

Aus dem Bereich Arbeitsmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

**Vergleich sinnesphysiologischer Untersuchungsverfahren zur Prüfung des
Kontrastsehens**

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Doktorgrades

Dr. med.

(doctor medicinae)

an der Medizinischen Fakultät
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

vorgelegt von Lisa C. E. Bergmann

aus Hannover

Magdeburg, 2016

Bibliographische Beschreibung:

Bergmann, Lisa C. E.:

Vergleich sinnesphysiologischer Untersuchungsverfahren zur Prüfung des Kontrastsehens. - 2016. - 96 Bl., 22 Abb., 24 Tab., 9 Anl.

Kurzreferat

In der vorliegenden Studie wurden verschiedene sinnesphysiologische Untersuchungsverfahren zur Prüfung des Kontrastsehens miteinander verglichen. Bei 150 normalsichtigen Probanden in zwei Altersgruppen (< 45 Jahre und ≥ 45 Jahre) wurde das Dämmerungssehen mittels Einblickgerät Mesotest II (als Referenzverfahren) und das photopische Kontrastsehen mit den Einblickgeräten Rodatest 302 und Optovist sowie mit den Mars-Tafeln und der VISTECH-Tafel (Sehtafeln) bestimmt. Es zeigte sich ein signifikant schlechteres Kontrastsehen der älteren Probanden. Zwischen den Geschlechtern konnten keine statistisch sicheren Unterschiede nachgewiesen werden.

Das Bestehen der Kontrastsehprüfung mit den einzelnen photopischen Untersuchungsmethoden stimmte nur schwach bis gar nicht mit den Ergebnissen des Mesotest II-Geräts überein. Die Ergebnisse der Prüfung mit dem Optovist sowie mit der VISTECH-Tafel zeigten eine schwache Übereinstimmung zu den Ergebnissen des Mesotest II bei deutlich geringerer Bestehensrate der VISTECH-Tafel aufgrund strenger formulierter Grenzwerte. Die Ergebnisse des Rodatest 302-Geräts stimmten nicht mit denen des Mesotest II überein. Trotz gut mit der VISTECH-Tafel und dem Optovist korrelierender Werte der Kontrastsehprüfung konnte für das Rodatest 302-Gerät nur eine schwache Übereinstimmung im Bestehen der Tests zum Optovist festgestellt werden. Die Ergebnisse der Prüfung mit den Mars-Tafeln wiesen bei binokularer Messung einen Deckeneffekt auf und zeigten monokular keine Übereinstimmung mit denen des Mesotest II.

Obwohl die Werte der Kontrastsehprüfung korrelierten, stimmten die Methoden im Bestehen aufgrund sehr variabel festgelegter Grenzwerte nur schwach bis gar nicht überein. Daher sollten dringend einheitliche Grenzwerte und standardisierte Messbedingungen festgelegt werden.

Schlüsselwörter

Kontrastsehen, Kontrastempfindlichkeit, Dämmerungssehen, Methodenvergleich, Fahrerlaubnisverordnung, Alter, Geschlecht

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VI
Anlagenverzeichnis.....	VIII
Abkürzungsverzeichnis.....	IX
1 Einführung.....	1
1.1 Grundlagen des Sehens.....	1
1.2 Formen und Definitionen des Kontrasts und der Kontrastempfindlichkeit (KE).....	2
1.3 Definition des Dämmerungssehens.....	3
1.4 Sehzeichen und KE-Kurve.....	4
1.5 Messung der KE.....	6
1.6 Einflussfaktoren bei der Bestimmung der KE.....	8
1.6.1 Messtechnische Faktoren.....	8
1.6.2 Endogene Faktoren.....	9
1.6.3 Exogene Faktoren.....	10
1.7 Anwendung der KE-Bestimmung.....	11
1.8 Anforderungen an das Sehvermögen laut FeV.....	12
1.9 Anforderungen an das Kontrastsehen laut Empfehlungen der DOG und DGUV.....	12
1.10 Sinnesphysiologische Untersuchungsverfahren zur Prüfung des Kontrastsehens.....	13
1.10.1 Mesopische Verfahren.....	14
1.10.2 Photopische Verfahren.....	14
2 Zielstellung.....	17
2.1 Annahmen zur Auswertung der Daten.....	17
2.2 Arbeitshypothesen zum Methodenvergleich.....	18
3 Probanden und Methoden.....	19
3.1 Probanden.....	19
3.2 Studiendesign.....	19

3.3	Ein- und Ausschlusskriterien	19
3.4	Anamneseerhebung	20
3.5	Einblickgeräte	20
3.5.1	Mesotest II.....	20
3.5.2	Optovist EU.....	21
3.5.3	Rodatest 302.....	22
3.6	Sehtafeln.....	22
3.6.1	Mars-Tafeln	22
3.6.2	VISTECH-Tafel	24
3.7	Statistische Auswertung.....	25
4	Ergebnisse	27
4.1	Soziodemographische Daten.....	27
4.2	Überprüfung der impliziten Annahmen	29
4.2.1	Vergleich zwischen den Geschlechtern.....	29
4.2.2	Abhängigkeit der Sehleistung vom Alter	30
4.2.3	Korrelationsanalyse der Ergebnisse der verwendeten ophthalmologischen Verfahren mit dem Alter	33
4.3	Methodenvergleich	34
4.3.1	Häufigkeit des Bestehens der einzelnen Methoden	35
4.3.2	Sensitivität und Spezifität der photopischen Verfahren	36
4.3.3	Übereinstimmung von Mesotest II und den photopischen Verfahren	36
4.3.4	Übereinstimmung der photopischen Verfahren untereinander.....	37
4.3.5	Übereinstimmung von rechtem und linkem Auge sowie binokular.....	38
4.3.6	Vergleich der mit Rodatest 302 und Optovist gemessenen Kontrastwerte.....	39
4.3.7	Vergleich von VISTECH-Tafel, Rodatest 302 und Optovist in der sich entsprechenden Ortsfrequenz/Visusstufe	40
4.3.8	Zusammenhang der Häufigkeit der Testergebnisse von Mesotest II und photopischen Verfahren.....	41
4.3.9	Übersichtstabelle zum Bestehen der Methoden	43

4.4	Bestimmung der Verteilungsparameter.....	43
4.4.1	Perzentile der Geräteverfahren	43
4.4.1.1	Berechnung der Perzentile für Mesotest II und Optovist.....	43
4.4.1.2	Berechnung der Perzentile für Rodatest 302	45
4.4.2	Perzentile der Tafelverfahren.....	46
4.4.2.1	Berechnung der Perzentile für die Mars-Tafeln	46
4.4.2.2	Berechnung der Perzentile für die VISTECH-Tafel	46
5	Diskussion	48
5.1	Überprüfung der impliziten Annahmen	48
5.2	Auswertung der Arbeitshypothesen zum Methodenvergleich	50
5.3	Auswertung der Verteilungsparameter der Stichprobe.....	55
5.4	Auswertung der einzelnen Methoden	58
5.5	Fazit	61
6	Zusammenfassung	63
7	Literaturverzeichnis	65
	Danksagungen	70
	Ehrenerklärung.....	71
	Darstellung des Bildungsweges	72
	Publikationen.....	73
	Anlagen.....	74

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Abmessungen des Landoltrings.....	4
Abbildung 2:	Öffnungsmöglichkeiten der Landoltringe.....	4
Abbildung 3:	Sinusgitter (oben) und Rechteckgitter (unten) mit jeweils entsprechender Kurve des Helligkeitsverlaufs	5
Abbildung 4:	KE-Kurve für Optotypen (Buchstaben) und Sinusgitter (Bach et al. 2008).....	6
Abbildung 5:	Bestimmung der KE nach zwei verschiedenen Methoden (modifiziert nach Paliaga 1993).....	7
Abbildung 6:	Beispiel der Mars-Tafel zur Bestimmung der KE (Mars Perceptrix Corporation). 23	
Abbildung 7:	VISTECH-Tafel VCTS 6500	24
Abbildung 8:	Flussdiagramm zu Ausschlusskriterien der Probanden	27
Abbildung 9:	Verteilung der Altersgruppen auf die Geschlechter.....	29
Abbildung 10:	Verteilung des Alters	30
Abbildung 11:	Häufigkeit des Bestehens der einzelnen Methoden mit dem rechten Auge	35
Abbildung 12:	Häufigkeit des Bestehens der einzelnen Methoden mit dem linken Auge.....	35
Abbildung 13:	Häufigkeit des Bestehens der einzelnen Methoden mit beiden Augen.....	35
Abbildung 14:	Übereinstimmung der photopischen Verfahren nach Cohens Kappa auf dem rechten Auge	37
Abbildung 15:	Übereinstimmung der photopischen Verfahren nach Cohens Kappa auf dem linken Auge	37
Abbildung 16:	Übereinstimmung von Optovist und Rodatest 302 nach Cohens Kappa binokular.....	38
Abbildung 17:	Übereinstimmung des Gesamtbestehens von Optovist, Mesotest II und Rodatest 302 nach Cohens Kappa	38
Abbildung 18:	Korrelation der Ergebnisse der Kontrastsehtests von VISTECH-Tafel bei Ortsfrequenz 12 und Rodatest 302 und Optovist bei Visusstufe 0,4 auf rechtem und linkem Auge	41
Abbildung 19:	Zusammenhang der Häufigkeit der Testergebnisse mit den Geräten Mesotest II und Optovist.....	41
Abbildung 20:	Zusammenhang der Häufigkeit der Testergebnisse mit den Geräten Mesotest II und Rodatest 302	42
Abbildung 21:	Zusammenhang der Häufigkeit der Testergebnisse mit Mesotest II und Mars-Tafel.....	42

Abbildung 22: Vergleich der Herstellerangaben und errechneter Werte der Verteilung der
KE an der VISTECH-Tafel 47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Verteilung von Alter, Visus und Augeninnendruck in der Stichprobe	28
Tabelle 2:	Visus und Augeninnendruck	28
Tabelle 3:	Rauchstatus der männlichen und weiblichen Probanden	28
Tabelle 4:	Signifikante Unterschiede der erfassten Parameter im Geschlechtervergleich....	30
Tabelle 5:	Vergleich der Altersgruppen bezüglich des Konsumverhaltens	31
Tabelle 6:	Vergleich der Altersgruppen: Visus rechts, links und binokular sowie Augeninnendruck rechts und links.....	31
Tabelle 7:	Vergleich der Altersgruppen: gemessene Kontrastwerte der Geräteverfahren Mesotest II, Optovist und Rodatest 302	31
Tabelle 8:	Vergleich der Altersgruppen: mit den Mars-Tafeln gemessene KE und Kontrastwerte	32
Tabelle 9:	Vergleich der Altersgruppen: mit der VISTECH-Tafel gemessene KE	32
Tabelle 10:	Verteilung Anamneseparameter in den Altersgruppen	32
Tabelle 11:	Verteilung der Testergebnisse in den Altersgruppen.....	33
Tabelle 12:	Korrelation von Alter und ophthalmologischen Messungen	34
Tabelle 13:	Sensitivität und Spezifität der photopischen Verfahren in Bezug auf das Referenzverfahren Mesotest II.....	36
Tabelle 14:	Cohens Kappa für den Vergleich von Mesotest II mit den photopischen Verfahren.....	37
Tabelle 15:	Übereinstimmung des Bestehens von rechtem und linkem Auge sowie binokular bei den verschiedenen Verfahren	39
Tabelle 16:	Korrelation der mit Rodatest 302 und Optovist ermittelten Kontrastwerte in der Visusstufe 0,16	39
Tabelle 17:	Korrelation der mit Rodatest 302 und Optovist ermittelten Kontrastwerte in der Visusstufe 0,25	40
Tabelle 18:	Korrelation der mit Rodatest 302 und Optovist ermittelten Kontrastwerte in der Visusstufe 0,4	40
Tabelle 19:	Median und Perzentile der mit Mesotest II und Optovist ermittelten Kontrastwerte in AG I	44
Tabelle 20:	Median und Perzentile der mit Mesotest II und Optovist ermittelten Kontrastwerte in AG II	44

Tabelle 21:	Median und Perzentile der mit Rodatest 302 ermittelten Kontrastwerte in AG I sowie Grenzwerte des Herstellers für die Kontrasttests K1 und K2	45
Tabelle 22:	Median und Perzentile der mit Rodatest 302 ermittelten Kontrastwerte in AG II sowie Grenzwerte des Herstellers für die Kontrasttests K1 und K2	45
Tabelle 23:	Median und Perzentile der mit Mars-Tafeln ermittelten KE in AG I	46
Tabelle 24:	Median und Perzentile der mit Mars-Tafeln ermittelten KE in AG II	46

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Führerscheinklassen nach FeV (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2010).....	74
Anlage 2: Votum der Ethikkommission	75
Anlage 3: Informationsbogen zur Studie für die Probanden.....	76
Anlage 4: Muster der Einwilligungserklärung der Probanden	77
Anlage 5: Anamnesebogen.....	78
Anlage 6: Erfassungsbogen für Rodatest 302: K1 und K2	80
Anlage 7: Auswertungsbogen für die VISTECH-Tafel mit zugeordneten Kontrastwerten	82
Anlage 8: Erfassungsbogen für die Mars-Tafeln.....	83
Anlage 9: Übersichtstabelle der Ergebnisse der einzelnen Probanden	84

Abkürzungsverzeichnis

DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DOG	Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft
cd/m ²	Einheit der Leuchtdichte: Candela/Quadratmeter
cpd	Einheit der Ortsfrequenz: Perioden/Grad (cycles per degree)
dpt	Einheit der Brechkraft: Dioptrie
FeV	Fahrerlaubnisverordnung
FzF	Fahrerlaubnis zur Fahrgastbeförderung
g/d	Gramm pro Tag
Kap.	Kapitel
KE	Kontrastempfindlichkeit
K _M	Michelson-Kontrast
KS	Schwellenkontrast
K _v	Kontrastverhältnis
K _w	Weber-Kontrast
mmHg	Einheit des Drucks: Millimeter Quecksilbersäule
OF	Ortsfrequenz
pack-years	Packungsjahre: inhalierte Rauchdosis (pro Tag gerauchte Zigarettenpackungen multipliziert mit den Raucherjahren)

1 Einführung

Das Sehvermögen eines Menschen ist von vielen einzelnen Eigenschaften und Fähigkeiten geprägt und umfasst alle Sehfunktionen des menschlichen Auges, zu welchen u. a. Tagessehschärfe, Gesichtsfeld, Farbsehen, Kontrastsehen, Dämmerungssehvermögen, Blendempfindlichkeit sowie die Stellung und Motilität der Augen gehört (Deutsches Institut für Normung e.V. 1998; Böckelmann und Pfister 2007). Im Alltag wird von Augenärzten, Arbeits-/Betriebsmedizinern und Optikern meist nur die Sehschärfe (*visus cum correctione*) geprüft. Diese definiert sich über die Fähigkeit des Auges zur Wahrnehmung zweier eng beieinanderliegender Objektpunkte (z. B. Öffnung des Landoltrings) mit feinem Detail bei hohem Kontrast und optimaler optischer Korrektur etwaiger Refraktionsanomalien als zwei voneinander getrennte Punkte. Der Visus kann durch den Kehrwert der Lückenbreite des kleinsten erkennbaren Landoltrings (Abbildung 1) in Winkelminuten beschrieben werden. Unter Sehleistung (*visus sine correctione*) versteht man hingegen die Sehschärfe oder das Auflösungsvermögen ohne jede optische Korrektur.

Allein durch die Sehschärfe lässt sich das Sehvermögen eines Menschen jedoch nicht ausreichend beurteilen. Im Alltag sind die Lichtbedingungen selten so optimal, wie es in Testsituationen der Fall ist (Böckelmann und Pfister 2007; Wilhelm 2008). Umso wichtiger ist es, neben der Sehschärfe weitere Parameter zur Erfassung des tatsächlichen Sehvermögens unter Alltagsbedingungen zu erheben. Dabei gewinnt das Kontrastsehen als eine weitere Funktion des Sehorgans zunehmend an Bedeutung (Bach et al. 2011; Wilhelm et al. 2011; 2013; Hertenstein et al. 2016).

Seit Juli 2011 ist auch in der Fahrerlaubnisverordnung (FeV) und für die Fahrerlaubnis zur Fahrgastbeförderung (FzF) die Überprüfung des Kontrastsehens oder des Dämmerungssehens zusätzlich zu den bereits vorher verlangten Prüfungen visueller Leistungen vorgeschrieben (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2010). Die Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft (DOG) gibt laufend aktuelle Empfehlungen zur Prüfung des Kontrast- und Dämmerungssehens ab. Für viele Verfahren sind aber derzeit noch keine Normwerte von Seiten der DOG empfohlen (Bach et al. 2011). Das Kontrastsehen als sinnvolle Ergänzung zu den üblichen Testverfahren bedarf daher weiterer Betrachtung und Forschung, um entsprechende Verfahren in Zukunft u. a. auch in der arbeits-/betriebsmedizinischen Praxis weiter zu etablieren.

1.1 Grundlagen des Sehens

Zentraler Reiz des menschlichen Sehens ist Licht mit Wellenlängen von 400 bis 750 nm und einer Leuchtdichte von 10^{-4} bis 10^{-7} cd/m². Dieses trifft im menschlichen Auge auf die Netzhaut (Retina) und wird dort von zwei verschiedenen Typen von Photorezeptoren (Stäbchen und Zapfen) mithilfe

von Sehfärbstoff absorbiert. Photorezeptoren sind Zellen, die die Lichtenergie in elektrische Energie in Form von Rezeptorpotentialen umwandeln. Die Stäbchen dienen dabei dem skotopischen Sehen in der Dunkelheit und können Helligkeitsunterschiede wahrnehmen. Die Zapfen sind für das Tagessehen und damit vor allem für das Farbsehen zuständig. Im Übergangsbereich der Dämmerung, welche das mesopische Sehen kennzeichnet, kommen sowohl Stäbchen als auch Zapfen zum Einsatz. Das in den Photorezeptoren gebildete elektrische Potential wird über Nervenzellen der Netzhaut und des Sehnerven bis in die Sehrinde des menschlichen Gehirns weitergeleitet. Auf den verschiedenen Ebenen der Reizleitung von der Netzhaut bis zur Sehrinde findet die Verarbeitung der fortgeleiteten Information statt. Durch Verbindungen zu verschiedenen Hirnarealen erfolgt die Erkennung, Interpretation und Bewertung von Raum, Bewegungen, Objekten, Farben und Gesichtern bis hin zur Schrift (Eysel 2007).

1.2 Formen und Definitionen des Kontrasts und der Kontrastempfindlichkeit (KE)

Grundlegend wird zwischen photometrischem und physiologischem Kontrast unterschieden. Dabei beschreibt der photometrische Kontrast den Leuchtdichteunterschied zweier (benachbarter oder zeitlich aufeinander folgender) Objekte bzw. Flächen. Dahingegen ist der physiologische Kontrast eine Funktion des Sehsystems, die als eine Verarbeitung und Verstärkung der Kontrastwahrnehmung beschrieben ist und eine aktive Funktion des Gehirns darstellt (Bach et al. 2008; Böckelmann 2016).

Durch die Verarbeitung visueller Reize von der Netzhaut bis zur Sehrinde wird die Kontrastwahrnehmung verändert. Entlang einer Hell-Dunkel-Grenze wird zum Beispiel der dunklere Teil etwas dunkler und der hellere etwas heller wahrgenommen. Dieses Phänomen der frühen Verarbeitung visueller Reize wird Simultankontrast genannt und beruht auf der Verschaltung der Ganglienzellen der Netzhaut. Durch diesen Grenzkontrast wird sowohl die Sehschärfe als auch das Formsehen verbessert (Eysel 2007). Abgrenzen davon muss man den Sukzessivkontrast. Bei längerer Betrachtung eines Objekts kommt es zur Adaptation der Netzhaut. Dunklere bis schwarze Objekte führen hierbei zu einer geringeren Adaptation, sodass es bei anschließendem Betrachten einer weißen Fläche zu einer stärkeren Erregung und dadurch Erzeugung eines sich hell abgrenzenden Nachbildes kommt (Eysel 2007).

Für die Sehfunktion Kontrastsehen bestehen zahlreiche Definitionen zur Quantifizierung, von denen sich bislang noch keine einheitlich durchgesetzt hat. Der Vergleich verschiedener Verfahren zur Bestimmung der Kontrastempfindlichkeit (KE) des Auges wird oft durch das Zugrundelegen verschiedener Kontrastdefinitionen erschwert.

Für kleine Sehobjekte auf homogener Fläche eignet sich der Weber-Kontrast (K_W). Er berechnet sich aus der Leuchtdichte des Sehobjekts (L_i) und der Leuchtdichte der Umgebung (L_u):

$$K_W = \frac{L_i - L_u}{L_u} = \frac{\Delta L}{L_u}$$

Er findet besonders Verwendung in Testmethoden, die sich Optotypen wie dem Landoltring bedienen, und ist daher Grundlage sowohl der Geräte Optovist und Rodatest 302 sowie auch der Mars-Tafeln.

In Sinusgittertests wie der VISTECH-Tafel wird der Michelson-Kontrast (K_M) bevorzugt verwendet, in den die maximale (L_{max}) und die minimale (L_{min}) Leuchtdichte eingehen:

$$K_M = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

Besonders optische Anzeigen geben das Kontrastverhältnis (K_v) an, das oft in Relation zu 1 angegeben wird. Es findet bevorzugt bei der Bestimmung des Kontrastsehens unter Dämmerungsbedingungen mittels Mesotest II-Gerät Verwendung und geht auf Aulhorn und Harms zurück (Aulhorn und Harms 1970; Bach et al. 2011):

$$K_v = \frac{L_{max}}{L_{min}}$$

Der Schwellenkontrast (KS) ist der kleinste noch erkennbare Helligkeitsunterschied. Auf Basis der verschiedenen Kontrastdefinitionen wird von den unterschiedlichen Messgeräten der Schwellenkontrast des Probanden bestimmt. Die KE als Kehrwert des Schwellenkontrasts mit

$$KE = \frac{1}{KS}$$

definiert sich letztendlich über die Fähigkeit des Menschen, sowohl örtliche als auch zeitliche Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen (Böckelmann und Pfister 2007).

1.3 Definition des Dämmerungssehens

Bei der Bestimmung der KE unterscheidet man grundsätzlich nach der Leuchtdichte die photopischen ($> 10 \text{ cd/m}^2$) von den mesopischen ($0,01 \text{ cd/m}^2 - 10 \text{ cd/m}^2$) und skotopischen ($< 0,01 \text{ cd/m}^2$) Untersuchungsbedingungen (Amort 2011). Das Dämmerungssehen oder mesopische Kontrastsehen beschreibt die Fähigkeit der Kontrastwahrnehmung unter mesopischen Bedingungen. Hier wird der Schwellenkontrast unter Dämmerungsbedingungen bestimmt, bei denen im Gegensatz zur photopischen Bestimmung neben den Zapfen wegen der geringeren Leuchtdichte auch die Stäbchen als Sehzellen zum Einsatz kommen. Die Umgebungsleuchtdichte ist beim Dämmerungssehen stark

herabgesetzt (Bach et al. 2011). In der hier vorliegenden Studie wurde das Dämmerungssehen mithilfe des Einblickgeräts Mesotest II bestimmt, das eine Leuchtdichte von $0,032 \text{ cd/m}^2$ bietet.

1.4 Sehzeichen und KE-Kurve

Die KE ist abhängig von den verwendeten Sehzeichen (Optotypen), das heißt den in den Sehtests verwendeten Zahlen, Buchstaben, Landoltringen oder anderen Zeichen. Der Landoltring gilt nach DIN EN ISO 8596 als Normsehzeichen (Abbildung 1) und wird sowohl zur Messung des Visus als auch der KE verwendet. Dabei ist er so definiert, dass sowohl die Strichstärke des Rings als auch die Lückenbreite genau einem Fünftel des Ringdurchmessers entspricht (Wesemann et al. 2010). Der Landoltring existiert in acht verschiedenen Positionsvarianten (Öffnung nach rechts, links, oben und unten sowie diagonal jeweils zwischen den horizontalen und vertikalen Ausrichtungen; Abbildung 2), die in ihrer Erkennbarkeit nahezu gleich sind (Rassow et al. 1990).

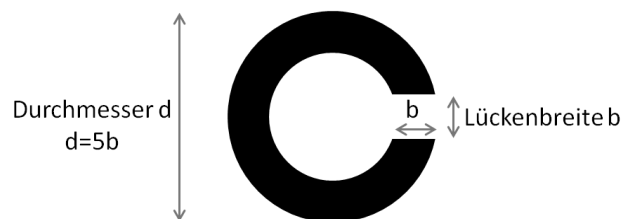


Abbildung 1: Abmessungen des Landoltrings

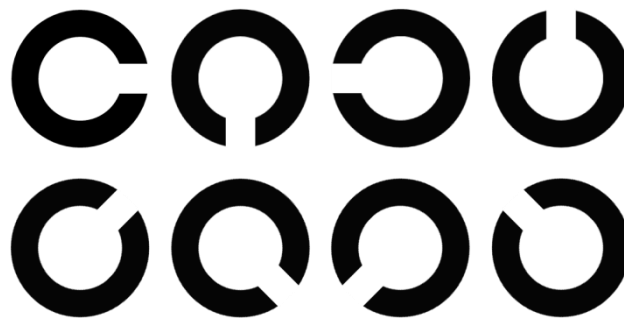


Abbildung 2: Öffnungsmöglichkeiten der Landoltringe

Des Weiteren können zur KE-Messung (und auch Visusmessung (Gittersehschärfe)) Gittermuster wie Sinusgitter verwendet werden. Auch wenn sie sich als eindimensionale Darstellungen von den Optotypen, die zweidimensionale Strukturen sind, abgrenzen, kann die Gittersehschärfe in die anguläre Sehschärfe der Optotypen umgerechnet werden. Dies lässt aber außer Acht, dass die zwei Formen auf unterschiedlichen Verarbeitungsmechanismen beruhen und daher zwar zusammenhängend, aber nicht gleichbedeutend sind (Lachenmayr et al. 2006).

Sinusgitter stellen Schwarz-Weiß-Perioden unterschiedlicher Ortsfrequenzen (OF) dar (Abbildung 3). Die Ortsfrequenz beschreibt hierbei die Anzahl der Schwarz-Weiß-Perioden pro Winkelgrad (Böckelmann und Pfister 2007). Im Gegensatz zu einem rechteckigen Kontrastverlauf mit nur zwei verschiedenen, sich abwechselnden Kontrastwerten der Rechteckgitter liegt den Sinusgittern ein sinusförmiger Kontrastverlauf zugrunde. Somit verlaufen alle Kontrastabstufungen zwischen einem maximalen und minimalen Kontrast periodisch. Diese Darbietung basiert auf der Annahme, dass alle im visuellen System verarbeiteten Kontraste aus einzelnen Ortsfrequenzen zusammengesetzt sind. Ein Rechteckgitter stellt so zum Beispiel die Summe verschiedener Sinusgitter mit unterschiedlicher Amplitude und Ortsfrequenz dar. Sehr viel komplexer sind andere Sehobjekte und Sehzeichen wie Landoltringe oder Buchstaben, die aus einem Spektrum an Ortsfrequenzen zusammengesetzt sind. Das Sinusgitter bildet daher den elementarsten Reiz des visuellen Systems und bietet den Vorteil, eine einzige Ortsfrequenz prüfen zu können, was mit keinem anderen Sehzeichen möglich ist (Rassow 1988; Verkehrskommission der DOG 2013).

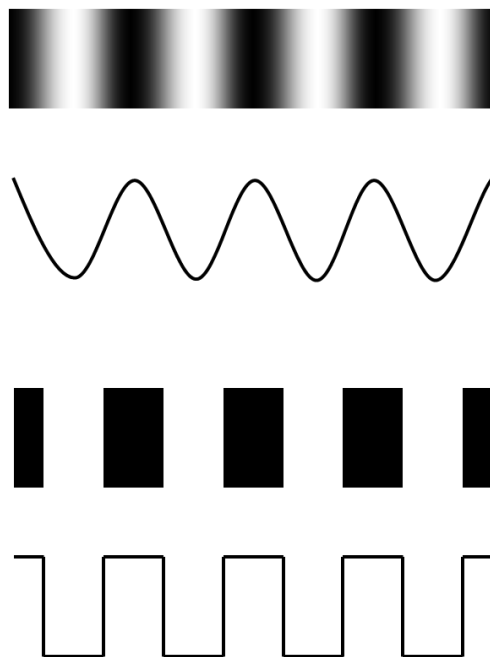


Abbildung 3: Sinusgitter (oben) und Rechteckgitter (unten) mit jeweils entsprechender Kurve des Helligkeitsverlaufs

Durch Messung der KE für verschiedene Ortsfrequenzen erhält man eine Kurve, die die KE in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz abbildet (Abbildung 4). Für Sinusgitter hat die KE-Kurve einen sogenannten Bandpasscharakter. Das heißt, dass bei Ortsfrequenzen von circa 3 - 5 Perioden/Grad die maximale KE im Bereich von 300 liegt. Höhere oder niedrigere Ortsfrequenzen führen zu einem Abfall der KE.

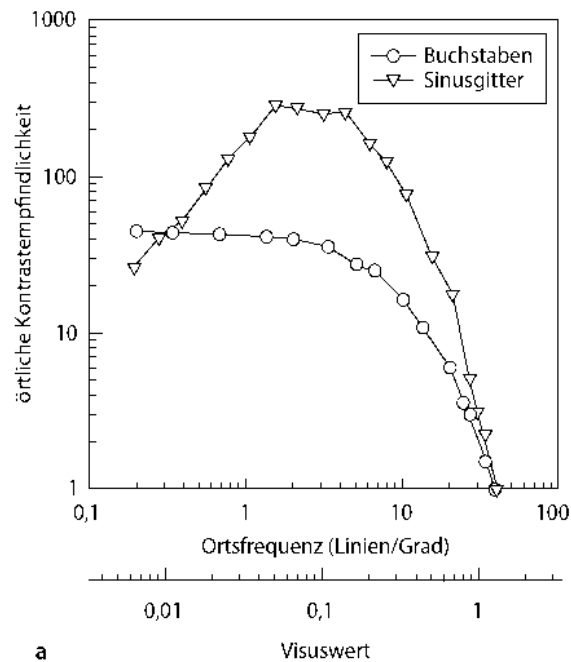


Abbildung 4: KE-Kurve für Optotypen (Buchstaben) und Sinusgitter (Bach et al. 2008)

Bei Verwendung von Optotypen wie zum Beispiel Buchstaben oder auch Landoltringen zeigt sich ein Tiefpasscharakter der KE-Funktion. Hier liegt eine maximale KE vor, die ab einer bestimmten Grenze der Ortsfrequenz mit weiter steigender Ortsfrequenz stetig abnimmt (Arden 1978; Paliaga 1993; Bach et al. 2008).

1.5 Messung der KE

Bei der Bestimmung der individuellen KE eines Probanden kann man verschiedene Vorgehensweisen heranziehen. Dazu empfiehlt es sich, zunächst die KE-Kurve näher zu betrachten. Es ist ersichtlich, dass die KE von der Ortsfrequenz abhängig ist. Wie bereits für die Sinusgitter beschrieben, ist die KE maximal im OF-Bereich von 3 bis 5 Perioden/Grad. Sowohl zu niedrigeren Ortsfrequenzen hin als auch zu höheren sinkt die KE. Übertragen auf Sehzeichen heißt das, der Proband kann Kontraste im Bereich mittlerer Sehzeichengröße am besten erkennen. Kleinere oder größere Sehzeichen dieses Kontrastwertes können weniger gut erkannt werden.

