

**Aus dem Department für Augenheilkunde
Universitäts-Augenklinik Tübingen
Schwerpunkt: Neuro-Ophthalmologie
Leiter: Professor Dr. E. Zrenner**

**Studie zur Verteilung der Brillengüte und der Sehschärfe
sowie deren Auswirkung auf Visus und Fahrtauglichkeit bei
Führerscheininhabern aller Altersgruppen**

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

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

**vorgelegt von
Benedikt Matthiesen
aus
Neuwied**

2008

- Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth
1. Berichterstatter: Professor Dr. H. Wilhelm
 2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. Dipl.-Phys. J. C. Barry
 3. Berichterstatter: Professor Dr. A. Frohn

Meiner geliebten Frau
und meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung	7
1.1	Allgemeines	7
1.2	Sujet der Untersuchungen	8
1.3	Untersuchungsdaten	12
1.4	Zielsetzung dieser Arbeit.....	13
2	Probanden und Methoden.....	14
2.1	Probanden	14
2.1.1	Einschlusskriterien	14
2.1.2	Rekrutierung der Probanden.....	14
2.2	Fragebogen.....	15
2.3	Untersuchungsmethoden.....	15
2.3.1	Refraktion	15
2.3.1.1	Objektive (automatische) Refraktionsbestimmung.....	19
2.3.1.2	Subjektive Refraktionsbestimmung.....	20
2.3.2	Scheitelbrechwertmessung (SBM).....	21
2.3.3	Visusprüfung.....	22
2.4.	Methodik der klinischen Evaluation	25
2.4.1.	Brillenevaluation.....	25
2.4.2.	Visusevaluation.....	26
2.4.3.	Fahrverbot	26
2.4.4.	„Visual impairment“	26
2.5.	Datenmanagement.....	27
3.	Ergebnisse	28
3.1.	Deskription	28
3.1.1.	Rekrutierung	28
3.1.2.	Fragebogen.....	29
3.1.3.	Untersuchungsergebnisse	31
3.1.3.1.	Objektive (automatische) Refraktionsbestimmung.....	33
3.1.3.2.	Subjektive Refraktionsbestimmung.....	36
3.1.3.3.	Scheitelbrechwertmessung (SBM).....	39
3.1.3.4.	Visusprüfung mit eigener Korrektur (Brille)	42

3.1.3.5.	Visusprüfung mit optimaler Korrektur.....	43
3.1.4.	Fehlende Messwerte.....	44
3.2.	Evaluation	46
3.2.1.	Brillenevaluation.....	46
3.2.2.	Visusevaluation.....	50
3.2.2.1.	Visusverlust durch eigene Brille (absolut).....	50
3.2.2.2.	Visusverlust durch eigene Brille (in Stufen [dB])	53
3.2.2.3.	Fahrverbot	54
3.2.2.4.	„Visual impairment“ (Sehstörung)	58
3.2.3.	Qualitative Beurteilung der objektiven Refraktionsbestimmung ..	59
3.3.	Bewertung der Einflussgrößen.....	61
3.3.1.	Geschlecht.....	61
3.3.2.	Alter	63
3.3.3.	Zentrum	64
3.3.4.	Kilometerleistung	66
3.3.5.	Regelmäßiger Augenarztbesuch.....	66
3.3.6.	Grunderkrankung.....	66
4.	Diskussion.....	68
4.1.	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	68
4.2.	Diskussion der Schwächen	69
4.2.1.	Probanden	69
4.2.1.1.	Rekrutierung	69
4.2.1.2.	Regionalstruktur.....	69
4.2.1.3.	Gruppenzusammensetzung.....	70
4.2.2.	Methoden.....	73
4.2.2.1.	Geräte.....	73
4.2.2.2.	Visusprüfung.....	74
4.2.3.	Ergebnisse	75
4.3.	Vergleich unserer Ergebnisse mit der Literatur	76
4.3.1.	Brillengüte.....	76
4.3.2.	Visus	78
4.3.3.	Fahrverbot	80

4.4. Fazit	80
5. Zusammenfassung (Abstract)	83
Ziele der Arbeit	83
Probanden und Methoden	83
Ergebnisse.....	83
Fazit der Arbeit	84
6. Anhang.....	85
6.1 Aufklärungsbogen	85
6.2. Einverständniserklärung.....	89
7. Literaturverzeichnis	91
Danksagung	95
Lebenslauf.....	96

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Schon seit vielen Jahren wird in Deutschland darüber nachgedacht, die Fahrerlaubnis für PKW nicht mehr wie bisher unbefristet zu erteilen, sondern, wie in anderen Ländern der EU üblich, zeitlich zu begrenzen. In Irland zum Beispiel ist ein Führerschein maximal 10 Jahre gültig und muss nach Ablauf dieser Frist erneuert werden. Ab dem 70. Lebensjahr ist zusätzlich eine ärztliche Untersuchung obligatorisch (Irish eGovernment initiative 2005). Dieses in vielen anderen Ländern inner- und außerhalb der EU ebenfalls in Abwandlungen praktizierte Verfahren der Befristung des Führerscheins ist in Deutschland heftig umstritten. Viele Ophthalmologen und Verkehrsexperten befürworten den hierzulande politisch sehr unpopulären Wechsel zu solch einem System (Harms und Dietz 1987; Lachenmayr 1995, 163). Sie führen zumeist die Steigerung der Verkehrssicherheit ins Feld, die aus einem solchen Schritt resultieren soll. Schon lange erhärten Untersuchungen wie die von von Hebenstreit (von Hebenstreit 1984) und von Lachenmayr et al (Lachenmayr et al. 1998) zur Unfallhäufigkeit in Abhängigkeit vom Sehvermögen die einleuchtende Vermutung, dass es eine Korrelation zwischen einer eingeschränkten Sehfunktion und der Unfallhäufigkeit eines Fahrers gibt. Ziel sollte es sein, eine Möglichkeit zur Kontrolle derjenigen zu haben, die am motorisierten Straßenverkehr teilnehmen, um eine optimale Brillenkorrektur zu gewährleisten und solchen Fahrern, die ein Risiko für den Straßenverkehr darstellen, die Fahrerlaubnis zu entziehen. Diese Kontrolle ist in Deutschland momentan nur sehr eingeschränkt gegeben, nämlich durch die Untersuchungen vor der Erteilung der Fahrerlaubnis, d.h. im Allgemeinen in jungen Jahren wenn körperliche Einschränkungen der Fahrtauglichkeit noch selten sind. Weitere Untersuchungen sind nur bei den Führerscheinen C und D sowie Fahrgastbeförderung vorgesehen, was nur eine Minderheit der Autofahrer betrifft. Uneinheitlich sind allerdings die Auffassungen darüber, welche

Untersuchungen oder Tests durchgeführt werden sollten und wie valide und sinnvoll diese im Einzelnen sind.

Ein mögliches Vorgehen besteht darin, zuerst zu prüfen, welche Eigenschaften bzw. Defizite eines Fahrers die Verkehrssicherheit überproportional gefährden, sprich: sein Unfallrisiko erhöhen, und sich dann zu überlegen, ob und wie sinnvoll diese getestet und wie Grenzwerte definiert werden können. Sicherlich ist es einfacher und praktikabler, solche Maßgaben für medizinische Funktionstests, wie die Messung der Sehschärfe und des Gesichtsfelds, als z.B. für einen psychischen Eignungstest zu entwickeln und anzuwenden. Des Weiteren sollte natürlich über die Konsequenzen nachgedacht werden, d.h., es muss überlegt werden, ob und wie die festgestellten Mängel behoben oder zumindest gebessert werden können oder ob als einziger Ausweg bei gravierenden Defiziten zum Schutz der anderen Verkehrsteilnehmer der Entzug der Fahrerlaubnis bleibt. Hier kommt es auf ein Abwägen zwischen dem Sicherheitsinteresse der Gesellschaft auf der einen und der Freiheit und den Bedürfnissen des betroffenen Individuums auf der anderen Seite an. Generell muss bei all diesen Überlegungen eine sorgfältige Kosten-Nutzen-Berechnung durchgeführt werden. Der Nutzen einer Untersuchung muss deren Aufwand und Kosten rechtfertigen

1.2 Sujet der Untersuchungen

Meine Arbeit beruht auf den Ergebnissen der von der EU geförderten Studie „Prevalence of impairments of visual function among elderly European drivers“ („Prävalenz von Störungen der Sehfunktion bei älteren Autofahrern in Europa“)[EU project: SUB-B27020B-E3-GLARE-2002-S07.18091, Studienleiter: Dr. T.J.T.P. van den Berg and Dr. L.J. van Rijn], bei der auch ich als Untersucher im Studienzentrum Tübingen teilnahm. Bei dieser Studie wurden von insgesamt 2420 Autofahrern in fünf europäischen Zentren (Amsterdam, Salzburg, Antwerpen, Barcelona und Tübingen) folgende Daten erhoben:

- 1.) Fragebögen (wurden von den Probanden selbstständig ausgefüllt, bei Bedarf wurden sie dabei vom Studienteam unterstützt):
 - NEI VFQ 25 (Fragebogen zu Lebensqualität und Sehfähigkeit)
 - Fahrgewohnheiten
 - Grunderkrankungen (nur bei Tübinger Probanden)

- 2.) Augenfunktionsuntersuchungen und Charakteristiken der Refraktion und des Auges (Durchführung: ophthalmologischer Facharzt [oFA] oder Medizinisch-Technische-Angestellte und eingewiesenes Hilfspersonal (in Tübingen Medizinisch-Technische-Angestellte und Medizinstudenten klinischer Semester) [MTA]):
 - Objektive Refraktion (MTA)
 - Subjektive Refraktion (oFA)
 - Scheitelbrechwertmessung der beim Autofahren getragenen Brille (MTA)
 - Visus (mit eigener Brille und mit optimaler Korrektur) (oFA)
 - Kontrastempfindlichkeit (oFA)
 - Streulichtmessung (Straylight measurement, program version SLM eu) (MTA)
 - Perimetrie (mit vorgegebenem Punktraster) (MTA)
 - Useful Field of Fiew (MTA)
 - Non-Contact-Augendruckmessung (MTA)
 - Augenfarbe (MTA)

Strukturelle Augenuntersuchungen:

- LOCS III Linsenklassifikation (oFA)
- Spaltlampenuntersuchung (oFA)
- Untersuchung des Fundus (oFA)

Ziele der Studie waren unter anderem die Gewinnung altersbezogene Prävalenzdaten zu Sehstörungen, den Visus mit eigener Korrektur sowie dessen Verbesserung durch optimale Korrektur, den Einfluss von Sehstörungen

auf die Unfallhäufigkeit und welche Untersuchungen diese ggf. reduzieren könnten.

Seit langem bekannt und auch leicht nachzuvollziehen ist der Einfluss von Gesichtsfeldausfällen auf die Fahrtauglichkeit, weshalb die Gesichtsfeldmessung (Perimetrie) einen festen Stellenwert als diesbezügliche Untersuchung besitzt. Seit geraumer Zeit gibt es auch Untersuchungen, die einen Zusammenhang zwischen Kontrastempfindlichkeit und Unfallhäufigkeit nachweisen. Eine erniedrigte Fähigkeit, Kontrastunterschiede zu differenzieren, wirkt sich besonders in der Dämmerung und bei Nacht aus, weil dann die Kontraste nicht so scharf und eindeutig wie am Tag (besonders bei strahlendem Sonnenschein) ausfallen.

Ich möchte im Folgenden einen Punkt untersuchen, der in den Diskussionen um Verkehrssicherheit neben den großen Themen wie etablierten, gut untersuchten sowie nachgewiesenerweise die Fahrtauglichkeit beleuchtenden Untersuchungen der Augenfunktion, wie z.B. der Perimetrie und Kontrastempfindlichkeit, sowie der technischen Aufrüstung der Fahrzeuge wenig Beachtung findet.

Unsere Untersuchungsergebnisse zeigen, dass ein großer Teil der untersuchten Führerscheininhaber keine Brille mit den für sie optimalen Brechwerten besitzen. Geht man von ca. 50–55 Millionen Führerscheinbesitzern in Deutschland (Mobilität in Deutschland 2002, 34 und 39), hochgerechnet ca. 200 bis 250 Millionen Führerscheinbesitzer EU-weit, und einem Anteil an Brillenträgern in der Bevölkerung (ab dem 16. Lebensjahr) von 63% (KGS 2002) bzw. 60,4% (Brillenstudie 1996, Institut für Demoskopie Allensbach) aus, so ergibt sich eine Zahl von 31 bis 35 Millionen Autofahrern mit Brille allein in Deutschland. Dies unterstreicht die Relevanz der durchgeführten Untersuchung.

Aus der falschen Refraktion durch eine unpassende Brille erwachsen gravierende Folgen für die Sehschärfe, welche durch folgende zwei Faktoren determiniert wird:

- 1) die optische „Verarbeitung“ des Lichts durch die brechenden Medien des Auges
- 2) die biochemische und neuronale Verarbeitung in der Netzhaut (Lachenmayr 1995, 73)

Entspricht die Brechkraft des optischen Systems Auge nicht seiner Achsenlänge, wird kein scharfes Netzhautbild erzeugt und der Betroffene sieht weniger scharf, als dies seine Netzhaut erlauben würde. Da die Sehfähigkeit aber von so großer Bedeutung für die Teilnahme am Straßenverkehr ist, ist dieser Punkt auch von erheblicher sicherheitstechnischer Relevanz. Wie Lachenmayr zeigt, führt eine solche Verminderung der Sehschärfe zu einer Verkürzung der Erkennungsdistanz, die höchstens partiell kompensierbar ist (Lachenmayr 1995, 74-77). Als eine typische Unfallsituation, die daraus folgt, identifiziert er den falschen Überholvorgang im Überlandverkehr, bei dem ein entgegenkommendes Fahrzeug zu spät erkannt oder dessen Geschwindigkeit falsch eingeschätzt wird (Lachenmayr 1995, 155).

Besonders interessant ist die optische „Verarbeitung“, also die Lichtbrechung, nun zum einen, weil sie in der Bevölkerung die weitaus häufigste Ursache einer verminderten zentralen Sehschärfe ist (vergl. Lachenmayr 1995, 73 und Attebo et al. 1996), und zum zweiten deshalb, weil sie im Gegensatz zur Verarbeitung in der Netzhaut und deren nachgeschalteten Strukturen relativ einfach, risikolos und kostengünstig optimiert und somit die Sehschärfe bis zu der durch Netzhaut und brechende Medien determinierten Höchstgrenze angehoben werden kann.

Zu erwähnen sei an dieser Stelle eine Untersuchung von Dannheim und Harms (Dannheim und Harms 1985), die aufzeigte, dass in den jüngeren Altersgruppen fast alle als sehungeeignet auffällig gewordenen Fahrer durch eine Korrektur der Brille wieder als geeignet eingestuft werden konnten. Daher geht Lachenmayr davon aus, „dass viele Brillenträger mit falschen oder unzureichend korrigierten Brillen am Straßenverkehr teilnehmen und viele Fahrer ohne optische Korrektur am Steuer sitzen, die eigentlich eine Brille tragen müssten“ (Lachenmayr 1995, 77). Schaut man sich die Entwicklung der

Tagessehschärfe nach Aulhorn und Harms mit zunehmendem Alter an, so nimmt diese kontinuierlich ab (Aulhorn und Harms 1970), was zwar selten zu einer nennenswerten Beeinträchtigung der Fahreignung führt, allerdings nur unter der Voraussetzung einer optimalen Korrektur von Refraktionsfehlern (Lachenmayr 1995, 148).

Da das Sehen ein subjektiver Vorgang ist, der von außen apparativ nur unzulänglich gemessen werden kann, wird auch subjektiv refraktiert. Hier wird diejenige Korrektur, mit welcher der Proband die für ihn optimale Sehschärfe erreicht, ermittelt. Wir definieren sie als unseren „Goldstandard“. Allerdings besitzt die objektive Refraktion (Autorefraktion, Kapitel 2.3.1.1) als Hilfsmittel des Augenarztes einen hohen Stellenwert und könnte an Wichtigkeit gewinnen, sollte es möglich und sinnvoll sein, die objektive Refraktionsbestimmung als Teil einer regelmäßigen Führerscheinuntersuchung zu etablieren. Der hieraus resultierende Arbeits- und Zeitaufwand (es müssten jährlich Millionen von Führerscheininhabern EU-weit untersucht, sprich: refraktiert, werden) wäre enorm. Betrachtet man die Terminvergabepraxis und die schon jetzt sehr langen Wartezeiten in ophthalmologischen Praxen und schließt daraus auf eine ohnehin schon hohe Arbeitsbelastung der Augenärzte, böte sich die objektive Refraktion, die nicht unbedingt durch medizinisches Personal durchgeführt werden muss und zusätzlich zeiteffektiv betrieben werden kann, als günstige Alternative oder zumindest als effektives Hilfsmittel an. Allerdings erscheint es vorher notwendig, diese Methode ausführlich zu evaluieren. Bei dieser Evaluation wird die objektive Refraktion mit dem Goldstandard, der subjektiven augenärztlich durchgeführten Refraktion, verglichen.

1.3 Untersuchungsdaten

Aus der Vielzahl der in der „Prevalence of impairments of visual function among elderly European drivers“-Studie erfolgten Untersuchungen und der daraus resultierenden Daten habe ich folgende bearbeitet, die für mein Untersuchungs-Sujet von Relevanz sind:

- 1) Daten der Fragebögen bezüglich Fahrgewohnheiten (Kapitel 2.2)
- 2) Daten der Fragebögen bezüglich Grunderkrankungen (Kapitel 2.2)
- 3) Objektive (automatische) Refraktionsbestimmung (Kapitel 2.3.1.1)
- 4) Subjektive Refraktionsbestimmung (Kapitel 2.3.1.2)
- 5) Scheitelbrechwertmessung (SBM) (Kapitel 2.3.2)
- 6) Visusprüfung mit eigener Korrektur (Brille) (Kapitel 2.3.3)
- 7) Visusprüfung mit optimaler Korrektur (Kapitel 2.3.3)

1.4 Zielsetzung dieser Arbeit

Im Rahmen dieser Arbeit soll die Verteilung der Brillengüte (bezüglich optimaler Brechwerte) und der Sehschärfe sowie deren klinische Relevanz auf die Fahrtauglichkeit erörtert werden. Dafür ist zuerst (1.) wichtig festzustellen, wie gut an den Refraktionsbedarf der Probanden deren Brillen angepasst sind (die „Brillenevaluation“, Kapitel 3.2.1). Des Weiteren sollen nun (2.) die Konsequenzen dargelegt werden. Dazu zählt die durch falsche Refraktionierung verursachte Verminderung der Sehschärfe, der sog. „Visusverlust“ (Kapitel 3.2.2.1 sowie Kapitel 3.2.2.2) und dessen Auswirkungen auf die vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Mindestanforderungen zur Fahrtauglichkeit (Kapitel 3.2.2.3).

Weiterhin (3.) soll eine qualitative Beurteilung der objektiven Refraktion erfolgen, um auszuloten, ob und in welchem Rahmen diese eine Rolle bei einer Führerscheinuntersuchung spielen könnte (Kapitel 3.2.3).

Als letztes Ziel (4.) möchte ich Faktoren bestimmen, die Einfluss auf die in dieser Studie gewonnenen Messwerte haben, wozu ich die in Frage kommenden „Einflussfaktoren“ bezüglich ihrer Relevanz prüfe (Kapitel 3.3).

2 Probanden und Methoden

2.1 Probanden

2.1.1 Einschlusskriterien

Im Rahmen der Studie suchten wir Probanden im Alter zwischen 45 und 84 Jahren, die einen Führerschein besitzen. Die Probanden wurden in vier Altersklassen (45-54 Jahre, 55-64 Jahre, 65-74 Jahre, 75-84 Jahre) eingeteilt. Ziel war es, eine in etwa gleichmäßige Alters- und Geschlechtsverteilung zu erzielen.

Zusätzlich gab es noch eine Kontrollgruppe von 20 bis 30jährigen. Die Studie wurde bei der lokalen Ethik-Kommission eingereicht und genehmigt.

2.1.2 Rekrutierung der Probanden

Jedes der fünf europäischen Zentren verfuhr nach einem anderen System zur Rekrutierung der Probanden. In Tübingen entschied man sich, eine Annonce in der Samstagsausgabe einer hiesigen Tageszeitung (Schwäbisches Tagblatt, letzte Seite) zu schalten. Dies wurde durch einen Beitrag im redaktionellen Teil unterstützt. Gesucht wurden Personen, die oben genannte Bedingungen (Führerschein, Alter zwischen 45 und 84 Jahre) erfüllen. Diese sollten sich telefonisch bei einer kostenlosen Rufnummer melden und einen Termin vereinbaren. Sie wurden mittels des im Anhang angefügten Aufklärungsbogens 6.1 informiert. Es blieb genug Zeit, diesen durchzulesen und aufkommende Fragen zu klären. Die angefügte Einverständniserklärung 6.2 musste unterschrieben werden, bevor die Untersuchungen beginnen konnten. Als Gegenleistung für die Teilnahme an der Studie erhielten die Teilnehmer eine augenärztliche Untersuchung mit standardisiertem (anonymen) Gesundheitszeugnis, auf Wunsch auch eine Kopie der pathologischen Befunde, insbesondere der Gesichtsfelder, und eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 25 Euro. Die Kontrollgruppe wurde gesondert unter Verwandten und Freunden der Mitarbeiter rekrutiert.

In Amsterdam entschied man sich für die Rekrutierung der Probanden mittels eines Call-Centers, welches nach dem Zufallsprinzip Haushalte anrief und dort versuchte, Personen entsprechend der Vorgaben anzuwerben und zu motivieren, sich kostenlos untersuchen zu lassen. In Salzburg wurde versucht, die Einwohner eines ganzen Dorfes zu untersuchen, wobei diese durch den Bürgermeister und Veröffentlichungen im Gemeindeblatt motiviert werden sollten. Die Klinik in Barcelona entschied sich, Probanden durch Mithilfe eines Automobilclubs rekrutieren zu lassen. In Antwerpen wurde die Rekrutierung im Umfeld der Klinikbeschäftigten unternommen.

2.2 Fragebogen

In allen Zentren wurden die Probanden bezüglich ihrer Fahrleistung befragt. Zur späteren Evaluation der Repräsentativität der Rekrutierung entschieden wir uns in Tübingen, die Probanden zusätzlich zu ausgewählten Krankheitsbildern (Diabetes mellitus, arterielle Hypertonie, Allergien, Myokardinfarkt und Schlaganfall) zu befragen.

2.3 Untersuchungsmethoden

2.3.1 Refraktion

Als Refraktion bezeichnet man das Verhältnis der Brechkraft der lichtbrechenden Medien des Auges zur Achsenlänge des Bulbus. Das emmetrope Auge besitzt eine Gesamtbrechkraft von ca. 65 Dioptrien (dpt) und eine Achsenlänge von 23,5 mm. Refraktionsfehler können einerseits durch eine sich vom Normalzustand unterscheidende Achsenlänge (Achsenametropie), andererseits durch eine Abweichung der Gesamtbrechkraft (Brechungsametropie) bedingt sein. Ein emmetropes Auge vereinigt parallel einfallende Lichtstrahlen in der Fovea. Ein myopes Auge besitzt einen (im Verhältnis zur Brechkraft) zu langen Bulbus, parallel einfallende Strahlen vereinigen sich also vor der Fovea, das Netzhautbild wird unscharf. Korrigiert wird die Myopie mit einer Zerstreuungslinse („Minusglas“). Ein hypermetropes

Auge ist im Verhältnis zu seiner Brechkraft zu kurz, die parallel einfallenden Strahlen würden sich hinter der Netzhaut treffen, auch dies führt zu einem unscharfen Netzhautbild. Hier korrigiert man mit einer Sammellinse („Plusglas“), die den Brennpunkt nach vorne auf die Netzhaut verschiebt. Die oben genannten Linsen (Plus- und Minusglas) werden als sphärische Linsen bezeichnet. Das bedeutet, dass sie an jedem beliebigen Punkt der Linse die gleiche Brechkraft besitzen.

Als weiterer Refraktionsfehler stellt sich der Astigmatismus dar. Hier sind die optischen Grenzflächen und die Augenlinse nicht sphärisch, sondern unregelmäßig gebaut. Die Brechkraft variiert also innerhalb der Eintrittspupille. In einem Grossteil der Fälle liegt ein regulärer Astigmatismus vor, d.h., dass ein Hornhautquerschnitt (Meridian) einen anderen Brennpunkt/Brechkraft aufweist, als der senkrecht darauf stehende Meridian und der Übergang stetig und regelmäßig ist, so dass die Hornhaut die Form eines Ellipsoids bekommt. Solche Meridiane unterschiedlicher Brechkraft bezeichnet man als Hauptschnitte. Korrigiert wird der Astigmatismus mit Zylindergläsern, welche das Licht nur in einem Hauptschnitt brechen. Der dazu senkrecht stehende nicht-brechende Meridian wird als Zylinderachse bezeichnet.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass die Brechkraftangabe hierzulande üblicherweise in Minus-Zylindern erfolgt. Prinzipiell ist auch eine Angabe in Plus-Zylinder möglich (so wurde in unserem österreichischen Zentrum verfahren), die Angaben sind problemlos in Minus-Zylinder konvertierbar, was vor der Auswertung unserer Daten auch erfolgte.

Die Refraktion kann somit durch drei Messwerte beschrieben werden:

- 1) den sphärischen Brechwert
- 2) der zylindrische Brechwert (falls kein regulärer Astigmatismus vorliegt ist er gleich 0)
- 3) der Achswinkel des Zylinders

Um eine leichtere Handhabbarkeit zu gewährleisten, wird in der Klinik gemeinhin eine Formel angewendet, mit deren Hilfe sphärischer und zylindrischer Brechkraftwert zu einem einzigen Wert (dem sog. „Sphärischen

Äquivalent“, dessen Einheit Dioptrien ist) heruntergebrochen wird. Im klinischen Alltag wird unter sphärischem Äquivalent einfach das arithmetische Mittel aus den beiden Zylinderhauptschnitten verstanden. So ergibt sich ein grob gewichteter Brechkraftwert.

Die Formel lautet:

$$M = SB + \frac{ZB}{2}$$

Erläuterung:

M: Sphärisches Äquivalent
 SB: Sphärische Brechkraft
 ZB: Zylindrische Brechkraft

Je größer allerdings das Ausmaß des Astigmatismus ist, desto gravierender wirkt sich der Achsenfehler des Zylinders aus. Daher ist der Achsfehler auch um so bedeutender, je größer die Abweichung der Zylinderbrechkraft ist.

In dieser Arbeit soll deshalb eine Formel Anwendung finden, die diesem Sachverhalt Rechnung trägt und eine möglichst genaue bzw. realistische Berechnung der Brechkraft ermöglicht. Von besonderer Wichtigkeit in diesem Zusammenhang ist die Berechnung der Brechkraftdifferenzen, die den Vergleich zweier Refraktionswerte (z.B. zwischen subjektiver und objektiver Refraktion) ermöglicht.

