior	688	21,4%
Nasal	1303	40,6%
Inferior	361	11,3%
Temporal	534	16,6%
30°absolut	169	5,3%
30°relativ	425	13,2%

Tabelle 3.5: Zahl der Gesichtsfelder mit Ausfällen in den verschiedenen Gruppen und deren prozentuellen Verteilung.

3.3.3 Die Algorithmen

Es wurden zuerst zwei Algorithmen entsprechend der zwei Modelle entwickelt, die uns erlauben die „normalen“ Gesichtsfelder zu diagnostizieren. Die Entscheidungsbäume des jeweiligen Algorithmus werden in Abbildung 3.7 und 3.8 demonstriert.

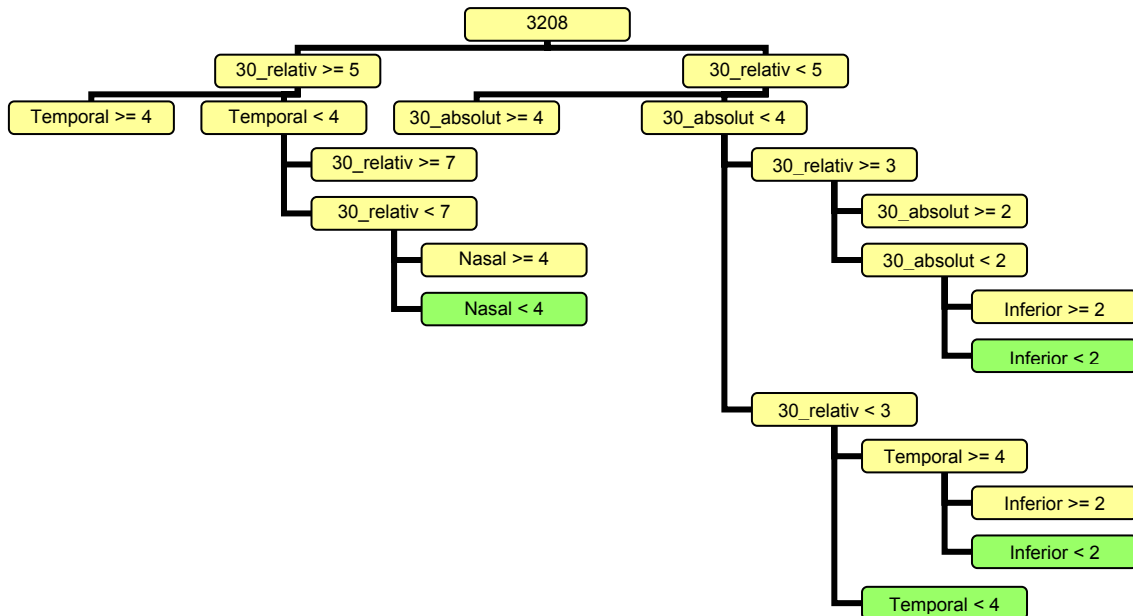


Abbildung 3.7: Entscheidungsbaum für das 2-Stufen Modell. Alle Gesichtsfelder, die die Kriterien bis einschließlich die grünen Kästchen erfüllen, gehören zu der „normalen“ Gruppe. Alle anderen werden als „pathologisch“ klassifiziert.

Betrachten wir nun das 2-Stufen-Modell, so gelang uns mit diesem Algorithmus alle „pathologische“ Gesichtsfelder von dem Rest zu trennen. Dabei wurden alle Gesichtsfelder in zwei Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe enthält 152 Gesichtsfelder und darunter alle 125 „pathologische“ Fälle. Die zweite Gruppe besteht aus 3056 „normalen“ Gesichtsfeldern. Insgesamt gelang uns über 99% der „normalen“ Gesichtsfelder zu diagnostizieren. Das würde bedeuten, dass ein Gerät, das mit diesem Algorithmus arbeitet, weniger als 1% der normalen „Gesichtsfelder“ nicht erkennen und „unnötig“ zur weiteren Abklärung überweisen würde. Tabelle 3.6 zeigt die Ergebnisse bei der Anwendung des 2-Stufen-Modells.

Algorithmus	Gutachter			
	Gesichtsfelder	„Normale“	„Pathologische“	Alle
	Als „normal“ diagnostiziert	3056	0	3056
	Als „pathologisch“ diagnostiziert	27	125	152
Alle	3083	125	3208	

Tabelle 3.6: Algorithmus für das *2-Stufen-Modell*. Bei einer Sensitivität von 100%, liegt die Spezifität bei über 82%.

Mit dem *4-Stufen-Modell* konnten wir 121 der „pathologischen“ Gesichtsfelder indentifizieren (95%). Die Sensitivität liegt hier bei über 99% bei einer Spezifität von über 85%. Tabelle 3.7 zeigt die zweidimensionale Kontingenztafel für das *4-Stufen-Modell*.

Algorithmus	Gutachter			
	Gesichtsfelder	„Normale“	„Pathologische“	Alle
	Als „normal“ diagnostiziert	3062	4	3066
	Als „pathologisch“ diagnostiziert	21	121	142
Alle	3083	125	3208	

Tabelle 3.7: *4-Stufen-Modell*. Die Sensitivität des Modells liegt bei über 99%, die Spezifität bei 85%.

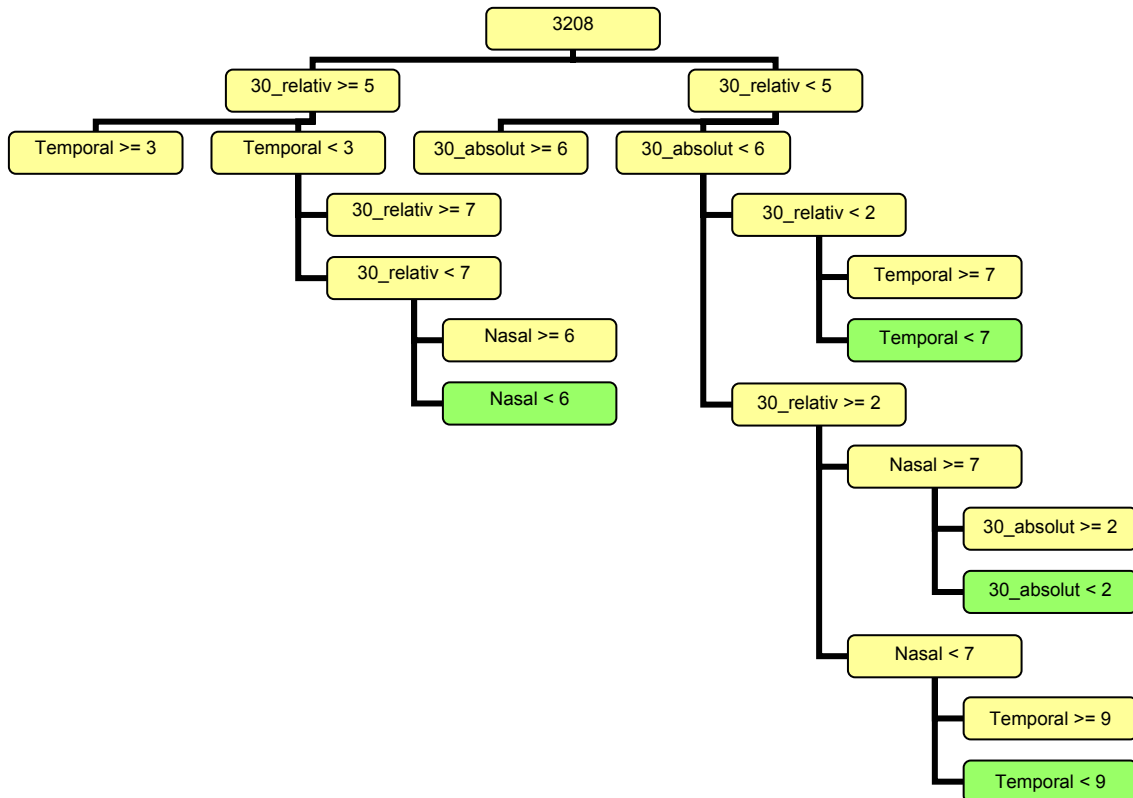


Abbildung 3.8: Entscheidungsbaum für das *4-Stufen Modell*. Alle Gesichtsfelder, die die Kriterien bis einschließlich die grünen Kästchen erfüllen, gehören zu der „normalen“ Gruppe. Alle anderen werden als „pathologisch“ klassifiziert.

