

**Untersuchungen zum Vergleich der Sehzeichen Landolt-Ring,  
E-Haken und Sloan-Buchstaben (ETDRS-Letters) sowie zur  
Reproduzierbarkeit der Visusbestimmung**

**Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
des Fachbereichs Medizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen**

**vorgelegt von Gunnar Teichler  
aus Annaberg-Buchholz**

**Gießen 2009**

**Aus der Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde  
des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen  
Direktorin: Prof. Dr. med. Birgit Lorenz**

**Gutachter: Prof. Dr. Gräf**

**Gutachter: Prof. Dr. Nöll**

**Tag der Disputation: 14.09.2009**

# Inhalt

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b> .....	1
1.1	Sehschärfe.....	1
1.2	Arten der Sehschärfe.....	2
1.2.1	Punktsehschärfe (visuelle Detektionsgrenze, Minimum visibile).....	2
1.2.2	Auflösungssehschärfe (visuelle Auflösungsschärfe, Minimum separabile).....	2
1.2.3	Lokalisationssehschärfe (visuelle Lokalisationsschärfe, Minimum discriminibile).....	3
1.2.4	Erkennungssehschärfe (visuelle Erkennungsschärfe, Minimum cognoscibile).....	3
1.3	Messung der Sehschärfe.....	3
1.3.1	Methoden der subjektiven Sehschärfebestimmung.....	4
1.3.2	Methoden der objektiven Sehschärfebestimmung.....	6
1.4	Angabe der Sehschärfe.....	7
1.5	Abhängigkeit des Messwertes vom Sehzeichen.....	10
1.5.1	Abstrakte Figuren mit Richtungsmerkmal.....	10
1.5.2	Buchstaben und Zahlen.....	11
1.5.3	Gitter- und Schachbrettmuster.....	13
1.5.4	Bilder und geometrische Figuren.....	13
1.6	Ziel der Arbeit.....	14
<b>2.</b>	<b>Methodik</b> .....	15
2.1	Sehzeichen und Sehprobentafeln.....	15
2.1.1	Landolt-Ring.....	15
2.1.2	E-Haken.....	16
2.1.3	Sloan-Buchstaben.....	17
2.1.4	Beleuchtung.....	18
2.2	Versuchspersonen.....	19
2.3	Untersuchungsablauf.....	20
2.3.1	Voruntersuchungen.....	20
2.3.2	Prüfdistanzen.....	20
2.3.3	Reihenfolge der Sehprobentafeln und der untersuchten Augen.....	21
2.3.4	Abbruchkriterium.....	21
2.3.5	Dokumentation.....	23
2.4.	Statistische Auswertung.....	24
2.4.1	Vergleich der Sehzeichen.....	24

2.4.2	Reproduzierbarkeit der Visusbestimmung.....	25
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>27</b>
3.1	Landolt-Ring vs. E-Haken.....	27
3.2	Landolt-Ring vs. ETDRS 1.....	30
3.3	E-Haken vs. ETDRS 1.....	32
3.4	ETDRS 1 vs. ETDRS 2 vs. ETDRS R.....	35
<b>4.</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>38</b>
4.1	Vergleich der Sehschärfe für Landolt-Ring, E-Haken und Sloan-Buchstaben.....	38
4.1.1	Landolt-Ring vs. E-Haken.....	38
4.1.2	Landolt-Ring vs. ETDRS 1.....	43
4.1.3	E-Haken vs. ETDRS 1.....	46
4.2	Zur Reproduzierbarkeit der Visusbestimmung.....	47
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>50</b>
<b>6.</b>	<b>Summary.....</b>	<b>52</b>
<b>7.</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>54</b>
<b>8.</b>	<b>Publikationen.....</b>	<b>62</b>
<b>9.</b>	<b>Lebenslauf.....</b>	<b>64</b>

# 1. Einleitung

## 1.1 Sehschärfe

Für die Orientierung in der Umwelt ist der Sehsinn eine der wichtigsten, wenn nicht sogar die wichtigste Sinneswahrnehmung des Menschen überhaupt. Die Leistung des Sehapparates wird unter anderem daran gemessen, wie deutlich Objekte im Gesichtsfeld erkannt und von der Umgebung abgegrenzt werden können. Dies wird als Sehschärfe bezeichnet.

Im medizinischen Sprachgebrauch wird die Sehschärfe des Menschen als „Visus“ bezeichnet. Die Messung der Sehschärfe kann jedoch mit verschiedenen Methoden erfolgen und das Resultat ist nicht immer mit dem nach der DIN 55220 und EN ISO 8596 definierten Visus gleichzusetzen. Im klinischen Alltag ist die Visusbestimmung die wichtigste und am häufigsten durchgeführte sehphysiologische Untersuchung. Bei den meisten therapeutischen Maßnahmen in der Augenheilkunde ist der Visus der Zielparame-ter, welcher erhalten oder verbessert werden soll. Über die rein klinische Relevanz bei der Behandlung von Krankheiten des Sehapparates hinaus ist der Visus in vielen Bereichen des täglichen Lebens von Bedeutung. Die Ausübung bestimmter Berufe, die Eignung für die Bedienung bestimmter Geräte (z.B. Fahrzeuge) und die Leistungen von Versicherungen bei Augenschäden werden durch gesetzliche Vorschriften geregelt, in denen bestimmte Visuswerte ausschlaggebend sind.

Die Sehschärfe ist das Resultat verschiedener physiologischer Funktionen und wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Dazu gehören:

- die Größe, Form, Farbe, Helligkeit und der Kontrast des betrachteten Objektes
- die brechenden Medien des Auges: die Beschaffenheit des Tränenfilms, der Hornhaut, des Kammerwassers, der Linse und des Glaskörpers
- die räumliche Dichte und die Funktion der Photorezeptoren der Netzhaut
- die Leitung des von der Retina erzeugten Signals in das zentrale Nervensystem
- die Verarbeitung dieses Signals im zentralen Nervensystem
- sowie psychische und intellektuelle Faktoren

## **1.2 Arten der Sehschärfe**

In Abhängigkeit vom verwendeten Sehreiz kann man vier grundlegende Arten der Sehschärfe unterscheiden [Riggs 1966].

### **1.2.1 Punktsehschärfe (visuelle Detektionsgrenze, Minimum visibile)**

Die Punktsehschärfe ist definiert durch den Kehrwert des kleinsten Gesichtswinkels, unter dem ein dunkles Objekt auf hellem Grund wahrgenommen werden kann, ohne dass notwendigerweise dessen Form erkannt werden muss. Die Punktsehschärfe beschreibt somit die Fähigkeit zu erkennen, ob ein Objekt vorhanden ist oder nicht. Voraussetzung dafür ist, dass mindestens eine Rezeptoreinheit der Retina überschwellig erregt wird und ein Signal auslöst. Dies ist der Fall, wenn das Objekt einen ausreichend hohen Kontrast zur Umgebung besitzt und eine ausreichende retinale Beleuchtungstärke bewirkt. Außerdem ist die Punktsehschärfe abhängig vom retinalen Adaptationszustand. Die Kontrastempfindlichkeit ist am höchsten bei einem helladaptierten Auge.

### **1.2.2 Auflösungssehschärfe (visuelle Auflösungssehschärfe, Minimum separabile)**

Die Auflösungssehschärfe ist definiert als der Kehrwert des kleinsten Gesichtswinkels, unter dem zwei Punkte oder Linien gerade noch als getrennt wahrgenommen werden können. Sie beschreibt mehr als nur die Fähigkeit, das Vorhandensein eines Objektes wahrzunehmen, sondern sie ist auch eine physiologische Voraussetzung dafür, Details eines Objektes zu erkennen. Die Auflösungssehschärfe beschreibt die Fähigkeit, den Leuchtdichteunterschied im Intervall zwischen 2 Punkten wahrzunehmen. Die Determinanten der Auflösungssehschärfe sind in erster Linie die Größe des Intervalls zwischen den 2 Punkten, die Rezeptordichte und die Dichte der rezeptiven Felder der Retina, welche im Bereich der Foveola am höchsten ist, die Kontrastempfindlichkeit der Retina und Faktoren, welche die Kontrastübertragung zur Retina beeinflussen, also die Beschaffenheit und die Funktion der brechenden Medien des Auges.

### **1.2.3 Lokalisationssehschärfe (visuelle Lokalisationsschärfe, Minimum discriminabile)**

Die Lokalisationssehschärfe ist definiert durch die kleinste erkennbare Veränderung der räumlichen Beziehung zweier Objekte zueinander. Diese Veränderung kann bestehen in einer Verkippung zweier Linien gegeneinander, in der Verbiegung einer Linie oder in einer sehr kleinen Verschiebung im Verlauf einer Linie. Die Schwellenwerte für solche Reize liegen weit unterhalb der Auflösungssehschärfe und auch unterhalb der Größe der rezeptiven Felder der Netzhaut, weshalb diese Sehfunktionen auch mit dem fragwürdigen Begriff „Übersehschärfe“ belegt wurden. Die Lokalisationssehschärfe ist abhängig von der Anzahl der beteiligten Netzhautrezeptoren und von der durch die brechenden Medien des Auges bedingten Abbildungsunschärfe auf der Netzhaut.

### **1.2.4 Erkennungssehschärfe (visuelle Erkennungsschärfe, Minimum cognoscibile)**

Die Erkennungssehschärfe ist definiert als der Kehrwert des kleinsten Gesichtswinkels unter dem die kritischen Details eines Objektes erscheinen müssen, damit dessen Form erkannt werden kann. Die Erkennungssehschärfe beschreibt somit die Fähigkeit, die Eigenschaften oder die Form eines betrachteten Objektes wahrzunehmen. Bei der Visusbestimmung z.B. mit Buchstaben wird die Erkennungssehschärfe geprüft. Da dies die bei weitem am häufigsten und in der Praxis routinemäßig durchgeführte Art der Sehschärfebestimmung ist, wird der Begriff Sehschärfe oft synonym mit dem Begriff Visus verwendet und bezeichnet in der Regel die Erkennungssehschärfe. In die Erkennungssehschärfe gehen die oben genannten Arten der Sehschärfe ein, darüberhinaus spielen psychische und intellektuelle Faktoren eine Rolle.

## **1.3 Messung der Sehschärfe**

Das Prinzip aller Methoden der Sehschärfebestimmung besteht darin, der untersuchten Person visuelle Stimuli unterschiedlicher Größe darzubieten und anhand der Antwort auf diese Reize festzustellen, ob der Reiz wahrgenommen oder erkannt wurde. Nach der Art der Reizantwort unterscheidet man Methoden der subjektiven Sehschärfebestimmung, bei denen willkürliche Reaktionen, in erster Linie verbale Antworten, ausgewertet werden, und Methoden der objektiven Sehschärfebestimmung, bei denen die Reaktion auf den Reiz möglichst unwillkürlich sein soll, zum Beispiel in der Blickwendung zu einem Reiz hin bestehen kann.

### 1.3.1 Methoden der subjektiven Sehschärfebestimmung

Die in der augenärztlichen Praxis übliche Methode zur Bestimmung des Visus ist die subjektive Sehschärfebestimmung mit Sehzeichen (Optotypen). Diese können auf unterschiedliche Weise dargestellt werden, beispielsweise auf Sehtafeln, auf einem Monitor oder mittels eines Projektors. Sie müssen von der untersuchten Person benannt werden.

Für die Sehschärfebestimmung gilt die europäische Norm EN ISO 8596, welche den früher geltenden Vorschriften der DIN 58220 entspricht. Die DIN 58220 enthält außerdem Vorschriften für den allgemeinen Sehtest, den Sehtest für Gutachten, den straßenverkehrsbezogenen Sehtest sowie den Sehtest für berufsgenossenschaftliche Untersuchungen [DIN EN ISO 8596, Beuth Verlag, 1996].

In diesen Vorschriften sind die physikalischen Parameter bei der Visusbestimmung festgelegt, nämlich der Untersuchungsabstand für die Sehschärfebestimmung in der Ferne von mindestens 4 m, die Testfeldgröße (Durchmesser  $2,0^\circ$ - $5,0^\circ$ ), die Testfeldleuchtdichte ( $80$ - $320 \text{ cd/cm}^2$ ), der Sehzeichenabstand ( $> 15$  Winkelminuten und mehr, abhängig von der Visusstufe), der Abstand der Sehzeichen zum Rand des Testfeldes ( $0,5^\circ$ ) und der Sehzeichenkontrast (Leuchtdichte der Sehzeichen  $< 15\%$  der Leuchtdichte des Testfeldes).

Das Normsehzeichen ist der Landolt-Ring mit 8 alternativen Öffnungsrichtungen. Werden andere Sehzeichen verwendet, müssen diese nach einem bestimmten Verfahren an den Landolt-Ring „angeschlossen“ sein [DIN EN ISO 8597, Beuth Verlag, 1996]. Sie gelten als äquivalent, wenn der damit erhobene Messwert bei entsprechender Sehzeichengröße um weniger als 0,5 Visusstufen von dem mit dem Landolt-Ring gemessenen Wert differiert [DIN EN ISO 8597, Beuth Verlag, 1996]. Die Abstufung der Sehzeichengröße erfolgt nach einer geometrischen Folge mit dem konstanten Zuwachsfaktor von 1,2589 (der 10. Wurzel aus 10), also stets demselben Größenverhältnis zwischen einem und dem nächst größeren Sehzeichen. Durch die in der DIN EN ISO 8596 festgelegte dekadisch logarithmische Abstufung wird alle 10 Stufen eine Verzehnfachung erreicht und alle 3 Stufen eine Verdoppelung, da die 10. Wurzel aus 10 annähernd der 3. Wurzel aus 2 entspricht. Diese logarithmische Abstufung entspricht der subjektiven Empfindung, im Gegensatz zur, selbst in Publikationen oft noch verwendeten, Abstufung nach einer arithmetischen Folge mit einer konstanten Differenz zwischen den Stufen [Becker und Gräf 2004]. Verbessert sich z.B. der Visus um 0,2 von 0,2 auf 0,4, so bedeutet dies eine Verdoppelung der Sehschärfe und damit auch subjektiv einen deutlichen Gewinn. Dagegen ist eine Zunahme von 1,2 auf 1,4 subjektiv kaum bemerkbar. In bei-

den Fällen beträgt die Differenz 0,2, das Verhältnis im ersten Fall jedoch 2,0, im zweiten Fall nur ca. 1,17.

Auch der Ablauf der Visusbestimmung ist festgelegt. Zuerst wird jedes Auge einzeln ohne, dann mit Korrektur geprüft. Begonnen werden sollte auf einer sicher erkennbaren Visusstufe, die mindestens 2 Stufen unter dem Grenzbereich liegt. Die Visusstufen werden in aufsteigender Reihenfolge geprüft, die letzte bestandene Stufe gilt als Ergebnis der Messung. Die Anzahl der dargebotenen Sehzeichen pro Stufe sollte 5, 8 oder 10 betragen. Die Bestehensgrenze bei der Prüfung liegt bei 60%, d.h. es müssen in Abhängigkeit von der Anzahl der Sehzeichen pro Stufe 3 von 5 oder 5 von 8 oder 6 von 10 Zeichen richtig benannt werden, damit diese als bestanden gilt. Im Grenzbereich ist ein sicheres Erkennen nicht mehr möglich, daher muss die Prüfperson zum Raten aufgefordert werden. Zweck dieser Vorgehensweise ist es, bei der Sehschärfestimmung eine bestmögliche Annäherung an die Schwelle zu erreichen und eine Unterschätzung des Visus bei „vorsichtigen“ Personen zu vermeiden, die nur dann antworten, wenn sie die Sehzeichen noch sicher erkennen. Auf das Abbruchkriterium und die Schwelle wird im Abschnitt 2.3.4 näher eingegangen. Die Vorgabe verbietet das Wiederholen einzelner Sehzeichen oder ganzer Zeilen im Fall von falschen Antworten. Bei Nystagmus wird eine Benennung des Sehzeichens innerhalb einer Sekunde gefordert, da bei längerer Lesezeit die Gefahr besteht, die im Alltag nutzbare Sehschärfe zu überschätzen.

Im klinischen Alltag wird oft von den Vorgaben der DIN EN ISO 8596 abgewichen. Häufig werden, um die Verständigung mit dem Patienten zu erleichtern, andere Sehzeichen anstelle des Landolt-Ringes verwendet. Dies ist zulässig, wenn die Sehzeichen gemäß den Vorgaben der DIN EN ISO 8597 an den Landolt-Ring angeschlossen wurden. Dennoch ist ihr Einsatz problematisch, da sie zum Teil unterschiedliche Arten der Sehschärfe messen und die Messwerte vom Landolt-Ring-Visus abweichen können. Auf die Abhängigkeit des Messwertes vom Sehzeichen wird im Abschnitt 1.5 eingegangen. Auch vom Abbruchkriterium wird in der Praxis oft abgewichen, indem z.B. mindestens 3 korrekte Antworten auf 4 Zeichen statt 3 von 5 gefordert werden. Bei geringer Sehschärfe wird die korrekte Visusbestimmung mit Optotypen unnötigerweise häufig unterlassen und anstelle dessen nur die Wahrnehmung von Lichtquellen, Handbewegungen oder Fingern geprüft [Becker und Gräf 2004].

### 1.3.2 Methoden der objektiven Sehschärfebestimmung

Die subjektive Sehschärfebestimmung ist abhängig von den Angaben und der korrekten Mitarbeit der untersuchten Person. Arbeitet die Prüfperson nicht korrekt mit, so sind diese Methoden ungeeignet, die tatsächlich vorhandene Sehschärfe zu bestimmen. Dies ist der Fall bei Säuglingen, geistig Behinderten und bei nichtorganischen Störungen, wie einer psychogenen Visusreduktion, bei Simulation und bei Aggravation im Rahmen von Begutachtungen. In diesen Fällen kommen Methoden der objektiven Sehschärfebestimmung zur Anwendung, die möglichst unabhängig von der Mitarbeit der untersuchten Person sind. Das Prinzip aller objektiven Methoden besteht darin, durch einen definierten visuellen Reiz eine mehr oder weniger unwillkürliche Reaktion der Prüfperson auszulösen [Gräf 2000, Gräf 2008b]. Der kleinste Reiz, der noch eine Reaktion auslöst, ist ein Maß für die Sehschärfe. Einfach durchführbar sind Entdeckungstests, bei denen z.B. Kugeln oder Kreisflächen vor hellem Hintergrund angeboten werden. Antworten auf den Reiz können Augen- oder Greifbewegungen sein. Auf diese Weise ist zwar keine exakte Visusbestimmung möglich, es lässt sich aber eine visuelle Wahrnehmung z.B. bei Kleinkindern oder geistig Behinderten prüfen.

Eine gebräuchliche Methode zur objektiven Sehschärfebestimmung bei Säuglingen, Kleinkindern und geistig Behinderten ist auch das Preferential-Looking. Als visueller Reiz fungiert dabei in der Regel ein Linienmuster oder ein Bild aus isoluminanten Linien auf homogenem Hintergrund gleicher mittlerer Leuchtdichte, welches in unterschiedlichen Positionen gleichzeitig mit einer homogenen Fläche gleicher mittlerer Leuchtdichte dargeboten wird. Aus Kopfbewegungen, Blickbewegungen und Fixationsdauer schließt der Untersucher darauf, ob die Prüfperson den Reiz wahrnimmt oder nicht. Das feinste Muster, welches noch reproduzierbare Reaktionen auslöst, entspricht dem Sehschärfewert. Für die klinische Anwendung stehen Testkartensysteme zur Verfügung, wie der Teller-Acuity-Card-Test oder der Cardiff-Acuity-Test [Adoh et al. 1992, Adoh und Woodhouse 1994, Dobson und Teller 1978, Gräf et al. 1996, Teller et al. 1986]. Eine objektive Sehschärfebestimmung kann auch über das Auslösen eines optokinetischen Nystagmus durch bewegte Muster z.B. mit Hilfe einer Nystagmustrommel oder eines Nystagmusbandes erfolgen. Das feinste Muster, welches einen Nystagmus auslöst, entspricht wiederum einem Mindestwert für die Auflösungssehschärfe [Günther 1948, Kotowski 1966]. Als elektrophysiologisches Verfahren steht die Ableitung visuell evozierter Potentiale bei Darbietung von Gitter- und Schachbrettmustern zur Verfügung [Norcia und Tyler 1985a, b; Odom et al. 1981]. Dabei wird das feinste Muster, welches noch eine kortikale Reizantwort evoziert, zur Sehschärfe in Beziehung gesetzt. Allerdings wird mit dieser Methode selektiv die Funktion der Übertragungstrecke von der Netzhaut zum visuellen Kortex geprüft.

## 1.4 Angabe der Sehschärfe

Die Angabe des Visus erfolgt als Kehrwert des Minimum separabile in Form eines Dezimalbruchs. Wird beispielsweise ein Objekt, welches unter einem Sehwinkel von 2 Bogenminuten erscheint, gerade noch erkannt, so beträgt die Sehschärfe  $\frac{1}{2} = 0,5$ . Bei der klinischen Visusbestimmung entspricht das betrachtete Objekt dem kritischen Detail des verwendeten Sehzeichens, also der Lücke des Landolt-Ringes.

Vor allem im englischsprachigen Raum wird der Visus auch als „Snellen-Bruch“ angegeben. Im Zähler steht die Prüferentfernung und im Nenner steht die Entfernung, in welcher das kleinste noch erkannte Sehzeichen einem Visus von 1,0 entspricht. So bedeutet die Angabe 20/100, dass das Sehzeichen in einer Entfernung von 20 Fuß erkannt wurde, welches mit einem Visus von 1,0 in der Entfernung von 100 Fuß erkannt wird.