Raasch et al (Raasch et al. 2001) schlagen folgende Formel vor:

$$D = \sqrt{M^2 + J_0^2 + J_{45}^2}$$

Erläuterung:

D: „dioptric strength“ (Brechkraft)
 M: Sphärisches Äquivalent
 J: X- bzw. Y-Achskoordinaten des Astigmatismusvektors

wobei J folgendermaßen definiert ist (Schimitzek und Wesemann 2002):

$$J_0 = \left(-\frac{ZB}{2}\right) \cos(2\alpha)$$

$$J_{45} = \left(-\frac{ZB}{2}\right) \sin(2\alpha)$$

Erläuterung:

ZB: Zylindrische Brechkraft
 α : Zylinderachse

Die Berechnung der Brechkraftdifferenz ist folgendermaßen möglich (Raasch et al. 2001):

$$TDC = \sqrt{(\Delta M^2) + (\Delta J_0^2) + (\Delta J_{45}^2)}$$

Erläuterung:
TDC: total dioptric change (Brechkraftdifferenz)

Einige Beispiele zur Anwendung dieser Formeln:

Proband 1:

opt. Korrektur:	SB: 1D	ZB: 2D	α : 90°
Eigene Brille:	SB: 1D	ZB: 0D	
→TDC =	1,414D		

Proband 2:

opt. Korrektur:	SB: 1D	ZB: 2D	α : 30°
Eigene Brille:	SB: 1D	ZB: 1D	α : 30°
→TDC =	0,707D		

Proband 3:

opt. Korrektur:	SB: 3D	ZB: 2D	α : 23°
Eigene Brille:	SB: 1D	ZB: 0D	α : 90°
→TDC =	3,162D		

Für die Vergleiche der Abweichungen der objektiven Refraktionswerte mit der Literatur benötigen wir noch zwei weitere Formeln (Wesemann 2004):

$$DA = 2ZB_{SR} \sin(\alpha_{AR} - \alpha_{SR})$$

Erläuterung:
DA: Achsendifferenz
ZB: Zylindrische Brechkraft
 α : Zylinderachse
SR: Messwerte der subjektiven Refraktion
AR: Messwerte der objektiven Refraktion

$$TAD = \sqrt{ZB_{AR}^2 + ZB_{SR}^2 - 2ZB_{AR}ZB_{SR} \cos(2(\alpha_{AR} - \alpha_{SR}))}$$

Erläuterung:

TAD: Totale astigmatische Differenz
 ZB: Zylindrische Brechkraft
 α : Zylinderwinkel
 SR: Messwerte der subjektiven Refraktion
 AR: Messwerte der objektiven Refraktion

2.3.1.1 Objektive (automatische) Refraktionsbestimmung

(vergl. Methling 1992, 147-151)

Grundsätzlich werden bei automatischen Refraktometern Strahlen im Infrarotbereich (bei etwa 880 nm) eingesetzt. Diese Wellenlänge bietet den Vorteil, dass der Untersuchte nicht geblendet wird, was eine spätere Visusbestimmung ermöglicht, während, im Gegensatz dazu, die alten manuellen Refraktometer sichtbares Licht nutzen, welches den Untersuchten blendet und so eine unmittelbar danach durchgeführte Visusprüfung erschwert. Das von uns eingesetzte Gerät AR 600 der Firma NIDEK arbeitet nach dem sog. „Scheinerverfahren“. „Zwei Leuchtdiodenpaare beleuchten eine kreisförmige Blende, die über ein Optometersystem auf die Netzhaut des Patientenauges abgebildet wird. Die Leuchtdioden werden auf die Pupille des Patientenauges abgebildet und simulieren dort die Scheinerblende. Bei Ametropie entstehen auf der Netzhaut des Patientenauges mehrere Leuchtflecke. Da die Leuchtdioden im Gegenteil aufleuchten und verlöschen, scheinen die Leuchtflecke auf der Netzhaut hin- und herzuspringen bzw. sich zu bewegen. Mit einem 4-Quadranten-Detektor im Ophthalmoskopstrahlengang wird diese Erscheinung erfasst und dementsprechend eine Veränderung im Optometersystem derart geregelt, dass die Leuchtflecke auf der Netzhaut zu einem konstant leuchtenden Fleck zusammenfallen. Mit der Änderung im Optometersystem (Verschiebung der Blende) ist eine Änderung im Ophthalmoskopsystem gekoppelt, welche als Maß für die Ametropie gilt. Zur Bestimmung des Astigmatismus werden die Leuchtdioden und die Detektoren synchron gedreht.“(Methling 1992, 148)

Nachdem der Kopf des zu Untersuchenden an Kopf- und Stirnstütze angelegt ist, wird eine Grobjustierung in Nullblickrichtung vorgenommen. Der Proband sieht durch einen teildurchlässigen Spiegel ein Bild, welches zum einen der Fernakkommodation und zum anderen der Fixation dient. Die Messung wird mindestens drei Mal durchgeführt, bei starken Messwertunterschieden auch öfters, um einen validen Wert zu erhalten.

Hierbei sei erwähnt, dass dieses Verfahren zwar die subjektive Refraktion erleichtert, der Arzt hat schon eine gute Vorstellung des Refraktionsbedarfs, und dadurch zeitoptimiert, diese aber keinesfalls ersetzt (Lachenmayr 1999). Eine subjektive Feinabstimmung ist in jedem Fall indiziert und wurde bei unseren Probanden zusätzlich durchgeführt.

2.3.1.2 Subjektive Refraktionsbestimmung

Bei der subjektiven Refraktionsbestimmung schaut der Patient/Proband auf die Projektion eines Sehzeichenprojektors (wahlweise auch auf eine Sehzeichentafel, die im Idealfall konstant beleuchtet ist. Eine solche Einrichtung mit ETDRS-Tafeln wurde bei dieser Studie benutzt). Hier werden ihm Buchstaben oder Zeichen einer genau definierten Größe und Strichstärke (siehe Kapitel 2.3.3 Visusprüfung) präsentiert. Der Proband bekommt ein Brillenmessgestell, in welches aus einem Brillenkasten Linsen verschiedener Brechkraft eingesetzt werden können. Um den Glaswechsel zu erleichtern kann auch ein Phoropter verwendet werden. Dabei handelt es sich um ein großes Probierbrillengestell, in dem Gläser und Blenden durch eine aufwändige Mechanik schnell gewechselt werden können. Der Patient/Proband gibt nun an, wie gut er die Sehzeichen erkennen kann, wonach die Gläserstärke optimiert wird. Ziel dieser Untersuchung ist es, durch optimale Refraktion der Probanden deren bestmöglichen Visus zu erreichen. Weitere Informationen bezüglich der Visusprüfung finden sich im Kapitel 2.3.3.

2.3.2 Scheitelbrechwertmessung (SBM)

(vergl. Methling 1992, 128-138 und Lachenmayr et al. 1999, 134-140)

Da keine Sicherheit über die Korrektheit des Brillenpasses sowie über die Angaben der Probanden bezüglich der Stärke ihrer Brillen bestand, wurden grundsätzlich alle Brillen mit Hilfe dieses Verfahrens ausgemessen und die Brechwerte ermittelt. Die Untersucher waren mit der Messmethode seit vielen Jahren vertraut und besaßen große Erfahrung mit dem benutzten Gerät. Retrospektiv betrachtet wäre es sicherlich sinnvoll gewesen, die einzelnen Untersucher und ihre Messgenauigkeit zu evaluieren, allerdings waren solche besonderen Qualitätskontrollen in der durchgeführten Studie nicht vorgesehen.. Aufgrund der hohen Probandenzahl kann man allerdings davon ausgehen, dass unsystematische Fehler in der Masse eliminiert wurden. Systematische Fehler hätten zu einer Verschiebung des Ergebnisses geführt und hätten sich somit bei der Auswertung gezeigt, was aber nicht der Fall war.

Das Grundprinzip der automatischen SBM basiert auf der Brechung mehrerer parallel einfallender Lichtstrahlen durch die zu prüfende Linse. Diese werden durch die Brechung in einem bestimmten Winkel ausgelenkt. Die so ausgelenkten Lichtstrahlen fallen nun auf eine Sensorebene, wo deren Position und damit auch deren Auslenkung bestimmt und daraus der Linsenbrechwert berechnet wird. Der von uns verwendete Auto Lenmeter LM 820A der Firma NIDEK verfügte über eine automatische Gleitsichtbrillenerkennung und –messung.

Wie oben (Kapitel 2.3.1) bereits erwähnt, kann, ebenso wie die Refraktion, auch die Brechkraft einer Brille durch die drei Messwerte sphärische und zylindrische Brechkraft sowie Zylinderwinkel beschrieben werden. Auch hier können wir die gemessenen Werte durch die im selbigen Kapitel genannten Formeln in sphärisches Äquivalent und TDC umrechnen..

2.3.3 Visusprüfung

(vergl. DOG 2003 und Wesemann 2002)

Als Visus bezeichnet man die Sehschärfe des Auges an der Stelle des schärfsten Sehens (zentrale Sehschärfe). Unter den üblichen photopischen (Tageslicht-) Bedingungen ist dies die Fovea centralis. Die Sehschärfe bezeichnet das optische Auflösungsvermögen, d.h., die Fähigkeit des Auges, zwei Punkte eines Gegenstandes als getrennte Punkte wahrzunehmen. Dies ist beim Gesunden bei einer Entfernung der beiden Punkte in der Größenordnung von weniger als einer Winkelminute der Fall (Snellen´s-Prinzip). Als Formel gilt:

$$Visus = \frac{1}{\alpha}$$

<u>Erläuterung:</u> α : Grenzwinkel (in Winkelminuten)
--

Geprüft wird der Visus mittels sog. Optotypen. Darunter versteht man Sehzeichen, die zumeist Buchstaben des lateinischen Alphabets darstellen, aber auch z.B. für Kinder und Analphabeten Bilder oder sonstige Zeichen sein können, welche für einen Visus von 1,0 eine Strichstärke von einer Winkelminute (bei definierter Entfernung) aufweisen. Nach DIN EN ISO 8596 und 8597 (s.u.) müssen normierte Landolt-Ringe verwendet werden, wobei die Ringöffnung die Sehschärfe bestimmt. Die Probanden werden zu einer sog. „forced choice“ angehalten, d.h., falls sie sich unsicher bei der Identifizierung eines Optotypen sind, müssen sie raten. Bei der Prüfung werden dann entweder die Entfernung zum Auge (was eher unüblich ist) oder die Größe der Optotypen verändert. Die einzelnen Zeilen der Prüftafel sind in einem logarithmischen Verhältnis in 1dB Schritten zueinander angeordnet. Eine Änderung von drei Stufen (also 3dB) entspricht dabei einer Verdoppelung bzw. Halbierung des Visus.

Kann der Proband nun die Zeile mit der Strichstärke einer Winkelminute lesen, entspricht dies einem Visus von 1,0, kann er auch die drei darunterliegenden Zeilen richtig erkennen, entspricht dies somit einer Verdoppelung des Visus, er betrüge dann 2,0. Hätte er z.B. wegen einer fehlenden oder falschen Brille nur einen Visus von 0,5, bedeutet dies einen Zeilenverlust von drei Zeilen.

Es existieren verschiedene Verfahren zur Visusprüfung, die sich an unterschiedlichen Normen orientieren. Das weltweit bekannteste Verfahren ist sicher die Prüfung mit der Optotypentafel nach Snellen, welche sich in einer definierten Entfernung von 20 Fuß bzw. 6 Meter vom Patienten/Probanden befindet. Die Entfernung ist so gewählt, dass der rechtsichtige Patient/Proband mit akkommodationslosem Auge liest.

In Deutschland ist die Visusbestimmung normiert, früher mittels DIN 58220, heute gelten die sehr ähnlichen DIN EN ISO 8596 und 8597. Beide Normen definieren „physikalischen Vorschriften betreffend die Leuchtdichte der Sehzeichen, des Prüffeldes, die Schärfe der Sehzeichen, die Abstände voneinander und vom Rand des Prüffeldes, die Anzahl der Landoltringe mit schrägen und geraden Öffnungen, die Prüfentfernungen und die Umgebungshelligkeit“ (RFS-OPTIC 2006). Für die Visusprüfung zur Fahreignung wird demnach der Landoltring, der in acht verschiedenen Orientierungen angeboten wird, als einzig gültiger Optotyp vorgeschrieben, „da Buchstaben und Landoltringe bei verschiedenen Erkrankungen unterschiedliche Resultate ergeben können“ (RFS-OPTIC 2006). In einer Reihe von acht Landoltringen müssen mindestens fünf erkannt werden, um die entsprechende Visusstufe zu erreichen. Bach und Kommerell erläutern dazu: „Bei abnehmender Größe des Landoltrings sinkt die Trefferrate von 100% auf die Ratewahrscheinlichkeit (Zufallswahrscheinlichkeit) von 12,5%. Dieser allmähliche Übergang wird durch die "psychometrische Funktion" beschrieben. In Kurvenform dargestellt hat die psychometrische Funktion eine steilste Stelle (=Wendepunkt). Sie liegt in der Mitte zwischen 100 und 12,5, also bei einer Trefferrate von 56,25%. Diese steilste Stelle (angenähert durch 5 von 8 Landoltringen) wurde als Schwelle gewählt, weil die dort abgelesene Sehschärfe von zufälligen Schwankungen am wenigsten beeinflusst wird (Bach und Kommerell 1998).“

Eine normale Sehschärfe „kann nicht einer bestimmten Zahl zugeordnet werden, wie etwa 1,0; bei normgerechter Prüfung erreichen junge, augengesunde Probanden Werte um 2,0, während bei alten Probanden 0,5 "normal" sein kann (Bach und Kommerell 1998).“

Da in dieser Arbeit auch mit der Mittelung von Visuswerten gearbeitet wird, soll hier noch auf das Verfahren der Mittelung eingegangen werden. Da sich nur bei logarithmischer, nicht aber bei arithmetischer Skalierung der Sehschärfe etwa gleiche, der Empfindungsstärke entsprechende Stufen ergeben, „dürfen Sehschärfewerte auch nicht arithmetisch gemittelt werden. Korrekt ist es dagegen, geometrisch zu mitteln bzw. die Sehschärfewerte zunächst zu logarithmieren, dann zu mitteln und schließlich den erhaltenen Wert zu delogarithmieren (Bach und Kommerell 1998).“

In unserer Studie wurde, anders als in DIN 58220 verlangt, nach dem in der AREDS-Studie (Ferris et al, 1982) modifizierten ETDRS-Protokoll (ETDRS Coordinating Center, 1980) vorgegangen. Hierbei werden Sehzeichentafeln verwendet, die ursprünglich in der „Early Treatment of Diabetic Retinopathy Study“ eingesetzt wurden. Der Grund liegt zum einen darin, dass DIN-Normierung im Ausland weitgehend unüblich ist, zum anderen haben sich EDTRS-Tafeln mittlerweile als Standard in der klinischen Forschung durchgesetzt. EDTRS-Tafeln zeichnen sich aus durch (Steinbeis-Transferzentrum 2005):

- Visus-Bereich 0,1 – 2,0 bei 4 Meter Betrachtungsabstand (14 Stufen, Abstand entspricht 1dB)
- Gleiche Erkennungsschwierigkeit in jeder Zeile durch spezielle Kombination der Sehzeichen
- 5 Zeichen in jeder Zeile: Gleiches Schwellenkriterium für jede Visusstufe



Abb.1:ETDRS-Sehzeichentafel (Steinbeis-Transferzentrum 2005)

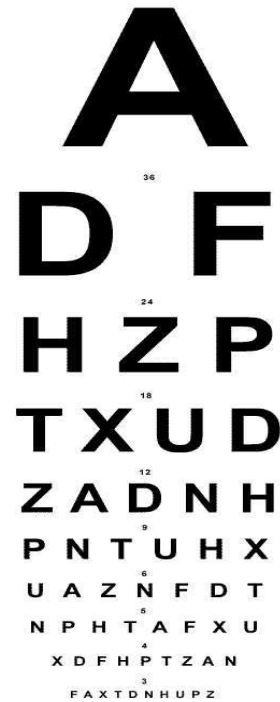


Abb.2:Snellen-Tafel (mdsupport 2005)

In unserer Studie wurde zuerst der Visus mit der vom Probanden beim Autofahren getragenen Brille gemessen, danach wurde er bei optimaler Korrektur erneut bestimmt.

2.4. Methodik der klinischen Evaluation

2.4.1.Brillenevaluation

Um die Brillengüte zu beurteilen, wurde die Differenz zwischen den Brechwerten der Scheitelbrechwertmessung und der subjektiver Refraktion bestimmt. Als klinisch relevant wurde eine Differenz ab 0,5 Dioptrien definiert. Daraus folgt, dass ab dieser Differenz eine Brille als dem Refraktionsbedarf nicht entsprechend und damit als „falsch“ definiert wurde.

2.4.2. Visusevaluation

Als Visusverlust bezeichne ich die Differenz zwischen dem Visus, der mit eigener Brille gemessen wurde, und dem durch subjektive Refraktion augenärztlich bestimmten Visus.

2.4.3. Fahrverbot

Neben der Auswirkungen auf Fahrsicherheit und Lebensqualität, die ein solcher Visusverlust nach sich zieht, kann er auch zu rechtlichen Folgen führen, die ebenfalls erhebliche Relevanz besitzen und deren Aspekte in dieser Arbeit beleuchtet werden sollen. Dabei orientiere ich mich an den Ansprüchen des Gesetzgebers, niedergeschrieben in Anlage 6 der Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV) (Bundesgesetzblatt 2005).

Die Bestimmungen des Anhang III der Direktive 91/439/EEC (Europäische Kommission 2004) der EU, in der die „Mindestanforderungen hinsichtlich der körperlichen und geistigen Tauglichkeit für das Führen eines Kraftfahrzeugs“ definiert werden, definieren (mit Ausnahme derjenigen, die nur ein Auge nutzen können) einen Gesamtvisusgrenzwert, der beidäugig gemessen werden soll. Da in unserer Studie der Visus nicht beidäugig, sondern für jedes Auge einzeln gemessen wurde, und die Werte somit nicht kompatibel sind, kann diese Direktive nicht zur Evaluation herangezogen werden.

2.4.4. „Visual impairment“

In US-amerikanischen Zeitschriften wird häufig als Kriterium „Visual impairment“ publiziert. Die Definitionen dafür differieren stark, was die Vergleichbarkeit erschwert. Da die folgende in den meisten US-Bundesstaaten Ausschlusskriterium für den Erhalt des Führerscheins ist (Charman 1985), entschieden wir uns, es durch den bestkorrigierten Visus auf dem besseren Auge als $\leq 20/40$ [entspricht $\leq 0,5$] zu definieren.

Zu Vergleichszwecken wird im entsprechenden Kapitel zusätzlich auf die Definition „Visual impairment ($\leq 0,5$)“ eingegangen.

2.5. Datenmanagement

Die Erhebung fand mit Hilfe eines anonymisierten Auswertungsbogens, in den der Untersucher die erhobenen Daten eintrug, statt. Später wurden die Daten in eine Excel-Tabelle übertragen und von den jeweiligen Zentren gesammelt in das Koordinationszentrum nach Amsterdam geschickt, wo sie in eine Excel-Tabelle zusammengeführt wurden, die dann allen Zentren zugänglich gemacht wurde.

Aus dieser und der von uns in Tübingen geführten Tabelle entnahm ich die in dieser Arbeit verwendeten Datensätze. Als statistisches Bearbeitungsprogramm diente JMP IN, Version 5.1 (SAS Institute Inc., 2003).

Als statistische Verfahren nutzte ich den Chi-Quadrat Test, womit ich statistische Auffälligkeiten, entschieden mit Hilfe des p-Werts, ermittelte. Die Tests wurden im Sinne einer explorativen Statistik eingesetzt, was bedeutet, dass diese Studie nicht den Zweck hat, Hypothesen statistisch zu verifizieren, sondern Auffälligkeiten zu ermitteln, welche in den folgenden Analysen als p-Wert $\leq 0,01$ definiert wurde. P-Werte $< 0,001$ wurden als (statistisch) hoch auffällig definiert.

3. Ergebnisse

3.1. Deskription

Im Folgenden sollen die Ergebnisse unserer Multicentre-Studie vorgestellt und evaluiert werden. Bei den hier vorgestellten Daten handelt es sich ausschließlich um im Rahmen dieser Studie von den jeweiligen Teams aus Amsterdam, Salzburg, Barcelona, Antwerpen und Tübingen, zu dem auch ich gehörte, erhobene Befunde.

3.1.1. Rekrutierung

Insgesamt wurden in allen fünf Zentren 2420 Probanden untersucht, wovon 1090 Frauen (45,04%) und 1330 Männer (54,96%) waren. Wie Diagramm 1 zeigt, wurden in allen Zentren, mit Ausnahme von Barcelona, mehr männliche Probanden untersucht.

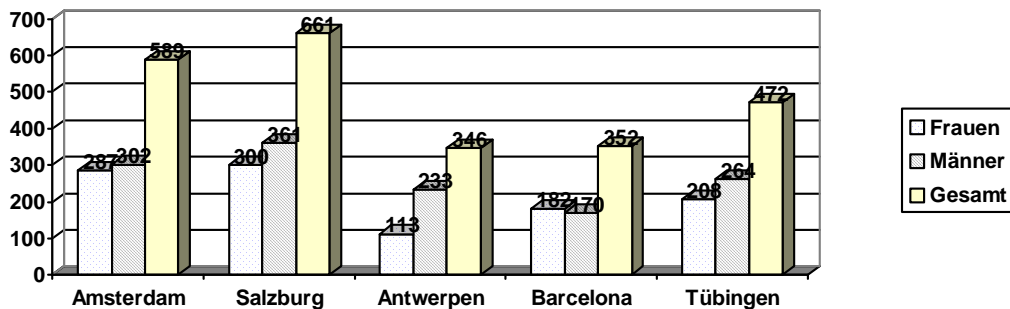


Diagramm 1: Geschlechterverteilung der Probanden nach Zentren

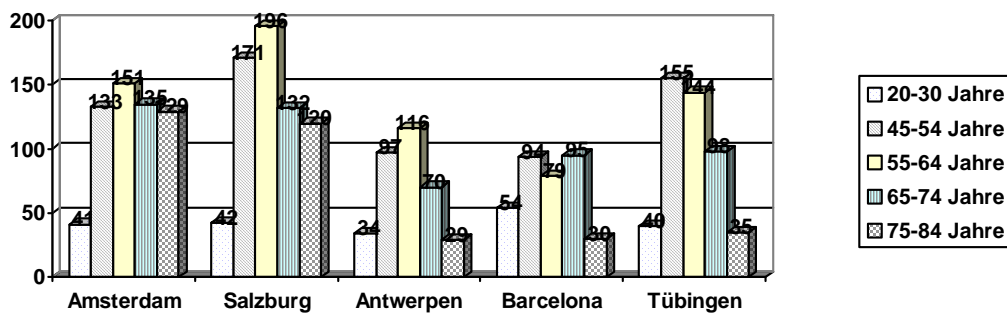


Diagramm 2: Altersverteilung der Probanden nach Zentren

Diagramm 2 zeigt die Altersverteilung unserer Probanden. Neben der Kontrollgruppe, die in dieser Größe geplant war, fällt auf, dass besonders in der Gruppe der 75 bis 84jährigen weniger Probanden rekrutiert wurden als in den Vergleichsgruppen.

Schlüsselt man die Altersklassen nach Geschlecht auf (Diagramm 3), so zeigt sich, dass es einen erheblichen Geschlechtsunterschied in den verschiedenen Altersklassen gibt. Es ist auffällig, dass in den jungen Altersklassen bis 54 Jahre leicht mehr Frauen, in den älteren Gruppen mehr männliche Probanden rekrutiert wurden.

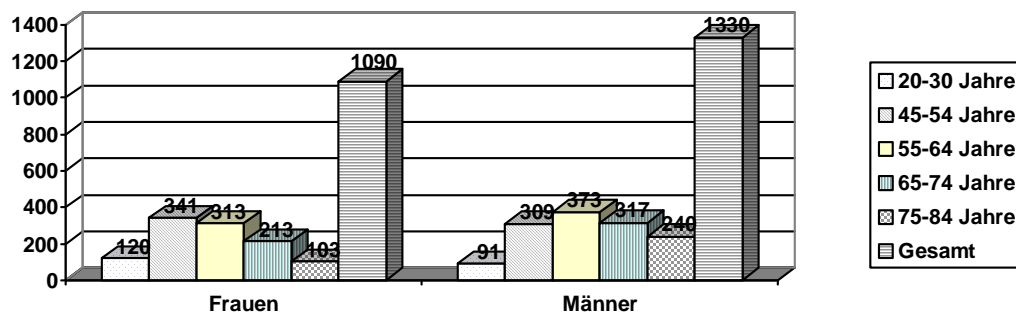


Diagramm 3: Altersverteilung der Probanden nach Geschlecht

3.1.2. Fragebogen

In allen Zentren wurde von den Probanden die Kilometerleistung/Jahr erhoben.

Die Einteilung erfolgte wie folgt in Gruppen:

- Gruppe 1 (<1000km/Jahr)
- Gruppe 2 (≥ 1000 km/Jahr, aber <10000km/Jahr)
- Gruppe 3 (≥ 10000 km/Jahr, aber <30000km/Jahr)
- Gruppe 4 (≥ 30000 km/Jahr, aber <50000km/Jahr)
- Gruppe 5 (≥ 50000 km/Jahr, aber <100000km/Jahr)
- Gruppe 6 (≥ 100000 km/Jahr)

Die Ergebnisse der Erhebung:

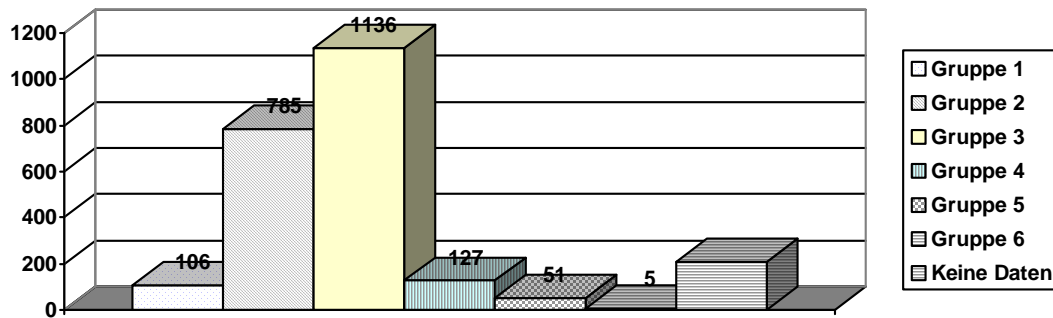


Diagramm 4: Kilometerleistung der Probanden.

Da die Befragung bezüglich Grunderkrankungen nur in Tübingen durchgeführt wurde, liegen uns nur die Daten der 472 hiesigen Probanden vor (siehe Diagramm 5). Besonders interessant sind die Erkrankungen mit einer hohen Prävalenz, da hier durch ihr häufiges Vorkommen Zufallseffekte nur eine geringe Rolle spielen.

Neben den genannten Erkrankungen befragten wir die Probanden, ob sie sich regelmäßig (regelmäßig wurde als mindestens einmal jährlich definiert) von einem Augenarzt untersuchen lassen. Die Ergebnisse (siehe Diagramm 6 und 7) der einzelnen Gruppen zeigen doch einen erheblichen Alterseinfluss. So lassen sich ca. 2/3 der 65 bis 84jährigen mindestens einmal jährlich die Augen untersuchen, während dies nur ca. 2/5 der 55-64jährigen und deutlich weniger als ein Drittel der noch jüngeren tun.

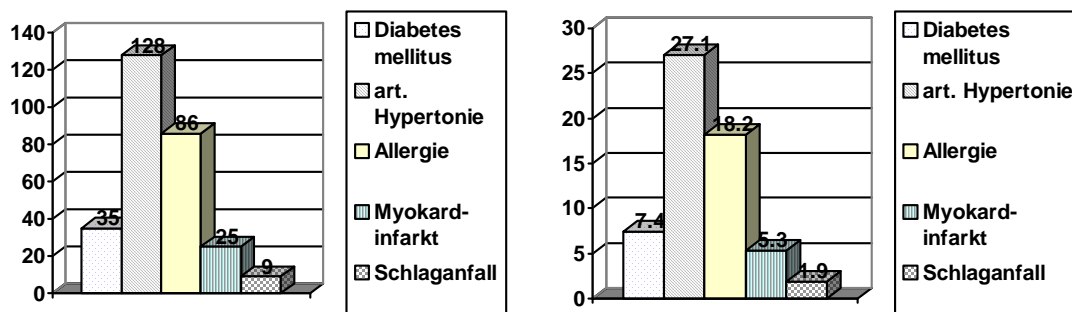


Diagramm 5: Häufigkeit bestimmter Erkrankungen unter den Probanden aus Tübingen, links absolut, rechts in Prozent der Probanden.

