

Eine objektive Methode zur Schätzung der Mindestsehschärfe unter Anwendung der Infrarotnystagmographie

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Amir Baalbaki
aus Gießen

Gießen 2003

WB LAUFERSWEILER VERLAG
édition scientifique

ISBN 3-89687-651-1

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2003

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1st Edition 2003

© 2003 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, WETTENBERG
Printed in Germany

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
édition scientifique

GLEIBERGER WEG 4, D-35435 WETTENBERG
Tel: 06406-4413 Fax: 06406-72757
Email: VVB-IPS@T-ONLINE.DE
www.vvb-ips.de

Eine objektive Methode zur Schätzung der Mindestsehschärfe unter Anwendung der Infrarotnystagmographie

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereiches Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Amir Baalbaki

aus Gießen

Gießen 2003

Aus der Abteilung für Schielbehandlung und Neuroophthalmologie der Augenklinik der
Justus-Liebig-Universität Gießen
(Leiter: Prof. Dr. H. Kaufmann)

Gutachter: Prof. Dr. med. rer. nat. J. Kießling

Gutachter: PD Dr. med. M. Gräf

Tag der Disputation:

01.12.2003

Für meine lieben Eltern

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
1.1. Allgemeine und geschichtliche Einführung	6
1.1.1. Subjektive Untersuchungsmethoden	6
1.1.2. Objektive Untersuchungsmethoden.....	6
1.1.3. Indikation zur objektiven Sehschärfenbestimmung	7
1.1.4. Kurzer geschichtlicher Abriss.....	9
1.2. Grundlagen und Definitionen	12
1.2.1. Sehschärfe	12
1.2.2. Minimum visibile (visuelle Detektionsgrenze)	13
1.2.3. Minimum separabile (visuelles Auflösungsvermögen)	14
1.2.4. Erkennungssehschärfe.....	15
1.2.5. Blindheit	15
1.3. Problemstellung	16
2. Versuchspersonen und Methoden	17
2.1. Versuchspersonen	17
2.1.1. Augengesunde Probanden	17
2.1.2. Patienten	17
2.2. Methoden	19
2.2.1. Visusbestimmung.....	19
2.2.2. Nystagmographische Ermittlung des objektiven Messwertes	20
2.2.2.1. Prinzip der Untersuchung.....	20
2.2.2.2. Versuchsaufbau.....	20
2.2.2.3. Reizfeldparameter.....	22
2.2.2.4. Fixationsreize.....	23
2.2.2.5. Auswertung der Nystagmogramme	24
2.2.2.6. Reizmustergeschwindigkeit.....	25
3. Ergebnisse	26
3.1. Ergebnisse der Visusbestimmung mit Landolt-Ringen	26
3.1.1. Augengesunde Probanden	26
3.1.2. Patienten	27
3.2. Ergebnisse der nystagmographischen Methode.....	28
3.2.1. Augengesunde Probanden	28
3.2.2. Patienten	29
3.3. Gegenüberstellung von Visus und Nystagmussuppression	30
3.3.1. Augengesunde Probanden	30
3.3.2. Patienten	31
3.3.2.1. Medientrübungen.....	31
3.3.2.2. Netzhauterkrankungen.....	32
3.3.2.3. Optikuskrankungen	33
3.3.2.4. Schielamblyopie	34
3.3.2.5. Refraktionsamblyopie.....	35
3.3.2.6. Augen ohne pathologische Visusreduktion	36

3.4. Schätzung des Mindestvisus mit der nystagmographischen Methode („biologische Eichung der Methode“)	37
4. Diskussion	40
4.1. Grundsätzliche Probleme der objektiven Sehschärfenschätzung	40
4.1.1. Subjektive Patienteneinflüsse bei objektiven Methoden	40
4.1.2. Subjektive Untersuchereinflüsse bei objektiven Methoden	41
4.1.3. Differenzierung von Objektivität und von Genauigkeit	42
4.2. Physiologische Grenzen der objektiven Sehschärfenschätzung	42
4.3. Problematik der „biologischen Eichung“	44
4.3.1. Verwendung adäquater Statistik	44
4.3.2. Repräsentativität der Eichgruppe	45
4.3.3. Klinische Anwendung der nystagmographischen Methode	47
4.4. Ergebnisse der Klinischen Anwendung der Methode	48
4.5. Nachweis von subjektiven Falschangaben	52
4.5.1. Objektiver Nachweis von Falschangaben durch die nystagmographische Methode	52
4.5.2. Statistischer Nachweis subjektiver Falschangaben	52
5. Zusammenfassung	54
5.1 Deutsch	54
5.2 English	55
6. Literatur	56
7. Anhang	62
7.1. Danksagung	62
7.2. Lebenslauf	63

1. Einleitung

1.1. Allgemeine und geschichtliche Einführung

Unter den verschiedenen Funktionen des Sehvermögens (Gesichtsfeld, Farbsehen, Kontrast- bzw. Helligkeitswahrnehmung etc.) ist der Visus, die Sehschärfe, von besonderer Bedeutung. Vom Visus hängt es ab, ob oder wie wir kleine Details erkennen können. Mit einer hochgradigen Visusreduktion wäre es dem Leser des vorliegenden Textes nicht möglich, die Schrift ohne Hilfsmittel zu erkennen. Viele wichtige Informationen in unserer technologisch hochentwickelten Gesellschaft sind nur mit relativ gutem Visus zugänglich, angefangen beim Lesen eines Preisschildes oder einer Zeitung über Fernsehen bis zur Bedienung eines Computers. Auch das Erkennen eines Mitmenschen an seinem Gesicht ist beeinträchtigt oder unmöglich, wenn der Visus, z.B. durch eine Makuladegeneration, herabgesetzt ist. Der Visus ist daher in vielen Berufen von Bedeutung und wird regelmäßig bei Tauglichkeitsuntersuchungen geprüft. Insbesondere für den in unserer Gesellschaft wesentlichen Erwerb eines Kfz-Führerscheines ist ein bestimmter Mindestvisus erforderlich.

1.1.1. Subjektive Untersuchungsmethoden

Als subjektive Untersuchungsmethoden werden solche Methoden bezeichnet, bei denen sich die Untersuchung auf die („subjektiven“) Angaben des Patienten stützt. Die unterschiedlichen Sehfunktionen – Gesichtsfeld, Farbsehen, Stereopsis, usw. werden normalerweise subjektiv bestimmt. Die Bestimmung der Sehschärfe erfolgt in der Regel subjektiv, indem der Prüfling Sehzeichen (Optotypen) abnehmender Größe vorlesen muss. Die kleinsten erkannten Zeichen sind ein Maß für den Visus. Die Dissimulation einer besseren Sehschärfe, als tatsächlich vorhanden ist, was gelegentlich bei Tauglichkeitsuntersuchungen vorkommt, kann dabei durch eine unvorhersehbare Reihenfolge der Sehzeichen leicht ausgeschlossen werden. Schwieriger ist der Nachweis von Simulation, also der absichtlichen Angabe einer geringeren Sehschärfe um eines bestimmten Vorteils willen (im Englischen wird dies als dissimulation bezeichnet!). Das selbe gilt für psychogene Sehstörungen, bei denen die Falschangaben der bewussten Kontrolle mehr oder weniger entzogen sind.

1.1.2. Objektive Untersuchungsmethoden

Als objektive Untersuchungsmethoden werden solche bezeichnet, bei denen der Befund ohne die subjektiven Angaben des Patienten erhoben wird. Objektive Methoden sind z.B. die Tonometrie,

die objektive Refraktometrie oder die Erhebung des Augenhintergrundbefundes. Besonders aus dem letzten Beispiel wird deutlich, dass auch diesen Methoden eine gewisse Subjektivität anhaftet, die durch die Erfahrung, die Vorurteilslosigkeit und die Sorgfalt des Untersuchers gegeben ist. Objektivität in diesem Sinne darf auch nicht mit Genauigkeit verwechselt werden. Beispielsweise wird bei guter Mitarbeit des Patienten die subjektive Refraktionsbestimmung einen genaueren Wert liefern als eine objektive Messung mit einem Fleckskiaskop. Bei schlechter oder fehlender Mitarbeit können objektive Messverfahren aufschlussreicher sein. GOLDMANN (1943) definierte objektive Sehschärfenbestimmung folgendermaßen:

Objektive Sehschärfenbestimmung würde bedeuten, dass jedes Mal, wenn von einem Beobachter gerade das Minimum separabile wahrgenommen wird, er diese Wahrnehmung an seinem Körper, ohne es zu sagen, verrät.

Die Bestimmung der Sehschärfe mit Hilfe objektiver Testverfahren ist seit Jahrzehnten Gegenstand der Forschung. Meist war der Grund dieses Interesses das Verlangen der Untersucher, den tatsächlichen Visus unabhängig von den Angaben des Prüflings beurteilen zu können, bei dem die Zuteilung von Versicherungszahlungen, Blindengeld oder die Militärtauglichkeit zur Debatte stand. Die meisten objektiven Methoden wurden also für Untersuchungen im Rahmen von Gutachten entwickelt. Bei einer derartigen Begutachtung sollten der Untersuchungsablauf und die physiologische Besonderheit der Methode für den Patienten schwer nachvollziehbar sein, da er die Untersuchung sonst leicht unterlaufen kann. Ein anderer Grund für eine objektive Sehschärfenbestimmung besteht in der Entwicklungsdiagnostik bei Kleinkindern und der Erhebung von Informationen über den Visus bei Behinderten. Dazu sind Verfahren erforderlich, die besonders geringe Anforderungen an die Mitarbeit dieser Patienten stellen. Zu diesen Methoden zählt vor allem das Präferenz Looking (PL), bei dem geprüft wird, ob ein Säugling (oder z.B. ein Tier) bei gleichzeitiger Darbietung eines gemusterten Reizes und eines ungemusterten Reizes gleicher mittlerer Leuchtdichte bevorzugt zum Muster blickt oder nicht. Die Musterortsfrequenz mit der in einer bestimmten Entfernung noch eine eindeutige Reizantwort (Blickwendung) auslösbar ist, lässt einen Rückschluss auf die Gittersehschärfe zu. Es hat sich jedoch gezeigt, dass dieses Verfahren für eine Amblyopiefrüherkennung nicht geeignet ist.

1.1.3. Indikation zur objektiven Sehschärfenbestimmung

Objektive Verfahren stellen die einzige Möglichkeit der Sehschärfenschätzung dar, wenn keine verbale - oder andere willkürliche - Antwort auf die Frage der Erkennbarkeit eines bestimmten

Sehzeichens zu erhalten ist. Sie kommen daher im Rahmen tierexperimenteller Untersuchungen (HERTZ 1935, BIRUKOW 1938, SIRETEANU 1985) und der Erforschung der normalen visuellen Entwicklung im Kleinkindalter (GORMAN et al. 1957, FANTZ 1958, BERLYNE 1958, TELLER et al. 1974, MARG et al. 1976) zur Anwendung. Klinische Indikationen ergeben sich in der Entwicklungsdiagnostik bei Kleinkindern mit Augenerkrankungen im Hinblick auf die Notwendigkeit oder die (Neben-) Wirkung einer pleoptischen Behandlung, (ENOCH und RABINOWICZ 1976). Die objektive Sehschärfenbestimmung kann auch einen wertvollen Beitrag bei der Begutachtung von Kleinkindern und geistig Behinderten liefern (REBOTEN und ORDY 1961, SHERIDAN 1969, LENNERSTRAND et al. 1983, MAYER et al. 1983, SCHARRE und CREEDON 1992).

Von besonderer praktischer und klinischer Bedeutung ist die Erkennung psychogener Sehstörungen, so dass überflüssige und belastende Diagnostik vermieden werden kann und die Einleitung sinnvoller therapeutischer Maßnahmen erfolgt. Die Diagnostik wird oft dadurch erschwert, dass eine tatsächliche Sehbehinderung okulärer Ursache durch eine psychogene Komponente überlagert ist (KATHOL et al. 1983, KELTNER et al. 1985, BURD und KERBESHIAN 1985). In diesem Zusammenhang sind kritische Methoden zur Bestimmung der Sehschärfe von wesentlicher Bedeutung. Es ist auch hier wichtig, nicht nur die psychogene Überlagerung (nichtorganische Komponente) als solche nachzuweisen, sondern die tatsächlich vorhandene Sehschärfe möglichst genau zu schätzen.

Einen wesentlichen Anwendungsbereich der objektiven Schätzung der Sehschärfe stellt die gutachterliche Prüfung fragwürdiger Visusangaben dar, wenn der Verdacht auf Simulation, Aggravation oder eine psychogene Sehstörung besteht. Ein Aspekt hierbei, der nicht unterschätzt werden sollte, ist die Wahrung der Rechtssicherheit. Ein weiterer Aspekt ist volkswirtschaftlicher Art. Allein die Blindengeldzahlungen belaufen sich in Deutschland auf über 600 Millionen € pro Jahr (STATISTISCHES BUNDESAMT 1998). Diese vermögens- und einkommensunabhängigen Zuwendungen von monatlich über 500 € für Blinde sind nicht nur eine wichtige Hilfe für rechtmäßige Empfänger, sondern stellen auch ein Anreiz zum Missbrauch dar. Von den behandelnden Ärzten der Patienten ist eine Aufdeckung von Täuschungsmanövern nur bedingt zu erwarten. Daher ist eine wirksame Kontrolle der Anspruchsvoraussetzungen über die augenfachärztlichen Bescheinigungen hinaus sinnvoll (GRÄF et al. 1999). Aus dieser Notwendigkeit heraus wurde im Interesse des Hessischen Landesarztes für Blinde und Sehbehinderte die hier untersuchte Methode als Ergänzung eines Arsenal weiterer kritischer

Funktionsprüfungen zur subjektiven und objektiven Untersuchung der Sehschärfe und des Gesichtsfeldes entwickelt.

1.1.4. Kurzer geschichtlicher Abriss

OHM (1921 - 1957) nutzte als einer der ersten den optokinetischen Nystagmus zur objektiven Sehschärfenbestimmung. Der optokinetische Nystagmus ist ein physiologischer Reflex, um bewegte Bilder auf der Netzhaut zu stabilisieren, indem die Augen eine rhythmische, ruckartige Bewegung durchführen. Dabei folgen die Augen dem Bild langsam. Nach einer bestimmten Bewegungsstrecke kommt es zu einer schnellen Rückstellbewegung auf einen neuen Bildausschnitt. Zur Erzeugung eines regelmäßigen Nystagmus verwendete OHM einen Zylinder, welcher parallel zu seiner Achse mit einem gleichmäßigen Streifenmuster versehen war. Der Zylinder wurde vor dem Betrachter gedreht. Durch diese Rotation konnte beim Betrachter ein Nystagmus ausgelöst werden. Eine Suppression dieses Reflexes wurde durch das Einbringen unbewegten von Fixationsreizen erreicht. Die Reize wurden über einen halbdurchlässigen Spiegel projiziert, der sich zwischen der Trommel mit dem Balkenmuster und dem Auge befand. Diese „Spiegelmarken“ unterbrachen den Nystagmus, wenn sie groß genug waren, um eine Fixation auszulösen. Bei einem Augengesunden genügten dazu kleinere „Spiegelmarken“ als bei einem visusgeschwächten Patienten. Die Größe der zur Unterbrechung des Nystagmus führenden „Spiegelmarke“ war ein indirekter Hinweis auf den Visus des Patienten. OHMs Idee war, dass die Marken, wenn sie nur „klein genug“ wären, schließlich nur noch foveolar wahrgenommen werden könnten und somit einen Hinweis auf die zentrale Sehfunktion, die foveolare Sehschärfe lieferten. Anders als die meisten Untersucher änderte OHM nicht die Feinheit eines Musters, mit dem der Nystagmus ausgelöst wurde, sondern blendete vor einen groben optokinetischen Reiz kleine, unbewegte Fixationsreize ein.

Von den vielen Autoren, die in der Folge über eigene Methoden der objektiven Sehschärfenbestimmung und der objektiven Sehprüfung berichteten, seien einige herausragende genannt:

GOLDMANN (1943) verwendete eine schwingende Tafel, auf der sich ein Schachbrettmuster befand. Die Tafel wurde hinter einer Wand mit einem Fensterausschnitt bewegt. Diese Bewegung löste bei dem vor dem Fenster sitzenden Patienten ein Augenpendeln aus. Es waren Tafeln mit unterschiedlich feinen Mustern vorhanden. Man vergrößerte den Abstand des Patienten zu der

Versuchsordnung, bis das Augenpendeln ausblieb. Aus der Entfernung zur Tafel und der Ortsfrequenz des Schachbrettmusters, mit dem in dieser Entfernung gerade noch eine Blickfolgebewegung auslösbar war, wurde auf den Visus des Patienten geschlossen. Um vom entscheidenden Kriterium des Reizes, der Ortsfrequenz des Schachbrettmusters, abzulenken, war dieses in Form eines „groben Balkens“ innerhalb eines feineren Schachbrettmusters mit der vierfachen Ortsfrequenz gedruckt (um einen isoluminanten Hintergrund zu erhalten), so dass der Prüfling dem „groben Balken“ nachblicken konnte (GOLDMANN 1950).

Schachbrettmuster wurden auch von GÜNTHER (1948) verwendet. Er ließ die Muster auf einem Papierband über Rollen laufen und erhielt so eine Bewegung des Musters in eine Richtung. Eine Fensteröffnung ließ ein definiertes Sichtfeld frei und die Entfernung des Patienten zum Muster konnte verändert werden. Um Umfeldreize auszuschließen, verwendete GÜNTHER ein Rohr, wodurch der Blick des Patienten nur auf das Reizfeld zugelassen wurde. Durch Beobachtung des Hornhautbildes konnte der Prüfer beurteilen, ob das Muster einen Nystagmus auslöste. Das Prinzip der Nystagmusauslösung wurde vielfach modifiziert, z.B. durch NICOLAI (1953) und KLECKER (1952).

WEIGELIN und seine Mitarbeiter (1955) griffen OHMS Idee auf. Ein bewegtes Streifenmuster wurde in einen Hohlzylinder projiziert, in dem der Patient saß. In dieses Streifenmuster wurde eine unbewegte Rasterfläche projiziert, um den Nystagmus zu hemmen. Hierzu wurde die Helligkeit der Rasterfläche variiert. Die Helligkeit nahm im Laufe der Untersuchung zu. Die Leuchtdichte, die zur Hemmung des Nystagmus ausreichte, wurde ins Verhältnis zum Visus gesetzt. Weitere Berichte über ähnliche Untersuchungsmethoden folgten von GEYER (1959) und GRZIBEK und seinen Mitarbeitern (1958). VOIPO (1961) modifizierte OHMS Prinzip, indem er einen optokinetischen Nystagmus mit einem doppelten Sägezahnmuster erzeugte, welches am oberen und unteren Bildrand eines Reizfeldes sichtbar war und sich in eine Richtung bewegte. Zur Suppression des optokinetischen Nystagmus wählte er ein isoluminates, schwarz-weißes Gittermuster, das in der homogen grauen Fläche gleicher mittlerer Leuchtdichte zwischen den beiden Sägezahnstreifen erschien. Die höchste Ortsfrequenz des Gittermusters, welche den Nystagmus unterbrach, diente als objektives Maß für die Sehschärfe (VOIPO 1972). MAKABE (1984) berichtete über eine Methode, die stark an jene von WEIGELIN (1962) angelehnt war. Der Nystagmus wurde durch die Projektion eines groben Streifenmusters in einen Hohlzylinder ausgelöst (MAKABE 1979). Statt der Rasterfläche wurde jedoch ein in der Helligkeit variabler, größenkonstanter runder Lichtreiz verwendet, der durch einen Projektor eingeblendet wurde. Die

Helligkeit des Reizes, die erforderlich war, um den optokinetischen Nystagmus zu unterbrechen, wurde ins Verhältnis zum Visus gesetzt. In jüngerer Zeit entwickelten FUKAI und seine Mitarbeiter (1990) eine weitere Modifikation dieser Methode. Als Fixationsmarken dienten kleine Tier- oder Menschenmotive, die auf einer durchsichtigen Scheibe vor dem optokinetischen Reizmuster eingebracht wurden. Hierbei wurde nicht die Helligkeit der Fixationsreize, sondern deren Größe verändert. Allen Methoden ist also gemeinsam, dass nicht direkt der Visus gemessen wird, sondern eine Kontrastwahrnehmung oder eine Musterwahrnehmung, z.B. die Gittersehschärfe, von der dann auf den Visus geschlossen wird. Dieses Problem betrifft gleichfalls alle elektrophysiologischen Methoden zur objektiven Sehschärfenbestimmung. Bei diesen Methoden wird durch Muster on-off Reize oder Musterumkehrreize ein VEP erzeugt, dessen Amplitude sich in Abhängigkeit von der Musterortsfrequenz ändert, bei hohen Musterortsfrequenzen schließlich geringer wird und bei genügend hoher Ortsfrequenz schließlich nicht mehr nachweisbar ist. Das feinste Muster, also die höchste Musterortsfrequenz, welches noch eine Potentialantwort auslöst, lässt einen Rückschluss auf das visuelle Auflösungsvermögen zu (NORCIA und TYLER 1985).