In der wissenschaftlichen Literatur wird oft der dekadische Logarithmus des Minimum separabile (im Englischen: minimum angle of resolution, MAR) als logMAR-Wert angegeben. Die Angabe logMAR 0,3 bedeutet:  $\log_{10} \text{MAR} = 0,3$ . Da  $10^{-0,3} = 0,5$ , entspricht dies dem Visus 0,5, was einem Minimum separabile von 2 Winkelminuten entspricht. Die Angabe in logMAR-Werten ist für statistische Berechnungen nützlich. Um den geometrischen Mittelwert mehrerer Visuswerte zu bilden, berechnet man den arithmetischen Mittelwert der logMAR-Werte und delogarithmiert diesen. Bei einer geometrischen Folge kommt die Mittellage zwischen 2 Werten durch jeweils gleich viele Visusstufen zum einen und zum anderen Wert zum Ausdruck, was der subjektiven Empfindung entspricht. Verbessert sich bei einer Person der Visus von 0,1 auf 1,0, so beträgt der geometrische Mittelwert 0,3. Er liegt 5 Stufen über 0,1 und 5 Stufen unter 1,0. Dies wird vom Patienten auch als Mitte empfunden. Der arithmetische Mittelwert dagegen ist 0,55. Er liegt ungefähr 7 Stufen über dem ersten und 3 Stufen unter dem zweiten Wert, was vom Patienten auch als Verbesserung der Sehschärfe um mehr als die Hälfte empfunden wird.

Das Ergebnis der Visusbestimmung lässt sich präzisieren durch den sogenannten „interpolated logMAR“, in dem die falsch benannten Sehzeichen aller bestandenen Visusstufen berücksichtigt werden. Um den „interpolated logMAR“ zu erhalten, wird von dem log-MAR-Wert der letzten Visusstufe, auf welcher noch alle Sehzeichen richtig benannt wurden,  $\frac{1}{10}$  der Rate der richtig benannten Sehzeichen der folgenden, noch bestandenen Visusstufen subtrahiert [Bailey et al. 1991, Van den Bosch und Wall 1997]. Das Ergebnis entspricht dem des neuerdings vermehrt verwendeten „letter counting“. Da die Fehler bis zum Erreichen des Abbruchs mitgezählt werden, ist der Mess-

wert systematisch etwas geringer als bei der „line by line“-Strategie nach EN ISO 8596 [Gräf 2008a].

Der zur vermeintlichen Präzisierung den Visusangaben häufig beigefügte Zusatz „p“ (von partim [lat.] = zum Teil) bedeutet, dass auf der letzten bestandenen Visusstufe nur ein Teil der Sehzeichen richtig benannt wurde, was bei korrektem Vorgehen mit erzwungener Wahl (forced choice) schließlich die Regel ist. Das „p“ ist daher wenig informativ und in Ermangelung weiterer Informationen zum Messvorgang nicht nachvollziehbar. Es ist deshalb zu unterlassen [Gräf 2004].

Wurde als Reiz ein sich periodisch wiederholendes Muster dargeboten, wie beispielsweise beim Preferential-Looking mit einem Gittermuster, so ist die Angabe der Ortsfrequenz üblich. Die Ortsfrequenz ist die Wiederholrate einer sich räumlich wiederholenden Größe, zum Beispiel des Streifenmusters beim Teller-Acuity-Card-Test. Die Einheit der Ortsfrequenz ist Zyklen pro Grad (cycles per degree, cpd). Der Umrechnungsfaktor in die Dezimalangabe ist 30. Dreißig cpd entsprechen einer Gittersehschärfe von 1,0. Die Gittersehschärfe sollte jedoch nicht als Visusäquivalent bezeichnet werden, da sie erheblich vom Visus abweichen kann [Katz und Sireteanu 1989, Katz und Sireteanu 1990].

Bei Patienten mit schlechtem Sehvermögen (low vision) wird die Sehschärfe häufig mit Angaben wie „Handbewegungen“ oder „Fingerzählen“ dokumentiert. Solche Angaben sind schlecht reproduzierbar, gerade wenn keine Prüferentfernung mit angegeben ist. Unpräzises Vorgehen beruht neben Bequemlichkeit oft auf der Annahme, dass bei hochgradig eingeschränkter Sehschärfe auch die Ungenauigkeit der Visusbestimmung mit Sehzeichen sehr groß wäre. Bei korrekter Vorgehensweise und normaler Mitarbeit der Prüfperson ist jedoch auch bei geringer Sehschärfe eine erstaunlich präzise Bestimmung mit Sehzeichen möglich. Dieses korrekte Vorgehen sollte vorgezogen werden [Gräf 2004, Schulze-Bonsel et al. 2006].

Problematisch ist auch die in der Praxis häufige Angabe der Sehschärfe in Prozent. Ein Visus von 100% entspricht demnach einem Visus von 1,0. Der Begriff „100%ige Sehschärfe“ impliziert, dass der Wert 1,0 vollständig oder normal sei. Junge augengesunde Personen können jedoch einen Visus von mehr als 2,0 erreichen, der Durchschnittswert liegt bei 1,4 [Haase und Rassow 2004]. Für ältere Menschen kann aufgrund der physiologischerweise abnehmenden Sehschärfe ein Visus von 0,7 „normal“ sein. Weiterhin ist zu bedenken, dass auf einer logarithmischen Skala kein absoluter Nullpunkt existiert wie auf einem Zollstock. Die logarithmische Skala ermöglicht es, weit unter einem Visuswert von 0,1 numerisch zu differenzieren [Bach und Kommerell 1998].

**Tabelle 1:** Sehschärfestufen in verschiedenen Einheiten (nach Bach und Kommerell 1998)

Visus (log Stufen exakt)	Visus DIN EN ISO	log(Visus)	MAR (Minimum separabile)	log MAR	Snellen 6 m
0,0080	0,008	-2,1	126	2,1	6/750
0,0100	0,01	-2	100	2,0	6/600
0,0125	0,012	-1,9	79,4	1,9	6/480
0,0158	0,016	-1,8	63,1	1,8	6/380
0,0199	0,02	-1,7	50,1	1,7	6/300
0,0251	0,025	-1,6	39,8	1,6	6/240
0,0316	0,032	-1,5	31,6	1,5	6/200
0,0398	0,04	-1,4	25,1	1,4	6/150
0,0501	0,05	-1,3	20	1,3	6/120
0,0631	0,063	-1,2	15,8	1,2	6/100
0,0794	0,08	-1,1	12,6	1,1	6/75
0,1000	0,1	-1	10	1,0	6/60
0,1259	0,125	-0,9	7,9	0,9	6/48
0,1584	0,16	-0,8	6,3	0,8	6/38
0,1995	0,2	-0,7	5	0,7	6/30
0,2511	0,25	-0,6	4	0,6	6/24
0,3162	0,32	-0,5	3,2	0,5	6/20
0,3981	0,4	-0,4	2,5	0,4	6/15
0,5011	0,5	-0,3	2	0,3	6/12
0,6309	0,63	-0,2	1,6	0,2	6/10
0,7943	0,8	-0,1	1,3	0,1	6/7,5
1,0000	1,0	0	1	0	6/6
1,2589	1,25	0,1	0,79	-0,1	6/4,8
1,5848	1,6	0,2	0,63	-0,2	6/3,75
1,9952	2,0	0,3	0,5	-0,3	6/3
2,5118	2,5	0,4	0,4	-0,4	6/2,4

Spalte 1: Logarithmische Stufen im Abstand des Faktors 10. Wurzel aus 10 = 1,259.

Spalte 2: Aus Spalte 1 durch Rundung entstandene Werte nach EN ISO 8596.

Spalte 3: Dekadischer Logarithmus der Werte in Spalte 1.

Spalte 4: Minimum Angle of Resolution (MAR) in Bogenminuten = Kehrwert der Sehschärfe.

Spalte 5: Logarithmus der Spalte 4; wie bei log (Visus) erkennt man die 1/10-log-Stufen.

Spalte 6: Snellen-Buchstaben nach der Zuordnung von Ferris et al. (1982).

## **1.5 Abhängigkeit des Messwertes vom Sehzeichen**

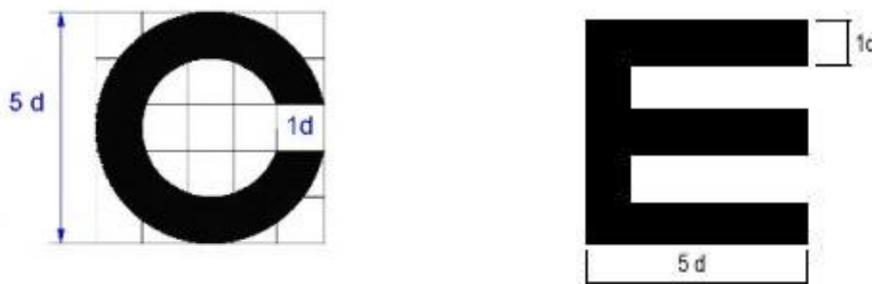
Wie in Abschnitt 1.2 beschrieben, umfasst der Begriff „Sehschärfe“ verschiedene Funktionen. Die Art des visuellen Stimulus bestimmt die Art der Sehschärfe, die gemessen wird. Die DIN EN ISO 8596/8597 schreibt als Normsehzeichen den Landolt-Ring vor, lässt aber auch andere Sehzeichen zu, wenn sie dem Landolt-Ring angeschlossen wurden und somit diesem als äquivalent gelten. Bei der Wahl anderer Sehzeichen ist dennoch zu bedenken, dass die Erkennbarkeit nicht in jedem Fall gleich sein muss, selbst wenn die kritischen Details der Sehzeichen unter dem gleichen Gesichtswinkel erscheinen, denn die Anschlusseichung erfolgt nur auf normalem Sehschärfeniveau und die Erkennbarkeit bestimmter Sehzeichen, z.B. Buchstaben oder Zahlen, ist unter anderem erfahrungsabhängig. Die im Folgenden dargestellten verschiedenen Optotypen stellen unterschiedliche Anforderungen bezüglich ihrer Erkennbarkeit, sind unterschiedlich gut standardisierbar und unterschiedlich gut praxistauglich.

### **1.5.1 Abstrakte Figuren mit Richtungsmerkmal**

In erster Linie sind der Landolt-Ring und der E-Haken zu nennen (Abbildung 1). Der Landolt-Ring ist das internationale Normsehzeichen. Der unterbrochene Ring wurde 1888 von dem schweizer Ophthalmologen Edmund Landolt als Standardsehzeichen vorgeschlagen. Landolt erkannte schon damals die Problematik der unterschiedlichen Erkennbarkeit verschiedener Sehzeichen. Daher schlug er ein Normsehzeichen vor, dessen Erkennbarkeit bei unterschiedlicher Ausrichtung fast gleich ist und dessen kritisches Detail das einzige variierende Merkmal ist [Landolt 1888].

Der Landolt-Ring misst eine Auflösungssehschärfe. Der Auflösungswinkel ist anhand der Breite der Lücke exakt definierbar, die so groß ist wie die Liniendicke und einem Fünftel des Außendurchmessers des Rings entspricht. Vorteilhaft ist, dass der Landolt-Ring auch bei Personen eingesetzt werden kann, die keine Buchstaben lesen können. Er ist daher auch zur Untersuchung von Kindern im Vorschulalter oder Analphabeten geeignet. Die Visusbestimmung mit dem Landolt-Ring kann jedoch auch Probleme bereiten, da sie eine gewisse Mitarbeitsfähigkeit der untersuchten Person verlangt. So kann beispielsweise kleinen Kindern, aber auch Erwachsenen die Richtungsangabe Schwierigkeiten bereiten. Oftmals wird, verstärkt durch die Prüfungssituation, links und rechts verwechselt. Die Richtungsangabe kann besonders beim Landolt-Ring mit 8 Alternativen problematisch sein.

Der E-Haken bietet ähnliche Vorteile wie der Landolt-Ring. Der Auflösungswinkel ist exakt definiert. Das E kann bei Personen eingesetzt werden, die nicht lesen können. Daher wird es gerne bei der Visusbestimmung im Kindesalter eingesetzt. Eine Besonderheit des E-Hakens im Vergleich zum Landolt-Ring ist seine Periodizität. Die 3 parallelen Balken verleihen dem E-Haken die Eigenschaft eines Minigittermusters. Daher hätte dieses Sehzeichen bei der Diagnostik der Amblyopie eine geringe Sensitivität [Haase und Rassow 2004].



**Abbildung 1:** Der Landolt-Ring und der E-Haken. Beim Landolt-Ring betragen die Dicke des Rings und die Breite der Lücke jeweils ein Fünftel des Durchmessers. Beim E-Haken betragen die Dicke der Balken und die Breite der Balkenzwischenräume jeweils ein Fünftel der Seitenlänge.

### 1.5.2 Buchstaben und Zahlen

Großbuchstaben sind häufig und gern verwendete Sehzeichen. Sie bereiten bei Erwachsenen hinsichtlich des Verständnisses und der Mitarbeit weniger Probleme als der Landolt-Ring. Für den Prüfling ist die Sehschärfebestimmung mit Buchstaben oft leichter zu verstehen und zu befolgen. Der Prüfer seinerseits kann allein anhand des Kriteriums, ob die untersuchte Person das Zeichen richtig oder falsch benannt hat, entscheiden, ob das Sehzeichen erkannt wurde oder nicht. Er muss weniger darauf achten, ob der Prüfling den Test versteht und seine Antworten korrekt zum Ausdruck bringt, was den Untersuchungsablauf beschleunigt.

Obwohl die Visusbestimmung mit Buchstaben praktisch und einfach ist, muss sie kritisch betrachtet werden. Buchstaben sind weniger gut standardisierbar wie beispielsweise der Landolt-Ring. Sie messen die Erkennungssehschärfe, in welche die Punkt-, Auflösungs- und Lokalisationssehschärfe eingehen. Die kritischen Details lassen sich nicht so klar definieren wie das einzige kritische Detail des Landolt-Rings. Es wurde vereinbart, die Strichstärke der Buchstaben zu definieren und die Breite und Höhe der Buchstaben fünfmal so groß wie die Strichstärke zu wählen [Paliaga 1993].

Ein weiteres Problem ist die unterschiedliche Erkennbarkeit verschiedener Buchstaben, was die Standardisierung eines Buchstabensatzes zusätzlich erschwert. Es existieren zahlreiche Vorschläge von Buchstabensätzen mit annähernd gleich erkennbaren Buchstaben, die sich für die Konstruktion einer Sehtafel eignen [Hedin und Olsson 1984, Schober 1952, Sloan et al. 1952]. Die von Louise Sloan vorgeschlagenen 10 Großbuchstaben C, D, H, K, N, O, R, S, V, Z [Sloan et al. 1952] haben breite Anwendung gefunden und werden häufig in wissenschaftlichen Studien benutzt. Zur unterschiedlichen Erkennbarkeit der Buchstaben kommt die Problematik der Verwechslungshäufigkeit der Buchstaben untereinander. Das Ergebnis der Sehschärfebestimmung kann dadurch ebenfalls stark beeinflusst werden [Benda 1981, Hedin und Olsson 1984, McMonnies und Ho 1996, McMonnies und Ho 2000, Rassow et al. 1990, Reich und Bedell 2000].

Prinzipiell die gleiche Problematik ergibt sich bei Verwendung von Zahlen als Sehzeichen. Aus den genannten Gründen waren Buchstaben und Zahlen für die Sehschärfebestimmung zu gutachterlichen Zwecken bis zum Inkrafttreten der DIN EN ISO 8596/8597 im Jahre 1996 nicht zulässig. Ihre Verwendung ist nun erlaubt, wenn die Sehzeichen an den Landolt-Ring angeschlossen wurden und als äquivalent gelten. Das Problem ist jedoch nach wie vor aktuell. Der Anschluss von Buchstaben an den Landolt-Ring erfolgt gemäß dem in der DIN EN ISO 8597 festgelegten Verfahren mit Personen, deren Visus mindestens 1,0 beträgt, wenn nötig mit Korrektur der Refraktion. Das heißt, der Anschluss erfolgt lediglich im oberen Visusbereich. Unter diesen Bedingungen wird mit Buchstaben ein Visus gemessen, der bei gleicher Größe der Sehzeichen nur 4,9% höher liegt als der mit dem Landolt-Ring gemessene Visus. Damit liegt die Buchstabensehschärfe innerhalb des Toleranzbereiches von  $\pm 0,05$  logMAR-Einheiten und gilt der mit dem Landolt-Ring ermittelten Sehschärfe als äquivalent [Grimm et al. 1994, Rassow et al. 1990, Saur et al. 1989]. Jedoch wurde im unteren Visusbereich eine zunehmende Abweichung von den Landolt-Ring-Messwerten beobachtet. Abhängig von der Ursache der Visusminderung lag die Buchstaben-Sehschärfe bis zu 2,8 Visusstufen über dem Landolt-Ring-Visus. Besonders ausgeprägt waren die Unterschiede bei Schielamblyopie. Dies führt zu der Schlussfolgerung, dass der Anschluss von Optotypen nur in dem Visusbereich Gültigkeit besitzt, in welchem er durchgeführt wird. Im unteren Visusbereich müssten demnach weitere Größenanpassungen der Optotypen erfolgen, um eine Äquivalenz mit dem Landolt-Ring zu gewährleisten [Rassow und Wang 1999], was besonders dann problematisch wäre, wenn die Messwert-Differenzen auch noch von der Ursache der Visusminderung abhingen.

### **1.5.3 Gitter- und Schachbrettmuster**

Gitter- und Schachbrettmuster sind sehr gut zu standardisieren. Ihr Auflösungswinkel kann exakt bestimmt werden. Anwendung finden Gittermuster beispielsweise im Teller-Acuity-Card-Test, einem Preferential-Looking-Testkartensystem zur Sehschärfebestimmung bei Säuglingen und Kleinkindern [Teller et al. 1986]. Problematisch ist, dass ein Gittermuster mit alternierenden gleich dicken schwarzen und weißen Linien leichter erkannt wird als eine Optotype, beispielsweise ein Landolt-Ring mit derselben Liniendicke [Mayer et al. 1984, Mayer 1986]. Unter pathologischen Bedingungen, insbesondere bei Schielamblyopie tritt dieser Unterschied besonders hervor [Gräf 2004, Katz und Sireteanu 1989, Katz und Sireteanu 1990]. So konnte beim Vergleich der mit dem Teller-Acuity-Card-Test bestimmten Gittersehschärfe mit der Landolt-Ring-Sehschärfe ein Verhältnis von bis zu 10:1 nachgewiesen werden. Das Preferential-Looking hat daher nur eine geringe Sensitivität bei der Amblyopiediagnostik und ist nicht als alleinige Testmethode zur Detektion einer Amblyopie brauchbar [Katz und Sireteanu 1989, Katz und Sireteanu 1990].

### **1.5.4 Bilder und geometrische Figuren**

Bilder und geometrische Figuren werden gerne bei Kindern im Vorschulalter zur Visusbestimmung eingesetzt. Praktische Anwendung finden solche Sehzeichen beispielsweise beim Cardiff-Acuity-Test. Es handelt sich hierbei jedoch um eine Preferential-Looking-Methode mit Testkarten, auf welchen sich Bilder verschiedener Linienstärke befinden. Auch mit dieser Methode wird nur die Linien-Auflösungsschärfe geprüft. Der Vorteil der Methode liegt in der besseren Kooperation der kleinen Patienten, da ein Bild einen interessanteren Stimulus darstellt als beispielsweise das Gittermuster beim Teller-Acuity-Card-Test. Jedoch besitzt auch diese Methode nur eine geringe Amblyopie-Sensitivität [Gräf et al. 1996]. Zur Untersuchung von Kindern gut geeignete, standardisierte Bildsymbole wurden von Lea Hyvärinen entwickelt [Hyvärinen et al. 1980]. Sie liefern im oberen Visusbereich annähernd dieselben Messwerte wie der Landolt-Ring und im unteren Visusbereich, auch bei Schielamblyopen, nur geringfügig höhere Werte [Becker et al. 2002].

## 1.6 Ziel der Arbeit

Da der Anschluss von Optotypen an den Landolt-Ring nur im oberen Visusbereich erfolgt, liefern sie nur in diesem Bereich zuverlässig die gleichen Messergebnisse. Abweichungen im unteren Visusbereich sind nicht ausgeschlossen und wurden vielfach beschrieben (siehe oben). Weichen die Messwerte bei Verwendung unterschiedlicher Sehzeichensätze erheblich voneinander ab, so sind die Werte nicht uneingeschränkt vergleichbar und könnten möglicherweise Anlass zu falschen Schlussfolgerungen bei klinischen und wissenschaftlichen Fragestellungen geben.

In dieser Arbeit sollten die Messergebnisse dreier verschiedener, häufig verwendeter Sehzeichen miteinander verglichen werden. Die untersuchten Optotypen sind der Landolt-Ring, der E-Haken und der von Sloan vorgeschlagene Satz der 10 Großbuchstaben C, D, H, K, N, O, R, S, V, Z [Sloan et al. 1952]. Es sollte untersucht werden, ob diese 3 Sehzeichen bei der Visusbestimmung annähernd gleiche oder signifikant unterschiedliche Messergebnisse liefern.

Die in der Literatur beschriebenen Abweichungen der mit verschiedenen Optotypen ermittelten Sehschärfewerte vom Landolt-Ring-Visus waren im unteren Visusbereich besonders ausgeprägt [Katz und Sireteanu 1989, Katz und Sireteanu 1990, Mayer et al. 1984, Mayer 1986, Rassow und Wang 1999]. Außerdem wurde bereits darauf hingewiesen, dass bei geringer Sehschärfe eine hohe Messungenauigkeit akzeptiert und vielfach sogar postuliert wird, weshalb in solchen Fällen fast regelmäßig auf eine korrekte Visusbestimmung mit Sehzeichen verzichtet wird [Becker und Gräf 2005, Gräf 2005, Schulze-Bonsel et al. 2006]. Es sollte deshalb zusätzlich untersucht werden, ob bei wiederholter Visusbestimmung die Zuverlässigkeit der Messwerte im unteren Visusbereich geringer ist als im oberen Visusbereich, ob also die Reproduzierbarkeit einer Visusbestimmung von der Sehschärfe abhängt.