3.3.4 Korrelationsanalyse

Die Korrelationsanalyse für das *2-Stufen-Modell* ergab einen kappa Koeffizient von 0,61 mit einem approximativen Standardfehler $SE=0,0395$ und eine Übereinstimmung von 95% zwischen den beiden Gutachtern. Kappa für das zweite Modell (*4-Stufen*) lag bei 0,39 bei $SE=0,026$ und einer Übereinstimmung von 84%.

3.4 Test der Algorithmen

In einem zweiten Schritt nach Erstellung der Algorithmen wurde ihre Wirksamkeit getestet. Die entsprechenden Stufeneinteilungen sind in Tabelle 3.8 zu sehen. Weil beide Algorithmen sehr ähnliche Resultate gezeigt haben,

wird hier die Stufeneinteilung des besseren Algorithmus gezeigt (nach dem 2-Stufen Modell).

Der kappa Koeffizient liegt bei 0,73.

Algorithmus	Gutachter			
	Gesichtsfelder	„Normale“	„Pathologische“	Alle
Als „normal“ diagnostiziert		135	32	167
Als „pathologisch“ diagnostiziert		0	61	61
Alle		135	93	228

Tabelle 3.8: 2-Stufen-Modell im Test. Die Sensitivität des Modells liegt bei 81%, die Spezifität bei 100%.

Die Sensitivität des Algorithmus lag bei 81%. Dies hatte zu Folge, dass er nachgearbeitet werden musste um die Sensitivität zu erhöhen.

4. Diskussion

Ziel dieser Arbeit ist es ein möglichst realitätsnahes und einfach anwendbares Verfahren für die Gesichtsfeldbeurteilung in Rahmen der Fahrtauglichkeitsbegutachtung zu entwickeln. Im folgenden werden die Vor- und Nachteile dieses Verfahrens diskutiert.

4.1 Einschlussmethoden bei der „Relevance of glare sensitivity and impairment of visual function among European drivers“– Studie

Unser Ziel war eine repräsentative Auswahl der Fahrer in jeder Region für die Studie zu rekrutieren. Wegen kultureller und technischer Unterschiede zwischen den Zentren war es unmöglich das gleiche Verfahren für jedes Zentrum anzuwenden. Daher wurde die Einschlussmethode nach den spezifischen Umständen in jedem Zentrum ausgewählt. So wurden die Teilnehmer in Amsterdam und Salzburg zufälligerweise in dem lokalen Telefonbuch aufgesucht und kontaktiert. In Antwerpen wurden die Probanden direkt in öffentlichen Bereichen der Stadt angesprochen und rekrutiert. In Tübingen wurde eine Anzeige in der Lokalpresse aufgegeben. In Barcelona wurde die Hälfte der teilnehmenden Probanden von Angestellten der Klinik und ihren Verwandten rekrutiert. Die andere Hälfte stammte aus Freiwilligen aus dem lokalen Automobilklub.

Es ist möglich, dass die Einschlussmethode eine Rolle in der Prävalenz der Sehbeeinträchtigung, die gefunden wurde, insbesondere auch der Gesichtsfeldausfälle, spielt. Stellen wir uns vor, dass Probanden, die eine Sehbeeinträchtigung bei sich selbst vermuten, weniger bereit sind an der Studie teilzunehmen. Das würde bedeuten, dass die „liberalste“ Einschlussmethode die geringste Prävalenz der Sehbeeinträchtigung ergeben sollte. Von allen Zentren hatte Tübingen die „liberalste“ Methode: eine Anzeige in der Lokalpresse. Danach folgen die Zentren in Amsterdam und Salzburg sowie die Hälfte der Probanden in Barcelona: hier wurden die Teilnehmer am Telefon oder durch einen Brief kontaktiert. Etwas zwingender war wahrscheinlich die

Rekrutierung in Antwerpen, wo die Probanden direkt in öffentlichen Bereichen in der Stadt angesprochen wurden. Unserer Erfahrung nach ist eine persönliche Kontaktaufnahme etwas zwingender als ein (anonymer) Anruf oder Brief. Die zwingendste Methode wurde bei der Rekrutierung der zweiten Hälfte der Probanden in Barcelona angewendet: sie stammt aus Angestellten der Klinik und ihren Verwandten. Erfahrungsgemäß lehnen diese Probanden eine Teilnahme an solchen Studien nur selten ab. Vergleichen wir nun den robustesten Test von allen, die Sehschärfeprüfung, in allen Zentren, stellen wir Unterschiede fest, die nicht parallel zu den Einschlussmethoden stehen. Antwerpen und Tübingen haben zum Beispiel die niedrigste Prozentzahl der Probanden mit einer Sehschärfbeeinträchtigung. Darüber hinaus zeigte sich kein Unterschied zwischen den beiden Populationen in Barcelona, d.h. die beiden unterschiedlichen Einschlussmethoden ergaben eine ähnliche Prozentzahl der Fälle mit einer beeinträchtigten Sehschärfe.

Es sind hier noch einige Beobachtungen der lokalen Untersucher anzumerken. Es bestehen in Amsterdam sehr lange Wartelisten für eine ophthalmologische Untersuchung. Die teilnehmenden Untersucher in Amsterdam hatten daher das Gefühl, das viele Probanden diese Studie als einen schnelleren Weg in die Klinik sahen, um zu einer Kontrolle zu gelangen. Daher sind wir der Meinung, dass unsere Ergebnisse die Prävalenz der Sehbeeinträchtigung nicht unterschätzen. In Salzburg wurde kurz vor dem Anfang der Untersuchung ein Fall in der Öffentlichkeit diskutiert, bei dem ein Arzt ein Führerscheinentziehungsverfahren bei einem Patienten wegen eines nicht-ausreichenden Sehvermögens eingeleitet hatte. Das könnte die potenziellen Probanden misstrauisch gemacht haben, obwohl eine Teilnahme an der Studie keine Konsequenz für den Führerschein haben konnte und auch in keinem Fall hatte. Daher könnte die Prävalenz der Beeinträchtigung in Salzburg etwas unterschätzt sein.

Bei dem in dieser Arbeit angestrebten Ziel ist die Frage der repräsentativen Zusammensetzung der Population von untergeordneter Bedeutung. Wie sich bei kritischer Prüfung des erhobenen Ergebnisses zeigte war sogar der Anteil der pathologischen Befunde zu gering, um eine ausreichende Sensitivität zu

erreichen. Dies konnte erst in einem zweiten Schritt durch Hinzunahme ausgewählter pathologischer Befunde erreicht werden.

4.2 Auswahl der Gesichtsfelder

Verschiedene Autoren haben den Zusammenhang zwischen Fehlkorrektur und einer verminderten fovealen und parafovealen Gesichtsfeldsensitivität gezeigt (Weinreb and Perlman 1986; Rabineau and Flammer 1989; Anderson, McDowell et al. 2001). Diese Ergebnisse wurden auch in unserer Studie bestätigt. Üblicherweise werden das Zentrum des Gesichtsfelds mit einer entsprechenden (refraktions- und alterskorrelierten) Korrektur und die Peripherie ohne Korrektur geprüft. In einem der Zentren war es nicht möglich das Korrekturglas zum Prüfen der Peripherie zu entfernen, so dass hier alle Gesichtsfelduntersuchungen ohne Korrektur durchgeführt wurden. Es resultierte eine Vielzahl von relativen Ausfällen im zentralen Bereich, selbst bei den Probanden mit nur kleinen Refraktionsfehlern. Diese Ergebnisse zeigen, dass bei einer Screening-Methode auch die kleinen Refraktionsfehler sorgfältig korrigiert werden sollen. Diese Gesichtsfelder wurden für die Entwicklung unserer Algorithmen nicht benutzt.

