

Aus dem Department für Augenheilkunde Tübingen

Universitäts-Augenklinik

Ärztlicher Direktor: Professor Dr. K.-U. Bartz-Schmidt

**Untersuchung des Kontrastsehens: Welches Verfahren
ist am besten geeignet?**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Lubka Georgieva Naycheva

aus Peshtera, Bulgarien

2012

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. H. Wilhelm

2. Berichterstatter: Professor Dr. A. Frohn

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	STELLENWERT DER UNTERSUCHUNG DES KONTRASTSEHENS	1
1.2	KONTRASTSEHEN IN DER VERKEHRSMEDIZIN	1
1.3	ZIEL DER STUDIE	3
2	MATERIAL UND METHODEN	4
2.1	PROBANDENKOLLEKTIV	4
2.1.1	<i>Ein- und Ausschlusskriterien</i>	5
2.1.2	<i>Rekrutierung der Probanden</i>	5
2.1.3	<i>Durchführung der Untersuchungen</i>	5
2.2	METHODEN	6
2.2.1	<i>Pelli-Robson Contrast Sensitivity Chart</i>	6
2.2.2	<i>Freiburg Visual Acuity and Contrast Test (FrACT)</i>	8
2.2.3	<i>Rodatest 302</i>	9
2.2.4	<i>Mesoptometer I</i>	10
2.3	STATISTISCHE AUSWERTUNG	15
3	ERGEBNISSE	16
3.1	MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN ALLER GRUPPEN	16
3.2	UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DEN GRUPPEN	19
3.3	RECEIVER-OPERATING-CHARACTERISTIC (ROC)-ANALYSE	23
3.4	KORRELATION ZWISCHEN BEIDEN AUGEN	27
4	DISKUSSION	28
4.1	BEURTEILUNG DER TESTS MIT VORTEILEN UND NACHTEILEN	28
4.2	BEURTEILUNG DER ERGEBNISSE IM LICHT DER LITERATUR	30
4.3	FAZIT	33
5	ZUSAMMENFASSUNG	34
6	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	36
7	TABELLENVERZEICHNIS	37
8	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	38
9	LITERATURVERZEICHNIS	39
10	DANKSAGUNG	42

1 Einleitung

1.1 Stellenwert der Untersuchung des Kontrastsehens

Die Beurteilung der Sehfunktion erfolgt üblicherweise durch Prüfung der Sehschärfe. Bei bestimmten Fragestellungen wird zusätzlich eine Gesichtsfelduntersuchung durchgeführt. Es ist aber unbestritten, dass eine Prüfung des Kontrastsehens ergänzend zu der Prüfung der Sehschärfe sehr nützlich ist, da die Sehschärfe und die Kontrastempfindlichkeit nicht unbedingt miteinander korrelieren. Bei älteren Patienten verschlechtert sich typischerweise das Kontrastsehen lange vor der Sehschärfe [1, 2, 4, 10, 12, 16, 19, 20, 25, 29, 30, 38]. Diese Leistungsminderung entgeht häufig den Betroffenen und den Augenärzten.

Kontrastsehtests werden vor allem in wissenschaftlichen Studien, z. B. zur Qualitätskontrolle nach refraktiver oder Katarakt-Chirurgie, oder bei gutachterlichen Fragestellungen verwendet.

Zahlreiche Studien [23, 24, 31, 34, 36, 37] konnten bis jetzt zeigen, dass ein herabgesetztes Kontrastsehen und eine erhöhte Blendungsempfindlichkeit bei einem großen Prozentsatz derjenigen Fahrer vorlagen, die in einen Verkehrsunfall verwickelt worden waren. In einer zunehmend älter werdenden Bevölkerung steigt die Anzahl der älteren Autofahrer ständig an. In Deutschland besaßen im Jahr 1999 nur 10% der über 80-Jährigen einen Führerschein, 2025 sollen es 80% werden [17]. In einer Studie zeigte Levy [26], dass das Risiko für Autounfälle, verursacht durch ältere Fahrer, durch eine Prüfung der Sehschärfe, des Gesichtsfeldes und des Kontrastsehens bei der Erneuerung der Fahrerlaubnis signifikant verringert werden konnte.

1.2 Kontrastsehen in der Verkehrsmedizin

Bereits 1970 gaben Aulhorn und Harms [5] grundlegende Empfehlungen zur Nachtfahreignung von Kraftfahrern. Jahrelang erfolgte in Deutschland die

Fahreignungsbegutachtung anhand der Anlage XVII zur Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO). 1999 trat die Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr (Fahrerlaubnis-Verordnung, FeV) in Kraft, welche die Richtlinien des Europäischen Rechtes umsetzt. Bei dieser Umsetzung des Europäischen Rechtes sind einige Punkte zur Begutachtung der Fahreignung weggefallen, insbesondere die Empfehlung zur Prüfung des Dämmerungs- und Kontrastsehens, welche in den europäischen Richtlinien zumindest ansatzweise enthalten war. Bei der danach erfolgten Verordnung zur Änderung der Fahrerlaubnis-Verordnung und anderer straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften (FeVÄndV) vom 2002 wurden die Empfehlungen der Verkehrskommission der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft (DOG) bzgl. der Prüfung des Dämmerungssehens und Blendungsempfindlichkeit nicht berücksichtigt [22].

Erfreulicherweise trat am 1. Juli 2011 eine Neuauflage der Anlage 6 der FeV in Kraft. Eine der Änderungen beinhaltet eine zwingende Prüfung von Kontrast- oder Dämmerungssehen bei allen Neuerteilungen und Verlängerungen der Fahrerlaubnisklassen der Gruppe 2, sowie bei einem augenärztlichen Gutachten bei der Gruppe 1 [14]: unter 2. 1. 2. der Anlage 6 der FeV wird gefordert:

„Ausreichendes Kontrast- oder Dämmerungssehen, geprüft mit einem standardisierten anerkannten Prüfgerät“ [14].

Leider existieren momentan keine genauen Anforderungen an die Tests zur Prüfung des Kontrastsehens und es sind auch keine Grenzwerte formuliert, so dass für die Umsetzung des Gesetzes Unsicherheiten bestehen. Es gibt allerdings Empfehlungen der DOG, die sich auf zwei Geräte zur Prüfung des Dämmerungssehens beschränken. Unklar ist, ob die Prüfung des photopischen Kontrastsehens ausreichend ist, vielleicht sogar den mesopischen Tests überlegen ist.

Einfach formuliert sollte ein bei der Fahrtauglichkeitsbegutachtung verwendeter Test Probanden mit unzureichendem Kontrastsehen identifizieren. Ein Problem

ist aber schon die Definition: Bei welchem Wert beginnt unzureichendes Kontrastsehen? Ein Ansatz, wie er von den verschiedenen Kommissionen der DOG vorgeschlagen wurde, als Goldstandard ein etabliertes Gerät zu benutzen, eine nach der Leistung an diesem Gerät stratifizierte Gruppe an einem neu zu etablierenden Gerät nachzuuntersuchen und anhand des Grenzwertes die Normwerte des neuen Gerätes festzusetzen, ist in mehrfacher Hinsicht problematisch. Zum einen ist die Festsetzung der etablierten Geräte als Goldstandard willkürlich, zum anderen ist es fraglich, ob die für dieses Vorgehen notwendige gute Korrelation tatsächlich gefunden wird.

1.3 Ziel der Studie

Das Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob es ein Verfahren zur Prüfung des Kontrastsehens gibt, das den anderen deutlich überlegen ist. Aus Zeitgründen war es nicht möglich, alle verfügbaren Verfahren einzubeziehen. Wir haben uns für die folgenden vier Tests entschlossen, welche auf völlig unterschiedlichen Prinzipien beruhen: eine Sehtafel: *Pelli-Robson Contrast Sensitivity Chart*, einen Projektor: *Mesoptometer I*, eine Bildschirmdarstellung: *Freiburg Visual Acuity and Contrast Test* und ein Einblickgerät: *Rodatest 302*.

2 Material und Methoden

2.1 Probandenkollektiv

In dieser Studie wurden 114 Probanden eingeschlossen, unterteilt in drei Gruppen:

- die Gruppe I wurde von jungen, augengesunden Probanden (n = 41, 26 Frauen, 15 Männer, durchschnittliches Alter 26,7 Jahre, Spannweite 22 - 32 Jahre) gebildet;
- die Gruppe II bestand aus älteren Probanden mit klaren brechenden Medien, (n = 40, 20 Frauen, 20 Männer, durchschnittliches Alter 54,5 Jahre, Spannweite 50 - 66 Jahre);
- die Gruppe III bildeten Probanden (n = 33, 17 Frauen, 16 Männer, durchschnittliches Alter 75,9 Jahre, Spannweite 62 - 84 Jahre) mit einer Katarakt an mindestens einem Auge \geq NO3/NC3/C3 und $<$ P3 nach *Lens Opacities Classification System III (LOCS III)* [8].

In **Abbildung 1** ist in Form eines Balkendiagramms die Anzahl der pro Dekade untersuchten Probanden dargestellt.

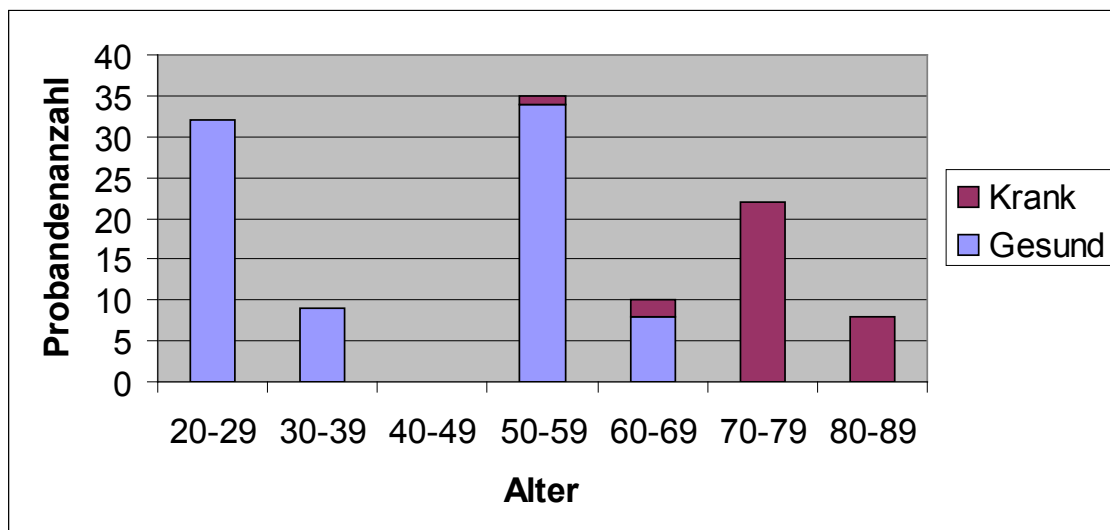


Abbildung 1: Verteilung der untersuchten Probanden pro Dekade. Die blauen Balken stellen alle gesunden Probanden (Probanden mit klaren brechenden Medien = Gruppe I (jung) + Gruppe II (älter)) dar; die violetten Balken stellen alle Patienten mit Katarakt (Gruppe III) dar.