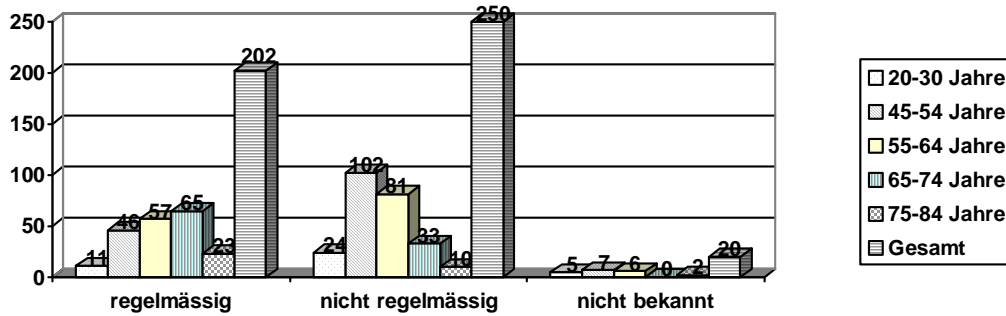


Diagramm 6: Augenärztliche Kontrolle der Probanden aus Tübingen

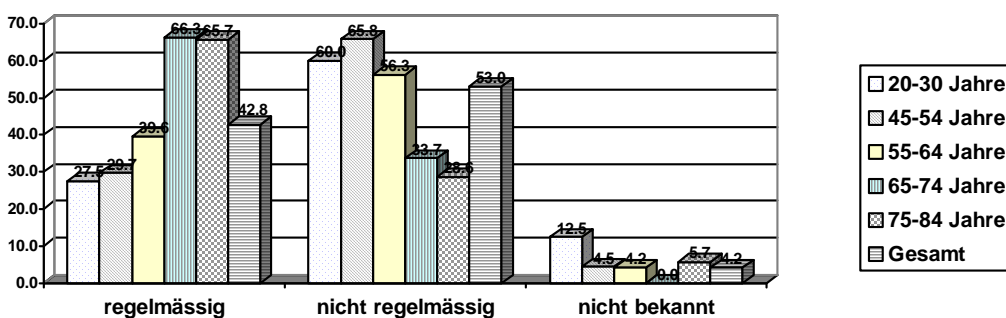


Diagramm 7: Augenärztliche Kontrolle der Probanden aus Tübingen, in Prozent der jeweiligen Altersgruppen.

3.1.3. Untersuchungsergebnisse

Wir haben jeweils sphärischen und zylindrischen Brechkraftwert und Zylinderwinkel der objektiven und subjektiven Refraktion jedes Auges und selbiges für die Scheitelbrechkraft jedes Brillenglases erhalten. Somit ergeben sich neun Messwerte für jedes Probandenauge. Wir erhalten also für jeden komplett untersuchten Probanden achtzehn Werte.

Des weiteren erhalten wir für jedes Auge einen Visuswert mit der eigenen Brille des Probanden und einen mit der durch die subjektive Refraktion herausgearbeiteten optimalen Korrektur, womit für jeden komplett untersuchten Probanden vier Visuswerte vorhanden sind.

Zur Erklärung der im Folgenden angefügten Diagramme mit der darunter befindlichen Tabelle, welche ich mit Hilfe des Statistikprogramms JMP erstellte, sei folgendes erwähnt:

Die gemessenen Ergebnisse sind nach Zentren auf der X-Achse aufgeschlüsselt (in der Tabelle unter „Level“), die jeweiligen Messwerte der Probanden sind, orientiert nach der Y-Achse, als schwarze Kästchen aufgetragen (die Anzahl der Probanden des jeweiligen Zentrums findet sich in der Tabelle unter „Number“) . Die durchgezogene graue Querlinie bezeichnet den allgemeinen Mittelwert aller Probanden (arithmetisch, eine Änderung zur logarithmischen Berechnung, welche bei der Angabe der Visuswerte sinnvoll gewesen wäre, war leider nicht möglich, weshalb ich dies im entsprechenden Kapitel Visusevaluation 3.2.2 ergänzt habe), die kleinen mittleren Markierungen bezeichnen den Mittelwert des Zentrums (in der Tabelle unter „Mean“) , bzw. die Standardabweichungen (äußere größere Markierungen, in der Tabelle unter „Std Dev“).. Des weiteren finden sich in der Tabelle noch weitere statistische Angaben („Std Err Mean“, „Lower 95%“ und „Upper 95%“), die in meiner weiteren Analyse nicht zum Tragen kommen.

Weiterhin ist die Anzahl an untersuchten Probanden (unter „Number“) angegeben. Der Begriff „Missing Rows“ bezeichnet die Anzahl der Probanden, bei denen die entsprechenden Daten fehlen.

Die einzelnen Zentren sind wie folgt verschlüsselt:

Zentrum/Level 1: → Amsterdam

Zentrum/Level 2: → Salzburg

Zentrum/Level 3: → Antwerpen

Zentrum/Level 4: → Barcelona

Zentrum/Level 5: → Tübingen

3.1.3.1. Objektive (automatische) Refraktionsbestimmung

Abb. 3 bis 5 zeigen die Messwerte unserer Probanden bei objektiver Refraktion. Besonders auffallend bei der Sichtung der Messergebnisse ist die geringe Zahl untersuchter Probanden aus Barcelona (Zentrum/Level 4). Die Mittelwerte weichen erheblich voneinander ab.

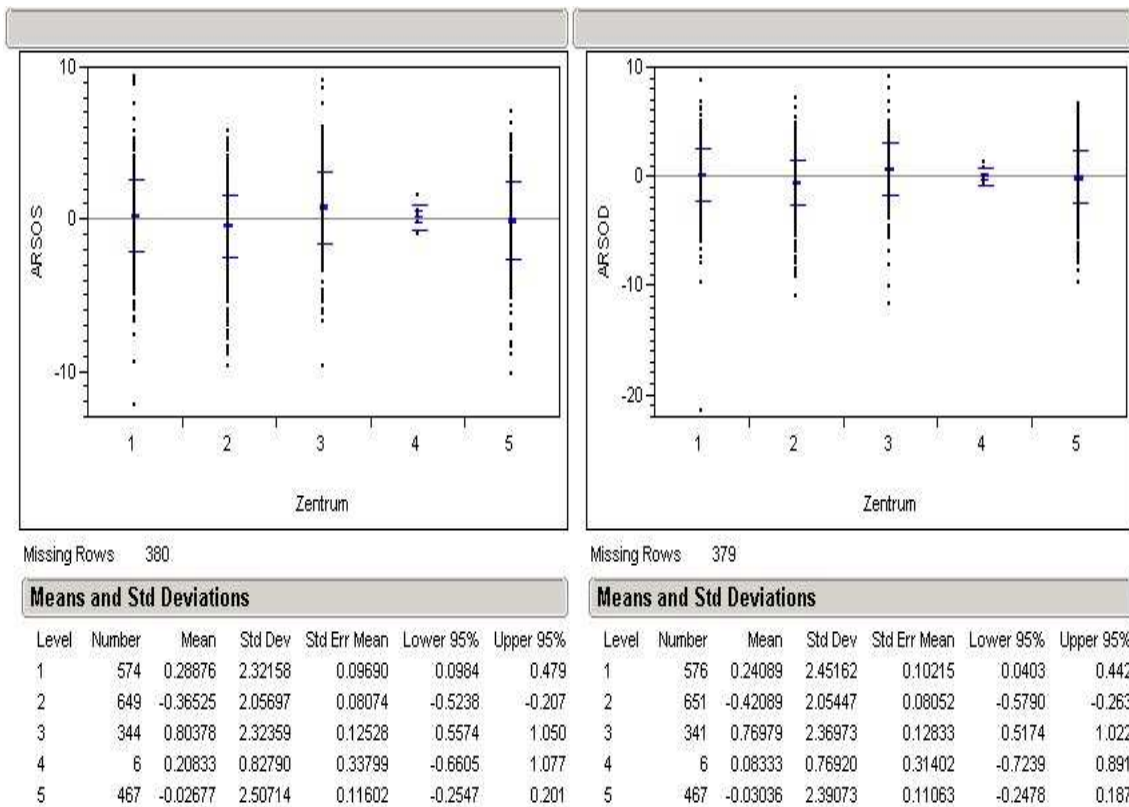


Abb. 3: ARSOS, automatische (objektive) Refraktion, sphärische Brechkraft, linkes Auge, ARSOD, automatische (objektive) Refraktion, sphärische Brechkraft, rechtes Auge, Angabe in Dioptrien.

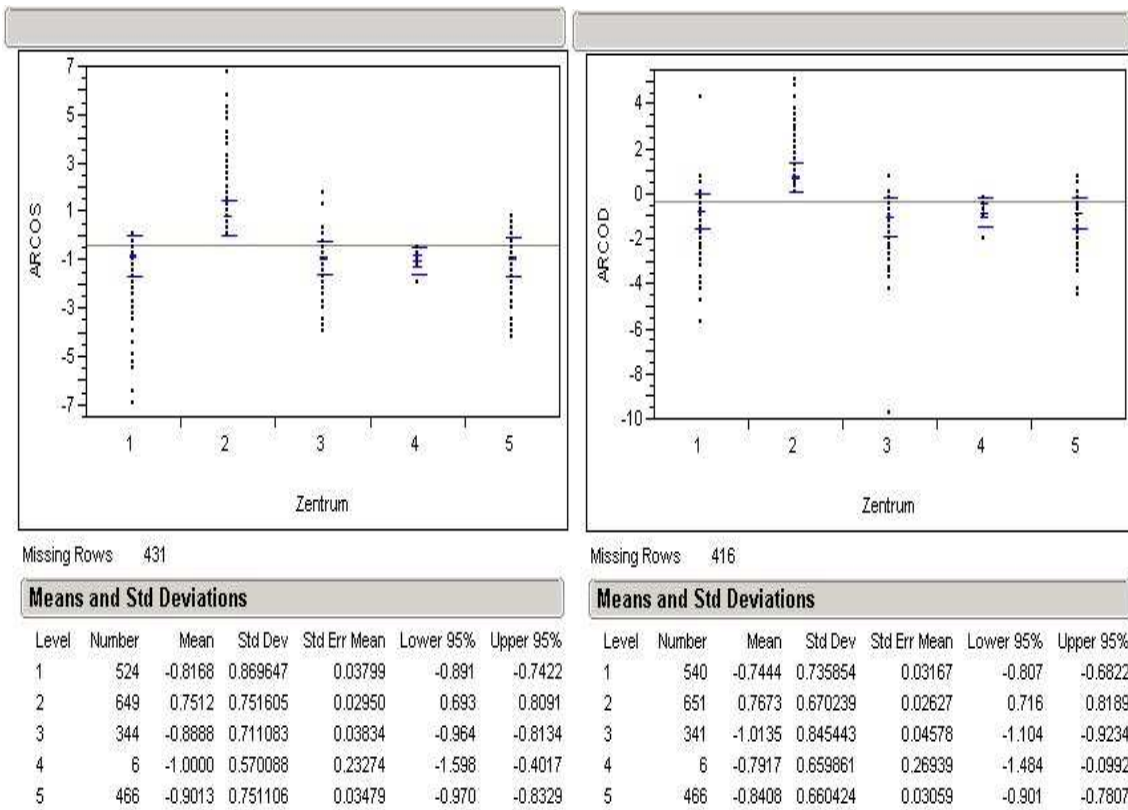


Abb. 4: ARCOS, automatische (objektive) Refraktion, zylindrische Brechkraft, linkes Auge, ARCOD, automatische (objektive) Refraktion, zylindrische Brechkraft, rechtes Auge, Angabe in Dioptrien. Anzumerken ist, dass Zentrum 2 (Salzburg) hauptsächlich Plus-Zylinder, die anderen Zentren dagegen hauptsächlich Minus-Zylinder gemessen und angegeben haben. Die Werte wurden bei der Auswertung transformiert.

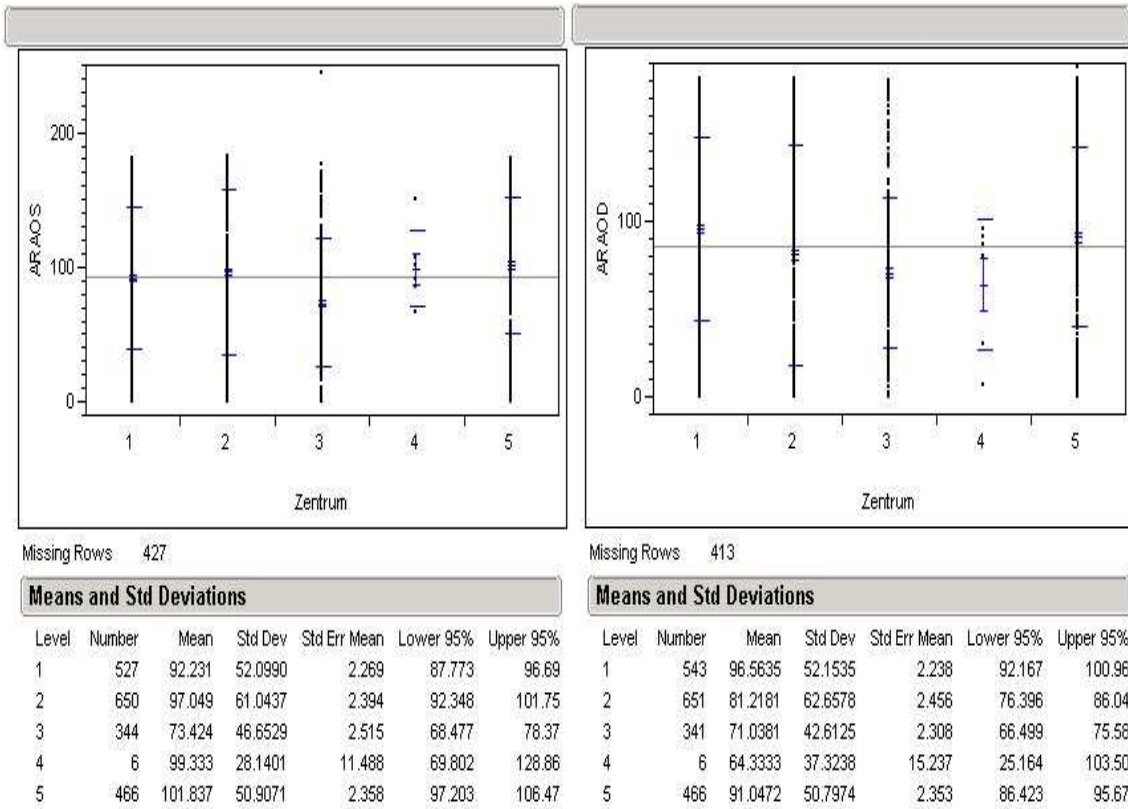


Abb. 5: ARAOS, automatische (objektive) Refraktion, angle (Zylinderwinkel), linkes Auge, ARAOD, automatische (objektive) Refraktion, angle (Zylinderwinkel), rechtes Auge, Angabe in Grad. Die Werte wurden bei der Auswertung transformiert.

3.1.3.2. Subjektive Refraktionsbestimmung

Bei der subjektiven Refraktion fehlen mit unter 1,5% erfreulich wenige Daten, wie an der Anzahl der „Missing Rows“ abgelesen werden kann.

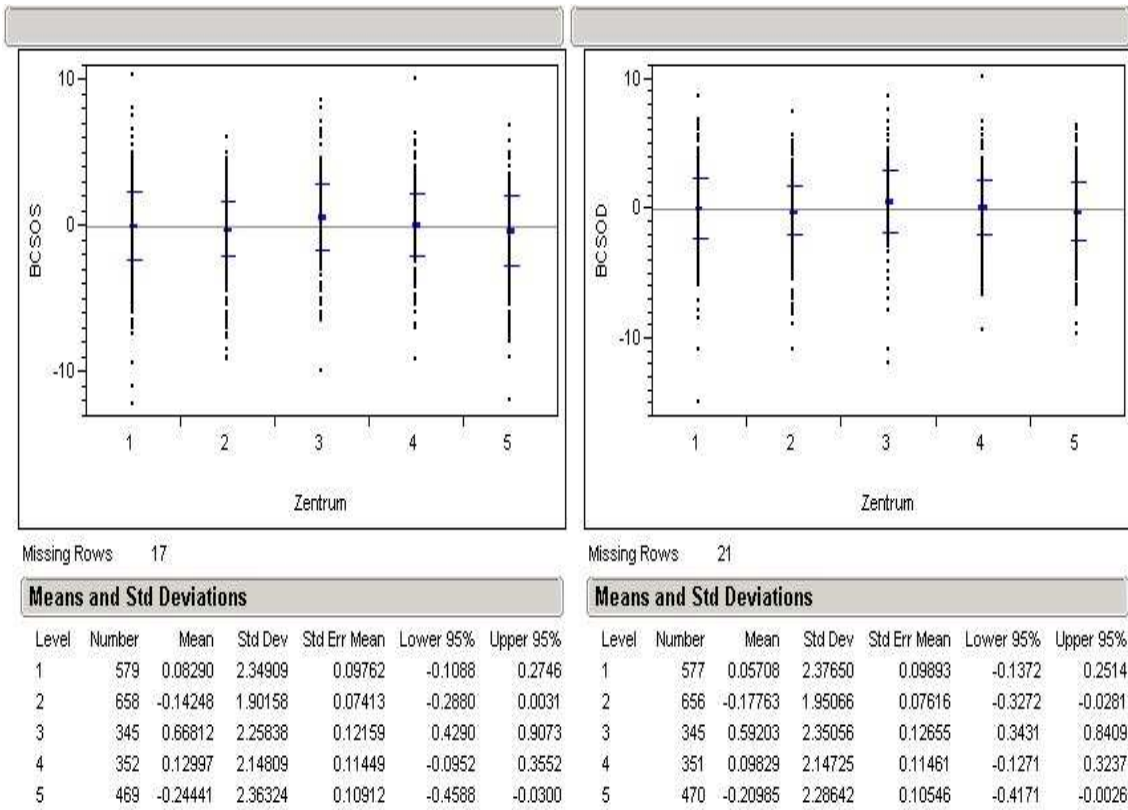


Abb. 6: BCSOS, best corrected (subjektive Refraktion), sphärische Brechkraft, linkes Auge, BCSOD, best corrected (subjektive Refraktion), sphärische Brechkraft, rechtes Auge, Angabe in Dioptrien.

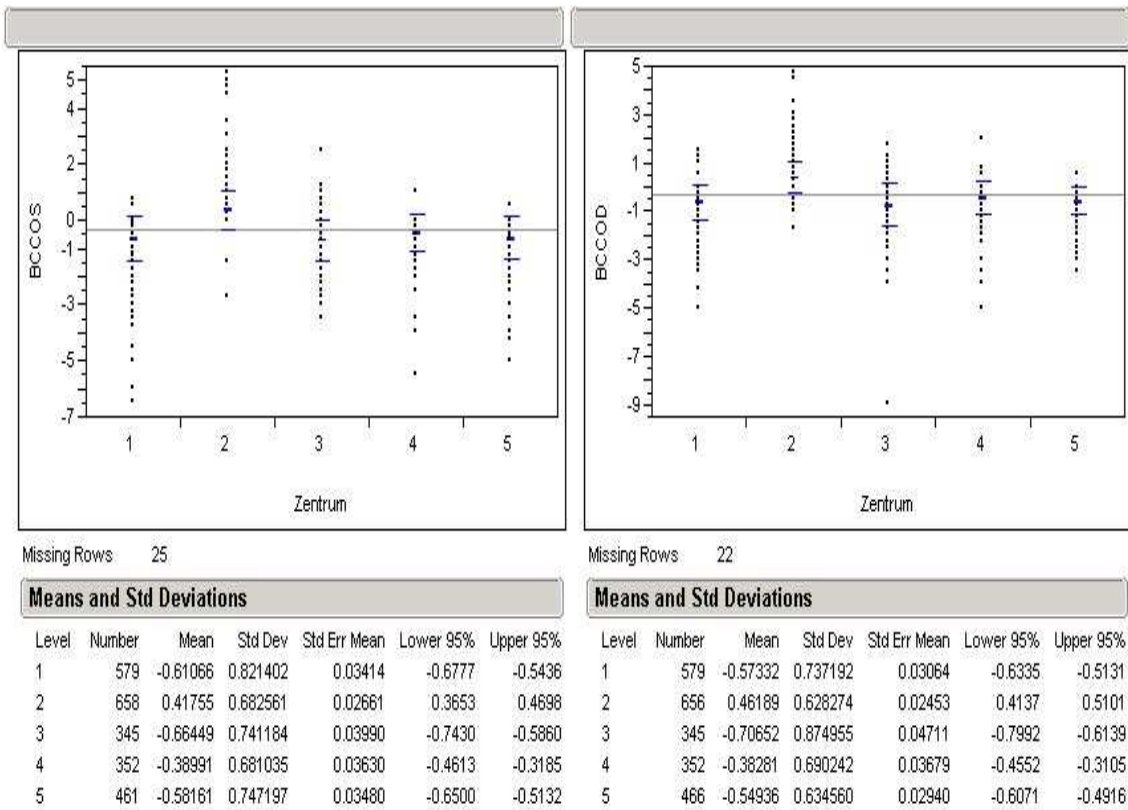


Abb. 7: BCCOS, best corrected (subjektive Refraktion), zylindrische Brechkraft, linkes Auge, BCCOD, best corrected (subjektive Refraktion), zylindrische Brechkraft, rechtes Auge, Angabe in Dioptrien. Anzumerken ist, dass Zentrum 2 (Salzburg) hauptsächlich Plus-Zylinder, die anderen Zentren dagegen hauptsächlich Minus-Zylinder gemessen und angegeben haben. Die Werte wurden bei der Auswertung transformiert.

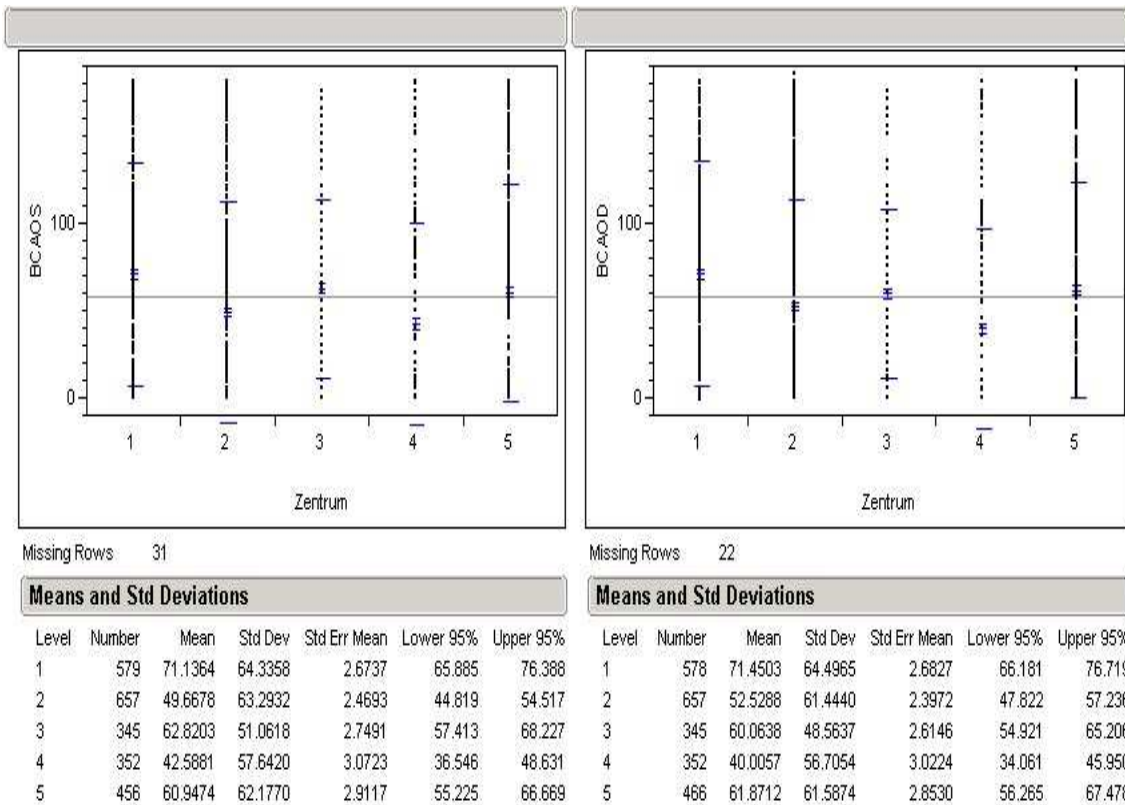


Abb. 8: BCAOS, best corrected (subjektive Refraktion), angle (Zylinderwinkel), linkes Auge, BCAOD, best corrected (subjektive Refraktion), angle (Zylinderwinkel), rechtes Auge. Die Werte wurden bei der Auswertung transformiert.

3.1.3.3. Scheitelbrechwertmessung (SBM)

Bei der SBM fehlt wieder ein erheblicher Teil der Messwerte. Es fehlen besonders Werte aus Salzburg und Barcelona.

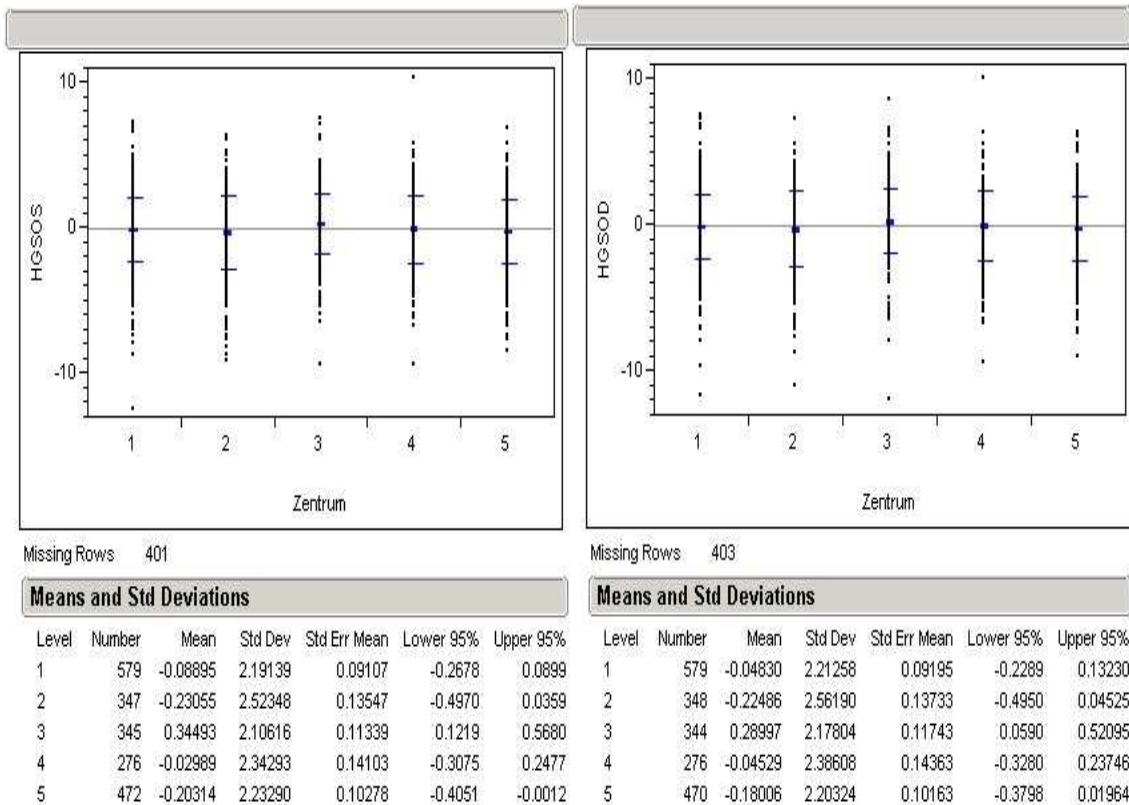


Abb. 9: HGSOS, habitual glasses (Refraktion mit eigener Brille), sphärische Brechkraft, linkes Auge, HGSOD, habitual glasses (Refraktion mit eigener Brille), sphärische Brechkraft, rechtes Auge, Angabe in Dioptrien.