1.2. Grundlagen und Definitionen

Aufgrund der Begriffsvielfalt erscheinen vorab einige Definitionen sinnvoll.

1.2.1. Sehschärfe

Die Standardisierung der Sehschärfenprüfung ist in der DIN 58220 und der EN ISO 8596/7 von 1996 festgelegt. Diese Norm schreibt vor, in welcher Größe, Form und Beleuchtung die Sehzeichen präsentiert werden, welchen Abstand der Patient zu den Sehzeichen einnehmen muss, welche Sehzeichen verwendet werden dürfen und wie viele Sehzeichen richtig benannt werden müssen, damit diese Sehzeichengröße als erkannt gilt. Es sind größtenteils physikalische Voraussetzungen, welche die DIN-Norm festlegt. Die Sehschärfenprüfung nach DIN ist eine subjektive Prüfung, der Patient gibt bewusst an, was er erkennt. Daher gibt es im Falle schlechter Mitarbeit keine Garantie für die Richtigkeit der erhaltenen Visuswerte. Der Visus wird normgerecht mit dem Landolt-Ring bestimmt. Dies ist ein Ring, der eine Öffnung hat, deren Größe einem Fünftel des Außendurchmessers des Ringes entspricht. Die Liniendicke entspricht ebenfalls einem Fünftel des Außendurchmessers. Die Öffnung kann sich an acht möglichen Positionen (rechts, links, oben, unten und die vier jeweils 45° schräg versetzten Richtungen) befinden. Der Patient muss die Richtung der Öffnung benennen. Es wird mit größeren Zeichen begonnen. Eine Zeile von Ringen der selben Größe gilt als erkannt, wenn mehr als die Hälfte der Zeichen dieser Zeile richtig benannt worden sind.

Der Visus ist, genau genommen, durch den Wendepunkt der psychometrischen Funktion definiert, die sich ergibt, wenn man den jeweiligen Prozentsatz richtiger Antworten über der Sehzeichengröße, bzw. deren dieser Größe entsprechenden Visus aufträgt und durch diese Wertepaare die bestgenäherte Kurve legt. In diesem Bereich verläuft die psychometrische Funktion am steilsten. Dadurch führt ein Zufallsfehler hier nur zu einer relativ geringen Änderung des Messwertes. Der Wendepunkt der psychometrischen Funktion liegt in der Mitte zwischen 100 % (nur richtige Antworten) und der reinen Ratewahrscheinlichkeit von 12,5 % (bei 8 möglichen Alternativen), somit bei 56,25 % richtigen Antworten. Die Sehzeichengröße, bei der diese Rate erreicht wird, entspricht dem Visus.

Eine Winkelauflösung von einer Bogenminute (unter der die Lücke des Ringes erscheint) entspricht einem Visus von 1,0. Generell ist der Visus als Kehrwert des minimalen Auflösungswinkels in Bogenminuten definiert. Unter optimalen Bedingungen kann ein Visus von 2,0, also ein minimaler Auflösungswinkel von 0,5 Bogenminuten erreicht werden. Weitere Angaben zur Bestimmung der Sehschärfe finden sich bei BACH und KOMMERELL (1998), PALIAGA (1993), PETERSEN (1993) und RIGGS (1966).

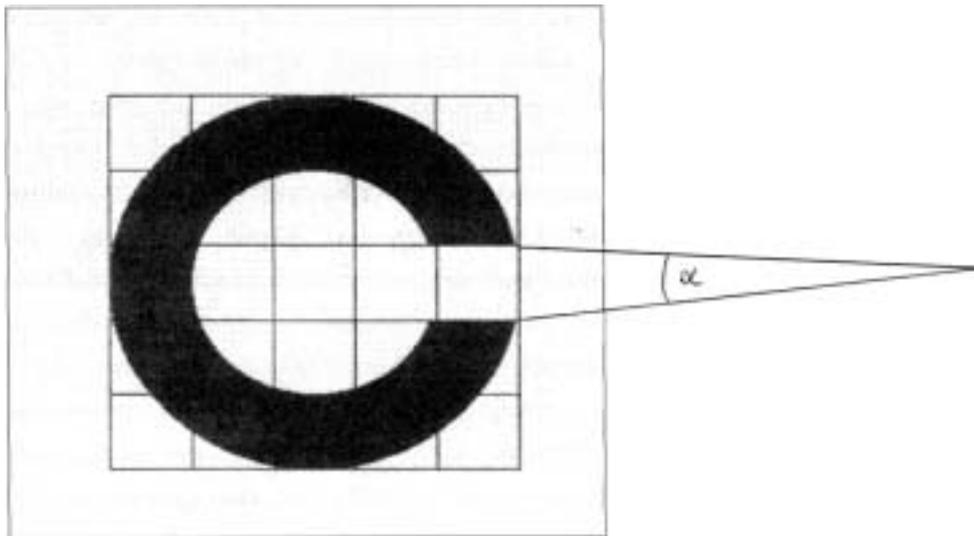


Abbildung 1: Der Landoltring als Normsehzeichen. Der Visus ist definiert als Kehrwert des kleinsten Winkels α (in Bogenminuten), unter dem mehr als die Hälfte der Landoltringe einer Zeile von z.B. 5 oder 10 Ringen richtig benannt (also erkannt oder zum Teil erraten) werden.

Die Größe der verwendeten Sehzeichen ist dekadisch logarithmisch abgestuft. Die Abfolge dieser sogenannten geometrischen Reihe ist in Tabelle 1 (S.15) ersichtlich. Die einzelnen Visusstufen sind dabei in aufsteigender Reihe mit einem Zuwachsfaktor von ca. 1,25 bzw. in umgekehrter Richtung von ca. 0,8, logarithmisch äquidistant angeordnet. Bei jeder zehnten Stufe tritt eine Verzehnfachung des Ausgangswertes ein, bei jeder dritten Stufe etwa eine Verdoppelung, denn $\sqrt[10]{10}$ entspricht etwa $\sqrt[3]{2}$. Im Visusbereich unter 0,1 setzt sich diese Reihe in derselben Abstufung fort, also 0,08, 0,063, etc.

1.2.2. Minimum visibile (visuelle Detektionsgrenze)

Das Minimum visibile beschreibt die minimale Größe, die ein Objekt aufweisen muss, um eben noch sichtbar zu sein. Dabei ist nicht das Erkennen des Objektes ausschlaggebend, sondern das Wahrnehmen, welches oft als Erahnen oder Vermuten umschrieben wird. Die Wahrnehmung

wird erleichtert, wenn es sich um ein helles Objekt mit einem dunklen Hintergrund handelt. Es muss nur hell genug sein, um mindestens einen retinalen Photorezeptor überschwellig zu reizen, dann kann eine Wahrnehmung erfolgen, auch wenn das Objekt unter einem unendlich kleinen Sehwinkel erscheint (z.B. ein Stern am Nachthimmel). Ein dunkles Objekt auf hellem Hintergrund muss dagegen auch bei hohem Kontrast eine bestimmte Größe erreichen, bevor es wahrgenommen werden kann, da sein Netzhautbild sonst durch das Streulicht der Umgebung überstrahlt wird. Unter idealen Bedingungen liegt die Wahrnehmungsschwelle für einen Punkt etwa bei 15 Winkelsekunden.

1.2.3. Minimum separabile (visuelles Auflösungsvermögen)

Das visuelle Auflösungsvermögen ist gekennzeichnet durch die Fähigkeit, zwei eng zusammenliegende „Punkte“ oder Linien auseinander zu halten. Das Minimum separabile ist der kleinste dafür erforderliche Abstand. Dieser Abstand wird in Winkelminuten angegeben. Die Tabelle 1 zeigt die Auflösungssehschärfe und den entsprechenden minimalen Auflösungswinkel. Im Prinzip stellt der mit dem Landoltring gemessene Visus eine Auflösungssehschärfe dar. Dieses visuelle Auflösungsvermögen zweier benachbarter Punkte kann sich bei bestimmten Augenerkrankungen erheblich von dem Auflösungsvermögen zweier oder mehrerer benachbarter Linien unterscheiden, denn bei der Auflösung eines Gittermusters ist auf Grund der größeren Reizfläche eine viel größere Zahl rezeptiver Felder beteiligt, deren Antworten integriert werden können, so dass das Muster vielleicht nicht so regelmäßig, wie es tatsächlich ist, aber eben doch aufgelöst wird. Die physiologische Grenze des visuellen Auflösungsvermögens liegt bei ca. 0,5 Bogenminuten.

Tabelle 1: Beziehung zwischen Visus, logVisus, dekadischem Logarithmus des minimalen Auflösungswinkel (logMAW) und dem MAW in Winkelminuten.

Visus	logVisus	logMAW	MAW
3,2	0,5	-0,5	0,32
2,5	0,4	-0,4	0,4
2,0	0,3	-0,3	0,5
1,6	0,2	-0,2	0,63
1,25	0,1	-0,1	0,8
1,0	0	0	1,0
0,8	-0,1	0,1	1,25
0,63	-0,2	0,2	1,6
0,5	-0,3	0,3	2,0
0,4	-0,4	0,4	2,5
0,32	-0,5	0,5	3,2
0,25	-0,6	0,6	4,0
0,2	-0,7	0,7	5,0
0,16	-0,8	0,8	6,3
0,12	-0,9	0,9	8,0
0,1	-1,0	1,0	10

1.2.4. Erkennungssehschärfe

Die Erkennungssehschärfe verlangt im Gegensatz zum Minimum visibile und Minimum separabile, dass ein Objekt erkannt wird. Hier werden höhere psychische und intellektuelle Anforderungen an den Betrachter gestellt. Er muss die gesehenen Strukturen mit bekannten vergleichen und in Zusammenhang bringen. Der Landoltring stellt also auch einen Erkennungsreiz dar. Bei Sehschärfenbestimmungen werden als Sehzeichen (Optotypen) auch Buchstaben, Zahlen und Bildsymbole verwendet.

1.2.5. Blindheit

Völlige Blindheit im Sinne einer fehlenden Lichtwahrnehmung wird als Amaurose bezeichnet. Faktisch blind ist auch derjenige, der nur noch Licht wahrnehmen kann. Dem Blinden gleichgestellt sind nach dem Bundessozialhilfegesetz (BSHG) und den Landesblindengeldgesetzen Personen, deren Sehschärfe nicht mehr als ein Fünfzigstel (0,02) beträgt oder die eine Sehstörung von einem ähnlichen Schweregrad aufweisen. Eine derartige Störung kann in einer Gesichtsfeldeinengung bestehen. So gilt auch derjenige als blind, dessen Gesichtsfeldradius – bei

voller Sehschärfe – in keine Richtung mehr als 5° beträgt. Als wesentlich sehbehindert im Sinne dieser Gesetze gelten Personen, deren Sehstörung einen MdE / GdB Grad von 100 % bedingt, aber noch nicht die Kriterien für Blindheit erfüllt. Dies ist der Fall, wenn z.B. die Sehschärfe nicht mehr als 0,05 beträgt.

1.3. Problemstellung

Das Ziel dieser Arbeit war es, eine in einer Pilotstudie von RAUPACH (1998) untersuchte Methode zur objektiven Schätzung der Mindestsehschärfe weiter zu entwickeln. Zur besseren Standardisierung wurde in der vorliegenden Arbeit anstelle des blau-gelben ein achromatisches Muster zur Nystagmusauslösung verwendet, außerdem feiner abgestufte Fixationsreize zur Nystagmusunterbrechung, um eine genauere Schätzung im oberen Visusbereich zu ermöglichen. Die Methode sollte an Probanden mit künstlich verminderter Sehschärfe sowie an einer großen Zahl kooperativer Patienten mit unterschiedlichen Augenerkrankungen im Sinne einer biologischen Eichung validiert werden.

2. Versuchspersonen und Methoden

2.1. Versuchspersonen

2.1.1. Augengesunde Probanden

Es wurden 65 augengesunde Versuchspersonen im Alter von 20 - 42 Jahren untersucht. Die Probandengruppe wurde aus den Angestellten der Augenklinik der Universität Gießen und dem Freundeskreis des Doktoranden rekrutiert. Alle Probanden waren darüber aufgeklärt, dass die Untersuchung ausschließlich wissenschaftlichen Charakter hatte, alle waren mit der Teilnahme an der Untersuchung einverstanden. Bei 22 Probanden war eine Ametropie (maximale Fehlsichtigkeit 3,75 Dioptrien) mit Korrektionsgläsern ausgeglichen. Die Sehschärfenbestimmungen und die nystagmographischen Untersuchungen erfolgten unter bestmöglicher Korrektion der Fehlsichtigkeit.

Zusätzlich erfolgten Visusbestimmungen und nystagmographische Untersuchungen auf 5 unterschiedlichen Vernebelungsstufen. Hierzu wurde die Sehschärfe unter Verwendung von Bangerter-Sichtokklusiven, die auf der Brille oder dem Korrektionsglas angebracht wurden, reduziert. In der Regel wurden also bei jedem Probanden 6 Visusbestimmungen und 18 nystagmographische Untersuchungen pro Auge durchgeführt. Beide Augen wurden jeweils monokular untersucht. Bei 3 Probanden wurden nur 3 Vernebelungsstufen verwendet und bei einer Probandin nur 2 Vernebelungsstufen.

2.1.2. Patienten

Insgesamt wurden 425 Patienten im Alter von 6 - 89 Jahren untersucht. Alle Patienten waren darüber aufgeklärt, dass es sich bei der Untersuchung um eine rein wissenschaftliche Untersuchung handelt, die keine Konsequenzen für ihre Behandlung in der Klinik haben würde. Damit waren alle Patienten einverstanden. Die wesentliche Ursache für die Visusminderung wurde in Kenntnis der Vorgeschichte, des an der Spaltlampe erhobenen biomikroskopischen Befundes der vorderen Augenabschnitte, des biomikroskopischen Augenhintergrundbefundes

sowie zusätzlich vorliegender Befunde (Refraktion, Retinometer-Visus, Fluoreszenz-angiographie, elektrophysiologische Befunde) definiert. Bei keinem der Patienten bestand ein Grund zur Annahme einer psychogenen Sehstörung. Nach der Ursache der Visusminderung wurden die untersuchten Augen folgenden Gruppen zugeordnet, um die Beziehung zwischen der Größe des nystagmushemmenden Reizes und dem Visus für diese Erkrankungen getrennt zu betrachten:

- Medientrübung
- Schielamblyopie
- Refraktionsamblyopie
- Netzhauterkrankungen
- Optikuserkrankungen

Falls ein Auge durch mehrere Erkrankungen geschädigt war, erfolgte die Zuordnung entsprechend der Erkrankung, die für das Ausmaß der Visusreduktion nach dem klinischen Befund den wesentlichen Ausschlag gab. Der Grund für die besondere Hervorhebung der Amblyopie besteht in früheren Mitteilungen, wonach der optokinetische Nystagmus bei amblyopen Augen häufig durch schwächere Fixationsreize unterbrochen wurde als bei optisch vernebelten oder anderweitig beeinträchtigten Augen mit derselben Sehschärfe. Durch die Spezialisierung unserer Klinik war es kein Problem, eine größere Patientengruppe mit Amblyopien zu erhalten.

2.2. Methoden

2.2.1. Visusbestimmung

Der Visus wurde unter bestmöglicher Korrektur ermittelt. Die Korrektur wurde entweder auf die objektive Refraktion (Autorefraktometer) gestützt oder im subjektiven Abgleich bestimmt. Als Optotypen wurden Landolt-Ringe verwendet.

Die Visusbestimmung erfolgte jeweils monokular an beiden Augen. Die Prüfdistanz betrug 5 m. Sie wurde im Visusbereich unter 0,1 verkürzt, um eine genügend große Anzahl unterschiedlicher Sehzeichen anbieten zu können, die in den Sehzeichenprojektoren und auf den Prüftafeln in dieser Größe nicht zur Verfügung stehen. Dabei entsprach der Visus für das selbe Sehzeichen in x-facher Distanz dem x-fachen des Nennwertes in der Referenzentfernung. Begonnen wurde jeweils mit einem noch gut erkennbaren Sehzeichen. Auf jeder Visusstufe wurden vier Ringe gezeigt. Die Ringe wiesen 8 mögliche Öffnungsrichtungen auf. Eine Stufe galt als erkannt, wenn 3 oder 4 Zeichen richtig genannt wurden (Kriterium 3 von 4). In diesem Fall wurde zur nächst höheren Stufe fortgeschritten. Wurde das Kriterium nicht mehr erfüllt, so entsprach der Visus der letzten noch bestandenen Stufe. Wenn die Versuchsperson die Sehzeichen nicht mehr sicher erkennen konnte, wurde sie im Sinne einer sog. Forced-Choice-Strategie, die bei der Visusprüfung vorgeschrieben ist, aufgefordert, die Richtung des Sehzeichens zu erraten. (Der unzulässige Verzicht auf diese Forced-Choice-Strategie hätte zur Folge, dass „sicherheitsbedürftige“ Patienten, die keinen Fehler begehen möchten, die Prüfung zu früh abbrechen, indem sie behaupten, die Sehzeichen nicht mehr zu erkennen. Hierdurch würde ihre Sehschärfe unterschätzt werden. Bei „risikobereiten“ Patienten, die versuchen, notfalls durch Raten ein möglichst gutes Ergebnis zu erzielen, würde der Visus dagegen korrekt eingeschätzt.)

2.2.2. Nystagmographische Ermittlung des objektiven Messwertes

2.2.2.1. Prinzip der Untersuchung

Die Methode beruht auf OHMS Idee der Unterbrechung eines optokinetischen Nystagmus durch einen unbewegten Fixationsreiz. Mit einem groben Streifenmuster wurde zunächst ein optokinetischer Nystagmus ausgelöst. Durch einen unbewegten Fixationsreiz (Bremsmarke), welcher diesem optokinetischen Reizmuster überlagert wurde, wurde der Nystagmus unterbrochen. Es war davon auszugehen, dass die Größe der zur Nystagmusunterbrechung erforderlichen Fixationsreize in irgendeiner Beziehung zum Visus stünde. Gegenüber der Pilotstudie von RAUPACH (1998) wurde die Anzahl der Fixationsreize geändert, um durch eine feinere Abstufung im Bereich der kleinen Fixationsreize eine höhere Auflösung im oberen Visusbereich zu ermöglichen. Anstelle des ehemals blau-gelben Streifenmusters zur Nystagmusauslösung wurde ein helleres, grau-weißes Streifenmuster verwendet.

2.2.2.2. Versuchsaufbau

Die Untersuchungen wurden an einem handelsüblichen PC der Firma Siemens/Nixdorf PCD-3T/25 mit einem 16 '' Monitor (Eizo Flexscan 90705, Hitec Associates Ltd. 7-35 Yokogawa, Kanazawa, Ichikawa 921 Japan) durchgeführt. Zur Erzeugung des Streifenmusters und zu dessen Bewegung sowie zur Erzeugung der Fixationsreize und zur Ableitung der Augenbewegungen diente eine kommerzielle Software, die im Rahmen des Ober 2 UNO-P Systems zusammen mit der Messbrille bei der Firma Permobil Meditech AB, Timra, Schweden erhältlich ist. Die Versuchsanordnung ist in Abbildung 2 dargestellt.



Abbildung 2: Versuchsaufbau der objektiven nystagmographischen Methode. Links im Vordergrund sitzt der Patient mit der Messbrille, die mit Infrarotsensoren bestückt ist. Die Brille ist über ein Zwischenmodul (links vor dem Monitor) mit dem PC (rechts hinter dem Monitor) verbunden. Auf dem Monitor werden das optokinetische Reizmuster und die Fixationsreize dargeboten. Das Programm wird über die Tastatur gestartet und ist danach vom Untersucher nicht mehr beeinflussbar. Die Punkte im optokinetischen Reizfeld entsprechen der Bremsmarke 5 (s. 2.2.2.4.).