2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Ein bestkorrigierter Fernvisus monokular von $\geq 1,0$ für Gruppe I, von $\geq 0,8$ für Gruppe II und von $\geq 0,5$ für Gruppe III war erforderlich.

Als Ausschlusskriterien galten eine Korrektur des untersuchten Auges von sph $\geq \pm 5,0$ Dpt oder cyl $\geq \pm 3,0$ Dpt, Erkrankungen des Sehnervs, der Makula oder der peripheren Netzhaut, Augenentzündungen, frühere Augenoperationen oder Augenverletzungen, Amblyopie, Strabismus sowie Anwendung lokaler Augentherapeutika oder systemischer Medikation mit okulären Auswirkungen, körperliche oder geistige Störungen wie z. B. Demenz, psychiatrische Erkrankungen oder Zustand nach Schlaganfall, welche eine gute Mitarbeit beeinträchtigt hätten.

2.1.2 Rekrutierung der Probanden

Die Teilnehmer wurden unter den Patienten des Departments für Augenheilkunde Tübingen, sowie unter den Studenten und Mitarbeitern des Universitätsklinikums Tübingen rekrutiert.

2.1.3 Durchführung der Untersuchungen

Die Zustimmung der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität Tübingen lag vor. Die Untersuchungen wurden entsprechend der Deklaration von Helsinki durchgeführt. Alle Teilnehmer der Studie gaben nach einer vorausgegangenen mündlichen und schriftlichen Aufklärung ihr schriftliches Einverständnis zur Durchführung der Tests.

Nach Erhebung der ophthalmologischen und allgemeinen Anamnese wurde bei den Probanden der Visus mit Landolt-Ringen (*Projektor Nidek SCP-660, Fremont, California, USA*) in einem Abstand von 6 m gemessen und die beste Refraktion bestimmt.

Danach wurden die Probanden mittels Spaltlampe, sowie funduskopisch untersucht und entsprechend der Ein- und Ausschlusskriterien in die Studie aufgenommen.

Bei den Probanden der Gruppen I und II wurden die Kontrastsehtests monokular und binokular durchgeführt; bei den Probanden der Gruppe III wurde nur ein Auge, entsprechend der Ein- und Ausschlusskriterien, geprüft. Diese Gruppe war zu heterogen, um sie sinnvoll binokular zu prüfen. Die Partneraugen waren teils normal, teils bereits operiert, teils schlechter als das geprüfte Auge.

Alle Tests wurden strikt nach den Empfehlungen der Hersteller und mit der bestmöglichen Refraktion unter Berücksichtigung des Probandenalters und des Untersuchungsabstandes durchgeführt. Die Geräte wurden regelmäßig kalibriert.

2.2 Methoden

2.2.1 Pelli-Robson Contrast Sensitivity Chart

Die von Pelli und Robson 1988 entwickelte Tafel [32] zur Prüfung des Kontrastsehens (hergestellt von *Clement Clarke International Ltd., Harlow Essex, UK*) weist eine Folge von Sloan-Buchstaben auf, welche in der gleichen Größe jedoch mit einem unterschiedlichen Kontrast dargestellt sind.

Die Buchstaben sind in Dreiergruppen angeordnet, und zwar in 8 Zeilen, wobei jede Zeile zwei dieser Dreiergruppen enthält. Alle Buchstaben innerhalb einer Dreiergruppe haben jeweils die gleiche Kontraststufe. Der Kontrast nimmt von einer Dreiergruppe zu der nächsten ab. Die Tafel enthält insgesamt 16 Kontraststufen. (**Abb. 2**)

Die Kontrastempfindlichkeit (KE, in log) des Patienten wird anhand der Dreiergruppen mit dem schwächsten Kontrast ermittelt, für die 2 der 3 Buchstaben richtig benannt werden. Die KE für diese Dreiergruppe wird anhand

der Zahl angegeben, welche auf der Tafel neben der jeweiligen Dreiergruppe steht.

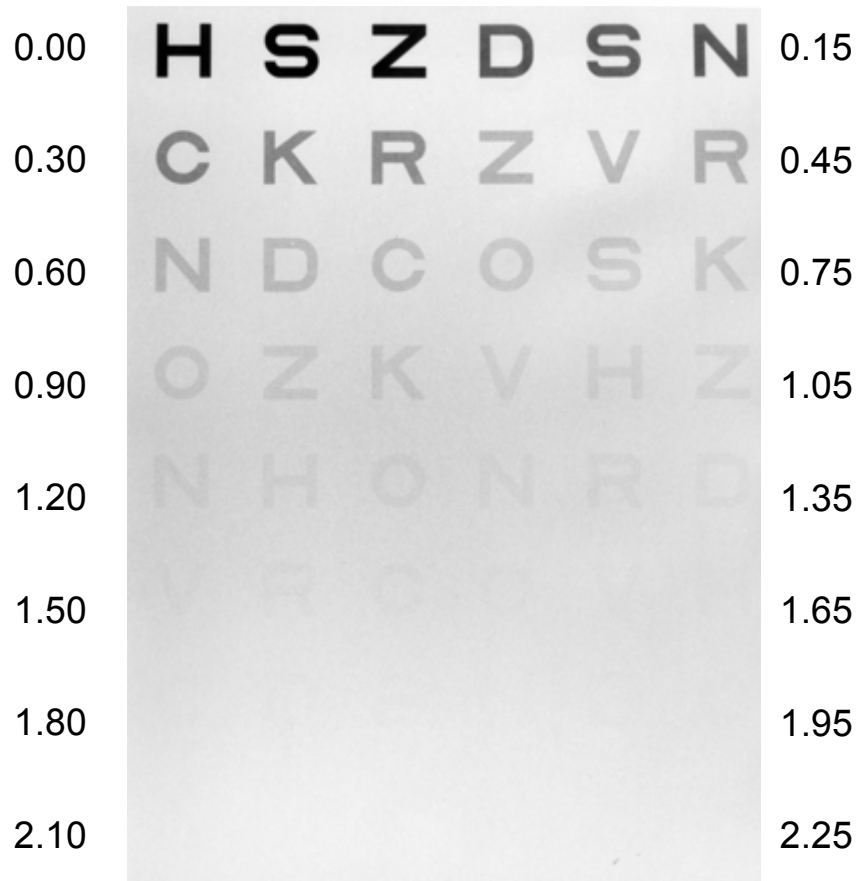


Abbildung 2: Pelli-Robson Contrast Sensitivity Chart: die Tafel enthält 16 Kontraststufen; jede Stufe besteht aus 3 Sloan-Buchstaben; der Kontrast nimmt von oben nach unten ab; der Wert der Kontrastempfindlichkeit steht neben jeder Dreiergruppe. Quelle: www.clement-clarke.com

Für die Studie wurde die Tafel so aufgehängt, dass sich ihr Mittelpunkt auf der Augenhöhe des sitzenden Probanden befand.

Der Prüfabstand betrug 1 m.

Die Tafel wurde gleichmäßig beleuchtet, so dass die Leuchtdichte der weißen Bereiche 85 cd/m^2 betrug. Mittlerweile verwenden wir für diese Tafeln einen Leuchtkasten, der aber bei dieser Studie noch nicht zur Verfügung stand.

Blendlicht sowie spiegelartige Reflektionen von Lampen auf der Tafeloberfläche wurden vermieden.

Die Gesamtdauer der Messung lag unter 8 min.

2.2.2 Freiburg Visual Acuity and Contrast Test (FrACT)

Zur Durchführung des von Michael Bach (1996) [6] entwickelten Kontrastsehtests wurde die *FrACT-Software (Version 5.6)* auf einen *PowerMacintosh-Rechner (MacOS 9.2)* installiert. Ein Röhren (CRT)-Monitor (*Iiyama®15"*, 1024 x 768 Pixel @ 75 Hz) wurde in Augenhöhe des Probanden in einer Prüfdistanz von 2,5 m platziert und entsprechend der Anleitung kalibriert. Auf dem Monitor wurden je Untersuchung 24 Landolt-Ringe, geöffnet in 8 unterschiedlichen Richtungen und mit einer unterschiedlichen Kontrastierung, dargeboten. (**Abb. 3**)

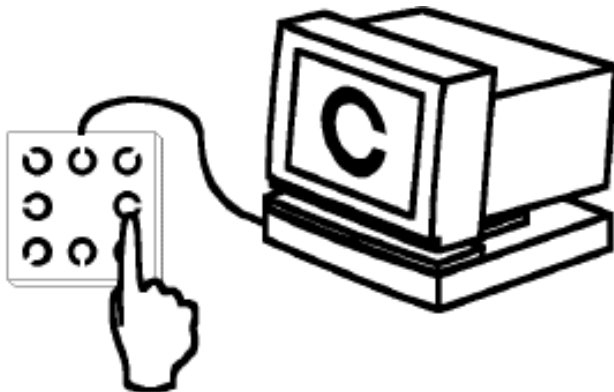


Abbildung 3: Schematische Darstellung von *Freiburg Visual Acuity and Contrast Test (FrACT)*: *FrACT-Software (Version 5.6)* wurde auf einen *PowerMacintosh-Rechner (MacOS 9.2)* installiert. Auf einem CRT-Monitor wurden je Untersuchung 24 Landolt-Ringe dargeboten, geöffnet in 8 unterschiedlichen Richtungen und mit einer unterschiedlichen Kontrastierung. Quelle: Bach, M, (1996) The Freiburg Visual Acuity test-automatic measurement of visual acuity. *Optom Vis Sci* 73:49-53

Die Zeit für die Erkennung und Benennung der Optotypen betrug insgesamt maximal 20 s. Die Antworten der Probanden wurden durch den Prüfer in den Computer eingegeben.