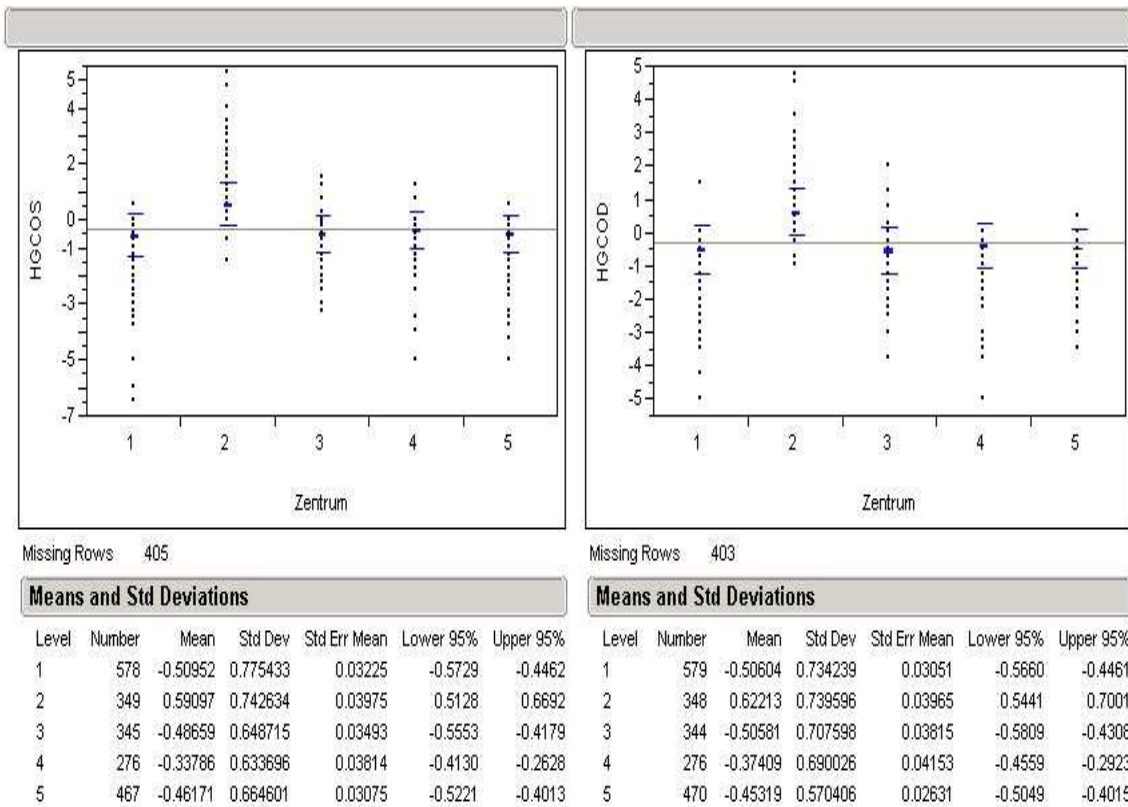


Abb. 10: HGCOS, habitual glasses (Refraktion mit eigener Brille), zylindrische Brechkraft, linkes Auge, HGCOD, habitual glasses (Refraktion mit eigener Brille), zylindrische Brechkraft, rechtes Auge, Angabe in Dioptrien. Anzumerken ist, dass Zentrum 2 (Salzburg) hauptsächlich Plus-Zylinder, die anderen Zentren dagegen hauptsächlich Minus-Zylinder gemessen und angegeben haben. Die Werte wurden bei der Auswertung transformiert.

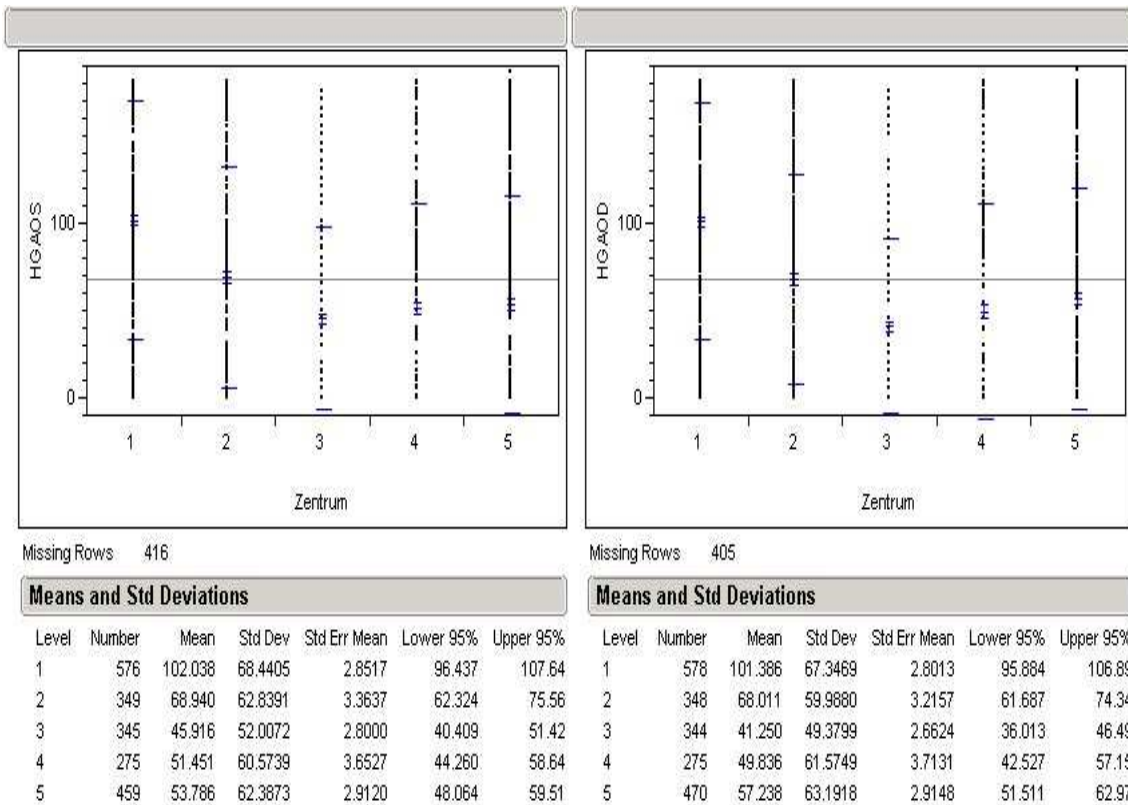


Abb. 11: HGCOS, habitual glasses (Refraktion mit eigener Brille), angle (Zylinderwinkel), linkes Auge, HGCOD, habitual glasses (Refraktion mit eigener Brille), angle (Zylinderwinkel), rechtes Auge, Angabe in Grad. Die Werte wurden bei der Auswertung transformiert.

3.1.3.4. Visusprüfung mit eigener Korrektur (Brille)

Hier fehlen sehr wenige Messwerte.

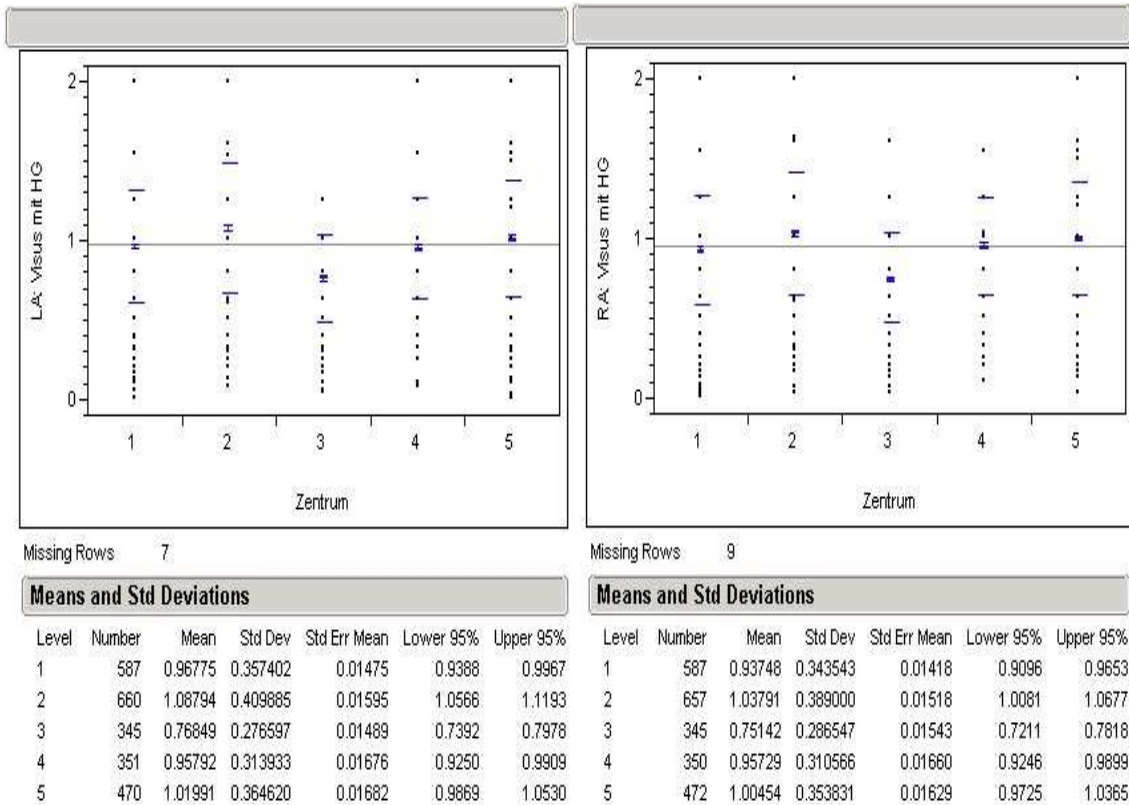


Abb. 12: Visuswerte mit eigener Korrektur nach Zentren: links linkes, rechts rechtes Auge (mit arithmetischem Mittelwert)

3.1.3.5. Visusprüfung mit optimaler Korrektur

Auch hier fehlen relativ wenige Daten.

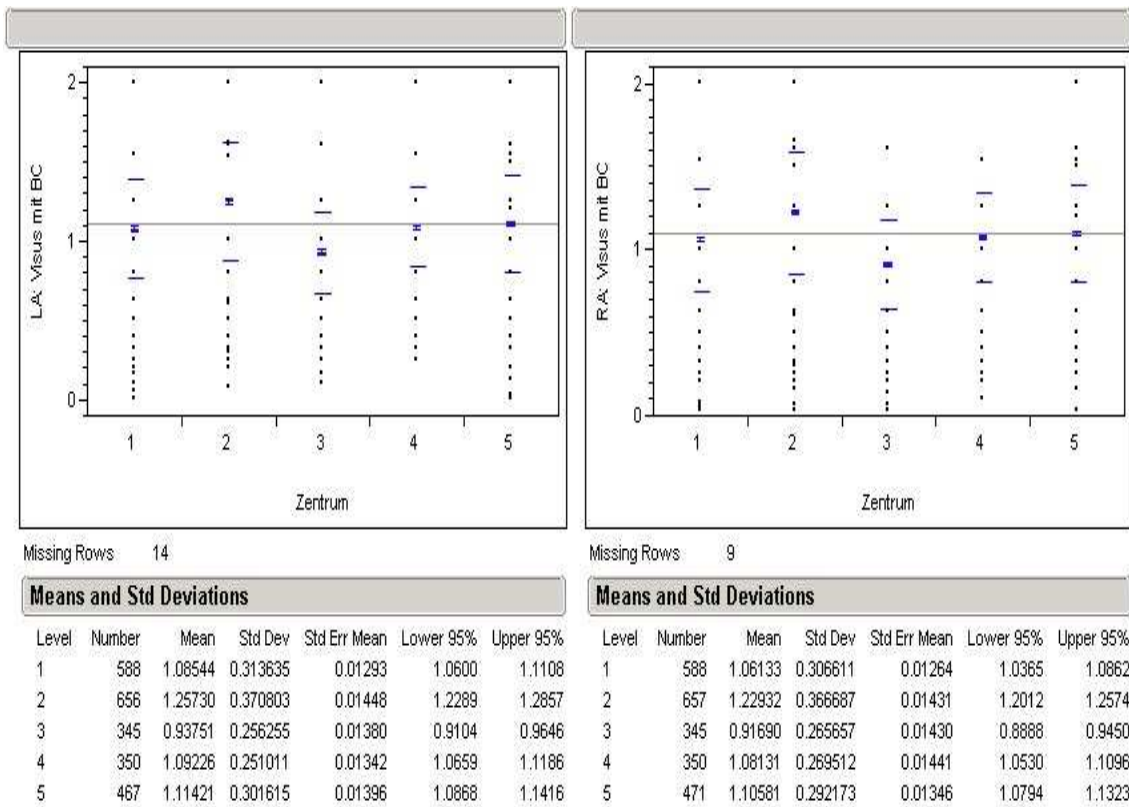


Abb.13: Visuswerte mit optimaler Korrektur nach Zentren: links linkes, rechts rechtes Auge (mit arithmetischem Mittelwert)

3.1.4. Fehlende Messwerte

Leider ist es kaum zu verhindern, dass bei einer so enormen Datenfülle Messwerte fehlen. Solange sich dies in einem statistisch nicht signifikanten Rahmen abspielt, also keine Selektionseffekte auftreten, kann es akzeptiert werden. Allerdings fehlen bei uns besonders aus den Zentren Barcelona und Salzburg erhebliche Datenmengen, so dass der oben genannte Rahmen bei weitem überstiegen wird. Aus Barcelona fehlen uns praktisch sämtliche Daten der objektiven Refraktion und über ein Fünftel der Daten der SBM. Vom Zentrum in Salzburg fehlen fast die Hälfte der Daten der SBM. Da wir hier von einer erheblichen Selektion ausgehen müssen, können diese Werte der entsprechenden Zentren nicht in der Auswertung berücksichtigt werden.

Grenzwertig ist der Verlust der Daten der objektiven Refraktion aus Amsterdam, dort fehlen bei den Zylinderbrechkraft und –achse bis zu 11% der Werte.

Im Folgenden findet sich eine Aufstellung der Anzahl der Fehlwerte (grau gekennzeichnet: zu hoher Datenverlust (>10%), der eine sinnvolle statistische Auswertung unmöglich macht):

fehlende Messwerte	SB bei OR		SB bei SR		SB bei SBM	
	links	rechts	links	rechts	links	rechts
Amsterdam	15 (2,55%)	13 (2,21%)	10 (1,7%)	12(2,04%)	10 (1,7%)	10 (1,7%)
Salzburg	12 (1,82%)	10 (1,51%)	3 (0,45%)	5 (0,76%)	314 (47,5%)	313 (47,4%)
Antwerpen	2 (0,58%)	5 (1,45%)	1 (0,29%)	1 (0,29%)	1 (0,29%)	2 (0,58%)
Barcelona	346 (98,3%)	346 (98,3%)	0 (0%)	1 (0,28%)	76 (21,59%)	76 (21,59%)
Tübingen	5 (1,06%)	5 (1,06%)	3 (0,64%)	2 (0,42%)	0 (0%)	2 (0,42%)

Tab. 1: Fehlende sphärische Brechwerte (SB) von objektiver (OR) und subjektiver (SR) Refraktion sowie Scheitelbrechwertmessung (SBM) für linkes und rechtes Auge nach Zentren

fehlende Messwerte	ZB bei OR		ZB bei SR		ZB bei SBM	
	links	rechts	links	rechts	links	rechts
Amsterdam	65 (11,04%)	49 (8,32%)	10 (1,7%)	10 (1,7%)	11 (1,87%)	10 (1,7%)
Salzburg	12 (1,82%)	10 (1,51%)	3 (0,45%)	5 (0,76%)	312 (47,2%)	313 (47,4%)
Antwerpen	2 (0,58%)	5 (1,45%)	1 (0,29%)	1 (0,29%)	1 (0,29%)	2 (0,58%)
Barcelona	346 (98,3%)	346 (98,3%)	0 (0%)	0 (0%)	76 (21,59%)	76 (21,59%)
Tübingen	6 (1,27%)	6 (1,27%)	11(2,33%)	6 (1,27%)	5 (1,06%)	2 (0,42%)

Tab. 2: Fehlende zylindrische Brechwerte (ZB) von objektiver (OR) und subjektiver (SR) Refraktion sowie Scheitelbrechwertmessung (SBM) für linkes und rechtes Auge nach Zentren

fehlende Messwerte	ZA bei OR		ZA bei SR		ZA bei SBM	
	links	rechts	links	rechts	links	rechts
Amsterdam	62 (10,53%)	46 (7,81%)	10 (1,7%)	11(1,87%)	13 (2,21%)	11 (1,87%)
Salzburg	11 (1,66%)	10 (1,51%)	4 (0,61%)	4 (0,61%)	312 (47,2%)	313 (47,4%)
Antwerpen	2 (0,58%)	5 (1,45%)	1 (0,29%)	1 (0,29%)	1 (0,29%)	2 (0,58%)
Barcelona	346 (98,3%)	346 (98,3%)	0 (0%)	0 (0%)	77 (21,88%)	77 (21,88%)
Tübingen	6 (1,27%)	6 (1,27%)	16(3,39%)	6 (1,27%)	13 (2,75%)	2 (0,42%)

Tab. 3: Fehlende Zylinderachsen (ZA) von objektiver (OR) und subjektiver (SR) Refraktion sowie Scheitelbrechwertmessung (SBM) für linkes und rechtes Auge nach Zentren

fehlende Messwerte	(VW) bei EB		(VW) bei SR	
	links	rechts	links	rechts
Amsterdam	2 (0,34%)	2 (0,34%)	1 (0,17%)	1 (0,17%)
Salzburg	1 (0,15%)	4 (0,61%)	5 (0,76%)	4 (0,61%)
Antwerpen	1 (0,29%)	1 (0,29%)	1 (0,29%)	1 (0,29%)
Barcelona	1 (0,28%)	2 (0,57%)	2 (0,57%)	2 (0,57%)
Tübingen	2 (0,42%)	0 (0%)	5 (1,06%)	1 (0,21%)

Tab. 4: Fehlende Visuswerte (VW) mit eigener Brille (EB) und mit nach subjektiver Refraktion bestimmter Korrektur (SR) für linkes und rechtes Auge nach Zentren

3.2. Evaluation

Nachdem im obigen Kapitel die Ergebnisse unserer Untersuchungen dargestellt wurden, sollen sie in diesem Kapitel im Rahmen der in Kapitel 1.4 skizzierten Fragestellungen ausgewertet werden.

3.2.1. Brillenevaluation

Mit Hilfe der in Kapitel 2.3.1 genannten Formel für den „total dioptric change“ (TDC) soll die Abweichung der Brillenstärke (SBM) von der subjektiven Refraktion bestimmt werden.

Abb. 14 zeigt die jeweilige Differenz beider Werte für jeden einzelnen Probanden für rechtes bzw. linkes Auge. Auch hier fallen die vielen fehlenden Daten aus den Zentren in Salzburg (Zentrum/Level 2) und Barcelona (Zentrum/Level 4) auf. Dies ist Folge der vielen fehlenden Rohdaten bei der Scheitelbrechwertmessung in diesen Zentren. Der über alle Zentren gemittelte „total dioptric change“ (TDC) beträgt 0.359 Dioptrien.

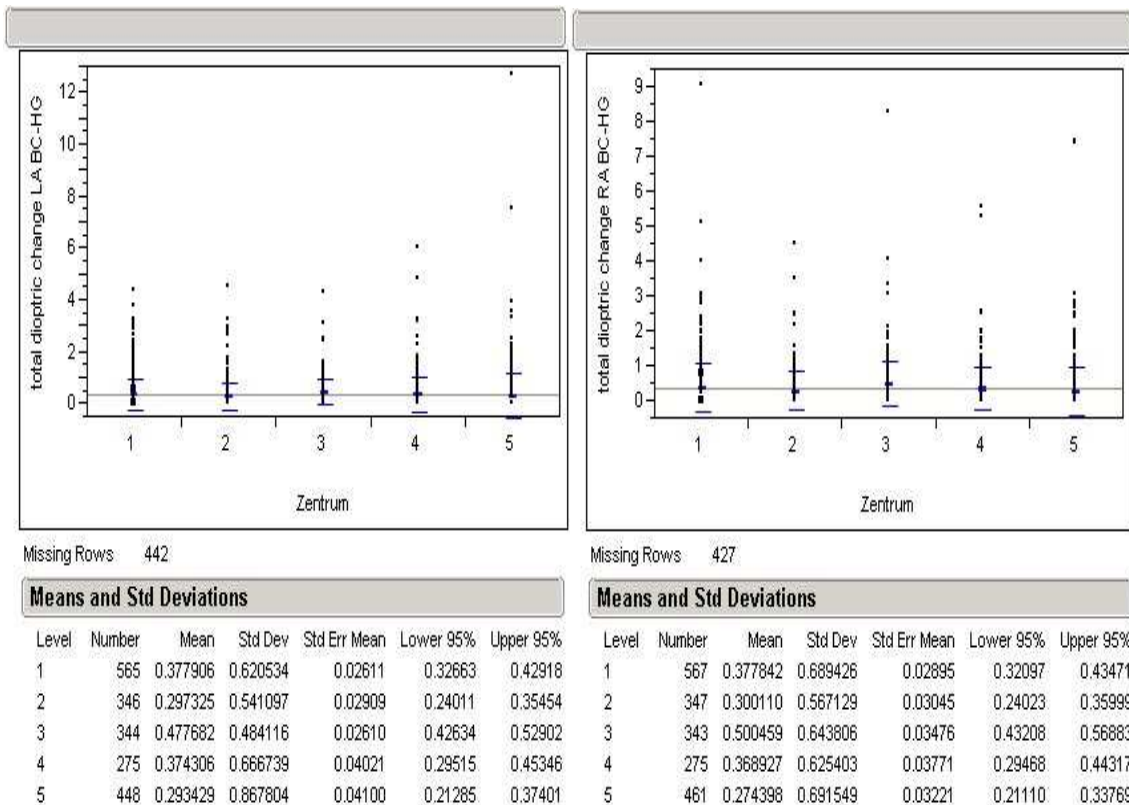


Abb.14: „Total dioptric change“(TDC) bei SBM nach Zentren, links linkes, rechts rechtes Auge, Angabe in Dioptrien.

Die Diagramme 8 und 9 zeigen nun eine Aufstellung der Anzahl der Probanden mit falschen Brillengläsern (0,5 oder mehr Dioptrien falsch) bzw. mit einer falschen Brille. Es stellt sich heraus, dass über 42% unserer Probanden eine falsche Brille trugen, in Antwerpen waren es sogar fast 55%.

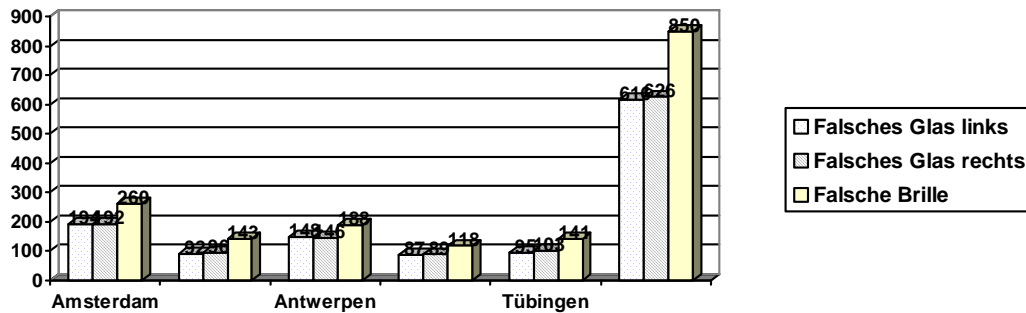


Diagramm 8: Probanden mit falschen Gläsern und Brillen nach Zentren (p-Wert [falsche Brille] <0.0001)

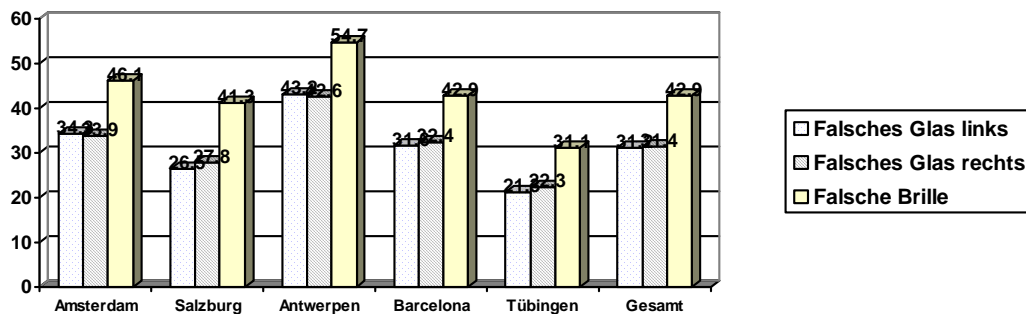


Diagramm 9: Prozentualer Anteil der Probanden mit falschen Gläsern und Brillen nach Zentren (p-Wert [falsche Brille] <0.0001)

Zum Vergleich seien hier noch die Zahlen der Probanden aufgeführt, deren Brillengläser mindestens ein (Diagramm 10 und 11) bzw. zwei Dioptrien (Diagramm 12 und 13) falsch waren.

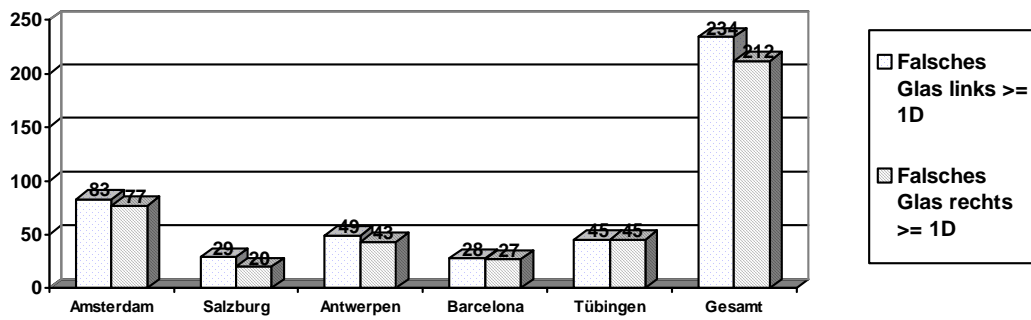


Diagramm 10: Probanden mit Gläsern, die mindestens 1 Dioptrie falsch sind, nach Zentren (p-Wert [links] =0.01, [rechts] =0.002)

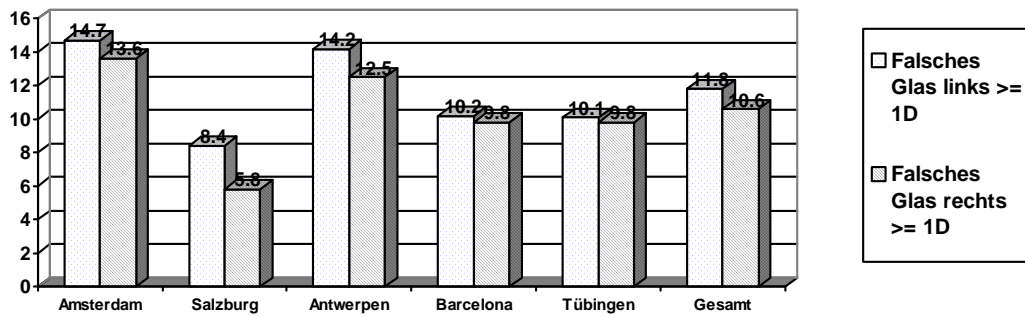


Diagramm 11: Prozentualer Anteil der Probanden mit Gläsern, die mindestens 1 Dioptrie falsch sind, nach Zentren (p-Wert [links] =0.01, [rechts] =0.002)

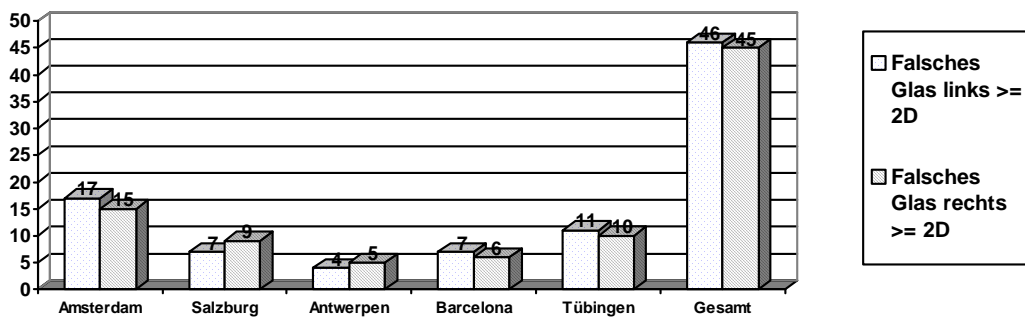


Diagramm 12: Probanden mit Gläsern, die mindestens 2 Dioptrien falsch sind, nach Zentren (p-Wert [links] =0.8, [rechts] =0.4)

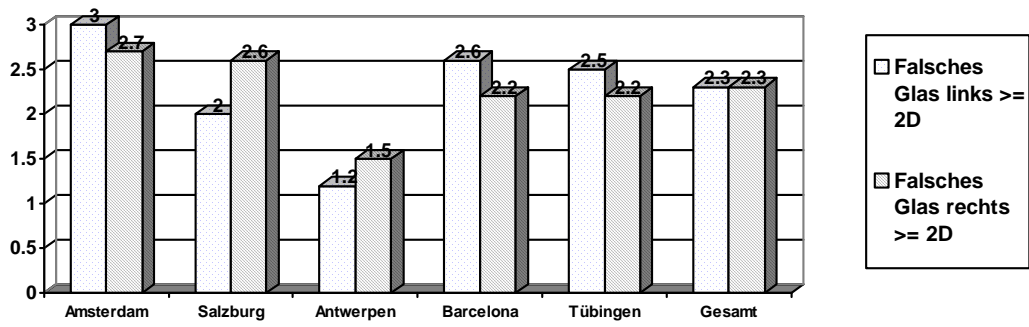


Diagramm 13: Prozentualer Anteil der Probanden mit Gläsern, die mindestens 2 Dioptrien falsch sind, nach Zentren (p-Wert [links] =0.8, [rechts] =0.4)

3.2.2. Visusevaluation

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Abweichung der Visuswerte, gemessen mit der probandeneigenen Brille im Vergleich zu denen, die unter optimaler Refraktion gemessen wurden („Visusverlust“). Dazu wird der Betrag der Differenz beider Werte für beide Augen berechnet.