## **2. Methodik**

### **2.1 Sehzeichen und Sehprobentafeln**

Es wurden insgesamt 5 Sehprobentafeln verwendet:

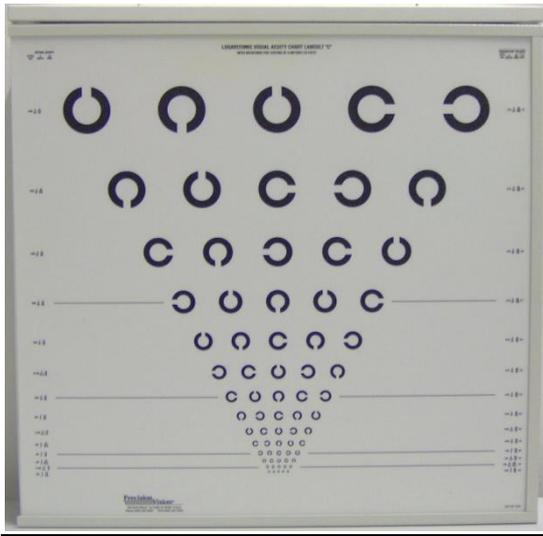
- eine Sehprobentafel mit dem Landolt-Ring
- eine Sehprobentafel mit dem E-Haken
- drei Sehprobentafeln mit den Sloan-Buchstaben

Die Gestaltung der Tafeln basiert auf dem Entwurf von Bailey und Lovie und soll die Standardisierung der Visusbestimmung für klinische und wissenschaftliche Zwecke vereinfachen [Bailey und Lovie 1976, Ferris et al. 1982, NAS-NRC 1980]. Die Tafeln sind 63,5 cm breit und 60,3 cm hoch, transparent weiß mit schwarzen Sehzeichen und werden von hinten beleuchtet. Auf den Tafeln befinden sich jeweils 14 Zeilen mit Sehzeichen entsprechend 14 logMAR-Stufen von logMAR 1,0 bis logMAR -0,3, was den Visusstufen von 0,1 bis 2,0 entspricht.

Die Größe der Zeilen ist dekadisch logarithmisch äquidistant abgestuft. In jeder Zeile befinden sich 5 Sehzeichen. Der Abstand zwischen den Sehzeichen in einer Zeile ist so groß wie die Breite eines Sehzeichens. Der Abstand zwischen den Zeilen entspricht der Höhe der nächsten Zeile. Die Sehprobentafeln sind geeicht für eine Prüffentfernung von 4 m. Die Tafeln wurden in Augenhöhe der Prüfperson retroilluminert in einer dafür vorgesehenen Box dargeboten (siehe Abschnitt 2.1.4).

#### **2.1.1 Landolt-Ring**

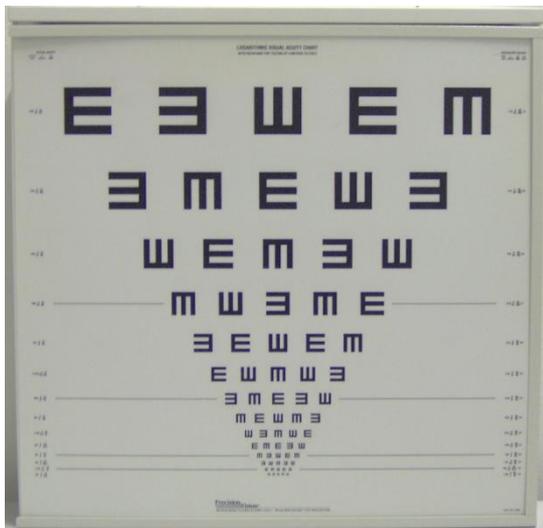
Die Sehprobentafel mit Landolt-Ringen wurde von der Firma „Precision Vision“ in Illinois/USA hergestellt (Abbildung 2). Die Öffnungen der Ringe befinden sich in 4 alternativen Richtungen: oben, unten, links oder rechts.



**Abbildung 2:** Landolt-Ring-Seehtafel

### 2.1.2 E-Haken

Die Seehtafel mit E-Haken wurde von der Firma „Precision Vision“ in Illinois/USA hergestellt (Abbildung 3). Die Öffnungen des E-Hakens befinden sich in den 4 alternativen Richtungen: oben, unten, links oder rechts.



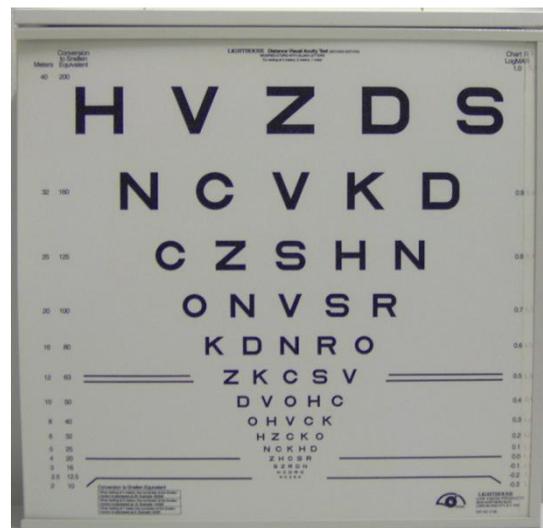
**Abbildung 3:** E-Haken-Seehtafel

### 2.1.3 Sloan-Buchstaben

Die Sloan-Buchstaben-Sehprobentafeln wurden von der Firma Lighthouse in Long Island/USA hergestellt. Es handelt sich um 3 Tafeln mit der Bezeichnung ETDRS 1, ETDRS 2 und ETDRS R (Abbildung 4). Auf jeder Tafel befinden sich die von Sloan vorgeschlagenen 10 Großbuchstaben C, D, H, K, N, O, R, S, V, Z in unterschiedlicher Reihenfolge [Sloan et al. 1952]. Das Akronym ETDRS beruht auf einer multizentrischen Studie zur frühen Behandlung der diabetischen Retinopathie, der „early treatment of diabetic retinopathy study“, in welcher diese Tafeln als Standard verwendet wurden. Mittlerweile werden die ETDRS-Tafeln regelmäßig in internationalen Studien angewendet.



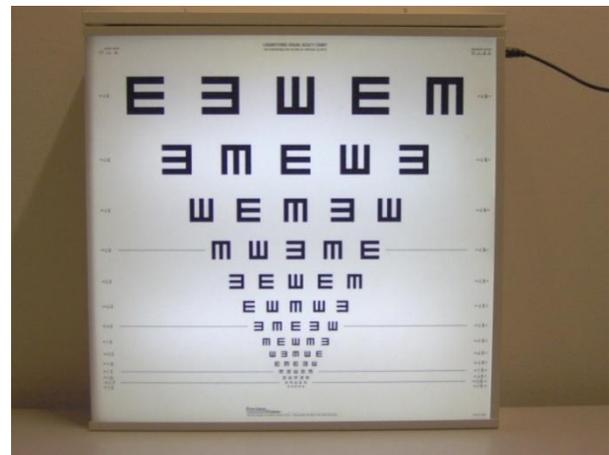
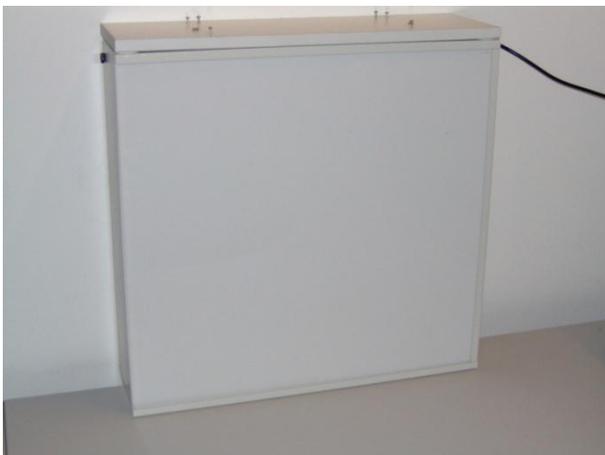
**Abbildung 4:** Die Tafeln ETDRS 1 (oben links), ETDRS 2 (oben rechts) und ETDRS R (unten rechts) der Fa. Lighthouse. Alle drei Tafeln zeigen die 10 Sloan-Buchstaben in unterschiedlicher Reihenfolge.



## 2.1.4 Beleuchtung

Die Sehschärfe ist abhängig von der Leuchtstärke und vom Kontrast des betrachteten Objektes sowie vom Adaptationszustand der Retina. Für eine reproduzierbare Visusbestimmung ist es daher notwendig, diese Faktoren konstant zu halten. Bei einem helladaptierten Auge ist die Zapfenfunktion am besten und die Kontrastempfindlichkeit am höchsten. Aus diesem Grund sollte die Visusbestimmung in gut beleuchteten Räumen durchgeführt werden [Adler 1953]. Die Visusbestimmungen im Rahmen dieser Arbeit erfolgten in einem gleichmäßig erhellten Raum der Universitäts-Augenklinik Gießen.

Eine konstante Leuchtdichte des Prüffeldes und ein konstanter Kontrast der Sehzeichen lassen sich erreichen entweder durch direkte Beleuchtung der Sehtafel oder durch Beleuchtung von hinten [Ferris und Sperduto 1982]. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Sehtafeln retroilluminieren dargeboten. Als Beleuchtungsquelle diente eine der Größe der Sehtafeln angepasste Leuchtbox (Steinbeis-Transferzentrum, Tübingen) mit den Abmessungen 63cm x 65cm x 18cm (Abbildung 5). Sie enthält 2 Leuchtstoffröhren mit Dispersoren, die eine gleichmäßige Ausleuchtung der Tafeln erlauben. Dieser Box kann man die jeweilige verwendete Sehtafel verschieben. Die mittlere Leuchtdichte der Sehtafeln beträgt  $200 \text{ cd/cm}^2$  mit einem hohen Michelson-Kontrast der Sehzeichen von 95%.



**Abbildung 5:** Durch die Leuchtbox wird die vorgeschobene Sehprobentafel von hinten homogen beleuchtet.

## **2.2 Versuchspersonen**

Es wurden 113 Personen untersucht, die über den rein wissenschaftlichen Charakter der Untersuchung aufgeklärt waren und der Teilnahme an der Studie bereitwillig zustimmten. Für die Teilnahme an der Studie wurden nur Personen mit guter Mitarbeitsfähigkeit ausgewählt. Anhand des klinischen Befundes können sie 5 Gruppen zugeteilt werden:

### **Schielamblyopie**

Es wurden 39 Patienten mit Schielamblyopie im Alter von 9 bis 66 Jahren (Median 39 Jahre) untersucht. Die Patienten wurden während eines stationären Aufenthaltes in der Universitäts-Augenklinik Gießen rekrutiert.

### **Katarakt**

Es wurden 24 Patienten im Alter von 48 bis 90 Jahren (Median 73 Jahre) untersucht, deren Visusreduktion durch eine Katarakt bedingt war. Die Patienten wurden während des stationären Aufenthaltes in der Universitäts-Augenklinik Gießen für die Untersuchung ausgewählt.

### **Netzhauterkrankungen**

Es wurden 32 Patienten mit Netzhauterkrankungen im Alter von 8 bis 82 Jahren (Median 69 Jahre) untersucht. 21 Patienten hatten eine diabetische Retinopathie, 7 eine altersbedingte Makuladegeneration, 2 eine epiretinale Gliose (Macular Pucker) und 2 eine Stäbchen-Zapfen-Degeneration. Sie wurden aus der Ambulanz der Universitäts-Augenklinik Gießen ausgewählt.

### **Refraktionsamblyopie**

Es wurden 5 Patienten mit Refraktionsamblyopie im Alter von 14 bis 70 Jahren (Median 34 Jahre) untersucht. Sie wurden in der Ambulanz der Universitäts-Augenklinik Gießen ausgewählt.

### **Augengesunde Personen**

Es wurden 13 augengesunde Personen im Alter von 18 bis 33 Jahren (Median 24 Jahre) untersucht. Es handelte sich um Mitarbeiter der Universitäts-Augenklinik Gießen, Schülerinnen der Lehranstalt für Orthoptistinnen und Studenten der Justus-Liebig-Universität Gießen.

## **2.3 Untersuchungsablauf**

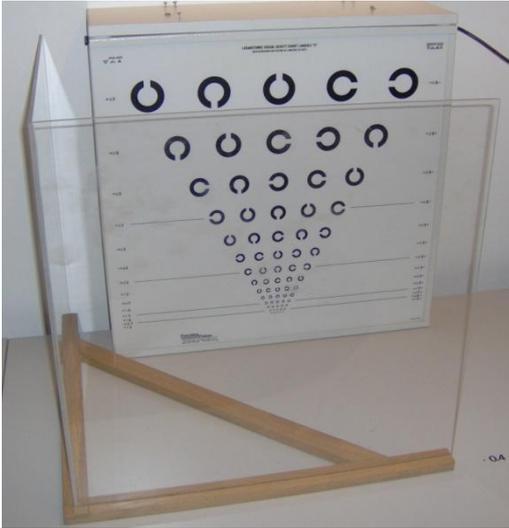
### **2.3.1 Voruntersuchungen**

Vor der Visusbestimmung erfolgten bei jeder untersuchten Person eine Refraktometrie (Auto-Refractometer, NIDEK Co. LTD, Japan) und ein subjektiver Abgleich. Die Visusbestimmung erfolgte dann monokular mit der besten Korrektur.

### **2.3.2 Prüfdistanzen**

Die untersuchte Person saß auf einem Stuhl in einer Entfernung von 4,0 m vor der Sehtafel, wobei darauf geachtet wurde, dass sich die Testperson weder vor- noch zurückbeugte. Bei einem Visus unter 0,16 wurde die Prüfdistanz auf 1,0 m verringert, bei einem Visus unter 0,03 wurde in 0,4 m Abstand untersucht, jeweils mit entsprechender Nahkorrektur (+1,0 dpt für 1 m; +2,5 dpt für 0,4 m). Für die Prüfdistanz 0,4 m wurde ein eigens konstruierter Distanzhalter verwendet, um die exakte Einhaltung der Prüfdistanz zu gewährleisten. Dieser bestand aus einem stabilen Ständer und einer Plexiglasplatte, an welche die untersuchte Person das Gesicht legen und die Sehtafel betrachten konnte, ohne den korrekten Abstand zur Sehtafel zu verlieren (Abbildung 6).

Alle Sehtafeln sind geeicht auf 4,0 m Prüfdistanz. Musste die Prüfdistanz verkürzt werden, wurde die Sehschärfe nach der Formel  $\text{Sehschärfe} = \text{auf der Sehtafel für 4,0 m Prüfdistanz angegebener Wert} \times \text{Distanz [m]} / 4 \text{ m}$  berechnet. In den genannten Prüfdistanzen konnte ein Visusbereich von 0,01 bis 2,0 abgedeckt werden, dies entspricht 24 Visusstufen.



**Abbildung 6:** Distanzhalter für Prüfentfernung 0,4 m. Die untersuchte Person legt das Gesicht an die Glasplatte und kann dadurch die Entfernung genau einhalten. Die Stuhlhöhe war so eingestellt, dass die untersuchte Person orthograd auf die Sehtafel bzw. die gelesene Zeile blickte.

### 2.3.3 Reihenfolge der Sehprobentafeln und der untersuchten Augen

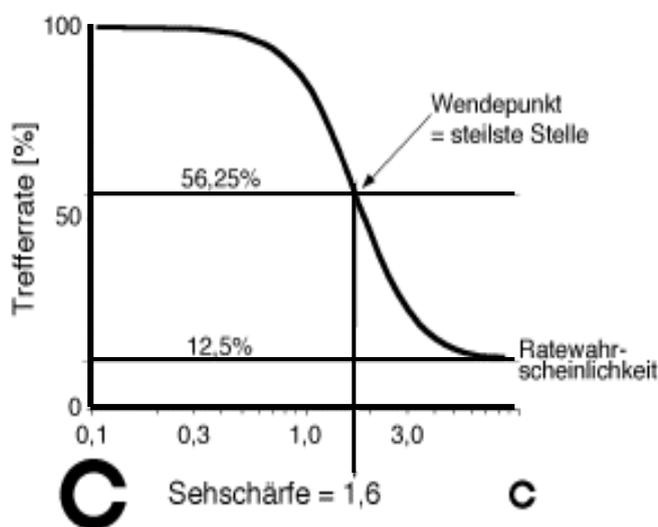
Bei jeder Person wurde die Visusbestimmung mit allen 5 Tafeln durchgeführt. Wegen möglicher Ermüdungseffekte wurden die Tafeln in randomisierter Abfolge dargeboten. Bei den augengesunden Probanden wurde nur das rechte Auge untersucht, bei den Patienten wurde das betroffene Auge bzw., bei beidseitiger Erkrankung, das Auge mit der geringeren Sehschärfe untersucht. Das andere Auge wurde okkludiert.

### 2.3.4 Abbruchkriterium

Die Bestehensgrenze einer Visusstufe (Zeile) lag bei 60%. Dies bedeutet, mindestens 3 von 5 Sehzeichen einer Zeile mussten richtig benannt werden, damit diese Visusstufe als bestanden galt. Dieses Kriterium entspricht den Vorgaben der DIN EN ISO 8596. Die Festlegung des 60%-Kriteriums lässt sich durch folgende Überlegung erklären:

Eine grundlegende Problematik bei der Sehschärfemessung ist es, den Punkt zu definieren, an dem die Wahrnehmungsgrenze liegt, die sogenannte Schwelle. Die Wahrnehmungsgrenze lässt sich jedoch nicht genau an einer bestimmten Sehzeichengröße bzw. einem bestimmten Visuswert festle-

gen, da sie zufälligen Veränderungen unterworfen ist. Führt man bei einer Person viele Male eine Sehschärfebestimmung unter gleichen Bedingungen mit demselben Sehzeichen durch und trägt die Rate der richtigen Antworten in Prozent gegen die Größe der Sehzeichen bzw. den Visuswert auf, so folgt die Trefferrate einer sogenannten psychometrischen Funktion [Wesemann 2002]. Eine psychometrische Funktion beschreibt die Abhängigkeit der Wahrnehmung von der Reizstärke [Green und Swets 1966, Harvey 1986, Petersen 1993]. Bei der Visusbestimmung ist sie charakterisiert durch eine nahezu 100%ige Trefferrate bei den größten Sehzeichen, eine allmähliche Verringerung der Trefferrate bei kleiner werdenden Sehzeichen im Schwellenbereich, der sogenannten Transitionszone, bis hin zu einer Trefferrate bei den kleinsten Sehzeichen, welche der reinen Ratewahrscheinlichkeit entspricht, die auch bei geschlossenen Augen erreicht würde. Sie liegt beim Landolt-Ring mit 8 Alternativen bei 12,5%. Für die Definition der Schwelle wurde der steilste Punkt der psychometrischen Funktion vorgeschlagen, der Wendepunkt. An diesem Punkt führen Änderungen der Trefferrate zu den kleinsten Änderungen des Sehschärfewertes, die Reproduzierbarkeit ist dadurch am höchsten [Bach und Kommerell 1998, Gräf 2004, Petersen 1990]. Beim Landolt-Ring mit 8 Alternativen liegt der Wendepunkt bei 56,25%, beim Landolt-Ring mit 4 Alternativen bei 62,5%. Das in der DIN EN ISO 8596 festgelegte Kriterium von 60% ist somit diesen Punkten angenähert (Abbildung 7).



**Abbildung 7:** Psychometrische Funktion einer Visusbestimmung mit dem Landolt-Ring. Der Wendepunkt der Funktion liegt beim Landolt-Ring mit 8 Alternativen bei einer Trefferrate von 56,25 Prozent (der Mitte zwischen 100 und 12,5 Prozent). In diesem Beispiel beträgt der Visus 1,6 (nach Bach und Kommerell 1998).

Für die untersuchte Person ist die Visusbestimmung im Schwellenbereich unangenehm, da sie die Sehzeichen nicht mehr sicher erkennen kann und sich permanent unsicher fühlt. Gerade vorsichtige Personen, die Falschantworten vermeiden wollen, neigen dazu, die Prüfung dann abzubrechen und geben Antworten wie „Das kann ich nicht mehr sehen.“. Um derartige Charaktereinflüsse zu eliminieren, mussten alle 5 Sehzeichen einer Visusstufe benannt werden. Konnte die untersuchte Person die Sehzeichen nicht mehr sicher erkennen, wurde sie angehalten zu raten. Diese Vorgehensweise mit erzwungener Wahl oder sogenannte „forced choice“- Strategie hat zum Zweck, sich der Schwelle so gut wie möglich anzunähern und eine Unterschätzung des Visus zu vermeiden [Bach und Kommerell 1998].

### 2.3.5 Dokumentation

Die Dokumentation der Untersuchungsergebnisse erfolgte auf einem vorgefertigten Dokumentationsbogen (Abbildung 8). Es wurden allgemeine Informationen zur Untersuchung festgehalten: Angaben zur untersuchten Person, die Einverständniserklärung, das Ergebnis der Refraktometrie und die Prüfdistanz. Bei jeder Sehprobentafel wurde für jede geprüfte Visusstufe jedes der 5 Sehzeichen als „richtig“ oder „falsch“ benannt dokumentiert. Das erreichte Ergebnis jeder Sehtafel wurde in Visuswerten, logMAR-Werten und korrigierten logMAR-Werten festgehalten. Letzterer entspricht dem „interpolated logMAR“, welcher die Falschantworten der noch bestandenen Visusstufen berücksichtigt.

Abbildung 8 : Dokumentationsbogen, Vor- und Rückseite

## 2.4. Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurden von den Messergebnissen jeder Sehtafel die mittleren logMAR-Werte berechnet, jeweils für die Gesamtgruppe von 113 Personen bzw. Augen und die 5 einzelnen Diagnosegruppen. Für den Vergleich zweier Sehtafeln wurden die mittleren Differenzen der Messergebnisse in Visusstufen berechnet, jeweils für die Gesamtgruppe und die 5 einzelnen Diagnosegruppen.

Um beim Vergleich zweier Sehtafeln nach einer Zunahme der Differenzen im unteren Visusbereich zu fahnden, wurden die Ergebnisse in 4 Sehschärfebereiche aufgeteilt:

logMAR < 0; logMAR 0 – 0,49; logMAR 0,5 – 1,0; logMAR > 1,0.

In Visusstufen entspricht dies den 4 Sehschärfebereichen:

Visus > 1,0; Visus 1,0 - 0,33; Visus 0,32 - 0,1; Visus < 0,1.

Zur Auswertung wurden verschiedene statistische Verfahren angewendet, die unten genannt sind.