Der Patient saß in einem abgedunkelten Raum einen Meter vom Monitor entfernt auf einem höhenverstellbaren Stuhl. Der Stuhl wurde so eingestellt, dass die Augen etwa in der Höhe der Bildschirmmitte zentriert waren. Die Versuchsperson trug eine Messbrille, die mit 4 Infraroteinheiten je Auge versehen ist. Diese Infraroteinheiten sind zugleich Sender und Detektoren von Infrarotstrahlen. Die emittierte Strahlung wird vom Auge reflektiert. Im Bereich der Sklera (hell) ist die Reflektion hoch, im Bereich der Regenbogenhaut und Pupille (dunkel) gering. Durch die Veränderung der Reflektionverhältnisse an den rechts und links sowie oberhalb und unterhalb des Auges befindlichen Detektoren können Augenbewegungen erfasst werden. Die Messbrille war mit einem Steckrahmen für Korrektionsgläser ausgestattet. Ein Rundumschutz hielt Störeffekte ab und schränkte das Gesichts- und Blickfeld auf etwas mehr als die Reizfeldgröße ein. Das Reizfeld (Streifenmuster) erschien auf dem Monitor. Der Versuchsperson wurde erklärt, dass sie die bewegten Streifen aufmerksam betrachten sollte, so dass sie diese trotz ihrer Bewegung deutlich erkennen könne. Es wurde mitgeteilt, dass in der Folgezeit kleine Buchstaben erschienen, die dann, sobald sie lesbar wären, benannt werden sollten. Während der Untersuchungen wurden die Spurlinien der Blickbewegungen digital im PC gespeichert. Sie konnten im Anschluss an die Untersuchung auf dem Monitor dargestellt oder über einen angeschlossenen Drucker ausgedruckt werden.

2.2.2.3. Reizfeldparameter

Auf dem Monitor wurde in 1 m Entfernung ein vertikal gestreiftes Reizfeld mit einer Größe von horizontal 16° und vertikal $4,7^\circ$ dargestellt. Das Streifenmuster bestand aus Streifen mit einer Breite von 59,1 Winkelminuten. Vor jeder Prüfung erfolgte eine Eichung des Monitors in Bezug auf die Leuchtdichte des Streifenmusters. Es wurde eine Leuchtdichte von 100 cd/m^2 für die hellen und 25 cd/m^2 für die dunklen Streifen eingestellt. Die Leuchtdichtemessungen erfolgten mit einem Belichtungsmesser der Marke Gossen Mastersix. Dieser wurde im Abstand von 10 cm senkrecht auf den Monitor gerichtet, wobei die Streifenbreite auf die Hälfte der Reizfeldbreite vergrößert wurde. Als Messwert galt der Mittelwert aus fünf Einzelmessungen. Die Helligkeit der Streifen wurde über die Helligkeits- und Kontrasteinstellung am Monitor verändert. Das Streifenmuster bewegte sich in einer Vorlaufzeit zunächst 2 s mit einer Geschwindigkeit von $8,4^\circ/\text{s}$ von links nach rechts, dann 2 s von rechts nach links. Anschließend lief das Muster wiederum für 2 s mit der doppelten Winkelgeschwindigkeit in beide Richtungen. Dieser Vorlauf diente dazu, die Aufmerksamkeit auf das Streifenmuster zu lenken und die Auslösbarkeit des optokinetischen Nystagmus zu prüfen. Danach bewegte sich das Reizmuster mit einer konstanten Geschwindigkeit von $8,4^\circ/\text{s}$ von links nach rechts.

Tabelle 2: Parameter des Reizfeldes zur Auslösung des optokinetischen Nystagmus

Größe des Reizfeldes	horizontal 16° , vertikal $4,7^\circ$
Streifen pro Reizfeld	16
Streifenbreite	59,1 Winkelminuten
Ortsfrequenz des Musters	0,51 Perioden/Grad
Reizmuster-Geschwindigkeit	$8,4^\circ/\text{sec}$
Leuchtdichte dunkle Streifen	25 cd/m^2
Leuchtdichte helle Streifen	100 cd/m^2

2.2.2.4. Fixationsreize

10 s nach dem Beginn der Streifenbewegung erschien das erste Triplet von 3 unbewegten schwarzen Fixationsreizen (Bremsmarken), deren Größe jeweils 1 Bildpunkt (Pixel) betrug. Diese Fixationsreize wurden im zentralen Bereich des Reizfeldes angeboten. Nachdem sie dort in dem kontinuierlich bewegten optokinetischen Reizmuster für 2 Sekunden standen, wurden sie durch ein Triplet von drei größeren Fixationsreizen abgelöst. Diese waren ebenfalls 2 Sekunden sichtbar und wurden dann durch die nächstgrößeren Fixationsreize abgelöst. Im weiteren Verlauf folgten den zunächst punkt- bzw. strichförmigen Fixationsreizen U-Haken (Bremsmarke 5) und anschließend E-Haken (Bremsmarken 6 – 11, siehe Tabelle 3). Der Erscheinungsort und die Öffnungsrichtung dieser Reize wechselten mit jeder neuen Bremsmarkengröße. Da der Untersuchte aufgefordert wurde anzugeben, wann er die Öffnungsrichtung der beispielsweise mittleren Bremsmarke benennen konnte, erhielt die Untersuchung den Anschein einer subjektiven Visusprüfung. Dies sollte vom eigentlichen Ziel der Untersuchung, der Feststellung des Zeitpunktes der Nystagmusunterbrechung, ablenken und außerdem die Aufmerksamkeit verstärkt auf die Fixationsreize lenken.

Tabelle 3: Größe der verwendeten Fixationsreize zur Unterbrechung des optokinetischen Nystagmus

	Form	Kantenlänge in Pixel	Strichstärke in Pixel	Erscheinungs- Zeitpunkt in s
Bremsmarke 1	Punkt	1x1	-	10
Bremsmarke 2	Querstrich	2x1	-	12
Bremsmarke 3	L-Haken	2x2	-	14
Bremsmarke 4	Punkt	2x2	-	16
Bremsmarke 5	U-Haken	3x3	1	18
Bremsmarke 6	E-Haken	5x5	1	20
Bremsmarke 7	E-Haken	10x10	2	22
Bremsmarke 8	E-Haken	15x15	3	24
Bremsmarke 9	E-Haken	20x20	4	26
Bremsmarke 10	E-Haken	30x30	6	28
Bremsmarke 11	E-Haken	50x50	10	30

2.2.2.5. Auswertung der Nystagmogramme

Bei der Auswertung der Nystagmogramme wurde der Zeitpunkt bestimmt, an dem es zu einer Unterbrechung des optokinetischen Nystagmus kam. Dieser Zeitpunkt wurde der entsprechenden Bremsmarke zugeordnet. Zur Auswertung kamen ausschließlich Ableitungen, bei denen ein regelmäßiger optokinetischer Nystagmus vorhanden war. Der Nystagmus galt erst dann als unterbrochen, wenn diese Unterbrechung mindestens 3 Sekunden anhielt (Abbildung 3). Auf diese Weise sollten mögliche subjektive Untersucherentscheidungen eliminiert werden, wenn dies auch zur Folge haben konnte, dass erst eine größere Bremsmarke in die Auswertung einging als die, die kurzzeitig schon vorher den optokinetischen Nystagmus unterbrochen hat.

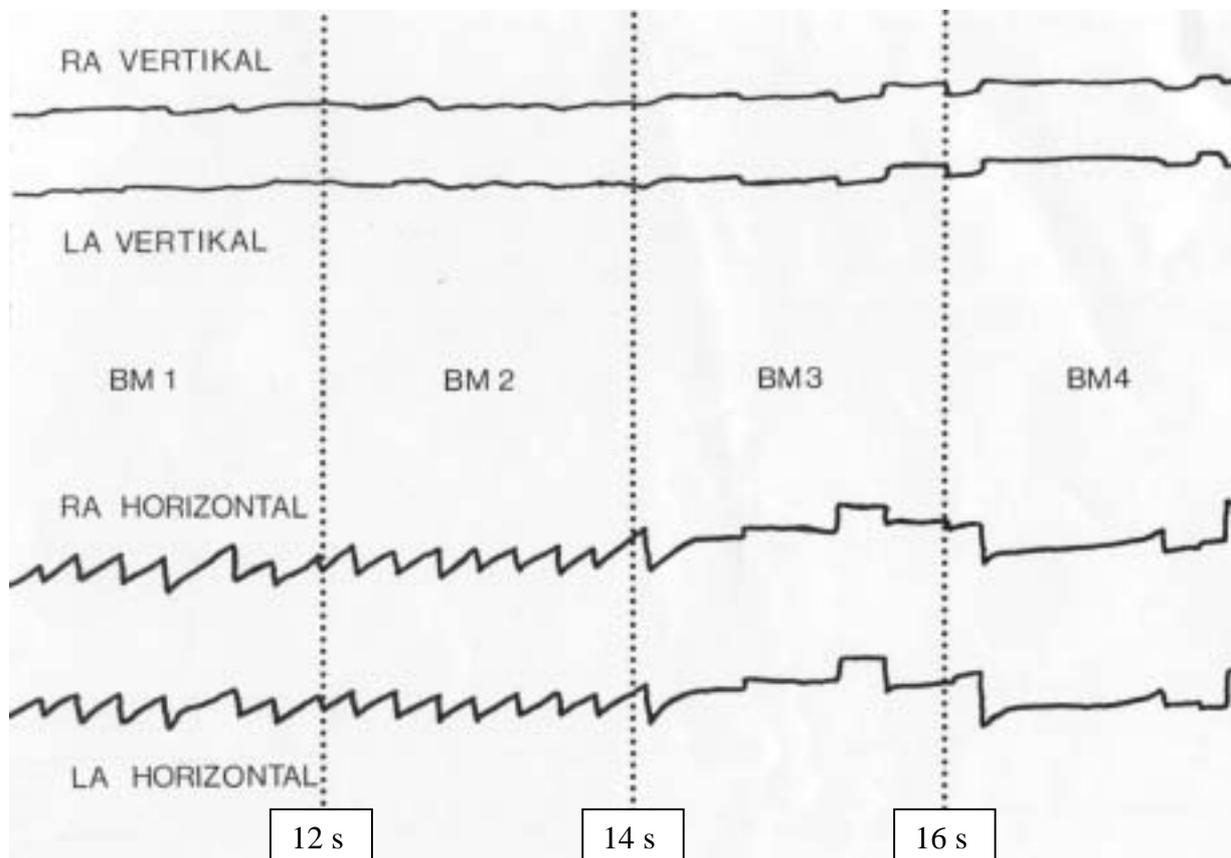


Abbildung 3: Beispiel eines Nystagmogramms mit Unterbrechung des regelmäßigen optokinetischen Nystagmus durch Bremsmarke 3. Der zunächst regelmäßige, durch die Reizmusterbewegung nach links schlagende optokinetische Nystagmus sistiert sofort nach Darbietung von Bremsmarke 3. Die im Bereich von Bremsmarke 3 und Bremsmarke 4 zu erkennenden Blicksakkaden kennzeichnen Fixations sprünge zwischen den drei Fixationsreizen jeder Bremsmarke.

2.2.2.6. Reizmustergeschwindigkeit

Bei zehn hoch motivierten Probanden wurde für jedes Auge getrennt getestet, welche Auswirkung eine Änderung der Reizmustergeschwindigkeit auf die Auslösung des optokinetischen Nystagmus hat. Bei sonst gleichbleibenden Bedingungen (vergl. Kapitel 2.2.2.1. bis 2.2.2.4.) wurden vier unterschiedliche Geschwindigkeiten des Reizmusters den Probanden präsentiert. Die Grundgeschwindigkeit (G1) betrug wie in den vorangegangenen Untersuchungen $8,4^\circ/\text{sec}$, diese wurde beim folgenden Durchgang (G2) verdoppelt, bei G3 verdreifacht und bei G4 vervierfacht.

Ab G3 fiel häufig das physiologische Phänomen einer Ortsfrequenzverdoppelung auf (d.h. die Versuchsperson empfand bei der Betrachtung des Reizmusters doppelt so viele, nur noch halb so breite Streifen wie bei der langsameren Geschwindigkeit). Trotz sehr guter Mitarbeit in dieser ausgewählten Gruppe bestand schon bei G3 das Problem, den optokinetischen Nystagmus regelmäßig auszulösen. Bei vier Augen war dies nicht mehr möglich. Auch für die Geschwindigkeit 2 gaben die Versuchspersonen an, dass die Konzentration auf das Reizmuster schwerer fiel als bei G1.

Bei der Grundgeschwindigkeit und der doppelten Geschwindigkeit wurde bei allen Augen ($n=20$) ein optokinetischer Nystagmus ausgelöst. Mit der dreifachen Geschwindigkeit konnte bei 80% der Augen ein regelmäßiger optokinetischer Nystagmus beobachtet werden. Bei der vierfachen Geschwindigkeit war dies nur noch bei 60 % der untersuchten Augen der Fall. Deswegen erschien für die folgenden Untersuchungen die geringere Geschwindigkeit G1 am vorteilhaftesten.

3. Ergebnisse

3.1. Ergebnisse der Visusbestimmung mit Landolt-Ringen

3.1.1. Augengesunde Probanden

In der Gruppe der augengesunden Probanden wurden 762 Visuswerte von 0,02 bis 2,0 ermittelt. Ohne Vernebelung (n=130) lag der durchschnittliche Visus bei 1,34. Mit der schwächsten Okklusionsfolie, Folie A (n=130) wurde ein Visus von durchschnittlich 0,7 erreicht. Folie B (n=130) reduzierte den Visus auf 0,4, Folie C (n=128) auf 0,32, Folie D (n=122) auf 0,16 und Folie E (n=122) auf 0,12. Diese geometrischen Mittelwerte wurden berechnet, indem zunächst der Visus jedes Probanden logarithmiert wurde. Aus diesen logarithmierten Werten wurde das arithmetische Mittel gebildet. Dieses wurde anschließend wieder delogarithmiert (BACH und KOMMERELL 1998).

Tabelle 4: Mittlerer Visus der Probandengruppe bei unterschiedlich starker Vernebelung mit Okklusionsfolien

Okklusion	Visus
keine	1,34
Folie A	0,7
Folie B	0,4
Folie C	0,32
Folie D	0,16
Folie E	0,12

3.1.2. Patienten

Es wurden 425 Patienten mit unterschiedlichen Augenerkrankungen untersucht. In der Patientengruppe reichten die ermittelten Visuswerte von 0,016 bis 1,25. Bei 6 Personen wurde aus Zeitgründen nur ein Auge untersucht. Bei 2 Personen wurde wegen der hochgradigen Visusreduktion (keine Wahrnehmung von Handbewegung) auf eine Messung mit dem Landoltring verzichtet. Somit konnten bei 842 Augen Visuswerte ermittelt werden. Die Verteilung der Visuswerte ist in Abbildung 4 dargestellt.

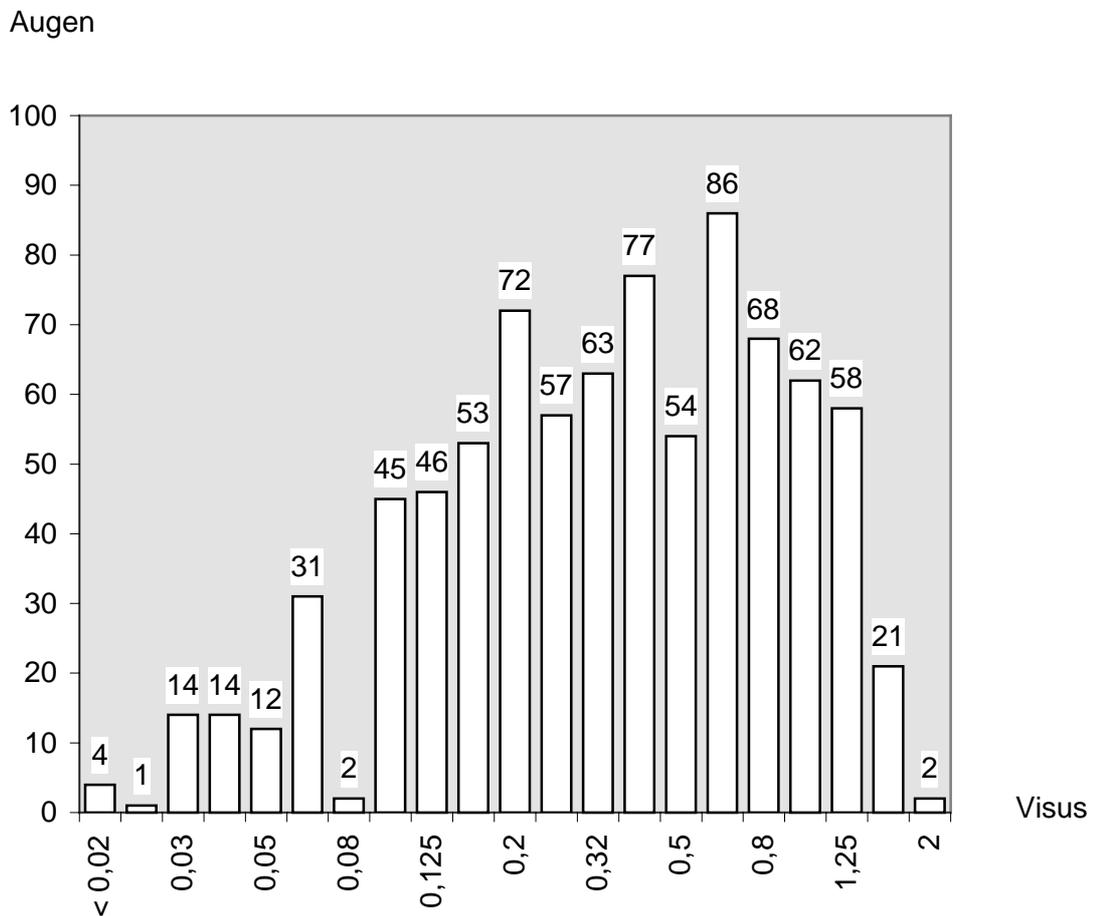


Abbildung 4: Verteilung der Visuswerte bei allen Patientengruppen

3.2. Ergebnisse der nystagmographischen Methode

3.2.1. Augengesunde Probanden

Insgesamt erfolgten 2286 Einzelableitungen. Zur Auswertung wurde von den jeweils drei Einzelableitungen je Auge diejenige herangezogen, bei welcher der optokinetische Nystagmus durch die kleinste Bremsmarke unterbrochen wurde. Damit ergaben sich 762 Untersuchungen. In 6 Fällen kam es in keiner der 3 Einzelableitungen zu einem regelmäßigen optokinetischen Nystagmus. Dies war überwiegend bei starker Vernebelung der Fall. Somit konnten 756 Untersuchungen (99,2%) betrachtet werden. In Abbildung 5 ist dargestellt, wie häufig die einzelnen Bremsmarken den Nystagmus unterbrachen. In den meisten Fällen waren bereits die Bremsmarken 1 bis 7 nystagmussuppressiv, in 286 Fällen die Marken 2 bis 4, die gegenüber dem früheren Programm (Raupach) neu eingefügt waren. In all diesen Fällen wäre der Nystagmus unter Verwendung des alten Programms durch die ein und dieselbe Marke, nämlich Marke 5 (Marke 2 des früheren Programms) gestoppt worden.