3.2.2.1. Visusverlust durch eigene Brille (absolut)

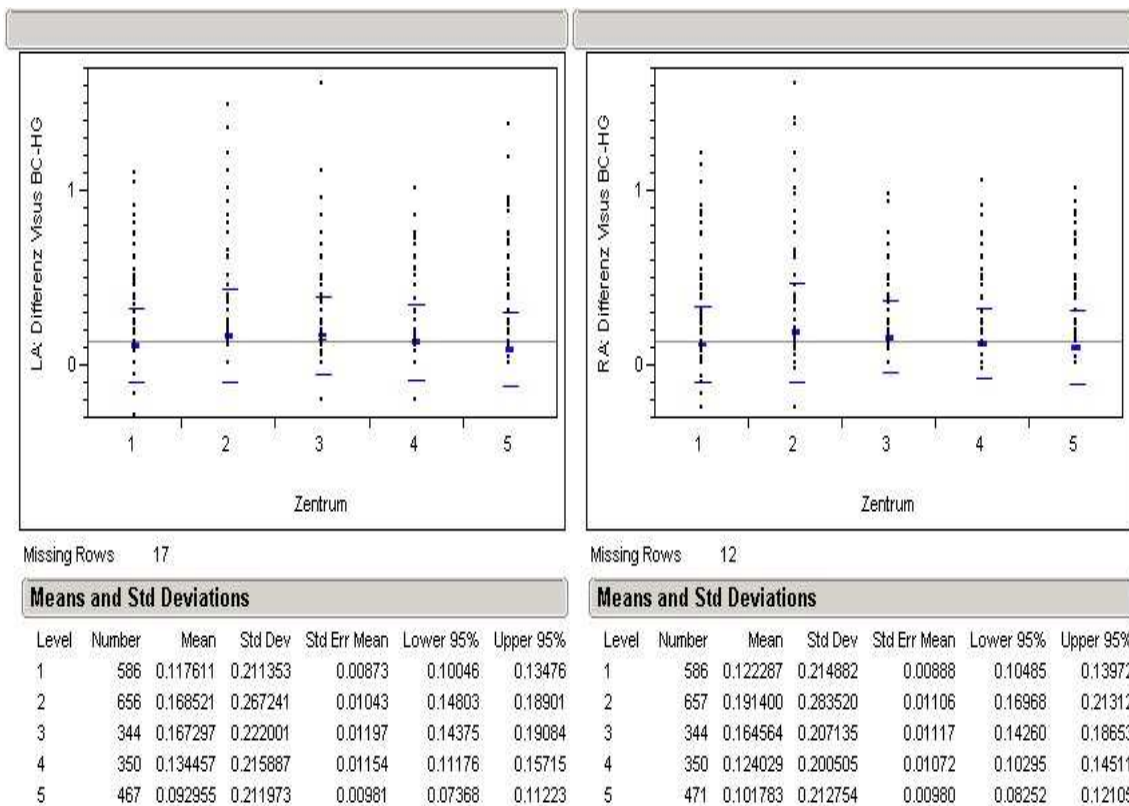
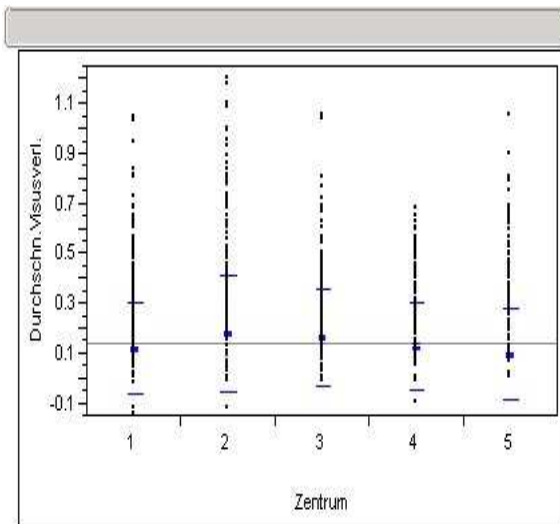


Abb. 15: Betrag des Visusverlusts nach Zentren, links linkes, rechts rechtes Auge (die Mittelwerte sind arithmetisch berechnet!)



Missing Rows 19

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
1	585	0.120154	0.183011	0.00757	0.10529	0.13501
2	656	0.179916	0.233936	0.00913	0.16198	0.19785
3	344	0.165930	0.193666	0.01044	0.14539	0.18647
4	350	0.129243	0.172693	0.00923	0.11109	0.14740
5	466	0.096824	0.184230	0.00853	0.08005	0.11359

Abb. 16: Durchschnittlicher Betrag des Visusverlusts von rechtem und linkem Auge nach Zentren (die Mittelwerte sind arithmetisch berechnet!)

Es stellt sich heraus, dass der Visusverlust durch nicht optimale Brillen erheblich ist. Im Durchschnitt (logarithmisch) aller Probanden beträgt er 0,235 auf beiden Augen, wobei geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Zentren und Altersgruppen auffallen. Es fällt auf, dass der Visusverlust mit steigendem Alter kontinuierlich sinkt.

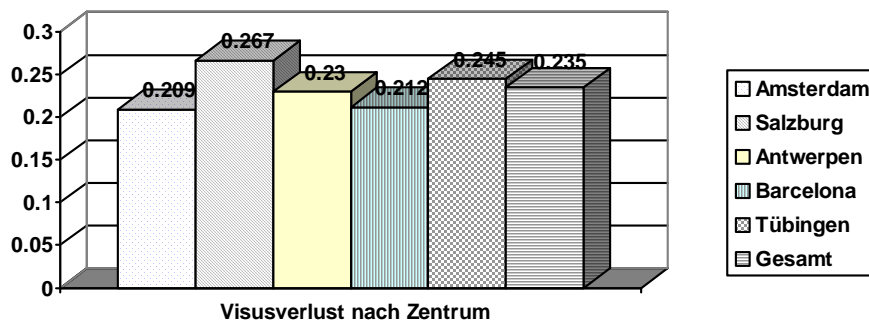


Diagramm 14: Durchschnittlicher logarithmischer Visusverlust auf beiden Augen nach Zentrum, p-Wert<0,0001.

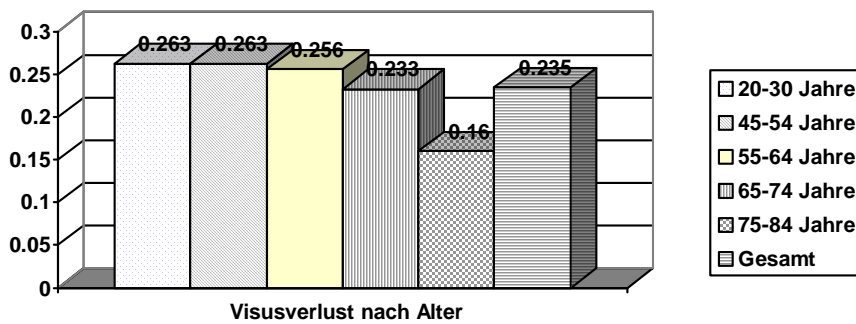


Diagramm 15: Durchschnittlicher logarithmischer Visusverlust auf beiden Augen nach Altersgruppen, p-Wert=0,002.

Bei 379 Probanden verringerte sich der Visus (auf mindestens einem Auge) um 0,5 oder mehr (siehe Diagramme 16 bis 19).

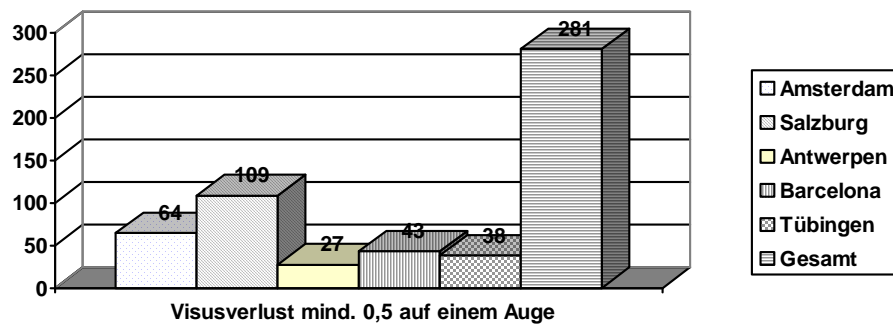


Diagramm 16: Probanden mit logarithmischem Visusverlust $\geq 0,5$ auf einem Auge, nach Zentrum.

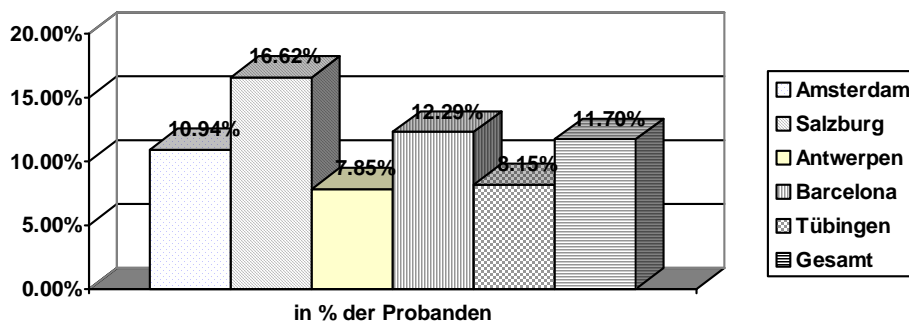


Diagramm 17: Logarithmischer Visusverlust $\geq 0,5$ auf einem Auge in Prozent der Probanden nach Zentrum.

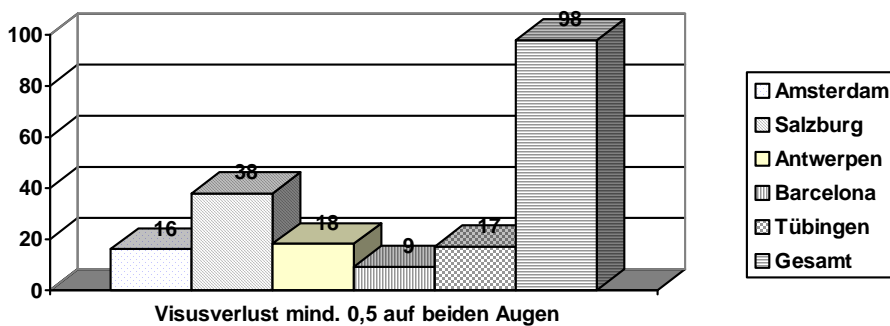


Diagramm 18: Probanden mit logarithmischem Visusverlust $\geq 0,5$ auf beiden Augen, nach Zentrum.

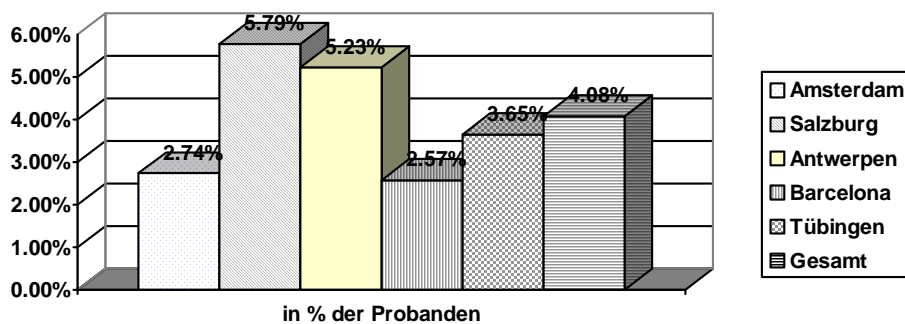


Diagramm 19: Logarithmischer Visusverlust $\geq 0,5$ auf beiden Augen in Prozent der Probanden nach Zentrum.

3.2.2.2. Visusverlust durch eigene Brille (in Stufen [dB])

Diagramm 20 zeigt, bei wie vielen Probanden sich der Visus durch eine falsche Brille verschlechtert:

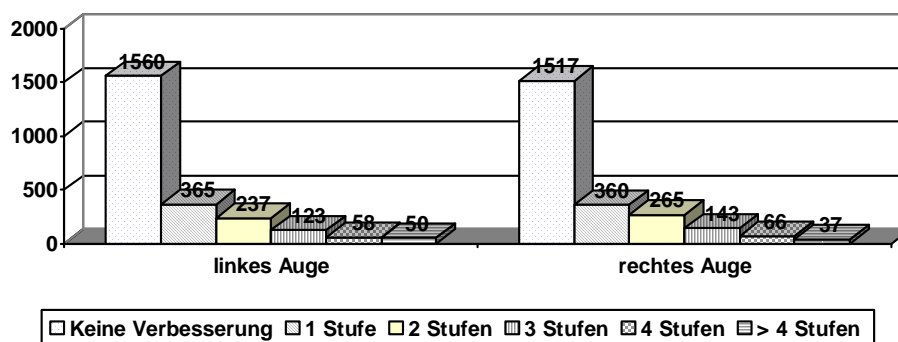


Diagramm 20: Visusverlust in Stufen (dB).

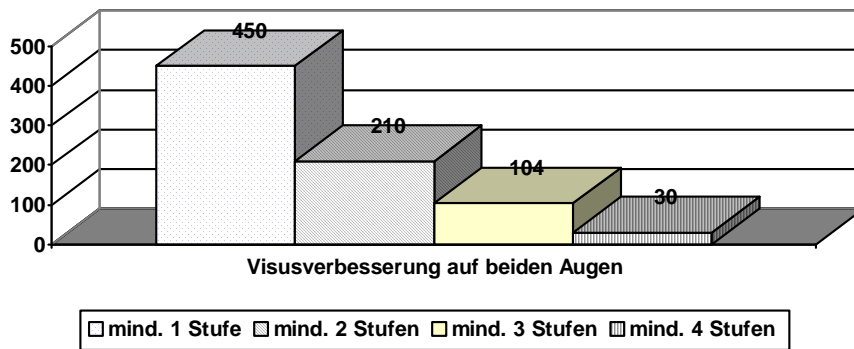


Diagramm 21: Visusverbesserung in Stufen (dB) auf beiden Augen.

3.2.2.3. Fahrverbot

Die Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV) in ihrer aktuell gültigen Fassung vom 14. August 2005 stellt in Anlage 6 (Verkehrsportal 2005) Mindestanforderungen bezüglich des Sehvermögens für die Klassen A, A1, B, BE, M, S, L, und T auf. Punkt 1.2.1 betrifft die zentrale Tagessehschärfe:

„1.2.1 Zentrale Tagessehschärfe

Fehlsichtigkeiten müssen – soweit möglich und verträglich – korrigiert werden.

Dabei dürfen folgende Sehschärfewerte nicht unterschritten werden:

Bei Beidäugigkeit:

Sehschärfe des besseren Auges oder beidäugige Gesamtsehschärfe: 0,5,

Sehschärfe des schlechteren Auges: 0,2

Bei Einäugigkeit (d.h. Sehschärfe des schlechteren Auges unter 0,2): 0,6.“

Nach den Maßstäben der FeV verlören 59 Probanden mit eigener Brille ihre Fahrerlaubnis, 48 von ihnen, also 81,4% dürften mit optimaler Korrektur wieder ein KFZ (Klassen A, A1, B, BE, M, S, L, und T) führen (siehe Diagramme 22 bis 25).

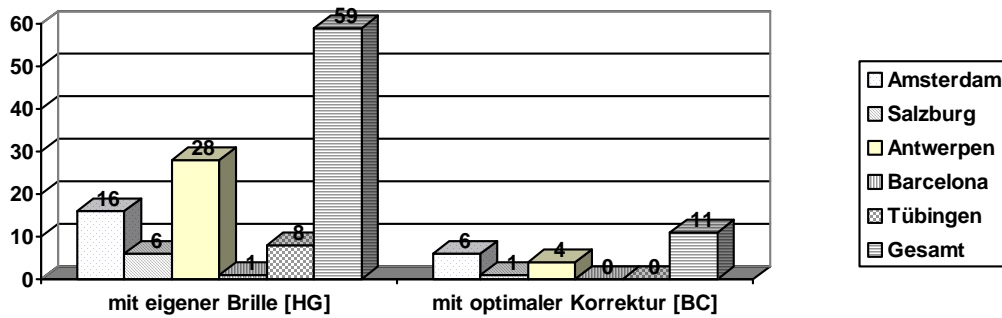


Diagramm 22: Probanden ohne Fahrerlaubnis (nach FeV) mit eigener Brille (habitual glasses, HG) versus optimaler Korrektur (best corrected, BC), nach Zentren (p-Wert [HG] <0.0001, [BC] =0.005)

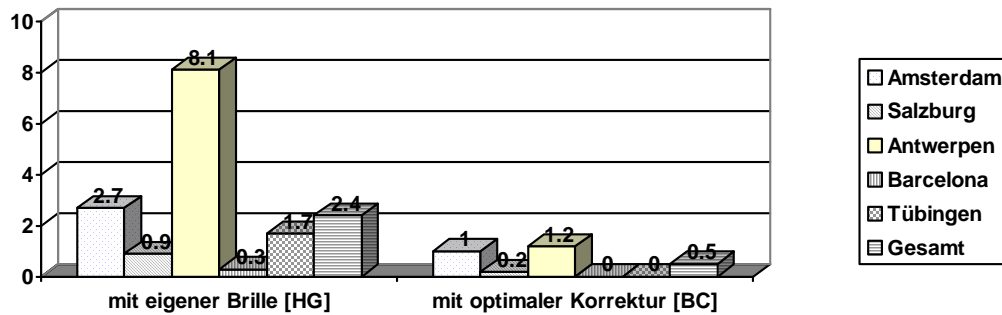


Diagramm 23: Prozentualer Anteil der Probanden ohne Fahrerlaubnis (nach FeV) mit eigener Brille (habitual glasses, HG) versus optimaler Korrektur (best corrected, BC), nach Zentren (p-Wert [HG] <0.0001, [BC] =0.005)

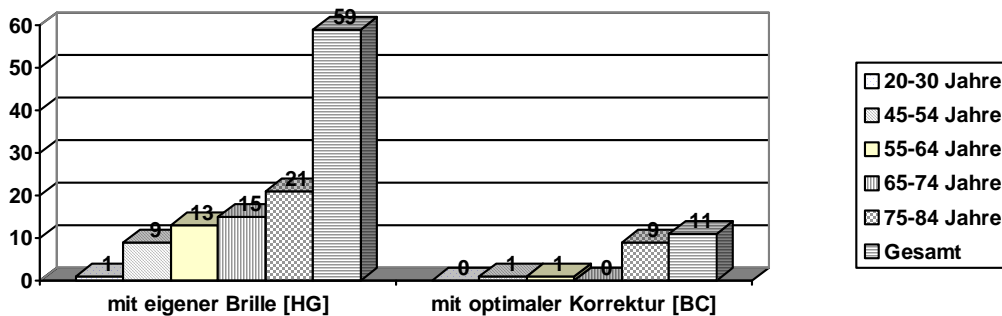


Diagramm 24: Probanden ohne Fahrerlaubnis (nach FeV) mit eigener Brille (habitual glasses, HG) versus optimaler Korrektur (best corrected, BC), nach Alter (p-Wert [HG] <0.0001, [BC] <0.0001)

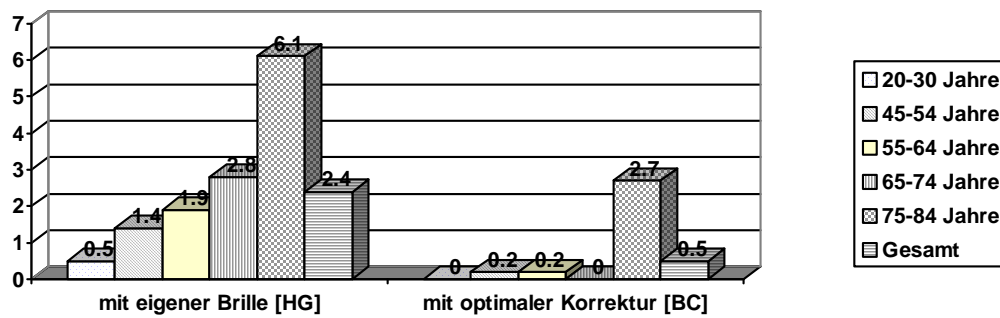


Diagramm 25: Prozentualer Anteil der Probanden ohne Fahrerlaubnis (nach FeV) mit eigener Brille (habitual glasses, HG) versus optimaler Korrektur (best corrected, BC), nach Alter (p-Wert [HG] <0.0001, [BC] <0.0001)

Interessant ist die genauere Beobachtung derjenigen Probanden, die ihre Fahrerlaubnis mit eigener Brille nach FeV verlieren würden, sie aber durch optimale Refraktion behielten. Diese ausgewählte Untergruppe trägt deutlich überdurchschnittlich schlechte Brillen, wie Diagramm 26 zeigt.

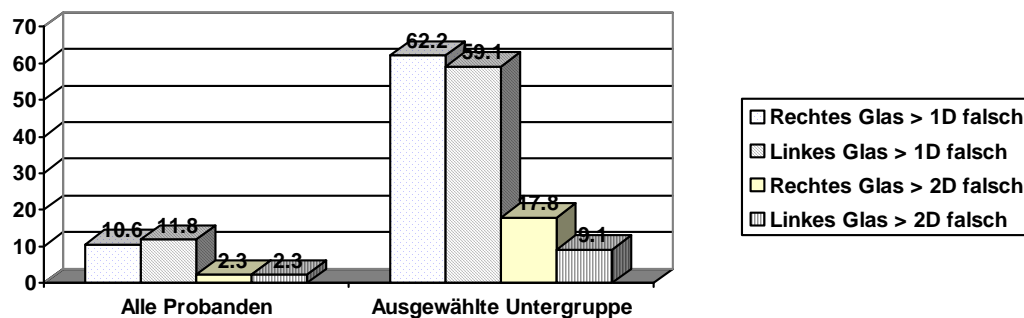


Diagramm 26: Prozentualer Anteil von Probanden mit starken Refraktionsabweichungen zwischen eigener Brille und optimaler Korrektur, Allgemeiner Durchschnitt aller Probanden versus Durchschnitt der von uns ausgewählten Untergruppe.

Analysiert man die Fehlrefraktion dieser Untergruppe im Vergleich zu den restlichen Probanden („Normalprobanden“), so ergibt sich folgendes Bild:

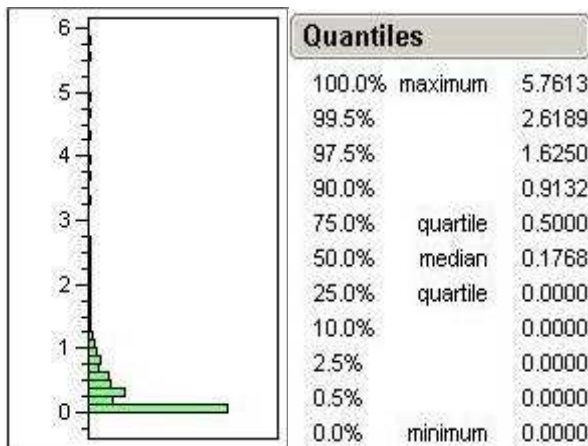


Abb. 17: Durchschnittliche Refraktionsabweichung aller Probanden in Dioptrien (ohne ausgewählte Untergruppe): Verteilung (links, Y-Achse: Abweichung in Dioptrien, X-Achse: Auftrag der Probanden) und Angabe der Verteilung mittels Quantilen (rechts)

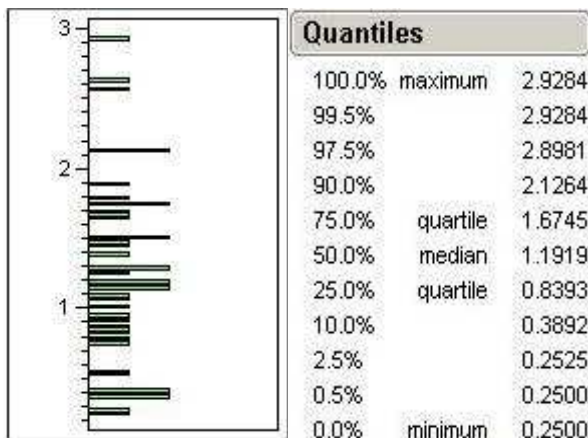


Abb. 18: Durchschnittliche Refraktionsabweichung der ausgewählten Untergruppe in Dioptrien: Verteilung (links, Y-Achse: Abweichung in Dioptrien, X-Achse: Auftrag der Probanden) und Angabe der Verteilung mittels Quantilen (rechts)

Während der Median der Refraktionsabweichung bei unseren „Normalprobanden“ bei 0,177 Dioptrien und die 75%-Quantile bei 0,5 Dioptrien liegen, liegt die 25%-Quantile unserer Untergruppe mit 0,839 Dioptrien schon deutlich darüber. Der Median beträgt 1,192 Dioptrien, bei oder über diesem Wert liegen nur knapp 5% der Normalprobanden. Andersherum ausgedrückt gehören von den 126 Probanden mit einer Refraktionsabweichung von $\geq 1,192$ Dioptrien 25 (knapp 20%) zu der von uns definierten Untergruppe und sind also durch ihre falsche Brille fahruntauglich.

3.2.2.4. „Visual impairment“ (Sehstörung)

In US-amerikanischen Zeitschriften wird häufig als Kriterium „Visual impairment“ publiziert. Die Definitionen dafür differieren stark, was die Vergleichbarkeit erschwert. Da die folgende in den meisten US-Bundesstaaten Ausschlusskriterium für den Erhalt des Führerscheins ist (Charman 1985), entschieden wir uns, es durch den bestkorrigierten Visus auf dem besseren Auge als $<20/40$ [entspricht $<0,5$] zu definieren. Alle 6 betroffenen Probanden (0,25% aller Probanden) sind Männer. Zu Vergleichszwecken sei trotzdem noch anderen Definitionen Rechnung getragen, weshalb „Visual impairment ($<0,5$)“ in HG (habitual glasses, eigene Brille) und BC (best corrected, bestkorrigiert) sowie „Visual impairment ($\leq 0,5$)“ in BC angegeben sind.