### 2.4.1 Vergleich der Sehzeichen

Um zu untersuchen, ob die Ergebnisse der Messungen mit unterschiedlichen Sehzeichen voneinander abweichen, wurden die Messergebnisse der Sehtafeln Landolt-Ring, E-Haken und ETDRS 1 miteinander verglichen. Die Sehtafel ETDRS 1 wurde bei dieser Fragestellung repräsentativ für die Sloan-Buchstaben verwendet, da die 3 Sehtafeln ETDRS 1, ETDRS 2 und ETDRS R dieselben Buchstaben zeigen und äquivalente Werte liefern [Becker und Gräf 2005]. Die Ergebnisse der Gruppe der schielamblyopen Patienten wurden gesondert dargestellt, da bei dieser Diagnose die größten Differenzen zu erwarten sind [Rassow und Wang 1999].

Zur Überprüfung der Mittelwerte auf statistisch signifikante Unterschiede wurde der t-Test für verbundene Stichproben durchgeführt. Bei einem p-Wert von weniger als 0,05 wurde die Nullhypothese verworfen und ein statistisch signifikanter Unterschied der Mittelwerte angenommen.

Um festzustellen, ob bei geringer Sehschärfe die Differenzen der Messwerte der verschiedenen Sehzeichen zunehmen, wurden die mittleren Differenzen der 3 Sehschärfebereiche logMAR 0 – 0,49; logMAR 0,5 – 1,0; logMAR > 1,0 (Visus 1,0 – 0,33; Visus 0,32 – 0,1; Visus < 0,1) mit der mittleren Differenz des Sehschärfebereiches logMAR < 0 (Visus > 1,0) verglichen. Dafür wurde der

t-Test für nicht verbundene Stichproben angewendet. Bei einem p-Wert von weniger als 0,05 wurde die Nullhypothese verworfen und ein statistisch signifikanter Unterschied der mittleren Differenzen des jeweiligen Sehschärfebereiches gegenüber der mittleren Differenz des oberen Sehschärfebereiches angenommen.

Die Beziehung zwischen den mit verschiedenen Sehzeichen ermittelten Sehschärfewerten wurde weiterhin mit einer linearen Regressionsanalyse untersucht. Diese ermöglicht es, eine Aussage über den Zusammenhang der Messwerte zu machen. Bei einem p-Wert von weniger als 0,05 wurde die Nullhypothese verworfen und ein linearer Zusammenhang zwischen den Messwerten angenommen. Die lineare Regressionsanalyse ermöglicht es, eine Aussage über die Qualität des Zusammenhanges durch die Ermittlung des Korrelationskoeffizienten „r“ zu machen. Liegt dieser nahe bei 1 oder ist gleich 1, so bedeutet dies eine hohe Korrelation, liegt er nahe bei 0 oder ist gleich 0, so bedeutet dies, dass nur eine sehr geringe oder gar keine Korrelation zwischen den Messergebnissen besteht. Die Höhe der Korrelation hängt allerdings unter anderem von der Größe des untersuchten Messbereiches ab.

#### **2.4.2 Reproduzierbarkeit der Visusbestimmung**

Zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit der Sehschärfestimmung wurden die Messergebnisse der Sehtafeln ETDRS 1, ETDRS 2 und ETDRS R verglichen. Da alle 3 Tafeln dieselben Buchstaben, lediglich in unterschiedlicher Anordnung, zeigen, lässt sich mit ihnen die Reproduzierbarkeit bei wiederholtem Sehtest überprüfen.

Bei einem wiederholten Sehtest kann eine Streuung der Messwerte in beide Richtungen auftreten. Aus diesem Grund wurden für die Fragestellung der Reproduzierbarkeit der Visusbestimmung die mittleren Differenzbeträge jeweils zweier ETDRS-Sehprobentafeln errechnet.

Die mittleren Differenzbeträge der 3 Sehschärfebereiche logMAR 0 – 0,49; logMAR 0,5 – 1,0; logMAR > 1,0 (Visus 1,0 - 0,33; Visus 0,32 - 0,1; Visus < 0,1) wurden dann mit dem Betrag der mittleren Differenz des Sehschärfebereiches logMAR < 0 (Visus > 1,0) verglichen.

Es wurde der t-Test für nicht verbundene Stichproben angewendet. Bei einem p-Wert von weniger als 0,05 wurde die Nullhypothese verworfen und ein statistisch signifikanter Unterschied der mittleren Differenzbeträge der 3 unteren Sehschärfebereiche gegenüber dem mittleren Differenzbetrag des oberen Sehschärfebereiches angenommen. Zusätzlich wurde eine lineare Regressionsanalyse

durchgeführt, um eine eventuelle Zunahme der Differenz der Messwerte der ETDRS-Sehprobentafeln im unteren Visusbereich darzustellen.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Landolt-Ring vs. E-Haken

In der Gesamtgruppe zeigt sich eine sehr hohe Korrelation zwischen der Landolt-Ring-Sehschärfe und der E-Haken-Sehschärfe. In der Abbildung 9 sind links für alle Augen ( $n=113$ ) die Ergebnisse beider Messungen doppelt logarithmisch gegeneinander aufgetragen. Man erkennt eine nahezu ideale Übereinstimmung im oberen Sehschärfebereich ( $\log\text{MAR} < 0$  bzw.  $\text{Visus} > 1,0$ ). Im unteren Sehschärfebereich liefert der E-Haken geringfügig niedrigere  $\log\text{MAR}$ -Werte bzw. höhere Visuswerte. Da sich bei DIN-Visuswerten vermehrt gleiche Wertepaare mit gleichen E-Haken und Landolt-Ring-Werten ergeben und die Bestimmung des „interpolated“  $\log\text{MAR}$  präziser ist, wurden für den Vergleich die „interpolated“  $\log\text{MAR}$ -Werte herangezogen. Diese sind hier gekennzeichnet als „korrigierte“  $\log\text{MAR}$ -Werte ( $\log\text{MAR}_k$ ). Die geringe Abweichung der Messwerte beider Sehzeichen kommt in der geringen Differenz der Mittelwerte zum Ausdruck, die in Tabelle 2 dargestellt ist und in der Gesamtgruppe 0,55 dekadisch logarithmische Visusstufen beträgt. Der für den Direktvergleich der Mittelwerte herangezogene t-Test für verbundene Stichproben ergab für die Gesamtgruppe und die Diagnosegruppen Schielamblyopie, Katarakt und Netzhautkrankheiten zwar einen statistisch signifikanten Unterschied der Mittelwerte beider Sehzeichen, jede dieser mittleren Differenzen ist jedoch kleiner als eine dekadisch logarithmische Visusstufe.

Bei der in Tabelle 3 dargestellten Auswertung in 4 Sehschärfebereichen, nämlich bei normaler Sehschärfe ( $\log\text{MAR} < 0$  bzw.  $\text{Visus} > 1,0$ ), mäßig reduzierter Sehschärfe ( $\log\text{MAR} 0 - 0,49$  bzw.  $\text{Visus} 1,0 - 0,33$ ), deutlich reduzierter Sehschärfe im Sinne einer wesentlichen Sehbehinderung nach WHO ( $\log\text{MAR} 0,5 - 1,0$  bzw.  $\text{Visus} 0,32 - 0,1$ ) und einer sehr geringen Sehschärfe im Bereich der wesentlichen Sehbehinderung bzw. Blindheit nach den Landesblindengeldgesetzen ( $\log\text{MAR} > 1,0$  bzw.  $\text{Visus} < 0,1$ ) ergab sich im t-Test für nicht verbundene Stichproben für jeden der unteren Sehschärfebereiche ein statistisch signifikanter Unterschied gegenüber dem oberen Sehschärfebereich. Die größte mittlere Differenz beträgt 1,04 dekadisch logarithmische Visusstufen im Sehschärfebereich  $\log\text{MAR} 0,5 - 1,0$  bzw.  $\text{Visus} 0,32 - 0,1$ .

Die Auswertung für die Gruppe der schielamblyopen Augen ( $n=39$ ) ist in Tabelle 4 und Abbildung 9 rechts dargestellt. Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse beider Messungen doppelt logarithmisch gegeneinander aufgetragen. Es ist eine nahezu ideale Übereinstimmung der Messwerte im oberen Sehschärfebereich zu erkennen. Im unteren Sehschärfebereich liefert der E-Haken geringfügig niedrigere  $\log\text{MAR}$ - bzw. höhere Visuswerte. Im t-Test für nicht verbundene Stichproben ergab sich für

jeden der 3 unteren Sehschärfebereiche ein statistisch signifikanter Unterschied der mittleren Differenzen gegenüber der mittleren Differenz im oberen Sehschärfebereich (Tabelle 4). Die größte mittlere Differenz beträgt 1,07 dekadisch logarithmische Visusstufen im Sehschärfebereich logMAR 0,5 – 1,0 bzw. Visus 0,32 - 0,1.

**Tabelle 2:** Mittelwerte (in logMARK-Werten) und Standardabweichungen der Messungen mit dem Landolt-Ring (LR) und dem E-Haken (EH) für alle untersuchten Augen, mittlere Differenzen der Messwerte beider Sehzeichen (in logMARK und in Visusstufen), sowie p-Werte des t-Tests für verbundene Stichproben

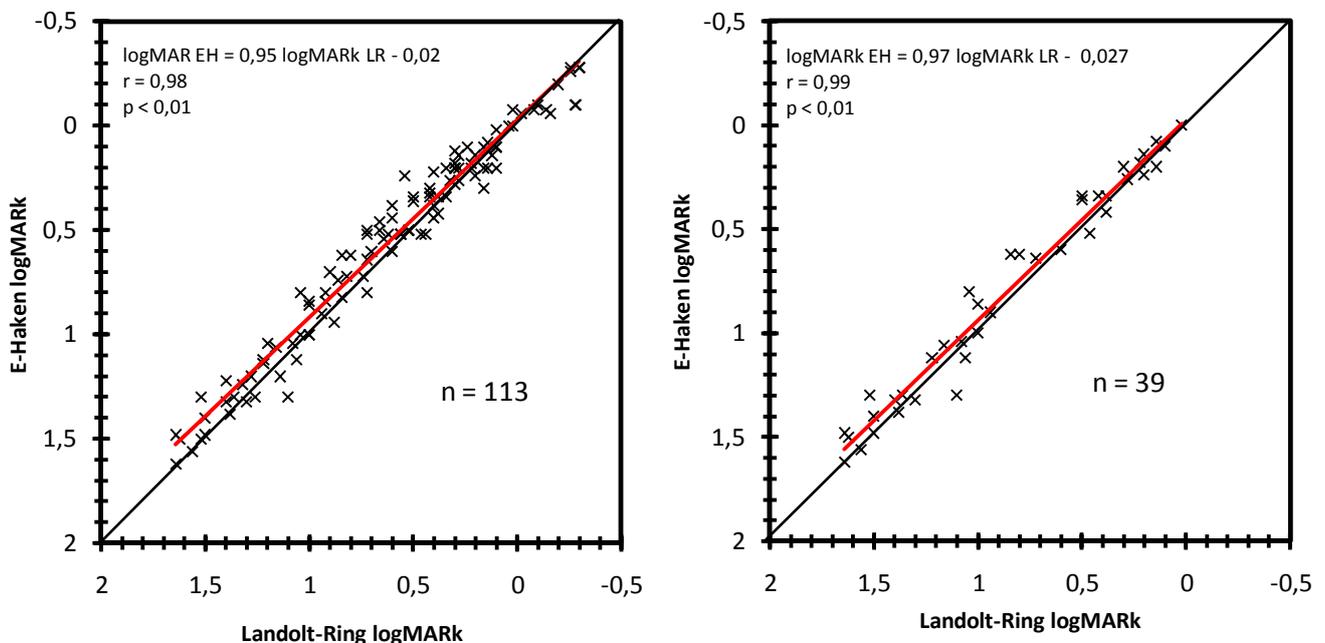
Diagnosegruppe	n	LR logMARK MW ± SD	EH logMARK MW ± SD	mittlere Diff. logMARK	mittlere Diff. Visus	p t-Test
Gesamtgruppe	113	0,60 ± 0,51	0,54 ± 0,49	0,055	0,55	< 0,01
Schielamblyopie	39	0,85 ± 0,52	0,80 ± 0,51	0,055	0,55	< 0,01
Katarakt	24	0,57 ± 0,39	0,49 ± 0,40	0,078	0,78	< 0,01
Netzhautkrankheiten	32	0,67 ± 0,38	0,61 ± 0,36	0,066	0,66	< 0,01
Refraktionsamblyopie	5	0,27 ± 0,10	0,19 ± 0,10	0,076	0,76	0,05
Normalsichtig	13	-0,17 ± 0,12	-0,14 ± 0,10	-0,028	-0,28	0,25

**Tabelle 3:** Mittelwerte (in logMARK-Werten) und Standardabweichungen der Messungen mit dem Landolt-Ring (LR) und dem E-Haken (EH) für alle untersuchten Augen unterteilt in 4 Sehschärfebereiche, mittlere Differenzen der Messwerte beider Sehzeichen (in logMARK und in Visusstufen), sowie p-Werte des t-Tests für nicht verbundene Stichproben für den Vergleich der Differenzen bei reduzierter vs. normaler Sehschärfe

Visusbereich in logMARK	n	LR logMARK MW ± SD	EH logMARK MW ± SD	mittlere Diff. logMARK	mittlere Diff. Visus	p t-Test
logMARK < 0	12	-0,20 ± 0,10	-0,16 ± 0,10	-0,042	-0,42	-
logMARK 0 - 0,49	41	0,25 ± 0,13	0,21 ± 0,13	0,040	0,40	< 0,01
logMARK 0,5 - 1,0	34	0,74 ± 0,16	0,64 ± 0,20	0,104	1,04	< 0,01
logMARK > 1,0	26	1,33 ± 0,19	1,27 ± 0,20	0,059	0,59	< 0,01

**Tabelle 4:** Mittelwerte (in logMARK-Werten) und Standardabweichungen der Messungen mit dem Landolt-Ring (LR) und dem E-Haken (EH) für schielamblyope Augen unterteilt in 4 Sehschärfebereiche, mittlere Differenzen der Messwerte beider Sehzeichen (in logMARK und in Visusstufen), sowie p-Werte des t-Tests für nicht verbundene Stichproben

Visusbereich in logMARK	n	LR logMARK MW ± SD	EH logMARK MW ± SD	mittlere Diff. logMARK	mittlere Diff. Visus	p t-Test
logMARK < 0	-	-	-	-	-	-
logMARK 0 - 0,49	13	0,25 ± 0,13	0,23 ± 0,14	0,017	0,17	0,03
logMARK 0,5 - 1,0	9	0,77 ± 0,20	0,66 ± 0,23	0,107	1,07	< 0,01
logMARK > 1,0	17	1,36 ± 0,21	1,30 ± 0,21	0,058	0,58	0,01



**Abbildung 9:** E-Haken-Sehschärfe doppelt logarithmisch aufgetragen gegen die Landolt-Ring-Sehschärfe links für alle (n=113) und rechts für die schielamblyopen Augen (n=39). Die lineare Regressionsanalyse zeigt im unteren Visusbereich eine etwas geringere Reduktion der E-Haken-Sehschärfe im Vergleich zur Landolt-Ring-Sehschärfe. Rot eingezeichnet ist die Regressionsgerade. Mehrfach vorkommende Wertepaare sind nicht gesondert gekennzeichnet. Der Korrelationskoeffizient von 0,98 bzw. 0,99 beschreibt die hohe Korrelation zwischen den Sehschärfewerten.

### 3.2 Landolt-Ring vs. ETDRS 1

Wie beim Vergleich Landolt-Ring vs. E-Haken zeigt sich auch eine hohe Korrelation zwischen der Landolt-Ring-Sehschärfe und der Buchstaben-Sehschärfe. In der Abbildung 10 sind links für alle Augen (n=113) die Ergebnisse beider Messungen doppelt logarithmisch gegeneinander aufgetragen. Man erkennt eine nahezu ideale Übereinstimmung im oberen Sehschärfebereich ( $\log\text{MAR} < 0$  bzw.  $\text{Visus} > 1,0$ ). Im unteren Sehschärfebereich liefern die Sloan-Buchstaben der ETDRS-Tafeln geringfügig niedrigere  $\log\text{MAR}$ - bzw. höhere  $\text{Visus}$ werte. Die geringe Abweichung der Messwerte beider Sehzeichen kommt in der geringen Differenz der Mittelwerte zum Ausdruck, die in Tabelle 5 dargestellt ist und in der Gesamtgruppe 0,49 dekadisch logarithmische  $\text{Visus}$ stufen beträgt. Der t-Test für verbundene Stichproben ergab für die Gesamtgruppe, die Diagnosegruppen Schielamblyopie, Katarakt und Netzhautkrankheiten zwar einen statistisch signifikanten Unterschied der Mittelwerte beider Sehzeichen, jede dieser mittleren Differenzen ist jedoch kleiner als eine dekadisch logarithmische  $\text{Visus}$ stufe.

Bei der in Tabelle 6 dargestellten Auswertung in 4 Sehschärfebereichen ergab sich für die 3 unteren Sehschärfebereiche jeweils ein statistisch signifikanter Unterschied der mittleren Differenzen gegenüber der mittleren Differenz im oberen Sehschärfebereich. Die größte Differenz beträgt 1,13 dekadisch logarithmische  $\text{Visus}$ stufen im Sehschärfebereich  $\log\text{MAR} 0,5 - 1,0$  bzw.  $\text{Visus} 0,32 - 0,1$ .

Die Auswertung für schielamblyope Augen (n=39) ist in Tabelle 7 und Abbildung 10 rechts dargestellt. Es ist eine nahezu ideale Übereinstimmung der Messwerte beider Sehzeichen im oberen  $\text{Visus}$ bereich zu erkennen. Im unteren  $\text{Visus}$ bereich liefern die Buchstaben geringfügig niedrigere  $\log\text{MAR}$ - bzw. höhere  $\text{Visus}$ werte als der Landolt-Ring. Bei der Auswertung in den 4 Sehschärfebereichen ergab sich im Bereich von  $\log\text{MAR} 0,5 - 1,0$  bzw.  $\text{Visus} 0,32 - 0,1$  ein statistisch signifikanter Unterschied der mittleren Differenz gegenüber der mittleren Differenz im oberen Sehschärfebereich von  $\log\text{MAR} < 0$  bzw.  $\text{Visus} > 1,0$  (Tabelle 7). Diese Differenz beträgt 1,31 dekadisch logarithmische  $\text{Visus}$ stufen.

**Tabelle 5:** Mittelwerte (in logMARK-Werten) und Standardabweichungen der Messungen mit dem Landolt-Ring (LR) und den Sloan-Buchstaben (ETDRS 1) für alle Augen, mittlere Differenzen der Messwerte beider Sehzeichen (in logMARK und in Visusstufen), sowie p-Werte des t-Tests für verbundene Stichproben

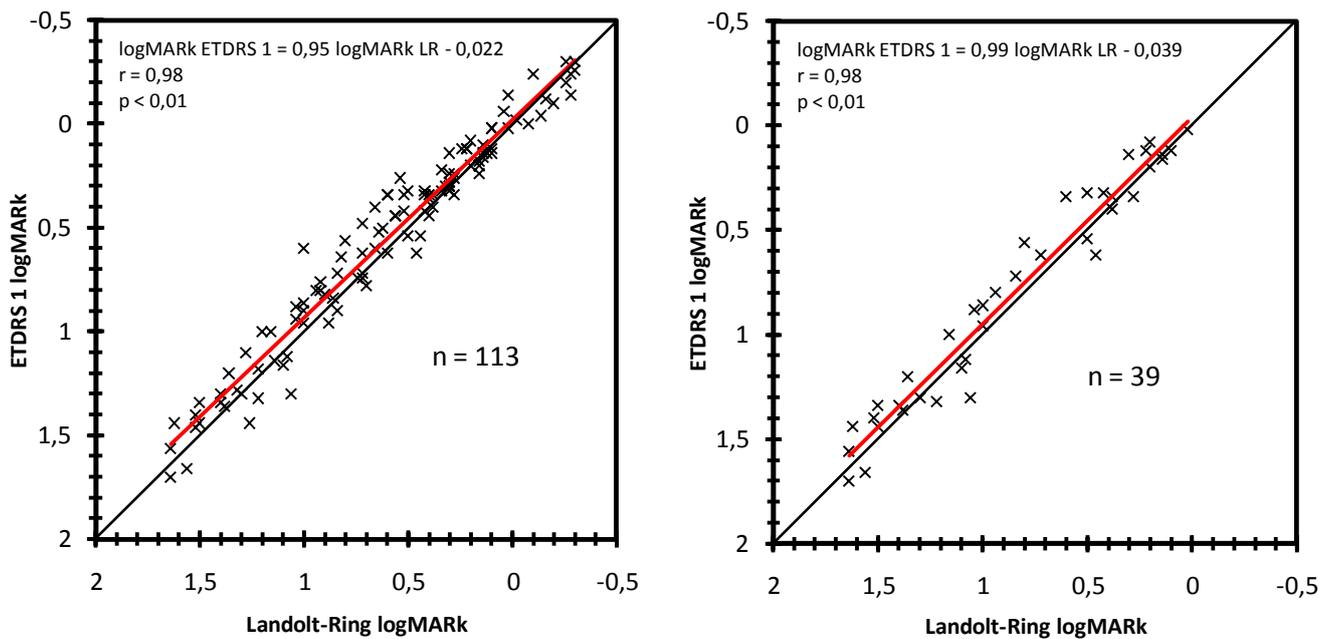
Diagnosegruppe	n	LR logMARK MW ± SD	ETDRS 1 logMARK MW ± SD	mittlere Diff. logMARK	mittlere Diff. Visus	p t-Test
Gesamtgruppe	113	0,60 ± 0,51	0,55 ± 0,50	0,049	0,49	< 0,01
Schielamblyopie	39	0,85 ± 0,52	0,80 ± 0,53	0,051	0,51	< 0,01
Katarakt	24	0,57 ± 0,39	0,51 ± 0,38	0,063	0,63	< 0,01
Netzhautkrankheiten	32	0,67 ± 0,38	0,61 ± 0,37	0,061	0,61	< 0,01
Refraktionsamblyopie	5	0,27 ± 0,10	0,23 ± 0,12	0,040	0,40	0,20
Normalsichtig	13	-0,17 ± 0,12	-0,17 ± 0,10	-0,006	-0,06	0,82

**Tabelle 6:** Mittelwerte (in logMARK-Werten) und Standardabweichungen der Messungen mit dem Landolt-Ring (LR) und den Sloan-Buchstaben (ETDRS 1) für alle Augen unterteilt in 4 Sehschärfebereiche, mittlere Differenzen der Messwerte beider Sehzeichen (in logMARK und in Visusstufen), sowie p-Werte des t-Tests für nicht verbundene Stichproben

Visusbereich in logMARK	n	LR logMARK MW ± SD	ETDRS 1 logMARK MW ± SD	mittlere Diff. logMARK	mittlere Diff. Visus	p t-Test
logMARK < 0	12	-0,20 ± 0,10	-0,16 ± 0,11	-0,035	-0,35	-
logMARK 0 - 0,49	41	0,25 ± 0,13	0,23 ± 0,15	0,025	0,25	0,01
logMARK 0,5 - 1,0	34	0,74 ± 0,16	0,63 ± 0,20	0,113	1,13	< 0,01
logMARK > 1,0	26	1,33 ± 0,19	1,28 ± 0,21	0,042	0,42	0,04

**Tabelle 7:** Mittelwerte (in logMARK-Werten) und Standardabweichungen der Messungen mit dem Landolt-Ring (LR) und den Sloan-Buchstaben (ETDRS 1) für die Gruppe der schielamblyopen Augen unterteilt in 4 Sehschärfebereiche, mittlere Differenzen der Messwerte beider Sehzeichen (in logMARK und in Visusstufen), sowie p-Werte des t-Tests für nicht verbundene Stichproben

Visusbereich in logMARK	n	LR logMARK MW ± SD	ETDRS 1 logMARK MW ± SD	mittlere Diff. logMARK	mittlere Diff. Visus	p t-Test
logMARK < 0	-	-	-	-	-	-
logMARK 0 - 0,49	13	0,25 ± 0,13	0,23 ± 0,16	0,019	0,19	0,11
logMARK 0,5 - 1,0	9	0,77 ± 0,20	0,64 ± 0,22	0,131	1,31	< 0,01
logMARK > 1,0	17	1,36 ± 0,21	1,32 ± 0,21	0,033	0,33	0,09



**Abbildung 10:** ETDRS 1-Sehschärfe doppelt logarithmisch aufgetragen gegen die Landolt-Ring-Sehschärfe, links für alle (n=113) und rechts für die schielamblyopen Augen (n=39). Die lineare Regressionsanalyse zeigt für die Gesamtgruppe im unteren Visusbereich eine geringere Reduktion der ETDRS 1-Sehschärfe. Bei den schielamblyopen Augen liegt die ETDRS 1-Sehschärfe im gesamten Visusbereich geringfügig über der Landolt-Ring-Sehschärfe. Rot eingezeichnet ist die Regressionsgerade. Mehrfach vorkommende Wertepaare sind nicht gesondert gekennzeichnet. Der Korrelationskoeffizient von 0,98 beschreibt die hohe Korrelation zwischen den beiden Sehschärfewerten.