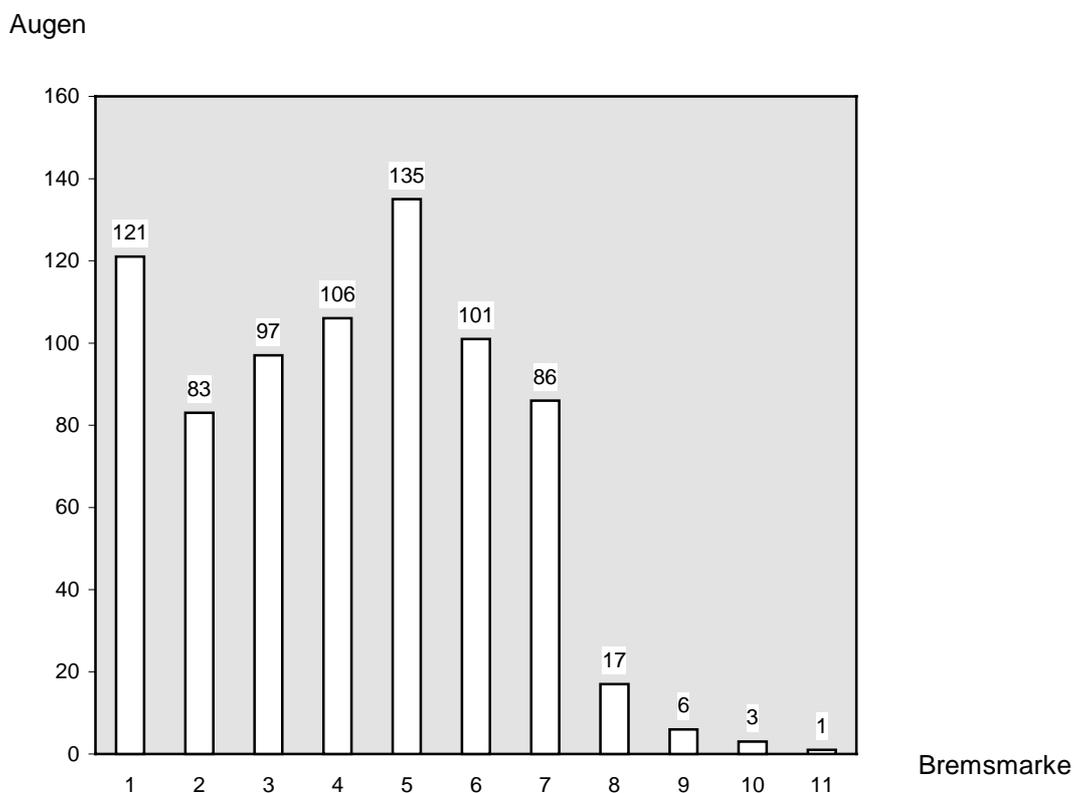


Abbildung 5: Häufigkeit der Nystagmusunterbrechung durch die einzelnen Bremsmarken bei 756 Untersuchungen an Augengesunden mit und ohne Vernebelung

3.2.2. Patienten

Insgesamt erfolgten 2526 Einzelableitungen. Zur weiteren Auswertung wurde von den jeweils drei Einzelableitungen je Auge diejenige herangezogen, bei welcher der optokinetische Nystagmus durch die kleinste Bremsmarke unterbrochen wurde. Damit ergaben sich 842 Untersuchungen. In 34 Fällen in keiner der 3 Einzelableitungen zu einem regelmäßigen optokinetischen Nystagmus bzw. einer Suppression des Nystagmus nach den oben festgelegten Kriterien. Es standen daher 808 Untersuchungen (96%) zur weiteren Betrachtung zur Verfügung (Abbildung 6).

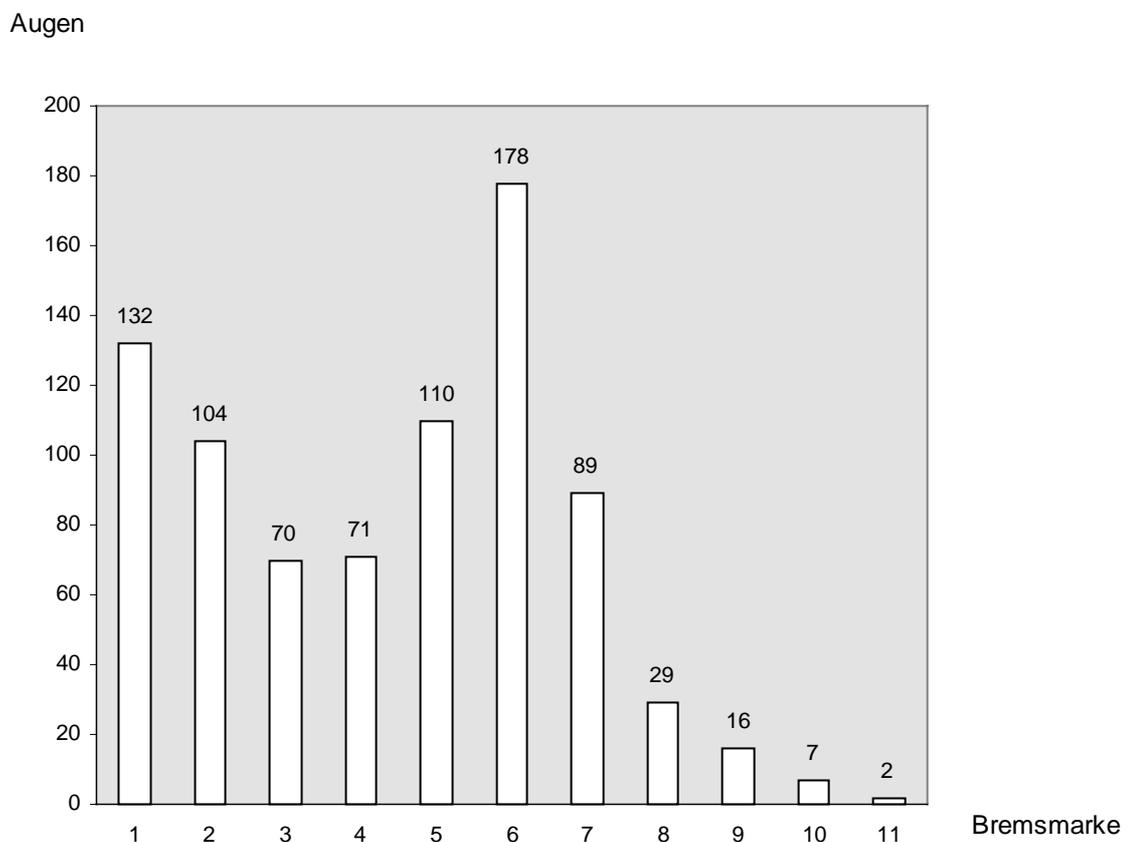


Abbildung 6: Häufigkeit der Nystagmusunterbrechung durch die einzelnen Bremsmarken bezogen auf die kleinste wirksame Bremsmarke aus drei Einzelableitungen.

3.3. Gegenüberstellung von Visus und Nystagmussuppression

3.3.1. Augengesunde Probanden

Die Abbildung 7 zeigt eine nicht unerhebliche Streuung des Visus über der jeweils kleinsten effektiven Bremsmarke. So wurde der Nystagmus bei einem Visus von 0,8 teilweise schon durch Bremsmarke 1 unterbrochen, bei einem Probanden aber erst durch Bremsmarke 5. Umgekehrt konnte der Visus bei Nystagmusunterbrechung durch Bremsmarke 2 bis zu 1,6 betragen oder nur 0,4. Die Punktwolke ist nach unten hin stufenartig begrenzt. Der beobachtete Mindestvisus für die nystagmusunterbrechende Bremsmarke nimmt mit zunehmender Größe der Bremsmarken ab. Je kleiner die wirksame Bremsmarke, umso höher war der beobachtete Mindestvisus.

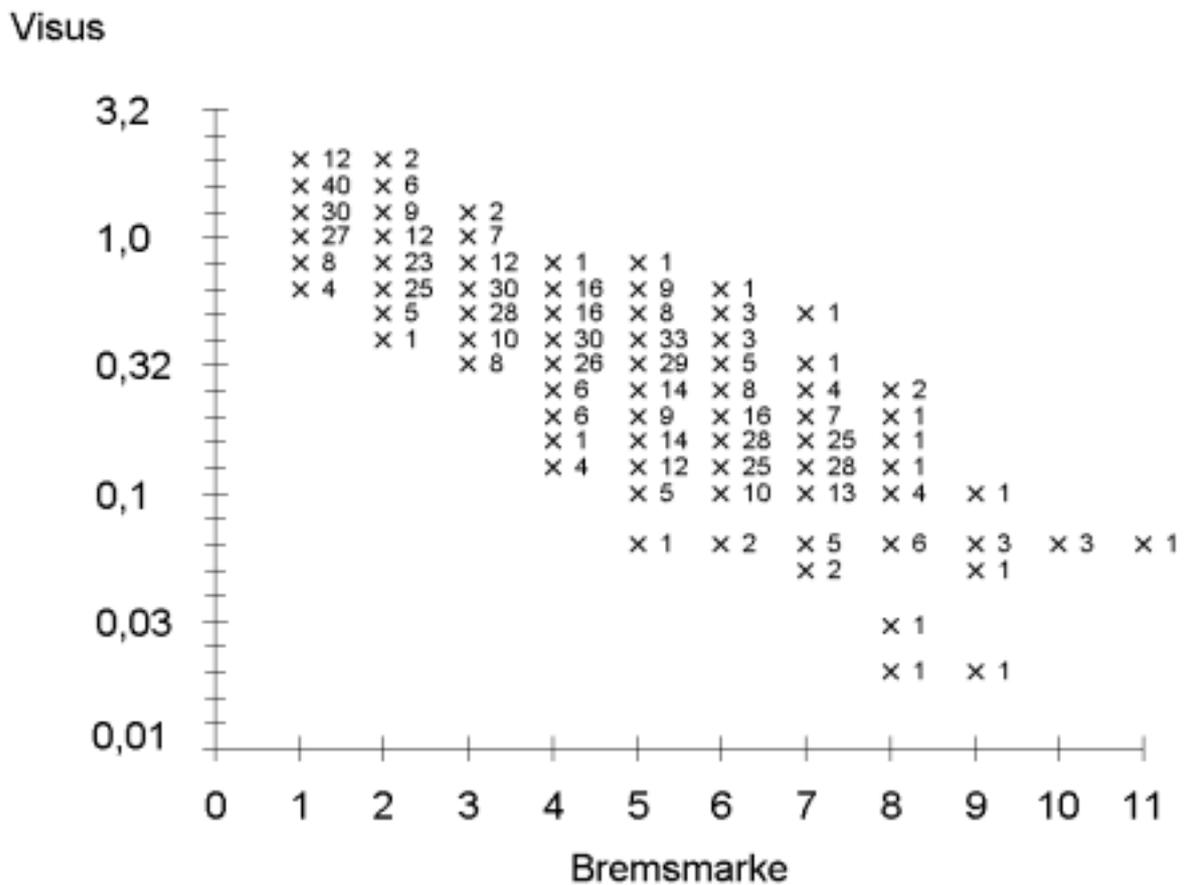


Abbildung 7: Visus der Probanden (beide Augen) bei allen Vernebelungsstufen aufgetragen über der kleinsten zur Nystagmusunterbrechung führenden Bremsmarke

3.3.2. Patienten

Nicht immer war die Ursache der Visusreduktion eines Patienten an beiden Augen dieselbe. Eine Schielamblyopie beispielsweise ist grundsätzlich einseitig. Die folgende Gruppenbildung entsprechend der Ursache der Visusreduktion bezieht sich daher auf die betroffenen Augen.

3.3.2.1. Medientrübungen

Bei den Augen mit Medientrübungen (Abbildung 8) zeigt sich eine ähnliche Verteilung der Wertepaare wie bei der Gruppe der Probanden. Die Verteilung der Visuswerte über den einzelnen Bremsmarken weicht auch hier ganz offensichtlich von einer Standardnormalverteilung ab. Das ist im Hinblick auf die später zu ermittelnden Toleranzgrenzen einer Visusschätzung anhand der Bremsmarke in erster Linie zu beachten.

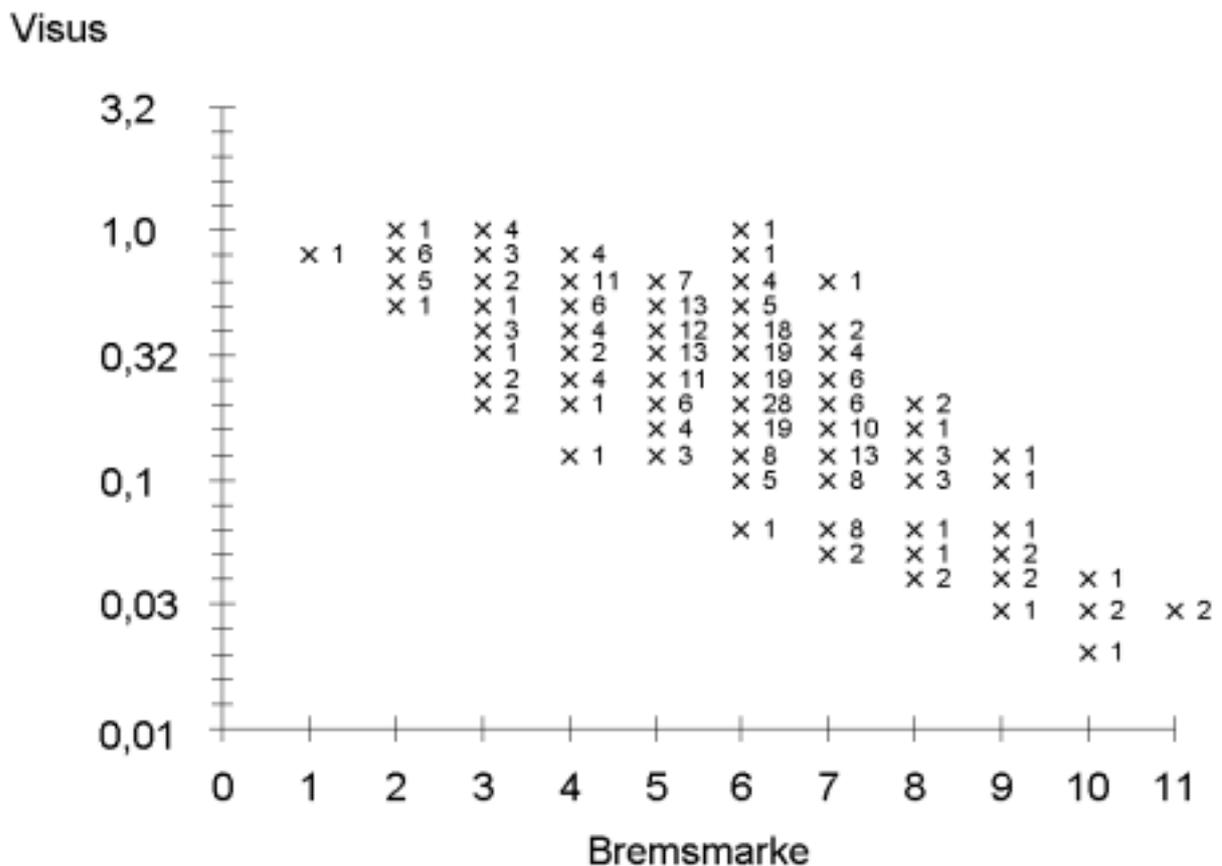


Abbildung 8: Visus der Patientenaugen mit einer Medientrübung als Ursache der Visusreduktion aufgetragen gegen die kleinste nystagmushemmende Bremsmarke

3.3.2.2. Netzhauterkrankungen

Es wurden 106 Augen mit Netzhauterkrankungen untersucht. Der Visus betrug 0,025 bis 0,8. In dieser Gruppe streut die Verteilung der Visuswerte teilweise stärker nach unten als in der Gruppe mit Medientrübungen. Auch hier liegt offensichtlich keine Normalverteilung der Visuswerte über den einzelnen Bremsmarken vor (Abbildung 9).

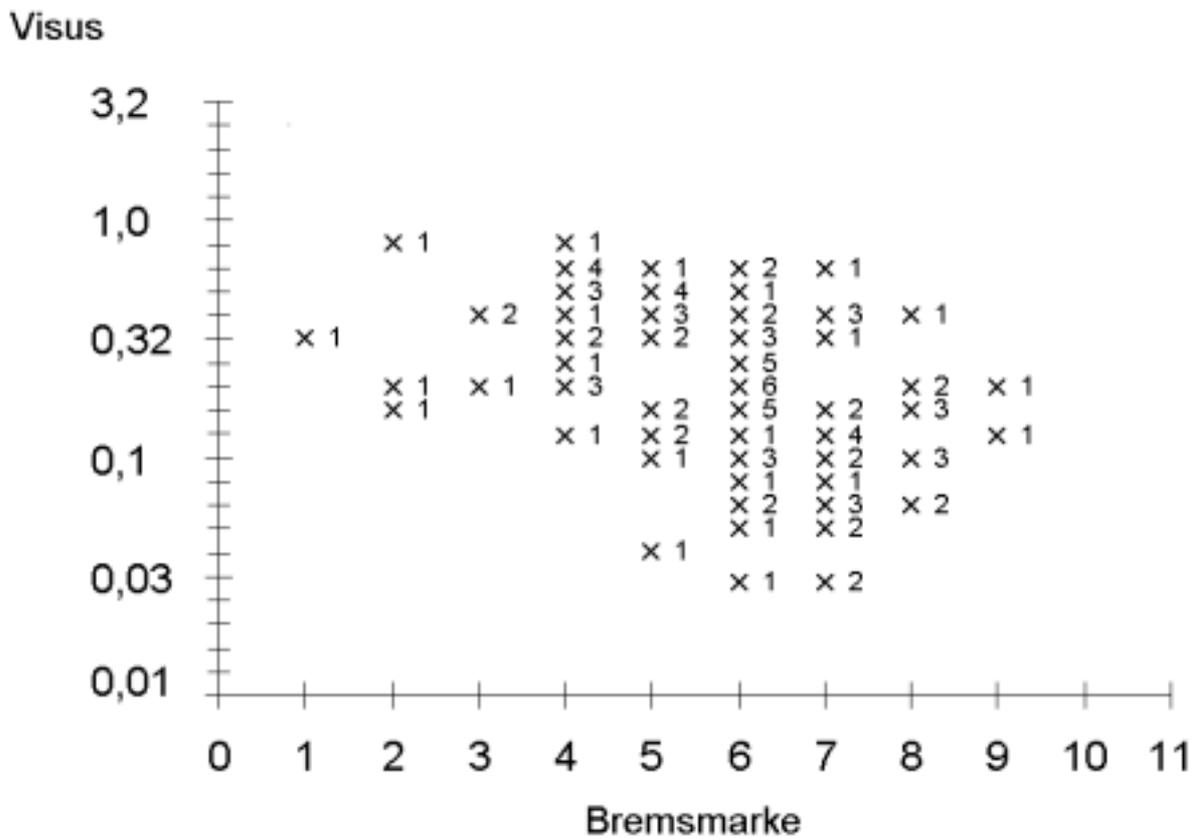


Abbildung 9: Visus der Augen mit einer Netzhauterkrankung als Ursache der Visusreduktion aufgetragen gegen die kleinste nystagmushemmende Bremsmarke

3.3.2.3. Optikuskrankungen

In der Gruppe der Augen, bei denen eine Erkrankung des N. opticus für die Visusreduktion verantwortlich war, betrug der Visus 0,025 bis 0,8. Der optokinetische Nystagmus wurde durch Bremsmarke 2 bis Bremsmarke 8 unterbrochen (Abbildung 10). Die Gruppe der Augen mit Optikuskrankungen ist relativ klein (28 Augen), so dass eine Aussage zur Verteilung nicht sinnvoll erscheint.