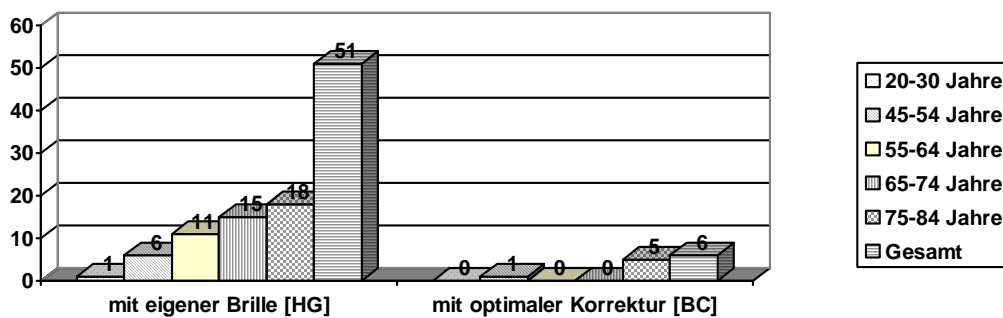


Diagramm 27: Probanden mit „Visual impairment ($<0,5$)“ mit eigener Brille (habitual glasses, HG) versus optimaler Korrektur (best corrected, BC), nach Alter.

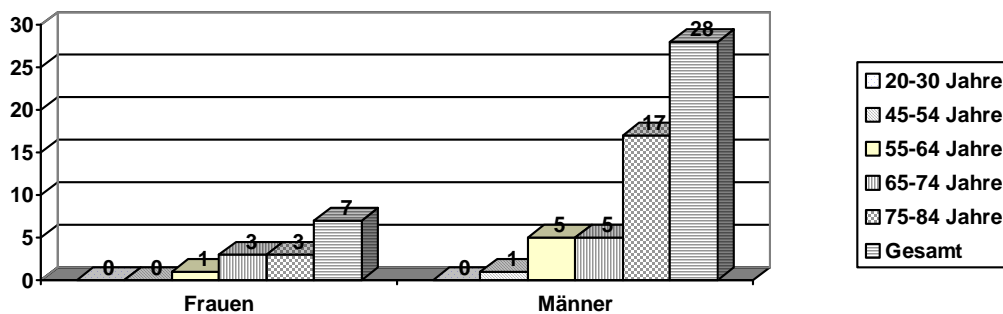


Diagramm 28: Probanden mit „Visual impairment ($\leq 0,5$)“ mit optimaler Korrektur (best corrected, BC), nach Alter (p -Wert $<0,0001$) und Geschlecht (p -Wert=0,002).

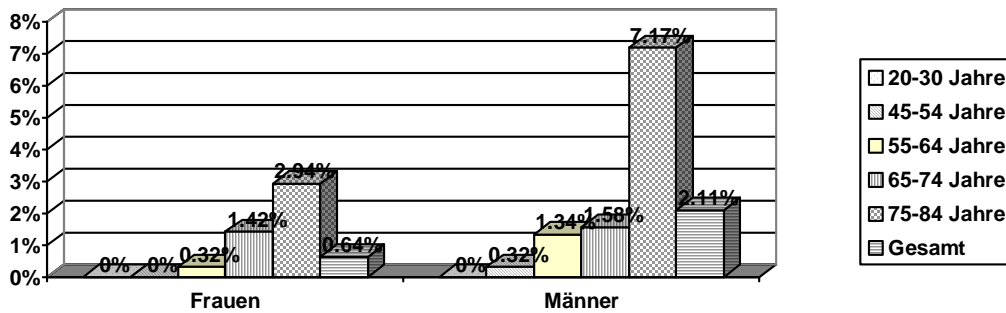


Diagramm 29: Prozentualer Anteil der Probanden mit „Visual impairment ($\leq 0,5$)“ mit optimaler Korrektur (best corrected, BC), nach Alter (p -Wert $<0,0001$) und Geschlecht (p -Wert=0,002).

3.2.3. Qualitative Beurteilung der objektiven Refraktionsbestimmung

Wir ermitteln die Abweichung der objektiven von der subjektiven Refraktion unter Anwendung der unter Kapitel 2.3.1 genannten Formel für den TDC. Diese Werte sind in Abb. 19 aufgetragen. Die über alle Zentren gemittelte TDC beträgt 0,51 Dioptrien.

Zusätzlich haben wir noch zum Vergleich mit der Literatur die Differenzen des sphärischen Äquivalents (DSÄ), der Zylinderstärke (DZB), der Achsendifferenz (DA) und die totale astigmatische Differenz (TAD) berechnet.

Eine Ausnahme unter den Zentren bildet Barcelona (Zentrum 4) wegen der schlechten Datenlage.

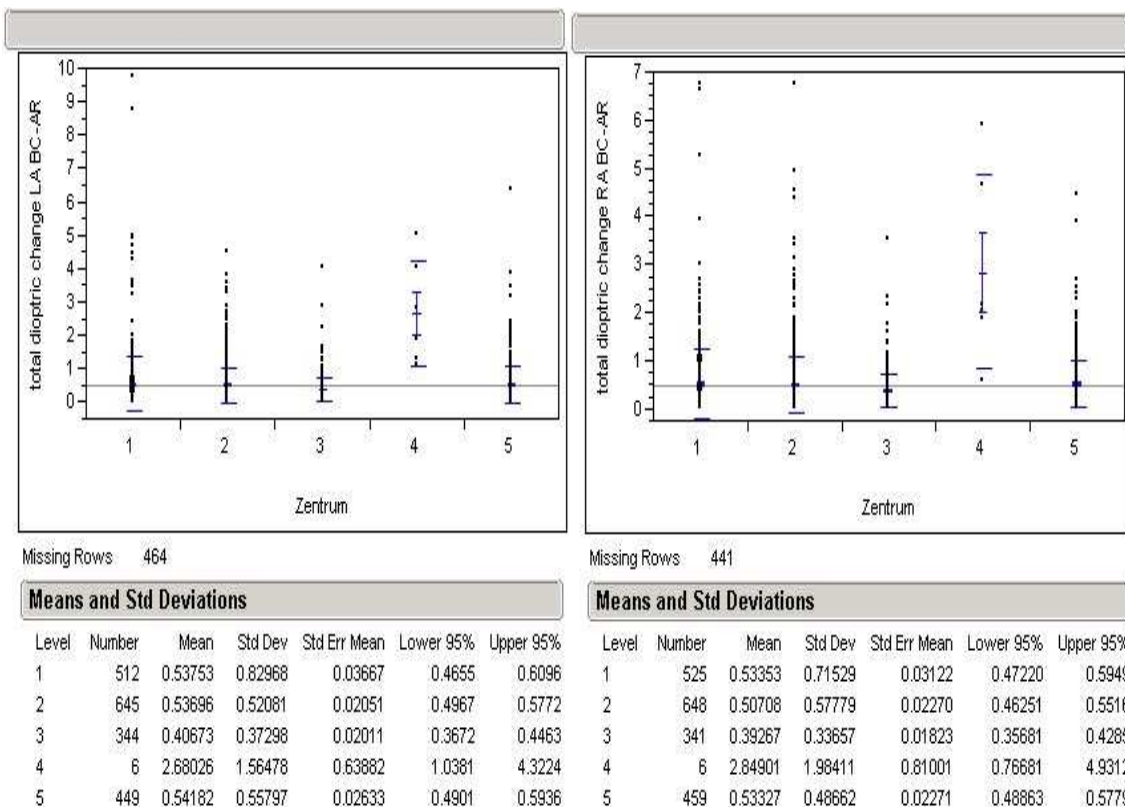


Abb. 19: „Total dioptric change“(TDC) bei objektiver im Vergleich zu subjektiver Refraktion nach Zentren, links linkes, rechts rechtes Auge, Angabe in Dioptrien.

	DSA <= 0,5 D (RA / LA)	DZB <= 0,5 D (RA / LA)	DA <= 0,5 D (RA / LA)	TAD <=0,63 D (RA / LA)	TDC <= 1 D (RA / LA)
Amsterdam	408(77,6%) / 408(79,5%)	471(88,5%) / 450(87,2%)	451(84,6%) / 446(86,1%)	409(77,2%) / 401(77,9%)	464(88,4%) / 462(90,2%)
Salzburg	528(81,5%) / 508(78,6%)	524(80,7%) / 517(79,9%)	570(87,8%) / 578(89,3%)	469(72,3%) / 468(72,4%)	589(90,9%) / 563(87,3%)
Antwerpen	298(87,4%) / 298(86,6%)	283(83,0%) / 309(89,8%)	306(89,7%) / 299(86,9%)	279(81,8%) / 296(86,0%)	330(96,8%) / 326(94,8%)
Barcelona	1 (16,7%) / 1 (16,7%)	5 (83,3%) / 4 (66,7%)	6 (100,0%) / 6 (100,0%)	5 (83,3%) / 4 (66,6%)	1 (16,6%) / 0 (0,0%)
Tübingen	355(77,3%) / 334(73,6%)	372(80,9%) / 368(80,9%)	410(89,1%) / 412(91,6%)	330(71,7%) / 330(73,3%)	400(87,1%) / 401(89,3%)
Gesamt	1590(80,3%) / 1549(78,9%)	1655(83,2%) / 1648(83,7%)	1743(87,3%) / 1741(88,6%)	1492(75,1%) / 1499(76,4%)	1784(90,1%) / 1752(89,6%)

Tab. 5: Abweichungen der objektiven Refraktion von der subjektiven Refraktion in DSA, DZB, DA, TAD und TDC, nach Zentren.

3.3. Bewertung der Einflussgrößen

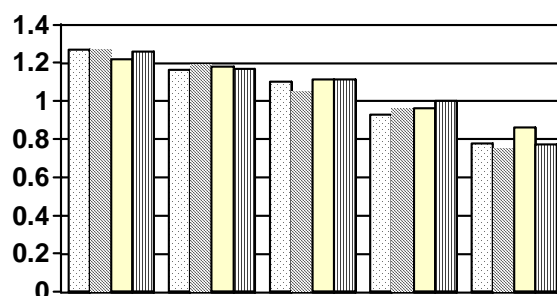
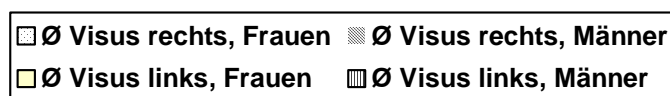
Die Bewertung der Einflussgrößen soll im Hinblick auf Brillengüte, Visus, Fahrverbot, Abweichung der objektiven Refraktion und Augenarztbesuch vorgenommen werden. Wegen vieler fehlender Daten und der daraus möglicherweise erwachsenden Verzerrung bleiben bei der Bewertung der Brillengüte die Werte aus Salzburg und Barcelona, bei der Bewertung der objektiven Refraktion die Werte aus Amsterdam und Barcelona komplett unberücksichtigt. Da die Probanden bezüglich des Augenarztbesuches nur in Tübingen befragt wurden, werden hier die anderen Zentren nicht berücksichtigt. Die Berechnung des Durchschnittsvisus erfolgt nach dem logarithmischen Mittelwertverfahren (Bach und Kommerell 1998).

3.3.1. Geschlecht

Brillengüte: Die Auswertung aller fünf Zentren nach Geschlecht ergibt, dass 372 von 904 (41,15%) Frauen und 478 von 1079 (44,3%) Männer Brillen mit falschen Brechwerten benutzten. Mit einem p-Wert von 0,16 ist dieser Unterschied aber statistisch nicht auffällig. Berücksichtigt man die vielen fehlenden Werte von den Zentren Salzburg und Barcelona und lässt diese aus der Bewertung heraus, so tragen 245 von 587 Frauen (41,74%) und 344 von 775 Männern (44,39%) falsche Brillen, der p-Wert beträgt 0,33.

Visus: Der Mittelwert der Männer für das rechte Auge beträgt 1,01, links 1,04, bei den Frauen entsprechend 1,06 rechts und 1,09 links. Der Visusunterschied zwischen männlichen und weiblichen Probanden ist statistisch nicht signifikant.

Altersadjustiert ergeben sich folgendes Bild:



	20-30 Jahre	45-54 Jahre	55-64 Jahre	65-74 Jahre	75-84 Jahre
Ø Visus rechts, Frauen	1.27	1.16	1.1	0.93	0.78
Ø Visus rechts, Männer	1.27	1.19	1.05	0.96	0.75
Ø Visus links, Frauen	1.22	1.18	1.11	0.96	0.86
Ø Visus links, Männer	1.26	1.17	1.11	1	0.77

Diagramm 30: Durchschnittliche Visuswerte nach Alter und Geschlecht.

Visusverbesserung: Auf mindestens einem Auge kann der Visus durch optische Korrektur bei 642 von 1323 Männern (48,53%) und bei 508 von 1082 Frauen (46,95%) um mindestens eine Stufe verbessert werden (p-Wert= 0,44).

Fahrverbot: Ein Fahrverbot mit eigener Brille würden 1,65% der Frauen (18 von 1088) und 3,09% der Männer (41 von 1326) erhalten, der p-Wert beträgt 0,02 und ist damit noch nicht signifikant. Mit optimaler Korrektur träfe dies nur eine Frau (0,09%) aber 10 Männer (0,75%) und zeigt so mit einem p-Wert < 0,01 statistisch auffällige Abhängigkeit von der Einflussgröße Geschlecht.

Objektive Refraktion: Die Analyse ergibt Abweichungen von der subjektiven Refraktion von 0,48 Dioptrien für Frauen und 0,51 Dioptrien für Männer und zeigt bei einem p-Wert von 0,35 keine Abhängigkeit vom Geschlecht.

Augenarztbesuch: 91 der 198 (45,96%) der weiblichen und 111 der 254 (43,70%) männlichen Probanden aus Tübingen gehen mindestens einmal im Jahr zum Augenarzt (P-Wert: 0,63).

3.3.2. Alter

Brillengüte: Es tragen 23,36% der 20-30jährigen (Altersgruppe 1), 33,16% der 45-54jährigen (Altersgruppe 2), 45,68% der 55-64jährigen (Altersgruppe 3), 49,83% der 65-74jährigen (Altersgruppe 4) und 58,92% der 75-84jährigen (Altersgruppe 5) eine falsche Brille (p-Wert < 0,0001). Die Abnahme der Brillengüte mit zunehmendem Alter ist statistisch hoch auffällig.

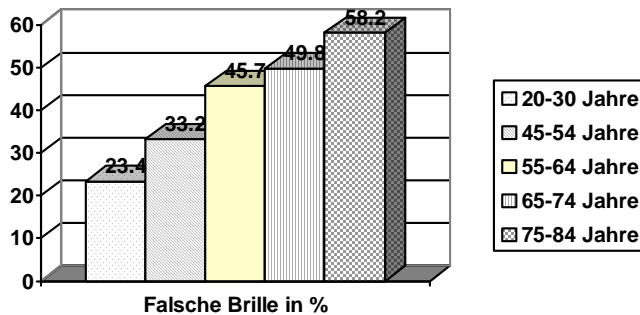


Diagramm 31: Prozentualer Anteil der Probanden mit falscher Brille.

Visus: Der durchschnittliche Visus betrug rechts 1,21 / 1,12 / 1,00 / 0,90 / 0,72 und links 1,20 / 1,11 / 1,04 / 0,92 / 0,78, der p-Wert, der sich auf die Unterschiede zwischen den Altersklassen bezieht, ist beide Male <0,0001 und präsentiert sich somit ebenfalls hoch auffällig.

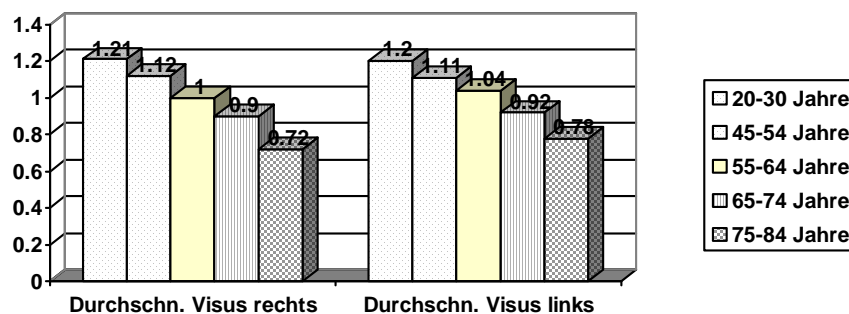


Diagramm 32: Durchschnittliche Visuswerte nach Alter, linkes und rechtes Auge.

Visusverlust: Hier zeigt sich erwartungsgemäß eine auffällige Abhängigkeit vom Alter, denn je jünger der Proband, desto höher der Visusverlust durch eine falsche Brille (p-Wert=0,002).

Visusverbesserung: Für das linke Auge (p-Wert=0,01), das rechte Auge (p-Wert<0,001) und für ein oder beide Augen (p-Wert<0,0001) ist das Alter ein statistisch auffälliger Einflussfaktor.

Fahrverbot: Dies traf mit eigener Brille jeweils 0,48% / 1,38% / 1,90% / 2,84% / 6,14% (p-Wert <0,0001), mit optimaler Korrektur waren es 0% / 0,15% / 0,15% / 0% / 2,65% (p-Wert <0,0001).

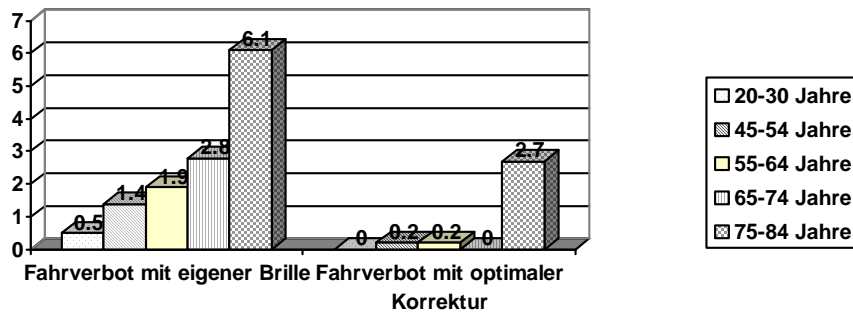


Diagramm 33: Prozentualer Anteil der Probanden mit Fahrverbot mit eigener Brille und mit optimaler Korrektur.

Objektive Refraktion: Die Analyse ergibt folgende Differenzen (in Dioptrien): 0,50D / 0,43D / 0,46D / 0,54D / 0,69D und zeigt bei einem p-Wert von <0,0001 hoch auffällige Abhängigkeit vom Alter der Probanden.

Augenarztbesuch: Regelmäßig zum Augenarzt gehen 31,48% / 31,08% / 41,30% / 66,33% / 69,70% (p-Wert <0,001), wobei zwischen den ersten beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied besteht (p-Wert: 0,97)

3.3.3. Zentrum

Brillengüte: Die Werte betragen, wie bereits im entsprechenden Kapitel erwähnt, 46,10% / 54,65% / 31,06% (für Zentrum 1 / 3 / 5), p-Wert<0,0001. Die Subgruppenanalyse weiterer Einflussgrößen zeigt folgendes:

Geschlecht:

Frauen (45,99% / 51,33% / 30,50%) → p-Wert: 0,0002

Männer (46,21% / 56,28% / 31,50%) → p-Wert: <0,0001

Alter:

Altersgruppe 1 (22,86% / 23,53% / 23,68%) → p-Wert: 1

Altersgruppe 2 (36,00% / 46,39% / 22,37%) → p-Wert: 0,0003

Altersgruppe 3 (46,26% / 66,09% / 28,47%) → p-Wert: <0,0001

Altersgruppe 4 (46,62% / 62,86% / 44,68%) → p-Wert: 0,04

Altersgruppe 5 (62,10% / 52,57% / 51,52%) → p-Wert: <0,45

So zeigt sich, dass die Brillengüte hoch auffällig abhängig vom Zentrum ist. Dies gilt allerdings nicht für die Altersgruppen 1 und 5 und nur eingeschränkt für die Altersgruppe 4.

Bei einem mindestens 1 Dioptrie falschen Glas ist der Einfluss des Zentrums ebenfalls auffällig (links: p-Wert=0,01, rechts: p-Wert=0,002), bei mindestens 2 Dioptrien gilt dies nicht mehr (links: p-Wert=0,8, rechts: p-Wert=0,4).

Visus: Der durchschnittliche Visus betrug rechts (Zentrum 1 / 2 / 3 / 4 / 5) 0,99 / 1,16 / 0,86 / 1,04 / 1,06 und links 1,03 / 1,18 / 0,89 / 1,06 / 1,06, der p-Wert ist beide Male <0,0001 und zeigt somit eine statistisch hoch auffällige Abhängigkeit.

Visusverlust: Hier zeigt sich ebenfalls eine hoch auffällige Abhängigkeit mit einem p-Wert<0,0001.

Visusverbesserung: Auf mindestens einem Auge kann der Visus durch opt. Korrektur bei (Zentrum 1 / 2 / 3 / 4 / 5) 45,3% / 54% / 59,6% / 50,3% / 31,8% der Probanden verbessert werden, der p-Wert ist <0,0001 und zeigt somit auch eine hoch auffällige Abhängigkeit.

Fahrverbot: Dies traf mit eigener Brille jeweils 2,73% / 0,91% / 8,12% / 0,28% / 1,69% (p-Wert <0,0001), mit optimaler Korrektur waren es 1,02% / 0,15% / 1,16% / 0% / 0% (p-Wert <0,005).

Objektive Refraktion: Die Analyse ergibt 0,52 / 0,40 / 0,54 Dioptrien Abweichung (Zentrum 2 / 3 / 5) und zeigt bei einem p-Wert von <0,0001 eine hoch auffällige Abhängigkeit vom Zentrum.

3.3.4. Kilometerleistung

Brillengüte: Hier spielt die Kilometerleistung als Einflussfaktor keine Rolle:

Gruppe 1 (<1000km/Jahr)	41,05% falsche Brillen
Gruppe 2 (\geq 1000km/Jahr, <10000km/Jahr)	45,03% falsche Brillen
Gruppe 3 (\geq 10000km/Jahr, <30000km/Jahr)	41,01% falsche Brillen
Gruppe 4 (\geq 30000km/Jahr, <50000km/Jahr)	35,71% falsche Brillen
Gruppe 5 (\geq 50000km/Jahr, <100000km/Jahr)	44,44% falsche Brillen
Gruppe 6 (>100000km/Jahr)	33,33% falsche Brillen

→ p-Wert: 0,46

Fahrverbot: Mit eigener Brille (Gruppe 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6) 2,83% / 2,68% / 1,85% / 3,15% / 0% / 0% (p-Wert: 0,46) und mit optimaler Korrektur 1,90% / 0,51% / 0,26% / 0% / 0% / 0% (p-Wert: 0,37).

3.3.5. Regelmäßiger Augenarztbesuch

30,58% derjenigen Probanden, die nicht regelmäßig zum Augenarzt gehen, tragen eine falsche Brille, wohingegen 32,81% derjenigen, die regelmäßig einen Augenarzt aufsuchen, eine falsche Brille tragen (p-Wert: 0,6). Somit unterscheiden sich die Anteile nicht in statistisch bedeutsamer Weise.

3.3.6. Grunderkrankung

Des Weiteren analysierte ich, ob es bei den Tübinger Probanden eine der Grunderkrankungen (Diabetes mellitus, arterielle Hypertonie, Myokardinfarkt, Schlaganfall und Allergie) als Einflussgröße eine Rolle spielt:

Falsche Brille:

- Diabetes mellitus: p-Wert 0,09
- Arterielle Hypertonie: p-Wert 0,04
- Myokardinfarkt: p-Wert 0,16
- Schlaganfall: p-Wert 0,38
- Allergie: p-Wert 0,012

Regelmäßige augenärztliche Kontrolle:

- Diabetes mellitus: p-Wert 0,003
- Arterielle Hypertonie: p-Wert 0,0001
- Myokardinfarkt: p-Wert 0,16
- Schlaganfall: p-Wert 0,76
- Allergie: p-Wert 0,32

Fahruntaugliche Probanden:

- Diabetes mellitus: p-Wert 0,58
- Arterielle Hypertonie: p-Wert 0,88
- Myokardinfarkt: p-Wert 0,36
- Schlaganfall: p-Wert 0,03
- Allergie: p-Wert 0,17

Eine Subgruppenanalyse der fahruntauglichen Probanden erübrigt sich aufgrund der geringen Fallzahl von 8 (im Tübinger Probandengut), wovon 6 Probanden keine Grunderkrankungen aufwiesen.

4. Diskussion

4.1. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die von uns durchgeführte Brillenevaluation hat gezeigt, dass (gemittelt über alle Zentren) fast 43% der gemessenen Brillen als falsch bezeichnet werden können, d.h. nach unserer Definition mindestens 0,5 Dioptrien vom optimalen Wert abweichen. Obwohl, wie unsere Untersuchungen zeigen, eine Abweichung von 0,5 Dioptrien selten eine Rolle für die Fahrtauglichkeit spielt, zeigt sich bei falscher Brille ($\geq 0,5$ D) ein Visusverlust im Durchschnitt aller Probanden von 0,235. Bei fast 4,1% der untersuchten Probanden betrug der Visusverlust auf beiden Augen 0,5 oder mehr. 450 Probanden (18,6%) verbessern ihren beidäugigen Visus durch optimale Refraktion um mindestens eine Stufe.

Neben den kaum messbaren sicherheitstechnischen sind die rechtlichen Auswirkungen von großer Bedeutung. Gemessen an den Maßstäben der FeV dürften 59 Probanden (2,44%) mit ihrer eigenen Brille kein Auto mehr führen, über 80% von diesen (48 Probanden) wären mit optimaler Brille nach ophthalmologischen Kriterien wieder fahrtauglich. Knapp 20% der Probanden mit einer Fehlrefraktion $\geq 1,192$ Dioptrien sind durch ebendiese fahrtauglich. Die Autorefraktion erfüllt die an sie gestellten Ansprüche, dem Untersucher eine grobe Vorstellung des Refraktionsbedarfs zu geben, allerdings sind die Abweichungen vom Goldstandard der subjektiven Refraktionierung mit durchschnittlich 0,51 Dioptrien erheblich.

Als korrelierte Größe stellt sich vor Allem das Alter dar, eingeschränkt auf den Parameter „Fahrverbot mit optimaler Korrektur“ auch das Geschlecht. Der statistisch auffällige Einfluss der Größe „Zentrum“ könnte auch aus der unzureichenden Qualität und Inhomogenität des Datenmaterials resultieren.

4.2. Diskussion der Schwächen

4.2.1. Probanden

4.2.1.1. Rekrutierung

Die Probandenrekrutierung verlief in allen Zentren nach unterschiedlichen Methoden, wodurch sich für die Probandenkollektive vermutlich eine unterschiedliche Selektion ergab. Allerdings stellt sich die Frage, ob ein und dieselbe Methode geeignet wäre, in diesen fünf kulturell sehr unterschiedlich geprägten Zentren eine vergleichbare Selektion zu erreichen. In Tübingen war bereits während der Vorbereitungen dieser Studie bekannt, nach welchem System im Hauptzentrum Amsterdam verfahren wurde, allerdings hielt man hier die dort erfolgreiche telefonische Rekrutierung aufgrund der hiesigen Mentalität für nicht sinnvoll durchführbar. Eine Anpassung der Methodik an die lokalen Gegebenheiten mit integrierter interner Prüfung der Repräsentativität der Stichprobe erschien als mögliche Alternative, weshalb in Tübingen eine Befragung der Probanden bezüglich bestimmter Krankheitsbilder, deren Epidemiologie bekannt ist, durchgeführt wurde.

4.2.1.2. Regionalstruktur

Ein weiteres Problemfeld stellt die sehr unterschiedliche Regionalstruktur der Untersuchungsgebiete dar. So handelt es sich bei Amsterdam und Barcelona um Millionenstädte mit einer ganz anderen Bevölkerungs- und Verkehrsstruktur als das Universitätsstädtchen Tübingen mit seinen ca. 85000 Einwohnern oder das in Österreich untersuchte Dorf. So zeichnet sich die Bevölkerung in und um Tübingen durch einen hohen Anteil an Studenten (22000) und Universitätsangestellten (insgesamt über 10000, davon ca. 8000 Angestellte der Universitätskliniken) (Eberhard Karls Universität Tübingen 2005) aus, bei denen man durchaus eine andere Altersstruktur und ein anderes Gesundheitsverhalten annehmen kann, als bei den Einwohnern eines kleinen Dorfes in der Peripherie Salzburgs oder einer Millionenstadt wie Amsterdam. Hinzu kommt auch der Unterschied in der Infrastruktur der Regionen. Während

man in einer Stadt vieles auch ohne Auto und Führerschein, also mit Bus und Bahn oder gar zu Fuß erledigen kann, zeichnet sich eine ländliche Region durch Mangel an öffentlichen Verkehrsmitteln und somit durch eine viel größere Abhängigkeit vom eigenen Auto aus. Diese Abhängigkeit in Verbindung mit einem eventuell geringeren Risikobewusstsein könnte dazu führen, dass dort eher auch Personen am Steuer sitzen, die aufgrund ihrer Einschränkungen in der Stadt das Fahren längst aufgegeben hätten.