Am Ende jeder Messung wurde die Kontrastempfindlichkeitsschwelle nach einer best-PEST (Parameter Estimation by Sequential Testing) – Bestimmung [6] angegeben.

Für die statistische Auswertung wurde der Kehrwert der resultierenden Zahl logarithmiert, welcher die Kontrastempfindlichkeit ergibt.

2.2.3 Rodatest 302

Das von *Vistec AG, Olching, Deutschland* entwickelte Gerät *Rodatest 302* wird zur Prüfung von Sehschärfe (nah/fern), Gesichtsfeld, Stereosehen, Kontrastempfindlichkeit und Blendempfindlichkeit angesetzt. Es ist ein typisches universelles Sehtestgerät, wie es vor allem in der Arbeitsmedizin Verwendung findet. Es handelt sich um ein Einblickgerät. (**Abb. 4**)

Bei der Prüfung des Kontrastsehens werden als Optotypen Landolt-Ringe dargeboten.

In unserer Studie wurden die Landolt-Ringe bei zwei unterschiedlichen Testfeldleuchtdichten (hell = 300 cd/m² und dunkel = 10 cd/m²), sowie mit drei unterschiedlichen Größen, entsprechend einem Fernvisus von 0,40, 0,25 und 0,16 dargeboten.

Die Prüfung umfasste 10 Testschritte, in denen jeweils 5 Landolt-Ringe mit abnehmendem Kontrast und abnehmender Größe dargeboten wurden.

Die Antworten wurden durch den Prüfarzt in dem dazugehörigen Testblatt eingetragen; als bestanden galt diejenige Stufe, bei der 3 von 5 Ringen richtig erkannt wurden. Für die statistische Auswertung wurde die KE (in log) genommen.



Abbildung 4: Rodatest 302: zur Prüfung des Kontrastsehens wurden Landolt-Ringe bei zwei unterschiedlichen Testfeldleuchtdichten (hell = 300 cd/m^2 und dunkel = 10 cd/m^2), sowie mit drei unterschiedlichen Größen, entsprechend einem Fernvisus von 0,40, 0,25 und 0,16 dargeboten. Quelle: http://www.vistec-ag.de/pdf/vis_rodatest_neu_RZ.pdf

2.2.4 Mesoptometer I

Mit dem *Mesoptometer I* (*Oculus Optikgeräte GmbH, Wetzlar, Deutschland*) nach Aulhorn und Harms [5] kann die Kontrastschwelle mit und ohne gleichzeitige Blendung bestimmt werden, sowie das Vorliegen einer Nachtmyopie oder die Readaptationszeit nach Blendung ermittelt werden.

Sein Prinzip ist die Überblendprojektion: Ein Projektor projiziert einen schwarzen Landolt-Ring in einem hellen Umfeld, der zweite Projektor nur das Umfeld. Die Summe der Helligkeit des Umfeldes im projizierten Bild bleibt konstant. Gekoppelte Graufilter vor den beiden Projektoren regeln, welchen

Anteil der Landolt-Ring und welchen Anteil der reine Umfeld-Projektor hat. Ist vor dem Landolt-Ring ein kräftiges Graufilter und vor dem Umfeld ein schwaches, so wird ein Ring mit geringem Kontrast projiziert. (**Abb. 5**)



Abbildung 5: *Mesoptometer I*: einzelne Landolt-Ringe mit abnehmendem Kontrast werden auf einen Schirm unter einem Sehwinkel von 10 Bogenminuten (entsprechend einem Visus von 0,1) projiziert.

Bei der Untersuchung sitzt der Patient links neben dem Projektor und blickt geradeaus auf den in 3 m Abstand in Augenhöhe aufgestellten Projektionsschirm. Hierbei erscheint der Versuchsperson die Öffnung des Landolt-Ringes unter einem Sehwinkel von 10 Bogenminuten (entsprechend einem Visus von 0,1). Der Landolt-Ring, dessen Öffnung vom Untersucher in 8 unterschiedlichen Richtungen beliebig eingestellt werden kann, wird nacheinander in 8 verschiedenen Kontraststufen gegenüber einem helleren

Umfeld dargeboten. Die Kontraststufen sind logarithmisch abgestuft und der Kontrast wird von 95,6% bis auf 12,5% verringert. Die Leuchtdichte des Umfeldes kann wahlweise auf $0,1 \text{ cd/m}^2$ ($= 0,32 \text{ asb}$) oder $0,032 \text{ cd/m}^2$ ($= 0,1 \text{ asb}$) eingestellt werden. Die Leuchtdichte von $0,1 \text{ cd/m}^2$ ist von Aulhorn gewählt worden, da diese einer mittleren Leuchtdichte entsprach, welche auf nächtlicher Straße am Rande des Scheinwerferkegels eines Fahrzeuges zu finden war [5]. Analog dazu entsprach die Leuchtdichte von $0,032 \text{ cd/m}^2$ einer mittleren Leuchtdichte auf regennasser Straße nachts am Rande des Scheinwerferkegels eines Fahrzeuges [5].

Dieses Gerät wird wegen seines Platzbedarfs kaum noch eingesetzt und schon lange nicht mehr produziert. Es gibt weltweit nur noch wenige.

Die Untersuchung soll in einem vollständig verdunkelten Raum nach einer Adaptationszeit von 5 min stattfinden. Die Untersuchung wird mit dem stärksten Kontrast begonnen, welcher dann stufenweise verringert wird. Als Kontrastschwelle gilt diejenige Kontraststufe, bei der die Versuchsperson die Stellung der 3 von 5 gezeigten Ringen richtig angeben kann. Bei einer Leuchtdichte von $0,1 \text{ cd/m}^2$ stehen zum Erkennen des Sehzeichens 5 s und bei $0,032 \text{ cd/m}^2$ entsprechend 10 s zur Verfügung. In unserer Studie wurde die KE bei Umfeldleuchtdichten von $0,1 \text{ cd/m}^2$ und $0,032 \text{ cd/m}^2$ zuerst binokular und dann monokular geprüft.

Die wichtigsten Charakteristika der vier Tests sind in **Tabelle 1** zusammengefasst.

Test	Pelli-Robson-Tafel	FrACT	Rodatest 302	Mesoptometer I
Hersteller	Clement Clarke, England www.clement-clarke.com/	Prof. Michael Bach, Augenklinik Freiburg, www.michaelbach.de/fract/index.html	Fa. Vistec, Deutschland (mittlerweile Nachfolge- geräte)	Fa. Oculus, Deutschland (wird nicht mehr gebaut)
Testprinzip	Tafel	Computerprogramm	Einblickgerät	Projektor und Projektionsschirm
Optotypen	Sloan- Buchstaben	Landolt-Ringe mit Öffnungen in 8 Richtungen	Landolt-Ringe mit Öffnungen in 8 Richtungen	Landolt-Ringe mit Öffnungen in 8 Richtungen
Umfeld- Leuchtdichte	85 cd/m ² (60-120cd/m ²)	80-320 cd/m ²	hell: 300 cd/m ² dunkel: 10 cd/m ²	hell: 0,1 cd/m ² dunkel: 0,032 cd/m ²
Kontraststufen	16	frei wählbar	6	8
Visusstufen	eine Visusstufe: 0,1	frei wählbar	0,16; 0,25; 0,4	eine Visusstufe: 0,1
Anzahl der Optotypen je Kontraststufe	3	frei wählbar	5	frei wählbar, mind. 3

Prüfdauer	Gesamtprüfung: max. 8 min	20 s pro Optotyp	nicht angegeben	pro Optotyp: bei 0,1 cd/m ² : 5 s bei 0,032 cd/m ² : 10 s
Prüfabstand	1 m	frei wählbar	Die Optotypen werden durch ein Okular ins Unendliche abgebildet.	3 m
Abbruchkriterium	die letzte Dreiergruppe, bei der 2 von 3 Buchstaben richtig benannt wurden	Die Messung erfolgt mit einer „Best-PEST-Messprozedur“. Nach der vorgegebenen Anzahl wird die Kontrastempfindlichkeit vom Computer auf der Basis der erhaltenen Antworten errechnet.	die letzte Stufe, bei der 3 von 5 Optotypen richtig benannt wurden	die letzte Stufe, bei der 3 Optotypen nacheinander richtig benannt wurden
Anmerkung	der erste Kontrasttest mit Buchstaben	auch eine Visus-Prüfung möglich	auch eine Prüfung von Visus und Blendempfindlichkeit möglich	5-10 min Dunkeladaptation erforderlich; auch eine Prüfung der Blendempfindlichkeit möglich

Tabelle 1: Charakteristika der vier geprüften Kontrastsehtest; FrACT = Freiburg Visual Acuity and Contrast Test

2.3 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurden die Ergebnisse aller vier Testverfahren einheitlich in Kontrastempfindlichkeit in log (logKE) umgerechnet.

Die Ergebnisse der Probanden der Gruppe III (in dieser Gruppe wurde immer nur ein Auge untersucht) wurden mit dem rechten Auge der Probanden der Gruppe I (jung, gesund) und der Gruppe II (alt, gesund) verglichen.

Die statistische Auswertung erfolgte mit *JMP® - Software (Version 8.02, SAS Institute, Cary, USA)*.

Die Unterschiede zwischen den Gruppen wurden mittels *ANOVA (einfaktorielle Analyse, Tukey-Kramer HSD, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$)* bestimmt. Der Unterschied zwischen den gesunden Probanden der unterschiedlichen Altersgruppen (Gruppe I und Gruppe II) binokular wurde mittels *t-Test* geprüft.

Die Stärke der Differenzierung zwischen gesunden Personen (Gruppe II) und Patienten mit herabgesetztem Kontrastsehen (Gruppe III) wurde mittels *Receiver-Operating-Characteristic-Kurven (ROC) und Area Under the Curve (AUC)* analysiert.