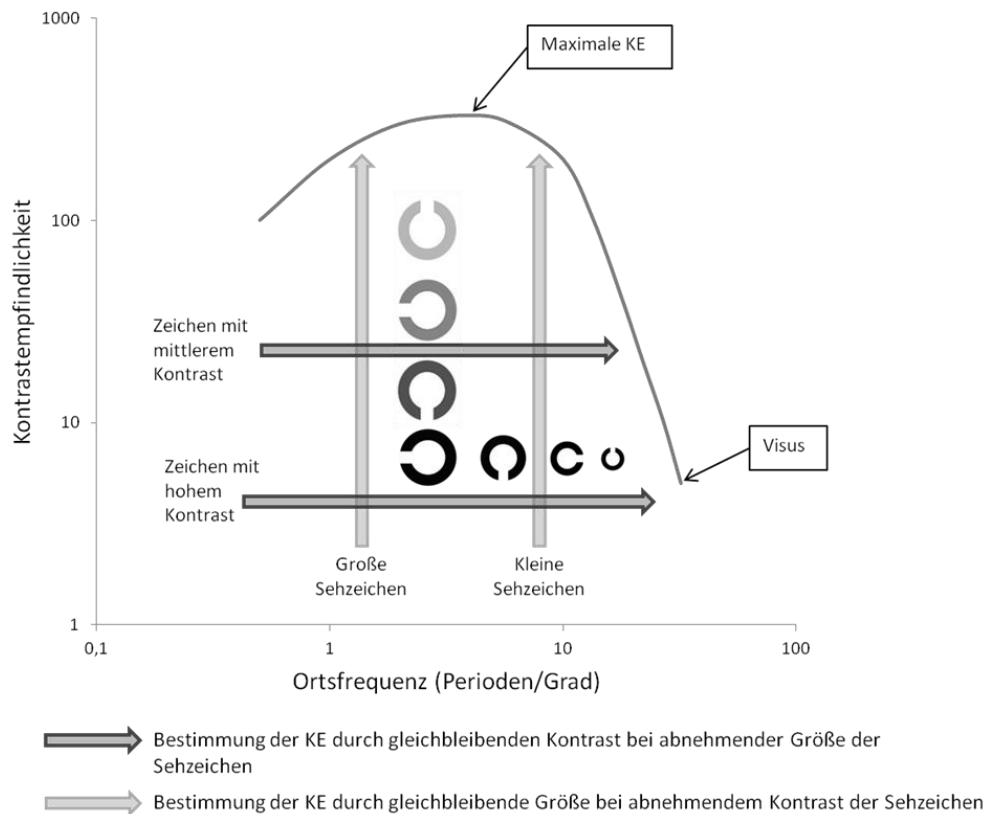


Abbildung 5: Bestimmung der KE nach zwei verschiedenen Methoden (modifiziert nach Paliaga 1993)

Aus der KE-Kurve ergibt sich, dass die KE auf unterschiedliche Weise gemessen werden kann. Zum einen kann ein Sehzeichen oder Sinusgitter einer Kontraststufe verkleinert und der Wert ermittelt werden, bei dem das Sehzeichen gerade noch erkannt wird. Genauso wird dann mit einem Sehzeichen der nächst niedrigeren Kontraststufe vorgegangen. Die Kurve wird durch Messungen in der Waagerechten von links nach rechts ermittelt.

Zum anderen kann ein Sehzeichen einer feststehenden Größe im Kontrast zunehmend vermindert werden, bis der Proband das Sehzeichen nicht mehr erkennt. Dann wird ein Sehzeichen anderer Größe verwendet und genauso der Kontrast vermindert. Auf diese Weise wird die KE-Kurve durch Messungen in der Senkrechten bestimmt (Abbildung 5).

Der mit der ersten Methode ermittelte Wert bei höchst möglichem Kontrast entspricht dem Visus. Daraus ergibt sich, dass es ausreicht, die KE für niedrige und mittlere Ortsfrequenzen zu bestimmen, da der Wert bei hohen Ortsfrequenzen schon ausreichend durch den Visus beschrieben wird (Paliaga 1993).

Die Ortsfrequenz eines Sehzeichens steht in Beziehung zum Visus (Abbildung 4). Diesem lässt sich eine Ortsfrequenz zuordnen, die dem Abstand der Gitterlinien entspricht, der noch erkannt werden kann. Die im Folgenden in den einzelnen Testmethoden beschriebenen Visusstufen stellen jeweils die

Größe der Sehzeichen dar. Sie geben an, welchem Visuswert der gezeigte Landoltring (nach der Visusdefinition, siehe Kap. 1) entspräche, wenn bei hohem Kontrast getestet würde.

1.6 Einflussfaktoren bei der Bestimmung der KE

Das Kontrastsehen eines Menschen ist von vielen Faktoren abhängig, die die Ausprägung des Kontrastsehens maßgeblich beeinflussen. Bei der Ermittlung von Referenzwerten für die KE ist daher die Erfassung endogener und exogener Faktoren sowie die Ein- bzw. Konstanthaltung der Messbedingungen wichtig, um verlässliche und reproduzierbare Werte zu erhalten.

1.6.1 Messtechnische Faktoren

Die KE ist von zahlreichen Messbedingungen abhängig. Dazu zählen nach Bach et al. (2008) folgende Parameter:

- die Art der verwendeten Optotypen oder Sinusgitter,
- die Ortsfrequenz bei Sinusgittern bzw. die Größe der Optotypen,
- die Ausrichtung der Testzeichen,
- die Darbietungszeit,
- das geprüfte Gesichtsfeld,
- die Größe des Prüffeldes,
- die Leuchtdichte von Prüffeld und Umgebung,
- die spektrale Zusammensetzung des von Prüffeld und Umgebung zurückgeworfenen Lichts,
- die Art der Schwellenermittlung sowie das Abbruchkriterium,
- der Refraktionsstatus und
- die Tatsache, ob monokular oder binokular getestet wurde.

Daraus folgt, dass all diese Parameter bei den Messungen des Kontrastsehens so konstant wie möglich gehalten werden sollten, um einen verlässlichen Messwert zu erhalten. Auch erklärt sich hierdurch, dass sich für jedes Untersuchungsverfahren andere Normwerte ergeben und die einzelnen Verfahren selbst bei gleicher Kontrastdefinition nicht direkt miteinander verglichen werden können, weil derartige Einflussfaktoren die Verfahren unterscheiden (Bach et al. 2008).

Besonders die Beleuchtung hat einen starken Einfluss auf die gemessene KE. Unter mesopischen Bedingungen ist die KE sehr viel geringer als unter photopischen, aber auch zu große Leuchtdichten, die zu Blendung führen, bewirken einen Abfall der KE (Paliaga 1993; Rassow 1999; Sutter 2006; Berke 2009; Durst et al. 2011; Wilhelm 2011). Generell lässt sich sowohl das Kontrastsehen als auch das Dämmerungssehen ohne und mit Blendung messen, wobei besonders letzteres im Hinblick auf die Fahrzeugführung bei Nacht von Interesse ist.

Daneben kommt auch der Festlegung, ob monokular oder binokular getestet wird, Bedeutung zu. Nach Paliaga (1993) liegt der binokulare Wert 40 % höher als die monokular gemessene KE. Auch Naycheva (2012) fand, dass die KE binokular besser war als monokular.

Die Adaptation des menschlichen Auges auf bestimmte Helligkeiten führt zu unterschiedlicher Wahrnehmung von Kontrasten. Sowohl Apelt et al. (2010) mit Messungen im photopischen Bereich als auch Rassow (1999) im mesopischen Bereich konnten keinen Einfluss der Adaptation auf die KE nachweisen. Schmidt-Clausen und Freiding (2004) variierten die Adaptationszeit bei fünf Probanden zwischen 1 und 60 Minuten bei $0,01 \text{ cd/m}^2$ und $0,032 \text{ cd/m}^2$. Lediglich bei einer herabgesetzten Leuchtdichte von $0,032 \text{ cd/m}^2$ fanden sie eine mit zunehmender Adaptationszeit abnehmende Kontrastschwelle. Einschränkend war jedoch die erhöhte Standardabweichung und Werte, die alle im Bereich von weniger als 1,5 Kontraststufen lagen, sodass keine definitive Aussage zum Einfluss der Adaptationszeit gemacht werden konnte. Die DOG empfiehlt letztendlich eine „ausreichende Dunkeladaptation“ bei der Messung der mesopischen KE (Bach et al. 2011). Nach Böckelmann und Pfister (2007) sollte diese 10 bis 15 Minuten betragen.

Pestilli et al. (2007) zeigten, dass die KE durch die Adaptation an bestimmte Kontrastwerte beeinflusst wird. Auch Arden (1978) erläutert, dass die Adaptation des Auges an einen Kontrast dazu führt, dass die Empfindlichkeit für diese Ortsfrequenz zeitweise verringert ist. Andere Ortsfrequenzen sind gemäß dem Modell der visuellen Kanäle unbeeinträchtigt oder können besser wahrgenommen werden. Die neuronale Antwort ist somit abhängig von der Adaptation an bestimmte Ortsfrequenzen.

Ein besonderes Augenmerk im Rahmen der Einflussfaktoren der KE fällt auf die Methodik der Schwellenermittlung. Hier hat sich die forced-choice-Variante durchgesetzt. Das bedeutet, dass ein Proband angehalten ist, immer eine Antwort aus den vorgegebenen Antwortalternativen zu geben, auch wenn er meint, ein Sehzeichen nicht mehr erkennen zu können. Auf diese Weise wird verhindert, dass es zwischen den Probanden und zwischen den einzelnen Antworten unterschiedliche Entscheidungskriterien gibt, ab wann eine Antwort gegeben wird. Dabei wird in Kauf genommen, dass Probanden der Ratewahrscheinlichkeit entsprechend mehr Sehzeichen richtig benennen. Die forced-choice-Methode ermöglicht einheitliche Testbedingungen für alle Probanden (Paliaga 1993).

1.6.2 Endogene Faktoren

Abgesehen von den messtechnischen Einflussfaktoren existieren viele weitere Faktoren, die die KE eines Menschen negativ beeinflussen können. So führen verschiedene Grunderkrankungen wie

arterielle Hypertonie und Diabetes mellitus zu vermindertem Kontrastsehen (Böckelmann et al. 2010; Lüthke 2014).

Außerdem bedingen zahlreiche Augenerkrankungen wie lichtstreuende Augenmedien bei Katarakt oder Hornhautnarben oder auch Erkrankungen der Ganglienzellen und des Nervus opticus verminderte Werte bei der Bestimmung des Schwellenkontrasts (Paliaga 1993; Berglöff und Faschinger 1994; Böckelmann et al. 2002; Bach et al. 2008). Auch einige neurologische Erkrankungen wie zum Beispiel Morbus Parkinson und Multiple Sklerose können zu einer reduzierten KE führen (Berglöff und Faschinger 1994; Archibald et al. 2011).

Falsch oder unzureichend korrigierte Fehlsichtigkeit sowie Astigmatismus beeinflussen die KE ebenfalls. Fehlsichtigkeit wirkt sich dabei besonders im Bereich hoher Ortsfrequenzen negativ auf das Kontrastsehen aus, da dieser Bereich der Visusmessung nah ist (Paliaga 1993).

Ein entscheidender Faktor für die KE ist vor allem das Alter. Die KE wird als Funktion des Alters mit im Alter abnehmendem Kontrastsehen beschrieben (Paliaga 1993; Wood 2002; Eisenbarth et al. 2008; Heimbucher 2009; Höllerhage 2012). Eine Altersabhängigkeit ist genauso auch für das Dämmerungssehen beschrieben (Scharwey et al. 1998). Paliaga (1993) spricht von Maximalwerten der KE zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr und einem anschließenden Abfall. Bei Älteren kommt es zu einem mit dem Alter zunehmenden Anstieg des Schwellenkontrasts und somit zu deutlich verminderter Fähigkeit zur Erkennung von Helligkeitsunterschieden besonders bei hohen und mittleren Ortsfrequenzen. Hintergrund der Verschlechterung des Kontrastsehens im Alter sind besonders optische, aber auch neurale Veränderungen (Skalka 1980; Sokol et al. 1980; Burton et al. 1993; Glass 2007; Berke 2009).

Keinen Einfluss auf die KE oder auch den Visus hat laut Hohberger et al. (2007) das Geschlecht der Probanden. Zu dieser Fragestellung stehen allerdings nur wenige Daten zur Verfügung.

1.6.3 Exogene Faktoren

Die langfristige Einwirkung von Schadstoffen ist ein weiterer möglicher Grund für vermindertes Kontrastsehen. Der Konsum von Alkohol führt sowohl bei chronischer als auch bei kurzfristiger Aufnahme zu einer Verringerung der KE (Zulauf et al. 1988; Andre et al. 1994; Nicholson et al. 1995; Roquelaure et al. 1995; Pearson und Timney 1998; Lüthke 2014). Wie Alkohol wirkt sich auch das Zigarettenrauchen negativ auf die KE aus (Böckelmann und Pfister 2008; Lüthke 2014).

Des Weiteren spielt die Exposition gegenüber organischen Lösemitteln oder Blei eine wichtige Rolle, da sie ebenfalls zu vermindertem Kontrastsehen führt (Frenette et al. 1991; Campagna et al. 1995; Böckelmann et al. 2001; 2003; 2008; Costa et al. 2012; Lüthke 2014). Hierbei sind besonders die intermediären Ortsfrequenzen betroffen, sodass von Veränderungen der neurooptischen

Transmission ausgegangen wird. Die KE kann somit als Zeichen beruflicher Neurotoxizität lange vor klinischen Veränderungen auffällig sein.

Auch die Aufmerksamkeit des Probanden hat einen Einfluss auf die Ergebnisse in der Bestimmung der KE. Dabei kann die Aufmerksamkeit nach Pestilli et al. (2007) den oben beschriebenen Effekt der Adaptation an die Kontrastwahrnehmung überwinden.

1.7 Anwendung der KE-Bestimmung

Die Bestimmung der KE kann aus ganz unterschiedlichen Gründen sinnvoll sein. Entscheidend ist sie vor allem zur Erfassung der tatsächlichen Sehfunktion. Der Visus allein ist kein ausreichendes Maß für das Sehvermögen unter Alltagsbedingungen. So zeigt sich der Verlust von Visus und KE nicht zwangsweise simultan (Bellmann et al. 2003). Während die Sehschärfe noch normal sein kann, können Einschränkungen in der KE schon zu deutlichen Sicherheitseinbußen im Straßenverkehr oder bei Überwachungs- und Steueraufgaben führen (Wilhelm 2008). Daher ist die Überprüfung des Kontrastsehens alternativ zum Dämmerungssehen in der neuen FeV seit 2011 vorgeschrieben (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2010). Die Messung der KE beim Betriebsarzt dient hier dem Zweck eines Siebtests und entscheidet, wer zur näheren Diagnostik zum Facharzt für Augenheilkunde weitergeleitet werden muss (Wilhelm et al. 2011). Das Kontrastsehen hat auf diese Weise Einzug in Fahreignungsuntersuchungen und arbeitsmedizinische Vorsorge gefunden, besonders in der Schiff- und Luftfahrt. Für Fahr-, Steuer- und Überwachungstätigkeiten ist im Grundsatz G 25 der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) insbesondere die Prüfung des Dämmerungssehens und der Blendempfindlichkeit enthalten (Ausschuss "Arbeitsmedizin" 2010; DGUV 2014). In der Dämmerung und bei ungünstiger Witterung wie Bewölkung, Nebel oder Regen hat sich ein gutes Kontrastsehen als nützlich erwiesen. Neben derartigen präventiven Untersuchungen findet die Bestimmung der KE auch Verwendung in der Diagnostik und der Verlaufskontrolle von zahlreichen Erkrankungen der Netzhaut, des Sehnerven, der Sehbahn und der Sehzentren. Die Erhebung der KE bei verschiedenen Ortsfrequenzen und dadurch die Aufdeckung von partiellen Defiziten kann Hinweise auf die Ursache der Einschränkung geben (Paliaga 1993; Böckelmann und Pfister 2007; Böckelmann et al. 2010; Darius et al. 2010). So ist zum Beispiel bei Netzhauterkrankungen oder auch kortikalen Ursachen der Abfall der KE zu niedrigen Ortsfrequenzen hin typisch, während die Katarakt sowohl für niedrige als auch besonders für hohe Ortsfrequenzen Einschränkungen der KE bewirkt (Böckelmann und Pfister 2007; Bach et al. 2008). Trotz allem lässt sich vom Kurvenverlauf der KE nicht eindeutig auf eine bestimmte Erkrankung rückschließen. Die KE-Kurve ist daher vielmehr als ein Hinweis auf mögliche Pathologien zu verstehen.

Nicht zuletzt spielt die KE auch eine Rolle bei Einwirkungen auf den optischen Apparat wie Hornhautnarben, Verätzungen, im Verlauf von Katarakterkrankungen und begleitend in der Hornhaut- und Linsen Chirurgie (Bach et al. 2008).

Es können somit viele Erkrankungen, die sich auf die optischen Medien, die Netzhaut oder Sehbahn auswirken, unter Zuhilfenahme der KE diagnostiziert und im Verlauf beobachtet werden. Dabei wird die KE besonders dann relevant, wenn Funktionsstörungen erfasst werden sollen, die mit den üblichen Testmethoden nicht ausreichend sicher erkannt werden können.

1.8 Anforderungen an das Sehvermögen laut FeV

Laut Anlage 6 der FeV vom 01.07.2011 werden an das Sehvermögen von Fahrzeugführern spezielle Anforderungen gestellt. Für die Führerscheinklassen A, A1, A2, B, BE, AM, L und T (A = Motorradklassen, B = PKW-Klassen, L/T = Zug- und Arbeitsmaschinen, siehe Anlage 1) ist ein Mindestvisus von 0,7 gefordert. Nach Begutachtung durch einen Augenarzt und Fehlen von Ausschlusskriterien ist auch ein Visus von 0,5 ausreichend.

Für die Führerscheinklassen C, C1, CE, C1E, D, D1, DE, D1E (C = LKW-Klassen, D = Busklassen) und die FzF gelten strengere Grenzwerte. Im Siebttest durch den Arbeits- oder Betriebsmediziner ist ein Visus monokular jeweils von 0,8 und binokular von 1,0 gefordert bei einer maximalen Brillenkorrektur von plus 8 dpt. Außerdem muss ein normales Farbsehen, ein normales Gesichtsfeld, Stereosehen und „ausreichendes Kontrast- oder Dämmerungssehen“ (ohne nähere Erläuterung) nachgewiesen werden. Letzteres muss mit einem „standardisierten anerkannten Prüfverfahren“ gemessen werden (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2010). Werden diese Vorgaben nicht erfüllt, muss ein Augenarzt aufgesucht werden. Dabei gelten dann für das schlechtere Auge ein Visus von 0,5 und für das bessere Auge oder binokular 0,8, wobei ohne Korrektur der Visus nicht unter 0,05 liegen darf. Auch hier darf die maximale Brillenkorrektur plus 8 dpt nicht überschreiten. Hinzu kommt beim Augenarzt noch die Prüfung der Blendempfindlichkeit (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2010).

1.9 Anforderungen an das Kontrastsehen laut Empfehlungen der DOG und DGUV

Es bestehen nicht für alle auf dem Markt verfügbaren Methoden Empfehlungen von Seiten der DOG. Die Hersteller der verschiedenen Testmethoden geben Grenzwerte an, die zumeist aber noch nicht langfristig standardisiert und anerkannt sind bzw. sich aufgrund mangelnder Vergleichbarkeit auf nur wenige Studien stützen. Die bestehenden Normwerte und darauf basierenden Mindestanforderungen der DOG beruhen auf Daten lang erprobter Untersuchungsmethoden.

Bezüglich des Dämmerungssehens werden folgende Mindestanforderungen als Kehrwert des Kontrastverhältnisses (K_v) von der DOG empfohlen (DOG-Kommission für die Qualitätssicherung sinnesphysiologischer Untersuchungsverfahren und Geräte 2016):

Klasse AM, A1, A2, A, B, BE, L, T:	1:23
Klasse C1, C1E, C, CE sowie Taxi:	1:5
Klasse D1, D1E, D, DE:	1:2,7

Für das photopische Kontrastsehen konnten seitens der DOG bislang keine Mindestanforderungen für den Erwerb des Führerscheins nach FeV angegeben werden. Hier sind dringend weitere Studien nötig, um in Zusammenschau der Ergebnisse festzustellen, ab welchen Schwellenkontrastwerten das sichere Führen eines Fahrzeugs gewährleistet werden kann (Bach et al. 2011).

In der arbeitsmedizinischen Prüfung richten sich die im Grundsatz G 25 der DGUV gestellten Forderungen an das Sehvermögen für Tätigkeiten, die unter die FeV fallen, nach den dort aufgeführten Mindestvoraussetzungen. Dabei erfolgt die Aufteilung in zwei Anforderungsstufen, denen die Fahrerlaubnisklassen zugeordnet sind (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) 2014).

Anforderungsstufe 1 (höhere Anforderungen):	C-Klassen, D-Klassen, FzF ohne und mit Blendung 1:2,7
Anforderungsstufe 2 (niedrigere Anforderungen):	Klassen A, B, L, T ohne und mit Blendung 1:5

1.10 Sinnesphysiologische Untersuchungsverfahren zur Prüfung des Kontrastsehens

Im Juli 2011 wurden die Anforderungen an das Sehvermögen in Anlage 6 der FeV geändert. Seitdem ist zusätzlich zu den bereits geforderten Untersuchungen die Überprüfung des Kontrastsehens oder des Dämmerungssehens mit einem geeigneten standardisierten Testverfahren vorgeschrieben. Dieser Zusatz erscheint sehr sinnvoll, da die Sehschärfebestimmung bei optimalen Licht- und Kontrastverhältnissen in keiner Weise den Alltagsbedingungen im Straßenverkehr entspricht. Besonders bei schlechter Witterung, Nebel oder schlechten Lichtverhältnissen ist die tatsächliche Sehleistung im Vergleich zur erreichten Leistung bei der Visusbestimmung durch den Arbeits-/Betriebsmediziner deutlich verringert (Böckelmann und Pfister 2007; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2010; Amort 2011).

Da bei photopischen und mesopischen Untersuchungsbedingungen unterschiedliche Photorezeptoren im Auge zum Einsatz kommen, lassen sich die in der Praxis verwendeten Verfahren nicht direkt vergleichen (Amort 2011). Vielmehr unterscheidet sich die ermittelbare Kontrastschwelle sehr bei verschiedenen Beleuchtungsbedingungen (Bach et al. 2011). Wegen der zugrunde liegenden physiologischen Unterschiede des Sehens bei verschiedenen Leuchtdichten ist über die Bestimmung des Kontrastsehens auch keine Früherkennung von Nachtblindheit möglich. Wilhelm et al. (2013) empfehlen für die Frage nach Nachtfahrverbot nach absolviertem photopischen Siebtest eine Zweitmessung, die bevorzugt mesopisch erfolgen sollte.

In den letzten Jahren hat sich die Verwendung von photopischen Verfahren anstelle von mesopischen Verfahren zunehmend durchgesetzt, da diese oft methodisch einfacher umsetzbar sind. Jedoch haben sich nur wenige Studien bislang damit beschäftigt, ob dieses Vorgehen gerechtfertigt ist und vor allem auch zu äquivalenten Ergebnissen führt. Dabei muss nicht zwingend der gemessene Rohwert der verschiedenen Methoden übereinstimmen. Vielmehr sollte die Schlussfolgerung, ob ein Proband oder in der Praxis ein Anwärter der Fahrerlaubnis den Test besteht, sich nicht zwischen den verschiedenen Verfahren unterscheiden. Um dies zu überprüfen, werden in der vorliegenden Studie die Ergebnisse der einzelnen Methoden im Hinblick auf Bestehen oder Nichtbestehen miteinander verglichen.

1.10.1 Mesopische Verfahren

Im nächtlichen Straßenverkehr sind Leuchtdichten von $< 0,3 \text{ cd/m}^2$ bis hin zu 3 cd/m^2 typisch. Diese werden im Dämmerungssehtest insbesondere erfasst. Die Verfahren des Dämmerungssehtests wie das in dieser Studie verwendete Gerät Mesotest II sind über viele Jahre erprobt und standardisiert, sodass hierfür allgemein anerkannte Norm- und Grenzwerte vorliegen. Das Verfahren ist einfach und für den Probanden gut verständlich. Erste neuere Geräte verfügen neben den üblichen integrierten Sehtests auch über einen Dämmerungssehtest. Nachteilig bei der Durchführung dieses Tests ist die Tatsache, dass eine Dunkeladaptation erforderlich ist, die zu einem deutlichen zeitlichen Mehraufwand im Gegensatz zu den photopischen Verfahren führt (Amort 2011).

Aufgrund der Tatsache, dass das Gerät Mesotest II seit vielen Jahren verwendet wird und die Grenzwerte für dieses Gerät fest definiert sind, wird es von der DOG für Studien zur Äquivalenz mesopischer und photopischer Verfahren als Referenzverfahren empfohlen (Bach et al. 2011).

1.10.2 Photopische Verfahren

Die photopischen Testmethoden lassen sich in Einblickgeräte, Sehtafeln und bildschirmbasierte Tests untergliedern. Einfach zu handhaben sind die Sehtafeln. Sie ermöglichen eine schnelle und gut

verständliche Bestimmung der KE. Eine davon ist z. B. die VISTECH-Tafel, die die KE mittels Sinusgitter verschiedener Ortsfrequenzen prüft. Dies bietet den Vorteil der Ermittlung einer KE-Funktion und liefert anhand dieser einen ersten Hinweis auf die Ursache von verminderter KE (Paliaga 1993; Böckelmann und Pfister 2007; Böckelmann et al. 2010; Darius et al. 2010). Die Mars-Tafeln prüfen dahingegen nur bei einer Sehzeichengröße. Die zur Verwendung kommenden Buchstaben sind für Gutachten sowie den straßenverkehrsbezogenen Sehtest nicht zugelassen, da sie sich in der Erkennbarkeit mehr unterscheiden als die einzelnen Landoltringe, die als Normsehzeichen anerkannt sind (Rassow et al. 1990; Wesemann et al. 2010). Vorteil der Mars-Tafeln ist allerdings, dass sie deutlich kleiner als die VISTECH-Tafel und somit transportabler sind und außerdem drei Tafeln für die Bestimmung an rechtem und linkem Auge sowie binokular zur Verfügung stehen.

Besonders Sehtafeln führen aber auch zu Schwierigkeiten hinsichtlich der Standardisierung der Lichtverhältnisse und des Abstandes insbesondere in der mobilen Verwendung. Die DOG gibt für die photopische Bestimmung der KE eine Ausleuchtung der Sehtafeln von 85 cd/m^2 bei einem zulässigen Bereich von $60 - 120 \text{ cd/m}^2$ vor. Die Mars-Tafeln sind laut DOG noch ausreichend mit einer hellen Schreibtischlampe auszuleuchten und somit die erste Wahl für den Betriebsmediziner (Bach et al. 2011). Durst et al. (2013) untersuchten die Ausleuchtung der Mars-Tafeln mit gebräuchlichen Schreibtischlampen und kamen zu dem Schluss, dass auf diese Weise sehr starke Unterschiede in der Lichtverteilung auf den Tafeln entstehen. Es ergibt sich die Forderung nach einer reproduzierbaren standardisierten Beleuchtung, die z. B. durch das LUVIS-Beleuchtungsgerät erfüllt werden kann. Dieser Lichtkasten wurde ursprünglich für die Pelli-Robson-Tafel entwickelt, um starke Unterschiede in der Beleuchtung zu vermeiden (Durst et al. 2011). Zu Beginn dieser Studie lagen die Empfehlungen von Durst et al. (2013) jedoch noch nicht vor, sondern lediglich die der DOG, sodass der beschriebene Lichtkasten hier keine Verwendung finden konnte.

Auch bei bildschirmbasierten Testmethoden, die generell objektiver sind als die Sehtafeln, ist eine Kontrolle der Leuchtbedingungen mit genauer und stabiler Linearisierung des Bildschirms notwendig (Bach et al. 2011). Sie bieten dem Betriebsarzt den Vorteil, dass keine zusätzlichen Geräte angeschafft werden müssen. Zudem stehen verschiedene, zum Teil kostenfreie Methoden zur Erfassung des Kontrastsehens zur Verfügung.

Bei Verwendung von Einblickgeräten haben photopische Verfahren gegenüber mesopischen den Vorteil, dass bei den meisten Geräten die Durchführung von Sehtest und Kontrastsehtest mit demselben Gerät über verschiedene enthaltene Funktionen möglich ist und sich somit auch finanzielle Vorteile für Arbeits-/Betriebsmediziner ergeben (Amort 2011). Im Gegensatz zu Sehtafeln bieten Einblickgeräte per se standardisierte Beleuchtungsbedingungen. Die hier verwendeten Geräte Rodatest 302 und Optovist prüfen sehr umfassend bei verschiedenen Sehzeichengrößen das Kontrastsehen. Besonders das Gerät Optovist nimmt damit sehr viel Zeit in Anspruch. Allerdings hat

der Untersucher die Möglichkeit, zwischen verschiedenen Tests zu wählen und selbst den Umfang und die Genauigkeit der Testung zu bestimmen. Gerade ältere Menschen tun sich mit den Einblickgeräten, der oft erzwungenen Sitzhaltung und der Fokussierung auf die Sehzeichen aber deutlich schwerer als mit den leichter verständlichen und handhabbaren Sehtafeln.

Eine weitere Unterteilung der photopischen Verfahren unterscheidet nach den verwendeten Optotypen (Landoltringe, Buchstaben, Zahlen etc.) und Sinusgittern. Letztere liefern zusätzliche Informationen zum Schwellenkontrast in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz. Die Messung mithilfe der Sinusgitter geht mit Einbußen hinsichtlich Messzeit und Genauigkeit einher (Bach et al. 2011). Zudem ist die Bestimmung des Schwellenkontrasts bei hohen Ortsfrequenzen nicht nötig, da sie durch die Visusprüfung erfasst bzw. angenähert wird. Es müssen somit nur niedrige und mittlere Ortsfrequenzen getestet werden (Bach et al. 2011).

Für die photopischen Testverfahren liegen aber derzeit noch keine gültigen Norm- und Grenzwerte vor (Amort 2011). Die DOG verweist in einer Pressemitteilung (Voormann 2014) auf eine Studie von Wilhelm et al. (2013), die erste Beiträge zur Ermittlung von Norm- und Grenzwerten für die photopische Kontrastsehprüfung leistete. Es handelt sich um eine multizentrische Studie, die Ergebnisse der Kontrastsehprüfung von Kataraktpatienten, Piloten als gesunde Probanden und einem arbeitsmedizinischen Kollektiv der Berliner Verkehrsbetriebe vergleicht. Gegenübergestellt wurden hierbei die Einblickgeräte Optovist EU und Binoptometer 4P sowie die Pelli-Robson-Tafel dem seit Jahrzehnten verwendeten Dämmerungssehtestgerät Mesotest II. Die Wissenschaftler ermittelten für die Einblickgeräte einen Grenzwert von 15 % Weber-Kontrast als Mindestanforderung. Die Geräte erwiesen sich damit genauso wie das Mesotest II-Gerät als geeignet für die arbeitsmedizinische Praxis. Die Pelli-Robson-Tafel konnte im Gegensatz zum vom Hersteller empfohlenen Abstand von 1 m nur bei einem auf 3 m vergrößerten Abstand als geeignet bezeichnet werden (Bach et al. 2011; Wilhelm et al. 2013).

In einer kürzlich veröffentlichten Studie, welche das Kontrastsehen von Normalpersonen, Glaukom- und Kataraktpatienten untersuchte, zeigte sich jedoch, dass von guten mesopischen Testergebnissen nicht zwangsläufig auf gutes photopischen Kontrastsehen geschlossen werden kann (Hertenstein et al. 2016). Die DOG reagierte daraufhin mit einer erneuten Pressemitteilung, in welcher sie auf die Unabhängigkeit der Prüfung von Dämmerungssehen und photopischem Sehen hinwies (Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft e.V. 2015).

Um die Untersuchungsergebnisse zu stützen und zu ergänzen, sind weitere Studien zum Vergleich der photopischen und mesopischen Methoden notwendig, die insbesondere mehr Daten für eine verlässliche Grenzwertbestimmung liefern und somit eine sichere Unterscheidung von normalen zu pathologischen Testergebnissen ermöglichen.

2 Zielstellung

Das Ziel der Studie ist der Vergleich verschiedener ophthalmologischer Verfahren zur Prüfung des Kontrastsehens. Dabei kommen als photopische Verfahren sowohl Einblickgeräte als auch Sehtafeln zum Einsatz, die mit einer mesopischen Standardmethode verglichen werden. Es stellt sich die Frage, ob die photopischen Verfahren mit ihren jeweiligen Grenzwerten äquivalent zur Testung mit dem mesopischen Referenzverfahren Mesotest II verwendet werden können. Dabei ist es nicht relevant, ob die gleichen Kontrastwerte ermittelt werden, da sich diese ohnehin durch die unterschiedliche Methodik der eingesetzten Verfahren unterscheiden. Stattdessen ist es wichtig, dass Probanden, die eine Methode bestehen und somit die Fahrerlaubnis erlangen würden, auch in der anderen Methode den Kontrastsehtest bestehen würden.

2.1 Annahmen zur Auswertung der Daten

Der Studie werden folgende implizite Annahmen zugrunde gelegt:

1. Es wird erwartet, dass sich zwischen den beiden Geschlechtergruppen keine relevanten Unterschiede für den Visus in Ferne und Nähe sowie die Ergebnisse der Kontrastsehprüfung mit den Geräten Mesotest II, Optovist, Rodatest 302 und den Mars- und VISTECH-Tafeln zeigen. Unter diesen Voraussetzungen lässt sich die hier geprüfte Stichprobe und ihre Verteilung beschreiben, ohne dass auf Geschlechterunterschiede Rücksicht genommen werden muss, und die Verteilungsparameter der Studie können für die gesamte Stichprobe ermittelt werden.
2. Im Vergleich der Altersgruppen werden bei Betrachtung des Fern- und Nahvisus sowie der Ergebnisse der Kontrastsehprüfung signifikante Unterschiede mit Verringerung von Visus und Kontrastsehen in der Altersgruppe der über 44-Jährigen erwartet. Bei Bestätigung dieser Annahme muss dies in der Berechnung der Verteilungsparameter der Studie berücksichtigt werden, da sich dann die untersuchte Stichprobe in den beiden Altersgruppen unterscheidet.

Die in dieser Studie primär untersuchten Methodenvergleiche beruhen auf intraindividuellen Vergleichen und sind daher auch dann gültig, wenn sich Unterschiede zwischen den Geschlechtern oder den Altersgruppen zeigen sollten. Jedoch sollten in der Berechnung der Verteilungsparameter zum Vergleich zu bestehenden Grenzwerten der Hersteller etwaige Unterschiede zwischen Geschlechtern und Altersgruppen Berücksichtigung finden.