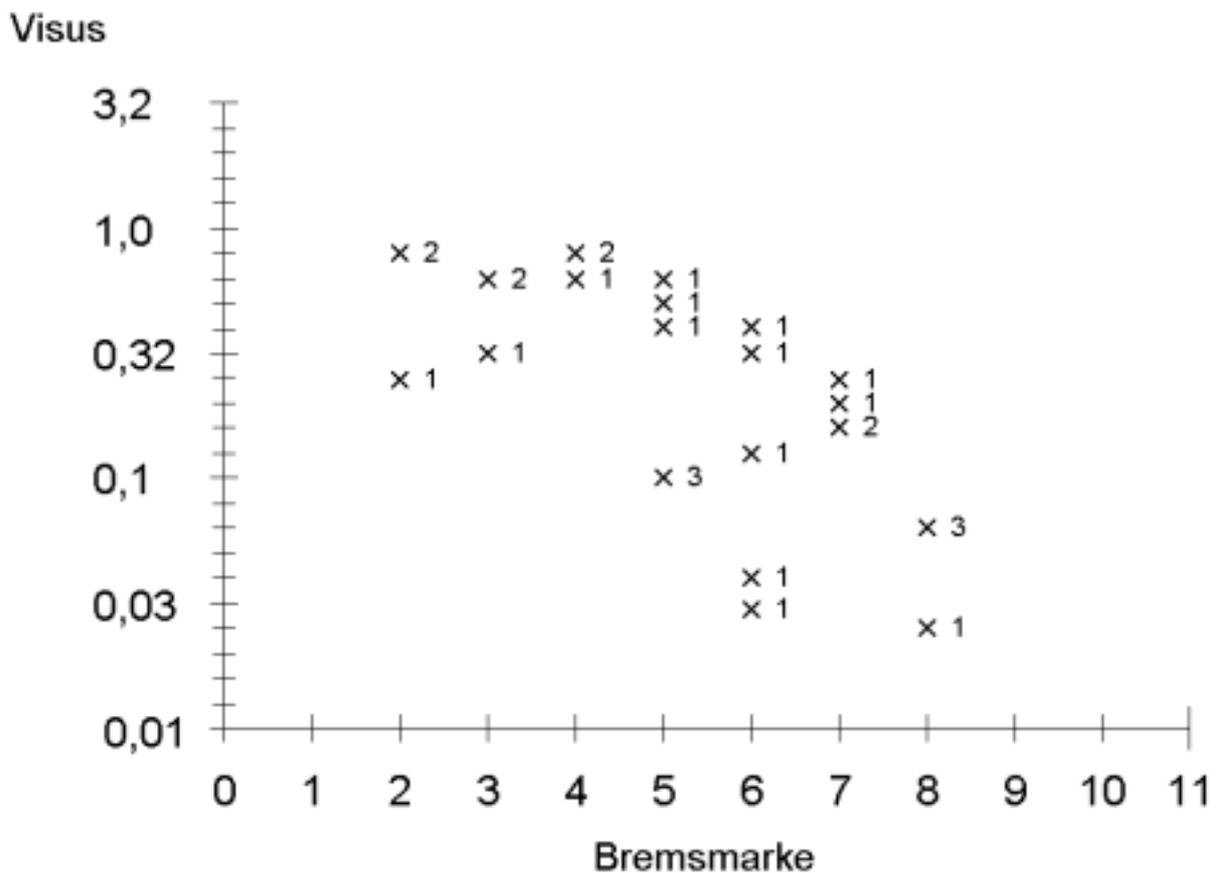


Abbildung 10: Visus der Patientenaugen mit einer Optikuskrankung als Ursache ihrer Visusreduktion aufgetragen gegen die kleinste nystagmushemmende Bremsmarke

3.3.2.4. Schielamblyopie

In dieser Gruppe wurden 122 schielamblyopie Augen von Patienten mit seitengleicher Fehlsichtigkeit und schielende Augen von Patienten zusammengefasst, bei denen eine Anisometropie bestand, auf dem schlechteren, d.h. schielenden Auge, also möglicherweise eine gemischte Amblyopie durch Strabismus und Refraktion vorlag. Der Visus betrug in dieser Gruppe von 0,016 bis 1,25. Bei 6 Augen mit einem EinzeLOPTOTYPENVISUS von 1,0 bzw. 1,25 bestand nur eine geringe Amblyopie. Der Nystagmus wurde in dieser Gruppe durch Bremsmarke 1 bis Bremsmarke 10 unterbrochen (Abbildung 11). In dieser Gruppe ist, wie auch in früheren Untersuchungen (RAUPACH 1998), eine Nystagmushemmung durch kleine Bremsmarken trotz teilweise sehr geringen Visus zu erkennen. So trat z.B. bereits bei Bremsmarke 1 eine Unterbrechung des Nystagmus bei 15 Augen mit einem Visus von 0,5 oder weniger, in einem Fall sogar von nur 0,16 ein. Bremsmarke 2 war bereits bei einem Visus von nur 0,063, Bremsmarke 3 in einem Fall bei einem Visus von nur 0,02 wirksam. Dadurch unterscheidet sich diese Gruppe erheblich von der Probandengruppe und der Gruppe von Patienten mit organischen Augenerkrankungen.

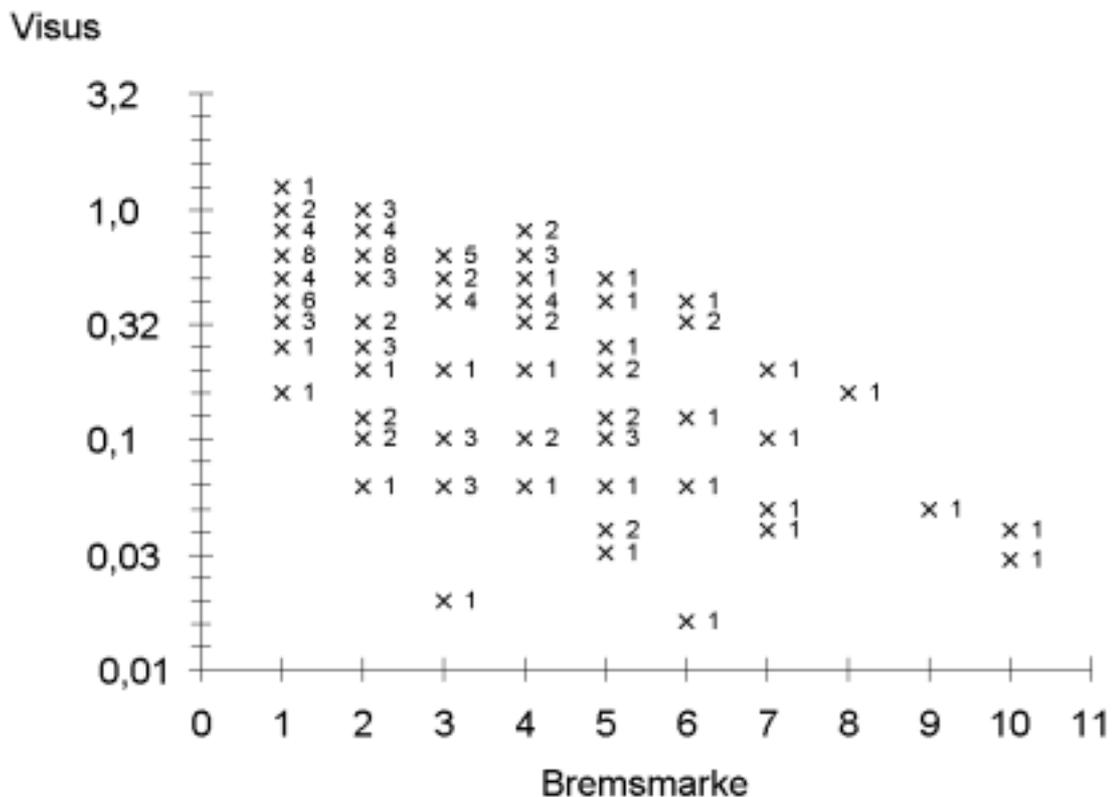


Abbildung 11: Visus der schielamblyopie Augen aufgetragen gegen die kleinste nystagmushemmende Bremsmarke

3.3.2.5. Refraktionsamblyopie

In der Gruppe der Refraktionsamblyopien (Abbildung 12) scheint die Visusverteilung über den einzelnen Bremsmarken weniger von dem Verteilungsmuster der Probandengruppe abzuweichen als in der Gruppe der schielamblyopien Augen.

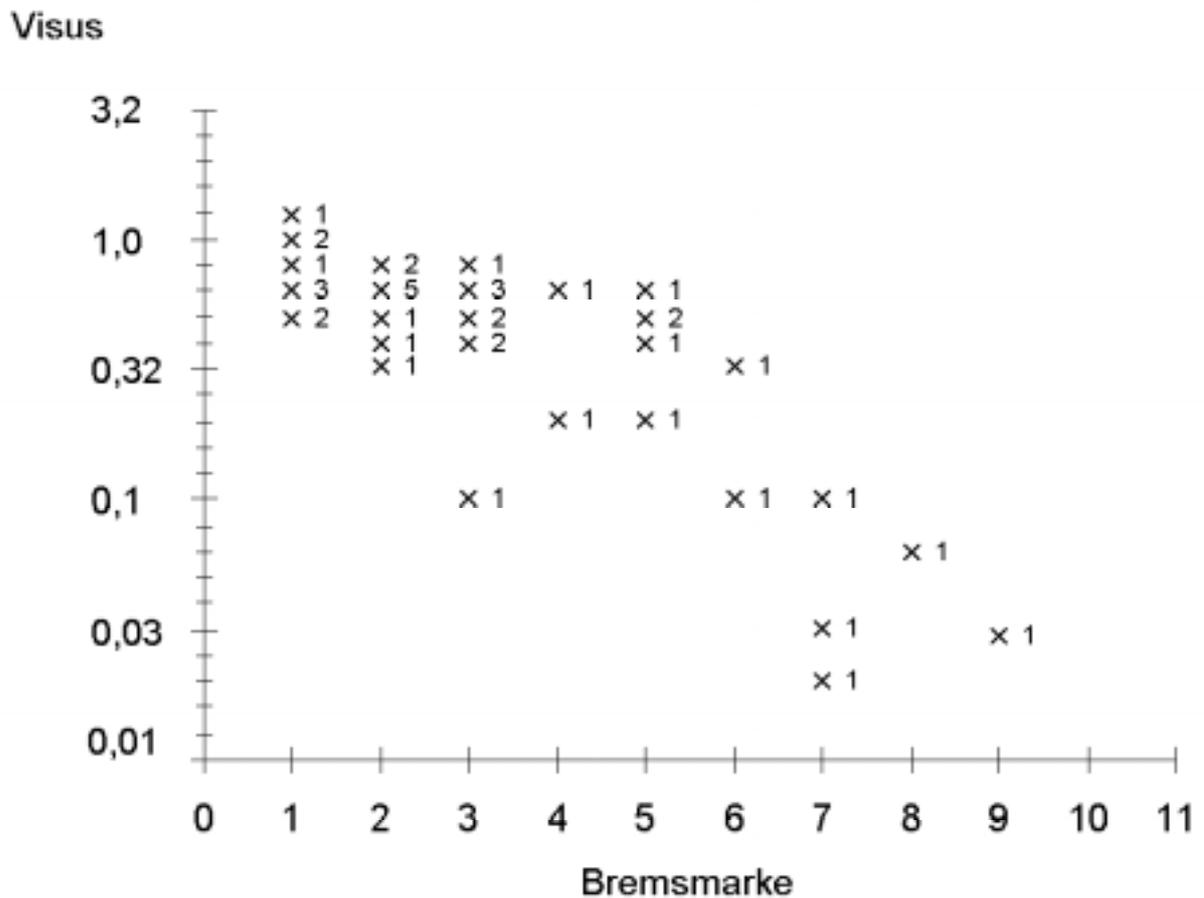


Abbildung 12: Visus der refraktionsamblyopien Augen aufgetragen gegen die kleinste nystagmushemmende Bremsmarke

3.3.2.6. Augen ohne pathologische Visusreduktion

In dieser Gruppe (n=161) sind die Augen mit normaler Sehschärfe enthalten, von Patienten mit nur einseitiger pathologischer Visusreduktion. Meist wurde der Nystagmus bereits durch die erste oder zweite Bremsmarke unterbrochen. Wie in den vorherigen Gruppen kam es also vor, dass trotz guter Sehschärfe erst die Bremsmarke 4-6 wirksam war.

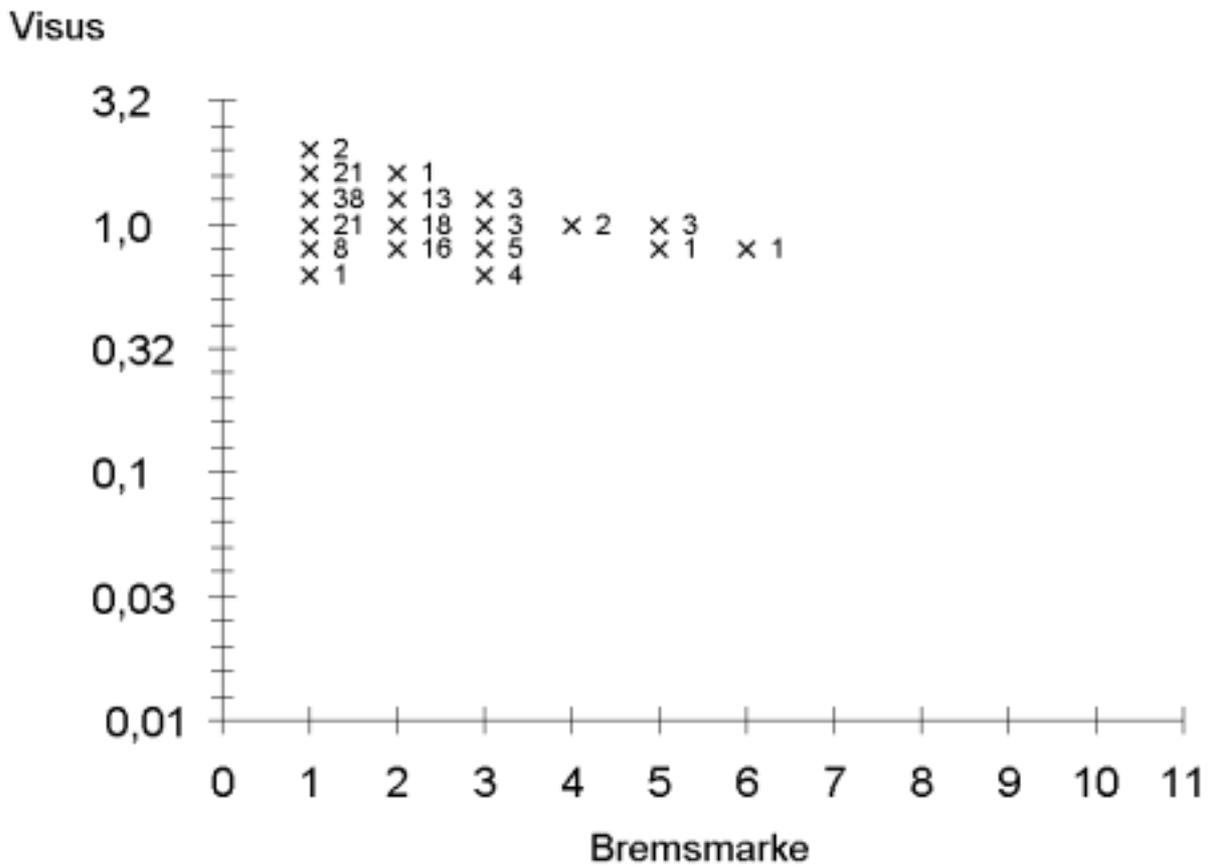


Abbildung 13: Visus der gesunden Augen aufgetragen gegen die kleinste nystagmushemmende Bremsmarke

3.4. Schätzung des Mindestvisus mit der nystagmographischen Methode („biologische Eichung der Methode“)

Um aus den gewonnenen Daten anhand der Wirksamkeit einer bestimmten Bremsmarke Toleranzgrenzen zur Schätzung des zu erwartenden Mindestvisus zu ermitteln, wurde von jeder Versuchsperson nur ein Auge für die Auswertung heran gezogen. So wird eine mögliche Unterschätzung der Toleranzgrenzen, d. h. eine durch die mögliche „inter-eye-correlation“ falsch zu geringe Irrtumswahrscheinlichkeit vermieden (RAY und DAY 1985). Die schielamblyopen Augen wurden ausgeschlossen, da sich das Verhältnis zwischen dem Visus und der ermittelten Bremsmarke in dieser Gruppe deutlich von dem in den anderen Diagnosegruppen unterschied. Diese Beobachtung deckt sich mit früheren Ergebnissen von RAUPACH (1998) sowie VIEFHUES und KÜHNHARDT (1958). Auch refraktionsamblyope Augen wurden ausgeschlossen, obwohl bezüglich der Nystagmussuppression keine derartige Auffälligkeit bestand, auch nicht zwingend zu erwarten ist, denn im Gegensatz zur Schielamblyopie, bei der vor allem die Funktion des bei binokularem Sehen supprimierten Zentrums reduziert ist, kommt es bei der Refraktionsamblyopie durch die generalisierte Reizdeprivation zu einer Entwicklungsstörung der zentralen und peripheren Gesichtsfeldbezirke, wodurch die Erkennungssehschärfe unter Umständen weniger stark von einer reinen Kontrastwahrnehmung, vom „minimum visibile“ abgekoppelt ist als bei der Schielamblyopie. Außerdem ist der optokinetische Nystagmus bei der Schielamblyopie aufgrund der immer auch gestörten Binokularfunktion störanfälliger als bei einer Refraktionsamblyopie. Dennoch schlossen wir jegliche Amblyopie aus der Eichgruppe aus. Von den übrigen Patienten wurde jeweils ein Auge herangezogen (nach der Reihenfolge der Teilnahme an der Studie wechselweise das rechte oder das linke Auge). Außerdem wurde von jedem Probanden ein Auge herangezogen, nach der Reihenfolge der Teilnahme an der Studie wechselweise das rechte Auge oder das linke Auge. Jeder Proband ging jedoch mit nur einer der 6 Untersuchungen in die Auswertung ein, entweder ohne oder mit einer der 5 Vernebelungen. Dies wurde ebenfalls systematisch nach der Reihenfolge der Teilnahme an der Studie festgelegt. Für die folgenden Kalkulationen blieben dadurch 145 gesunde Augen ohne oder mit Vernebelung sowie 176 Augen mit einer Katarakterkrankung, 53 Augen mit einer Netzhauterkrankung und 13 Augen mit einer Optikuserkrankung als Ursache ihrer Visusreduktion. So erfolgte die „biologische Eichung“ anhand der Ergebnisse von 387 Augen (Abbildung 14).

Die benachbarten E-Haken der Bremsmarke 10 und 11 lagen mit einem Mindestabstand von $1,25^\circ$ so dicht aneinander, dass sie bei reduzierter Sehschärfe zu einem nicht mehr genau definierbaren, großen Detektionsreiz konfluieren konnten. Daher erfolgte für diese Bremsmarken keine Auswertung.

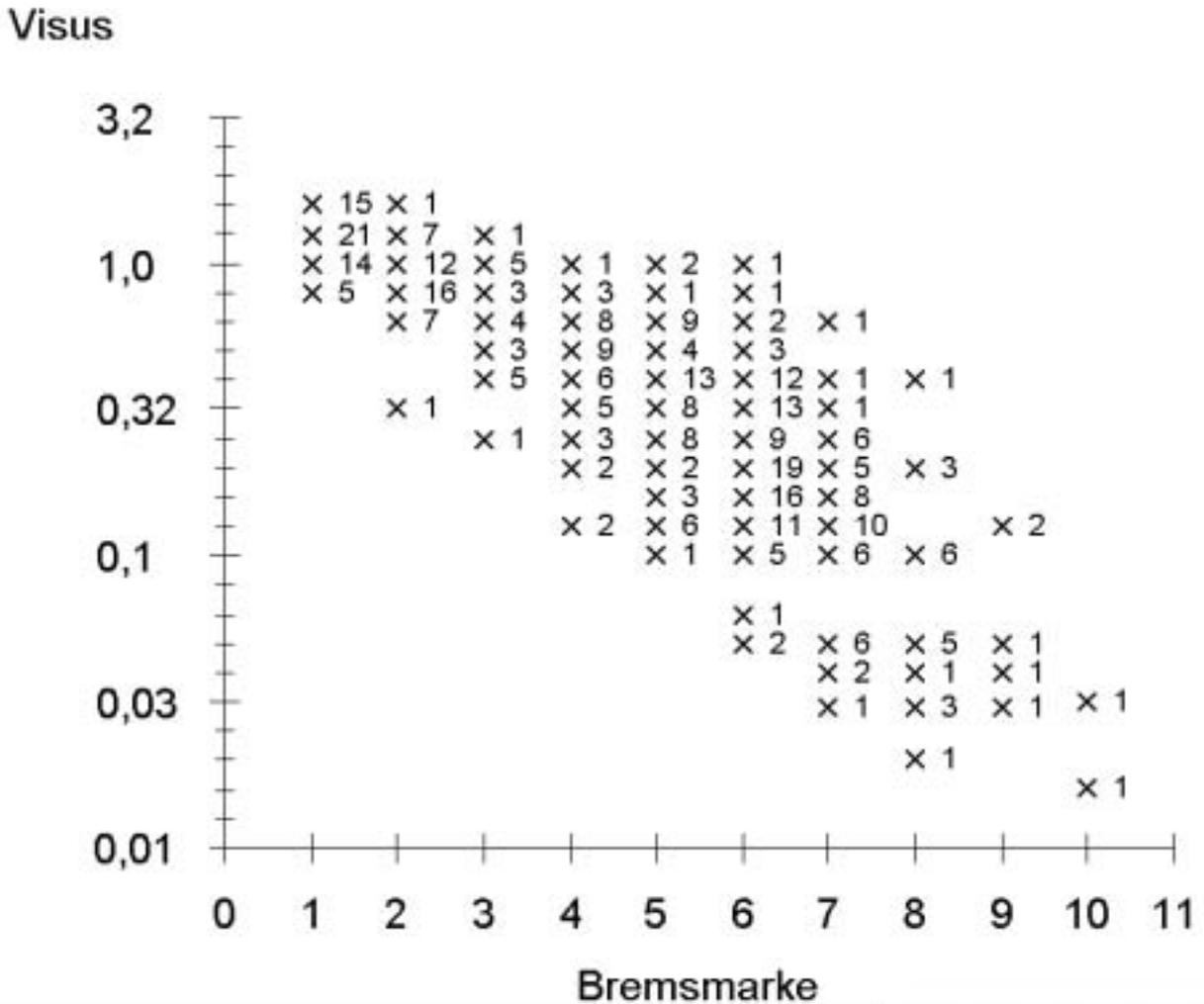


Abbildung 14: Visus von 387 Augen gesunder und Patienten mit unterschiedlichen Augenerkrankungen (außer amblyopen Auge) aufgetragen gegen die kleinste Nystagmussupprimierende Bremsmarke

Wie Abbildung 14 zeigt, lag keine Standardnormalverteilung des Visus über den einzelnen Bremsmarken vor. Dies konnte auch mit dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test gezeigt werden. Die Verteilungen konnten auch nicht durch eine gleichbleibende mathematische Operation in eine Normalverteilung transponiert werden. Somit war nicht die Voraussetzung erfüllt, um die Kalkulation von Toleranzintervallen auf der Basis des Mittelwertes und der Standardabweichung

des Visus über den einzelnen Bremsmarken vorzunehmen. Daher wurden verteilungsunabhängige Toleranzgrenzen ermittelt, die der Gleichung von Wilks ($n \cdot \gamma^{n-1} - (n-1) \cdot \gamma^n = \alpha$) genügen, wobei im Mittel mit der Irrtumswahrscheinlichkeit α mindestens der Anteil γ einer beliebigen Grundgesamtheit zwischen dem größten und dem kleinsten Wert einer der Grundgesamtheit entstammenden Zufallsstichprobe liegt und n den Stichprobenumfang darstellt (SACHS 1997).