In einem zweiten Zentrum wurde ein unterschiedliches Prüfpunktraster in etwa der Hälfte der Probanden benutzt. Die Unterschiede zu den anderen Zentren bestehen hauptsächlich in der vertikalen Verteilung der Punkte. Es lagen bei diesem Raster keine Prüfpunkte unterhalb und oberhalb der zentralen 30 Grad im etwa 60 Grad Bereich, so dass die von uns vorgeschlagene Zonenverteilung nicht erfüllt war. Aus diesem Grund wurden diese Gesichtsfelder für diese Arbeit nicht angewendet.

Insgesamt verwendeten wir 3208 Gesichtsfelder von 1614 Probanden. Diese Zahl ist deutlich größer im Vergleich zu den meisten Normwertstudien (Egge 1984; AGIS-Forscher 1994; Gillespie, Musch et al. 2003) und etwa gleich mit der Studien von Greve et al. (Greve and Verduin 1972). Unsere Ergebnisse bezüglich der Zahl der „normalen“ Gesichtsfelder (ca. 95%) stimmen gut mit den Ergebnissen früherer Studien überein (Greve and Verduin 1972; Johnson and Keltner 1983; Ramrattan, Wolfs et al. 2001; RGSIVFED-Forscher 2005).

Taylor et al berichteten über eine 3-fach höhere Prävalenz der Gesichtsfeldbeeinträchtigung (Taylor, Livingston et al. 1997).

Im Gegensatz zu diesen früheren Studien, basiert die Entscheidung über die „Normalität“ des Gesichtsfeldes in dieser Arbeit auf der Erfahrung der Gutachter. Das ist ein Verfahren, das am ehesten dem klinischen Alltag entspricht, was eine realitätsnahe Begutachtung erlaubt.

Die größten Vorteile unserer Studie liegen in der sehr großen Datenmenge, bestehend zu etwa 95% aus „normalen“ oder „wahrscheinlich normalen“ Befunden, und in ihrem multizentrischen Charakter sowie der Teilnahme von Kfz-Fahrern, die eine gute Aussagekraft und Allgemeingültigkeit unseres Algorithmus vermuten lassen. Es werden jedoch weitere Studien notwendig sein um diese in der täglichen Praxis zu prüfen. Eine solche Studie befindet sich schon in Planung.

4.3 Die Stufen-Modelle

In dieser Arbeit werden zwei verschiedene Einteilungen der Gesamtmenge der Gesichtsfelder beschrieben. In dem ersten Modell, das so genannte *4-Stufen-Modell*, haben wir alle Gesichtsfelder in insgesamt vier *Stufen* unterteilt, dann die Zahl und die Verteilung der einzelnen Ausfälle ausgewertet und Kriterien für ein „normales“ oder „wahrscheinlich normales“ Gesichtsfeld mit der Hilfe eines Algorithmus entwickelt. Das zweite Modell beinhaltet eine gröbere Einteilung der Gesichtsfelder in lediglich zwei Gruppen: „normale“ und „pathologische“ oder „kontrollbedürftige“ Befunde. Es handelt sich hier um eine sehr grobe Unterteilung der möglichen Befunde in zwei Kategorien („normal“ oder „pathologisch“). Dies mag in der Welt der Physik oder der Mathematik sinnvoll erscheinen, ist aber aus der Sicht der Physiologie keinesfalls eine ideale Variante, wo die Grenzen zwischen *Normalität* und *Pathologie* fließend sind und es keine abrupten Übergänge gibt. Daher erscheint uns eine etwas feinere Gruppierung der Gesichtsfeldbefunde etwas lebensnäher und realistischer. Es zeigte sich jedoch, dass es sehr schwierig ist und nur unter bestimmten Kompromissen überhaupt möglich ist einen Algorithmus zu entwickeln, der zwischen den vier Stufen unterscheiden kann. Hier muss man mit mehr

„falschen“ Entscheidungen im Vergleich zu dem Algorithmus für das *2-Stufen-Modell* rechnen.

Die Beurteilung von Perimetriebefunden ist größtenteils ein subjektiver Prozess, der sehr stark von der Erfahrung des Betrachters abhängig ist. Aus diesem Grund ist auch die Diagnose „*normales Gesichtsfeld*“ sicherlich eine der Schwierigsten überhaupt und eine hundertprozentig sichere Unterscheidung zwischen „*normal*“ und „*pathologisch*“, nicht zuletzt auch wegen der fließenden Grenzen zwischen den beiden, nie zu erreichen. Das zeigt auch die Korrelationsanalyse der Gesichtsfeldklassifikation der beiden Gutachter in dieser Arbeit. Wenn wir die Gesichtsfeldbefunde etwas vereinfachen und nur zwei mögliche Gesichtsfeldgruppen bilden, dann erreichen die Gutachter einen kappa Koeffizienten von 0,61 und eine Übereinstimmung der Entscheidungen von 95%. Wenn wir allerdings das *4-Stufen Modell* betrachten, dann liegt kappa mit 0,39 in einem mäßig zufriedenstellenden Bereich bei einer immer noch gute Übereinstimmung von 84%. Zum Vergleich berichten Ramrattan et al. über eine Unstimmigkeit von 34% bei der Beurteilung von Goldmann-Perimetrie durch sechs verschiedene Forscher in der Rotterdam Studie (Ramrattan, Wolfs et al. 2001). Eine geringe Prävalenz der Stufen 2, 3 und 4 wie in unserem Fall kann kappa jedoch verzerren. Tabelle 4.1 zeigt, dass genau die schwer definierbaren Übergänge zwischen „*normal*“ und „*pathologisch*“ die größte Herausforderung für die beiden Gutachter war.

		S a l z b u r g				
T ü b i n g e n	Zahl Spalte % Zeile %	1	2	3	4	Alle
	1	1280 98.46 87.67	138 79.77 9.45	38 42.22 2.60	4 9.09 0.27	1460
	2	12 0.92 19.67	27 15.61 44.26	17 18.89 27.87	5 11.36 8.20	61
	3	7 0.54 16.28	5 2.89 11.63	21 23.33 48.84	10 22.73 23.26	43
	4	1 0.08 2.33	3 1.73 6.98	14 15.56 32.56	25 56.82 58.14	43
Alle	1300	173	90	44	1607	

Tabelle 4.1: Korrelationsanalyse des *4-Stufen-Modells*. In der ersten Spalte sind die vier möglichen Stufen nach dem Tübinger-Gutachter, in der ersten Zeile die Stufen des Salzburger-Gutachters gezeigt. Die Zahlen repräsentieren die Zahl der Probanden. Die größten und wesentlichsten Uneinstimmigkeiten liegen im Bereich der *Stufen 2 und 3*, die sog. *fließenden Stufen*, bezeichnet als „wahrscheinlich normal“ und „wahrscheinlich pathologisch“. Der Gutachter in Salzburg erwies sich als der „strengere“ der Beiden und unterteilte 138 der Probanden, die in Tübingen als *Stufe 1* klassifiziert wurden, in der *Stufe 2*. Weitere 38 Probanden wurden der *Stufe 1* in Tübingen aber der *Stufe 3* in Salzburg zugeordnet. Kappa liegt bei ca. 0,39 bei einer Übereinstimmung von ca. 84%.

4.4 Der überarbeitete Algorithmus

Nach der Erstellung beider Algorithmen (*2-Stufen-Modell und 4-Stufen-Modell*) wurden sie auf ihre Wirksamkeit getestet. Für diesen Test wurden Gesichtsfelder mit einer hohen Prävalenz von pathologischen Fällen, deutlich höher als die Prävalenz der pathologischen Gesichtsfelder in der Gesamtbevölkerung, benutzt. Die Ergebnisse zeigten eine gute Korrelation von 0,73 zwischen den Algorithmus- und Gutachterdiagnosen. Es ist aufgefallen, dass nicht alle von dem Gutachter als „pathologisch“ diagnostizierte Gesichtsfelder als solche mit Hilfe der Algorithmen entdeckt wurden.