### 3.3 E-Haken vs. ETDRS 1

In der Gesamtgruppe zeigt sich eine sehr hohe Korrelation zwischen der E-Haken-Sehschärfe und der Buchstaben-Sehschärfe (Abbildung 11 links). Man erkennt eine fast ideale Übereinstimmung der Messwerte beider Sehzeichen im gesamten Visusbereich. Die geringe Abweichung kommt in der geringen Differenz der Mittelwerte zum Ausdruck, die in Tabelle 8 dargestellt ist und in der Gesamtgruppe nur 0,05 dekadisch logarithmische Visusstufen beträgt. Der t-Test für verbundene Stichproben ergab weder für die Gesamtgruppe noch für die 5 einzelnen Diagnosegruppen einen statistisch signifikanten Unterschied der Sehschärfemittelwerte für beide Sehzeichen. Bei der Auswertung in den 4 Sehschärfebereichen ergab sich für keinen der 3 unteren Sehschärfebereiche ein statistisch signifikanter Unterschied der mittleren Differenzen gegenüber der mittleren Differenz im oberen Sehschärfebereich (Tabelle 9).

Die gesonderte Auswertung der schielamblyopen Augen (n=39) ist in Tabelle 10 und in Abbildung 11 rechts dargestellt. Auch hier ist eine fast ideale Übereinstimmung der Messwerte von E-Haken und Sloan-Buchstaben über dem gesamten Visusbereich zu erkennen. Für keinen der 3 unteren Sehschärfebereiche ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied der mittleren Differenzen gegenüber der mittleren Differenz im oberen Sehschärfebereich (Tabelle 10).

**Tabelle 8:** Mittelwerte (in logMARK-Werten) und Standardabweichungen der Messungen mit dem E-Haken (EH) und den Sloan-Buchstaben (ETDRS 1) für alle Augen, mittlere Differenzen der Sehschärfewerte beider Sehzeichen (in logMARK- und dekadisch logarithmischen Visuswerten), sowie p-Werte des t-Tests für verbundene Stichproben

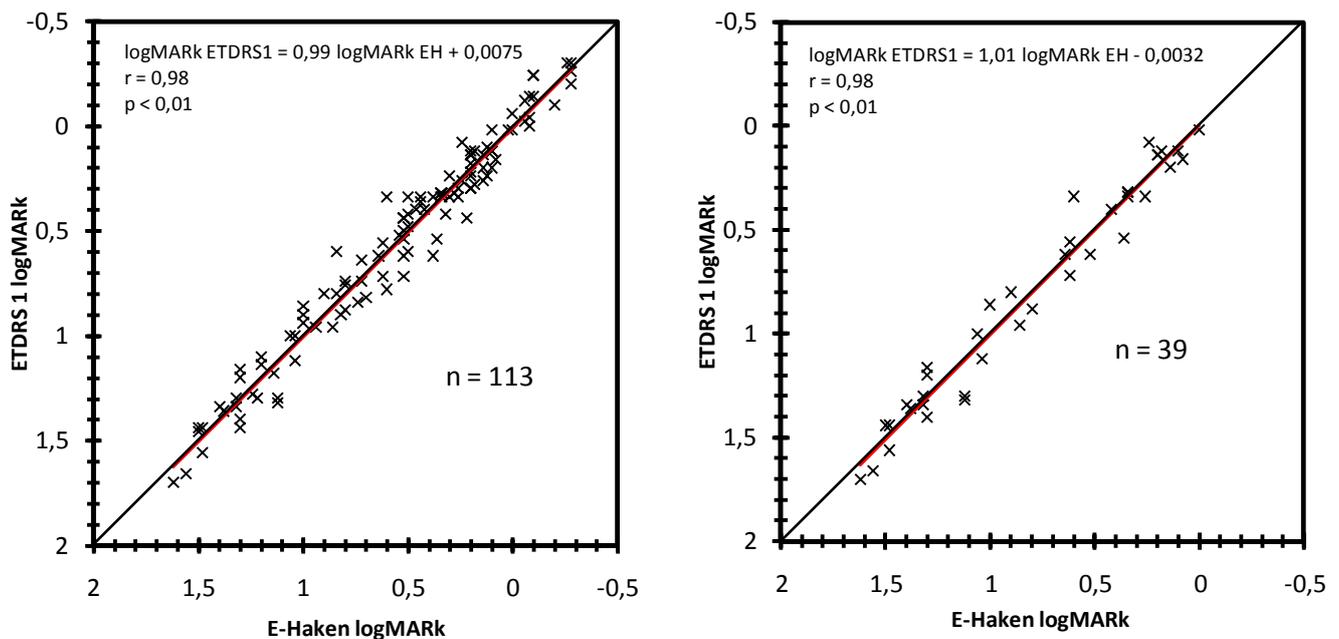
Diagnosegruppe	n	EH logMARK	ETDRS 1 logMARK	mittlere Diff.	mittlere Diff.	p
		MW ± SD	MW ± SD	logMARK	Visus	t-Test
Gesamtgruppe	113	0,54 ± 0,49	0,55 ± 0,50	-0,005	-0,05	0,55
Schielamblyopie	39	0,80 ± 0,51	0,80 ± 0,53	-0,005	-0,05	0,77
Katarakt	24	0,49 ± 0,40	0,51 ± 0,38	-0,014	-0,14	0,42
Netzhautkrankheiten	32	0,61 ± 0,36	0,61 ± 0,37	-0,006	-0,06	0,76
Refraktionsamblyopie	5	0,19 ± 0,06	0,23 ± 0,12	-0,036	-0,36	0,34
Normalsichtig	13	-0,14 ± 0,10	-0,17 ± 0,10	0,022	0,22	0,32

**Tabelle 9:** Mittelwerte (in logMARK-Werten) und Standardabweichungen der Messungen mit dem E-Haken (EH) und den Sloan-Buchstaben (ETDRS 1) für alle Augen unterteilt in 4 Sehschärfebereiche, mittlere Differenzen der Messwerte beider Sehzeichen (in logMARK und in Visusstufen), sowie p-Werte des t-Tests für nicht verbundene Stichproben

Visusbereich in logMARK	n	EH logMARK	ETDRS 1 logMARK	mittlere Diff.	mittlere Diff.	p
		MW ± SD	MW ± SD	logMARK	Visus	t-Test
logMARK < 0	13	-0,15 ± 0,10	-0,16 ± 0,10	0,011	0,11	-
logMARK 0 - 0,49	44	0,23 ± 0,12	0,24 ± 0,14	-0,018	-0,18	0,29
logMARK 0,5 - 1,0	32	0,69 ± 0,17	0,68 ± 0,19	0,014	0,14	0,93
logMARK > 1,0	24	1,30 ± 0,17	1,31 ± 0,18	-0,017	-0,17	0,37

**Tabelle 10:** Mittelwerte (in logMARk-Werten) und Standardabweichungen der Messungen mit dem E-Haken (EH) und den Sloan-Buchstaben (ETDRS 1) für die schielamblyopen Augen, unterteilt in 4 Sehschärfenbereiche, mittlere Differenzen der Messwerte beider Sehzeichen (in logMARk und in Visusstufen), sowie p-Werte des t-Tests für nicht verbundene Stichproben

Visusbereich in logMARk	n	EH logMARk MW ± SD	ETDRS1 logMARk MW ± SD	mittlere Diff. logMARk	mittlere Diff. Visus	p t-Test
logMARk < 0	-	-	-	-	-	-
logMARk 0 - 0,49	14	0,23 ± 0,12	0,23 ± 0,15	-0,003	-0,03	0,66
logMARk 0,5 - 1,0	9	0,73 ± 0,16	0,71 ± 0,19	0,022	0,22	0,80
logMARk > 1,0	16	1,33 ± 0,18	1,35 ± 0,19	-0,021	-0,21	0,35



**Abbildung 11:** ETDRS 1-Sehschärfe doppelt logarithmisch aufgetragen gegen die E-Haken-Sehschärfe links für alle (n=113) und rechts für die schielamblyopen Augen (n= 39). Die lineare Regressionsanalyse zeigt sowohl für alle als auch für die schielamblyopen Augen eine hohe Übereinstimmung der Messwerte beider Sehzeichen über dem gesamten Visusbereich. Rot eingezeichnet ist die Regressionsgerade. Mehrfach vorkommende Wertepaare sind nicht gesondert gekennzeichnet.

### 3.4 ETDRS 1 vs. ETDRS 2 vs. ETDRS R

Es ergaben sich sehr hohe Korrelationen zwischen den Messwerten der 3 ETDRS-Tafeln. Die in der Tabelle 11 dargestellten Messwerte mit den 3 Tafeln sind nahezu gleich. In der Abbildung 12 sind die Messwerte jeweils doppelt logarithmisch gegeneinander aufgetragen. Bei der in Tabelle 12a-c dargestellten Auswertung in den 4 Sehschärfebereichen ergab sich im t-Test für nicht verbundene Stichproben bei keinem Vergleich der 3 ETDRS-Tafeln gegeneinander ein signifikanter Unterschied der mittleren Differenzbeträge der Messwerte in den 3 unteren Sehschärfebereichen gegenüber dem mittleren Differenzbetrag im oberen Sehschärfebereich.

Die Abbildung 13 zeigt für den Vergleich von jeweils zwei ETDRS-Tafeln die Differenzbeträge der Messwerte beider ETDRS-Tafeln aufgetragen gegen die Messwerte einer ETDRS-Tafel und somit die Differenzbeträge der Messwerte über dem gesamten Sehschärfebereich. Bei beiden Vergleichen der ETDRS-Tafeln gegeneinander ist im unteren Visusbereich nur eine geringfügige Zunahme der Differenzbeträge zu erkennen. Eine signifikante Zunahme der Messungenauigkeit im unteren Sehschärfebereich lässt sich also nicht feststellen.

**Tabelle 11:** Mittelwerte (in logMARk-Werten) und Standardabweichungen für die Messung mit den Tafeln ETDRS 1, ETDRS 2 und ETDRS R für alle untersuchten Augen

Diagnose	n	ETDRS 1 logMARk MW ± SD	ETDRS 2 logMARk MW ± SD	ETDRS R logMARk MW ± SD
Gesamtgruppe	113	0,55 ± 0,50	0,57 ± 0,50	0,57 ± 0,49
Schielamblyopie	39	0,80 ± 0,53	0,80 ± 0,50	0,80 ± 0,51
Katarakt	24	0,51 ± 0,38	0,57 ± 0,39	0,54 ± 0,39
Netzhautkrankheiten	32	0,61 ± 0,37	0,63 ± 0,40	0,63 ± 0,35
Refraktionsamblyopie	5	0,23 ± 0,11	0,24 ± 0,14	0,24 ± 0,12
Normalsichtig	13	-0,17 ± 0,10	-0,14 ± 0,11	-0,13 ± 0,08

**Tabellen 12a-c:** Mittelwerte (in logMARk-Werten) und Standardabweichungen der Messungen mit den Tafeln ETDRS 1, ETDRS 2 und ETDRS R für alle untersuchten Gruppen, unterteilt in 4 Sehschärfebereiche, mittlere Differenzbeträge zwischen beiden Messungen und deren Standardabweichungen (in Visusstufen), sowie p-Werte des t-Tests für nicht verbundene Stichproben a) ETDRS 1 versus ETDRS 2

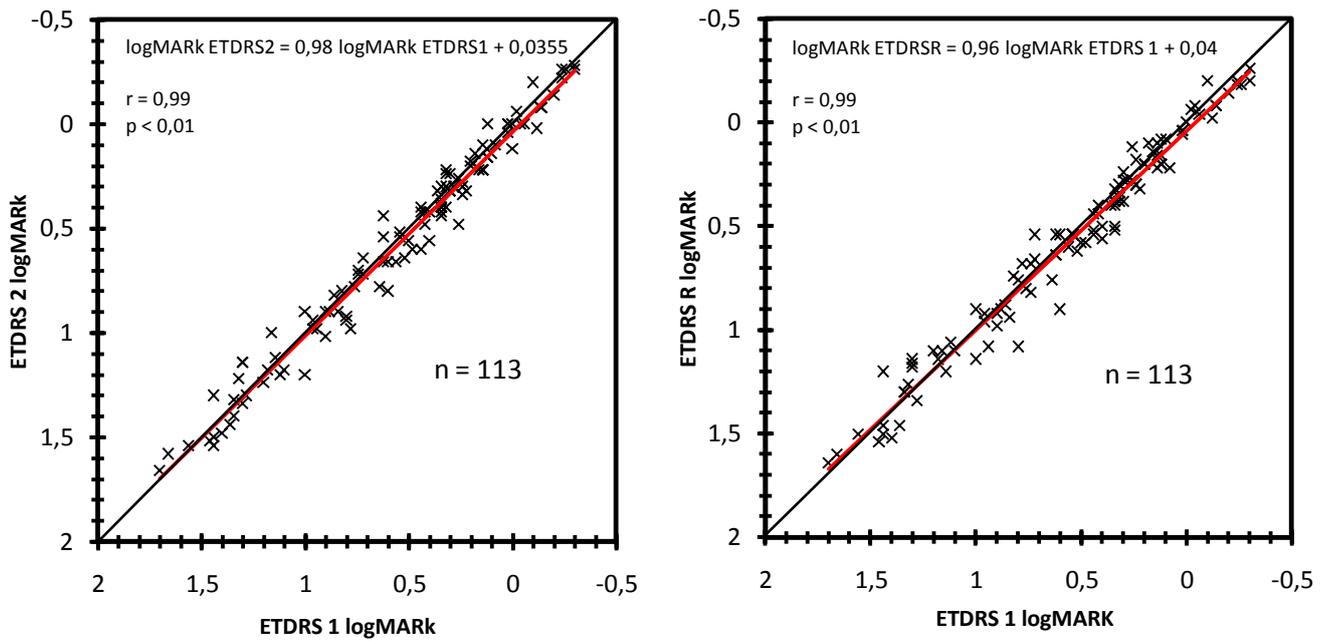
Visusbereich in logMARk	n	ETDRS1 logMARk MW ± SD	ETDRS2 logMARk MW ± SD	Betrag mittl. Diff. logMARk	Betrag mittl. Diff. Visus	SD mittl. Diff.	p t-Test
logMARk < 0	13	-0,17 ± 0,10	-0,14 ± 0,11	0,051	0,51	0,37	-
logMARk 0 - 0,49	48	0,25 ± 0,13	0,28 ± 0,15	0,055	0,55	0,47	0,74
logMARk 0,5 - 1,0	30	0,75 ± 0,15	0,78 ± 0,18	0,075	0,75	0,64	0,20
logMARk > 1,0	22	1,34 ± 0,16	1,33 ± 0,18	0,073	0,73	0,48	0,17

b) ETDRS 1 versus ETDRS R

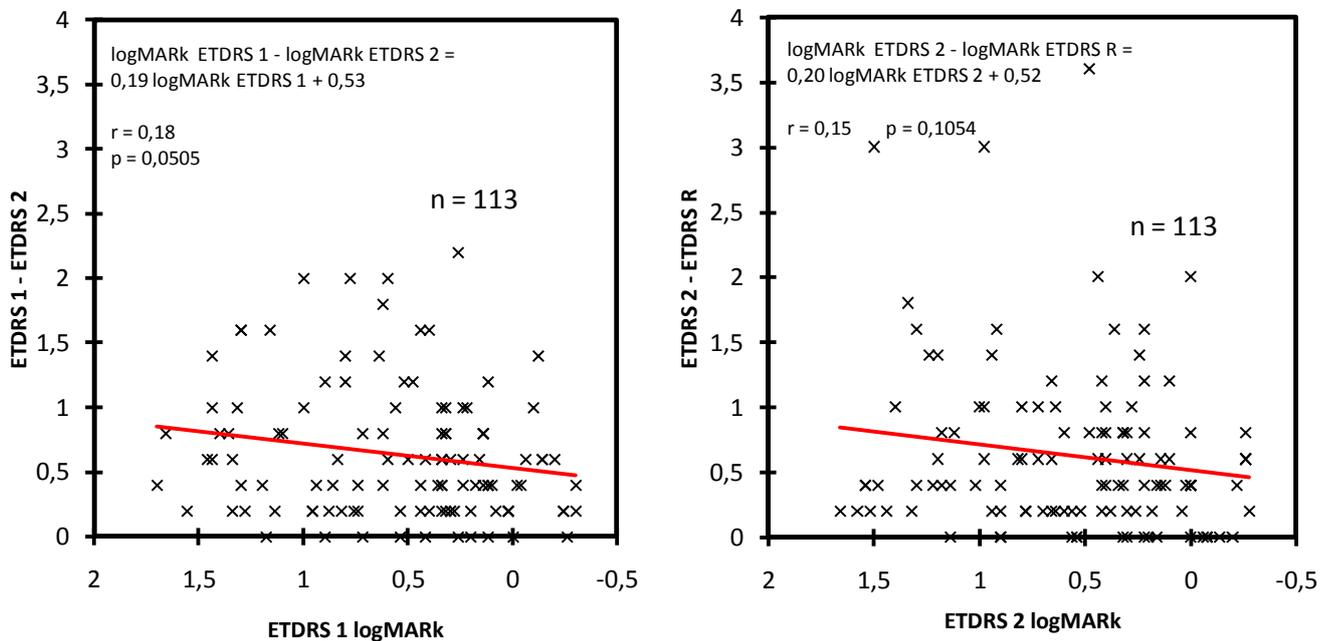
Visusbereich in logMARk	n	ETDRS1 logMARk MW ± SD	ETDRSR logMARk MW ± SD	Betrag mittl. Diff. logMARk	Betrag mittl. Diff. Visus	SD mittl. Diff.	p t-Test
logMARk < 0	13	-0,17 ± 0,10	-0,13 ± 0,08	0,062	0,62	0,26	-
logMARk 0 - 0,49	48	0,25 ± 0,13	0,29 ± 0,15	0,055	0,55	0,45	0,64
logMARk 0,5 - 1,0	30	0,75 ± 0,15	0,78 ± 0,18	0,080	0,80	0,73	0,38
logMARk > 1,0	22	1,34 ± 0,16	1,31 ± 0,19	0,079	0,79	0,53	0,27

c) ETDRS 2 versus ETDRS R

Visusbereich in logMARk	n	ETDRS2 logMARk MW ± SD	ETDRSR logMARk MW ± SD	Betrag mittl. Diff. logMARk	Betrag mittl. Diff. Visus	SD mittl. Diff.	p t-Test
logMARk < 0	10	-0,18 ± 0,09	-0,16 ± 0,07	0,026	0,26	0,31	-
logMARk 0 - 0,49	49	0,25 ± 0,15	0,26 ± 0,17	0,069	0,69	0,65	0,05
logMARk 0,5 - 1,0	31	0,76 ± 0,16	0,75 ± 0,18	0,059	0,59	0,63	0,12
logMARk > 1,0	23	1,33 ± 0,18	1,30 ± 0,19	0,072	0,72	0,70	0,06



**Abbildung 12:** Messwerte der ETDRS-Tafeln doppelt logarithmisch aufgetragen für alle Augen (n=113). Links ETDRS 2 vs. ETDRS 1 und rechts ETDRS R vs. ETDRS 1. Die Regressionsanalyse zeigt eine hohe Übereinstimmung der Sehschärfewerte über dem gesamten Visusbereich. Rot eingezeichnet ist die Regressionsgerade. Mehrfach vorkommende Wertepaare sind nicht gesondert gekennzeichnet.