Die Ergebnisse dieser Kalkulation sind in Tabelle 5 dargestellt. Tabelle 5 zeigt den jeweiligen Stichprobenumfang und die in der Eichgruppe (vgl. Abb. 14) beobachteten Mindestvisuswerte für die einzelnen Bremsmarken. In den beiden rechten Spalten ist angegeben, welcher Anteil von Augen aus einer beliebigen Grundgesamtheit bei Nystagmusunterbrechung durch eine bestimmte Bremsmarke in dem Visusbereich zu erwarten ist, der in der Eichgruppe für diese Bremsmarke beobachtet wurde. Für Bremsmarke 2 bedeutet das z.B., dass 86% der Augen einen Visus im Bereich von 0,32 bis 1,6 aufweisen sollten, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit dieser Kalkulation 0,01 betragen soll. Ein sicherer Beweis, dass die Sehschärfe mindestens 0,32 beträgt, ist also damit nicht erbracht.

Tabelle 5: Beobachteter Mindestvisus V_{\min} nichtamblyoper Augen bei Nystagmusunterbrechung durch die Bremsmarken 1 - 8. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit α beträgt der Visus in mindestens $\gamma_{\alpha} \cdot 100\%$ einer beliebigen Grundgesamtheit nicht amblyoper Augen mindestens V_{\min} . Bei Nystagmushemmung durch Bremsmarke 1 sind beispielsweise mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% mindestens 88% der Visuswerte $\geq 0,8$ zu erwarten.

Bremsmarke	n	V_{\min}	$\gamma_{0,01}$	$\gamma_{0,05}$
1	55	0,80	0,88	0,91
2	44	0,32	0,86	0,90
3	22	0,25	0,73	0,80
4	39	0,12	0,84	0,88
5	57	0,10	0,89	0,92
6	95	0,06	0,93	0,95
7	47	0,03	0,87	0,90
8	20	0,025	0,71	0,78

4. Diskussion

4.1. Grundsätzliche Probleme der objektiven Sehschärfenschätzung

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird unter Objektivität die unvoreingenommene Analyse und Beurteilung von Gegenständen, Problemen, Personen usw. verstanden, wobei die Fähigkeit und Bereitschaft hierzu Voraussetzung sind. Objektivität ist vor allem eine Eigenschaft des Beurteilers. Auch in der Ophthalmologie gelten traditionell Untersuchungsmethoden als objektiv, bei denen der Untersucher einen Befund unabhängig von Angaben des Patienten erhebt. Dem gegenüber werden Methoden als subjektiv bezeichnet, die sich auf verbale oder andere bewusste Angaben des Patienten stützen. Objektive Untersuchungsmethoden sind die Biomikroskopie, Tonometrie oder der Abdecktest. Bestimmungen visueller Funktionen, also die Sehschärfenbestimmung, die Perimetrie oder eine Farbsinnprüfung erfolgen in aller Regel nach einer subjektiven Strategie. Der Patient kann die Antworten dabei leicht manipulieren.

4.1.1. Subjektive Patienteneinflüsse bei objektiven Methoden

Es wurde mehrfach darauf hingewiesen, dass auch bei den objektiven Verfahren der Sehschärfenbestimmung Vigilanz, Habituation, Konzentration und Kooperationsbereitschaft eine wesentliche Rolle spielen (MACKENSEN 1953, VOIPIO 1961). Dies gilt auch für das Muster-VECP (visuell evoziertes kortikales Potential) (UREN et al. 1979, BUMGARTNER und EPSTEIN 1982, COHEN et al. 1982, TAN et al. 1984). Damit ist der Vorteil, den HEDIN (1981) und ALEXANDRIDIS (1984) für das Muster-VECP gegenüber anderen Methoden sahen, relativiert. Sie vertraten die Ansicht, dass die auf psychooptischen Reflexen oder Reaktionen basierenden Methoden, wie z.B. der optokinetische Nystagmus, wegen der bewussten Beeinflussbarkeit keine völlig objektive Sehschärfenbestimmung erlaubten. Unter diesem Aspekt bestehen jedoch zwischen elektrophysiologischen und psychophysischen Methoden wohl eher graduelle als prinzipielle Unterschiede.

Die Möglichkeit der Manipulation besteht umso mehr, je eher die Absicht der Untersuchung und das Prinzip der Methode klar sind. Im Hinblick auf die Kindertauglichkeit einer Methode zur objektiven Schätzung der Sehschärfe stehen die Attraktivität des visuellen Reizes und die Komplexität der Reaktion auf diesen Reiz im Vordergrund. Dagegen spielt die Tarnung der Methode eine entscheidende Rolle, wenn es um eine kritische Prüfung fragwürdiger Visusangaben von Patienten geht. Diesem Aspekt wird bei der hier untersuchten Methode Rechnung getragen, indem die Fixationsreize die Form eines Sehzeichens haben. Wenn der Untersucher den Prüfling auffordert, die Richtung dieser Sehzeichen anzugeben, kann die Untersuchung als eine subjektive Visusbestimmung unter der erschwerten Bedingungen eines bewegten Streifenmusters im Hintergrund dargestellt werden. Durch diese Aufgabenstellung wird außerdem die Konzentration auf das Reizfeld und auf die Fixationsreize gelenkt.

4.1.2. Subjektive Untersuchereinflüsse bei objektiven Methoden

Die nach der obigen Definition objektiven Untersuchungsmethoden sind auch nicht frei von subjektiven Einflüssen seitens des Untersuchers. Selbst bei der Applanationstonometrie, der ophthalmoskopischen Beurteilung der Papillen oder bei der ophthalmoskopischen Schätzung der Papillenexkavation sind erhebliche intra- und interindividuelle Untersucherunterschiede aufgefallen (LEYDHECKER et al. 1979). Ähnliche Untersuchereinflüsse sind auch bei der Beurteilung von Augenbewegungen möglich, wenn z.B. bei den Methoden nach GOLDMANN (1943) oder GÜNTHER (1948) die Blickfolgebewegungen bzw. der optokinetische Nystagmus lediglich beobachtet und nicht nystagmographisch registriert werden. Je mehr bei einer objektiven Methode das subjektive Untersucherurteil gefragt ist, umso eher wird dadurch das Ideal der Objektivität eingeschränkt. Bei der hier untersuchten Methode zur objektiven Schätzung der Mindestsehschärfe sind Untersuchereinflüsse auf ein Minimum reduziert. Der gesamte Untersuchungsablauf ist automatisiert und lässt sich nach dem Start des Programms nicht mehr beeinflussen. Da auch die Kriterien für die Auswertung der Nystagmogramme strikt definiert sind, ist bei der Auswertung ebenfalls ein hohes Maß an Objektivität gewährleistet. Ein Untersuchereinfluss ist durch unterschiedliche Motivation des Prüflings zur Kooperation bei der Untersuchung möglich.

4.1.3. Differenzierung von Objektivität und von Genauigkeit

Im Zusammenhang mit der objektiven Sehschärfenbestimmung wurde wiederholt darauf hingewiesen, dass bei medizinischen Laien (z.B. Auftraggeber eines Gutachtens, Richter Versicherungen) der Begriff der Objektivität mit Messgenauigkeit verwechselt werden könnte (GIEßMANN 1964, GÜNTHER 1968). Dies könnte dazu führen, dass die Aussagekraft einer objektiven Methode überschätzt wird. Tatsächlich ist aber bei jeweils guter Mitarbeit des Patienten jede objektive Schätzung der Sehschärfe weniger genau als die subjektive Strategie. Zum einen wird die Reizwahrnehmung oder -erkennung bei objektiven Verfahren indirekt festgestellt, was eine Einschränkung der Messgenauigkeit bedingen kann. Zum anderen entsprechen die applizierten Reize (Gittermuster, Schachbrettmuster, Punkt- oder Lichtreize) nicht dem Optotypenvisus, der klinisch primär von Interesse ist. Da das Verhältnis zwischen den verschiedenen Arten der Sehschärfe nicht konstant ist und insbesondere bei pathologischen Visusreduktionen stark variieren kann, resultiert hieraus eine Fehlermöglichkeit. Wenn die Mitarbeit bei der subjektiven Messung jedoch schlecht ist, kann eine objektive Methode genauere Werte liefern. Aufgrund der genannten Stimulusunterschiede ist eine objektive Aussage zum Visus nur innerhalb bestimmter Toleranzgrenzen möglich, die u.a. davon abhängen, wie eng der Optotypenvisus mit dem visuellen Vermögen für die verwendeten Reize korreliert. Jedoch ist auch hier prinzipiell die Bereitschaft zu einer guten Mitarbeit von Nöten. Der Begriff objektive Sehschärfenschätzung weist auf diese Ungenauigkeit hin.

4.2. Physiologische Grenzen der objektiven Sehschärfenschätzung

Alle Verfahren der objektiven Sehschärfenbestimmung bedienen sich verschiedener Reflexe oder Reaktionen auf visuelle Reize, um daraus die mögliche Sehschärfe abzuleiten. Neben den bereits genannten Stimulusunterschieden, die im Hinblick auf eine Schätzung des Optotypenvisus besonders hervorzuheben sind, ergeben sich weitere Einschränkungen. Die Anwendbarkeit der hier untersuchten Methode setzt eine weitgehende funktionelle Integrität der Strukturen voraus, die an der Auswahl von Blickzielen sowie der Koordination der motorischen Reaktionen auf die applizierten Reize beteiligt sind. Daher müssen nachgeordnete medulläre, mesencephale und supranukleäre Strukturen, die beteiligten Hirnrindenareale, und die

motorische Endstrecke mit den jeweiligen neuronalen Verbindungen intakt sein. Eine Störung im Bereich einer dieser Komponenten kann eine fehlende Reaktion sowohl auf das optokinetische Reizmuster als auch auf die Fixationsreize nach sich ziehen. Daher ist das Ausbleiben dieser Reaktion nicht mit einer fehlenden Reizwahrnehmung gleichzusetzen. Als einfaches Beispiel wäre eine horizontale Blickparese zu nennen. In der Praxis sind derartige Einschränkungen jedoch sehr selten und stellen insofern keine nennenswerte Einschränkung der Anwendbarkeit dar. In den 1604 Untersuchungen an Augengesunden und Patienten war beispielsweise in nur 40 Fällen (2,5%) keine Auswertung möglich. Dies war jedoch in erster Linie dadurch bedingt, dass die Sehschärfe sehr gering war. Ursache war in keinem dieser Fälle eine motorische Störung.

Eine Besonderheit der Methode im Vergleich zu Verfahren, die nur auf der Auslösung eines optokinetischen Nystagmus beruhen, besteht in der individuell möglicherweise unterschiedlichen Konkurrenz zwischen dem optokinetischen System und der Fixation der Bremsmarken. Diese Konkurrenz unterliegt unter anderem der Konzentration, Motivation und Vigilanz. Dies kann erklären, dass bei einigen Versuchspersonen trotz guter Sehschärfe erst große Fixationsreize eine Nystagmussuppression bewirkten. In Fällen, wo die Fixation wieder vom optokinetischen Nystagmus abgelöst wurde, ist das strenge Auswertungskriterien für die Streuung „nach oben rechts“ (Abb. 13) verantwortlich, indem erst diejenige Bremsmarke als wirksam gewertet wird, durch die (und die folgende) der Nystagmus längere Zeit unterbrochen wird. In diesem Fall kommt es bei der Anwendung der Methode zur Unterschätzung der tatsächlichen Sehschärfe, also unter Umständen zur Verkennung einer psychogenen Komponente oder einer Simulation bzw. Aggravation. In diesen Fällen liefern andere kritische Funktionsprüfungen möglicherweise bessere Hinweise auf die tatsächliche Sehschärfe. Die Gefahr der irrtümlichen Annahme einer psychogenen Komponente oder einer Simulation bzw. Aggravation ist dadurch jedoch nicht gegeben, was besonders wichtig erscheint.

4.3. Problematik der „biologischen Eichung“

Im Hinblick auf die „biologische Eichung“ von Methoden zur objektiven Schätzung der Sehschärfe sind mehrere Probleme zu nennen.

4.3.1. Verwendung adäquater Statistik

Die Beziehung zwischen den objektiven Messwerten und dem Optotypenvisus innerhalb einer Eichgruppe erlaubt oft keine parametrische Statistik. Dennoch werden in der Literatur häufig Toleranzgrenzen für die Visusschätzung angegeben, die anhand linearer Regressionsanalysen oder anhand von Standardabweichungen ermittelt wurden (GOLDMANN 1943, GÜNTHER 1948, MAKABE 1984, VOIPIO 1972, WEIGELIN et al. 1955). Dies kann zur Folge haben, dass bei der Schätzung des Visus zu geringe Irrtumswahrscheinlichkeiten bei der Schätzung des Mindestvisus angenommen werden. GÜNTHER und POSER (1960) teilten z.B. zusammenfassend die Ergebnisse mehrerer Studien an insgesamt 673 Augen mit, von denen 385 einen Visus von mindestens 1,0 aufwiesen. Sie nahmen bei der statistischen Auswertung dieser Ergebnisse für den Visus und die objektiven Werte Klasseneinteilungen entsprechend einer logarithmisch etwa äquidistanten Abstufung in Schritten von zwei Dezibel vor und führten eine Regressionsanalyse durch. Die Standardabweichung des Visus um die Regressionsgerade entsprach 1,7 dekadisch logarithmischen Visusstufen. Einem objektiven Wert von 0,2 entsprach beispielsweise ein mittlerer Visus von „0,49“, also ca. 0,5. Vorausgesetzt dass die Stichprobe tatsächlich repräsentativ wäre - hierauf wird noch einzugehen sein - und die Annahme einer Normalverteilung der Daten tatsächlich zuträfe, wäre bei einem neuen Patienten, bei dem ein objektiver Wert von 0,2 festgestellt wird, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von ca. 5 % ein Visus von 0,2-1,2 zu erwarten. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 1 % betrüge der Mindestvisus 0,12. Andere Untersuchungen erwecken ebenfalls den Eindruck einer hohen Validität durch die Angabe von 2 σ - oder 3 Sigma-Grenzen (WEIGELIN et al. 1955, MAKABE 1984 oder WEDER und WIEGAND 1987). OHM dagegen, der sein bereits damals nystagmographisches Verfahren der Nystagmussuppression mit unterschiedlich großen Fixationsmarken mehrfach weiterentwickelt hatte, verzichtete weitgehend auf eine statistische Validierung seiner Methode.

Das in der vorliegenden Arbeit erhobene Datenmaterial lässt aufgrund der Visusverteilung über den Bremsmarken keine parametrische Statistik zur Ermittlung von Visus - Toleranzintervallen zu. Daher erfolgte eine verteilungsunabhängige Auswertung. Obwohl die Fallzahl unserer Studie verhältnismäßig groß war, ist auf dieser statistischen Basis nur eine wesentlich gröbere Aussage möglich. Die Gefahr einer Fehleinschätzung zu Ungunsten des Patienten ist jedoch äußerst gering. Es besteht allerdings die Möglichkeit, dass dadurch bestimmte Fälle von psychogener Sehstörung oder Simulation dem Nachweis durch diese Methode entgehen. Das muss jedoch in Kauf genommen werden, da der umgekehrte Fehler, dazu führen könnte, dass dem Patient zu Unrecht Falschangaben unterstellt werden, was unbedingt zu vermeiden ist.

4.3.2. Repräsentativität der Eichgruppe

Ein weiteres Problem bei der statistischen Behandlung des Datenmaterials stellt die Zusammensetzung der Eichgruppe und die Übertragbarkeit der Ergebnisse dieser Eichgruppe auf einen individuellen zukünftigen Fall dar. Idealerweise müssten alle Erkrankungsgruppen eine möglichst große Zahl von Patienten enthalten, um so für jede Diagnose entsprechende Bezugsgrößen zu haben. Dies ist schon aufgrund der aufwändigen Erhebung der Grunddaten nur begrenzt machbar. Verfolgt man diesen Gedanken weiter, wären nicht nur 5 Erkrankungsgruppen, sondern eine wesentlich größere Zahl von Gruppen zu bilden, da auch die Netzhaut- oder Sehnervläsionen sehr heterogene Ausfallsmuster zeigen. Bei entsprechend differenzierter Gruppenbildung und entsprechendem Gruppenumfang wäre rasch eine erforderliche Zahl von zig- bis Hunderttausenden von freiwilligen Versuchspersonen erreicht. Dies zu realisieren wäre eine anspruchsvolle Aufgabe für weitere Untersuchungen.

Vergleichsweise einfach ist die Situation dagegen bei Patienten mit Verdacht auf eine psychogene Sehstörung oder Simulation, bei denen alle klinischen Untersuchungen, bildgebenden Verfahren und elektrophysiologischen Untersuchungen jegliche organische Ursache der geklagten Visusminderung ausschließen. In dieser Situation können die ermittelten Toleranzintervalle ohne Gefahr der Fehlbeurteilung „zu Ungunsten“ des Patienten angewendet werden. In diesem Fall wäre es sogar zulässig, nur mit den Ergebnissen augengesunder Probanden zu vergleichen.

Komplizierter ist die Situation, wenn tatsächlich eine organisch bedingte Sehstörung vorliegt und der Verdacht besteht, dass der Patient die Visusreduktion zusätzlich aggraviert. Dies kommt bei der klinischen Anwendung derartiger Verfahren im Rahmen von Gutachten oft vor. Sind in einem solchen Fall eingetrübte brechende Medien die wesentliche Ursache der Visusreduktion, erscheint die Anwendung der ermittelten Toleranzintervalle unproblematisch. Schwieriger ist es bei Patienten, deren Visusreduktion auf eine Erkrankung der zentralen Netzhaut zurückzuführen ist, da der Anteil dieser Erkrankungsgruppe an der Eichgruppe geringer war. Erkrankungen der zentralen Netzhaut sind besonders im Zusammenhang mit Blindengutachten relevant. Sie stellen in den entwickelten Industrienationen die häufigste Ursache von Neuerblindungen dar (GRÄF et al. 1999, BERTRAM 1996). Obwohl die Eichgruppe einen nennenswerten Anteil von Patienten mit Netzhauterkrankungen enthält, ist letztlich nicht auszuschließen, dass bei einer Makulopathie ähnliche Effekte wie bei der Schielamblyopie entstehen - also eine Entkoppelung der Visusreduktion von der Beeinträchtigung der Kontrastwahrnehmung eintritt, die letztlich die Grundlage der Nystagmusunterbrechung ist. Diese Entkopplung ist vorstellbar beim Vorliegen kleiner zentraler oder parazentraler Skotome, die im Rahmen diabetischer- oder altersbedingter Makulopathien auftreten können. In einem solchen Fall wäre, wie bei der Schielamblyopie, der Visus für Optotypen erheblich stärker beeinträchtigt als die Wahrnehmung einfacher Kontrastreize, wodurch eine Visusüberschätzung aufgrund der objektiven Messwerte denkbar ist.