2.2 Arbeitshypothesen zum Methodenvergleich

1. Im Vergleich der einzelnen photopischen Untersuchungsmethoden zum Mesotest II zeigen sich übereinstimmende Ergebnisse hinsichtlich des Bestehens der Kontrastsehprüfung.
2. Die photopischen Verfahren zeigen untereinander ebenso eine Übereinstimmung der Ergebnisse hinsichtlich des Bestehens.
3. Die Einblickgeräte weisen untereinander höhere Werte in der Übereinstimmung auf als zu den Sehtafeln, da erstere von sich aus standardisierte Untersuchungsergebnisse liefern.

3 Probanden und Methoden

3.1 Probanden

Vor Beginn der Studie wurde die Anzahl der benötigten Probanden durch das Institut für Biometrie und medizinische Informatik mit 120 (60 pro Altersgruppe) ermittelt. Es wurden 155 Probanden auf Basis freiwilliger Teilnahme in die Studie aufgenommen. Die Rekrutierung des Kollektivs erfolgte durch die Promovendin selbst für die jüngere Altersgruppe über Aushänge in der Universität und für die ältere Altersgruppe über Werbung in Arztpraxen sowie an öffentlichen Stellen.

Ein positives Votum der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg unter der Registrierungsnummer 71/13 liegt vor (siehe Anlage 2).

3.2 Studiendesign

Es handelt sich um eine prospektive Studie. Die Probanden wurden zuvor schriftlich und mündlich über die Hintergründe der Studie informiert (siehe Anlage 3). Alle Studienteilnehmer durchliefen nach schriftlicher Einwilligungserklärung (siehe Anlage 4) die gleichen Testverfahren. Zunächst erfolgte mittels eines Fragebogens (siehe Anlage 5) die Erhebung von allgemeinen Daten der Probanden. Im Anschluss wurde der Augeninnendruck mit dem Non-Contact-Tonometer Canon Tx-F der Firma Vistec AG, Olching, bestimmt. Die folgenden Tests zur Prüfung des Kontrastsehens ohne Blendung und der im Gerät Optovist integrierte Visustest erfolgten in randomisierter Reihenfolge. Verwendet wurden bei allen Probanden fünf verschiedene Methoden zur Messung des Kontrastsehens. Dazu gehörten die Einblickgeräte Mesotest II, Optovist EU und Rodatest 302 und die Mars- und VISTECH-Sehtafeln. Das von der DOG empfohlene Gerät Mesotest II diente dabei als Referenzverfahren (Bach et al. 2011). Bei allen Methoden wurden die Probanden gemäß allgemeiner Empfehlung zum Raten ermuntert. Die Testdurchführung erfolgte jeweils unter Verwendung eventueller privater Sehschärfekorrektur. Der zeitliche Aufwand pro Proband war individuell sehr unterschiedlich und schwankte zwischen 50 Minuten und mehr als anderthalb Stunden. Sämtliche Messungen wurden im Zeitraum von Mai bis Dezember 2013 durch die Promovendin selbstständig durchgeführt.

3.3 Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterium für die Studie war ein Mindestalter von 18 Jahren. Unter Berücksichtigung der weiteren Ausschlusskriterien gab es keine obere Altersbegrenzung. Probanden mit einem Fernvisus

von unter 0,63 wurden aus der Studie ausgeschlossen, um möglichst normalsichtige Probanden für die Studie zu gewinnen (Donoghue et al. 1995).

In den Berechnungen des Alters- und Geschlechtervergleichs wurden Probanden mit erhöhtem Augeninnendruck ($IOD \geq 21,0$ mmHg) und somit erhöhtem Glaukomrisiko ausgeschlossen.

Für die Berechnung der Verteilungsparameter der Stichprobe für die einzelnen Testmethoden wurden nur Probanden ohne Augenerkrankungen sowie das Kontrastsehen beeinflussende Grunderkrankungen wie Diabetes mellitus oder arterielle Hypertonie berücksichtigt. Als ein weiteres Ausschlusskriterium galt ein übermäßiger Alkoholkonsum (> 40 g/d). Personen, die derartige Erkrankungen vorwiesen, wurden für die Perzentilenberechnung ausgeschlossen, in den übrigen Auswertungen aber berücksichtigt (siehe Kap. 4.1). Insbesondere im Methodenvergleich spielten Erkrankungen der Probanden keine Rolle, da es sich um einen rein intraindividuellen Vergleich handelte.

3.4 Anamneseerhebung

Zu Untersuchungsbeginn erfolgte die Erhebung der individuellen Daten des Probanden mittels eines Fragebogens (siehe Anlage 5). Darin wurden Datum und Uhrzeit der Messung, das Alter des Probanden, wenn bekannt Ausmaß der Fehlsichtigkeit, Augenerkrankungen, das Kontrastsehen beeinflussende Grunderkrankungen wie zum Beispiel arterielle Hypertonie und Diabetes mellitus sowie Medikamenteneinnahme erfasst. Außerdem wurde der Konsum von Kaffee bzw. koffeinhaltigen Getränken, Alkohol und Zigaretten erfragt.

3.5 Einblickgeräte

3.5.1 Mesotest II

Mithilfe des Dämmerungssehtestgeräts Mesotest II (Firma Oculus, Wetzlar) wurde bei allen Probanden das Dämmerungssehen unter mesopischen Bedingungen gemessen. Dazu erfolgte zunächst gemäß Böckelmann und Pfister (2007) eine 15-minütige Dunkeladaptation. Anschließend wurde der Dämmerungssehtest durchgeführt, welcher nur wenige Minuten in Anspruch nahm. Dabei wurde den Probanden bei einer Hintergrundbeleuchtung von $0,032$ cd/m² jeweils ein Landoltring der Visusstufe 0,1 gezeigt. Im Gerät bestehen sechs verschiedene Landoltringöffnungen (die Öffnung nach rechts bzw. links ist ausgelassen), die vom Untersucher jeweils manuell ausgewählt werden können. Der Proband bekam in den Kontraststufen 1:23, 1:5, 1:2,7 und 1:2 jeweils fünf Landoltringe einzeln gezeigt. Er musste drei davon richtig benennen, damit die Kontraststufe als gesehen galt.

Wenn mindestens die Kontraststufe 1:2,7 erkannt wurde, wurde der Test entsprechend der Empfehlungen der DOG für Busfahrer (Bach et al. 2011) als bestanden gewertet.

Für die Auswertung der Studie gingen für das Mesotest II-Gerät die im Gerät angegebenen Kontraststufen in die statistischen Berechnungen ein. Dabei entspricht die 1. Stufe dem Kontrastverhältnis von 1:23. Kontraststufe 2 steht für ein Kontrastverhältnis von 1:5, Stufe 3 für 1:2,7 und Stufe 4 für 1:2.

3.5.2 Optovist EU

Das Sehtestgerät Optovist/Optovist EU (Firma Vistec AG, Olching) wurde sowohl zur Visusbestimmung als auch zur Prüfung des Kontrastsehens unter photopischen Bedingungen verwendet. Als Sehzeichen kamen Landoltringe mit acht verschiedenen Öffnungsmöglichkeiten zum Einsatz.

Für die Visusprüfung wurde der geräteinterne Test nach dem Grundsatz G 25 (Fahr-, Steuer- und Überwachungstätigkeiten) der DGUV verwendet. Der Visus wurde zunächst binokular, anschließend monokular rechts und zuletzt monokular links bestimmt. Hierbei wurden für jede Sehzeichengröße fünf Landoltringe gezeigt, von denen drei richtig erkannt werden mussten. Die maximal messbare Sehschärfe mit dem verwendeten G 25-Test beträgt 1,0. Der in der FeV geforderte Wert für Berufskraftfahrer liegt bei 0,8, sodass auf eine genauere Visusmessung verzichtet werden konnte. Da der Test bei der Visusstufe 1,0 abgebrochen wurde, kann die tatsächliche Sehschärfe der Probanden deutlich höher sein. Auf diese Weise erfolgte die Bestimmung des Fernvisus und des Nahvisus.

Alle Kontrastwerte für das Gerät Optovist sind in Weber-Kontrast angegeben. Es mussten jeweils drei von fünf gezeigten Ringen einer Kontraststufe erkannt werden, um diese zu bestehen. Zunächst wurde der im G 25-Test enthaltene Kontrasttest durchgeführt. Dieser erfolgte bei einer Visusstufe von 0,4 in den Kontrastabstufungen 40 %, 20 %, 15 % und 10 %. Danach wurde das Kontrastsehen zusätzlich ohne Blendung mit dem im Gerät enthaltenen ausführlichen Kontrastsehtest geprüft. Hierbei erfolgte die Testung der Reihe nach in den Visusstufen 0,16, 0,25 und 0,4. Dabei wurden die Weber-Kontrastwerte 80 %, 40 %, 20 %, 15 % (nicht bei Visusstufe 0,16), 10 %, 5 % und 2,5 % angezeigt. Der zeitliche Aufwand für die Untersuchung mit dem Gerät Optovist belief sich auf circa 20 bis 30 Minuten. Nach Wilhelm et al. (2013) galt der Kontrastsehtest als bestanden, wenn binokular von fünf Landoltringen der Visusstufe 0,4 und 15 % Kontrast drei Ringe richtig erkannt werden konnten.

3.5.3 Rodatest 302

Das Einblickgerät Rodatest 302 (Firma Vistec AG, Olching) diente ebenfalls zur Prüfung des Kontrastsehens unter photopischen Bedingungen. Als Sehzeichen kamen Landoltringe mit acht verschiedenen Öffnungsmöglichkeiten zum Einsatz. Die Kontrastsehtests des Rodatest 302 wurden zunächst mit dem rechten Auge, anschließend mit dem linken Auge und zuletzt binokular durchgeführt. Insgesamt dauerten die Tests an diesem Gerät circa 10 Minuten.

Das Gerät Rodatest 302 verfügt über zwei Kontrastsehtests mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden. Für Menschen unter 50 Jahren ist vom Hersteller der Test K1 (mit hohen Anforderungen) vorgesehen, ab 50 Jahren der Test K2, der geringere Anforderungen an Probanden stellt. Die Dokumentation erfolgte mithilfe des vorgefertigten Auswertungsblatts einzeln für K1 und K2 (siehe Anlage 6).

Zunächst wurde bei allen Probanden der Test K1 durchgeführt, der Landoltringe in den Visusstufen 0,16, 0,25 und 0,4 zeigt. In der Visusstufe 0,16 wurden die Kontraststufen 5 % und 2,5 % angeboten, in der Visusstufe 0,25 zusätzlich Ringe des Kontrasts von 10 % und in der Visusstufe 0,4 darüber hinaus Ringe von 20 % Kontrast. Alle Kontrasteinheiten erfolgten in Weber-Kontrast. Pro Kontraststufe wurden dem Probanden fünf Landoltringe gezeigt. Der Test K1 galt als bestanden, wenn in jeder Visusstufe der höchste Kontrastwert mit drei von fünf Sehzeichen richtig gesehen wurde. Wenn der Kontrasttest K1 nicht bestanden wurde, wurde im Folgenden der Test K2 durchgeführt. Dabei wurden im Test K2 in der Visusstufe 0,16 die Kontrastwerte 80 %, 40 %, 20 % und 10 % gezeigt, in der Visusstufe 0,25 die Kontrastwerte 80 %, 40 % und 20 % und in der Visusstufe 0,4 nur die Kontraste 80 % und 40 %. Um den Test K2 zu bestehen, mussten in allen Kontrast- und Visusstufen jeweils drei von fünf angebotenen Ringen richtig erkannt werden.

In der Auswertung des Rodatest-Geräts wurde bei Probanden unter 50 Jahren das Bestehen des Tests K1 betrachtet. Ab 50 Jahren reichte für die Probanden das Bestehen des Tests K2. Der Test K1 war bei diesen Probanden trotz allem durchgeführt worden, um die minimal erkannten Kontrastwerte auch dann zu bestimmen, wenn diese besser waren als mit K2 erfasst werden konnte.

3.6 Sehtafeln

3.6.1 Mars-Tafeln

Die Mars-Tafeln (Mars Perceptrix Corporation, New York) wurden als Beispiel für Sehtafeln zur Prüfung des Kontrastsehens verwendet. Es handelt sich um Sehtafeln im Format 22,8 cm x 35,6 cm, auf denen in acht Reihen je sechs Buchstaben abgebildet sind (Abbildung 6, Arditi (2005)). Von Buchstabe zu Buchstabe nimmt der Kontrast einheitlich um 0,04 logarithmische Kontrasteinheiten ab ($\log CS(\text{Weber})$). Zehn verschiedene Buchstaben finden auf der Tafel Verwendung (C, D, H, K, N, O, R,

S, V, Z), die nach Sloan et al. (1952) eine vergleichbare Erkennbarkeit aufweisen (Wesemann 2002). Es standen drei verschiedene Varianten von Mars-Tafeln zur Verfügung, die in der Reihenfolge für die Messung des rechten Auges, des linken Auges und beider Augen zum Einsatz kamen. So konnte der Effekt des Auswendiglernens umgangen werden.



Abbildung 6: Beispiel der Mars-Tafel zur Bestimmung der KE (Mars Perceptix Corporation)

Die Beleuchtung erfolgte von oben mit einer Leuchtdichte von mindestens 100 cd/m^2 auf die auf dem Tisch liegende Tafel. Der Abstand zwischen Auge und Tafel betrug circa 40 cm. Der Proband wurde aufgefordert, die Buchstaben der Reihe nach vorzulesen. Bei Nennung eines nicht auf der Tafel verwendeten Buchstabens wurde der Proband gemäß Durchführungsempfehlung des Herstellers darauf hingewiesen und um eine weitere Antwort gebeten. Bei zwei aufeinander folgenden Fehlern wurde die Testung abgebrochen. Vom Kontrastwert des letzten richtig genannten Buchstabens wurden für jeden zuvor einzeln falsch angegebenen Buchstaben 0,04 Kontrasteinheiten abgezogen. Der auf diese Weise korrigierte Wert entsprach der KE des gemessenen Auges. Die Dokumentation und Auswertung erfolgte mithilfe des dem Test beiliegenden Auswertungsblatts (siehe Anlage 8). Für Probanden über 60 Jahren galt hiernach $1,52 \log\text{CS}(\text{Weber})$ (entspricht 3 % Weber-Kontrast) als ausreichend. Jüngere Erwachsene mussten mindestens $1,72 \log\text{CS}(\text{Weber})$ (entspricht 1,9 % Weber-Kontrast) erkennen, um diesen Test zu bestehen.

3.6.2 VISTECH-Tafel

Die Prüftafel VCTS 6500 Version C (Vision Contrast Test System; Firma VISTECH Consultants Inc., Dayton, Ohio) wurde als ein Beispiel eines einfachen Sinusgitter-Tafeltests zur Bestimmung der KE verwendet. Auf dieser deutlich größeren Tafel (68,6 cm x 94 cm) sind Sinusgitter verschiedener Ortsfrequenzen in fünf Reihen (1,5; 3; 6; 12 und 18 Perioden/Grad) abgebildet (Abbildung 7).

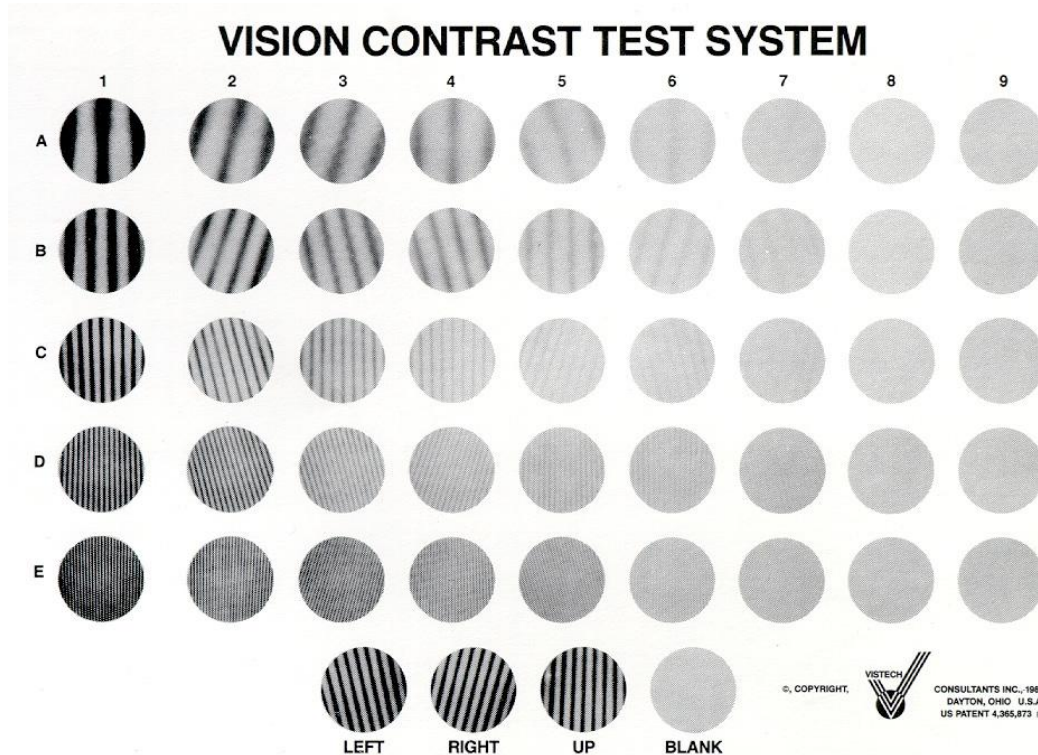


Abbildung 7: VISTECH-Tafel VCTS 6500

In jeder Reihe einer Ortsfrequenz nimmt der Kontrast der dargebotenen Schwarz-Weiß-Linien von links nach rechts über die neun Testfelder dieser Ortsfrequenz logarithmisch ab (siehe Anlage 7). Die Linien können dabei jeweils in drei verschiedene Richtungen orientiert sein (um 15° nach links geneigt, senkrecht und um 15° nach rechts geneigt). Das letzte Feld jeder Reihe enthält keine Linien (B = Blanko), was den Probanden zum Zeitpunkt der Messung nicht bekannt war. Die Aufgabe bestand darin, die Felder jeder Reihe von links nach rechts richtig zu benennen. Das letzte ununterbrochen richtig benannte Feld gab die KE der jeweiligen Ortsfrequenz an. Die Testung erfolgte im Abstand von 3 m. Es wurde auf eine ausreichende gleichmäßige Ausleuchtung der Tafel von 100 cd/m² geachtet. Die Messung wurde monokular durchgeführt, beginnend mit dem rechten Auge. Auf eine binokulare Untersuchung wurde wegen der Gefahr des Auswendiglernens bei dreimaligem Lesen bewusst verzichtet.

Die Ergebnisse wurden in einen Auswertungsbogen eingetragen und anschließend wurde eine KE-Kurve für das rechte und linke Auge einzeln angefertigt (siehe Anlage 7). Der grau hinterlegte Bereich

der Kurve entspricht dem laut Hersteller vorgegebenen Bereich für die KE, in dem 90 % der Normalbevölkerung (10. – 70. Lebensjahr) liegen und der mit seiner unteren Grenze beschreibt, wann der Test als bestanden gilt. Danach musste in den Reihen A, B und C das fünfte Feld richtig erkannt werden sowie in Reihe D das dritte und in Reihe E das erste Feld.

3.7 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mittels SPSS 21.0. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit $p < 0,05$ als Signifikanzniveau festgelegt. Fehlende Werte wurden in den statistischen Berechnungen vom Programm als fehlend berücksichtigt.

Als erstes wurde die deskriptive Statistik erhoben. Da nach Kolmogorov-Smirnov nicht angenommen werden konnte, dass die in der Studie erhobenen Daten einer Normalverteilung entsprechen, wurden für die Auswertung ausschließlich nicht-parametrische Tests angewandt. Die impliziten Annahmen (siehe Kap. 2.1) wurden auf ihre Richtigkeit geprüft. Mithilfe des U-Tests nach Mann-Whitney wurde berechnet, ob signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern für die verschiedenen Variablen bestanden. Die Verteilung zwischen den Altersgruppen und den erhobenen Variablen (z. B. des Testbestehens) wurde über die Berechnung des Chi-Quadrat-Tests nach Pearson ausgewertet.

Der Zusammenhang zwischen dem Alter der Probanden und den Ergebnissen der ophthalmologischen Verfahren, das heißt der Visusmessungen und der Kontrastprüfungen an den verschiedenen Geräten, wurde über die Berechnung der Korrelationskoeffizienten nach Spearman untersucht.

Bei den intraindividuellen Vergleichen der verschiedenen Methoden gingen alle Probanden ($n = 150$) in die Statistik ein, da die Probanden hier nicht miteinander, sondern nur mit sich selbst verglichen wurden. Hierfür wurde die Anzahl der Probanden gegenübergestellt, die das Gerät Mesotest II als Referenzverfahren und das zu vergleichende Gerät zur Messung des Kontrastsehens bestanden bzw. nicht bestanden. Als Maß der Übereinstimmung von Mesotest II zu jedem der photopischen Verfahren wurde Cohens Kappa berechnet. Des Weiteren wurde sekundär auch die Übereinstimmung der photopischen Verfahren untereinander über Cohens Kappa bestimmt.

Für die Interpretation von Kappa wurde auf folgende Klassifikation nach Landis und Koch (1977) mit der angegebenen Farbcodierung zurückgegriffen:

$\kappa \leq 0,1$	keine Übereinstimmung
$0,1 < \kappa \leq 0,4$	schwache Übereinstimmung
$0,4 < \kappa \leq 0,6$	deutliche Übereinstimmung
$0,6 < \kappa \leq 0,8$	starke Übereinstimmung
$0,8 < \kappa \leq 1$	(fast) vollständige Übereinstimmung

Für die Berechnung der Perzentile des Kollektivs wurden die Daten um alle Probanden bereinigt, bei denen eine Minderung des Kontrastsehens durch Augenerkrankungen oder -behandlungen und Allgemeinerkrankungen sowie Alkoholkonsum nicht ausgeschlossen werden konnte (siehe Kap. 4.1). Es verblieben 97 Probanden. Bei geringer Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen von rechtem und linkem Auge wurden die Probanden in der folgenden Berechnung für die monokularen Verteilungsparameter einzeln mit dem rechten Auge und mit dem linken Auge berücksichtigt. Dadurch ergaben sich hierfür 194 Datensätze. Die Berechnung für die binokularen Verteilungsparameter erfolgte mit 97 Datensätzen.

Zur Ermittlung der Verteilung der Stichprobe wurden die Perzentile (5 %, 95 %) bestimmt, um damit zu beschreiben, in welchem Bereich 90 % der Probanden im Kontrastsehen gemessen wurden.

4 Ergebnisse

4.1 Soziodemographische Daten

155 Probanden durchliefen die Testbatterie. In den einzelnen Auswertungen kamen verschiedene Ausschlusskriterien zur Geltung, die in Abbildung 8 dargestellt sind.

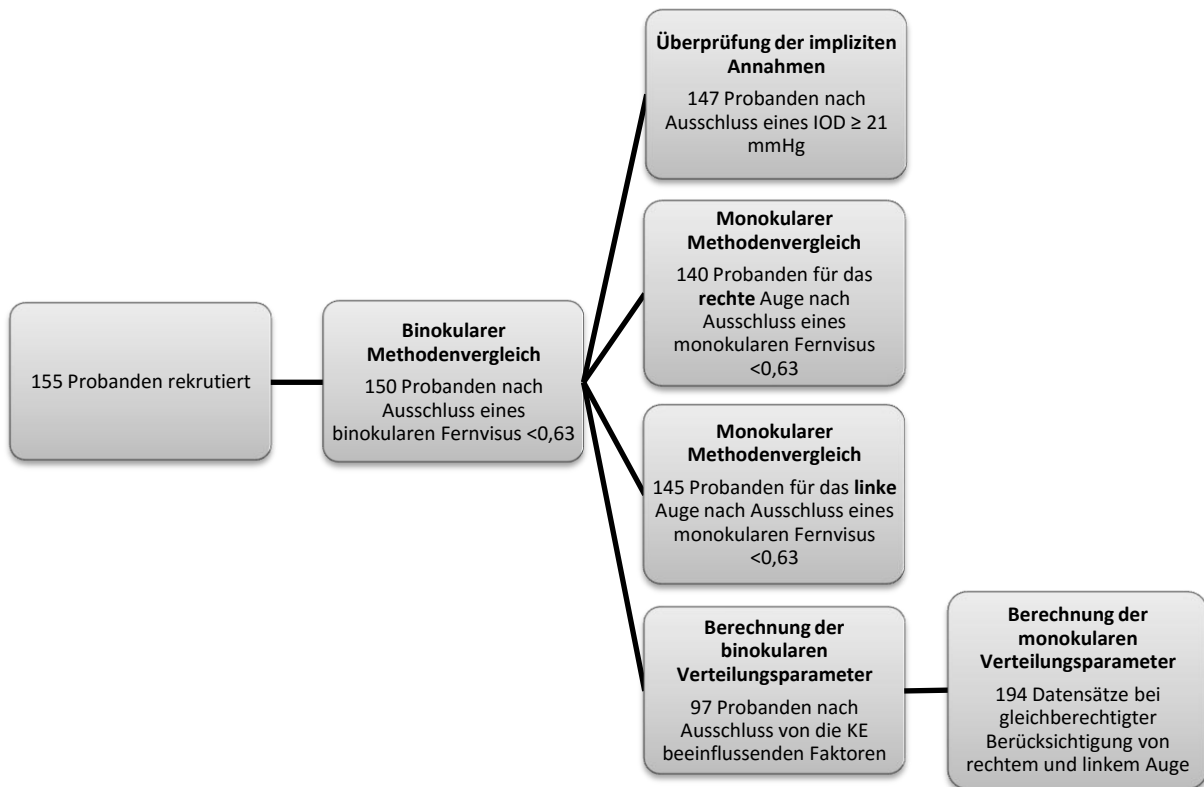


Abbildung 8: Flussdiagramm zu Ausschlusskriterien der Probanden

Im Methodenvergleich gab es dabei im Gegensatz zu den anderen Auswertungen außer dem Fernvisus von $<0,63$ keine zusätzlichen Ausschlusskriterien, da es sich um einen rein intraindividuellen Methodenvergleich handelte.

Für die Berechnung der Quantile wurden Probanden ausgeschlossen, bei denen eine Beeinflussung des Kontrastsehens durch Grunderkrankungen nicht auszuschließen war. Ausgeschlossen wurden Probanden mit Diabetes mellitus (7 Probanden), arterieller Hypertonie (37 Probanden), für das Kontrastsehen relevanter Augenerkrankung (Katarakt, Netzhautablösung, Altersbedingte Makuladegeneration, Gesichtsfeldausfälle; 12 Probanden), Probanden mit erhöhtem Augeninnendruck (3 Probanden) und Probanden mit einem Alkoholkonsum von mehr als 40 g/d (4 Probanden). Bei einigen Probanden lagen mehrere der Ausschlusskriterien vor, sodass letztendlich Daten von 53 Probanden nicht in die Berechnung eingingen. Es verblieben Daten von 97 Probanden für die Bewertung des binokularen Sehens. Die Datensätze für das rechte Auge und für das linke

Auge wurden gleichwertig in eine monokulare Perzentilenbestimmung einbezogen. Daraus folgt, dass für die monokulare Berechnung 194 Datensätze zur Verfügung standen.

Die Stichprobe wurde in zwei Altersgruppen unterteilt, deren Verteilung in Tabelle 1 dargestellt ist.

Tabelle 1: Verteilung von Alter, Visus und Augeninnendruck in der Stichprobe

	Gesamte Stichprobe	Altersgruppe I	Altersgruppe II
Probandenanzahl	150	74	76
Median (Jahre)	45	24	60
Spannweite (Jahre)	18 - 79	18 - 44	45 - 79
Quartile (Jahre)	24, 45, 61	22, 24, 29	52, 60, 69
Interquartilsabstand (Jahre)	37 Jahre	7 Jahre	17 Jahre

Tabelle 2 zeigt die statistischen Kennwerte des Visus sowie des Augeninnendrucks. Die Werte für Fern- und Nahvisus unterschieden sich nicht zwischen rechtem Auge, linkem Auge und binokular.

Tabelle 2: Visus und Augeninnendruck

	Auge	Median	Minimum	Maximum
Fernvisus	rechts/links/binokular	1,0	0,63	1,0
Nahvisus	rechts/links/binokular	1,0	0,2	1,0
Augeninnendruck (mmHg)	rechts	14,4	7,3	25,2
	links	13,6	7,7	28,7

120 der 150 (80,0 %) Probanden verwendeten mindestens bei einem Test eine Sehhilfe. Dabei kamen sowohl Fernkorrekturen als auch Nahkorrekturen zum Einsatz. 30 Probanden (20,0 %) verfügten über keine Sehhilfe.

Tabelle 3 zeigt den Rauchstatus der Probanden. Dabei wurden von den Rauchern im Median 10,0 Zigaretten pro Tag geraucht (0,1 – 20 Zigaretten/Tag). Die mediane Anzahl an pack years, die die Raucher und Ex-Raucher aufwiesen, lag bei 8,9 (0,1 – 52,2 pack years). 2 Männer und 16 Frauen gaben an, Passivrauch ausgesetzt zu sein (5,44 %).

Tabelle 3: Rauchstatus der männlichen und weiblichen Probanden

Raucherstatus	Männer		Frauen		alle	
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
Nichtraucher	40	66,7	62	71,3	102	69,4
Raucher	6	10,0	9	10,3	15	10,2
Ex-Raucher	14	23,3	16	18,4	30	20,4

$P_{\text{Chi-Quadrat nach Pearson}} = 0,586$

Der Alkoholkonsum der Probanden lag im Median bei 2,0 g/d mit einer Spannweite von 0 bis 60,5 g/d. Im Konsum von koffeinhaltigen Getränken zeigte sich in der Gesamtstichprobe ein medianer Genuss von 1,0 Tassen Kaffee pro Tag (0 – 6) und 0,0 Tassen Tee pro Tag (0 – 20) sowie 0,0 Gläser koffeinhaltiger Kaltgetränke pro Tag (0 – 6).

Bezüglich der im Fragebogen erfassten Grunderkrankungen zeigte sich, dass 7 Probanden (4,7 %) an Diabetes mellitus erkrankt waren. 37 Probanden (24,7 %) nannten eine arterielle Hypertonie als Vorerkrankung. 12 Probanden (8,0 %) wiesen eine für die spätere Berechnung der Verteilungsparameter relevante Augenerkrankung auf. Bei 3 Probanden (2,0 %) konnte ein erhöhter Augeninnendruck ($\geq 21,0$ mmHg) gemessen werden.

4.2 Überprüfung der impliziten Annahmen

4.2.1 Vergleich zwischen den Geschlechtern

Es wurden insgesamt 60 Männer und 87 Frauen in den Geschlechtervergleich einbezogen (Abbildung 9).

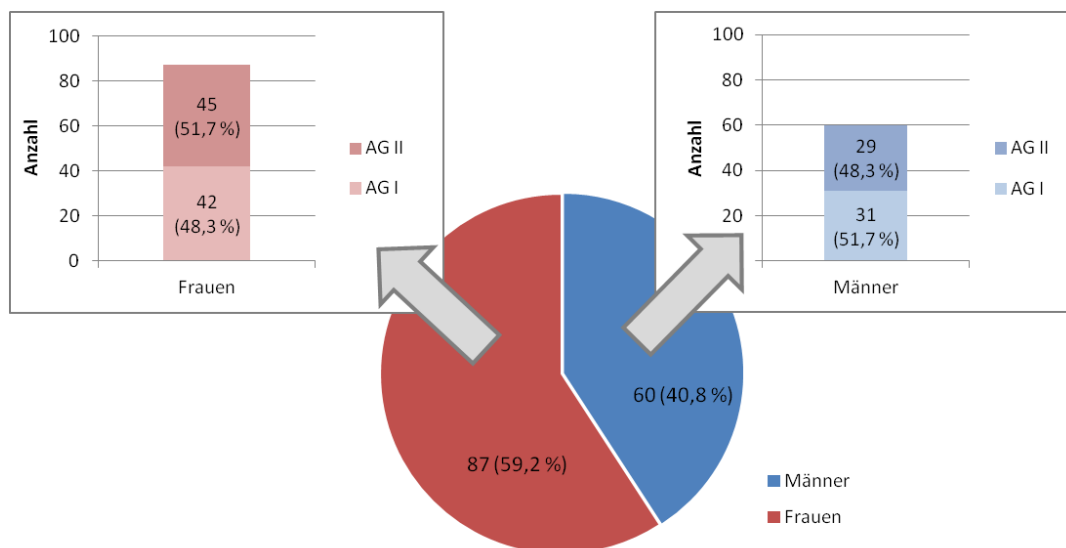


Abbildung 9: Verteilung der Altersgruppen auf die Geschlechter

Mit Hilfe des U-Tests nach Mann-Whitney wurde geprüft, ob für die verschiedenen Variablen signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern bestehen. Lediglich für drei Parameter (Alkoholkonsum, Kontrastwerte bei Bestimmung mit der VISTECH-Tafel für das linke Auge in der Ortsfrequenz 1,5 und mit dem Gerät Optovist für das rechte Auge für die Visusstufe 0,16) wurden p-Werte kleiner als 0,05 ermittelt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Signifikante Unterschiede der erfassten Parameter im Geschlechtervergleich

	Männer	Frauen	p-Wert
Alkoholkonsum (g/d)	4,9 (0 - 60,5)	1,7 (0 - 27,3)	p = 0,010
KE VISTECH links, OF 1,5	35 (20 - 120)	35 (20 - 120)	p = 0,021
K _w Optovist rechts, Visusstufe 0,16 (%)	2,5 (2,5 - 10)	2,5 (2,5 - 10)	p = 0,032

Bei mehr als fünf durchgeführten statistischen Tests sind p-Werte bis 0,01 nach Bonferroni noch als Zufallsereignisse zu werten. Aus diesem Grund wurden die weiteren Berechnungen geschlechterunabhängig durchgeführt, da auch alle weiteren Variablen keine Unterschiede zwischen den Geschlechtergruppen aufwiesen.