Umgekehrt, alle als „normal“ diagnostizierten Fälle wurden auch als solche erkannt. Das heißt, dass trotz einer sehr guten Spezifität eine nicht ausreichende Sensitivität vorlag. Um die Algorithmen als Screening-Verfahren nutzen zu können ist jedoch eine sehr hohe Sensitivität des Tests notwendig. Deswegen wurden die Fehler der Algorithmen analysiert im Versuch die Algorithmen zu verfeinern. Es zeigte sich, dass fast alle „unentdeckten“ pathologischen Gesichtsfelder wegen wenigen Zentralausfällen (bis 5, relative oder absolute) von dem Gutachter als pathologisch gestuft wurden. Im Gegensatz dazu, alle Gesichtsfelder die pathologischen Ausfälle in der Peripherie hatten, wurden ausnahmslos entdeckt. Um diese „zentrale“ Schwäche der Algorithmen zu korrigieren wurden einige Veränderungen der Algorithmen vorgenommen, so dass am Ende ein korrigierter Algorithmus entwickelt wurde. Da es geplant ist ein Patent für den Algorithmus zu beantragen, wird dieser hier nicht völlig offen gelegt. Er basiert auf den beiden präsentierten Entscheidungsbaumdiagrammen.

4.5 Andere Möglichkeiten?

Eine andere Möglichkeit zur Unterscheidung zwischen „normal“ und „pathologisch“ ist der Einsatz eines künstlichen neuronalen Netzes. Künstliche neuronale Netze (KNN, engl. artificial neural network, ANN) haben ihren Ursprung in der Biologie und sind ein Zweig der künstlichen Intelligenz. Jedes Netz wird von künstlichen Neuronen (Units) und Verbindungen dazwischen (künstliche Synapsen) gebildet. Die Neuronen sind über gewichtete Verbindungen vernetzt. Die Architektur eines Netzwerks kann jede bestimmte Form haben und muss gemäß den Aufgaben gewählt werden. Manche Netzwerke haben Schichten, andere dagegen sind vollvernetzt. Eines der häufigen Formaten ist das so genannte Feedforward-Netzwerk, bestehend aus einer Eingangsschicht, die mit einer Schicht versteckter Neuronen verbunden ist, die wiederum mit einem oder mehreren Ausgangsneuronen in Verbindung steht. Das Netzwerk muss vor dem Einsatz zuerst „eingelernt“ werden. Es gibt verschiedene Lernverfahren, wie zum Beispiel das „back-propagation“-Verfahren. Hier werden Daten benutzt, in den man die korrekte Antwort kennt.

Diese Daten werden dann durch das Netzwerk vorwärts propagiert. Die Ausgabe des Netzes wird mit der gewünschten Ausgabe verglichen. Die Differenz der beiden Werte wird als Fehler des Netzes erachtet. Der Fehler wird nun wieder über die Ausgabe- zur Eingabeschicht propagiert, dabei werden die Gewichtungen der Neuronenverbindungen abhängig von ihrem Einfluss auf den Fehler geändert. Dies garantiert bei einem erneuten Anlegen der Eingabe eine Annäherung an die gewünschte Ausgabe. Das KNN ist bei allen Anwendungen interessant, bei denen kein bzw. nur geringes explizites (systematisches) Wissen über das zu lösende Problem vorliegt. Die KNN's haben bestimmte Nachteile, wie z.B. die Gefahr, dass bei dem Einlernen das Netz Eigenschaften der Muster lernt, die zwar auf den Trainingsdaten mit dem Ergebnis in irgendeiner Weise korreliert sind, die aber in anderen Situationen nicht zur Entscheidung herangezogen werden können. Ein anderer Nachteil ist die Neigung mancher KNNs die Trainingsdaten einfach auswendig zu lernen, die so genannte Überanpassung. Wenn dies geschieht, können sie nicht mehr auf neue Daten verallgemeinern. Ein weiterer Punkt ist, dass, auch wenn ein KNN erfolgreich bestimmte Daten klassifizieren kann, es sehr schwierig zu bestimmen ist welche Unterscheidungskriterien das Netz verwendet (Rumelhart and McClelland 1986; Cross, Harrison et al. 1995; Kohonen 1995; Lietman, Eng et al. 1999). Es waren diese Überlegungen, die uns zu der Entscheidung, kein künstliches neuronales Netz zu verwenden, geführt haben. Einerseits entwickelten wir unsere Algorithmen anhand bestimmter Vorkenntnisse. Man weiß zum Beispiel, dass der überwiegende Teil des für den Fahrer relevanten Verkehrsgeschehens sich im zentralen Bereich innerhalb von 25 bis 30 Grad Abstand vom Gesichtsfeldzentrum abspielt (DOG and BVA 2003; Crabb, Fitzke et al. 2004; McGwin, Xie et al. 2005). Daher wurde dieser Bereich mit etwa der Hälfte aller Prüfpunkte in unserem Raster versehen. Wir unterschieden auch zwischen *relativen* und *absoluten* Defekten in diesem Bereich, so dass wir insgesamt zwei Gruppen von Ausfällen für den zentralen Bereich (Zone) und jeweils eine Gruppe für die vier peripheren Bereiche (Zonen) bildeten. Andererseits wurde nicht immer das maximale Zusammenhangsmaß G^2

verwendet, sondern mehr Wert auf die Scores des zentralen 30-Grad-Bereichs (30-Grad-relativ und 30-Grad-absolut) gelegt.

Eine weitere Möglichkeit für die Diagnostik eines normalen Gesichtsfeldes wären Scores, wie zum Beispiel die AGIS- und CIGTS-Scores. Diese Scores stammen aus der Glaukomforschung und wurden in Rahmen großer Studien entwickelt. Der AGIS-Score wurde zur Diagnostik des Glaukoms und Beurteilung der Gesichtsfeldprogression entwickelt. Das Ziel des CIGTS-Scores dagegen ist lediglich die Erfassung der Gesichtsfeldprogression (AGIS-Forscher 1994; Gillespie, Musch et al. 2003). Beide Scores basieren auf der Entdeckung von defekten Punkteclustern um die falsche Klassifikation von Artefakten als Defekte zu vermeiden. Die AGIS- und CIGTS-Scores werden nach bestimmten Regeln errechnet, wobei jeder Punkt des Gesichtsfeldrasters in Abhängigkeit von den Nachbarpunkten gewertet wird (AGIS-Forscher 1994; Gillespie, Musch et al. 2003). Demgegenüber berücksichtigten wir jeden einzelnen Punkt in unserem Punkteraster unabhängig von den anderen Punkten. Hier wäre eine Weiterentwicklung unseres Algorithmus mit Einschluss von Punkteclustern in einer, zu den sechs bestehenden, zusätzlichen Gruppen von Gesichtsfeldausfällen sicherlich interessant.

Weiterhin wurden die beiden Scores auf der Basis des Humphrey 24-2 Tests entwickelt. Der Test umfasst 52 Prüfpunkte innerhalb von 24 Grad des Fixationspunktes, außer nasal, wo das Raster nur bis 27 Grad reicht (AGIS-Forscher 1994; Gillespie, Musch et al. 2003). Hier liegen auch weitere Unterschiede zu unserem Modell vor, da wir etwa doppelt so viel Punkte berücksichtigten, denn wir waren auch an der Gesichtsfeldperipherie interessiert und legten etwa die Hälfte aller Prüfpunkte in diese Bereiche.

Die Gesichtsfelder, die für die Entwicklung der AGIS- und CIGTS-Scores angewendet wurden, mussten bestimmten Zuverlässigkeitsbedingungen wie Fixationskontrolle, falsch positive und falsch negative Kontrollen sowie kurzzeitige Gesichtsfeldschwankungen erfüllen. In unserer Studie war die Implementierung von diesen Gesichtsfeld-Zuverlässigkeitsbedingungen wegen der Studiegöße nicht praktikabel, d.h. sie waren kein Ausschlusskriterium für

die Entwicklung der Algorithmen. Diese Kriterien sind auf der individuellen Ebene sicherlich wichtig, es ist aber zu bezweifeln ob dadurch die Ergebnisse einer so großen Studie wesentlich beeinflusst werden können. Ivers et al. berichten, dass die Gesichtsfelder von etwa 1000 Probanden, die als unzuverlässig klassifiziert wurden (nach den Humphrey Kriterien), keine wesentliche Quelle eines systematischen Fehlers (engl. bias) bei der Untersuchung der Verbindungen zwischen ophthalmologischen Erkrankungen und Sehleistungstests und der selbst-berichteten Sehbeeinträchtigung in der Blue Mountains Eye Studie waren (Ivers, Mitchell et al. 2000).