Neben dem Umfang der Eichgruppe ist also ihre Zusammensetzung im Hinblick auf die Ursache der Visusreduktion der Versuchspersonen bedeutsam. Dieser sehr wesentliche Aspekt wurde in der großen Zahl von Veröffentlichungen über objektive Verfahren zur Sehschärfenbestimmung kaum erwähnt. Die Aussagekraft einer objektiven Schätzung der Sehschärfe wird durch diesen Faktor unter Umständen erheblich eingeschränkt. Das Ergebnis einer objektiven Schätzung der Sehschärfe ist also grundsätzlich nur in Verbindung mit den übrigen klinischen Befunden und evtl. erforderlichen Zusatzuntersuchungen zu interpretieren.

4.3.3. Klinische Anwendung der nystagmographischen Methode

Bei der klinischen Anwendung der untersuchten nystagmographischen Methode kommen folgende Konstellationen vor:

1. Aufgrund aller subjektiven und objektiven Befunde und der Mitarbeit des Patienten bestehen keine Zweifel an seinen Visusangaben und das Ergebnis der objektiven Schätzung der Sehschärfe fügt sich in die Reihe der übrigen Befunde ein. Diese Situation wäre bei normaler Sehschärfe unproblematisch. Bei normaler Sehschärfe ergibt sich allerdings im medizinischen Alltag keine Notwendigkeit zur objektiven Sehschärfenbestimmung. Wenn der Visus durch eine Erkrankung des Auges, der Sehbahn oder des visuellen Kortex vermindert ist, unterliegt die Entscheidung, ob die Visusangaben des Patienten glaubhaft sind, trotz aller objektiven Befunde in einem gewissen Maß doch der subjektiven Beurteilung des Untersuchers. Eine geringfügige Aggravation ist kaum auszuschließen.

2. Aufgrund aller subjektiven und objektiven Befunde und der Mitarbeit des Patienten bestehen keine Zweifel an der angegebenen Visusreduktion, das Ergebnis der objektiven Schätzung der Sehschärfe deutet jedoch auf eine bessere Sehschärfe hin. Zunächst muss dann eine Amblyopie als Erklärung dieser Diskrepanz ausgeschlossen werden. Liegt keine Amblyopie vor, ist zu prüfen, ob die Visusangaben tatsächlich ausreichend validiert sind. Dabei ist die Anwendung kritischer subjektiver Methoden hilfreich (GRÄF 1997). Durch Prüfung in unterschiedlichen Distanzen und mit unterschiedlichen Sehzeichen kann untersucht werden, ob die Angaben des Patienten konsistent sind. Mit Hilfe statistischer Tests können absichtliche Falschangaben nachgewiesen werden. Das Ergebnis der objektiven nystagmographischen Methode ist dann ein weiterer Baustein im diagnostischen Mosaik.

3. Aufgrund des Organbefundes, anderer objektiver Befunde, widersprüchlicher subjektiver Angaben oder der Widerlegung subjektiver Angaben bei anderen Untersuchungen bestehen erhebliche Zweifel an der Richtigkeit der Visusangaben, und das Ergebnis der objektiven Schätzung der Sehschärfe lässt ebenfalls einen höheren Visus erwarten, als der Patient bzw. der Prüfling zunächst angab. In diesem Fall kann der Untersucher das Ergebnis der objektiven Sehschärfenschätzung nutzen, um sich jetzt bestimmter als ohne diese Information um korrekte

Visusangaben zu bemühen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass es vorteilhaft ist, den Prüfling mit dem Ergebnis der objektiven Methode zu konfrontieren (ohne die Methode im Detail zu erklären). So trifft man entweder auf Einsicht oder löst eine gewisse Verunsicherung aus. Wenn der Prüfling auf seinen Angaben beharrt, bekräftigt das Ergebnis der objektiven Sehschärfenschätzung zumindest die Annahme, dass die subjektiven Angaben nicht korrekt waren.

4. Aufgrund anderer objektiver Befunde, widersprüchlicher oder absichtlich falscher Angaben bei der Untersuchung anderer Sehfunktionen bestehen Zweifel an der Richtigkeit der Visusangaben, die objektive Sehschärfenbestimmung liefert jedoch keinen Hinweis auf einen besseren Visus. In diesem Fall können weitere Verfahren zur objektiven Schätzung der Sehschärfe indiziert sein, z.B. anhand anderer psychophysischer Methoden und des Muster-VECP (visuell evoziertes kortikales Potential).

5. Wenn sich die geklagte Sehstörung nicht sicher einordnen lässt und es sich um eine nur vorübergehende Visusminderung handelte, ist es schwer oder unter Umständen gar nicht festzustellen, ob sie organischer oder psychogener Natur war. Wenn die Visusreduktion hingegen nicht rasch rückläufig ist, sollte die gesamte Bandbreite der Diagnostik genutzt werden, wobei eine differenzierte elektrophysiologische Untersuchung oft besonders wertvolle Informationen liefert (GRÄF und KAUFMANN 1999). Zum objektiven Nachweis einer foveolaren Zapfendystrophie ist eine multifokale Elektroretinographie erforderlich, damit nicht zu Unrecht eine psychogene Störung unterstellt wird (HÜBSCH und GRÄF 2002).

4.4. Ergebnisse der Klinischen Anwendung der Methode

Mittlerweile wurde die hier untersuchte Methode an einer Vielzahl von Personen angewendet, wobei die Indikation in der Abklärung von Sehverschlechterungen ohne eindeutiges objektives Korrelat bestand, vor allem im Rahmen gutachterlicher Untersuchungen (GRÄF und KAUFMANN 1999). Im Rahmen von Gutachten wurde die Methode sowohl bei Personen eingesetzt, an deren Visusangaben nach den übrigen Befunden kein Zweifel bestand, als auch bei Personen, deren angegebene Sehschärfe unglaublich oder nachweislich falsch war. Die Beurteilung der Glaubwürdigkeit der Visusangaben erfolgte anhand der Anamnese und aller erforderlichen klinischen und Laborchemischen Untersuchungen, dazu gehörten die Prüfung auf Reproduzierbarkeit von Visus- und Gesichtsfeldangaben, der Vergleich der subjektiven und objektiven Gesichtsfeldprüfung und die statistische Prüfung der Visus- und Gesichtsfeldangaben des Patienten. Nur bei einer von 62 Personen mit einer als glaubhaft eingestuften beidseitigen Visusminderung war das Ergebnis der nystagmographischen Untersuchung grenzwertig auffällig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch die Einstufung der Visusangaben als „glaubhaft“ bzw. „fragwürdig“ jeweils unter sorgfältigsten Auflagen erfolgte. Die Einstufung kann also „zu Gunsten“ des Patienten falsch gewesen sein, denn eine Fehleinschätzung zu Ungunsten des Patienten sollte unbedingt vermieden werden. Die Spezifität der Methode war dennoch hoch. Die Mindestvisusgrenzen der Bremsmarken 9-11 sind gestrichelt dargestellt, da sie wesentlich geringer angesetzt wurden als es den Beobachtungen an vernebelten Probanden und Patienten entsprach. Wenn ein Nystagmus noch auslösbar ist (KS), wäre ein angebliches Sehvermögen von weniger als eine Wahrnehmung von Handbewegungen (HB), also Lichtscheinwahrnehmung (LS) oder keine Lichtwahrnehmung (NL), unglaublich. Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse dieser Gruppe.

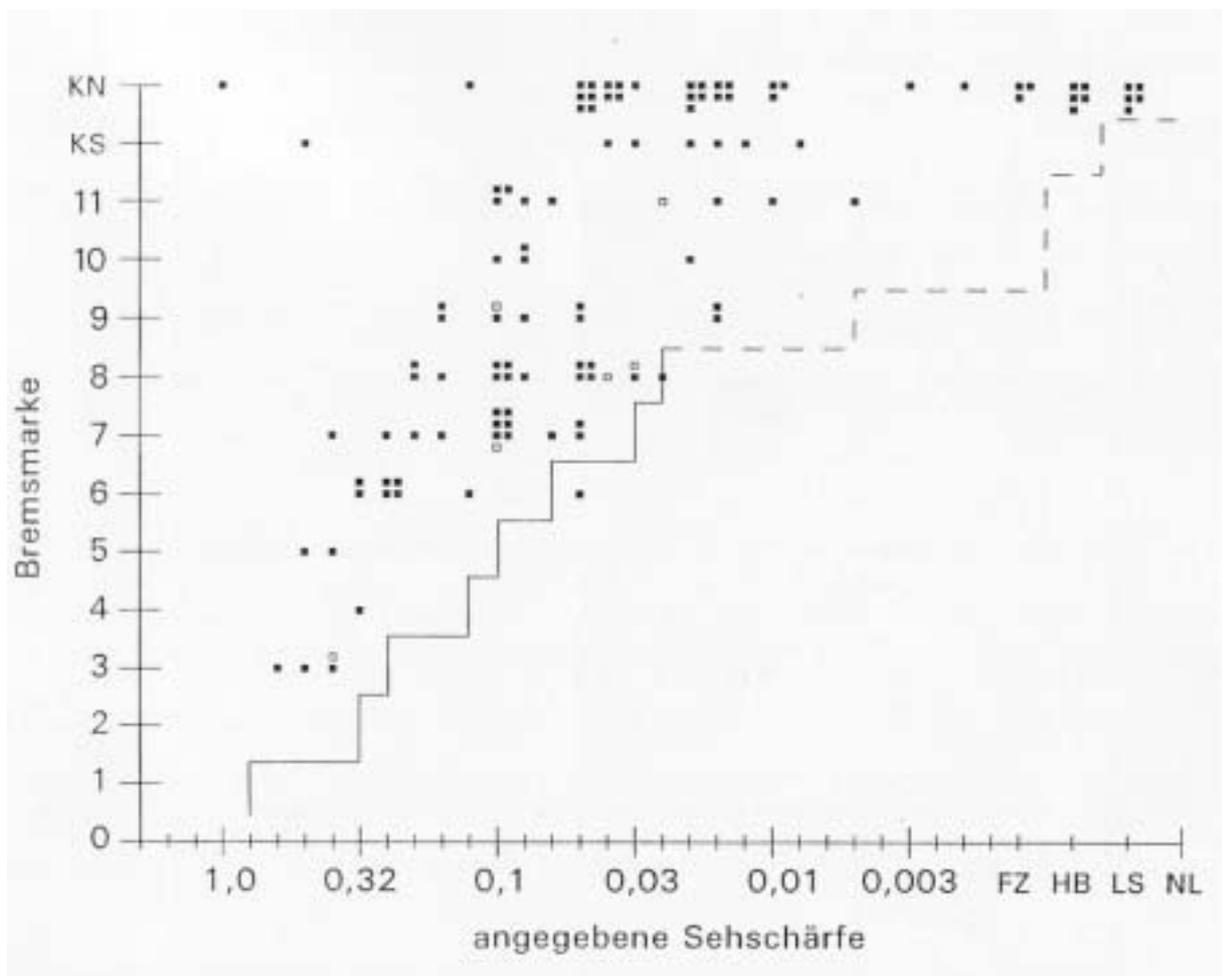


Abbildung 15: Kleinste nystagmushemmende Bremsmarke aus 3 Ableitungen aufgetragen über dem angegebenen Visus von 62 Personen mit glaubhaften Visusangaben. Gefüllte Quadrate: Ableitung bei monokularer Reizung (56 Personen, 108 Augen). Offene Quadrate: Ableitung bei biokularer Reizung (6 Personen). KN: kein regelmäßiger Nystagmus auslösbar. KS: keine Suppression des Nystagmus. FZ: Fingerzählen in 0,5 m. HB: Wahrnehmung von Handbewegung. LS: Lichtscheinwahrnehmung. NL: Keine Lichtwahrnehmung. Die Stufenlinie kennzeichnet den Visus, der (nach Tabelle 5) bei Nystagmushemmung durch BM 1 - 8 mindestens zu erwarten ist. Links oberhalb oder auf dieser Linie liegende Wertepaare sind im Sinne der objektiven Schätzung der Mindestsehschärfe testunauffällig

Von den 51 Personen mit klinisch als unglaubwürdig eingestuften Angaben fielen 38 bei der nystagmographischen Untersuchung auf. Die Methode zeigte also psychogene Sehstörungen und Simulation mit einer Sensitivität von 75 % an. Die Ergebnisse dieser Personengruppe sind in Abbildung 16 dargestellt.

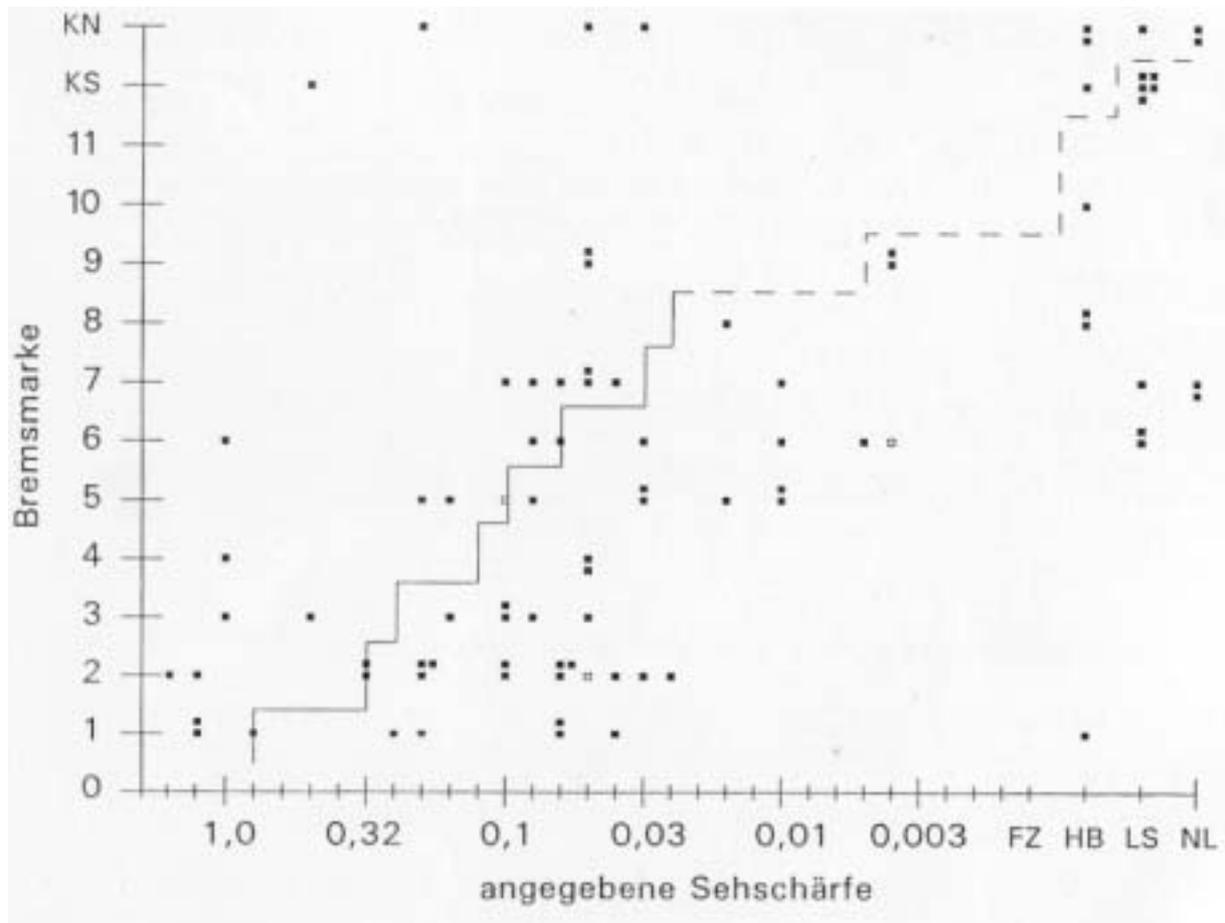


Abbildung 16: Kleinste nystagmushemmende Bremsmarke aus 3 Ableitungen aufgetragen über dem angegebenen Visus von 51 Personen mit unglaubwürdigen Visusangaben. Gefüllte Quadrate: Ableitung bei monokularer Reizung (48 Personen, 83 Augen). Offene Quadrate: Ableitung bei biokularer Reizung (3 Personen). KN: kein regelmäßiger Nystagmus auslösbar. KS: keine Suppression des Nystagmus. FZ: Fingerzählen in 0,5 m. HB: Wahrnehmung von Handbewegung. LS: Lichtscheinwahrnehmung. NL: Keine Lichtwahrnehmung. Die Stufenlinie kennzeichnet den Visus, der (nach Tabelle 5) mindestens zu erwarten ist, wenn der Nystagmus durch BM 1 - 8 unterbrochen wird. Wertepaare rechts bzw. unterhalb der Linie sind im Sinne der objektiven Schätzung der Mindestsehschärfe testauffällig

Dies zeigt, dass die Methode, wenngleich sie eine exakte Bestimmung des tatsächlichen Visus nicht erlaubt, von erheblichem klinischen Nutzen ist und eine wertvolle Bereicherung des

diagnostischen Repertoires zur Objektivierung von Visusangaben und zur Schätzung des mindestens zu erwartenden tatsächlichen Visus darstellt.

4.5. Nachweis von subjektiven Falschangaben

4.5.1. Objektiver Nachweis von Falschangaben durch die nystagmographische Methode

Die nystagmographische Methode ist bei allen Einschränkungen hinsichtlich der Schätzung eines bestimmten Mindestvisus exzellent geeignet, Falschangaben bezüglich der Wahrnehmung der Fixationsreize aufzudecken. Wie beschrieben, wird der Patient im Rahmen der Untersuchung dazu aufgefordert, Angaben über die Wahrnehmung der Fixationsreize zu machen. Wenn er, entgegen offensichtlicher Nystagmussuppression und dem nystagmographischen und okulographischen Nachweis der Blicksakkaden zwischen den drei Fixationsreizen jeder Bremsmarke behauptet, die dargebotenen Punkte nicht wahrzunehmen, widerspricht dies ganz offensichtlich dem objektiven Befund. Nach der Mindestvisusschätzung, oder auch, wenn diese nicht möglich sein sollte, stellt dies eine weitere Möglichkeit dar, die Validität subjektiver Angaben zu prüfen. Eine weitere Möglichkeit der objektiven Methode stellt die infrarotreflektormetrische Registrierung regelmäßiger Lesesakkaden dar. Dem Patient, der angibt, Buchstaben einer bestimmten Grösse nicht erkennen zu können, wird im Anschluß an die Versuche zur Unterbrechung des optokinetischen Nystagmus ein aus kleineren Buchstaben bestehender Lesetext auf dem Monitor angeboten. Löst dies das typische Stufenmuster normaler Lesesakkaden aus, so ist die Angabe des Patienten zu überprüfen. Durch die Wahl eines Textes mit geeignetem Inhalt können dabei evtl. zusätzliche objektivierbare, adrenerge Reaktionen (Erröten, Zorn) ausgelöst werden.

4.5.2. Statistischer Nachweis subjektiver Falschangaben

Wie kürzlich aus unserer Arbeitsgruppe berichtet (GRÄF und ROESEN 2001), erlaubt in diesen Fällen häufig eine subjektive Visusbestimmung mit Darbietung einer großen Zahl von Optotypen den statistisch gesicherten Nachweis eines tatsächlich höheren Visus. Gestützt auf

die Ergebnisse der nystagmographischen Methode und anderer objektiver Untersuchungsmethoden (ophthalmologischer Organbefund, Refraktion, elektrophysiologische und ggf. bildgebende Verfahren, Validitätsprüfungen bei der subjektiven Angabe anderer Sehfunktionen wie Gesichtsfeld, Farbsehen, Binokular- und Stereosehen), die dem Untersucher ein sicheres Auftreten erlauben, gelingt es dabei häufig, den Prüfling im Rahmen eines Forced-Choice-Vorgehens zu besseren Visusangaben zu motivieren. Dieses Vorgehen, also eine Antwort auch dann zu fordern, wenn der Patient meint, das Sehzeichen nicht mehr zu erkennen, ist bei jeder Visusbestimmung vorgeschrieben und nach der eingangs gegebenen Visusdefinition unverzichtbar (BACH und KOMMERELL 1998). Diese Tatsache scheint nicht allgemein bekannt zu sein. Bei der Methode kann auch eine Häufung von Falschantworten beobachtet werden, die reinen Zufall als Erklärung ausscheiden lässt. Werden beispielsweise von 32 Landoltringen mit 4 möglichen Öffnungsrichtungen 20 richtig benannt, ist damit aufgrund ausreichender Mitarbeit zweifelsfrei bewiesen, dass ein der Größe des Landoltrings und der Untersuchungsdistanz entsprechender Visus vorliegt. Wird kein einziger Ring richtig benannt (Zufallswahrscheinlichkeit $\approx 0,0001$), spricht das ebenfalls für die Erkennung des Rings und mehr oder weniger bewusste Falschangaben, was unter Umständen eine objektive Schätzung der Sehschärfe erübrigt. Bei weniger eindeutigen Falschangaben kann die Vorgehensweise unter Verwendung einer größeren Zahl von Fragen und Anwendung der Verteilungsfunktion der Binominalverteilung verfeinert werden (GRÄF 1999). Führen derartige Strategien nicht weiter, ist eine Schätzung der Sehschärfe nur anhand objektiver Befunde möglich.