**Abbildung 13:** Differenzbeträge der Messwerte mit 2 ETDRS-Tafeln, links Differenz ETDRS 1 – ETDRS 2 und rechts Differenz ETDRS 2 – ETDRS R, jeweils aufgetragen gegen ETDRS 1 bzw. ETDRS 2 für alle Augen (n=113). Es fällt bei beiden Vergleichen nur eine geringfügige Zunahme der Differenz mit abnehmendem Visus auf. Die Differenzen sind auch im unteren Visusbereich geringer als 1 dekadisch logarithmische Visusstufe. Rot eingezeichnet ist die Regressionsgerade.

## 4. Diskussion

### 4.1 Vergleiche der Sehschärfe für Landolt-Ring, E-Haken und Sloan-Buchstaben

#### 4.1.1 Landolt-Ring vs. E-Haken

Kleinkinder lesen ETDRS-Symbole in der Regel noch nicht vor. Im Hinblick auf die Amblyopie-Früherkennung ist daher der Vergleich der Landolt-Ring- mit der E-Haken-Sehschärfe bedeutsam. Die Diagnose der Amblyopie muss im frühen Kindesalter erfolgen, da sie nur im Kindesalter, je früher umso erfolgreicher und mit umso geringerem Aufwand, erfolgreich behandelt werden kann. Mit dem Landolt-Ring als Optotype kann eine Schielamblyopie sensitiv entdeckt werden. Dazu wird der Landolt-Ring im C-Test nach Haase und Hohmann gezielt eingesetzt, wobei die Sensitivität des C-Tests für Amblyopie durch die mit 17,2' bzw. 2,6' Sehzeichenabstand enge bzw. sehr enge Anordnung der Landolt-Ringe noch erheblich gesteigert wird [Haase 1995, Haase und Hohmann 1982, Hohmann 1987], denn dadurch kommen die für die Schielamblyopie typischen Trennschwierigkeiten zum Tragen. Die Mitarbeit bei der Sehschärfebestimmung mit dem Landolt-Ring kann jedoch im Kindesalter Probleme bereiten, weshalb in diesem Altersbereich gerne der E-Haken oder, nach ausgiebigen vergleichenden Studien, in jüngerer Zeit vorzugsweise Lea-Symbole eingesetzt werden, die bei Kindern eine bessere Mitarbeit liefern [Becker et al. 2002, Gräf et al. 2000, Haase und Gräf 2004].

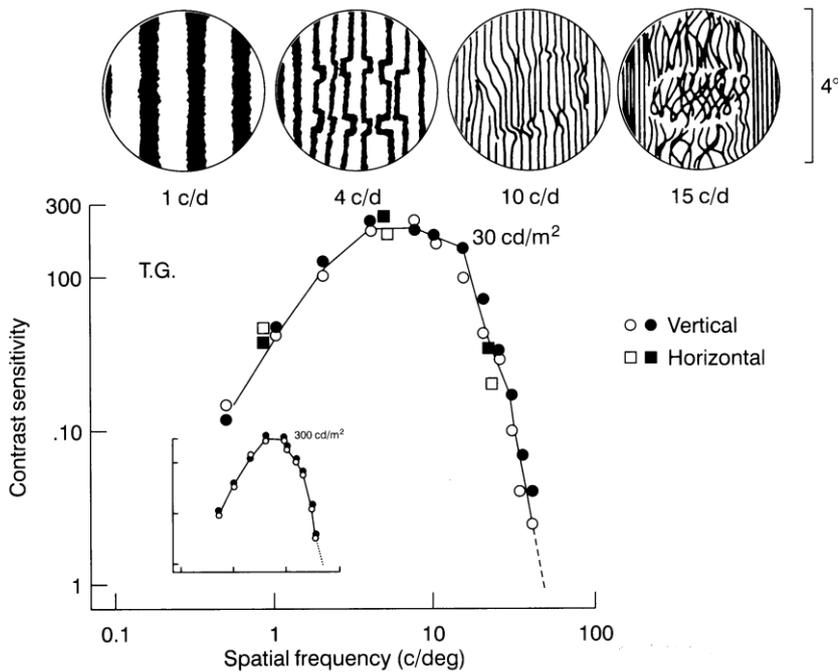
Der E-Haken weist jedoch mit seinen 3 schwarzen Balken und 2 Zwischenräumen eine Periodizität und damit Eigenschaften eines Gittermusters auf, was bei der Amblyopiediagnostik problematisch sein könnte, denn die Sehschärfe für Gittermuster kann, besonders bei Schielamblyopie, stark von der Landolt-Ring- und der Erkennungssehschärfe abweichen [Katz und Siretaenu 1989, Katz und Siretaenu 1990, Mayer et al. 1984, Mayer 1986]. Mit dem Teller-Acuity-Card-Test, einer Preferential-Looking-Methode mit Gittermustern, wurde festgestellt, dass die Gittersehschärfe bis zum Zehnfachen der Landolt-Ring-Sehschärfe betragen kann [Katz und Siretaenu 1989, Katz und Siretaenu 1990]. Die Sehschärfebestimmung mit Gittermustern ist daher für eine effektive Amblyopiediagnostik kaum geeignet. Nur eine schwere Amblyopie wird auch mit dem Teller-Acuity-Card-Test relativ sicher entdeckt. Die meisten Patienten mit Amblyopie werden nicht entdeckt, wenn man die Kriterien für den Test so wählt, dass die Rate falsch positiver Befunde akzeptabel gering bliebe. Bei strengeren Kriterien wäre die Rate falsch positiver Befunde inakzeptabel [Katz und Siretaenu

1989, Katz und Siretaenu 1990]. Dasselbe gilt für den Cardiff-Test, bei dem Kinderbilder aus isoluminanten Linien verwendet werden [Gräf et al. 1996].

Es wurden verschiedene Sehzeichen gegenüber dem Normsehzeichen Landolt-Ring untersucht und Empfehlungen für den Anschluss von Optotypen an den Landolt-Ring publiziert, welche in die Vorschriften der noch geltenden DIN EN ISO 8597 übernommen wurden [Grimm et al. 1994]. Nach diesen Empfehlungen sollte die Höhe des E-Hakens um 15% gegenüber dem Durchmesser des Landolt-Rings der entsprechenden Sehschärfestufe verkleinert werden, um äquivalente Messwerte zu erhalten.

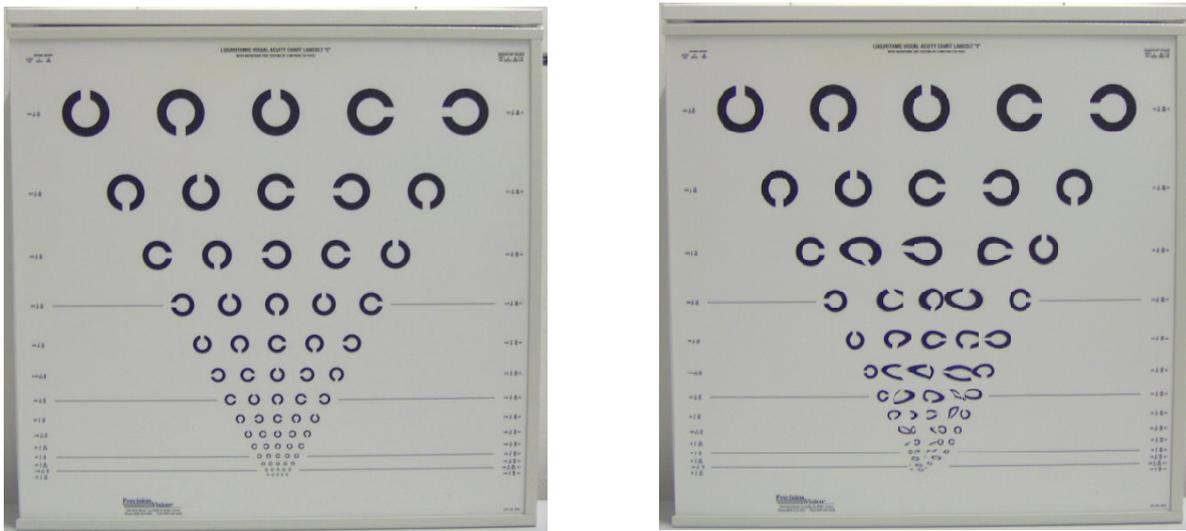
Die Ergebnisse unserer Arbeit zeigten im unteren Visusbereich eine geringfügig bessere Erkennbarkeit des E-Hakens gegenüber dem Landolt-Ring. Die mittlere Differenz der Messwerte war dort (bei einem Visus von weniger als 0,1) statistisch signifikant größer als im Bereich normaler Sehschärfe. Sie lag jedoch mit einer maximalen mittleren Differenz von nur 1,04 dekadisch logarithmischen Visusstufen in einer Dimension, die für die klinische Sehschärfebestimmung in der Regel irrelevant ist. Im oberen Visusbereich erwiesen sich beide Sehzeichen als annähernd gleich gut erkennbar. Auch die maximale mittlere Differenz der Messwerte von Landolt-Ring und E-Haken in der Diagnosegruppe Schielamblyopie ist mit 1,07 dekadisch logarithmischen Stufen nicht nennenswert größer als in der Gesamtgruppe. Eine starke Abweichung, wie zwischen der Gittersehschärfe und der Landolt-Ring-Sehschärfe, ließ sich anhand unserer Ergebnisse für die E-Haken-Sehschärfe gegenüber der Landolt-Ring-Sehschärfe nicht feststellen. Eine wesentliche Entkopplung der Sehschärfewerte für beide Sehzeichen bei geringem Visus zeigt sich ebenfalls nicht. Die etwas bessere Erkennbarkeit des E-Hakens im unteren Visusbereich ist allerdings zu berücksichtigen, wenn Sehschärfewerte verglichen werden, die mit unterschiedlichen Sehzeichen erhoben werden. Auch im Rahmen wissenschaftlicher Untersuchungen ist diese systematische Differenz zu berücksichtigen.

Die bei der Auflösung von Gittermustern wirksamen Summationseffekte lassen sich gut anhand der Abbildung 14 veranschaulichen.



**Abbildung 14.** Wahrnehmung von Gittermustern unterschiedlicher Ortsfrequenz bei Schielamblyopie (nach Hess 1991).

Bei Schielamblyopie treten bei der Betrachtung eines Objektes sowohl räumliche als auch zeitliche Verzerrungen in Form von Zittern und Bewegungen auf, welche die Erkennbarkeit des Objektes erschweren (Bäumler und Sireteanu 2006, Fronius et al. 2000, Fronius et al. 2004, Fronius und Sireteanu 1989, Fronius und Sireteanu 1992, Iftime et al. 2007, Lagrèze und Sireteanu 1991, Lagrèze und Sireteanu 1992, Sireteanu et al. 1993, Sireteanu et al. 2007, Sireteanu et al. 2008, Thiel und Sireteanu 2008). Dabei ist die Erkennbarkeit kleiner Objekte, mithin die Identifikation der Lücke im Landolt-Ring, stärker beeinträchtigt als die Identifikation eines Gittermusters derselben Ortsfrequenz und dessen Richtung, wenngleich die Abbildung des Musters nur „unsauber“ ist, wie die Untersuchungen von Hess zeigen. In der Abbildung 14 ist die Orientierung eines des Gittermusters der hohen Ortsfrequenz trotz der Verzerrungen noch zu erkennen. Stellt man sich jedoch einen Landolt-Ring derselben Liniendicke vor, so wird verständlich, warum dessen Erkennbarkeit stärker beeinträchtigt ist als die eines Gittermusters und warum diese Beeinträchtigung für eng benachbart angeordnete Sehzeichen besonders stark ist. Die Abbildung 15 zeigt rechts einen Versuch, dies darzustellen.



**Abbildung 15.** Links die Wahrnehmung des Landolt-Rings bei normalsichtigen Personen, rechts ab 3. Zeile von oben Computersimulation als Beispiel für die verzerrte Wahrnehmung bei Schielamblyopie.

Die gegenüber Gittermustern weitaus geringere systematische Messwertdifferenz der E-Haken-Sehschärfe zur Landolt-Ring-Sehschärfe lässt sich durch die Größe und die Struktur des E-Hakens erklären. Er besteht nur aus 3 parallelen schwarzen Balken und den 2 weißen Zwischenräumen, die durch einen Längsbalken verbunden sind. Das entspricht 2,5 Schwarz-Weiß-Zyklen und stellt damit nur ein sehr kleines Gitter dar. Zudem ist die Fläche des E-Hakens wesentlich kleiner als die der herkömmlich verwendeten Gittermuster. Die in den Untersuchungen von Mayer, Katz und Siretaenu verwendeten Gittermuster bestanden mindestens aus 8 Schwarz-Weiß-Zyklen [Katz und Siretaenu 1990, Mayer 1986]. Damit waren schon die groben Muster wesentlich größer als der E-Haken. Die geringe Anzahl der Schwarz-Weiß-Zyklen und die kleinere Fläche des E-Hakens relativieren dessen Eigenschaft als Gittermuster und lassen, wie die Ergebnisse unserer Arbeit zeigen, den direkten Vergleich mit herkömmlichen Gittermustern nicht zu.

Ein zweiter wichtiger Einflussfaktor ist die Anordnung der Sehproben. Die Gittermuster, welche im Teller-Acuity-Card-Test dargeboten werden, befinden sich einzeln auf homogenem Hintergrund in verschiedener Position auf einer Testkarte. Der in unserer Arbeit verwendete E-Haken wurde auf einer Sehprobentafel nach dem Entwurf von Bailey und Lovie als Reihen-Optotype mit je 5 Sehzeichen pro Visusstufe dargeboten, wobei der Abstand der Sehzeichen voneinander der Breite der Sehzeichen proportional ist [Bailey und Lovie 1976]. Der Landolt-Ring wurde in unserer Untersuchung auf einer identisch gestalteten Sehtafel dargeboten. Bei dieser Visusbestimmung mittels Reihenoptotypen kommt es insbesondere bei der Schielamblyopie zu Kontureninteraktionen. Diese erschweren die Erkennbarkeit der Sehzeichen, weshalb es sinnvoll ist, zur Suche nach Amblyopie Tests mit

entsprechend eng benachbarten Sehzeichen zu verwenden [Haase und Hohmann 1982, Hohmann und Haase 1993, Katz und Siretaenu 1989]. Da in unserer Arbeit der Landolt-Ring und der E-Haken auf identisch gestalteten Sehtafeln dargeboten wurden ist davon auszugehen, dass das Phänomen der Kontureninteraktion bei beiden Sehzeichen denselben Einfluss hatte. Dadurch könnte es zu einer Angleichung der Messwerte kommen gegenüber einem eventuell größeren systematischen Unterschied bei Verwendung von Einzel-Optotypen. Da diese Möglichkeit nicht auszuschließen ist, lässt sich aus unseren Untersuchungen keine Empfehlung zur Verwendung von Einzel-E-Haken im Rahmen der Amblyopiefrüherkennung ableiten. Generell sollten jedoch, unabhängig von den verwendeten Sehzeichen (Landolt-Ring, E-Haken, Lea-Symbole), sogenannte „gecrowdete“ Tests mit eng benachbarten Optotypen zur Amblyopiediagnostik eingesetzt werden [Becker et al. 2002, Gräf et al. 2000, Haase und Hohmann 1982]. Die etwas bessere Erkennbarkeit des E-Hakens im unteren Visusbereich könnte auch daher rühren, dass dieser einen etwas größeren Helligkeitsunterschied zwischen der offenen und der gegenüberliegenden Seite bietet als der Landolt-Ring.

Die maximale mittlere Differenz zwischen Landolt-Ring-Sehschärfe und E-Haken-Sehschärfe betrug allerdings nur 1,07 dekadisch logarithmische Visusstufen und zwar in der Diagnosegruppe Schielamblyopie. Eine Differenz von nur 1 Stufe ist für die klinische Visusbestimmung wenig relevant. Die Tatsache, dass diese systematische Differenz nur bei geringer Sehschärfe hervortrat, stellt die Notwendigkeit einer Größenanpassung des E-Hakens, wie sie von Grimm und Mitarbeitern (1994) vorgeschlagen wurde, in Frage. Die für unsere Untersuchungen verwendeten Optotypen Landolt-Ring und E-Haken dargeboten auf den Sehprobentafeln nach Bailey und Lovie sind gleich groß, d.h. der Durchmesser des Landolt-Ringes entspricht der Kantenlänge des E-Hakens. Eine Größenanpassung des E-Hakens gegenüber dem Landolt-Ring im unteren Sehschärfebereich könnte die vorhandenen systematischen Messwertdifferenzen möglicherweise vollständig eliminieren. Die Anpassung müsste dann jedoch mit abnehmendem Visusniveau progressiv erfolgen, was für die tägliche klinische Sehschärfebestimmung nicht praktikabel ist. Würde dann beispielsweise die Untersuchungsentfernung geändert, um bei geringer Sehschärfe noch genügend große Sehzeichen anbieten zu können, entstünde schon Verwirrung.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass nach den Ergebnissen unserer Arbeit der Landolt-Ring und der E-Haken sehr ähnliche Messwerte liefern, auch bei Schielamblyopie. Eine etwas bessere Erkennbarkeit des E-Hakens im unteren Visusbereich ist zu berücksichtigen. Die in der Literatur beschriebene starke Überschätzung der Sehschärfe mit Gittermusterreizen bei Amblyopie ist bei der Visusbestimmung mit dem in Reihe angeordneten E-Haken nicht zu befürchten.

#### 4.1.2 Landolt-Ring vs. ETDRS 1

Die mit Sloan-Buchstaben gemessene Sehschärfe wich ebenfalls nur gering von der Landolt-Ring-Sehschärfe ab. Für die Gesamtgruppe, die schielamblyopen Augen und die Diagnosegruppen Katarakt und Netzhauterkrankung war diese Abweichung statistisch signifikant, jedoch betrug die Differenz in keiner Gruppe mehr als eine dekadisch logarithmische Visusstufe. Wie für den E-Haken stellte sich auch für die Sloan-Buchstaben eine gegenüber dem Landolt-Ring bessere Erkennbarkeit vor allem im unteren Sehschärfebereich heraus. Die maximalen mittleren Differenzen der Sehschärfewerte betragen in der Gesamtgruppe 1,13 und in der Diagnosegruppe Schielamblyopie 1,31 dekadisch logarithmische Visusstufen.

Die geringfügig bessere Erkennbarkeit der Sloan-Buchstaben im unteren Visusbereich ist beim Vergleich der Landolt-Ring-Sehschärfe mit Sehschärfewerten, die mit ETDRS-Tafeln ermittelt werden, zu berücksichtigen. Dies ist gerade deshalb im Rahmen der aktuellen klinischen Untersuchungen zur Wirkung von VEGF-Inhibitoren relevant, weil in den meisten rezenten, aber auch in vielen früheren Studien zur Behandlung der altersbedingten Makuladegeneration die Verwendung der ETDRS-Tafeln üblich und für Publikationen in bestimmten Zeitschriften gefordert ist. Letter-Counting mit ETDRS-Charts ist en vogue. Der Visus wird dabei nicht mehr dezimal oder, logarithmiert und invers, durch den logMAR angegeben. Die Angabe erfolgt durch die Zahl, mit den größten Buchstaben auf der ETDRS-Tafel beginnend, korrekt benannten Buchstaben bis zur letzten Zeile, in welcher noch mindestens 3 von 5 Buchstaben richtig benannt wurden. Wenn der Messvorgang auf dem Visusniveau 0,1 beginnt, dann entspricht beispielsweise der Wert „18 Buchstaben“ (zum Beispiel erreicht durch je 5 korrekte Antworten auf den Zeilen 0,1, 0,12, 0,16 und 3 korrekte Antworten auf der Zeile 0,2) der dezimalen Visusangabe 0,2 bzw. einem korrigierten Wert von etwas weniger als 0,2, entsprechend unserem delogarithmierten logMARK. Damit, das heißt, durch die Berücksichtigung falscher Antworten auch auf den „bestandenen“ Zeilen, kommen geringe Visusunterschiede besser zum Ausdruck als beim Vorgehen in Anlehnung an DIN EN ISO 8596, bei dem eine Zeile nur entweder als „bestanden“ oder „nicht bestanden“ gewertet wird („line by line“), abhängig davon, ob die Prüfperson entweder mehr oder weniger als die Hälfte der angebotenen Optotypen der Zeile richtig benannt hat. Umgerechnet in dezimale Sehschärfewerte ergeben sich, da die Fehler zu Buche schlagen, etwas geringere Werte als nach DIN EN ISO 8596.

Schon im Abschnitt 1.5.2 wurden Probleme bei der Sehschärfebestimmung mit Buchstaben genannt. Einerseits werden im klinischen Alltag, in der Augenarztpraxis, bei allen möglichen Sehtests und von Optikern gern Buchstaben verwendet, denn sie sind für den Patienten leicht zu benennen

und die Antwort ist vom Untersucher leicht zu kontrollieren. Andererseits sind Buchstaben als Sehzeichen schwieriger zu standardisieren als andere Sehzeichen wie z.B. der Landolt-Ring, denn sie unterscheiden sich in mehreren unterschiedlichen Details, welche ihre Erkennbarkeit beeinflussen. Die Identifikation der Lücke im Landolt-Ring entspricht eher einem reinen Auflösungsvermögen, Buchstaben fordern dagegen auch das visuelle Erkennungsvermögen. Unterschiedliche Buchstaben sind außerdem unterschiedlich leicht erkennbar und können, teils eher mehr, teils weniger miteinander verwechselt werden [Benda 1981, Hedin und Olsson 1984, McMonnies und Ho 1996, McMonnies und Ho 2000, Rassow et al. 1990, Reich und Bedell 2000]. Bei der Verwendung von mehr als 4 alternativen Buchstaben ist die Ratewahrscheinlichkeit geringer als 0,25. Sie kann aber wiederum durch Verwechslungsfehler und Lerneffekte beeinflusst werden [Arditi und Cagenello 1993, McMonnies 2001].