So scheint es sinnvoll, zuerst zu definieren, anhand welcher Kriterien eine Probandenauswahl erfolgen sollte. Ist das Ziel einen Querschnitt der Bevölkerung des jeweiligen Landes, so scheint eine Studie in nur einem einzigen Zentrum pro Land ungeeignet. Wünscht man Daten vergleichbarer Regionen, so könnte man beispielsweise Amsterdam mit Hamburg oder Wien vergleichen, nicht aber mit Tübingen oder gar einem österreichischem Dorf. Allerdings stellt sich die Frage, wie groß die Unterschiede zwischen Stadt und Land in den teilnehmenden Ländern überhaupt sind.

4.2.1.3. Gruppenzusammensetzung

In der Gruppe unserer Probanden finden sich mit fast 55% signifikant mehr Männer als Frauen (45%). In der jungen Altersgruppe von 45-54 Jahren finden wir einen gering erhöhten Frauenanteil (52,5% zu 47,5% Männer). Da die Kontrollgruppen aus dem Bereich der Klinik bzw. deren Mitarbeitern rekrutiert wurden, können wir hier von einem starken Selektionseffekt ausgehen. Der hohe Männeranteil in den älteren Altersgruppen in durchweg allen Zentren lässt sich durch die Tatsache erklären, dass Frauen in früheren Jahren seltener den Führerschein erwarben. Dies lässt sich für Deutschland anhand des Zahlenmaterials des DIW (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung) belegen. Während dort in den Altersgruppen der 30-34- und 35-39-jährigen über 90% der Befragten beider Geschlechter einen Pkw-Führerschein besitzen, sinkt dieser Anteil in den älteren Altersgruppen bei den Frauen stark ab, während er bei den Männern annähernd konstant bleibt. In den Altersgruppen der 55-59- und 60-64-jährigen beträgt dieser Anteil bei den Frauen nur noch zwischen 70% und 80%, während er bei den Männern noch weit über 90% beträgt. Bei den 70-

74jährigen beträgt der Anteil bei den Frauen lediglich noch ca. 45%, während er bei den Männern noch bei fast 90% liegt (Mobilität in Deutschland 2002). Daten der über 74jährigen sind leider aus dieser Quelle nicht erhältlich und wurden von uns auch sonst nicht gefunden.

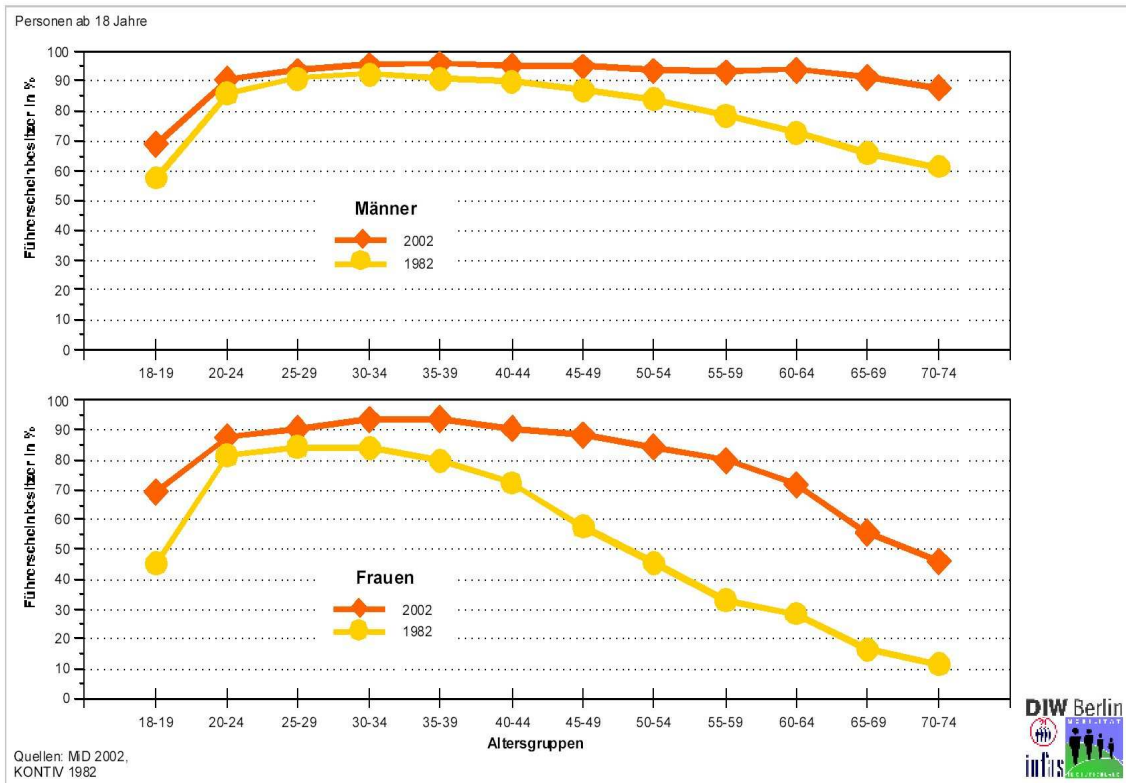


Abb. 20: Führerscheinbesitz in % nach Geschlecht und Altersgruppe (hellgrau: Daten von 1982, dunkelgrau: Daten von 2002) (Mobilität in Deutschland 2002)

Diese Angaben erklären zumindest für Deutschland bzw. Tübingen sehr gut die signifikante Häufung männlicher Probanden in den entsprechenden Altersgruppen. Man kann davon ausgehen, dass dies auf die anderen Zentren übertragbar ist.

Die relativ geringe Zahl an Probanden besonders der ältesten Altersklasse lässt sich durch deren geringen Anteil an der Gesamtbevölkerung und deren schwierige Rekrutierbarkeit erklären.

Da die Probanden in Tübingen noch zusätzlich zu fünf häufigen Krankheitsbildern befragt wurden, ergibt sich hier die Möglichkeit, die Repräsentativität der Stichprobe abzuschätzen.

Diabetes mellitus: In der Literatur schwanken die Angaben zur Prävalenz. Renz-Polster et al gehen von einer Prävalenz zwischen 7% und 8% der erwachsenen Bevölkerung mit deutlicher Altersabhängigkeit aus (Renz-Polster et al 2004, 805). Berger geht von einer Prävalenz zwischen 5% und 7% aus, ebenfalls mit deutlicher Steigerung im Alter (Berger 2000, 15-20). Mehnert et al sprechen von ca. 6 Millionen Deutschen, die an D.m. erkrankt sind (Mehnert et al 2003, 68 u. 53), was bezüglich der deutschen Gesamtbevölkerung (inklusive Kindern) einer Prävalenz von 7,3% entspricht.

Somit scheint der von uns im Probandenkollektiv erhobene Wert von 7,42% ziemlich gut, wenn auch in oberen Bereich der Prävalenzangaben der Literatur zu liegen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass Ältere, bei denen die Prävalenz höher geschätzt wird in unserer Studie in Vergleich zur deutschen Gesellschaft überrepräsentiert sind.

Arterielle Hypertonie: Hier schwanken die Zahlen in der Literatur erheblich. Renz-Polster berichtet von einer Prävalenz von 10-20% (Renz-Polster et al 2004, 172), Classen et al finden 25-30% bei mehrfacher Kontrollmessung und schätzen sie auf 60% bei über 65jährigen (Classen et al 1998, 1218) und Gerok et al finden 20% (40-45% bei 65-75jährigen) (Gerok et al 2000, 379).

Die von und gefundenen 27,12% scheinen auch hier ganz gut innerhalb der Prävalenzdaten der Literatur zu liegen, zumal wenn berücksichtigt wird, dass bei unseren Probanden im Vergleich zur Bevölkerung der Bundesrepublik Ältere überrepräsentiert sind.

Allergie: Classen et al finden eine Prävalenz von Hypersensitivitätsreaktionen von 10-20% in Mitteleuropa (Classen et al 1998, 468), Orfanos und Garbe finden die Prävalenz der Rhinokonjunktivitis in Europa bei 10-15% (Orfanos und Garbe 2002, 264), die der Atopie bei 0,5-1% (Orfanos und Garbe 2002, 206).

Mit den von uns festgestellten 18,22% liegen wir im Vergleich im oberen Schätzbereich.

Myokardinfarkt: Hierzu fanden sich nur Angaben zu Inzidenz (350000/Jahr, Classen et al 1998, 1126), die Lebenszeitprävalenz nicht letaler Myokardinfarkte beträgt laut Robert Koch Institut 3,3% für Männer und 1,7% für

Frauen (Robert Koch Institut, 2007), wohingegen die Prävalenz von 5,3% unserer Stichprobe deutlich höher ausfällt.

Schlaganfall: Laut Greten gibt es ca. 800000 Schlaganfallpatienten, wovon 1/3 schwer pflegebedürftig und damit sicher nicht im Stande sind, ein Fahrzeug zu führen (Greten 2005, 289). Gehen wir davon aus, dass die übrigen ca. 530000 Patienten Autofahrer sind, so errechnet sich eine Prävalenz in Deutschland von 0,65%. Unser Anteil von 1,91% scheint selbst wenn wir davon ausgehen, dass in unserer Stichprobe Ältere im Vergleich zur Bevölkerung der Bundesrepublik überrepräsentiert sind, sehr hoch. Allerdings wird die Aussage dieser Zahl durch die geringe Probandenzahl von 9 relativiert.

Die oben genannten Vergleiche (mit Ausnahme der Daten bezüglich Myokardinfarkte, die etwas höher liegen als im Bevölkerungsdurchschnitt) sind ein starker Hinweis darauf, dass die Selektion nicht dazu geführt hat, dass sich eine besonders gesunde oder besonders kranke Probandengruppe gemeldet hat.

4.2.2. Methoden

4.2.2.1. Geräte

Im Studienprotokoll sind zwar die Untersuchungen und deren Durchführung vorgegeben, für die Visusprüfung auch die genauen Gerätschaften, allerdings nicht, welche Geräte zur objektiven Refraktion und Scheitelbrechwertmessung eingesetzt werden sollen. So hat jedes Zentrum mit den dort vorhandenen Geräten geprüft. Allerdings scheinen bei der allgemeinen Ungenauigkeit der Autorefraktometer die Gerätedifferenzen bezüglich der sphärischen Brechkraft keine, bezüglich der „totalen astigmatischen Differenz“ eine untergeordnete Rolle zu spielen (Wesemann 2004, 12-13), was natürlich nur für die von Wesemann getesteten Geräte zutrifft. Geräte unseres Herstellers z.B. wurden von ihm in seiner ersten Studie 1987 (dort wurde auch nicht das gleiche Modell getestet), nicht allerdings 2004 getestet. Dies könnte möglicherweise die Differenzen bei der Evaluation der objektiven Refraktion zwischen unseren Zentren einerseits und zu seinen Werten andererseits erklären. Während

Wesemann bei der Differenz der sphärischen Äquivalente (DSÄ) bei seiner Untersuchung 2004 je nach Gerät Werte von 79% bis 82% innerhalb des Toleranzbereiches ($\leq 0,5$ D Abweichung von der subjektiver Refraktion) und 15 Jahre zuvor Werte zwischen 80% und 95%, so liegen wir in Tübingen leicht schlechter (mit 77,3% [RA] bzw. 73,6% [LA]). Auch bei der „Differenz der Zylinderbrechkraft (DZB)“ misst er Werte zwischen 91% und 100% (90%-97% 15 Jahre früher), während wir nur 80,9% der Werte im selben Toleranzintervall gemessen haben. Bei der Achsendifferenz misst er 83-93% (früher 84-93%). Wir liegen dort mit 89,1% [RA] bzw. 91,6% [LA] sehr gut.

Bei der Totalen astigmatischen Differenz (TAD) hat Wesemann 2004 90-99% der Werte innerhalb seines Toleranzintervalls ($\leq 0,63$ D Abweichung) gemessen, in der früheren Messung waren es 83-92%. Unser Nidek ist weit abgeschlagen mit Werten von 71,7% [RA] bzw. 73,3% [LA], aber auch unser Durchschnitt über alle Zentren liegt nur leicht darüber (75,1% [RA] bzw. 76,4% [LA]).

Die diesbezüglich von uns gemessenen Daten finden sich in Tab. 24 in Kapitel 3.2.3.

Zur Frage der Messgenauigkeit des Scheitelbrechwertmessers sei folgendes erwähnt:

Die Untersucher waren mit der Messmethode der SBM seit vielen Jahren vertraut und besaßen große Erfahrung mit dem benutzten Gerät. Retrospektiv betrachtet wäre es sicherlich sinnvoll gewesen, die einzelnen Untersucher und ihre Messgenauigkeit zu evaluieren, allerdings waren solche besonderen Qualitätskontrollen in der durchgeführten Studie nicht vorgesehen.

Aufgrund der hohen Probandenzahl kann man davon ausgehen, dass unsystematische Fehler in der Masse eliminiert wurden. Systematische Fehler hätten zu einer Verschiebung des Ergebnisses geführt und hätten sich somit bei der Auswertung gezeigt, was aber nicht der Fall war.

4.2.2.2. Visusprüfung

Die Reproduzierbarkeit individueller Visusprüfungen ist methodisch bedingt begrenzt. Es ist bekannt, dass bei einer Wiederholung der Visusprüfung

lediglich in einem Drittel der Fälle der zuerst festgestellte Wert erneut gemessen wird. In 47% der Fälle weicht der zweite Wert um eine, in 16% um zwei und in fast 3% um drei Stufen vom Ursprungswert ab (Petersen 1993). Dies stellt ein Problem bei der individuellen Beurteilung eines einzelnen Patienten dar, der Fehler fällt aber bei einer so großen Probandenzahl wie der unsrigen aufgrund von Mittelungseffekten kaum ins Gewicht.

4.2.3. Ergebnisse

Bezüglich der Einflussfaktoren ist festzustellen, dass sich das Alter für viele Bereiche (Brillengüte, Visus, Visusverlust, Visusverbesserung und objektive Refraktion) als auffälliger oder sogar hoch auffälliger Einflussfaktor herausgestellt hat. Selbiges gilt auch für den Einflussfaktor Zentrum (für Brillengüte, Visus, Visusverlust, Visusverbesserung, Fahrverbot und objektive Refraktion auffällig oder hoch auffällig), der aber aufgrund der oben geäußerten Überlegungen nicht weiter verfolgt werden soll. Selektiv auf den Parameter „Fahrverbot mit optimaler Korrektur“ hat das Geschlecht Einfluss.

Regelmäßige augenärztlich Kontrolle:

Die annähernd gleichen Anteile falscher Brillen bei der Gruppe der regelmäßig Untersuchten und der Gruppe der nicht regelmäßig Untersuchten könnten dadurch erklärt werden, dass einerseits Probanden, deren Refraktionsbedarf sich langsam ändert (z.B. jüngere Menschen) so langsam an Sehschärfe einbüßen, dass sie dies nicht bemerken, weshalb sie dann irgendwann die Schwelle von 0,5D überschreiten und nicht das Gefühl haben, sie mussten einen Augenarzt aufsuchen. Andererseits könnte es bei Probanden, deren Refraktionsbedarf sich schneller ändert, und die deshalb regelmäßig einen Augenarzt aufsuchen, zu dem Phänomen kommen, dass ihr Refraktionsbedarf die 0,5D-Schwelle überschreitet, bevor sie wieder einen Ophthalmologen aufsuchen. Vielleicht ist der subjektiv empfundene Visusverlust auch so gering, dass die Probanden es nicht bemerken oder sie lieber auf eine teure neue Brille verzichten.

Als einzige statistisch relevante Einflussgrößen auf die Regelmäßigkeit des Augenarztbesuches stellten sich die Krankheitsbilder des Diabetes mellitus und der arteriellen Hypertonie heraus. Bei ersterem kann dies durch die erhöhte Sensibilität der Betroffenen bezüglich ophthalmologischer Beeinträchtigungen durch den Diabetes begründet sein, eine regelmäßige Kontrolle ist hier ja medizinisch indiziert. Die Korrelation mit Hypertonie ist schwieriger zu erklären. Beachtet man die Tatsache, dass ein Großteil der Hypertoniker nichts von der Erkrankung weiß (sie haben ja meist kein Krankheitsgefühl), könnte es sich bei unseren Probanden um ein besonders gesundheitsbewusstes Klientel handeln, oder diese Probanden sind ärztlicherseits unter besonders intensiver Kontrolle, weshalb sie einerseits über ihren Hypertonus aufgeklärt und andererseits ophthalmologisch betreut sind.

Grunderkrankungen:

Nahe an der Signifikanzgrenze findet sich der Einflussfaktor Allergie auf die Stellgröße „falsche Brille“, allerdings in dem Sinne, dass Allergiker die besseren Brillen tragen. Dies kann dadurch erklärt werden, dass in den älteren Altersgruppen deutlich unterproportional wenige Probanden Allergiker sind (diese aber schlechtere Brillen tragen) und umgekehrt.

4.3. Vergleich unserer Ergebnisse mit der Literatur

4.3.1. Brillengüte

Harms et al fanden in ihrer Studie, dass Brechungsfehler für einen erheblichen Teil der Sehmängel, besonders bei jungen Autofahrern, verantwortlich sind. Bei 57% der ungeeigneten konnte durch optische Korrektur Fahrtüchtigkeit wiederhergestellt werden. Bei Autofahrern, welche die notwendige Mindestsehschärfe bei Prüfung mit ihrer üblichen Brille nicht mehr erreichten, ließ sich in der Mehrzahl der Fälle wieder Fahrtauglichkeit herstellen: in der Gruppe der 18- bis 44jährigen sogar bei 89 %, in den höheren Altersklassen bei etwas mehr als 60 % (Harms et al 1984). Harms und Dietz fanden ähnliche Zahlen (reiner Brechungsfehler/Brechungsfehler kombiniert mit beginnender

Linsensklerose): 18-44 Jahre (86%/0%), 45-64 Jahre (39%/16%) und 65-84 Jahre (3%/15%) (Harms und Dietz 1987).

Bei uns sieht man eine ähnliche Tendenz (vergleiche Tabellen 18 und 19, Kapitel 3.2.2.3): So werden 21 von 23 Probanden (91,3%) der ersten drei Altersgruppen (bis 64 Jahre), aber nur 27 von 36 Probanden (72,2%) der 65-84jährigen durch optimale Refraktion wieder fahrtauglich. Die bei uns gegenüber den älteren Studien höheren Zahlen können vermutlich durch die heute viel häufigeren Katarakt-Operationen erklärt werden, da dieses Krankheitsbild bei Harms und Dietz in der ältesten Altersgruppe noch bei fast einem Drittel ursächlich und einem weiteren Viertel mitursächlich für die Fahruntauglichkeit ist. Vielleicht spielt auch die bessere Glaukom- und Diabetesvorsorge eine Rolle.

Attebo et al fanden in der „Blue Mountains Eye Study“, dass durch optimale Refraktion der Visus der Probanden in 45% der Fälle um mindestens eine Stufe verbessert werden konnte (Attebo et al 1996). Die „Baltimore Eye Survey“ fand hier einen Wert von 54%, in 7,5% sogar eine Steigerung um 3 Stufen (Tielsch et al 1990), In London fand man, dass 27% der ab 65jährigen eine Visusverbesserung durch Refraktionsveränderung erfahren würden (Wormald et al 1992). In unserer Studie verbessert sich der Visus durch Refraktionsänderung bei 1150 von 2405 (47,8%) Probanden um mindestens eine Zeile.

Foran et al fanden, dass aus beiden untersuchten Probandengruppen 7,5% bzw. 5,6% der Probanden durch Refraktion korrigierbare Sehstörungen (Visus $<0,5$) hatten, 3,6 bzw. 2,7% hatten Sehstörungen, die nicht korrigiert werden konnten. Das bedeutet, dass bei fast 70% der Probanden mit Sehstörungen diese durch optimale Refraktion korrigiert werden konnten.

In unserem Kollektiv fanden sich 51 Probanden (2,1%) mit einem Visus $<0,5$, wovon 45 durch optimale Refraktion einen Visus von mindestens 0,5 auf dem besseren Auge erreichten (88,2%).

4.3.2. Visus

Tielsch et al fanden in der „Baltimore Eye Survey“ unter Weißen eine Prävalenz für „visual impairment ($<0,5$)“ von 2,68% (beginnend bei 0,18% unter 40-49jährigen bis hin zu 14,56% bei über 80jährigen) (Tielsch et al 1990).

Vergleichen wir unter denselben Konditionen („visual impairment ($<0,5$)“), so erhalten wir einen erstaunlich niedrigen Wert von 0,25% (In der Gruppe der 45-54jährigen fanden wir nur zu 0,15% Sehstörungen, bei den 75-84jährigen waren es 1,5%). Erklären kann man dies vermutlich durch die Selektion von Autofahrern und die freiwillige Teilnahme, welche einen Grossteil der schlecht sehenden Personen aussortiert haben könnte.

Klein et al fanden in einer Normalbevölkerung (49 bis über 85 Jahre) einen Wert für „visual impairment ($\leq 0,5$, optimal korrigiert)“ von 5,2% (Klein et al 1991), Attebo et al fanden dies bei 4,7% (Attebo et al 1996). Beide bezogen auch Probanden mit Visus 0,5 ein, was aufgrund der im Vergleich zu Tielsch et al weiter gefassten Definition auch höhere Zahlen erwarten lässt. Verwendeten wir selbige Grenzwerte, wiesen 1,45% unserer Probanden eine Sehbehinderung („visual impairment“) auf.

Unter Pkw-Fahrern fand Gramberg-Danielsen, dass 0,9% der Untersuchten einen Visus von 0,5 oder schlechter (allerdings beidäugig) aufwiesen (Gramberg-Danielsen, 1970), was unseren Zahlen nahe kommt. Auch er untersuchte nur Autofahrer, allerdings unterschied sich seine Rekrutierung und Selektion erheblich von der unsrigen. So wurden seine Probanden stärker zur Teilnahme gedrängt. Zum einen wurden Autofahrer an verschiedenen Plätzen untersucht, wo ein „Ausbrechen von Fahrzeugen“ verhindert wurde, zum anderen wurden im Falle von „ernsten Schwierigkeiten“ bei der Kooperation die entsprechenden Fahrer „mit Gewalt überredet“ an der Untersuchung teilzunehmen. Wie genau diese Gewalt ausgesehen haben mag, ist nicht bekannt. Eine solche Versuchsgestaltung ist in der heutigen Zeit nicht akzeptabel und würde wohl nicht mehr von einer Ethik-Kommission genehmigt. Des weiteren beläuft sich seine Frauenquote auf 6,7%. 75,1% seiner

Probanden sind 45 Jahre oder jünger, was seinen niedrigen Wert der Sehstörungen erklären könnte.

Van Rijn und Völker-Dieben zählen verschiedene Studien auf, bei denen die Sehschärfe von Autofahrern gemessen wurde. Demnach ergeben sich Werte von, je nach Alter und Studie, 1% bis 10% der Fahrer, die einen Visus von unter 0,5 aufweisen (siehe Diagramm 34).

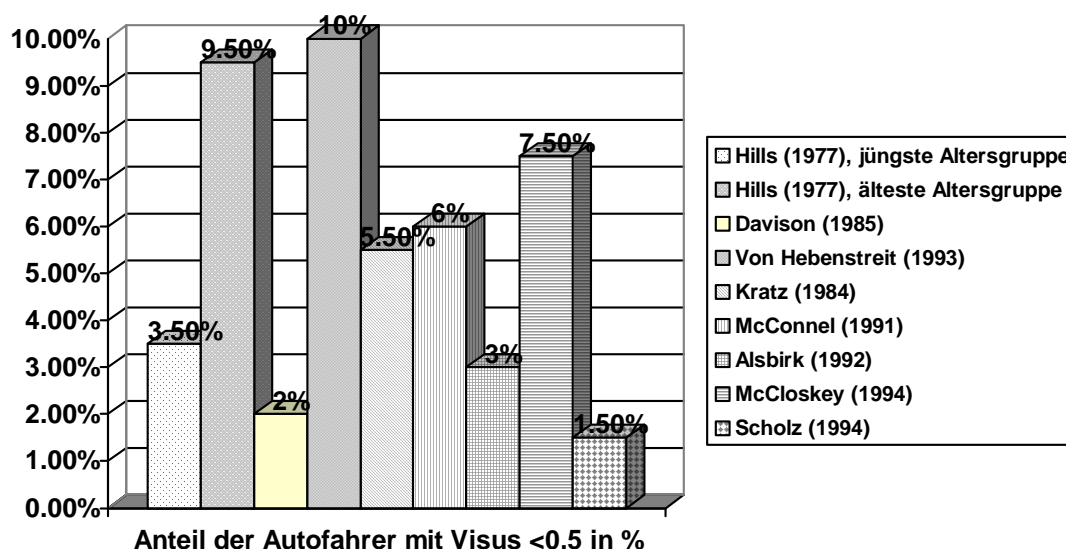


Diagramm 34: Anteil der Autofahrer mit Visus unter 0,5, nach Studien (van Rijn und Völker-Dieben 2002)

Die gemessenen Werte schwanken also ganz erheblich, was vermuten lässt, dass Selektion, vielleicht auch unterschiedliche Messverfahren eine Rolle spielen. Mit unserem Wert von 0,25% liegen wir dennoch weit unter den Ergebnissen sämtlicher oben aufgeführter Studien.

Attebo et al (Attebo et al 1996) und Klein et al (Klein et al 1991) fanden, dass der durchschnittliche Visus der Frauen signifikant niedriger war als der Visus der Männer.

Tielsch et al (1990), Buch et al (2001), Salive et al (1992) sowie Laitinen et al (2005) konnten keinen signifikanten Geschlechtsunterschied feststellen.

In unserer Studie wurden lediglich für beide Augen der Probanden der Altersklasse 4 (in allen anderen Altersklassen hingegen nicht) signifikante Geschlechtsunterschiede gefunden.

4.3.3. Fahrverbot

Kratz und Häseker haben bei einer Untersuchung von 842 unselektierten Besuchern einer Bank, die Kraftfahrer waren, bei 5,2% eine Sehschärfe auf dem besseren Auge von $<0,5$ festgestellt, weshalb diese als fahruntauglich bezeichnet werden mussten (zit. nach Harms und Dietz 1986). Legt man die Maßstäbe der FeV an, muss man sogar eher noch mit einem etwas höheren Wert rechnen, da ein Visus auf dem besseren Auge nur dann zur Fahrtauglichkeit reicht, wenn das schlechtere mindestens 0,2 besitzt. Wie oben bereits erwähnt, fanden wir in 51 Probanden ein „visual impairment“ $<0,5$ in mit eigener Brille, was 2,1% unserer Probanden entspricht, fahruntauglich waren hingegen 59 (2,4%). Die bei uns so niedrigen Zahlen lassen sich durch die Freiwilligkeit unserer Rekrutierung, vielleicht aber auch durch einen besseren „Augenstatus“ der Probanden aufgrund von besserem Zugang zu Katarakt-Operationen und besserer Therapie von Diabetes mellitus und Glaukom erklären. Diesen Schluss stützen Laitinen et al wenn sie die Ergebnisse ihrer Untersuchung mit denen einer ähnlichen Untersuchung 20 Jahre zuvor vergleichen und feststellen, dass sich in Finnland das Vorkommen von Sehstörungen in diesem Zeitraum signifikant verringert hat (Laitinen et al 2005). Als weitere Erklärungsmöglichkeit verweisen sie noch auf die eventuell bessere augenärztliche Versorgung und bessere Versorgung mit Brillen.