5. Zusammenfassung

5.1 Deutsch

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchte Methode stellt ein leicht anwendbares und an Computerarbeitsplätzen einsetzbares Verfahren zur objektiven Schätzung der Mindestsehschärfe dar. Die Methode beruht auf OHMs Idee der Suppression eines optokinetischen Nystagmus durch unbewegte Fixationsreize, die vor einem optokinetischen Reizmuster eingeblendet werden.

Der optokinetische Nystagmus wird durch ein auf dem Computermonitor laufendes Streifenmuster ausgelöst. Zur Unterbrechung des Nystagmus dienen Fixationsreize, die zunächst punktförmig sind, nach und nach größer werden und später die Form von Optotypen haben, um so eine subjektive Sehprüfung vorzutäuschen. Die Augenbewegungen des Patienten werden infrarotreflektrometrisch aufgezeichnet. Der kleinste Fixationsreiz, der bei drei aufeinanderfolgenden Prüfungen den Nystagmus unterbricht, dient als objektiver Messwert.

In einer Eichstudie an 387 Augen kooperativer Versuchspersonen mit einer Visusreduktion unterschiedlicher Ursache wurde der so erhaltene Messwert zu dem subjektiv korrekt angegebenen Visus in Beziehung gesetzt. Aus der Visusverteilung über den verschieden großen Fixationsreizen wurden Toleranzintervalle ermittelt, die eine Schätzung des zu erwartenden Mindestvisus erlauben. Es fiel auf, dass die Methode an schielamblyopen Augen keine zuverlässige Aussage zum Visus erlaubt. An nicht amblyopen Augen ist die Schätzung des wahrscheinlich vorhandenen Mindestvisus in Schritten von 0,8 bis 0,025 möglich.

Bei der bisherigen klinischen Anwendung hat sich die Methode als wertvolle Ergänzung des diagnostischen Arsenal kritischer Funktionsprüfungen erwiesen. Sie zeigte bei einer Spezifität von nahezu 100% Visus-Falschangaben mit einer Sensitivität von 74,5% an.

5.2. English

The described infrared nystagmographic method is an easily handy applicable and useful tool for the objective estimation of the minimum visual acuity at a personal computer (PC). The method bases on OHM's idea of suppressing an optokinetic nystagmus (OKN) by an immobile fixation stimulus appearing in front of the moving optokinetic pattern.

The OKN is induced by a grating pattern presented on a PC-screen. The small fixation stimuli used to interrupt the nystagmus have the shape of a dot; step by step they are enlarged every two seconds; finally they have the shape of an optotype in order to pretend to be a subjective test of visual acuity. The patient's eye movements are recorded by an infrared reflectometric eye tracking system. The smallest fixation stimulus which interrupts the nystagmus within three subsequent tests is taken as an objective value.

In a calibration study on 387 eyes of 387 well cooperative patients whose visual acuity was reduced by various ocular disorders, the objective value was related to the subjective visual acuity. Wilks' formula was used to calculate tolerance intervals corresponding to the discrete fixation stimuli when they interrupt the OKN. This allows for an estimation of the minimum visual acuity. The method doesn't provide a reliable estimation of the visual acuity of strabismic amblyopic eyes. An estimation of the minimum visual acuity of non-amblyopic eyes is possible between 0.8 to 0.05.

In a clinical study on 113 persons with either credible or dubious visual acuity statements this method has proved to be a valuable completion of the diagnostic arsenal of critical function tests. The method showed a specificity of 98.4 % and a sensitivity for pretended visual deterioration of 74.5%.

6. Literatur

- 1 Alexandridis E. Subjective and objective investigation of visual functions in aggravation and simulation in the hospital. *Dev Ophthalmol* 1984; 9:123-129
- 2 Bach M, Kommerell G. Sehschärfenbestimmung nach Europäischer Norm: Wissenschaftliche Grundlagen und Möglichkeiten der automatischen Messung. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1998; 212:190-195
- 3 Berlyne DE. The influence of albedo and complexity of stimuli on visual fixation in human infants. *Br J Psychol* 1958; 49:315-318
- 4 Bertram B, Hammers H. Die Prävalenz der Erblindungen wegen diabetischer Retinopathie steigt weiter. *Z prakt Augenheilkd* 1997; 18:181-184
- 5 Birukow G. Untersuchungen über den optischen Drehnystagmus und über die Sehschärfe des Grasfrosches (*Rana temporaria*). *Z vergl Physiol* 1938; 25:92-142
- 6 Bumgartner J, Epstein CM. Voluntary alteration of visual evoked potentials. *Ann Neurol* 1982; 12:475-478
- 7 Burd L, Kerbeshian J. Tourette syndrome, atypical pervasive developmental disorder and Ganser syndrome in a 15-year-old, visually impaired, mentally retarded boy. *Can J Psychiatry* 1985; 4:331-339
- 8 Cohen SN, Syndulko K, Tourtellotte WW, Pearce JW, Hansch E. Volitional manipulation of visual evoked potential latency. *Neurology* 1982; 32 (2):A209
- 9 Enoch JM, Rabinowicz IM. Early surgery and visual correction of an infant born with unilateral eye lens opacity. *Doc Ophthalmol* 1976; 41:371-382
- 10 Fantz RL. Pattern vision in young infants. *Psych Rec* 1958; 8:43-47
- 11 Fukai S, Hayakawa T, Tsutsui J. Objective visual acuity testing by optokinetic nystagmus suppression. *Jpn J Ophthalmol* 1990; 34:239-244
- 12 Geyer OC. Kritische Auswertung unserer Erfahrungen mit dem Gerät zur objektiven Sehprüfung nach Romberg. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1959; 134:205-212
- 13 Gießmann HG. Diskussionsbemerkungen zur Sachsenweger R. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1964; 144:314

- 14 Goldmann H. Objektive Sehschärfenbestimmung. *Ophthalmologica* Basel 1943; 105:240-252
- 15 Goldmann H. Bemerkung über objektive Sehschärfenbestimmung. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1950; 117:570-573
- 16 Gorman JJ, Cogan DG, Gellis SS. An apparatus for grading the visual acuity of infants on the basis of optokinetic nystagmus. *Pediatrics* 1957; 19:1088-1092
- 17 Gräf M. Methoden der objektiven Sehschärfenbestimmung. Habilitationsschrift Fachbereich Humanmedizin, Universität Gießen. Gießen 1996
- 18 Gräf M. Informationsgehalt falscher Angaben bei der Visus- und Gesichtsfeldprüfung. *Ophthalmologie* 1997; 94 suppl 1:106
- 19 Gräf M. Objektive Schätzung der Mindestsehschärfe durch Suppression des optokinetischen Nystagmus. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1998; 212:196-202
- 20 Gräf M. Information from false statements concerning visual acuity and visual field in cases of psychogenic visual impairment. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1999; 237:16-20
- 21 Gräf M, Kaufmann H. Anwendung einer neuen Methode zur objektiven Schätzung der Mindestsehschärfe. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1999; 214:395-400
- 22 Gräf M, Roesen J. Der lückenlose Landoltring- Ein handlicher Test zur Überprüfung bei Verdacht auf Simulation. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2001; 218:435-437
- 23 Gräf M, Halbach E, Kaufmann H. Erblindungsursachen in Hessen 1996. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1999; 215:50-55
- 24 Grzibek PM, Sachsenweger R. Experimentelle Untersuchung über die objektive Sehschärfenbestimmung am Gerät nach von Romberg. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1958; 133:835- 846
- 25 Günther G. Ein Gerät zur objektiven Prüfung der zentralen Sehschärfe. *Albrecht v Graefes Arch Ophthalmol* 1948; 148:430-442
- 26 Günther G, Poser H. Bericht über die objektive und subjektive Sehschärfenbestimmung am Nystagmometer nach Günther-Noteboom. *Albrecht v Graefes Arch Ophthalmol* 1960; 162:511-517
- 27 Günther G, Günther JC. Zur Terminologie der objektiven Sehschärfenbestimmung. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1968; 152:418-420

- 28 Hedin A. Sehschärfeprüfung im Kindesalter. Jahreskurse f prakt Augenheilkd 1981; 6:458-498
- 29 Hertz M. Zur Physiologie des Formen- und Bewegungssehens II. Auflösungsvermögen des Bienenauges und optomotorische Reaktion. Z vergl Physiol 1935; 21:579-603
- 30 Hübsch S, Gräf M. Foveolare Zapfendystrophie: Diagnostischer Stellenwert des multifokalen Elektroretinogramms. Klin Monatsbl Augenheilkd 2002; 219:370-372
- 31 Kathol RG, Cox TA, Corbett JJ, Thomson HS. Functional visual loss. Follow-up of 42 cases. Arch Ophthalmol 1983; 101:729-735
- 32 Keltner JL, May WN, Johnson CA, Post RB. The california syndrome. Functional visual complaints with potential economic impact. Ophthalmology 1985; 92:427-435
- 33 Klecker W. Über objektive Sehschärfebestimmung auf der Grundlage des optokinetischen Nystagmus. Klin Monatsbl Augenheilkd 1952; 121:237-238
- 34 Lennerstrand G, Axelsson A, Andersson G. Visual testing with "preferential looking" in mentally retarded children. Behav Brain Res 1983; 10:199-203
- 35 Leydhecker W, Krieglstein GK, Collani EV. Observer variation in applanation tonometry and estimation of the cup disk ratio. In: Glaucoma Update Bd I, Springer, Heidelberg 1979:101-111
- 36 Mackensen G. Untersuchungen zur Physiologie des optokinetischen Nystagmus. Über Möglichkeiten einer willkürlichen Beeinflussung des Nystagmus. Klin Monatsbl Augenheilkd 1953; 133:133-143
- 37 Makabe R. Ein Versuch zur objektiven Sehschärfebestimmung mit Hilfe der Elektronystagmographie. Bericht Dtsch Ophthalmol Ges 1979; 76:747-749
- 38 Makabe R. Objektive Sehschärfebestimmung mit Hilfe der Elektronystagmographie, weitere Erfahrungen. Klin Monatsbl Augenheilkd 1984; 184:197-198
- 39 Marg E, Freeman DE, Peltzman P, Goldstein PJ. Visual acuity development in human infants: evoked potential measurements. Invest Ophthalmol Vis Sci 1976; 15:150-153
- 40 Mayer DL, Fulton AB, Rodier D. Grating acuity of esotropic patients does not always agree with fixation. Invest Ophthalmol Vis Sci 1984; 25 Suppl:218

- 41 Nicolai H. Objektive Sehschärfenbestimmung auf der Grundlage des optokinetischen Nystagmus mit eigenem Gerät. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1953; 122:402-416
- 42 Norcia AM, Tyler CW. Infant VEP acuity measurements: analysis of individual differences and measurements error. *Electroencephalogr clin Neurophysiol* 1985; 61:359-369
- 43 Paliaga GP. *Die Bestimmung der Sehschärfe*. Quintessenz, München 1993
- 44 Petersen J. *Die Zuverlässigkeit der Sehschärfenbestimmung mit Landolt-Ringen*. Enke Copythek, Stuttgart 1993
- 45 Ohm J. Über optischen Drehnystagmus. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1921; 68:234-235
- 46 Ohm J. Die klinische Bedeutung des optischen Drehnystagmus. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1922; 68:323-355
- 47 Ohm J. Ein neuer Nystagmograph. *Klin Wochenschr* 1925; 26:1286-1287
- 48 Ohm J. Zur Augenzitternkunde. 12. Mitteilung. Der optische Drehnystagmus als objektives Hilfsmittel der Augenprüfung. *Albrecht v Graefes Arch Ophthalmol* 1928; 120:670-688
- 49 Ohm J. Zur Physiologie des optokinetischen Nystagmus. *Albrecht v Graefes Arch Ophthalmol* 1931; 126:547-560
- 50 Ohm J. Zur Augenzitternkunde. 26. Mitteilung. Über den Einfluss zentraler und parazentraler Blenden auf den optokinetischen Nystagmus. *Albrecht v Graefes Arch Ophthalmol* 1931; 127:373-394
- 51 Ohm J. Zur Augenzitternkunde. 27. Mitteilung. Über den Einfluss gespiegelter Marken auf den optokinetischen Nystagmus. *Albrecht v Graefes Arch Ophthalmol* 1932; 128:66-79
- 52 Ohm J. Zur Augenzitternkunde. 28. Mitteilung. Über die Verwertung des optokinetischen Nystagmus bei der Begutachtung. *Albrecht v Graefes Arch Ophthalmol* 1933; 129:57-75
- 53 Ohm J. Zur Augenzitternkunde. 29. Mitteilung. Über die Vermeidung von Irrtümern bei der Begutachtung des Augenzitterns. *Albrecht v Graefes Arch Ophthalmol* 1933; 129:76-96

- 54 Ohm J. Die Auslösung des optokinetischen Nystagmus mittels des konzentrischen Drehzylinders beim Gesunden. *Albrecht v Graefes Arch Ophthalmol* 1935; 131:401-409
- 55 Ohm J. Der optokinetische Nystagmus bei sehr schwacher Beleuchtung. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1942; 108:187-195
- 56 Ohm J. Die objektive Sehschärfenbestimmung bei Nystagmus. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1950; 116:646-650
- 57 Ohm J. Objektive Prüfung der Sehleistungen mit Hilfe der optokinetischen Augenbewegungen. Enke Verlag, Stuttgart 1953
- 58 Ohm J. Die elementaren Grundlagen des optokinetischen Nystagmus. *Albrecht v Graefes Arch Ophthalmol* 1957; 158:485-494
- 59 Raupach C. Eine neue Methode der objektiven Sehschärfenbestimmung unter Anwendung der Infrarotnystagmographie. Dissertation, Fachbereich Humanmedizin, Universität Gießen. Gießen 1998
- 60 Ray WA, O'Day DM. Statistical analysis of multi-eye data in ophthalmic research. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1985; 28:1186-1188
- 61 Reboten JR, Ordy JM. Objective estimation of visual acuity in psychiatric patients. *J Nerv Ment Dis* 1961; 133:185-191
- 62 Riggs LA. Visual acuity. In: Graham CH (Hrsg). *Vision and visual perception*. John Wiley & Sons, New York, London, Sydney 1966
- 63 Sachs L. *Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden*. Springer, Berlin, Heidelberg 1997
- 64 Scharre JE, Creedon MP. Assessment of visual function of autistic children. *Optom Vis Sci* 1992; 69:433-439
- 65 Sheridan MD. Vision screening procedures for very young or handicapped children. In: Gardiner P, MacKeith R, Smith V (Hrsg). *Aspects of developmental and pediatric ophthalmology, Clinics in developmental medicine*. Spastic International Medical Publication, London 1969: 39-47
- 66 Sireteanu R. The development of visual acuity in very young kittens. *Vision Res* 1985; 25:781-788

- 67 Statistisches Bundesamt Mitteilung vom 6.1.1998, FS 13, R2, 1996
- 68 Tan CT, Murray NMF, Sawyers D, Leonard TJK. Deliberate alteration of the visual evoked potential. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 1984; 47:518-523
- 69 Teller DY, Morse R, Borton R, Regal D. Visual acuity for vertical and diagonal gratings in human infants. *Vision Res* 1974; 14:1433-1439
- 70 Uren SM, Stewart P, Crosby PB. Subject cooperation and the visual evoked response. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1979; 18:648-652
- 71 Viefhues TK, Kühnhardt G. Die objektive Prüfung der Sehschärfe bei Schielamblyopie. *Albrecht v Graefes Arch Ophthalmol* 1958; 160:263-266
- 72 Voipio H. Objective measurement of visual acuity by arresting optokinetic nystagmus without change in illumination. *Acta Ophthalmol (Copenh) Suppl* 1961; 66:1-70
- 73 Voipio H. Arrestovisography: A method for objective assessment of visual acuity. 4 th Congr Europ Soc Ophthal, Budapest 1972, Part II: 60-62 (300-302) Karger, Basel 1974
- 74 Weder W, Wiegand H. Sehschärfenbestimmung mit Hilfe des optokinetischen Nystagmus. Ein neu entwickeltes Gerät auf der Grundlage des Güntherschen Prinzips. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1987; 191:149-155
- 75 Weigelin E. Die objektive Bestimmung der Sehschärfe mit dem Gerät nach Romberg. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1962; 141:298-300
- 76 Weigelin E, Heinrichs H, Leonardi F, Niesel P. Die Beziehungen zwischen subjektiv bestimmter Sehschärfe und dem Ausfall der objektiven Prüfung am Gerät nach von Romberg. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1955; 127:174-181

7. Anhang

7.1. Danksagung

Privatdozent Dr. med. M. Gräf danke ich für die freundliche Überlassung des Themas und die wertvolle, geduldige und ausdauernde Hilfe bei der Ausarbeitung.

Herrn Prof. Dr. med. H. Kaufmann danke ich für die Möglichkeit der Durchführung dieser Arbeit an seiner Klinik.

Herzlichen Dank auch an meine Patienten und Probanden, welche geduldig die Untersuchungen an sich durchführen ließen.

Einen besonderen Dank gilt den vielen lieben Menschen (vor allem meiner Familie - insbesondere meinen Eltern), die mich in der Arbeit und am „Durchhalten und Weitermachen“ unterstützten.

Meiner Frau und meinem Sohn möchte ich für die vielen Minuten und Stunden danken, die sie mich an die Arbeit ließen und mir den Rücken frei hielten.

Amir Baalbaki

7.2 Lebenslauf

Name: Amir Baalbaki
Geboren am: 05.06.1968
Geburtsort: Gießen
Familienstand: verheiratet mit Ulrike Baalbaki, geb. Neubüser
1 Sohn, Jonas, geb.16.7.2001
Eltern: Wagih Baalbaki, Kaufmann
Norma Baalbaki, geb. Schmidt, Kauffrau

Schulbildung

1974-1978 Grundschule Beuern
1978-1980 Gesamtschule Busecker Tal
1980-1987 Liebigsschule Gießen
Abschluss: Abitur

Zivildienst

1987 -1988 Pflegedienst in der Medizinischen Poliklinik der Universität Gießen
1988 -1989 Individuelle Schwerstbehindertenbetreuung

Hochschulbildung

1989-1990 Studium der Humanmedizin an der Technischen Universität München
1990-1996 Studium der Humanmedizin an der Justus-Liebig-Universität Gießen

Apr. 1993 Erster Teil der Ärztlichen Prüfung
Sep. 1995 Zweiter Teil der Ärztlichen Prüfung
Okt. 1995-
Sep.1996 Praktisches Jahr: Dermatologie in der Hautklinik der JLU Gießen
Innere Medizin in der Med. Klinik der JLU Gießen
Chirurgie im Evangelischen Krankenhaus Gießen
Okt. 1996 Dritter Teil der Ärztlichen Prüfung

Berufliche Entwicklung

Jul. 1997- Jan. 1999	Stationsdienst (Innere/Kardiologie) als Arzt im Praktikum in der Klinik Nordrhein, Bad Nauheim
Jun. 1999- Sep. 1999	Stationsdienst (Innere) als Assistenzarzt in dem Kaiserin-Auguste- Victoria-Krankenhaus Ehringshausen
Sep. 1999- Dez. 2000	Praxisassistent in der Allgemeinarztpraxis, Dr. med. H. Conrad, Allendorf/Lda.
Dez.2000- Jun. 2001	Stationsdienst (Chirurgie) als Assistenzarzt im Evangelischen Krankenhaus Giessen
Jul. 2001- Jan. 2003	Arzt im hausärztlichen Notdienst (Lich, Pohlheim und Reiskirchen) sowie Praxisvertretungen
Okt. 2001	Facharzt für Allgemeinmedizin
Jan. 2003	Niederlassung als Vertragsarzt für Allgemeinmedizin in Lohra-Altenvers

Annerod, 24.06.2003

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig, ohne fremde unerlaubte 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 Aussagen beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den 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.“

Amir Baalbaki