Die Korrelation zwischen den beiden Augen in den Gruppen der gesunden Probanden (Gruppe I und Gruppe II) wurde mit der Korrelationsmethode nach Pearson untersucht.

3 Ergebnisse

3.1 Mittelwerte und Standardabweichungen aller Gruppen

In **Tabelle 2** sind die Mittelwerte \pm Standardabweichungen für alle Gruppen dargestellt. Bei allen getesteten Verfahren haben die jungen augengesunden Probanden (Gruppe I) am besten abgeschnitten, folgend von den älteren augengesunden Probanden (Gruppe II) und am schlechtesten haben die Patienten mit Katarakt (Gruppe III) abgeschnitten.

Methode	Kontrastempfindlichkeit in log (logKE)						
	Mittelwert \pm Standardabweichung						
	Gruppe I			Gruppe II			Gruppe III
	RA	LA	binokular	RA	LA	binokular	Auge mit Katarakt
Pelli-Robson Tafel	1,88 \pm 0,08	1,88 \pm 0,08	1,95 \pm 0,04	1,71 \pm 0,11	1,73 \pm 0,12	1,92 \pm 0,07	1,54 \pm 0,10
Mesoptometer I Umfeld 0,1 cd/m ²	0,9 \pm 0,00	0,9 \pm 0,00	0,9 \pm 0,00	0,88 \pm 0,07	0,88 \pm 0,07	0,89 \pm 0,04	0,41 \pm 0,20
Mesoptometer I Umfeld 0,032 cd/m ²	0,76 \pm 0,13	0,73 \pm 0,14	0,85 \pm 0,10	0,63 \pm 0,13	0,58 \pm 0,13	0,76 \pm 0,11	0,12 \pm 0,14
FrACT	2,49 \pm 0,16	2,50 \pm 0,17	2,67 \pm 0,07	2,35 \pm 0,22	2,36 \pm 0,23	2,57 \pm 0,14	1,86 \pm 0,24
Rodatest Sehzeichen 0,16 helles Umfeld	1,40 \pm 0,16	1,35 \pm 0,16	1,50 \pm 0,15	1,25 \pm 0,22	1,22 \pm 0,21	1,38 \pm 0,23	0,88 \pm 0,18
Rodatest Sehzeichen 0,25 helles Umfeld	1,23 \pm 0,14	1,18 \pm 0,15	1,34 \pm 0,17	1,07 \pm 0,28	1,07 \pm 0,27	1,22 \pm 0,27	0,55 \pm 0,15

Rodatest Sehzeichen 0,40 helles Umfeld	1,01±0,19	0,96±0,20	1,17±0,19	0,81±0,35	0,82±0,35	1,01±0,32	0,24±0,15
Rodatest Sehzeichen 0,16 dunkles Umfeld	nd	nd	1,44±0,16	nd	nd	1,30±0,21	nd
Rodatest Sehzeichen 0,25 dunkles Umfeld	nd	nd	1,25±0,17	nd	nd	1,07±0,24	nd
Rodatest Sehzeichen 0,40 dunkles Umfeld	nd	nd	1,01±0,20	nd	nd	0,80±0,26	nd

Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen für alle Gruppen und bei allen Tests; logKE = Kontrastempfindlichkeit in log, nd = nicht durchgeführt, RA = rechtes Auge, LA = linkes Auge, FrACT = Freiburg Visual Acuity and Contrast Test.

In **Tabelle 3** sind die 95%-Konfidenzintervall-Werte (unten und oben) für alle Gruppen, monokular geprüft, und für alle Tests dargestellt.

Methode \ logKE	Gruppe I (jung, gesund)		Gruppe II (alt, gesund)		Gruppe III (alt, mit Katarakt)	
	95%-KI unten	95%-KI oben	95%-KI unten	95%-KI oben	95%-KI unten	95%-KI oben
Pelli-Robson Tafel	1,85	1,91	1,68	1,74	1,50	1,57
Mesoptometer I Umfeld 0,1 cd/m ²	0,86	0,94	0,84	0,92	0,37	0,45
Mesoptometer I Umfeld 0,032 cd/m ²	0,72	0,80	0,58	0,67	0,08	0,17
FrACT	2,43	2,56	2,29	2,42	1,79	1,94
Rodatest Sehzeichen 0,16 helles Umfeld	1,34	1,46	1,19	1,31	0,82	0,95

Rodatest Sehzeichen 0,25 helles Umfeld	1,16	1,29	1,00	1,13	0,48	0,63
Rodatest Sehzeichen 0,40 helles Umfeld	0,93	1,09	0,73	0,88	0,15	0,32

Tabelle 3: Werte der 95%-Konfidenzintervall (KI, unten und oben) für alle Gruppen, monokular geprüft, und für alle Tests. logKE = Kontrastempfindlichkeit in log; FrACT = Freiburg Visual Acuity and Contrast Test.

In **Tabelle 4** sind die 95%-Konfidenzintervall-Werte (unten und oben) für alle Gruppen, binokular geprüft, und für alle Tests dargestellt.

Methode	logKE	Gruppe I (jung, gesund)		Gruppe II (alt, gesund)	
		95%-KI unten	95%-KI oben	95%-KI unten	95%-KI oben
Pelli-Robson Tafel		1,94	1,97	1,90	1,94
Mesoptometer I Umfeld 0,1 cd/m ²		0,89	0,91	0,88	0,90
Mesoptometer I Umfeld 0,032 cd/m ²		0,81	0,88	0,72	0,79
FrACT		2,64	2,71	2,54	2,61
Rodatest Sehzeichen 0,16 helles Umfeld		1,44	1,57	1,32	1,45
Rodatest Sehzeichen 0,25 helles Umfeld		1,27	1,41	1,15	1,29
Rodatest Sehzeichen 0,40 helles Umfeld		1,09	1,25	0,93	1,10

Rodatest Sehzeichen 0,16 dunkles Umfeld	1,38	1,50	1,24	1,36
Rodatest Sehzeichen 0,25 dunkles Umfeld	1,18	1,31	1,00	1,13
Rodatest Sehzeichen 0,40 dunkles Umfeld	0,94	1,09	0,72	0,87

Tabelle 4: Werte der 95%-Konfidenzintervall (KI, unten und oben) für alle Gruppen, binokular geprüft, und für alle Tests. logKE = Kontrastempfindlichkeit in log; FrACT = Freiburg Visual Acuity and Contrast Test.

3.2 Unterschiede zwischen den Gruppen

Die Unterschiede zwischen den Gruppen wurden mittels *ANOVA (einfaktorielle Analyse, Tukey-Kramer HSD, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$)* bestimmt.

Zwischen allen drei Gruppen zeigten sich signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) bei allen getesteten Verfahren, lediglich bei *Mesoptometer I* bei einer Umfeldleuchtdichte von $0,1 \text{ cd/m}^2$ und binokular geprüft waren die Unterschiede zwischen Gruppe I und Gruppe II nicht signifikant ($p = 0,15$).

In **Tabellen 5 und 6** sind die F-Werte von der Varianzanalyse der monokular und binokular durchgeführten Tests für alle drei Gruppen zusammengefasst.

Je höher der F-Wert, desto besser kann das Verfahren die Gruppen voneinander unterscheiden [3].

Alle getesteten Verfahren weisen einen hohen F-Wert bei hoher statistischer Signifikanz. Den höchsten F-Wert ($F = 222,5$) ergab die Prüfung des Kontrastsehens mit dem *Mesoptometer I* bei einer Umfeldleuchtdichte von $0,032 \text{ cd/m}^2$.

Mit *Rodatest 302* konnten viele Katarakt-Patienten bei der dunklen Testfeldleuchtdichte (10 cd/m^2) gar keinen Optotyp mehr erkennen, so dass nur die Ergebnisse bei der hellen Testfeldleuchtdichte (300 cd/m^2) ausgewertet wurden.

Methode	N	F-Wert	p-Wert
Pelli-Robson Tafel	114	108,9	<0,0001
Mesoptometer I Umfeld $0,1 \text{ cd/m}^2$	114	199,3	<0,0001
Mesoptometer I Umfeld $0,032 \text{ cd/m}^2$	114	222,5	<0,0001
FrACT	114	88,3	<0,0001
Rodatest Sehzeichen 0,16 helles Umfeld	114	70,2	<0,0001
Rodatest Sehzeichen 0,25 helles Umfeld	114	102,5	<0,0001
Rodatest Sehzeichen 0,40 helles Umfeld	114	87,5	<0,0001

Tabelle 5: F - Werte und p - Werte von der Varianzanalyse (ANOVA, einfaktorielle Analyse, Tukey-Kramer HSD, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) der monokular durchgeführten Tests bei allen drei Gruppen; N = Anzahl der Probanden, FrACT = Freiburg Visual Acuity and Contrast Test. Je höher der F-Wert, desto besser kann das Verfahren die Gruppen voneinander unterscheiden [3].

Methode	N	F-Wert	p-Wert
Pelli-Robson Tafel	81	5,92	0,0173
Mesoptometer I Umfeld 0,1 cd/m ²	81	2,1	0,1508 *
Mesoptometer I Umfeld 0,032 cd/m ²	81	15,15	0,0002
FrACT	81	15,4	0,0002
Rodatest Sehzeichen 0,16 helles Umfeld	81	7,64	0,0071
Rodatest Sehzeichen 0,25 helles Umfeld	81	6,3	0,0141
Rodatest Sehzeichen 0,40 helles Umfeld	81	6,74	0,0113

Tabelle 6: F - Werte und p - Werte von der Varianzanalyse (ANOVA, einfaktorielle Analyse, Tukey-Kramer HSD, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) der binokular durchgeführten Tests bei allen drei Gruppen; N = Anzahl der Probanden, FrACT = Freiburg Visual Acuity and Contrast Test. Je höher der F-Wert, desto besser kann das Verfahren die Gruppen voneinander unterscheiden [3].

Am schwierigsten sollte nach unserer Prognose die Unterscheidung zwischen augengesunden jungen und alten Probanden bei der binokularen Prüfung sein, was sich dann bestätigte.