Es gibt eine ausreichend große Anzahl von Buchstaben-Optotypen, die sowohl untereinander als auch gegenüber dem Landolt-Ring annähernd äquivalent sind und sich somit für eine standardisierte Visusbestimmung eignen [Hedin und Olsson 1984, Schober 1952, Sloan et al. 1952]. Nach den Normen zur Visusbestimmung sind bestimmte Buchstaben für die standardisierte Visusbestimmung zugelassen [DIN EN ISO 8597, Beuth Verlag, 1996; NAS-NRC 1980]. Der „Anschluss“ der Buchstaben an den Landolt-Ring erfolgt nach einem bestimmten Verfahren nur im oberen Visusbereich. Dabei wird in aufwendigen Vergleichsmessungen die Größe der einzelnen Buchstaben so angepasst, dass sie denselben Messwert liefern wie ein Landolt-Ring der entsprechenden Sehschärfestufe. Abweichungen im unteren Visusbereich sind daher auch bei der Verwendung „angeschlossener“ Sehzeichen nicht ausgeschlossen und wurden beschrieben. Insbesondere bei Schielamblyopie kam es zu starken Abweichungen der Landolt-Ring-Sehschärfe von der mit Buchstaben gemessenen Erkennungsschärfe. Rassow und Wang berichteten beim Vergleich der Visusbestimmung mit dem Landolt-Ring und mit (nicht angeschlossenen) Großbuchstaben über individuell stark differierende Messwerte im unteren Visusbereich. Dabei erfolgte die Visusbestimmung mit den beiden Sehzeichensätzen an Personen mit einer künstlich herbeigeführten Visusminderung, Personen mit Schiel- und Deprivationsamblyopie sowie an normalsichtigen Personen [Rassow und Wang 1999]. Für Normalsichtige und Personen mit künstlich herbeigeführter Visusminderung ergaben sich mittlere Differenzen von 0,2-1,0 Stufen zwischen der Landolt-Ring- und der Buchstaben-Sehschärfe, was den in unserer Studie beobachteten Differenzen nahekommt. Die schielamblyopischen Personen (Visus 0,028-0,2) erkannten dagegen die Buchstaben deutlich besser als den Landolt-Ring der entsprechenden Größe mit einer mittleren Differenz von 2,8 dekadisch logarithmischen Stufen. Dies führte die Autoren zu der Schlussfolgerung, dass eine Größenanpassung der Buchstaben notwendig wäre. Diese müsste aber wiederum mit abnehmender Sehschärfestufe progressiv erfolgen und darü-

ber hinaus auch die Ursache der Visusminderung in irgendeiner Weise einbeziehen. Eine solche Anpassung wäre, wie bereits für E-Haken angeführt, völlig inpraktikabel. Nach den Resultaten unserer Studie erübrigt sich dieses Vorgehen für praktisch-klinische Zwecke, denn wir fanden mit den Sloan-Buchstaben in der beschriebenen Anordnung nur eine unwesentliche Abweichung der Messwerte von der Landolt-Ring-Sehschärfe. Die maximalen Differenzen zwischen Landolt-Ring- und Buchstaben-Sehschärfe betragen 1,13 Visusstufen für die Gesamtgruppe und 1,31 Visusstufen für die schielamblyopen Augen. Eine massive Überschätzung der Landolt-Ring-Sehschärfe ist also bei der Visusbestimmung nach ETDRS-Standard nicht zu befürchten. Die gegenüber der Studie von Rassow und Wang deutlich geringere Bias könnte teilweise daher rühren, dass in deren Studie Einzel-Optotypen, in unserer Arbeit dagegen Reihen-Sehzeichen zur Anwendung kamen. Dies könnte durch bei beiden Sehzeichensätze gleichermaßen störende Kontureninteraktion zu einer Angleichung der Messwerte im unteren Visusbereich führen. Allerdings war der Abstand zwischen den großen Sehzeichen in unserer Studie mit beispielsweise 50 Winkelminuten auf der Sehschärfestufe 0,1 bereits relativ groß. Sowohl das auf einem Monitor dargebotene C (in den unterschiedlichen Orientierungen) als auch die Druckbuchstaben eines Computerschriftsatzes unterschieden sich vom Landolt-Ring bzw. den Sloan-Buchstaben. Weiterhin untersuchten Rassow und Wang nur 10 schielamblyope Probanden. Ihre größeren Abweichungen können daher eher durch Zufall bzw. Patientenauswahl bedingt sein als bei den 39 schielamblyopen Personen unserer Studie. Dieser Vergleich zeigt ebenso wie der Vergleich der Sehzeichen Landolt-Ring und E-Haken im vorangehenden Abschnitt, dass die Methodik der Visusbestimmung einen erheblichen Einfluss auf die Vergleichbarkeit von Ergebnissen hat. Auch scheinbar geringfügige methodische Unterschiede müssen berücksichtigt werden. Unsere Ergebnisse sind daher nicht uneingeschränkt auf die Visusbestimmung mit Einzel-Optotypen übertragbar. Eine stärkere Abhängigkeit der Messwerte von den verwendeten Optotypen ist bei Darbietung als Einzel-Optotypen nicht auszuschließen. Die Darbietung in Reihe hat Vorteile gegenüber der Einzeldarbietung im Hinblick auf die Amblyopie-Detektion und die Anordnung in Reihe entspricht eher den alltagsrelevanten Sehanforderungen. Sie ist daher für den Gebrauch in Klinik und Praxis empfehlenswert.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die ETDRS-Tafeln eine valide Visusbestimmung für klinische und wissenschaftliche Zwecke erlauben. Die ETDRS-Tafeln und die Landolt-Ring-Tafel liefern bei gleicher Anordnung der Sehzeichen vergleichbare Messwerte, eine etwas bessere Erkennbarkeit der Sloan-Buchstaben im unteren „Low-Vision“-Bereich muss allerdings berücksichtigt werden. Eine bei Schielamblyopie stark zunehmende Abweichung zwischen Landolt-Ring-Sehschärfe und Buchstaben-Sehschärfe konnten wir nicht nachweisen.

### 4.1.3 E-Haken vs. ETDRS 1

Es ergaben sich keine wesentlichen systematischen Differenzen der Messwerte beider Sehzeichen. Über dem gesamten Visusbereich bestand weder in der Gesamtgruppe noch in den einzelnen Diagnosegruppen ein statistisch signifikanter Unterschied der Visus-Mittelwerte. Auch im unteren Visusbereich stimmen die Messwerte von E-Haken und Sloan-Buchstaben gut überein. Diese Ergebnisse erlauben die Aussage, dass der E-Haken und die 10 Sloan-Buchstaben bei gleicher Methodik der Visusbestimmung äquivalent sind.

Sowohl der E-Haken als auch die Sloan-Buchstaben werden häufig im klinischen Alltag und in wissenschaftlichen Studien zur Visusbestimmung eingesetzt. Die Sehschärfestimmung mit dem E-Haken wird auch gern bei Kindern durchgeführt. Sie brauchen nicht verbal zu antworten und können die Orientierung des Sehzeichens mit einer Gabel oder mit ihren Fingern anzeigen. Bei Erwachsenen werden Buchstaben häufig eingesetzt, denn die Antworten sind damit rascher zu erhalten als mit dem Landolt-Ring bzw. dem E-Haken, die zuvor einer Erklärung bedürfen [Gräf 2008a, Hedin 1981]. Den Empfehlungen von Grimm und Mitarbeitern (1994) zum Anschluss von Optotypen an den Landolt-Ring zufolge sollte die Größe von Großbuchstaben um 5% und der E-Haken um 15% gegenüber dem Durchmesser des Landolt-Ringes verkleinert werden, um diesem äquivalent zu sein. Daraus geht hervor, dass der E-Haken leichter als der Landolt-Ring und auch leichter als Großbuchstaben zu erkennen wäre. Dies kann nach den Ergebnissen unserer Studie für die verwendeten Sehzeichen nicht bestätigt werden.

Bourne und Mitarbeiter (2003) untersuchten im Rahmen einer Glaukomüberwachungsstudie eine E-Haken-Sehprobentafel gegenüber den ETDRS-Tafeln. Dabei ergab sich eine hohe Übereinstimmung der Messwerte beider Sehprobentafeln. Die mittlere Differenz der Sehschärfewerte betrug 0,00 logMAR. Im Unterschied zu der von uns verwendeten Tafel enthielt die in dieser Untersuchung verwendete E-Haken-Tafel nur 3 Sehzeichen pro Visusstufe, weshalb sie als „reduced logMAR E chart“ („RLME“) bezeichnet wurde. Der resultierende Unterschied in der gemessenen Schwelle ließe allenfalls eine Parallelverschiebung der Regressionsgeraden, aber keine Änderung der Steigung, also keine Zunahme etwaiger Differenzen bei geringerer Sehschärfe erwarten. Die Ergebnisse von Bourne und Mitarbeitern bestätigen die in unserer Studie festgestellte Äquivalenz beider Sehzeichensätze.

Es ist also davon auszugehen, dass die E-Haken-Tafel und die ETDRS-Tafeln über den gesamten Visusbereich äquivalente Ergebnisse liefern, auch bei Patienten mit Schielamblyopie. Jedoch ist

auch bei der Gegenüberstellung der Sehzeichen E-Haken und Sloan-Buchstaben die Methodik der Sehschärfebestimmung von entscheidender Bedeutung für die Vergleichbarkeit der Messergebnisse. Insbesondere die Darstellung der Sehzeichen als Einzel- oder Reihen-Optotypen scheint einen großen Einfluss auf die Messwerte zu haben.

## **4.2 Zur Reproduzierbarkeit der Visusbestimmung**

Anhand der sukzessiven Visusbestimmung mit den 3 ETDRS-Tafeln ETDRS 1, ETDRS 2 und ETDRS R sollte untersucht werden, ob im unteren Visusbereich die Messungenauigkeit der Visusbestimmung signifikant zu- bzw. die Reproduzierbarkeit abnimmt.

Die Messwerte zeigten eine hohe Übereinstimmung, womit die Sehprobentafeln ETDRS 1, ETDRS 2 und ETDRS R erwartungsgemäß als äquivalent angesehen werden können. Beim Vergleich der mittleren Differenzbeträge der 3 unteren Sehschärfebereiche gegenüber dem mittleren Differenzbetrag im oberen Sehschärfebereich ergab sich kein signifikanter Unterschied. Im unteren Visusbereich stellte sich eine leichte Zunahme der mittleren Differenzbeträge heraus. Diese Differenz ist jedoch geringer als 1 dekadisch logarithmische Visusstufe, was für die alltägliche klinische Visusbestimmung unmaßgeblich ist. Diese Ergebnisse belegen somit eine hohe Reproduzierbarkeit der Visusbestimmung auch im Low-Vision-Bereich.

Frühere Untersuchungen beschreiben ebenfalls eine hohe Reproduzierbarkeit der Visusbestimmung mit den ETDRS-Tafeln [Arditi und Cagenello 1993, Beck et al. 2003, Ferris et al. 1982, Hazel und Elliott 2002]. Es wurde nachgewiesen, dass mit den ETDRS-Tafeln eine Sehschärfebestimmung bis zu einem Visus von 0,014 möglich ist, was der bis heute gebrauchten Angabe „Fingerzählen“ entspricht [Schulze-Bonsel et al. 2006]. Zur korrekten Visusbestimmung bei sehr geringer Sehschärfe braucht lediglich die Untersuchungsdistanz reduziert und die Refraktion auf diese Distanz korrigiert zu werden [Gräf 2008a]. Auch der Freiburger Visustest, eine computergesteuerte Methode zur Sehschärfebestimmung mit Landolt-Ringen, ermöglicht eine Sehschärfebestimmung bis zu einem Visus von 0,005 [Bach 1996, Schulze-Bonsel et al. 2006]. Die häufig nur aus Bequemlichkeit oder schlechter Gewohnheit benutzten Quantifizierungen „Fingerzählen“ und „Handbewegungen erkennen“ lassen sich im Visusbereich von 0,1 bis 0,001 durch numerische Angaben in Visuswerten ersetzen. Diese Literaturmitteilungen belegen in Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen und vielfachen klinischen Erfahrungen, dass die Messungenauigkeit im unteren Visusbereich nicht wesentlich zunimmt und auch bei einem Visus  $< 0,1$  eine reproduzierbare Visusbestimmung mit Optoty-

pen ohne Probleme möglich ist. Die bei geringer Sehschärfe häufig abgekürzte Vorgehensweise und der Ersatz durch grobe Methoden sind nicht gerechtfertigt. Bei geringer Sehschärfe kann es in Ermangelung genügend großer Sehzeichen im Visusprojektor erforderlich sein, die Prüfdistanz zu verkürzen und mit der entsprechenden Nahkorrektur zu prüfen.

Die verbreitete Annahme, dass die Messungsgenauigkeit bei der Visusbestimmung bei geringer Sehschärfe besonders groß wäre, basiert möglicherweise auf der Beobachtung, dass sich bei Messungen an unterschiedlichen Untersuchungsterminen – das Intervall beträgt in der Praxis häufig ca. 3 Monate – tatsächlich deutlich unterschiedliche Werte ergeben, die jedoch durch organische Veränderungen bedingt sein können. Im Fall einer diabetischen Retinopathie, eines Makulaödems oder von Glaskörperblutungen kann sich der Visus in Abhängigkeit von den morphologischen Veränderungen ändern. Bei Vorliegen einer inhomogenen Katarakt und anderer Medientrübungen kann auch eine Veränderung des Pupillendurchmessers relevant sein. Daraus eine hohe Messungsgenauigkeit abzuleiten, wäre jedoch ein Trugschluss.

Weiterhin können unterschiedliche Motivation, Konzentration oder Mitarbeit der untersuchten Person an unterschiedlichen Terminen besonders bei Verzicht auf die Forced-Choice-Strategie die gemessenen Sehschärfewerte erheblich beeinflussen. Die für eine korrekte Sehschärfebestimmung vorgeschriebene, in unserer Studie angewendete Methode der erzwungenen Wahl (Forced-Choice) sollte derartige Einflüsse teilweise ausgleichen (siehe Abschnitt 2.3.4). Die Sehschärfe nimmt physiologischerweise mit zunehmendem Lebensalter ab, wobei die Messungsgenauigkeit nicht signifikant zunimmt [Lovie-Kitchin und Brown 2000]. Über lange Zeiträume hinweg kann es somit zu einer relevanten Änderung des Visus kommen. Bei unseren kurz aufeinander folgenden Visusbestimmungen spielte dies keine Rolle.

Auch ein Abweichen von den geltenden Normvorschriften kann zu relevanten Änderungen des Visuswertes bei aufeinanderfolgenden Messungen führen, ohne dass eine tatsächliche Veränderung der Sehschärfe vorliegt. Die wesentlichen Fehlerquellen liegen vermutlich weniger in der Verwendung ungeeigneter Sehzeichen oder anderer physikalischer Parameter als vielmehr in der Abweichung von der vorgeschriebenen Vorgehensweise. Für eine reproduzierbare Visusbestimmung müssen Material und Methodik standardisiert sein. Dafür existieren die Normvorschriften der DIN EN ISO 8596/8597, im amerikanischen Raum gelten die Vorschriften der National Academy of Sciences – National Research Council (NAS-NRC).

Die korrekte, standardgerechte Vorbereitung, Durchführung, Dokumentation und Auswertung der Sehschärfebestimmung obliegt dem Untersucher. Er kann seinerseits in vielfältiger Weise das Ergebnis und die Reproduzierbarkeit einer Visusbestimmung modulieren. Beobachtet man die Sehschärfebestimmung im klinischen Alltag und in der augenärztlichen Praxis, so muss man feststellen, dass häufig von den geltenden Vorschriften abgewichen wird. Die Auswahl und Darbietung der Sehzeichen, die Anleitung der Prüfperson, die Festlegung der Bestehensgrenze und die Dokumentation werden oft nach individuellem Gutdünken durchgeführt. Auch bei Betrachtung der in der wissenschaftlichen Literatur dargestellten Ergebnisse zum Thema Sehschärfebestimmung ist festzustellen, dass die Methodik, Dokumentation und Auswertung der Visusbestimmung oft nicht klar nachvollziehbar sind. Es ist daher anzunehmen, dass nicht den geltenden Vorschriften entsprechend vorgegangen wurde [Becker und Gräf 2004, Williams et al. 2008]. Für reproduzierbare und vergleichbare Ergebnisse ist eine korrekt durchgeführte Sehschärfebestimmung absolut notwendig.

Die Untersuchungen im Rahmen unserer Studie wurden unter standardisierten Bedingungen durchgeführt, die den geltenden Normvorschriften entsprechen. Die untersuchten 113 Personen im Alter von 8 bis 90 Jahren, von denen 100 eine mehr oder weniger starke Visusminderung aufgrund unterschiedlicher Augenerkrankungen hatten, repräsentieren das Patientenspektrum einer großen Augenklinik mit einem strabologischen Schwerpunkt. Wir fanden bei Einhaltung der gängigen Standards unter typischen klinischen Bedingungen eine hohe Reproduzierbarkeit der Sehschärfebestimmung, auch bei Patienten mit stark verminderter Sehschärfe. Gerade in diesen Fällen ist eine präzise Sehschärfebestimmung notwendig. Viele der ursächlichen Erkrankungen bedürfen einer intensiven Behandlung. Deren Erfolgskontrolle basiert unter anderem auf validen Sehschärfewerten.

## 5. Zusammenfassung

Die Sehschärfebestimmung ist die wichtigste Untersuchung im Alltag des Augenarztes. Für die standardisierte Sehschärfebestimmung mit Optotypen existieren die europäischen Normvorschriften der DIN EN ISO 8596/8597. Das in der DIN EN ISO 8596 festgelegte Standardsehzeichen ist der Landolt-Ring. Andere häufig verwendete Sehzeichen sind der E-Haken, Buchstaben und Lea-Symbole. Sowohl vom E-Haken als auch von Buchstaben wird jedoch angenommen, dass die damit gemessene Sehschärfe im unteren Visusbereich und insbesondere bei Schielamblyopie erheblich über dem Landolt-Ring-Visus läge [Rassow und Wang 1999].

In dieser Arbeit wurden die mit dem Landolt-Ring, dem E-Haken und den 10 ETDRS-Buchstaben C, D, H, K, N, O, R, S, V, Z gemessenen Sehschärfewerte verglichen. Es wurde untersucht, ob es im unteren Sehschärfebereich und bei Amblyopen zu den genannten Abweichungen kommt. Außerdem wurde die weit verbreitete Annahme überprüft, dass die Reproduzierbarkeit der Sehschärfebestimmung mit abnehmender Sehschärfe abnehme.

Für die Untersuchungen wurden 5 Sehprobentafeln verwendet, 1 Tafel mit Landolt-Ringen, 1 Tafel mit E-Haken und 3 Tafeln mit ETDRS-Buchstaben. Die Gestaltung der 63,5 cm breiten und 60,3 cm hohen Tafeln mit schwarzen Sehzeichen auf retroilluminierendem weißen Hintergrund beruht auf dem Entwurf von Bailey und Lovie (1976). Die Zeichen sind dekadisch logarithmisch äquidistant abgestuft und decken die 14 Sehschärfestufen von 0,1 bis 2,0 ab. Die übliche Prüfdistanz von 4,0 m wurde bei Visuswerten unter 0,16 auf 1,0 m, bei Werten unter 0,03 auf 0,4 m verkürzt. So konnte über einen Bereich von 24 dekadisch logarithmischen Visusstufen untersucht werden. Entsprechend der DIN EN ISO 8596 wurde eine „Forced-Choice“-Strategie angewendet. Eine Stufe war bestanden, wenn die Prüfperson mindestens 3 der 5 Sehzeichen richtig benannte. Es wurden 113 Personen untersucht, davon 13 augengesunde Probanden, 39 Patienten mit Schielamblyopie, 24 Patienten mit Katarakt, 32 Patienten mit Netzhauterkrankungen und 5 Patienten mit Refraktionsamblyopie. Die Ergebnisse wurden als dezimaler Visus, logMAR und „interpolated“-logMAR dokumentiert. Für den Vergleich zweier Sehprobentafeln wurden die Differenzen der Messwerte mit beiden Tafeln für die Gesamtgruppe und die 5 Diagnosegruppen berechnet. Im Hinblick auf eine mögliche Zunahme der Messwertdifferenzen im unteren Sehschärfebereich wurden 4 Sehschärfebereiche untersucht:  $\text{Visus} > 1,0$ ,  $\text{Visus } 1,0 - 0,33$ ,  $\text{Visus } 0,32 - 0,1$  und  $\text{Visus} < 0,1$ . Zudem erfolgten Korrelations- und Regressionsanalysen für die Messwerte je zweier Tafeln. Die Reproduzierbarkeit der Visusbestimmung wurde anhand der Differenzbeträge der mit den 3 ETDRS-Tafeln gemessenen Werte untersucht.

Zwischen der mittleren Landolt-Ring- und E-Haken-Sehschärfe bestand eine statistisch signifikante, jedoch nur geringe Differenz von weniger als 1 Visusstufe in der Gesamtgruppe und den Gruppen Schielamblyopie, Katarakt und Netzhauterkrankungen. Sie war in den 3 unteren Sehschärfebereichen signifikant größer als im oberen Sehschärfebereich. Selbst in diesem Vergleich waren jedoch die maximalen Differenzen von 1,04 Stufen für die Gesamtgruppe und 1,07 Stufen für schielamblyopie Augen relativ gering. Für die Gesamtgruppe ergab sich eine hohe Korrelation der Messwerte beider Sehzeichen ( $r = 0,98$ ). Die Regressionsanalyse zeigte eine geringfügig bessere Erkennbarkeit des E-Hakens im unteren Sehschärfebereich.