In einem Vergleich der Leistungsfähigkeit von künstlichen neuronalen Netzen und zehn weiteren Algorithmen (statistische Indizes wie „mean Deviation“, MD, Algorithmen zur Erfassung von Clustern abnormaler Punkte wie das AGIS-Score und „cross-meridionale“ Algorithmen) glaukomatöse Gesichtsfeldausfälle zu entdecken, berichten Lietman et al. über eine Sensitivität der verschiedenen Methoden zwischen 68% und 97% und eine Spezifität zwischen 78% und 94% (Lietman, Eng et al. 1999). Angesichts der schweren potenziellen Folgen einer unentdeckten Beeinträchtigung der Fahrtauglichkeit war uns wichtig bei der Entwicklung der Algorithmen eine maximale Sensitivität zu erreichen. Es ist uns am Ende eine 100-prozentige Sensitivität gelungen bei einer guten Spezifität von 82% im *2-Stufen-Modell* mit dem nachjustierten Algorithmus. Für das *4-Stufen-Modell* liegen die Werte bei 99% bzw. 85%. Allerdings muss diese gute Sensitivität sich noch in einem Test mit neuen Daten reproduzieren.

4.6 Lerneffekte

Zahlreiche Studien haben die so genannten Lerneffekte bei der Gesichtsfeldsprüfung untersucht (Drance, Berry et al. 1967; Katz and Sommer 1986; Heijl, Lindgren et al. 1987; Heijl, Lindgren et al. 1989; Wild, Searle et al. 1991; AGIS-Forscher 1994; Heijl and Bengtsson 1996; Gillespie, Musch et al. 2003). Die Literatur bietet hier gegensätzliche Meinungen. Drance konnte keinen Lerneffekt nachweisen, war sich jedoch unsicher, ob ein eventuell vorhandener Einfluss durch einen Ermüdungseffekt maskiert sein könnte (Drance, Berry et al. 1967). Katz gelang es ebenfalls nicht, einen konstanten

Lern- oder Ermüdungseffekt nachzuweisen (Katz and Sommer 1986). Andere Autoren konnten demgegenüber einen solchen Effekt beobachten (Heijl, Lindgren et al. 1987; Heijl, Lindgren et al. 1989; Wild, Searle et al. 1991; AGIS-Forscher 1994; Heijl and Bengtsson 1996; Gillespie, Musch et al. 2003). Gillespie berichtet über kleine, aber signifikante Lerneffekte bei der CIGTS Studie. Auch Heijl zeigt nur kleine Lerneffekte bei normalen Probanden mit einem Empfindlichkeitsanstieg von 1 bis 2 dB im Laufe der ersten Tests durch die zunehmende Perimetrieerfahrung. Während unserer Studie wurden keine Angaben bezüglich der früheren Perimetrieerfahrung der Probanden gesammelt. Unserer Meinung nach ist der Einfluss der Lerneffekte auf unsere Ergebnisse jedoch vernachlässigbar wegen der 3-Zonen alterskorrelierten Strategie, die wir verwendeten, d.h. es gab insgesamt drei mögliche Antworten: a) normale Lichtunterschiedsempfindlichkeit (LUE), b) reduzierte LUE (mehr als 6 dB im Vergleich zu einer alterskorrelierten Gruppe) und c) absoluter Ausfall (oder keine messbare LUE für den maximalen Lichtstimulus, den das Gerät produzieren kann). Bei einer solchen Einteilung ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Lerneffekt von wenigen dB eine falsche Schätzung des Ausfalls bewirkt, durchaus gering. Ein anderer Punkt ist hier, dass wir den Unterschied zwischen relativen und absoluten Ausfällen nur im zentralen 30-Grad Bereich berücksichtigten. In der Gesichtsfeldperipherie wurde keine solche Einteilung vorgenommen, da der Unterschied zwischen „absolut“ und „relativ“ dort bei überschwelliger Strategie gering ist.

5. Zusammenfassung

Die Gesichtsfeldprüfung ist eine der Hauptkomponenten in der Fahrtauglichkeitsbegutachtung. Die Fahrerlaubnis-Verordnung und deren Änderungsverordnung (FeV und FeVÄndV) regeln u.a. auch diese Prüfung. Die FeVÄndV ist am 23.08.2002 in Kraft getreten und hat einige wichtige Änderungen gebracht. Als ein völlig neues Element wurde ein „verschärfter“ Sehtest für die Begutachtung der Fahrerlaubnisklassen C, C1, CE, C1E, D, D1, DE, D1E und der Fahrerlaubnis zur Fahrgastbeförderung, der für Ärzte mit der Gebietsbezeichnung „Arbeitsmedizin“, „Betriebsmedizin“, für Ärzte bei einer Begutachtungsstelle für Fahreignung, Ärzte des Gesundheitsamtes oder Ärzte der öffentlichen Verwaltung gedacht ist, eingeführt. Damit verbunden sind ein stark angestiegener Aufwand und eine Unsicherheit in diesen Berufsgruppen. Besonders problematisch sind die korrekte Prüfung und Auswertung des Gesichtsfeldes, da es hier auf „Normalität“ oder „normale Funktion“ geprüft werden muss, jedoch durch Ärzte mit kaum, wenn überhaupt, perimetrischer Erfahrung. Es sind dann die steigende Verzweiflung und Frustration in diesen Berufsgruppen leicht nachvollziehbar. Andererseits wurden das Risiko für eine unzureichende oder nicht-korrekte Begutachtung und die damit verbundenen Sicherheitslücken und Kosten stark negativ beeinflusst. Im Versuch diese Nachteile der FeVÄndV zu minimieren, setzten wir uns das Ziel einfache Kriterien in Form eines Algorithmus für die Diagnose „normales Gesichtsfeld der Kfz Fahrer“ zu entwickeln. Anhand dieses Algorithmus geben wir auch Empfehlungen, wann ein Bewerber zur weiteren Begutachtung zu einem Augenarzt überwiesen werden sollte.

Für die Entwicklung unseres Algorithmus verwendeten wir insgesamt 3208 monokulare Gesichtsfelder von 1614 Probanden (20 einäugige Probanden inbegriffen). Unsere Daten stammen aus drei europäischen Zentren, die an der „Relevance of glare sensitivity and impairment of visual function among European drivers“ – Studie teilgenommen haben.

Die Gesichtsfelduntersuchung erfolgte mittels automatisierter, statischer Perimetrie. Beide Augen wurden getrennt untersucht nach einer 3-Zonen alterskorrelierten Strategie, d.h. es gab insgesamt drei mögliche Antworten: a)

normale Empfindlichkeit (LUE), b) reduzierte LUE (mehr als 6 dB im Vergleich zu einer alterskorrelierten Gruppe) und c) absoluter Ausfall (oder keine messbare LUE für den maximalen Lichtstimulus, den das Gerät produzieren kann). Es wurde ein Prüfpunktraster basierend auf das von Lachenmayr vorgeschlagene Modell ausgewählt. Bei diesem Modell werden die meisten Prüfpunkte in den zentralen 20 Grad und auf dem horizontalen Meridian verteilt. Es wurden weitere Prüfpunkte zum Testen der zentralen 30 Grad addiert, so dass das Programm für ein Glaukom-Screening geeignet war. Insgesamt lag die Zahl der geprüften Punkte zentrumspezifisch zwischen 96 und 101, ohne wesentliche Unterschiede in der Verteilung. Die für unseren Algorithmus verwendeten Untersuchungen erfolgten am Humphrey Perimeter (die restlichen Gesichtsfelder wurden aus verschiedenen Gründen nicht berücksichtigt).

Alle Prüfpunkte wurden in fünf großen Zonen erfasst, vier periphere – superior, nasal, inferior und temporal, sowie eine zentrale – zentrale 30-Grad. Alle Ausfälle wurden dann gezählt und in sechs möglichen Gruppen zusammengestellt, dabei wurde zwischen absoluten und relativen Ausfällen nur in der zentrale-30-Grad-Zone unterschieden – vier „periphere“ Gruppen (superior, nasal, inferior, temporal) und zwei „zentrale“ Gruppen (30-Grad-absolut und 30-Grad-relativ).