Der Unterschied zwischen den gesunden Probanden der unterschiedlichen Altersgruppen (Gruppe I und Gruppe II) binokular wurde mittels *t-Test* geprüft

In **Tabelle 7** sind die Ergebnisse der alten und jungen gesunden Probanden anhand t-Tests verglichen. Die Werte für alle Tests unterscheiden sich

signifikant mit einer Ausnahme, nämlich bei *Mesoptometer I* bei einer Umfeldleuchtdichte von 0,1 cd/m².

Methode	N	t-Test	p-Wert
Pelli-Robson Tafel	81	-2,4	0,0173
Mesoptometer I Umfeld 0,1 cd/m ²	81	-1,5	0,1508
Mesoptometer I Umfeld 0,032 cd/m ²	81	-3,9	0,0002
FrACT	81	-3,9	0,0002
Rodatest Sehzeichen 0,16 helles Umfeld	81	-2,8	0,0071
Rodatest Sehzeichen 0,25 helles Umfeld	81	-2,5	0,0141
Rodatest Sehzeichen 0,40 helles Umfeld	81	-2,6	0,0113
Rodatest Sehzeichen 0,16 dunkles Umfeld	81	-3,3	0,0016
Rodatest Sehzeichen 0,25 dunkles Umfeld	81	-3,9	0,0002
Rodatest Sehzeichen 0,40 dunkles Umfeld	81	-4,2	<0,0001

Tabelle 7: Ergebnisse vom t-Test und p - Werte von der Varianzanalyse der binokular durchgeführten Tests der Gruppe I (jung, gesund) und Gruppe II (alt, gesund); N = Anzahl der Probanden, FrACT = Freiburg Visual Acuity and Contrast Test.

3.3 Receiver-Operating-Characteristic (ROC)-Analyse

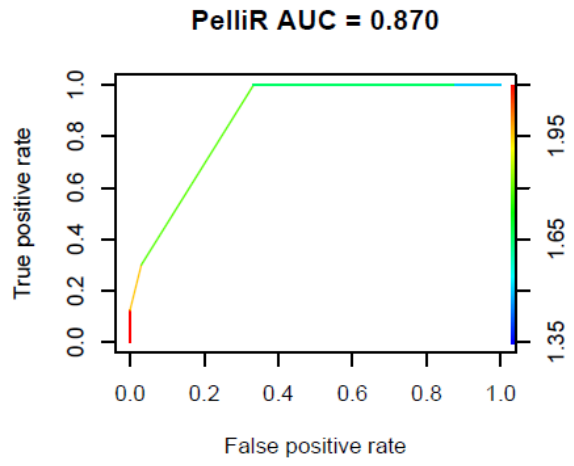
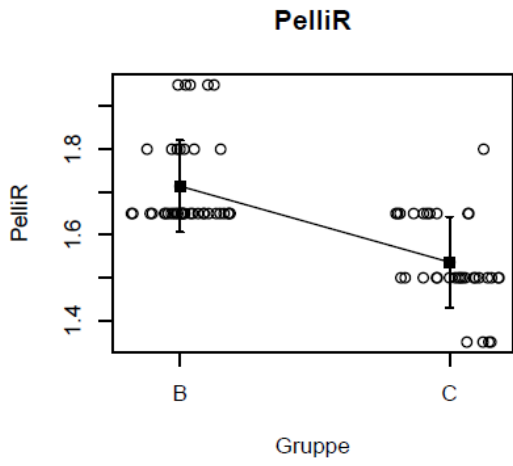
Die Fähigkeit, Patienten mit einer gerade eben operationswürdigen Katarakt von gesunden, gleich alten Probanden zu trennen, ist sicherlich die entscheidende Anforderung an die untersuchten Tests.

Theoretisch sollte ein Patient mit einer Katarakt bei der Prüfung des Kontrastsehens durchfallen, und ein gesunder gleichaltriger Proband sollte die Prüfung bestehen. Es ist von vorneherein klar, dass dies nicht zu 100% gelingen wird: es wird Probanden mit Katarakt geben, die ausreichendes Kontrastsehen haben (dies schränkt die Sensitivität ein) und es wird Probanden ohne Katarakt geben, welche bei der Prüfung durchfallen (dies vermindert die Spezifität). Die Sensitivität und die Spezifität hängen vom Grenzwert ab. Eine hohe Spezifität geht zu Lasten der Sensitivität und umgekehrt. Man kann nun alle möglichen Grenzwerte durchspielen und das Ergebnis hinsichtlich Spezifität und Sensitivität graphisch darstellen, man nennt dies *Receiver-Operator-Characteristics* – Analyse (ROC) [35].

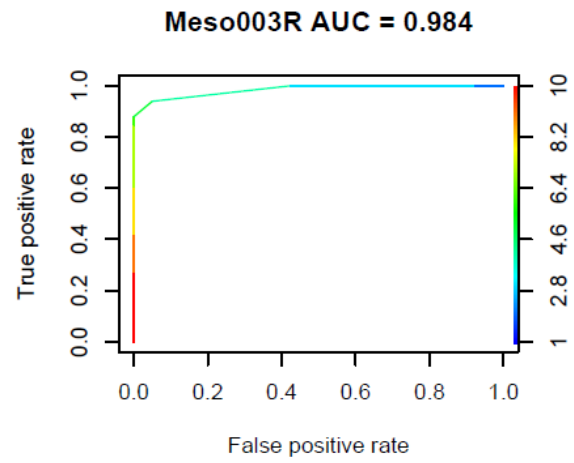
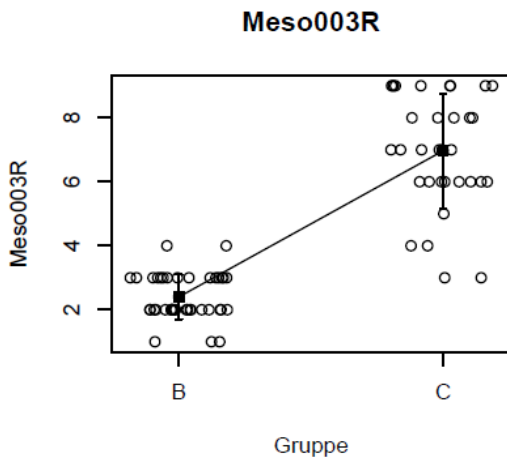
Für die Ermittlung von den ROC-Kurven wurden Sensitivität und 1 - Spezifität jedes Tests gegeneinander aufgetragen. Ein Messwert, wie gut ein Test seine Aufgabe erfüllt, ist die *Area Under the Curve* (AUC).

In **Abbildung 6** sind die ROC-Kurven und die AUC-Werten für alle Tests für das rechte Auge der Gruppen II und III (da bei der Gruppe III immer nur ein Auge untersucht wurde, wurde für die Auswertung dieses Auge als rechtes Auge angenommen) dargestellt.

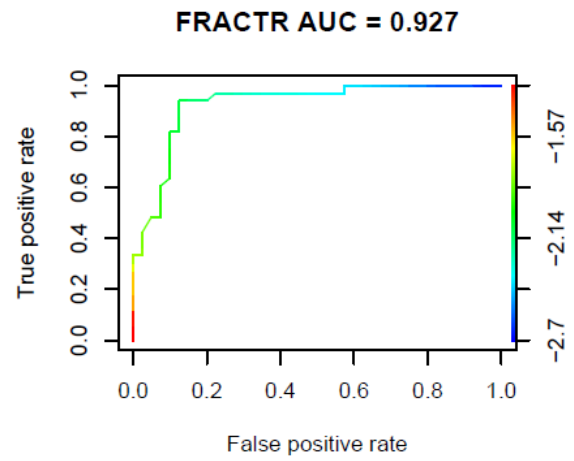
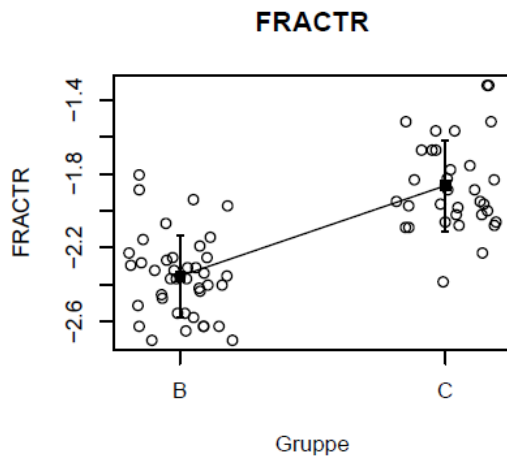
A)



B)



C)