Zwischen der mittleren Landolt-Ring- und der ETDRS-Buchstaben-Sehschärfe bestanden statistisch signifikante, jedoch geringe Unterschiede von weniger als 1 Visusstufe in der Gesamtgruppe und den Gruppen Schielamblyopie, Katarakt und Netzhauterkrankungen. In der Gesamtgruppe war diese Differenz in den 3 unteren Sehschärfebereichen signifikant größer als im oberen Sehschärfebereich, in der Gruppe der schielamblyopie Augen war die Differenz im Sehschärfebereich Visus 0,32-0,1 signifikant größer als im oberen Sehschärfebereich. Die maximalen Differenzen betragen 1,13 Visusstufen für die Gesamtgruppe und 1,31 Visusstufen für schielamblyopie Augen. Für die Gesamtgruppe bestand eine hohe Korrelation der Messwerte beider Sehzeichen ( $r = 0,98$ ). Die Regressionsanalyse zeigte eine geringfügig bessere Erkennbarkeit der ETDRS-Buchstaben im unteren Sehschärfebereich.

Der Vergleich der E-Haken- und ETDRS-Buchstaben-Sehschärfe ergab weder in der Gesamtgruppe noch in einer der 5 Diagnosegruppen einen signifikanten Unterschied. Die Regressionsanalyse ergab eine hohe Korrelation der Messwerte beider Sehzeichen ( $r = 0,98$ ). Die Regressionsanalyse zeigte eine Übereinstimmung der Messwerte im gesamten Visusbereich.

Die Gegenüberstellung der Messwerte der 3 ETDRS-Tafeln ergab eine hohe Korrelation der Messwerte. Die Regressionsanalyse zeigte eine hohe Übereinstimmung im gesamten Visusbereich. Die 3 Tafeln können somit als äquivalent angesehen und zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit der Visusbestimmung verwendet werden. Die Differenzbeträge zwischen den Messwerten der einzelnen Tafeln in den 3 unteren Sehschärfebereichen unterschieden sich nicht signifikant von den Differenzbeträgen im oberen Sehschärfebereich. Nach Auftragen der Messwertdifferenzbeträge über der absoluten Sehschärfe zeigte die Regressionsanalyse eine geringfügige Zunahme der Differenzbeträge im unteren Sehschärfebereich. Die Reproduzierbarkeit der Visusbestimmung war also auch im unteren Visusbereich hoch und nur geringfügig schlechter als bei gutem Visus.

## 6. Summary

The determination of visual acuity is the most important routine examination in the work day of an ophthalmologist. The European standards DIN EN ISO 8596/8597 stipulate the standardised determination of visual acuity with optotypes. The standard set of visual symbols specified in DIN EN ISO 8596 is the Landolt ring chart. Other frequently used optical test objects are the E chart, letters of the alphabet and Lea symbols. With E charts as well as letters it is assumed that the measured visual acuity lies in the lower visual range, and particularly in the case of strabismic amblyopia, considerably above the Landolt ring visual range [Rassow and Wang 1999].

In this study, the visual acuity values measured with the Landolt ring, the E chart and the 10 ETDRS letters C, D, H, K, N, O, R, S, V, Z are compared with each other. It was examined whether the cited deviations occur in the lower visual acuity range and for amblyopes. Furthermore, the widely disseminated assumption that the reproducibility of the determination of visual acuity decreases with decreasing visual acuity is reviewed.

The investigations used 5 visual acuity test charts: 1 chart with Landolt rings, 1 E chart and 3 charts with ETDRS letters. The 63.5 cm wide and 60.3 cm high charts display black optical test objects on retroilluminated white background, based on the design by Bailey and Lovie (1976). The characters appear in decadic logarithmic equidistant steps and cover the 14 visual acuity steps from 0.1 to 2.0. The usual test distance of 4.0 m was shortened to 1.0 m for visual acuity values below 0.16, and to 0.4 m for values under 0.03. In this manner a range of 24 decadic logarithmic visual acuity steps was investigated. A "forced choice" strategy according to DIN EN ISO 8596 was used. A respective stage was passed when the test person correctly named at least 3 of the 5 optical test objects. A total of 113 persons were investigated: 13 visually healthy test persons, 39 patients with strabismic amblyopia, 24 patients with cataract, 32 patients with retina diseases and 5 patients with refraction amblyopia. The results were documented as decimal vision, logMAR and "interpolated" logMAR. To compare the two visual acuity test charts, the differences of the measured values were calculated with both charts for the total group and the 5 diagnosis groups. With regard to a possible increase in the measured value differences in the lower visual acuity range, 4 visual acuity ranges were investigated: vision  $> 1.0$ , vision  $1.0 - 0.33$ , vision  $0.32 - 0.1$  and vision  $< 0.1$ . In addition, correlation and regression analyses were conducted for the measured values per every two charts. The reproducibility of the determination of visual acuity was examined based on the difference amounts of the values measured with the 3 ETDRS charts.

Between the middle Landolt ring and E chart visual acuity, there was a statistically significant but only slight difference of less than 1 visual acuity step in the total group and the groups of strabismic amblyopia, cataract and retina diseases. It was significantly higher in the 3 lower visual acuity ranges than in the upper range. Even in this comparison, however, the maximum differences of 1.04 steps for the total group and 1.07 steps for strabismic amblyopia are relatively slight. Results for the total group demonstrated a high correlation of the measured values for both optical test objects ( $r = 0.98$ ). The regression analysis showed a slightly better perceptibility of the E chart in the lower visual acuity range.

Between visual acuity for the middle Landolt ring and the ETDRS letters, there were statistically significant but only slight differences of less than 1 visual acuity step in the total group and the strabismic amblyopia, cataract and retina disease groups. In the total group this difference was significantly greater in the 3 lower visual acuity ranges than in the upper visual acuity range; in the group of strabismic amblyopia the difference was significantly greater in the visual acuity range vision 0.32 – 0.1 than in the upper range. The maximum differences amounted to 1.13 visual acuity steps for the total group and 1.31 visual acuity steps for the strabismic amblyopia group. There existed a high correlation of measured values of both optical test objects ( $r = 0.98$ ) for the total group. The regression analysis showed a slightly better perceptibility of the ETDRS letters in the lower visual acuity range.

The comparison of the E chart and ETDRS letters visual acuity did not yield a significant difference in the entire group nor in any of the 5 diagnosis groups. The regression analysis resulted in a high correlation of the measured values of both optical test objects ( $r = 0.98$ ). The regression analysis showed a concurrence of the measured values throughout the entire visual range.

The comparison of the measured values of the 3 ETDRS charts yielded a high correlation of the measured values. The regression analysis showed a high concurrence throughout the entire visual range. The 3 charts can thus be considered equivalent and be used to investigate the reproducibility of the determination of visual acuity. The difference amounts between the measured values of the individual charts in the 3 lower visual acuity ranges do not differ significantly from the difference amounts in the upper visual acuity range. After applying the measured value of difference amounts over the absolute visual acuity, the regression analysis showed a slight increase in the difference amounts in the lower visual acuity range. The reproducibility of the determination of visual acuity was thus also high in the lower visual range and only slightly worse than for good vision.

## 7. Literatur

Adler FH. Physiology of the eye. - Clinical application. 2<sup>nd</sup> ed. London: Kimpton 1953; 656

Adoh TO, Woodhouse JM. The Cardiff acuity test used for measuring visual acuity development in toddlers. Vision Res 1994; 34:555-560

Adoh TO, Woodhouse JM, Oduwaiye KA. The Cardiff test: A new visual acuity test for toddlers and children with intellectual impairment. A preliminary report. Optom Vis Sci 1992; 69:427-432

Arditi A, Cagenello R. On the statistical reliability of letter-chart visual acuity measurements. Invest Ophthalmol Vis Sci 1993 Jan; 34(1):120-9

Bach M. The Freiburg Visual Acuity test-automatic measurement of visual acuity. Optom Vis Sci 1996 Jan; 73(1):49-53

Bach M, Kommerell G. Sehschärfebestimmung nach europäischer Norm: wissenschaftliche Grundlagen und Möglichkeiten der automatischen Messung. Klin Monatsbl Augenheilkd 1998; 212:190-195

Bailey IL, Bullimore MA, Raasch TW, Taylor HR. Clinical grading and the effects of scaling. Invest Ophthalmol Vis Sci 1991; 32:422-32

Bailey I, Lovie J. New design principles for visual acuity letter charts. Am J Optom Physiol Opt 1976; 51:740-745

Bäumer C, Sireteanu R. Temporal instability in the perception of strabismic amblyopia. Strabismus 2006; 14:59-64

Beck RW, Moke PS, Turpin AH, Ferris FL, SanGiovanni JP, Johnson CA, Birch EE, Chandler DL, Cox TA, Clifford Blair R, Kraker RT. A computerized method of visual acuity testing: Adaption of the early treatment of diabetic retinopathy study testing protocol. Am J Ophthalmol 2003; 135:194-205

- Becker R, Gräf M. Die Darstellung der Sehschärfe in ophthalmologischen Publikationen. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2004; 221:1046-1050
- Becker R, Gräf M. Landolt-Ring- vs. Snellen-E-Visus: Unterschiede bei Schielamblyopie? *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2006; 223:24-28
- Becker R, Gräf M. Zur Reproduzierbarkeit der Visusbestimmung bei normaler und geringer Sehschärfe. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2005; 222. DOI: 10.1055/s-2005-92212
- Becker R, Hübsch S, Gräf MH, Kaufmann H. Examination of young children with Lea symbols. *Br J Ophthalmol* 2002; 86:513-516
- Benda H v. Dimensionsanalyse der statistischen Sehschärfeprüfung. Verlag für Psychologie, Dr. D.J. Hogrefe, Göttingen 1981
- Bourne RR, Rosser DA, Sukudom P, Dineen B, Laidlaw DA, Johnson GJ, Murdoch IE. Evaluating a new logMAR chart designed to improve visual acuity assessment in population-based surveys. *Eye* 2003; 17:754-758
- Catford GV. Acuity measurement in the young. *Br Orthopt J* 1975; 32:28-33
- DIN EN ISO 8596, Sehschärfeprüfung. Das Normsehzeichen und seine Darbietung. Beuth Verlag, Berlin, Köln, 1996
- DIN EN ISO 8597 Sehschärfeprüfung. Verfahren zum Anschluss von Sehzeichen. Beuth Verlag, Berlin, Köln, 1996
- Dobson V, Teller DY. Visual acuity in human infants: a review and comparison of behavioral and electrophysiological studies. *Vision Res* 1978; 18:1469-1483
- Empfehlungen der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft zur Qualitätssicherung bei sinnese-physiologischen Untersuchungen und Geräten. *Ophthalmologe* 2000; 97:923-964
- Ferris F, Kassoff A, Bresnick G, Bailey I. New visual acuity charts for clinical research. *Am J Ophthalmol* 1982; 94:91-96

Ferris F, Sperduto R. Standardized illumination for visual acuity testing in clinical research. *Am J Ophthalmol* 1982; 94:97-98

Fronius M, Sireteanu R. Localization disorders in squint amblyopia: horizontal line bisection and relative vertical localization. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1992 Jul; 201(1):22-9

Fronius M, Sireteanu R. Monocular geometry is selectively distorted in the central visual field of strabismic amblyopes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1989 Sep; 30(9):2034-44

Fronius M, Sireteanu R, Zubcov A. Deficits of spatial localization in children with strabismic amblyopia. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2004 Oct; 242(10):827-39

Fronius M, Sireteanu R, Zubcov A, Büttner A. Preliminary report: monocular spatial localization in children with strabismic amblyopia. *Strabismus* 2000 Dec; 8(4):243-9

Gräf M. Objektive Sehschärfebestimmung. *Ophthalmologe* 2000; 97:582-600

Gräf M. Sehschärfe. In: Kroll P, Küchle M, Küchle HJ (Hrsg) *Augenärztliche Untersuchungsmethoden*. Thieme, Stuttgart, 3. Auflage 2008a: 1-21

Gräf M. Objektive Sehprüfungen und Plausibilitätskontrollen. In: Kroll P, Küchle M, Küchle HJ (Hrsg) *Augenärztliche Untersuchungsmethoden*. Thieme, Stuttgart, 3. Auflage 2008b: 58-78

Gräf M. Strategien der Visusbestimmung. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2004; 221:557-565

Gräf M. Subjektive Visusbestimmung. *Z prakt Augenheilkd* 2005; 26:367-378

Gräf M, Becker R, Kaufmann H. Lea-Symbols: visual acuity assessment and detection of amblyopia. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2000; 238:53-58

Gräf M, Becker R, Neff A, Kaufmann H. Untersuchungen mit dem Cardiff-acuity-Test. *Ophthalmologe* 1996; 93:333-340

Green DM, Swets JA. *Signal detection theory and psychophysics*. New York, Wiley, 1966

- Grimm W, Rassow B, Wesemann W, Saur K, Hilz R. Correlation of optotypes with the Landolt-ring – A fresh look at the comparability of optotypes. *Opt Vis Sci* 1994; 71:6-13
- Günther G. Ein Gerät zur objektiven Prüfung der zentralen Sehschärfe. *Albrecht v Graefes Arch Ophthalmol* 1948; 148:430-442
- Haase W (1995) Amblyopie. In: Kaufmann H (Hrsg) *Strabismus*, 2. Aufl., Enke, Stuttgart 285-395
- Haase W, Gräf M. Amblyopie. In: Kaufmann H (Hrsg) *Strabismus*. Thieme, Stuttgart, 3. Auflage 2004: 243-318
- Haase W, Hohmann D. Ein neuer Test (C-Test) zur quantitativen Prüfung der Trennschwierigkeiten ("crowding") - Ergebnisse bei Amblyopie und Ametropie. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1982; 180:210-215
- Haase W, Rassow B. Sehschärfe. In Kaufmann H, Hrsg. *Strabismus*. Thieme, Stuttgart 2004; 75-97
- Harvey LO. Efficient estimation of sensory tresholds. *Behavior Research Methods, Instruments, Computers* 1986; 18:623-632
- Hazel CA, Elliott DB. The dependency of logMAR visual acuity measurements on chart design and scoring rule. *Optom Vis Sci* 2002; 79:788-92
- Hedin A. Sehschärfepfung im Kindesalter. *Jahreskurse f prakt Augenheilkd* 1981; 6:458-498
- Hedin A, Olsson K. Letter legibility and the construction of a new visual acuity chart. *Ophthalmologica* 1984; 189:147-156
- Hess RF. The site and nature of suppression in squint amblyopie. *Vision Res* 1991; 31:111-117
- Hohmann A. Früherkennung kindlicher Sehstörungen - Stand und Perspektiven. *Bewertende Literaturstudie zum Früherkennungsprogramm für Kinder*. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, 1987
- Hohmann A, Haase W. Effective vision screening can decrease the rate of amblyopia. *Ophthalmologe* 1993; 90:2-5

- Hyvärinen L, Näsänen R, Laurinen P. New visual acuity test for pre-school children. *Acta Ophthalmol* 1980; 58:507-11
- Iftime A, Bäumer CC, Sireteanu R. An automated method for creating simulated distorted images in amblyopic vision. *Strabismus* 2007; 15:21-7
- Katz B, Sireteanu R. Der Teller-Acuity-Card-Test: Möglichkeiten und Grenzen der klinischen Anwendung. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1989; 195:17-22
- Katz B, Sireteanu R. The Teller Acuity Card Test: A useful method for the clinical routine? *Clin Vision Sci* 1990; 5:307-323
- Kotowski H. Neues Gerät zur objektiven Bestimmung der Sehschärfe. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1966; 149:397-401
- Lagrèze WD, Sireteanu R. Errors of monocular localization in strabismic amblyopia. Two-dimensional distortion. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1992; 201:92-96
- Lagrèze WD, Sireteanu R. Two-dimensional spatial distortions in human strabismic amblyopia. *Vision Res* 1991; 31:1271-1288
- Landolt E. Methode optométrique simple. *Bull Mem Soc Fran Ophtalmol* 1888; 6:213-4
- Lovie-Kitchin JE, Brown B. Repeatability and intercorrelations of standard vision tests as a function of age. *Optom Vis Sci* 2000; 77:412-420
- Mayer DL. Acuity of amblyopic children for small field gratings and recognition stimuli. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1986; 27:1148-1153
- Mayer DL, Fulton AB, Rodier D. Grating and recognition acuities of pediatric patients. *Ophthalmology* 1984; 91:947-958
- McMonnies CW. Chart memory and visual acuity measurement. *Clin Exp Optom* 2001; 84:26-33
- McMonnies CW. Control of chart memory for retesting acuity. *Clin Exp Optom* 2001; 84:78-84

McMonnies CW, Ho A. Analysis of errors in letter acuity measurements. Clin Exp Optom 1996; 79:144-51

McMonnies CW, Ho A. Letter legibility and chart equivalence. Ophthalmic Physiol Opt 2000; 20:142-52

National Academy of Sciences – National Research Council Committee on Vision. Recommended standard procedures for the clinical measurement and specification of visual acuity. Adv Ophthalmol 1980; 41:103

Norcia AM, Tyler CW. Infant VEP acuity measurements: analysis of individual differences and measurement error. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1985a; 61:359-369

Norcia A, Tyler CW. Spatial frequency sweep VEP: visual acuity during the first year of life. Vision Res 1985b; 25:1399-1408

Odom JV, Hoyt CS, Marg E. Effect of natural deprivation and unilateral eye patching on visual acuity in infants and children: evoked potential measurements. Arch Ophthalmol 1981; 99:1412-1416

Paliaga GP. Die Bestimmung der Sehschärfe. Quintessenz, München, 1993

Petersen J. Fehlerhafte Visusbestimmungen und ihre quantitativen Auswirkungen. Ophthalmologie 1993; 90:533-538

Petersen J. Zur Fehlerbreite der subjektiven Visusmessung. Fortschr Ophthalmol 1990; 87:694-608

Rassow B, Cavazos HA, Wesemann W. Normgerechte Sehschärfebestimmung mit Buchstaben. Augenärztl Fortb 1990; 13:105-114

Rassow B, Wang Y. Anschluß von Buchstaben-Optotypen an den Landolt-Ring für verschiedene Bereiche der Sehschärfe. Klin Monatsbl Augenheilkd 1999; 215:119-126

Reich LN, Bedell HE. Relative legibility and confusions of letter acuity targets in the peripheral and central retina. Optom Vis Sci 2000; 77:270-5

Riggs LA. Visual acuity. In: Graham CH (Hrsg) Vision and visual perception. Wiley and sons, New York, 1966, 321-349

Saur K, Grimm W, Hilz R. Sehschärfebestimmung, Anschluss von Buchstaben an den Landolt-Ring. NOJ 1989; 31:14-21

Schober H. Untersuchungen über die Verwendung des Landoltschen Ringes als Normsehzeichen bei der Sehschärfebestimmung. Optik 1952; 9:225-235

Schulze-Bonsel K, Feltgen N, Burau H, Hansen L, Bach M. Visual acuities "hand motion" and "counting fingers" can be quantified with the Freiburg visual acuity test. Invest Ophthalmol Vis Sci 2006; 47:1236-1240

Sireteanu R, Bäumer CC, Iftime A. Temporal instability in amblyopic vision: relationship to a displacement map of visual space. Invest Ophthalmol Vis Sci 2008; 49:3940-3954

Sireteanu R, Bäumer CC, Sârbu C, Iftime A. Spatial and temporal misperceptions in amblyopic vision. Strabismus 2007; 15:45-54

Sireteanu R, Bäumer C, Sârbu C, Tsujimura S, Muckli L. Spatial misperceptions in amblyopic vision: abnormal activation of the primary visual cortex? Klin Monatsbl Augenheilkd 2007; 224:780-786.

Sireteanu R, Lagrèze WD, Constantinescu DH. Distortions in two-dimensional visual space perception in strabismic observers. Vision Res 1993; 33:677-90

Sireteanu R, Thiel A, Fikus S, Iftime A. Patterns of spatial distortions in human amblyopia are invariant to stimulus duration and instruction modality. Vision Res 2008; 48:1150-63

Sloan LL, Rowland W, Altman A. Comparison of three types of test targets for the measurement of visual acuity. Quart Rev Ophthalmol 1952; 8:4-16

Teller DY, McDonald MA, Preston K, Sebris SL, Dobson V. Assessment of visual acuity in infants and children: the acuity card procedure. Dev Med Child Neurol 1986; 28:779-789

Thiel A, Sireteanu R. Strabismic amblyopes show a bilateral rightward bias in a line bisection task: Evidence for a visual attention deficit. *Vision Res* 2008 Sep 4

Van den Bosch ME, Wall M. Visual acuity scored by the letter-by-letter or probit methods has lower retest variability than the line assignment method. *Eye* 1997; 11:411-417

Wesemann W. Grenzen der Sehschärfe Teil 4: Wie misst man die Sehschärfe richtig? Regeln und Probleme. *DOZ* 02/2002

Williams MA, Moutray TN, Jackson J. Uniformity of visual acuity measures in published studies. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008; 49:4321-4327

## 8. Publikationen

Becker R, Teichler G, Gräf M. Comparison of the Landolt-C and Snellen-E acuity in healthy subjects and patients with different eye diseases. ARVO Abstract 4887, 2007

Becker R, Teichler G, Gräf M. Comparison of the Landolt-C and Snellen-E acuity in strabismus amblyopia. ARVO Abstract 2454, 2006

Becker R, Teichler G, Gräf M. Influence of interpolated logMAR scoring on test-retest variability of ETDRS visual acuity. ARVO Abstract 2582, 2008

Becker R, Teichler G, Gräf M. Reproducibility of visual acuity assessment in normal and low visual acuity. Strabismus 2007; 15:3-6

Becker R, Teichler G, Gräf M. Zur Reproduzierbarkeit der Visusbestimmung bei normaler und geringer Sehschärfe. Klin Monatsbl Augenheilkd 2005; 222 (Suppl 3): S 11

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. M.H. Gräf für die Überlassung des Themas und für die engagierte Betreuung der Arbeit. Er stand mir jederzeit mit konstruktiver Beratung zur Seite.

Weiterhin bedanke ich mich bei meinem Betreuer, Herrn Privat-Dozent Dr.med. R. Becker für die stete Unterstützung während der Untersuchungen und bei der Zusammenstellung der Arbeit.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Augenklinik der Justus-Liebig-Universität Gießen danke ich für ihre freundliche Zusammenarbeit während der Untersuchungen.

**Der Lebenslauf wurde aus der elektronischen  
Version der Arbeit entfernt.**

**The curriculum vitae was removed from the  
electronic version of the paper.**

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

## **Meinem Vater**