4.2.2 Abhängigkeit der Sehleistung vom Alter

Die Abbildung 10 zeigt die Altersverteilung der Probanden. Diese ist offensichtlich nicht repräsentativ für die demographische Altersverteilung in Deutschland.

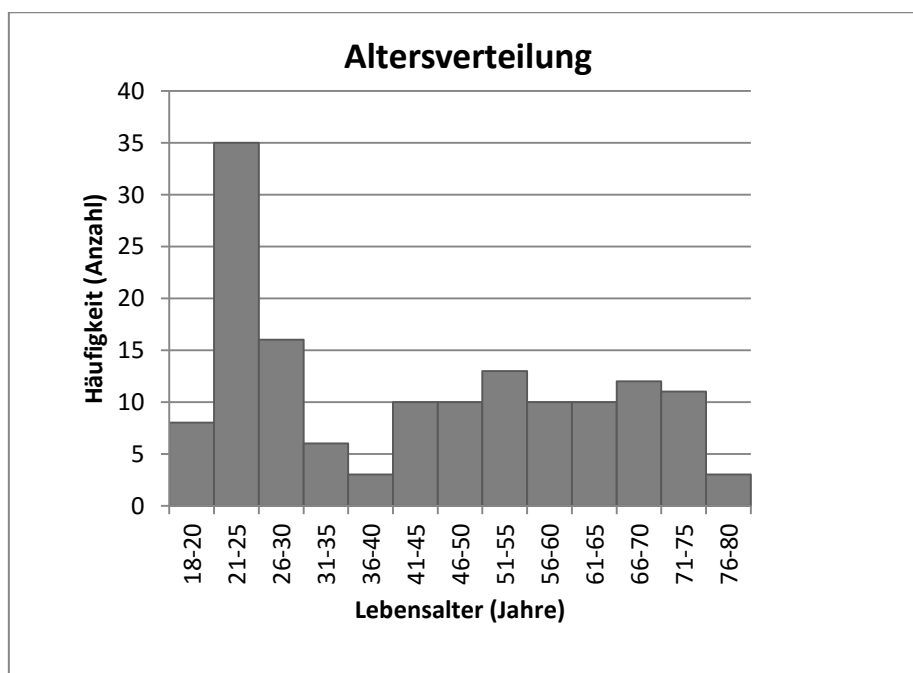


Abbildung 10: Verteilung des Alters

Es erfolgte die Aufteilung der Probanden in zwei Altersgruppen für die Betrachtung der Altersabhängigkeit der Sehleistung. Probanden unter 45 Jahren wurden Altersgruppe I zugeordnet, während Probanden ab 45 Jahren der Altersgruppe II zugeteilt waren. Diese Einteilung wurde gewählt, da in der Arbeitsmedizin nach allgemeinem Dafürhalten Personen über 45 Jahre als ältere Arbeitnehmer gelten (Triebig 2008).

Tabelle 5 zeigt Median und Spannweite (Range) für die Einflussfaktoren wie den Konsum von Kaffee, koffeinhaltigem Tee, weiteren koffeinhaltigen Getränken und Zigaretten sowie die Werte für die pack-years für die beiden Altersgruppen.

Tabelle 5: Vergleich der Altersgruppen bezüglich des Konsumverhaltens

Variable	AG I Median (Range)	AG II Median (Range)
Kaffee (Tassen/Tag)	0,03 (0 - 6)	2,0 (0 - 6)
koffeinhaltiger Tee (Tassen/Tag)	0 (0 - 5)	0 (0 - 20)
koffeinhaltige Kaltgetränke (Gläser/Tag)	0 (0 - 6)	0 (0 - 0,4)
Zigaretten (Anzahl/Tag)	0 (0 - 0,4)	0 (0 - 20)
pack-years	0 (0 - 5)	0 (0 - 52,2)

Fern- und Nahvisus sowie Augeninnendruck ist mit Median und Spannweite in Tabelle 6 für AG I und AG II dargestellt.

Tabelle 6: Vergleich der Altersgruppen: Visus rechts, links und binokular sowie Augeninnendruck rechts und links

Variable	rechtes Auge		linkes Auge		binokular	
	AG I Median (Range)	AG II Median (Range)	AG I Median (Range)	AG II Median (Range)	AG I Median (Range)	AG II Median (Range)
Fernvisus	1,0 (0,63 - 1,0)	1,0 (0,63 - 1,0)	1,0 (0,63 - 1,0)	1,0 (0,63 - 1,0)	1,0 (0,7 - 1,0)	1,0 (0,63 - 1,0)
Nahvisus	1,0 (0,25 - 1,0)	0,7 (0,2 - 1,0)	1,0 (0,25 - 1,0)	0,7 (0,2 - 1,0)	1,0 (0,32 - 1,0)	0,8 (0,2 - 1,0)
Tonometrie [mmHg]	14,7 (8,0 - 20,1)	12,9 (7,3 - 17,7)	13,6 (7,8 - 20,7)	13,1 (7,7 - 20,1)		

Die folgenden Tabellen zeigen die Mediane der Kontrastergebnisse sowie die Spannweiten, die mit den drei Geräteverfahren und den zwei Tafelverfahren jeweils in beiden Altersgruppen bestimmt wurden (Geräteverfahren: Tabelle 7, Mars-Tafeln: Tabelle 8, VISTECH-Tafel: Tabelle 9).

Tabelle 7: Vergleich der Altersgruppen: gemessene Kontrastwerte der Geräteverfahren Mesotest II, Optovist und Rodatest 302

Gerät, Visus- stufe	rechtes Auge		linkes Auge		binokular	
	AGI	AGII	AGI	AGII	AGI	AGII
Mesotest (Kontraststufe)	4 (2 - 4)	3 (0 - 4)	4 (1 - 4)	3 (0 - 4)	4 (2 - 4)	4 (0 - 4)
Optovist 0,16; K _w (%)	2,5 (2,5 - 10)	2,5 (2,5 - 10)	5 (2,5 - 20)	5 (2,5 - 40)	2,5 (2,5 - 5)	2,5 (2,5 - 10)
Optovist 0,25; K _w (%)	2,5 (2,5 - 15)	5 (2,5 - 40)	10 (2,5 - 20)	10 (5 - 40)	2,5 (2,5 - 15)	5 (2,5 - 15)
Optovist 0,40; K _w (%)	5 (2,5 - 40)	10 (2,5 - 80)	10 (5 - 40)	15 (10 - 80)	5 (2,5 - 20)	10 (5 - 80)
Rodatest 0,16; K _w (%)	5 (2,5 - 20)	5 (2,5 - 40)	5 (2,5 - 20)	10 (2,5 - 40)	5 (2,5 - 10)	5 (2,5 - 10)
Rodatest 0,25; K _w (%)	5 (2,5 - 40)	10 (2,5 - 40)	7,5 (5 - 40)	10 (2,5 - 40)	5 (2,5 - 10)	5 (2,5 - 20)
Rodatest 0,40; K _w (%)	10 (5 - 80)	20 (5 - 80)	10 (5 - 40)	20 (5 - 100)	7,5 (2,5 - 40)	10 (5 - 40)

Tabelle 8: Vergleich der Altersgruppen: mit den Mars-Tafeln gemessene KE und Kontrastwerte

Kontrasteinheit	rechtes Auge		linkes Auge		binokular	
	AGI	AGII	AGI	AGII	AGI	AGII
logCS(Weber)	1,76 (1,6 - 1,88)	1,68 (1,40 - 1,84)	1,76 (1,60 - 1,88)	1,76 (1,44 - 1,92)	1,88 (1,76 - 1,92)	1,76 (1,68 - 1,92)
K _w (%)	1,7 (1,3 - 2,5)	2,1 (1,4 - 4,0)	1,7 (1,3 - 2,5)	1,7 (1,2 - 3,6)	1,3 (1,2 - 1,7)	1,7 (1,2 - 2,1)

Tabelle 9: Vergleich der Altersgruppen: mit der VISTECH-Tafel gemessene KE

Reihe und Ortsfrequenz	rechtes Auge		linkes Auge	
	AGI	AGII	AGI	AGII
A: KE OF 1,5	70 (20 - 120)	35 (20 - 120)	35 (35 - 120)	35 (20 - 70)
B: KE OF 3	170 (44 - 170)	85 (24 - 170)	85 (15 - 220)	85 (15 - 170)
C: KE OF 6	125 (21 - 185)	45 (11 - 185)	125 (11 - 260)	45 (21 - 185)
D: KE OF 12	88 (5 - 125)	15 (0 - 88)	55 (5 - 125)	15 (0 - 125)
E: KE OF 18	26 (0 - 65)	4 (0 - 40)	15 (0 - 40)	8,5 (0 - 40)

Über die Berechnung von Kreuztabellen mittels Chi-Quadrat-Tests nach Pearson wurde der Zusammenhang zwischen den Altersgruppen und verschiedenen Variablen ausgewertet. Tabelle 10 zeigt die Verteilung der Anamneseparameter und Tabelle 11 die Verteilung der Testergebnisse der Probanden jeweils mit zugehöriger Irrtumswahrscheinlichkeit p.

Tabelle 10: Verteilung Anamneseparameter in den Altersgruppen

Variable	Eigenschaft der Variablen	Anzahl (%)		p _{Chi-Quadrat nach Pearson}
		AG I	AG II	
Sehhilfe	keine	22 (30,1 %)	7 (9,5 %)	0,002
	verwendet	51 (69,9 %)	67 (90,5 %)	
Augenerkrankungen	keine	72 (98,6 %)	61 (82,4 %)	0,001
	vorhanden	1 (1,4 %)	13 (17,6 %)	
Diabetes mellitus	kein	72 (98,6 %)	69 (93,2 %)	0,099
	vorhanden	1 (1,4 %)	5 (6,8 %)	
Arterielle Hypertonie	keine	73 (100 %)	39 (52,7 %)	< 0,001
	vorhanden	0 (0 %)	35 (47,3 %)	
Allergien	keine	47 (64,4 %)	45 (60,8 %)	0,654
	vorhanden	26 (35,6 %)	29 (39,2 %)	
Andere Erkrankungen	keine	56 (76,7 %)	35 (47,3 %)	< 0,001
	vorhanden	17 (23,3 %)	39 (52,7 %)	
Medikamente	keine	50 (68,5 %)	19 (25,7 %)	< 0,001
	vorhanden	23 (31,5 %)	55 (74,3 %)	
Rauchstatus	Nichtraucher	65 (89,0 %)	37 (50,0 %)	< 0,001
	Raucher	2 (2,7 %)	13 (17,6 %)	
	Ex-Raucher	6 (8,2 %)	24 (32,4 %)	
Passivrauchexposition	keine	68 (93,2 %)	71 (95,9 %)	0,455
	vorhanden	5 (6,8 %)	3 (4,1 %)	

Tabelle 11: Verteilung der Testergebnisse in den Altersgruppen

Variable	Eigenschaft der Variablen	Anzahl (%)		pChi-Quadrat nach Pearson
		AG I	AG II	
Mars rechts	bestanden	61 (84,7 %)	53 (80,3 %)	0,494
	nicht bestanden	11 (15,3 %)	13 (19,7 %)	
Mars links	bestanden	70 (95,9 %)	63 (91,3 %)	0,262
	nicht bestanden	3 (4,1 %)	6 (8,7 %)	
Mars binokular	bestanden	73 (100,0 %)	74 (100,0 %)	nicht berechenbar
	nicht bestanden	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
VISTECH rechts	bestanden	53 (73,6 %)	21 (31,8 %)	< 0,001
	nicht bestanden	19 (26,4 %)	45 (68,2 %)	
VISTECH links	bestanden	56 (76,7 %)	23 (33,3 %)	< 0,001
	nicht bestanden	17 (23,3 %)	46 (66,7 %)	
Rodatest rechts	bestanden	51 (81,0 %)	59 (92,2 %)	0,063
	nicht bestanden	12 (19,0 %)	5 (7,8 %)	
Rodatest links	bestanden	48 (75,0 %)	57 (87,7 %)	0,064
	nicht bestanden	16 (25,0 %)	8 (12,3 %)	
Rodatest binokular	bestanden	70 (95,9 %)	71 (97,3 %)	0,649
	nicht bestanden	3 (4,1 %)	2 (2,7 %)	
Rodatest K1	bestanden	41 (68,3 %)	23 (39,7 %)	0,002
	nicht bestanden	19 (31,7 %)	35 (60,3 %)	
Optovist	bestanden	71 (97,3 %)	59 (79,7 %)	0,001
	nicht bestanden	2 (2,7 %)	15 (20,3 %)	
Mesotest rechts	bestanden	65 (92,9 %)	45 (68,2 %)	< 0,001
	nicht bestanden	5 (7,1 %)	21 (31,8 %)	
Mesotest links	bestanden	61 (85,9 %)	46 (66,7 %)	0,007
	nicht bestanden	10 (14,1 %)	23 (33,3 %)	
Mesotest binokular	bestanden	71 (97,3 %)	56 (75,7 %)	< 0,001
	nicht bestanden	2 (2,7 %)	18 (24,3 %)	
Mesotest gesamt	bestanden	60 (84,5 %)	38 (51,4 %)	< 0,001
	nicht bestanden	11 (15,5 %)	36 (48,6 %)	

Mit Ausnahme der Mars-Tafeln und der einzelnen Ergebnisse des Rodatest 302 zeigte sich für alle anderen Kontrastsehtests eine signifikante Abhängigkeit des Bestehens vom Alter.

4.2.3 Korrelationsanalyse der Ergebnisse der verwendeten ophthalmologischen Verfahren mit dem Alter

Im Folgenden wurden die Korrelationskoeffizienten zwischen Alter und verschiedenen Parametern von ophthalmologischen Verfahren berechnet (Tabelle 12).

Tabelle 12: Korrelation von Alter und ophthalmologischen Messungen

Gerät	Alter						
	rechtes Auge		linkes Auge		binokular		
	r	p	r	p	r	p	
Fernvisus		-0,346	<0,001	-0,324	<0,001	-0,350	<0,001
Nahvisus		-0,656	<0,001	-0,598	<0,001	-0,595	<0,001
Kontrastergebnis Mesotest II		-0,504	<0,001	-0,435	<0,001	-0,480	<0,001
Kontrast- ergebnis Optovist	0,16	0,163	0,057	0,230	0,006	0,312	<0,001
	0,25	0,305	<0,001	0,328	<0,001	0,410	<0,001
	0,4	0,358	<0,001	0,374	<0,001	0,456	<0,001
Kontrast- ergebnis Rodatest 302	0,16	0,382	<0,001	0,342	<0,001	0,424	<0,001
	0,25	0,338	<0,001	0,290	0,001	0,389	<0,001
	0,4	0,315	<0,001	0,359	<0,001	0,454	<0,001
Kontrastergebnis Mars-Tafel		0,510	<0,001	0,414	<0,001	0,537	<0,001
Kontrast- ergebnis VISTECH-Tafel	1,5	-0,250	0,003	-0,304	<0,001		
	3	-0,465	<0,001	-0,416	<0,001		
	6	-0,534	<0,001	-0,540	<0,001		
	12	-0,549	<0,001	-0,530	<0,001		
	18	-0,494	<0,001	-0,461	<0,001		

Sowohl Fern- und Nahvisus als auch die erreichten Kontrastwerte korrelierten mit einer Ausnahme signifikant mit dem Alter der Probanden. Lediglich die mit Optovist in der Visusstufe 0,16 auf dem rechten Auge gemessenen Kontrastwerte verfehlten knapp die Signifikanz.

4.3 Methodenvergleich

Um die Ergebnisse der einzelnen ophthalmologischen Methoden miteinander zu vergleichen, wurden die Häufigkeiten für das Bestehen jedes Tests errechnet und mit dem Referenzverfahren Mesotest II sowie im Weiteren zusätzlich mit den anderen getesteten Verfahren verglichen. Dabei wurden die in den Methoden beschriebenen Kriterien zum Bestehen des jeweiligen Tests zugrunde gelegt.

Darüber hinaus wurden die mit Rodatest 302, Optovist und VISTECH-Tafel bestimmten Kontrastwerte, die sich in Ortsfrequenz bzw. Visusstufe entsprechen, miteinander verglichen und korreliert.

Da die primäre Fragestellung der Studie der Vergleich des Mesotest II mit den einzelnen photopischen Verfahren war und es sich hierbei nur um wenige Variablen handelte, wurde in Rücksprache mit dem Institut für Biometrie und medizinische Informatik in der Auswertung des Methodenvergleichs auf eine Bonferroni-Korrektur verzichtet.

4.3.1 Häufigkeit des Bestehens der einzelnen Methoden

Abbildung 11 bis Abbildung 13 zeigen den Anteil der Probanden, die den Kontrastsehtest an den jeweiligen Geräten bestanden. Dabei wurden die Kriterien der Hersteller angewandt.

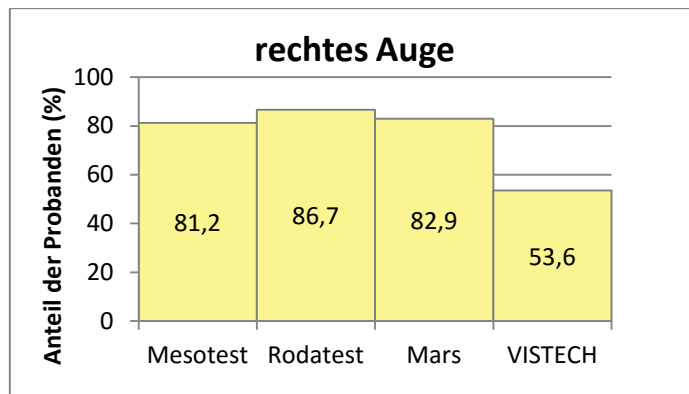


Abbildung 11: Häufigkeit des Bestehens der einzelnen Methoden mit dem rechten Auge

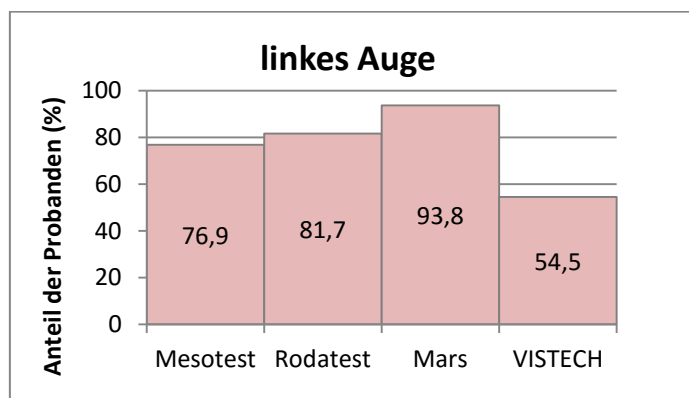


Abbildung 12: Häufigkeit des Bestehens der einzelnen Methoden mit dem linken Auge

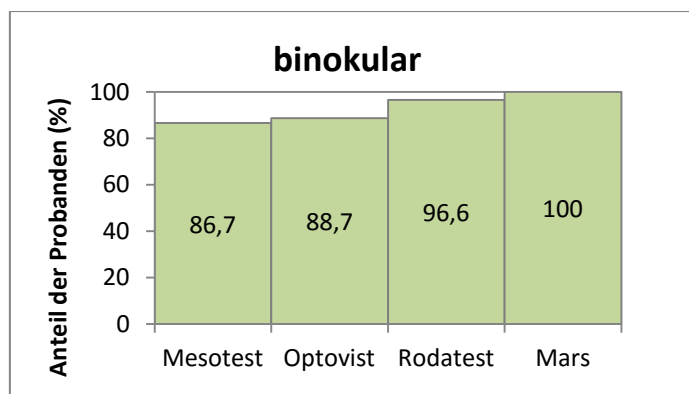


Abbildung 13: Häufigkeit des Bestehens der einzelnen Methoden mit beiden Augen

Es zeigten sich deutliche Unterschiede im Bestehen der einzelnen Methoden mit Werten zwischen 53,6 % und 100 %. Die VISTECH-Tafel wies mit 53,6 % für das rechte Auge und 54,5 % für das linke Auge den geringsten Anteil an erfolgreichen Probanden auf. Die Mars-Tafeln zeigten

Bestehensquoten zwischen 82,9 % und 100 %. Binokular bestanden an den Mars-Tafeln alle Probanden den Kontrastsehtest.

4.3.2 Sensitivität und Spezifität der photopischen Verfahren

Unter der Annahme, dass die Prüfung des Kontrastsehens durch das jahrelang genutzte Referenzverfahren Mesotest II den Sachverhalt am besten detektiert, ob ein Proband die Kontrastsehprüfung besteht, können Sensitivität und Spezifität der photopischen Verfahren im Hinblick auf das Referenzverfahren berechnet werden. Tabelle 13 stellt die Werte für Sensitivität und Spezifität der einzelnen photopischen Verfahren in Abhängigkeit vom Auge dar.

Tabelle 13: Sensitivität und Spezifität der photopischen Verfahren in Bezug auf das Referenzverfahren Mesotest II

Auge	Testverfahren	Sensitivität	Spezifität
rechtes Auge	Rodatest 302	20,0 %	88,35 %
	VISTECH	88,46 %	64,29 %
	Mars	19,23 %	83,04 %
linkes Auge	Rodatest 302	24,14 %	83,17 %
	VISTECH	60,61 %	59,09 %
	Mars	0 %	91,82 %
binokular	Optovist	35,0 %	92,31 %
	Rodatest 302	5,0 %	96,90 %
	Mars	0 %	100 %
insgesamt	Optovist	22,92 %	94,0 %
	Rodatest 302	78,13 %	65,91 %

Die Sensitivität beschreibt hierbei den Anteil der von einem photopischen Verfahren korrekt als nicht bestanden gewerteten Probanden von allen Probanden, die am Mesotest II nicht bestanden. Die Spezifität ist dagegen als Anteil der von den photopischen Verfahren korrekt als bestanden gewerteten Probanden von allen Probanden, die laut Mesotest II bestanden.

4.3.3 Übereinstimmung von Mesotest II und den photopischen Verfahren

Für den Vergleich des Bestehens des Referenzverfahrens Mesotest II mit den übrigen photopischen Verfahren wurde Cohens Kappa berechnet. Die Ergebnisse der statistischen Berechnungen sind in Tabelle 14 dargestellt. Dabei sind die Kappa-Werte wie in Kapitel 3.7 beschrieben farblich kodiert.

Tabelle 14: Cohens Kappa für den Vergleich von Mesotest II mit den photopischen Verfahren

Vergleich Mesotest II mit:	rechtes Auge	linkes Auge	binokular
Optovist			0,292
Rodatest 302	0,095	0,078	0,028
Mars-Tafeln	0,023	-0,110	
VISTECH-Tafel	0,341	0,147	

Es zeigen sich lediglich für das Gerät Optovist sowie für die VISTECH-Tafel schwache Übereinstimmungen der Ergebnisse zum Mesotest II.

4.3.4 Übereinstimmung der photopischen Verfahren untereinander

Neben dem Vergleich mit dem Referenzverfahren Mesotest II wurden die photopischen Verfahren untereinander verglichen. Dabei wurde ebenfalls Cohens Kappa berechnet, um die Übereinstimmung des Bestehens der Methoden zu bestimmen. In Abbildung 14 ist die Übereinstimmung zwischen den für das rechte Auge ausgewerteten Verfahren nach Kappa farblich kodiert dargestellt.

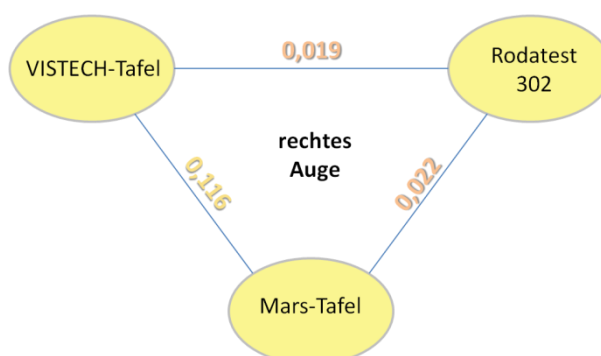


Abbildung 14: Übereinstimmung der photopischen Verfahren nach Cohens Kappa auf dem rechten Auge

Abbildung 15 stellt die berechneten Kappa-Werte für das Testbestehen mit dem linken Auge dar.

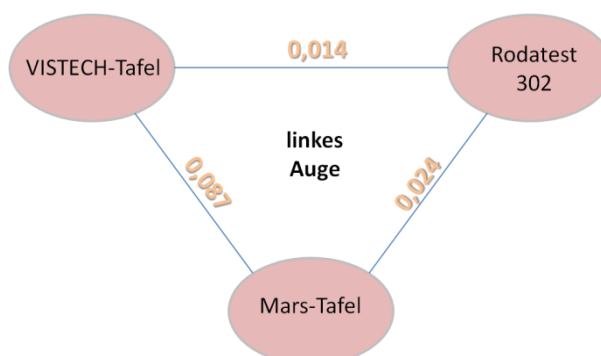


Abbildung 15: Übereinstimmung der photopischen Verfahren nach Cohens Kappa auf dem linken Auge

Binokular konnte nur der Kappa-Wert für die Übereinstimmung zwischen Rodatest 302 und Optovist berechnet werden. Dieser ist in Abbildung 16 dargestellt. Die Berechnung der Kongruenz dieser beiden Geräte zu den Mars-Tafeln war statistisch nicht möglich, da alle Probanden binokular den Kontrastsehtest an den Mars-Tafeln bestanden.



Abbildung 16: Übereinstimmung von Optovist und Rodatest 302 nach Cohens Kappa binokular

Für die Geräte Mesotest II, Rodatest 302 und Optovist konnte zusätzlich zur Auswertung der einzelnen Augenprüfung das Gesamtbestehen des Kontrastsehtests untersucht werden. Abbildung 17 stellt die Übereinstimmung nach Kappa für das Gesamtbestehen der Kontrastsehprüfung der Einblickgeräte dar.

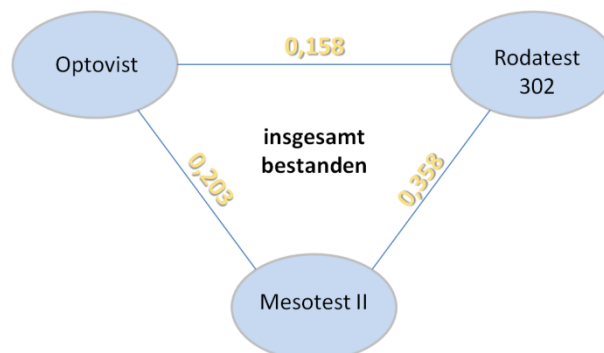


Abbildung 17: Übereinstimmung des Gesamtbestehens von Optovist, Mesotest II und Rodatest 302 nach Cohens Kappa

Das Gesamtbestehen ist für das Gerät Optovist nur über das binokulare Bestehen des Tests gekennzeichnet, während für die anderen beiden Verfahren das gleichzeitige Bestehen von rechtem Auge, linkem Auge sowie binokular für das Gesamtbestehen nötig war.

4.3.5 Übereinstimmung von rechtem und linkem Auge sowie binokular

Über die Berechnung von Cohens Kappa konnte die Übereinstimmung der Messergebnisse eines Verfahrens bei unterschiedlicher Nutzung der Augen bestimmt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Übereinstimmung des Bestehens von rechtem und linkem Auge sowie binokular bei den verschiedenen Verfahren

Übereinstimmung Cohens Kappa	Mesotest II	Rodatest 302	Mars-Tafel	VISTECH-Tafel
rechts – links	0,490	0,581	0,263	0,549
rechts – binokular	0,611	0,348	nicht berechenbar	
links – binokular	0,537	0,301	nicht berechenbar	

Für das Mesotest II-Gerät konnte eine deutliche bis starke Übereinstimmung der Augen berechnet werden. Rodatest 302 und VISTECH-Tafel zeigten eine deutliche Übereinstimmung von rechtem und linkem Auge, während die übrigen Vergleiche nur schwache Übereinstimmungen verzeichneten. Für die Mars-Tafel konnte nur die Übereinstimmung zwischen rechtem und linkem Auge ermittelt werden, da binokular alle Probanden die Testung bestanden.

4.3.6 Vergleich der mit Rodatest 302 und Optovist gemessenen Kontrastwerte

Aufgrund der gleichen Visusstufen zwischen dem Gerät Optovist und Rodatest 302 wurde im Folgenden die an diesen Geräten bestimmten Kontrastwerte in den einzelnen Visusstufen miteinander korreliert. In der Visusstufe 0,16 zeigten sich durchweg signifikante Korrelationskoeffizienten ($p < 0,001$) mit Korrelationen von 0,340 bis 0,693 zwischen den Geräten beziehungsweise zwischen rechtem Auge, linkem Auge und binokular (Tabelle 16).

Tabelle 16: Korrelation der mit Rodatest 302 und Optovist ermittelten Kontrastwerte in der Visusstufe 0,16

Visusstufe 0,16	Rodatest rechts	Rodatest links	Rodatest binokular	Optovist rechts	Optovist links	Optovist binokular
Rodatest rechts	1	0,693	0,678	0,506	0,428	0,352
Rodatest links		1	0,651	0,431	0,579	0,340
Rodatest binokular			1	0,443	0,575	0,420
Optovist rechts				1	0,522	0,576
Optovist links					1	0,423
Optovist binokular						1

Tabelle 17 und Tabelle 18 stellen die Korrelationskoeffizienten von Optovist und Rodatest 302 in der Visusstufe 0,25 und 0,4 dar.

Tabelle 17: Korrelation der mit Rodatest 302 und Optovist ermittelten Kontrastwerte in der Visusstufe 0,25

Visusstufe 0,25	Rodatest rechts	Rodatest links	Rodatest binokular	Optovist rechts	Optovist links	Optovist binokular
Rodatest rechts	1	0,631	0,593	0,649	0,479	0,569
Rodatest links		1	0,682	0,466	0,659	0,543
Rodatest binokular			1	0,510	0,601	0,643
Optovist rechts				1	0,615	0,763
Optovist links					1	0,610
Optovist binokular						1

Tabelle 18: Korrelation der mit Rodatest 302 und Optovist ermittelten Kontrastwerte in der Visusstufe 0,4

Visusstufe 0,4	Rodatest rechts	Rodatest links	Rodatest binokular	Optovist rechts	Optovist links	Optovist binokular
Rodatest rechts	1	0,616	0,666	0,656	0,500	0,594
Rodatest links		1	0,686	0,514	0,691	0,486
Rodatest binokular			1	0,586	0,658	0,707
Optovist rechts				1	0,621	0,771
Optovist links					1	0,650
Optovist binokular						1

In den Visusstufen 0,25 und 0,4 zeigten sich etwas höhere Korrelationen als in der Visusstufe 0,16 mit Korrelationskoeffizienten zwischen 0,466 und 0,771. Alle Korrelationen waren signifikant mit $p < 0,001$.

4.3.7 Vergleich von VISTECH-Tafel, Rodatest 302 und Optovist in der sich entsprechenden Ortsfrequenz/Visusstufe

Nach Paliaga (1993) ist die Ortsfrequenz 12 der VISTECH-Tafel bei der Prüfung des Kontrastsehens mit der Visusstufe 0,4 des Rodatest 302- und des Optovist-Geräts vergleichbar. Die Ergebnisse dieser drei Kontrastsehtests wurden in dieser Studie miteinander korreliert.

Die einzeln für das rechte und linke Auge berechneten Korrelationskoeffizienten zeigt Abbildung 18. Alle Ergebnisse waren signifikant mit $p < 0,001$.