Unabhängig von dieser Einteilung der Ausfälle erfolgte eine gutachterliche Beurteilung aller Gesichtsfelder von zwei erfahrenen Augenärzten. Alle Gesichtsfelder wurden in vier möglichen Stufen klassifiziert in Bezug auf ihre Bedeutung für die Fahrtauglichkeit des jeweiligen Probanden.

Der *Stufe 1* wurden alle Gesichtsfelder, die die Gutachter nach ihrer langjährigen Erfahrung subjektiv als „normal“ oder „unauffällig“ bewerteten, zugeordnet. Die *Stufe 2* enthält alle Gesichtsfelder, die als „wahrscheinlich normal“ oder „am ehesten normal“ beurteilt wurden. In der dritten Stufe (*Stufe 3*) wurden alle auffälligen Gesichtsfelder, die als „wahrscheinlich pathologisch“ oder „am ehesten pathologisch“ gesehen wurden, einbezogen. Die restlichen Gesichtsfelder, die als „pathologisch“ oder „auffällig“ bewertet wurden, unterteilten wir in der *Stufe 4*. Bei einem zweiten Modell wurde eine etwas gröbere Unterteilung in nur zwei Stufen vorgenommen. Hier wurden die Stufen

1 und 2 sowie die Stufen 3 und 4 zusammengelegt. Dementsprechend wurden zwei Modelle entwickelt – ein *2-Stufen-* und ein *4-Stufen-*Modell.

Es wurden zwei Algorithmen entwickelt, entsprechend den zwei Modellen. In einem zweiten Schritt wurden diese zwei Algorithmen auf eine Serie von Gesichtsfelder mit hoher Prävalenz der pathologischen Fälle getestet. Dank dieser Test konnten einige Schwächen der Algorithmen im zentralen Gesichtsfeldbereich entdeckt und behoben werden, so dass am Ende ein funktionsfähiger Algorithmus entwickelt wurde.

Die Diagnose eines „normalen“ Gesichtsfeldes ist eine der schwierigsten in der augenärztlichen, gutachterlichen Praxis überhaupt. Es ist trotzdem gelungen einen einfachen Algorithmus zu entwickeln, der für die Unterscheidung zwischen „normal“ und „pathologisch“ in der Gesichtsfeldprüfung in Rahmen der Fahrtauglichkeitsbegutachtung eine erhebliche Hilfe sein kann. Wenn in einem konventionellen Perimeter integriert, wird es auch für nicht-Augenärzte eine genauere Entscheidung, wann ein Gesichtsfeld kontrollbedürftig ist, möglich sein. Es sind weitere Studien zur Untersuchung des Verhaltens des Algorithmus in der täglichen Praxis notwendig und bereits in Planung.

Betrachtet man die Fragestellung am Anfang dieser Arbeit (Kapitel 1.6), kann hier zusammengefasst werden:

- I. Eine absolute Zahl der Ausfälle, bei der das Gesichtsfeld noch als „normal“ gilt, ist schwierig, wenn nicht unmöglich, zu definieren.
- II. Einen einfachen Algorithmus zu entwickeln, der eine enorme Hilfe vor allem der Nicht-Ophthalmologen leisten kann, ist möglich.
- III. Wenn in einem Perimetrie-Gerät eingebaut, kann der Algorithmus innerhalb kürzester Zeit eine Empfehlung bezüglich der Wertigkeit des Gesichtsfeldes geben.

Diese Arbeit ist ein erster Schritt in einem langen Weg mit dem Endziel eine bessere, sicherere und kostengünstigere Gesichtsfeldprüfung im Rahmen der Fahrtauglichkeitsbegutachtung zu erreichen. Als Nächstes planen wir eine Prüfung des Algorithmus in der täglichen Praxis. In Zukunft soll er als Zusatzsoftware für alle Perimetriegeräte zugänglich sein.

6. Glossar und Abkürzungen:

AGIS	The Advanced Glaucoma Intervention Study
AGIS-Score	Ein Maß, das für die Diagnostik und Verlaufskontrolle anhand Punkten-Clusters in dem Gesichtsfeld bei Glaukropatienten entwickelt wurde. Kann ähnlich wie das CIGTS-Score Werte zwischen 0 und 20, allerdings nur ganzen Zahlen, einnehmen (AGIS-Forscher 1994)
Blickzuwendungssakkaden	Rasche Augenbewegung
BVA	Berufsverband der Augenärzte Deutschlands
CGITS	The Collaborative Initial Glaucoma Treatment Study
CGITS-Score	Ein Maß zur Erfassung des Umfangs und der Tiefe des Gesichtsfeldausfalls, geprüft mit dem Humphrey 24-2 Test. Das CGITS-Score wurde zur Erfassung der Gesichtsfeldprogression bei Glaukropatienten entwickelt und kann Werte zwischen 0 und 20 einnehmen (Gillespie, Musch et al. 2003)
Cluster (Punkten)	Zusammenhängende Punkte in einem Gesichtsfeld
DOG	Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft
ETDRS	The Early Treatment Diabetic Retinopathy Study
Falsch-negative Fangfragen	Eine von insgesamt drei Qualitätskontrollen bei der Gesichtsfeldprüfung. Sollte bei einer guten Messung nicht mehr als 30% Fehler aufweisen
Falsch-positive Fangfragen	Eine von insgesamt drei Qualitätskontrollen bei der Gesichtsfeldprüfung. Sollte bei einer guten Messung nicht mehr als 20% Fehler aufweisen
FeV	Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr (Fahrerlaubnis-Verordnung)
FeVÄndV	Seit 2002 geltende Verordnung zur Änderung der Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV) und anderer straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften
Fixationskontrolle	Eine von insgesamt drei Qualitätskontrollen bei der Gesichtsfeldprüfung. Wird mittels Projektion in den Blindenfleck kontrolliert. Sollte bei einer guten Messung nicht mehr als 30% Fehler aufweisen
Fovea	In der anatomischen Nomenklatur eine Einsenkung im Zentrum der Makula, bestehend aus einem Wall, einem Abhang und einer zentralen Mulde (die Foveola) mit einem Durchmesser von 1,5mm

Foveola	In der anatomischen Nomenklatur eine Mulde im Zentrum der Makula mit einem Durchmesser von 0,35mm
Gesichtsfeld	die Summe aller visuellen Sinneseindrücke, die ohne Blick-, Kopf- oder Rumpfbewegung (üblicherweise mit einem Auge) wahrgenommen werden können (Schiefer and Wilhelm 1995)
Goldmann-Perimeter	Standardgerät der manuellen Perimetrie; Halbkugelperimeter mit auf 10 cd/m ² kalibrierter Hintergrundleuchtdichte, mit dem das gesamte Gesichtsfeld untersucht werden kann
Humphrey Field Analyzer (HFA)	Weit verbreitetes, automatisches Perimetriegerät
Isoptere	Linien, die Orte gleicher Lichtunterschiedsempfindlichkeit verbinden
Kampimetrie	Verfahren zur Erfassung des Gesichtsfeldes, bei dem die Prüfpunkte auf einer zweidimensionalen Fläche abgebildet werden
Kappa Koeffizient (Cohen)	Dimensionsloses Maß für den Grad der überzufälligen Anteil der Übereinstimmung zwischen zwei Merkmalen
Kinetische Perimetrie	Perimetrie mit beweglichen Reizen, die eine große Rolle in den Gutachtenverfahren spielt
Kontrastempfindlichkeit	Die Fähigkeit graue Buchstaben auf einem weißen Hintergrund zu unterscheiden
Künstliches neuronales Netz (KNN, engl. ANN)	Zweig der künstlichen Intelligenz. Jedes Netz wird von künstlichen Neuronen (Units) und Verbindungen dazwischen (künstliche Synapsen) gebildet. Die Neuronen sind über gewichtete Verbindungen vernetzt. Die Architektur eines Netzwerks kann jede bestimmte Form haben und muss gemäß den Aufgaben gewählt werden
Lerneffekt	Oder „fluctuation“ (engl., Variabilität). Unterschieden wird bei perimetrischen Untersuchungen zwischen die „ <i>short-term fluctuation</i> “: Variabilität der Schwellen innerhalb ein- und derselben Untersuchung; und die „ <i>long term fluctuation</i> “: tatsächliche, aber reversible Änderung einer Schwelle zwischen zwei Untersuchungen im Abstand von Tagen, Wochen oder Monaten (Bebie, Fankhauser et al. 1976)
Leuchtdichte	Maß für die <i>absolute</i> Größe der Lichtintensität, [cd/m ²]
Lichtunterschiedsempfindlichkeit (LUE)	Maß für die <i>relative</i> Größe der Lichtintensität, [dB]
NEI-VFQ25	Visual Function Questionnaire 25 des National Eye Institute