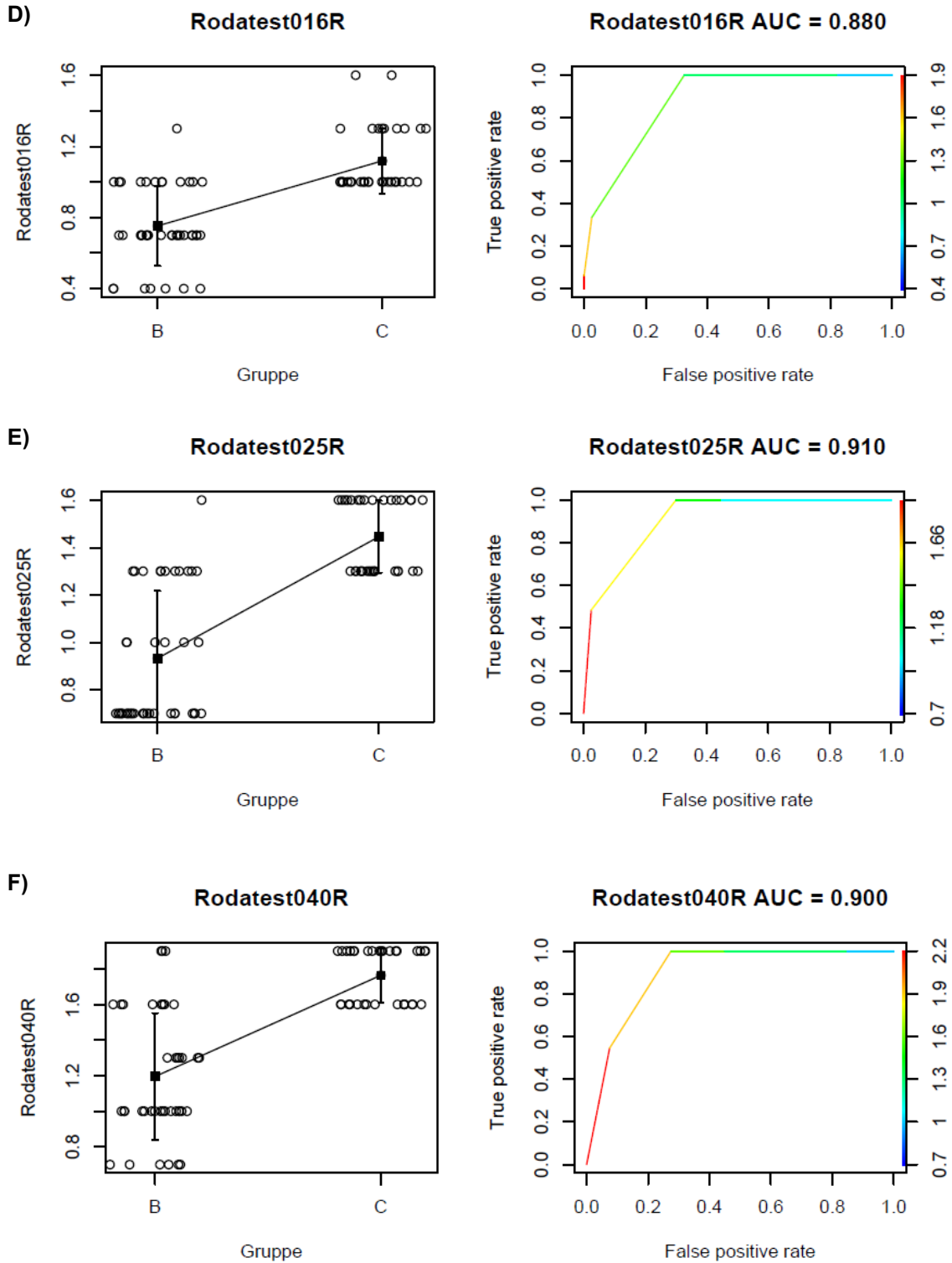


Abbildung 6: Receiver-Operating-Characteristic (ROC) - Kurven und Area Under the Curve (AUC) für das rechte Auge der Gruppen II (alt, gesund) und III (alt, mit Katarakt) für alle Tests: A) Pelli-Robson Contrast Sensitivity Chart; B) Freiburg Visual Acuity and Contrast Test (FrACT); C) Mesoptometer I mit Umfeld 0,032 cd/m²; D) Rodatest 302 Sehzeichen 0,16/helles Umfeld; E) Rodatest 302 Sehzeichen 0,25/helles Umfeld; F) Rodatest 302 Sehzeichen 0,40/helles Umfeld.

Die beste Differenzierung zwischen gesunden Personen und Probanden mit herabgesetztem Kontrastsehen erfolgte durch *Mesoptometer I* bei einer Umfeldleuchtdichte von 0,032 cd/m²: der *AUC*-Wert betrug für das rechte Auge 0,984.

Am schlechtesten schnitt die Pelli-Robson Tafel ab (*AUC* = 0,870), die anderen Verfahren lagen mit *AUC*-Werten von 0,88 bis 0,927 dazwischen.

Die *AUC*-Werte aller Tests sind auch tabellarisch in **Tabelle 8** dargestellt.

Methode	AUC rechtes Auge
Pelli-Robson Tafel	0,870
Mesoptometer I Umfeld 0,032 cd/m ²	0,984
FrACT	0,927
Rodatest Sehzeichen 0,16 helles Umfeld	0,880
Rodatest Sehzeichen 0,25 helles Umfeld	0,910
Rodatest Sehzeichen 0,40 helles Umfeld	0,900

Tabelle 8: Area Under the Curve (AUC) - Werte von der Receiver-Operating-Characteristic-Analyse zur Differenzierung zwischen gesunden Probanden (Gruppe II) und kranken Probanden (Gruppe III, Probanden mit operationswürdiger Katarakt), FrACT = Freiburg Visual Acuity and Contrast Test.

3.4 Korrelation zwischen beiden Augen

Die Korrelation zwischen den beiden Augen in den Gruppen der gesunden Probanden (Gruppe I und Gruppe II) wurde mit der Korrelationsmethode nach Pearson untersucht.

Die Ergebnisse sind in **Tabelle 9** dargestellt. Die beste Korrelation zwischen dem rechten und dem linken Auge zeigte *Mesoptometer I* bei einer Umfeldleuchtdichte von 0,1 cd/m² mit einem Korrelationskoeffizient von 0,81.

Methode	Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen dem rechten und linken Auge
Pelli-Robson Tafel	0,73
Mesoptometer I Umfeld 0,1 cd/m ²	0,81
Mesoptometer I Umfeld 0,032 cd/m ²	0,70
FrACT	0,54
Rodatest Sehzeichen 0,16 helles Umfeld	0,63
Rodatest Sehzeichen 0,25 helles Umfeld	0,79
Rodatest Sehzeichen 0,40 helles Umfeld	0,78

Tabelle 9: Korrelation nach Pearson zwischen dem rechten und linken Auge der Gruppe I (jung, gesund) und Gruppe II (alt, gesund) für alle Tests, FrACT = Freiburg Visual Acuity and Contrast Test.

4 Diskussion

4.1 Beurteilung der Tests mit Vorteilen und Nachteilen

In dieser Studie wurden vier Verfahren zur Prüfung des Kontrastsehens miteinander verglichen. Es wurde untersucht, wie empfindlich die einzelnen Verfahren sind und ob ein Test den anderen überlegen ist.

Als wichtigster Parameter wurde die Fähigkeit der Tests geprüft, gesunde Probanden von Patienten mit Katarakt zu unterscheiden - eine Anforderung, basierend auf der bisherigen Erfahrung, dass Patienten mit einer Katarakt ein herabgesetztes Kontrastsehen haben [1, 2, 12, 19, 20, 25, 38].

Es ist bekannt, dass mit zunehmendem Alter die Kontrastempfindlichkeit bei mittleren und höheren Ortsfrequenzen abnimmt [10], was nicht nur auf Veränderungen der optischen Eigenschaften des Auges zurückzuführen ist, sondern auch auf retinale und neuronale Veränderungen [16, 29].

Deshalb wurde in unserer Studie zusätzlich geprüft, ob diese Tests auch gesunde junge von gesunden alten Probanden erfolgreich unterscheiden können.

Weiterhin wurde die Korrelation zwischen dem rechten und dem linken Auge bei gesunden Probanden untersucht.

Folgende Überlegungen lagen unserer Studie zugrunde:

- Eine Gruppe junger Probanden sollte bessere Ergebnisse erzielen, als eine Gruppe älterer Probanden und diese wiederum sollten bessere Ergebnisse erzielen als Probanden mit visusmindernder Katarakt.
- Durch binokulare Summation sollten binokulare Tests besser ausfallen als monokulare Tests.
- Bei augengesunden Probanden sollten die Ergebnisse vom rechten und vom linken Auge gut korreliert sein.

Die Ergebnisse aller verwendeten Tests entsprachen unseren Erwartungen: Alle Verfahren konnten die gestellten Anforderungen zufriedenstellend erfüllen.

Als weniger geeignet erwiesen sich jedoch das *Mesoptometer I* bei Umfeldleuchtdichte von 0,1 cd/m², da dieser Test zu einfach war, sowie der *Rodatest 302* bei dunkler Testfeldleuchtdichte (10 cd/m²), da bei diesem viele Katarakt-Patienten gar keinen Optotyp mehr erkennen konnten.

Andererseits behauptete sich das klassische freisichtige *Mesoptometer I* bei einer Umfeldleuchtdichte von 0,032 cd/m² als herausragend mit einer *AUC* nahe dem Idealwert 1, mit dem höchsten F-Wert und einem guten Korrelationswert. Damit kann dieser Methode eine Funktion als Goldstandard zugesprochen werden. Leider wird dieses Gerät schon seit Jahren nicht mehr hergestellt. Weltweit sind nur noch einige wenige in Betrieb. Eine Neuauflage hätte kommerziell aufgrund einiger Nachteile im Vergleich zu moderneren Tests wenig Chancen: eine längere Untersuchungszeit, die notwendige Dunkeladaptation vor der Untersuchung und die Anforderung an einen separaten, komplett abdunkelbaren Testraum mit ausreichendem Platz zur Unterbringung aller Testbestandteile. Diese Eigenschaften begrenzen seine Anwendbarkeit in der klinischen Routine; heutzutage wird das *Mesoptometer I* nur in wenigen Zentren verwendet.

Die anderen drei von uns getesteten Verfahren lieferten ebenfalls gute Ergebnisse. Dies unterstützt die Auffassung, dass Verfahren zur Prüfung des Kontrastsehens unter photopischen Bedingungen nicht schlechter geeignet sind als solche unter mesopischen Bedingungen und diese auch gut ersetzen können. Eine Untersuchung ohne vorherige Dunkeladaptation, welche die gleichen Ergebnisse liefert, ist für die Praxis natürlich von großem Vorteil.

Eine Studie von Puell [33] et al. mit 292 Probanden, unterteilt in 6 Altersgruppen, zeigte jedoch, dass unter mesopischen Bedingungen (0,15 cd/m²) eine Reduktion der KE bei älteren gesunden Probanden schon eine Dekade früher (bei 51 – 60 - jährigen) mit der *Pelli-Robson-Tafel* festgestellt werden konnte als im Vergleich zu photopischen Bedingungen (85 cd/m²).

Allerdings scheint es schwierig, mesopische Beleuchtungsbedingungen mit einer Auflichttafel reproduzierbar und gleichmäßig zu gewährleisten, so dass wir einem solchen Test wenig praktische Chancen einräumen.

Das *Rodatest 302* bei heller Testfeldleuchtdichte (300 cd/m^2) erwies sich als ein gutes Verfahren zur Prüfung des Kontrastsehens. Der Test zeigte eine sehr gute Trennschärfe (z. B. *AUC*-Wert von 0,91 bei Sehzeichen 0,25), sowie eine gute rechts/links - Korrelation. Er ist einfach und schnell durchführbar. Sehr vorteilhaft ist, dass das Gerät wenig Platz braucht. Ein anderer Vorteil dieses Einblickgerätes ist, dass die Untersuchungsbedingungen standardisiert und weitestgehend unabhängig von Umwelteinflüssen sind.