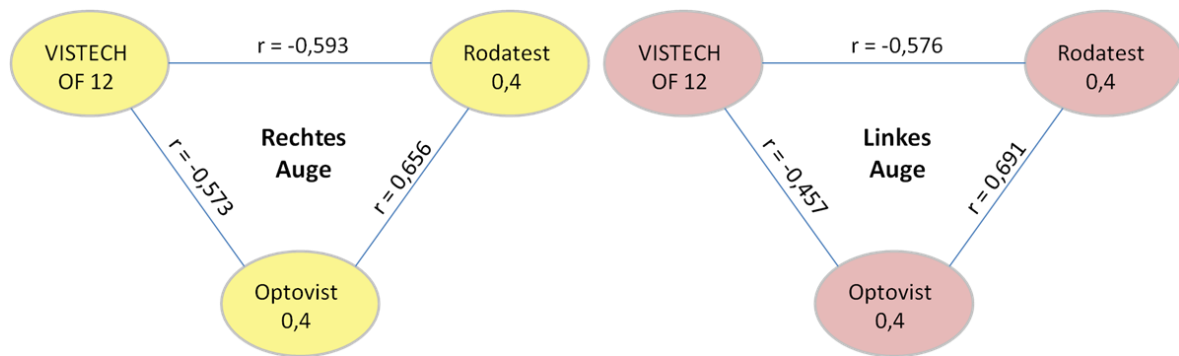


Abbildung 18: Korrelation der Ergebnisse der Kontrastsehtests von VISTECH-Tafel bei Ortsfrequenz 12 und Rodatest 302 und Optovist bei Visusstufe 0,4 auf rechtem und linkem Auge

Die VISTECH-Tafel ging mit KE-Werten in die Statistik ein, während für Rodatest 302 und Optovist Weber-Kontraste erfasst wurden, welche im Gegensatz zu den KE-Werten niedrigere Werte bringen, je besser das Kontrastsehen ausfällt. Aus diesem Grund ergaben sich für die Zusammenhänge zwischen VISTECH-Tafel und den Geräteverfahren negative Korrelationskoeffizienten.

4.3.8 Zusammenhang der Häufigkeit der Testergebnisse von Mesotest II und photopischen Verfahren

Abbildung 19 bis Abbildung 21 veranschaulichen beispielhaft, wie die binokularen Testergebnisse des Mesotest II mit den Ergebnissen von Optovist, Rodatest 302 und Mars-Tafel zusammenhängen.

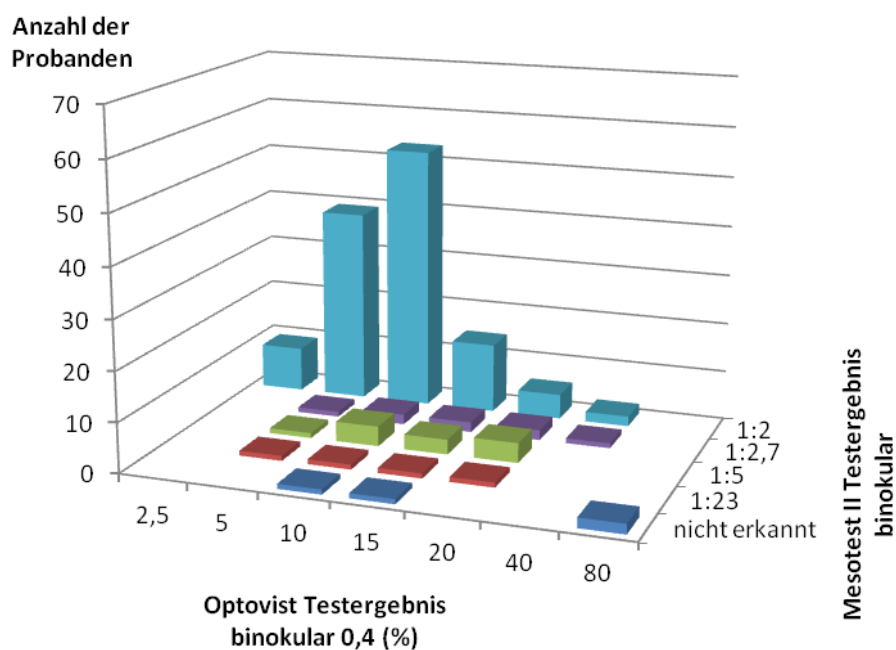


Abbildung 19: Zusammenhang der Häufigkeit der Testergebnisse mit den Geräten Mesotest II und Optovist

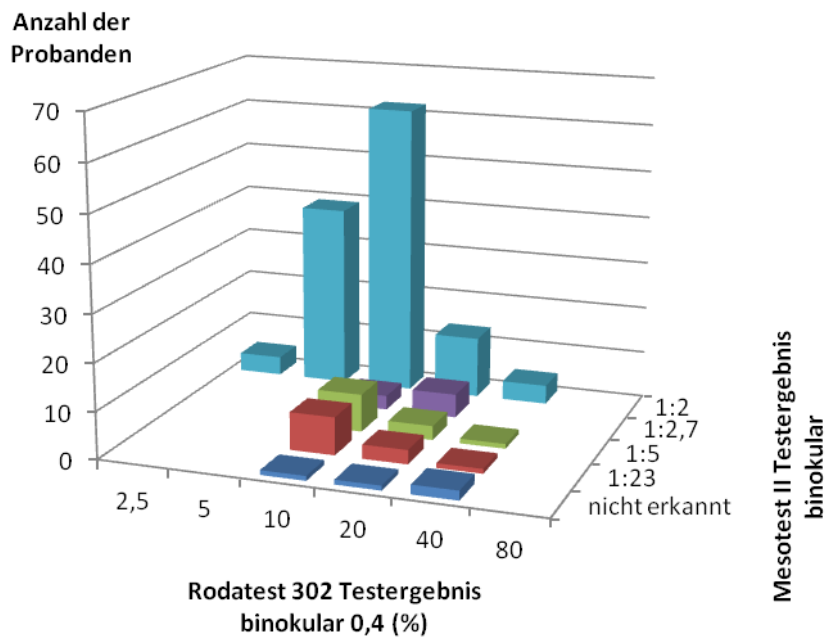


Abbildung 20: Zusammenhang der Häufigkeit der Testergebnisse mit den Geräten Mesotest II und Rodatest 302

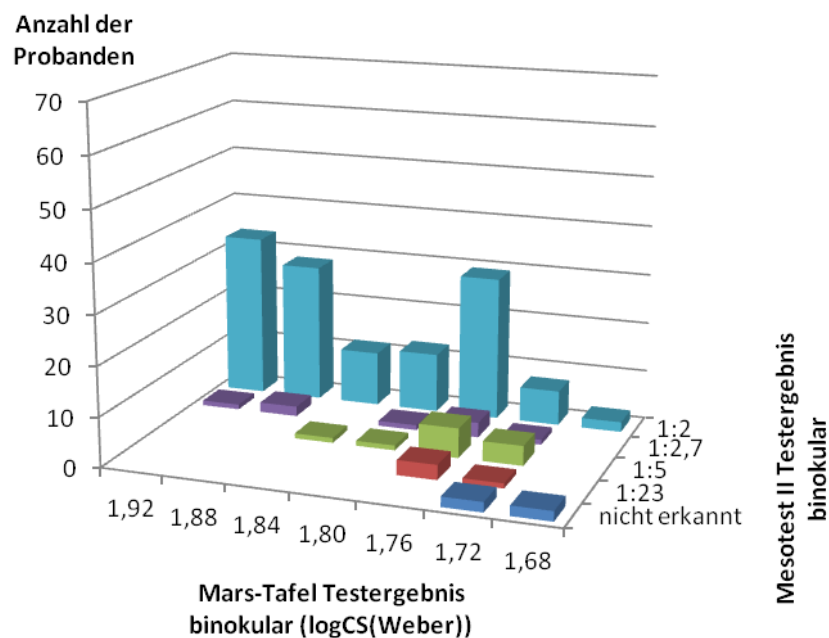


Abbildung 21: Zusammenhang der Häufigkeit der Testergebnisse mit Mesotest II und Mars-Tafel

Es zeigte sich bei allen drei Vergleichen keine symmetrische Verteilung, wie sie bei äquivalenten Testmethoden zu erwarten gewesen wäre, sondern vielmehr eine Verschiebung der Säulen hin zu maximalen mesopischen Testergebnissen.

4.3.9 Übersichtstabelle zum Bestehen der Methoden

Anlage 9 gibt eine tabellarische Übersicht über das Abschneiden aller Probanden im Methodenvergleich. Dabei sind in einer Zeile jeweils die Ergebnisse eines Probanden in allen Kontrastsehtests farblich hinterlegt. Es wurde deutlich, dass das Bestehen eines Tests auch das Bestehen der anderen Tests bedeuten konnte, aber nicht zwangsläufig bedeuten musste. Ebenso verhielt es sich auch für das Bestehen von rechtem und linkem Auge.

4.4 Bestimmung der Verteilungsparameter

Viele Hersteller von Kontrastsehtests beziehen ihre Grenzwerte für die Kontrastsehprüfung aus Normwertstudien. Ein übliches Verfahren ist dabei die Berechnung von 5 %- bzw. 95 %-Perzentilen. Der Wert, bei dem 5 % der Probanden den Kontrastsehtest nicht bestehen, wird dann als Grenze von normalen zu pathologischen Werten definiert.

Aus den in dieser Studie erhobenen Daten sollten die Verteilungsparameter der Stichprobe berechnet werden. Da es sich nicht um eine repräsentative Stichprobe handelte, beschrieben diese ausschließlich die Verteilung der Messergebnisse der Probanden dieser Studie und waren nicht als Grenzwerte allgemeingültig anwendbar. Ein Vergleich der Verteilungsparameter dieser Studie mit Grenzwerten aus Normwertstudien der Hersteller war aber trotzdem von Interesse, um erste Ungereimtheiten zu entdecken.

Vor der Berechnung wurden die Daten von Probanden herausgenommen, bei denen durch Vorliegen einer Erkrankung oder durch vermehrten Konsum von Alkohol nicht ausgeschlossen werden konnte, dass das Kontrastsehen dadurch beeinflusst wurde (siehe Kap. 4.1). Die Berechnung des Bereichs, in dem 90 % der Ergebnisse der Probanden lagen, erfolgte mittels Bestimmung der 5 %- und 95 %-Perzentile. Dabei kam je nach erhobener Kontrasteinheit der Geräte entweder das 5 %-Perzentil oder das 95 %-Perzentil in Frage. Auf diese Weise erfolgte die Berechnung der Perzentile getrennt für die zwei Altersgruppen.

Das Alter der in die Perzentilenberechnung einbezogenen Probanden betrug im Median 27 Jahre (Spannweite 18 – 73 Jahre). In AG I waren die Probanden im Median 24 Jahre alt, während sie in AG II ein medianes Alter von 54 Jahren aufwiesen.

4.4.1 Perzentile der Geräteverfahren

4.4.1.1 Berechnung der Perzentile für Mesotest II und Optovist

Für die Berechnung der Perzentile für das Mesotest II-Gerät wurden die in Kap. 3.5.1 beschriebenen Kontraststufen verwendet. Eine höhere Kontraststufe bedeutete dabei, dass ein niedrigerer Kontrast

erkannt wurde. Daher war für das Mesotest II-Gerät das 5 %-Perzentil für den Vergleich mit bestehenden Grenzwerten relevant. Unterhalb dieses Wertes lagen nur 5 % der Ergebnisse der Probanden.

Es ergab sich in der AG I für monokulares Sehen als 5 %-Perzentil die im Gerät verwendete zweite Kontraststufe von 1:5. Bei binokularer Testung lag das 5 %-Perzentil bei Stufe 3, das heißt einem Kontrast von 1:2,7. Dieser Wert entsprach dem verwendeten Grenzwert von 1:2,7 (Tabelle 19). In der AG II zeigten sich geringere Werte für die Perzentile (Tabelle 20), die sowohl für monokulares als auch für binokulares Sehen noch unter der ersten Kontraststufe des Geräts lagen.

Tabelle 19: Median und Perzentile der mit Mesotest II und Optovist ermittelten Kontrastwerte in AG I
Die für die Geräte relevanten Perzentile sind in der Tabelle grau hinterlegt.

Methode	Messbedingung	Median	Perzentile	
			5	95
Mesotest II (Kontraststufen)	monokular	4	2	4
	binokular	4	3	4
Optovist (Weber-Kontrast, %)	monokular 0,16	2,5	2,5	10
	binokular 0,16	2,5	2,5	5
	monokular 0,25	5	2,5	15
	binokular 0,25	5	2,5	10
	monokular 0,4	10	2,75	40
	binokular 0,4	5	2,5	15

Tabelle 20: Median und Perzentile der mit Mesotest II und Optovist ermittelten Kontrastwerte in AG II
Die für die Geräte relevanten Perzentile sind in der Tabelle grau hinterlegt.

Methode	Messbedingung	Median	Perzentile	
			5	95
Mesotest II (Kontraststufen)	monokular	4	0,5	4
	binokular	4	0,35	4
Optovist (Weber-Kontrast, %)	monokular 0,16	5	2,5	15
	binokular 0,16	2,5	2,5	14,75
	monokular 0,25	10	2,5	17,5
	binokular 0,25	5	2,5	16,5
	monokular 0,4	15	5	80
	binokular 0,4	10	5	33

Für das Gerät Optovist stellte aufgrund der verwendeten Weber-Kontrastwerte das 95 %-Perzentil das Äquivalent zu bestehenden Grenzwerten dar. In der AG I ergab die Berechnung des 95 %-Perzentils in der Visusstufe 0,4 für binokulare Testung einen Kontrastwert von 15 %. Dieser entsprach dem vom Hersteller empfohlenen Grenzwert für binokulares Sehen in dieser Visusstufe. Für niedrigere Visusstufen ergaben sich niedrigere Perzentilenwerte. Dahingegen waren die 95 %-Perzentile für monokulares Sehen deutlich höher als für binokulares Sehen (Tabelle 19). In AG II

zeigten sich deutlich erhöhte Werte für das 95 %-Perzentil im Vergleich zu AG I. Auch hier stiegen die Werte zu niedrigeren Visusstufen sowie bei monokularem Sehen (Tabelle 20).

4.4.1.2 Berechnung der Perzentile für Rodatest 302

Tabelle 21 und Tabelle 22 zeigen die 95 %-Perzentile für die verschiedenen Visusstufen am Rodatest 302. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die in dieser Studie verwendeten Altersgruppen nicht ganz der im Rodatest 302 verwendeten Altersgrenze für K1 und K2 entsprachen, die bei 50 Jahren lag.

Für binokulares Sehen waren die Perzentile der AG I dieser Stichprobe für die Visusstufen 0,25 und 0,4 gleich den Vorgaben des Kontrasttests K1. Für die Visusstufe 0,16 sowie für monokulares Sehen forderte der Test K1 deutlich stärkeres Kontrastsehen als die Verteilungsparameter dieser Stichprobe beschrieben (Tabelle 21).

Tabelle 21: Median und Perzentile der mit Rodatest 302 ermittelten Kontrastwerte in AG I sowie Grenzwerte des Herstellers für die Kontrasttests K1 und K2

Die für das Gerät relevanten Perzentile sind in der Tabelle grau hinterlegt.

Methode	Messbedingung	Median	Perzentile		Grenzwerte nach Hersteller	
			5	95	K1	K2
Rodatest 302 (Weber-Kontrast, %)	monokular 0,16	5	2,5	10	5	10
	binokular 0,16	5	2,5	7	5	10
	monokular 0,25	5	5	20	10	20
	binokular 0,25	5	2,5	10	10	20
	monokular 0,4	10	5	40	20	40
	binokular 0,4	10	2,5	20	20	40

In AG II entsprachen die meisten berechneten Werte denen des Kontrasttests K2 (Tabelle 22).

Tabelle 22: Median und Perzentile der mit Rodatest 302 ermittelten Kontrastwerte in AG II sowie Grenzwerte des Herstellers für die Kontrasttests K1 und K2

Die für das Gerät relevanten Perzentile sind in der Tabelle grau hinterlegt.

Methode	Messbedingung	Median	Perzentile		Grenzwerte nach Hersteller	
			5	95	K1	K2
Rodatest 302 (Weber-Kontrast, %)	monokular 0,16	5	3,25	10	5	10
	binokular 0,16	5	2,5	10	5	10
	monokular 0,25	10	3,625	20	10	20
	binokular 0,25	5	3,375	16,5	10	20
	monokular 0,4	20	5	40	20	40
	binokular 0,4	10	5	33	20	40

Lediglich für binokulares Sehen in den Visusstufen 0,25 und 0,4 ergaben sich geringere Werte in der untersuchten Stichprobe als von K2 gefordert.

4.4.2 Perzentile der Tafelverfahren

4.4.2.1 Berechnung der Perzentile für die Mars-Tafeln

Für die Mars-Tafeln ist wie beim Mesotest II für den Vergleich mit bestehenden Grenzwerten des Herstellers das 5 %-Perzentil von Interesse. Dies liegt darin begründet, dass bei steigender KE eines Probanden dieser höhere Ergebnisse in der logCS(Weber)-Skala erreicht und das 5 %-Perzentil somit das untere Ende der Verteilung der Stichprobe darstellt. Tabelle 23 und Tabelle 24 zeigen Median und Perzentile der beiden Altersgruppen.

Tabelle 23: Median und Perzentile der mit Mars-Tafeln ermittelten KE in AG I

Die relevanten Perzentile sind in der Tabelle grau hinterlegt.

Methode	Messbedingung	Median	Perzentile	
			5	95
Mars-Tafel (logCS(Weber))	monokular	1,76	1,68	1,88
	binokular	1,88	1,76	1,92

Tabelle 24: Median und Perzentile der mit Mars-Tafeln ermittelten KE in AG II

Die relevanten Perzentile sind in der Tabelle grau hinterlegt.

Methode	Messbedingung	Median	Perzentile	
			5	95
Mars-Tafel (logCS(Weber))	monokular	1,76	1,56	1,84
	binokular	1,76	1,694	1,906

Wie beim Rodatest-Gerät entsprach auch hier die Altersaufteilung des Geräts nicht exakt der in dieser Studie vorgenommenen Altersgruppeneinteilung. In AG I wurde das 5 %-Perzentil in der Einheit logCS(Weber) mit 1,68 für die monokulare Testung und 1,76 für die binokulare Testung berechnet. Der vom Hersteller für bis 60-Jährige angegebene Grenzwert von 1,72 lag zwischen diesen beiden Werten. In AG II lagen die berechneten Perzentilwerte mit 1,56 für monokulares Sehen und 1,694 für binokulares Sehen deutlich über dem vom Hersteller vorgegebenen Wert von 1,52.

4.4.2.2 Berechnung der Perzentile für die VISTECH-Tafel

Für die Auswertung der VISTECH-Tafel stellt der Hersteller eine Grafik zum Eintragen der KE-Kurve zur Verfügung (siehe Anlage 7). Der grau hinterlegte Bereich stellt den Normbereich laut Hersteller dar. In Abbildung 22 ist der vom Hersteller angegebene Bereich zusammen mit dem 90 %-

Streubereich der erfassten Probanden abgebildet. Dabei stellt das 5 %-Perzentil das untere und das 95 %-Perzentil das obere Ende der Verteilung dar.

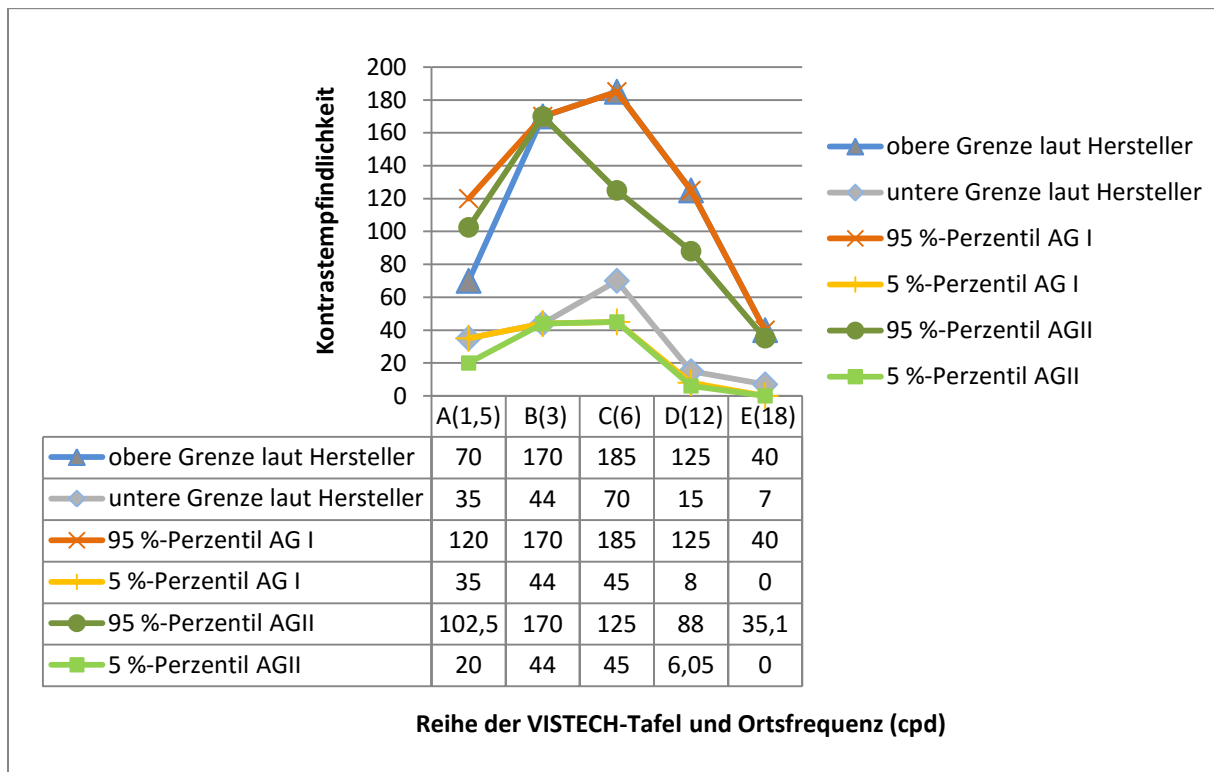


Abbildung 22: Vergleich der Herstellerangaben und errechneter Werte der Verteilung der KE an der VISTECH-Tafel

Das 95 %-Perzentil in AG I entsprach bis auf Ortsfrequenz 1,5 cpd den Herstellerangaben. Für das 5 %-Perzentil ergaben sich geringere Werte in den Ortsfrequenzen 6 cpd bis 18 cpd, die einer Lockerung der Grenzwerte des Herstellers entsprächen.

In AG II zeigten sich deutlich größere Unterschiede zu den Herstellerangaben als in AG I. Für beide Perzentile wichen bis auf die Ortsfrequenz 3 cpd alle berechneten Werte von den vorgegebenen Grenzwerten ab und zeigten (bis auf das 95 %-Perzentil für die Ortsfrequenz 1,5 cpd) deutlich niedrigere Werte für diese Stichprobe.

5 Diskussion

Das Kontrastsehen als wichtige Sehfunktion rückt zunehmend in den Fokus (Bach et al. 2011; Wilhelm et al. 2011; 2013; Bergmann et al. 2016; Hertenstein et al. 2016), wenn es um die Erfassung der tatsächlichen visuellen Leistungen, um Früherkennung von Krankheiten oder um die Fahreignung geht. Die verschiedenen vorhandenen Methoden sind noch nicht hinreichend erforscht und lassen viele Fragen zu Methodik, Standardisierung, Verlässlichkeit sowie Norm- und Grenzwerten offen, die es zu diskutieren gilt.

5.1 Überprüfung der impliziten Annahmen

An der Studie nahmen 40,8 % Männer und 59,2 % Frauen teil. Der Geschlechtervergleich der Studiendaten konnte die Arbeitshypothese bestätigen, dass die große Mehrzahl der erhobenen Parameter mit einem p-Wert von größer als 0,05 unabhängig vom Geschlecht war. Aufgrund der hohen Anzahl der durchgeführten Vergleichstests konnten nach Bonferroni die drei Variablen mit p-Werten zwischen 0,01 und 0,032 trotz allem noch als Zufallsereignisse gewertet werden. Wie in dieser Studie konnten auch Hohberger et al. (2007) keine Unterschiede für Visus und KE zwischen den Geschlechtern feststellen.

Die erste Annahme konnte somit bestätigt und die weitere Auswertung geschlechterunabhängig durchgeführt werden.

Die Stichprobe umfasste 73 Probanden unter 45 Jahren in der Altersgruppe I und 74 Probanden ab 45 Jahren in der Altersgruppe II. Die Verteilung der Geschlechter war in beiden Altersgruppen nahezu gleich (Altersgruppe I: 42,5 % Männer, Altersgruppe II: 39,2 % Männer). Wie erwartet zeigten sich in fast allen erhobenen Parametern Unterschiede zwischen den beiden Altersgruppen. Sowohl Fern- als auch Nahvisus waren in Altersgruppe II signifikant geringer. Dies galt sowohl für das rechte und linke Auge als auch binokular. Beide zeigten eine Korrelation mit dem Alter, die für den Nahvisus stärker als für den Fernvisus ausgeprägt war. Wie auch in dieser Studie festgestellt wurde, nimmt der Visus mit steigendem Alter ab (Justino et al. 2001; Wood 2002; Hohberger et al. 2007; Heimbucher 2009; Höllerhage 2012).

Der Augeninnendruck zeigte nur für das rechte Auge einen statistischen Unterschied mit geringem niedrigerem Wert in Altersgruppe II. Einen Rückschluss auf einen generellen Zusammenhang zwischen Augeninnendruck und KE fanden auch Anderson und Stainer (2014) nicht.

In den Altersrahmen der maximalen KE nach Paliaga (1993) fiel Altersgruppe I (< 45 Jahre), die höchst signifikante Unterschiede zu Altersgruppe II (\geq 45 Jahre) aufwies. In allen Methoden zeigten sich in dieser Studie deutlich schlechtere Ergebnisse in der Bestimmung des Kontrast- und

Dämmerungssehens in Altersgruppe II. Dabei war das Bestehen der Kriterien für Kontrast- bzw. Dämmerungssehen mittels VISTECH-Tafel, Rodatest 302 (K1), Optovist und Mesotest II vom Alter abhängig. Lediglich die Mars-Tafeln und das Bestehen des Rodatest-Geräts insgesamt zeigten keine Abhängigkeit vom Alter. Dies könnte für die Mars-Tafeln dadurch begründet sein, dass sich hier Deckeneffekte bei der Bestimmung der KE ergaben, die zu einer Verzerrung der Altersabhängigkeit führen könnten. Für das Rodatest-Gerät konnte nur für das Bestehen des Kontrasttests K1 eine Abhängigkeit vom Alter gezeigt werden. Die Tatsache, dass nur Probanden, die K1 nicht bestanden, den Test K2 durchliefen und dass beim Rodatest öfter Werte fehlten als bei anderen Verfahren, scheint nahezu legen, dass die fehlende Abhängigkeit vom Alter hier durch die Testdurchführung begründet war.

Sowohl das Kontrast- als auch das Dämmerungssehen korrelierten in allen Methoden mit dem Alter. Lediglich in einer Kontraststufe des Optovist-Geräts wurde auf dem rechten Auge die Signifikanz knapp verfehlt.

Die Abhängigkeit der Sehleistung vom Alter ist in der Literatur weit verbreitet. Grund hierfür sind nicht nur Alterungsprozesse, sondern auch vermehrt auftretende Augenerkrankungen (Wood 2002). Reduziert ist im Alter besonders auch das Kontrast- und Dämmerungssehen (Aulhorn und Harms 1970; Paliaga 1993; Scharwey et al. 1998; Wood 2002; Eisenbarth et al. 2008). Weiterhin wird diskutiert, in wieweit diese Verminderung einen Einfluss auf die Sicherheit der Betroffenen ausübt. Besonders im Straßenverkehr und beim Führen von Kraftfahrzeugen sind komplexe visuelle Fähigkeiten nötig. Ein Abfall dieser Fähigkeiten führt zu höheren Unfallraten im Alter (Wood 2002). Zwar stellen gerade die jüngeren Verkehrsteilnehmer eindeutig den größten Anteil an Verkehrstoten, bereinigt auf die gefahrenen Kilometer sind Ältere jedoch weitaus mehr gefährdet (Wood 2002). In Anbetracht des demographischen Wandels wird diese Tendenz zunehmend bedeutender. Lachenmayr et al. (1996) stellten signifikant schlechtere Sehleistungen bei Unfallfahrern fest. Neben dem Visus waren in dieser Studie bei allen Verunfallten Kontrast- und Dämmerungssehen häufiger pathologisch als bei den unfallfreien Kraftfahrern. Dies kam besonders ausgeprägt in der Gruppe der Dunkelheitsunfälle zur Geltung. Das Kontrastsehen hat somit einen hohen Stellenwert für die Sicherheit im Straßenverkehr und die Prüfung zur Fahreignung. Grundler et al. (2006) benennen das dynamische Gesichtsfeld und die zentrale KE als wichtigste Einzelprädiktoren für die visuelle Leistungsdiagnostik. Ohne Zweifel bleibt, dass Kontrastsehtests die visuelle Leistung besser wiedergeben können als allein die Sehschärfe (Wood 2002; Wilhelm 2011). Die Aufnahme der Überprüfung des Kontrast- bzw. Dämmerungssehen in die FeV trägt somit entscheidend zu einer besseren Widerspiegelung der tatsächlichen Sehleistung bei und könnte einen Beitrag zu mehr Sicherheit im Straßenverkehr leisten.

Die zweite Annahme konnte mit einigen Ausnahmen in der Mehrzahl der Fälle bestätigt werden.

5.2 Auswertung der Arbeitshypothesen zum Methodenvergleich

Bei der Auswertung der Studie muss berücksichtigt werden, dass nur normalsichtige Probanden eingeschlossen wurden. Da die berechnete Übereinstimmung der Methoden bei geringerer Varianz durch den Ausschluss pathologischen Visus niedriger ist, schränkt dies die Aussagekraft des Methodenvergleichs ein. Das wurde aber in Kauf genommen, da die Studie vor dem Hintergrund der FeV durchgeführt wurde und somit nichtnormalsichtige Probanden im Rahmen des Sehtests für die Erlangung der Fahrerlaubnis keine Rolle spielen.

Die Ergebnisse der Studie sind auf möglicherweise vorliegende Erkrankungen übertragbar, da es sich um einen intraindividuellen Vergleich der Methoden handelt. Lediglich in Fällen, in denen ausschließlich eine Sehqualität (skotopisch, mesopisch oder photopisch) beeinflusst ist, sind Diskrepanzen zwischen mesopischer und photopischer Testung denkbar. Der Vergleich der photopischen Verfahren untereinander bleibt dennoch weiterhin gültig.

Beim intraindividuellen Vergleich der Methoden miteinander bestätigte sich, wie in der Literatur beschrieben, dass die Ergebnisse der einzelnen Methoden sich nicht ineinander umrechnen lassen (Amort 2011; Wilhelm et al. 2011; 2013). Zunächst unterscheidet sich die KE, wie im Kapitel 1.6.1 beschrieben, je nachdem, ob skotopisch, mesopisch oder photopisch getestet wird. Das ist zum einen durch die Abhängigkeit der KE von der Umgebungsbeleuchtung bedingt (Aparicio et al. 2010). Zum anderen erklärt sich dies durch die unterschiedlichen physiologischen Sehmechanismen und Sehzellen, die zum Einsatz kommen (Lachenmayr 2006; Amort 2011). Neben der Beleuchtung differieren neben weiteren Kriterien auch Sehzeichenart und -größe sowie die Testzeit. Da all diese Faktoren die KE beeinflussen, führt die Messung zwangsläufig für jedes Gerät zu einem anderen Ergebnis. Aus diesem Grund wurde in dieser Studie das Bestehen der Methoden verglichen und nicht die gemessenen Kontrastwerte.

Bei Betrachtung des Anteils der Probanden, die eine Methode nach den jeweiligen Herstellerkriterien bestanden, fielen zum Teil große Unterschiede zwischen den Methoden auf. Mit 53,6 % (rechts) bzw. 54,5 % (links) bestanden am wenigsten Probanden an der VISTECH-Tafel. Das Referenzverfahren Mesotest II wies mit Werten zwischen 76,9 % und 86,7 % schon einen deutlich höheren Anteil an Probanden auf, die bestanden. Rodatest 302, Optovist und Mars-Tafeln zeigten sogar noch höhere Anteile im Bestehen. Alle Methoden zeigten die besten Werte für das Kontrast- bzw. Dämmerungssehen bei binokularer Bestimmung. Dies ist so schon beschrieben worden (Paliaga 1993; Naycheva 2012). Paliaga gibt einen 40 % höheren KE-Wert für die binokulare gegenüber der monokularen Bestimmung an.

Bei Mesotest II und Rodatest 302 zeigten die Probanden bessere Ergebnisse mit dem rechten Auge als mit dem linken Auge. Dies könnte durch Ermüdungseffekte innerhalb der Testung an einem Gerät begründet sein, da jeweils zuerst das rechte Auge und anschließend das linke Auge überprüft

wurden. Bei den Sehtafeln zeigte sich im Gegensatz dazu ein besseres Abschneiden des linken Auges. Dies ließ sich durch Ermüdung nicht erklären. Die VISTECH-Tafel zeigte nur einen sehr geringen Unterschied zwischen den Ergebnissen beider Augen. Dieser könnte den Effekt des Auswendiglernens bei nur einer vorhandenen Tafel widerspiegeln, der mit einem halben Prozent Unterschied im Bestehen von rechtem und linkem Auge sehr gering wäre. Das bessere Ergebnis der Mars-Tafeln für das linke Auge war durch Auswendiglernen nicht zu erklären, da drei verschiedene Tafeln zum Einsatz kamen. Hier könnte sowohl eine eventuell nicht seitengleiche Beleuchtung zu unterschiedlichen Ergebnissen zwischen den Augen geführt haben als auch Übungseffekte, die eine höhere KE des linken Auges bei vorheriger Bestimmung am rechten Auge bewirken.