Octopus 101-Perimeter	Weit verbreitetes Perimetriergerät
Perivist-Perimeter	Weit verbreitetes Perimetriergerät
Perimetrie	Methode zur Erfassung des Gesichtsfeldes
Q-Wert	Qualitätskontrolle bei der Streulichtmessung. Bei einem Q-Wert kleiner als 0,5 empfiehlt sich die Untersuchung zu wiederholen
Schwellenbestimmende Perimetrie	Eine der Untersuchungsstrategien bei der statischen Perimetrie, bei der die genaue Schwelle für jedes Prüfort ermittelt wird. Hilfreich bei Entdeckung kleinen, subtilen Defekten
Schwellennah-überschwellige Perimetrie	Eine der Untersuchungsstrategien bei der statischen Perimetrie. Hierbei werden an alle Prüforte Stimuli dargeboten, die – bezogen auf ein alterskorreliertes Normkollektiv – eine geringgradig höhere Leuchtdichte aufweisen. Die Methode erlaubt eine schnelle Untersuchung vieler Gesichtsfeldorten
Skotom	Ausfall (<i>absolut</i>) oder Abschwächung (<i>relativ</i>) eines Teils des Gesichtsfeldes
Stäbchen	Fotorezeptoren in der Netzhaut, die hauptsächlich für das Sehen in der Dämmerung und bei Nacht wichtig sind
Statische Perimetrie	Methode zur Untersuchung des Gesichtsfeldes mit stehenden, unbewegten Lichtreizen. Heutzutage wird die so genannte automatisierte Rasterperimetrie angewendet
Streulicht	Maß für die Blendungsempfindlichkeit
Tübinger Automatik Perimeter (TAP)	Weit verbreitetes Perimetriergerät
Twinfield-Perimeter	Weit verbreitetes Perimetriergerät
UFOV	Useful Field of View, ein Maß für die visuelle Aufmerksamkeit
Zapfen	Fotorezeptoren in der Netzhaut, die hauptsächlich für das Sehen bei Tag und guter Beleuchtung sowie für das Farbsehen

7.Literaturverzeichnis

AGIS-Forscher (1994). "Advanced Glaucoma Intervention Study. 2. Visual field test scoring and reliability." Ophthalmology **101**(8): 1445-55.

Anderson, R. S., D. R. McDowell, et al. (2001). "Effect of localized defocus on detection thresholds for different sized targets in the fovea and periphery." Acta Ophthalmol Scand **79**(1): 60-3.

AREDS-Forscher (1999). "The Age-Related Eye Disease Study (AREDS): design implications. AREDS report no. 1." Control Clin Trials **20**(6): 573-600.

Aulhorn, E. (1978). Pros und Cons of Quick-Tests in Glaucoma Perimetry. Glaucoma Update. G. Kriegelstein and L. W. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag: 79-92.

Aulhorn, E. and W. Durst (1982). "Rasterperimetrie in der augenärztlichen Praxis." Fortschr Ophthalmol **79**(4): 350-3.

Aulhorn, E., E. Gauger, et al. (1975). "Über die Automatisierung der perimetrischen Untersuchung." Biomed Tech 20 (Ergänzungsband): 309-310.

Ball, K. and C. Owsley (1993). "The useful field of view test: a new technique for evaluating age-related declines in visual function." J Am Optom Assoc **64**(1): 71-9.

Bebie, H., F. Fankhauser, et al. (1976). "Static perimetry: accuracy and fluctuations." Acta Ophthalmol (Copenh) **54**(3): 339-48.

Beck, R. W., T. J. Bergstrom, et al. (1985). "A clinical comparison of visual field testing with a new automated perimeter, the Humphrey Field Analyzer, and the Goldmann perimeter." Ophthalmology **92**(1): 77-82.

Casson, E. J. and L. Racette (2000). "Vision standards for driving in Canada and the United States. A review for the Canadian Ophthalmological Society." Can J Ophthalmol **35**(4): 192-203.

-
- Chylack, L. T., Jr., G. Jakubicz, et al. (1993). "Contrast sensitivity and visual acuity in patients with early cataracts." J Cataract Refract Surg **19**(3): 399-404.
- Cicchetti, D., R. Bronen, et al. (2006). "Rating scales, scales of measurement, issues of reliability: resolving some critical issues for clinicians and researchers." J Nerv Ment Dis **194**(8): 557-64.
- Crabb, D. P., F. W. Fitzke, et al. (2004). "A practical approach to measuring the visual field component of fitness to drive." Br J Ophthalmol **88**(9): 1191-6.
- Crone, R. A. (1977). "Die Physiologie der Netzhautperipherie." Ber Zusammenkunft Dtsch Ophthalmol Ges **74**: 17-21.
- Cross, S. S., R. F. Harrison, et al. (1995). "Introduction to neural networks." Lancet **346**(8982): 1075-9.
- DOG and BVA (2003). Empfehlung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft und des Bundesverbandes der Augenärzte Deutschlands zur Fahreignungsbegutachtung für den Straßenverkehr.
- Drance, S. M., V. Berry, et al. (1967). "Studies on the effects of age on the central and peripheral isopters of the visual field in normal subjects." Am J Ophthalmol **63**(6): 1667-72.
- Egge, K. (1984). "The visual field in normal subjects." Acta Ophthalmol Suppl **169**: 1-64.
- Elliott, D. B., K. Sanderson, et al. (1990). "The reliability of the Pelli-Robson contrast sensitivity chart." Ophthalmic Physiol Opt **10**(1): 21-4.
- Gandorfer, U., Kampik (2002). Erkrankungen der Retina. Aktuelle Aspekte der Diagnostik und Therapie, UNI-MED Verlag AG: 38.
- Gillespie, B. W., D. C. Musch, et al. (2003). "The collaborative initial glaucoma treatment study: baseline visual field and test-retest variability." Invest Ophthalmol Vis Sci **44**(6): 2613-20.
- Goldmann, H. (1945). "Ein selbstregistrierendes Projektionskugelperimeter." Ophthalmologica **109**(2-3): 71-79.

-
- Goldmann, H. (1945). "Grundlagen exakter Perimetrie." Ophthalmologica **109**: 57-70.
- Greve, E. L. and W. M. Verduin (1972). "Mass visual field investigation in 1834 persons with supposedly normal eyes." Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol **183**(4): 286-93.
- Groenow, W. (1893). "Ueber die Seschaerfe der Netzhautperipherie und eine neue Untersuchungsmethode derselben." Arch Augenheilkd **26**: 85-132.
- Heijl, A. and B. Bengtsson (1996). "The effect of perimetric experience in patients with glaucoma." Arch Ophthalmol **114**(1): 19-22.
- Heijl, A., G. Lindgren, et al. (1987). "Normal variability of static perimetric threshold values across the central visual field." Arch Ophthalmol **105**(11): 1544-9.
- Heijl, A., G. Lindgren, et al. (1989). "The effect of perimetric experience in normal subjects." Arch Ophthalmol **107**(1): 81-6.
- Ivers, R. Q., P. Mitchell, et al. (2000). "Visual function tests, eye disease and symptoms of visual disability: a population-based assessment." Clin Experiment Ophthalmol **28**(1): 41-7.
- Johnson, C. A. and J. L. Keltner (1983). "Incidence of visual field loss in 20,000 eyes and its relationship to driving performance." Arch Ophthalmol **101**(3): 371-5.
- Katz, J. and A. Sommer (1986). "Asymmetry and variation in the normal hill of vision." Arch Ophthalmol **104**(1): 65-8.
- Kohonen, T. (1995). Self-organizing maps. Berlin, Springer Verlag.
- Lachenmayr, B. (2006). "Sind Gesichtsfeldausfälle kompensierbar?." Ophthalmologie **103**(5): 382-6.
- Lachenmayr, B. and P. Vivell (1992). Perimetrie. Stuttgart New York, Georg Thieme Verlag.