Im Vergleich z. B. zu der international weit verbreiteten *Pelli-Robson-Tafel*, bei der tatsächlich konstante, immer gleiche, ideale Beleuchtungsverhältnisse von Raum und Tafel herrschen sollten, besteht diese Problematik bei Einblickgeräten naturgemäß nicht.

Die größte Schwierigkeit dieser Studie bestand in der Rekrutierung geeigneter Katarakt - Patienten. Der Visus der Katarakt - Patienten sollte nur mäßig herabgesetzt sein. Die Sehschärfe sollte in einem Bereich liegen, in dem Autofahren noch möglich ist. Deshalb wurde die in dieser Gruppe angestrebte Zahl von 40 Probanden nicht erreicht.

Insgesamt lassen die Ergebnisse dieser Studie die Schlussfolgerung ziehen, dass Tests unter photopischen Bedingungen in der Praxis zu bevorzugen sind: diese liefern die gleichen Ergebnisse, sind einfacher durchzuführen und sparen den Untersuchern und den Patienten Zeit.

4.2 Beurteilung der Ergebnisse im Lichte der Literatur

In der Vergangenheit haben bereits andere Arbeitsgruppen über ähnlich gute Ergebnisse mit dem *Mesoptometer I*, verglichen mit anderen Kontrastsehtests, berichtet [15, 18, 21, 27]. In diesen Studien waren die Ergebnisse bei ähnlich aufgeteilten Altersgruppen vergleichbar mit unseren Ergebnissen.

In einer Studie von Kolling et al. [21] wurde das *Mesoptometer I*, verglichen mit *Mesoptometer II* und *Nyktometer*, als das beste Gerät zur Prüfung von Kontrastsehen und Blendungsempfindlichkeit unter mesopischen Verhältnissen ermittelt.

Unsere Ergebnisse mit der *Pelli-Robson-Tafel* sind den bisher veröffentlichten sehr ähnlich:

2001 publizierten Mäntyjärvi et al. [28] Normwerte für gesunde Probanden: es wurden insgesamt 87 Personen untersucht, unterteilt in 7 Altersgruppen: der Mittelwert der KE (in log) bei den 20 - bis 29 - jährigen lag bei 1,84 (vs. 1,88 bei uns) und bei den ≥ 60 - jährigen bei 1,68 (vs. 1,71-1,73 bei uns).

1990 beschrieben Elliott et al. [13] Normwerte bei jungen gesunden Probanden ($n = 30$, mittleres Alter $22,5 \pm 4,3$ Jahre) bei $\geq 1,80$ logKE und bei alten gesunden Probanden ($n = 42$, mittleres Alter $70 \pm 6,7$ Jahre) bei $\geq 1,65$ logKE.

1993 verglichen Elliott und Bullimore [11] 7 Kontrastsehen - und Blendungsempfindlichkeits - Tests und bestimmten die Wiederholbarkeit, die Trennschärfe und die Validität der Tests. Das Design der Studie war ähnlich dem unseren: 3 Gruppen von Probanden: junge Gesunde ($n = 24$, mittleres Alter $24,3 \pm 3,3$ Jahre), alte Gesunde ($n = 22$, mittleres Alter $66 \pm 6,2$), sowie Patienten mit Katarakt ($n = 33$, mittleres Alter $70,6 \pm 8,1$ Jahre); die *Pelli-Robson-Tafel* ergab eine KE im Durchschnitt (in log \pm Standardabweichung) bei den jungen Gesunden $1,86 \pm 0,09$, bei den alten Gesunden $1,80 \pm 0,11$ und bei den Katarakt-Patienten $1,48 \pm 0,25$; die Trennschärfe des Testes ergab einen AUC – Wert von 0,93 (vs. 0,87 bei uns) und eine gute Wiederholbarkeit.

Eine ebenfalls vom Design her ähnliche Studie von Bühren et al. [7] zeigte Werte für die Pelli-Robson Tafel bei jungen Gesunden als Median logKE 1,85, bei alten Gesunden 1,65 und bei Katarakt-Patienten bei 1,51; der AUC - Wert betrug 0,83.

Bühren et al. [7] verglichen die *Pelli-Robson Tafel* (mit und ohne Blendung) mit dem *Frankfurt-Freiburg Contrast and Acuity Test System (FF-CATS)*, ein

modifizierter *FrACT*, der auch Untersuchungen unter mesopischen Bedingungen zulässt) und dem *Functional Acuity Contrast Test (FACT)*. *FF-CATS* ergab unter photopischen Bedingungen und ohne Blendung (also vergleichbar mit *FrACT*) als Median logKE bei den Jungen 2,23, bei den alten Gesunden 1,82 und bei Katarakt-Patienten 1,60, sowie einen *AUC* - Wert von 0,80. Vergleicht man diese Ergebnisse mit den Ergebnissen des *FrACT*'s in unserer Studie, fällt es auf, dass bei uns im Durchschnitt die KE etwas besser war und die Trennschärfe höher (*AUC* - Wert 0,93 bei uns). Als eine mögliche Ursache für diese Unterschiede könnte die Prüfdistanz in Betracht gezogen werden: diese betrug 4 m bei Bühren und 2,5 m bei uns. Die bessere Trennschärfe bei uns könnte mit dem größeren Altersunterschied bei unserer Studie in Zusammenhang stehen: bei Bühren war der Unterschied zwischen den Mittelwerten der beiden Gruppen 10,5 Jahre, in unserer Studie waren es 21,4 Jahre.

Unseres Wissens stammen die einzigen vorhandenen Daten in der Literatur über mit dem *FrACT* gemessene KE aus einer Untersuchung von Dennis et al. [9]. Bei 20 Piloten der US-Luftwaffe, welche zwischen 26 und 47 Jahre alt waren, wurde unter anderen das Kontrastsehen mit dem *FrACT* vor und nach einer photorefraktiven Keratektomie bestimmt. Der Mittelwert der KE (in log) lag vor der Operation bei 1,77 und war damit deutlich schlechter im Vergleich zu dem Mittelwert unserer jungen und sogar alten gesunden Probanden (**Tabelle 2**). Eine mögliche Erklärung dafür könnte die mittels eines Spiegels erzeugte Prüfdistanz von 6 m sein (im Vergleich dazu war die Prüfdistanz in unserer Studie 2,5 m).

Bezüglich des *Rodatests 302* konnten wir in der Literatur keine weiteren Studien finden, welche das Gerät überprüft haben. In unserer Studie erwies sich *Rodatest 302* als ein gutes Verfahren zur Prüfung des Kontrastsehens.

4.3 Fazit

Die Prüfung des Kontrastsehens wurde in Deutschland eine Zeit lang stiefmütterlich behandelt. Es ist aber unbestritten, dass die Prüfung des Kontrastsehens ergänzend zu der Prüfung der Sehschärfe sehr nützlich ist, vor allem in der Arbeits- und Verkehrsmedizin, da die Sehschärfe und das Kontrastsehen nicht immer miteinander korrelieren.

Seit dem 1. Juli 2011 muss laut der Anlage 6 der Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV) bei allen Neuerteilungen und Verlängerungen der Fahrerlaubnisklassen der Gruppe 2, sowie bei einem augenärztlichen Gutachten bei der Gruppe 1 das Kontrast- oder Dämmerungssehen geprüft werden.

Die gezeigten Ergebnisse unserer Studie sind umso interessanter, da im Moment konkrete Grenzwerte und methodische Anforderungen an die Prüfung des Kontrastsehens fehlen.

Unsere Studie zeigt, dass alle vier getesteten Verfahren die gestellten Anforderungen zufriedenstellend erfüllen konnten. Aufgrund der einfacheren Durchführbarkeit von Tests unter photopischen Bedingungen sind diese in der Praxis jedoch zu bevorzugen. Sie liefern die gleichen Ergebnisse, sparen aber den Untersuchern und Patienten Zeit.

5 Zusammenfassung

Hintergrund:

Die Bedeutung des Kontrastsehens im Straßenverkehr ist unbestritten. Dem wurde durch die Änderung der Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV) 2011 Rechnung getragen: Ab dem 1. Juli 2011 muss bei allen Neuerteilungen und Verlängerungen der Fahrerlaubnisklassen der Gruppe 2, sowie bei einem augenärztlichen Gutachten bei der Gruppe 1 das Kontrast- oder Dämmerungssehen geprüft werden.

Momentan besteht ein Bedarf an konkreten Grenzwerten und methodischen Anforderungen an Verfahren, welche das Kontrastsehen prüfen.

Ziel dieser Studie war es zu eruieren, ob es ein Verfahren zur Prüfung des Kontrastsehens gibt, das den anderen deutlich überlegen ist.

Methoden:

114 Probanden, unterteilt in 3 Gruppen (Gruppe I: 41 junge, gesunde Probanden (22-32 Jahre alt) mit Visus $\geq 1,0$; Gruppe II: 40 ältere Probanden (50-66 Jahre alt) mit klaren brechenden Medien und Visus $\geq 0,8$; Gruppe III: 33 Probanden (62-84 Jahre alt) mit Katarakt $\geq \text{NO3/NC3/C3}$ und $< \text{P3}$ nach *Lens Opacities Classification System III* und Visus $\geq 0,5$) wurden monokular und binokular mit *Pelli-Robson Contrast Sensitivity Chart*, *Mesoptometer I* (bei Umfeldleuchtdichte von $0,1 \text{ cd/m}^2$ und $0,032 \text{ cd/m}^2$), *Freiburg Visual Acuity and Contrast Test (FrACT)* und *Rodatest 302* (bei Umfeldleuchtdichte von 10 cd/m^2 und 300 cd/m^2) untersucht.