Die Ergebnisse stützen die Aussage von Paliaga, dass nur Werte, die mit einer Methode ermittelt wurden, miteinander vergleichbar sind (Paliaga 1993). Auch Wilhelm et al. (2011) fanden, dass es beim Vergleich von Mesotest II und Optovist keine Normwertfestlegung gab, bei der ein Proband, wenn er einen Test bestand, immer auch den zweiten Test bestand. Ein gleiches Ergebnis der zwei Methoden war in keiner Weise bei allen Probanden möglich und die mit den Methoden ermittelten Kontrastwerte ließen sich auch nicht einfach ineinander umrechnen. Zu der gleichen Aussage kommt auch eine weitere Studie dieser Arbeitsgruppe (Wilhelm et al. 2013). Trotz allem wäre es wünschenswert, dass die Methoden, wenn sie schon nicht die gleichen Ergebnisse liefern, wenigstens im Bestehen übereinstimmen. Schon die Übersichtstabelle (siehe Anlage 9) gibt einen ersten Hinweis, dass die meisten Probanden nicht in allen Methoden bestanden bzw. nicht bestanden, sondern stattdessen jeweils in manchen Methoden bestanden und in manchen nicht. Genauso war es auch möglich, dass vereinzelt Probanden den Test nur mit einem Auge bestanden bzw. nicht bestanden.

Die Berechnungen der Übereinstimmung mittels Cohens Kappa zwischen Mesotest II und den photopischen Verfahren zeigten, dass sowohl Rodatest 302 als auch die Mars-Tafeln bei Betrachtung des Bestehens keine Übereinstimmung mit Mesotest II aufwiesen. Auch die VISTECH-Tafel und das Gerät Optovist stimmten nur schwach mit dem Mesotest II überein.

Die Kappa-Werte für die Übereinstimmung der photopischen Verfahren untereinander lieferten keine besseren Ergebnisse. Auf dem rechten Auge zeigte sich nur zwischen VISTECH- und Mars-Tafel eine schwache Übereinstimmung, wohingegen auf dem linken Auge keine Übereinstimmung zwischen den photopischen Methoden bestand. Optovist und Rodatest 302 zeigten sowohl binokular als auch im Gesamtbestehen des Geräts eine schwache Übereinstimmung. Ebenso konnte auch eine schwache Übereinstimmung zwischen dem Gesamtbestehen des Mesotest II-Geräts und den beiden photopischen Einblickgeräten festgestellt werden. Bei einem maximalen Wert für Kappa von 0,358 sind die berechneten Übereinstimmungen aber eher vorsichtig zu betrachten. Das Bestehen eines

photopischen Verfahrens hieß somit nicht, dass auch ein anderer photopischer Kontrastsehtest bestanden wurde.

Der Vergleich der mittels Rodatest 302 und Optovist ermittelten Kontrastwerte zeigte gute Korrelationen der Werte innerhalb der drei verschiedenen Visusstufen. Die sehr stark differierenden Bestehenskriterien der beiden Geräte führten letztendlich aber dazu, dass es, wie oben beschrieben, nur eine schwache Übereinstimmung des Bestehens der Tests binokular gab. Monokular war ein Vergleich hinsichtlich des Bestehens nicht möglich, da für das Optovist-Gerät nur ein binokularer Grenzwert vorgegeben wird, der außerdem auch nur für die Visusstufe 0,4 gilt. Für das Gerät Rodatest 302 liegen für alle Visusstufen differenziert für zwei Altersgruppen Grenzwerte vor. Ein Vergleich der Methoden ist auch dadurch erschwert. Die Tatsache, dass die Kontrastwerte der beiden Methoden gut miteinander korrelierten, legt nahe, dass die Methoden an sich geeignet sind und beide für die Messung des Kontrastsehens in Frage kommen. Problematisch ist nur die sehr unterschiedliche Festlegung der Grenzwerte, die dazu führt, dass das Bestehen einer Methode nicht mit dem Bestehen der anderen übereinstimmt. Der mittels Korrelationsberechnung gestellte Vergleich der Kontrastwerte von VISTECH-Tafel, Rodatest 302 und Optovist bei dem entsprechenden Visuswert (Ortsfrequenz 12 cpd bzw. Visusstufe 0,4) zeigte ebenfalls, dass eine Grenzwertanpassung der Verfahren erforderlich ist. Denn obwohl die Kontrastwerte korrelierten, zeigte sich keine Übereinstimmung des Bestehens von Rodatest 302 und VISTECH-Tafel bzw. waren Rodatest 302 und VISTECH-Tafel nicht mit dem Optovist-Gerät vergleichbar, weil für letzteres keine monokularen Grenzwerte vorliegen.

Die graphische Darstellung des Zusammenhangs der binokularen Testergebnisse von Mesotest II und den photopischen Verfahren (siehe Kap. 4.3.8) lässt schon erahnen, dass eine Verschiebung der Messwerte im Vergleich zum Mesotest II vorliegt. Die schlechte Übereinstimmung der photopischen Verfahren mit dem Referenzverfahren Mesotest II spiegelt sich auch in den Werten der Sensitivität und Spezifität wider. Auch wenn die Berechnung dieser Parameter kritisch ist, da sie auf dem Mesotest II als Referenzverfahren fußt und auch dieses in seiner Stellung hinterfragt werden muss, zeigt sie die Schwierigkeiten auf, die durch die unterschiedlichen Testmethoden und Bestehenskriterien entstehen. Optimalerweise sollte ein Verfahren sowohl über eine hohe Sensitivität als auch eine hohe Spezifität verfügen, sodass weder Probanden übersehen werden, die eigentlich nicht bestehen würden, noch Probanden fälschlicherweise durchfallen, die eigentlich über ausreichendes Kontrastsehen verfügen. Die hier geprüften photopischen Verfahren wiesen im Hinblick auf das Mesotest II-Gerät als Referenzverfahren meist nicht für beide statistischen Maßzahlen hohe Werte auf. Das Rodatest 302-Gerät zeigte sowohl monokular als auch binokular

zwar hohe Werte für die Spezifität (83,2 % bis 96,9 %), jedoch war die Sensitivität mit 5,0 % bis 24,1 % sehr niedrig, was dazu führt, dass viele Probanden mit nicht ausreichendem Kontrastsehen nicht erkannt wurden. Das gleiche Phänomen zeigte sich für das Gerät Optovist sowie besonders extrem für die Mars-Tafeln. Das hieraus folgende Übersehen von mangelndem Kontrastsehen ist im Rahmen der Fahrerlaubnis nicht wünschenswert. Einzig die VISTECH-Tafel verfügte über höhere Werte für die Sensitivität (88,5 % rechts und 60,6 % links) als für die Spezifität (64,3 % rechts und 59,1 % links). Hier sind zwar mehr falsch positive Ergebnisse zu erwarten als bei den anderen Verfahren, in der Kombination der statistischen Maßzahlen erwies sich die VISTECH-Tafel aber besser als die anderen Verfahren. Im Hinblick auf die FeV ist eine große Anzahl falsch positiver Ergebnisse und dadurch verweigerter Fahrerlaubnis jedoch ebenfalls kritisch zu betrachten. Bei Betrachtung des Gesamtbestehens des Rodatest 302 (d.h. gleichzeitiges Bestehen von rechtem Auge, linkem Auge und binokular) zeigte das Gerät für Sensitivität (78,1 %) und Spezifität (65,9 %) ähnlich gute Werte wie die VISTECH-Tafel, die deutlich besser waren als in der separaten Auswertung der Augen. Die bei separater Betrachtung zu lockeren Grenzwerte relativierten sich dadurch, dass alle drei Messungen eines Probanden bestanden sein mussten, um insgesamt zu bestehen.

Die Berechnung der Kappa-Werte für den Vergleich der Ergebnisse zwischen rechtem und linkem Auge zeigte, dass die Methoden in sich zwar nicht besonders, aber doch ausreichend stimmig sind. Mesotest II zeigte genauso wie Rodatest 302 und die VISTECH-Tafel eine deutliche Übereinstimmung zwischen dem Bestehen von rechtem und linkem Auge. Lediglich die Mars-Tafeln schnitten nicht so gut ab. Sie zeigten nur eine schwache Übereinstimmung. Die Übereinstimmungen zwischen rechtem Auge und binokularer Messung bzw. linkem Auge und binokularer Messung waren für das Mesotest II-Gerät deutlich bis stark. Das Rodatest 302-Gerät zeigte hier nur schwache Übereinstimmungen. Es bestätigte sich die Stellung des Mesotest II als Referenzverfahren, das insgesamt die besten Werte im Vergleich der Messungen von rechtem und linkem Auge sowie binokular lieferte. In der Auswertung dieser Daten war zu berücksichtigen, dass die Sehleistung der Augen sich bei den einzelnen Probanden zum Teil unterschied. Es ist daher zu erwarten, dass das jeweils schlechtere Auge auch in der Prüfung des Kontrastsehens schlechtere Ergebnisse lieferte und ein Unterschied zwischen den Augen bei diesen Probanden zu erwarten war. Dies führt zu einer schlechter berechneten Übereinstimmung als erwartet. Es musste auch berücksichtigt werden, dass sowohl rechtes als auch linkes Auge schlechter sein kann und Unterschiede zwischen den Augen nicht bei allen Probanden vorhanden waren. Die Ergebnisse können daher nur Tendenzen aufzeigen, die aber trotzdem in der Zusammenschau der Ergebnisse hilfreich sein können. Überprüfen lässt sich die Reliabilität der Geräte am besten durch weitere Studien mit wiederholten Messungen an jedem Gerät und der Berechnung der Übereinstimmung der Ergebnisse eines Geräts.

Diese Studie zeigt, dass die Grenzwerte für die einzelnen Methoden noch nicht optimal gelegt sind. Vielmehr sind für jede der Methoden einzelne Studien nötig, die Grenzwerte liefern, mit denen eine Methode verlässlich anwendbar ist. Momentan ist das Bestehen des Kontrasttests für den Probanden stark davon abhängig, mit welcher Methode er untersucht wird. Für die Konsequenzen, die das Durchfallen des Kontrast- oder Dämmerungssehtests mit sich bringen kann (z. B. Führerscheinverlust und damit Verlust des Arbeitsplatzes als Berufskraftfahrer), ist diese Abhängigkeit von der Methode nicht vertretbar.

Die Stellung des Mesotest II als Referenzverfahren kann mit dieser Studie weder bestätigt noch widerrufen werden. Im Anbetracht der mäßigen Übereinstimmung des Geräts zu den photopischen Methoden stellt sich die Frage, wie reliabel das Mesotest II selbst ist. Dies ließe sich am besten mittels Test-Retest-Studien erfassen, in welchen auch die anderen Verfahren auf ihre Reliabilität geprüft werden könnten. Ein Verfahren, das an sich nicht ausreichend reliabel ist, kann auch keine gute Übereinstimmung zu anderen Verfahren liefern, weshalb diese Ursache für eine schlechte Übereinstimmung ausgeschlossen werden sollte. Das vorgeschlagene Studiendesign ließe sich außerdem mittels Bland-Altman-Plot auswerten, was hier bei einmaliger Testung mit den Methoden und nicht stetigen Daten nicht möglich war.

Offen bleibt sowohl in der FeV als auch in den Empfehlungen der DOG, ob die Prüfung auf ausreichendes Kontrast- oder Dämmerungssehen monokular oder binokular zu erfolgen hat. Dies macht für die Grenzwerte einen entscheidenden Unterschied, da die KE bei binokularem Sehen deutlich höher sein kann als bei monokularem Sehen (Paliaga 1993; Naycheva 2012). Für die Frage nach Grenzwerten im Rahmen der FeV sollte daher nach Augensituation bei der Testung differenziert werden. Wenn es aber um die Betrachtung von Normwerten und den Vergleich der Methoden geht, bleibt die Forderung nach differenzierteren Grenzen für das Gerät Optovist vor dem Hintergrund bestehen, dass das Kontrastsehen altersabhängig ist und somit eine Untergliederung der Normwerte für verschiedene Altersklassen notwendig ist. Außerdem legt die Abhängigkeit der Kontrastwerte von der Größe der Landoltringe nahe, dass unterschiedliche Normwerte für die einzelnen Visusstufen benötigt werden.

Die Schlussfolgerung der mangelnden Übereinstimmung von mesopischen und photopischen Verfahren könnte ein Verzicht auf die photopische Testung zugunsten der etablierten mesopischen Testung sein. Alternativ ist zu überlegen, ob die Prüfung von sowohl Kontrastsehen als auch Dämmerungssehen durchgeführt werden sollte. Vor dem Hintergrund von geringer bis fehlender Übereinstimmung zwischen den Methoden und auch gänzlich anderen physiologischen Mechanismen von mesopischem und photopischem Sehen erscheint dies sinnvoll, zumal Einschränkungen der Sehfähigkeit in nur einer der beiden Testungen detektierbar wären, die mit der jeweils anderen Testung nicht erfasst werden könnten. Hertenstein et al. (2016) kamen in einer

kürzlich veröffentlichten Studie ebenso zu dem Ergebnis, dass photopische Testverfahren nicht als Surrogatparameter für die mesopische Testung einsetzbar sind, da nur bei niedriger photopischer KE auf niedrige mesopische KE geschlossen werden kann. Ein Rückschluss auf eine gute mesopische KE bei guter photopischer KE war jedoch nicht möglich, weshalb die photopische Testung die mesopische nicht ersetzen konnte. Auch die DOG betonte daraufhin in einer ersten Stellungnahme die Unabhängigkeit von mesopischen und photopischen Verfahren (Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft e.V. 2015).

Die erste Arbeitshypothese zur Übereinstimmung der photopischen Untersuchungsmethoden zum Mesotest II konnte nicht bestätigt werden. Ebenso wenig konnte sich die zweite Arbeitshypothese als zutreffend erweisen, da die photopischen Methoden untereinander keine gute Übereinstimmung zeigten. Auch die dritte Arbeitshypothese, dass die Einblickgeräte untereinander eine höhere Übereinstimmung aufweisen als zu den Sehtafeln, konnte nur sehr partiell bestätigt werden. Zusammenfassend konnten die Arbeitshypothesen somit nicht bestätigt werden.

5.3 Auswertung der Verteilungsparameter der Stichprobe

Um mit den vorhandenen Daten die Verteilung der Stichprobe zu beschreiben, wurden alle Probanden, bei denen das Kontrastsehen begründet vermindert sein könnte, aus dieser Berechnung ausgeschlossen. Die Daten von 97 Probanden und von 194 Augen gingen in die binokulare bzw. monokulare Berechnung der Perzentile ein. Als Abgrenzung von normalen zu pathologischen Werten wurde hier der Wert bestimmt, bei dem 5 % der Probanden den Test nicht bestehen würden. Daher wurde das 5 %- bzw. 95 %-Perzentil der Datenverteilung berechnet. Es handelte sich somit um den Bereich für normales Kontrastsehen bei den hier gemessenen Probanden. Die Altersverteilung der in dieser Studie berücksichtigten Probanden entsprach nicht derjenigen der Allgemeinbevölkerung. Diese Stichprobe ist daher keinesfalls repräsentativ, sondern kann nur einen hinweisenden Charakter haben. Ob es sinnvoll ist, dass Normbereiche gleichzeitig auch als Grenzwerte für die FeV gelten sollen, kann mit einer Studie wie dieser nicht festgestellt werden, da sie keine Aussage über die Einschränkung der Fahrsicherheit durch das Kontrastsehen liefern kann. Dafür bedarf es vielmehr Studien zum benötigten Sehvermögen für sicheres Fahren und nicht einer reinen Erfassung des Kontrastsehens bei gesunden Probanden. Denkbar wären dabei sowohl Studien mit Verwendung eines Fahrsimulators als auch Studien mit der Erfassung des Unfallgeschehens in Abhängigkeit von der KE. In vielen Fällen werden die Grenzwerte für die einzelnen Geräte jedoch von Normwerten in der Bevölkerung abgeleitet und entstammen nicht ebensolchen Studien zur Fahrsicherheit. Dies stellt einen eindeutigen Mangel in der Umsetzung der Forderung nach ausreichendem Kontrastsehen im Straßenverkehr dar. Hintergrund der Verwendung von Normwertstudien ist ein überwiegendes

Fehlen von ebensolchen Studien zur Fahrsicherheit. Es ist wichtig, dass die gegenwärtige Praktik der Ermittlung von Grenzwerten über Normwertstudien nur eine Übergangslösung bleibt, bis adäquate Studien zur Fahrsicherheit bei definierter KE vorliegen.

Die für die AG I berechneten Perzentilwerte stimmten in vielen Fällen mit den angegebenen Grenzwerten der Geräte überein. Für Mesotest II war dies binokular der Fall, während das Perzentil monokular eine Stufe niedriger lag, als der Grenzwert der DOG von 1:2,7 vorgibt (Bach et al. 2011). Es zeigte sich hier wiederum, dass es deutliche Unterschiede der Ergebnisse der Kontrastsehprüfung zwischen monokularer und binokularer Messung gab, die für die meisten Geräte in der Grenzwertfestlegung des Herstellers nicht berücksichtigt sind.

Auch das für Optovist berechnete Perzentil der AG I von 15 % bei binokularer Bestimmung in der Visusstufe 0,4 stimmte mit dem vom Hersteller angegebenen Grenzwert überein. Die Verteilung der Stichprobe hier zeigte aber deutlich, dass Grenzwerte nicht auf andere Visusstufen oder monokulare Messung übertragen werden konnten, da bei größeren Sehzeichen (d. h. niedrigerer Visusstufe) mit niedrigeren erkannten Weber-Kontrastwerten und bei jeweils monokularer Bestimmung mit höheren Weber-Kontrastwerten zu rechnen war.

Genauso wie das Kontrastsehen von der Sehzeichengröße und dem gemessenen Auge bzw. Augen abhängig war, war es auch vom Alter abhängig. Sowohl Mesotest II als auch Optovist zeigten in den 5 %- bzw. 95 %-Perzentilen, dass der Bereich normalen Kontrastsehens nach der Definition der 90 %-Verteilung in AG II deutlich zu niedrigerem Kontrastsehen verschoben war. Es ergaben sich daher für die älteren Probanden gravierende Unterschiede der Perzentile zu den Grenzwerten der Hersteller.

Für das Gerät Rodatest 302 und für die Mars-Tafeln liegen altersgetrennte Grenzwerte vom Hersteller vor. Diese Tatsache lässt die Geräte für die Überprüfung nützlich sein, ob ein Proband für sein Alter über normales Kontrastsehen verfügt, legt aber nahe, dass die Verfahren vom Hersteller nicht für die Fahrerlaubnisprüfung gedacht waren. Im Rahmen der FeV ist diese Altersunterscheidung der Grenzwerte nicht sinnvoll, da im Straßenverkehr alle Teilnehmer den gleichen Lichtbedingungen ausgesetzt sind und somit auch die gleichen Bedingungen für die FeV erfüllen müssen. Rodatest 302 und Mars-Tafeln sollten daher mit diesen Grenzwerten nicht im Rahmen der Prüfung auf Fahrerlaubnis verwendet werden.

Die für Rodatest 302 berechneten Perzentile in AG I stimmten binokular weitestgehend mit den Grenzwerten des Herstellers für K1 überein. Monokular waren ebenso wie beim Gerät Optovist die Kontrastwerte der Probanden zu schlechteren Werten verteilt, wie es physiologischerweise zu erwarten war. Ebenso ergaben sich auch hier bei größeren Sehzeichen bessere Kontrastwerte. In der älteren AG stimmten die Perzentile noch besser mit den Grenzwerten des Herstellers überein. Binokular in den Visusstufen 0,25 und 0,4 zeigten sich für die Perzentile sogar niedrigere Werte, als

vom Test K2 für Menschen ab 50 Jahren gefordert wird. Dies könnte zum Teil dadurch begründet sein, dass in dieser Studie AG II Probanden ab 45 Jahren einschloss und somit noch Jüngere mit tendenziell besseren Werten in die Berechnung der Perzentilwerte eingingen, die vom Hersteller im Test K2 schon nicht mehr berücksichtigt werden.

Für die Mars-Tafeln war die Diskrepanz zwischen der Altersgrenze dieser Studie (bei 45 Jahren) und des Hersteller (bei 60 Jahren) mit 15 Jahren noch größer. Der vorgegebene Grenzwert für AG I lag zwischen den Perzentilen für monokulares und binokulares Sehen. Wenn für die Perzentilberechnung ebenso wie beim Hersteller alle Probanden bis 60 Jahre einbezogen würden, wäre eine Absenkung der Perzentilwerte zu erwarten. In AG II, also für die Probanden ab 45 Jahren, zeigten sich deutlich niedrigere Werte für die Perzentile als für die Grenzwerte. Trotz der Unterschiede in der Altersgruppenfestlegung führten die Herstellerwerte dazu, dass ein Deckeneffekt bei den Mars-Tafeln auftritt. Dies hatte zur Folge, dass zu vielen Probanden ausreichendes Kontrastsehen bestätigt wurde, obwohl sie in den anderen Methoden durchfielen. Der Hersteller differenziert auch nicht zwischen monokularer und binokularer Bestimmung. Die Daten dieser Studie legen eine Differenzierung diesbezüglich sowie eine strengere Auslegung der Grenzwerte nahe. Ein Test, der keine ausreichende Sensitivität aufweist und allen Probanden ausreichende KE zuschreibt, hat keinen Sinn in der Überprüfung der KE.

Wie schon mittels Sensitivität und Spezifität festgestellt wurde, zeigten auch die Perzentilwerte der VISTECH-Tafel, dass diese deutlich mehr falsch positive Ergebnisse lieferte als die übrigen photopischen Verfahren. Für AG I stimmten nur zwei Ortsfrequenzwerte (1,5 cpd und 3 cpd) und für AG II sogar nur das 5 %-Perzentil bei 3 cpd mit den Vorgaben des Herstellers überein. Die hier festgestellte Verteilung der Ergebnisse entspräche einer deutlichen Lockerung der Grenzwerte für die VISTECH-Tafel. Zwar kann man sich mit den gegenwärtigen Grenzwerten relativ sicher sein, niemanden mit mangelndem Kontrastsehen übersehen zu haben, dafür würden aber viele Fahrerlaubniswärter durchfallen, deren Werte nach anderen Verfahren ggf. noch ausreichend wären.

Die hier ermittelten Perzentilwerte des Probandenkollektivs können lediglich einen kleinen Beitrag zur Findung von Grenzwerten liefern. Es sind weitere Studien mit noch größerer und repräsentativer Probandenzahl und augenärztlicher Abklärung von vermindertem Kontrastsehen dringend nötig sowie vor allem eine Prüfung auf Fahrsicherheit bei definiertem Kontrastsehen, um die hier ermittelten Werte auf ihre Aussagekraft und Übereinstimmung zu den anderen Methoden zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen.

Wenn es unabhängig von der FeV um die Festlegung von Normwerten geht, also darum, ob ein Proband ein pathologisches Kontrastsehen zeigt, wird deutlich, dass eine Differenzierung nach Sehzeichengröße sowie für monokulare und binokulare Messung nötig ist. Bei kleineren Sehzeichen

müssen genauso wie bei monokularer Testung geringere Anforderungen gestellt werden, da vielfach gezeigt wurde, dass unter diesen Bedingungen das Kontrastsehen deutlich schwächer ausgeprägt ist (Paliaga 1993; Bach et al. 2008).

5.4 Auswertung der einzelnen Methoden

Die verschiedenen Methoden sind unterschiedlich gut für die Bestimmung des Kontrastsehens geeignet. Sie sollen hier als diagnostische Mittel zur Bestimmung von normalem oder pathologischem Kontrastsehen unabhängig von der FeV verglichen werden. Jedes Verfahren zeigt dabei Vor- und Nachteile in Verwendung, Auswertung und Bewertung der erhobenen Messwerte. Die DOG legt das Mesotest II-Gerät auch aufgrund der langjährigen Erfahrung als Referenzverfahren für den Methodenvergleich zugrunde. Ein anderes Verfahren sollte gegenüber dem Mesotest II nicht nachteilig sein (Bach et al. 2011).

Das Mesotest II-Gerät wird bereits über Jahrzehnte verwendet und daher gibt es für dieses Verfahren verlässliche Grenzwerte und lange Erfahrung im Umgang mit dem Gerät. Der von der DOG empfohlene Grenzwert von 1:5 bzw. 1:2,7 für Berufskraftfahrer sollte auch weiterhin angewendet werden (Bach et al. 2011). Als einziges der hier verwendeten Verfahren prüft das Mesotest II unter mesopischen Bedingungen und kommt damit den realen Bedingungen im Straßenverkehr sehr nahe. Allerdings bedeutet dies auch, dass eine Adaptationszeit nötig ist, um verlässliche Werte zu ermitteln. Dies mag in der praktischen Verwendung hinderlich und zeitraubend sein. Auch ist ein abdunkelbarer Raum nötig, der nicht in allen Situationen verfügbar sein wird. Als Alternative käme die Verwendung einer Adaptationsbrille in Betracht, die wiederum zusätzliche Kosten verursacht. Zudem werden beim Mesotest II nur vier Kontraststufen geprüft, die außerdem mit Werten von 95,7 % bis 50 % Weber-Kontrast sehr grob abgestuft sind. Eine Prüfung kleinerer Kontrastwerte ist hier nicht möglich.

Einige Studien haben gezeigt, dass die photopischen Verfahren den mesopischen nicht zwangsläufig unterlegen sind (Amort 2011; Naycheva 2012; Wilhelm et al. 2013). Der Vorteil, dass für erstere keine Adaptationszeit nötig ist, macht sie für den alltäglichen Gebrauch attraktiv. Mit dem Rodatest 302 wurde ein schon länger verfügbares photopisches Einblickgerät untersucht. Die Handhabung ist einfach und verständlich für die Probanden und die Untersuchung schnell. Der Hersteller liefert zudem Grenzwerte für verschiedene Altersklassen. Sensitivität und Spezifität im Vergleich zum Mesotest II sind nur bei Betrachtung des Gesamtbestehens annehmbar. Das Bestehen dieses Geräts stimmte in der vorliegenden Studie auch nur im Gesamtbestehen schwach mit dem Bestehen des Mesotest II-Geräts überein und nicht in den einzelnen Testungen. In Anbetracht des Mesotest II als Referenzverfahren lässt dies Zweifel an der Verwendbarkeit des Rodatest 302 mit den

aktuellen Grenzwerten aufkommen. Die Korrelationen der Kontrastwerte des Rodatest 302 mit denen des Optovist zeigten jedoch, dass die Methode nicht generell ungeeignet ist, sondern vielmehr die Bestehenskriterien der Methoden angepasst werden müssen. Einige Probanden äußerten subjektiv mehr Schwierigkeiten beim Erkennen der Landoltringe im Vergleich zum ähnlich strukturierten Gerät Optovist. Dieses Gerät stimmte in der binokularen Testung im Bestehen schwach mit dem Mesotest II überein. Während die Spezifität zwar gut war, zeigte die Sensitivität im Vergleich zum Mesotest II einen sehr geringen Wert. Der Zeitaufwand am Gerät Optovist ist ähnlich hoch wie beim Mesotest II, dafür wird das Kontrastsehen sehr viel genauer in mehr Visusstufen und mit deutlich mehr Kontraststufen geprüft. Das Ergebnis ist so viel umfangreicher. Fraglich bleibt die Interpretation dieser Ergebnisse und ob eine so ausführliche Testung sinnvoll ist, wenn ohnehin nur der binokulare Wert in der Visusstufe 0,4 für das Bestehen herangezogen wird. Dieser Grenzwert von 15 % zeigte sich hier auch als 95 %-Perzentil des Normbereichs. Für die übrigen Visusstufen wurden separate Perzentilwerte berechnet. Es bleibt zu klären, in wieweit eine ausführliche Testung in allen einzelnen Stufen sinnvoll und notwendig zur Prüfung auf Fahreignung ist. Eine Beschränkung der Testung auf wenige Visusstufen würde eine Zeitersparnis und so Vorteile gegenüber dem Mesotest II bringen.

Sehtafeln bieten im Vergleich zu den Einblickgeräten den Vorteil, dass sie sehr viel einfacher zu handhaben sind und deutlich weniger Zeit für die Untersuchung in Anspruch nehmen. Dem steht gegenüber, dass eine Messung mittels Sehtafel in der Praxis selten unter standardisierten Bedingungen durchführbar ist. Sowohl die exakte Einhaltung von Beleuchtung als auch des Abstands können Schwierigkeiten bereiten. Gerade für die große VISTECH-Tafel steht aufgrund der Größe auch kein Lichtkasten zur Verfügung, der eine Standardisierung der Beleuchtung vereinfachen könnte. Es ergeben sich somit Schwierigkeiten bei der gleichmäßigen und reproduzierbaren Beleuchtung, die auch die Testergebnisse beeinflussen. Dies kann zu einer weniger verlässlicheren Bestimmung der KE und stärkeren Schwankungen der Messwerte als bei den standardisierten Geräteverfahren führen. Trotz allem stimmte die VISTECH-Tafel sowohl auf dem rechten Auge als auch auf dem linken Auge im Bestehen mit dem Mesotest II überein, wenn auch schwach. Als einziges hier geprüftes Verfahren zeigte die VISTECH-Tafel zwar keine optimalen, aber doch verhältnismäßig gute Werte für Sensitivität und Spezifität. Auch die KE-Werte in der OF 12 korrelierten gut mit den Kontrastwerten, die mit Optovist und Rodatest ermittelt wurden. Trotz der Schwierigkeiten in der Standardisierung erweist sich die VISTECH-Tafel damit nicht als völlig ungeeignet. Vorteile bietet sie in der einfachen und schnellen Testung der KE in verschiedenen OF und damit in der Möglichkeit der Erstellung einer KE-Kurve. Auch erfolgt die Abstufung der KE in sehr kleinen Schritten von 50 % bis zu 0,77 % Weber-Kontrast, was eine differenzierte Aussage zur KE ermöglicht. Die Grenzwerte sind jedoch bei der VISTECH-Tafel sehr streng gelegt. Es fallen deutlich mehr Probanden in der Testung durch als bei

anderen Verfahren, was sich in der im Vergleich zu den anderen Verfahren geringeren Spezifität niederschlägt. Dies könnte ein Grund für die fehlende Übereinstimmung mit dem Einblickgerät Rodatest 302 sein. (Ein Vergleich zum Gerät Optovist war aufgrund der dort nur binokularen Prüfung des Bestehens nicht möglich.) Eine Lockerung der Grenzwerte ist hier angebracht. Trotz allem sollten die Grenzwerte im Hinblick auf die hohe Ratewahrscheinlichkeit von 33 % nicht zu stark gelockert werden, sondern durchaus etwas strenger als bei den anderen Verfahren bleiben. Die Berechnungen dieser Studie legen nahe, dass besonders die Grenzwerte der hohen Ortsfrequenzen erniedrigt werden sollten. Gegebenenfalls kann es in der OF von 18 cpd zu falsch positiven Befunden kommen, da dieser Grenzwert nicht weiter reduzierbar ist. Die hohen Ortsfrequenzen sind für die KE-Prüfung aber ohnehin weniger interessant, da dieser Teil der KE-Kurve bereits durch die Visusprüfung geprüft werden kann (Paliaga 1993). Im Zweifelsfall muss eine ausführlichere mesopische Testung durchgeführt werden. Abgesehen davon kann die KE bei höheren OF durch die Visusprüfung angenähert werden, weshalb bei vorheriger Korrektur des Visus die Schwierigkeiten in dieser OF beseitigt werden könnten.

Im Gegensatz zur VISTECH-Tafel wies die Mars-Tafel in dieser Studie deutlich mehr Schwächen auf. Schon rechtes und linkes Auge stimmten im Gegensatz zu den anderen Verfahren nur schwach im Bestehen überein. Im Vergleich zu den anderen Methoden zeigten die Mars-Tafeln nur auf dem rechten Auge und auch dort nur mit der VISTECH-Tafel eine schwache Übereinstimmung. Mit dem Referenzverfahren stimmten die Mars-Tafeln demzufolge nicht überein. Noch deutlicher gegen die Verwendung der Mars-Tafeln mit den gegenwertigen Normwerten sprechen der Deckeneffekt bei binokularer Testung und die dadurch absolut mangelhafte Sensitivität des Verfahrens. Die Überprüfung des Kontrastsehens war binokular somit überflüssig, da alle Probanden hier bestanden. Zwar war es nicht möglich, die Mars-Tafel in dieser Studie mit einer standardisierten Beleuchtung (wie einem Lichtkasten) zu verwenden, diese würde den Deckeneffekt vermutlich aber nur noch verstärken. Es sind daher weitere Studien zur näheren Klärung und Testung mittels Lichtkasten nötig, um Grenzwerte zu berechnen, die einen Deckeneffekt bei Verwendung der Mars-Tafeln verhindern und prüfen, ob die Mars-Tafeln unter angepassten Grenzwerten verwendbar sind. Auch eine Differenzierung der Grenzwerte für monokulare und binokulare Testung ist im Rahmen der Prüfung auf pathologische Werte sinnvoll. Nur durch Anpassung der Grenzwerte könnte der Vorteil der Mars-Tafeln, auch kleine Abstufungen der KE messen zu können, zum Tragen kommen. Durst et al. fordern zudem einen Lichtkasten zur standardisierten Verwendung der Mars-Tafeln (Durst et al. 2013). Dieser ist für die einheitliche Testung nötig, führt aber dazu, dass die transportablen kleinen Mars-Tafeln nicht mehr so einfach universell einsetzbar sind und beraubt sie somit um einen entscheidenden Vorteil gegenüber den anderen hier getesteten Verfahren.