-
- Lietman, T., J. Eng, et al. (1999). "Neural networks for visual field analysis: how do they compare with other algorithms?" J Glaucoma **8**(1): 77-80.
- Lovsund, P., A. Hedin, et al. (1991). "Effects on driving performance of visual field defects: a driving simulator study." Accid Anal Prev **23**(4): 331-42.
- Mangione, C. M., S. Berry, et al. (1998). "Identifying the content area for the 51-item National Eye Institute Visual Function Questionnaire: results from focus groups with visually impaired persons." Arch Ophthalmol **116**(2): 227-33.
- Mangione, C. M., P. P. Lee, et al. (2001). "Development of the 25-item National Eye Institute Visual Function Questionnaire." Arch Ophthalmol **119**(7): 1050-8.
- Mangione, C. M., P. P. Lee, et al. (1998). "Psychometric properties of the National Eye Institute Visual Function Questionnaire (NEI-VFQ). NEI-VFQ Field Test Investigators." Arch Ophthalmol **116**(11): 1496-504.
- McGwin, G., Jr., A. Xie, et al. (2005). "Visual field defects and the risk of motor vehicle collisions among patients with glaucoma." Invest Ophthalmol Vis Sci **46**(12): 4437-41.
- Owsley, C. (1994). "Vision and driving in the elderly." Optom Vis Sci **71**(12): 727-35.
- Owsley, C. and G. McGwin, Jr. (1999). "Vision impairment and driving." Surv Ophthalmol **43**(6): 535-50.
- Pelli, D., J. Robson, et al. (1988). "The design of a new letter chart for measuring contrast sensitivity." Clin Vision Sci **2**: 187-199.
- Rabineau, P. A. and J. Flammer (1989). " Fehlerquellen in der automatisierten statischen Perimetrie." Klin Monatsbl Augenheilkd **194**(5): 307-19.
- Ramrattan, R. S., R. C. Wolfs, et al. (2001). "Prevalence and causes of visual field loss in the elderly and associations with impairment in daily functioning: the Rotterdam Study." Arch Ophthalmol **119**(12): 1788-94.

-
- RGSIVFED-Forscher (2005). "(Relevance of glare sensitivity and impairment of visual function among European drivers, EU project: SUB-27020B-E3-Glare-2002-S07.18091)."
- Rönne, H. (1920). "Zur Theorie und Technik der Bjerrumschen Gesichtsfelduntersuchung." Arch Augenheilkd **78**: 284-301.
- Rubin, G. S. (1988). "Reliability and sensitivity of clinical contrast sensitivity tests." Clin Vision Sci **2**: 169-177.
- Rumelhart, D. and J. McClelland (1986). Parallel distributed processing. Cambridge, The MIT Press: 45-76, 328-330
- Schiefer, U. and H. Wilhelm (1995). "Gesichtsfeld-Kompendium. Interpretation perimetrischer Befunde. Fachübergreifende diagnostische Massnahmen." Klin Monatsbl Augenheilkd **206**(4): 206-38.
- Szyk, J. P., C. L. Mahler, et al. (2005). "Driving performance of glaucoma patients correlates with peripheral visual field loss." J Glaucoma **14**(2): 145-50.
- Taylor, H. R., P. M. Livingston, et al. (1997). "Visual impairment in Australia: distance visual acuity, near vision, and visual field findings of the Melbourne Visual Impairment Project." Am J Ophthalmol **123**(3): 328-37.
- Thompson, H. S. and M. Wall History of Perimetry, International Perimetric Society, <http://webeye.ophth.uiowa.edu/ips/PerimetryHistory/index.htm>.
- Traquair, H. M. (1939). "Clinical Detection of Early Changes in the Visual Field." Trans Am Ophthalmol Soc **37**: 158-79.
- Van den Berg, T. and J. Ijspeert (1991). The straylightmeter. Technical Digest on Noninvasive Assessment of the Visual System. Washington, DC. **1**: 256-259.
- Van den Berg, T. and J. Ijspeert (1992). "Clinical Assessment of intraocular straylight." Applied Optics **31**: 3694-3696.
- Van den Berg, T., L. Van Rijn, et al. (2003). Assessment of visual function in driving-licence holders. EU Project: I-TREN E3 200/7//SI2.282826.

-
- Weinreb, R. N. and J. P. Perlman (1986). "The effect of refractive correction on automated perimetric thresholds." Am J Ophthalmol **101**(6): 706-9.
- Wild, J. M., A. E. Searle, et al. (1991). "Long-term follow-up of baseline learning and fatigue effects in the automated perimetry of glaucoma and ocular hypertensive patients." Acta Ophthalmol (Copenh) **69**(2): 210-6.
- Wood, J. M. and R. Troutbeck (1992). "Effect of restriction of the binocular visual field on driving performance." Ophthalmic Physiol Opt **12**(3): 291-8.
- Wood, J. M. and R. Troutbeck (1994). "Effect of visual impairment on driving." Hum Factors **36**(3): 476-87.
- Wood, J. M. and R. Troutbeck (1995). "Elderly drivers and simulated visual impairment." Optom Vis Sci **72**(2): 115-24.

8. Danksagung

Ich danke Herrn Professor Dr. Helmut Wilhelm für seine Betreuung und fruchtbaren Vorschläge. Ein ganz herzliches Dankeschön für das, dass er vom Anfang an mich geglaubt hat und meine ersten fachlichen Schritte ermöglicht hat.

Herrn Professor Lachenmayr danke ich für die produktive Kooperation bei der Verfeinerung unseren Algorithmen. Nur mit seiner Hilfe konnte am Ende einen funktionsfähigen Algorithmus entwickelt und getestet werden.

Für den enormen Job alle Gesichtsfelder zu begutachten möchte ich Herrn Dr. Martin Emesz von der Landesklinik für Augenheilkunde und Optometrie, Salzburg herzlich danken.

Einen besonderen Dank schulde ich unserem tollen Studienteam: Ingrid Mildenberger, Birgit Mayer, Benedikt Matthiesen, Adam Kasperkowiak, Gudrun Wilhelm und insbesondere Christian Heine, der mit viel Unterstützung und Humor immer für eine wunderschöne Atmosphäre während der langen abendlichen Messungen gesorgt hat und ohne den diese Arbeit nicht möglich wäre. Es war eine riesige Freude mit euch arbeiten zu dürfen.

Ich bedanke mich herzlich bei Herrn Professor Torsten Schlote für seine kritischen Anmerkungen, die diese Arbeit viel bereichert haben.

Ich möchte mich auch bei Herrn Dr. Reinhard Vonthein für seine Unterstützung bei der statistischen Auswertung bedanken.

Meiner Familie möchte ich für die unermüdliche Unterstützung in Allem danken. Auch weit entfernt von mir sind sie immer für mich da.

Ein liebevolles Dankeschön an Emmanuella, mit der mich so Vieles verbindet.

9. Lebenslauf

ANGABEN ZUR PERSON

Name: Bogomil Nikolov Voykov
geboren am 05.09.1979 in Sofia, Bulgarien
Familienstand: ledig

HOCHSCHULAUSSBILDUNG

1998-2002 Medizinstudium an der Medizinischen
Universität Sofia, Fakultät für Medizin

2002-2005 Medizinstudium an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

03/2003 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

03/2004 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

04/2004-03/2005 Praktisches Jahr am Universitätsklinikum Tübingen
Wahlfach: Ophthalmologie, Universitäts-Augenklinik
Tübingen

05/2005 Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

SCHULAUSSBILDUNG

1986-1993 Grundschule „Lev Tolstoy“ in Sofia

1993-1998 Erstes Englisches Gymnasium in Sofia

BERUFLICHE TÄTIGKEITEN

Seit 08/2005 Assistenzarzt an der Universitäts-Augenklinik Tübingen