Ergebnisse:

Bei allen Tests waren die Ergebnisse der Gruppe I am besten, folgend von Gruppe II und dann Gruppe III. Es zeigten sich signifikante Unterschiede (ANOVA, Tukey-Kramer, $p < 0,05$) bei allen getesteten Verfahren, mit Ausnahme des *Mesoptometer I* bei Umfeldleuchtdichte von $0,1 \text{ cd/m}^2$, getestet binokular Gruppe I vs. Gruppe II ($p = 0.15$). Am empfindlichsten erwies sich das

Mesoptometer I bei Umfeldleuchtdichte von $0,032 \text{ cd/m}^2$ ($F=222,5$). Die beste Differenzierung zwischen Gesunden und Probanden mit herabgesetztem Kontrastsehen erfolgte durch Mesoptometer I bei Umfeldleuchtdichte von $0,032 \text{ cd/m}^2$ (*Area Under the Curve*, $AUC = 0,98$). Am schlechtesten schnitt die Pelli-Robson Tafel ab ($AUC = 0,87$), die anderen Verfahren lagen mit AUC von $0,88$ bis $0,93$ dazwischen. Die beste rechts-links Korrelation (nach Pearson) zeigte Mesoptometer I bei Umfeldleuchtdichte von $0,1 \text{ cd/m}^2$ mit $0,81$.

Schlussfolgerung:

Alle vier Tests konnten die gestellten Anforderungen zufriedenstellend erfüllen. Aufgrund der einfacheren und schnelleren Durchführbarkeit sind Tests unter photopischen Bedingungen in der Praxis jedoch zu bevorzugen. Das historische Mesoptometer I kann als Goldstandard dienen.

6 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Verteilung der untersuchten Probanden pro Dekaden
- Abbildung 2:** Pelli-Robson Contrast Sensitivity Chart
- Abbildung 3:** Schematische Darstellung von Freiburg Visual Acuity and Contrast Test (FrACT)
- Abbildung 4:** Rodatest 302
- Abbildung 5:** Mesoptometer I
- Abbildung 6:** Receiver-Operating-Characteristic (ROC) - Kurven und Area Under the Curve (AUC) für das rechte Auge der Gruppe II (alt, gesund) und Gruppe III (alt, mit Katarakt) für alle Tests

7 Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1:** Charakteristika der vier geprüften Kontrastsehtest
- Tabelle 2:** Mittelwerte und Standardabweichungen für alle Gruppen und bei allen Tests
- Tabelle 3:** Werte der 95%-Konfidenzintervall (KI, unten und oben) für alle Gruppen, monokular geprüft, und für alle Tests
- Tabelle 4:** Werte der 95%-Konfidenzintervall (KI, unten und oben) für alle Gruppen, binokular geprüft, und für alle Tests
- Tabelle 5:** F - Werte und p - Werte von der Varianzanalyse, ANOVA, einfaktorielle Analyse, Tukey-Kramer HSD, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) der monokular durchgeführten Tests bei allen drei Gruppen
- Tabelle 6:** F - Werte und p - Werte von der Varianzanalyse, ANOVA, einfaktorielle Analyse, Tukey-Kramer HSD, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) der binokular durchgeführten Tests bei allen drei Gruppen
- Tabelle 7:** Ergebnisse vom t-Test und p - Werte von der Varianzanalyse der binokular durchgeführten Tests der Gruppe I (jung, gesund) und Gruppe II (alt, gesund)
- Tabelle 8:** Area Under the Curve (AUC) - Werte von der Receiver-Operating Characteristic-Analyse zur Differenzierung zwischen gesunden Probanden (Gruppe II) und kranken Probanden (Gruppe III, Probanden mit operationswürdiger Katarakt)
- Tabelle 9:** Korrelation nach Pearson zwischen dem rechten und linken Auge der Gruppe I (jung, gesund) und Gruppe II (alt, gesund) für alle Tests

8 Abkürzungsverzeichnis

AUC	Area Under the Curve
DOG	Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft
FeV	Fahrerlaubnis-Verordnung
FF-CATS	Frankfurt-Freiburg Contrast and Acuity Test System
FrACT	Freiburg Visual Acuity and Contrast Test
KE	Kontrastempfindlichkeit
KI	Konfidenzintervall
LOCS III	Lens Opacities Classification System III
logKE	Kontrastempfindlichkeit in log
ROC	Receiver-Operating-Characteristic
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung

9 Literaturverzeichnis

1. Abrahamsson M, Sjostrand J (1986) Impairment of contrast sensitivity function (CSF) as a measure of disability glare. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 27:1131-1136
2. Adamsons I, Rubin Gs, Vitale S et al. (1992) The effect of early cataracts on glare and contrast sensitivity. A pilot study. *Arch Ophthalmol* 110:1081-1086
3. Altman Dg, Bland, J. M. (1996) Statistics Notes: Comparing several groups using analysis of variance. *British Medical Journal* 312:1472
4. Arden Gb (1978) The importance of measuring contrast sensitivity in cases of visual disturbance. *Br J Ophthalmol* 62:198-209
5. Aulhorn E, Harms H (1970) [The examination on fitness for driving at darkness with the mesoptometer]. *Klin Monbl Augenheilkd* 157:843-873
6. Bach M (1996) The Freiburg Visual Acuity test--automatic measurement of visual acuity. *Optom Vis Sci* 73:49-53
7. Buhren J, Terzi E, Bach M et al. (2006) Measuring contrast sensitivity under different lighting conditions: comparison of three tests. *Optom Vis Sci* 83:290-298
8. Chylack Lt, Jr., Wolfe Jk, Singer Dm et al. (1993) The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. *Arch Ophthalmol* 111:831-836
9. Dennis Rj, Beer Jm, Baldwin Jb et al. (2004) Using the Freiburg Acuity and Contrast Test to measure visual performance in USAF personnel after PRK. *Optom Vis Sci* 81:516-524
10. Elliott Db (1987) Contrast sensitivity decline with ageing: a neural or optical phenomenon? *Ophthalmic Physiol Opt* 7:415-419
11. Elliott Db, Bullimore Ma (1993) Assessing the reliability, discriminative ability, and validity of disability glare tests. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 34:108-119
12. Elliott Db, Gilchrist J, Whitaker D (1989) Contrast sensitivity and glare sensitivity changes with three types of cataract morphology: are these techniques necessary in a clinical evaluation of cataract? *Ophthalmic Physiol Opt* 9:25-30
13. Elliott Db, Sanderson K, Conkey A (1990) The reliability of the Pelli-Robson contrast sensitivity chart. *Ophthalmic Physiol Opt* 10:21-24

14. Fünfte Verordnung Zur Änderung Der Fahrerlaubnis-Verordnung Und Anderer Straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften Vom 17. Dezember 2010; Bundesgesetzblatt Jahrgang 2010 Teil I Nr. 67
15. Geyer Oc (1975) [Comparative research at the "mesoptometer" and "nyktomat" (author's transl)]. *Klin Monbl Augenheilkd* 166:259-267
16. Guirao A, Gonzalez C, Redondo M et al. (1999) Average optical performance of the human eye as a function of age in a normal population. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 40:203-213
17. Hagenreiner H, (2008) Unternehmenskommunikation - MENSCH. TÜV SÜD AG, www.tuev-sued.de
18. Hartmann E, Wehmeyer K (1981) [Comparative investigation of the mesoptometer and the nyktometer (author's transl)]. *Klin Monbl Augenheilkd* 178:76-77
19. Hess R, Woo G (1978) Vision through cataracts. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 17:428-435
20. Koch Dd (1989) Glare and contrast sensitivity testing in cataract patients. *J Cataract Refract Surg* 15:158-164
21. Kolling Gh, Schratz B (1991) [Comparative studies of twilight vision with the Mesoptometer I and II and the Nyktometer]. *Fortschr Ophthalmol* 88:178-181
22. Kraftfahrzeugen. Verkehrskommission Der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft (Dog), Heidelberg, 3. Auflage
23. Lachenmayr B, Berger J, Buser A et al. (1998) [Reduced visual capacity increases the risk of accidents in street traffic]. *Ophthalmologie* 95:44-50
24. Lachenmayr B, Buser, A., Keller, O., Berger, J., (1996) Sehstörungen als Unfallursache Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). *Mensch und Sicherheit*. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, M65
25. Lasa Ms, Datiles Mb, 3rd, Podgor Mj et al. (1992) Contrast and glare sensitivity. Association with the type and severity of the cataract. *Ophthalmology* 99:1045-1049
26. Levy D, Vernick, Js, Howard, Ka (1995) Relationship between Driver's License Renewal Policies and Fatal Crashes Involving Drivers 70Years or Older. *JAMA* 274:1026–1030
27. Makabe R, Rahn R, Tietze A (1982) [Comparative studies with mesoptometer and nyktometer]. *Klin Monbl Augenheilkd* 181:38-39

28. Mantyjarvi M, Laitinen T (2001) Normal values for the Pelli-Robson contrast sensitivity test. *J Cataract Refract Surg* 27:261-266
29. Mclellan Js, Marcos S, Burns Sa (2001) Age-related changes in monochromatic wave aberrations of the human eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 42:1390-1395
30. Owsley C, Sekuler R, Boldt C (1981) Aging and low-contrast vision: face perception. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 21:362-365
31. Owsley C, Stalvey Bt, Wells J et al. (2001) Visual risk factors for crash involvement in older drivers with cataract. *Arch Ophthalmol* 119:881-887
32. Pelli Dg, Robson, J. G., Wilkins, A. J. (1988) The design of a new letter chart for measuring contrast sensitivity. *Clinical Vision Sciences* 2(3):187-199
33. Puell Mc, Palomo C, Sanchez-Ramos C et al. (2004) Normal values for photopic and mesopic letter contrast sensitivity. *J Refract Surg* 20:484-488
34. Subzwari S, Desapriya E, Babul-Wellar S et al. (2009) Vision screening of older drivers for preventing road traffic injuries and fatalities. *Cochrane Database Syst Rev*:CD006252
35. Swets Ja (1988) Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240:1285-1293
36. Von Hebenstreit B (1985) Sehstörungen und Unfallhäufigkeit im Straßenverkehr. *Der Augenarzt* 19:45-48
37. Von Hebenstreit B (1984) Sehvermögen und Verkehrsunfälle. *Der Augenarzt* 18:187-188
38. Williamson Th, Strong Np, Sparrow J et al. (1992) Contrast sensitivity and glare in cataract using the Pelli-Robson chart. *Br J Ophthalmol* 76:719-722

10 Danksagung

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Helmut Wilhelm ganz herzlich für die hervorragende Betreuung bei der Erstellung dieser Doktorarbeit.

Mein Dank geht auch an Herrn Holger Lüdtko von der Datinf GmbH, Tübingen für die Hilfe bei der statistischen Auswertung.