5.5 Fazit

Das Mesotest II-Gerät bildet als mesopische Testmethode am besten die Bedingungen im (nächtlichen) Straßenverkehr ab. Trotz allem muss seine etablierte Stellung auch weiterhin regelmäßig hinterfragt und mit neueren Methoden verglichen werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich neben dem Mesotest II die photopischen Verfahren in der Mehrheit als geeignet für die Prüfung des Kontrastsehens erwiesen. Das Rodatest-Gerät sollte in Anbetracht der nicht vorhandenen Übereinstimmung mit dem Mesotest II unter den gegebenen Grenzwerten kritisch betrachtet werden. Mit seinen altersabhängigen Grenzwerten ist es zur Prüfung auf Fahrerlaubnis nicht geeignet. Das Optovist-Gerät ist mit dem vorhandenen Grenzwert einsetzbar. Die VISTECH-Tafeln liefern zwar vermutlich deutlich mehr Falsch-Positive als die anderen Verfahren, sind aber abgesehen davon nach wie vor verwendbar und stimmen schwach mit dem Mesotest II überein. Von der Verwendung der Mars-Tafeln muss auf Basis dieser Studie bei den aktuellen und zudem altersabhängigen Grenzwerten des Herstellers abgeraten werden. Da sich im Vergleich der mesopischen und photopischen Methoden nur schwache bis gar keine Übereinstimmungen zwischen den Methoden zeigen, ist die Forderung von sowohl mesopischer als auch photopischer Prüfung im Rahmen der FeV naheliegend. Alternativ ist bei etablierter mesopischer auch ein Verzicht auf die photopische Prüfung zu erwägen, jedoch nicht ein Verzicht auf die mesopische Prüfung.

Die in dieser Studie ermittelten Perzentilwerte sind als Beitrag zu den bisherigen Studien zu werten und bedürfen weiterer Überprüfung und Nachforschung. Die in der FeV festgesetzten Grenzwerte sind nicht altersabhängig, sondern dienen vielmehr dem Zweck, eine Aussage über das Fahrvermögen zu liefern. Da es um die für sicheres Fahren nötige KE geht, sind für alle Altersstufen gleichermaßen gültige Grenzwerte nötig. Dabei muss in Kauf genommen werden, dass es für ältere Kraftfahrer aufgrund der im Alter abnehmenden KE schwieriger sein kann, diese Grenzwerte zu erfüllen. Bei den Grenzwerten des Visus verhält es sich genauso. Auch hier gibt es keine nach Alter differenzierten Grenzwerte, weil der geforderte Wert eine Grenze abbilden soll, ab der das Fahrvermögen und die Sicherheit durch die Sehkraft nicht negativ beeinflusst werden. Im Hinblick auf diese Tatsache sind die altersabhängigen Grenzwerte von Rodatest 302 und den Mars-Tafeln primär nicht für die FeV geeignet, sondern eher für eine Überprüfung auf altersentsprechende Normwerte. Vielmehr sollte bei der Ermittlung von Grenzwerten für die FeV auf eine Differenzierung von monokularem und binokularem Sehen geachtet werden, wie es auch bei der Sehschärfe der Fall ist. Davon abhängig sollten entsprechend unterschiedliche Grenzwerte formuliert werden.

Es sind somit weitere Studien nötig, die die vorhandenen Grenzwerte überprüfen und fehlende ergänzen. Vor allem ist ein Konsens zur Art der Überprüfung und eine eindeutige Empfehlung in der FeV bzw. von der DOG als Fachgesellschaft nötig, um die Forderung nach ausreichendem Kontrastsehen in der FeV erfüllen zu können. Da es eher nicht möglich ist, die Verwendung eines

bestimmten Verfahrens für die Prüfung auf Fahrerlaubnis vorzuschreiben, sollten für jedes verfügbare Verfahren separat Grenzwerte ermittelt werden mit dem Ziel, dass die Prüfung auf ausreichendes Kontrastsehen mit allen Methoden zu einer möglichst gleichen Einstufung hinsichtlich des Bestehens kommt.

Diese Studie weist auch methodische Schwächen auf. Sie ist aus organisatorischen Gründen nicht verblindet und es wurde nicht wiederholt getestet. Die gemessene Stichprobe ist nicht repräsentativ für eine definierbare Population. Die Probanden wurden nicht augenärztlich untersucht und erhielten nicht unbedingt eine optimale Korrektur der Fehlsichtigkeit, sondern verwendeten lediglich die von ihnen mitgeführten Brillen. Dies ist im Hinblick eines rein intraindividuellen Methodenvergleichs jedoch nicht unbedingt als Schwäche zu werten, sondern sollte eher dazu aufrufen, die ermittelten Perzentile dieser Pilotstudie zurückhaltend zu werten und in weiteren Studien an größeren Probandenkollektiven zu überprüfen. Auch konnten für die Sehtafeln keine standardisierten Lichtkästen verwendet werden.

Aus diesen Gründen sind die Ergebnisse mit Vorsicht zu betrachten. Sie geben aber trotz allem eine eindeutige Tendenz an. Es sind weitere Studien nötig, um das vorhandene Wissen zu erweitern, bestehende Grenzwerte zu verfestigen bzw. zu korrigieren und neue Grenzwerte für neuere Methoden festzulegen.

6 Zusammenfassung

Die Prüfung des Kontrastsehens bzw. die Messung der Kontrastempfindlichkeit (KE) spielt eine zunehmende Rolle in der Beurteilung der visuellen Leistungen des Menschen. Sie eignet sich in vielen Fällen besser als die alleinige Prüfung der Sehschärfe, um einen Eindruck über die Alltagsfähigkeiten zu vermitteln. Seit Juli 2011 fordert auch die Fahrerlaubnisverordnung (FeV) für Berufskraftfahrer ein ausreichendes Kontrast- oder Dämmerungssehen. Für die Messung unter mesopischen Bedingungen gibt die Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft (DOG) Grenzwerte vor. Daneben rücken in der arbeitsmedizinischen Praxis zunehmend photopische Verfahren in den Vordergrund, zu denen es jedoch nur wenige Studien und zudem keine anerkannten Norm- und Grenzwerte gibt. Ziel dieser Studie war es, verschiedene photopische mit einem mesopischen Referenzverfahren zu vergleichen und zu prüfen, inwiefern die einzelnen Methoden äquivalent anwendbar sind. Auf diese Weise leistet die Studie einen Beitrag, wie Kontrastsehen in Zukunft sinnvoll gemessen werden kann, und liefert wichtige Informationen für die Erstellung der Norm- und Grenzwerte.

Es wurden 150 freiwillige Probanden im Alter von 18 bis 79 Jahren in die Studie aufgenommen, die in zwei Altersgruppen (< 45 Jahre; ≥ 45 Jahre) aufgeteilt wurden. Ausschlusskriterium war ein Fernvisus kleiner als 0,63.

Als mesopisches Testgerät wurde das Mesotest II (Fa. Oculus; Referenzverfahren) mit den photopischen Einblickgeräten Rodatest 302 und Optovist (beide Fa. Vistec AG) sowie den Sehtafeln VCTS 6500 (Fa. VISTECH Consultants Inc.) und Mars-Tafeln (Mars Perceptrix Corporation) verglichen. Grundlage für die Untersuchungen bildeten die Annahmen, dass es in den Kontrastsehtests keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern, aber zwischen den Altersgruppen gab. Die untersuchten Arbeitshypothesen stellten die Erwartung dar, dass die verschiedenen Methoden übereinstimmende Ergebnisse liefern und dabei die Einblickgeräte eine bessere Übereinstimmung zum Mesotest II zeigen als die Sehtafeln. Aus den vorhandenen Daten sollte die Verteilung der Messergebnisse für die einzelnen Methoden berechnet werden, wobei hierfür Probanden ausgeschlossen wurden, bei denen eine Minderung des Kontrastsehens aus anderen Gründen nicht ausgeschlossen werden konnte. Die möglichen Einflussfaktoren wurden vorher mittels eines Fragebogens erfasst.

Die Ergebnisse zeigen, dass es keine geschlechterbedingten Unterschiede zwischen den Methoden gab. Probanden der älteren Altersgruppe schnitten sowohl in der Sehschärfe als auch im Kontrast- und Dämmerungssehen schlechter ab als jüngere Probanden.

Im Bestehen der Methoden stimmten die VISTECH-Tafel und das Optovist-Gerät monokular bzw. binokular schwach mit dem Mesotest II überein. Rodatest 302 und Mars-Tafeln zeigten keine Übereinstimmung mit dem Referenzverfahren. Die gemessenen Kontrastwerte korrelierten zwischen

den Geräten Optovist, Rodatest 302 und der VISTECH-Tafel trotz zum Teil nicht vorhandener Übereinstimmung des Bestehens. Dies lässt sich durch starke Unterschiede in den vom Hersteller vorgegebenen Grenzwerten erklären. Die Mars-Tafeln wiesen bei binokularer Testung einen Deckeneffekt auf.

Die anhand der Daten ermittelten Perzentilwerte der Kontrastergebnisse für die einzelnen Altersgruppen ergaben zum Teil Übereinstimmungen mit den von den Herstellern vorgegebenen Grenzwerten. Im Gegensatz zum Gerät Optovist ist bei den gegenwärtigen Grenzwerten die Verwendung des Rodatest 302 aber aufgrund mangelnder Übereinstimmung zum Mesotest II kritisch zu betrachten. Die VISTECH-Tafel erwies sich als geeignet, wobei zum Teil die Grenzwerte gelockert werden sollten. Von der Verwendung der Mars-Tafeln muss bei den vorhandenen Grenzwerten Abstand genommen werden. Es sind für alle Verfahren vergleichbare Grenzwerte mit Differenzierung zwischen monokularem und binokularem Sehen nötig, da letzteres im Vergleich zur monokularen Testung zu deutlich besseren Ergebnissen in der Kontrastsehprüfung führt.

Die Ergebnisse dieser Studie leisten einen wichtigen methodischen Beitrag und haben eine große praxisbezogene Relevanz für die Arbeits- und Betriebsmedizin.

7 Literaturverzeichnis

- 1 Amort K: Update Fahrerlaubnisverordnung: Untersuchung des Kontrast- und Dämmerungssehens. *Prakt.Arb.med.* 22. 7–9 (2011)
- 2 Anderson AJ, Stainer MJ: A control experiment for studies that show improved visual sensitivity with intraocular pressure lowering in glaucoma. *Ophthalmology.* 121. 2028–2032 (2014)
- 3 Andre JT, Tyrrell RA, Leibowitz HW, Nicholson ME, Wang M: Measuring and predicting the effects of alcohol consumption on contrast sensitivity for stationary and moving gratings. *Percept Psychophys.* 56. 261–267 (1994)
- 4 Aparicio JA, Arranz I, Matesanz BM, Vizmanos JG, Padierna L, González VR, Mar S, Menéndez JA, Issolio L: Quantitative and functional influence of surround luminance on the letter contrast sensitivity function. *Ophthalmic Physiol Opt.* 30. 188–199 (2010)
- 5 Apelt D, Strasburger H, Klein J, Preim B: Impact of adaption time on contrast sensitivity. In: Manning DJ, Abbey CK (eds): *Medical Imaging 2010: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment.* 76270P. SPIE (2010)
- 6 Archibald NK, Clarke MP, Mosimann UP, Burn DJ: Visual symptoms in Parkinson's disease and Parkinson's disease dementia. *Mov Disord.* 26. 2387–2395 (2011)
- 7 Arden GB: The importance of measuring contrast sensitivity in cases of visual disturbance. *Br J Ophthalmol.* 62. 198–209 (1978)
- 8 Arditi A: Improving the design of the letter contrast sensitivity test. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 46. 2225–2229 (2005)
- 9 Aulhorn E, Harms H: Über die Untersuchung der Nachtfahreignung von Kraftfahrern mit dem Mesoptometer. *Klin Monbl Augenheilkd.* 157. 843–873 (1970)
- 10 Ausschuss "Arbeitsmedizin": Leitfaden für Betriebsärzte zur Anwendung des G 25. DGUV-Grundsatz "Fahr-, Steuer- und Überwachungstätigkeiten". Berlin (2010). <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/g25.pdf>, 5 Jul 2016
- 11 Bach M, Lachenmayr B, Schiefer U: Prüfung des Kontrast- oder Dämmerungssehens. *Ophthalmologe.* 108. 1195–1198 (2011)
- 12 Bach M, Wesemann W, Kolling G, Bühren J, Krastel H, Schiefer U: Photopisches Kontrastsehen. Örtliche Kontrastempfindlichkeit. *Ophthalmologe.* 105. 46–59 (2008)
- 13 Bellmann C, Unnebrink K, Rubin GS, Miller D, Holz FG: Visual acuity and contrast sensitivity in patients with neovascular age-related macular degeneration. Results from the Radiation Therapy for Age-Related Macular Degeneration (RAD-) Study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 241. 968–974 (2003)
- 14 Berglöff J, Faschinger C: Sehnervenentzündung und Kontrastsehen. *Spektrum Augeheilkd.* 8. 212–216 (1994)
- 15 Bergmann LCE, Darius S, Kropf S, Böckelmann I: Kontrastsehen messen: mesopisch oder photopisch? Ein Vergleich verschiedener Verfahren zur Messung der Kontrastempfindlichkeit im Rahmen der Fahrerlaubnisverordnung. *Ophthalmologe.* DOI 10.1007/s00347-016-0261-5. (2016)
- 16 Berke A: Alter und Sehen. *DOZ.* 4. 48–55 (2009)
- 17 Böckelmann I: Untersuchungen des Sehvermögens. In: Hofmann F, Kralj N (Hrsg.): *Handbuch der betriebsärztlichen Praxis. Grundlagen - Diagnostik - Organisation - Prävention - Rechtskommentare.* 1–42. Ecomed, Landsberg/Lech (2016)

- 18 Böckelmann I, Lindner H, Peters B, Pfister EA: Einfluss längerer beruflicher Lösemittelexposition auf die Kontrastempfindlichkeit. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed.* 10. 484–489 (2001)
- 19 Böckelmann I, Lüthke S, Welters A: Kontrastwahrnehmung bei Arbeitnehmern mit Diabetes mellitus und arterieller Hypertonie. Eine altersgematchte Analyse. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed.* 45. 516–522 (2010)
- 20 Böckelmann I, Maier F, Winter C, Pfister EA: Ophthalmologische Kontrolluntersuchung bei bleibelasteten Polizeischießausbildern. *Zbl Arbeitsmed.* 58. 110–120 (2008)
- 21 Böckelmann I, Pfister E: Untersuchungen des Sehvermögens. In: Hofmann F, Kralj N (Hrsg.): *Handbuch der betriebsärztlichen Praxis. Grundlagen - Diagnostik - Organisation - Prävention - Rechtskommentare.* 15 Erg. Lfg. 7/07. 1–32. Ecomed, Landsberg/Lech (2007)
- 22 Böckelmann I, Pfister EA: Influence of occupational exposure to organic solvent mixtures on contrast sensitivity in printers. *J Occup Environ Med.* 45. 25–33 (2003)
- 23 Böckelmann I, Pfister EA: Werden die Farb- und Kontrastwahrnehmung durch Zigarettenrauchen beeinträchtigt? In: Baur X, Glensk E (Hrsg.): *Tagungsband zur 48. Wissenschaftlichen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. in Hamburg.* Geschäftsstelle der Dt. Ges. für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin, Lübeck (2008)
- 24 Böckelmann I, Pfister EA, Lindner H, Muttray A: Kontrast- und Blendempfindlichkeit in der arbeitsmedizinischen Praxis. *ErgoMed.* 4. 102–106 (2002)
- 25 Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: *Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr (Fahrerlaubnis-Verordnung).* FeV (2010). http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/fev_2010/gesamt.pdf, 5 Jul 2016
- 26 Burton KB, Owsley C, Sloane ME: Aging and neural spatial contrast sensitivity: Photopic vision. *Vision Res.* 33. 939–946 (1993)
- 27 Campagna D, Mergler D, Huel G, Bélanger S, Truchon G, Ostiguy C, Drolet D: Visual dysfunction among styrene exposed workers. *Scand J Work Environ Health.* 21. 382–390 (1995)
- 28 Costa TL, Barboni MTS, Moura AL, Bonci DMO, Gualtieri M, de Lima Silveira LC, Ventura DF: Long-term occupational exposure to organic solvents affects color vision, contrast sensitivity and visual fields. *PLoS one.* 7. e42961 (2012)
- 29 Darius S, Rößler T, Schenk D, Böckelmann I: Beurteilung der Kontrastempfindlichkeit - Ein Methodenvergleich. *Prakt.Arb.med.* 21. 28–31 (2010)
- 30 Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) (Hrsg.): *Grundsätze für arbeitsmedizinische Untersuchungen.* Gentner, Stuttgart (2014)
- 31 Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft e.V.: *Stellungnahme der Verkehrskommission der DOG* Stellungnahme der Verkehrskommission der DOG zum photopischen Kontrastsehen (2015). <http://www.dog.org/wp-content/uploads/2015/12/Photopisches-Kontrastsehen.pdf>, 5 Jul 2016
- 32 Deutsches Institut für Normung e.V.: *Begriffe der physiologischen Optik (DIN 5340).* Beuth-Verl. Berlin (1998)
- 33 DGUV: *G 25 Fahr-, Steuer- und Überwachungstätigkeiten.* In: *Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) (Hrsg.): Grundsätze für arbeitsmedizinische Untersuchungen.* Gentner, Stuttgart (2014)
- 34 DOG-Kommission für die Qualitätssicherung sinnesphysiologischer Untersuchungsverfahren und Geräte: *Empfehlungen und Gerätetabellen der DOG-Kommission für die Qualitätssicherung sinnesphysiologischer Untersuchungsverfahren und Geräte* (2016). <http://www.dog.org/wp-content/uploads/2016/02/EmpfehlungSinnesphysUntersuchungsmeth-Version-17.pdf>, 6 Mrz 2016

- 35 Donoghue AM, Dryson EW, Wynn-Williams G: Contrast sensitivity in organic-solvent-induced chronic toxic encephalopathy. *J Occup Environ Med.* 37. 1357–1363 (1995)
- 36 Durst W, Peters T, Wilhelm B: Testing acuity and contrast vision under standardised lighting conditions. *Br J Ophthalmol.* 95. 1506–1508 (2011)
- 37 Durst W, Wilhelm B, Wilhelm H: Bestimmung des Kontrastsehens mit der MARS-Tafel - bei welcher Beleuchtung? *Klin Monbl Augenheilkd.* 230. 932–936 (2013)
- 38 Eisenbarth W, Mackeben M, Poggel DA, Strasburger H: Characteristics of dynamic processing in the visual field of patients with age-related maculopathy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 246. 27–37 (2008)
- 39 Eysel U: Sehen und Augenbewegungen. In: Schmidt RF, Lang F (Hrsg.): *Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie.* Springer Medizin Verlag Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2007)
- 40 Frenette B, Mergler D, Bowler R: Contrast-sensitivity loss in a group of former microelectronics workers with normal visual acuity. *Optom Vis Sci.* 68. 556–560 (1991)
- 41 Glass JM: Visual function and cognitive aging: differential role of contrast sensitivity in verbal versus spatial tasks. *Psychol Aging.* 22. 233–238 (2007)
- 42 Grundler W, Burgard E, Strasburger H: Fahreignung im Alter: Studien zur Validierung von Instrumenten der Seh- und Eignungsdiagnostik. In: Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft e.V. (Hrsg.): *Augenheilkunde in der alternden Gesellschaft – Herausforderungen und Chancen* (2006)
- 43 Heimbucher M: Örtliche Kontrastempfindlichkeit und Stereosehen mit dem VisualTest im Rahmen der Glaukomdiagnostik. Dissertation. Medizinische Hochschule. Hannover (2009)
- 44 Hertenstein H, Bach M, Gross NJ, Beisse F: Marked dissociation of photopic and mesopic contrast sensitivity even in normal observers. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 254. 373–384 (2016)
- 45 Hohberger B, Laemmer R, Adler W, Juenemann AGM, Horn FK: Measuring contrast sensitivity in normal subjects with OPTEC 6500: influence of age and glare. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 245. 1805–1814 (2007)
- 46 Höllerhage K: Das menschliche Kontrastsehen - Vergleich zweier Testverfahren. Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität. Freiburg (2012)
- 47 Justino L, Kergoat H, Kergoat M: Changes in the retinocortical evoked potentials in subjects 75 years of age and older. *Clin Neurophysiol.* 112. 1343–1348 (2001)
- 48 Lachenmayr B: Verkehrsophthalmologie. Fahreignungsbegutachtung im Straßenverkehr. *Ophthalmologe.* 103. 425–43; quiz 444–5 (2006)
- 49 Lachenmayr B, Buser A, Keller O: Sehstörungen als Unfallursache. Bundesanstalt für Strassenwesen. Bergisch Gladbach (1996)
- 50 Lachenmayr B, Friedburg D, Hartmann E, Buser A: Auge - Brille - Refraktion. Schober-Kurs: verstehen - lernen - anwenden. Thieme. Stuttgart, New York (2006)
- 51 Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics.* 33. 159–174 (1977)
- 52 Lütke SC: Arbeitsmedizinische Studie über Einflussfaktoren auf die Kontrastempfindlichkeit. Dissertation. Otto-von-Guericke-Universität. Magdeburg (2014)
- 53 Mars Perceptrix Corporation: Mars-Tafel. <http://www.marsperceptrix.com/>, 1 Jul 2016
- 54 Naycheva LG: Untersuchung des Kontrastsehens: welches Verfahren ist am besten geeignet? Dissertation. Eberhard Karls Universität. Tübingen (2012)
- 55 Nicholson ME, Andre JT, Tyrrell RA, Wang M, Leibowitz HW: Effects of moderate dose alcohol on visual contrast sensitivity for stationary and moving targets. *J Stud Alcohol.* 56. 261–266 (1995)

- 56 Paliaga GP: Die Bestimmung der Sehschärfe. Quintessenz. München (1993)
- 57 Pearson P, Timney B: Effects of moderate blood alcohol concentrations on spatial and temporal contrast sensitivity. *J Stud Alcohol.* 59. 163–173 (1998)
- 58 Pestilli F, Viera G, Carrasco M: How do attention and adaptation affect contrast sensitivity? *J Vis.* 7. 9.1-12 (2007)
- 59 Rassow B: Zur Bestimmung der Kontrastempfindlichkeit. *Klin Monbl Augenheilkd.* 193. 93–98 (1988)
- 60 Rassow B: Einfluss der Leuchtdichte auf Kontrast- und Blendungsempfindlichkeit im mesopischen Bereich. *Klin Monbl Augenheilkd.* 214. 401–406 (1999)
- 61 Rassow B, Cavazos H, Wesemann W: Normgerechte Sehschärfebestimmung mit Buchstaben. *Augenärztl Fortbildung.* 13. 105–114 (1990)
- 62 Roquelaure Y, Le Gargasson, J. F., Kupper S, Girre C, Hispard E, Dally S: Alcohol consumption and visual contrast sensitivity. *Alcohol Alcohol.* 30. 681–685 (1995)
- 63 Scharwey K, Krzizok T, Herfurth M: Nachtfahreignung augengesunder Personen verschiedener Altersstufen. *Ophthalmologe.* 95. 555–558 (1998)
- 64 Schmidt-Clausen H, Freiding A: Sehvermögen von Kraftfahrern und Lichtbedingungen im nächtlichen Straßenverkehr. *Wirtschaftsverl. NW, Verl. für Neue Wiss. Bremerhaven* (2004)
- 65 Skalka HW: Effect of age on Arden grating acuity. *Br J Ophthalmol.* 64. 21–23 (1980)
- 66 Sloan LL, Rowland WM, Altman A: Comparison of three types of test target for measurement of visual acuity. *Q Rev Ophthalmol Otorhinolaryngol.* 4–17 (1952)
- 67 Sokol S, Domar A, Moskowitz A: Utility of the Arden grating test in glaucoma screening: high false-positive rate in normals over 50 years of age. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 19. 1529–1533 (1980)
- 68 Sutter M: Kontrast und Kontrastempfindlichkeit in der Low Vision Rehabilitation. *Blickpunkt Focus.* 19. 19–24 (2006)
- 69 Triebig G (Hrsg.): *Arbeitsmedizin. Handbuch für Theorie und Praxis.* mit Literatur-CD-ROM. Gentner. Stuttgart (2008)
- 70 Verkehrskommission der DOG: *Fahreignungsbegutachtung für den Straßenverkehr. Anleitung für die augenärztliche Untersuchung und Beurteilung der Eignung zum Führen von Kraftfahrzeugen.* München (2013). http://www.dog.org/wp-content/uploads/2013/03/DOG_Fahreignungsbegutachtung_2014_03.pdf, 6 Mrz 2016
- 71 Voormann AJ: Wenn beim Autofahren die Kontraste verschwimmen. Nachtfahreignung durch Augentest prüfen. *Pressestelle Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft.* München (2014)
- 72 Wesemann W: Die Grenzen der Sehschärfe, Teil 4. Wie misst man die Sehschärfe richtig? Grenzen und Probleme. *DOZ.* 32–38 (2002)
- 73 Wesemann W, Schiefer U, Bach M: Neue DIN-Normen zur Sehschärfebestimmung. *Ophthalmologe.* 107. 821–826 (2010)
- 74 Wilhelm H: Kontrastsehen - weshalb man es prüfen sollte. *ZPA.* 29. 405–407 (2008)
- 75 Wilhelm H: Sehvermögen und Fahrtauglichkeit. *Ther Umsch.* 68. 243–247 (2011)
- 76 Wilhelm H, Hofmann D, Roelcke S, Quast R: Erfahrungen mit der Untersuchung des Kontrastsehens. *Experience in Contrast Vision Testing.* *Klin Monbl Augenheilkd.* 228. 967–970 (2011)

- 77 Wilhelm H, Peters T, Durst W, Roelcke S, Quast R, Hütten M, Wilhelm B: Untersuchung des Dämmerungs- und Kontrastsehens nach Fahrerlaubnisverordnung: Welche Grenzwerte, welche Verfahren sind geeignet? *Klin Monbl Augenheilkd.* 230. 1106–1113 (2013)
- 78 Wood JM: Aging, driving and vision. *Clin Exp Optom.* 85. 214–220 (2002)
- 79 Zulauf M, Flammer J, Signer C: Short-term influence of alcohol on spatial brightness contrast sensitivity. *Ophthalmologica.* 197. 159–165 (1988)

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich den Personen ganz besonders danken, die mich in den letzten Jahren auf dem Weg bis zur Fertigstellung dieser Arbeit begleitet und unterstützt haben.

Zunächst danke ich Frau Dr. Sabine Darius für die intensive und herzliche Betreuung in allen noch so ausweglosen Situationen und für die stets durch gute Laune und Optimismus geprägte Zusammenarbeit.

Frau Prof. Dr. Irina Böckelmann danke ich für die Bereitstellung dieses spannenden Themas und die stets sehr schnellen und ausführlichen Antworten und Korrekturen auf meine Anfragen und Entwürfe.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Siegfried Kropf für die statistische Beratung im Vorfeld bei der Planung der Studie sowie für ergänzende Ratschläge zur statistischen Auswertung.

Herrn Dr. Günther Pabst gilt besonderer Dank für seine Hilfe und Erklärung zur Optimierung der statistischen Auswertung.

Ich danke Stefan Wende für die moralische und seelische Unterstützung bei so manchem Rückschlag und für die geduldigen Erklärungen und Tipps mit Excel.

Des Weiteren danke ich allen Probanden, die sich bereit erklärt und die Zeit genommen haben, an den Untersuchungen teilzunehmen und dadurch diese Arbeit erst möglich gemacht haben.

Nicht zuletzt danke ich meinen lieben Eltern, die mich stets bedingungslos unterstützt haben, immer mit Rat und Tat zur Seite stehen und mir ermöglicht haben, diese Arbeit fertig zu stellen.

Mein Dank gilt auch all den Menschen, die mich die letzten Jahre durch das Studium und die Arbeit an der Promotion begleitet haben.

Ehrenerklärung

Ich erkläre, dass ich die der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel

Vergleich sinnesphysiologischer Untersuchungsverfahren zur Prüfung des Kontrastsehens

im Bereich Arbeitsmedizin der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

mit Unterstützung durch Frau Prof. Dr. Irina Böckelmann

ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Bei der Abfassung der Dissertation sind Rechte Dritter nicht verletzt worden.

Ich habe diese Dissertation bisher an keiner in- oder ausländischen Hochschule zur Promotion eingereicht. Ich übertrage der Medizinischen Fakultät das Recht, weitere Kopien meiner Dissertation herzustellen und zu vertreiben.

Magdeburg, den 5. Juli 2016

Darstellung des Bildungsweges

Publikationen

Originalarbeiten

Bergmann LCE, Darius S, Kropf S, Böckelmann I: Kontrastsehen messen: mesopisch oder photopisch? Ein Vergleich verschiedener Verfahren zur Messung der Kontrastempfindlichkeit im Rahmen der Fahrerlaubnisverordnung. Ophthalmologe. DOI 10.1007/s00347-016-0261-5 (2016)

Buch- und Kongressbandbeiträge

Bergmann L, Darius S, Böckelmann I: Methodenvergleich zur Prüfung des Kontrast- und Dämmerungssehens: Geräte- und Tafelverfahren. In: Hildenbrand S, Rieger MA (Hrsg.): Dokumentation der 55. Jahrestagung der DGAUM 2015: 55. Wissenschaftliche Jahrestagung 2015, 18.-20. März 2015 in München. - [Aachen]: Geschäftsstelle der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V., S. 433-435 (2015)

Bergmann L, Darius S, Böckelmann I: Vergleich verschiedener Verfahren zur Prüfung des Kontrast- und Dämmerungssehens. In: Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (Hrsg.): Dokumentation der 54. Jahrestagung der DGAUM 2014: 54. Wissenschaftliche Jahrestagung 2014, 2.-4. April 2014 in Dresden. - [Aachen]: Geschäftsstelle der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V., S. 35-38 (2014)

Vorträge

Bergmann L, Darius S, Böckelmann I: Methodenvergleich zur Prüfung des Kontrast- und Dämmerungssehens: Geräte- und Tafel-Verfahren. Vortrag. 55. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (DGAUM), 18. - 20. März 2015 in München. Gentner Verlag, Stuttgart, Sonderpublikation von DGAUM und ASU, S. 117 (2015)

Bergmann L, Darius S, Böckelmann I: Vergleich verschiedener Verfahren zur Prüfung des Kontrast- und Dämmerungssehens. In: Eikmann T, Herr C, Heudorf U, Nowak D (Hrsg.): Umweltmedizin, Hygiene, Arbeitsmedizin. - Landsberg: Ecomed Medizin, Verl.-Gruppe Hüthig Jehle Rehm, Bd. 19, 2, S. 147 (2014)

Anlagen

Anlage 1: Führerscheinklassen nach FeV (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2010)

Führerscheinklasse	Beschreibung	Eingeschlossene Führerscheinklassen
AM	Zweirädrige Kleinkrafträder mit Höchstgeschwindigkeit ≤ 45 km/h und elektrischer Antriebsmaschine oder Verbrennungsmotor mit einem Hubraum < 50 cm ³ ; dreirädrige Kleinkrafträder oder vierrädrige Leichtkraftfahrzeuge mit Höchstgeschwindigkeit ≤ 45 km/h und Hubraum < 50 cm ³	
A1	Krafträder mit Hubraum ≤ 125 cm ³ mit Verhältnis Leistung zu Gewicht $\leq 0,1$ kW/kg	AM
A2	Krafträder mit Verhältnis Leistung zu Gewicht $\leq 0,2$ kW/kg	AM, A1
A	Krafträder mit Hubraum > 50 cm ³ oder Höchstgeschwindigkeit > 45 km/h	AM, A1, A2
B	Kraftfahrzeuge ≤ 3500 kg zur Beförderung von ≤ 8 Personen (außer Fahrzeugführer)	AM, L
BE	Fahrzeugkombination aus Zugfahrzeug Klasse B und Anhänger ≤ 3500 kg	
C1	Kraftfahrzeuge > 3500 kg aber ≤ 7500 kg zur Beförderung von ≤ 8 Personen (außer Fahrzeugführer)	
C1E	Fahrzeugkombination ≤ 12000 kg aus Zugfahrzeug Klasse C1 und Anhänger > 750 kg oder Zugfahrzeug Klasse B und Anhänger > 3500 kg	BE, D1E (sofern Berechtigung für D1)
C	Kraftfahrzeuge > 3500 kg zur Beförderung von ≤ 8 Personen (außer Fahrzeugführer)	C1
CE	Fahrzeugkombination aus Zugfahrzeug Klasse D und Anhänger > 750 kg	C1E, BE, T, D1E (sofern Berechtigung für D1), DE (sofern Berechtigung für D)
D1	Kraftfahrzeuge zur Beförderung von ≤ 16 Personen (außer Fahrzeugführer) mit Länge ≤ 8 m	
D1E	Fahrzeugkombination aus Zugfahrzeug Klasse D1 und Anhänger > 750 kg	BE, C1E (sofern Berechtigung für C1)
D	Kraftfahrzeuge zur Beförderung von > 8 Personen (außer Fahrzeugführer)	D1
DE	Fahrzeugkombination aus Zugfahrzeug Klasse D und Anhänger > 750 kg	D1E, BE, C1E (sofern Berechtigung für C1)
T	Zugmaschinen für land- oder forstwirtschaftliche Zwecke mit Anhängern mit Höchstgeschwindigkeit ≤ 60 km/h	AM, L
L	Zugmaschinen für land- oder forstwirtschaftliche Zwecke mit Höchstgeschwindigkeit ≤ 40 km/h, mit Anhängern ≤ 25 km/h	

Anlage 2: Votum der Ethikkommission

**UNIVERSITÄTSKLINIKUM
MAGDEBURG A.Ö.R.**



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG



**MEDIZINISCHE
FAKULTÄT**

Medizinische Fakultät / Universitätsklinikum, Leipziger Str. 44 Haus 28, 39120 Magdeburg

Ethik-Kommission der
Otto-von-Guericke-
Universität an der
Medizinischen Fakultät und
am Universitätsklinikum
Magdeburg A.ö.R.