4.4. Fazit

In unserer Studie konnten wir zeigen, dass ein ganz erheblicher Teil der Autofahrer in der EU (wenn auch mit lokalen Unterschieden) eine falsche, also dem eigentlichen Refraktionsbedarf nicht entsprechende Brille trägt. Allerdings sind nur in einem ganz geringen Teil der Fälle die Folgen bezüglich der

Sehschärfe so gravierend, dass die Führerscheininhaber folglich als fahruntauglich bezeichnet werden konnten.

Keineswegs unerwartet, ist die Bestätigung dafür, dass das Alter ein statistisch auffälliger Einflussfaktor auf diverse, die Fahrtüchtigkeit beeinflussende Größen ist, sowie eine positive Korrelation zwischen hohem Alter und höherer Ungenauigkeit bei der objektiven Refraktion besteht.

Die objektive Refraktion stellt ein ophthalmologisches Hilfsmittel dar, ist aber entbehrlich, sofern die letzten Brillenwerte bekannt sind.

Momentan kann es, so wichtig gutes Sehen für das Führen eines Automobils auch zweifelsohne sein mag, nicht als sicher erwiesen angesehen werden, dass Autofahrer mit geringem Visus ($<0,5$) unsicherer, sprich unfallträchtiger, Auto fahren als jene mit besserem Visus (van Rijn und Völker-Dieben 2002). Da es sich bei der einleitend zur Sprache gebrachten Idee der Einführung einer vorgeschriebenen regelmäßigen Führerscheinuntersuchung um eine ganz sensible Abwägung der Freiheitsrechte und Mobilitätsbedürfnisse des Einzelnen gegenüber der Sicherheitsinteressen der Gesellschaft handelt, wären hier für eine Entscheidung in die eine oder andere Richtung allerdings harte und belastbare Daten wünschenswert, gerade auch aufgrund der Tatsache, dass eine solche Untersuchung enorme finanzielle Aufwendungen erfordern würde, möchte man sie sinnvoll durchführen.

Auf der anderen Seite möchte man dem entgegen halten, dass bei einem Volumen von geschätzten 300000 auf schlechtes Sehen zurückgehenden Verkehrsunfällen pro Jahr in Deutschland (BVA 2002) ein enormes „Verbesserungspotential“ vorliegt. Selbst wenn sich durch eine oben genannte Untersuchung nur ein kleiner Prozentsatz an Unfällen verhindern ließe, so wäre dies in absoluten Zahlen dennoch erheblich. Ganz abgesehen von verhindertem menschlichem Leid wäre dies auch von volkswirtschaftlichem Nutzen, da Unfälle finanzielle Belastungen bedeuten.

Im Grunde ist die oben gestellte Frage der obligaten und regelmäßigen Führerscheinuntersuchung allerdings eine politische und somit auch von der Politik zu beantworten. Die Aufgabe der Medizin und Forschung kann es nur sein, Daten zu erheben und gangbare Wege aufzuzeigen, die entscheidenden

Abwägungen von Freiheit gegenüber einer eventuell verbesserten Sicherheit sowie eine „Kosten-Nutzen-Abwägung“ sind originär politische.

In jedem Fall scheint es mir sinnvoll und angebracht zu sein, die betroffenen Menschen hinsichtlich dieser Thematik zu sensibilisieren, nicht nur im Sinne der Verkehrssicherheit, sondern auch bezüglich ihrer eigenen Lebensqualität, die durch besseres Sehen nur verbessert werden kann. Dies bringt beide Parteien, Medizin wie Politik, zusammen, denn es sollte ihrer beider Bestreben und Ziel sein, dem Wohl der Patienten bzw. Bürger auf die ihnen mögliche Weise zu dienen.

5. Zusammenfassung (Abstract)

Ziele der Arbeit

Ziel dieser Untersuchung war festzustellen, wie gut die von Autofahrern in der EU getragenen Brillen an deren tatsächlichen Refraktionsbedarf angepasst sind. Zusätzlich sollten die Konsequenzen, gemessen am „Visusverlust“ und daraus erwachsender Fahruntauglichkeit, untersucht, sowie diesbezüglich relevante Einflussfaktoren ermittelt werden.

Die qualitative Beurteilung der objektiven Refraktion stellte ein weiteres, untergeordnetes Ziel dieser Arbeit dar.

Probanden und Methoden

Rekrutiert wurden Probanden mit Führerschein zwischen 45 und 84 Jahren und eine Kontrollgruppe zwischen 20 und 30 Jahren auf freiwilliger Basis in fünf europäischen Zentren (Tübingen, Amsterdam, Salzburg, Antwerpen, Barcelona). Sie wurden sowohl objektiv wie auch subjektiv refraktioniert, ihr Visus wurde bestimmt und ihre Fahrbrillen mittels Scheitelbrechwertmessung ausgemessen. In Tübingen wurden sie zusätzlich zu häufigen Grunderkrankungen befragt.

Ergebnisse

Die Prävalenz falscher Brillen ($\geq 0,5$ D Abweichung) betrug fast 43% mit hoch auffälliger Alters- (p -Wert $< 0,0001$) und Zentrumsabhängigkeit mit Ausnahme der ganz jungen und alten Probanden (p -Wert $< 0,0001$), der durchschnittliche Visusverlust aller Probanden betrug 0,235, bei ca. 12% der Probanden betrug der Visusverlust auf einem oder beiden Augen 0,5 oder mehr. Visusverbesserung durch optimale Korrektur konnte bei 47,8% der Probanden erreicht werden (Einflussgrößen: Alter [p -Wert $< 0,0001$] und Zentrum [p -Wert $< 0,0001$]).

Fahruntüchtig mit ihrer eigenen Brille waren 2,44% der Probanden, mit optimaler Korrektur waren es 0,46%. Ab einer Refraktionsabweichung von

≥1,192 Dioptrien sind knapp 20% der Probanden durch ihre falsche Brille fahruntauglich.

Auffällige Einflussgrößen hierfür sind Geschlecht (p-Wert 0,02 [mit eigener Brille (HG)] / <0,01 [optimal korrigiert (BC)]), Alter (p-Wert <0,0001 [HG] / <0,0001 [BC]) und Zentrum (p-Wert <0,0001 [HG] / <0,005 [BC]).

Die objektive weicht von der subjektiven Refraktion im Mittel um 0,51 Dioptrien ab, wobei hoch auffällige Abhängigkeit vom Alter festgestellt wurde.

Fazit der Arbeit

Die Prävalenz falscher Brillen ist hoch, die daraus resultierenden schwerwiegenden Sehstörungen eher selten. Die objektive Refraktion stellt ein ophthalmologisches Hilfsmittel dar, ist aber entbehrlich, sofern die letzten Brillenwerte bekannt sind. Für eine Empfehlung bezüglich verpflichtender Brillenuntersuchung für Führerscheininhaber ist die vorhandene Datenlage unzulänglich, weshalb weitere Untersuchungen notwendig sind.

6. Anhang

6.1 Aufklärungsbogen



Universitätsklinikum Tübingen

Augenklinik

Abteilung für Pathophysiologie des Sehens
und Neuro-Ophthalmologie

Ärztl. Direktor: Prof. Dr. med. Eberhart Zrenner

Schleichstraße 12 - 16 D-72076
Tübingen

Probanden / Patienten-Information

zur klinischen Untersuchung der Gefährdung im Straßenverkehr
durch Blendung mittels des Streulicht-Messgerätes und anderer
Funktionstests im Vergleich

Sehr geehrter Patient,

wir möchten Sie bitten, an dieser Untersuchung teilzunehmen. Außerdem möchten wir Ihnen erklären, welchen Zweck die durchgeführten Tests haben, und Sie mit dem Ablauf vertraut machen. Wenn Sie Fragen oder Bedenken haben, wenden Sie sich bitte jederzeit an den Sie betreuenden Arzt, der sich gerne die Zeit nehmen wird, Ihnen eventuelle Fragen zu beantworten.

1. Ziel der Untersuchung

Seit vielen Jahren wird diskutiert, ob Nachuntersuchungen des Sehvermögens bei Autofahrern nützlich sind. Dies ist vielerorts, z.B. in den USA üblich. Ziel soll sein, Sehschwächen zu erkennen und zu behandeln und zu verhindern, dass Unfälle geschehen, weil Wichtiges nicht gesehen werden kann. Dies gilt ganz besonders für das Sehen bei schlechtem Licht.

Umstritten ist aber, welche Art von Untersuchungen am besten geeignet sind, die Fahrfähigkeit auch unter ungünstigen Bedingungen von Dunkelheit und Blendung festzustellen.

Ziel dieser Untersuchung, die in Zusammenarbeit mit Universitätsaugenkliniken in Salzburg und Amsterdam durchgeführt wird, ist es, verschiedene Untersuchungsmethoden, darunter auch das Streulicht-Messgerät, zu vergleichen. Dabei soll herausgefunden werden, wie sinnvoll die jeweiligen Verfahren sind, um die Gefährdung aller Verkehrsteilnehmer (z.B. durch Blendung) zu verringern. Selbstverständlich hat diese Untersuchung für Ihren Führerschein keine Folgen, da alle Ergebnisse der ärztlichen Schweigepflicht unterliegen. Wir werden Ihnen jedoch persönlich die Ergebnisse mitteilen und Sie beraten.

2. Ablauf der Studie

Die oben erwähnten Funktionstests werden im Rahmen Ihrer normalen Untersuchung in der Augenklinik durchgeführt. Der Zeitaufwand beträgt insgesamt etwa 2-3 Stunden. Alle Untersuchungsmethoden sind seit langem bekannt und ohne nennenswerte Nebenwirkungen.

Zunächst wird eine ganz normale, gründliche augenärztliche Untersuchung vorgenommen. Dabei werden unter anderem die Augen angeschaut und Brillenwerte überprüft. Daraufhin werden Prüfungen der Sehschärfe und des Kontrastsehens vorgenommen.

Mit speziellen Verfahren wird dann das Sehen bei schlechter Beleuchtung und bei Blendung getestet sowie eine mögliche Beeinträchtigung durch Streulicht,

z.B. durch Trübungen der Linse, vermessen. Diese Untersuchungen werden unter Umständen nach einer festgesetzten Zeit wiederholt.

Des Weiteren wird nach Abschluss dieser Tests im Rahmen der normalen Untersuchung der Augeninnendruck geprüft und die Pupillen weitgetropft, um den Augenhintergrund zu beurteilen und die Linse zu fotografieren. Diese Fotografie der Augenlinse geschieht dabei ausschließlich zum Zweck dieser Studie, um nachher eine objektive Dokumentation zu haben.

Bitte zögern Sie nicht, jederzeit Fragen zu den Untersuchungen zu stellen. Wenn Sie im nachhinein noch Fragen haben, wenden Sie sich an den Leiter der Untersuchung:

Herrn Prof. Dr. med. H. Wilhelm, Universitäts-Augenklinik, Abteilung II
Schleichstr. 12-16; 72076 Tübingen; Tel.: 07071/2983736

3. Mögliche Nebenwirkungen

Schädliche Wirkungen der Funktionsuntersuchungen sind nicht bekannt. Wie bei jeder augenärztlichen Untersuchung werden die Pupillen zur gründlichen Beurteilung medikamentös weit getropft (Wirkstoff Tropicamid). In seltenen Fällen kann es dadurch zu einer Erhöhung des Augeninnendrucks kommen. Dieses Risiko ist wegen der vorherigen ausführlichen Untersuchung gering und kann gegebenenfalls durch Medikamente kontrolliert werden. In der Tat wäre es für Sie nützlich, wenn man im Rahmen dieser Studie ein solches Risiko erkennen würde, da es auch bei Dunkelheit zum Augendruckanstieg kommen kann, wenn die Pupillenerweiterung dies bewirkt. Bitte beachten Sie, dass nach Pupillenerweiterung etwa 4 Stunden, bis die Pupille wieder normal reagiert, kein Kraftfahrzeug geführt werden darf.

Sollten Sie trotzdem während oder nach den Untersuchungen irgendwelche Beschwerden bemerken, wenden Sie sich bitte unmittelbar an den betreuenden Arzt oder an den oben genannten Studienleiter.

4. Rücktrittsrecht und Datenschutz

Die Teilnahme an dieser Untersuchung ist freiwillig. Wenn Sie nicht teilnehmen möchten, entstehen keine Nachteile für Sie. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen von der Teilnahme zurücktreten.

Im Rahmen dieser Studie werden Daten zu Ihrer Person gemäß den Bestimmungen des Datenschutzgesetzes in anonymisierter Form weitergegeben und aufgezeichnet. Diese anonymen Daten dürfen zwecks Kontrolle unter Zusicherung der Vertraulichkeit im Sinne der ärztlichen Schweigepflicht mit den Originaldaten, z.B. in den Krankenunterlagen, im Beisein des behandelnden Arztes verglichen werden. Die ärztliche Schweigepflicht bleibt darüber hinaus gewahrt. Verantwortlich für den Datenschutz im Rahmen der Untersuchung ist der oben genannte Studienleiter.

Wir würden uns freuen, wenn Sie an dieser Untersuchung teilnehmen würden und bedanken uns für Ihre Mitarbeit.

6.2. Einverständniserklärung

Name des Studienteilnehmers:

Vorname:

Geburtsdatum:

Identifikationsnummer:

Einverständniserklärung

zur klinischen Untersuchung der Gefährdung im Straßenverkehr durch Blendung mittels des Streulicht- Messgerätes und anderer Funktionstests im Vergleich

Ich bin mit Hilfe des Patienten-Informationsblattes, das ein Bestandteil dieser Erklärung ist, und in einem Aufklärungsgespräch über die oben genannte Untersuchung informiert worden und konnte Fragen mit dem unten genannten Arzt klären. Insbesondere bin ich über folgendes informiert:

1. Über Wesen, Bedeutung und Tragweite dieser Untersuchung.
2. Über theoretisch denkbare, unerwünschte Wirkungen der Untersuchung.
3. Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig und mit einem jederzeitigen Rücktrittsrecht ohne Angabe von Gründen verbunden.
4. Im Rahmen der Untersuchung werden Daten, die mit meiner Behandlung und Erkrankungen zusammenhängen, gemäß Datenschutzgesetz erfasst und aufgezeichnet. Dabei werden von den personenbezogenen Daten nur das Geburtsdatum und die Initialen des

Namens aufgezeichnet, ansonsten nur anonyme Daten. Zum Zwecke der Kontrolle und Korrektur dürfen diese aufgezeichneten Studiendaten mit den Originaldaten, z.B. in Krankenunterlagen durch den Leiter der Untersuchung oder eine von ihm beauftragte Person in Anwesenheit des behandelnden Arztes verglichen werden. Zu diesem Zwecke (und nur zu diesem Zweck) ist der letztgenannte von der Schweigepflicht entbunden. Dabei sichern diese Personen volle Vertraulichkeit im Sinne der ärztlichen Schweigepflicht zu, und es erfolgt keine Aufzeichnung meines Namens oder sonstiger Daten, die nicht zur Studie gehören. Die ärztliche Schweigepflicht bleibt ansonsten gewahrt.

Sollte ich im Laufe der Untersuchung ein unerwartetes Ereignis bemerken, werde ich den für die Untersuchung verantwortlichen Arzt sofort davon unterrichten. Eine Kopie des Informationsblattes wurde mir ausgehändigt. Den Inhalt des Informationsblattes und der Einverständniserklärung habe ich verstanden. Ich bin mit dem geplanten Verlauf der Untersuchung einverstanden und werde den ärztlichen Anordnungen folgen, welche für die Durchführung der Untersuchung erforderlich sind.

Eventuelle Fragen des Patienten:

Ort/Datum:

Unterschrift des Probanden:

Name/Unterschrift des aufklärenden Arztes:

HINWEIS: Dieses Dokument ist vertraulich. Sobald es ausgefüllt ist, unterliegt es der ärztlichen Schweigepflicht. Es ist vom Leiter der Untersuchung mindestens gemäß den gesetzlichen Bestimmungen aufzubewahren.

7. Literaturverzeichnis

Attebo, K., Mitchell, P., Smith, W. 1996. "Visual acuity and the causes of visual loss in Australia. The Blue Mountains Eye Study." *Ophthalmology*, 103(3): S. 357-364.

Aulhorn, E., Harms, H. 1970. "Über die Untersuchung der Nachtfahreignung von Kraftfahrern mit dem Mesoptometer." *Klin. Monatsbl. Augenheilkd.*, 157: S. 843-873.

Bach, M., Kommerell, G. 1998. „Determining visual acuity using European normal values: scientific principles and possibilities for automatic measurement.“ *Klin. Monatsbl. Augenheilkd.*, 212(4): S. 190-195.

Berger, M. 2000. „Diabetes mellitus.“ 5. neu bearbeitete und erweiterte Auflage. München; Jena: Urban & Fischer Verlag.

Buch, H., Vinding, T., Nielsen, N.V. 2001. „Prevalence and causes of visual impairment according to World Health Organisation and United States criteria in an aged Scandinavian population: the Copenhagen City Eye Study.“ *Ophthalmology*, 108: S. 2347-2357.

Bundesgesetzblatt. 2005. „FeV, Anlage 6.“
<http://www.verkehrsportal.de/fev/anl_06.php>, gefunden 19. Januar 2006.

BVA (Bundesverband der Deutschen Augenärzte), zit. nach KGS. 2005. „Mit Sicherheit besser ankommen.“
<www.sehen.de/downloads/broschueren/KGS_Sehen-Strassenverkehr.pdf>, gefunden 6. März 2006.

Charman, W.N. 1985. "Visual standards for driving." *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 5: S.211-220.

Classen, M., Berdel, W.E., Böhm, M., Diehl, V., Kochsiek, K., Schmiegel, W. 2004. „Innere Medizin.“ 5. vollständig überarbeitete Auflage. München; Jena: Urban & Fischer Verlag

Classen, M., Diehl, V., Kochsiek, K. 1998. „Innere Medizin.“ 4. neu bearbeitete Auflage. München; Wien; Baltimore: Urban & Schwarzenberg Verlag.

Dannheim R., und Harms H. 1985. „Ergebnisse einer verkehrsophthalmologischen Umfrage bei Augenärzten.“ *Der Augenarzt* 19, S. 99-102.

Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft (DOG). 2003. „Publikationen: Empfehlungen der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft zur

Qualitätssicherung bei sinnesphysiologischen Untersuchungen und Geräten.“
<http://www.dog.org/publikationen-sinnesphysiologie/quasiko_kapitel1_102003.pdf>, gefunden am 22. Februar 2006.

Eberhard Karls Universität Tübingen, 2005. „Namens- und Vorlesungsverzeichnis Wintersemester 2005/06.“ Tübingen: Attempto Verlag.

ETDRS Coordinating Center, Department of Epidemiology and Preventive Medicine. 1980. “Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS). Manual of Operations 1980.” (NTIS Accession No. PB85-223006). Erhältlich bei: National Technical Information Service, 5285 Port Royal Road, Springfield, VA 22161 (USA).

Europäische Kommission. 2004. „Direktive 91/439/EEC, Anhang III.“
<<http://www.europa.eu.int/comm/transport/home/drivinglicence/principles>>, gefunden November 2005.

Ferris, F.L., Kassoff, A., Bresnick, G.H., Bailey, I.L. 1982. „New visual acuity charts for clinical research.“ Am. J. Ophthalmol., 94: S. 91-96.

Gerok, W., Huber, C., Meinertz, T., Zeidler, H. 2004. „Die Innere Medizin.“ 10. Auflage. Stuttgart: Schattauer Verlagsgesellschaft mbh.

Gramberg-Danielsen, B. 1970. „Statistische Erhebung über die Sehschärfe der Fahrerlaubnisinhaber Klasse 3.“ Klin. Monatsbl. Augenheilkd., 157(2): S. 273-280.

Greten, H. 2004. „Innere Medizin: Verstehen – Lernen - Anwenden.“ 12. komplett überarbeitete Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Harms, H., Dietz, K. 1986. „Über die Häufigkeit sehungeeigneter Kraftfahrer in der augenärztlichen Sprechstunde.“ Klin. Monatsbl. Augenheilkd., 189: S. 431-433.

Harms, H., Dietz, K. 1987. „Über die Ursachen unzureichenden Sehens bei Kraftfahrern und ihre Bedeutung im Straßenverkehr.“ Klin. Monatsbl. Augenheilkd., 190(1): S. 3-7.

Harms, H., Kröner, B., Dannheim, R.. 1984. „Augenärztliche Erfahrungen bei Kraftfahrern mit unzureichender Sehschärfe.“ Klin. Monatsbl. Augenheilkd., 185: S. 77-85.

von Hebenstreit, B. 1984. „Sehvermögen und Verkehrsunfälle.“ Der Augenarzt, 18: S.187-188.

Irish eGovernment initiative. 2005. „Full Driving Licence.“ <http://oasis.gov.ie/transport/motoring/full_driving_licence.html>, gefunden am 14. Dezember 2005.

KGS (Kuratorium Gutes Sehen). 2002. „Brillenstudie 2002.“ <www.spectaris.de/downloads/presse/KGS-Brillenstudie%20290103.doc>, gefunden am 6. März 2006.

Klein, R., Klein, B.E., Linton, K.L., De Mets, D.L. 1991. „The Beaver Dam Eye Study: visual acuity.“ *Ophthalmology*, 98: S. 1310-1315.

Lachenmayr, B.J. 1995. „Sehen und gesehen werden: Sicher unterwegs im Straßenverkehr.“ Aachen: Verlag Shaker.

Lachenmayr, B., Berger, J., Buser, A., Keller, O. 1998. „Reduziertes Sehvermögen führt zu erhöhtem Unfallrisiko im Straßenverkehr.“ *Ophthalmologie*, 95: 44-50.

Lachenmayr, B., Friedburg, D., Hartmann, E. 1999. „Auge-Brille- Refraktion: Begleitheft zum „Schober-Kurs“.“ Stuttgart: Enke-Verlag.

Laitinen, A., Koskinen, S., Härkänen, T., Reunanen, A., Laatikainen, L., Alomaa, A. 2005. „A nationwide population-based survey on visual acuity, near vision, and self reported visual function in the adult population in Finland.“ *Ophthalmology*, 112: S.2227-2237.

mdsupport. 2005. „Snellen Chart.“ <<http://www.mdsupport.org/snellen.html>>, gefunden am 5. Januar 2006.

Mehnert, H., Stadl, E., Usadel, K.-H., Häring, K.-U.. 2003. „Diabetologie in Klinik und Praxis.“ 5. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Methling, D. 1992. „Bestimmung von Sehhilfen.“ Stuttgart: Enke-Verlag.

Mobilität in Deutschland. 2002. „Ergebnisbericht.“ <http://www.kontiv2002.de/pdf/ergebnisbericht_mid_ende_144_punkte.pdf>, gefunden am 11. Oktober 2005.

Orfanos, C.E., Garbe, C. 2002. „Therapie der Hautkrankheiten.“ 2. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin; Heidelberg: Springer Verlag.

Petersen, J. 1993. „Fehlerhafte Visusbestimmungen und ihre quantitativen Auswirkungen.“ *Ophthalmologie*, 90: S. 533-538

Raasch, T.W., Schechtman, K.B., Davis, L.J., Zadrik, K. 2001. „Repeatability of subjective refraction in myopic and keratoconic subjects: results of vector analysis.“ *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 21: S. 376–383.

Rassow, B., Wesemann, W. 1987. „Automatische Augenrefraktometer.“ Ophthalmologisch-optische Instrumente, Stuttgart: Enke Verlag

Renz-Polster, H., Krautzig, s., Braun, J. 2004. „Basislehrbuch Innere Medizin: kompakt – greifbar – verständlich.“ 3. Auflage. München; Jena: Urban & Fischer Verlag.

RFS-OPTIC. 2006. „Sehschärfeprüfung nach DIN, Definitionen und physiologische Grundlagen.“ http://www.rfs-optic.de/Sehtest/body_index.html>, gefunden am 22. Januar 2006.

Robert Koch Institut (RKI) 2007. „Auswertungsergebnisse: Herz- und Kreislauf-Krankheiten.“ http://www.rki.de/Cln_049/nn_196910/DE/Content/GBE/Auswertungsergebnisse/nichtuebertragbareKrankheiten/HerzKreislaufKrankheiten/hkk_inhalt.html?nn=true>, gefunden am 2. November 2007.

van Rijn, L.J., Völker-Dieben, H.J. 2002. „Sehbehinderung und Verkehrssicherheit (ins Deutsche übertragen und für die Veröffentlichung in der ZPA angepasst von H. Wilhelm).“ Z. prakt. Augenheilkund. 23: S.201-206.

Salive, M.E., Guralnik, J, Christen, W., Glynn, R.J., Colsher, P., Ostfeld, A.M. 1992. „Functional blindness and visual impairment in older adults from three communities.“ Ophthalmology, 101: S.1840-1847.

Schimitzek, T., Wesemann, W. 2002. „Clinical evaluation of refraction using a handheld wavefront autorefractor in young and adult patients.“ J. Cataract Refract. Surg., 28: S. 1655–1666.

Steinbeis-Transferzentrum. 2005. „Visual Acuity Tester.“ <http://www.uak.medizin.uni-tuebingen.de/stz/etdrs.htm>>, gefunden am 5. Januar 2006.

Tielsch, J.M., Sommer, A., Witt, K., Katz, J., Rojall, R.M. 1990. „Blindness and visual impairment in an American urban population. The Baltimore Eye Survey.“ Arch. Ophthalmol., 108: S. 286-290.

Wesemann, W. 2002. „Die Grenzen der Sehschärfe, Teil 4.“ http://www.hfak.de/download/Wesemann_T4.pdf>, gefunden am 23. Februar 2006.

Wesemann, W. 2004. „Moderne Autorefraktometer im Vergleich.“ Z. prakt. Augenheilkd., 25: S. 7-16

Wormald, R.P., Wright, L.A., Courtney, P., Beaumont, B., Haines, A.P. 1992. „Visual Problems in the elderly population and implications for services.“ BMJ., 304: S. 1226-1229.

Danksagung

Meinem Doktorvater, Prof. Dr. med. H. Wilhelm, gilt ganz besonderer Dank für seine trotz vielfältiger Belastungen in der Klinik vorbildhafte Betreuung und für seine menschliche und warmherzige Art.

Ganz herzlich danken möchte ich an dieser Stelle auch Dr. med. Christian Heine für die Zeit, die er sich für mich nahm und dass er immer ein offenes Ohr für meine Fragen hatte.

Großer Dank gebührt auch Professor Dr. A. Frohn und Privatdozent Dr. Dipl.-Phys. J. C. Barry, die sich viel Zeit für die Durchsicht meiner Arbeit nahmen.

Bedanken möchte ich mich auch bei Frau Dr. med. B. Wilhelm und Herrn Dr. med. T. Peters für die überaus freundliche Aufnahme in ihre Arbeitsgruppe und die Möglichkeit dort arbeiten und recherchieren zu können.

Ebenfalls danken möchte ich Herrn Meisner für seine freundliche statistische Beratung.

Dank sei allen Teilnehmern und Mitarbeitern unserer Studie.

Zuletzt danke ich meiner Frau Agnes für ihre Geduld und Unterstützung, die in vielfacher Hinsicht das Entstehen dieser Arbeit ermöglicht haben.

Lebenslauf

Benedikt Matthiesen

Geburtsdatum: 7. April 1980
Geburtsort: Neuwied
Eltern: Anna Veronika Matthiesen, geb. Scheurich und
Dr. med. Hans Eckhard Matthiesen
Familienstand: verheiratet mit Agnes Matthiesen, geb. Hermann
seit dem 22. März 2006
Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulische Ausbildung:

1986 – 1988 Grundschole in Neuwied
1988 – 1990 Grundschole in Katzenelnbogen
1990 – 1992 Realschole in Katzenelnbogen
1992 – 1999 St. Johannes-Gymnasium in Lahnstein
1999 Abitur

2000 – 2001 Zivildienst in „Beit Uri“ in Afula, Israel

Universitäre Ausbildung:

2001 – 2006 Studium der Humanmedizin an der Eberhardt-Karls
Universität Tübingen
2003 Ärztliche Vorprüfung
2006 – 2007 Praktisches Jahr in Bern (Schweiz), Tübingen und
Reutlingen
30.5.2008 Ärztliche Prüfung (2. Staatsexamen)