Univ.-Prof. Dr. med. Christof Huth
Vorsitzender

Dr. med. Norbert Beck
Geschäftsführer

Telefon: +49 391 67-14314
Telefax: +49 391 67-14354
elektr.Fax: +49 391 67-290185
eMail: ethikkommission@ovgu.de

Frau Prof. Dr. med. habil. I. Böckelmann
Bereich Arbeitsmedizin
Universitätsklinikum A.ö.R.
Leipziger Str.44
39120 Magdeburg

Datum
26.06.2013

Unser Zeichen: 71/13

Vergleich verschiedener Verfahren zur Prüfung des Kontrast- und Dämmerungssehens

Sehr geehrte Frau Prof. Böckelmann,

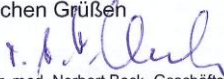
die Ethik-Kommission der Otto-von-Guericke-Universität an der Medizinischen Fakultät und am Universitätsklinikum Magdeburg hat die übergebenen Unterlagen zur o. g. Studie überprüft, in der letzten Kommissionssitzung eingehend erörtert und ist zu der Auffassung gekommen, dass gegen die Durchführung keine ethischen Bedenken bestehen. Diese **zustimmende Bewertung** ergeht unter dem Vorbehalt gleichbleibender Gegebenheiten.

Die Verantwortlichkeit des jeweiligen Prüfungswissenschaftlers / behandelnden Prüfarztes bleibt in vollem Umfang erhalten und wird durch diese Entscheidung nicht berührt. Alle zivil- oder haftungsrechtlichen Folgen, die sich ergeben könnten, verbleiben uneingeschränkt beim Projektleiter und seinen Mitarbeitern.

Beim Monitoring sind die Bestimmungen des Bundes- und Landesdatenschutzgesetzes sowie die sich aus der ärztlichen Schweigepflicht ergebenden Einschränkungen zu beachten, was eine Aushändigung kompletter Patientenakten zum Monitoring ausschließt. Ein Monitoring personen- und studienbezogener Daten wird dadurch nicht beeinträchtigt.

Um die Übersendung von studienbezogenen Jahresberichten / Abschlussberichten / Publikationen wird unter Nennung unserer Registraturnummer gebeten.

Mit freundlichen Grüßen


(i. A. Dr. med. Norbert Beck, Geschäftsführer)
Prof. Dr. med. C. Huth
Vorsitzender der Ethik-Kommission

Anlage 3: Informationsbogen zur Studie für die Probanden



Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Postfach 4120, 06108 Magdeburg

BEREICH AUGENMEDIZIN

**Prof. Dr. med. habil.
Irina Böckelmann**

Leiterin

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Medizinische Fakultät
Leipziger Str. 44
06120 Magdeburg

Telefon: +49 391 87-15055
Telefax: +49 391 87-15056

iam@med.ovgu.de
www.med.uni-magdeburg.de

Ihre Zeichen, Ihre Nachricht vom:

Unsere Zeichen

Durchwahl:

Datum:

Studie „Vergleich verschiedener Verfahren zur Prüfung des Kontrast- und Dämmerungssehens“

I N F O R M A T I O N

Sehr geehrte Probandin, sehr geehrter Proband,

um visuelle Leistungen besser bewerten zu können, ist zusätzlich zu der Visusbestimmung eine Untersuchung der Kontrastempfindlichkeit (KE) unter Tages- und Dämmerungsbedingungen sehr sinnvoll. In der geänderten Fahrerlaubnisverordnung vom 01.07.2011 wird für Berufskraftfahrer nun ein ausreichendes Kontrast- oder Dämmerungssehen erfordert.

Problematisch ist jedoch, dass für die Überprüfung des Kontrastsehens noch keine Normwerte vorliegen.

In dieser Studie, für die Sie sich freiwillig gemeldet haben, möchten wir verschiedene Methoden miteinander vergleichen. Sie absolvieren bei uns einen normalen Sehtest zur Kontrolle des Visus, darüber hinaus werden Ihr Kontrastsehvermögen und Ihr Dämmerungssehen getestet. Des Weiteren bitten wir Sie, einen Fragebogen zu persönlichen Angaben (Alter, Geschlecht usw.) auszufüllen.

Sie können jederzeit, auch während eines laufenden Versuchs, Ihre Teilnahme ohne Nennung von Gründen beenden. Daraus entstehen Ihnen keine Nachteile.

Die Versuchsdurchführung ist gemäß Vorschrift (AllgUmdruck 80 FAInspSan A54.01) durch die Ethikkommission der Universität Magdeburg genehmigt worden. Alle Untersuchungsmethoden werden mit zugelassenen Standardgeräten durchgeführt und sind nicht invasiv.

Sie erhalten vor der ersten Datenerhebung ein eindeutiges Pseudonym. Die Erhebung sowie die weitere elektronische Verarbeitung und Nutzung aller Daten (Messwerte, Fragebögen) erfolgt ausschließlich mit diesem Pseudonym. Ausgenommen von der Pseudonymisierung ist die Einwilligungserklärung. Diese Unterlagen werden getrennt von den pseudonymisiert erhobenen Daten unter Verschluss gehalten. Eine Identifizierung der betreffenden Person anhand der Untersuchungsdaten ist damit auf elektronischem Weg nicht möglich.

Sollten im Rahmen der Studie bei Ihnen Sehauuffälligkeiten festgestellt werden, informieren wir Sie über die Ergebnisse, damit Sie mit Ihrem Augenarzt oder Augenoptiker das weitere Vorgehen besprechen können.

Anlage 4: Muster der Einwilligungserklärung der Probanden



Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Postfach 4120, 39018 Magdeburg

BEREICH ARBEITSMEDIZIN

Prof. Dr. Irina Böckelmann

Leiterin

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Medizinische Fakultät
Leipziger Str. 44
39120 Magdeburg

Telefon: +49 891 67-15056
Telefax: +49 891 67-15088

iam@med.ovgu.de
www.med.uni-magdeburg.de

Ihre Zeichen, Ihre Nachricht vom: Unsere Zeichen Durchwahl: Datum:
Prof. Dr. Bö/Κi

**Studie
„Vergleich verschiedener Verfahren zur Prüfung des Kontrast- und
Dämmerungssehens“**

Studie des Bereiches für Arbeitsmedizin an der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg.

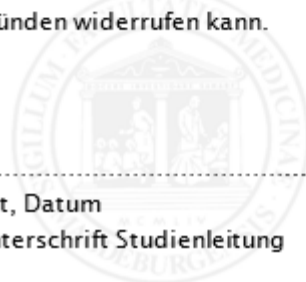
Name des Probanden:.....

EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG

Mir ist bekannt, zu welchem Zweck die Untersuchungen erfolgen.
Über Wesen, Bedeutung und Tragweite der Untersuchungen bin ich eingehend unterrichtet worden, wobei ich zum Ablauf und zu möglichen Risiken Fragen stellen konnte. Ich hatte angemessen Zeit, mich zu entscheiden.
Weiterhin wurde mir verbindlich zugesichert, dass die Ergebnisse meiner Untersuchung streng vertraulich und ausschließlich Forschungszwecken dienen.
Hiermit willige ich ein, an der Studie teilzunehmen. Mir ist bekannt, dass ich meine Einwilligung jederzeit und ohne Angaben von Gründen widerrufen kann.

.....
Ort, Datum
Unterschrift Proband

.....
Ort, Datum
Unterschrift Studienleitung



Anlage 5: Anamnesebogen

Studie**„Vergleich verschiedener Verfahren zur Prüfung des Kontrast- und Dämmerungssehens“****Allgemeine Angaben**

Untersucher: _____

Probandennummer: _____

Gruppe: _____

Geschlecht: weiblich männlich

Geb. am: _____

Untersuchungsdatum/Uhrzeit: _____

Angaben zur Sehschärfe

Visus: R _____ L _____

Brillenträger: ja nein

Brillendaten: R _____ L _____

Augenerkrankungen ja nein

➤ Falls ja, welche? _____

ErkrankungenDiabetes mellitus ja neinArterielle Hypertonie ja neinEpilepsie ja neinAllergien ja neinAndere Erkrankungen ja neinMedikamenteneinnahme: ja nein

➤ Falls ja, welche? _____

Gewohnheiten/ allgemeine Angaben

Ich trinke ____ Tassen Kaffee. Wie oft? _____

Ich trinke ____ Tassen schwarzen Tee. Wie oft? _____

Alkohol

Ich trinke im allgemeinen Alkohol. ja nein

	täglich	3-4 x pro Woche	1-2 x pro Woche	ca. 1 x im Monat	seltener oder nie
Bier	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wein / Sekt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spirituosen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wieviel Bier (0,5 l) pro Trinksituation? _____ Glas

Wieviel Wein / Sekt (0,2 l) pro Trinksituation? _____ Glas

Wieviel Spirituosen (2 cl) pro Trinksituation? _____ Glas

Rauchen

➤ Ich rauche ja nein

➤ Falls ja, wie viel Zigaretten pro Tag? _____

➤ Falls nein, Passivraucher? ja nein

ca. _____ h / Tag

wo _____

➤ Ich rauche nicht mehr: = seit wann aufgehört? _____

= Wie lange geraucht? _____

= Wie viel geraucht? _____

Anlage 6: Erfassungsbogen für Rodatest 302: K1 und K2

Sehtest Kontrast 1 (Rodatest 302)

Name		Datum	
Vorname		Prüfer/ Stempel	
Straße/ Nr.			
PLZ/ Ort			
Geburtsdatum			
Geschlecht <input type="checkbox"/> m <input type="checkbox"/> w		Sehtilfe	
		<input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> Gleitsichtbrille <input type="checkbox"/> Nahbrille <input type="checkbox"/> Spez. Bildschirmbrille <input type="checkbox"/> Fernbrille <input type="checkbox"/> Kontaktlinsen <input type="checkbox"/> Mehrstärkenbrille <input type="checkbox"/> Sehtilfe gelohnt	

ohne Blendung (Kontrastempfindlichkeit)

<input type="checkbox"/> binokular <input type="checkbox"/> rechtes Auge <input type="checkbox"/> Umfeld hell <input type="checkbox"/> linkes Auge <input type="checkbox"/> dunkel																													
1	Kontrast 100% Visus 0.1 <input type="checkbox"/>																												
2	Kontrast 5.0% Visus 0.16 <input type="checkbox"/>																												
3	Kontrast 2.5% Visus 0.16 <input type="checkbox"/>																												
4	Kontrast 10% Visus 0.25 <input type="checkbox"/>																												
5	Kontrast 5.0% Visus 0.25 <input type="checkbox"/>																												
6	Kontrast 2.5% Visus 0.25 <input type="checkbox"/>																												
7	Kontrast 20% Visus 0.40 <input type="checkbox"/>																												
8	Kontrast 10% Visus 0.40 <input type="checkbox"/>																												
9	Kontrast 5.0% Visus 0.40 <input type="checkbox"/>																												
10	Kontrast 2.5% Visus 0.40 <input type="checkbox"/>																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4">Kontrast</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>2.5%</th> <th>5%</th> <th>10%</th> <th>20%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th rowspan="3">Beurteilung Visus</th> <th>0.16</th> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>0.25</th> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <th>0.40</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table> Mindestanforderung 00 erkannt? <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja				Kontrast						2.5%	5%	10%	20%	Beurteilung Visus	0.16		X			0.25			X		0.40				X
		Kontrast																											
		2.5%	5%	10%	20%																								
Beurteilung Visus	0.16		X																										
	0.25			X																									
	0.40				X																								

mit Blendung (Blendempfindlichkeit)

<input type="checkbox"/> binokular <input type="checkbox"/> rechtes Auge <input type="checkbox"/> Umfeld hell <input type="checkbox"/> linkes Auge <input type="checkbox"/> dunkel																													
1	Kontrast 100% Visus 0.1 <input type="checkbox"/>																												
2	Kontrast 5.0% Visus 0.16 <input type="checkbox"/>																												
3	Kontrast 2.5% Visus 0.16 <input type="checkbox"/>																												
4	Kontrast 10% Visus 0.25 <input type="checkbox"/>																												
5	Kontrast 5.0% Visus 0.25 <input type="checkbox"/>																												
6	Kontrast 2.5% Visus 0.25 <input type="checkbox"/>																												
7	Kontrast 20% Visus 0.40 <input type="checkbox"/>																												
8	Kontrast 10% Visus 0.40 <input type="checkbox"/>																												
9	Kontrast 5.0% Visus 0.40 <input type="checkbox"/>																												
10	Kontrast 2.5% Visus 0.40 <input type="checkbox"/>																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4">Kontrast</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>2.5%</th> <th>5%</th> <th>10%</th> <th>20%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th rowspan="3">Beurteilung Visus</th> <th>0.16</th> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>0.25</th> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <th>0.40</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table> Mindestanforderung 00 erkannt? <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja				Kontrast						2.5%	5%	10%	20%	Beurteilung Visus	0.16		X			0.25			X		0.40				X
		Kontrast																											
		2.5%	5%	10%	20%																								
Beurteilung Visus	0.16		X																										
	0.25			X																									
	0.40				X																								

Gebrauchsanweisung Rodatest 300/302 - 63 -

Sehtest Kontrast 2 (Rodatest 302)

<input style="width: 100%;" type="text"/> <small>Name</small> <input style="width: 100%;" type="text"/> <small>Vorname</small> <input style="width: 100%;" type="text"/> <small>Strasse/ Nr.</small> <input style="width: 100%;" type="text"/> <small>PLZ/ Ort</small> <input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/> <small>Datum</small> <div style="border: 1px solid black; height: 60px; width: 100%;"></div> <small>Prüfer/ Stempel</small>
<small>Geburtsdatum</small> <input style="width: 100%;" type="text"/>	<small>Geschlecht</small> <input type="checkbox"/> m <input type="checkbox"/> w
<small>Sehhilfe</small> <input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> Gleitsichtbrille <input type="checkbox"/> Nahbrille <input type="checkbox"/> Spez. Bildschirmbrille <input type="checkbox"/> Fernbrille <input type="checkbox"/> Kontaktlinsen <input type="checkbox"/> Mehrstärkenbrille <input type="checkbox"/> Sehhilfe getönt	

ohne Blendung (Kontrastempfindlichkeit)

sinokular rechtes Auge Umfeld hell
 linkes Auge dunkel

1 Kontrast 100% Visus 0.1

2 Kontrast 80% Visus 0.16

3 Kontrast 40% Visus 0.16

4 Kontrast 20% Visus 0.16

5 Kontrast 10% Visus 0.16

6 Kontrast 80% Visus 0.25

7 Kontrast 40% Visus 0.25

8 Kontrast 20% Visus 0.25

9 Kontrast 80% Visus 0.40

10 Kontrast 40% Visus 0.40

Beurteilung	Kontrast				Mindestanforderung (X) erkannt?	
		10%	20%	40%		80%
	Visus 0.16	X				
	Visus 0.25		X			
Visus 0.40			X			
					<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	

mit Blendung (Blendempfindlichkeit)

sinokular rechtes Auge Umfeld hell
 linkes Auge dunkel

1 Kontrast 100% Visus 0.1

2 Kontrast 80% Visus 0.16

3 Kontrast 40% Visus 0.16

4 Kontrast 20% Visus 0.16

5 Kontrast 10% Visus 0.16

6 Kontrast 80% Visus 0.25

7 Kontrast 40% Visus 0.25

8 Kontrast 20% Visus 0.25

9 Kontrast 80% Visus 0.40

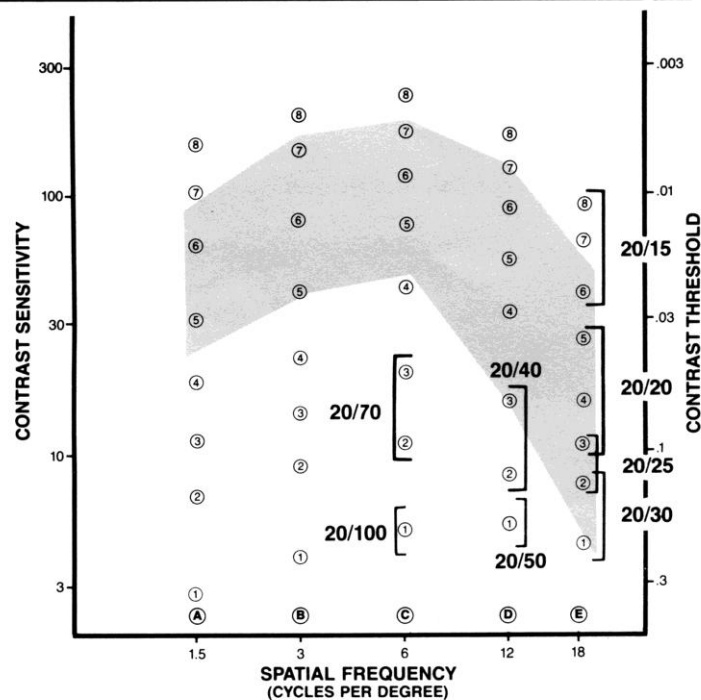
10 Kontrast 40% Visus 0.40

Beurteilung	Kontrast				Mindestanforderung (X) erkannt?	
		10%	20%	40%		80%
	Visus 0.16	X				
	Visus 0.25		X			
Visus 0.40			X			
					<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	

Anlage 7: Auswertungsbogen für die VISTECH-Tafel mit zugeordneten Kontrastwerten

KE-Werte der einzelnen Sinusgitterfelder der VISTECH-Tafel
(KE umgerechnet in Michelson- (K_M) und Weber- (K_W) Kontrast; B =Blanko)

Ortsfrequenz-Reihe (Perioden/Grad)	Kontrast-einheit	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A (1,5)	KE	3	7	12	20	35	70	120	170	B
	K_M	33,33	14,29	8,33	5,00	2,86	1,43	0,83	0,59	B
	K_W	50,00	25,00	15,38	9,52	5,56	2,82	1,65	1,17	B
B (3)	KE	4	9	15	24	44	85	170	220	B
	K_M	25,00	11,11	6,67	4,17	2,27	1,18	0,59	0,45	B
	K_W	40,00	20,00	12,50	8,00	4,44	2,33	1,17	0,90	B
C (6)	KE	5	11	21	45	70	125	185	260	B
	K_M	20,00	9,09	4,76	2,22	1,43	0,80	0,54	0,38	B
	K_W	33,33	16,67	9,09	4,35	2,82	1,59	1,08	0,77	B
D (12)	KE	5	8	15	32	55	88	125	170	B
	K_M	20,00	12,50	6,67	3,13	1,82	1,14	0,80	0,59	B
	K_W	33,33	22,22	12,50	6,06	3,57	2,25	1,59	1,17	B
E (18)	KE	4	7	10	15	26	40	65	90	B
	K_M	25,00	14,29	10,00	6,67	3,85	2,50	1,54	1,11	B
	K_W	40,00	25,00	18,18	12,50	7,41	4,88	3,03	2,20	B



MANUFACTURED UNDER U.S. PATENTS 4,800,000 AND 4,964,847. VETS AND LOGO ARE REGISTERED TRADEMARKS OF VISTECH CONSULTANTS, INC. © COPYRIGHT 1995, VISTECH CONSULTANTS, INC., DAYTON, OHIO. ALL RIGHTS RESERVED.

Auswertungsbogen der VISTECH-Tafel zur Erstellung der KE-Kurve

Anlage 8: Erfassungsbogen für die Mars-Tafeln

Mars Buchstaben-Kontrastempfindlichkeitstest

Ergebnisblatt

Patient _____ Durchgeführt von _____

Datum _____ Korrektion _____ Testabstand _____

Anmerkungen _____

Kurzanleitung: Weisen Sie den Patienten an, die Buchstaben jeder Zeile von links nach rechts und vom oberen Rand bis zum unteren Rand der Tabelle zu lesen. Markieren Sie Fehler mit einem "X". Beenden Sie den Test bei 2 aufeinanderfolgenden Fehlern.

Wichtig: Werten Sie *nur* die Buchstaben C D H K N O R S V Z als Antworten.

Reihe	FORMULAR 1		Linkes Auge <input type="checkbox"/>	Rechtes Auge <input type="checkbox"/>	Beide Augen <input type="checkbox"/>	
1	C <input type="checkbox"/> 0,04	H <input type="checkbox"/> 0,08	V <input type="checkbox"/> 0,12	O <input type="checkbox"/> 0,16	S <input type="checkbox"/> 0,20	N <input type="checkbox"/> 0,24
2	D <input type="checkbox"/> 0,28	S <input type="checkbox"/> 0,32	Z <input type="checkbox"/> 0,36	N <input type="checkbox"/> 0,40	R <input type="checkbox"/> 0,44	K <input type="checkbox"/> 0,48
3	N <input type="checkbox"/> 0,52	D <input type="checkbox"/> 0,56	R <input type="checkbox"/> 0,60	H <input type="checkbox"/> 0,64	V <input type="checkbox"/> 0,68	Z <input type="checkbox"/> 0,72
4	C <input type="checkbox"/> 0,76	S <input type="checkbox"/> 0,80	O <input type="checkbox"/> 0,84	N <input type="checkbox"/> 0,88	K <input type="checkbox"/> 0,92	H <input type="checkbox"/> 0,96
5	K <input type="checkbox"/> 1,00	N <input type="checkbox"/> 1,04	V <input type="checkbox"/> 1,08	D <input type="checkbox"/> 1,12	S <input type="checkbox"/> 1,16	R <input type="checkbox"/> 1,20
6	Z <input type="checkbox"/> 1,24	R <input type="checkbox"/> 1,28	D <input type="checkbox"/> 1,32	K <input type="checkbox"/> 1,36	H <input type="checkbox"/> 1,40	O <input type="checkbox"/> 1,44
7	H <input type="checkbox"/> 1,48	Z <input type="checkbox"/> 1,52	C <input type="checkbox"/> 1,56	V <input type="checkbox"/> 1,60	R <input type="checkbox"/> 1,64	K <input type="checkbox"/> 1,68
8	S <input type="checkbox"/> 1,72	C <input type="checkbox"/> 1,76	Z <input type="checkbox"/> 1,80	D <input type="checkbox"/> 1,84	V <input type="checkbox"/> 1,88	O <input type="checkbox"/> 1,92

Logarithmischer KE-Wert beim letzten richtigen Buchstaben: _____

Fehleranzahl vor dem letzten richtigen Buchstaben X 0,04 = _____

Subtrahieren _____

Logarithmische Kontrastempfindlichkeit _____

Reihe	FORMULAR 2		Linkes Auge <input type="checkbox"/>	Rechtes Auge <input type="checkbox"/>	Beide Augen <input type="checkbox"/>	
1	K <input type="checkbox"/> 0,04	S <input type="checkbox"/> 0,08	H <input type="checkbox"/> 0,12	O <input type="checkbox"/> 0,16	N <input type="checkbox"/> 0,20	C <input type="checkbox"/> 0,24
2	Z <input type="checkbox"/> 0,28	D <input type="checkbox"/> 0,32	C <input type="checkbox"/> 0,36	R <input type="checkbox"/> 0,40	V <input type="checkbox"/> 0,44	O <input type="checkbox"/> 0,48
3	C <input type="checkbox"/> 0,52	K <input type="checkbox"/> 0,56	O <input type="checkbox"/> 0,60	N <input type="checkbox"/> 0,64	R <input type="checkbox"/> 0,68	S <input type="checkbox"/> 0,72
4	N <input type="checkbox"/> 0,76	S <input type="checkbox"/> 0,80	Z <input type="checkbox"/> 0,84	K <input type="checkbox"/> 0,88	H <input type="checkbox"/> 0,92	D <input type="checkbox"/> 0,96
5	H <input type="checkbox"/> 1,00	N <input type="checkbox"/> 1,04	C <input type="checkbox"/> 1,08	O <input type="checkbox"/> 1,12	R <input type="checkbox"/> 1,16	Z <input type="checkbox"/> 1,20
6	V <input type="checkbox"/> 1,24	K <input type="checkbox"/> 1,28	S <input type="checkbox"/> 1,32	N <input type="checkbox"/> 1,36	D <input type="checkbox"/> 1,40	R <input type="checkbox"/> 1,44
7	K <input type="checkbox"/> 1,48	R <input type="checkbox"/> 1,52	V <input type="checkbox"/> 1,56	Z <input type="checkbox"/> 1,60	O <input type="checkbox"/> 1,64	S <input type="checkbox"/> 1,68
8	V <input type="checkbox"/> 1,72	Z <input type="checkbox"/> 1,76	C <input type="checkbox"/> 1,80	D <input type="checkbox"/> 1,84	V <input type="checkbox"/> 1,88	H <input type="checkbox"/> 1,92

Logarithmischer KE-Wert beim letzten richtigen Buchstaben: _____

Fehleranzahl vor dem letzten richtigen Buchstaben X 0,04 = _____

Subtrahieren _____

Logarithmische Kontrastempfindlichkeit _____

Reihe	FORMULAR 3		Linkes Auge <input type="checkbox"/>	Rechtes Auge <input type="checkbox"/>	Beide Augen <input type="checkbox"/>	
1	H <input type="checkbox"/> 0,04	R <input type="checkbox"/> 0,08	Z <input type="checkbox"/> 0,12	V <input type="checkbox"/> 0,16	C <input type="checkbox"/> 0,20	N <input type="checkbox"/> 0,24
2	S <input type="checkbox"/> 0,28	O <input type="checkbox"/> 0,32	K <input type="checkbox"/> 0,36	D <input type="checkbox"/> 0,40	R <input type="checkbox"/> 0,44	S <input type="checkbox"/> 0,48
3	K <input type="checkbox"/> 0,52	D <input type="checkbox"/> 0,56	C <input type="checkbox"/> 0,60	V <input type="checkbox"/> 0,64	O <input type="checkbox"/> 0,68	H <input type="checkbox"/> 0,72
4	N <input type="checkbox"/> 0,76	S <input type="checkbox"/> 0,80	O <input type="checkbox"/> 0,84	Z <input type="checkbox"/> 0,88	C <input type="checkbox"/> 0,92	D <input type="checkbox"/> 0,96
5	R <input type="checkbox"/> 1,00	H <input type="checkbox"/> 1,04	N <input type="checkbox"/> 1,08	K <input type="checkbox"/> 1,12	Z <input type="checkbox"/> 1,16	O <input type="checkbox"/> 1,20
6	C <input type="checkbox"/> 1,24	R <input type="checkbox"/> 1,28	S <input type="checkbox"/> 1,32	V <input type="checkbox"/> 1,36	K <input type="checkbox"/> 1,40	N <input type="checkbox"/> 1,44
7	S <input type="checkbox"/> 1,48	K <input type="checkbox"/> 1,52	R <input type="checkbox"/> 1,56	N <input type="checkbox"/> 1,60	H <input type="checkbox"/> 1,64	D <input type="checkbox"/> 1,68
8	C <input type="checkbox"/> 1,72	V <input type="checkbox"/> 1,76	H <input type="checkbox"/> 1,80	D <input type="checkbox"/> 1,84	O <input type="checkbox"/> 1,88	Z <input type="checkbox"/> 1,92

Logarithmischer KE-Wert beim letzten richtigen Buchstaben: _____

Fehleranzahl vor dem letzten richtigen Buchstaben X 0,04 = _____

Subtrahieren _____

Logarithmische Kontrastempfindlichkeit _____



© 2003-2011 The Mars Perceptrix Corporation. Alle Rechte vorbehalten.
Diese Seite darf von Besitzer des Mars Buchstaben-Kontrastempfindlichkeitstests Tests für die Verwendung mit dem Test vervielfältigt werden.
Alle anderen Vervielfältigungen sind ohne vorherige Genehmigung untersagt.

Anlage 9: Übersichtstabelle der Ergebnisse der einzelnen Probanden

Ergebnisse der einzelnen Probanden in den verschiedenen Kontrastsehtests

Ergebnisse im jeweiligen Test sind farbig hinterlegt: grün = bestanden, rot = nicht bestanden, grau = ausgeschlossen (siehe Kap. 4.1, Fernvisus < 0,63), weiß = fehlend¹; Prob.nr. = Probandennummer, AG = Altersgruppe, re = rechts, li = links, bin = binokular, Mes = Mesotest II, Opt = Optovist, Roda = Rodatest 302, Ma = Mars-Tafel, VIS = VISTECH-Tafel

Prob.nr.	AG	Mes re	Mes li	Mes bin	Opt bin	Roda re	Roda li	Roda bin	Ma re	Ma li	Ma bin	VIS re	VIS li
1	1	grün	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
2	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
3	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
4	1	rot	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
5	1	grün	grün	grün	rot	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
6	1	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
7	1	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
8	1	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
9	1	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
10	1	grün	grün	grün	rot	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
11	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
12	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
13	1	grün	grün	grün	rot	rot	grün	grün	grün	grün	rot	grün	grün
14	1	rot	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
15	1	grün	grün	grün	grün	grün	rot	rot	grün	grün	grün	grün	grün
16	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün
17	1	rot	grün	grün	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün
18	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün
19	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
20	1	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
21	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	rot	grün
22	1	grün	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
23	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	rot	rot	rot
24	1	grün	grün	grün	rot	rot	rot	rot	rot	rot	grün	grün	grün
25	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
27	1	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
28	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
29	1	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
30	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
31	1	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
32	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
33	2	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
34	2	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
35	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
36	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
37	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	rot	grün
38	2	rot	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün
39	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün
40	2	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	rot	grün	grün
41	2	grün	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
42	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
43	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
44	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	rot	grün
45	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
46	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
47	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
48	2	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
49	1	grün	grün	grün	rot	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
50	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
51	1	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	rot	grün
52	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	rot	grün
53	2	grün	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	rot	rot
54	2	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
55	2	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
57	2	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	rot	rot	grün
58	2	grün	grün	grün	rot	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
59	2	rot	grün	grün	rot	rot	grün	grün	grün	rot	rot	grün	grün
60	2	rot	grün	grün	rot	rot	grün	grün	grün	grün	rot	grün	grün
61	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
62	1	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
63	1	grün	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
64	2	grün	grün	grün	rot	rot	rot	rot	grün	rot	rot	rot	rot
65	2	rot	rot	grün	rot	rot	grün	grün	grün	rot	rot	rot	rot
66	2	grün	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	rot	rot	grün	rot
67	1	rot	rot	grün	rot	rot	rot	rot	rot	grün	grün	grün	grün
68	2	rot	grün	grün	rot	rot	rot	rot	rot	grün	grün	grün	grün
69	1	grün	grün	grün	grün	grün	rot	rot	rot	grün	grün	grün	grün

¹ Als „fehlend“ bezeichnet sind Messwerte bzw. Ergebnisse, die aufgrund eines Fehlers nicht erhoben wurden oder aus anderen Gründen nicht zur Auswertung zur Verfügung standen.

70	2												
72	2												
73	2												
74	2												
75	2												
77	2												
78	2												
79	2												
80	2												
82	2												
83	2												
84	2												
85	2												
86	2												
87	2												
88	2												
89	1												
90	2												
91	1												
92	2												
93	2												
94	1												
95	2												
96	2												
97	2												
98	1												
99	1												
100	1												
101	2												
102	2												
103	2												
104	2												
105	2												
106	2												
107	2												
108	2												
109	2												
110	2												
111	2												
112	2												
113	2												
114	2												
115	2												
116	2												
117	2												
118	2												
119	2												
120	2												
121	1												
122	2												
123	1												
124	2												
125	2												
126	2												
127	1												
128	2												
129	2												
130	2												
131	2												
132	1												
133	2												
134	2												
135	2												
136	2												
137	1												
138	1												
139	2												
140	2												
141	2												
142	2												
143	1												
144	1												
145	1												
146	1												
147	1												
148	2												
149	1												
150	1												
151	1												
152	1												
153	1												
154	1												
155	1												